

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**





KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında
Ceren URSAVAŞ Tarafından Hazırlanan

AYDIN-BUHARKENT JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ
TEMEL ZEMİNİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

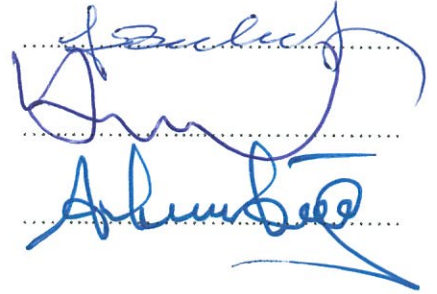
başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 21 / 05 / 2019 gün ve 1805 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. Fikri BULUT

Üye : Doç. Dr. Hakan ERSOY

Üye : Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ



Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

“Aydın-Buharkent Jeotermal Enerji Santrali Temel Zemininin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek lisans çalışmamı yapmama öncülük eden, bilgilerini ve tecrübelerini paylaşmayı esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Fikri BULUT’a teşekkür ederim.

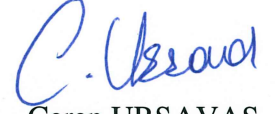
Lingaz Elektrik Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.’ye gerekli bilgi ve dökümanları kullanmam hususunda yardımlarından dolayı teşekkür ederim. Çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübeleri ile bana destek olan Su Yapı Mühendislik & Müşavirlik A.Ş.’den mesai arkadaşım Jeoloji Mühendisi Eylem GÖKYAY’a teşekkür ederim.

Hayatımın her döneminde yanımda olan ve desteğini benden hiçbir zaman esirgemeyen annem Suzan URSAVAŞ’a ve babam Ahmet Rıza URSAVAŞ’a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Ceren URSAVAŞ
Trabzon 2019

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Aydın-Buharkent Jeotermal Enerji Santrali Temel Zemininin Jeoteknik Özelliklerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Fikri BULUT’ un sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 13/06/2019


Ceren URSAVAŞ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri	2
1.3.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler.....	2
1.3.2. Projeye Ait Bilgiler.....	5
1.3.3. İmar Planı Durumu	8
1.3.4. Önceki Çalışmalar	8
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR	9
2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik Çalışmalar	9
2.2. Yerinde Deneyler.....	9
2.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	9
2.2.2. Presiyometre Deneyi (PMT).....	10
2.3. Zemin Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları	20
2.3.1. Su İçeriği	20
2.3.2. Kıvam Limitleri (Atterberg Limitleri) Deneyi	21
2.3.3. Doğal Birim Hacim Ağırlık.....	22
2.3.4. Elek Analizi	22
2.3.5. Serbest Basınç Dayanımı.....	23
2.4. Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları	25
2.4.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı	25
2.4.2. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi	26

3.	BULGULAR	28
3.1.	Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Jeolojisi	28
3.2.	Stratigrafik Jeoloji	30
3.2.1.	Menderes Masifi Metamorfikleri.....	30
3.2.2.	Denizli Grubu	31
3.2.3.	Kızılburun Formasyonu.....	31
3.2.4.	Sazak Formasyonu.....	32
3.2.5.	Kolonkaya Formasyonu.....	33
3.2.6.	Tosunlar Formasyonu	34
3.2.7.	Alüvyon	34
3.3.	İnceleme Alanının Mühendislik Jeolojisi	37
3.4.	Arazi Araştırmaları ve Yerinde Deneyler.....	37
3.4.1.	Zemin Birimlerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi.....	43
3.4.2.	Zemin Birimlerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	45
3.4.3.	Kaya Birimlerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi	45
3.5.	Mühendislik Analizleri ve Değerlendirme	48
3.5.1.	Taşıma Gücü.....	48
3.5.2.	Oturma Miktarı	49
3.5.3.	Yatak Katsayısı.....	51
3.5.4.	Kazı Şevlerinin Stabilitesi	53
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	57
5.	KAYNAKLAR.....	60
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AYDIN-BUHARKENT JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ TEMEL ZEMİNİNİN JEOTEKNİK ÖZELLİKLERİNİ ARAŞTIRILMASI

Ceren URSAVAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Fikri BULUT
2019, 62 Sayfa

