T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEVCUT YAPI ZEMİNİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLEME

ULVİ KAYAKESER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DR. ÖĞR. ÜYESİ AYŞE BENGÜ SÜNBÜL GÜNER

DÜZCE, 2022

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

MEVCUT YAPI ZEMİNİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLEME

Ulvi KAYAKESER tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
Düzce Üniversitesi _____

Prof. Dr. Rıfat AKBIYIKLI
Düzce Üniversitesi _____

Dr. Öğr. Üyesi Berna AKSOY
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi _____

Tez Savunma Tarihi: 30 / 06 / 2022

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

27 Haziran 2022

Ulvi KAYAKESER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER'e en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

27 Haziran 2022 **Ulvi KAYAKESER**

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ vii
ÇİZELGE LİSTESİ viii
HARİTA LİSTESİ ix
KISALTMALAR x
SİMGELER xi
ÖZET xii
ABSTRACT xiii
1. GİRİŞ 1
2. İNCELEME ALANI HAKKINDA GENEL BİLGİLER 3
2.1. İNCELEME ALANININ TANITILMASI 3
2.1.1. Jeomorfolojik Özellikleri 4
2.1.2. Jeolojik Özellikleri 8
2.1.3. İklim Özellikleri 9
2.1.4. Hidrografik Özellikleri 12
2.1.5. Doğal Afet Tehlikeleri 13
2.2. ZEMİN ARAŞTIRMALARI VE SONUÇLARI 14
2.2.1. Sondaj Çalışmaları 14
2.2.2. Jeofizik Çalışmaları 17
2.2.3. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) 19
2.2.4. Presiyometre Deneyi 20
2.2.5. Yeraltı Su Seviyesi Ölçümü 21
2.2.6. Laboratuvar Deneyleri 22
2.2.7. Çalışma Sahasının Mühendislik Jeolojisi 25
2.2.8. Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi ve Depremsellik 26
3. YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İRDELENMESİ 28
3.1. TEMEL SİSTEMİNE İLİŞKİN HESAPLAMALAR 28
3.1.1. Taşıma Gücü Hesabı 28
3.1.2. Oturma Hesabı 33
3.1.2.1. *Kil Birim İçin Oturma Hesabı* 33
3.1.2.2. *Kum Birim İçin Oturma Hesabı* 35
3.1.3. Sıvılaşma Hesabı 38
4. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ 46
4.1. JET GROUT YÖNTEMİ 47
4.1.1. Jet 1 (Monofluid) 49
4.1.2. Jet 2 (Bifluid) 49
4.1.3. Jet 3 (Trifluid) 50
4.1.4. Süper Jet 51
4.2. JET GROUT TASARIM VE HESAPLARI 52

4.2.1. Jet Grout Kolonlarının Hesapları ve Sonuçları 53
4.2.1.1. *13 Metre Boyundaki Jet Grout Kolonu 53*
4.2.1.2. *18 Metre Boyundaki Jet Grout Kolonu 55*
4.2.2. Jet Grout Sonrası Sıvılaşma Potansiyelinin Analitik Yöntemler ile Değerlendirilmesi 57
5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLEME 62
5.1. PROJE BİNASININ İDEALİZE ZEMİN PROFİLİ 62
5.2. YAPI ELEMANLARI VE ZEMİN PARAMETRELERİ 63
5.3. 2D VE 3D MODEL 70
5.4. 2D VE 3D MODELLERİN ANALİZ VE SONUÇLARI 73
6. BULGULAR VE TARTIŞMA 80
7. KAYNAKLAR 82
ÖZGEÇMİŞ 85

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. İznik Gölü uydu görüntüsü. (Google Earth, 2020) 3
Şekil 2.2. Çalışma sahası uydu görüntüsü. (Google Earth, 2020) 4
Şekil 2.3. Çalışma sahasındaki proje binasına ait sondaj ve jeofizik etütler vaziyet planı. 14
Şekil 2.4. Çalışma sahasında yapılan bazı sondajlara ait görüntüler. 15
Şekil 2.5. Sondajlardan alınan karot numuneler. 15
Şekil 2.6. Çalışma sahasında gerçekleştirilen bazı sismik MASW ölçümlerine ait görüntüler a) MASW-7 b) MASW-8 c) MASW-9. 17
Şekil 2.7. SPT-N (30) değerlerinin derinlikle değişimi. 20
Şekil 2.8. Çalışma sahasında yapılan bazı Presiyometre deneylerine ait görüntüler. 20
Şekil 2.9. Çalışma sahasında yapılan bazı YASS ölçümlerine ait görüntüler. 21
Şekil 2.10. Proje binasından geçen jeolojik kesit. 25
Şekil 3.1. Stroud (1974) Yaklaşımı. (Stroud, 1974) 34
Şekil 3.2. Gerilme dağılımı grafiği. 35
Şekil 3.3. Kum birimlerde oturma hesabı. (Sherif & Schultze, 1973) 36
Şekil 4.1. Farklı zemin dane boyutlarına göre uygulanabilen zemin iyileştirme yöntemleri. (Nicholson, 2014) 46
Şekil 4.2. Jet grout kolonu imalat aşamaları. (Lunardi, 1997) 48
Şekil 4.3. Jet grout ekipmanları. (Lunardi, 1997) 48
Şekil 4.4. Jet-1 (tek akışkanlı). (Küsin, 2009) 49
Şekil 4.5. Jet-2 (çift akışkanlı). (Küsin, 2009) 50
Şekil 4.6. Jet-3 (üç akışkanlı). (Küsin, 2009) 51
Şekil 4.7. Süper jet. (Küsin, 2009) 51
Şekil 5.1. İdealize zemin profili. 63
Şekil 5.2. Plaxis material sets sekmesi zemin elemanları. 68
Şekil 5.3. Plaxis material sets sekmesi jet grout elemanları. 69
Şekil 5.4. A – A' Kesitine ait Plaxis 2D model görünümleri a) Yakınlaştırılmış görünüm b) Tam görünüm. 70
Şekil 5.5. B – B' Kesitine ait Plaxis 2D model görünümleri a) Yakınlaştırılmış görünüm b) Tam görünüm. 71
Şekil 5.6. Plaxis 3D model görünümleri a) Zemin katmanları b) Yapı elemanları ve zemin görünümü c) Modelin perspektif görünümü. 72
Şekil 5.7. Zemin stratigrafisi. 73
Şekil 5.8. Plaxis'te kullanılan deprem datası. 73
Şekil 5.9. Düşey efektif gerilme aşırı boşluk suyu basıncı oranı. 74
Şekil 5.10. Düşey efektif gerilme maksimum aşırı boşluk suyu basıncı oranı. 75
Şekil 5.11. Sıvılaşan katmanlar. 75
Şekil 5.12. Doğal durumdaki boşluk suyu basıncı dağılımı. 76
Şekil 5.12. Jet grout uygulaması sonrasında oluşan boşluk suyu basıncı dağılımı. 77
Şekil 5.14. 3D Modelde deforme olmuş sonlu elemanlar ağı. 77
Şekil 5.15. 3D Modelde toplam yer değiştirme. 78
Şekil 5.16. 3D Modelde toplam yer değiştirme modelin iç kısmı. 78
Şekil 5.17. 3D Modelde orta kısımda bulunan temel çevresindeki 13 metre uzunluğundaki dik jet groutların eksenel kuvvetleri. 79
Şekil 5.18. 3D Modelde orta kısımda bulunan temel çevresindeki 13 metre uzunluğundaki eğimli jet groutların eksenel kuvvetleri. 79

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Bursa iline ait genel mevsim istatistikleri. (MGM) 10
Çizelge 2.2. Sondaj sonuçları. 16
Çizelge 2.3. Sismik ölçüm profillerine ait dinamik paramatreler. 18
Çizelge 2.4. Sondajlarda yapılan SPT deneylerinden elde edilen SPT-N değerleri. 19
Çizelge 2.5. Presiyometre deneyleri sonuçları. 21
Çizelge 2.6. YASS ölçüm sonuçları. 22
Çizelge 2.7. Laboratuvar deneyleri sonuçları (Fiziksel özelliklerin tayini). 23
Çizelge 2.8. Laboratuvar deneyleri sonuçları (Mekanik özelliklerin tayini). 24
Çizelge 2.9. Yerel zemin sınıfı. (TBDY, 2018) 26
Çizelge 2.10. TBDY 2018'e göre belirlenen parametreler. (TBDY, 2018) 27
Çizelge 3.1. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları. (TBDY, 2018) 28
Çizelge 3.2. Yapı temellerinde izin verilen oturma limitleri. (Kumbasar & Kip, 1999) 37
Çizelge 3.3. Farklı zemin türlerinde izin verilen oturma limitleri. (Uzuner, 1995) 37
Çizelge 3.4. Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısı. (TBDY, 2018) 39
Çizelge 3.5. α ve β katsayıları. (TBDY, 2018) 40
Çizelge 3.6. Düzeltme katsayıları. (TBDY, 2018) 41
Çizelge 3.7. SK-27 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu. 42
Çizelge 3.8. SK-35 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu. 43
Çizelge 3.9. SK-36 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu. 44
Çizelge 3.10. SK-36 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu (Devam). 45
Çizelge 4.1. Jet grout yöntemleri için paramatreler. (Lunardi, 1997) 52
Çizelge 4.2. SK-29 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu. 58
Çizelge 4.3. SK-35 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu. 59
Çizelge 4.4. SK-36 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu. 60
Çizelge 5.1. UBC3D-PLM malzeme modeli için girdi parametreleri. (Tsegaye, 2010) 64
Çizelge 5.2. Plaxis'te kullanılan UBC3D-PLM malzeme modeli parametreleri. 66
Çizelge 5.3. Sertleşen Zemin Modeli için kalibre edilmiş kum katmanlarının parametreleri. 67
Çizelge 5.4. Kil katmanın Sertleşen Zemin Modeli parametreleri. 67
Çizelge 5.5. Yapı temeli parametreleri. 68
Çizelge 5.6. Grobeton parametreleri. 68
Çizelge 5.7. Jet Grout parametreleri. 69
Çizelge 5.8. Dolgu malzemesi parametreleri. 69
Çizelge 5.9. Geogrid malzemesi parametreleri. 69

HARİTA LİSTESİ

Sayfa No

Harita 2.1. İznik Gölü ve çevresinin bakı haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 5
Harita 2.2. İznik Gölü ve çevresinin yükselti değerleri haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 5
Harita 2.3. İznik Gölü ve çevresinin topografya haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 6
Harita 2.4. İznik Gölü ve çevresinin eğim haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 7
Harita 2.5. İznik Gölü ve çevresinin jeomorfoloji haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 8
Harita 2.6. İznik Gölü ve çevresinin jeoloji haritası. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 9
Harita 2.7. İznik Gölü ve çevresinin yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019). 11
Harita 2.8. İznik Gölü ve çevresinin yıllık toplam yağış miktarı dağılımı haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019). 12
Harita 2.9. İznik Gölü ve çevresinin hidrografik haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019) 13
Harita 2.10. Doğal afet risk haritaları a) Deprem b) Erozyon c) Heyelan d) Sel ve taşkın (Garipağaoğlu & Uzun, 2019). 13
Harita 2.11. Türkiye Deprem Tehlike Haritası. (AFAD, 2018) 27

KISALTMALAR

GS	Güvenlik sayısı
LL	Likit Limit
MASW	Multi Channel Analysis of Surface Waves
MC	Mohr-Coulomb Modeli
NP	Non-Plastic (Plastik Olmayan)
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
PL	Plastik Limit
PI	Plastisite İndisi
R	Refü
SK	Sondaj Kuyusu
SPT	Standart Penetrasyon Deneyi
SPT-N	Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı
TBDY	Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği
YASS	Yer Altı Su Seviyesi

SİMGELER

c	Kohezyon
$c_{u(30)}$	Üst 30 metredeki ortalama drenajsız kayma dayanımı
ϕ	Kayma mukavemeti açısı
γ_k	Kuru birim hacim ağırlık
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık
K_o	Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
$N_{60(30)}$	Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
$V_{s(30)}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
Q_{All}	İzin verilebilir taşıma gücü
Q_P	Jet grout kolonunun uç direnci
Q_S	Jet grout kolonunun çevre sürtünmesi
Q_T	Jet grout kolonunun taşıyabileceği yük
w	Su muhtevası
ψ	Dilatasyon açısı

ÖZET

MEVCUT YAPI ZEMİNİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ VE SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİYLE MODELLEME

Ulvi KAYAKESER
Düzce Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
Haziran 2022, 84 sayfa

Bu tez çalışmasında, mevcut durumdaki bir yapının zemini jeolojik ve geoteknik açıdan incelenmiştir. Zeminin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlemek için zemin çalışmaları yapılmıştır. Yapılan zemin çalışmalarından elde edilen parametreler kullanılmıştır. Bu parametreler kullanılarak Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018 dikkate alınarak yerel zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir. Ayrıca zeminin taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma hesapları yapılmıştır. TBDY 2018'e zeminin emniyetli taşıma gücü 337 kPa olarak hesaplanmıştır, toplam oturma 4,576 cm olarak hesaplanmıştır, yapılan sıvılaşma hesapları sonucunda yapı zemini sıvılaşmaya karşı güvensiz durumdadır. Sıvılaşma riskinden dolayı zemin iyileştirme gerekli duyulup jet grout uygulaması yapılmıştır. Temel çevresinde 13 metre uzunluğunda eğimli ve düz kolonlar imal edilmiştir ve bina zemini çevresinde geçirimsiz perde oluşturacak 18 metrelik kolonlar imal edilmiştir. İmal edilen kolonların tasarım hesapları yapılmıştır. 13 metrelik kolonların taşıma kapasitesi 61,3 ton hesaplanmıştır. 18 metrelik kolonların taşıma kapasitesi 88,9 ton olarak hesaplanmıştır. Jet grout uygulamasından sonra sıvılaşma hesabı yapılarak riskin giderildiği görülmüştür. İdealize edilen zemin profili sonlu elemanlar programı kullanarak üç boyutlu ve iki boyutlu olarak modellenmiştir. Üç boyutlu modelde, zeminde oluşan deplasman ve jet grout kolonlarının davranışı incelenmiştir. İki boyutlu modelde, proje binası zeminin deprem durumundaki davranışı incelenmiştir. Sıvılaşma durumu için sonlu elemanlar programında yapılan dinamik analiz sonucu ile sayısal hesaplamalar zemindeki sıvılaşma riskini varlığını ortaya koymaktadır. İyileştirme sonrası sayısal hesaplamalardaki riskin yok olması ve sonlu elemanlar yazılımının boşluk suyu basıncındaki azalış zeminin sıvılaşma durumunun iyileştiğini göstermektedir.

Anahtar sözcükler: Sıvılaşma, Jet grout, Sonlu elemanlar, Üç boyutlu model.

ABSTRACT

LIQUEFACTION ANALYSIS IN EXISTING BUILDING SOIL AND MODELING WITH FINITE ELEMENT METHOD

Ulvi KAYAKESER
Duzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Civil Engineering
Master's Thesis
Supervisor: Assist. Prof. Dr. Ayşe Bengü SÜNBÜL GÜNER
June 2022, 84 pages

In this thesis work, soil of an existing structure was examined in terms of geological and geotechnical aspects. Soil studies were carried out to determine the physical and mechanical properties of the soil. Obtained parameters from the soil studies were used. Using these parameters, the local soil class was determined as ZD, considering Türkiye Building and Earthquake Regulation 2018. In addition to, bearing capacity, settlement and liquefaction calculations of soil were made. According to TBDY 2018, safe bearing capacity of the soil is calculated as 337 kPa, total settlement is was calculated as 4,576 cm, as a result of the liquefaction calculations made, the building soil is insecure against liquefaction. Due to risk of liquefaction, soil improvement was required and jet grout was applied. 13 meters long inclined and vertical columns were produced around the foundation and 18 meters columns were produced to from an impermeable curtain around the building soil. Design calculations pf the produced columns were made. The bearing capacity of the 13 meters columns is calculated as 61,3 tons. The bearing capacity of the 18 meters columns is calculated as 88,9 tons. After the jet grout application liquefaction calculation was made and it was seen that the risk was eliminated. Idealized soil profile is modeled as three-dimensional and two-dimensional using the finite element program. In the three-dimensional model, displacement in the soil and behavior of jet grout columns were examined. In two-dimensional model, behavior of the project building soil of in case of earthquake was examined. For the liquefaction situation, the result of the dynamic analysis made in the finite element program and numerical calculations reveal the existence of the liquefaction risk in the soil. Disappearance of the risk in numerical calculations after improvement and the decrease in the pore water pressure of the finite element software indicate that the liquefaction state of the soil has improved.

Keywords: Liquefaction, Jet grout, Finite element, Three-dimensional model.

1. GİRİŞ

Zemin incelemesine son zamanlarda özellikle ülkemizde yaşanan doğal afetlerinde bizlere gösterdiği gibi günümüzde halen gerekli önem verilmemektedir. Bir yapının sağlam olması bulunduğu zeminin özelliklerine göre değer kazandığını yıllar boyunca can ve mal kayıpları yaşayarak öğrendik. Bir zemininde var olan problemlerin tespiti veya oluşabilecek problemlerin önlenmesi için gerekli olan zemin incelemesinin yapılması tercih değil, olması gerektiği gibi artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

Yapılacak bir projenin zeminini tanımak güvenli ve ekonomik projelerin yapılmasında fayda sağlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda arazide bir takım zemin çalışmaları yapılmaktadır. Sondaj çalışmaları, jeofizik çalışmalar, zemin parametrelerinin yerinde tespiti için arazi deneyleri ve laboratuvar ortamına taşınan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmaktadır. Bu çalışmalar sayesinde zemin özellikleri belirlenip taşıyabileceği yük miktarının, oluşacak ani ve zamana bağlı oturmaların hesaplanacağı gibi o zeminin deprem durumunda göstereceği davranışa kadar birçok hesaplama ve analizler gerçekleştirilmektedir.

Tez kapsamında Bölüm 2'de inceleme alanı hakkında detaylı bilgiler verilmiştir. İnceleme alanının jeomorfolojik, jeolojik, iklimsel, hidrografik özellikleri ve doğal afet tehlikesinden bahsedilmiştir. Zemin araştırmaları ve bu araştırmalar sonucunda elde edilen zeminin fiziksel ve mekanik parametreleriyle yer altı su seviyesi durumu sunulmuştur. 2018 de yayımlanan Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliğine göre yerel zemin sınıfı belirlenmiştir.

Bölüm 3'te temel zeminine ait taşıma gücü ve oturma değerleri TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır. Proje binasının zemininde açılan sondajlarda sıvılaşma hesapları yapılmıştır ve sıvılaşma riski değerlendirilip elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Bölüm 4'te zemin iyileştirme yöntemleri kapsamında proje binasının zemininde bulunan sıvılaşma probleminin giderilmesi için belirlenen iyileştirme yönteminden bahsedilmiştir. Belirlenen jet grout yöntemiyle oluşturulan kolonlarının tasarım hesapları yapılmıştır ve iyileştirme sonrası sıvılaşma sayısal hesapları yapılıp elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Bölüm 5'te idealize zemin profili belirlenip sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak iki boyutlu ve üç boyutlu olarak modellenmiştir. Modellenen zeminin davranışı ve jet grout kolonlarının davranışı incelenmiştir. Ayrıca dinamik yük etkisi altında zeminin davranışını incelemek amacıyla dinamik analizler gerçekleştirilip sıvılaşma durumu incelenmiştir.

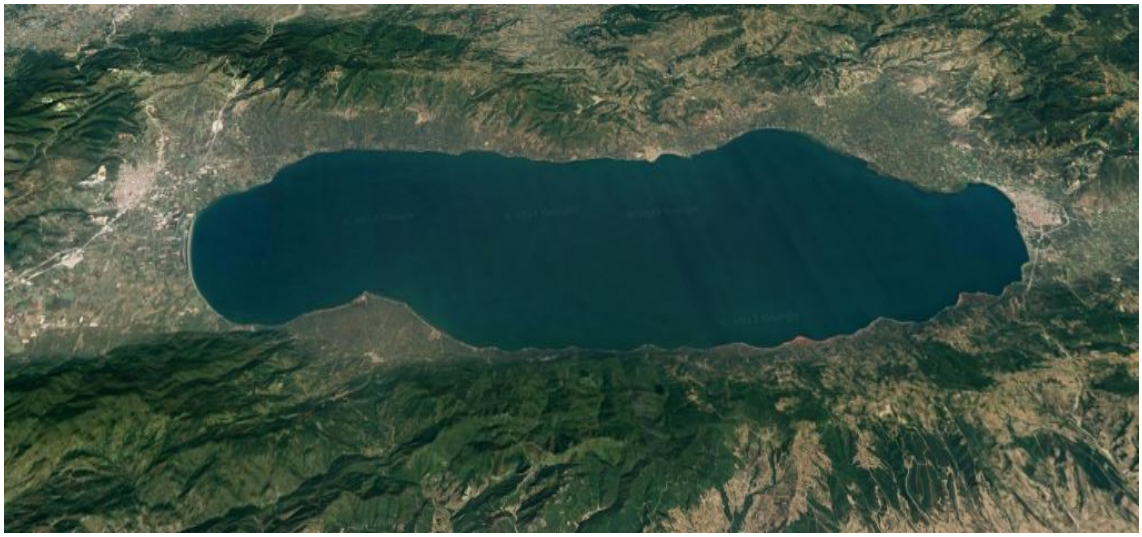
Son bölümde ise elde edilen bulgulardan bahsedilip sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. İNCELEME ALANI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Bu bölümde inceleme alanının jeolojik özellikleri, jeomorfolojik özellikleri, iklim özellikleri, hidrografik özelliklerine, doğal afet tehlikelerine ve ayrıca çalışma sahasında yapılan arazi çalışmalarına ve laboratuvar deneylerine yer verilmiştir.

2.1. İNCELEME ALANININ TANITILMASI

İnceleme alanı İznik Gölü'nün batısında göl havzasında yer almaktadır. İznik Gölü konum olarak Marmara Bölgesinin güneydoğusunda olup Marmara Bölgesinin en büyük gölü ve Türkiye'nin 5. En büyük gölü unvanını taşımaktadır. İznik Gölü kuzeyinde ve güneyinde bulunan dağlarla çevrelenmiştir. (Meriç ve diğerleri, 2009)



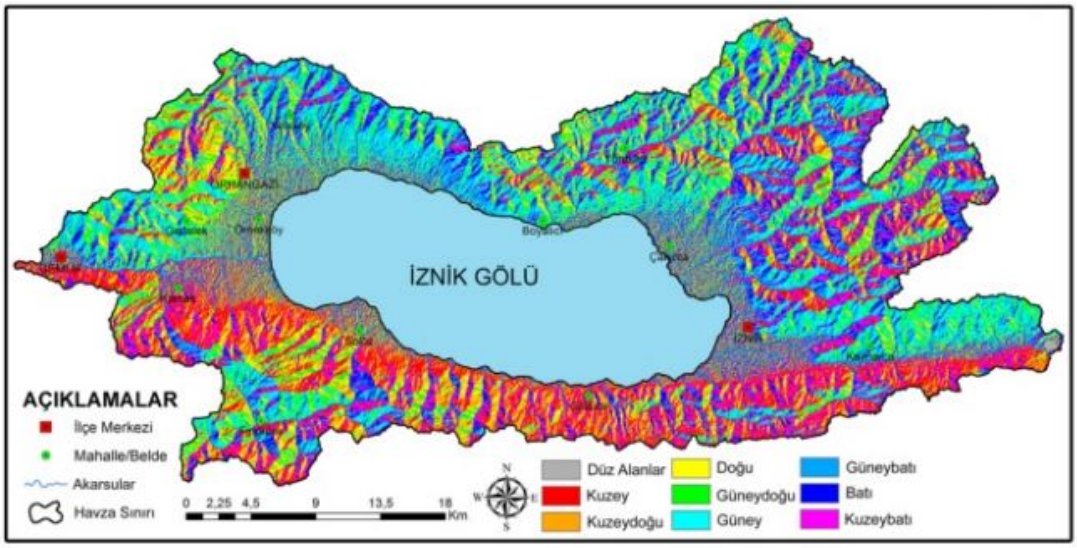
Şekil 2.1. İznik Gölü uydu görüntüsü. (Google Earth, 2020)



Şekil 2.2. Çalışma sahası uydu görüntüsü. (Google Earth, 2020)

2.1.1. Jeomorfolojik Özellikleri

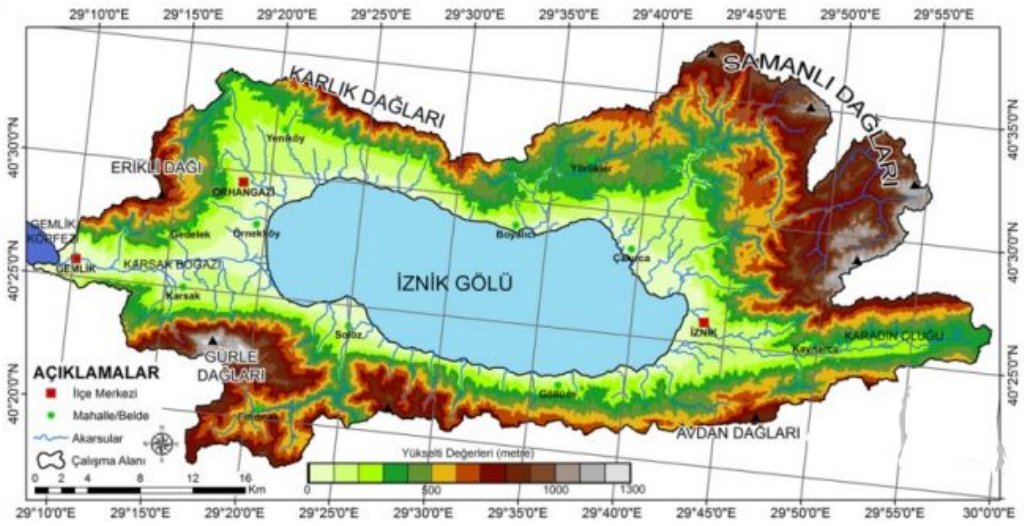
İznik Gölü ve çevresinin jeomorfoloji haritası incelendiğinde, göl çevresinde birçok birim bulunurken çoğunlukla ova ve alüvyal sahalar, göl taraçası, plato sahaları, vadiler, dağlık sahalar gibi birimler bulunmaktadır. Göl Havzası'nda yer alan çalışma sahasının bulunduğu alanın jeomorfolojik birimlerini ise özellikle göl taraçası, ova ve alüvyal sahalar oluşturmaktadır. Ayrıca yamaçların bakı durumu, eş yükselti çizgilerinin dağılışı ile yükselti değerleri ve eğim değerleri incelendiğinde göl çevresinin birçok farklı özellik gösterdiği görülmektedir. (Akbulak, 2006; Ardel, 1954)



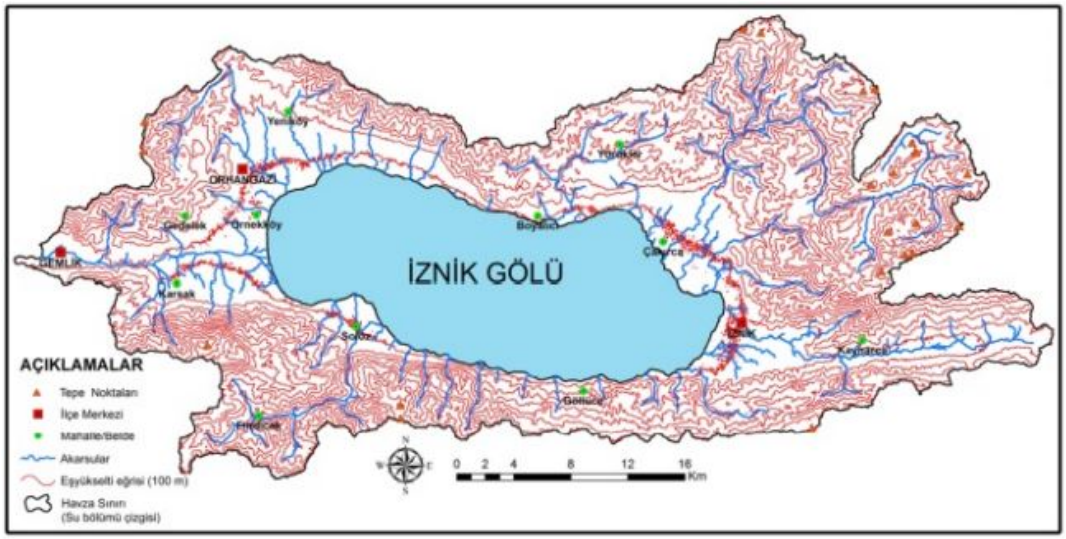
Harita 2.1. İznik Gölü ve çevresinin bakı haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

Bakı haritası incelendiğinde göl çevresinde bütün yönlere dönük yamaçlar bulunmaktadır. Gölün kuzeyindeki dağlık alanlar güneydoğu, güney ve güneybatı yönlü yamaçlar yoğun bir dağılım gösterirken gölün güneyindeki dağlık alanlar ise kuzey, kuzeybatı ve kuzeydoğu yönlü yamaçlar yoğun bir dağılım göstermektedir.

