



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALİ

**AKSARAY İLİ 5 VE 6 NOLU YAĞMURSUYU DRENAJ
BÖLGELERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berker GÖKTAŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Murat KAVURMACI

AKSARAY, 2021

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 192302405 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Berker GÖKTAŞ tarafından hazırlanan “**AKSARAY İLİ 5 VE 6 NOLU YAĞMURSUYU DRENAJ BÖLGELERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. M. Murat KAVURMACI

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.....

Üye: Prof. Dr. Mustafa AFŞİN

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.....

Üye: Doç. Dr. Mutluhan AKIN

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum/~~onaylamıyorum~~.....

Tez Savunma Tarihi: 03/09/2021

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, akademik kurallara ve bilimsel etik, ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, çalışmamda kullandığım verilerin orijinalliğini ve her türlü intihalden uzak olduğunu beyan ederim.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Berker GÖKTAŞ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın hazırlanmasında desteklerinden dolayı danışman hocam Doç. Dr. M. Murat Kavurmacı'ya, Aksaray Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mustafa Afşin'e, değerli jüri üyelerine, veri desteği sağlamasından dolayı Aksaray Belediyesi Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü ile İmar ve Şehircilik Müdürlüğü personeline, çalışma sürecinde her zaman yanımda olan ve manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Elif ve oğlum Mehmet Türker'e teşekkürlerimi sunarım.

Berker GÖKTAŞ
AKSARAY, 2021

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi	1
1.2 Çalışma Alanının Coğrafik ve Morfolojik Durumu	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1 Jeolojik Çalışmalar	4
2.2 Zemin ve Kaya Mekanik Çalışmaları.....	6
3. MATERYAL VE YÖNTEM	8
3.1 Materyal	8
3.2 Yöntem.....	8
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	10
4.1 Bölgesel Jeoloji	10
4.1.1 Stratigrafi.....	10
4.1.1.1 Orta Anadolu kristalen karmaşığı (OAKK)	12
4.1.1.2 Kartal formasyonu	15
4.1.1.3 Mezgit formasyonu	15
4.1.1.4 Uzunkaya formasyonu	17
4.1.1.5 Göstük ignimbiriti.....	18
4.1.1.6 Selime tüfü	18
4.1.1.7 Kızılkaya ignimbiriti.....	19
4.1.1.8 Hasandağı volkanitleri	22
4.1.1.9 Traverten	22
4.1.1.10 Tuz gölü formasyonu	23
4.1.1.11 Alüvyon.....	23
4.1.2 İnceleme alanının jeolojisi.....	23
4.1.3 Yapısal jeoloji.....	25
4.2 Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri.....	28
4.2.1 Zeminlerin fiziksel özellikleri ve sınıflaması	28
4.2.1.1 Tane boyu dağılımı	30
4.2.1.2 Atterberg kıvam limitleri	32
4.2.1.3 Su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlık.....	34
4.2.1.4 Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS)	36
4.2.2 Zeminlerin indeks özellikleri	38
4.2.2.1 Plastisite indeksi	38
4.2.2.2 Likitlilik ve kıvamlılık indeksi	39
4.2.2.3 Aktivite	41
4.2.2.4 Sıkışma indeksi.....	42
4.2.2.5 Şişme potansiyeli.....	43
4.2.3 Zeminlerin mekanik özellikleri.....	45
4.2.4 Zeminlerin taşıma gücü özellikleri	47
4.2.4.1 Zeminlerin radye temel tipine göre taşıma gücü hesaplamaları.....	48
4.2.4.2 Zeminlerin şerit temel tipine göre taşıma gücü hesaplamaları.....	50

4.2.4.3 Terzaghi (1943) hesaplama yöntemi	51
4.2.4.4 Türkiye bina deprem yönetmeliği (2018) hesaplama yöntemi.....	54
4.2.4.5 Standart penetrasyon testi (SPT) yöntemi.....	58
4.2.5 Zeminlerin sıvılaşma riskinin hesaplanması.....	60
4.3 Yeraltı Sularının Betonarme Yapılardaki Korozyon Etkinlik Derecesinin Belirlenmesi	64
4.4 Yağmursuyu Kolektör Hattı Özellikleri ve İmalat Esnasında Alınacak Önlemler	72
4.4.1 Altyapı inşaatlarında kullanılan iksa sistemleri.....	75
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR.....	82
ÖZGEÇMİŞ	88



YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKSARAY İLİ 5 VE 6 NOLU YAĞMURSUYU DRENaj BÖLGELERİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Berker GÖKTAŞ

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. M. Murat KAVURMACI

ÖZET

Bu çalışma kapsamında, Aksaray iline ait 5 ve 6 numaralı yağmursuyu toplama bölgelerinin zemin özellikleri 102 adet araştırma sondajından elde edilen jeoteknik ve hidrojeolojik veriler kullanılarak incelenmiştir. İnceleme alanı sınırları içerisinde gözlenen jeolojik birimler alüvyon ve alüvyon konisidir. Zemin genel olarak 10 metre derinliğe kadar, kahverengi - gri rengin egemenliğinde, ağırlıklı olarak kil, kumlu-siltli kil, killi-siltli ince kum, killi kumlu silt, çakıllı kum ve çakıllardan oluşan heterojen bir profil gösterir. İnce taneli zeminlerin oranı % 88, iri taneli zeminlerin oranı ise % 12'dir. Bölge ince taneli zeminler genel olarak düşük plastisiteli kil (CL) türü zemin özelliği gösterir. İnce taneli zeminlerin % 94'ü aktif olmayan, orta sıkışabilir kil özelliğindedir. İnce taneli zeminlerin % 80'i orta şişme potansiyeline sahiptir. Terzaghi (1943) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) yöntemleri ile radye temel tipine göre hesaplanan ortalama nihai taşıma gücü değerleri sırası ile 1,69 kg/cm² ve 3,81 kg/cm²'dir. Şerit temel tipine göre yapılan nihai taşıma gücü değerleri sırası ile 1,36 kg/cm² ve 3,23 kg/cm²'dir. Zeminlerin bazı fiziksel özelliklerinin ortalama değerleri; doğal birim hacim ağırlığı 1,9 gr/cm³, doğal su muhtevası % 22, likit limit % 43,4, plastik limit % 20,9 ve plastisite indeksi % 22,4 olarak hesaplanmıştır. Zeminlerin sıvılaşma potansiyeli indeksleri 6 (Ms) büyüklüğünde senaryo depreme göre ortalama 0,29; 7 (Ms) büyüklüğünde senaryo depreme göre ortalama 1,37'dir.

26 araştırma kuyusundan alınan su örnekleri üzerinde gerçekleştirilen su kimyası analiz sonuçlarına göre, yeraltı sularının ortalama karbondioksit, amonyum, magnezyum ve sülfat değerleri sırası ile 33,2, 0,64, 80,4 ve 372,9 mg/L olarak ölçülmüştür. CO₂ içerikleri açısından yeraltı sularının % 27'si, binaların temelinde bulunan beton ve donatılar için kuvvetli korozyon etkisine sahiptir. Bu oran SO₄ konsantrasyonu için %19 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aksaray, Yağmursuyu Kollektör Hattı, Zemin Özellikleri, Yeraltı Suyu, Korozyon Etkinlik

Eylül, 2021; 88 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE 5th AND 6th RAINWATER DRAINAGE REGIONS IN AKSARAY PROVINCE

Berker GÖKTAŞ

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Murat KAVURMACI

ABSTRACT

In this study, the soil properties of the 5th and 6th rainwater catchment areas of Aksaray province were investigated by using the geotechnical and hydrogeological data obtained from 102 exploration drillings. The geological units observed within the boundaries of the study area are alluvium and alluvial cones. Up to a depth of 10 meters, soil shows a generally heterogeneous profile consisting of gravelous sand and gravel, brown-gray color, clay, sandy-silty clay, clay-silty fine sand, clayey-sandy silt. The ratio of fine-grained soil is 88 % and coarse-grained soil is 12%. Fine-grained soils in region generally show low plasticity silty clay (CL) type soil characteristics. 94% of the fine-grained soils are inactive - medium compressibility clay feature. 80% of fine grained soils have medium swelling potential. The mean ultimate bearing capacity of soils for raft foundation calculated according to the Terzaghi (1943) and Turkey Building Earthquake Regulation (TBDY) methods are 1.69 kg/cm² and 3.81 kg/cm², respectively. Bearing capacity of soils for continuous foundations are 1.36 kg/cm² (acc. to Terzaghi) and 3.23 kg/cm² (acc. to TBDY). Average values of some physical properties of soils; are natural unit weight 1.9 gr/cm³, natural water content 22%, liquid limit 43.4 %, plastic limit 20.9 % and plasticity index 22.4 %. The liquefaction potential index averages of studied area calculated according to 6 Ms and 7 Ms earthquake scenario are 0.29 and 1.37.

According to the results of water chemistry analysis performed on water samples taken from 26 research wells, the mean values of the carbon dioxide, ammonium, magnesium and sulphate concentrations in groundwaters have been measured 33.2, 0.64, 80.4 and 372.9 mg/L, respectively. In terms of CO₂ concentrations, 27% of groundwaters have a strong corrosive efficiency ratio for concrete and reinforcements in the foundations of buildings. This ratio has been calculated as 19% for the SO₄ concentration.

Keywords: Aksaray, Rainwater Collector Line, Soil Properties, Groundwater, Corrosive Efficiency

September, 2021; 88 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası	2
Şekil 1.2. Aksaray ilinin yükseklik kot haritası.	3
Şekil 4.1. Aksaray ve çevresinin genel jeoloji haritası	11
Şekil 4.2. Basitleştirilmiş Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın jeoloji haritası	12
Şekil 4.3. Aksaray ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti	14
Şekil 4.4. Birim tabanında gözlenen iri çakıllı konglomera	16
Şekil 4.5. Mezgit formasyonu içinde gözlenen tabakalı jips seviyeleri	16
Şekil 4.6. Selime tufünün makroskopik ve içerisindeki pümislerin görünümü.	19
Şekil 4.7. a-b) Tüflerde gözlenen biyotitlerin, plajiyoklazların ve bağlayıcı matriksi oluşturan shardların fotomikrograf görüntüleri	19
Şekil 4.8. Kızılkaya ve Selime tüfleri arasındaki dokanak ilişkisi	20
Şekil 4.9. İgnimbiritlerde gözlenen günlenmeye bağlı renk değişimi	20
Şekil 4.10. Makroskobik olarak ignimbiritlerin görüntüsü	21
Şekil 4.11. a-b) İgnimbiritlerde gözlenen piroksen, plajiyoklas ve zonlu plajiyoklasların fotomikrograf görüntüleri, c-d) İgnimbiritlerde gözlenen biyotitlerin ve bağlayıcı matriksi oluşturan shardların fotomikrograf görüntüleri	21
Şekil 4.12. Yaprakhisar ve çevresinde çökelen travertenlerin görüntüsü	22
Şekil 4.13. İnceleme alanının Doğu-Batı istikametindeki jeolojik kesiti	25
Şekil 4.14. İnceleme alanının Güneydoğu-Kuzeybatı istikametindeki jeolojik kesiti	25
Şekil 4.15. Aksaray ve çevresinin fay haritası	27
Şekil 4.16. Zeminlerin tane boyu oranları	31
Şekil 4.17. Zeminlerin tane boyu dağılım grafiği	31
Şekil 4.18. İnceleme alanındaki ince ve iri taneli zeminlerin konumsal dağılımı	32
Şekil 4.19. Atterberg limitlerin istatistiksel değerleri	33
Şekil 4.20. Zeminlerin likit limit ve plastik limit değerleri dağılım grafiği	33
Şekil 4.21. İncelenen zeminlerin plastisite abağındaki dağılımı	34
Şekil 4.22. İnceleme alanındaki zeminlerin doğal birim hacim ağırlık değerlerinin konumsal dağılımı	36
Şekil 4.23. Zemin sınıflarının dağılımı (USCS)	37
Şekil 4.24. İnceleme alanındaki zeminlerin plastisite indisleri konumsal dağılımı ...	39
Şekil 4.25. İnceleme alanındaki zeminlerin aktivite değerlerine göre kil tanımlaması	41
Şekil 4.26. İncelenen zeminlerin aktivite abağı üzerinde gösterimi	42
Şekil 4.27. Şişme potansiyeli sınıflama abağı	44
Şekil 4.28. Zeminlerin Terzaghi (1943) taşıma gücü değerlerinin trend analizi	53
Şekil 4.29. TBDY (2018) taşıma gücü değerlerinin trend analizi	56
Şekil 4.30. İncelenen zeminlerin 3 farklı hesaplama yöntemine göre ortalama taşıma gücü değerleri	59
Şekil 4.31. İncelenen zeminlerin 6 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indeksleri	63

Şekil 4.32. İncelenen zeminlerin 7 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indeksleri.....	63
Şekil 4.33. Yeraltı suyunun bina bodrum katı betonarme duvarlarına verdiği hasar .	65
Şekil 4.34. Çevresel faktörlerle korozyona uğramış çelik donatı.....	66
Şekil 4.35. İnceleme alanının yeraltı sularının kireç çözücü (CO_2) dağılımı	68
Şekil 4.36. İnceleme alanının yeraltı sularının Amonyum (NH_4^+) dağılımı.....	69
Şekil 4.37. İnceleme alanının yeraltı sularının Magnezyum (Mg^{+2}) dağılımı	70
Şekil 4.38. İnceleme alanının yeraltı sularının Sülfat (SO_4^{-2}) dağılımı	71



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş zemin profilleri.....	24
Çizelge 4.2. Zeminlerin fiziksel ve indeks özelliklerinin toplu gösterimi.	28
Çizelge 4.3. Bazı sınıflandırma sistemlerinde tane boyutuna göre ayrımı.	30
Çizelge 4.4. ASTM elekler ve metrik karşılıkları.	30
Çizelge 4.5. Zeminlerin tane boyu istatistikleri	31
Çizelge 4.6. Zeminlerin Atterberg limitlerine göre istatistiksel değerleri	32
Çizelge 4.7. Zeminlerin su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlıklarının istatistiksel değerleri.	35
Çizelge 4.8. Zeminlerin sınıfına göre doğal birim hacim ağırlık ortalamaları.....	35
Çizelge 4.9. Zeminlerin Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımları.....	37
Çizelge 4.10. Kohezyonlu zeminlerin Plastisite derecesine göre sınıflaması.....	38
Çizelge 4.11. Plastisite indeksine göre plastisite derecesi ve kuru dayanım	39
Çizelge 4.12. Zeminlerin Likitlik indeksine göre sınıflaması.....	40
Çizelge 4.13. Zeminlerin Kıvamlılık indeksine göre sınıflaması.....	40
Çizelge 4.14. İnce taneli zeminlerin Kıvamlılık ve Likitlik indeksi özellikleri.....	40
Çizelge 4.15. İncelenen zeminlerin aktivite değerine göre sınıflaması	41
Çizelge 4.16. İncelenen zeminlerin aktivite değerine göre sınıflaması	42
Çizelge 4.17. İncelenen zeminlerin likit limite göre sıkışabilirlik sınıflaması	43
Çizelge 4.18. İncelenen zeminlerin şişme yüzdesi, likit limit ve PI değerlerine göre yapılan çeşitli şişme potansiyeli sınıflamaları.	45
Çizelge 4.19. Zeminlerin mekanik özelliklerinin toplu gösterimi.....	46
Çizelge 4.20. Zeminlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel gösterimi.	47
Çizelge 4.21. Zeminlerin radye temel tipine göre taşıma gücü özelliklerinin toplu gösterimi	48
Çizelge 4.22. Zeminlerin şerit temel tipine göre taşıma gücü özelliklerinin toplu gösterimi	50
Çizelge 4.23. İncelenen zeminlerin UD-1 seviyesindeki sınıflarına göre kohezyon, içsel sürtünme açısı ve taşıma gücü değerleri.....	53
Çizelge 4.24. İncelenen zeminlerin UD-1 seviyesindeki sınıflarına göre kohezyon, doğal birim hacim ağırlığı ve taşıma gücü değerleri.....	55
Çizelge 4.25. İncelenen zeminlerin Terzaghi (1943) ve TBDY (2018) yöntemleri ile radye temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesaplarının kıyaslaması.....	57
Çizelge 4.26. İncelenen zeminlerin SPT Emniyetli Taşıma Gücü Değerleri.....	58
Çizelge 4.27. İncelenen zeminlerin 3 farklı hesaplama yöntemine göre ortalama, maksimum ve minimum taşıma gücü değerleri... ..	59
Çizelge 4.28. Sıvılaşma potansiyeli sınıflaması.....	60
Çizelge 4.29. Iwasaki vd. (1982) yöntemine göre 6 ve 7 (Ms) büyüklüğündeki senaryo depremlere göre sıvılaşma potansiyeli indeks değerleri.....	61
Çizelge 4.30. Sıvılaşma potansiyeli indeks değerlerinin istatistik verileri	62
Çizelge 4.31. Beton temas sularının zararlı etkinlik derecesi sınır değerleri.....	66
Çizelge 4.32. İnceleme alanındaki yeraltı sularının pH değerleri.	67
Çizelge 4.33. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Kireç Çözücü (CO ₂) değerleri.	67

Çizelge 4.34. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Amonyum (NH_4^+) değerleri.....	69
Çizelge 4.35. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Magnezyum (Mg^{+2}) değerleri...	70
Çizelge 4.36. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Sülfat (SO_4^{-2}) değerleri.....	71
Çizelge 4.37. Yağmursuyu kollektör hattında kullanılan betonarme kutu menfez Özellikleri	72
Çizelge 4.38. Yağmursuyu kollektör hattında kullanılan beton(arme) boru özellikleri	72
Çizelge 4.39. Beton boruların çapa göre minimum kırılma yükleri.....	73



SİMGELER VE KISALTMALAR

A	Aktivite
ASTM	Amerikan Karayolları Standardı
B	Temel Genişliği (metre)
bc, bq, by	Temel Taban Eğimi Katsayıları
C	Kohezyon
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
Cc	Sıkışma İndisi
Cr	Süreklilik Katsayısı
Cu	Uniformluk Katsayısı
CH	Yüksek Plastisiteli İnorganik Kil
CL	Düşük Plastisiteli Kil
cm	Santimetre
D	Doğal Birim Hacim Ağırlık
D	Derinlik (km)
dc, dq, dy	Derinlik Katsayıları
DIN	Alman Standardı
Df	Temel Derinliği
EN	İngiliz Standardı
FL	Güvenlik Katsayısı
F_s	Sıvılaşma Güvenlik Katsayısı
g	Yer Çekim İvmesi (981 cm/s ²)
GC	Killi Kumlu Çakıl
gc, gq, gy	Temel Zemini Eğimi Katsayıları
ic, iq, iy	Yükleme Eğikliği Katsayıları
Ic	Kıvamlılık İndeksi
k1 ve k2	Temel Tabanı Şekline Bağlı Katsayılar
K	İri Tane Yüzdesi
km	Kilometre
km²	Kilometrekare
LC	Kıvam İndisi
LL	Likit Limit
LI	Likitlelik İndeksi
LPI	Sıvılaşma Potansiyel İndeksi
ML	Killi Silt
Ms	Senaryo Deprem Büyüklüğü
m	Metre
mm	Milimetre
mv	Hacimsel Sıkışma Katsayısı
N₃₀	Düzeltilmiş Ortalama SPT Darbe Sayısı
N₁	SPT-N Değerine Uygulanan Düzeltme
Nc, Nq ve N	Terzaghi (1943) Taşıma Gücü Katsayıları
OAKK	Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı
PI	Plastisite İndisi
PL	Plastik Limit
S	Oturma Miktarı
SC	Killi Kum
SDS	Spektral İvme Katsayısı
Sc, Sq, Sy	Temel Şekil Katsayıları

SiO₂	Silisyum Dioksit
SPT	Standart Penetrasyon Testi
SM	Siltli Kum
TBDY	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TGFZ	Tuz Gölü Fay Zonu
TS	Türk Standardı
USCS	Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
UTM	Universal Transverse Mercator
UD	Örselenmemiş Örnekler
Qa	Zemin Emniyet Gerilmesi (t/m ²)
Qt	Temel Taşıma Gücüne İlişkin Karşılığı
quem	Emniyetli Taşıma Gücü
W	Doğal Su Muhtevası
WL	Likit Limit
z	Derinlik (m)
Z	Zemin Sınıfı
o	Derece
t	Dakika
γ_n	Doğal Birim Hacim Ağırlık
Ø	İçsel Sürtünme Açısı
Σo	Toplam Gerilme (kgf/cm ²)
σo	Toplam Gerilme (kgf/cm ²)
σo'	Efektif Gerilme (kgf/cm ²)
ΔN_f	İnce Tane Düzeltme Katsayısı
Δσ'	Yükleme Sırasındaki Efektif Gerilme Artışı
γ_{Rv}	Taşıma Gücü Dayanım Katsayısı

1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Amacı ve Önemi

Aksaray Merkez atıksu altyapısı genellikle birleşik olarak çalışmakta, yağışlarla gelen yüzey suları kanalizasyon altyapısı ile bertaraf edilmektedir. Son yıllarda artış gösteren nüfus ve inşaat faaliyetleri yüzünden şehir betonlaşmış, sokaklar asfalt ve kaldırım ile donatılmıştır. Bu yüzden yağış sularının toprak tarafından emilim oranı azalmış ve kanalizasyon altyapısının yükü artmıştır. Bu durum, normal şiddetteki yağışlarda dahi kanalizasyon altyapısının taşmasına, maddi ve manevi zararlara yol açmasına neden olmaktadır. Şehrin özellikle güney kesiminde topoğrafik olarak daha düşük kotlarda yer alan mahallelerde yağmursuyu hatları yapılarak ayırık sisteme geçilmesi gerekmektedir. Bölgede yapılan yağmur suyu hatları, 5 ve 6 nolu yağmur suyu bölgelerinde yapımı planlanan kollektör hatlarına bağlanarak yağış suları alıcı ortama taşınacaktır.

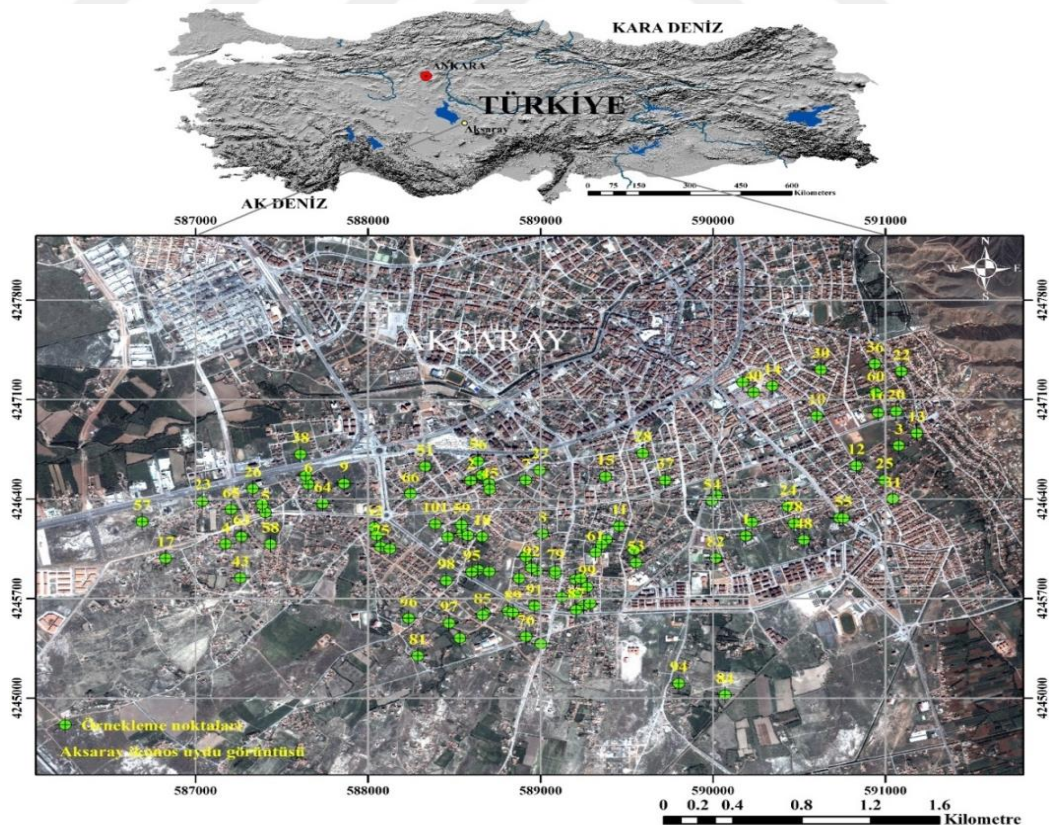
Günümüzde özellikle zayıf ve uygun olmayan zeminlere inşa edilen alt yapılar, doğal afetler sonucunda ciddi hasarlara ve ekonomik kayıplara neden olabilmekte, hatta can kayıplarına yol açabilmektedir. Projelendirme aşamasında mühendislik yapılarının, ne tür zemin koşulları üzerine inşa edildiğinin tespit edilmesi oldukça önemlidir. Ülkemizde doğal afetlerin neden olduğu zararlar, yerleşim yerlerinde gerçekleştirilen inşaat çalışmalarında zemin özelliklerinin yeterince göz önünde bulundurulmadığını göstermiştir.

Bu tez kapsamında, Aksaray il merkezinde yağışlı mevsimlerde yağın yağmur ve eriyen kar sularının, yapılaşmanın yoğun olduğu bölgeler ile topoğrafik eğimin arttığı alanlarda oluşturduğu su birikintilerini engelleyecek 5 ve 6 numaralı yağmur suyu drenaj hatlarının geçeceği bölgelerin jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Yağmur suyu drenaj hatlarının geçeceği güzergahlarda mevcut jeolojik durumun belirlenmesi ve karşılaşılabilecek jeolojik risklerin tespit edilmesi, drenaj hatlarının yapımı sırasında ve sonrasında karşılaşılabilecek zamansal ve maddi kayıpların giderilebilmesine veya azaltılabilmesine olanak sağlayacaktır.

1.2 Çalışma Alanının Coğrafi ve Morfolojik Durumu

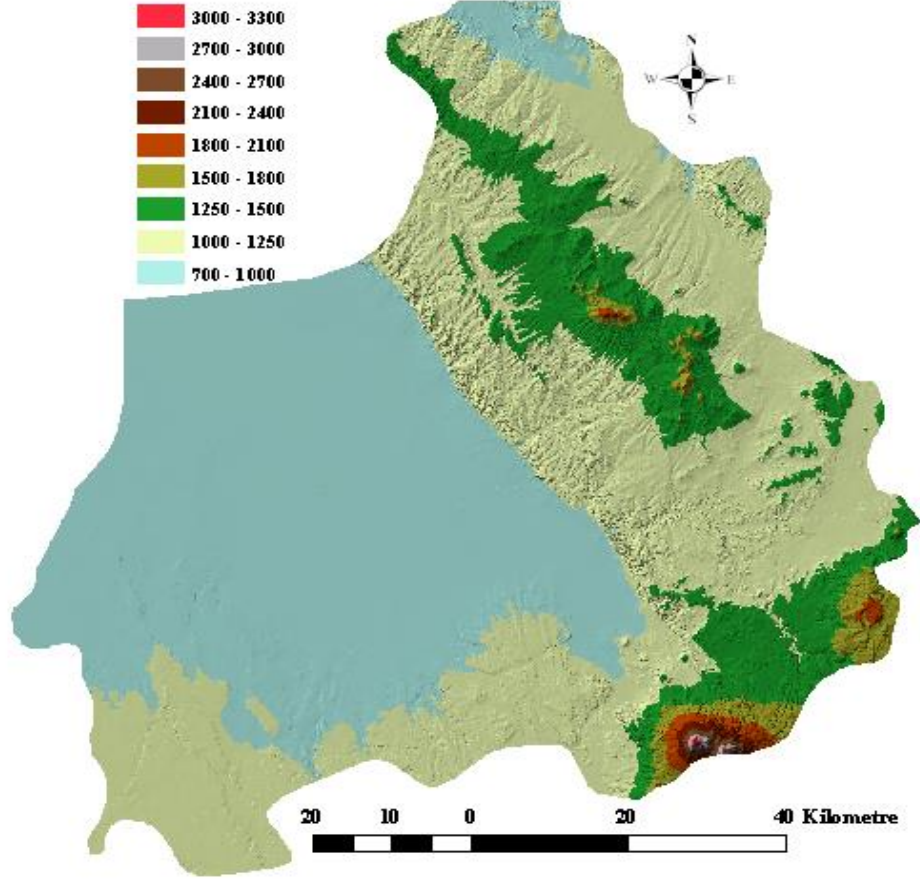
Aksaray şehri, İç Anadolu bölgesinde $33^{\circ} 59'$ ve $34^{\circ} 02'$ doğu boylamları ile $38^{\circ} 23'$ ve $38^{\circ} 21'$ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır (Şekil 1.1). Kuzeyinde yer alan Ankara'ya 240 km, batısında bulunan Konya'ya 150 km, doğusunda bulunan Nevşehir'e 80 km, güneydoğusunda yer alan Niğde'ye 115 km ve kuzeydoğusunda bulunan Kırşehir'e ise 95 km uzaklıktadır.

Aksaray, Kuzey ve Güney Anadolu dağlarının birbirinden uzaklaştığı, İç Anadolu bölümünün Orta Kızılırmak kesimine girer. Bölge yüksekliği ortalama 950-1100 m olan bir yüksek platodur (Şekil 1.2). Basamaklarla ya da fay kırıkları ile birbirinden ayrılan düz ovalar ve bu ovaları çevreleyen tepeler ve dağlar bölgenin jeomorfolojik karakteridir. Aksaray'ın yüzölçümü 7798 km², denizden yüksekliği ise 965 m'dir. Bölgede; Hasandağı, Melendiz Dağları ve Ekecik Dağı gibi volkanik dağlar ile lavların meydana getirdiği platolar geniş yer kaplar. Batıda Aksaray ovası olarak adlandırılan geniş düzlükler doğuda yüksek kotlu tepelerle çevrilmiştir. İlin önemli dağları Hasandağı (3268), Küçük Hasandağı (3040 m) ve Ekecik Dağı'dır (2033 m).



Şekil 1.1. İnceleme alanının yer bulduru haritası.

Aksaray İli'nin iklimi kışları soğuk ve yağışlı, yazları ise kurak ve sıcaktır. Çorak olarak bilinen Aksaray toprakları aslında aşırı yağışlardan dolayı yıkanmadığı için verimlidir. Tuzlu taban suyunun yüksekliği ve geçirimsiz tabakaların çok az olmasından dolayı su tutma kapasitesinin düşük olması toprak verimliliği ve bitki yayılımı üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir (ÇDR, 2018).



Şekil 1.2. Aksaray ilinin yükseklik kot haritası.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

İnceleme alanı ve çevresinde önceki dönemlerde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar jeolojik ve jeoteknik-mühendislik jeolojisi çalışmaları olarak iki farklı grupta özetlenmiştir.

2.1 Jeolojik Çalışmalar

Lahn (1940), çalışmasında Koçhisar-Aksaray hattında bir fayın varlığından söz etmiş, yöredeki kayaçları incelemesinde Hasandağı volkanik masifi içinde bazalt, ignimbirit ve tüfleri tanımlamış, ayrıca Pliyosen yaşlı tatlı su çökelleri, jipsli oluşumlar, plütonik kayaçlar ve mermerler olarak sınıflandırmıştır.

Okay (1954), çalışmasında Kayseri-Niğde-Tuz Gölü arasındaki geniş alanda yer alan Neojen yaşlı kayaçları incelemiş ve sert tuf, gevşek tuf olarak sınıflamıştır.

Buchardt (1954), bölgede yaptığı çalışmada ilk 1/100.000 ölçekli jeolojik haritayı hazırlamış olup, Kırşehir ve Kızılırmak Nehri arasındaki magmatik kayaçların yaşları hakkında çalışmalar yapmıştır.

Ketin (1963), çalışmasında Orta Anadolu Masifinin 1/500.000 ölçekli haritasını yapmış ve ofiyolitik kompleks de gabroların kesildiğini ifade etmiştir.

Beekman (1966), çalışmasında Hasandağı ile Aksaray arasındaki volkanik kayaçları inceleyerek bu kayaçları tuf, tüfit, ignimbirit ve lav üniteleri şeklinde sınıflandırmış ve bunu haritalamıştır.

Kadioğlu (1991), çalışmasında Ağaören ve çevresinde bulunan magmatik kayaçları incelemiş, yaptığı petrografik ve jeokimyasal çalışmalar sonucu Ağaören granitoidinin granit, porfiri granodiyorit ve alkali-feldispat granit olmak üzere üç alt birime ayırmıştır.

Erler ve Bayhan (1995), çalışmasında Orta Anadolu Granitoidleri'ni inceleyerek oluşum yaşının Üst Kretase olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca bu birimin yerleşim özellikleri açısından 3 ana kuşağa ayırmışlardır.

Göncüoğlu vd. (1997), bölgede yaptığı detaylı çalışmada metamorfik, magmatik ve ultramafik kayaların tanımlamalarını yaparak hepsini Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı adı altında birleştirmişlerdir. Ultramafik kayaları adlandırdıkları Orta Anadolu Ofiyolitlerini ise farklı özellikler gösteren iki kaya grubundan oluştuğunu belirtmişlerdir. İlk grubu meta-ofiyolitlerden, ikinci grubu ise kümülatlar, izotropik gabrolar, plajiyogranitler, levha dayk karmaşığına ait diyabazlar, bazaltik yastık lavlar ve epiofiyolitik örtüden oluştuğunu belirtmişlerdir.

Gevrek (1997), çalışmasında tarihi Kapadokya bölgesindeki volkanoklastikleri sınıflamış, çıkış merkezlerine göre bölgenin volkanostratigrafisini oluşturmuştur. Aksaray volkanoklastiklerinin Orta Miyosen-Pliyosen aralığında Aksaray gömülü kalderasından püskürerek yerleştiğini belirtmiştir.

Yeşilyurt (1999), Hasandağı batısında yer alan Kuvaterner volkanitleri üzerinde yaptığı mineralojik ve petrografik çalışmalarda Hasandağ volkanitlerinin üst lav birimi başlıca andezit ve bazaltik andezit, alt lav biriminin ise ojit-andezit ve bazaltik andezitten oluştuğunu belirtmiştir. Kül birimi ise alt ve üst lavı ayırmaktadır.

Işık (2000), çalışmasında Ekecik yeniköy-Mamasun (Aksaray), Yeşilhisar (Kayseri) arasında gözlenen gabroyik-granitoyidik kayaların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelemelerini yaparak bu kayaların Orta Anadolu Ofiyolitlerinin üzerlemesinin kalıntıları olarak tanımlamıştır.

Güllü (2003), çalışmasında Aksaray İli doğusunda Mamasun ve Sarıkaya-Sırapınarları mevki arasında kalan felsik-mafik plütonik kayaların mineralojik, petrografik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Çalışma alanı içinde, metamorfikler, S-Tipi granitoyidler, ultramafik kayalar, gabroyik kayalar ve hibrid karakterli H-tipi granitoyidler olmak üzere beş farklı litodem birimi ayırtlanmıştır.

inceleme alanı içerisinde beş farklı litodem birimi ayırtlamış ve bu birimlerin çarpışma sırası, üst manto-alt kıta kabuğu sınırından türeyen mafik magmanın ürünleri olduğunu belirtmiştir.

Akkuş (2009), çalışmasında Keçikalesi volkanitlerinin ilk kez magmatik petrolojisinin ortaya çıkarılma ve Hasandağı volkanitleriyle karşılaştırılmasını

amaçlamıştır. Çalışma kapsamında volkanik birimler optik ve opak mikroskop kullanılarak hem petrografik, hem de jeokimyasal olarak detaylı incelenmiştir.

Özcan (2009), çalışmasında Aksaray-Doğantarla bölgesinde bulunan Üst Miyosen yaşlı jeolojik birimleri sedimantolojik ve mineralojik açıdan incelenmiş, paleotoprak ve kalışlerin asidik volkanik kayalardan beslenmiş olduğunu belirtmiştir.

Yılmaz vd. (2012), çalışmalarında Selime tüfleri ve Kızılkaya ignimbiritlerinin aşınma potansiyelleri incelemiş ve aşınma miktarlarının yılda 2 mm'nin altında olduğunu saptamışlardır.

2.2 Jeoteknik-Mühendislik Jeolojisi Çalışmaları

İnceleme alanı ve çevresinde son yıllarda gerçekleştirilen Aksaray il sınırları içerisinde yer alan zeminlere ait bazı önemli araştırmalar aşağıda özetlenmiştir;

Teke (2002), çalışmasında Aksaray ili, Bahçeli Kent Toplu Konut alanı zeminlerinin jeoteknik özelliklerini araştırmıştır. Çalışma kapsamında 10 adet 15 m derinliğinde zemin sondajı açılmış ve değişik derinliklerde standart penetrasyon testi uygulanmıştır. Sonraki aşamada ise sondajlardan elde edilen örselenmiş ve örselenmemiş numuneler ile laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyler sonucunda zemin özellikleri tanımlanmıştır.

Er (2002), çalışmasında Aksaray ili merkezine ait zemin ve mühendislik jeolojisi verileri ile jeoteknik veri tabanı hazırlamıştır. Çalışma kapsamında sondaj, araştırma çukuru ve jeoteknik etüt çalışmalarından elde edilen veriler daha önceden hazırlanan haritalar üzerine koordinatları ile işlenmiştir. Bu veriler yorumlanarak çalışma sahasına ait karakteristik zemin profilleri ve dokümantasyon haritaları hazırlanmıştır.

Özaydın (2004), çalışmasında Aksaray ili katı atık depolama sahasının yeraltı suyu kirlenmesindeki etkisini jeoelektrik ve hidrokimyasal yöntemlerle araştırmıştır. Yıl içinde kurak ve yağışlı olmak üzere iki farklı dönemde alınan numunelere yapılan kimyasal analizlerine göre, katı atık sahasından sızan suların geçirimli ve yarı geçirimli birimlerden ilk önce düşey daha sonra da yatay olarak akifere ulaştığı belirlenmiştir.

Yıldızhan (2007), çalışmasında Aksaray ili Holosen yaşlı çökellerin jeolojik ve jeoteknik açıdan özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında Aksaray ilinin jeolojik özelliklerinin genel bir değerlendirmesi yapıp, farklı bölgelerde yapılan 16 adet sondaj çalışmasından elde edilen verilerin jeolojik ve jeoteknik özellikleri incelenmiştir.

Özdemir (2007), çalışmasında Aksaray ili Ihlara kasabasının zemin özelliklerini jeolojik, jeofizik ve jeoteknik yöntemlerle incelemiş, zeminleri morfolojik ve depremsellik açısından değerlendirerek karakterizasyonunu ortaya konmuştur.

Yalçın (2008), çalışmasında Aksaray il merkezindeki zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini Sönmez ve Gökçeoğlu (2005) tarafından önerilen Sıvılaşma Şiddeti İndeksi (LSI) yöntemine göre araştırmış ve zeminlerin sıvılaşmaya yatkınlık haritası hazırlanmıştır.

Taşpınar (2015), çalışmasında Aksaray ili Ihlara vadisi boyunca özellikle turistik faaliyetlerin yoğun olduğu alanlara yönelik kaya düşmelerinden kaynaklanacak tehlikelerin belirlenmesi ve tehlikelerin azaltılmasına yönelik araştırmalar yapılmıştır. Blok düşürme analizlerinden faydalanan çalışmada, blokların gidebildikleri en uzak mesafe, yatay hız ve toplam kinetik enerji miktarları yorumlanarak, kaya düşmelerinden etkilenebilecek alanlar belirlenmiş ve tehlike derecesine göre zon haritası oluşturulmuştur.