Türkiye önemli bir jeotermal potansiyeli olan Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerindedir. Bundan dolayı; jeotermal enerji, Türkiye için önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Özellikle büyük enerji tüketimi olan ve az sayıda jeotermal santral bulunan Batı Anadolu’da jeotermal enerji kullanımı sayesinde yerli enerji üretimi artmakta ve enerji ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu tez çalışması kapsamında Aydın-Buharkent Jeotermal Enerji Santral yerinde 12 adet sondaj kuyusu açılmış ve bu sondajlarda yerinde deneyler (standart penetrasyon deneyi ve presiyometre deneyi) yapılmıştır. Yapılan deneylerden alınan numuneler laboratuvara gönderilmiş zemin mekaniği deneyi (su içeriği, kıvam limitleri, doğal birim hacim ağırlık, elek analizi, serbest basınç dayanımı) ve kaya mekaniği deneyleri (tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yükleme dayanımı) gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen verilere göre birimlerin taşıma gücü, oturma miktarı, yatak katsayısı belirlenmiş, stabilite analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda; elektrik üretmek amacıyla inşa edilmesi planlanan Aydın-Buharkent Jeotermal Enerji Santral yerinde yapılan “zemin etütleri ve sonuçları” mühendislik jeolojisi açısından değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Zemin etüdü, Presiyometre deneyi, Standart penetrasyon deneyi, Taşıma gücü, Oturma miktarı, Stabilite analizi

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF GEOTECHNICAL PROPERTIES OF FOUNDATION SOIL OF
AYDIN-BUHARKENT GEOTHERMAL ENERGY POWER PLANT

Ceren URSAVAŞ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Geological Engineering Graduate Programme
Supervisor: Prof. Dr. Fikri BULUT
2019, 62 Pages

Turkey is geographically located on the Alpine-Himalayan orogenic belt which has important geothermal energy potential. Therefore, geothermal energy can be considered as an important renewable energy source for Turkey. In Western Anatolia, the energy requirement is great, while the number of Geothermal Energy Power Plant is insufficient. By means of using geothermal energy the local energy production is increasing and energy requirement can be supplied. In the scope of this thesis, twelve number of boreholes were drilled in Aydın-Buharkent Geothermal Energy Power Plant and in-situ tests (standard penetration test and pressuremeter test) were performed. On the samples taken the soil mechanics tests (water content, atterberg limits, natural unit weight, sieve analysis, unconfined compressive strength) and rock mechanics tests (uniaxial compressive strength and point load strength index) were performed. According to the data obtained from the tests, the bearing capacity, the amount of settling, the coefficient of soil reaction were determined and the stability analysis were done. In this context, according to the soil investigation and results performed at the location of Aydın-Buharkent Geothermal Energy Power Plant, which is planned to be constructed for the purpose of generating electricity, were evaluated in terms of engineering geology.

Key Words: Soil investigation, Pressuremeter test, Standard penetration test, Bearing capacity, Amount of settling, Stability analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası	4
Şekil 1.2. İnceleme alanı uydu görüntüleri	5
Şekil 1.3. Limgaz jeotermal enerji santraline ait genel yerleşim planı.....	6
Şekil 2.1 Presiyometre deneyi basınç-hacim grafiği ve bölümleri (URL-7, 2019).....	11
Şekil 2.2. Temel şekilleri ve zemin tiplerine göre k katsayısı (Baquelin vd., 1978).....	14
Şekil 2.3. Derin temel ve sığ temelde limit basınçlar (Baquelin vd., 1978).....	15
Şekil 2.4. Oturma hesabı için temel altında oluşturulan varsayımsal tabakalar (Baquelin vd., 1978).....	17
Şekil 2.5. Küresel (A) ve deviatorik (B) gerilme bölgeleri (Baquelin vd., 1978).....	17
Şekil 2.6. Oturma artış oranı (Baquelin vd., 1978)	18
Şekil 2.7. Serbest basınç deneyi Mohr dairesi.....	24
Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Sözbilir vd., 2016) ...	29
Şekil 3.2. İnceleme alanının litostratigrafik kolon kesiti (Sözbilir vd., 2016)	36
Şekil 3.3. İnceleme alanı genelleştirilmiş zemin profili	37
Şekil 3.4. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondaj lokasyonları	39
Şekil 3.5. Şev stabilite analizi kesit hattı (ST1-ST1')	54
Şekil 3.6. Kısa dönem şev stabilite analizi	56