İznik Gölü'nün batısında yer alan çalışma sahasının çoğunlukla düz alanlardan meydana geldiği görülmektedir.



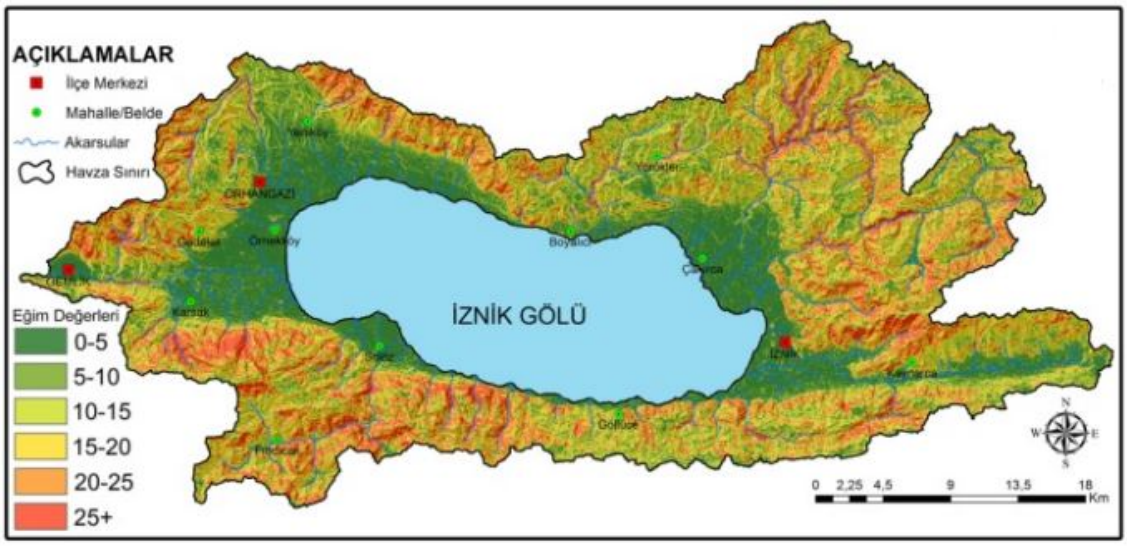
Harita 2.2. İznik Gölü ve çevresinin yükselti değerleri haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).



Harita 2.3. İznik Gölü ve çevresinin topografya haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

Yükselti değerleri ve eş yükselti çizgilerinin dağılışı incelendiğinde İznik Gölü çevresindeki en yüksek yerleri oluşturan dağlık alanların yükseklikleri 1200 metre ile 1300 metre arasında iken en alçak yerleri oluşturan göl kıyıları, Karsak Boğazı ve Gemlik Körfezi deniz seviyesinde (0 m) olduğu gözlemlenmektedir. Gürle Dağlarının tepe noktası 1284 metre yüksekliği ile göl çevresindeki en yüksek yerdir. Göl çevresinin %24,38'ini 0 ile 200 metre aralığındaki yükseltiler, %22,26'sını 200 metre ile 400 metre aralığındaki yükseltiler, %23,95'ini 400 metre ile 600 metre aralığındaki yükseltiler, %16,96'sını 600 metre ile 800 metre aralığındaki yükseltiler, %9,8'ini 800 metre ile 1000 metre aralığındaki yükseltiler ve %2,65'ini 1000 metre ile 1300 metre aralığındaki yükseltiler oluşturmaktadır. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019)

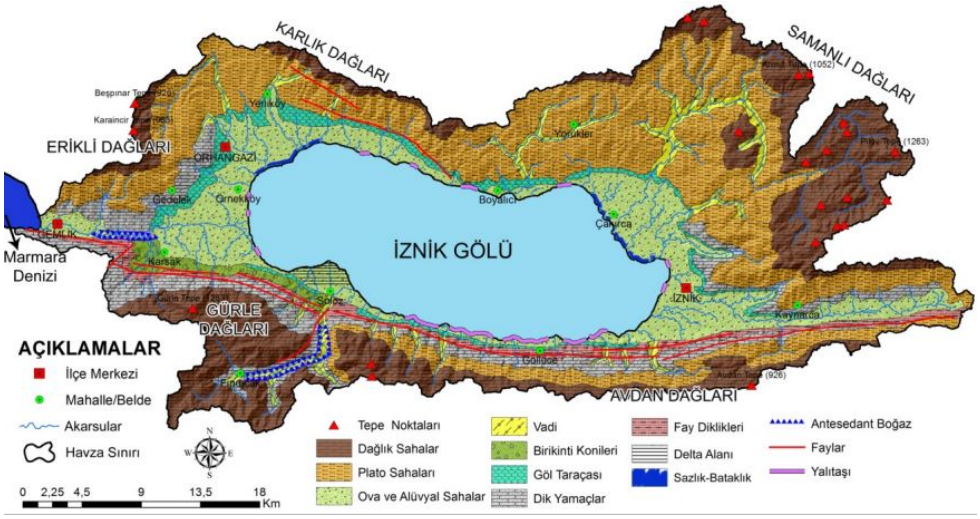
Çalışma sahasının da bulunduğu 0 ile 200 metre aralığındaki yükselti değerleri göl çevresindeki en geniş alanı kapsamaktadır ve ayrıca göl çevresindeki yükselti değerlerinin ortalaması 449,84 metredir.



Harita 2.4. İznik Gölü ve çevresinin eğim haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

Göl ve çevresinin eğim haritası incelenip eğim değerleri değerlendirildiğinde, göl kıyısının yakınlarında yer alan çalışma sahasının da içinde bulunduğu ova ve alüvyal sahalarda eğim değerlerinin %0 ile %5 arasında olduğu görülmektedir. Çalışma sahasının eğim değerlerinden anlaşıldığı gibi düze yakın bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca göl çevresindeki dağlık alanların en yüksek eğim değerlerine sahip olduğu ve bu değerin 60º ye kadar yükselebilmektedir. (Akbulak, 2006)

Göl çevresinin %20'si 0º ile 5º aralığındaki eğim değerlerine sahip kesimler, %18,9'u 5º ile 10º aralığındaki değerlere sahip kesimler, %19,1'i 10º ile 15º aralığındaki eğim değerlerine sahip kesimler, %18'i 15º ile 20º aralığındaki eğim değerlerine sahip kesimler ve %12'si 20º ile 25º aralığındaki eğim değerlerine sahip kesimler oluşturmaktadır. Göl çevresinin %12'sini ise 25º den fazla eğim değerlerine sahip kesimler oluşturmaktadır. (Garipağaoğlu & Uzun, 2019)



Harita 2.5. İznik Gölü ve çevresinin jeomorfoloji haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

İznik Gölü ve çevresinin jeomorfoloji haritası incelendiğinde, gölün kuzeyinde ve doğusunda 1284 metre yüksekliğe sahip Samanlı Dağları yer almaktadır. Gölün kuzeybatısında Karlık Dağları yer alırken batısında 963 metre yüksekliğe sahip Erikli Dağları yer almaktadır. Gölün güneybatısında Gürle Dağları bulunmaktadır. Gölün güneyinde ve güney doğusunda 926 metre yüksekliğe sahip Avdan Dağları yer almaktadır. (Akbulak, 2006; Aydın, 2000; Meşeli, 2010; Pektezel, 2013)

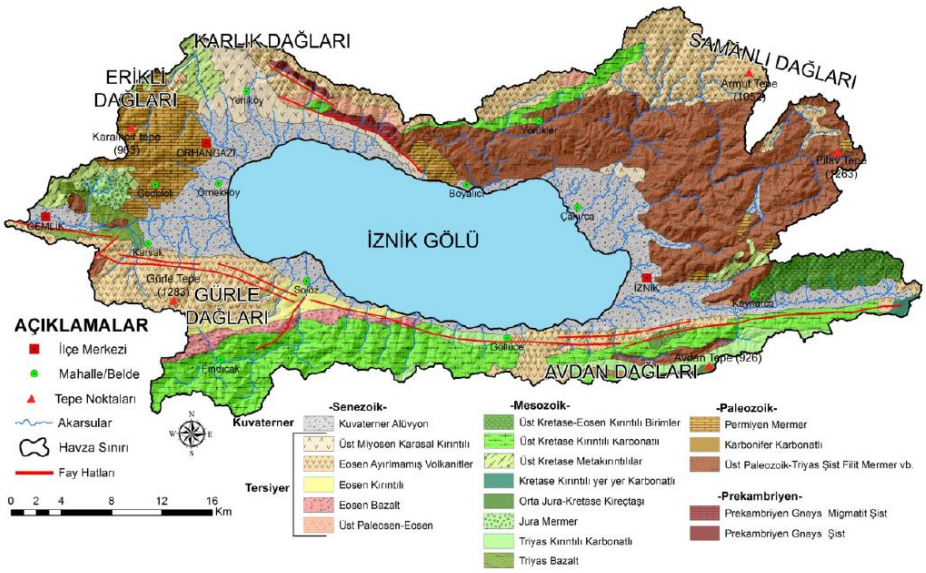
Gölün kuzeyinde plato sahaları geniş alan kapladığı görülmektedir. Gölün batı kıyısı ve doğu kıyısı ova ve alüvyal sahaların büyük bir kısmının yer aldığı görülmektedir. Dik yamaçların çoğunlukla gölün batısında, güneydoğusunda ve güneyinde mevcut olduğu görülmektedir. Göl taraçaları ise gölün kuzeyinde ve özellikle batısında yer aldığı görülmektedir.

2.1.2. Jeolojik Özellikleri

İznik Gölü ve çevresinin jeoloji haritası incelendiğinde, göl çevresinde senozoyik, mesozoyik, paleozoyik ve prekambriyen dönemlerine ait olan birbirinden farklı litolojik birimler bulunmaktadır. Çalışma sahasının da yer aldığı alçak kesimler çoğunlukla senozoyik döneme ait kuvaterner alüvyon birimlerden oluşmaktadır. Kuvaterner alüvyonlar göl çevresindeki 0,8-1,8 milyon yıl öncesine ait en genç yaşlı birimleri oluşturmaktadır. (Bargu, 1982; Bargu & Sakınç, 1989)

Gölün kuzeyindeki yüksek kesimlerde yer alan prekambriyen gnays magmatit şist birimler yaklaşık olarak 2600 milyon yıl öncesine tekabül eden prekambriyen döneme ait birimlerdir. Prekambriyen gnays, magmatit şist göl çevresindeki en yaşlı birimleri oluşturmaktadır. (Bargu, 1982; Bargu & Sakınç, 1989)

Jeoloji haritası incelendiğinde çalışma sahasının bulunduğu alanda kuvaterner alüvyonların, kuzeyinde senozoyik döneme ait üst miyosen karasal kırıntılıların, batısında paleozoyik döneme ait permiyen mermerlerin, güneyinde ise senozoyik döneme ait eosen ayrılmamış volkanitlerin yer aldığı görülmektedir.



Harita 2.6. İznik Gölü ve çevresinin jeoloji haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

2.1.3. İklim Özellikleri

Marmara Bölgesi'nin güneydoğusunda yer alan İznik Gölü ve çevresi Akdeniz Bölgesi'nin iklimi ile Karadeniz Bölgesi'nin iklimi arasında kalmaktadır. Çalışma sahası bu iki iklim tipinin geçiş sahasında yer alsa da Akdeniz Bölgesi'nin iklim tipine daha çok yatkınlık göstermektedir. (Akbulak, 2007; Yazıcı Çapuk, 1999)

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan ve 1928 yılından 2021 yılına kadar bir ölçüm periyoduna sahip illerimize ait genel mevsim istatistikleri çizelgesine göre Bursa iline ait veriler Çizelge 2.1 de sunulmuştur. (MGM)

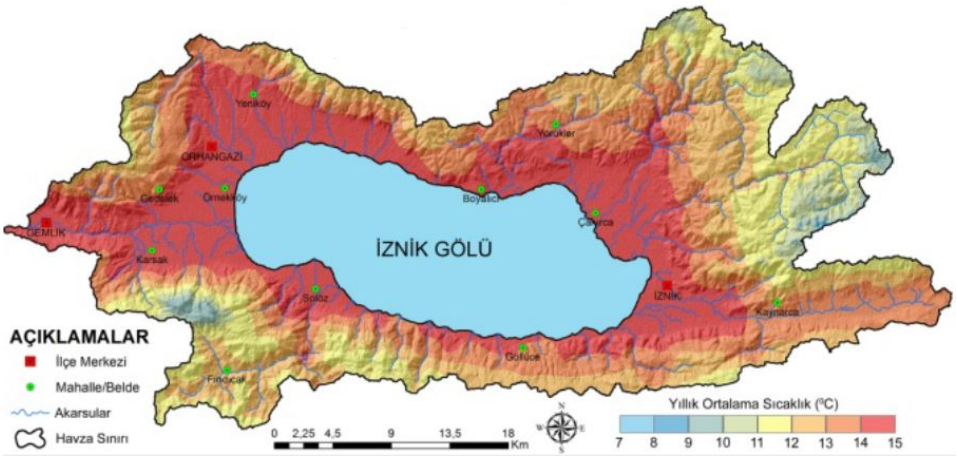
Çizelge 2.1. Bursa iline ait genel mevsim istatistikleri. (MGM)

BURSA	O	Ş	M	N	M	H	T	A	E	E	K	A	Yıllık
	Ölçüm Periyodu (1928 -2021)												
Ortalama Sıcaklık (°C)	5,4	6,2	8,4	12,9	17,7	22	24,5	24,3	20,3	15,6	11,1	7,3	14,6
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9,5	10,9	13,8	18,9	23,9	28,4	30,8	31	27,2	21,9	16,5	11,6	20,4
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	1,7	2,2	3,6	7,2	11,4	15	17,2	17,3	13,7	10,1	6,4	3,6	9,1
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,9	3,5	4,2	5,8	7,8	9,7	10,7	10	7,9	5,5	4	2,9	6,2
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	14,94	13,59	14,47	11,12	10	8,76	3,24	2,88	7,29	11,24	9,59	13,41	120,5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	89,4	75,7	69,9	61,8	50,9	34,8	22,3	18,3	43,7	66,5	76,3	99,9	709,5
	Ölçüm Periyodu (1928 -2021)												
En Yüksek Sıcaklık (°C)	25,2	26,9	32,5	36,2	37	41,3	43,8	42,6	40,3	37,3	31	27,3	43,8
En Düşük Sıcaklık (°C)	-20,5	-19,6	-10,5	-4,2	0,8	4	8,3	7,6	3,3	-1	-8,4	-17,9	-20,5

Çizelge 2.1‘e göre ortalama yıllık en yüksek sıcaklık 20,4 ℃ iken ortalama yıllık en düşük sıcaklık 9,1 ℃ olduğu görülmektedir. Ortalama yıllık sıcaklık değeri 14,6 ℃ olduğu görülmektedir. Genel istatistik verilerine göre 1928 - 2021 yılları arasındaki en yüksek sıcaklık değeri (43,8 ℃) 13.07.2000 tarihinde gerçekleşmiştir. En düşük sıcaklık değeri (-20,5 ℃) ise 24.01.1929 tarihinde gerçekleşmiştir.

Donlu geçen gün sayısı 24 gün ile 31 gün arasında değişiklik gösterirken karlı geçen gün sayısı ise 6 gün ile 10 gün arasında değişmektedir. Ayrıca 80 cm ile en yüksek kar seviyesi 04.01.1942 tarihinde gerçekleşmiştir.

Yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası incelendiğinde, çalışma sahasının bulunduğu özellikle göl kıyılarında sıcaklık değerlerinin en yüksek değerlere (14 ℃ - 15 ℃) ulaştığı görülmektedir. Alçak kesimlerden dağlık kesimlere doğru bu sıcaklık değerlerinin düştüğü görülmektedir. Samanlı Dağları ve Gürle Dağları’nın tepe noktalarına doğru ilerledikçe bu sıcaklık değerlerinin 7 ℃ - 9 ℃ lere kadar gerilediği görülmektedir.

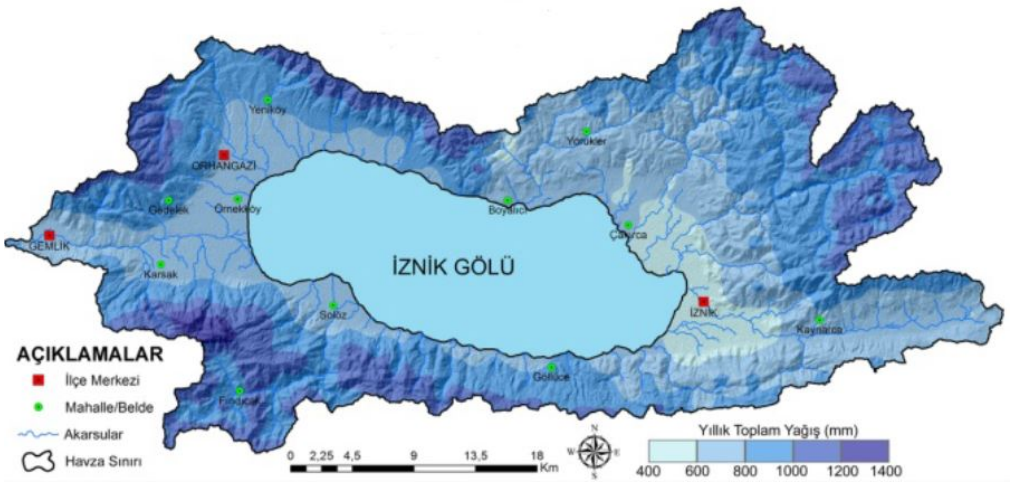


Harita 2.7. İznik Gölü ve çevresinin yıllık ortalama sıcaklık dağılımı haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

Çizelge 2.1'e göre yıllık ortalama yağışlı gün sayısı 120 günden fazla olduğu görülmektedir. En çok toplam yağış miktarı ortalaması 99,9 mm ile aralık aylarında aldığı görülmektedir. Yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 709,5 mm olduğu görülmektedir. Ayrıca günlük toplam en yüksek yağış miktarı 200,9 mm ile 02.07.1942 tarihinde gerçekleşmiştir.

Yıllık toplam yağış miktarı haritası incelendiğinde, İznik Gölü kıyısının batısı ve doğusu arasında farklılıklar olduğu görülmektedir. Çalışma sahasının da bulunduğu gölün batısı 600 mm ile 800 mm arasında yağış almaktadır. Gölün doğusu ise 400 mm ile 600 mm arasında yağış aldığı görülmektedir. Dağlık kesimlerin adlığı yıllık toplam yağış miktarın 1200 mm ile 1400 mm arasında değiştiği görülmektedir.

Yükselti artışının, eğim ve bakı gibi unsurların sıcaklık ve yağış miktarına etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Ayrıca dağların yoğun nem içeren hava kütlelerini engellemesi yağış farklılıklarının oluşmasına büyük etkisinin olduğu görülmektedir.



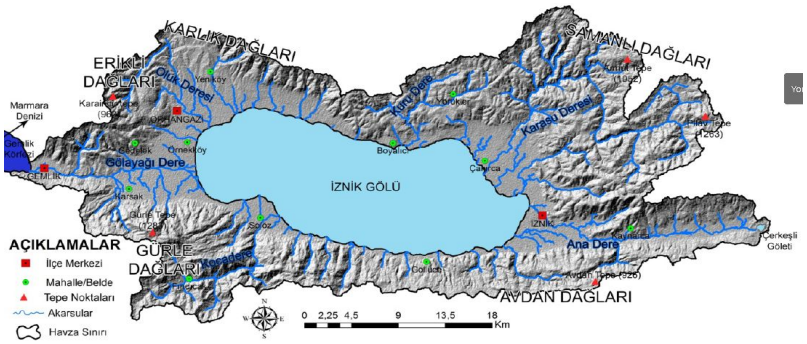
Harita 2.8. İznik Gölü ve çevresinin yıllık toplam yağış miktarı dağılımı haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

2.1.4. Hidrografik Özellikleri

Yaklaşık olarak 302 km^2 alan kaplayan ve bir tatlı su gölü olan İznik Gölü tektonik oluşumlu bir göldür. Derinliği maksimum 70 metre, yüzeyi ise deniz seviyesinden yaklaşık olarak 85 metre yüksektedir. (Meriç ve diğerleri, 2009; Öztürk et al., 2009)

İznik Gölü ve çevresinin hidrografik haritası incelendiğinde, göl çevresinde Oluk Deresi, Kuru Dere, Karasu Deresi, Ana Dere, Kocadere, Gölayağı Deresi gibi önemli akarsuların yanı sıra boyları kısa veya uzun olan birçok akarsuyun mevcut olduğu görülmektedir. Bu akarsular arasında kısa boylu olanlar gölün kuzeyinde ve güneyinde yer aldığı görülmektedir. Yağışlı mevsimlerin etkisiyle akarsu özelliği kazanan bu kısa boylu akarsular kuzey-güney yönlü akış gösterirken uzun boylu akarsuların bulunduğu gölün batısında ve doğusundaki akarsular doğu-batı yönlü bir akış göstermektedir. (Akbulak, 2006)

İznik Gölünü besleyen birçok akarsu mevcut durumdayken gölde oluşan fazla sular Gölayağı Deresi yoluyla Gemlik Körfezi üzerinden Marmara Denizine dökülmektedir.

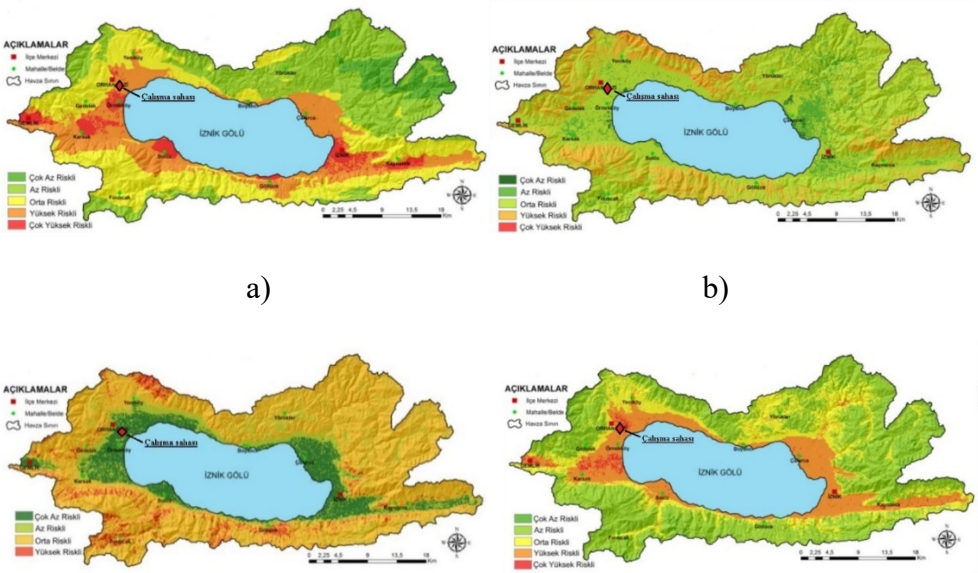


Harita 2.9. İznik Gölü ve çevresinin hidrografik haritası (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

2.1.5. Doğal Afet Tehlikeleri

İznik Gölü ve çevresinin doğal afet risk haritalarına göre çalışma sahasının bulunduğu kısımda deprem riskinin yüksek riskli ve çok yüksek riskli aralığında olduğu görülmektedir. Erozyon riskinin orta riskli olduğu, heyelan riskinin çok az riskli olduğu, sel ve taşkın riskinin ise yüksek riskli ve çok yüksek riskli aralığında olduğu görülmektedir.

Kuzey Anadolu Fay Hattının etkisiyle deprem riski ve çalışma sahasındaki yüzeysel akış sularının sebep olduğu sel ve taşkın riski diğer potansiyel doğal afet unsurlarına kıyasla çalışma sahasında daha çok önem arz doğan afet tehlikelerindendir.



a) b)

c) d)

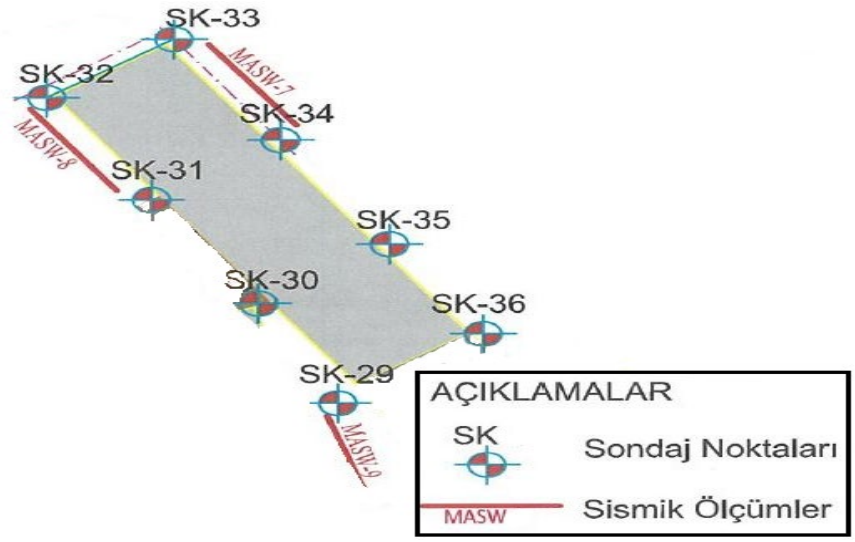
Harita 2.10. Doğal afet risk haritaları a) Deprem b) Erozyon c) Heyelan d) Sel ve taşkın (Garipağaoğlu & Uzun, 2019).