Kavurmacı (2016), çalışmasında Aksaray il merkezinde 58 adet zemin örneği üzerinde CBS teknikleri ile sıvılaşma potansiyeli incelenmiştir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısının belirlenmesinde Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında şehrin yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip bölgeleri belirtilmiştir.

Coşkun (2016), çalışmasında Aksaray ili zemin özelliklerini jeoteknik ve hidrojeolojik veriler kullanarak Coğrafi Bilgi Sistemi teknikleri yardımı ile değerlendirmiş, şehir merkezinin zemin özellikleri ile ilgili önemli bilgiler vermiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında önceki yıllarda yapılan zemin etüt çalışmalarının verileri derlenmiş, sınıflandırılmış ve büro çalışmaları kapsamında değerlendirilmiştir.

3.1 Materyal

Çalışma kapsamında Aksaray Belediyesi mevcut altyapı sistemi ve Belediye tarafından yaptırılan yağmur suyu ana kollektör hatları projesi incelenmiştir. Şehir merkezinin büyük kısmında yağmursuyu ve kanalizasyon hatları birleşik çalışmakta ve bu durum yağışlı dönemlerde özellikle mesken yoğunluğu olan bölgelerde maddi sıkıntılar yaratmakta ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Özellikle 5 ve 6 numaralı deşarj havzaları, bulunduğu topoğrafik yapı, mesken yoğunluğu, alıcı ortam sıkıntısı gibi sebeplerle acil imalatı gereken bölgeler olduğu belirlenmiştir.

5 ve 6 numaralı deşarj havzalarının güzergâhları gezilerek, inceleme alanının sınırları oluşturulmuştur. Topoğrafik olarak havza belirleme işleminin ardından bölgede daha önce yapılan çalışmalar derlenmiş, bu çalışmalar koordinatlı şekilde haritaya işlenmiştir.

Bölgede daha önce yapılan zemin etüt raporları, Aksaray Belediyesi ve Orta Anadolu Jeoloji Mühendislik firmasından derlenmiştir. Mekanik sondaj yöntemi ile alınan örselenmemiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deney sonuçları kullanılarak veri alt yapısı oluşturulmuştur.

Bölgenin jeolojik özellikleri güncel literatür sorgulaması ile revize edilmiştir.

3.2 Yöntem

İnceleme alanında yapılan ortalama derinliği 15 m olan 102 adet araştırma sondaj çalışmasının verileri MS Office programlarından Excel ortamında derlenmiş ve sınıflamaları yapılmıştır. Numune alımları, ilgili zemin etüt firmaları tarafından TS 1901 – sondaj yolu ile örselenmiş ya da örselenmemiş numune alım yöntemleri standardına uygun şekilde yapılmıştır. Sondajlardan alınan UD-örselenmemiş numunelerin laboratuvar ortamında laboratuvar testleri TS EN ISO/IEC 17025 akreditasyon standartlarına uygun şekilde Çözüm Jeoteknik laboratuvarlarında

fiziksel ve indeks özellikleri tayini TS 1900-1 standardına, mekanik özelliklerinin tayini ise TS 1900-2 standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir.

Derlenen veriler, Excel ortamında depolanmıştır. Veri güvenliği açısından bütün veriler histogram analizi kullanılarak incelenmiş, en yüksek, en düşük, ortalama değer, basıklık ve çarpıklık gibi temel istatistiksel sonuçlar incelenerek, hatalı analiz sonuçları veya yanlış veri girişleri denetlenmiştir. Verilerin kendi aralarındaki ilişkileri, farklılıkları ve konumsal dağılımlarını gösteren uygun sayıda ve türde grafikler Excel programı kullanılarak hazırlanmıştır.

Düzenlenen ve sınıflandırılan veriler ArcGIS yazılımı ArcCatalog uygulaması kullanılarak veri alt yapısı oluşturulmuştur. Veri alt yapısında sınıflandırılan veriler ve Kriging interpolasyon yöntemi kullanılarak farklı variogram modeller test edilmiş ve en doğru sonuç veren “gauss model” kullanılarak tematik haritalar hazırlanmıştır.

102 araştırma sondajından 26 tanesinden zemin etüt firmaları tarafından yeraltı suyu örnekleri alınmış ve alınan örnekler Aksaray Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Su Kimyası Laboratuvarında analiz edilmiştir. Beton temas suyunun zararlı etkinlik derecelerinin belirlenebilmesi için numunelerde CO_2 , NH_4 , SO_4 , Mg ve pH gibi su kimyası parametreleri ölçülmüştür. CO_2 ölçümleri titrimetrik yöntemle laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar TS 3440 “zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları” dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Bölgesel Jeoloji

İç Anadolu Bölgesinin güney kısmında bulunan çalışma sahasında Ankara-Sivas-Ulukışla üçgeninde yer alan Orta Anadolu Masifi olarak adlandırılan jeolojik birim yer alır. Göncüoğlu vd. (1996)'e göre bu birim, Kırşehir, Akdağ ve Niğde masifi olmak üzere üç ana alandan oluşmaktadır.

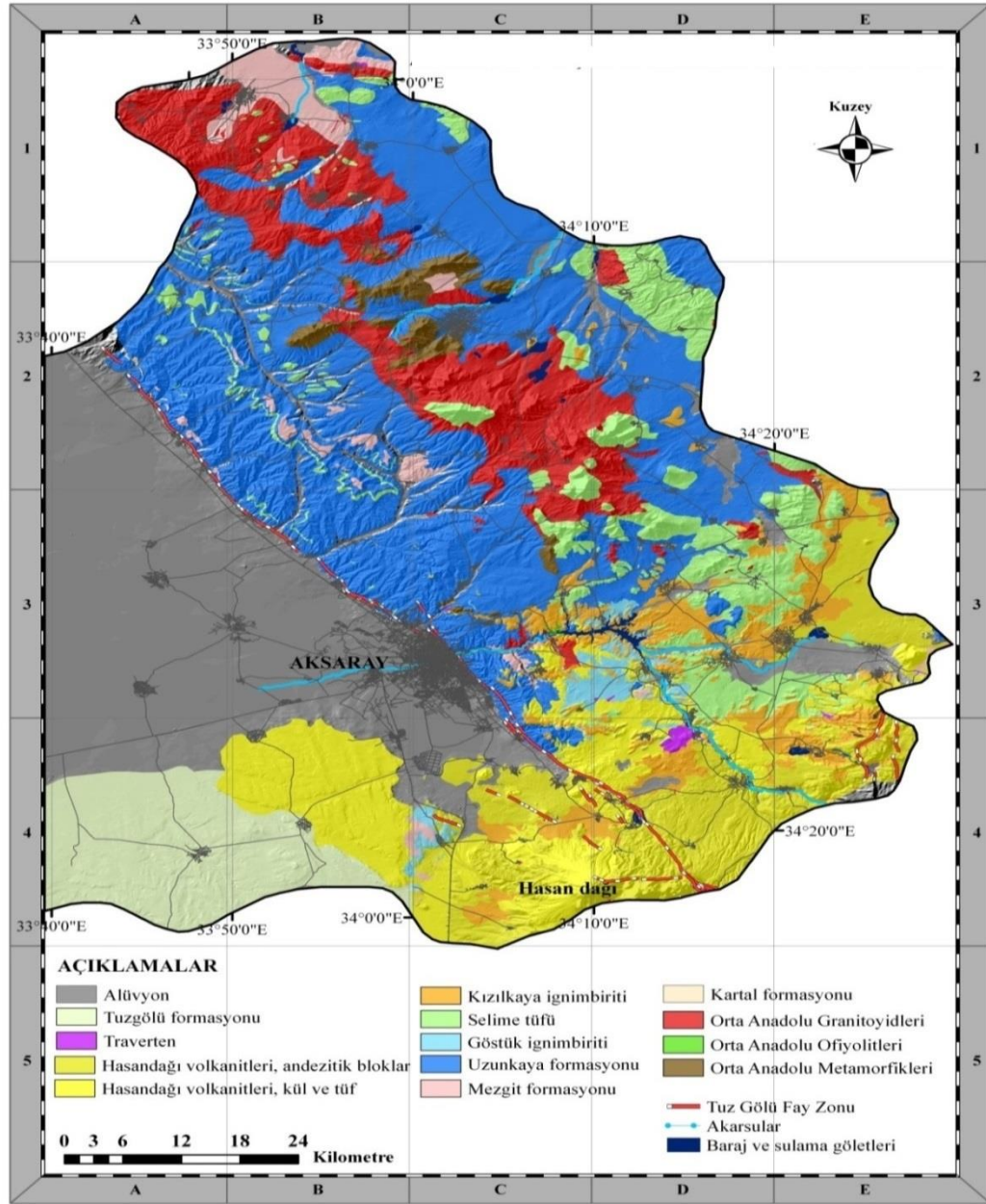
Masifte temeli oluşturan kayalar Orta Anadolu Kristalen Kompleksi (OAKK) olarak tanımlanır (Göncüoğlu vd., 1996). OAKK üç ana kayaç grubundan oluşur. Düzenli istifler halinde bulunan metamorfik kayalar Orta Anadolu Metamorfikleri olarak adlandırılmıştır. Metamorfikler felsik ve mafik ortogneys, şist, mermer, kuvarsit gibi kayaçlardan oluşmuş olup, genel olarak magmatik katkılı platform çökellerin düşük - orta dereceli basınç, yüksek sıcaklık koşullarında, yeşil şist - almandin - amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğramasıyla oluşmuştur (Atabey, 1989). Bu birim üzerinde okyanusal kabuğa ait metamorfizma geçirmiş kayalarla temsil edilen Orta Anadolu Ofiyolitleri yer alır. Metamorfik ve ofiyolitik kayaları sıcak dokanakla kesen magmatik intrüzyonlar ise Göncüoğlu vd. (1996) tarafından Orta Anadolu Granitoidleri olarak adlandırılmıştır. Kıtasal kabuk kökenli çarpışma tipi granitoyitler ve çarpışma sonraki alkalin magmatikleri içeren ve alterasyon sonucu kırılğan bir yapı kazanan Orta Anadolu Granitoyitleri'nin sokulum yaşı Üst Kretase'dir (Göncüoğlu vd., 1996).

Tuz Gölü Havzası Üst Senoniye-Oligosen sürecinde gelişmiştir. Subsidans Geç Senoniye-Alt Orta Eosen zaman aralığında oluşmuş ve bunu Geç - Orta Eosen'den başlayan ve Oligosen sonlarına kadar devam eden regresyon takip etmiştir (Arıkan, 1975). Tuz Gölü Havzası Geç Kretase'den başlayıp Orta Eosen sonuna kadar denizel ve Geç Eosen - Kuvaterner zaman aralığında karasal nitelikli sedimanter birimlerle doldurulmuştur (Arıkan, 1975).

4.1.1 Stratigrafi

Çalışma sahasının temelinde Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı meta-sedimanlar, meta-karbonatlar, ofiyolitik karmaşıklar ve magmatik birimler oluşan Orta Anadolu Kristalen Kompleksi oluşturur. Temel birimlerinin üzerine gelen örtü çökellerini ise

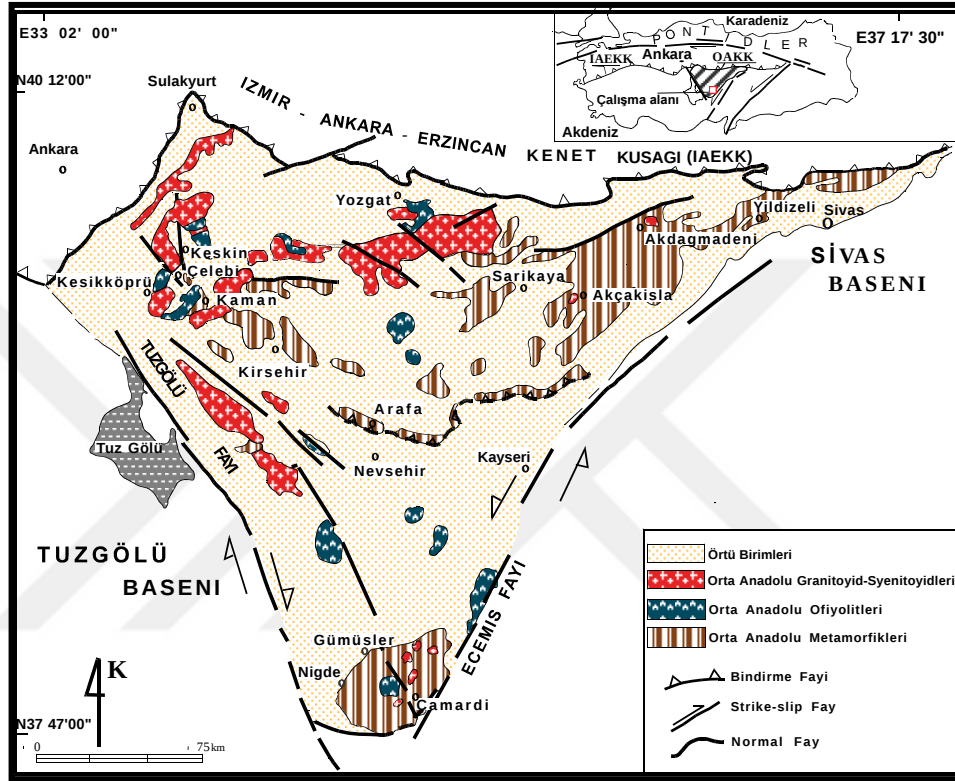
Üst Kampaniyen'den Orta Eosen'e kadar filiş ağırlıklı denizel birimler ve Üst Eosen'den günümüze kadar da karasal, gölsel ve volkanik çökeller oluşturur (Ünlütürk, 2000). Bu çökel katmanların en altında Kartal formasyonu bulunur. Maestrihtiyen yaşlı bu formasyonun üstünde ise sıra ile Mezgit formasyonu, Uzunkaya formasyonu Göstük ignimbiriti, Selime Tüfü, Kızılkaya ignimbiritleri, Hasandağı volkanitleri, traverten, Tuzgölü formasyonu ve alüvyon yer almaktadır (Şekil 4.1) (Şekil 4.3).



Şekil 4.1. İnceleme alanı ve çevresinin genel jeoloji haritası (ÖÇKB, 2010'dan değiştirilerek çizilmiştir).

4.1.1.1 Orta anadolu kristalen karmaşığı (OAKK)

Orta Anadolu'da, Ankara - Sivas - Ulukışla arasında kalan ve kabaca üçgen biçimli bir alanda yüzeyleyen Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı (OAKK) genel olarak metamorfik kaya topluluğı ve bunları sıcak dokanakla kesen farklı intrüzif kayalardan oluşan bir topluluktur (Göncüoğlu vd., 1991) (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Basitleştirilmiş Orta Anadolu Kristalen Karmaşığı'nın jeoloji haritası (Göncüoğlu vd., 1991).

Düzenli bir istife sahip Orta Anadolu Metamorfikleri olarak adlandırılan birim yerleşimlerine göre üç ana gruba ayrılırlar. Güney kısmını Niğde masifi, orta kısmını Kırşehir masifi ve Kuzey-Kuzeydoğu kısmını ise Akdağ masifi oluşturmaktadır. Niğde masifi içinde yer alan metamorfik kayaların stratigrafik olarak sınıflama ve istif özelliklerini belirleme Göncüoğlu (1977) tarafından gerçekleştirilmiştir. Masifte yer alan metamorfik birimler yoğun şekilde deformasyon-metamorfizma geçirmiş olup, alttan üste doğru Gümüşler, Kaleboynu ve Aşıgediği metamorfiklerden meydana gelmektedir. İnceleme alanının çevresinde gözlemlenen Kaleboynu metamorfik kütleleri gnays, şist, mermer, kuvarsit gibi kayalardan oluşmuş olup, genel olarak magmatik katkılı platform çökellerin düşük - orta dereceli basınç,

yüksek sıcaklık koşullarında, yeşil şist - almandin - amfibolit fasiyesinde metamorfizmaya uğramasıyla oluşmuştur (Atabey vd., 1988).

Kırşehir masifinin en yaşlı kayalarını Kaman Grubu olarak adlandırılan birim kapsamaktadır (Seymen, 1981). Grupta bulunan birimler alttan üste doğru sırasıyla Kalkanlıdağ, Tamadağ ve Bozçaldağ metamorfikleridir. Birimler birbirleri ile yanal-düşey geçişler göstererek uyumlu bir istif oluştururlar. Grubun en altında yer alan Kalkanlıdağ metamorfikleri başlıca lökokrat, gnayslar, biyotitşistler, piroksenşistler, yer yer görülen mermer bantları ve bunlara eşlik eden vollastonitli diyopsitli kalkşislerden oluşmaktadır. Tamadağ metamorfikleri en iyi Kırşehir Tamadağ'da gözlenebildiği için bu isim verilmiştir (Seymen, 1981). Üst düzeylerinde Mermer, Kalkşist, Vollastonitşist ve metakuvarsitler sıkça görülür. Litolojisinin karakteristik özelliği Metakarbonatlardır. Bozçaldağ metamorfikleri Tamadağ formasyonunun üstünü uyumlu şekilde örtmektedir. Birimde şist ara yüzeylerinin yukarı doğru giderek incilmesi ile som mermer egemen şekilde görülmektedir.

Orta Anadolu Ofiyolitler çoğunlukla kendisini kesen granitler içinde mega-anklavlar şeklinde kalmış ve dış etken dayanıklı oldukları için yüksek tepe ve dağları oluşturmuşlardır (Türeli vd., 1993). Orta Anadolu Kristalen Kompleksi içindeki mafik kayalar genellikle felsik kayaların üzerinde köksüz bloklar ve felsik kayaları örter konumda gözlenmektedirler (Erler vd., 1993).

Orta Anadolu Granitoidleri yüzeyleme özelliklerine göre batı grubu, kuzey grubu ve doğu grubu olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır (Erler vd., 1991; Akıman vd., 1993). Batı grubu granitoidleri Sulakyurt ile Aksaray arasında kalan büyük yüzeyleme alanları olan geniş bir kuşaktır. Kuzey grubu önemli yüzeylemeleri Yerköy, Şefaati, Yozgat, Kerkenez, Karlitepe, Ocaklı, Gelingüllü Sivritepe Plütonları olarak adlandırılmıştır (Erler ve Göncüoğlu, 1995). Doğu grubu ise, Sivas ile Niğde arasında uzanan büyük çaplı metamorfik kayalar içinde yer alan küçük ve kopuk yüzeyleme alanları olan dar bir kuşaktır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	SİMGE	LİTOLOJİ	AÇIKLAMA
SENZOYİK	KUVATERNER	Holosen	Tuzgöllü	Qa		Tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil Karbonat, kil karışımı Volkanik ara katkılı tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil
			Traverten	Qt		Karbonatlı, sülfatlı sarımsı kahve renkli traverten
			Hasandagi volkanitleri	Ohb		Gri-beyaz renkli kül ve lapilliden oluşan Hasandagi külleri, beyaz renkli vitrik kül matrisi içerisinde kaba kum boyundan 5-6 cm'ye kadar ulaşan obsidyen, pomza ve az miktarda da lav parçaları içerir.
		PLİYOSEN	Kızıl kaya ıgımbırlı	Pki		Atmosferik yüzeyleri pembemsi-kırmızımsı renkli bol soğuma çatlaklı silis içeriği fazla, boyutları 30 cm'ye varan pümis parçaları içeren ıgımbirit
			Sciline tüfü	Tst		Beyazımsı-gri, beyaz, sarımsı-pembe ve pembe renkli çoğunlukla silt ve kil boyu küllerden, iyi yuvarlaklaşmış kaya içerisinde heterojen dağılım gösteren pümis parçaları ve volkanik kayaç taneleri başta olmak üzere çeşitli kırıntılardan oluşmuş tuf
			Göstük ıgımbırlı	Tgi		Beyaz, gri, mor ve pembe renkli, andezitik bileşimde olup ince ile kaba aglomematik yapıya sahip ıgımbirit
	TERSİYER	Uzun kaya	Tu			Kötü boylanmış, orta tabakalı, iri taneli konglomera
			Tmi			Kahve renkli, kalın tabakalı, çakıltası - kumtaşı aralanması
			Tm			Gösel kireçtaşı, mam yer yer volkanik ara katkılı çakıltası, kumtaşı, kil taşı
		OLİGO-MİYOSEN	Mezgit	Tm		Beyaz - krem renkli, bol çatlaklı kireçtaşı Beyaz renkli anhidrit, saydam cam dokulu jipsli seviyeler Gevşek tutturulmuş, sarı renkli kumtaşı
			Kk			Bordo - kırmızı renkli, kalın tabakalı, kötü boylanmış çakıltası - kumtaşı
			OAKK			Granit - granodiyorit - monzonit intrüzyonları Gnays - şist - memmer ve kuvarsitler
PALEOZOYİK / MESOZOYİK	KRETASE	Kartal	Kk			Ölçeksiz

Şekil 4.3. İnceleme alanı ve çevresinin stratigrafik dikme kesiti (Güllü, 2003'den değiştirilerek çizilmiştir).

4.1.1.2 Kartal formasyonu

Temel birimlerinin üzerine Üst Kampaniyen'den günümüze kadar farklı dönemlerde çökelmiş denizel, karasal ve gölssel örtü çökelleri gelir. Bu çökellerden ilki Kartal formasyonudur ve temel birimleri uyumsuzlukla örter.

Çalışma sahasının doğu kısmında özellikle yüksek kotlu bölgelerde geniş mostralara halinde bulunan Kartal Formasyonu ilk kez Turkish Gulf Oil (1961) tarafından Kartal Formasyonu olarak adlandırılmıştır (Göncüoğlu vd., 1996). Formasyon Tuz Gölü fayı boyunca yüzeylemiş olan karasal çökellerden oluşur. Genel özellikleri, kırmızımsı, bordo-kiremit renge sahip, iyi derecede yuvarlaklaşmış, kötü boylanmalı, yarı köşeli – yarı yuvarlak, gevşek çimentolu ve tabaka kalınlığı fazladır. Birim çoğunlukla gabro, çört ve serpantinden türeyen çakılların oluşturduğu iri boyutlu çakıltaşlarından meydana gelmektedir. Az miktarda da granit ve metamorfik kayalardan türeyen çakıllar bulunmaktadır (Göncüoğlu vd., 1996). Çakıl boyları 0,5 - 20 cm arasında değişmekte, üst seviyelere doğru tane boyu küçülmektedir (Akıl, 2008). Formasyonun üst kesimlerinde kötü boylanmalı ve gevşek çimentolu kumtaşı-çamurtaşı ardalanması gözlenir. Birimin üst kısmı Mezgit formasyonu ile uyumsuzdur.

4.1.1.3 Mezgit formasyonu

Çalışma sahasında en geniş alanı kaplayan bu birim, karasal çakıltaşı, kırmızı kumtaşı ve yer yer jipsli seviyelerle temsil edilir. Göl ve akarsu ortamında oluşan birimin adlandırılması Tromp (1942) tarafından yapılmıştır.

Birimin alt seviyeleri konglomera ile temsil edilir ve en iyi Dorukini Köyü güneyinde mostra verir (Şekil 4.4). Jipsli seviyeler ise en iyi Aksaray-Ihlara yolu üzerindeki Kireçlik mevkiinde gözlenmektedir (Güllü, 2003). Birimin hakim rengi kirli sarı ve kahverengi iken, tabanda koyu gri-koyu kahve renklidir. Tabanda gözlenen granit, gabro, diyabaz kökenli çakıllardan oluşan bu konglomera, orta-iyi derecede yuvarlaklanmış, iyi çimentolanmış, kötü boylanmış ve derecelenmesiz durumdadır (Yıldız vd., 2002).

Birimin orta seviyelerini oluşturan çakıltaşları ise inceleme alanındaki Eosen yaşlı kireçtaşlarından malzeme almıştır. Birimin bu kısmı, orta-iri taneli, kötü boylanmış ve kötü çimentolanmıştır (Güllü, 2003).



Şekil 4.4. Mezgit formasyonu tabanında gözlenen iri çakıllı konglomera (Dorukini Köyü Güneyi) (Güllü, 2003).

Birimin içerisinde bulunan kumtaşı, yine aynı kökenli malzemelerden oluşmuştur. Kumtaşları, kaba taneli, gevşek çimentolu olarak gözlenmektedir. Mezgit formasyonu içerisinde gözlenen evaporitli seviyeler ise beyaz-yeşilimsi beyaz anhidrit ile ince-orta tabakalı jipslerden meydana gelmektedir (Güllü, 2003) (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Mezgit formasyonu içinde gözlenen tabakalı jips seviyeleri (Güllü, 2003).

Göl ve akarsu ortamında oluşan birimde yaş verisi sağlayacak bir fosil bulgusuna rastlanılmamıştır (Yıldız vd., 2002). Ancak içinde bulunan kireçtaşlarının Eosen yaşlı olması ve Alt Pliyosen yaşlı Uzunkaya formasyonu tarafından açılı uyumsuz şekilde örtmesi, birimin yaşının Oligo-Miyosen olabileceğini göstermektedir (Yıldız vd., 2002).

4.1.1.4 Uzunkaya formasyonu

Formasyon, çalışma sahasında Hamamboğazı deresinin her iki yamacında ve Dorukini Köyü civarında, Mezgit formasyonunun üzerinde açılı uyumsuz olarak gözlenmektedir (Güllü, 2003). Selime (Aksaray) dolaylarında benzer litoloji ve stratigrafik düzeylerde Alt Pliyosen yaşlı omurgalı fosiller tanımlandığından, birimin Alt Pliyosen yaşlı olduğu kabul edilmiştir (Yıldız vd., 2002).

Uzunkaya Formasyonu Karakaya üyesi ve Tekmezar üyesi olmak üzere iki üyeye ayrılmıştır.

Karakaya Tepe Üyesi: Bu üye Selime köyünün 1 km batısında Karakaya tepede tipik olarak gözlenmekte ve ismini bu tepeden almaktadır.

Üyeyi, volkanik malzemeli tuf, tüfit, kumtaşı, çakıltası ve kıltaşı gibi kırıntılar oluşturmaktadır. Sarımsı, yeşilimsi ve kahverengi renklerde gözlenmektedir. Alttan üste doğru gri renkli çakıllı gevşek yapıda tüflerin üzerine çamur görünümlü gevşek yapılı sarımsı, kahverengi renkli kumlu, killi, tüflü seviye gelir. Kumtaşları ince tabakalı ve yer yer çapraz tabakalanmalı olup derecelenme izlenmektedir (Coşkun, 2016).

En altta volkanik malzemeden oluşmuş yaklaşık 25 m kalınlıkta kumtaşı, bunun üzerinde beyaz renkli 20 m kalınlığında tuf, üzerinde çakıltası seviyesi, 10 m kalınlıkta kumtaşı ve kıltaşları izlenmektedir. Üste doğru volkanik kaya parçaları içeren tüfit seviyesi gelmekte olup, tüfitler yer yer çakıltası seviyeleri ile ardalanmalı dizilip 5 m kalınlıktadır (Güllü, 2003).

Bütün bu dizilim 10 m kalınlıkta gri renkli kumtaşı, tuf, kıltaşı ile son bulmakta olup, kireçtaşı üyesine tedricen geçiş göstermektedir (Yıldız vd., 2002).

Tekmezar Tepe Üyesi: Uzunkaya Formasyonu'nun üst seviyesini oluşturan üye, Karaya tepe üyesi üzerinde uyumlu olarak gelmektedir. Açık sarı beyaz renkli killi kireçtaşı, kumlu kireçtaşlarından oluşan üye bol bitki izli ve gastropoda fosillidir.

4.1.1.5 Göstük ignimbiriti

Bu birim en iyi şekilde çalışma sahasının doğu kısmındaki Göstük yöresinde görüldüğü için ilk kez Beekman (1966) tarafından Göstük İgnimbiriti olarak adlandırılmıştır. Birim ince ve kaba kümeler halinde bulunan andezitik bileşimli ignimbiritlerden oluşmaktadır. Beyaz, gri, mor ve pembe renklerin hakim olduğu birimin en ayırt edici özelliği içindeki pumis elemanlarının zenginliğinden dolayı küçük peri bacaları oluşturmıştır (Güllü, 2003).

Birim tabanında yaklaşık 1,5 - 3 m kalınlığında, beyaz renkli, ince taneli, amorf camsı tüf bulunmaktadır. Üste doğru ignimbirit özelliği kazanarak devam eder. Birimin kolay oyulması, kolay kesilip işlenmesi ve yeraltı suları ile temasında çeşitli renkte desenler kazanması sebebiyle endüstriyel alanlarda depo ve yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır.

4.1.1.6 Selime tüfü

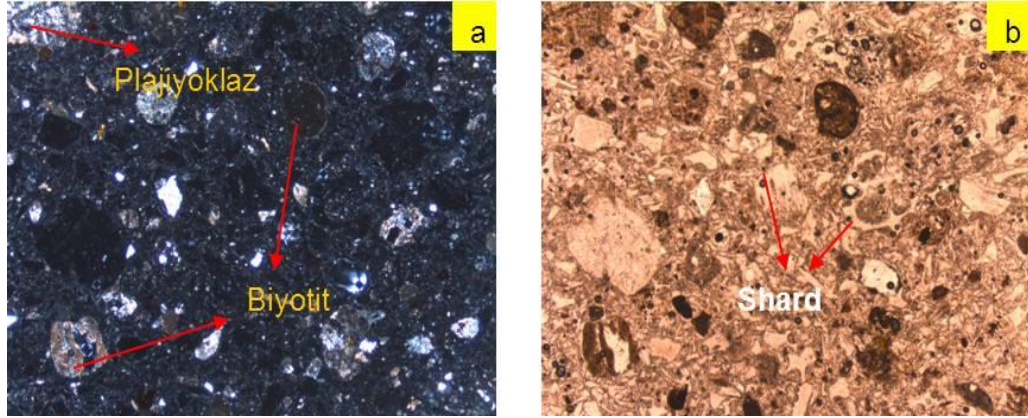
Birim, çalışma sahasının kuzeybatısında bulunan Kızılkaya çevresinden başlayarak güneye doğru daha geniş alanlarda yüzeyleyerek Selime köyüne doğru uzanır. Nevşehir ili çevresinde geniş yayılımlar gösterir. İlk kez Beekman (1966) tarafından adlandırılmıştır.

Birim, Melendiz suyunun batısında beyaz renkli, ince taneli, camsı olup, küçük ve beyaz renkli pumis (süngertaşı) parçaları içerir. Pumis parçacıkları ortalama 2-3 cm arasında değişen çaplardadır ve gaz boşluklu görünüm verirler (Şekil 4.6). Melendiz suyunun doğusunda ise beyaz, pembe renkli olarak görülen Selime tüfü, bu kesimde bazalt, spilit, obsidiyen, tüfit ve andezit parçaları içerir (Ayhan, 1998). Birim muhtemelen volkanizma sonucu ortaya çıkan piroklastik malzemelerin görsel bir havzada çökmesi sonucu oluşmuştur. Birimin kalınlığı 0.5 m, ile 60 m, arasında değişir. Selime tüfü, üzerine gelen Kızılkaya ignimbiritleri ile birlikte aşınmaya uğradıkları için masa şekilli tepeler meydana gelmiştir. Formasyon ve fiziksel özellikleri açısından saha çalışmalarında kılavuz seviye konumundadır.

Petrografik gözlemler sonucu vitrik tüf olarak anılan birim mineralojik açıdan plajiyoklaz, biyotit, litik bileşen, pumis, cam parçaları ve opak oksitlerden oluşmaktadır (Şekil 4.7). Vitrofirik doku, bu tip kaynaklaşmanın olmadığı tüflerde yaygın olarak bulunmaktadır. Litik açıdan birim, bazaltik ve andezitik kayaç parçalarından oluşmaktadır.



Şekil 4.6. Selime Tüfünün makroskopik ve içerisindeki pümsilerin görünümü (Yılmaz vd. 2009).



Şekil 4.7. a-b) Tüflerde gözlenen biyotitlerin, plajiyoklasların ve bağlayıcı matriksi oluşturan shardların fotomikrograf görüntüleri (Yılmaz vd. 2009).

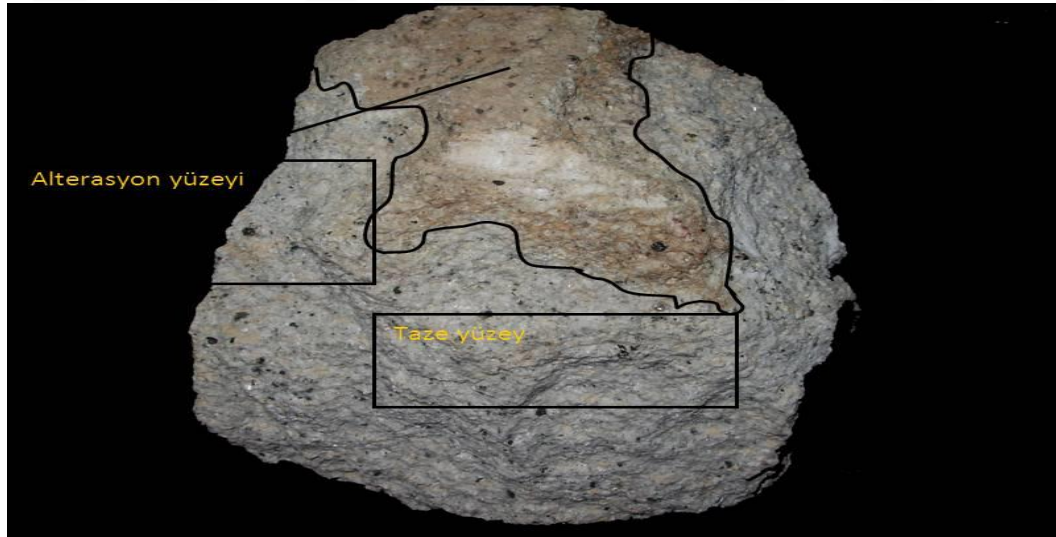
4.1.1.7 Kızılkaya ignimbiriti

Birim, çalışma sahasında masa tepeler şeklinde görünmesiyle tanınır ve Selime Tüfleri ile olan dokanak ilişkisi en iyi Kızılkaya Köyü civarında görünmektedir. Bu sebeple, ilk defa Beekman (1966) tarafından Kızılkaya ignimbiriti olarak adlandırılmıştır. Çalışma sahasında en geniş mostralara sahip olan birim en iyi şekilde Gücünkaya Köyü civarında gözlenmektedir (Şekil 4.8).

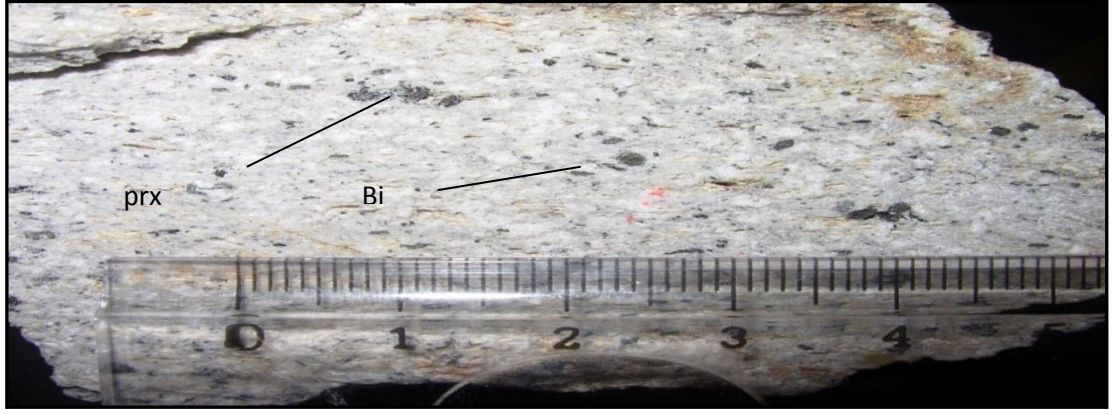


Şekil 4.8. Kızılkaya ve Selime tüfleri arasındaki dokanak ilişkisi (Yılmaz vd. 2009).

Genel görünümü pembemsi-kırmızımsı renkte gözlenen birimin az bozunmuş yüzeyleri ise pembemsi-beyazımsı gri renklerde (Şekil 4.9). Birimin alt seviyelerinde boyutları 30 cm'ye varan pumis parçaları içerir (Şekil 4.10). Birimin orta seviyeleri açık pembe, gri renkli andezit ve bazalt çakıllı, üst seviyeleri beyaz, açık gri renkli volkanik çakıllı ve orta kısımları kuvvetli, üst kısımları ise zayıf pekişmiştir. Birim içinde bulunan kırık ve çatlakların belirli yönde gelişmemesi, kaynağının soğumaya bağlı olduğunun göstergesidir (Yıldız vd., 2002).

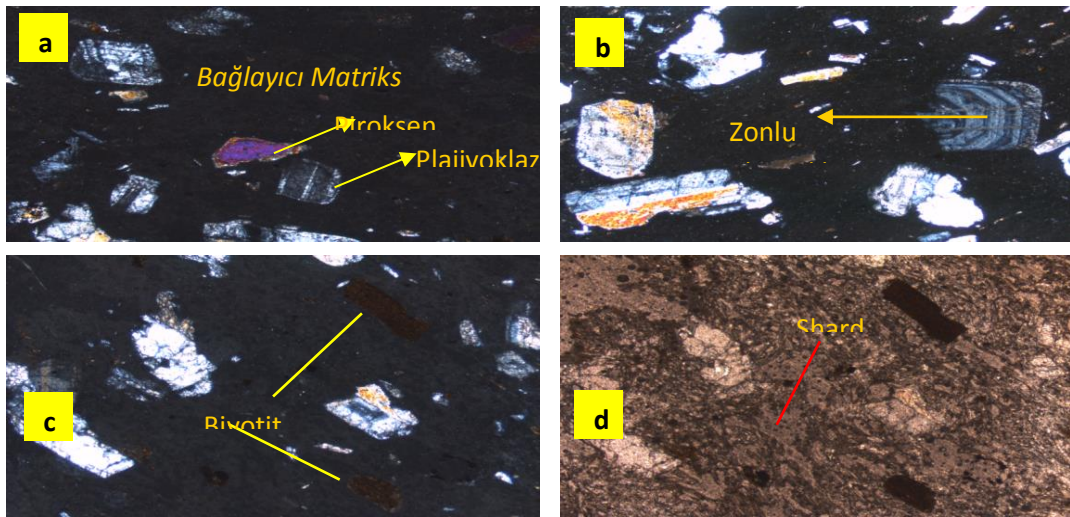


Şekil 4.9. İğnimbiritlerde gözlenen günlenmeye bağlı renk değişimi (Yılmaz vd. 2009).



Şekil 4.10. Makroskobik olarak ignimbiritlerin görüntüsü (Yılmaz vd. 2009).

İnceleme alanından alınan ignimbirit numuneleri üzerinde yapılan mikroskobik incelemelerde ignimbiritlerin %28'i fenokristallerden, kalan kısmı ise volkanik cam ve pumis parçalarından oluşmaktadır. Genel olarak ignimbiritler mineralojik açıdan plajiyoklaz, biyotit, piroksen, obsidiyen, opak ana bileşenlerinden oluşmaktadır (Şekil 4.11). Bölgedeki ignimbiritlerin yüksek seviyede Silisyum Dioksit (SiO_2), kızdırma kaybı (LOI) ve Kalsiyum Oksit (CaO) içeriği ile düşük seviyede Potasyum Oksit (K_2O) içermesi kayaçların sadece atmosferik süreçlerden geçmediği, ayrıca hidrotermal bozulmalara maruz kaldığını göstermektedir. Ayrıca petrografik gözlemlere göre bölgedeki ignimbiritler, tüflere göre bu bozulmalardan daha az etkilenmişlerdir. Bunun sebebi ise ignimbiritlerin daha kaynaşmış yapısı ve içerdiği yüksek silikadan dolayıdır.