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. JES ünitelerinin öngörülen özellikleri	7
Tablo 2.1. E_M/P_L oranı ile ilgili bir katsayı (α).....	12
Tablo 2.2. Zemin cinslerine göre k katsayıları (Gürsoy, 2008).....	13
Tablo 2.3. Temeller için kullanılan şekil faktörleri (Baquelin vd., 1978).....	18
Tablo 2.4. Zemin cinsine bağlı olan reolojik katsayı değerleri (Baquelin vd., 1978).....	19
Tablo 2.5. Kaya türüne bağlı olan reolojik katsayı değerleri (Baquelin vd., 1978).....	19
Tablo 2.6. Casagrande cihazı ile likit limit deney grafiği	21
Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarının bilgileri.....	40
Tablo 3.2. İnceleme alanında yapılan SPT deneyinde elde edilen SPT- N_{30} değerleri.....	41
Tablo 3.3. Presiyometre deney sonuçlarından elde edilen jeoteknik parametreler	42
Tablo 3.4. Zeminlerin indeks- fiziksel özellikleri	43
Tablo 3.5. Zeminlerin mekanik özellikleri	45
Tablo 3.6. Kaya mekaniği deney sonuçları	45
Tablo 3.7. Sondajlardan alınan örneklerin nokta yük dayanım değerleri.....	46
Tablo 3.8. Kayaçların nokta yük dayanım indeksi sonuçlarına göre sınıflaması (Bieniawski, 1975).....	46
Tablo 3.9. Sondajlardan alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri	47
Tablo 3.10. Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaçların sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).....	47
Tablo 3.11. JES ünitelerinin temel zeminine ait zemin emniyet gerilmesi, oturma miktarı ve yatak katsayısı hesabı sonuçları	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Tablo 3.12. Laboratuvar deneyi ve presiyometre deneylerinden türetilen parametreler...55	55
Tablo 3.13. Şev stabilite analizinde kullanılan parametreler	55

SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Numunenin kesit alanı
B	: Temel genişliği
c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma direnci
D	: Numune çapı
D_e	: Eşdeğer karot çapı
D_f	: Temel derinliği
E_c	: Küresel bölgedeki eşdeğer elastisite modülü
E_d	: Deviatorik bölgedeki eşdeğer elastisite modülü
E_M	: Menard deformasyon modülü
E_1	: Temel seviyesi ile – R arası eşdeğer E_M modülü
E_2	: -R-2R arasındaki eşdeğer E_M modülü
$E_{3,4,5}$: -2R-5R arasındaki eşdeğer E_M modülü
F	: Kırılma yükü
GS	: Güvenlik sayısı
h	: Temel kazısı derinliği
I_s	: Düzeltilmemiş nokta yükü dayanımı indeksi
I_{s50}	: Düzeltilmiş nokta yükü dayanımı indeksi
JES	: Jeotermal enerji santrali
k	: Temel şekilleri ve zemin tiplerine göre bağlı katsayısı
k_s	: Yatak katsayısı
L	: Temel boyu
LL	: Likit limit
P	: Numuneyi kırmak için uygulanan kuvvet, proje yükü
PI	: Plastisite indisi
PL	: Plastik limit
P_L	: Limit basınç
P_0	: Yatay içsel basınç
P_L^*	: Net limit basınç
P_L^*e	: Eşdeğer net limit basınçların