2.2. ZEMİN ARAŞTIRMALARI VE SONUÇLARI

Çalışma sahasının zeminini tanımak maksadıyla arazide ve laboratuvarda olmak üzere zemin araştırmaları yapılmıştır. Bu araştırmalar sayesinde çalışma sahasında yapılacak proje için zemin profili, zemin sınıfı ve zeminin mühendislik özellikleri belirlenmiştir.

2.2.1. Sondaj Çalışmaları

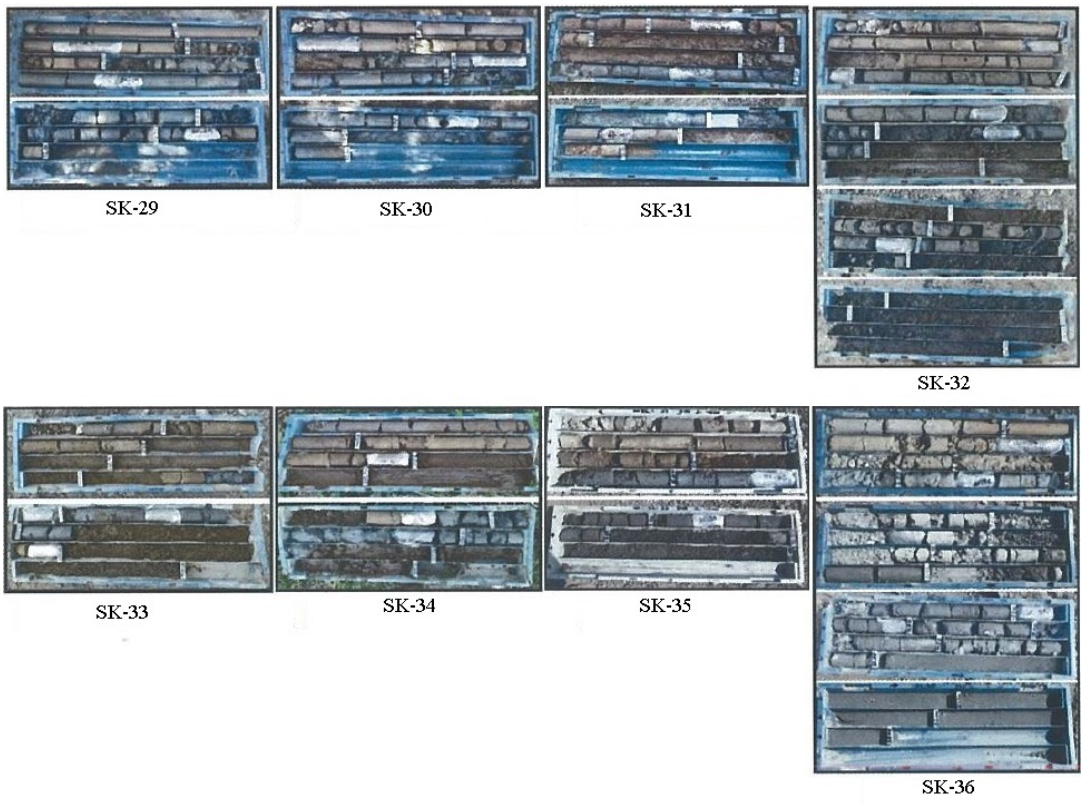
Çalışma sahasında zemin profilinin ve profili meydana getiren birimlerin tayini, örselenmiş ve örselenmemiş numuneler almak maksadıyla hidrolik rotary sondaj makinası kullanılarak derinlikleri 12 metre ile 25 metre arasında değişen ve toplam derinliği 532 metre olan 39 farklı lokasyonda sondaj kuyuları açılmıştır. Araştırma çukuruna gerek duyulmadığından araştırma çukuru açılmamıştır.



Şekil 2.3. Çalışma sahasındaki proje binasına ait sondaj ve jeofizik etütler vaziyet planı.



Şekil 2.4. Çalışma sahasında yapılan bazı sondajlara ait görüntüler.



Şekil 2.5. Sondajlardan alınan karot numuneler.

Çizelge 2.2. Sondaj sonuçları.

Sondaj No	Gözlenen Birimler	Derinlik (m)
SK-29	0,00-0,50 m (Bitkisel Toprak) 0,50-4,50 m (Killi Kum) 4,50-12,00 m (Kum)	12
SK-30	0,00-0,60 m (Bitkisel Toprak) 0,60-5,00 m (Killi Kum) 5,00-12,00 m (Kum)	12
SK-31	0,00-1,00 m (Bitkisel Toprak) 1,00-6,00 m (Kum) 6,00-9,50 m (Kum) 9,50-12,00 m (Kum)	12
SK-32	0,00-0,70 m (Dolgu) 0,70-7,50 m (Kum) 7,50-14,50 m (Kum) 14,50-17,00 m (Kil) 17,00-25,00 m (Kum)	25
SK-33	0,00-0,60 m (Dolgu) 0,60-3,00 m (Killi Kum) 3,00-7,00 m (Kum) 7,00-9,30 m (Kum) 9,30-12,00 m (Kum)	12
SK-34	0,00-0,60 m (Bitkisel Toprak) 0,60-3,00 m (Killi Kum) 3,00-7,00 m (Kum) 7,00-9,50 m (Kum) 9,50-12,00 m (Kum)	12
SK-35	0,00-0,50 m (Bitkisel Toprak) 0,50-4,50 m (Killi Kum) 4,50-9,00 m (Kum) 9,00-12,00 m (Kum)	12
SK-36	0,00-0,50 m (Bitkisel Toprak) 0,50-5,00 m (Killi Kum) 5,00-21,00 m (Kum) 21,00-25,00 m (Kum)	25

Çizelge 2.2'ye göre proje binasının zemininde gözlenen birimler, yüzeyden derine ilerledikçe yaklaşık 1,00 metreye kadar bitkisel toprak, dolgu görülmektedir. Yaklaşık olarak 5,00 metreye kadar kimi yerlerde kum birimler görülürken kimi yerlerde killi kum birimler görülürken 5,00 metreden sonra 25,00 metreye kadar ise çoğunlukla kum birim görülmektedir.

2.2.2. Jeofizik Çalışmaları

Çalışma sahasında zeminlerin dinamik özelliklerinin (yoğunluk, kayma modülü, bulk modülü, poisson oranı, young modülü, zemin hakim titreşim periyodu) yerinde belirlenmesi maksadıyla jeofizik deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda çalışma sahasında 10 adet sismik MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) ölçümü gerçekleştirilmiştir.

Şekil 2.3'e göre proje binasının çevresinde MASW-7, MASW-8 ve MASW-9 sismik ölçümleri gerçekleştirilmiştir.



a) b) c)

Şekil 2.6. Çalışma sahasında gerçekleştirilen bazı sismik MASW ölçümlerine ait görüntüler a) MASW-7 b) MASW-8 c) MASW-9.

Çalışma sahasında yapılan jeofizik deneyler kapsamında proje binasının çevresinde yapılan sismik MASW ölçümlerinde 30 metre derinlik boyunca oluşan ortalama $Vs_{(30)}$ değerleri bulunmuştur. $Vs_{(30)}$ değerleri MASW-7 ölçümü için 281,6 m/s, MASW-8 ölçümü için 297,9 m/s ve MASW-9 ölçümü için 271,9 m/s olarak bulunmuştur. Derinlikle artış gösteren $Vs_{(30)}$ değeri bu üç sismik ölçümün ortalaması olan 283,8 m/s olarak elde edilmiştir.

MASW ölçümlerinin analizleri sonucunda MASW-7, MASW-8, MASW-9 için elde edilen proje binası zemininin dinamik parametreleri Çizelge 2.3'te sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Sismik ölçüm profillerine ait dinamik paramatreler.

		MASW-7	MASW-8	MASW-9	
BOYUNA (P) DALGA HIZI	V_{p1}	450	466	499	m/sn
	V_{p2}	695	705	725	m/sn
	V_{p3}	1411	1333	1400	m/sn
ENİNE (S) DALGA HIZI	V_{s1}	209	201	216	m/sn
	V_{s2}	272	258	274	m/sn
	V_{s3}	502	506	402	m/sn
HIZ ORANI	V_{p1}/V_{s1}	2,15	2,32	2,31	
	V_{p2}/V_{s2}	2,56	2,73	2,65	
	V_{p3}/V_{s3}	2,81	2,63	3,48	
YOĞUNLUK	ρ_1	1,43	1,44	1,47	gr/cm^3
	ρ_2	1,59	1,60	1,61	gr/cm^3
	ρ_3	1,90	1,87	1,90	gr/cm^3
KAYMA MODÜLÜ	G_1	623,67	581,90	683,59	kg/cm^2
	G_2	1177,59	1063,28	1207,67	kg/cm^2
	G_3	4787,96	4795,90	3064,40	kg/cm^2
ELASTİSİTE MODÜLÜ	E_1	1699,49	1612,70	1893,14	kg/cm^2
	E_2	3319,79	3025,43	3421,77	kg/cm^2
	E_3	13670,02	13580,31	8917,84	kg/cm^2
POİSSON ORANI	ν_1	0,362	0,386	0,385	
	ν_2	0,410	0,423	0,417	
	ν_3	0,428	0,416	0,455	
BULK MODÜLÜ	K_1	2059,71	2351,87	2736,83	kg/cm^2
	K_2	6118,12	6521,68	6844,94	kg/cm^2
	K_3	31442,66	26889,01	33080,47	kg/cm^2
KALINLIK	h_1	1,18	2,17	1,72	m
	h_2	3,99	3,53	4,08	m
ZEMİN H. TİTREŞİM PERİYODU	T_o	0,44	0,45	0,53	sn
ZEMİN EMNİYET GERİLMESİ	q_{s1}	1,39	1,25	1,37	kg/cm^2
	q_{s2}	1,69	1,51	1,67	kg/cm^2
	q_{s3}	3,39	3,60	2,19	kg/cm^2
ZEMİN TAŞIMA GÜCÜ	q_{u1}	2,98	2,90	3,16	kg/cm^2
	q_{u2}	4,33	4,12	4,41	kg/cm^2
	q_{u3}	9,54	9,48	7,62	kg/cm^2
ZEMİN OTURMASI	S_1	2,634	2,693	2,508	cm
	S_2	1,956	2,043	1,932	cm
	S	1,047	1,047	1,282	cm

2.2.3. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

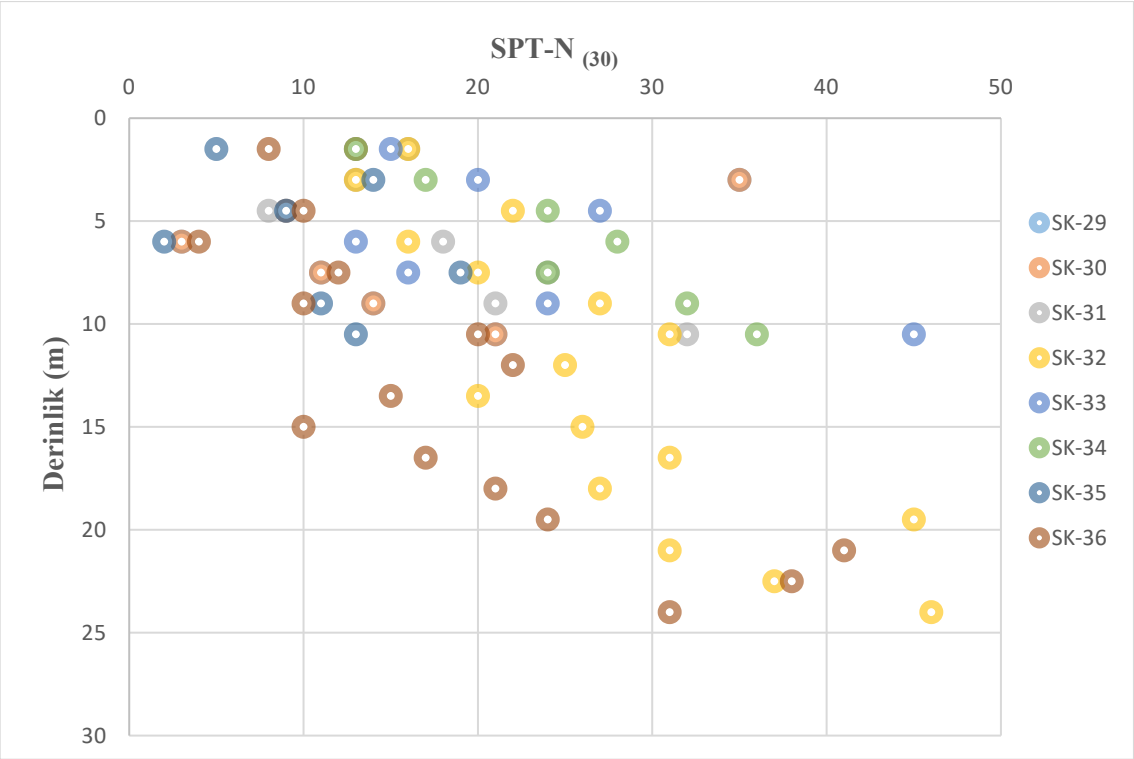
Proje binasının çevresinde yapılan sondajlarda her 1,5 metre derinlikte bir Standart Penetrasyon Deneyi yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen SPT-N $_{(30)}$ değerleri Çizelge 2.4'te sunulmuştur.

Çizelge 2.4. Sondajlarda yapılan SPT deneylerinden elde edilen SPT-N değerleri.

Derinlik (m)	SK-29	SK-30	SK-31	SK-32	SK-33	SK-34	SK-35	SK-36
1,50-1,95	13	5	16	16	15	13	5	8
3,00-3,45	35	15	13	13	20	17	14	R
4,50-4,95	9	6	8	22	27	24	9	10
6,00-6,45	3	13	18	16	13	28	2	4
7,50-7,95	11	16	24	20	16	24	19	12
9,00-9,45	14	12	21	27	24	32	11	10
10,50-10,95	21	17	32	31	45	36	13	20
12,00-12,45	-	-	-	25	-	-	-	22
13,50-13,95	-	-	-	20	-	-	-	15
15,00-15,45	-	-	-	26	-	-	-	10
16,50-16,95	-	-	-	31	-	-	-	17
18,00-18,45	-	-	-	27	-	-	-	21
19,50-19,45	-	-	-	45	-	-	-	24
21,00-21,45	-	-	-	31	-	-	-	41
22,50-22,95	-	-	-	37	-	-	-	38
24,00-24,95	-	-	-	46	-	-	-	31

Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018 'e göre R değeri 15 cm'lik penetrasyonun 50 vuruşu aşması veya son iki 15 cm'lik vuruşun toplamı 100'e eşit veya 100'ü aştığı durumda ilgili derinlikteki SPT-N değeri refü (R) olarak adlandırılır.

Çizelge 2.4 incelendiğinde elde edilen SPT-N $_{(30)}$ değerleri 2 ile R arasında değişmektedir. SPT-N $_{(30)}$ değerlerinin derinlikle değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, proje binasının çevresindeki sondaj noktalarına bağlı olarak derinlik arttıkça SPT-N $_{(30)}$ değerleri kısmen artsa da aynı seviyedeki değerler arasında geniş bir değişim aralığı bulunmaktadır. Örneğin 10 m derinlik seviyesine bakıldığında SPT-N $_{(30)}$ değerleri 13 ile 45 arasında değişmektedir. Bu değerlerden temel zemininin heterojen bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2.7. SPT-N (30) değerlerinin derinlikle değişimi.

2.2.4. Presiyometre Deneyi

Proje binasının çevresinde açılan her sondaj kuyusunda farklı derinliklerde Presiyometre deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden sonucunda elde edilen Elastisite Modülü ve Limit Basınç değerleri ile hesaplanan Net Limit Basınç ve E / PL değerleri ilgili derinliklerle beraber Çizelge 2.5'te sunulmuştur.



Şekil 2.8. Çalışma sahasında yapılan bazı Presiyometre deneylerine ait görüntüler.

Çizelge 2.5. Presiyometre deneyleri sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	Elastisite Modülü, E (kg/cm2)	Limit Basınç, PL (kg/cm2)	Net Limit Basınç, PL* (kg/cm2)	E/PL
SK-29	4,50	170	12,03	11,41	14,13
	7,50	367	22,93	17,40	16,01
SK-30	3,00	234	20,95	17,28	11,17
	6,00	334	14,80	11,41	22,57
SK-31	3,00	158	12,72	10,33	12,42
	6,00	129	14,26	11,63	9,05
SK-32	3,00	175	17,09	13,46	10,24
	18,00	1497	27,96	24,37	53,54
SK-33	3,00	177	19,85	17,27	8,92
	7,50	636	28,47	24,82	22,34
SK-34	3,00	129	14,32	9,71	9,01
	6,00	212	15,94	11,40	13,30
SK-35	3,00	228	19,73	16,09	11,56
	73,50	547	19,84	14,52	27,57
SK-36	3,00	277	15,21	11,58	18,21
	18,00	815	25,48	21,95	31,99

2.2.5. Yeraltı Su Seviyesi Ölçümü

Yeraltı su seviyesi (YASS) ölçümleri elektronik kuyumetre ile ölçülmüştür. Yapılan su seviyesi ölçümünden sonra kuyu içindeki sular bailer kovası ile boşaltılarak yeni ölçülen su seviyeleri kaydedilip ve bir sonraki tarihte yapılan ölçümlerdeki su seviyesinin değişimi not edilmiştir. 5 farklı tarihte ölçümler gerçekleştirilmiştir. Yeraltı su seviyesinin 2,90 metre ile 3,60 metre arasında değiştiği gözlemlenmiştir.



Şekil 2.9. Çalışma sahasında yapılan bazı YASS ölçümlerine ait görüntüler.

Çizelge 2.6. YASS ölçüm sonuçları.

Sondaj No	Derinlik (m)	1.ölçüm	2.ölçüm	3.ölçüm	4.ölçüm	5.ölçüm
SK-29	12,00	3,40	3,20	3,15	3,15	3,15
SK-30	12,00	3,60	3,40	3,20	3,20	3,20
SK-31	12,00	2,95	3,15	3,00	3,00	3,00
SK-32	25,00	3,50	3,55	3,45	3,45	3,45
SK-33	12,00	3,15	3,10	2,90	2,95	2,95
SK-34	12,00	3,25	3,30	3,10	3,10	3,10
SK-35	12,00	3,10	3,10	3,10	3,10	3,10
SK-36	25,00	3,30	3,40	3,20	3,10	3,10

2.2.6. Laboratuvar Deneyleri

Çalışma sahasında açılmış olan sondajlardan zeminin mühendislik parametrelerinin belirlenmesi amacıyla numuneler alınmış ve bu numuneler doğal özellikleri kaybetmeden laboratuvar ortamına taşınmıştır.

Numuneler üzerinde zeminlerin fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için zemin sınıflandırma deneyleri ve zemin sıkıştırma deneyleri yapılmıştır. Bu bağlamda elek analizi, Atterberg limitleri, su muhtevası tayini, doğal birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin tayini ve özgül ağırlık deneyleri gibi bir takım laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca zeminlerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi için numuneler üzerinde üç eksenli ve direk kesme deneyleri yapılmıştır.

Laboratuvarda ortamında gerçekleştirilen deney sonuçları Çizelge 2.7 ve Çizelge 2.8'de sunulmuştur.

Çizelge 2.7. Laboratuvar deneyleri sonuçları (Fiziksel özelliklerin tayini).

Sondaj No	Derinlik (m)	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Atterberg Limitleri *(%)*			Wn (%)	γn (gr/cm^3)	γk (gr/cm^3)
						LL	*PL*	*PI*			
	3,00	21,24	60,01	18,75			NP				
	6,00	0,00	26,03	73,97							
SK-29	6,50-7,00								12,0	1,830	1,624
	9,00	39,12	54,10	6,78							
	11,60-11,80								18,2	1,940	1,641
	2,60-2,80								19,6	1,942	1,623
	3,00	20,82	58,56	20,62			NP				
	6,00	0,00	30,15	69,85							
SK-30	6,50-6,80								21,0	1,903	1,576
	9,00						NP				
	9,50-9,60								9,1	1,827	1,678
	3,50								10,6	1,810	1,638
SK-31	4,50	0,00	31,94	68,06		32,60	21,00	11,60			
	7,00								13,6	1,812	1,579
	3,00								11,1	1,805	1,635
	4,50	0,00	59,93	40,07							
	4,50										
	7,50	38,25	35,30	26,45			NP				
SK-32	9,00								23,7	1,871	1,511
	10,50	27,28	60,47	12,25							
	13,50	0,00	96,20	3,80							
	16,50	0,00	82,60	17,40			NP				
	16,50										
	4,50	0,00	93,33	6,67			NP				
	8,00								11,2	1,823	1,643
SK-33	7,50					42,50	25,00	17,50			
	9,00								13,5	1,822	1,604
	10,50	0,00	81,26	18,74			NP				
	3,00								18,8	1,811	1,532
	4,50						NP				
SK-34	7,50								10,5	1,812	1,643
	9,00										
	10,50						NP				
SK-35	2,50-2,80								19,1	1,888	1,587
	8,00-8,10								16,4	1,817	1,560
	2,70-3,00								19,4	1,935	1,622
	10,00-10,30								19,1	1,841	1,543
SK-36	13,00-13,20	0,00	55,76	44,24			NP				
	21,00	0,00	93,07	6,93							
	21,50-22,00	0,00	31,39	68,61			NP				

Çizelge 2.8. Laboratuvar deneyleri sonuçları (Mekanik özelliklerin tayini).

Sondaj No	Derinlik (m)	Üç Eksenli		Direk Kesme	
		c (kPa)	ϕ (º)	*c (kPa)*	ϕ (º)
SK-29	6,50-7,00			6,48	21,82
	11,60-11,80	76,83	16,86		
SK-30	2,60-2,80	97,70	14,97		
	6,50-6,80	54,93	13,26		
	9,50-9,60			6,48	19,96
SK-31	3,50			5,48	23,08
	7,00			7,48	23,63
SK-32	3,00			4,98	24,79
	4,50				
SK-33	8,00			10,97	22,03
	9,00			3,73	21,00
SK-34	3,00			44,68	18,38
	7,50			2,98	22,45
SK-35	2,50-2,80			38,19	14,78
	8,00-8,10	58,68	11,18		
SK-36	2,70-3,00	102,73	17,58		
	10,00-10,30			48,67	13,78

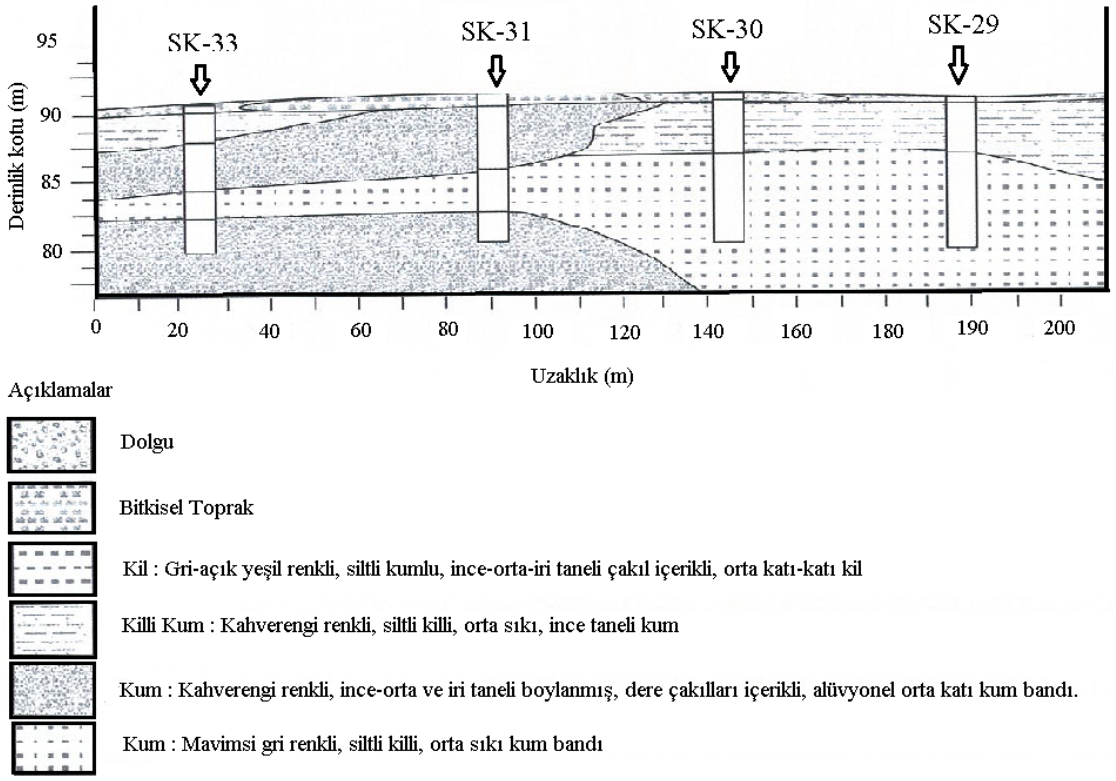
Proje binasının çevresinden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneyleri incelendiğinde, zeminde kum ve kil oranının yüksek olduğu görülmektedir. Plastisite indisinin 11,60 ile 17,50 arasında olduğu gibi plastik olmayan birimlerinde mevcut olduğu görülmektedir. Burnister, plastisite indisinin 10-20 arasında değerler alan zeminleri Orta Plastisiteli olarak tanımlamıştır. (Burmister, 1950)

Birleştirilmiş Zemin Sınıflamasına göre çakıllı-killi kum, kumlu kil, düşük plastisiteli kumlu kil, killi kum, killi kumlu çakıl, düşük plastisiteli kil olarak tanımlanmaktadır.

Üç eksenli deneyler sonucunda kohezyon (c) 54,93 kPa ile 102,73 kPa değer aralığında, içsel sürtünme açısı (ϕ) 11,18º ile 17,58º değer aralığında çıkmıştır. Direk kesme deneyi sonucuna göre ise kohezyon (c) 2,98 kPa ile 48,67 kPa değer aralığında, içsel sürtünme açısı (ϕ) 13,78º ile 24,79º değer aralığında çıkmıştır.