Şekil 4.11. a-b) İgnimbiritlerde gözlenen piroksen, plajiyoklas ve zonlu plajiyoklasların fotomikrograf görüntüleri, c-d) İgnimbiritlerde gözlenen biyotitlerin ve bağlayıcı matriksi oluşturan shardların fotomikrograf görüntüleri (Yılmaz vd. 2009).

4.1.1.8 Hasandağı volkanitleri

Andezit, andezit-bazalt bileşimindeki lavlar ve bunların farklı boyuttaki proklastiklerinden oluşan birim ilk kez Beekman (1966) tarafından adlandırılmıştır. Piroklastikler tuf ve aglomeralardan oluşmaktadır. Formasyonda yer alan kayaç türleri birbirleri ile düşey ve yanal geçişli durumdadır. Genellikle topografya ile yatay, yer yer de eğimli bir görünüme sahiptir.

Hasandağı külleri, gölssel çökeller ile volkanik ürünlerin arılanmasından oluşmaktadır. Gri-beyaz renkli kül ve lapilliden oluşan Hasandağı külleri, beyaz renkli vitrik kül matriksi içerisinde kaba kum boyundan 5–6 cm'ye kadar ulaşan obsidiyen, pomza ve az miktarda da lav parçaları içerir. Hasandağı külleri, Belısırma ve İhlara civarında Kızılkaya ignimbiritlerinin üzerinde yer almaktadır.

4.1.1.9 Traverten

Bünyesinde erimiş karbondioksit bulunan sıcak ve mineralli yeraltı sularının basınç altında, geçtikleri bölgelerdeki kayaçlardan çözdükleri kalsiyum karbonatın, suyun yeryüzüne ulaştığında ince tabakalar halinde çökmesi ile oluşur. Çalışma sahasındaki genç volkanizmaya bağlı olarak ısınan karbondioksitçe zengin sıcak sular, kayaçlardaki kırık sistemler boyunca yüzeye çıkmakta ve travertenler çökmektedir (Şekil 4.12).

Çalışma sahasındaki travertenler genellikle beyazımsı, sarı ve açık kahve renkli olmakla birlikte, alterasyon sonucu ortaya çıkan demir zenginleşmesinden dolayı kırmızı renk tonlarına sahip oldukları da gözlenmiştir.



Şekil 4.12. Yaprakhisar ve çevresinde çökelen travertenlerin görüntüsü (Yılmaz vd. 2009).

4.1.1.10 Tuzgölü formasyonu

Tuz Gölü ve yayılım alanı boyunca topoğrafyanın düz olduğu alanlarda çökelim gösteren birim en altta tutturulmamış çakıl, kum, silt ve kil fasiyesi ile başlar, karbonatlı, sülfatlı ve jipsli seviyeler içeren alüvyon yelpazesi çökelleri ile devam eder. Birim; Ulu vd. (1994), tarafından Tuzgölü formasyonu olarak adlandırılmış ve yaşı Pliyo-Kuvaterner olarak kabul edilmiştir.

Formasyon görsel özellikte olup, tabanda kötü boylanmış ve iyi yuvarlaklaşmış çakıl-kum fasiyesi ile başlar. Çakıllar genelde tane desteklidir ve kum matriks içerir (Kavurmacı, 2013). Bunların üzerinde açık yeşil – beyaz renkli kil çökellerinden oluşan kum-silt fasiyesi yer almaktadır. Bu killerin, yayılımları yüzlerce metreyi bulan, mercek şekilli yaygılar halinde jips ara tabakaları da içerir (Ulu vd., 1994). Bunların üzerine ise kireçtaşı – kıltaşı ile birlikte yatay tabakalı kum - silt fasiyesleri gelmektedir.

Tuz Gölü yayılım alanı içerisinde hakim litoloji kil olup, killer içerisinde heterojen dağılım gösteren karbonatlı kum seviyeleri ve yer yer sarımsı - bej renkli bol kırık çatlaklı ince tabakalı marnlı seviyelerde gözlemlenir (Kavurmacı, 2013).

4.1.1.11 Alüvyon

Alüvyon malzemeleri akarsu ve derelerin vadilerinde başta sular olmak üzere, çeşitli etkenlerle taşınarak vadi içerisinde depolanmış bulunan kahverengi, gri renkli çakıl, kum ve silt mevcut olup bunlar birlikte alüvyon adı altında haritalanmıştır. İçlerinde volkanik parçalara da rastlanan alüvyonların dere yataklarındaki kalınlıkları azdır. Alüvyon Holosen yaşlıdır ve oluşumuna halen devam etmektedir.

4.1.2 İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma sahasını oluşturan ana birimler Kuvaterner yaşlı alüvyon ve alüvyon konisidir. Çalışma kapsamında bölgeyi temsilen 102 adet araştırma sondaj kuyusundan elde edilen kuyu logları incelenmiştir.

Elde edilen verilere göre, en üstte yer alan yarım metre derinliğindeki bitkisel topraktan itibaren bazı bölgelerde 15 m'ye kadar grimsi-kahve renkli kumlu-siltli-kil

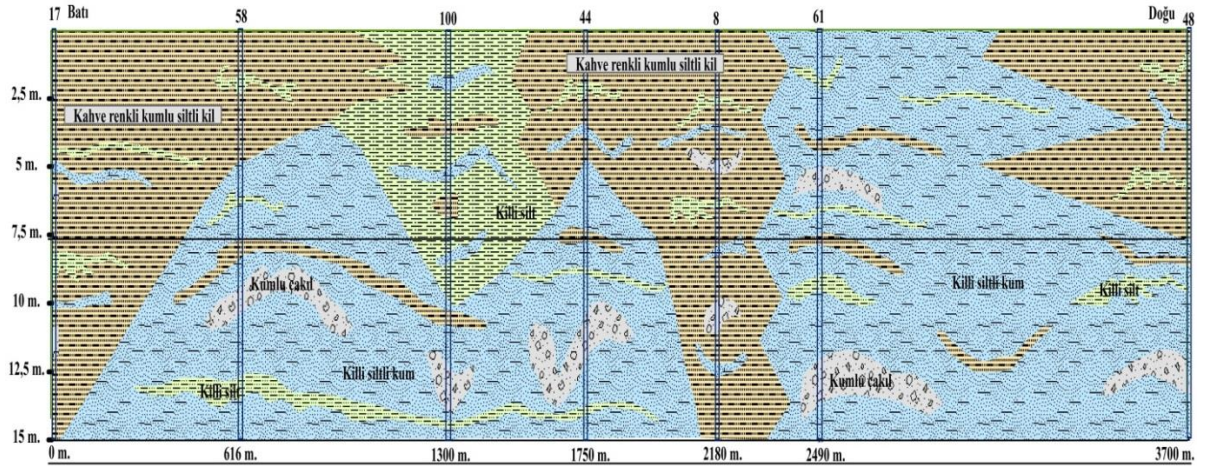
gözlenirken, bazı bölgelerde 5 m'ye kadar kahve renkli kumlu-siltli-kil, 5-15 arasında grimsi kahve renkli çakıllı-siltli-kum gözlenmektedir (Çizelge 4.1). Zemin profilinde ilk tabaka olan nebati toprak, yaklaşık 0,5-1 m arasında değişen kalınlıkta bulunmaktadır. Açık renkli organik örtünün altında ise killi seviyeler görünmektedir. Zeminde 1 m. derinlikten itibaren başlayan killer genellikle grimsi – kahve renkli, sert, katı, aktif olmayan, orta kuru dayanım ve orta sıkışabilir özelliktedir. Zemin içinde bulunan kumlar genellikle grimsi renktedirler. Sondajların genelinde 7,5 m derinlikten itibaren görülen çakıllar ise nispeten daha koyu gri renkli ve iri köşelidir. Zemin içerisinde birimler yanal ve düşey kesitte sık değişim gösterir ve zemin heterojen yapıdadır (Şekil 4.13) (Şekil 4.14). Bunun nedeni, yüksek debiye ve türbülanslı akış sistemine sahip akarsuların çökelim havzasına iri taneleri, mevsimsel olarak debilerinin düştüğü zamanlarda ise daha ince taneleri taşımasıdır.

Çizelge 4.1. İnceleme alanının genelleştirilmiş zemin profilleri.

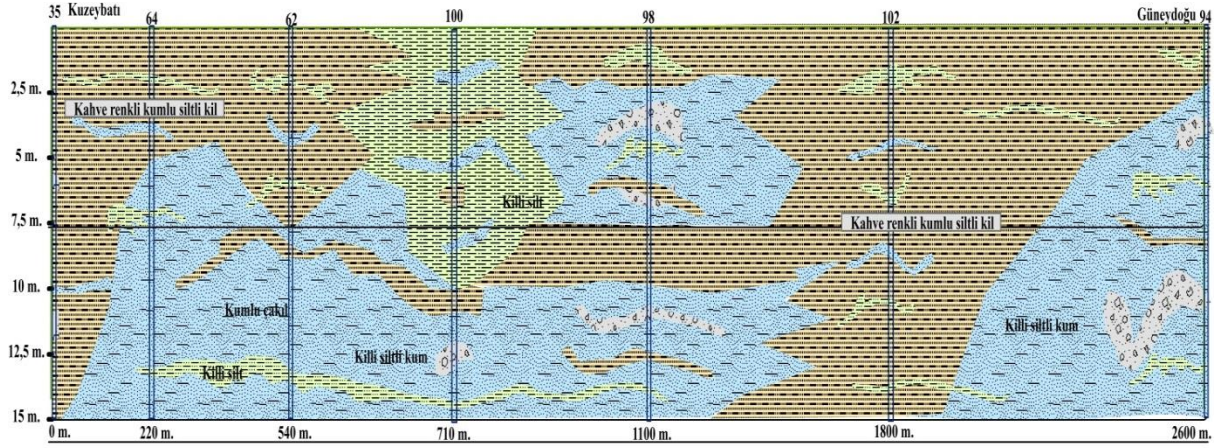
Zemin Profili İnce taneli zeminler		Zemin Profili İri taneli zeminler	
Bitkisel Toprak	0.1 ~ 0.5 m	Bitkisel Toprak	0.1 ~ 0.5 m
Ara ara kum-çakıl arabantlı Grimsi kahve renkli Kumlu-Siltli-Kil	12.5 ~ 15.0 m	Kahve Renkli Kumlu-Siltli-Kil	4.50 ~ 5.50 m
		Grimsi Kahve Renkli Çakıllı-Siltli- Kum	12.5 ~ 15.0 m

Sondaj verilerinden elde edilen zemin sınıflamasının büyük oranda düşük-orta plastisiteli, inorganik killer ve siltli killer olduğu görülmektedir. Daha düşük oranda ise siltli ve killi kumlar, inorganik silt ve killi siltler, killi ve siltli çakıl ile çakıl kum karışımlarından oluştuğu görülmektedir. Zemin ağırlıklı olarak killerden oluşmakla birlikte, diğer birimler içinde de merccekler ve ara bantlar halinde bulunmaktadır. Bu sonuçlar bize çökelim havzasının aynı zamanda gölsel havza özelliği gösterdiğini göstermektedir. Çalışma sahasının Doğu-Batı ve Güneydoğu-Kuzeybatı yönündeki jeolojik kesiti Şekil 4.13 ve 4.14'te gösterilmiştir.

Çalışma sahasında yeraltı su seviyesi yüzeye yakın olup 2,5 – 7,5 m arasında değişim gösterir. Yeraltı suyunun yüzeye yakın olması ve üstyapı temellerinin yer yer zemin içerisinde genellikle ince taneli kum ve siltli seviyelere denk gelmesi, bölgenin zemin sıvılaşma riskini arttırmaktadır.



Şekil 4.13. İnceleme alanının Doğu-Batı istikametindeki jeolojik kesiti.



Şekil 4.14. İnceleme alanının Güneydoğu-Kuzeybatı istikametindeki jeolojik kesiti.

4.1.3 Yapısal Jeoloji

İnceleme alanı tektonik bakımından oldukça etkin bir bölgede bulunmaktadır. Alanın tektonik yapısında, Tuz Gölü havzası ve temeli oluşturan Kırşehir Masifi etkili olmuştur. Şengör ve Yılmaz (1981)'e göre çalışma alanı Anatolid/Torid platformunda yer alır. Üst Kretase boyunca bu kuşağın üzerinde bir okyanus bulunmaktadır. Kuzeye Pontitlerin altına dalan ve gittikçe daralan bu okyanusal kesimde deniz gibi yayılması ürünü olan ofiyolitler, Kampaniyen Maestrichtiyen döneminde güneye doğru giderek Anatolid/Torid platformunun Juradan beri süregelen karbonat çökelleri üzerine gelmiştir. Tuz Gölü havzasının tabanını oluşturan Kırşehir Masifinin devamı niteliğinde olup, Mamasın Barajı çevresinde yer alan ofiyolit ve ultramafitlerle Bozdağlar birliğinde görülen ve Bozkır napları adı

verilen aynı türden kayaçlar, üzerledikleri çökel istifini büyük bir yük altında bırakarak, çökellerde yüksek basınç metamorfizması oluşturmuştur.

Paleosen-Eosen geçişinde kuzeydeki Neotetis, Anatolid/Torid platformu ile pontitlerin çarpışması sonucu (Şengör - Yılmaz 1981) kapanarak kuzeyden güneye hareket etmiştir. Lütesiyen de bölge derin deniz suları altında kalmıştır. Mamasun Barajı kuzeyinde gözlenen Eosen yaşlı numulitesli kireçtaşları bunun kanıtıdır. Kuzey-güney yönlü bu hareket Eosen ve Oligosen de devam etmiş, sonuçta Anatolitlerin yükselmesine neden olmuştur (Şengör-Yılmaz, 1981). Alanda Maestrichtiyen-Pliyosen döneminde genellikle K-G gidişli faylar ve kırık sistemleri gelişmiştir. KB-GD ve KD-GB yönlü fay ve kırık hatlarının kesişmesi ile bölgedeki merkezi volkanizmalar aktif hale gelmiş gelmiş, bunun sonucunda da cüruf konileri oluşmuştur. Genç birimlerin örtü şeklinde bölgeyi kaplamaları tektonik yapılarında örtülmesine neden olmuştur.

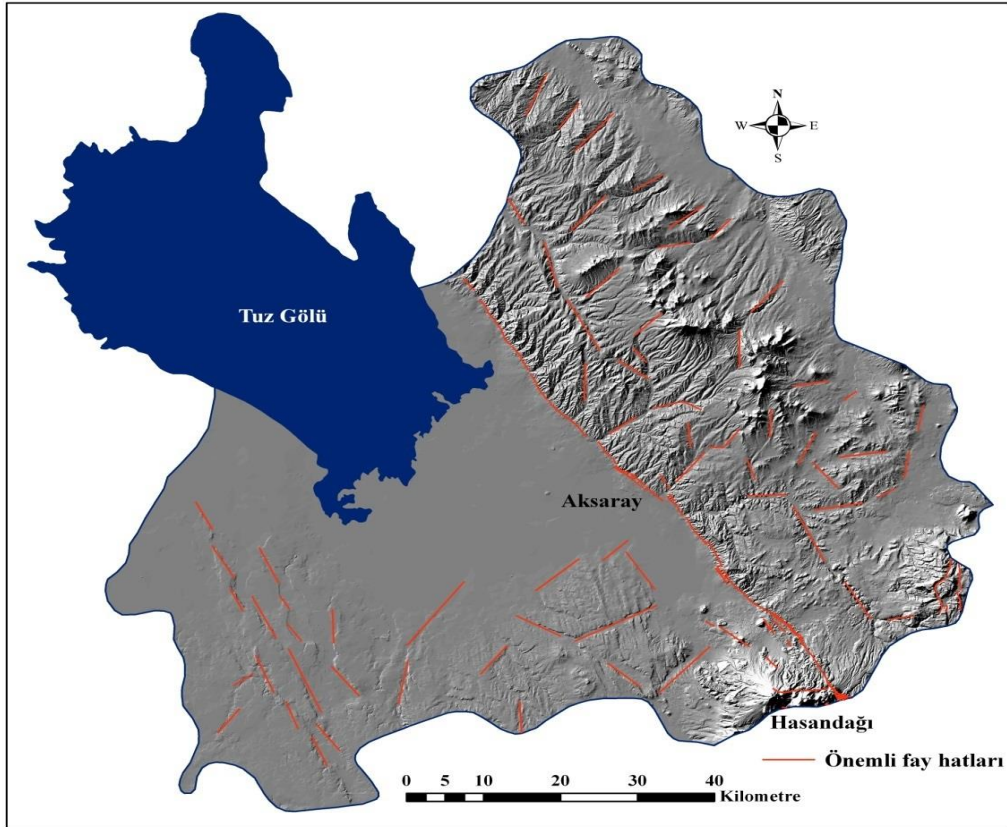
Bölgedeki faylar çoğunlukla KB-GD ve KD-GB yönlüdür. İnceleme alanının en önemli tektonik yapısı eğim atımlı normal fay niteliğindeki KB-GD gidişli Aksaray-Koçhisar fay zonudur. Farklı araştırmacılar tarafından Tuz Gölü Fay Zonu olarakta adlandırılan tektonik unsur bazı araştırmacılar tarafından doğrultu atımlı sağ yanal fay olarak da tanımlanmaktadır. Şengör vd. (1985) ile Şaroğlu vd. (1987) bu fayın yüksek açılı ters fay olduğunu ileri sürmüşler, Derman vd. (2000) ise bu fayın önce normal bir fay olarak başladığını Eosen'de sol yönlü doğrultulu atım kazandığını daha sonra da tekrar normal bir fay karakteri kazandığını belirtmişlerdir. Toprak ve Göncüoğlu (1993); Dirik ve Göncüoğlu (1996); Çemen vd. (1999) ise fay zonunun neotektonik dönemde yüksek açılı normal fay bileşenli sağ yanal doğrultu atımlı bir fay olduğunu ifade etmişlerdir. Kürçer ve diğ. (2012) ise çalışmasında TGFZ'nun K25-60B doğrultulu, 65-85 GB'ya eğimli, çok küçük oranda sağ yanal doğrultu atım bileşenine sahip (yan yatım açısı; 75-85), yüzeyde yüksek açılı normal faylardan oluşan bir fay zone olduğunu savunmuştur. Tuz Gölü'nün kuzeyinden başlayıp Niğde'nin Kemerhisar ilçesine kadar devam eden TGFZ K 25-60 B doğrultusunda, yaklaşık 190 - 200 km. uzunluğunda ve 5 - 25 km. genişliğe sahiptir (Kürçer vd., 2012).

Basamak şeklinde yarı graben veya horst graben morfolojisi sunan bu fay zone birbirine paralel veya yarı paralel faylardan oluşur. Ana fayın düşen batı bloğuna

oluşan kalın, yer yer deforme olmuş alüvyon yelpazeleri, fay diklikleri ve doğu blok üzerinde saat yönünde büküm gösteren dere yatakları önemli morfolojik unsurlardır (Dirik ve Göncüoğlu, 1996). Fay zonunun güney ucu volkanik aktivite, sıcak su kaynakları, fay zonuna paralel parazitik koni dizilimi, traverten oluşumları, fay kontrollü teras oluşumları ve sağ yanal olarak atılmış lav akıntıları ile karakterize olur (Toprak ve Göncüoğlu, 1993).

İnceleme alanında TGFZ'na paralel gelişen KB - GD gidişli birbirlerine paralel doğrultu atımlı fay sistemleri ve ana fayı farklı açılarla kesen D - B gidişli düşey bileşenli fay sistemleri gelişmiştir. Düşey bileşenli faylar inceleme alanının graben özelliği kazanmasını sağlamıştır (Şekil 4.15). İnceleme alanındaki en önemli morfolojik veri yerleşim alanının doğusunda yer alan fay sarplıklarıdır.

İnceleme alanı ve çevresinde dikkat çeken morfolojik özelliklerden biriside hasandağı volkanizması ürünlerinden olan Kızılkaya ignimbiritlerinin gösterdiği genellikle yatay ve yataya yakın masa yapılarıdır.



Şekil 4.15. İnceleme alanı ve çevresinin fay haritası (Coşkun, 2016).

4.2 Zeminlerin Jeoteknik Özellikleri

Bu bölümde, Aksaray il merkezinde jeoteknik araştırmalar amacı ile açılan sondaj verileri ve zemin etüt raporlarından elde edilen zeminlerin fiziksel, indeks, mekanik, taşıma gücü ve sıvılaşma riski özellikleri incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Daha önceden belirlenen zemin sınıflandırmaları hata oranını azaltmak için birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (USCS) kullanılarak kontrol edilmiştir.

İnceleme alanında zemin profilleri genel olarak iki gruba ayrılır; ince taneli malzemelerin egemen olduğu zeminlerde, en üstte yer alan yarım metre derinliğindeki bitkisel topraktan itibaren 15 m derinliğe kadar ara ara kum-çakıl bantlı grimsi-kahve renkli, kumlu-siltli-kil ile temsil edilen zeminler, iri taneli zeminlerde ise yarım metre derinlikte bulunan bitkisel toprağın ardından yaklaşık 5 m derinliğe kadar kahve renkli kumlu-siltli-kil, 5-15 m aralığında ise grimsi kahve renkli çakıllı-siltli-kum zeminler tanımlanmıştır.

4.2.1 Zeminlerin fiziksel özellikleri ve sınıflaması

Zeminlerin fiziksel özellikleri kapsamında tane boyutlarının dağılımı ve kıvam limitleri incelenmiş; bu veriler doğrultusunda Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine (USCS) göre zemin sınıfları yeniden belirlenmiştir. Ayrıca zeminlerin su muhtevaları ile doğal birim hacim ağırlık değerleri de incelenmiştir.

Çizelge 4.2. Zeminlerin fiziksel ve indeks özelliklerinin toplu gösterimi.

Sondaj No	Koordinatlar		UD Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal BHA (gr/cm ³)	Elek Analizi			Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı (USCS)
	x	y				< No.200 (%)	> No.200 < No.4 (%)	> No.4 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
1	590191	4246142	3,0	24,4	1,93	67,3	29,4	3,2	41,5	19,4	22,1	CL
2	588596	4246531	3,0	15,3	1,87	63,5	27,7	8,9	37,0	21,3	15,7	CL
3	591079	4246776	2,5	16,6	1,86	94,7	5,3	0,0	44,4	21,2	21,2	CL
4	587175	4246085	2,5	14,5	1,84	63,0	37,0	0,0	45,4	21,5	23,9	CL
5	587405	4246306	3,0	20,1	1,87	43,6	37,0	19,4	41,8	21,3	20,5	CL
6	587654	4246505	3,0	27,1	1,82	74,2	21,6	4,2	43,0	22,8	20,2	CL
7	588915	4246533	2,5	17,0	1,90	56,6	40,3	3,1	44,8	20,7	24,1	CL
8	589012	4246158	2,5	27,1	1,88	84,7	14,6	0,8	42,5	21,1	21,5	CL
9	587862	4246510	2,0	26,9	1,85	67,5	28,4	4,1	44,8	21,3	21,4	CL
10	590603	4246986	2,0	35,2	1,92	94,0	6,0	0,0	52,1	20,6	31,5	CH
11	589457	4246210	3,0	40,8	1,84	60,5	24,0	15,5	44,2	21,7	22,6	CL
12	590832	4246635	3,0	20,7	1,89	65,9	28,8	5,4	41,2	20,4	20,9	CL
13	591182	4246864	1,5	34,4	1,80	79,0	19,0	2,0	45,9	21,5	24,4	CL
14	590345	4247197	2,0	33,5	1,91	83,6	9,9	6,6	44,7	20,8	23,9	CL
15	589378	4246558	2,0	12,0	1,86	32,9	64,0	3,1	46,6	21,8	24,8	SM
16	590958	4247008	1,0	17,0	1,83	86,1	12,8	1,1	41,7	19,8	21,9	CL
17	586827	4245984	2,0	28,2	1,85	89,7	7,7	2,7	43,1	20,6	22,5	CL
18	588662	4246136	2,0	29,3	1,88	90,6	8,5	0,8	45,4	20,4	25,0	CL
19	590174	4247222	2,5	27,4	1,91	53,0	22,2	24,8	42,1	19,7	22,4	CL
20	591063	4247018	2,5	8,0	1,91	38,5	26,3	35,2	35,9	20,1	15,8	GC
21	588703	4246509	3,0	24,1	1,85	74,3	24,6	1,1	45,0	20,2	24,8	CL
22	591094	4247299	2,5	18,6	1,84	26,2	44,4	29,5	35,3	17,8	17,5	SC
23	587040	4246386	3,0	17,1	1,86	82,3	11,8	6,0	47,1	20,2	26,9	CL
24	590437	4246349	1,5	20,4	1,86	66,8	20,8	12,4	40,0	19,3	20,7	CL
25	590996	4246535	3,0	10,9	1,94	97,0	3,0	0,0	54,0	21,0	33,0	CH
26	587332	4246474	2,5	22,8	1,89	65,8	26,9	7,4	42,3	21,0	21,3	CL
27	588997	4246604	3,0	26,2	1,87	68,8	27,2	4,0	44,8	21,0	23,7	CL
28	589594	4246723	3,0	12,7	1,88	58,0	37,3	4,7	41,3	23,7	17,7	CL
29	590020	4246428	2,5	34,0	1,89	74,5	22,0	3,5	44,1	21,9	22,2	CL
30	590627	4247311	3,0	28,8	1,85	85,1	14,3	0,7	45,9	22,2	23,8	CL

Çizelge 4.2 (devam). Zeminlerin fiziksel ve indeks özelliklerinin toplu gösterimi.

Sondaj No	Koordinatlar		UD Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Doğal BHA (gr/cm ³)	Elek Analizi			Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı (USCS)
	x	y				< No.200 (%)	> No.200 < No.4 (%)	> No.4 (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)	
31	591045	4246402	2,5	28,7	1,89	76,7	22,0	1,3	51,2	22,0	29,3	CL
32	588917	4245994	2,5	18,9	1,90	71,0	21,5	7,5	44,5	22,0	22,5	CL
33	589544	4246042	2,5	8,0	1,80	26,0	35,0	39,0	35,2	18,5	16,7	SM
34	590734	4246268	3,0	17,1	1,84	44,7	38,7	16,7	37,8	19,9	17,9	SC
35	587640	4246565	3,0	22,5	1,85	59,8	36,8	3,5	41,8	22,4	19,4	CL
36	590940	4247352	3,0	18,8	1,88	51,0	37,5	12,0	41,9	23,1	18,8	CL
37	589723	4246533	2,5	18,7	1,89	79,5	19,5	1,0	48,8	20,1	28,7	CH
38	587609	4246715	3,0	34,0	1,90	65,7	28,4	5,9	45,8	21,2	24,6	CL
39	588463	4246134	3,0	10,9	1,85	80,5	10,5	9,0	40,6	19,9	20,7	CL
40	590236	4247151	2,0	29,3	1,92	79,8	16,3	4,0	49,4	20,9	28,5	CL
41	590227	4246237	1,5	26,0	1,86	85,5	14,5	0,0	44,2	20,4	23,8	CL
42	588549	4246161	3,0	27,1	1,91	90,5	8,5	1,0	42,9	20,2	22,7	CL
43	587261	4245847	2,5	18,2	1,93	71,5	17,5	11,0	40,5	19,1	21,5	CL
44	588580	4246145	2,5	13,3	1,87	76,0	17,0	7,0	40,8	20,0	20,9	CL
45	588706	4246468	2,5	27,2	1,83	59,5	33,5	7,0	41,4	22,4	19,0	CL
46	589383	4246116	3,0	15,9	1,89	93,0	5,0	2,0	42,1	20,0	22,0	CL
47	587388	4246363	2,5	14,9	1,89	58,0	34,0	8,0	42,5	21,1	21,5	CL
48	590528	4246113	3,0	18,4	1,86	90,0	9,0	1,0	43,4	21,2	22,1	CL
49	589087	4245874	3,0	23,6	1,89	76,0	16,0	8,0	44,1	21,0	23,0	CL
50	588662	4246570	2,0	22,5	1,85	60,0	37,0	3,0	44,9	21,3	23,7	CL
51	588332	4246630	2,0	26,5	1,86	69,0	28,0	3,0	47,0	21,0	26,0	CL
52	589356	4246082	3,0	17,2	1,88	63,0	34,0	3,0	45,0	21,0	24,0	CL
53	589554	4245953	2,5	25,3	1,85	78,0	19,0	3,0	45,0	20,0	25,0	CL
54	589996	4246388	3,0	25,7	1,86	75,0	12,0	13,0	49,0	20,0	29,0	CL
55	590757	4246267	3,0	24,8	1,87	84,9	14,0	1,2	44,7	20,3	24,4	CL
56	588638	4246668	3,0	18,7	1,84	56,5	38,0	5,5	42,3	21,2	21,1	CL
57	586691	4246242	1,0	18,0	1,85	47,4	43,6	9,1	42,5	20,3	22,2	CL
58	587435	4246084	3,0	24,1	1,87	77,5	22,5	0,0	41,8	21,8	20,0	CL
59	588544	4246219	3,0	20,3	1,92	73,0	24,0	3,0	42,1	20,9	21,2	CL
60	590944	4247148	1,0	23,4	1,88	77,0	17,0	6,0	48,6	21,2	27,4	CL
61	589320	4246026	3,0	28,3	1,83	47,7	47,3	5,0	42,6	21,5	21,1	SC
62	588038	4246203	3,0	18,7	1,84	36,0	50,0	14,0	38,1	19,6	18,5	SC
63	587268	4246137	3,0	22,9	1,89	16,0	53,0	31,0	40,2	21,3	18,9	SM
64	587738	4246369	3,0	20,4	1,97	34,0	52,0	14,0	39,3	19,2	20,1	SC
65	587207	4246328	3,0	33,0	1,90	58,0	37,0	5,0	40,2	22,0	18,2	CL
66	588247	4246438	3,0	8,6	1,84	36,0	45,0	19,0	37,8	20,4	17,4	SC
67	589204	4245837	2,5	33,1	1,86	73,9	19,2	6,9	44,5	20,1	24,4	CL
68	588814	4245612	2,0	21,6	1,89	70,0	26,0	4,0	40,6	19,6	21,0	CL
69	588051	4246144	1,5	37,0	1,88	94,8	5,2	0,0	45,6	20,6	25,0	CL
70	588878	4245843	3,0	17,5	1,87	62,0	31,3	6,7	41,4	22,7	18,7	CL
71	588638	4245903	2,5	19,9	1,85	86,0	13,7	0,0	43,4	21,9	21,5	CL
72	589253	4245653	3,0	14,2	1,81	62,8	30,7	6,5	37,5	25,6	11,9	ML
73	589253	4245653	3,0	14,2	1,81	54,6	34,4	11,0	38,5	19,3	19,2	ML
74	588676	4245597	3,0	21,6	1,89	70,7	25,5	3,7	44,4	20,0	24,4	CL
75	588075	4246065	2,5	28,5	1,89	95,8	4,2	0,0	53,3	21,6	28,7	CH
76	588916	4245434	1,5	33,6	1,88	78,5	19,0	2,5	50,0	20,0	30,0	CL
77	589125	4245712	2,5	13,5	1,93	69,9	17,2	13,0	46,8	22,1	24,7	CL
78	590471	4246230	3,0	26,9	1,90	55,1	33,5	11,4	45,3	21,4	23,9	CL
79	589086	4245894	2,0	24,7	1,86	59,6	22,0	18,4	44,6	22,4	22,2	CH
80	588983	4245897	3,0	22,1	1,86	80,1	18,4	1,5	46,1	20,9	25,2	CL
81	588289	4245297	2,5	18,1	1,86	72,0	19,0	9,0	42,5	21,1	21,4	CL
82	590017	4245985	3,0	32,0	1,82	85,3	14,4	0,3	44,2	22,6	21,6	CL
83	588533	4245423	2,5	26,4	1,86	64,3	28,5	7,3	44,0	22,5	21,5	CL
84	590071	4245023	2,5	13,8	1,85	34,3	42,7	23,0	NP	NP	NP	SM
85	588665	4245585	2,5	15,3	1,92	72,7	22,3	5,0	42,0	23,5	18,5	CL
86	589288	4245667	2,0	23,0	1,93	38,3	58,3	3,4	52,2	20,0	32,2	CH
87	589208	4245621	2,0	27,4	1,86	76,3	19,3	4,5	44,4	21,9	22,5	CL
88	589200	4245730	3,0	28,1	1,85	71,2	19,4	9,4	44,2	20,4	23,8	CL
89	588841	4245604	3,0	12,8	1,86	69,2	14,0	16,8	43,4	21,4	22,0	CL
90	588704	4245890	2,5	21,1	1,85	74,5	23,1	2,4	45,8	20,9	24,9	CL
91	588967	4245649	3,0	21,1	1,88	73,9	17,7	8,4	44,0	20,4	23,6	CL
92	588949	4245917	2,5	14,6	1,88	87,9	11,7	0,5	42,1	20,3	21,8	CL
93	589234	4245843	2,0	22,1	1,88	85,6	11,4	3,0	47,5	20,7	26,8	CL
94	589802	4245105	2,5	11,3	1,87	31,4	51,0	17,6	38,9	19,3	19,6	SC
95	588602	4245888	2,5	19,7	1,87	53,0	42,0	5,1	42,5	20,6	21,9	CL
96	588236	4245562	2,0	23,7	1,87	72,6	19,8	7,6	41,2	21,2	20,0	CL
97	588471	4245528	2,5	23,4	1,90	76,5	21,1	2,3	42,5	20,8	21,7	CL
98	588455	4245827	3,0	18,8	1,85	81,3	16,7	2,0	43,2	23,1	20,0	CL
99	589272	4245781	3,0	24,7	1,85	62,0	25,0	13,0	45,1	20,4	24,7	CL
100	588128	4246051	3,0	13,9	1,96	54,0	40,5	5,5	39,6	19,2	20,4	ML
101	588391	4246225	3,0	16,5	1,93	38,0	49,0	13,0	36,6	21,3	15,3	SC
102	589003	4245383	3,0	23,1	1,85	54,0	44,0	2,0	39,4	22,1	17,3	CL

Çalışma kapsamında verilerin toplandığı kaynaklarda ilk UD derinliğinden alınan numunelerin fiziksel ve indeks özellikleri araştırılmıştır. Zeminlerin derinliğe bağlı profilinde önemli değişiklik görünmediği için çalışma kapsamında bu veriler kullanılmıştır. Çalışma sahasında alınan örselenmemiş numunelerin derinliği 1-3 m arasında değişmektedir ve ortalaması 2,6 m'dir. Zeminlerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre hakim zemin sınıfı düşük plastisiteli kil (CL)'dir.

4.2.1.1 Tane boyu dağılımı

Zemin tanelerini sınıflandırmak için en kolay yol tane boylarına göre ayırmaktır. Bu amaçla zemin içerisindeki çakıl, kum, silt ve kil oranlarını belirlemek için elek analizi yöntemi ile tane boyları ayrımı yapılmaktadır. Farklı ülkelerde malzemelerin ayrımı çeşitli tane boyu sınıflamaları ile yapılmaktadır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. Bazı sınıflandırma sistemlerinde tane boyutuna göre ayrımı.

(mm)	ASTM	BS	DIN	TSE
Çakıl	75	60	63	60
Kum	4,75	2	20	2
Silt	< 0,075	0,06	0,06	0,075
Kil		< 0,002	< 0,002	< 0,002

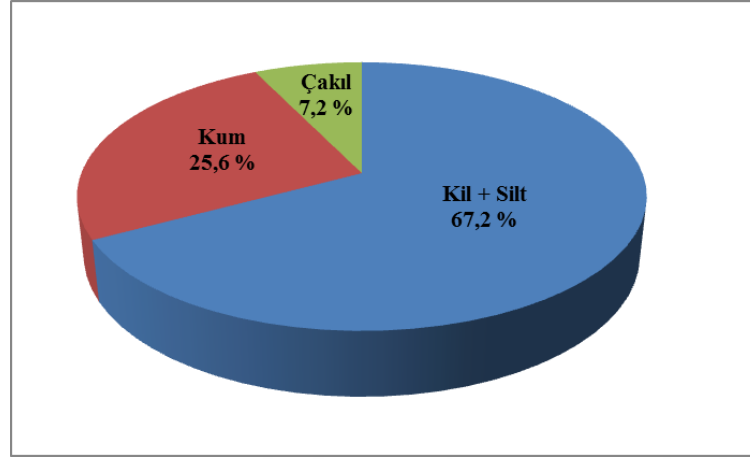
Zeminlerin tane boyu dağılımları numuneler üzerinde yapılan ıslak elek analizleri ile belirlenmiştir. Deneyde kullanılan elek açıklıkları metrik sistemde milimetre, ASTM standardında ise bir inç kare içine sığan delik sayısı türünden belirtilir (ASTM D 422). Çizelge 4.4'de en çok kullanılan Amerikan ve metrik standart eleklerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çizelge 4.4. ASTM elekler ve metrik karşılıkları.

ASTM Elek	1"	1/2 "	1/4 "	No.4	No.10	No.20	No.50	No.100	No.200
Metrik Eşdeğer (mm)	25,4	12,7	6,35	4,76	2,0	0,84	0,30	0,149	0,074

İnceleme alanındaki zeminlerin elek analizi sonuçlarına göre, 200 numaralı elekten geçen malzeme oranı ortalama %67,2'dir. Bu sonuç, zemini oluşturan tanelerin büyük çoğunluğunun kil ve silt gibi ince tane boyuna sahip malzemeden oluştuğunu göstermektedir. Bu tür zeminler ince taneli zeminler olarak sınıflandırılır. İri taneli malzemelerin %7,2'sinin 4 numaralı elek üzerinde kalması, çakıl boyutundaki

malzeme oranının %7,2, kum boyutundaki malzeme oranının ise %25,6 olduğunu gösterir (Şekil 4.16).

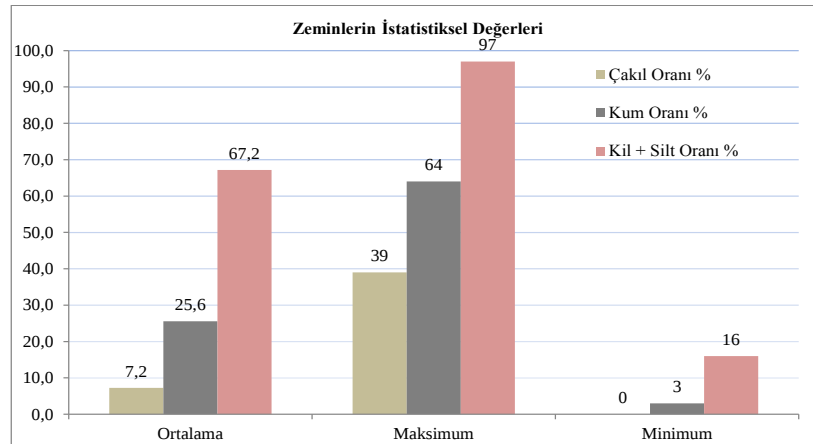


Şekil 4.16. Zeminlerin tane boyu oranları.

Zemin örneklerinde yer alan çakıl boyutundaki malzeme oranı en yüksek %39 iken bazı numunelerde çakıla rastlanılmamıştır. Zemin örneklerinde kum oranı %3 ile %64 arasında değişim gösterir. Örneklerde gözlenen en düşük ve en yüksek ince tane oranı (kil ve silt oranı) sırası ile %16 ve %97 dir (Çizelge 4.5) (Şekil 4.17).