P_{L*1}	: +R ,+3R arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması
P_{L*2}	: +R,-R arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması
P_{L*3}	: -R,-3R arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması
P_{max}	: Kırılma anındaki yük
PMT	: Presiyometre deneyi
R	: Temel yarı genişliği
R_0	: Temel referans genişliği
q_{em}	: Emniyetli taşıma gücü
q_u	: Nihai taşıma gücü
q_0	: Zeminin temel seviyesindeki düşey içsel basınç
R	: Temel yarı genişliği
R_0	: Temel referans genişliği
S	: Oturma miktarı
S_1	: Mikro deformasyonlarla ilgili elastik oturmalar
S_2	: Kayma deformasyonlarına bağlı oturmalar
S_3	: Hacimsel değişmelere bağlı oturmalar
SPT	: Standart penetrasyon deneyi
V	: Basınç uygulama evresinde ortalama prob hacmi
V_f	: Elastik evrenin bitimi, plastik evrenin başlangıcındaki hacim
V_i	: Elastik evrenin başlangıcındaki hacim
V_m	: Elastik evredeki suyun hacmi
V_0	: Ölçüm hücresinin boş hacmi
w	: Su içeriği
W	: Kütle
W_s	: Kuru numune kütlesi
W_w	: Su kütlesi
α	: E_M/P_L oranı ile ilgili bir katsayı
γ_n	: Doğal birim hacim ağırlık
γ	: Birim hacim ağırlık
ΔP	: Lineer kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki basınç farkı
ΔV	: Lineer kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki hacim farkı
θ	: Kırılma düzleminin yatayla yaptığı açı
λ_d	: Temelin L/B oranına bağlı olan şekil faktörü

- λ_c : Temelin L/B oranına bağlı olan Şekil fakt6r6
 μ : Poisson oranı
 ϕ : İçsel s6rt6nme açısı
 σ_c : Tek eksenli basınç dayanımı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Yerkabuğunun farklı derinliklerinde birikmiş ısının meydana getirdiği, içeriğinde kimyasal maddeler bulunan sıcak su, buhar ve gaz oluşumuna jeotermal kaynak denir. Kısaca tanımlamak gerekirse yer ısısı anlamına gelmektedir. Yerin derinliklerindeki kayalar içerisinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması sonucu meydana gelen buhar, sıcak su ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan elde edilen ısı enerjisine ise jeotermal enerji denir. Jeotermal enerji ucuz, yeni, çevre dostu, yenilenebilir, sürdürülebilir, güvenilir, yerli ve yeşil bir enerji türüdür.

Kısa süreli atmosferik şartlar jeotermal enerjiyi etkilemez. Jeotermal rezervuarlardan yapılan sondajlı üretimlerde jeotermal akışkanın rezervuarı beslemesi ve çevreye atılmaması açısından, işlevi tamamlandıktan sonra tekrar yeraltına gönderilmesi (reenjeksiyon) zorunludur. Jeotermal enerjinin sürdürülebilir ve yenilenebilir olması için reenjeksiyon ve yeraltı şartlarının devam etmesi gerekmektedir (URL-1, 2019).

Türkiye, Asya ve Avrupa arasında önemli bir jeolojik konumdadır ve tektonik olarak aktif olan Alp-Himalaya Orojenik Kuşağı üzerinde bulunmaktadır. Bundan dolayı Türkiye jeolojik olarak volkanik ve magmatik oluşumlar ile genç ve diri faylar içermektedir. Söz konusu yapılar Türkiye’de zengin jeotermal potansiyelin oluşmasına sebep olmaktadır. Ülkemizde yayılmış 1000 adet civarında doğal çıkış şeklinde farklı sıcaklıklarda birçok jeotermal kaynak bulunmaktadır (URL-2, 2019).

Türkiye’de jeotermal enerji kullanımı, enerji ihtiyacını kapatabilmekte ve yerli enerji üretimini arttırmaktadır. Türkiye’de jeotermal ısıtma sayesinde doğrudan ve dolaylı elektrik enerjisi ve ısı enerjisi tasarrufu sağlanmaktadır. Batı Anadolu’da büyük enerji tüketimi olmasına rağmen ve az sayıda jeotermal santral bulunmaktadır. Jeotermal santraller artırılırsa ucuz jeotermal soğutma ve ısıtma sayesinde elektrik tasarrufu yapıp ucuza ikame sağlanacaktır (URL-1, 2019).

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Aydın İli, Buharkent İlçesi, Kızıldere Mahallesi sınırları içerisinde Limgaz Elektrik Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ne ait 17.984,38 m²lik alanda Limgaz Jeotermal Enerji Santrali (JES) yapılması planlanmaktadır.