2.2.7. Çalışma Sahasının Mühendislik Jeolojisi

Proje binasından geçen jeolojik kesit incelendiğinde, zemin yüzeyinden derine doğru ilerledikçe 1,00 metre ile 1,50 metre derinliğine kadar değişen seviyelerde dolgu, 5,00 metre ile 6,00 metre derinliğine kadar bazı kuyularda kahverengi renkli, siltli killi, orta sıkı, ince taneli kum yer alırken bazı kuyularda ise kahverengi renkli, ince-orta ve iri taneli boylanmış, dere çakılları içerikli, alüvyonel orta katı kum bandı görülmektedir. 6,00 metre derinlikten sonra bazı yerlerde kahverengi renkli, ince-orta ve iri taneli boylanmış, dere çakılları içerikli, alüvyonel orta katı kum bandı görülürken bazı yerlerde ise mavimsi gri renkli, siltli killi, orta sıkı kum bandı görülmektedir. Ayrıca derinliği 25,00 metre olan kuyularda çoğunlukla 16,50 metre seviyesinden sonra yeşilimsi mavi ve kimi bölgelerde açık sarı renkli siltli kil birim izlenmiştir.



Şekil 2.10. Proje binasından geçen jeolojik kesit.

2.2.8. Yerel Zemin Sınıfının Belirlenmesi ve Depremsellik

Proje binasının bulunduğu zeminin yerel zemin sınıfı Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e göre belirlenmiştir. Jeofizik deneylerden elde edilen $Vs_{(30)}$ değeri ile $N_{60(30)}$ (darbe/30 cm) ve $c_{u(30)}$ değerleri kullanarak yerel zemin sınıfı seçilmiştir. (TBDY, 2018)

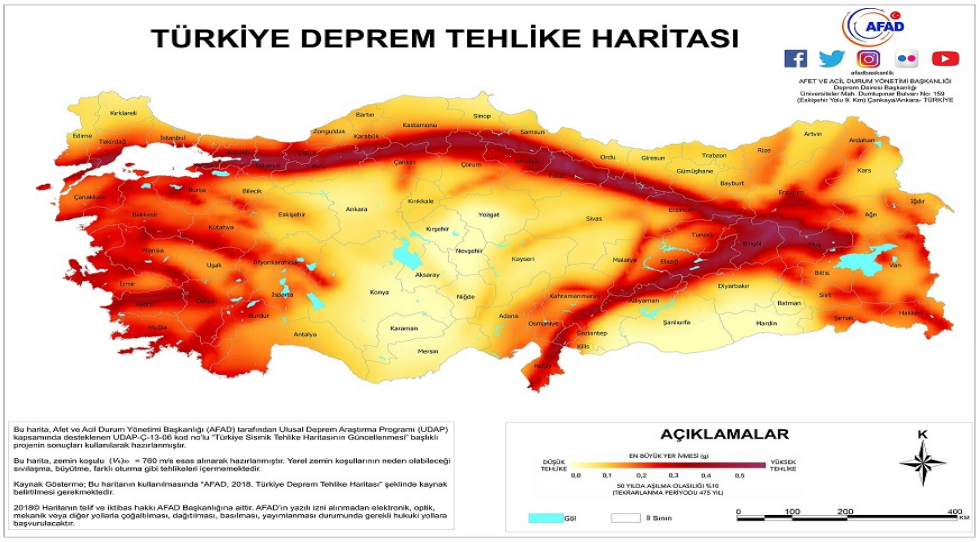
Çizelge 2.9. Yerel zemin sınıfı. (TBDY, 2018)

Yerel Zemin Sınıfı	**Zemin Cinsi**	**Üst 30 metrede ortalama**		
		$(Vs)_{30}$ (m/s)	**$(N_{60})_{30}$ (darbe/30 cm)**	**$(c_u)_{30}$ (kPa)**
ZA	Sağlam, sert kayalar	>1500	-	-
ZB	Az ayrışmış, orta sağlam kayalar	760-1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları	360-760	>50	>250
ZD	Orta sıkı-sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180-360	15-50	70-250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak-katı kil tabakaları veya PI>20 ve W>%40 koşullarını sağlayan toplam 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası (c_u>25kPa) içeren profiller	<180	<15	<70
ZF	Sahaya özel araştırma ve Değerlendirme gerektiren zeminler;			
	1)Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşabilir zeminler, yüksek derecede hassas killer, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.),			
	2)Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killer,			
	3)Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli (PI>50) killer,			
	4)Çok kalın (>35m) yumuşak veya orta katı killer			

Jeofizik deneylerden elde edilen $Vs_{(30)}$ değeri 283,8 m/s, SPT deney sonuçlarının düzeltilmiş $N_{60(30)}$ değeri 18,759 (darbe/30 cm) ve $c_{u(30)}$ değeri ise 16,37 olarak hesaplanmıştır.

Bu veriler dikkate alındığında TBDY 2018 yerel zemin sınıflandırma tablosuna göre yerel zemin sınıfı ZD olarak belirlenmiştir.

Türkiye Deprem Tehlike Haritası esas alınarak belirlenen deprem yer hareketine ilişkin bilgiler Çizelge 2.10'da sunulmuştur.



Harita 2.11. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018).

Çizelge 2.10. TBDY 2018'e göre belirlenen parametreler. (TBDY, 2018)

Tasarım Depremi	DD-2 (475 yıl)	
Yerel Zemin Sınıfı	ZD	
En Büyük Yer İvmesi	PGA	0,455
En Büyük Yer Hızı (cm/sn)	PGV	28,990
Kısa Periyot Harita Spektral İvme Katsayısı	S_S	1,095
1,0sn Periyot Bölgesi için Harita Spektral İvme Katsayısı	S_1	0,298
Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{DS}	1,163
1,0sn Periyot için Tasarım Spektral İvme Katsayısı	S_{D1}	0,597
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrum Köşe Periyodu	T_A	0,103
Yatay Elastik Tasarım İvme Spektrum Köşe Periyodu	T_B	0,514
Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrum Köşe Periyodu	T_{AD}	0,034
Düşey Elastik Tasarım İvme Spektrum Köşe Periyodu	T_{BD}	0,171
Yatay Elastik Spektral İvmesi Sabit Yer Değiştirme Bölgesine Geçiş Periyodu	T_L	6,00
Düşey Elastik Spektral İvmesi Sabit Yer Değiştirme Bölgesine Geçiş Periyodu	T_{LD}	3,00

3. YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN İRDELENMESİ

3.1. TEMEL SİSTEMİNE İLİŞKİN HESAPLAMALAR

Bu bölümde temel zemini taşıma gücü ve oturma açısından değerlendirilip, bu yönde yapılan hesaplamalar sunulmuştur. Çalışma sahasında yapılara denk gelen sondajlar dikkate alınarak, G+Q+E yükleme durumu için taşıma gücü kontrolleri yapılmıştır. Ayrıca G+Q yükleme durumu için oturma hesapları gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalar 2018'de yayımlanan Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği baz alınarak yapılmıştır (TBDY, 2018). Taşıma gücü ve oturma hesapları proje binasının çevresinde yer alan SK-29 numaralı sondaj verileri kullanılarak yapılmıştır.

3.1.1. Taşıma Gücü Hesabı

TBDY 2018'de sunulan taşıma gücü hesaplarında statik ve deprem etkisini içeren yükleme durumu için Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 ifadelerini sağlaması koşulu bulunmaktadır. (TBDY, 2018)

$$q_0 \leq q_t \tag{3.1}$$

$$q_t = \frac{q_k}{\gamma_{Rv}} \tag{3.2}$$

Burada q_0 temel seviyesine etkiyen düşey yük, kesme kuvveti ve moment etkilerinin oluşturduğu temel taban basıncıdır, q_t ise tasarım dayanımı olarak verilmektedir. Yük katsayıları ile çarpılmış tüm yükler için tasarım dayanımı, Çizelge 3.1'de verilen dayanım katsayısı γ_R değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1. Yüzeysel temeller için dayanım katsayıları. (TBDY, 2018)

Dayanım Türü	Dayanım Katsayısı Simgesi	Dayanım Katsayısı Değeri
Temel Taşıma Gücü	γ_{Rv}	1,4
Sürtünme Direnci	γ_{Rv}	1,1
Pasif Direnç	γ_{Rv}	1,4

Taşıma gücünün karakteristik dayanımı q_k Denklem 3.3 ile hesaplanmıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$q_k = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0{,}5\gamma B' N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma \quad (3.3)$$

Burada;

B = Temel genişliği, m

L = Temel uzunluğu, m

c = Kohezyon, kPa

ϕ = Kayma mukavemet açısı, º

D_f = Temel gömülü minimum derinlik, m

γ = Özgül ağırlık, ton/m^3

σ_v = Düşey gerilme, ton/m^3

β = Yer eğim açısı, º

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları

s_c, s_q, s_γ : Temel şekli katsayıları

d_c, d_q, d_γ : Derinlik katsayıları

i_c, i_q, i_γ : Yükleme eğim katsayıları

g_c, g_q, g_γ : Temel zemini eğim katsayıları

b_c, b_q, b_γ : Temel taban eğimi katsayıları

TBDY 2018'e göre taşıma gücü katsayılarını hesaplamak için Denklem 3.4, Denklem 3.5 ve Denklem 3.6'daki bağlantılar kullanılmıştır.

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} \times tan^2(45 + \phi/2) \quad (3.4)$$

$$N_c = \left(N_q - 1\right) \times cot\, \phi \quad (3.5)$$

$$N_\gamma = 2 \times (N_q - 1) \times tan\, \phi \quad (3.6)$$

Vesic (1975) temel şekillerinin çok geniş bir aralığını göz önünde bulundurmuş ve temel şekil katsayılarını Denklem 3.7, Denklem 3.8 ve Denklem 3.9'daki bağıntılarla tanımlamıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$s_q = 1 + ({}^{B}/_{L}) \times (tan\,\phi) \tag{3.7}$$

$$s_c = 1 + ({}^{B}/_{L}) \times ({}^{N_q}/_{N_c}) \tag{3.8}$$

$$s_\gamma = 1 - 0{,}4 \times ({}^{B}/_{L}) \tag{3.9}$$

${}^{B}/_{L}$'nin 0 olduğu durumlarda s faktörleri 1'e eşittir. (Önalp & Sert, 2006)

Vesic (1975) temel derinlik katsayılarını Denklem 3.10, Denklem 3.11 ve Denklem 3.12'daki bağıntılarla tanımlamıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$d_q = 1 + 2 \times k \times tan\,\phi \times (1 - sin\,\phi)^2 \tag{3.10}$$

$$d_c = 1 + 0{,}4 \times k \tag{3.11}$$

$$d_\gamma = 1 \tag{3.12}$$

$$k = tan^{-1}({}^{D_f}/_{B}) \tag{3.13}$$

${}^{D_f}/_{B} > 1$ olduğu durumda Denklem 3.13 kullanılmaktır.

Vesic (1975) yük eğim katsayılarını Denklem 3.14, Denklem 3.15 ve Denklem 3.16'deki bağıntılarla tanımlamıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$i_q = [1 - {}^{V}/_{P} + A \times {}^{c}/_{tan\,\phi}]^m \geq 0 \tag{3.14}$$

$$i_c = 1 - {}^{mV}/_{c \times A \times N_c} \geq 0 \tag{3.15}$$

$$i_\gamma = [1 - {}^{V}/_{P} + A \times {}^{c}/_{tan\,\phi}]^{m+1} \geq 0 \tag{3.16}$$

B yönünde eğimli yükler için Denklem 3.17 kullanılmaktadır. (Önalp & Sert, 2006)

$$m = {(2 + {B}/{L})}/{(1 + {B}/{L})} \tag{3.17}$$

L yönünde eğimli yükler için Denklem 3.18 kullanılmaktadır. (Önalp & Sert, 2006)

$$m = {(2 + {L}/{B})}/{(1 + {L}/{B})} \tag{3.18}$$

A: Temelin taban alanı

V: Uygulanan kesme yükü

P: Uygulanan normal yük

Yükün temel tabanına dik etkimesi durumunda i faktörleri 1'e eşit olup ihmal edilebilir. Ayrıca $\phi = 0$ iken i faktörleri 1'e eşittir. (Önalp & Sert, 2006)

Vesic (1975) temel zemini eğim katsayılarını Denklem 3.19 ve Denklem 3.20'deki bağıntılarla tanımlamıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$g_q = g_\gamma = (1 - tan\,\beta)^2 \tag{3.19}$$

$$g_c = 1 - {\beta}/{147°} \tag{3.20}$$

Zemin yüzeyi düz ise ($\beta = 0$), g faktörleri 1'e eşit olur ve ihmal edilebilir.

Vesic (1975) taban eğimi katsayılarını Denklem 3.21 ve Denklem 3.22'deki bağıntılarla tanımlamıştır. (Önalp & Sert, 2006)

$$b_q = b_\gamma = (1 - {\alpha \times tan\,\phi}/{57°})^2 \tag{3.21}$$

$$b_c = 1 - {\alpha}/{147°} \tag{3.22}$$

α : Temel taban eğimi

Temelin tabanı düz ise, b faktörlerinin tümü 1'e eşit olur ve ihmal edilebilir.

Proje binası taşıma gücü hesabı için kullanılan değerler;

B : Temel genişliği	= 4	m
L : Temel uzunluğu	= 4	m
c : Kohezyon	= 6,48	kPa
ϕ : İçsel sürtünme açısı	= 19,34	^{o}
D_f : Temel gömülü min. derinlik	= 1,5	m
γ : Özgül ağırlık	= 18	kN/m^3
σ_v : Düşey gerilme	= 27	kPa
β : Yer eğim açısı	= 0	^{o}
k : D_f/B	= 0,375	< 1

Taşıma gücü faktörleri;	Şekil faktörleri;	Derinlik faktörleri;
N_q : 6,01	s_q : 1,35	d_q : 1,12
N_c : 14,25	s_c : 1,42	d_c : 1,15
N_γ : 3,52	s_γ : 0,60	d_γ : 1,00
Yük eğim faktörleri;	Yer eğim faktörleri;	Taban eğim faktörleri;
i_q : 1,00	g_q : 1,00	b_q : 1,00
i_c : 1,00	g_c : 1,00	b_c : 1,00
i_γ : 1,00	g_γ : 1,00	b_γ : 1,00

Denklem 3.3'e göre değerler yerlerine yazıldığında;

Taşıma gücü : q_k = 472 kPa olarak hesaplanmıştır.

TBDY 2018'e göre Denklem 3.1 ve Denklem 3.2 kontrolleri yapıldığında;

q_0 = 103 kPa

γ_{Rv} = 1,4

q_t = 337 kPa

Denklem 3.2'ye göre taşıma gücü hesabında temel zemini emniyetli taşıma gücü 337 kPa olarak elde edilmiştir. Denklem 3.1 koşulu sağlandığı için bu durumda temel zemininin taşıma gücü açısından yeterli olduğu anlaşılmıştır.

3.1.2. Oturma Hesabı

3.1.2.1. *Kil Birim İçin Oturma Hesabı*

Yapılara ait oturma hesapları Denklem 3.21'e göre yapılmıştır. (TBDY, 2018)

$$\Delta H = m_v \times \Delta P \times H \tag{3.23}$$

Burada;

ΔH : Zemin tabakasında meydana gelecek toplam oturma

m_v : Hacimsel sıkışma katsayısı

ΔP : Zemin tabakasındaki ortalama basınç artımı

H : Sıkışabilir zemin tabakası kalınlığı

Siltli kil zeminden alınan numuneler üzerinde yapılan deneylerden temel derinliğinden itibaren etkiyen efektif gerilme (P_0) ve proje yükünden etkiyecek ilave gerilme (ΔP) sonucu oluşacak $P_0 \rightarrow P_0 + \Delta P$ basınç aralığında zeminin hacimsel sıkışma katsayısı alınmaktadır. Üst yapı yüklerinin etkisiyle zemin içerisinde oluşan ilave efektif gerilme dağılımı için Boussinesq (1885) yaklaşımı kullanılmıştır. (Das & Sobhan, 2018)

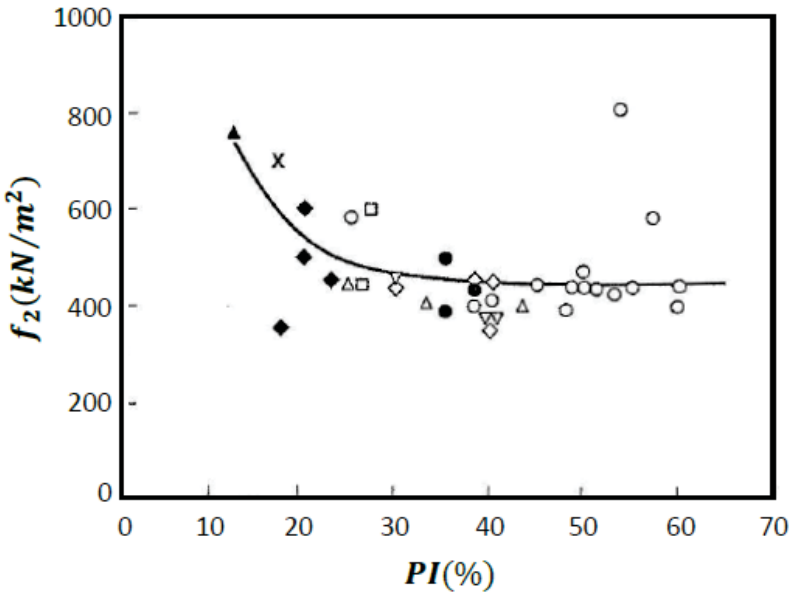
Kohezyonlu zeminlerde hacimsel sıkışma katsayısı (m_v) ile SPT değerleri arasındaki ilişki için Stroud (1974) tarafından önerilen, Şekil 3.1'de verilen korelasyon yaklaşımı kullanılmıştır. (Stroud, 1974)

Burada hacimsel sıkışma katsayısı Denklem 3.22'deki gibi tanımlanmıştır.

$$m_v = {}^{1}/_{f_2} \times N_{60} \tag{3.24}$$

Killi zeminler için odömetrik modül (M) bağıntısı Denkle 3.23'teki gibi tanımlanmıştır.

$$M(kN/m^2) = {}^{1}/_{m_v} \tag{3.25}$$



Şekil 3.1. Stroud (1974) Yaklaşımı. (Stroud, 1974)

Arazi çalışmalarından elde edilen SPT-N değerlerinin %60 enerji oranına göre düzeltilen N_{60} değeri kullanılarak hacimsel sıkışma katsayısı olan m_v değerinin hesaplanmıştır.

$N_{60} = 9{,}26$

$PI \cong 11{,}60$

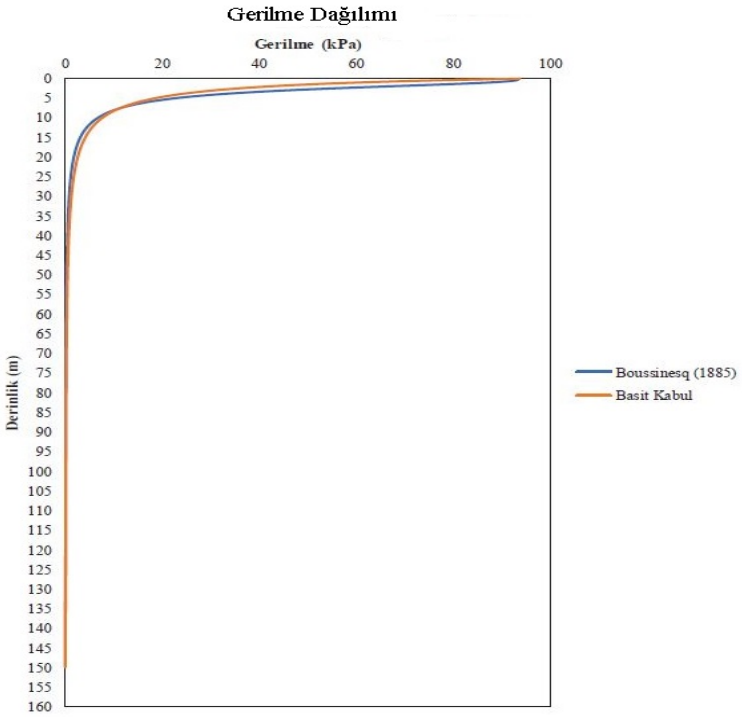
$f_2 = 650\ kPa$ (Şekil 3.1)

$M = 650 \times 9{,}26 = 6019\ kN/m^2$

$m_v = {}^{1}/_{6019} = 0{,}00016\ m^2/kN$

Üst yapıdan aktarılan yüklerin etkisiyle oluşan temel taban basınçlarının temel zemini içerisindeki gerilme dağılımı Boussinesq (1885) yaklaşımına göre hesaplanmıştır. (Das & Sobhan, 2018)

G+Q yükleme durumunda temel zemininde oluşan gerilme 93,8 kPa olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.2. Gerilme dağılımı grafiği.

Temel kısa kenarı, B	: 4 ,00	m
Temel uzun kenarı, L	: 4 ,00	m
Üst yapıdan gelen gerilme	: 93,80	kPa
Hacimsel sıkışma katsayısı	: 0,00016	m^2/kN
Toplam oturma	: 4,21	cm

3.1.2.2. *Kum Birim İçin Oturma Hesabı*

Schultze ve Sherif (1973) kumlardaki oturmanın SPT-N değerine bağlı olarak Denklem 3.23 kullanılarak tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. (Sherif & Schultze, 1973)

$$S = \frac{s \times q_{net}}{N^{0,87} \times [1 + (0,4 + {}^{D}/_{B})]} \tag{3.26}$$

Denklem 3.23 sıkışabilir tabaka kalınlığının (d_z), 2B veya 2B'den fazla olduğu durumlar için verilmiştir.

Burada;

S : Oturma (mm)

q_{net} : Ortalama temel net gerilmesi (kN/m^2)

N : Temel seviyesinden 2B aşağıya kadar uzanan zemin tabakasının ağırlıklı ortalama SPY-N değeri

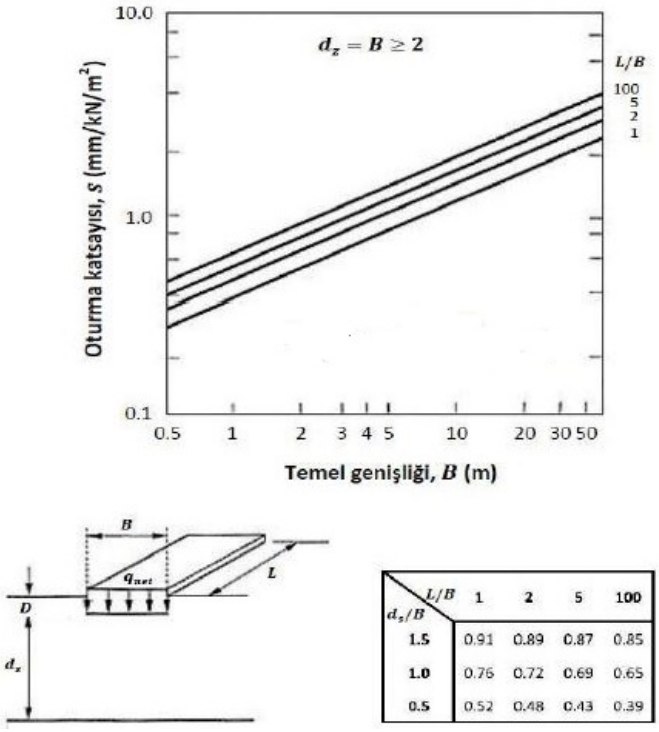
D : Temel derinliği (m)

B : Temel eni (m)

s : Oturma katsayısı (mm/kN/m^2) (Şekil 3.3)

d_z : Sıkışabilir tabaka kalınlığı (m)

L : Temel boyu (m)



d_z/B \ L/B	1	2	5	100
1.5	0.91	0.89	0.87	0.85
1.0	0.76	0.72	0.69	0.65
0.5	0.52	0.48	0.43	0.39

Şekil 3.3. Kum birimlerde oturma hesabı. (Sherif & Schultze, 1973)

Yapı temelleri için müsaade edilen oturma limit değerleri farklı kaynaklarda verilmekte olup, ülkemizde yaygın olarak kullanılan değerler Kumbasar (1999) Çizelge 3.2.'de ve Uzuner (1995) Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Yapı temellerinde izin verilen oturma limitleri. (Kumbasar & Kip, 1999)

Temel Tipi	**Zemin**	**Toplam Oturma (cm)**	**Farklı Oturma (cm)**
Münferit Temeller	Killer	7,5	4,5
	Kumlar	5,0	3,2
Radye jeneral Temeller	Killer	12,5	4,5
	Kumlar	7,5	3,2

Çizelge 3.3. Farklı zemin türlerinde izin verilen oturma limitleri. (Uzuner, 1995)

Temel Tipi	**Zemin**	**Toplam Oturma (cm)**	**Farklı Oturma (cm)**
Yüzeysel Temel	Kil	6,0	4,5
	Kum	4,0	2,5
Radye Temel	Kil	10,0	4,0
	Kum	6,0	2,5

q_{net} : 85 kN/m^2

N : 11,6 (SPT-N değerlerinin ağırlıklı ortalaması)

D : 1 m

B : 4 m

L : 4 m

s : 0,60 $mm/kN/m^2$ (Şekil 3.3)

Denklem 3.23'te değerler yerine yazıldığında;

S = 3,66 mm olarak hesaplanmıştır.

Farklı zemin koşulları (kum ve kil birimler) için oturma hesapları sonucunda toplam oturma 4,576 cm olarak hesaplanmıştır.

3.1.3. Sıvılaşma Hesabı

Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliğine göre zemin sıvılaşması, "yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu (PI<%12) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış" olarak tanımlanmıştır. (TBDY, 2018)

Sıvılaşma durumuna karşı Denklem 3.24'teki güvenlik şartının sağlanması gerekmektedir. (TBDY, 2018)

$$\frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \geq 1{,}10 \tag{3.27}$$

τ_R : Sıvılaşma direncini

τ_{deprem} : Deprem etkisinden dolayı zeminde oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesi

Sıvılaşma direncinin Denklem 3.24'teki gibi hesaplanmaktadır. (TBDY, 2018)

$$\tau_R = CRR_{M7,5} \times C_M \times \sigma'_{v0} \tag{3.28}$$

$CRR_{M7,5}$: 7,5 moment büyüklüğüne karşılık gelen çevrimsel dayanım oranı

C_M : Tasarım depreminin moment büyüklüğü düzeltme katsayısı

σ'_{v0} : Efektif düşey gerilme

Çevresel dayanım oranı Denklem 3.26'daki gibi hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

$$CRR_{M7,5} = \frac{1}{34 - N_{1,60f}} + \frac{N_{1,60f}}{135} + \frac{50}{[10N_{1,60f} + 45]^2} - \frac{1}{200} \tag{3.29}$$

Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı Denklem 3.27'deki gibi hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

$$C_M = \frac{10^{2,24}}{{M_w}^{2,56}} \tag{3.30}$$

M_w : Tasarım deprem büyüklüğü

Deprem etkisinde zeminde oluşan kayma gerilmesi Denklem 3.28'deki gibi hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

$$\tau_{deprem} = 0,65 \times \sigma_{v0} \times (0,4S_{DS}) \times r_d \tag{3.31}$$

σ_{v0} : Sıvılaşma değerlendirmesi yapılan derinlikteki toplam düşey gerilme

r_d : İlgili derinlikteki gerilme azaltma katsayısı

S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı

İlgili derinliğe göre hesabı değişen gerilme azaltma katsayısı Çizelge 3.4'ten elde edilmiştir.