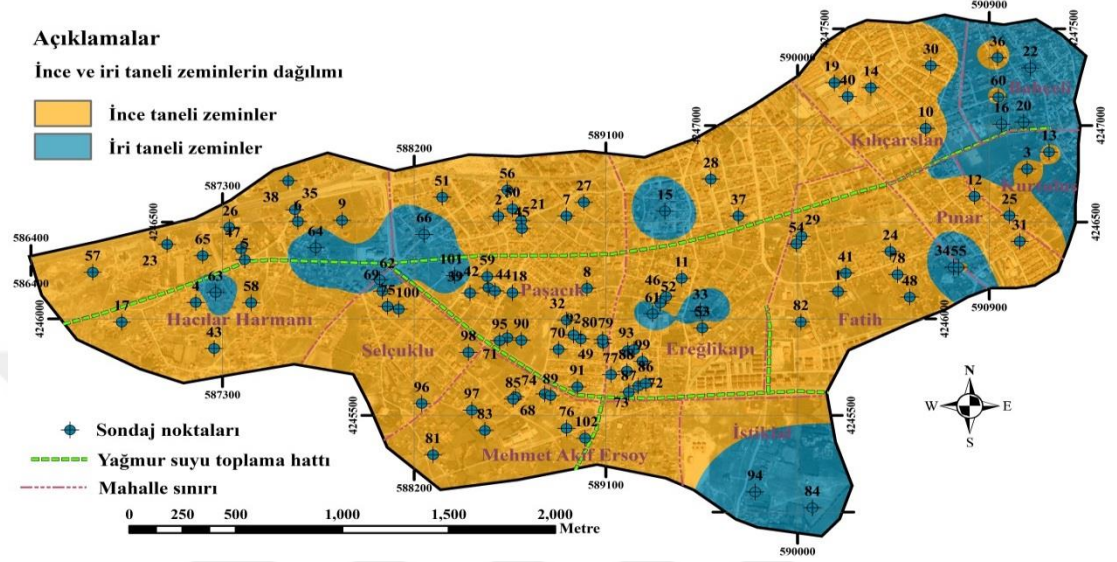
Çizelge 4.5. Zeminlerin tane boyu istatistikleri.

Parametreler	Birim	Ortalama	Maksimum	Minimum	St. Sapma
Çakıl Oranı	%	7,2	39	0	7,7
Kum Oranı	%	25,6	64	3	13,3
Kil + Silt Oranı	%	67,2	97	16	17,8



Şekil 4.17. Zeminlerin tane boyu dağılım grafiği.

İnceleme alanındaki toprak zeminlerin yüzeyden itibaren ilk 4m'lik kesimi genel olarak ince taneli zeminlerden oluşturulmuştur (Şekil 4.18). İri taneli zeminler genel olarak kuzeydoğu kesimde yoğunlaşmış diğer bölgelerde ise lokal bölgeler halinde yer yer konumlanmıştır.



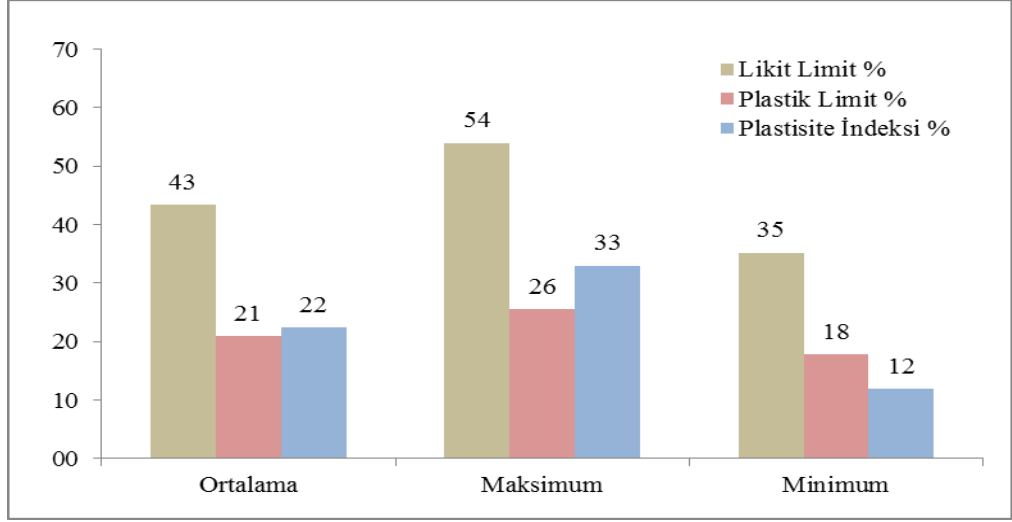
Şekil 4.18. İnceleme alanındaki ince ve iri taneli zeminlerin ilk 4 m derinlik için konumsal dağılımı.

4.2.1.2 Atterberg kıvam limitleri

İnce taneli zeminler, içerisindeki su miktarına bağlı olarak çeşitli kıvamlarda bulunabilmektedir. Bu kıvamlar katıdan sıvıya (viskoz) doğru değişmektedir. İnce taneli malzemelerin bu kıvamlarının belirlenmesi için Atterberg kıvam limitleri deneyi yapılmaktadır. İnceleme alanında 102 adet sondajdan alınan örselenmemiş numune üzerinde yapılan kıvam limit testi sonuçlarına göre, kıvam limitlerinin ortalama değerleri, likit limit %43,4, plastik limit %20,9 ve plastisite indeksi %22,4 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ve en düşük değerler sırası ile likit limit için %54,0 - %35,2, plastik limit için %25,6 - %17,8, plastik indeksi için %33,0 - %11,9 arasında değişmiştir (Çizelge 4.6) (Şekil 4.19). Zeminlerden bir tanesinin sonucu Non-plastik çıktığı için istatistik değerlendirmesine alınmamıştır.

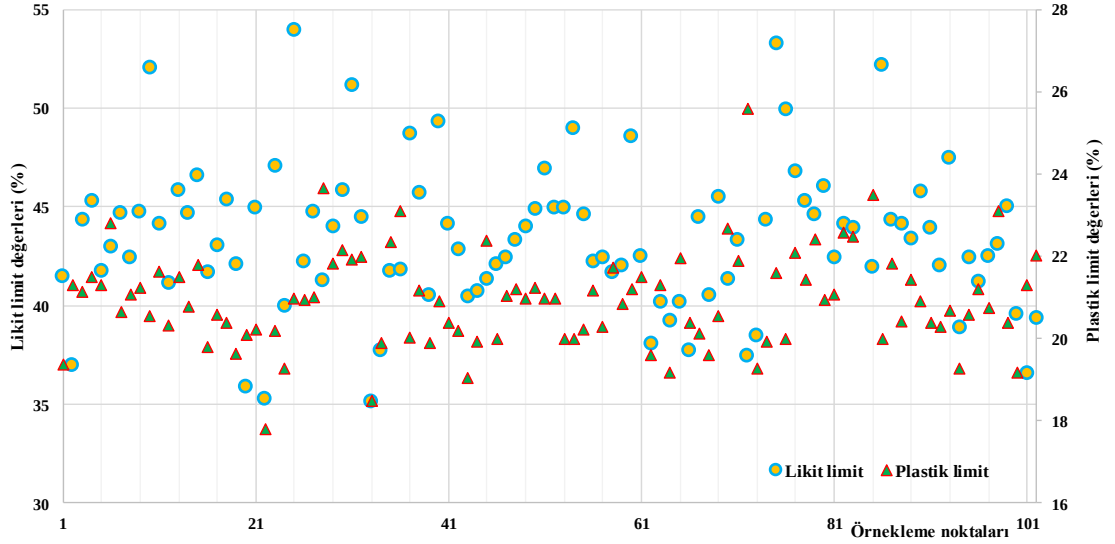
Çizelge 4.6. Zeminlerin Atterberg limitlerine göre istatistiksel değerleri.

Parametreler	Birim	Ortalama	Maksimum	Minimum	St. Sapma
Likit Limit	%	43,4	54,0	35,2	3,7
Plastik Limit	%	20,9	25,6	17,8	1,2
Plastisite İndeksi	%	22,4	33,0	11,9	3,6



Şekil 4.19. Atterberg limitlerin istatistiksel değerleri.

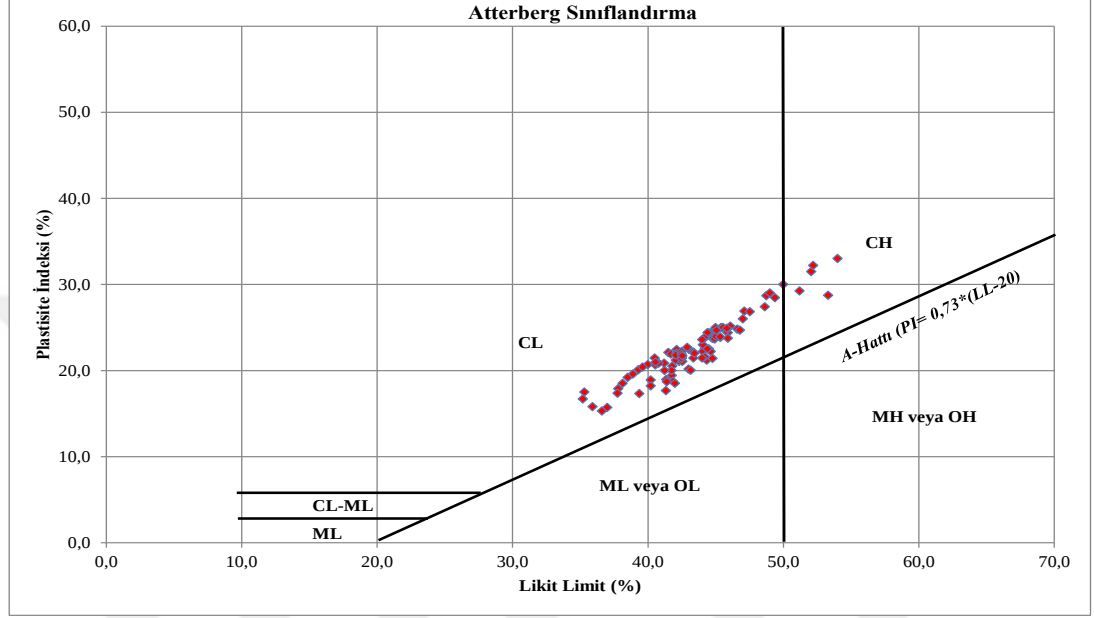
Likit limit, kıl-su karışımının sıvı halden plastiğe dönüştüğü su muhtevası; plastik limit ise zemin-su karışımının kile şekil verildiğinde bunu çatlatmadan aldığı ve bu şekli değiştirmedigi en düşük su muhtevası olarak tarif edilmiştir (Önalp, 2002). Bu yüzden bir zeminin plastik limiti her zaman likit limitten daha azdır (Şekil 4.20). Bunların farkları ise plastisite indeksini vermektedir.



Şekil 4.20. Zeminlerin likit limit ve plastik limit değerleri dağılım grafiği.

Kıl-su karışımının plastik özellikler taşıdığı su muhtevaları Plastisite indisi ile gösterilir. Zemin bilgisinde plastisite, cismin aldığı gerilme etkisi ile kırılıp kopmadan sürekli şekil değiştirme, bu gerilme kaldırıldıktan sonra da bu

deformasyonun geri gelme özelliği olarak tarif edilmektedir (Önalp, 2002). Likit limit ile plastik limit farkından hesaplanmaktadır. İnceleme yapılan zeminlerin plastisite abağı üzerinde gösterimleri Şekil 4.21’de yapılmıştır. Sınıflamaya göre ince taneli zeminler ağırlıklı olarak CL sınıfında ve az miktarda da CH sınıfında gruplanmıştır.



Şekil 4.21. İncelenen zeminlerin plastisite abağındaki dağılımı (Casagrande, 1948 ve Howard, 1977).

4.2.1.3 Su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlık

Su muhtevası, bir zeminin içerdiği suyun tane kütesine göre oranı olarak tarif edilir. Numunenin doğal kütesinden 24 saat etüvde kurutulmuş haldeki kütesinin farkının kuru kütleyle oranıdır. Zeminlerin doğal su muhtevasını etkileyen unsurlar, yeraltı su seviyesinin konumu ve zeminin içerdiği ince malzeme yüzdesidir (Önalp, 2002).

Zeminlerde birim hacim ağırlık, bir metreküp hacime sığan kütle olarak ifade edilir. Doğal birim hacim ağırlık ise zeminin yerinde, örselenmemiş ya da sıkıştırılmış durumundaki birim hacim ağırlığıdır (Önalp, 2002).

Zeminlerin su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlıkları, zemindeki gerilmelerin hesaplanma işlerinde kullanılan en önemli parametrelerdir. Suyu doygün zeminlerin taşıma güçleri, suya doygün olmayan zeminlere oranla her zaman düşüktür ve altyapı

çalışmalarında önemli sorunlara neden olabilmektedirler. Yamaç ve şevlerde kayma mukavemetlerini düşürdükleri için suya doygun zeminlere dikkat edilmesi gerekir.

Çizelge 4.7. Zeminlerin su muhtevası ve doğal birim hacim ağırlıklarının istatistiksel değerleri.

Parametreler	Birim	Ortalama	Maksimum	Minimum	St. Sapma
Su Muhtevası	%	22,0	40,8	8	6,9
Doğal BHA	gr/cm ³	1,9	1,97	1,8	0,0

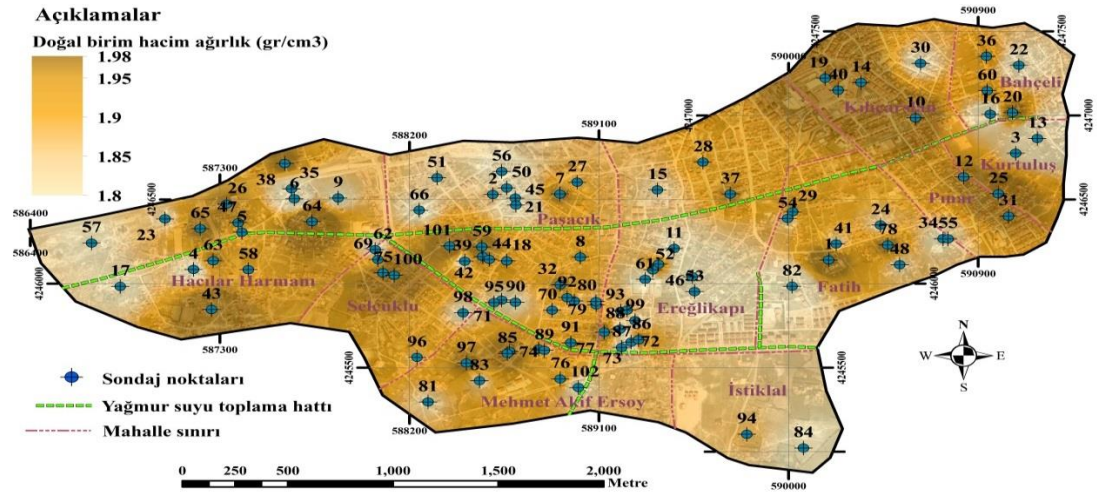
İncelenen zeminlerin su muhtevası en yüksek %40,8, en düşük %8 ve ortalama %22 olarak hesaplanmıştır. Doğal birim hacim ağırlıkları ise en yüksek 1,97 gr/cm³, en düşük 1,8 gr/cm³ ve ortalama 1,9 gr/cm³'tür (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.8. Zeminlerin sınıfına göre doğal birim hacim ağırlık ortalamaları.

Zemin Sınıfı	Tanım	Doğal BHA (ort - gr/cm3)	Su Muhtevası (%)
CL	Düşük Plastisiteli Siltli Kil	1,87	23
CH	Yüksek Plastisiteli Siltli Kil	1,91	23,5
ML	Düşük Plastisiteli Killi Silt	1,86	14,1
GC	Killi Kumlu Çakıl	1,91	8
SM	Siltli Kum	1,85	14,3
SC	Killi Kum	1,87	17,4

Zeminlerin su muhtevası içerdiği ince taneli malzeme yüzdesine bağlıdır. İnceleme alanında en yüksek su muhtevasına sahip olan zemin sınıflarının düşük plastisiteli siltli kil (CL) ile yüksek plastisiteli siltli kil (CH) olduğu görülmektedir (Çizelge 4.8).

İncelenen zeminlerin genelinin su içeriği ortalamalarının düşük olduğu gözlenmiştir. Doğal birim hacim ağırlık verilerinin konumsal dağılımına baktığımız da ise inceleme bölgesinin güneybatı ve kuzeydoğu kesimlerinde yüksek birim hacim ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. İnceleme alanının kenar kısımlarında ise lokal bölgeler halinde düşük seviyeler görülmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. İnceleme alanındaki zeminlerin doğal birim hacim ağırlık değerlerinin ilk 4 m derinlik için konumsal dağılımı.

4.2.1.4 Birleştirilmiş zemin sınıflaması (USCS)

Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi, zemin sınıflamasında uluslararası standartlaşmaya gidilmesi amacıyla Casagrande'nin 1948 yılındaki çalışmaları ile geliştirilmiştir. Birkaç kez değiştirilerek ASTM D2487-2001 standardında bulunan son şeklini almıştır. Birleştirilmiş sistemde bir zemini sınıflandırmak için şu kriterler kullanılmaktadır.

- Malzemenin No.200 (0,074 mm) elekten geçen yüzdesi
- İri bölümün No.4 (4,76 mm) elek üzerinde kalanı
- Tane dağılımı kriterleri, uniformluk katsayısı (Cu) ve süreklilik sayısı (Cr)
- Kıvam limitleri
- No.40 elekten geçen bölümün plastisite kartındaki yeri
- Organik madde içeriği

Birleştirilmiş zemin sitemine göre inceleme alanındaki zeminlerin bir tanesi GC (killi çakıl, killi kumlu çakıl), 4 tanesi SM (siltli kum), 8 tanesi SC (killi kum) olmak üzere 12 tanesi iri taneli zemin sınıfına girmektedir.

İnce taneli zeminlerin ise 3 tanesi ML (inorganik, az plastik, siltli veya killi ince kum), 80 tanesi CL (düşük-orta plastisiteli, inorganik killer, siltli killer), 6 tanesi CH (yüksek plastisiteli inorganik killer) sınıfındadır (Çizelge 4.9).

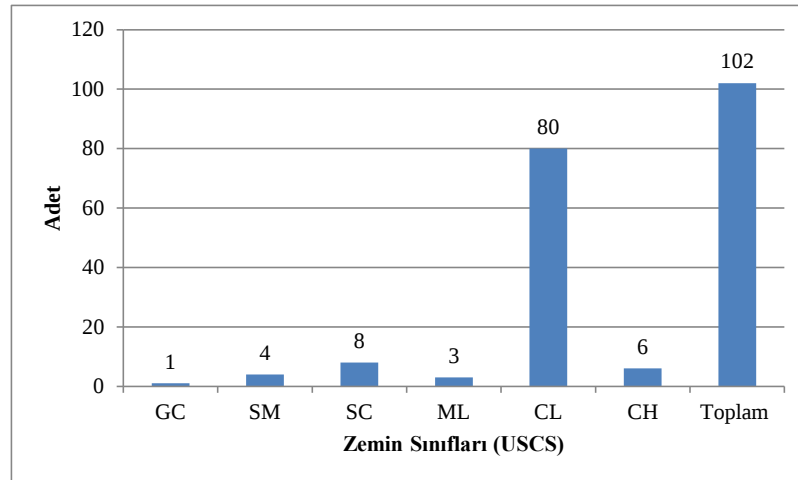
Oran olarak bakıldığında zeminlerin %80'i CL sınıfındadır. Yani düşük-orta plastisiteli, inorganik killler ve siltli killler olarak tanımlanmaktadır.

Çizelge 4.9. Zeminlerin Birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımları.

Ana Gruplar	Grup Sembolü	Özellikler	İnce Malzeme	Derecelenme	Plastisite	Sondaj No
İRİ TANELİ ZEMİNLER Malzemenin %50'sinden fazlası No.200 elekten büyüktür.	GW	İyi derecelenmiş çakıl, kum-çakıl karışımı	0-5	$Cu \geq 4$ $1 \leq Cc \leq 3$		
	GP	Kötü derecelenmiş çakıl, kum-çakıl karışımı	0-5	GW'deki şartları sağlamaz ise		
	GM	Siltli çakıl, siltli kumlu çakıl	>12		A Hattının altında veya $PI < 4$	
	GC	Killi çakıl, killi kumlu çakıl	>12		A Hattının üstünde ve $PI > 7$	20
	SW	İyi derecelenmiş kum, çakıl-kum karışımı	0-5	$Cu \geq 6$ $1 \leq Cc \leq 3$		
	SP	Kötü derecelenmiş kum, çakıl-kum karışımı	0-5	SW'deki şartları sağlamaz ise		
	SM	Siltli kum, kötü derecelenmiş kum-silt karışımı	>12		A Hattının altında veya $PI < 4$	15, 33, 63, 84
	SC	Killi kum, kötü derecelenmiş kum-kil karışımı	>12		A Hattının üstünde ve $PI > 7$	22, 34, 61, 62, 64, 66, 94, 101
İNCE TANELİ ZEMİNLER Malzemenin %50 yada fazlası No.200 elekten küçüktür.	ML	İnorganik silt, düşük plastisiteli siltler ve killi siltler		Plastisite kartına bakılır		72, 73, 100
	CL	Düşük-orta plastisiteli inorganik killler, siltli killler		Plastisite kartına bakılır		1-9, 11-14, 16-19, 21, 23, 24, 26-32, 35, 36, 38-60, 65, 67-71, 74, 76-78, 80-83, 85, 87-93, 95-99, 102
	OL	Organik siltler, düşük plastisiteli silt-kil karışımı		Plastisite kartına bakılır		
	MH	İnorganik yüksek plastisiteli siltler ve killi siltler		Plastisite kartına bakılır		
	CH	Yüksek plastisiteli inorganik killler ve siltli killler		Plastisite kartına bakılır		10, 25, 37, 75, 79, 86
	OH	Orta-yüksek plastisiteli organik killler		Plastisite kartına bakılır		

Not: İnce tane oranı %5-12 arasında ise çift sembol kullanılır

Not-2: A hattının üstünde ve $PI = 4-7$ arasında ise GM-GC ile SM-SC sembolleri birlikte kullanılır



Şekil 4.23. Zemin sınıflarının dağılımı (USCS).

4.2.2 Zeminlerin indeks özellikleri

4.2.2.1 Plastisite indeksi

Kil-su karışımının, plastik özellikler taşıdığı su muhtevaları plastisite indeksi ile gösterilir. Likit limit ile plastik limitin farkı plastisite indeksi olarak tanımlanır. Bir zeminin yüksek plastisite indisine sahip olması demek, çamur haline gelmek için fazla su alması gerektiğini gösterir (Önalp, 2002).

Burmister (1951), zeminlerin plastisite indisine göre plastisite derecelerini sınıflandırmış ve toplam 6 gruba ayırmıştır. İncelenen zeminlerin plastisite indisleri genel olarak %10-40 oranlarında, çoğunlukla da %20-25 arasında değişen oranlarda yer almaktadır. Bu yüzden USCS sınıflamasında zeminler çoğunlukla CL yani düşük plastisiteli özellikte olmasına rağmen Burmister (1951) sınıflamasına göre zeminler orta-yüksek plastisite sınıfına girmektedir (Çizelge 4.10).

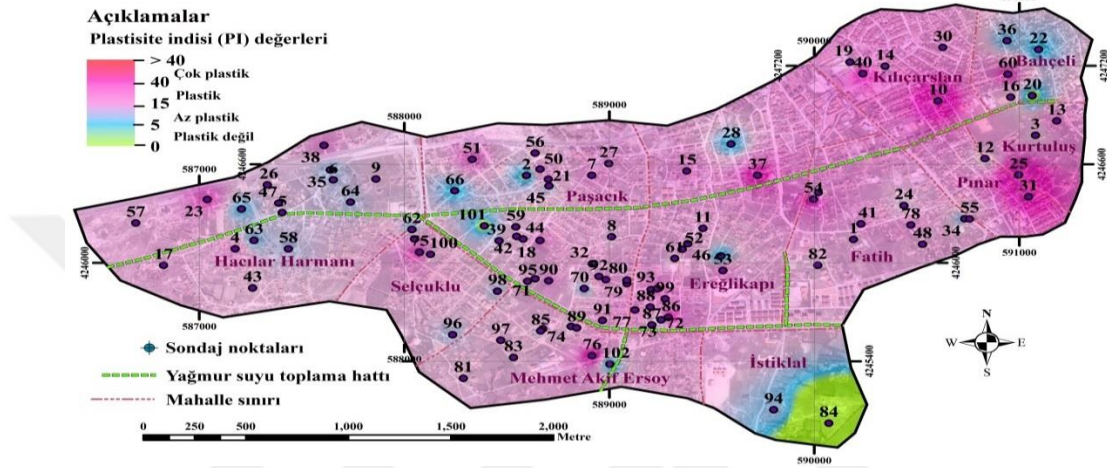
Çizelge 4.10. Kohezyonlu zeminlerin plastisite derecesine göre sınıflaması (Burmister, 1951).

Plastisite Indisi, PI (%)	Yuvarlandığında en küçük çap (mm)	Plastisite Derecesi	Tanımı	Numune No
0	-	Plastik değil	Silt	-
1-5	6	Önemsiz derecede plastisiteli	Killi Silt	-
5-10	3	Düşük plastisiteli	Silt ve Kil	-
10-20	1,5	Orta plastisiteli	Kil ve Silt	2, 28, 35, 36, 45, 65, 70, 72, 73, 85, 102
20-40	0,8	Yüksek plastisiteli	Siltli Kil	1, 3-27, 29-32, 37-44, 46-60, 67-69, 71, 74-83, 86-100
>40	0,4	Çok yüksek plastisiteli	Kil	-

Zeminlerin plastisite indisine göre yapılan plastisite derecesi ve kuru dayanım sınıflamalarına bakarsak, %98'i Plastik ve Orta dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Zeminlerden bir tanesi Az Plastik ve Düşük dayanımda; bir tanesi de non-plastiktir (Çizelge 4.11). Çok plastik zeminler inceleme alanının kuzeydoğusunda konumlanmıştır (Şekil 4.24).

Çizelge 4.11. Plastisite indeksine göre plastisite derecesi ve kuru dayanım (Leonards, 1962).

Plastisite İndisi, PI(%)	Plastisite Derecesi	Kuru Dayanım	Numune No
0-5	Plastik Değil	Çok Düşük	84
5-15	Az Plastik	Düşük	72
15-40	Plastik	Orta	1-71, 73-83, 85-102
>40	Çok Plastik	Yüksek	-



Şekil 4.24. İnceleme alanındaki zeminlerin plastisite indislerinin ilk 4 m derinlik için konumsal dağılımı.

4.2.2.2 Likitlilik ve kıvamlılık indeksi

Likitlilik indeksi (LI), zeminin doğal su muhtevasının plastisite cetvelinin hangi noktasında bulunduğunu saptayarak, zeminin bazı özellikleri hakkında bilgi verir. Zeminin su muhtevası ile plastik limit farkının plastisite indeksine oranıdır. Likitlilik indeksinin 1 olması zeminin arazide likit limite yakın bir su muhtevasını, sıfır olması plastik özelliklerin alt limitini, sıfırdan küçük olması ise kuruluk durumunu yansıtmaktadır (Çizelge 4.12). Bazı zeminlerde silt ve killerin likitlilik indeksi birden büyük çıkmaktadır. Bu, kilin yerinde bir akışkan kıvamında olduğunu ve doğabilecek ciddi temel problemlerin varlığını gösterir (Leonards, 1962). Ancak inceleme alanı zeminlerinde bu duruma rastlanmamıştır.

Kıvamlılık indeksi (Ic), Likitlilik indeksine benzer şekilde zeminin arazide doğal haldeki kıvamının nasıl olduğu hakkında bilgi vermektedir (Çizelge 4.13).

Çizelge 4.12. Zeminlerin Likitlilik indeksine göre sınıflaması (Leonards, 1962).

Zeminin Tanımı	Likidite İndisi (LI)
Likit (Viskoz)	$LI > 1$
Plastik	$0 < LI < 1$
Katı	$LI < 0$

Çizelge 4.13. Zeminlerin Kıvamlılık indeksine göre sınıflaması.

Kıvamlılık İndisi (Ic)	Sınıflama
$< 0,05$	Çok yumuşak
0,05 - 0,10	Yumuşak
0,10 - 0,75	Sıkı
0,75 - 1,00	Sert
$> 1,00$	Çok Sert

İnceleme alanında bulunan ince taneli zeminlerin Likitlilik ve Kıvamlılık indekslerine bakıldığında; ML sınıfı zeminlerin Kıvamlılık indeksi ortalama 1,67'dir, ve Çok Sert olarak sınıflandırılır. Likitlilik indeksi ise -0,49'dur, yani Katı sınıfındadır. CL sınıfı zeminlerin Kıvamlılık indeksi, 0,91 olup, Sert sınıfına girmektedir. Likitlilik indeksi 0,08'dir, yani Plastiktir. CH sınıfı ince zeminler ise Kıvamlılık indeksi 0,97'dir, Sert sınıfındadır. Likitlilik indeksi ise 0,09'dur, Plastik sınıfındadır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. İnce taneli zeminlerin Kıvamlılık ve Likitlilik indeksi özellikleri.

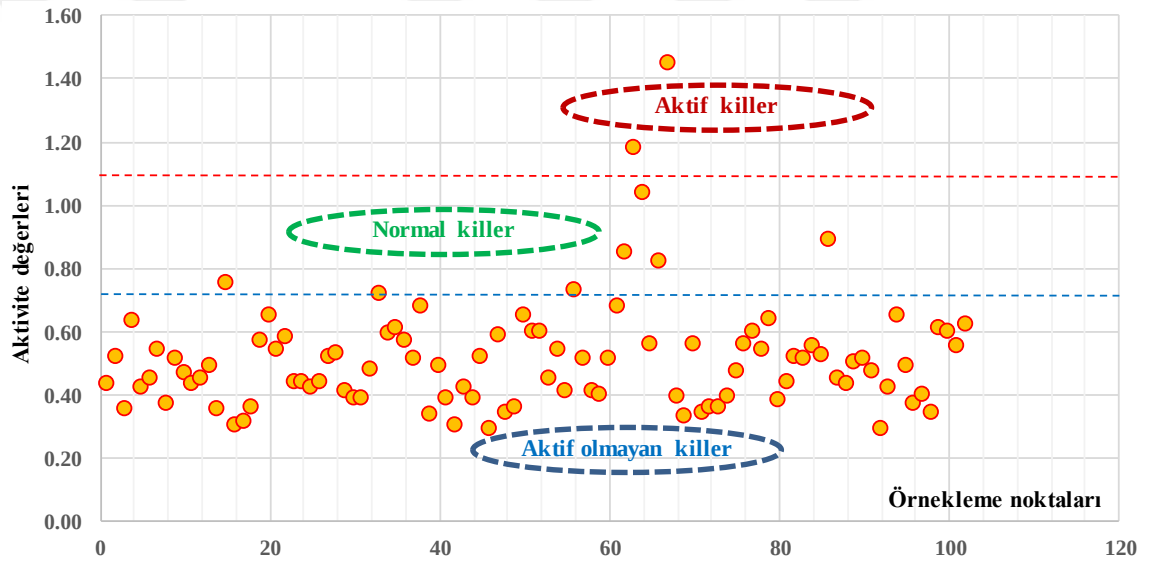
Zemin Sınıfı	Numune No	Ort Derinlik	Ort Su İçeriği	Kıvamlılık İndeksi (Ic - Ort)	Likitlilik İndeksi (LI - Ort)	Atterberg Limitleri		
						LL	PL	PI
ML	72, 73, 100	3,0	14,1	1,67 Çok Sert	-0,49 Katı	38,5	21,4	17,1
CL	1-9, 11-14, 16-19, 21, 23, 24, 26-32, 35, 36, 38-60, 65, 67-71, 74, 76-78, 80-83, 85, 87-93, 95-99, 102	2,5	23	0,91 Sert	0,08 Plastik	43,2	20,8	22,4
CH	10, 25, 37, 75, 79, 86	2,3	23,5	0,97 Sert	0,09 Plastik	50,8	20,9	29,9

4.2.2.3 Aktivite

Aktivite; bir kilin plastisite indisinin, içerdği kilin yüzdesine oranıdır. Kil türünün kolayca tanımlanması için kıvam limitlerinden faydalanılması, 1950’lerde ortaya çıkmış ve günümüze kadar bu uygulama devam etmiştir.

Çizelge 4.15. İncelenen zeminlerin aktivite değerine göre sınıflaması (Skempton, 1953).

Aktivite Değeri	Sınıflama	Numune No
$A < 0,75$	Aktif Olmayan Killer (Kaolinit)	1-61, 65, 68-85, 87-102
$0,75 - 1,10$	Normal Killer (İllit)	62, 64, 66, 86
$A > 1,10$	Aktif Killer (Montmorillonit)	63, 67



Şekil 4.25. İnceleme alanındaki zeminlerin aktivite değerlerine göre kil tanımlaması.

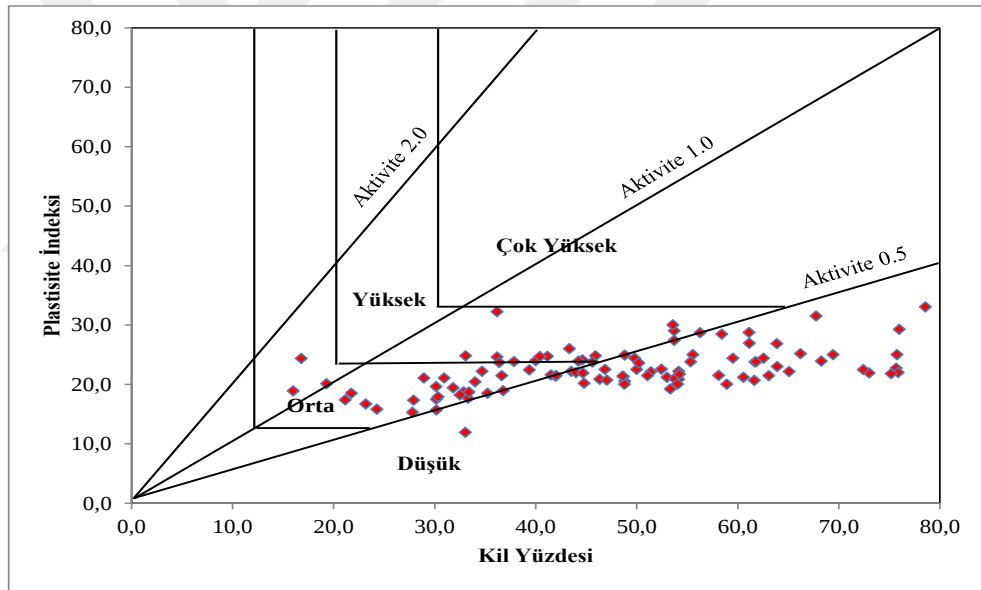
İnceleme alanında bulunan kil zeminlerin Skempton (1953)’e göre 96 tanesi aktif olmayan killer (Kaolinit) sınıfına girerken, 4 tanesi normal killer (İllit), 2 tanesi aktif killer (Montmorillonit) olarak sınıflandırılmaktadır. Zeminlerin %94’ü aktif olmayan killer sınıfındadır (Çizelge 4.15) (Şekil 4.25).

Aktivite değerine göre bir diğer sınıflamada ise killer 4 gruba ayrılmıştır. Bu sınıflamaya göre incelenen zeminlerin 52 tanesi Kaolinit sınıfı, 49 tanesi İllit sınıfı, bir tanesi de Ca-Montmorillonit sınıfına girmektedir (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. İncelenen zeminlerin aktivite değerine göre sınıflaması (Skempton, 1953; Mitchell, 1976).

Kil cinsi	A (Aktivite Katsayısı)	Numune No
Na-Montmorillonit	4 - 7	
Ca- Montmorillonit	1,5	67
İllit	0,5 - 1,3	2,4,7,9,15,19-22,27,28,33-38,45,47,50-52,54,56,57,60-67,70,76-79,82-86, 89, 90,94,99-102
Kaolinit	0,3 - 0,5	1,3,5,6,8,10-14,16-18,23-26,29-32,39-44, 46, 48, 49,53,55,58,59,68,69,71-75, 80,81,87,88,91-93,95-98

Van der Merwe (1964) Aktivite abağına göre, inceleme alanındaki kil zeminlerin yaklaşık %50'si düşük aktivite sınıfında bulunurken, %35'i orta aktivite sınıfında, %15'i ise yüksek aktivite sınıfında bulunmaktadır. Abağa göre çok yüksek aktivite sınıfında zemin bulunmamaktadır (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. İncelenen zeminlerin aktivite abağı üzerinde gösterimi (Van Der Merwe, 1964).

Zeminde bulunan killerin yüksek aktivite değerleri zeminin problemlili olduğunu göstermektedir. Ancak sınıflamalara göre inceleme alanındaki killerin aktivite açısından riskli grupta olmadığı görülmektedir.

4.2.2.4 Sıkışma indeksi

Zeminlerin sıkışma indekslerinin hesabı için kullanılan verilerin sağlanması uzun süren laboratuvar deneylerini gerekli kılmaktadır. Bu yüzden aynı tür veya aynı

yöreden gelen killerin sıkışma indeksinin, zeminin kolayca bulunabilen temel özelliklerinden tahmin edilebilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalar sonucu zeminin fiziksel özellikleri olan doğal boşluk oranı, likit limit, doğal su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlıklarına göre zeminin sıkışabilirliği sınıflandırılabilir. Bu çalışmada zeminin likit limit değerine göre sıkışabilirliği sınıflandırılmıştır (Çizelge 4.17).

Sovers (1979), likit limit değerlerine göre yaptığı sınıflamasına göre, incelenen zeminlerin 97 tanesi 0,20-0,39 sıkışma indeksi aralığındadır. Numunelerin %96'sı Orta sıkışabilirlik sınıfındadır. Kalan %4'lük kısmı ise Yüksek sıkışabilirlik sınıfına girer.

Çizelge 4.17. İncelenen zeminlerin likit limite göre sıkışabilirlik sınıflaması (Sovers, 1979).

Tanım	Sıkışma indisi (Cc)	Likit limit (%)	Numune No
Düşük sıkışabilirlik	0 - 0,19	0 - 30	
Orta sıkışabilirlik	0,20 - 0,39	31 - 50	1-9, 11-24, 26-30, 32-74, 76-85, 87-102
Yüksek sıkışabilirlik	> 0,40	> 51	10, 25, 31, 75, 86,

4.2.2.5 Şişme potansiyeli

Bazı killi ve/veya suya doymun olmayan zeminlerin su emerek hacminin artması veya su emdiği halde hacminin artmasının engellenmesi durumunda basınç artışı oluşturmaya şişme özelliği denmektedir. Bu tür zeminler su içeriği azaldığında da hacim azalmasına (büzülmeye) uğrarlar. Şişme potansiyeli kilin aktivitesine ve kil içeriğine bağlı olarak hesaplanır. Seed vd. (1962) geliştirdiği şişme potansiyeli formülüne göre;

$$S = 3,6 * 10^{-5} * A^{2,44} * C^{3,44} \quad (4.1)$$

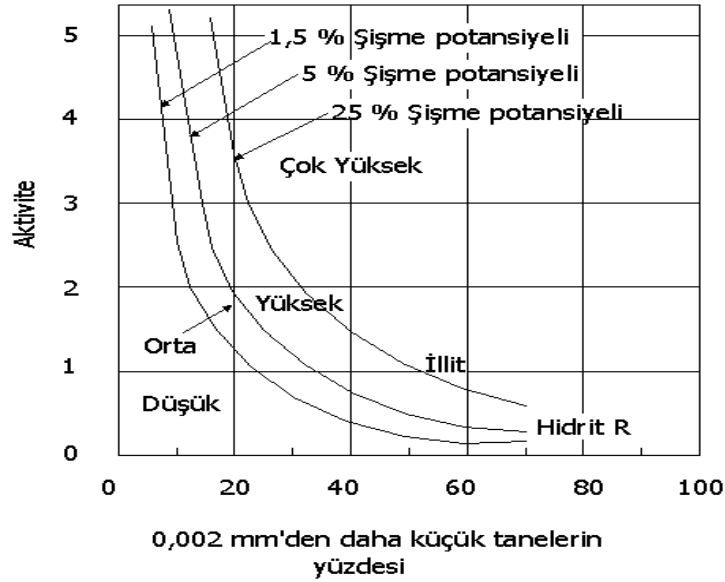
Bu formülde geçen A – Aktivite, C – Kil içeriğini temsil etmektedir.