Bu çalışma kapsamında Limgaz Buharkent Jeotermal Enerji Üretim Santrali inşaat sahasına ait yerleşim alanının, zemin araştırmalarının yapılarak, yapının oturacağı alandaki jeolojik formasyonların yanal ve düşey değişimleri, zemin karakterleri, taşıma gücü, oturma, yatak katsayısı, yeraltısuyu durumu, şev ve duraylılık özellikleri gibi jeolojik-jeoteknik şartlarının mühendislik jeolojisi ve jeoteknik açıdan değerlendirmesini amaçlanmıştır.

1.3. Çalışma Alanının Genel Özellikleri

1.3.1. Jeomorfolojik ve Çevresel Bilgiler

İnceleme alanı, Aydın ili Buharkent ilçesi sınırları içerisinde, Kızıldere mahallesinin kuş uçuşu ~1 km kuzeyinde yer almaktadır. İnceleme alanı 1/25 000 ölçekli Denizli-M21-b1 no.lu pafta sınırları, 1/5 000 ölçekli M21-B-02-A paftası ve 1/1 000 ölçekli M21-B-02-A-4-C pafta sınırları içerisinde kalmaktadır. Çalışma sahası 17984.38 m² bir alanı kapsamaktadır. Çalışma sahasına ulaşmak her mevsim mümkündür.

Aydın ilinde akdeniz ikliminin egemen olmaktadır. Bu yüzden yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlıdır. Ortalama sıcaklık 17.6 °C, ortalama yağışlı gün sayısı 80.6, ortalama yağış miktarı 677.5 mm/yıldır. Büyük Menderes vadisi, diğer Ege ovalarına benzer olarak batıda denize doğru açılan bir oluk şeklindedir. Bu durum, denizin ıltıcı etkisinin ve yağış getiren rüzgarların iç kısımlara kadar kolaylıkla ulaşmasına neden olur. İç Anadolu yönünden Büyük Menderes vadisine (Denizli'den İzmir'e) doğru karayolu ya da demiryolu ile gidenler, hem yaz hem kış aylarında tüm ova ve yamaçları kaplayan yemyeşil bir örtüyle karşılaşılır. Bu bölgedeki ova tabanlarında zeytin, incir ve portakal bahçeleri büyük alanlar kaplamaktadır. Bununla beraber pamuk tarlaları, bahçeler ve bağlar da geniş yer tutmaktadır.

Akdeniz ikliminin egemen olduğu Aydın ilinde bitki örtüsü; kurağa dayanıklı, sert yapraklı, bodur makilerdir. Bunun yanı sıra mersin, defne, kocayemiş, delice ve aşılı

zeytinler, menengeç; dere boylarında zakkumlar ve bunların içinde nane, kekik, lavanta çiçeği gibi kokulu bitkiler de bulunmaktadır. Bununla beraber dağlarda kestane, dişbudak, çam, ıhlamur ve çınar gibi ağaç çeşitleri görülmektedir. Aydın ili topraklarının % 37'si ormanlarla kaplıdır. Bunların beşte biri üretime elverişli kuru ormanlarıdır.