Çizelge 3.4. Derinliğe bağlı gerilme azaltma katsayısı. (TBDY, 2018)

Derinlik (m)	$\boldsymbol{r_d}$
$z \leq 9,15$	$1,0 - 0,00765z$
$9,15 < z \leq 23,00$	$1,174 - 0,0267z$
$23,00 < z \leq 30,00$	$0,744 - 0,008z$
$z > 30,00$	$0,5$

Standart Penetrasyon deneyi darbe sayılarının ince dane içeriğine (IDI) göre düzeltilmesi Denklem 3.29'daki gibi hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

$$N_{1,60f} = \alpha + \beta \times N_{1,60} \tag{3.32}$$

α ve β katsayıları Çizelge 3.5'ten elde edilmiştir.

Çizelge 3.5. α ve β katsayıları. (TBDY, 2018)

$\boldsymbol{\alpha}$	$\boldsymbol{\beta}$	**İnce Dane İçeriği**
0	1,0	$IDI \leq \%5$
$\exp[1{,}76 - (190/IDI^2)]$	$0{,}99 + (IDI^{1,5}/1000)$	$\%5 < IDI \leq \%35$
5,0	1,2	$IDI \geq \%35$

Standart Penetrasyon deneyinin ham verileri Denklem 3.30 kullanılarak düzeltilmiştir. (TBDY, 2018)

$$N_{1,60} = N \times C_N \times C_R \times C_S \times C_B \times C_E \tag{3.33}$$

C_N : Kohezyonsuz zeminlerde uygulanan jeolojik gerilme (derinlik) düzeltme katsayısı

C_R : Tij boyu düzeltme katsayısı

C_S : Numune alıcı tipi düzeltme katsayısı

C_B : Sondaj delgi çapı düzeltme katsayısı

C_E : Enerji oranı düzeltme katsayısı

Derinlik düzeltme katsayısı Denklem 3.31 kullanılarak hesaplanmıştır. (TBDY, 2018)

$$C_N = 9{,}78\sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \leq 1{,}70 \tag{3.34}$$

C_R, C_S, C_B ve C_E katsayıları Çizelge 3.6'ya göre seçilmiştir.

Çizelge 3.6. Düzeltme katsayıları. (TBDY, 2018)

Düzeltme katsayısı	**Değişken**	**Değer**
C_R	3m ile 4m aralığında	0,75
	4m ile 6m aralığında	0,85
	6m ile 10m aralığında	0,95
	10m'den derin	1,00
C_S	Standart numune alıcı (iç tüpü olan)	1,00
	İç tüpü olmayan numune alıcı	1,10 - 1,30
C_B	Çap 65mm ile 115mm arasında	1,00
	Çap 150mm	1,05
	Çap 200mm	1,15
C_E	Güvenli tokmak	0,60 - 1,17
	Halkalı tokmak	0,45 - 1,00
	Otomatik darbeli tokmak	0,90 - 1,60

Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018 sıvılaşma değerlendirmeleriyle birlikte çalışma sahasında genel olarak yüzeyden itibaren 1,30 metre ve 16,50 metre derinlikleri arasında kum zeminler bulunduğundan, SPT değerleri genellikle düşük ve yeraltı su seviyesinin 3 metre seviyelerinde olduğundan dolayı sıvılaşma riski beklenmektedir.

Proje binasının çevresinde yer alan SK-29, SK-35 ve SK36 sondaj kuyuları için yapılan sıvılaşma hesaplarında elde edilen sonuçlar SK-29 için Çizelge 3.7'de, SK-35 için Çizelge 3.8'de ve SK-36 için Çizelge 3.9'da sunulmuştur. Güvenlik şartını sağlamayan derinliklerde sıvılaşma riski "Var" olarak belirtilirken, sıvılaşma riskinin bulunmadığı derinlikler ise "Yok" olarak belirtilmiştir.

Çizelge 3.7. SK-27 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu.

γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	YASS (m)
18,00	19,00	9,81	3,15

Derinlik (m)	N	σ_{v0}	σ'_{v0}	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E
1,95	13	35,1	35,1	-	0,75	1,00	1,00	1,00
3,45	35	62,4	59,5	1,27	0,75	1,00	1,00	1,00
4,95	9	90,9	73,2	1,14	0,85	1,00	1,00	1,00
6,45	3	119,4	87,0	1,05	0,95	1,00	1,00	1,00
7,95	11	147,9	100,8	0,97	0,95	1,00	1,00	1,00
9,45	14	176,4	114,6	0,91	0,95	1,00	1,00	1,00
10,95	21	204,9	128,4	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00

Derinlik (m)	$N_{1,60}$	IDI (%)	α	β	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7,5}$	M_W
1,95	-	18,75	3,39	1,07	-	-	7,5
3,45	>30	46,36	5,00	1,20	-	-	7,5
4,95	9	46,36	5,00	1,20	15,5	0,165	7,5
6,45	3	40,38	5,00	1,20	8,6	0,101	7,5
7,95	10	40,38	5,00	1,20	17,2	0,183	7,5
9,45	12	40,38	5,00	1,20	19,6	0,210	7,5
10,95	18	40,38	5,00	1,20	26,8	0,332	7,5

Derinlik (m)	C_M	S_{DS}	r_d	τ_R	τ_{deprem}	GS	Sıvılaşma Riski
1,95	1,00	1,161	-	-	-	-	-
3,45	1,00	1,161	-	-	-	-	-
4,95	1,00	1,161	0,96	12,08	26,40	0,46	**Var**
6,45	1,00	1,161	0,95	8,77	34,26	0,26	**Var**
7,95	1,00	1,161	0,94	18,46	41,93	0,44	**Var**
9,45	1,00	1,161	0,92	24,09	49,08	0,49	**Var**
10,95	1,00	1,161	0,88	42,56	54,53	0,78	**Var**

SK-29 Sondaj kuyusu için yapılan sıvılaşma hesapları sonucunda, proje binasının çevresinde sıvılaşma direnci, depremden dolayı zeminde oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesinden küçük olduğu için sıvılaşma problemi bulunmaktadır. Ancak 3,45 metre derinlikte bulunan kum birimler için $N_{1,60}$ değeri 30'dan yüksek olduğu için sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

Çizelge 3.8. SK-35 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu.

γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	$YASS$ (m)
18,00	19,00	9,81	3,10

$Derinlik$ (m)	N	σ_{v0}	σ'_{v0}	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E
1,95	5	35,1	35,1	-	0,75	1,00	1,00	1,00
3,45	14	62,5	59,0	1,27	0,75	1,00	1,00	1,00
4,95	9	91,0	72,8	1,15	0,85	1,00	1,00	1,00
6,45	2	119,5	86,6	1,05	0,95	1,00	1,00	1,00
7,95	19	148,0	100,4	0,98	0,95	1,00	1,00	1,00
9,45	11	176,5	114,3	0,92	0,95	1,00	1,00	1,00
10,95	13	205,0	127,9	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00

$Derinlik$ (m)	$N_{1,60}$	IDI (%)	α	β	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7,5}$	M_W
1,95	-	18,75	5,00	1,20	-	-	7,5
3,45	13	46,36	5,00	1,20	21,0	0,229	7,5
4,95	9	46,36	5,00	1,20	15,5	0,165	7,5
6,45	2	40,38	5,00	1,20	7,4	0,091	7,5
7,95	18	40,38	5,00	1,20	26,1	0,316	7,5
9,45	10	40,38	5,00	1,20	16,5	0,175	7,5
10,95	11	40,38	5,00	1,20	18,5	0,197	7,5

$Derinlik$ (m)	C_M	S_{DS}	r_d	τ_R	τ_{deprem}	GS	$Sıvılaşma$ $Riski$
1,95	1,00	1,161	-	-	-	-	-
3,45	1,00	1,161	0,97	13,50	18,35	0,74	**Var**
4,95	1,00	1,161	0,96	12,03	26,41	0,46	**Var**
6,45	1,00	1,161	0,95	7,87	34,28	0,23	**Var**
7,95	1,00	1,161	0,94	31,75	41,94	0,76	**Var**
9,45	1,00	1,161	0,92	20,00	49,09	0,41	**Var**
10,95	1,00	1,161	0,88	25,24	54,54	0,46	**Var**

SK-35 Sondaj kuyusu için yapılan sıvılaşma hesapları sonucunda, proje binasının çevresinde sıvılaşma direnci, depremden dolayı zeminde oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesinden küçük olduğu için sıvılaşma problemi bulunmaktadır.

Çizelge 3.9. SK-36 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu.

γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	γ_n (kN/m^3)	$YASS$ (m)
18,00	19,00	9,81	3,10

$Derinlik$ (m)	N	σ_{v0}	σ'_{v0}	C_N	C_R	C_S	C_B	C_E
1,95	8	35,1	35,1	-	0,75	1,00	1,00	1,00
4,95	10	91,0	72,8	1,15	0,85	1,00	1,00	1,00
6,45	4	119,5	86,6	1,05	0,95	1,00	1,00	1,00
7,95	12	148,0	100,4	0,98	0,95	1,00	1,00	1,00
9,45	10	176,5	114,2	0,92	0,95	1,00	1,00	1,00
10,95	20	205,0	127,9	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00
12,45	22	233,5	141,7	0,82	1,00	1,00	1,00	1,00
13,95	15	262,0	155,5	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00
15,45	10	290,5	169,3	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
16,95	17	319,0	183,1	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00
18,45	21	347,5	196,9	0,70	1,00	1,00	1,00	1,00
19,95	24	376,0	210,7	0,67	1,00	1,00	1,00	1,00
21,45	41	404,5	224,4	0,65	1,00	1,00	1,00	1,00
22,95	38	433,0	238,2	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00
24,45	31	461,5	252,0	0,62	1,00	1,00	1,00	1,00

$Derinlik$ (m)	$N_{1,60}$	IDI (%)	α	β	$N_{1,60f}$	$CRR_{M7,5}$	M_W
1,95	-	44,24	5,00	1,20	-	-	7,5
4,95	9,7	44,24	5,00	1,20	16,7	0,178	7,5
6,45	4,0	44,24	5,00	1,20	9,8	0,111	7,5
7,95	11,1	44,24	5,00	1,20	18,4	0,196	7,5
9,45	8,7	44,24	5,00	1,20	15,4	0,164	7,5
10,95	17,3	44,24	5,00	1,20	25,8	0,308	7,5
12,45	18,1	44,24	5,00	1,20	26,7	0,330	7,5
13,95	11,8	25,59	4,35	1,12	17,5	0,186	7,5
15,45	7,5	25,59	4,35	1,12	12,8	0,138	7,5
16,95	12,3	25,59	4,35	1,12	18,1	0,193	7,5
18,45	14,6	25,59	4,35	1,12	20,7	0,225	7,5
19,95	16,2	25,59	4,35	1,12	22,5	0,249	7,5
21,45	26,8	47,10	5,00	1,20	37,1	-	7,5
22,95	24,1	47,10	5,00	1,20	33,9	9,713	7,5
24,45	19,1	47,10	5,00	1,20	27,9	0,367	7,5

Çizelge 3.10. SK-36 Sondaj kuyusu için sıvılaşma hesap tablosu (Devam).

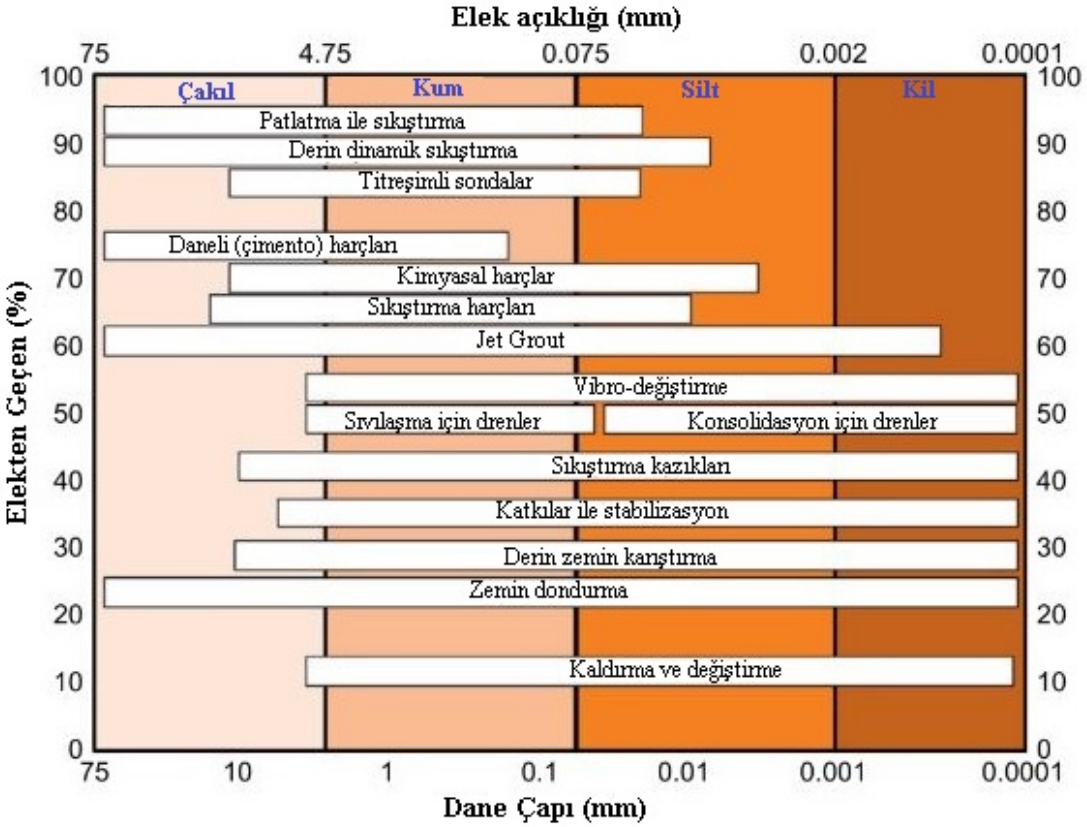
$\boldsymbol{Derinlik\ (m)}$	$\boldsymbol{C_M}$	$\boldsymbol{S_{DS}}$	$\boldsymbol{r_d}$	$\boldsymbol{\tau_R}$	$\boldsymbol{\tau_{deprem}}$	$\boldsymbol{GS}$	$\boldsymbol{Sıvılaşma\ Riski}$
1,95	1,00	1,161	-	-	-	-	-
4,95	1,00	1,161	0,96	12,92	26,41	0,49	**Var**
6,45	1,00	1,161	0,95	9,63	34,28	0,28	**Var**
7,95	1,00	1,161	0,94	19,65	41,94	0,47	**Var**
9,45	1,00	1,161	0,92	18,77	49,09	0,38	**Var**
10,95	1,00	1,161	0,88	39,33	54,54	0,72	**Var**
12,45	1,00	1,161	0,84	46,75	59,31	0,79	**Var**
13,95	1,00	1,161	0,80	28,99	63,38	0,46	**Var**
15,45	1,00	1,161	0,76	23,41	66,76	0,35	**Var**
16,95	1,00	1,161	0,72	35,32	69,46	0,51	**Var**
18,45	1,00	1,161	0,68	44,23	71,46	0,62	**Var**
19,95	1,00	1,161	0,64	52,35	72,78	0,72	**Var**
21,45	1,00	1,161	0,60	-	73,41	-	**-**
22,95	1,00	1,161	0,56	2313,10	73,35	31,54	**Yok**
24,45	1,00	1,161	0,55	92,38	76,39	1,21	**Yok**

SK-36 Sondaj kuyusu için yapılan sıvılaşma hesapları sonucunda, proje binasının çevresinde sıvılaşma direnci, depremden dolayı zeminde oluşan ortalama tekrarlı kayma gerilmesinden küçük olduğu için sıvılaşma problemi bulunmaktadır. Ancak 21,45 metre, 22,95 metre ve 24,45 metre derinliklerinde bulunan kum birimler için sıvılaşma riski bulunmamaktadır.

4. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Sıvılaşma, taşıma gücü, oturma gibi birçok problemin olduğu zayıf zeminlerin mühendislik parametrelerini iyileştirip elverişli hale getirme yahut problemli olan zayıf zemini es geçip yapı temelindeki yükü direkt olarak sağlam zemine iletme gibi çeşitli mühendislik işlemleri zemin iyileştirme kapsamında gerçekleştirilmektedir.

Zeminlerin türlerine göre ve zeminde var olan problemlere göre bir takım zemin iyileştirme yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler klasik bir figür olan dane boyutu ve ağırlıkça yüzde daha ince grafiği şeklinde, Mitchel & Katti, (1981) tarafından hazırlanan ve Peter G. Nicholson kitabında yayımladığı düzenlenmiş hali Şekil 4.1'de sunulmuştur. (Nicholson, 2014)



Şekil 4.1. Farklı zemin dane boyutlarına göre uygulanabilen zemin iyileştirme yöntemleri. (Nicholson, 2014)

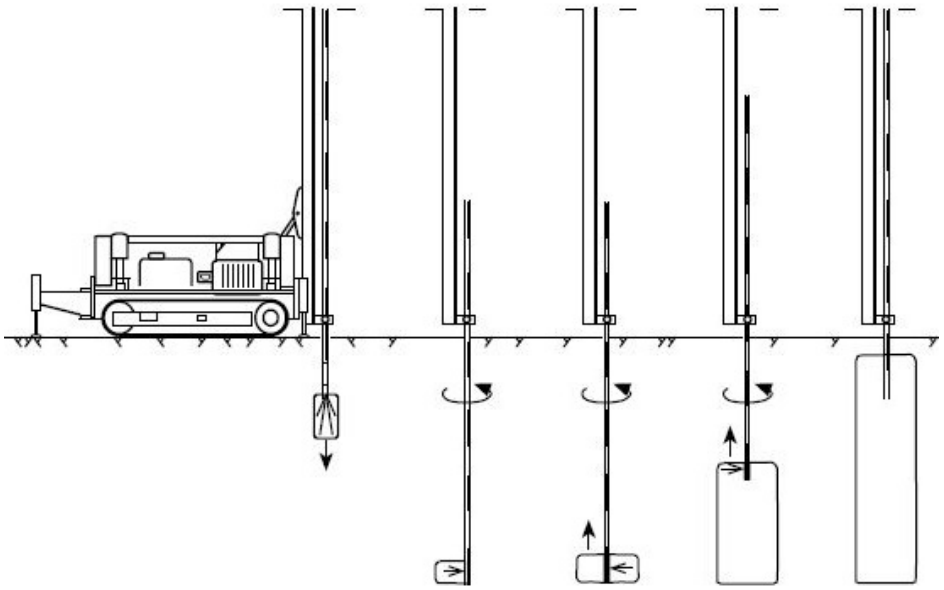
Tez çalışması kapsamında proje binasının zemininde uygulanan Jet Grout yöntemi ele alınmıştır.

4.1. JET GROUT YÖNTEMİ

Jet grout, Şekil 4.1'den anlaşılacağı üzere zemin türlerinin farklı dane boyutlarına sahip çakıl, kum, kil ve silt gibi problemli olan neredeyse her türlü zeminde uygulanabilir bir zemin iyileştirme yöntemidir. Özellikle sıvılaşma, taşıma gücü ve geçirimlilik gibi problemlerin giderilmesindeki büyük etkisi sayesinde ilk akla gelen iyileştirme yöntemi olarak bilinmektedir. Jet grout yönteminin mevcut yapı temelleri altındaki zeminlerde uygulanabilir olması bu yöntemi daha cazip hale getirmiştir.

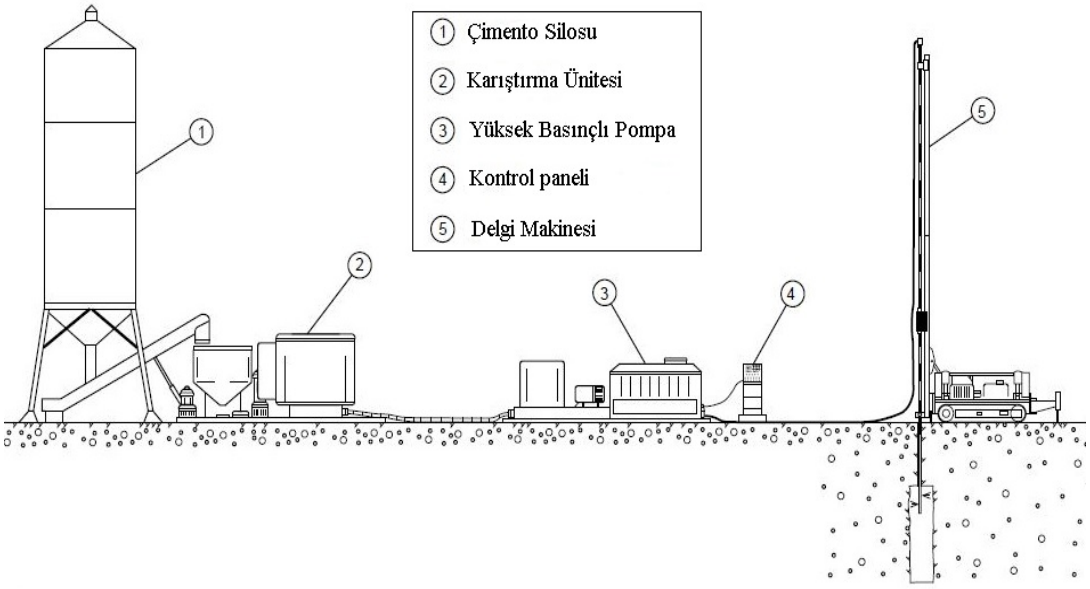
İnşaat mühendisliği kapsamında jet grout yönteminin ilk uygulaması Pakistan'da Cementation Co. isimli firma tarafından 1950 yıllarında gerçekleştirilmiştir. Daha sonra Japonya'da Yamakado Kardeşler tarafından 1965 yıllarında kullanılmıştır. 1970'li yılların ortalarında ise İtalya'da kullanılmış ve geliştirilmiştir. Gelişmeye açık olan jet grout yöntemi sürekli bir gelişim haline olmuş ve dünya çapında önemli bir yere sahip olmuştur. Ülkemizde 1980'li yıllardan sonra kullanıma başlamasıyla beraber günümüzde büyük ilgiyle yoğun bir kullanımı mevcuttur. Jet grout iyileştirme tekniği ekonomik, hız ve güvenlik açısından çoğunlukla ilk tercih edilen yöntem olmuştur. (Çınar, 2014; Lunardi, 1997)

Jet grout yöntemi iyileştirilmek istenen zeminin projeye bağlı olarak uygulanmak istenilen alt mesafeye kadar iletilen delikli tijlerden yüksek basınçta çimento şerbeti enjekte edilerek yukarı çekilmesi sonucunda beton kolonlar oluşturulması işlemidir. Basit bir jet grout kolonunun imalat aşamaları olan delgi, enjeksiyonla kolonun oluşturulması ve kolon imalatın tamamlanması görsel olarak Şekil 4.2'de sunulmuştur. (Lunardi, 1997; Sünbül & Mungan, 2018)



Şekil 4.2. Jet grout kolonu imalat aşamaları. (Lunardi, 1997)

Jet grout yönteminin birçok avantajının bulunmasının yanında, iyileştirme işleminin uygulanması için arazide geniş bir alana ihtiyaç duyulması bu yöntemin en büyük dezavantaj olarak kabul edilebilir. İmalat işlemleri için gerekli kullanım ekipmanları ve isimleri Şekil 4.2'de sunulmuştur. (Lunardi, 1997)

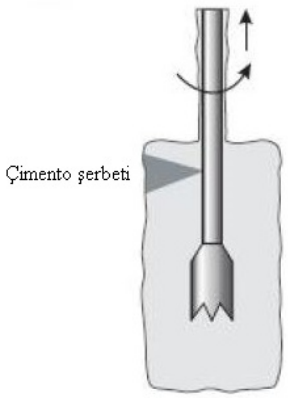


Şekil 4.3. Jet grout ekipmanları. (Lunardi, 1997)

Jet grout yönteminin ilk iki uygulama tekniği olan Jet-1 ve Jet-2 İtalya'da geliştirilmiş olup üçüncü teknik Jet-3 ise Japonya kökenlidir. Günümüzde yüksek kolon çapları ihtiyacından kaynaklı dördüncü teknik olan Süper Jet geliştirilmiş ve kullanılmaktadır. (Lunardi, 1997)

4.1.1. Jet 1 (Monofluid)

Tek akışkanlı (monofluid) olarak bilinen jet-1 tekniği çimento şerbetinin yüksek basınç etkisi altında zemine basılmasıyla uygulanan jet grout yönteminin sıkça kullanılan bir tekniğidir. Jet 1 enjeksiyonu yaklaşık olarak 200 m/s hız ve 300 - 600 bar basınç ile enjekte edilmektedir. Jet-1 tekniğiyle çakıllı zemin türlerinde 120 cm çapına kadar jet grout kolonları oluşturulabilmektedir. Genellikle kumlu ve çakıllı zeminlerde tercih edilmesine karşın killi zeminlerde 80 cm çapına kadar jet grout kolonları oluşturulmaktadır. (Küsin, 2009; Lunardi, 1997)

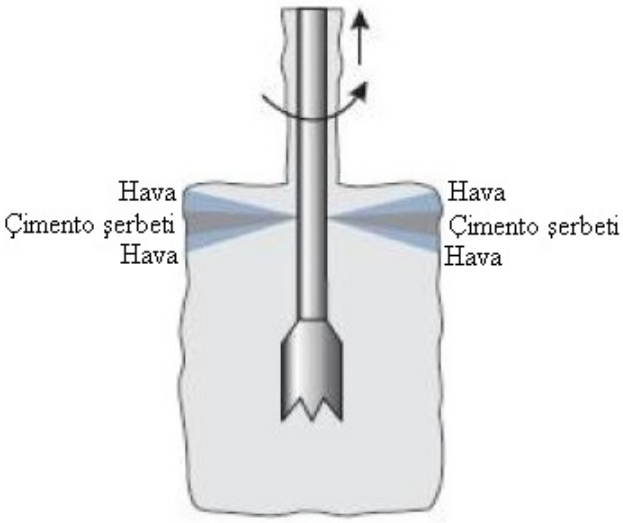


Şekil 4.4. Jet-1 (tek akışkanlı). (Küsin, 2009)

4.1.2. Jet 2 (Bifluid)

Çift akışkanlı (bifluid) jet-2 tekniği jet-1'e ek olarak ikinci bir akışkanın dahil olması uygulanan jet grout yönteminin bir tekniğidir. Çimento şerbeti 8 – 12 bar basınçlı hava içerisinde enjekte edilmesiyle uygulanmaktadır. Çift boru sistemine sahip jet-2 tekniğinde ortadaki borudan çimento şerbeti enjekte edilirken dıştaki borudan basınçlı hava basılmaktadır. Jet-2 yöntemiyle orta-sıkı zemin türlerinde kolon çapları 100 cm 'i aşarken gevşek olan zemin türlerinde ise 180 cm 'i aşabilmektedir.