Yağmur suyu kollektör hatları cazibeli döşenen yapılar olduğu için, zeminde meydana gelebilecek şişmelerden dolayı oluşacak sıkıntılarda hattın eğimli akımı bozulacaktır. Ayrıca zeminin yüksek oranda kil içermesi, altyapı alanındaki

zeminlerin şişme potansiyellerinin detaylı incelenmesini gerektirmektedir. Şişme yüzünden eğimi bozulan yağmursuyu hattı çalışmamaya ve birikim yapan noktadan zemine su sızmaları başlar. Bu sızmalar altyapının yataklama malzemesini bozar ve zamanla altyapıda oturmalar başlar. Bu durum hem hattın çalışmamasına hem de yolda meydana gelebilecek bozulmalara sebep olur.

İnceleme alanında bulunan zeminlerin aktivite ve kil içeriği üzerinden yapılan hesaplama göre, en yüksek şişme potansiyeli %28,2, en düşük %0,5 ve ortalama %4,3'tür.

Zeminlerin aktivite ve kil içeriğine göre sınıflamasını yapan Seed vd. (1962)'e göre sınıflama abağındaki zeminlerin 15 tanesinin şişme potansiyeli %1,5'den küçüktür ki bu da belirtilen zeminlerin Düşük potansiyele sahip olduğunu gösterir. 60 tanesinin şişme potansiyeli %1,5 – %5,0 aralığındadır, yani bu zeminler Orta potansiyele sahiptir. Kalan zeminlerin 25 tanesi, %5 – %25 aralığında olup Yüksek potansiyeldedir. Bir tanesi de %25'den fazladır, bu durum ise zeminin Çok Yüksek şişme potansiyeli sınıfında olduğu anlamına gelir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Şişme potansiyeli sınıflama abağı (Seed vd., 1962).

Bu sınıflamanın dışında şişme potansiyeli üzerine çeşitli çalışmalar ve sınıflamalar önerilmiştir. Bu sınıflamalar şişme potansiyel değerlerinin yanı sıra genel olarak plastisite indisi ve likit limit değerleri de dikkate alınarak yapılmıştır.

O'Neill ve Poormoayed (1980), şişme potansiyellerini likit limit ve plastisite indisine göre sınıflamasını yapmakla beraber, sadece plastisite indisine göre de ayrı bir sınıflama yapmıştır. LL ve PI değerleri ile yapılan sınıflama sistemine göre inceleme alanındaki zeminlerin 91 tanesi Düşük, 11 tanesi orta şişme potansiyeli sınıfındadır. Yani zeminlerin %89'unun şişme potansiyeli düşüktür. Sadece PI değerlerine göre yapılan sınıflamada ise incelenen zeminlerin 100 tanesi düşük, bir tanesi orta, bir tanesi de yüksek şişme potansiyeli sınıflamasına girmektedir. Yani zeminlerin %98'i düşük şişme potansiyeline sahiptir (Çizelge 4.18).

Holtz ve Gibbs (1957), şişme yüzdesi hesabına göre sınıflama yapmış ve zeminlerin şişme potansiyelini 4 gruba ayırmıştır. İncelenen zeminlerin bu sınıflamaya göre 97 tanesi Düşük şişme potansiyeline, 3 tanesi Orta, 2 tanesi de Yüksek şişme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.18).

İnceleme alanında ağırlıklı olarak düşük şişme potansiyeline sahip zeminlerin bulunduğu çizelge 4.18'de görülmektedir. Kısmen orta şişme potansiyeline sahip zeminler yer alırken, sadece birkaç zeminde yüksek şişme potansiyeline sahip zemin bulunmaktadır.

Çizelge 4.18. İncelenen zeminlerin şişme yüzdesi, likit limit ve PI değerlerine göre yapılan çeşitli şişme potansiyeli sınıflamaları.

Seviye	O'Neill ve Poormoayed, 1980 (LL ve PI'e göre)	O'Neill ve Poormoayed, 1980 (PI'e göre)	Holtz ve Gibbs, 1957 (Şişme yüzdesine göre)
Düşük	1-9,11-22,24,26-30,32-36,38- 39,41-53,55-59,61-74,77- 83,85,87-102	1-79, 81, 83-102	1-9, 11-24, 26-30, 32- 79, 81, 83-102
Orta	10,23,25,31,37,40,54,60,75- 76,86	80	10, 25, 31
Yüksek		82	80, 82
Çok Yüksek			

4.2.3 Zeminlerin mekanik özellikleri

Zeminlerin mekanik özellikleri kapsamında, sondajların çeşitli derinliklerinden elde edilen örselenmemiş numunelerden laboratuvar ortamında elde edilen kohezyon ve içsel sürtünme açısı parametreleri incelenmiştir.

Çizelge 4.19. Zeminlerin mekanik özelliklerinin toplu gösterimi.

Sondaj No	UD Derinlik		Doğal BHA		İçsel Sürtünme Açısı - Ø		Kohezyon - C	
	UD-1 (m)	UD-2 (m)	UD-1 (gr/cm ³)	UD-2 (gr/cm ³)	UD-1 (°)	UD-2 (°)	UD-1 (kgf/cm ²)	UD-2 (kgf/cm ²)
1	3,0	6,0	1,93	1,90	8,83	8,00	0,369	0,426
2	3,0	6,0	1,87	1,78	6,33	4,00	0,507	0,450
3	2,5	5,5	1,86	1,89	4,10	5,80	0,545	0,489
4	2,5	5,5	1,84	1,85	6,50	5,30	0,401	0,437
5	3,0	6,0	1,87	Boş	7,10	Boş	0,401	Boş
6	3,0	6,0	1,82	1,84	7,00	6,30	0,391	0,391
7	2,5	5,5	1,90	1,92	7,40	7,30	0,400	0,322
8	2,5	5,5	1,88	1,87	5,06	5,40	0,426	0,371
9	2,0	5,0	1,85	1,88	6,35	5,95	0,531	0,514
10	2,0	5,0	1,92	1,93	4,40	4,55	0,511	0,428
11	3,0	6,0	1,84	Boş	5,65	Boş	0,439	Boş
12	3,0	6,0	1,89	1,88	8,05	6,95	0,372	0,415
13	1,5	4,5	1,80	Boş	5,60	Boş	0,465	Boş
14	2,0	5,0	1,91	Boş	6,10	Boş	0,596	Boş
15	2,0	5,0	1,86	1,82	11,10	5,40	0,242	0,281
16	1,0	4,0	1,83	1,94	4,85	4,25	0,585	0,807
17	2,0	5,0	1,85	1,85	5,00	5,40	0,693	0,405
18	2,0	5,0	1,88	1,88	4,23	4,93	0,660	0,417
19	2,5	5,5	1,91	1,88	10,53	9,13	0,304	0,408
20	2,5	5,5	1,91	Boş	0,00	Boş	1,576	Boş
21	3,0	6,0	1,85	1,85	7,76	5,85	0,481	0,426
22	2,5	5,5	1,84	Boş	0,00	Boş	0,629	Boş
23	3,0	6,0	1,86	1,87	5,70	5,57	0,483	0,502
24	1,5	4,5	1,86	Boş	9,53	Boş	0,313	Boş
25	3,0	6,0	1,94	Boş	3,77	Boş	0,860	Boş
26	2,5	5,5	1,89	1,90	8,47	8,67	0,460	0,277
27	3,0	6,0	1,87	1,85	8,13	8,47	0,384	0,347
28	3,0	6,0	1,88	Boş	6,67	Boş	0,440	Boş
29	2,5	5,5	1,89	1,88	6,70	6,05	0,377	0,378
30	3,0	6,0	1,85	1,87	5,75	6,75	0,462	0,399
31	2,5	5,5	1,89	Boş	4,25	Boş	0,483	Boş
32	2,5	5,5	1,90	1,90	8,10	5,35	0,359	0,445
33	2,5	5,5	1,80	Boş	0,00	Boş	0,506	Boş
34	3,0	6,0	1,84	Boş	0,00	Boş	0,618	Boş
35	3,0	6,0	1,85	1,85	7,90	5,60	0,342	0,409
36	3,0	6,0	1,88	1,88	8,75	7,90	0,333	0,362
37	2,5	5,5	1,89	Boş	6,30	Boş	0,498	Boş
38	3,0	6,0	1,90	1,92	7,23	6,63	0,417	0,406
39	3,0	6,0	1,85	1,87	6,30	6,70	0,532	0,443
40	2,0	5,0	1,92	1,89	4,47	5,50	0,592	0,434
41	1,5	4,5	1,86	Boş	5,45	Boş	0,496	Boş
42	3,0	6,0	1,91	1,86	4,70	5,85	0,817	0,345
43	2,5	5,5	1,93	Boş	6,25	Boş	0,519	Boş
44	2,5	5,5	1,87	1,87	5,75	5,60	0,558	0,516
45	2,5	5,5	1,83	1,85	7,35	6,45	0,445	0,493
46	3,0	6,0	1,89	1,86	5,00	5,93	0,547	0,365
47	2,5	5,5	1,89	1,85	4,85	5,85	0,518	0,457
48	3,0	6,0	1,86	1,87	4,17	6,77	0,528	0,297
49	3,0	6,0	1,89	Boş	6,43	Boş	0,474	Boş
50	2,0	5,0	1,85	1,85	7,70	7,90	0,530	0,472
51	2,0	5,0	1,86	1,85	5,20	5,45	0,522	0,582
52	3,0	6,0	1,88	1,87	7,20	6,13	0,490	0,571
53	2,5	5,5	1,85	1,82	6,50	4,90	0,407	0,388
54	3,0	6,0	1,86	Boş	4,97	Boş	0,464	Boş
55	3,0	6,0	1,87	Boş	5,85	Boş	0,592	Boş
56	3,0	6,0	1,84	1,84	7,10	6,60	0,360	0,387
57	1,0	4,0	1,85	Boş	6,00	Boş	0,549	Boş
58	3,0	6,0	1,87	1,92	5,90	6,05	0,429	0,456
59	3,0	6,0	1,92	1,92	5,42	8,80	0,366	0,360
60	1,0	4,0	1,88	1,86	6,80	7,33	0,569	0,376
61	3,0	6,0	1,83	1,87	7,70	7,25	0,403	0,386
62	3,0	6,0	1,84	Boş	0,00	Boş	0,676	Boş
63	3,0	6,0	1,89	Boş	0,00	Boş	0,650	Boş
64	3,0	6,0	1,97	1,96	0,00	9,00	0,564	0,229
65	3,0	6,0	1,90	Boş	7,75	Boş	0,365	Boş
66	3,0	6,0	1,84	2,01	0,00	10,50	0,625	0,196
67	2,5	5,5	1,86	1,86	5,80	5,86	0,450	0,382
68	2,0	5,0	1,89	1,83	7,73	8,25	0,340	0,250
69	1,5	4,5	1,88	1,90	3,70	4,80	0,442	0,368
70	3,0	6,0	1,87	1,88	5,60	5,63	0,488	0,474
71	2,5	5,5	1,85	1,83	5,65	6,90	0,483	0,546
72	3,0	6,0	1,81	1,96	0,00	9,10	0,743	0,365
73	3,0	6,0	1,81	1,88	8,10	7,20	0,394	0,422
74	3,0	6,0	1,89	1,85	4,70	5,55	0,512	0,439
75	2,5	5,5	1,89	1,89	4,90	6,15	0,549	0,569
76	1,5	4,5	1,88	1,89	6,05	5,75	0,552	0,417
77	2,5	5,5	1,93	1,99	8,70	4,65	0,250	0,475
78	3,0	6,0	1,90	1,90	7,50	6,10	0,400	0,325
79	2,0	5,0	1,86	1,88	9,00	5,65	0,280	0,479
80	3,0	6,0	1,86	1,86	6,20	6,34	0,423	0,355
81	2,5	5,5	1,86	1,85	7,26	6,20	0,428	0,364
82	3,0	6,0	1,82	1,84	5,10	4,28	0,442	0,372
83	2,5	5,5	1,86	1,87	6,50	6,40	0,411	0,372
84	2,5	5,5	1,85	1,90	7,60	8,70	0,386	0,290
85	2,5	5,5	1,92	1,92	6,00	4,00	0,525	0,500
86	2,0	5,0	1,93	Boş	9,10	Boş	0,296	Boş
87	2,0	5,0	1,86	Boş	6,50	Boş	0,418	Boş
88	3,0	6,0	1,85	1,86	7,53	6,67	0,360	0,409
89	3,0	6,0	1,86	1,88	4,80	5,40	0,520	0,357
90	2,5	5,5	1,85	Boş	6,13	Boş	0,488	Boş
91	3,0	6,0	1,88	1,88	5,50	4,30	0,453	0,506
92	2,5	5,5	1,88	1,88	5,23	5,60	0,505	0,501
93	2,0	5,0	1,88	1,87	5,16	4,30	0,504	0,532
94	2,5	5,5	1,87	Boş	0,00	Boş	0,632	Boş
95	2,5	5,5	1,87	Boş	4,20	Boş	0,520	Boş
96	2,0	5,0	1,87	1,85	7,43	7,13	0,415	0,396
97	2,5	5,5	1,90	1,88	5,96	4,00	0,545	0,403
98	3,0	6,0	1,85	1,88	6,90	7,37	0,390	0,395
99	3,0	6,0	1,85	1,87	8,20	6,85	0,327	0,440
100	3,0	6,0	1,96	1,95	6,60	7,67	0,447	0,411
101	3,0	6,0	1,93	Boş	0,00	Boş	0,581	Boş
102	3,0	6,0	1,85	1,885	7,00	5,50	0,428	0,481

Not: Bazı hücrelerde yer alan ‘Boş’ ibaresi sondajlardan alınan örselenmemiş numune tüpünün zemin türünden dolayı boş çıkmasını ifade eder. Dolayısıyla boş çıkan numune tüplerine laboratuvar testleri uygulanamamıştır.

Çizelge 4.20. Zeminlerin mekanik özelliklerinin istatistiksel gösterimi.

Parametreler	UD Derinlik		Doğal BHA		İçsel Sürtünme Açısı - ϕ		Kohezyon - C	
	UD-1 (m)	UD-2 (m)	UD-1 (gr/cm ³)	UD-2 (gr/cm ³)	UD-1 (°)	UD-2 (°)	UD-1 (kgf/cm ²)	UD-2 (kgf/cm ²)
Max	3,0	6,0	1,97	2,01	11,10	10,50	1,576	0,807
Min	1,0	4,0	1,80	1,78	0,00	4,00	0,242	0,196
Ort	2,6	5,6	1,87	1,88	5,75	6,30	0,488	0,417
St. Sapma	0,5	0,5	0,03	0,04	2,46	1,39	0,155	0,090

Zeminlerin UD-örselenmemiş numune derinlikleri incelendiğinde, ilk UD seviyesinin 1-3 m arasında, ikinci UD seviyesinin ise 4-6 m arasında değişmektedir. Ortalama derinlikler ise 2,6 m ve 5,6 m'dir. UD-1 derinliği için içsel sürtünme açıları 0,00-11,10° arasında, kohezyonları ise 0,242-1,576 kgf/cm² arasında değiştiği görülmektedir. UD-2 derinliği için içsel sürtünme açıları 4,00-10,50° arasında, kohezyon değerleri ise 0,196-0,807 kgf/cm² arasında değiştiği görülmektedir. Ortalamalarına bakıldığında, UD-1 için içsel sürtünme açısı 5,75°, kohezyon 0,488 kgf/cm²; UD-2 için içsel sürtünme açısı 6,30°, kohezyon ise 0,417 kgf/cm² olduğu görülmektedir (Çizelge 4.19).

4.2.4 Zeminlerin taşıma gücü özellikleri

Zeminlerin taşıma gücü özellikleri kapsamında, laboratuvar ortamında elde edilen parametreler ile sondaj sırasında sahada yapılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) bulguları vasıtasıyla taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

Taşıma gücü hesapları sondajların iki farklı seviyesinden alınan örselenmemiş numunelere yapılan laboratuvar testi sonucu elde edilen parametreler vasıtasıyla yapılmıştır. UD-1 derinliği ortalama 2,6m, UD-2 derinliği ortalama 5,6 m derinliği temsil etmektedir.

Taşıma gücü hesapları iki farklı şekilde değerlendirilmiştir. İlk kısımda zeminlerin üstüne yapılacak olan binaların boyutlarına göre radye temel hesapları yapılarak, Çizelge 4.20'de gösterilmiştir. İkinci kısımda ise bölgede yapılacak altyapı elemanının boyutlarına göre şerit temel hesaplaması yapılarak Çizelge 4.21'de toplu gösterimi yapılmıştır.

Taşıma gücü, bir temelin zeminde göçme olmaksızın (kayma dayanımı aşılmaksızın) zemine aktarabileceği en fazla gerilme olarak tanımlanabilir. Yani taşıma gücü, temelin göçmeye karşı yeterli bir güvenliğe sahip olmasını ifade eder. Temelin göçmesi demek üzerine gelen yapının zarar görmesi, maddi hasar ve can kayıpları olması demektir. Bu sebeple taşıma gücü hesapları büyük hassasiyetle yapılmalıdır.

Zeminlerin taşıma gücü hesapları laboratuvar ortamında yapılan üç eksenli basınç dayanımı deneylerinden elde edilen veriler ile yapılmıştır. Taşıma gücü hesapları için birçok alternatif yöntem bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında zeminlerin Terzaghi (1943) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) tarafından geliştirilen formüllere göre hem radye temel hem de şerit temel tiplerine göre hesaplamalar yapılmış ve birbiri ile kıyaslanmıştır. Ayrıca sondaj sırasında yapılan Standart Penetrasyon deneyi verileri ile yapılan taşıma gücü hesabı da incelenmiş ve diğer yöntemler ile mukayese edilmiştir.

4.2.4.1 Zeminlerin radye temel tipine göre taşıma gücü hesaplamaları

Çizelge 4.21. Zeminlerin radye temel tipine göre taşıma gücü özelliklerinin toplu gösterimi.

Sondaj No	UD Derinlik		Yapı Boyutları			Doğal BHA		İçsel Sürtünme Açısı - Ø		Kohezyon - C		Taşıma Gücü (Radye Temel)					
												Terzaghi (1943)		TBDY (2018)		SPT (kg/cm ²)	
	UD-1 (m)	UD-2 (m)	B (cm)	L (cm)	Df (cm)	UD-1 (gr/cm ³)	UD-2 (gr/cm ³)	UD-1 (°)	UD-2 (°)	UD-1 (kgf/cm ²)	UD-2 (kgf/cm ²)	UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)	UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)		
1	3,0	6,0	1600	2540	300	1,93	1,90	8,83	8,00	0,369	0,426	1,89	1,95	4,28	4,32	0,29	
2	3,0	6,0	1800	1972	300	1,87	1,78	6,33	4,00	0,507	0,450	1,98	1,55	4,40	3,29	0,36	
3	2,5	5,5	1000	2000	250	1,86	1,89	4,10	5,80	0,545	0,489	1,68	1,83	3,58	3,92	0,91	
4	2,5	5,5	1355	1450	250	1,84	1,85	6,50	5,30	0,401	0,437	1,78	1,71	3,58	3,47	0,38	
5	3,0	6,0	1805	1825	300	1,87	Boş	7,10	Boş	0,401	Boş	2,03	Boş	4,02	Boş	0,16	
6	3,0	6,0	2000	2400	300	1,82	1,84	7,00	6,30	0,391	0,391	2,00	1,92	3,79	3,57	0,38	
7	2,5	5,5	1230	2790	250	1,90	1,92	7,40	7,30	0,400	0,322	1,82	1,60	3,59	3,08	0,41	
8	2,5	5,5	1320	3100	250	1,88	1,87	5,06	5,40	0,426	0,371	1,56	1,45	3,08	2,85	0,73	
9	2,0	5,0	1600	3100	200	1,85	1,88	6,35	5,95	0,531	0,514	2,09	1,96	3,88	3,68	0,40	
10	2,0	5,0	1275	1325	200	1,92	1,93	4,40	4,55	0,511	0,428	1,76	1,53	3,55	3,10	0,63	
11	3,0	6,0	965	1595	300	1,84	Boş	5,65	Boş	0,439	Boş	1,67	Boş	3,63	Boş	0,20	
12	3,0	6,0	1100	2050	300	1,89	1,88	8,05	6,95	0,372	0,415	1,89	1,86	3,90	3,82	0,30	
13	1,5	4,5	875	1850	150	1,80	Boş	5,60	Boş	0,465	Boş	1,54	Boş	3,11	Boş	1,41	
14	2,0	5,0	1200	2000	200	1,91	Boş	6,10	Boş	0,596	Boş	2,13	Boş	4,29	Boş	0,54	
15	2,0	5,0	1500	2900	200	1,86	1,82	11,10	5,40	0,242	0,281	2,06	1,19	3,55	2,20	0,65	
16	1,0	4,0	1800	2200	100	1,83	1,94	4,85	4,25	0,585	0,807	1,96	2,39	3,62	4,70	1,25	
17	2,0	5,0	1400	1780	200	1,85	1,85	5,00	5,40	0,693	0,405	2,30	1,55	4,63	3,04	0,37	
18	2,0	5,0	1500	2200	200	1,88	1,88	4,23	4,93	0,660	0,417	2,03	1,55	4,13	2,96	0,51	
19	2,5	5,5	1100	2400	250	1,91	1,88	10,53	9,13	0,304	0,408	1,52	2,02	4,02	4,22	0,22	
20	2,5	5,5	1000	3050	250	1,91	Boş	0,00	Boş	1,576	Boş	1,22	Boş	7,13	Boş	0,83	
21	3,0	6,0	1100	2100	300	1,85	1,85	7,76	5,85	0,481	0,426	2,13	1,72	4,50	3,53	0,41	
22	2,5	5,5	1155	1715	250	1,84	Boş	0,00	Boş	0,629	Boş	1,51	Boş	3,18	Boş	0,79	
23	3,0	6,0	1780	3532	300	1,86	1,87	5,70	5,57	0,483	0,502	1,91	1,98	3,76	2,96	0,49	
24	1,5	4,5	1570	3070	150	1,86	Boş	9,53	Boş	0,313	Boş	1,87	Boş	3,25	Boş	0,35	
25	3,0	6,0	1390	2413	300	1,94	Boş	3,77	Boş	0,860	Boş	1,87	Boş	5,36	Boş	0,47	
26	2,5	5,5	1740	3090	250	1,89	1,90	8,47	8,67	0,460	0,277	2,39	1,78	4,45	3,29	0,21	
27	3,0	6,0	2000	2300	300	1,87	1,85	8,13	8,47	0,384	0,347	1,73	2,17	4,22	4,09	0,52	
28	3,0	6,0	1750	1950	300	1,88	Boş	6,67	Boş	0,440	Boş	1,61	Boş	4,08	Boş	0,35	
29	2,5	5,5	1145	1245	250	1,89	1,88	6,70	6,05	0,377	0,378	1,31	1,60	3,51	3,33	0,43	
30	3,0	6,0	1150	1700	300	1,85	1,87	5,75	6,75	0,462	0,399	1,38	1,79	3,81	3,72	0,38	

Çizelge 4.21 (devam). Zeminlerin radye temel tipine göre taşıma gücü özelliklerinin toplu gösterimi.

Sondaj No	UD Derinlik		Yapı Boyutları			Doğal BHA		İşsel Sürtünme Açısı - Ø		Kohezyon - C		Taşıma Gücü (Radye Temel)					
												Terzaghi (1943)		TBDY (2018)		SPT (kg/cm ²)	
	UD-1 (m)	UD-2 (m)	B (cm)	L (cm)	Df (cm)	UD-1 (gr/cm ³)	UD-2 (gr/cm ³)	UD-1 (°)	UD-2 (°)	UD-1 (kgf/cm ²)	UD-2 (kgf/cm ²)	UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)	UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)		
31	2,5	5,5	1435	2475	250	1,89	Boş	4,25	Boş	0,483	Boş	1,23	Boş	3,27	Boş	0,50	
32	2,5	5,5	1150	1800	250	1,90	1,90	8,10	5,35	0,359	0,445	1,42	1,66	3,66	3,40	0,48	
33	2,5	5,5	1100	1700	250	1,80	Boş	0,00	Boş	0,506	Boş	1,24	Boş	2,61	Boş	0,25	
34	3,0	6,0	1751	2007	300	1,84	Boş	0,00	Boş	0,618	Boş	1,10	Boş	3,25	Boş	0,27	
35	3,0	6,0	2300	2570	300	1,85	1,85	7,90	5,60	0,342	0,409	1,72	1,85	3,85	3,50	0,37	
36	3,0	6,0	1065	1630	300	1,88	1,88	8,75	7,90	0,333	0,362	1,49	1,87	3,95	3,85	0,69	
37	2,5	5,5	1100	1715	250	1,89	Boş	6,30	Boş	0,498	Boş	1,50	Boş	4,00	Boş	0,42	
38	3,0	6,0	1400	3050	300	1,90	1,92	7,23	6,63	0,417	0,406	2,01	1,85	3,86	3,60	0,35	
39	3,0	6,0	940	2000	300	1,85	1,87	6,30	6,70	0,532	0,443	1,55	1,84	4,31	3,89	0,61	
40	2,0	5,0	2220	2400	200	1,92	1,89	4,47	5,50	0,592	0,434	1,50	1,82	3,96	3,32	0,43	
41	1,5	4,5	1390	1560	150	1,86	Boş	5,45	Boş	0,496	Boş	1,33	Boş	3,24	Boş	0,50	
42	3,0	6,0	1150	1200	300	1,91	1,86	4,70	5,85	0,817	0,345	1,68	1,56	5,90	3,26	0,13	
43	2,5	5,5	1300	1900	250	1,93	Boş	6,25	Boş	0,519	Boş	1,55	Boş	4,14	Boş	0,19	
44	2,5	5,5	1000	1300	300	1,87	1,87	5,75	5,60	0,558	0,516	1,56	1,93	4,53	4,21	0,15	
45	2,5	5,5	1080	1640	250	1,83	1,85	7,35	6,45	0,445	0,493	1,48	1,96	3,98	4,01	0,12	
46	3,0	6,0	1750	2475	300	1,89	1,86	5,00	5,93	0,547	0,365	1,56	1,70	4,05	3,24	0,30	
47	2,5	5,5	1300	1850	250	1,89	1,85	4,85	5,85	0,518	0,457	1,48	1,82	3,71	3,62	0,37	
48	3,0	6,0	1880	2540	300	1,86	1,87	4,17	6,77	0,528	0,297	1,35	1,64	3,70	3,09	0,55	
49	3,0	6,0	1170	2560	300	1,89	Boş	6,43	Boş	0,474	Boş	1,49	Boş	3,96	Boş	0,29	
50	2,0	5,0	1700	2250	200	1,85	1,85	7,70	7,90	0,530	0,472	1,95	2,24	4,51	4,18	0,34	
51	2,0	5,0	1400	2750	200	1,86	1,85	5,20	5,45	0,522	0,582	1,33	2,01	3,51	3,92	0,31	
52	3,0	6,0	1390	2390	300	1,88	1,87	7,20	6,13	0,490	0,571	1,69	2,20	4,39	4,51	0,44	
53	2,5	5,5	2000	2400	250	1,85	1,82	6,50	4,90	0,407	0,388	1,50	1,60	3,56	2,98	0,77	
54	3,0	6,0	1390	3590	300	1,86	Boş	4,97	Boş	0,464	Boş	1,29	Boş	3,39	Boş	0,23	
55	3,0	6,0	1390	1620	300	1,87	Boş	5,85	Boş	0,592	Boş	2,32	Boş	4,76	Boş	0,33	
56	3,0	6,0	2200	2600	300	1,84	1,84	7,10	6,60	0,360	0,387	1,96	1,97	3,65	3,65	0,40	
57	1,0	4,0	1400	1770	100	1,85	Boş	6,00	Boş	0,549	Boş	1,95	Boş	3,69	Boş	0,59	
58	3,0	6,0	1550	1600	300	1,87	1,92	5,90	6,05	0,429	0,456	1,44	1,99	3,79	4,05	0,51	
59	3,0	6,0	2040	2140	300	1,92	1,92	5,42	8,80	0,366	0,360	1,44	2,27	3,24	4,43	0,77	
60	1,0	4,0	930	4000	100	1,88	1,86	6,80	7,33	0,569	0,376	1,35	1,44	3,62	2,64	0,96	
61	3,0	6,0	1575	2820	300	1,83	1,87	7,70	7,25	0,403	0,386	1,59	1,92	3,95	3,71	0,63	
62	3,0	6,0	1400	2000	300	1,84	Boş	0,00	Boş	0,676	Boş	1,16	Boş	3,47	Boş	0,78	
63	3,0	6,0	1050	2650	300	1,89	Boş	0,00	Boş	0,650	Boş	1,08	Boş	3,28	Boş	0,49	
64	3,0	6,0	2000	2730	300	1,97	1,96	0,00	9,00	0,564	0,229	1,02	1,81	2,95	3,47	0,58	
65	3,0	6,0	2900	3200	300	1,90	Boş	7,75	Boş	0,365	Boş	1,87	Boş	4,05	Boş	0,58	
66	3,0	6,0	1800	2000	300	1,84	2,01	0,00	10,50	0,625	0,196	1,12	1,88	3,29	3,93	0,55	
67	2,5	5,5	1400	2000	250	1,86	1,86	5,80	5,86	0,450	0,382	1,82	1,63	3,55	3,16	0,34	
68	2,0	5,0	1250	2550	200	1,89	1,83	7,73	8,25	0,340	0,250	1,61	1,38	3,11	2,63	0,24	
69	1,5	4,5	1000	1700	150	1,88	1,90	3,70	4,80	0,442	0,368	1,14	1,24	2,68	2,48	0,60	
70	3,0	6,0	1900	2200	300	1,87	1,88	5,60	5,63	0,488	0,474	2,02	1,98	3,98	3,92	0,36	
71	2,5	5,5	1000	1500	250	1,85	1,83	5,65	6,90	0,483	0,546	1,76	2,18	3,74	4,52	0,27	
72	3,0	6,0	1990	2400	300	1,81	1,96	0,00	9,10	0,743	0,365	1,83	2,28	3,76	4,56	0,19	
73	3,0	6,0	1990	2400	300	1,81	1,88	8,10	7,20	0,394	0,422	2,18	2,16	4,21	4,11	0,19	
74	3,0	6,0	1000	2180	300	1,89	1,85	4,70	5,55	0,512	0,439	1,74	1,66	3,71	3,50	0,31	
75	2,5	5,5	1760	2020	250	1,89	1,89	4,90	6,15	0,549	0,569	2,04	2,27	3,98	4,51	0,42	
76	1,5	4,5	900	2500	150	1,88	1,89	6,05	5,75	0,552	0,417	1,32	1,44	3,65	2,83	0,29	
77	2,5	5,5	980	1425	250	1,93	1,99	8,70	4,65	0,250	0,475	1,51	1,65	3,12	3,49	0,67	
78	3,0	6,0	1900	3400	300	1,90	1,90	7,50	6,10	0,400	0,325	1,67	1,62	3,92	3,01	0,61	
79	2,0	5,0	1300	3190	200	1,86	1,88	9,00	5,65	0,280	0,479	1,57	1,71	3,02	3,34	0,66	
80	3,0	6,0	1590	1981	300	1,86	1,86	6,20	6,34	0,423	0,355	1,85	1,65	3,74	3,36	0,18	
81	2,5	5,5	1371	2386	250	1,86	1,85	7,26	6,20	0,428	0,364	1,94	1,55	3,78	3,07	0,49	
82	3,0	6,0	2295	2440	300	1,82	1,84	5,10	4,28	0,442	0,372	1,86	1,57	3,56	2,93	0,21	
83	2,5	5,5	1413	1721	250	1,86	1,87	6,50	6,40	0,411	0,372	1,81	1,70	3,59	3,31	0,27	
84	2,5	5,5	1500	2800	250	1,85	1,90	7,60	8,70	0,386	0,290	1,47	1,76	3,59	3,35	0,44	
85	2,5	5,5	1400	1620	300	1,92	1,92	6,00	4,00	0,525	0,500	2,14	1,74	4,42	3,64	0,46	
86	2,0	5,0	994	1636	200	1,93	Boş	9,10	Boş	0,296	Boş	1,58	Boş	3,27	Boş	0,40	
87	2,0	5,0	1200	2000	200	1,86	Boş	6,50	Boş	0,418	Boş	1,70	Boş	3,31	Boş	0,59	
88	3,0	6,0	1250	2040	300	1,85	1,86	7,53	6,67	0,360	0,409	1,81	1,82	3,66	3,71	0,45	
89	3,0	6,0	1850	2200	300	1,86	1,88	4,80	5,40	0,520	0,357	1,94	1,61	3,91	3,11	0,30	
90	2,5	5,5	1300	2100	250	1,85	Boş	6,13	Boş	0,488	Boş	1,89	Boş	3,83	Boş	0,52	
91	3,0	6,0	1190	1800	300	1,88	1,88	5,50	4,30	0,453	0,506	2,02	1,76	3,68	3,65	0,38	
92	2,5	5,5	1700	2100	250	1,88	1,88	5,23	5,60	0,505	0,501	1,93	1,96	3,77	3,86	0,57	
93	2,0	5,0	1930	2010	200	1,88	1,87	5,16	4,30	0,504	0,532	1,94	1,88	3,66	3,59	0,44	
94	2,5	5,5	1200	1500	250	1,87	Boş	0,00	Boş	0,632	Boş	1,55	Boş	3,26	Boş	0,35	
95	2,5	5,5	900	1150	250	1,87	Boş	4,20	Boş	0,520	Boş	1,67	Boş	3,67	Boş	0,34	
96	2,0	5,0	1500	2310	200	1,87	1,85	7,43	7,13	0,415	0,396	1,92	1,78	3,59	3,37	0,42	
97	2,5	5,5	1640	2960	250	1,90	1,88	5,96	4,00	0,545	0,403	2,12	1,42	4,08	2,76	0,48	
98	3,0	6,0	2000	2100	300	1,85	1,88	6,90	7,37	0,390	0,395	1,58	2,11	3,83	4,06	0,94	
99	3,0	6,0	1440	3140	300	1,85	1,87	8,20	6,85	0,327	0,440	2,70	2,00	3,57	3,86	0,69	
100	3,0	6,0	1860	2180	300	1,96	1,95	6,60	7,67	0,447	0,411	1,08	2,18	4,12	4,27	0,50	
101	3,0	6,0	1470	3150	300	1,9											

4.2.4.2 Zeminlerin şerit temel tipine göre taşıma gücü hesaplamaları

Çizelge 4.22. Zeminlerin şerit temel tipine göre taşıma gücü özelliklerinin toplu gösterimi.