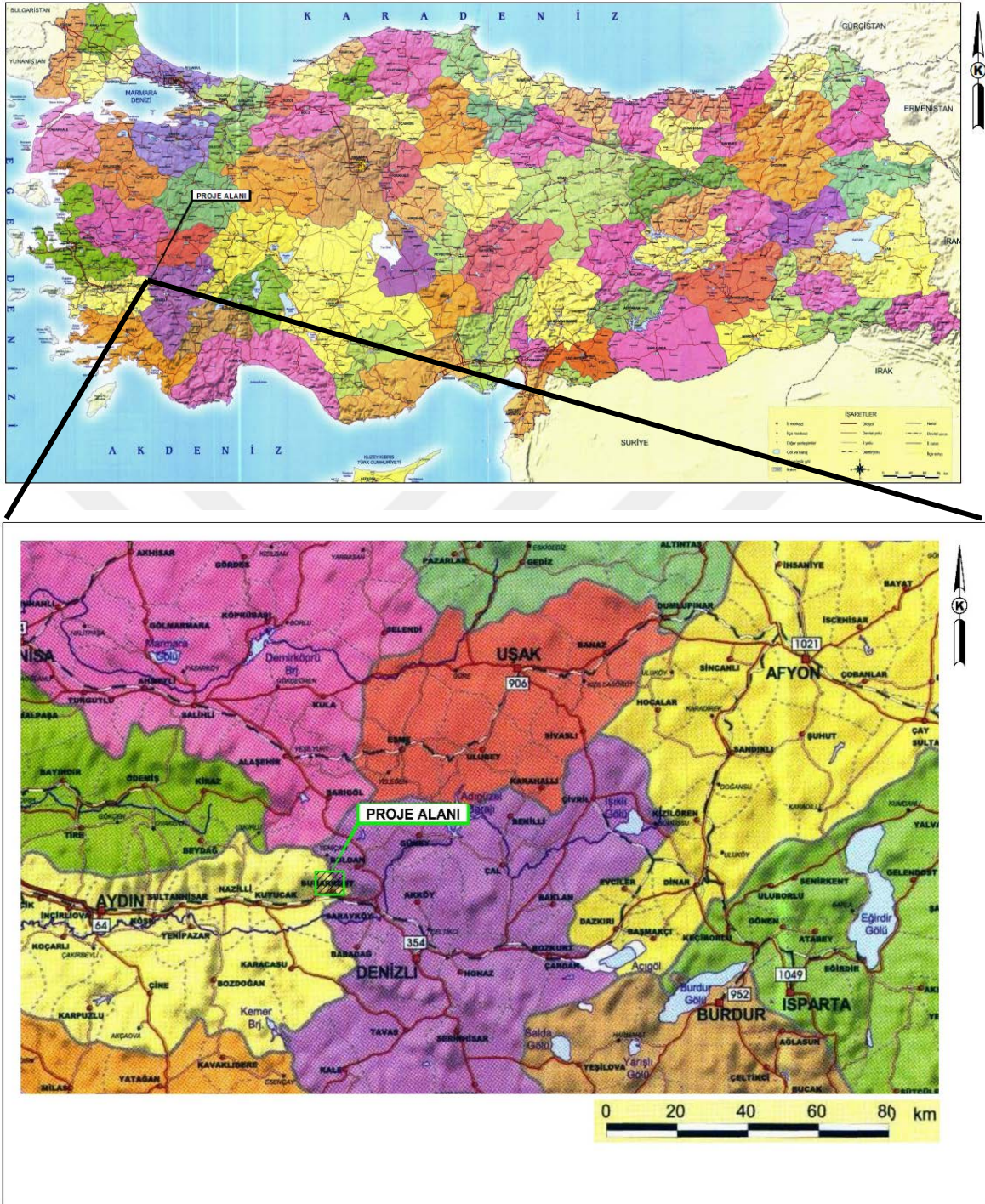
Aydın ilinden kuzeye gidildikçe yükseklik 500-600 m'yi bulmaktadır. Bu yükselme Doğu-Batı yönünde ovanın sınırı boyunca kuzeye doğru devam etmektedir. Güney bölümü ise denizden 04-50 m irtifadadır.

Aydın İlinin %67'si dağlık alanlardan oluşmaktadır. Kuzeyde doğu-batı yönlü uzanan sıra dağlar Aydın Dağları olup zirvesi 1732 m yükseklikteki Karlık Tepesi'dir. Güneyde doğu-batı yönünde uzanan dağlar, Büyük Menderes Irmağının kolları olan Çine Çayı, Akçay, Dandalar Çaylarının güneyden kuzeye doğru parçalayan vadileri sebebiyle parçalı bir görünüme sahiptir. Mardan Dağı ilin en yüksek dağı olup Akçay ve Çine Çayları arasında kalmaktadır. Kuzey yönünü, Dinar'dan başlayıp 300 km devam eden ve Samson dağları adını alarak Ege Denizi'nde sona eren Mezukis Dağları oluşturmaktadır. Mezukis Dağlarının en yüksek noktası 1360 metredir.