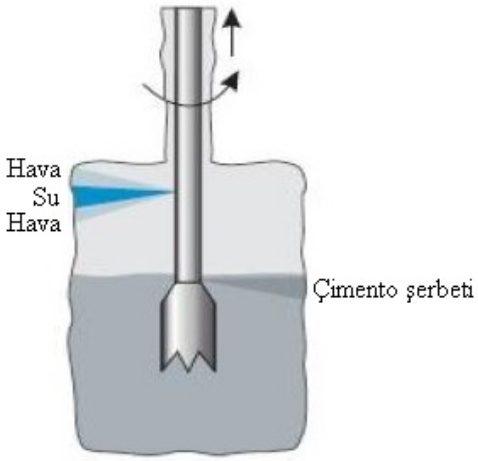
Bu yöntemle geniş çapa sahip jet grout kolonları oluşturulabilirken çimento şerbetine havanın karışmasıyla artan hava içeriği zeminin mukavemetini düşürmesine yol açmaktadır. Jet-2 tekniği jet-1'e göre kil içerikli zeminlerde daha iyi sonuçlar oluşturmaktadır. (Al, 2018; Çınar, 2014; Küsin, 2009; Toprak, 2005)



Şekil 4.5. Jet-2 (çift akışkanlı). (Küsin, 2009)

4.1.3. Jet 3 (Trifluid)

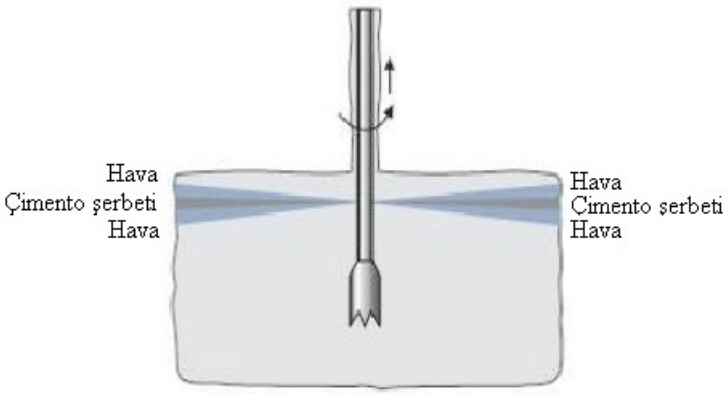
Üç akışkanlı (trifluid) olarak uygulanan jet grout yönteminin bir tekniğidir. Çimento şerbetine ve basınçlı havaya ek olarak suyunda eklenmesiyle uygulanan ve bu üç akışkanın eş zamanlı olarak zemin içerisinde enjekte edilmesiyle uygulanmaktadır. Jet-3 tekniği üç boru sistemine sahiptir. Jet-2 tekniğindeki gibi ortadaki borudan 400 – 600 bar basınca sahip su enjekte edilirken dıştaki borudan 8 – 12 bar basınçlı hava basılmaktadır, çimento şerbeti ise aşağıda bulunan farklı bir nozzle ile 30 – 80 bar basınçla enjekte edilmektedir. Jet-3 yöntemiyle 200 – 250 cm çapa sahip jet grout kolonları oluşturulabilmektedir. Bu tekniğin ekonomik olmaması ve uygulamasının zor olması sebebiyle pek tercih edilmemektedir. Jet-3 tekniği kil içerikli zeminlerde jet-1 ve jet-2'ye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. (Al, 2018; Çınar, 2014; Gürleyik, 2018; Küsin, 2009; Toprak, 2005)



Şekil 4.6. Jet-3 (üç akışkanlı). (Küsin, 2009)

4.1.4. Süper Jet

Sürekli olarak gelişmekte olan jet grout yönteminin yüksek çaplı kolon ihtiyacını karşılaması için geliştirilen bir tekniğidir. Süper jet tekniğiyle 300 – 500 cm çapa sahip kolonlar oluşturulabilmektedir. Jet-2 tekniğinin benzeri olarak çimento şerbeti ve basınçlı hava ile uygulanmaktadır. Daha geniş çapta jet grout kolonları imalatı amacıyla zemine iletilen tijlerin dönme hızlarıyla çekme hızları diğer tekniklere göre daha yavaştır. Süper jet uygulamasında dönüş hızı 3-4 devir/dakika, çekme hızı dakikada 7 mm ve enjeksiyon basıncı 40 MPa şeklinde uygulandığında oluşturulan jet grout kolon çapları 4 metre 'ye kadar ulaşabilmektedir. Geçirimsiz perde duvar yapımı, sıvılaşma durumu için zeminin stabilizesinin sağlanması, yeraltı su seviyesinin kontrolünün sağlanması gibi çeşitli durumlarda kullanılmaktadır. (Atıcı, 2019; Küsin, 2009)



Şekil 4.7. Süper jet. (Küsin, 2009)

Çizelge 4.1. Jet grout yöntemleri için paramatreler. (Lunardi, 1997)

Teknik	Akışkan	Basınç (bar)	Nozzle Adet ve Çap (adet, mm)	Çekme Hızı (cm/dak)	Dönme Hızı (r.p.m.)	Su-Çimento Oranı	Pompa Kapasitesi (lt/dak)
Jet - 1	Çimento şerbeti	400 - 550	1-2 x 2-5	15 - 100	5 - 15	1,0 - 1,5	700 - 600
Jet - 2	Çimento şerbeti	400 - 550	1-2 x 2-5	10 - 30	4 - 8	1,0 - 1,5	700 - 600
	Hava	10 - 12	-	10 - 30	-	-	4000 - 10000
Jet - 3	Çimento şerbeti	50 - 100	1-2 x 4-5	6 - 15	4 - 8	1,2 - 1,5	80 - 200
	Hava	10 - 12	-	6 - 15	-	-	4000 - 10000
	Su	400 - 500	1-2 x 2-3	6 - 15	-	-	40 - 100

4.2. JET GROUT TASARIM VE HESAPLARI

Proje binasının zemininde sıvılaşma problemi bulunduğundan dolayı zemin ıslahına ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla jet grout yöntemi seçilip tasarlanmıştır. Jet grout tasarımında mevcut yapıların bulunduğu dikkate alınmıştır. Bu yüzden mevcut temellerin altını iyileştirebilmek amacıyla temel etrafındaki imal edilecek bazı jet grout kolonları eğimli olarak tasarlanmıştır.

Temel zemininin yeraltı suyu ile ilişiğini kesmek için yapı oturum alanının hemen yakın dış çevresinde birbirine teğet olacak şekilde jet grout kolonları tasarlanarak geçirimsiz perde duvar görevi görmesi amaçlanmıştır. İç kısımlarda ise mevcut temel çevresinde temel zeminini güçlendirmek amacıyla 2,00 x 2,00 m karelajda bazıları eğimli bazıları ise dik olacak şekilde jet grout kolonları tasarlanmıştır. Jet grout kolonları 80 cm çapında, dış kısımdaki geçirimsiz perde görevi görmesi amacıyla tasarlanan kolonlar 18,00 metre boyunda, iç kısımlardaki kolonlar ise 13,00 metre boyunda tasarlanmıştır.

4.2.1. Jet Grout Kolonlarının Hesapları ve Sonuçları

Burada jet grout yöntemiyle zemin ıslahı yapılması durumunda iyileştirilmiş zeminin analizleri yer almaktadır.

Jet grout kolonunun taşıdığı yük Denklem 4.1'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q_T = Q_s + Q_p = \sum \sigma'_{ort} \times K_s \times tan\,\delta \times p' \times L + \sigma'_0 \times N_q \times A_b \quad (4.1)$$

Burada;

$$K_s \approx K_0 = 1 - \sin\phi \quad (4.2)$$

Kulhawy (1984)' e göre δ Denklem 4.3'teki gibi tanımlanmıştır. (Horvath, 2002)

$$\delta = 0{,}67 \times \phi' \quad (4.3)$$

$\phi = 22°$ için $N_q = 15{,}5$ alınmıştır. (Meyerhof G G, 1976)

σ'_{ort} : Tabaka ortasındaki ortalama efektif gerilme

p' : Azaltılmış kesit alanı

L : Kolon boyu

σ'_0 : Kolon ucundaki efektif gerilme

A_b : Kolon uç kesit alanı

4.2.1.1. *13 Metre Boyundaki Jet Grout Kolonu*

Karelaj mesafesi	:	X : 2,00	Y : 2,00	m
Jet Grout çapı, D_{jet}	:	0,8		m
Jet Grout boyu, L	:	13		m
GS	:	2		

1.Tabaka

İçsel sürtünme açısı, ϕ	:	19,4	º
Boy, m	:	3,5	m
Kesit yüzey alanı, p	:	2,51	m
Azaltılmış kesit yüzey alanı, p':		2,01	m
σ' ortalama	:	21,69	kN/m^2
K_s	:	0,67	
δ	:	12,91	
Q_s	:	24	kN

2.Tabaka

İçsel sürtünme açısı, ϕ	:	22	º
Boy, m	:	9,5	m
Kesit yüzey alanı, p	:	2,51	m
Azaltılmış kesit yüzey alanı, p':		2,01	m
σ' ortalama	:	82,30	kN/m^2
K_s	:	0,63	
δ	:	14,67	
Q_s	:	257	kN
Sürtünme direnci	:	281	kN
Kesit alanı, A_b	:	0,503	m^2
σ'_0	:	121,185	kN/m^2
Uç Direnci	:	944	kN
Q_{Toplam}	:	1225	kN
Q_{All}	:	613	kN

Jet Grout iyileştirme sonrası kapasite;

q_{ilk}	:	337	kPa
A_{jet}	:	0,503	m^2
Q_{jet}	:	613	kN
q_{son}	:	448	kPa

13 metre boyundaki jet grout kolonunun taşıma kapasitesi 61,3 ton olarak elde edilmiştir. Zeminin emniyetli taşıma kapasitesi 448 kPa değerine çıkmıştır.

4.2.1.2. *18 Metre Boyundaki Jet Grout Kolonu*

Karelaj mesafesi	:	X : 2,00	Y : 2,00	m
Jet Grout çapı, D_{jet}	:	0,8		m
Jet Grout boyu, L	:	18		m
GS	:	2		

1.Tabaka

İçsel sürtünme açısı, ϕ	:	19,4	º
Boy, m	:	3,5	m
Kesit yüzey alanı, p	:	2,51	m
Azaltılmış kesit yüzey alanı, p':		2,01	m
σ' ortalama	:	21,69	kN/m^2
K_s	:	0,67	
δ	:	12,91	
Q_s	:	24	kN

2.Tabaka

İçsel sürtünme açısı, ϕ	:	22	º
Boy, m	:	14,5	m
Kesit yüzey alanı, p	:	2,51	m
Azaltılmış kesit yüzey alanı, p':		2,01	m
σ' ortalama	:	102,76	kN/m^2
K_s	:	0,63	
δ	:	14,67	
Q_s	:	491	kN
Sürtünme direnci	:	514	kN
Kesit alanı, A_b	:	0,503	m^2
σ'_0	:	162,135	kN/m^2
Uç Direnci	:	1263	kN
Q_{Toplam}	:	1777	kN
Q_{All}	:	889	kN

Jet Grout iyileştirme sonrası kapasite;

q_{ilk}	:	337	kPa
A_{jet}	:	0,503	m^2
Q_{jet}	:	889	kN
q_{son}	:	517	kPa

18 metre boyundaki jet grout kolonunun taşıma kapasitesi 88,9 ton olarak elde edilmiştir. Zeminin emniyetli taşıma kapasitesi 517 kPa değerine çıkmıştır.

4.2.2. Jet Grout Sonrası Sıvılaşma Potansiyelinin Analitik Yöntemler ile Değerlendirilmesi

Uygulanan sistemin etkinliğini kontrol etmek amacıyla jet grout uygulaması sonrasında sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısının hesaplanmasına gerek duyulmaktadır.

Güvenlik sayısının hesaplanmasında kullanılacak kayma gerilmesi azaltma katsayısı Denklem 4.4'teki gibi hesaplanmaktadır. (Aksangür, 2017)

$$S_R = \frac{1}{(1 + (G_r - 1) \times a_r)} \tag{4.4}$$

Kayma modülü oranı, jet grout kolonunun kayma modülünün zeminin kayma modülüne oranı ile Denklem 4.5'teki gibi hesaplanmaktadır. (Aksangür, 2017)

$$G_r = {G_{jet}}/{G_{zemin}} \tag{4.5}$$

Alan yer değiştirme oranı, jet grout kolonunun alanının birim hücre alanına oranı ile Denklem 4.6'daki gibi hesaplanmaktadır. (Aksangür, 2017)

$$a_r = {A_{jet}}/{A_{birim\ hücre\ alanı}} \tag{4.6}$$

Kayma gerilmesi azaltma katsayısı hesaplanmasının ardından çevrimsel deprem direnci ile çarpılarak azaltılmış çevrimsel deprem direnci kullanılıp jet grout sonrası güvenlik sayısı bulunmaktadır. Denklem 4.7 halini almaktadır.(Aksangür, 2017)

$$\tau_{deprem(tasarım)} = \tau_{deprem} \times S_R \tag{4.7}$$

Bu durumda, jet grout öncesi bulunan güvenlik sayısı kayma gerilmesi azaltma katsayısı ile bölünerek jet grout uygulanma sonrası güvenlik sayısı elde edilmektedir. Zemin kayma dalga hızı ilk 15 metre ile 20 metre derinlikteki değerlerin ortalaması dikkate alınarak V_s değeri 245 m/s olarak alınmıştır.

Jet grout kolonlarının karelajı seçilirken yapı temel dış kısmında 80 cm çapında kolonların olması ve iç kısımlarda 200 x 200 cm karelaj olmasından dolayı yaklaşık olarak 150 x 150 cm alınmıştır.

Jet grout uygulanması sonrasında sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesi, jet grout öncesi sıvılaşma değerlendirilmesi yapılan proje binasının çevresinde yer alan SK-29, SK-35 ve SK-36 sondaj kuyularında yapılmıştır.

Jet grout sonrası sıvılaşma potansiyeli hesaplarında elde edilen sonuçlar SK-29 için Çizelge 4.2'de, SK-35 için Çizelge 4.3'te ve SK-36 için Çizelge 4.4'te sunulmuştur. Güvenlik şartını sağlamayan derinliklerde sıvılaşma riski "Var" olarak belirtilirken, sıvılaşma riskinin bulunmadığı derinlikler ise "Yok" olarak belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. SK-29 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu.

Jet Grout Kolon Çapı	80	cm
Karelaj X Yönü	150	cm
Karelaj Y Yönü	150	cm
Tek Eksenli Basınç Mukavemeti, fc'	3,0	Mpa
Elastisite Modülü, E	8913	Mpa
Poisson Oranı, ϑ	0,3	
Kayma Modülü, G	3151	MPa
Kesit Alanı, A_{jet}	0,402	m^2
Birim Hücre Alanı, A	2,250	m^2
Alan Yer Değiştirme Oranı, a_r	0,179	

Derinlik	**V_s, (m/s)**	**γ, (kN/m^3)**	**ρ, (gr/cm^3)**	**G_s, (Mpa)**	**G_r**	**S_R**
4,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
6,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
7,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
9,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
10,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17

Derinlik	**İyileştirme Öncesi Güvenlik Sayısı**	**İyileştirme Sonrası Güvenlik Sayısı**	**Değerlendirme**
4,95	0,46	2,71	Yok
6,45	0,26	1,53	Yok
7,95	0,44	2,59	Yok
9,45	0,49	2,88	Yok
10,95	0,78	4,59	Yok

Kayma gerilmesi azaltma katsayısı hesaplanmasının ardından, jet grout uygulanması sonrasında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının Denklem 3.24'ü sağlayarak bütün derinliklerde FS > 1,1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3. SK-35 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu.

Jet Grout Kolon Çapı	80	cm
Karelaj X Yönü	150	cm
Karelaj Y Yönü	150	cm
Tek Eksenli Basınç Mukavemeti, fc'	3,0	Mpa
Elastisite Modülü, E	8913	Mpa
Poisson Oranı, ϑ	0,3	
Kayma Modülü, G	3151	MPa
Kesit Alanı, A_{jet}	0,402	m^2
Birim Hücre Alanı, A	2,250	m^2
Alan Yer Değiştirme Oranı, a_r	0,179	

Derinlik	**V_s, (m/s)**	**γ, (kN/m^3)**	**ρ, (gr/cm^3)**	**G_s, (Mpa)**	**G_r**	**S_R**
3,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
4,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
6,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
7,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
9,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
10,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17

Derinlik	**İyileştirme Öncesi Güvenlik Sayısı**	**İyileştirme Sonrası Güvenlik Sayısı**	**Değerlendirme**
3,45	0,74	4,35	Yok
4,95	0,46	2,71	Yok
6,45	0,23	1,35	Yok
7,95	0,76	4,47	Yok
9,45	0,41	2,41	Yok
10,95	0,46	2,71	Yok

Kayma gerilmesi azaltma katsayısı hesaplanmasının ardından, jet grout uygulanması sonrasında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının Denklem 3.24'ü sağlayarak bütün derinliklerde FS > 1,1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4. SK-36 Sondaj kuyusu için jet grout sonrası sıvılaşma hesap tablosu.

Jet Grout Kolon Çapı	80	cm
Karelaj X Yönü	150	cm
Karelaj Y Yönü	150	cm
Tek Eksenli Basınç Mukavemeti, fc'	3,0	Mpa
Elastisite Modülü, E	8913	Mpa
Poisson Oranı, ϑ	0,3	
Kayma Modülü, G	3151	MPa
Kesit Alanı, A_{jet}	0,402	m^2
Birim Hücre Alanı, A	2,250	m^2
Alan Yer Değiştirme Oranı, a_r	0,179	

Derinlik	**V_s, (m/s)**	**γ, (kN/m^3)**	**ρ, (gr/cm^3)**	**G_s, (Mpa)**	**G_r**	**S_R**
4,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
6,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
7,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
9,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
10,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
12,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
13,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
15,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
16,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17
18,45	245	18	1,83	110	28,61	0,17
19,95	245	18	1,83	110	28,61	0,17

Derinlik	**İyileştirme Öncesi Güvenlik Sayısı**	**İyileştirme Sonrası Güvenlik Sayısı**	**Değerlendirme**
4,95	0,49	2,88	Yok
6,45	0,28	1,65	Yok
7,95	0,47	2,77	Yok
9,45	0,38	2,24	Yok
10,95	0,72	4,24	Yok
12,45	0,79	4,65	Yok
13,95	0,46	2,71	Yok
15,45	0,35	2,06	Yok
16,95	0,51	3,00	Yok
18,45	0,62	3,65	Yok
19,95	0,72	4,24	Yok

Kayma gerilmesi azaltma katsayısı hesaplanmasının ardından, jet grout uygulanması sonrasında sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının Denklem 3.24'ü sağlayarak bütün derinliklerde FS > 1,1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.2, Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'teki tanımlar;

V_s (m/sn) : Kayma Dalga Hızı

γ (kN/m^3) : Zemin Birim Hacim Ağırlığı

ρ (gr/cm^3) : Zemin Yoğunluğu

G_s (MPa) : Zeminin Kayma Modülü

G_r : Kayma Modül Oranı

S_R : Kayma Gerilmesi Azaltma Faktörü

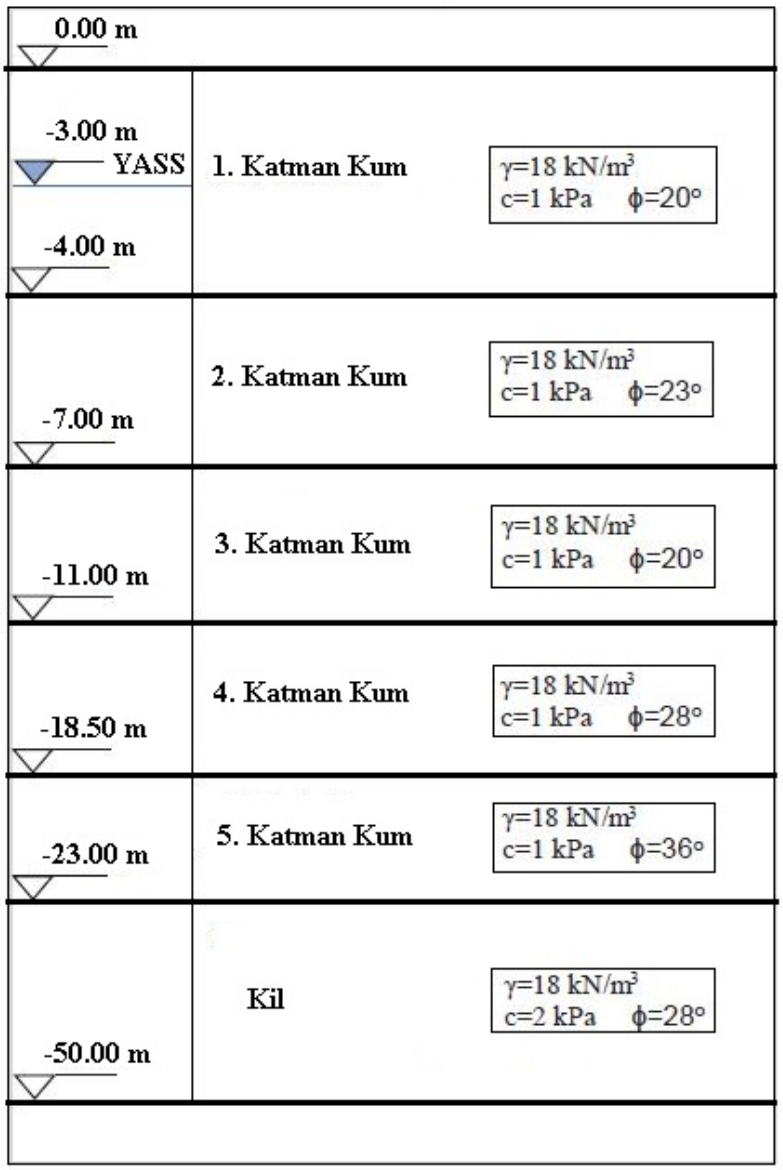
5. SONLU ELEMANLAR METODU İLE MODELLEME

Bu bölümde zemin araştırma kapsamında yapılan çalışmalar ve deneylerden elde edilen bilgiler dahilinde, proje binasının idealize zemin profili geoteknik uygulamalarının tasarımı ve analizlerinde yaygın olarak kullanılan Plaxis yazılımının yardımıyla iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olarak modellenmiştir.

5.1. PROJE BİNASININ İDEALİZE ZEMİN PROFİLİ

Plaxis yazılımında iki boyutlu be üç boyutlu versiyonlarında kullanılacak idealize edilmiş zemin profili farklı sıkılıklara sahip 5 katman olan kum birimlerden ve en altta tek katman kil birimden oluşmaktadır. 1.Katmandaki kum birimi 4,00 metre derinliğine, 2.katmandaki kum birimi 3,00 metre, 3.katmandaki kum birimi 4,00 metre derinliğine, 4.katmandaki kum birimi 7,50 metre derinliğine, 5. katman kum 4,50 metre derinliğine ve son olarak kil katmanı ise 27,00 metre derinliğine sahiptir. Toplam derinliği 50 metre olan idealize zemin profilinde yeraltı su seviyesi ise yüzeyden 3,00 metre derinlikte alınmıştır.

Katmanlar halindeki idealize edilmiş zemin profili ve bu katmanlardaki birimlere ait bazı zemin parametreleri olan birim hacim ağırlık (γ), kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) değerleri Şekil 5.1'de sunulmuştur.



Şekil 5.1. İdealize zemin profili.

5.2. YAPI ELEMANLARI VE ZEMİN PARAMETRELERİ

Plaxis programında sıvılaşma analizleri için malzeme modeli olarak kullanıcı tanımlı olan UBC3D-PLM zemin modeli kullanılmaktadır. Bu zemin modelini oluşturmak için programda kullanılan girdi parametreleri Çizelge 5.1'de sunulmuştur. (Petalas & Galavi, 2012)

Çizelge 5.1. UBC3D-PLM malzeme modeli için girdi parametreleri. (Tsegaye, 2010)

Parametreler	Sembol	Birim	Varsayılan Değerler
Düzeltilmiş SPT-N Değeri	$N_{1,60}$	-	-
Sabit Hacim İçsel Sürtünme Açısı	ϕ_{cv}	(º)	-
Pik İçsel Sürtünme Açısı	ϕ_p	(º)	-
Kohezyon	c	kPa	-
Elastik Kayma Modülü Sayısı	K_G^e	-	-
Elastik Bulk Modülü Sayısı	K_B^e	-	-
Plastik Kayma Modülü Sayısı	K_G^p	-	-
Elastik Bulk Modülü İndisi	me	-	0,50
Elastik Kayma Modülü İndisi	ne	-	0,50
Plastik Kayma Modülü İndisi	np	-	0,40
Göçme Oranı	R_f	-	-
Atmosferik Basınç	P_A	kPa	100
Çekme Kesimi (cut-off)	σ_t	kPa	0,00
Sıkışma Faktörü	fac_{hard}	-	1,00
Sıvılaşma Sonrası Faktör	fac_{post}	-	0,20-1,00

UBC3D-PLM malzeme modeli için gerekli olan ve SPT-$N_{1,60}$ değerine bağlı olarak hesaplanan parametrelerden:

Pik içsel sürtünme açısının hesabı Denklem 5.1'deki gibi,

$$\phi_P = \phi_{cv} + \frac{N_{1,60}}{10} + \max\left(0, \frac{N_{1,60} - 15}{5}\right) \tag{5.1}$$

Elastik kayma modülü sayısının hesabı Denklem 5.2'deki gibi,

$$K_G{}^e = 21{,}7 \times 20 \times N_{1,60}{}^{0,3333} \tag{5.2}$$

Elastik bulk modülü sayısı Denklem 5.3'deki gibi,

$$K_B{}^e = 0{,}7 \times K_G{}^e \tag{5.3}$$

Plastik kayma modülü sayısının hesabı Denklem 5.4'teki gibi,

$$K_G{}^p = K_G{}^e \times N_{1,60}{}^2 \times 0{,}003 + 100 \tag{5.4}$$

Göçme oranının hesabı Denklem 5.5'teki gibi yapılmaktadır.

$$R_f = 1{,}1 \times N_{1,60}{}^{-0{,}15} \tag{5.5}$$

Elastik bulk modülü indisi (me), elastik kayma modülü indisi (ne) ve plastik kayma modülü indisi (np) değerleri varsayılan olarak sırasıyla 0.5, 0.5 ve 0.4 değerleri kullanılır. Aynı şekilde varsayılan olarak sıkışma faktörü (fac_{hard}) 1,00 alınır ve sıvılaşma sonrası faktör (fac_{post}) değeri 1,00 seçilmiştir. (Demir & Özener, 2019)

Kum katmanları UBC3D-PLM malzeme modeli Drenajsız-A durumuna göre modellenmiştir.