Altyapı Elemanı	Toplam Metraj (m)	Sondaj No	UD Derinlik (m)		Yapı Boyutları (cm)			Doğal BHA Ort.		İşsel Sürtünme Açısı Ort. (°)		Kohezyon Ort. (c)		Emniyetli Taşıma Gücü (q _{em})			
					B	L	Df	UD-1 (gr/cm ³)	UD-2 (gr/cm ³)	UD-1 (°)	UD-2 (°)	UD-1 (Kg/cm ²)	UD-2 (Kg/cm ²)	Terzaghi (1943)		TBDY (2018)	
			UD-1	UD-2										UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)	UD-1 (kg/cm ²)	UD-2 (kg/cm ²)
2,50 x 1,00 m Kutu Menfez	4100	76	1,5	4,5	100	250	100	1,88	1,89	6,05	5,75	0,552	0,417	1,51	1,16	4,45	3,38
		81	2,5	5,5	100	250	100	1,86	1,85	7,26	6,20	0,428	0,364	1,32	1,04	3,79	3,07
		94	2,5	5,5	100	250	100	1,87	Boş	0,00	Boş	0,632	Boş	1,26	Boş	3,64	Boş
		96	2,0	5,0	100	250	100	1,87	1,85	7,43	7,13	0,415	0,396	1,31	1,21	3,72	3,50
		97	2,5	5,5	100	250	100	1,90	1,88	5,96	4,00	0,545	0,403	1,50	1,01	4,38	2,95
2,00 x 1,00 m Kutu Menfez	370	8	2,5	5,5	100	200	100	1,88	1,87	5,06	5,40	0,426	0,371	1,13	1,02	3,38	3,04
		79	2,0	5,0	100	200	100	1,86	1,88	9,00	5,65	0,280	0,479	1,01	1,29	2,99	3,90
		87	2,0	5,0	100	200	100	1,86	Boş	6,50	Boş	0,418	Boş	1,22	Boş	3,62	Boş
		89	3,0	6,0	100	200	100	1,86	1,88	4,80	5,40	0,520	0,36	1,32	0,98	4,00	2,93
		91	3,0	6,0	100	200	100	1,88	1,88	5,50	4,30	0,453	0,506	1,23	1,28	3,67	3,79
1,50 x 1,00 m Kutu Menfez	300	92	2,5	5,5	100	200	100	1,88	1,88	5,23	5,60	0,505	0,501	1,34	1,35	3,99	4,05
		14	2,0	5,0	100	150	100	1,91	Boş	6,10	Boş	0,596	Boş	1,63	Boş	5,09	Boş
		53	2,5	5,5	100	150	100	1,85	1,82	6,50	4,90	0,407	0,388	1,20	1,04	3,66	3,17
		61	3,0	6,0	100	150	100	1,83	1,87	7,70	7,25	0,403	0,386	1,28	1,21	3,91	3,66
1,00 x 1,00 m Kutu Menfez	200	99	3,0	6,0	100	150	100	1,85	1,87	8,20	6,85	0,327	0,440	1,11	1,33	3,35	4,01
		82	3,0	6,0	100	100	100	1,82	1,84	5,10	4,28	0,442	0,372	1,16	0,97	3,85	3,12
1600 mm Betonarme Boru	3500	84	2,5	5,5	100	100	100	1,85	1,90	7,60	8,70	0,386	0,290	1,23	1,05	4,00	3,37
		2	3,0	6,0	48	200	194	1,87	1,78	6,33	4,00	0,507	0,450	1,53	1,22	3,33	2,60
		6	3,0	6,0	48	200	194	1,82	1,84	7,00	6,30	0,391	0,391	1,30	1,25	2,81	2,68
		15	2,0	5,0	48	200	194	1,86	1,82	11,10	5,40	0,242	0,281	1,27	0,88	2,76	1,96
		17	2,0	5,0	48	200	194	1,85	1,85	5,00	5,40	0,693	0,405	1,85	1,19	4,02	2,60
		23	3,0	6,0	48	200	194	1,86	1,87	5,70	5,57	0,483	0,502	1,39	1,44	3,06	3,14
		45	2,5	5,5	48	200	194	1,83	1,85	7,35	6,45	0,445	0,49	1,48	1,52	3,19	3,27
		51	2,0	5,0	48	200	194	1,86	1,85	5,20	5,45	0,522	0,582	1,46	1,63	3,17	3,52
		58	3,0	6,0	48	200	194	1,87	1,92	5,90	6,05	0,429	0,456	1,30	1,37	2,98	3,01
		64	3,0	6,0	48	200	194	1,97	1,96	0,00	9,00	0,564	0,229	1,20	1,00	2,51	2,29
1200 mm Betonarme Boru	560	66	3,0	6,0	48	200	194	1,84	2,01	0,00	10,50	0,625	0,196	1,31	1,00	2,73	2,39
		10	2,0	5,0	36	200	144	1,92	1,93	4,40	4,55	0,511	0,428	1,33	1,14	2,81	2,44
		30	3,0	6,0	36	200	144	1,85	1,87	5,75	6,75	0,462	0,399	1,30	1,23	2,78	2,21
1000 mm Betonarme Boru	665	40	2,0	5,0	36	200	144	1,92	1,89	4,47	5,50	0,592	0,434	1,53	1,22	3,22	2,61
		3	2,5	5,5	30	200	122	1,86	1,89	4,10	5,80	0,545	0,489	1,33	1,37	2,85	2,86
		12	3,0	6,0	30	200	122	1,89	1,88	8,05	6,95	0,372	0,415	1,25	1,28	2,61	2,66
		13	1,5	4,5	30	200	122	1,80	1,80	5,60	Boş	0,465	Boş	1,26	Boş	2,69	Boş
		16	1,0	4,0	30	200	122	1,83	1,94	4,85	4,25	0,585	0,807	1,51	1,92	3,17	4,13
		20	2,5	5,5	30	200	122	1,91	Boş	0,00	Boş	1,576	Boş	3,07	Boş	6,30	Boş
		22	2,5	5,5	30	200	122	1,84	Boş	0,00	Boş	0,629	Boş	1,27	Boş	2,61	Boş
		25	3,0	6,0	30	200	122	1,94	Boş	3,77	Boş	0,860	Boş	2,04	Boş	4,27	Boş
		31	2,5	5,5	30	200	122	1,89	Boş	4,25	Boş	0,483	Boş	1,22	Boş	2,58	Boş
		36	3,0	6,0	30	200	122	1,88	1,88	8,75	7,90	0,333	0,362	1,19	1,22	2,49	2,52
800 mm Betonarme Boru	350	60	1,0	4,0	30	200	122	1,88	1,86	6,80	7,33	0,569	0,376	1,65	1,20	3,47	2,50
		18	2,0	5,0	24	200	97	1,88	1,88	4,23	4,93	0,660	0,417	1,57	1,09	3,34	2,28
		59	3,0	6,0	24	200	97	1,92	1,92	5,42	8,80	0,366	0,360	1,00	1,23	2,10	2,55
		95	2,5	5,5	24	200	97	1,87	Boş	4,20	Boş	0,520	Boş	1,26	Boş	2,67	Boş
		98	3,0	6,0	24	200	97	1,85	1,88	6,90	7,37	0,390	0,395	1,18	1,22	2,41	2,51
600 mm Beton Boru	250	101	3,0	6,0	24	200	97	1,93	Boş	0,00	Boş	0,581	Boş	1,17	Boş	2,38	Boş
		52	3,0	6,0	18	200	74	1,88	1,87	7,20	6,13	0,490	0,571	1,44	1,51	2,91	3,15
500 mm Beton Boru	300	75	2,5	5,5	18	200	74	1,89	1,89	4,90	6,15	0,549	0,569	1,38	1,51	2,85	3,15
		48	3,0	6,0	15	200	63	1,86	1,87	4,17	6,77	0,528	0,297	1,24	0,86	2,60	1,77
400 mm Beton Boru	200	1	3,0	6,0	12	150	27	1,93	1,90	8,83	8,00	0,369	0,426	1,14	1,26	2,16	2,48
		24	1,5	4,5	12	150	27	1,86	Boş	9,53	Boş	0,313	Boş	1,05	Boş	2,01	Boş
		54	3,0	6,0	12	150	27	1,86	Boş	4,97	Boş	0,464	Boş	1,13	Boş	2,29	Boş
		55	3,0	6,0	12	150	27	1,87	Boş	5,85	Boş	0,592	Boş	1,51	Boş	3,04	Boş
		78	3,0	6,0	12	150	27	1,90	1,90	7,50	6,10	0,400	0,325	1,15	0,85	2,27	1,73
Min			1,0	4,0	12	100	27	1,80	1,78	0,00	4,00	0,242	0,196	1,00	0,85	2,01	1,73
Max			3,0	6,0	100	250	194	1,97	2,01	11,10	10,50	1,576	0,807	3,07	1,92	6,30	4,13
Ort			2,5	5,5	53	192	116	1,87	1,88	5,51	6,22	0,506	0,418	1,36	1,21	3,23	2,92

4.2.4.3 Terzaghi (1943) hesaplama yöntemi

İnceleme alanında alüvyon tabakada derinliği 1-3 m arasında kalan UD-1 ve 4-6 m arasında kalan UD-2 örselenmemiş numuneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonucu elde edilen kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) verileri ile Terzaghi (1943)'nin geliştirdiği aşağıdaki formülden taşıma gücü hesaplamaları yapılmıştır.

$$q_u = K_1 * C * N_c + \gamma_n * D_f * N_q * K_2 * N_\gamma * B * \gamma_n \quad (4.2)$$

$$q_{em} = q_u / G_s \quad (4.3)$$

Bu formülde kullanılan parametreler;

	Parametre	Birim
q_u	Zeminin taşıma gücü	kgf/cm ²
C	Temel zeminin görünür kohezyonu	kgf/cm ²
ϕ	İçsel sürtünme açısı	°
γ_n	Doğal birim hacim ağırlık	kN/cm ³
N_c - N_q - N_γ	Taşıma gücü faktörleri	
D_f	Temel derinliği	cm
B	Temelin kısa kenarı	cm
K_1 - K_2	Temel tabanı geometrisine bağlı katsayı	
q_{em}	Zeminin emniyet gerilmesi	kgf/cm ²
G_s	Güvenlik katsayısı	şeklindedir.

Taşıma gücü hesabında, etkiyen gerilmeleri zeminin güvenli şekilde taşıyabilmesi için bu gerilmelerin nihai taşıma gücünden daha küçük olması gerekmektedir. Bu amaçla nihai taşıma gücüne bir güvenli katsayısı uygulanarak güvenli bir taşıma gücü elde edilir. Bu hesaplama kapsamında güvenlik katsayısı (G_s) 3 alınmıştır.

Radye temel tipine göre yapılan hesaplamada zemin etüdü yapılan parsellerde inşa edilen üstyapıların boyutlarına göre taşıma gücü hesaplanmıştır. Şerit temellerde ise bölgede yapılacak olan beton(arme) altyapı elemanlarının boyutlarına göre taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

Zeminlerin Terzaghi (1943) yöntemi ile radye temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesapları incelendiğinde; UD-1 seviyesi için en yüksek değerin 14,4 x 31,4 m ebatlarındaki bina temeli için 2,70 kg/cm² olduğu; en düşük değerin ise 14,7 x 31,5 m ebatlarındaki bina temeli için 1,00 kg/cm² olduğu görülmektedir. UD-1 seviyesindeki muhtelif ebatlardaki temellerin ortalama taşıma gücü 1,69 kg/cm²'dir (Çizelge 4.21).

UD-2 seviyesindeki radye temeller için, en yüksek taşıma gücü değeri 18,0 x 22,0 m ebatlarındaki temel için 2,39 kg/cm²; en düşük değer ise 15,0 x 29,0 m ebatlarındaki temel için 1,19 kg/cm²'dir. Ortalama değer ise muhtelif ebatlardaki temeller için 1,81 kg/cm²'dir (Çizelge 4.21).

Zeminlerin Terzaghi (1943) yöntemi ile şerit temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesapları incelendiğinde; UD-1 seviyesi için en yüksek değerin 1000 mm çapındaki betonarme boru temeli için 3,07 kg/cm² olduğu; en düşük değerin ise 800 mm çapındaki betonarme boru temeli için 1,00 kg/cm² olduğu görülmektedir. UD-1 seviyesindeki muhtelif ebatlardaki şerit temellerin ortalama taşıma gücü 1,36 kg/cm²'dir (Çizelge 4.22).

UD-2 seviyesindeki şerit temeller için, en yüksek taşıma gücü değeri 1000 mm çapındaki betonarme boru temeli için 1,92 kg/cm²; en düşük değer ise 400 mm çapındaki beton boru temeli için 0,85 kg/cm²'dir. Ortalama değer ise muhtelif ebatlardaki temeller için 1,21 kg/cm²'dir (Çizelge 4.22).

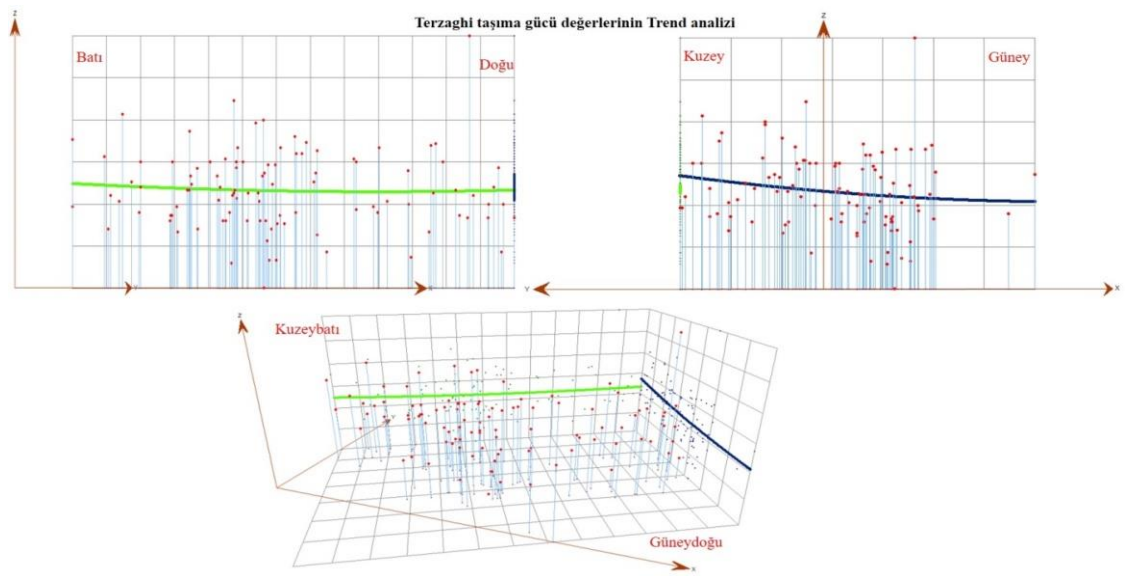
UD-1 seviyesindeki zemin sınıflarına göre muhtelif ebatlarda radye temel boyutları için hesaplanan ortalama emniyetli taşıma gücü değerlerine bakarsak, CL sınıfı zeminler için 1,75 kg/cm², CH sınıfı zeminler için 1,72 kg/cm², ML sınıfı zeminler için 1,70 kg/cm²'dir. İri taneli zeminler içinde GC sınıfı zeminlerin ortalama taşıma gücü 1,22 kg/cm², SM sınıfı için 1,46 kg/cm², SC sınıfı için ise 1,25 kg/cm²'dir (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. İncelenen zeminlerin UD-1 seviyesindeki sınıflarına göre kohezyon, içsel sürtünme açısı ve taşıma gücü değerleri (Terzaghi 1943 yöntemine göre).

Zemin Sınıfı		Adet	Kohezyon (c - kgf/cm ²)			İçsel Sürtünme Açısı (Φ - °)			Taşıma Gücü (quem - kg/cm ²)		
			Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.
İnce Taneli Zeminler	ML	3	0,743	0,394	0,528	8,10	0,00	4,90	2,18	1,08	1,70
	CL	80	0,817	0,250	0,464	10,53	3,70	6,35	2,70	1,14	1,75
	CH	6	0,860	0,280	0,499	9,10	3,77	6,24	2,04	1,50	1,72
İri Taneli Zeminler	GC	1	1,576	1,576	1,576	0,00	0,00	0,00	1,22	1,22	1,22
	SM	4	0,650	0,242	0,446	11,10	0,00	4,68	2,06	1,08	1,46
	SC	8	0,676	0,403	0,591	7,70	0,00	0,96	1,59	1,00	1,25
Toplam		102	1,576	0,242	0,488	11,1	0	5,75	2,70	1,00	1,69

Bazı araştırmacılar tarafından, zeminlerin taşıma güçlerinin temel boyutlarının değişmesine bağlı olarak değiştiği için taşıma gücü değerlerinin haritalanmasının yanlış olduğu görüşü hakimdir. Hem radye temel hem de şerit temel taşıma gücü hesaplarında inşa edilecek üstyapı/altyapıların boyutları dikkate alındığı için taşıma gücü değerleri için dağılım haritaları hazırlanmamıştır.

Zeminlerin taşıma gücü, trend analizlerine göre hem Batı-Doğu yönünde hem de Kuzey-Güney yönünde heterojen bir dağılım sunar (Şekil 4.28). Sonuçlarda Doğu ve Güney yönünde düşüşler gözlenirse de kendi içerisinde irili ufaklı değerlere sahiptir ve net bir yönelim gözlenememiştir. Bu sonuç inceleme alanında zeminlerin düşey ve yanal yönde farklılıklar gösterdiğini kanıtlamaktadır.



Şekil 4.28. Zeminlerin Terzaghi (1943) taşıma gücü değerlerinin trend analizi.

4.2.4.4 Türkiye bina deprem yönetmeliği (2018) hesaplama yöntemi

Ülkemizin deprem kuşağında bulunması ve mevcut yapı stokunun önemli kısmının deprem dayanımının yetersiz olması yüzünden 2018 yılında yeni bir Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği yayımlanmıştır. Yönetmelik kapsamında yapının bulunduğu deprem bölgesi ve zemin özellikleri dikkate alınarak yapılan depreme dayanıklı tasarımı ve yapımı için gerekli olan minimum koşullar bulunmaktadır.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018)'ne göre zeminlerin taşıma gücü için yapılan hesaplama yöntemi 2019 yılı başından itibaren kullanılmaya başlanılmıştır. Bu formüle göre;

$$qk = c * N_c * s_c * d_c * i_c * g_c * b_c + q * n_q * s_q * d_q * i_q * g_q * b_q + 0,5 * \gamma * B' * N_\gamma * s_\gamma * d_\gamma * i_\gamma * g_\gamma * b_\gamma \quad (4.4)$$

$$qt = qk / \gamma(Rv) \quad (4.5)$$

Bu formülde kullanılan parametreler;

Parametre	
qk	Temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı
sc, sq, sy	Temel şekil katsayıları
dc, dq, dy	Derinlik katsayıları
ic, iq, iy	Yükleme eğikliği katsayıları
gc, gq, gy	Temel zemini eğimi katsayıları
bc, bq, by	Temel taban eğimi katsayıları
Nc, Nq, Nγ	Taşıma gücü katsayıları
c	Kohezyon
qt	Tasarım dayanımı RT'nin temel taşıma gücüne ilişkin karşılığı
γ _{Rv}	Temel taşıma gücü dayanım katsayısı

şeklindedir.

Güvenlik katsayısı Terzaghi (1943) hesaplamasına göre 3 alınırken TBDY (2018)'e göre temel taşıma gücü katsayısı 1,4 alınmaktadır. Yani hesaplama sonucu çıkan temel taşıma gücünün karakteristik dayanımı (qu) değeri 1,4'e bölünerek tasarım dayanımının temel taşıma gücüne ilişkin karşılığı (qt) bulunmaktadır. Taşıma gücü birimi t/m²'dir.

Zeminlerin TBDY (2018) yöntemi ile radye temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesapları incelendiğinde; UD-1 seviyesi için en yüksek değer 10,0 x 30,5 m

ebatlarındaki bina temeli için 7,13 kg/cm² olduğu; en düşük değerin ise 11,0 x 17,0 m ebatlarındaki bina temeli için 2,61 kg/cm² olduğu görülmektedir. UD-1 seviyesindeki muhtelif ebatlardaki temellerin ortalama taşıma gücü 3,81 kg/cm²'dir (Çizelge 4.21).

UD-2 seviyesindeki radye temeller için, en yüksek taşıma gücü değeri 18,0 x 22,0 m ebatlarındaki temel için 4,70 kg/cm²; en düşük değer ise 15,0 x 29,0 m ebatlarındaki temel için 2,20 kg/cm²'dir. Ortalama değer ise muhtelif ebatlardaki temeller için 3,56 kg/cm²'dir (Çizelge 4.21).

Zeminlerin TBDY (2018) yöntemi ile şerit temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesapları incelendiğinde; UD-1 seviyesi için en yüksek değerin 1000 mm çapındaki betonarme boru temeli için 6,30 kg/cm² olduğu; en düşük değerin ise 400 mm çapındaki beton boru temeli için 2,01 kg/cm² olduğu görülmektedir. UD-1 seviyesindeki muhtelif ebatlardaki şerit temellerin ortalama taşıma gücü 3,23 kg/cm²'dir (Çizelge 4.22).

UD-2 seviyesindeki şerit temeller için, en yüksek taşıma gücü değeri 1000 mm çapındaki betonarme boru temeli için 4,13 kg/cm²; en düşük değer ise 400 mm çapındaki beton boru temeli için 1,73 kg/cm²'dir. Ortalama değer ise muhtelif ebatlardaki temeller için 2,92 kg/cm²'dir (Çizelge 4.22).

Çizelge 4.24. İncelenen zeminlerin UD-1 seviyesindeki sınıflarına göre kohezyon, doğal birim hacim ağırlığı ve taşıma gücü değerleri (TBDY 2018).

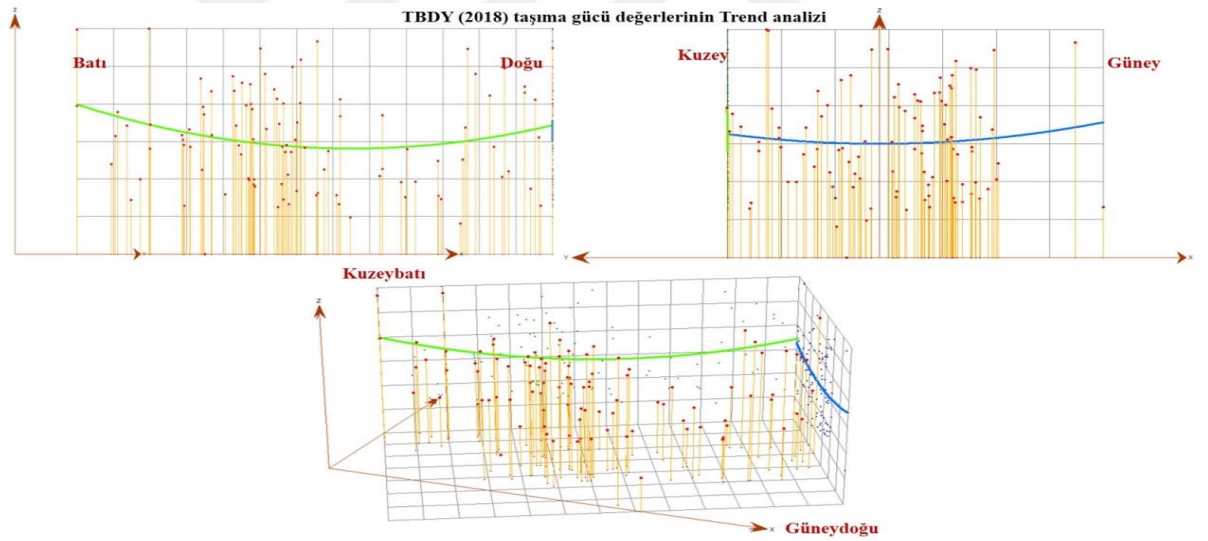
Zemin Sınıfı		Adet	Kohezyon (c - kN/m ²)			İçsel Sürtünme Açısı (Φ - °)			Taşıma Gücü (qt - kg/cm ²)		
			Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.	Maks.	Min.	Ort.
İnce Taneli Zeminler	ML	3	0,743	0,394	0,528	8,10	0,00	4,90	4,21	3,76	4,03
	CL	80	0,817	0,250	0,464	10,53	3,70	6,35	5,90	2,68	3,83
	CH	6	0,860	0,280	0,499	9,10	3,77	6,24	5,36	3,02	3,86
İri Taneli Zeminler	GC	1	1,576	1,576	1,576	0,00	0,00	0,00	7,13	7,13	7,13
	SM	4	0,650	0,242	0,446	11,10	0,00	4,68	3,59	2,61	3,26
	SC	8	0,676	0,403	0,591	7,70	0,00	0,96	3,95	2,94	3,29
Toplam		102	1,576	0,242	0,488	11,1	0	5,75	7,13	2,61	3,81

Zeminlerin TBDY (2018)'e göre muhtelif ebatlardaki temellerin emniyetli taşıma gücü değeri ortalama 3,81 kg/cm², en yüksek 7,13 kg/cm², en düşük 2,61 kg/cm²'dir. En yüksek değer 7,13 kg/cm² ile GC sınıfı zeminlerde yer alırken, en düşük değer 2,61 kg/cm² ile yine SM sınıfı zeminlerdedir.

UD-1 seviyesindeki zemin sınıflarına göre aynı parametreye baktığımızda ML sınıfı zeminlerde taşıma gücü değeri ortalama $4,03 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. İncelenen zeminlerin 80 tanesinin dahil olduğu CL sınıfında ise taşıma gücü değeri en yüksek $5,90 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $2,68 \text{ kg/cm}^2$, ortalama $3,83 \text{ kg/cm}^2$ 'dir (Çizelge 4.24).

Taşıma gücü değeri genel ortalamanın altında kalan zemin sınıfları, SM – $3,26 \text{ kg/cm}^2$, SC – $3,29 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

Zeminlerin Doğu-Batı yönündeki trend analizine göre orta kısmında kalan bölgedeki taşıma gücü değerlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum konumsal dağılımı ile uyumlu şekilde görülmektedir. Kuzey-Güney yönlü trend analizinde ise düşük ya da yüksek değerlere sahip net bir yönelimin olmadığı ve sonuçların heterojen dağılımlı olduğu görülmektedir. Kuzeybatı-Güneydoğu yönlü trend analizinde ise bahsi geçen düşük taşıma gücü değerine sahip bölgenin varlığı görülmektedir (Şekil 4.29).



Şekil 4.29. TBDY (2018) taşıma gücü değerlerinin trend analizi.

Laboratuvar deneyleri ile radye temel tipine göre yapılan her iki taşıma gücü hesabının karşılaştırılması Çizelge 4.25'de verilmiştir. Sondajların ortalama derinliği 2,6 m olan ilk UD-örselenmemiş numunelerinden elde edilen laboratuvar verilerinden yapılan hesaplamalara göre, Terzaghi (1943) yöntemine göre taşıma gücü değerleri ortalaması $1,70 \text{ kg/cm}^2$ iken, TBDY (2018) yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü $3,8 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Sondajların ortalama derinliği 5,6 m olan ikinci UD-örselenmemiş numunelerinden elde edilen veriler ile yapılan taşıma gücü hesabına

göre, Terzaghi (1943) yöntemine göre taşıma gücü değerleri ortalaması 1,80 kg/cm² iken, TBDY (2018) yöntemi ile hesaplanan taşıma gücü 3,6 kg/cm²'dir. TBDY yöntemi ile yapılan hesapların Terzaghi (1943) yöntemine göre yapılan hesaplamaların yaklaşık 2 katı olduğu görülmektedir. Bunun nedeni formüllerde kullanılan güvenlik katsayısı değerlerinin Terzaghi (1943) hesaplamasında 3 alınırken, TBDY (2018)'e göre yapılan hesaplamada 1,4 alınmaktadır. TBDY (2018) hesaplama yönteminde çok daha fazla sayıda parametrenin göz önünde bulundurulmuş olması ve daha güncel olması, bu yöntem kullanılarak hesaplanan değerlerin daha dikkate değer olduklarını göstermektedir. Sonuçların doğruluğuna etki eden diğer bir faktörde laboratuvar analiz sonuçlarının güvenilirliğidir.

Çizelge 4.25. İncelenen zeminlerin Terzaghi (1943) ve TBDY (2018) yöntemleri ile radye temel tipine göre yapılan taşıma gücü hesaplarının kıyaslaması.

n	UD-1 (1,0 - 3,0 m)			UD-2 (4,0 - 6,0 m)		
	Derinlik (m)	Terzaghi (kg/cm ²)	TBDY (kg/cm ²)	Derinlik (m)	Terzaghi (kg/cm ²)	TBDY (kg/cm ²)
1	3,0	1,9	4,28	6,0	1,95	4,32
2	3,0	2,0	4,40	6,0	1,55	3,29
3	2,5	1,7	3,58	5,5	1,83	3,92
4	2,5	1,8	3,58	5,5	1,71	3,47
5	3,0	2,0	4,02	6,0	Boş	Boş
6	3,0	2,0	3,79	6,0	1,92	3,57
7	2,5	1,8	3,59	5,5	1,60	3,08
8	2,5	1,6	3,08	5,5	1,45	2,85
9	2,0	2,1	3,88	5,0	1,96	3,68
10	2,0	1,8	3,55	5,0	1,53	3,10
11	3,0	1,7	3,63	6,0	Boş	Boş
12	3,0	1,9	3,90	6,0	1,86	3,82
13	1,5	1,5	3,11	4,5	Boş	Boş
14	2,0	2,1	4,29	5,0	Boş	Boş
15	2,0	2,1	3,55	5,0	1,19	2,20
16	1,0	2,0	3,62	4,0	2,39	4,70
17	2,0	2,3	4,63	5,0	1,55	3,04
18	2,0	2,0	4,13	5,0	1,55	2,96
19	2,5	1,5	4,02	5,5	2,02	4,22
20	2,5	1,2	7,13	5,5	Boş	Boş
21	3,0	2,1	4,50	6,0	1,72	3,53
22	2,5	1,5	3,18	5,5	Boş	Boş
23	3,0	1,9	3,76	6,0	1,98	2,96
24	1,5	1,9	3,25	4,5	Boş	Boş
25	3,0	1,9	5,36	6,0	Boş	Boş
26	2,5	2,4	4,45	5,5	1,78	3,29
27	3,0	1,7	4,22	6,0	2,17	4,09
28	3,0	1,6	4,08	6,0	Boş	Boş
29	2,5	1,3	3,51	5,5	1,60	3,33
30	3,0	1,4	3,81	6,0	1,79	3,72
31	2,5	1,2	3,27	5,5	Boş	Boş
32	2,5	1,4	3,66	5,5	1,66	3,40
33	2,5	1,2	2,61	5,5	Boş	Boş
34	3,0	1,1	3,25	6,0	Boş	Boş
35	3,0	1,7	3,85	6,0	1,85	3,50
36	3,0	1,5	3,95	6,0	1,87	3,85
37	2,5	1,5	4,00	5,5	Boş	Boş
38	3,0	2,0	3,86	6,0	1,85	3,60
39	3,0	1,6	4,31	6,0	1,84	3,89
40	2,0	1,5	3,96	5,0	1,82	3,32
41	1,5	1,3	3,24	4,5	Boş	Boş
42	3,0	1,7	5,90	6,0	1,56	3,26
43	2,5	1,6	4,14	5,5	Boş	Boş
44	2,5	1,6	4,53	5,5	1,93	4,21
45	2,5	1,5	3,98	5,5	1,96	4,01
46	3,0	1,6	4,05	6,0	1,70	3,24
47	2,5	1,5	3,71	5,5	1,82	3,62
48	3,0	1,3	3,70	6,0	1,64	3,09
49	3,0	1,5	3,96	6,0	Boş	Boş
50	2,0	2,0	4,51	5,0	2,24	4,18
51	2,0	1,3	3,51	5,0	2,01	3,92
52	3,0	1,7	4,39	6,0	2,20	4,51
53	2,5	1,5	3,56	5,5	1,60	2,98
54	3,0	1,3	3,39	6,0	Boş	Boş
55	3,0	2,3	4,76	6,0	Boş	Boş

n	UD-1 (1,0 - 3,0 m)			UD-2 (4,0 - 6,0 m)		
	Derinlik (m)	Terzaghi (kg/cm ²)	TBDY (kg/cm ²)	Derinlik (m)	Terzaghi (kg/cm ²)	TBDY (kg/cm ²)
56	3,0	2,0	3,65	6,0	1,97	3,65
57	1,0	2,0	3,69	4,0	Boş	Boş
58	3,0	1,4	3,79	6,0	1,99	4,05
59	3,0	1,4	3,24	6,0	2,27	4,43
60	1,0	1,3	3,62	4,0	1,44	2,64
61	3,0	1,6	3,95	6,0	1,92	3,71
62	3,0	1,2	3,47	6,0	Boş	Boş
63	3,0	1,1	3,28	6,0	Boş	Boş
64	3,0	1,0	2,95	6,0	1,81	3,47
65	3,0	1,9	4,05	6,0	Boş	Boş
66	3,0	1,1	3,29	6,0	1,88	3,93
67	2,5	1,8	3,55	5,5	1,63	3,16
68	2,0	1,6	3,11	5,0	1,38	2,63
69	1,5	1,1	2,68	4,5	1,24	2,48
70	3,0	2,0	3,98	6,0	1,98	3,92
71	2,5	1,8	3,74	5,5	2,18	4,52
72	3,0	1,8	3,76	6,0	2,28	4,56
73	3,0	2,2	4,21	6,0	2,16	4,11
74	3,0	1,7	3,71	6,0	1,66	3,50
75	2,5	2,0	3,98	5,5	2,27	4,51
76	1,5	1,3	3,65	4,5	1,44	2,83
77	2,5	1,5	3,12	5,5	1,65	3,49
78	3,0	1,7	3,92	6,0	1,62	3,01
79	2,0	1,6	3,02	5,0	1,71	3,34
80	3,0	1,9	3,74	6,0	1,65	3,36
81	2,5	1,9	3,78	5,5	1,55	3,07
82	3,0	1,9	3,56	6,0	1,57	2,93
83	2,5	1,8	3,59	5,5	1,70	3,31
84	2,5	1,5	3,59	5,5	1,76	3,35
85	2,5	2,1	4,42	5,5	1,74	3,64
86	2,0	1,6	3,27	5,0	Boş	Boş
87	2,0	1,7	3,31	5,0	Boş	Boş
88	3,0	1,8	3,66	6,0	1,82	3,71
89	3,0	1,9	3,91	6,0	1,61	3,11
90	2,5	1,9	3,83	5,5	Boş	Boş
91	3,0	2,0	3,68	6,0	1,76	3,65
92	2,5	1,9	3,77	5,5	1,96	3,86
93	2,0	1,9	3,66	5,0	1,88	3,59
94	2,5	1,5	3,26	5,5	Boş	Boş
95	2,5	1,7	3,67	5,5	Boş	Boş
96	2,0	1,9	3,59	5,0	1,78	3,37
97	2,5	2,1	4,08	5,5	1,42	2,76
98	3,0	1,6	3,83	6,0	2,11	4,06
99	3,0	2,7	3,57	6,0	2,00	3,86
100	3,0	1,1	4,12	6,0	2,18	4,27
101	3,0	1,0	2,94	6,0	Boş	Boş
102	3,0	1,7	4,03	6,0	2,07	3,86
Ort	2,6	1,7	3,8	5,6	1,8	3,6
Max	3,0	2,7	7,1	6,0	2,4	4,7
Min	1,0	1,0	2,6	4,0	1,2	2,2

4.2.4.5 Standart penetrasyon testi (SPT) yöntemi

İnceleme alanında bulunan zeminlerin taşıma gücü laboratuvar deneyleri ile elde edilen veriler sayesinde hesaplandığı gibi sondaj sırasında sahada yapılan testlerle de hesaplamak mümkündür. Standart Penetrasyon Testi 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki şahmerdanın kendi ağırlığı ile serbest düşmeye bırakılması ile uygulanmaktadır. SPT 15 cm kalınlığında, 3 kademe halinde ve her 1,5 m’de bir zemine uygulanmaktadır. İlk kademe (15 cm) muhtemel örselenme sebebiyle hesaba alınmaz. Sonraki iki kademenin toplamı N30 olarak hesaba katılmaktadır. Bu deney sayesinde tabaka sınırları, zeminlerin sıkışabilirliği, taşıma gücü ve zemin emniyet gerilmesi hakkında bilgi sahibi olunmaktadır.

SPT ile taşıma gücü hesabı yeraltı su seviyesi üstünde ise $q_u = N30 - 3/5$; yeraltı su seviyesi altında ise $q_u = N30 - 3/10$ formülünden hesaplanmıştır (Terzaghi ve Peck, 1948).

Çizelge 4.26. İncelenen zeminlerin SPT Emniyetli Taşıma Gücü Değerleri.

n	USCS	SPT Emn. Taşıma gücü ($q_{em} - kg/cm^2$)	n	USCS	SPT Emn. Taşıma gücü ($q_{em} - kg/cm^2$)	n	USCS	SPT Emn. Taşıma gücü ($q_{em} - kg/cm^2$)
1	CL	0,29	36	CL	0,69	71	CL	0,27
2	CL	0,36	37	CH	0,42	72	ML	0,19
3	CL	0,91	38	CL	0,35	73	ML	0,19
4	CL	0,38	39	CL	0,61	74	CL	0,31
5	CL	0,16	40	CL	0,43	75	CH	0,42
6	CL	0,38	41	CL	0,50	76	CL	0,29
7	CL	0,41	42	CL	0,13	77	CL	0,67
8	CL	0,73	43	CL	0,19	78	CL	0,61
9	CL	0,40	44	CL	0,15	79	CH	0,66
10	CH	0,63	45	CL	0,12	80	CL	0,18
11	CL	0,20	46	CL	0,30	81	CL	0,49
12	CL	0,30	47	CL	0,37	82	CL	0,21
13	CL	1,41	48	CL	0,55	83	CL	0,27
14	CL	0,54	49	CL	0,29	84	SM	0,44
15	SM	0,65	50	CL	0,34	85	CL	0,46
16	CL	1,25	51	CL	0,31	86	CH	0,40
17	CL	0,37	52	CL	0,44	87	CL	0,59
18	CL	0,51	53	CL	0,77	88	CL	0,45
19	CL	0,22	54	CL	0,23	89	CL	0,30
20	GC	0,83	55	CL	0,33	90	CL	0,52
21	CL	0,41	56	CL	0,40	91	CL	0,38
22	SC	0,79	57	CL	0,59	92	CL	0,57
23	CL	0,49	58	CL	0,51	93	CL	0,44
24	CL	0,35	59	CL	0,77	94	SC	0,35
25	CH	0,47	60	CL	0,96	95	CL	0,34
26	CL	0,21	61	SC	0,63	96	CL	0,42
27	CL	0,52	62	SC	0,78	97	CL	0,48
28	CL	0,35	63	SM	0,49	98	CL	0,94
29	CL	0,43	64	SC	0,58	99	CL	0,69
30	CL	0,38	65	CL	0,58	100	ML	0,50
31	CL	0,50	66	SC	0,55	101	SC	0,61
32	CL	0,48	67	CL	0,34	102	CL	0,30
33	SM	0,25	68	CL	0,24		Ort	0,46
34	SC	0,27	69	CL	0,60		Maks	1,41
35	CL	0,37	70	CL	0,36		Min	0,12

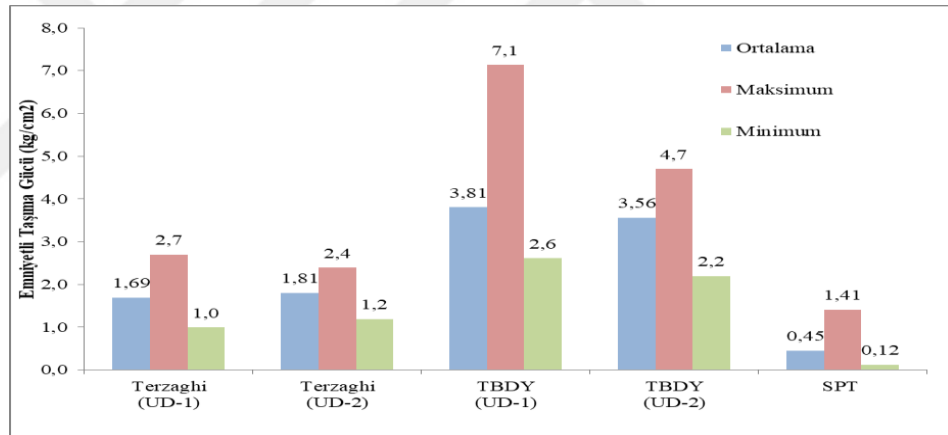
Eğer zeminde siltli-kum, ince kum birimleri bulunuyorsa Standart Penetrasyon sayısının düzeltilmesi gerekir. Bunun için aşağıdaki formül kullanılır.

$$N' = 15 + 0.5(N - 15) \quad N = \text{Stand. Penetrasyon düşüm sayısı}, N' = \text{Düzeltilmiş darbe sayısı}$$

İnceleme alanındaki sondajların etki derinliği içindeki ortalama SPT sayıları ile yapılan taşıma gücü hesabına göre en yüksek değer 1,41 kg/cm², en düşük 0,12 kg/cm² ve ortalama 0,46 kg/cm²'dir (Çizelge 4.26).

Çizelge 4.27. İncelenen zeminlerin 3 farklı hesaplama yöntemine göre ortalama, maksimum ve minimum taşıma gücü değerleri.

Parametre	Emniyetli Taşıma Gücü (quem - kg/cm ²)				
	Terzaghi (UD-1)	Terzaghi (UD-2)	TBDY (UD-1)	TBDY (UD-2)	SPT
Ortalama	1,7	1,8	3,8	3,6	0,46
Maksimum	2,7	2,4	7,1	4,7	1,41
Minimum	1,0	1,2	2,6	2,2	0,12



Şekil 4.30. İncelenen zeminlerin 3 farklı hesaplama yöntemine göre ortalama taşıma gücü değerleri.

İncelenen zeminlerde yapılan 3 farklı taşıma gücü hesabına bakılırsa en yüksek ortalama 3,8 kg/cm² ile UD-2 seviyesindeki TBDY (2018) hesaplamasına aittir. En düşük ortalama 0,46 kg/cm² ile SPT sayısına göre yapılan hesaba aittir (Çizelge 4.27) (Şekil 4.30). Sahada uygulanan SPT sonuçlarına göre yapılan taşıma gücü hesabı mantıklı sonuç vermediği görülmektedir. Bununla birlikte gerek Terzaghi (1943), gerekse TBDY (2018) yöntemlerine göre yapılan taşıma gücü değerlerine bakıldığında yağmursuyu altyapısı için herhangi bir taşıma gücü problemi bulunmadığı görülmektedir. Altyapı inşası sırasında temelde taşıma gücüne yönelik herhangi bir önlem almaya gerek olmadığı öngörülmektedir.

4.2.5 Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin hesaplanması

Çalışma sahasındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini incelemek amacı ile bölgeyi temsil eden 50 adet sondajın jeoteknik verileri kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli indeksinin (LPI) belirlenmesinde Iwasaki vd. (1982) yöntemi kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli indeksi Iwasaki vd. (1982) tarafından sondaj lokasyonu için çoklu tabakaları oluşturan düşey zemin kolonunun yüzeyden 20 m'ye kadar olan sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için geliştirilmiştir. 20 metrenin üzerindeki derinliklerde program hesaplama yapmamaktadır.

$$LPI = \int F(z) * W(z) * dz \quad (4.6)$$

Bu formülde kullanılan parametreler;

Parametre	
LPI	Iwasaki'ye göre sıvılaşma potansiyel indeksi
F(z)	Güvenlik katsayısının fonksiyonu olan sıvılaşma şiddeti
W(z)	Ağırlıklı (ortalama) fonksiyonu
Dz	Derinlik artışı
Z	Derinlik (0 - 20 m)

şeklindedir.

Sıvılaşma Potansiyel İndeksi (LPI): Sıvılaşma analizini gerektiren her bir SPT deney derinliğindeki sıvılaşma potansiyel indeksi değerlerinin toplamı o sondaj kuyusu için sıvılaşma potansiyeli indeksini belirlemektedir. Hesaplanan toplam sıvılaşma potansiyeli indeksi değerine göre derecelendirilen sıvılaşma potansiyeli “Sıvılaşma Potansiyel İndeksi”ne ait değer tablonun altında belirtilmektedir.