Plaxis sonlu elemanlar yazılımında kullanılan idealize edilmiş zemin profilindeki kum katmanlarının UBC3D-PLM malzeme modeli için parametreleri Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

Çizelge 5.2. Plaxis'te kullanılan UBC3D-PLM malzeme modeli parametreleri.

Parametreler	**1. Katman Kum**	**2. Katman Kum**	**3. Katman Kum**	**4. Katman Kum**	**5. Katman Kum**
γ_{unsat}	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
γ_{sat}	19,00	19,00	19,00	19,00	19,00
$N_{1,60}$	12,00	8,10	17,80	16,10	23,90
ϕ_{cv}	20,00	23,00	20,00	28,00	36,00
ϕ_p	21,20	23,81	22,34	29,83	40,17
c	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
K_G^e	993,53	871,54	1133,06	1095,78	1250,00
K_B^e	695,47	610,08	793,15	767,05	875,00
K_G^p	529,20	271,55	1177,00	952,11	2242,04
me	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
ne	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
np	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
R_f	0,76	0,80	0,71	0,73	0,68
P_{ref}	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
σ_t	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fac_{hard}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
fac_{post}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
k_0	0,66	0,61	0,66	0,53	0,41

Plaxis programında UBC3D-PLM modeli ile başlangıç aşamasındaki ilk gerilme durumu oluşturmak güvenilir olmadığından dolayı başlangıç gerilmelerini daha doğru bir şekilde oluşturabilmek için Plaxis bünyesinde bulunan başka bir zemin modeli kullanarak oluşturulması gerekmektedir. Bu yüzden başlangıç gerilmelerini oluşturmak için Sertleşen Zemin Modeli (Hardening Soil Model) seçilip parametreler Sertleşen Zemin Model'ine göre kalibre edilip modellenmiştir.

Hardening Soil Model (HSM) için kalibre edilmiş idealize zemin profili parametreleri Çizelge 5.3'te sunulmuştur. Ayrıca idealize zemin profilindeki kil birimin zemin parametreleri Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

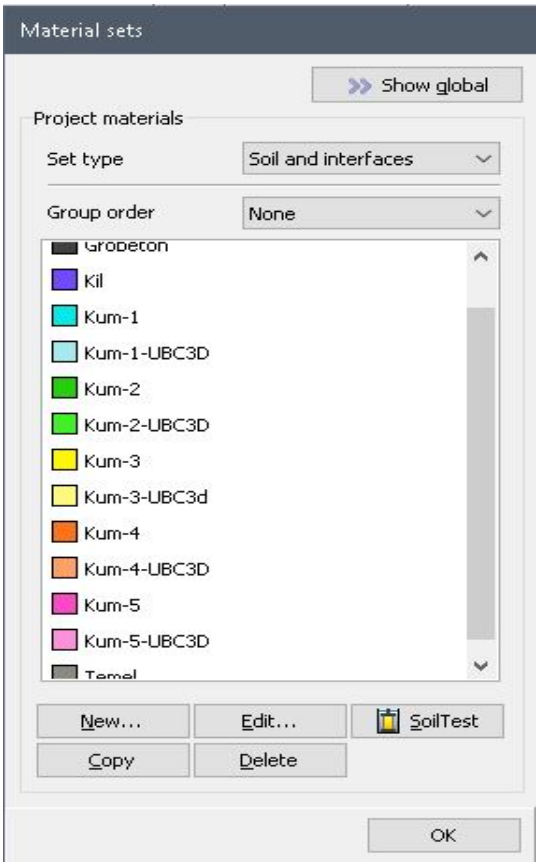
Çizelge 5.3. Sertleşen Zemin Modeli için kalibre edilmiş kum katmanlarının parametreleri.

Parametreler	1. Katman Kum	2. Katman Kum	3. Katman Kum	4. Katman Kum	5. Katman Kum
E_{50}^{ref}	2,00E+04	2,10E+04	4,00E+04	6,00E+04	7,00E+04
E_{oed}^{ref}	2,00E+04	2,10E+04	4,00E+04	6,00E+04	7,00E+04
E_{ur}^{ref}	6,00E+04	6,30E+04	1,20E+05	1,80E+05	2,10E+05
m	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
c' (kN/m^2)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
ϕ (º)	20,00	23,00	20,00	28,00	36,00
Ψ (º)	0,00	0,00	0,00	0,00	6,00
k_0	0,66	0,61	0,66	0,53	0,41

Çizelge 5.4. Kil katmanın Sertleşen Zemin Modeli parametreleri.

Parametreler	Kil
E_{50}^{ref}	3,00E+04
E_{oed}^{ref}	3,00E+04
E_{ur}^{ref}	9,00E+04
c' (kN/m^2)	2,00
ϕ (º)	26,00
Ψ (º)	0,00

Plaxis programında oluşturulan zemin malzemelerinin “Material sets” sekmesi içerisindeki görüntüsü Şekil 5.2’de sunulmuştur. Burada sertleşen zemin modeli kullanılarak oluşturulan 5 katman olan kum birimler Kum-1, Kum-2, Kum-3, Kum-4, Kum-5 isimlerinde atanırken tek katman kil birim Kil isminde atanırmıştır. UBC3D-PLM malzeme modeli ile oluşturulan 5 katman olan kum birimler ise sırasıyla Kum-1-UBC3D, Kum-2-UBC3D, Kum-3- UBC3D, Kum-4- UBC3D, Kum-5- UBC3D isimlerinde atanmıştır.



Şekil 5.2. Plaxis material sets sekmesi zemin elemanları.

Plaxis programında kullanılan yapı elemanları malzeme özellikleri, yapı temeli için kullanılan parametreler Çizelge 5.5'te sunulmuştur. Grobeton malzeme özellikleri Çizelge 5.6'da sunulmuştur. Jet grout malzeme özellikleri Çizelge 5.7'de sunulmuştur. Kullanılan %95 sıkılıktaki dolgu malzemesi özellikleri Çizelge 5.8'de sunulmuştur. Dolgu arasına serilen geogrid malzemenin özellikleri Çizelge 5.9'da sunulmuştur.

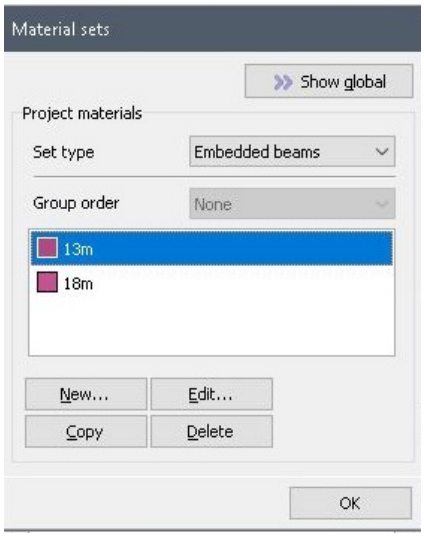
Çizelge 5.5. Yapı temeli parametreleri.

Malzeme Modeli	**Drenaj Tipi**	**γ (kN/m^3)**	**E (kN/m^2)**	**ν**
Lineer Elastik	Non-porous	24,00	3,00E+07	0,15

Çizelge 5.6. Grobeton parametreleri.

Malzeme Modeli	**Drenaj Tipi**	**γ (kN/m^3)**	**E (kN/m^2)**	**ν**
Lineer Elastik	Non-porous	24,00	3,00E+07	0,20

Jet groutlar Plaxis programında bulunan “Embedded Beams” malzeme tipi seçilerek oluşturulmuştur. Temel çevresindeki dik ve eğimli jet groutlar 13m ve geçirimsiz perde duvar görevi görecek yapı dışındaki jet groutlar 18m isminde “Material sets” sekmesi içerisindeki görüntüsü Şekil 5.3’de sunulmuştur.



Şekil 5.3. Plaxis material sets sekmesi jet grout elemanları.

Çizelge 5.7. Jet Grout parametreleri.

Malzeme Tipi	**E (kN/m^2)**	**γ (kN/m^3)**	**Çap (m)**	**Sürtünme Direnci (kN/m)**	**Uç Direnci (kN)**
Elastik	8,91E+06	24,00	0,80	281,00	944,00

Çizelge 5.8. Dolgu malzemesi parametreleri.

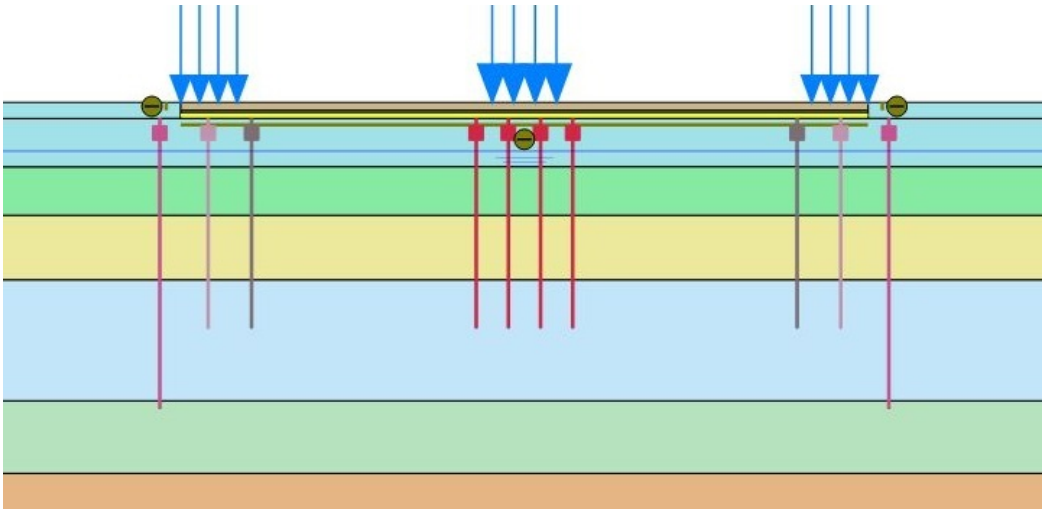
Malzeme Modeli	**γ (kN/m^3)**	**E (kN/m^2)**	**ν**	**c (kN/m^2)**	**ϕ (^{o})**	**Ψ (^{o})**
MC	18,00	1,00E+05	0,30	5,00	30	0

Çizelge 5.9. Geogrid malzemesi parametreleri.

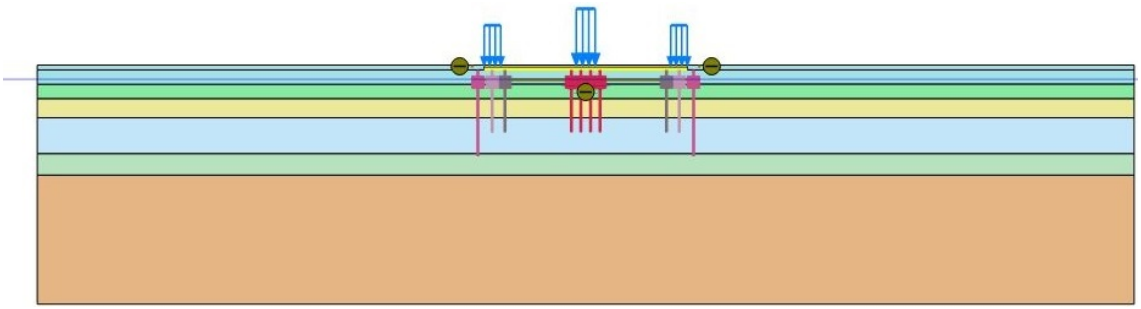
Malzeme Tipi	**Özellik**	**EA (kN/m)**
Elastik	Isotropic	8,91E+06

5.3. 2D VE 3D MODEL

Proje binasının zemini idealize zemin profili kullanılarak iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) olacak şekilde Plaxis programında modellenmiştir. İki boyutlu versiyonda oluşturulan modeller A-A' kesiti ve B-B' kesiti için ayrı ayrı modellenmiştir. İki boyutlu A-A' kesiti modeline ait görüntüler Şekil 5.3'te sunulmuştur. İki boyutlu B-B' kesiti modeline ait görüntüler Şekil 5.4'te sunulmuştur. Ayrıca üç boyutlu modele ait görüntüler Şekil 5.5'te sunulmuştur.

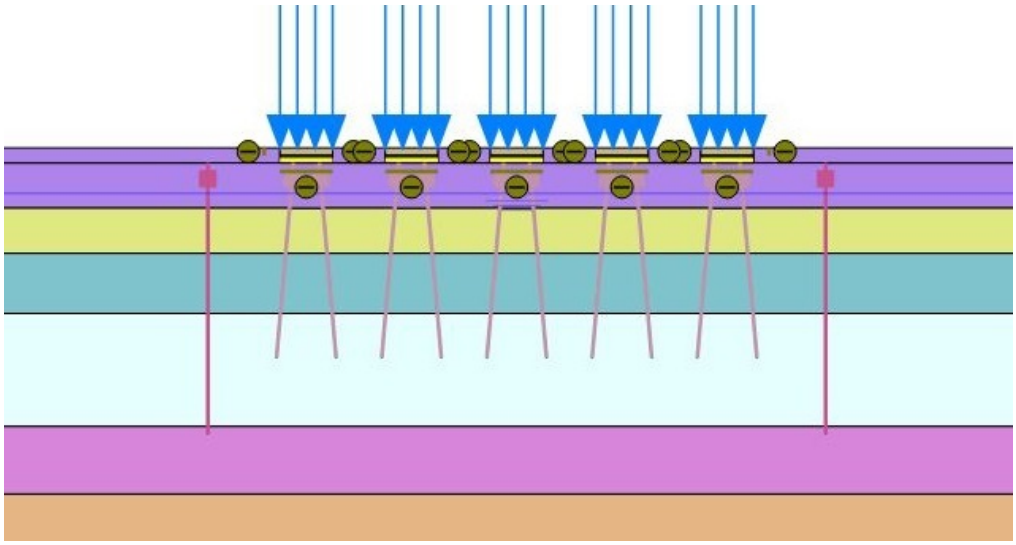


a)

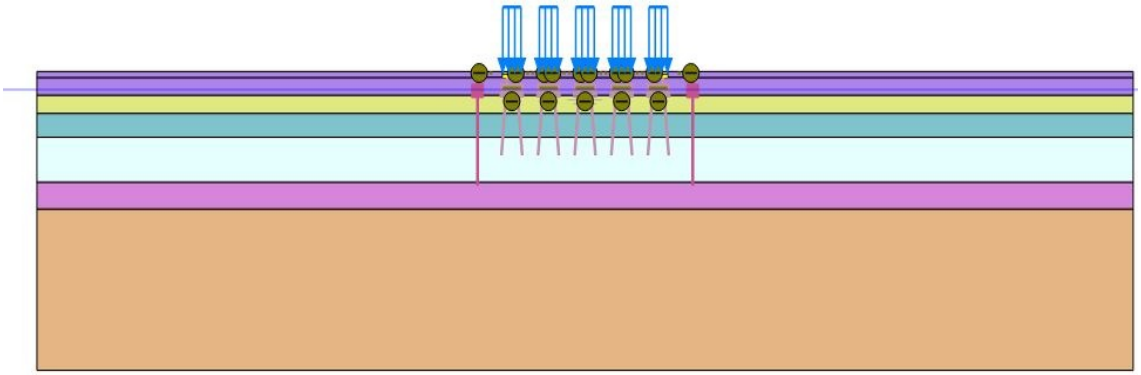


b)

Şekil 5.4. A – A' Kesitine ait Plaxis 2D model görünümleri a) Yakınlaştırılmış görünüm b) Tam görünüm.

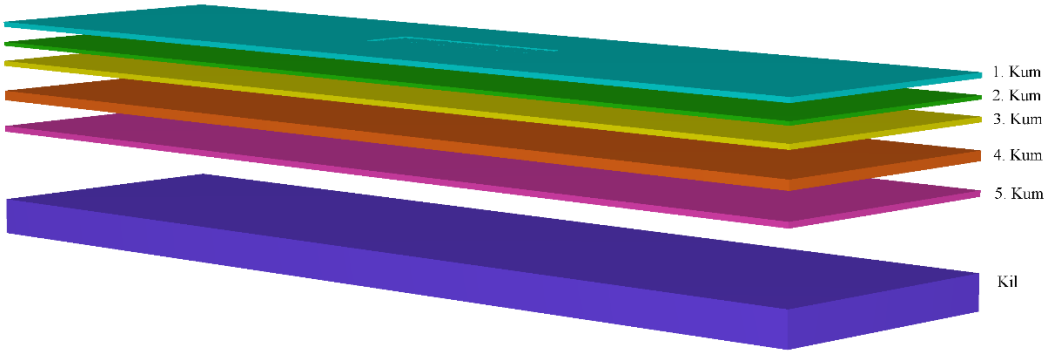


a)

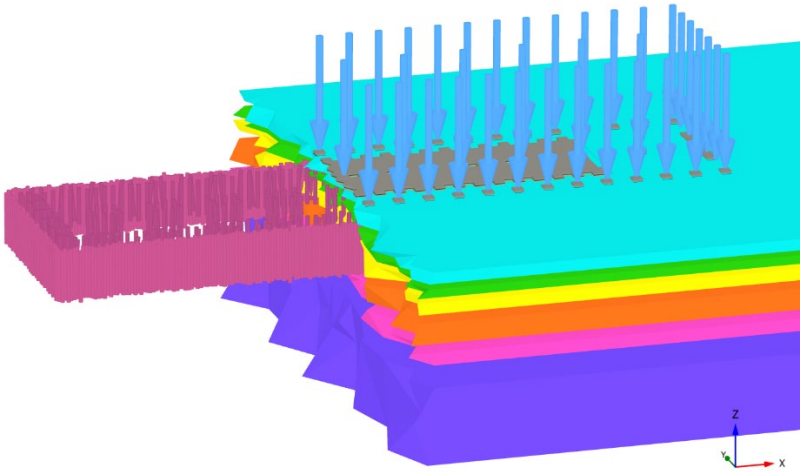


b)

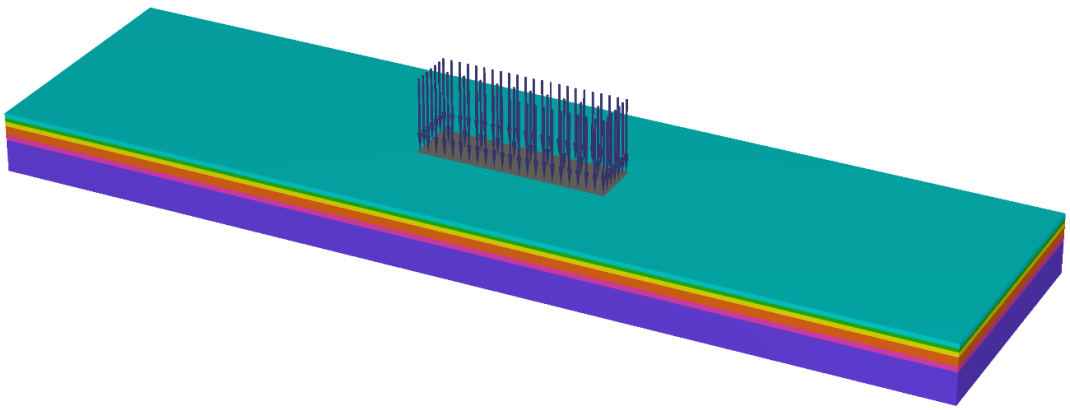
Şekil 5.5. B – B' Kesitine ait Plaxis 2D model görünümleri a) Yakınlaştırılmış görünüm b) Tam görünüm.



a)



b)



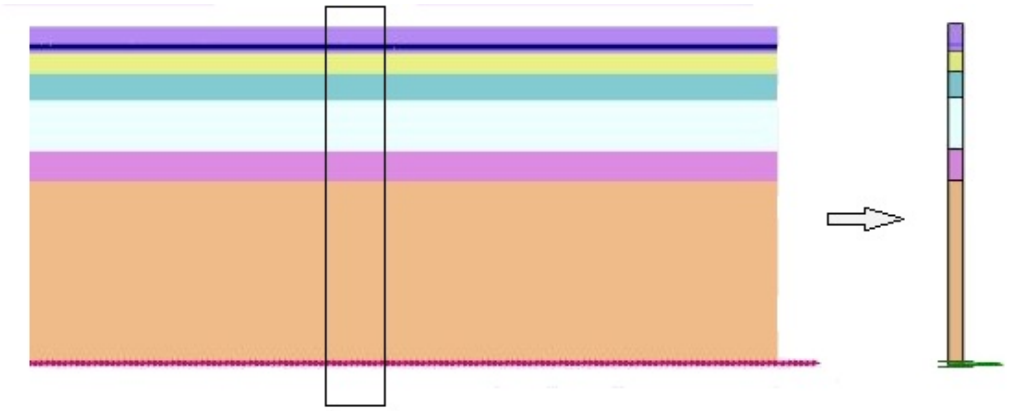
c)

Şekil 5.6. Plaxis 3D model görünümleri a) Zemin katmanları b) Yapı elemanları ve zemin görünümü c) Modelin perspektif görünümü.

5.4. 2D VE 3D MODELLERİN ANALİZ VE SONUÇLARI

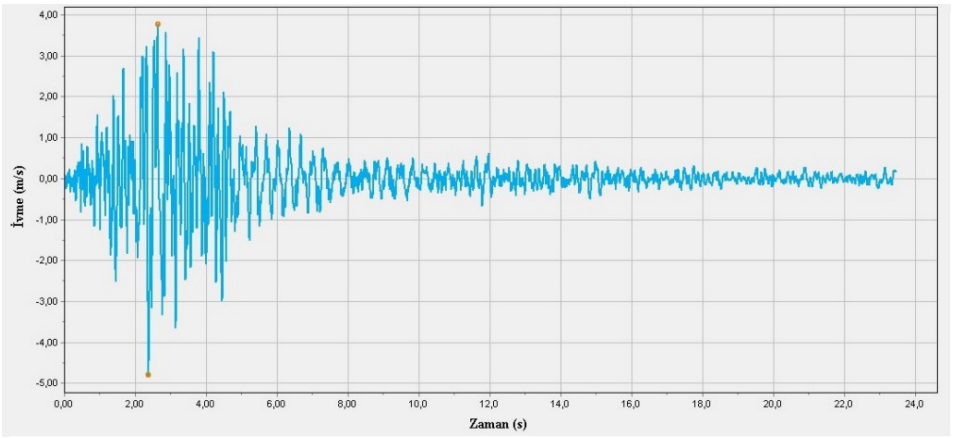
Plaxis 2D yazılımında zeminin sıvılaşma durumu incelenirken dinamik analiz kullanılmaktadır. Dinamik analiz zamana bağlı bir analiz olduğu için model boyutuna, kullanılan deprem parametresindeki zaman uzunluğuna, sonlu elemanlar ağ yoğunluğu gibi birçok etkenden dolayı uzun süreler alabilmektedir.

Zeminin doğal durumunda sıvılaşma analizi yaparken Plaxis 2D'nin "Site Response" analizi ile bütün modelde yapmak yerine birim boyutta sıvılaşma analizi yapmak hem güvenilir hem de analizi kısa sürede gerçekleştirmek için büyük fayda sağlamaktadır. Site Response analizin çalışma mantığı kısaca şekil 5.7'de sunulmuştur. (Laera & Brinkgreve, 2015)



Şekil 5.7. Zemin stratigrafisi.

İki boyutlu modelde gerçekleştirilen sıvılaşma analizi için yapılan dinamik analizlerde kullanılan deprem datası Şekil 5.2'de sunulmuştur.



Şekil 5.8. Plaxis'te kullanılan deprem datası.

Numerik analizlerde sıvılaşma potansiyeli, aşırı boşluk suyu basıncının ve o derinlikte başlangıçtaki efektif düşey gerilmenin oranını temsil eden aşırı boşluk suyu basıncı oranı ($r_{u\sigma'v}$) aracığıyla ifade edilmektedir.

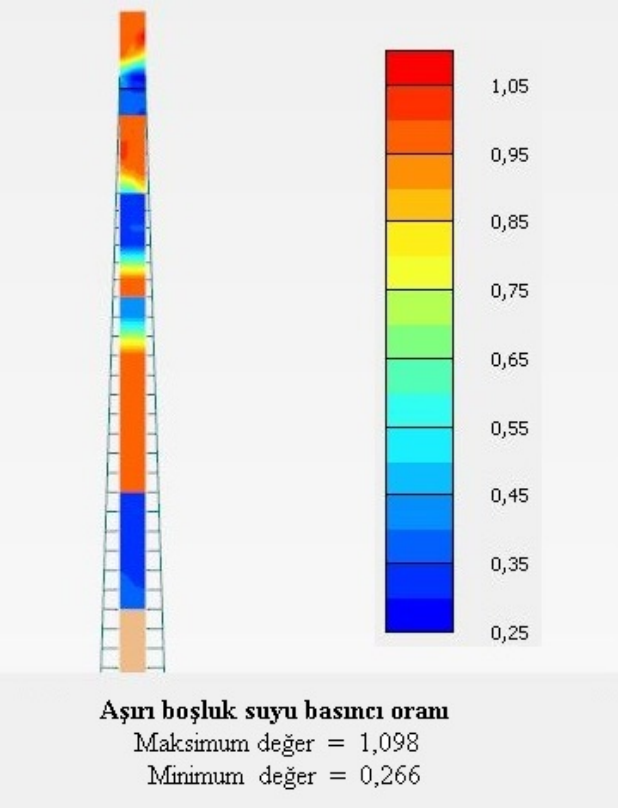
UBC3D-PLM modeli için $r_{u\sigma'v}$ Denklem 5.6'daki gibi verilmektedir.

$$r_{u\sigma'v} = 1 - \frac{\sigma'v}{\sigma'v_0} \tag{5.6}$$

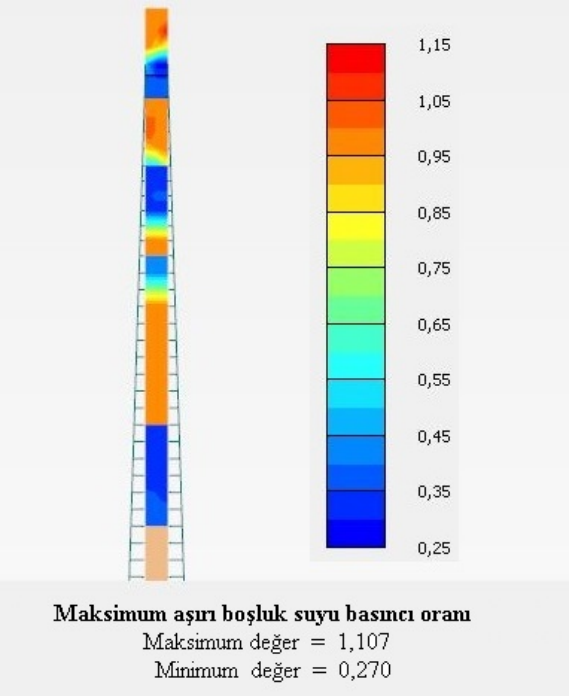
$\sigma'v$: Dinamik hareketin sonundaki düşey efektif gerilme

$\sigma'v_0$: Dinamik hareketin başındaki düşey efektif gerilme

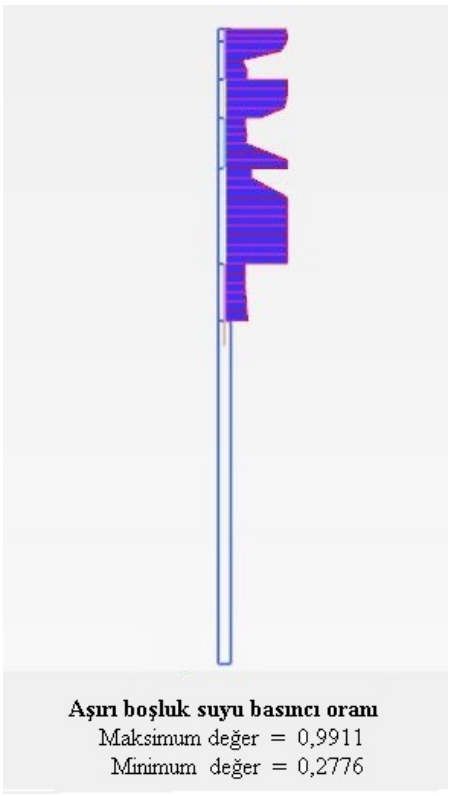
$r_{u\sigma'v}$ değerinin 1'e eşit olduğu katman tamamen sıvılaşmış durumdadır. Ayrıca Beaty ve Perlea (2011), $r_{u\sigma'v}$ değerinin maksimum 0,7'den büyük olduğu durumlarda zeminin sıvılaştığını öne sürmüşlerdir. (Beaty & Perlea, 2012)



Şekil 5.9. Düşey efektif gerilme aşırı boşluk suyu basıncı oranı.



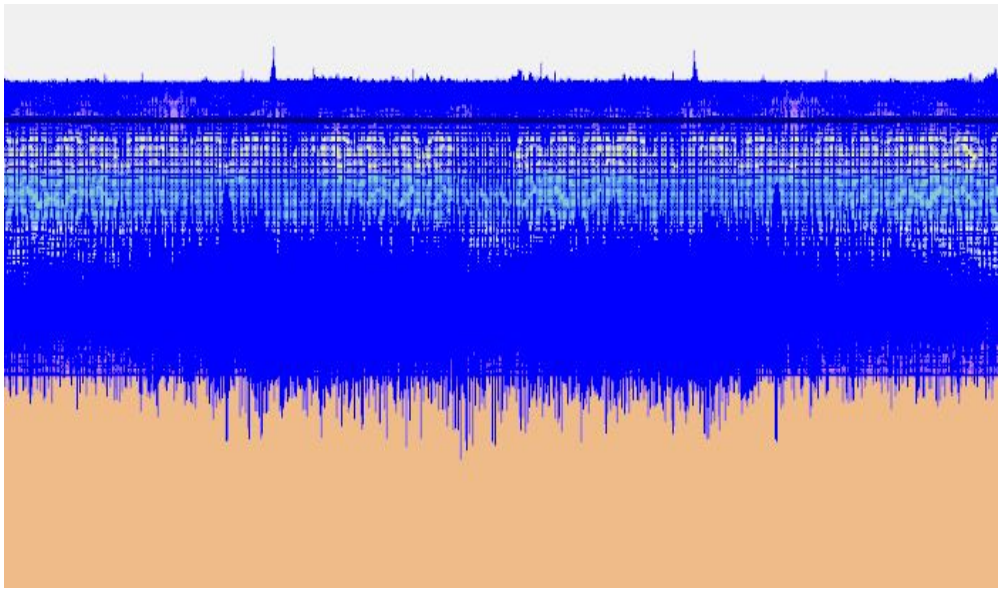
Şekil 5.10. Düşey efektif gerilme maksimum aşırı boşluk suyu basıncı oranı.



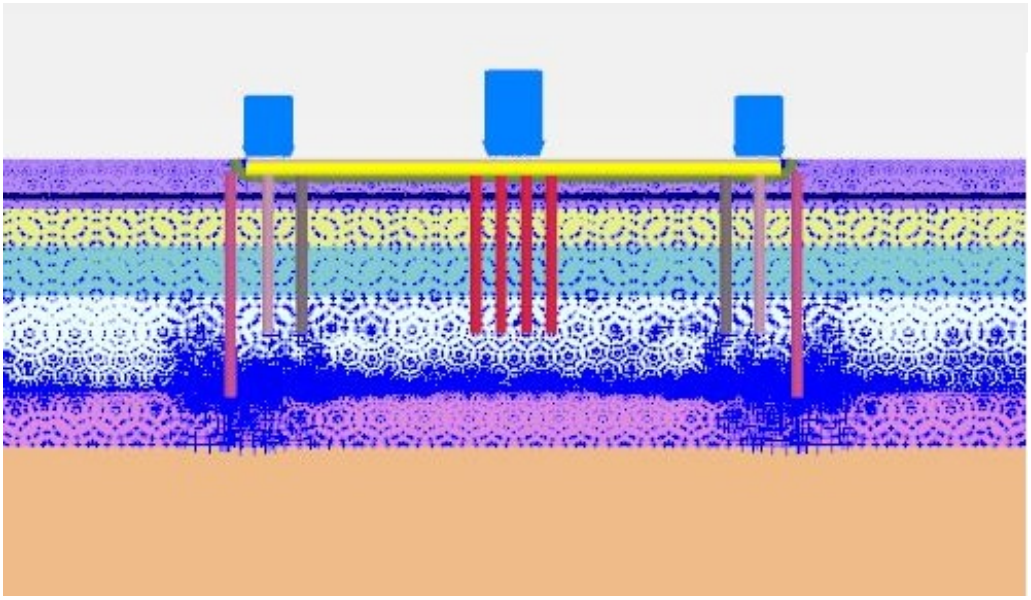
Şekil 5.11. Sıvılaşan katmanlar.

Sıvılaşma analizlerinde elde edilen düşey efektif gerilme aşırı boşluk suyu basıncı oranı 0,99 ile 1,11 seviyelerinde olduğu görülmektedir. $r_{u\sigma'v}$ değerinin 0,7'den büyük olması durumunda sıvılaşma potansiyeli olduğu göz önünde bulundurarak proje binasının zemininde sıvılaşma ciddi bir riski olduğu analiz sonucu olarak görülmektedir. Bu analiz sonuçlarına bakılarak sıvışma problemi için temel zemininde acil önlem alınması gerektiği anlaşılmaktadır.

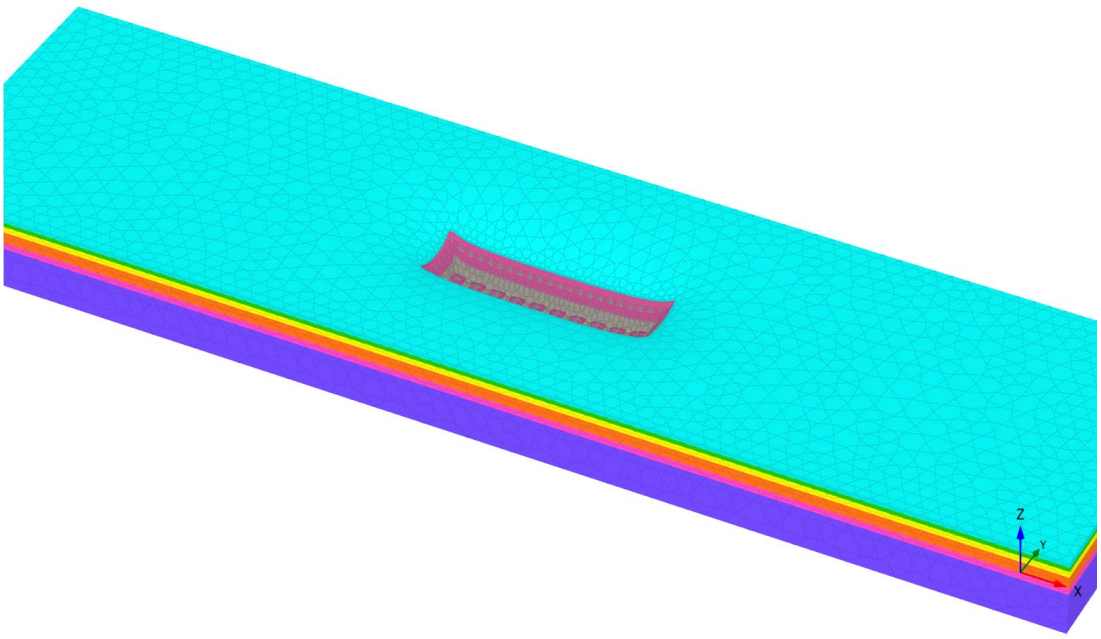
Sıvılaşma problemi için bu proje kapsamında jet grout ile zemin iyileştirme yapılmıştır. Yapılan jet grout yöntemi ile iyileştirme sonucunda Plaxis 2D programı kullanılarak sıvılaşma riski incelenmiştir. İyileştirme sonrası boşluk suyu basıncı bu bağlamda incelenmiştir. Doğal durumdaki boşluk suyu basıncı dağılımı Şekil 5.12'de sunulmuştur. İyileştirme sonrası oluşan boşluk suyu basıncındaki dağılım ise Şekil 5.13'te sunulmuştur.



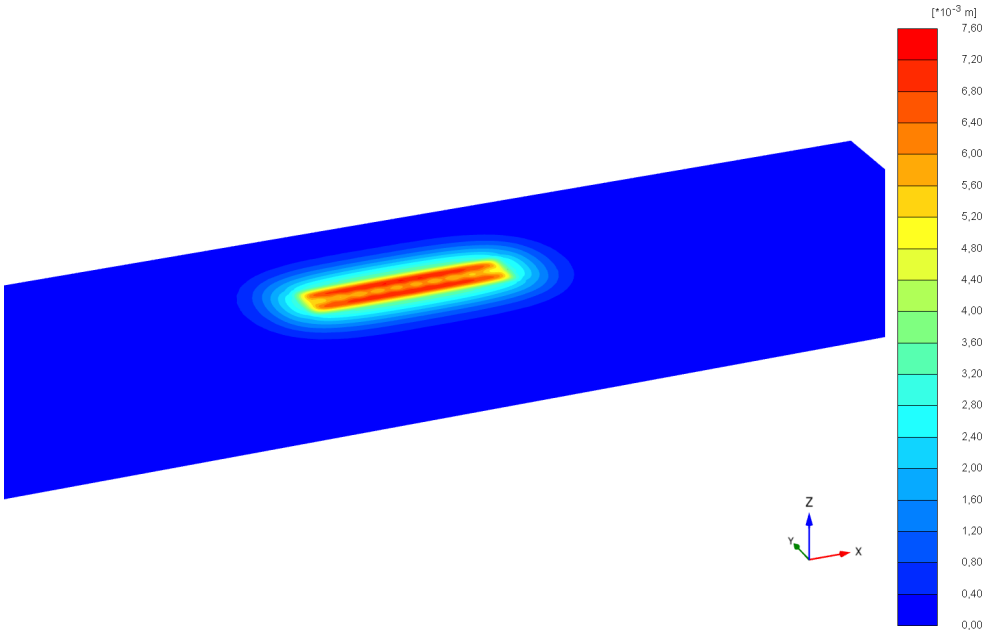
Şekil 5.12. Doğal durumdaki boşluk suyu basıncı dağılımı.



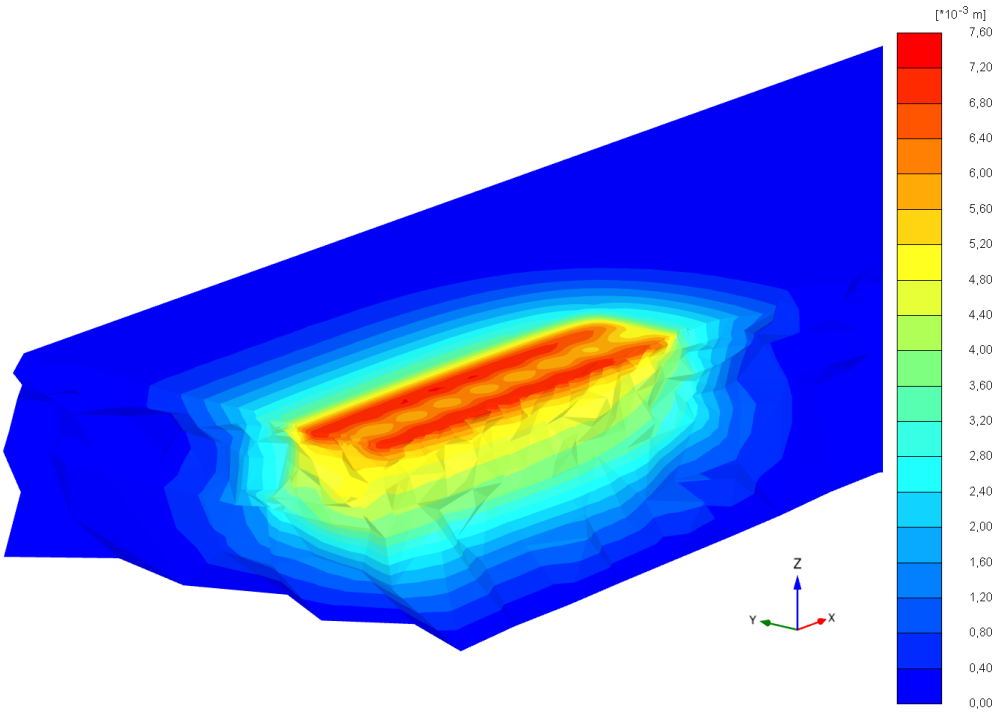
Şekil 5.13. Jet grout uygulaması sonrasında oluşan boşluk suyu basıncı dağılımı.



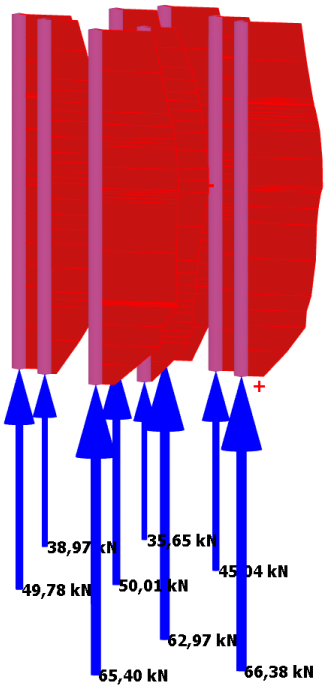
Şekil 5.14. 3D Modelde deforme olmuş sonlu elemanlar ağı.



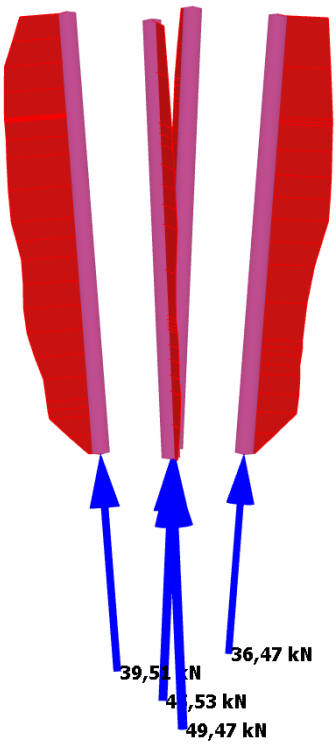
Şekil 5.15. 3D Modelde toplam yer değiştirme.



Şekil 5.16. 3D Modelde toplam yer değiştirme modelin iç kısmı.



Şekil 5.17. 3D Modelde orta kısımda bulunan temel çevresindeki 13 metre uzunluğundaki dik jet groutların eksenel kuvvetleri.



Şekil 5.18. 3D Modelde orta kısımda bulunan temel çevresindeki 13 metre uzunluğundaki eğimli jet groutların eksenel kuvvetleri.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

Proje sahasında zemin profilini ve profili oluşturan birimlerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla zemin araştırmaları kapsamında yapılan sondaj çalışmaları, sismik MASW ölçümleri, standart penetrasyon deneyleri, presiyometre deneyleri, yeraltı su seviyesi ölçümleri, elek analizi, Atterberg limitleri, su muhtevası tayini, doğal birim hacim ağırlık ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin tayini, özgül ağırlık deneyleri, konsolidasyon deneyleri, üç eksenli ve direk kesme deneylerinden elde edilen parametreler tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

Proje sahasının temel zemini genellikle siltli killi orta sıkı ince taneli kum, ince orta ve iri taneli boylanmış çakıl arabantlı alüvyonel orta sıkı kum, orta katı yüksek plastisiteli kil ve siltli deniz kabukları içerikli katı-çok katı orta plastisiteli kil birimlerden oluşmaktadır.

Proje sahasının gözlemlenen yer altı su seviyesi 2,90 - 3,45 metre arasında değişmektedir.

Sismik ölçümler ve yapılan arazi deneylerinden elde edilen veriler dahilinde Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018'e göre yerel zemin sınıfı "ZD" olarak belirlenmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında yapılan çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak mevcut proje binası taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma açısından değerlendirilmiştir. Taşıma gücü, oturma ve sıvılaşma hesapları Türkiye Bina ve Deprem Yönetmeliği 2018'e göre hesaplanmıştır. Proje binası zemininin taşıma gücü 337 kPa olarak hesaplanmıştır, temel zemini emniyetli taşıma gücü bakımından yeterli olduğu görülmüştür ve üst yapıdan gelen yükleri güvenli bir şekilde taşıdığı anlaşılmaktadır. Ayrıca kil birimlerin oturma hesaplarında elde edilen 4,21 cm ve kum birimlerin oturma hesaplarından elde edilen 3,66 mm değerleri izin verilen farklı oturma sınırları içerisinde kaldığı hesaplanmıştır ve 4,576 cm olan toplam oturma değeri toplam oturma sınırları içerisinde kaldığı hesaplanmıştır.

İlgili sondajlarda yapılan sıvılaşma hesaplarında proje binasının zemini sıvılaşmaya karşı güvensiz olduğu belirlenmiştir. Mevcut durumdaki proje binasının zeminini iyileştirmek için jet grout yöntemi daha etkin olacağından dolayı temel zeminin çevresinde eğimli ve düz olan 13 metrelik ve proje binasının çevresinde 18 metrelik jet grout kolonları tasarlanmıştır. Tasarlanan 13 metrelik jet grout kolonunun taşıma kapasitesi 61,3 ton olarak elde edilmiştir ve iyileştirme sonrası temel zeminin emniyetli taşıma kapasitesi 448 kPa değerine çıkmıştır. Tasarlanan 18 metrelik jet grout kolonunun taşıma kapasitesi ise 88,9 ton olarak elde edilmiştir ve iyileştirme sonrası zeminin emniyetli taşıma kapasitesi ise 517 kPa değerine çıkmıştır.

İyileştirme sonrası yapılan sayısal sıvılaşma hesaplarında sıvılaşma riski bulunan derinliklerde sıvılaşma riskinin ortadan kalktığı hesaplanmıştır.

İdealize edilen zemin profili sonlu elemanlar yazılımı olan Plaxis programıyla iki boyutlu ve üç boyutlu olarak modellenmiştir. Üç boyutlu model mevcut durumdaki yapı durumuna göre modellenmiştir. Modelde oluşan deplasmanların kabul edilir seviyede olup izin verilen sınırları aşmadığı görülmektedir. Üç boyutlu modelde eğimli olarak modellenen jet groutların düz olarak modellenen jet groutlara yakın bir performans gösterdiği görülmüştür. İki boyutlu modelde sıvılaşma durumunu incelemek için gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda zemin katmanlarında sıvılaşma riskinin bulunduğu görülmektedir. İyileştirme sonrası incelenen boşluk suyu basıncında ise büyük bir azalış olduğu görülmektedir.

7. KAYNAKLAR

AFAD. (2018). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası.*

Akbulak, C. (2006). 'İznik Gölü Depresyonunun Beşerî ve İktisadi Coğrafya Açısından İncelenmesi', Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Akbulak, C. (2007). İznik Gölü Havzasında Arazi Kullanımının Seçilmiş Köyler Üzerinde İncelenmesi. *İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi*, *15*, 24–43.

Aksangür, Z. (2017). 'Yüksek Modüllü Kolonların (Jet Grout) Zemin İyileştirmesinde Kullanılması ve Hesap Yöntemleri', Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.

Al, N. (2018). 'Zemin İyileştirme Teknikleri: Bir Uygulama Örneği', Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye.

Ardel, A. (1954). İznik Depresyonu ve Gölü. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Enstitüsü Dergisi*, *5–6*, 225–230.

Atıcı, M. (2019). 'Jet Grouting, Enjeksiyon ve Taş Kolon Uygulamalarının Taşıma Gücü ve Oturma Davranışlarının Sayısal Yöntemlerle Karşılaştırılması', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Aydın, S. (2000). 'İznik Gölü Çevresinde Yalıtaşı Oluşumları', Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Bargu, S. (1982). The Geology of İznik- Yenişehir (Bursa) Osmaneli (Bilecik) Area. *İstanbul Earth Sciences Rewiew*, *3*(1–2), 191–234.

Bargu, S., & Sakınç, M. (1989). İzmit Körfezi ile İznik Gölü Arasında Kalan Bölgenin Jeolojisi ve Yapısal Özellikleri. *İstanbul Üniv. Müh. Fak. Yerbilimleri Dergisi*, *6*(1–2), 45–76.

Beaty, M. H., & Perlea, V. G. (2012). Effect of Ground Motion Characteristics on Liquefaction Modeling of Dams. *GeoCongress ASCE*, 2108–2117.

Burmister, D. M. (1950). *Princibles and Techniques of Soil Identification* (pp. 402–433).

Çınar, H. (2014). 'Zemin İyileştirmesinde Jet Grout Yöntemi ve Uygulamaya Yönelik Proje Çalışmaları', Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Priciples of Geotechnical Engineering. Cengage Learning Inc.

Demir, S., & Özener, P. (2019). Estimation of Liquefaction with UBC3D-PLM Model: A Centrifuge Test Example. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers*, *30*(5), 9421–9442.

Garipağaoğlu, N., & Uzun, M. (2019). İznik Gölü Havzası'nda Doğal Ortam Koşullarının Havza Yönetimi ve Planlamasına Etkisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, *24*(42), 1–15.

Google Earth. (2020). *Map data: Google, Maxar Technologies*.

Gürleyik, N. A. (2018). 'İnce Daneli Zeminlerde Tekil Jet Kolon Tasarımı', Yüksek Lisans Tezi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, Türkiye.

Horvath, J. S. (2002). *Static Analysis of Axial Capacity of Driven Piles in Coarse-Grain Soil*. Manhattan College Center for Geotechnology.

Kumbasar, V., & Kip, F. (1999). Zemin Mekaniği Problemleri. Çağlayan Kitapevi.

Küsin, C. C. (2009). 'Jet Grout Yöntemi ile İyileştirilen Zeminlerin Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Sayısal Analizi', Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, Türkiye.

Laera, A., & Brinkgreve, R. B. J. (2015). Plaxis Site Response Analysis Liquefaction Evaluation.

Lunardi, P. (1997). Ground Improvement by Means of Jet-Grouting. *Ground Improvement 1*, 65-85.

Meriç, E., Nazik, A., Avşar, N., Alpar, B., Ünlü, S., & Gökaşan, E. (2009). Kuvaterner'de olası Marmara Denizi-İznik Gölü Bağlantısının Delilleri: İznik Bölü (Bursa-KB Türkiye) Güncel Sedimanlarındaki Ostrakod ve Foraminiferlerin Değerlendirilmesi. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, *22*(1), 1–19.

Meşeli, A. (2010). İznik Gölü Havzasında Çevre Sorunları. *Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Dergisi, 14*, 134–148.

Meyerhof George Geoffrey. (1976). Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations. *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, *102*(3), 197–228.

Mitchel, J. K., & Katti, R. K. (1981). Soil Improvement-State-of-the-Art Report. *10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stocholm*, 509–565.

Nicholson, P. G. (2014). Soil Improvement and Ground Modification Methods. Elsiever Inc.

Önalp, A., & Sert, S. (2006). Geoteknik Bilgisi III: Bina Temelleri. Birsen Yayınevi.

Öztürk, K., Yaltirak, C., & Alpar, B. (2009). The Relationship Between the Tectonic Setting of the Lake Iznik Basin and the Middle Stand of the North Anatolian Fault. *Turkish Journal of Earth Sciences*, *18*(2), 209–224.

Pektezel, H. (2013). 'Mekece - İznik - Gemlik Fay Zonu'nun Tektonik Jeomorfoloji İncelemesi', Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Petalas, A., & Galavi, V. (2012). Plaxis Liquefaction Model UBC3D-PLM.

Sherif, G., & Schultze, E. (1973). Prediction of Settlements From Evaluated Settlement Observations for Sand. *In Proceedings 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, *1*(3), 225–230.

Stroud, M. A. (1974). The Standart Penetration Test in Insensitive Clays and Soft rock. *Proceedings European Symposium on Penetration Resistance, National Swedish Institute for Building Research*, *2*(2), 367–375.

Sünbül, A. B., & Mungan, H. (2018). Sonlu Elemanlara Dayalı Dinamik Analiz; Zemin İyileştirme- Derin Temel Örneği. *6th International Symposium on Innovative Technologies in Engineerind and Science*, 206–215.

TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. *30364 Sayılı Resmî Gazete*.

T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.

Toprak, B. (2005). 'Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yeraltı Su Seviyesinin Düşürülmesinde Well-Point Metodunun Kırıkkale İlinde Uygulanabilirliğinin Değerlendirilmesi', Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, Türkiye.

Tsegaye, A. B. (2010). Plaxis Liquefaction Model (UBC3D).

Uzuner, B. A. (1995). Temel Mühendisliğine Giriş. Derya Kitabevi.

Yazıcı Çapuk, Ö. (1999). 'İznik- Mekece Arasının Jeomorfolojisi', Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	:Ulvi KAYAKESER
Doğum Tarihi ve Yeri	:
Yabancı Dili	:İngilizce
E-posta	:

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnşaat Mühendisliği	Düzce Üniversitesi	Devam ediyor.
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi	2019
Lise		İpekyolu Borsa İstanbul Fen Lisesi (Anadolu Öğretmen Lisesi)	2011

YAYINLAR

Kayakeser, U., Sünbül Güner, A. B. ve Mungan, H., (2021) "Site Characterization and Engineering Properties; Case Study", *6th International Mardin Artuklu Scientific Researches Conference*, 53-73. (Sözlü Sunum / Tam Metin Bildiri)

Kayakeser, U. ve Sünbül Güner, A. B., (2021) "Investigation of Deformation of a Excavation Support System by Anchorage", *4th International Symposium on engineering Natural Sciences and Architecture*, 36-43. (Sözlü Sunum / Tam Metin Bildiri)