Çizelge 4.28. Sıvılaşma potansiyeli sınıflaması (Iwasaki vd., 1982).

Sıvılaşma İndeksi (LPI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok Düşük
$0 < LPI \leq 5$	Düşük
$5 < LPI \leq 15$	Orta
$15 < LPI$	Yüksek

W(z): Derinlikle değişen sıvılaşma potansiyeli azaltma faktörüdür. Burada (z) zemin yüzeyinden zemin tabakasının orta noktasına olan derinliktir.

$$z < 20m \text{ için; } W(z) = 10 - 0,5 * z \quad (4.7)$$

$$z > 20m \text{ için; } W(z) = 0 \quad (4.8)$$

F(z): Her bir sivilaşan seviye için tanımlanan bir indekstir.

Sivilaşmaya karşı güvenlik katsayısı;

$$FL < 1.0 \text{ için; } F(z) = 1 - FL \quad (4.9)$$

$$FL > 1.0 \text{ için; } F(z) = 0 \quad (4.10)$$

Çizelge 4.29. Iwasaki vd. (1982) yöntemine göre 6 ve 7 (Ms) büyüklüğündeki senaryo depremlere göre sivilaşma potansiyeli indeks değerleri.

Kuyu No	x	y	Y.A.S.S. (Spektral İvme Katsayısı)	S _{DS}	Sivilaşma Potansiyeli İndeksi - LPI 6 Ms Senaryo Deprem	Sivilaşma Potansiyeli İndeksi - LPI 7 Ms Senaryo Deprem
1	590191	4246142	4,000	0,521	1,64	9,33
2	588596	4246531	6,000	0,521	0,00	0,32
3	591079	4246776		0,521	0,00	0,00
4	587175	4246085	4,100	0,521	2,37	3,76
5	587405	4246306	3,000	0,521	3,05	10,62
7	588915	4246533	5,700	0,521	0,00	0,00
11	589457	4246210	4,000	0,521	0,00	0,00
12	590832	4246635	5,200	0,521	0,00	0,00
13	591182	4246864		0,521	0,00	0,00
15	589378	4246558	5,900	0,521	0,00	0,00
16	590958	4247008		0,521	0,00	0,00
18	588662	4246136	6,900	0,521	0,00	0,00
22	591094	4247299		0,521	0,00	0,00
23	587040	4246386	4,000	0,521	0,00	0,00
24	590437	4246349	5,200	0,521	0,00	0,00
27	588997	4246604	5,000	0,521	0,00	0,00
28	589594	4246723	7,500	0,521	0,00	0,82
30	590627	4247311	6,000	0,521	0,00	0,00
31	591045	4246402	2,100	0,521	0,89	3,25
36	590940	4247352		0,521	0,00	0,00
37	589723	4246533	3,700	0,521	0,00	0,00
38	587609	4246715	4,000	0,521	0,00	0,73
40	590236	4247151	6,200	0,521	0,00	0,00
43	587261	4245847	4,200	0,521	0,88	4,68
48	590528	4246113	3,700	0,521	0,00	0,98
51	588332	4246630	4,800	0,521	0,00	0,00
52	589356	4246082	3,500	0,521	0,00	0,00
53	589554	4245953	3,500	0,521	0,00	0,00
54	589996	4246388	5,500	0,521	0,00	0,00
55	590757	4246267	3,700	0,521	3,62	9,64
57	586691	4246242	3,000	0,521	0,00	0,00
58	587435	4246084	4,000	0,521	0,00	0,97
59	588544	4246219	4,000	0,521	0,00	0,49
61	589320	4246026	4,000	0,521	0,00	0,00
64	587738	4246369	3,000	0,521	1,49	6,10
75	588075	4246065	5,800	0,521	0,00	0,00
76	588916	4245434	3,600	0,521	0,00	1,30
81	588289	4245297	5,000	0,521	0,00	0,00
82	590017	4245985	3,200	0,521	0,00	0,00
84	590071	4245023	4,600	0,521	0,00	1,14
85	588665	4245585	5,000	0,521	0,00	0,00
87	589208	4245621	5,000	0,521	0,00	0,00
91	588967	4245649	3,500	0,521	0,65	4,13
92	588949	4245917	4,700	0,521	0,00	1,88
94	589802	4245105	3,500	0,521	0,00	3,57
95	588602	4245888	5,400	0,521	0,00	1,63
96	588236	4245562	3,800	0,521	0,00	0,00
97	588471	4245528	4,900	0,521	0,00	0,00
99	589272	4245781	4,000	0,521	0,00	0,00
101	588391	4246225	4,000	0,521	0,00	3,24

Spektral İvme Katsayısı (S_{DS}): Kısa periyot (0.2s) tasarım spektral ivme katsayısıdır. Türkiye Deprem Tehlike Haritasından deprem yer hareketi düzeyi, yerel zemin sınıfı, enlem ve boylama göre hesaplanır ve AFAD Başkanlığının web sayfasından elde edilir.

İnceleme alanındaki zeminlerin 6 Ms büyüklüğünde senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indeksleri incelendiğinde en büyük değerin 3,62, ortalama değerin ise 0,29 olduğu görülmektedir (Çizelge 4.30). 8 tane sondaj kuyusunun LPI değeri 0-5 aralığında ve düşük sıvılaşma potansiyeli sınıfındadır. Kalan 42 sondaj kuyusunun sıvılaşma potansiyeli ise çok düşük sınıfındadır (Çizelge 4.30). Oranlarına bakıldığında %84'ünün çok düşük, %16'sının ise düşük sıvılaşma potansiyeline sahiptir.

7 Ms büyüklüğünde senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indekslerinin en büyük değeri 10,62, ortalama değeri ise 1,37'dir (Çizelge 4.30). Sondaj kuyularının 4 tanesi orta sıvılaşma potansiyeline sahipken, 16 tanesi düşük şişme potansiyeline sahiptir. Kalan 30 sondaj kuyusunun ise LPI değeri 0'dır, yani çok düşük şişme potansiyeline sahiptir (Çizelge 4.29). Oranlarına bakıldığında %60'lık kısımda sıvılaşma potansiyeli çok düşük, %40'lık kısımda ise düşük-orta sıvılaşma potansiyeli bulunmaktadır.

Çizelge 4.30. Sıvılaşma potansiyeli indeks değerlerinin istatistik verileri (Iwasaki vd., 1982).

Senaryo Deprem Büyüklüğü	Ortalama	Maksimum	Minimum
6 Ms	0,29	3,62	0,00
7 Ms	1,37	10,62	0,00

İnceleme alanının sıvılaşma potansiyeli indeksi konumsal dağılımlarına bakıldığında, 6 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre bölgenin batı ve güneydoğu kısımlarında düşük sıvılaşma potansiyeli, kalan kısımlarında ise çok düşük sıvılaşma potansiyeli görülmektedir (Şekil 4.31).

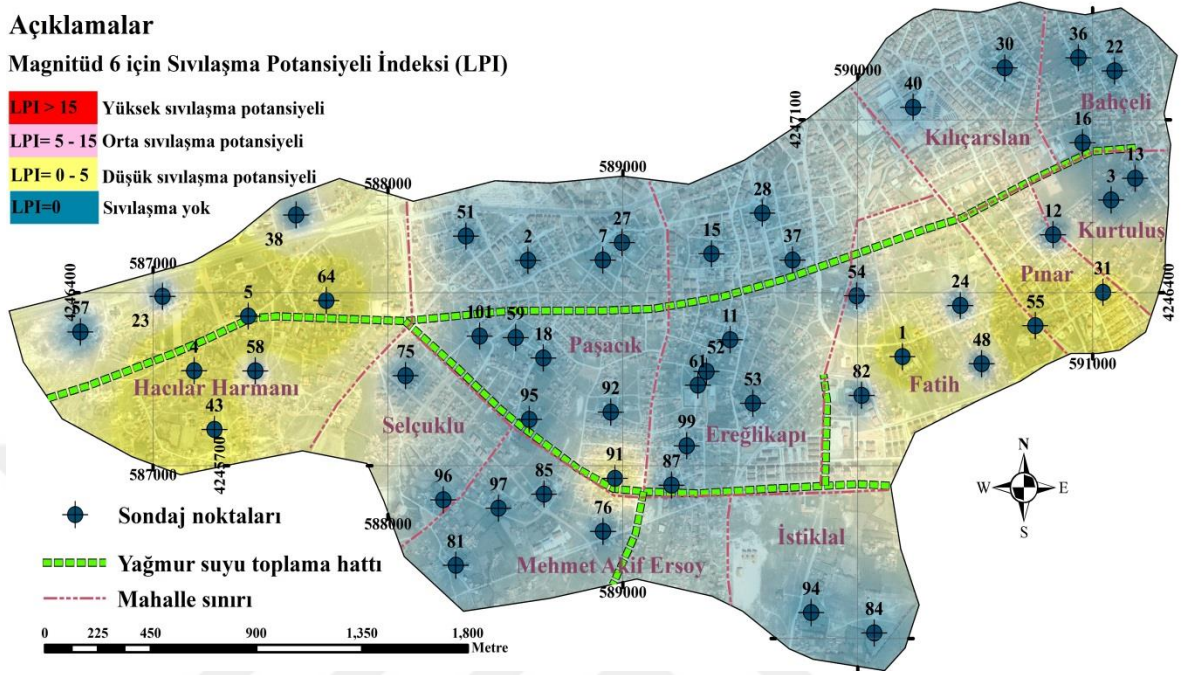
7 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre bölgenin batı ve güneydoğu kısımları ağırlıklı olarak düşük sıvılaşma potansiyeline sahipken, lokal bölgeler halinde orta

sıvılaşma potansiyelinin olduğu görülmektedir. Kalan bölgelerde ise sıvılaşma potansiyeli çok düşüktür (Şekil 4.32).

Açıklamalar

Magnitüd 6 için Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI)

- LPI > 15 Yüksek sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 5 - 15 Orta sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 0 - 5 Düşük sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 0 Sıvılaşma yok

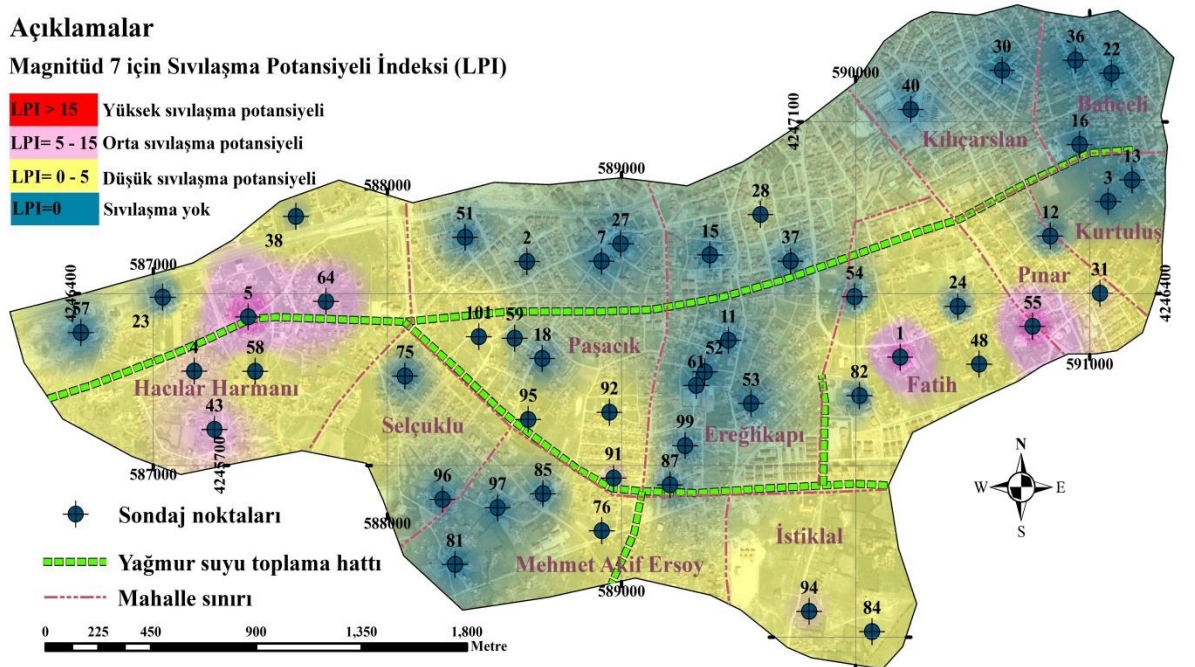


Şekil 4.31. İncelenen zeminlerin 6 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indeksleri (Iwasaki, 1982).

Açıklamalar

Magnitüd 7 için Sıvılaşma Potansiyeli İndeksi (LPI)

- LPI > 15 Yüksek sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 5 - 15 Orta sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 0 - 5 Düşük sıvılaşma potansiyeli
- LPI = 0 Sıvılaşma yok



Şekil 4.32. İncelenen zeminlerin 7 Ms büyüklüğündeki senaryo depreme göre sıvılaşma potansiyeli indeksleri (Iwasaki, 1982).

4.3 Yeraltı Sularının Betonarme Yapılardaki Koroziyon Etkinlik Derecesinin Belirlenmesi

İnceleme alanı ve çevresinde muhtemel yeraltı suyu akımı doğuda yer alan yüksek kotlu tepelerden batıya doğru şehir merkezini içerisine alacak şekilde gelişmiştir. Bölgedeki yeraltı suları mevsimsel yağışlardan beslenmektedir. İnceleme alanındaki 102 adet zemin sondajından yapılan ölçümlere göre 6 adet kuyuda yeraltı suyuna rastlanılmamıştır. Kalan 96 adet kuyuda farklı örnekleme dönemlerinde yapılan ölçümlere göre ortalama 4,5 m’de yeraltı su seviyesi ölçülmüştür. En yüksek seviye 2,1 m, en düşük seviye ise 7,5 m’dir. Yapımı planlanan altyapının en fazla 4 m derinlikte inşa edileceği düşünülürse, betonarme yapının sürekli yeraltı suyu ile temasta olması kaçınılmazdır. Yeraltı suyu içinde bulunan zararlı maddeler beton ve çelik donatıyı kimyasal açıdan etkileyerek yapı elemanının başta dayanımı olmak üzere diğer özelliklerini olumsuz yönde etkileyerek kalitesini düşürmesine ve hizmet süresini kısaltmasına sebep olmaktadır.

Betonarme elemanlarda korozyon, beton ve/veya içine gömülü çelik donatının fiziko-kimyasal çevresel dış etkenler sonucu niteliklerini kaybetmeleri olarak da tanımlanabilir. Beton ve çelik donatının korozyon süreçleri birbirleri ile bağlantılı gelişmektedir ve her iki süreç birleşerek yapının daha hızlı yıpranmasına yol açmaktadır (Yılmaz, 2011).

Betonarme yapılarda yaşanan bu sorunun önemi 1999 Gölcük depreminden sonra daha iyi anlaşılmaya başlanmıştır. Gölcük depremi sonrası İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından hazırlanan rapora göre 55 bin konut incelenmiş ve yapıların %64’nün temelinde korozyon etkisiyle hasar meydana geldiği belirlenmiştir. Bu rapora göre yapılarda meydana gelen hasarların en büyük nedenini korozyon oluşturmaktadır. Bu sebeple son yıllarda yeraltı suyu ile temas halinde bulunan betonarme yapıların su yalıtımı konusunda ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir (Naimi ve Özdemir, 2020).

Ulucan ve Ünlü (2001) yaptıkları çalışmada sülfat, karbondioksit ve amonyum ile hazırlanmış çözeltilerde 28 günlük beton boruları 3 ay boyunca bekleterek boruların tepe basınç yüklerini deneysel olarak tespit etmişlerdir. Çalışma kapsamında 750 mg/L ve daha yüksek miktardaki sülfat çözeltisi ile yapılan deneylerde beton

boruların tepe basıncı yük deneyi testinde mukavemetinin çok hızlı şekilde düştüğü görülmüştür. Çalışmada karbondioksit kaynaklı korozyonun, CO₂ düzeyinin 15 mg/L'yi geçtiğinde başladığı tespit edilmiştir. CO₂ derişimi arttıkça beton boru mukavemetinin lineer olarak azaldığı gözlenmiştir. Aynı çalışmada 50 mg/L amonyum derişimin de bekletilen beton borunun tepe basıncı kırılma yükünün çok hızlı azaldığı, 75 mg/L derişimden itibaren düşme hızının yavaşladığı görülmüştür.

Yıllarca altyapıya hizmet edecek olan betonarme boru ve menfez yapıların üç ay gibi kısa sürede bu kadar fazla mukavemet kayıpları yaşaması, uzun süre yeraltı suyu ile temasta bulunacak yapılarda kayıpların çok daha fazla olacağını işaret etmektedir. Çalışma kapsamında beton boruların sızdırmazlıkları da incelenmiş, ilgili standarda uygun olduğu görülmüştür. Ancak uzun süre yeraltı suyunun kimyasal etkilerine maruz kalacak olan altyapı elemanlarının sızdırmazlık özellikleri daha uzun bekletme zamanlarında incelenmelidir (Ulucan ve Ünlü, 2001).



Şekil 4.33. Yeraltı suyunun bina bodrum katı betonarme duvarlarına verdiği hasar (Şimşek, 2005).

Su betona verdiği zarar kadar içine gömülü olan çelik donatıya da zarar verebilmektedir. Donatıyı korozyona uğratıp, yapının statik, dinamik bütün yükünü karşılayan ve aktaran yapı elemanlarının işlevini kaybetmesine, daha küçük yüklemelere bile dayanıksız hale gelmesine sebep olmaktadır. Bu sebeple yeraltı suyunun betona işleme derinliği, pas payı değerinden daha az olması gerekmektedir. Ancak bu şekilde donatının korozyona uğramasına engel olunarak yapının ömrü uzatılabilir (Şimşek, 2005).



Şekil 4.34. Çevresel faktörlerle korozyona uğramış çelik donatı (Şimşek, 2005).

Yapı elemanlarına hasar veren, zararlı kimyasal etkiye sahip maddelerin zararlılık derecesini tayin etmek ve yeraltı suyuna temaslı yapıların yeterli dayanımının sağlanması için uyulması gereken ilave yapım kurallarını anlatmak için TS3440 sayılı standart bulunmaktadır. Standart kapsamında zararlı maddelerin sınır değerleri belirtilmiştir (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Beton temas sularının zararlı etkinlik derecesi sınır değerleri (TS 3440'a göre).

Parametre	Zararlı Etkinlik Derecesi			Standart No
	Zayıf	Kuvvetli	Çok kuvvetli	
pH değeri	6,5-5,5	5,5-4,5	4,5'dan küçük	TS-3440
Kireç Çözücü (CO ₂) mg /L	15-30	30-60	60'dan büyük	TS-3440
Amonyum (NH ₄ ⁺) mg/L	15-30	30-60	60'dan büyük	TS-3440
Magnezyum (Mg ⁺²) mg /L	100-300	300-1500	1500'den büyük	TS-3440
Sülfat (SO ₄ ⁻²) mg /L	200-600	600-3000	3000'den büyük	TS-3440

Çalışma kapsamında, 26 adet sondajdan alınan su numunelerinin ilgili standartta sınır değerleri belirtilmiş olan pH, kireç çözücü, amonyum, magnezyum ve sülfat parametrelerinin ölçüm sonuçları incelenmiş ve betonarme yapılara olası zararlı etkileri değerlendirilmiştir. Ölçüm sonuçlarının zararlı etkinlik dereceleri, TS3440 standardına göre zayıf, kuvvetli ve çok kuvvetli olarak sınıflandırılmıştır.

pH: Bir çözeltinin asitlik ya da bazlık derecesini ifade etmektedir. Asitli sular pH değerlerinin 7'den küçük olması ile belirlenir. İçinde serbest asitler bulunan sular beton bünyesindeki sertleşmiş çimentoya ve agrega içindeki karbonat esaslı taneciklere çözücü ve ayrıştırıcı olarak etki yapar. Asitli suların beton üzerindeki etkileri, pH değerlerinin 6,5 veya daha küçük olması halinde göz önünde bulundurulur (TS3440).

Çizelge 4.32. İnceleme alanındaki yeraltı sularının pH değerleri.

n	pH	n	pH	n	pH	n	pH
21	7,48	43	7,47	56	7,12	93	7,41
23	7,53	48	7,82	57	7,61	94	7,31
24	7,31	49	7,25	76	7,88	95	7,85
25	7,44	51	7,07	81		96	7,74
37	7,32	52	7,37	83	7,70	97	7,44
41	7,21	54	7,28	91	7,27		
42	7,38	55	7,38	92	7,30	Ort.	7,44

Zararlı etkinlik derecesi

Zayıf

Kuvvetli

Çok Kuvvetli

pH değerleri açısından yeraltı su numunelerinin hiçbirisi 6,5 değerinin altında değildir. Yani herhangi bir zararlı etkinlik derecesine girmemektedir (Çizelge 4.32).

Kireç Çözücü (CO₂): Karbondioksit gazının suda çözünmesi ile oluşmaktadır. Birimi mg/L'dir. Kireç çözücü karbonik asit sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitin çözülmesine neden olarak betona zarar verir (TS3440).

Çizelge 4.33. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Kireç Çözücü (CO₂) değerleri.

n	Kireç Çözücü (CO ₂ - mg/L)	n	Kireç Çözücü (CO ₂ - mg/L)	n	Kireç Çözücü (CO ₂ - mg/L)	n	Kireç Çözücü (CO ₂ - mg/L)
21	20,0	43	149,8	56	2,2	93	42,9
23	30,0	48	5,5	57	10,6	94	38,0
24	59,9	49	10,3	76	9,5	95	5,3
25	149,8	51	18,0	81	7,7	96	2,9
37	4,4	52	10,6	83	7,3	97	7,0
41	69,9	54	34,0	91	47,9		
42	25,0	55	45,0	92	49,9	Ort.	33,2

Zararlı etkinlik derecesi

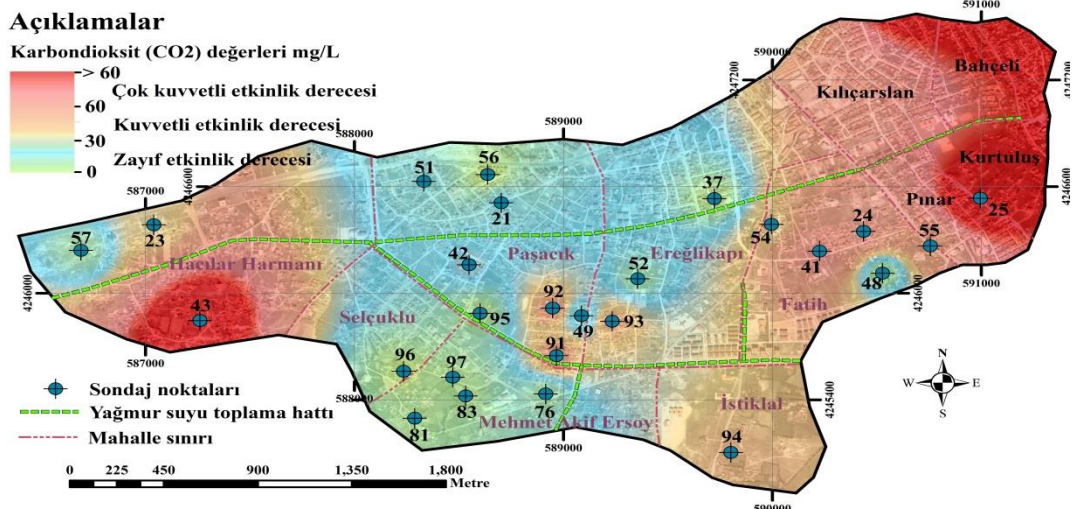
Zayıf

Kuvvetli

Çok Kuvvetli

İnceleme alanındaki yeraltı sularının 12 tanesinde karbondioksit açısından zararlı bir etkinlik bulunmamaktadır. 14 adet yeraltı suyu numunesi ise sınır değerinin üzerindedir. Oransal olarak %54'e karşılık gelmektedir. Yeraltı sularının 3 tanesi çok kuvvetli, 7 tanesi kuvvetli, 4 tanesi ise zayıf derecede zararlı etkinliğe sahip olduğu görülmektedir (Çizelge 4.33).

Yeraltı sularının inceleme alanındaki konumsal dağılımlarına bakıldığında, doğu ve batı kesimlerinde CO₂ çözeltilerinin kuvvetli derecede zararlı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.35). Bu bölgelerde bulunan 25, 41, 43 numaralı numuneler çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesine, 24, 54, 55, 91, 92, 93 ve 94 numaralı yeraltı su numuneleri ise kuvvetli dereceye sahiptir. Yeraltı sularındaki kireç çözücü karbonik asit değerlerinin yüksek olması suların asidik özellik göstermesine ve pH'nın 7'nin altında olmasına işaret etmesine rağmen bölgedeki yeraltı suların pH değerlerinin 7'nin üstünde olduğu görülmektedir. Ancak CO₂ çözeltisi yüksek olan numunelerin pH değerleri ortalamanın altında olduğu görülmektedir (Çizelge 4.32).



Şekil 4.35. İnceleme alanının yeraltı sularının kireç çözücü (CO₂) dağılımı.

İnceleme alanında gözlenen yüksek CO₂ değerlerinin kaynağı, Hasandağı volkanizmasına ait magmatik intrüzyonların yukarı doğru sokulum göstermelerinin yanı sıra atmosfer, kök zonu ve karbonatlı kayaçlardır. Bölgede yer alan yüksek CO₂ içeriğine sahip sıcak ve mineralli su kaynakları bu görüşü desteklemektedir.

Amonyum (NH₄⁺): Amonyum karbonat, amonyum oksalat ve amonyum florür dışında kalan amonyum tuzları, başlıca sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksiti

etkileyip çözerek ayırır. Bu arada serbest kalan amonyum suda çözünür ise de beton ve çimento üzerinde etkili olmaz (TS3440).

Amonyum tuzlarının yeraltı suyunda yüksek oranda bulunması kanalizasyon suyunun yeraltı suyuna karıştığı anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.34. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Amonyum (NH_4^+) değerleri.

n	Amonyum (NH_4^+ - mg/L)	n	Amonyum (NH_4^+ - mg/L)	n	Amonyum (NH_4^+ - mg/L)	n	Amonyum (NH_4^+ - mg/L)
21	1,560	43	0,033	56	0,026	93	4,097
23	1,850	48	0,061	57	0,100	94	2,040
24	2,560	49	0,026	76	0,050	95	0,166
25	0,062	51	0,078	81	0,180	96	0,138
37	0,033	52	0,199	83	0,179	97	0,092
41	1,126	54	0,059	91	0,456		
42	1,045	55	0,004	92	0,541	Ort.	0,645

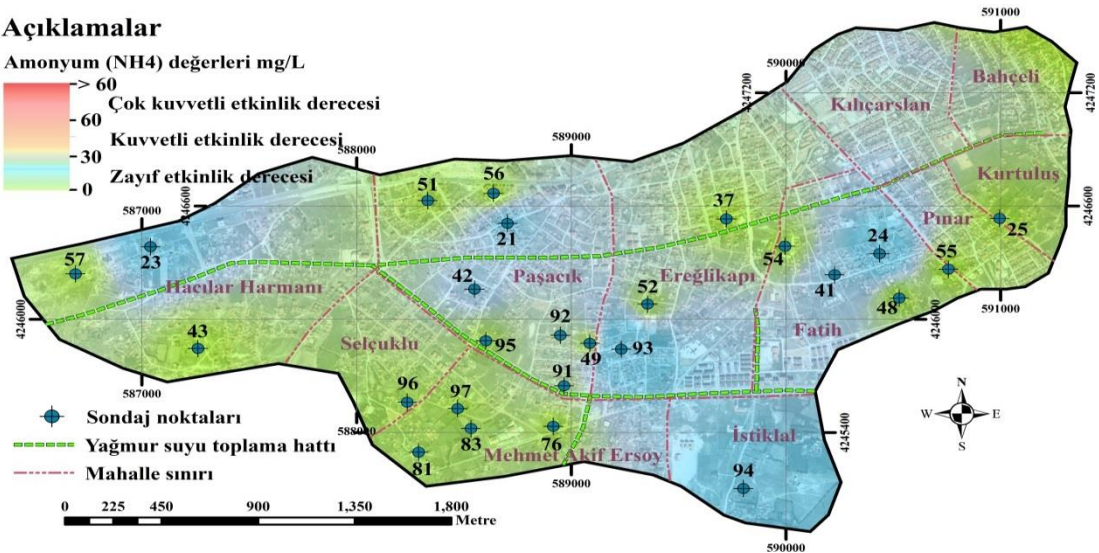
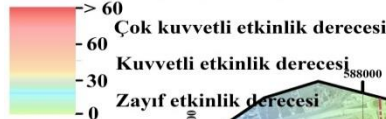
Zararlı etkinlik derecesi

Zayıf
 Kuvvetli
 Çok Kuvvetli

İnceleme alanında yapılan su kimyası analizlerine göre ortalama Amonyum miktarı 0,645 mg/L'dir (Çizelge 4.34). Zararlı etkinlik sınıflamasına göre risk içermemektedir. Hem ortalama olarak hem de tekil olarak yeraltı sularında amonyum açısından zararlı etkinlik derecesine sahip yeraltı suyu bulunmamaktadır (Şekil 4.36).

Açıklamalar

Amonyum (NH_4) değerleri mg/L



Şekil 4.36. İnceleme alanının yeraltı sularının Amonyum (NH_4^+) dağılımı.

Magnezyum (Mg^{+2}): Magnezyum sülfat ve Magnezyum klorür gibi Magnezyum tuzları, sertleşmiş çimentodaki kalsiyum hidroksitte ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) reaksiyona girerek,

yumuşak ve jelimsi bir madde olan Magnezyum hidroksiti oluştururlar. Magnezyum sülfat söz konusu olduğunda, sülfat etkisi ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır. (TS3440).

Yeraltı sularına genellikle magnezyum karbonatın erimesiyle karışır. Suyun sertliğine sebep olan iyonlardanır (Varol vd., 2008).

Çizelge 4.35. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Magnezyum (Mg^{+2}) değerleri.

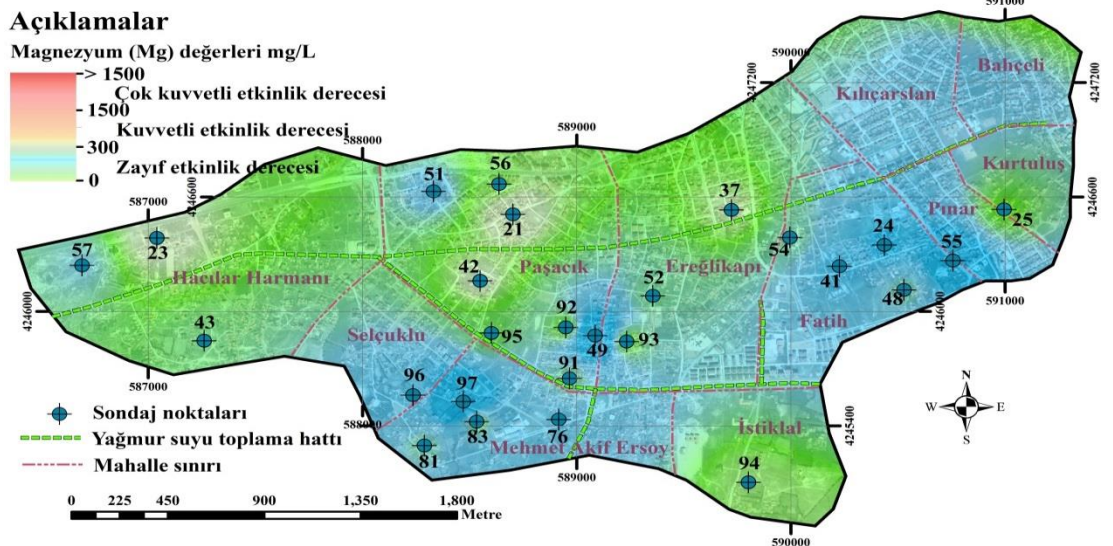
n	Magnezyum (Mg^{+2} - mg/L)	n	Magnezyum (Mg^{+2} - mg/L)	n	Magnezyum (Mg^{+2} - mg/L)	n	Magnezyum (Mg^{+2} - mg/L)
21	5,8	43	71,9	56	54,2	93	58,3
23	24,3	48	78,5	57	85,5	94	46,8
24	116,7	49	203,3	76	95,1	95	64,4
25	57,7	51	96,4	81	77,9	96	98,8
37	34,6	52	74,1	83	68,2	97	192,9
41	109,4	54	76,8	91	74,9		
42	25,4	55	144,2	92	55,3	Ort.	80,4

Zararlı etkinlik derecesi



Çok Kuvvetli

İnceleme alanındaki yeraltı sularının Magnezyum değerleri ortalaması 80,4 mg/L'dir (Çizelge 4.35). 24, 41, 49, 55 ve 97 numaralı numunelerde zararlı etkinlik derecesi yayıftır. Diğer numuneler ise sınır değeri aşmamaktadır (Şekil 4.37).



Şekil 4.37. İnceleme alanının yeraltı sularının Magnezyum (Mg^{+2}) dağılımı.

Sülfat (SO_4^{-2}): Sülfatlar, çimentonun hidratasyonu sırasında serbest kalan kalsiyum hidroksit ile birleşerek kalsiyum sülfat oluşturması ve alçı taşı ile hidrath kalsiyum

alüminatın birleşerek kalsiyum sülfatı oluşturması sonucu korozyona uğradığı belirtilmektedir (Postalcıoğlu, 1975). Hacim artışı, genişleme ve bunun sonucu olarak çatlama meydana gelmektedir (TS3440). Yeraltı sularına jips ve anhidrit kaynaklı karıştığı gibi, kükürtlü organik atıklardan ve gübre olarak kullanılan kimyasal maddelerden de karışabilmektedir.

Çizelge 4.36. İnceleme alanındaki yeraltı sularının Sülfat (SO_4^{-2}) değerleri.

n	Sülfat (SO_4^{-2} - mg/L)	n	Sülfat (SO_4^{-2} - mg/L)	n	Sülfat (SO_4^{-2} - mg/L)	n	Sülfat (SO_4^{-2} - mg/L)
21	324,9	43	40,8	56	217,0	93	186,9
23	206,1	48	261,6	57	257,2	94	595,4
24	629,4	49	701,5	76	798,5	95	126,1
25	76,9	51	569,4	81	323,6	96	428,3
37	70,5	52	245,1	83	351,3	97	281,9
41	602,3	54	558,9	91	468,5		
42	35,6	55	1010,9	92	328,2	Ort.	373,0

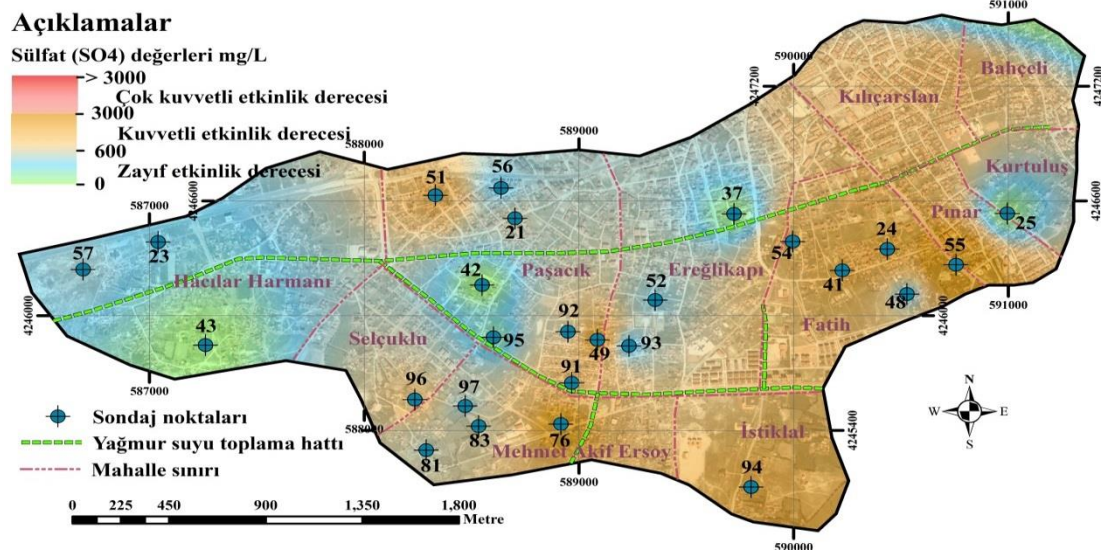
Zararlı etkinlik derecesi

Zayıf

Kuvvetli

Çok Kuvvetli

İnceleme alanındaki yeraltı sularının %77'si sülfat açısından sınır değeri aşmış durumdadır. Numunelerin 15 tanesi, zayıf derecede zararlı etkiye sahipken, 5 tanesi kuvvetli derecede zararlı etkinliktedir (Çizelge 4.36). Sülfat değerinin inceleme alanındaki konumsal dağılımı incelendiğinde, doğu ve güney bölgelerde değerlerin yükseldiğini, kuvvetli derecede zararlı etkiye sahip olduğu görülmektedir (Şekil 4.38).



Şekil 4.38. İnceleme alanının yeraltı sularının Sülfat (SO_4^{-2}) dağılımı.

4.4 Yağmursuyu Kollektör Hattı Özellikleri ve İmalat Esnasında Alınacak Önlemler

Yağmur suyu kollektör hatları deşarj noktasında en büyük ebat/çap ile başlayarak havza sınırına doğru küçülerek gider. Havza alanının büyüklüğüne göre kutu menfezler ile başlayabilmektedir. 5 ve 6 nolu deşarj havzaları 2,50x1,00 m ebatlarında kutu menfez ile başlayıp, 400 mm beton boru ile biten çeşitli ebat/çaplardan oluşmaktadır. Her iki havzada kullanılacak olan kutu menfez ebatları, 2,50x1,00 m, 2,00x1,00 m, 1,50x1,00 m ve 1,00x1,00 m'dir (Çizelge 4.37). Kullanılacak boru çapları ise 1600 mm, 1200 mm, 1000 mm, 800 mm, 500 mm, 400 mm çaplarındadır. 800 mm ve üstü çap borular ve kutu menfezler betonarme yani donatılı imalatlardır (Çizelge 4.38). Bütün altyapı elemanları fabrika üretimi şeklinde sahaya gelmektedir. Kutu menfez ağırlıkları 1,5 - 4 ton arasında, beton(arme) borular ise 0,3-5 ton arasında değişmektedir.

Çizelge 4.37. Yağmursuyu kollektör hattında kullanılan betonarme kutu menfez özellikleri.

Altyapı Elemanı	Toplam Metraj (m)	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Ağırlık (kg)
2,50 x 1,00 m Kutu Menfez	4100	2,5	1	1	4000
2,00 x 1,00 m Kutu Menfez	370	2	1	1	3300
1,50 x 1,00 m Kutu Menfez	300	1,5	1	1	2136
1,00 x 1,00 m Kutu Menfez	200	1	1	1	1800

Çizelge 4.38. Yağmursuyu kollektör hattında kullanılan beton(arme) boru özellikleri.

Altyapı Elemanı	Toplam Metraj (m)	İç Çap (mm)	Dış Çap (mm)	Et Kalınlığı (mm)	Uzunluk (mm)	Ağırlık (kg)
1600 mm Betonarme Boru	3500	1600	1940	170	2000	4436
1200 mm Betonarme Boru	560	1200	1440	120	2000	3100
1000 mm Betonarme Boru	665	1000	1220	110	2000	2150
800 mm Betonarme Boru	350	800	970	85	2000	1350
600 mm Beton Boru	250	600	740	70	2000	610
500 mm Beton Boru	300	500	630	65	2000	444
400 mm Beton Boru	200	200	270	35	1500	320

Betonarme borular ve baca elemanları artan kalite standartları gereği buhar kürlü ve entegre conta olarak imal edilmektedir. Entegre conta hattın eklem noktalarında sızdırmazlığını arttırmaktadır. Buhar kürlü ise mukavemetini daha hızlı kazanmasını sağlamaktadır. Beton boru ve baca elemanlarının tasarım dayanımı 40 MPa (N/mm^2)’dan küçük olmamalıdır. Yapıların imalatının ardından sızdırmazlık ve tepe basınç yükü testine tabi tutulmaktadır. Sızdırmazlık testi 0,5 bar iç basınç altında belirli bir süre bekletilmesi esasına göre uygulanmaktadır. Tepe basınç yükü, boru numuneler üzerine uygulanan kırılma anındaki yükün belirlendiği testtir (Çizelge 4.39).

Çizelge 4.39. Beton boruların çapa göre minimum kırılma yükleri (TS821 EN1916).

Anma Çapı (mm)	Borunun her (m) uzunluğu için Minimum Kırılma Yüğü (kN/m)	Dayanım Sınıfı
Ø400 mm	54	135
Ø500 mm	60	120
Ø600 mm	65	108
Ø800 mm	72	90
Ø1000 mm	80	80
Ø1200 mm	85	71
Ø1600 mm	103	64

Çalışma sahasında yeraltı su seviyesi ortalama 4,5 m derinliktedir. Yapılacak olan yağmur suyu alt yapısının en fazla 4 m derinliğe inşa edileceği düşünüldüğünde bazı bölgelerde betonarme altyapı elemanları sürekli yeraltı suyu ile temas halinde olacaktır. Bölgedeki yeraltı sularında bulunan magnezyum miktarı zayıf, sülfat miktarı kuvvetli, karbondioksit miktarı ise çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesindedir. Ayrıca altyapı temelinin genellikle siltli kil seviyelere denk gelmesi, zeminde muhtemel oturma ve şişme riskini arttırmaktadır. Bu sebeplerle fabrika üretimi olarak satın alınan betonarme boruların imalatında ve altyapı inşası sırasında bazı önlemler alınmalıdır:

- Yeraltı sularının betonarme yapılar ile temasını kesmek için, imalatı yapılan altyapı elemanlarının bitüm bazlı yalıtım malzemeleri ile standardına uygun kalınlıkta kaplamak gerekmektedir.
- Zararlı etkili maddelerin beton içine sızarak hem betona hem de beton içinde gömülü çelik donatıya zarar vermesini önlemek amacıyla betonun geçirimsizliğinin düşük olması gerekmektedir.

- Zararlı etkinin derecesine göre taze beton imalatı sırasında su/çimento oranının olabildiğince düşük tutulması önemlidir. Zayıf zararlı etkinlik derecesi için su/çimento oranı en yüksek 0,60 iken, kuvvetli zararlı etkinlik derecesi için en yüksek 0,50 olmalıdır (TS3440).
- Betonarme boruların entegre contalı olması ve imalatı sırasında donatılar için konan pas paylarının yüksek tutulması suyun betona ve çelik donatıya etkisini azaltacaktır.
- Fabrikada imal edilen betonarme yapıların tam mukavemetini almadan sahaya getirilmemesi önemlidir. Tam mukavemetine hızlı ulaşabilmesi için yeterli sürede buhar kürü yapılmalıdır.
- Sülfatın kuvvetli zararlı etkinliğe sahip olmasından dolayı, imalatla sülfata dayanımlı çimentonun kullanılması gerekmektedir. Yüksek fırın cüruf çimentosu veya uçucu küllü çimento cinsleri tercih edilmelidir (TS3440).
- Kimyasal reaksiyona sebebiyet verme ihtimaline karşılık taze beton imalatında hiçbir kimyasal katkı malzemesinin kullanılmaması gerekmektedir.
- Yağmursuyu altyapısı yapılacak olan havzalarda açık/kapalı drenaj sistemleri ile yeraltı sularının toplanarak alıcı ortama taşınması ile yeraltı su seviyesi daha derinlere çekilebilir. Bu sayede altyapı elemanları hem yeraltı suyunun korozif yapısından korunmuş olur hem de altyapı zemininde bulunan killi malzemenin muhtemel şişme veya oturma risklerini azaltmış olur.
- Zemindeki yeraltı su seviyesi ve siltli kilin hakim olduğu zemin profili düşünüldüğünde, yapılacak olan altyapının yataklama malzemesinin ve serim kalınlığının dikkatli seçilmesini gerektirmektedir. Hendek kazısının zemin ıslahı da göz önüne alınarak daha derin yapılması, hendek tabanındaki su ile temas halinde olan ve taşıma gücü özelliğini kaybetmiş malzemenin kazılarak yerine granüler malzeme ile zemin ıslahı yapılması gerekmektedir. Hendek tabanındaki granüler malzeme filtre vazifesi görerek zemin suyunun içinden hareket etmesini ve bu sayede yatak malzemesinin bozulmamasını sağlayacaktır.
- Zemin ıslah malzemesinin üstüne serilecek olan yataklama malzemesi sıkışabilir özellikte olmalı ve bu tabaka yeterli sıkıştırma işlemine tabi tutulmalıdır.

4.4.1 Altyapı İnşaatlarında Kullanılan İksa Sistemleri

Altyapı inşası sırasında alınacak önlemlerden biri de iksa sistemleridir. İksa sistemleri toprak/zemin kütlelerinin yanal yönde hareketini sınırlayarak onları tutmaya yarayan mühendislik yapılarıdır. Altyapılarda kullanılan iksa türleri zemin ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişir. Pratikte görece iyi zeminler için ahşap iksa, orta derecede zeminler için çelik pano ve zayıf zeminler için palplanş sistemleri kullanılmaktadır. İksa sistemleri altyapı maliyetlerini büyük ölçüde arttırdığı için tüm unsurlar gözetilerek çalışılan zemine ve uygulanan projeye en uygun iksa sisteminin seçilmesi gerekmektedir (Etiz, 2017).

Toprak ve kayadaki kazı çalışmalarında yan yüzeylerin 1,50 m'den yüksek olması durumunda, inşaat temelindeki zemin ve yeraltı su durumuyla gelen yükler göz önünde bulundurularak iksa sistemlerine seçenek olarak kendini tutabilecek biçimde şev açısı verilerek kazı yapılabilir. Şev eğimi ise, zeminin özelliği, inşaat çukuru ve hendeklerin açık bırakılacağı sürenin, kazı içinde ve yakınındaki yüklerin, sarsıntıların da göz önünde tutularak belirlenmelidir (Danacı, 2009).

İnşaat kazıları ve hendekler için genellikle 1,50 m derinliğe kadar herhangi bir emniyet önlemi almadan (şev veya iksa) düşey olarak kazı yapılabilir. Yapı İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne (YİİSGY) göre 1,50 m'yi geçen kazılarda özel emniyet önlemleri alınmalıdır. İller Bankası'ndaki genel uygulamalar bu derinliğe göre olmakla beraber, bazı hallerde daha sığ derinliklerde de iksa uygulaması gerekebilmektedir. İksalı kazılarda genel kural olarak, hendek yan yüzeyleri düşey olmalı ve yapılan iksa kaplamaları ile hendek yan yüzeyleri arasında boşluk bulunmamalıdır. Aksi halde çöküntüler ve şevlenmeler büyüyebilir (Danacı, 2009).

Ahşap iksalar; kazı yapıldıktan sonra kendini bir süre tutan zeminlerde yapılır ve aralıklı ahşap iksa, sık aralıklı ahşap iksa ve tam kaplama olmak üzere üçe ayrılır. Aralıklı ahşap iksa uygulamasında hendek yan yüzeyleri %40 oranında ahşapla kaplanır. Bu oran sık aralıklı ahşap iksada hendek yan yüzeylerinin %70'i olacak şekilde uygulanır. Tam kaplamalı iksada ise yan yüzeylerin tamamı iksa elemanları ile kaplanır (İller Bankası 6. Bölge Müdürlüğü, 2007: 1).

Çelik Pano; ahşap iksalara göre daha zayıf zeminlerde kullanılır. Çelik panolarla yapılan iksa sisteminde belirli ebattaki çelik panolar çelik rayların ortasında yer alan kanala indirilir. Bu sistemde iksa ve kazı çalışmaları paralel bir şekilde ilerler. Çelik pano iksa kullanılmasına karar verilen hatlarda çelik pano iksanın mutlaka iki baca arasını kaplayacak şekilde uygulanması temin edilmelidir.

Çelik palplanş iksa; akıcı davranış gösteren ve yeraltı su seviyesi yüksek dolayısıyla oldukça zayıf zeminlerde uygulanmaktadır. Bu sistemde birbirine geçmeli çelik levhalar, gücünü bağlı bulunduğu ekskavatörden alan hidrolik bir çakıcı tarafından zemine çakılır. Önce çakma işlemi tamamlanır, ardından hendek kazısı yapılır.

Yağmursuyu kollektör hattı, altyapı elemanının boyutlarına göre 2-4 m derinlikte inşa edilecektir. Hendek kazılarının bu derinliklerde genellikle killi malzemeden oluşması, kohezyonlu zeminlerin devamlı malzeme akması şeklinde değil de kütleli kopma şeklinde özellik göstermesinden dolayı çalışma sahasında sık aralıklı ahşap iksa sistemi kullanılması uygundur. Kazı seviyesindeki malzemenin doğal su içeriğinin yüksek olmaması da bu duruma etkindir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Aksaray iline ait 5 ve 6 nolu yağmur suyu deşarj havzalarında 102 adet zemin sondajından elde edilen veriler sayesinde zeminlerin jeoteknik ve hidrojeolojik özellikleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında yararlanılan kaynakların ışığında, zeminlerin fiziksel ve indeks özellikleri ilk UD-örselenmemiş numune seviyesinde incelenmiştir. Zeminler derinliğe bağlı profillerinde genellikle aynı özellikler göstermektedir. Zeminlerin mekanik ve taşıma gücü özelliklerinde ise ilk ve ikinci UD-örselenmemiş numune seviyelerinde incelemeler yapılmıştır. İlk UD seviyesi 1-3 m arasında olup ortalaması 2,6 m'dir. İkinci UD seviyesi ise 4-6 m arasında olup, ortalaması 5,6 m'dir.

İnceleme alanı sınırları içinde gözlenen jeolojik birim alüvyon ve alüvyon konisidir. Zeminler genellikle heterojen yapıda olup, bazı bölgelerde 15 m'ye kadar kum-çakıl arabantlı, grimsi kahve renkli kumlu-siltli-kil; bazı bölgelerde 5 m'ye kadar kahve renkli kumlu-siltli-kil, 15 m'ye kadar grimsi kahve renkli çakıllı-siltli-kum şeklinde profil gösterir.

İnceleme alanındaki zemin sınıfları oranlanırsa, ince taneli zeminlerin oranı %88, iri taneli zeminlerin oranı %12'dir. Tüm zemin numunelerine uygulanan elek analizine göre %67,2 oranında kil ve silt, %25,6 kum ve %7,2 çakıl bulunmaktadır. Zeminlerin ortalama likit limit değeri %43,4, plastik limit %20,9, plastisite indeksi %22,4'dür. Zeminlerin ortalama doğal birim hacim ağırlığı $1,9 \text{ gr/cm}^3$, su muhtevası ortalaması ise %22 oranındadır.

İnce taneli zeminler içinde hakim zemin sınıfı CL, yani düşük plastisiteli kildir. Bunların yanında 3 adet ML – düşük plastisiteli silt, 6 adet CH – inorganik killer sınıfı zeminler bulunmaktadır. İri taneli zeminlerin 8 tanesi kötü derecelenmiş killi kum (SC), 4 tanesi kötü derecelenmiş siltli kum (SM), bir tanesi ise killi çakıl (GC) sınıfı zeminlerdir.

İndeks özelliklerine göre zeminler plastik ve orta kuru dayanıma sahiptir. İnce taneli zeminler sert-çok sert kıvamda, likitlilik indeksi plastik-katı özelliktedir. İnceleme alanındaki killerin %95'i aktif olmayan killer sınıfındadır. Zeminler büyük oranda orta sıkışabilir özelliktedir. Bir kısmı da yüksek sıkışabilir özelliktedir.

Yağmur suyu kollektör hatları cazibeli (eğimli) döşenen yapılar olduğu için, zeminde meydana gelebilecek oturma ve şişmelerden olumsuz etkilenmektedir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olması, bölgedeki zeminlerin yüksek oranda kil içermesi ve yağmur suyu altyapı elemanlarının 300-4500 kg aralığında ağır betonarme yapılar olması, oturma ve şişme potansiyellerinin detaylı incelenmesini gerektirmektedir. Oturma ve/veya şişme sebebiyle eğimi bozulan altyapı elemanlarının eklem bölgelerinde ayrılmalar ve çökmeler meydana getirmektedir. İnceleme alanındaki zeminlerin %75'i orta ve düşük, %25'i ise yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Zeminlerin şişme risklerine karşı tedbirler alınmalıdır. Alınması gereken tedbirlere son maddede değinilmiştir.

Zeminlerin taşıma gücü hesapları 3 farklı yöntem ile yapılmıştır. Üç eksenli basınç testinden elde edilen veriler yardımıyla Terzaghi (1943) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) yöntemleri ile emniyetli taşıma gücü hesabı yapılmıştır. Arazide yapılan Standart Penetrasyon Testi (SPT) verileri ile de taşıma gücü hesaplanmıştır. Hesaplamalar hem 1-3 m derinliği temsil eden UD-1 seviyesinde, hem de 4-6 m derinliği temsil eden UD-2 seviyesinde yapılmıştır. Ayrıca hesaplamalarda hem zemin etüdü yapılan bina temel ebatları baz alınarak radye temel tipi, hem de yapılacak yağmursuyu altyapı elemanlarının boyutları baz alınarak şerit temel hesaplamaları yapılmıştır.

Radye temel tipine göre UD-1 seviyesinde yapılan Terzaghi (1943) yöntemine göre emniyetli taşıma gücü ortalamaları $1,69 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. En yüksek $2,70 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $1,00 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre yapılan hesaplarda ortalama taşıma gücü $3,81 \text{ kg/cm}^2$, en yüksek $7,13 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $2,61 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Radye temel tipine göre UD-2 seviyesinde yapılan Terzaghi (1943) yöntemine göre emniyetli taşıma gücü ortalamaları $1,81 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. En yüksek $2,39 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $1,19 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Aynı seviyede TBDY göre yapılan hesaplarda ortalama taşıma gücü $3,56 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. En yüksek $4,70 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $2,20 \text{ kg/cm}^2$ 'dir.

Şerit temel tipine göre UD-1 seviyesinde Terzaghi (1943) yöntemine göre emniyetli taşıma gücü değerleri, en yüksek $3,07 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $1,00 \text{ kg/cm}^2$, ortalama $1,36 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Aynı seviyede TBDY yöntemine göre yapılan emniyetli taşıma gücü değerleri en yüksek $6,30 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $2,01 \text{ kg/cm}^2$, ortalama $3,23 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Şerit temel tipine göre UD-2 seviyesinde Terzaghi (1943) yöntemine göre emniyetli

taşıma gücü değerleri, en yüksek $1,92 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $0,85 \text{ kg/cm}^2$, ortalama $1,21 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. Aynı seviyede TBDY yöntemine göre yapılan emniyetli taşıma gücü değerleri en yüksek $4,13 \text{ kg/cm}^2$, en düşük $1,73 \text{ kg/cm}^2$, ortalama $2,92 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. TBDY yöntemi ile yapılan hesaplamanın Terzaghi (1943) yöntemine göre yapılan hesaplara oranla yaklaşık 2 katı yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi yapılan hesaplamalarda alınan güvenlik katsayısı Terzaghi (1943) yöntemi için 3 iken, TBDY yöntemi için 1,4 olmasıdır. Yönetmelik 2018 yılı içinde yayımlanmış, 2019 yılında ise yürürlüğe girmiştir. Aksaray Belediyesi taşıma gücü hesapları 2019 yılından itibaren ilgili yönetmeliğe göre yapılmaktadır.

Laboratuvar ortamında elde edilen veriler sayesinde yapılan taşıma gücü hesabının yanı sıra sahada yapılan standart Penetrasyon testi ile de taşıma gücü hesaplanabilmektedir. SPT deneyine göre yapılan hesaplamada ortalama taşıma gücü $0,48 \text{ kg/cm}^2$ 'dir. SPT sonucu elde edilen taşıma gücü değeri, baz alınan TBDY taşıma gücü hesabına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.

Çalışma sahasındaki zeminlerin sıvılaşma potansiyelini incelemek amacı ile bölgeyi temsil eden 50 adet sondajın jeoteknik verileri kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli indeksinin (LPI) belirlenmesinde Iwasaki vd. (1982) yöntemi kullanılmıştır. Sıvılaşma potansiyeli indeksi Iwasaki vd. (1982) tarafından sondaj lokasyonu için çoklu tabakaları oluşturan düşey zemin kolonunun yüzeyden 20 m'ye kadar olan sıvılaşma potansiyelini hesaplamak için geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında sıvılaşma potansiyelinin incelenmesinde senaryo deprem olarak 6 ve 7 (Ms) büyüklüğü alınmıştır. 6 (Ms) büyüklükteki deprem senaryosuna göre hesaplanan sıvılaşma potansiyeli indeks değerleri en yüksek 3,62, en düşük 0 olmak üzere ortalama 0,29'dur. 7 (Ms) büyüklükteki deprem senaryosuna göre hesaplanan sıvılaşma potansiyeli indeks değerleri en yüksek 10,62, en düşük 0 olmak üzere ortalama 1,37'dir. Çalışmanın 6 (Ms) büyüklüğündeki deprem senaryosundaki sıvılaşma potansiyeline bakıldığında 8 tane zeminde düşük sıvılaşma potansiyelinin olduğu görülmektedir. 7 (Ms) büyüklüğündeki deprem senaryosuna göre ise zeminlerin 4 tanesinde orta, 16 tanesinde düşük ve kalan 30 tanesinde ise çok düşük sıvılaşma potansiyelinin olduğu görülmektedir.

İnceleme alanındaki zeminlerin 6 tanesinde yeraltı suyuna rastlanmamıştır. Diğer 96 zeminin yeraltı su derinliği ortalama 4,5 m'dir. Yeraltı suları 2,1 m – 7,5 m arasında

değişen derinliklere sahiptir. Yeraltı sularının bu kadar yüzeye yakın olması, suyun betonarme yapılara karşı korozyon içeriğinin detaylı incelenmesini gerektirmektedir. İnceleme alanındaki 26 adet sondajdan alınan yeraltı sularının laboratuvar ortamında pH, Kireç Çözücü (CO_2), Amonyum (NH_4^+), Magnezyum (Mg^{+2}), ve Sülfat (SO_4^{-2}) değerleri belirlenmiş, bu parametrelerin zararlı etkinlik dereceleri TS3440 standardına göre incelenmiştir. Yeraltı suları özellikle inceleme alanının güney ve doğu bölgelerinde CO_2 ve SO_4^{-2} açısından yüksek risk içermektedir.

Yeraltı sularının pH değerleri ortalaması 7,44'tür. pH değeri 6,5'ten küçük bir yeraltı suyu bulunmamaktadır. Yeraltı sularının %55'i karbondioksit açısından zararlı etkinlik derecesine sahiptir. Bunların %12'si çok kuvvetli, %27'si kuvvetli ve %16'sı zayıf derecede zararlı etkinlik derecesine sahiptir. Yeraltı sularının amonyum içeriği ortalama 0,645 mg/L'dir. Herhangi bir zararlı etkinlik derecesine girmemektedir. Magnezyum ortalaması 80,4 mg/L'dir. %80'inde Magnezyum açısında zararlı etki bulunmamaktadır. %20'sinde zayıf derecede zararlı etkinliğe sahiptir. Yeraltı sularının sülfat değeri ortalama 373 mg/L'dir. İnceleme alanındaki suların %20'si kuvvetli, %58'i zayıf derecede zararlı etkinliğe sahiptir.

Çalışma sahasında yeraltı su seviyesi ortalama 4,5 m derinliktedir. Yapılacak olan yağmur suyu alt yapısının en fazla 4 m derinliğe inşa edileceği düşünüldüğünde bazı bölgelerde betonarme altyapı elemanları sürekli yeraltı suyu ile temas halinde olacaktır. Bölgedeki yeraltı sularında bulunan magnezyum miktarı zayıf, sülfat miktarı kuvvetli, karbondioksit miktarı ise çok kuvvetli zararlı etkinlik derecesindedir. Ayrıca altyapı temelleri genellikle siltli kil seviyelere denk gelmektedir ve inceleme alanındaki zeminlerin %75'i orta ve düşük, %25'i ise yüksek şişme potansiyeline sahiptir. Bu sebeplerle fabrika üretimi olarak satın alınan betonarme boruların imalatında ve altyapı inşası sırasında bazı önlemler alınmalıdır:

- Yeraltı sularının betonarme yapılar ile temasını kesmek için, imalatı yapılan altyapı elemanlarının bitüm bazlı yalıtım malzemeleri ile standardına uygun kalınlıkta kaplamak gerekmektedir.
- Zararlı etkili maddelerin beton içine sızarak hem betona hem de beton içinde gömülü çelik donatıya zarar vermesini önlemek amacıyla betonun geçirimsizliğinin düşük olması gerekmektedir.

- Zararlı etkinin derecesine göre taze beton imalatı sırasında su/çimento oranının olabildiğince düşük tutulması önemlidir. Zayıf zararlı etkinlik derecesi için su/çimento oranı en yüksek 0,60 iken, kuvvetli zararlı etkinlik derecesi için en yüksek 0,50 olmalıdır (TS3440).
- Betonarme boruların entegre contalı olması ve imalatı sırasında donatılar için konan pas paylarının yüksek tutulması suyun betona ve çelik donatıya etkisini azaltacaktır.
- Fabrikada imal edilen betonarme yapıların tam mukavemetini almadan sahaya getirilmemesi önemlidir. Tam mukavemetine hızlı ulaşabilmesi için yeterli sürede buhar kürü yapılmalıdır.
- Sülfatın kuvvetli zararlı etkinliğe sahip olmasından dolayı, imalatla sülfata dayanımlı çimentonun kullanılması gerekmektedir. Yüksek fırın cüruf çimentosu veya uçucu küllü çimento cinsleri tercih edilmelidir (TS3440).
- Kimyasal reaksiyona sebebiyet verme ihtimaline karşılık taze beton imalatında hiçbir kimyasal katkı malzemesinin kullanılmaması gerekmektedir.
- Yağmursuyu altyapısı yapılacak olan havzalarda açık/kapalı drenaj sistemleri ile yeraltı sularının toplanarak alıcı ortama taşınması ile yeraltı su seviyesi daha derinlere çekilecektir. Bu sayede altyapı elemanları hem yeraltı suyunun korozif yapısından korunmuş olacak hem de altyapı zemininde bulunan killi malzemenin muhtemel şişme veya oturma risklerini azaltacaktır.
- Zemindeki yeraltı su seviyesi ve siltli kilin hakim olduğu zemin profili düşünüldüğünde, yapılacak olan alt yapının yataklama malzemesinin ve serim kalınlığının dikkatli seçilmesini gerektirmektedir. Hendek kazısının zemin ıslahı da göz önüne alınarak daha derin yapılması, hendek tabanındaki su ile temas halinde olan ve taşıma gücü özelliğini kaybetmiş malzemenin kazılarak yerine granüler malzeme ile zemin ıslahı yapılması gerekmektedir. Hendek tabanındaki granüler malzeme filtre vazifesi görerek zemin suyunun içinden hareket etmesini ve bu sayede yatak malzemesinin bozulmamasını sağlayacaktır.
- Zemin ıslah malzemesinin üstüne serilecek olan yataklama malzemesi sıkışabilir özellikte olmalı ve bu tabaka yeterli sıkıştırma işlemine tabi tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Akıl, B., 2008. İnönü - Eskişehir Fay Sistemi'nin Günyüzü (Eskişehir) - Yeniceoba (Konya - Türkiye) arasındaki bölümünün yapısal evrimi, Doktora tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Akkuş, M., 2009. Keçikalesi (Aksaray) volkaniklerinin petrolojisi ve jeokimyası, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Arıkan, Y., 1975. Tuz Gölü havzasının jeolojisi ve petrol imkanları, MTA Dergisi, 85, 17-37.
- ASTM D422, 2007. Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, USA.
- Atabey, E., Tarhan, N., Yusufoglu, H. ve Canpolat, M., 1988. Hacıbektaş, Gülşehir, Kalaba (Nevşehir) - Himmetdede (Kayseri) arasındaki jeolojisi, MTA Raporu, Derleme No. 8523, (yayımlanmamış).
- Batum, J., 1978. Nevşehir Güneybatısındaki Göllüdağ ve Acıgöl Yöresi Volkanitlerinin jeolojisi ve petrografisi, Yerbilimleri, 4, 1-2, 59-69.
- Beekman, P. H., 1966. Hasandağı-Melendizdağı bölgesindeki Pliosen ve Kuvaterner volkanizma faaliyetleri, MTA Dergi, 66, 88-104.
- Bowles, J. E., 1988. Foundation Analysis and Design, McGraw Hill, 4th Edition, Singapore.
- Buchardt, W.S., 1954. Geology of Central Anatolia: MTA Rap., 2675, Ankara, (yayımlanmamış).
- Burmister, D.M., 1951. Identification and classification of soil an apprasial and statement of principles, ASTM STP 113, American Society for Test and Material, Philadelphia.
- ÇDR, 2018. Aksaray ili 2018 yılı çevre durum raporu. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı raporu.
- Coşkun, D., 2016. Aksaray İli zeminlerinin jeoteknik özellikleri arasındaki ilişkiler, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray
- Danacı, H. 2009, Kanalizasyon inşaatlarında iksa sistemleri, çelik palplanş iksa uygulamaları, İller Bankası Kanalizasyon Daire Başkanlığı Zemin Mekaniği Uygulamaları Eğitim Semineri, Ankara, 2-9.
- Duru, G., 2006. Ziga – Yaprakhisar (Aksaray) sıcak ve mineralli kaynak alanlarındaki traverten çökeliminde etkili olan faktörlerin su kimyası ve izotopik yöntemlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

- Er, B., 2002. Aksaray ili merkezinin zemin ve mühendislik jeolojisi özelliklerini değerlendirerek örnek bir jeoteknik veri tabanının hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Erler, A. ve Bayhan, H., 1995. Orta Anadolu Granitoidlerin genel değerlendirilmesi ve sorunları, *Yerbilimleri*, 17, 49-67.
- Erol, O., 1969. Tuzgölü Havzasının jeolojisi ve jeomorfolojisi. Tübitak Raporu (Yayınlanmamış).
- Etiz, M.C., 2017. Altyapı işlerinde kullanılan iksa türlerinin performans ve yaklaşık maliyet açılarından karşılaştırılması, Uzmanlık Tezi, İller Bankası Anonim Şirketi, Ankara.
- Gevrek, A.İ., 1997. Aksaray doğusu İhlara Derinkuyu yöresindeki volkanik lastiklerin sedimantolojisi, Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Gibbs, H. J. VE Holtz W. G., 1957. Research on determining the density of sands by spoon penetration testing, *Proc. 4th. ICSMFE*, London, 1, 35 - 39.
- Göçmez, G., 1997. Aksaray sıcak ve mineralli su kaynaklarının Hidrojeoloji incelemesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Göncüoğlu, M. C., 1977, *Geologie des Westlichen Niğde Massiv*, Ph.D. Thesis, Bonn Univ.
- Göncüoğlu, M. C., Toprak, V., Kuşçu, İ., Erler, A., ve Olgun, E., 1991. Orta Anadolu Masifi batı bölümünün jeolojisi, Bölüm 1: Güney Kesim. TPAO Rapor No: 2909.
- Göncüoğlu, M. C., Yalınız, K., Parlak, O. ve Floyd, P. A., 1997. Orta Anadolu Ofiyolitlerinin genel jeolojik özellikleri, *Ç. Ü. Jeo. Müh. Egtm. 20. Yılı Sempozyumu*, Adana, Bildiriler Kitabı, 59-60.
- Güllü, B., 2003. Mamasun Yöresi (Aksaray) magmatik kayalarının jeolojik, petrografik ve jeokimyasal incelemesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Işık, F., 2000. Ekecekeniköy-Mamasun (Aksaray), Yeşilhisar (Kayseri) arasının jeolojisi ve gabroyik-granitoidik kayaların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal incelenmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- İller Bankası 6. Bölge Müdürlüğü 2009, Ahşap iksa uygulamaları, İller Bankası 6. Bölge Müdürlüğü, Konya, 1.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S. and Sato, H., 1982. Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, *Proceedings of the 3rd International Conference On Microzonation*, Seattle, 3,

1310-1330.

Kadioğlu, Y. K., 1991. Geology, petrography and geochemistry of Ağaören (Aksaray) magmatic rocks, Yüksek Lisans Tezi, O.D.T.U., Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kavurmacı, M. M., 2013. Şereflikoçhisar havzası yeraltı sularının hidrojeolojik ve hidrokimyasal açıdan incelenmesi ve bölgedeki tuzlusu girişiminin çevresel etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.

Kavurmacı, M. M., ve Üstün, A. K., 2016. Assessment of groundwater quality using DEA and AHP: a case study in the Sereflikochisar region in Turkey, Environmental monitoring and assessment, 188, 4, 1-13.

Kavurmacı, M. M., 2016. Coğrafi bilgi sistemi (CBS) kullanılarak sıvılaşma riskinin değerlendirilmesi: Aksaray örneği, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 3, 304.

Ketin, İ., 1963. 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, Kayseri Paftası İzahnamesi, M.T.A. Yayını, 83.

Kürçer, A. ve Gökten Y. E., 2014. Tuz Gölü fay zonunun Neotektonik dönem özellikleri, depremselliği, geometrisi ve segment yapısı, MTA Dergisi, 149, 19-69.

Lahn, E., 1940. Niğde vilayetinin Aksaray kazasında yapılan maden araştırmalarına dair rapor, MTA Rap. No: 1207, Ankara.

Leonards, G.A., 1962. Foundation engineering, Mc Garw Hill Book Comp. New York, 1136.

Mithchell, J.K., 1976. Fundamentals of soil behavior, ISBN, 0-471- 61168-9 John Willey and Sons Inc., New York.

Naimi, S. ve Özdemir, Z., 2020. Yapılarda yeraltı suyuna karşı yapılan koruma sistemlerinin uygulanabilirliği ve güvenliğinin incelenmesi, Aurum Mühendislik Sistemleri ve Mimarlık Dergisi, 4, 1, 113-123.

Okay, A. C., 1954. Kayseri-Niğde Tuz Gölü arasında jeolojik etüt MTA Rap., No: 2252, Ankara.

O'Neil, M. W. and Poormoayed, N., 1980. Methodology for foundations, on expansive, clays, journal of geotechnical engineering, Division, American Society of Civil Engineers, 106, GT12, 1345-1367.

ÖÇKB, 2010. Tuz Gölü özel çevre koruma bölgesi su kaynakları yönetim planı sonuç raporu, Özel Çevre Koruma Kurulu Başkanlığı Yayınları, 279, Ankara.

- Önalp A., 2002. Geoteknik bilgisi 1 ve çözümlü problemlerle zeminler ve mekaniği, Birsen Kitapevi, İstanbul, 408.
- Özaydın, C. M., 2004. Aksaray katı atık sahasındaki yeraltı suyu kirlenmesinin jeoelektrik ve hidrokimyasal yöntemlerle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Özcan, S., 2009. Aksaray-Doğantarla ve Konya-Kulu bölgelerinde üst miyosen yaşlı jeolojik serilerin sedimantolojik ve mineralojik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Özdemir, N., 2007. Ihlara kasabasının zemin özelliklerinin jeolojik-jeoteknik-jeofizik yöntemlerle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Pasquare, G., Poli, S., Vezzoli, L. ve Zanchi, A., 1988. Continental arc volcanism and tectonic setting in Central Anatolia, Turkey, Tectonophysics, 146, 1, 217-230.
- Postalcioglu, B., 1975. Yapı malzemesi dersleri, bağlayıcı maddeler, agregalar, beton, İTÜ, İnşaat Fakültesi, İstanbul
- Seed, H. B., Woodward R. J., and Lundgren R., 1962. Prediction of swelling potential for compacted clays, journal of soil mechanics and foundation Dis., ASCE, 88, 53-87.
- Seymen, I., 1981. Kaman (Kırşehir) dolayında Kırşehir Masifi'nin stratigrafisi ve metamorfizması, Türkiye Jeol. Kur. Bült., 24, 101, 108.
- Skempton, A.W., 1953. The colloidal activity of clays, Proceedings of Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Switzerland, Aug 1953, 1, 57-61.
- Sowers, G. B. ve Sowers, G. F., 1979. Introductory soil mechanics and foundations, Mc Millan.
- Şekercioğlu E., 1998. Yapıların projelendirilmesinde mühendislik jeolojisi, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, No:28, Ankara.
- Şekercioğlu, T., 2001. Yapıştırma bağlantılarının dinamik yükler altındaki davranışlarının incelenmesi, Doktora Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Şengör, A. M. C. ve Yılmaz, Y., 1981, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: Tectonophysics, 75, 181 - 241.
- Şimşek, Z., 2005. Yapı yeraltı kabuğunda su ve nem sorunlarının geçirimsiz malzeme ile giderilmesinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.

- Taşpınar, M., 2015. Ihlara Vadisi (Aksaray) boyunca kaya düşmelerinin değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Teke, M., 2002. Aksaray ili, Bahçeli kent toplu konut alanı zeminlerinin jeoteknik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Terzaghi, K., 1943. “Theoretical Soil Mechanics” Wiley, New York. ve Peck, R.B., 1948. “Soil Mechanics İn Engineering Practice” Wiley, 729, New York.
- Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1948) Soil mechanics in engineering practice, John Wiley.
- Tromp, W. 1942. Kayseri – Niğde – Tuzgölü arasının jeolojisi, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Rap. No: 1456, (basılmamış).
- TS 821 EN 1916, 2005. Beton borular ve bağlantı parçaları – donatısız, çelik lifli ve donatılı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3440, 2014. Zararlı kimyasal etkileri olan su, zemin ve gazların etkisinde kalacak betonlar için yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turkish Gulf Oil Co., 1961. Orta Anadolu’da Tuz Gölü baseninin bölgesel jeolojisi ve yapılan petrol aramaları, Petrol Faaliyeti, 31-33.
- Türel, T. K., Göncüoğlu, M. C. ve Akıman, O., 1993. Ekecikdağı Granitoidinin petrolojisi ve kökeni (Orta Anadolu kristalen kütlesi batısı), MTA Dergisi 115, 15-28
- Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, RG: 18.03.2018 – 30364
- Ulu, Ü., Bulduk, A. K., Saçlı, L., Ekmekçi, E., Taşkiran, M. A., Karakaş, M., Adır, M., Öcal, H., Sözeri, Ş., Arbaş, A. ve Karabıyıkoglu, M., 1994. İnlice-Akkise ve Cihanbeyli-Karapınar alanının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Derleme Rapor No: 9720, Ankara.
- Ulucan, A. ve Ünlü, A., 2001. Sudaki karbondioksit, sülfat, amonyum iyon derişimlerinin beton boruların tepe basınç yüküne etkisinin araştırılması, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası yayınları, 1, 2, 40-47.
- Ulusay, R., 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 38, 385.
- Uzuner, B. A., 1985. Yapılarda oturma ve önemi, Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi III. Mühendislik Haftası, 4-26.
- Ünlütürk, H., 2000. Tuz Gölü Haymana Havzası’nın yeniden değerlendirilmesi, TPAO rapor no; 4082, Ankara.

- Van der Merwe, D. H., 1964. The Prediction of heave from the plasticity index and the percentage clay fraction of soils, Civil. Eng., South Africa, 103-107.
- Varol, S., Davraz, A. ve Varol, E., 2008. Yeraltı su kimyası ve sağlığa etkisinin tıbbi jeoloji açısından değerlendirilmesi, TAF Preventive Medicine Bulletin 2008:7(4), Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tıp Fakültesi, Isparta, 351-356.
- Yalcin, A., Gokceoglu, C. ve Sönmez, H. 2008. Liquefaction severity map for Aksaray city center (Central Anatolia, Turkey). Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 4, 641-649.
- Yaşar M., Uygun, A., Erkan, M. C., Baş, H., Çelik, E., Aygün, M., Bilgiç, T., Kayakıran, S. ve Ayok, R. 1982. Tuz Gölü havzası projesi, MTA Raporu, 2 (basılmamış).
- Yeşilyurt, F. İ., 1999. Hasandağı batısı (Aksaray) kuvaterner volkanitlerinin mineralojisi ve petrografisi / Mineralogy and petrography of quaternary volcanics of the western portion of Hasandağ (Aksaray), Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yıldız, M., Yeken, T. ve Onak, A., 2002. Aksaray civarının jeolojisi ve Aksaray Belediyesi Bahçeli kent toplu konut alanı zemin özelliklerinin jeofizik ve jeoteknik değerlendirmesi. Aksaray Belediyesi Teknik Rapor, 41. (Yayınlanmamış).
- Yıldızhan, F., 2007. Aksaray ili holosen yaşlı çökellerin jeolojik-jeoteknik incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Yılmaz, A., 2011. Alüminyum Eloksal çamurunun hazır beton katkı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz H. M., Yakar M., Karabörk H., Yıldız F. ve Kavurmacı M. 2009. Kapadokya (Selime-Aksaray) bölgesindeki doğal sit alanındaki değişimlerin yersel lazer tarama teknoloji kullanılarak üç boyutlu modelleme ile belirlenmesi, TÜBİTAK proje raporu, Proje no:106M057, 85 sayfa (yayınlanmamış).
- Yılmaz, H. M., Yakar, M., Mutluoğlu, O., Kavurmacı, M. M. ve Yurt, K., 2012. Monitoring of soil erosion in Cappadocia region (Selime-Aksaray-Turkey), Environmental Earth Sciences, 66, 1, 75-81.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Berker GÖKTAŞ

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi Jeoloji
Mühendisliği Bölümü, 2001-2006

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLERİ

1. 2014 – AKSARAY BELEDİYESİ
Su ve Kanalizasyon Müdürlüğü / TÜRKİYE
JEOLOJİ MÜH. / MÜDÜR YARDIMCISI
2. 2012 – 2014 ENKA İNŞAAT
Erbil Kombine Çevrim Enerji Santali Projesi / K.IRAK
KALİTE KONTROL KISIM ŞEFİ
3. 2012 - 2012 DEMYOL İNŞAAT (FERNAS-METGÜN JV)
Ankara-Adana Double Yol Yenileme Çalışması / TÜRKİYE
KALİTE KONTROL ŞEFİ
4. 2011 – 2012 KOLİN İNŞAAT
Hacıqabul-Horadiz Otoyolu Rehabilitasyon Çalışması
AZERBAYCAN
KALİTE KONTROL ŞEFİ
5. 2010 – 2011 SERA MÜHENDİSLİK
Çeşitli Zemin Etüt ve Jeoteknik Projeleri ve Maden Arama /
TÜRKİYE
İŞVEREN / FİRMA ORTAĞI
6. 2007 – 2009 BECHTEL-ENKA JOINT VENTURE
Bechtel-Enka Joint Venture Arnavutluk Otoyol Projesi/
ARNAVUTLUK
KALİTE KONTROL MÜHENDİSİ
7. 2007 – 2007 GEDİK MÜHENDİSLİK ve LABORATUVAR HİZM.
Ankara-Konya Hızlı Tren Projesi 1.Aşama / TÜRKİYE
KALİTE KONTROL MÜHENDİSİ

TEZDEN ÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER

1. International Online Conferences On Engineering and Natural Sciences (IOCENS'21) – Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Konferansı