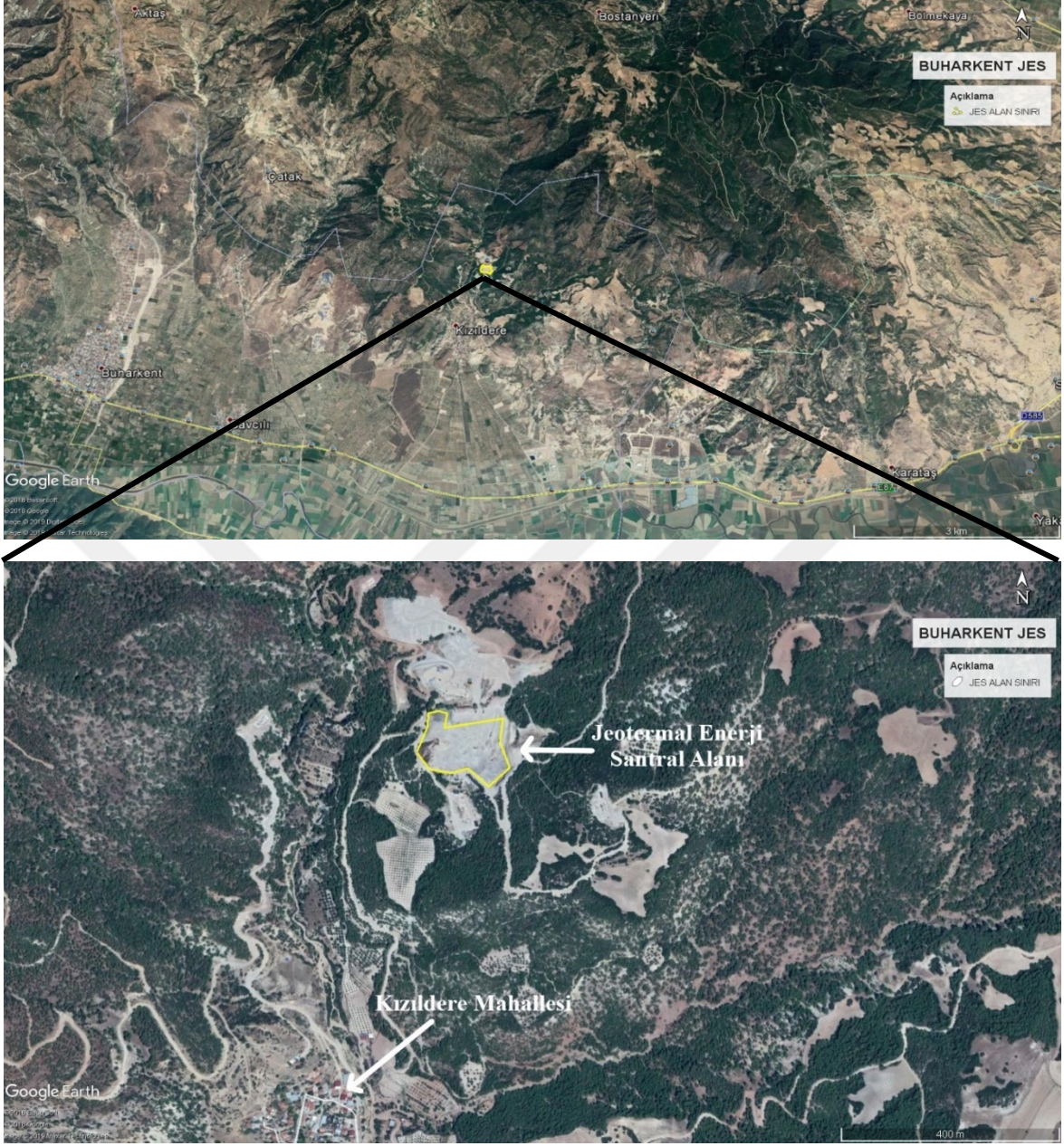
Aydın ilinde, "Ova" deyimini çok önemli bir yer tutmaktadır. Denizli il sınırlarından başlayan Büyük Menderes Ovası, Büyük Menderes Irmağının suladığı alanlar olup büyük bir ovadır. Büyük Menderes Irmağı'nın geçtiği ova, taşkın ovası niteliğinde olup 23900 km²lik bir sahadır. Irmak, çağlar boyunca denize taşıdığı alüvyon ile bugünkü ovayı oluşturmuştur. Havzadaki ovalar; Karpuzlu, Aydın, Yenipazar, Söke, Çine Koçarlı ve Çerkez Ovası gibi yerel isimlerle anılmaktadırlar. Bu ovalar; Büyük Menderes Ovası'nı oluşturmaktadır. Denizli ili sınırlarından Ege Denizi'ne kadar uzanan bu ovanın en geniş yeri 20 km'yi bulmaktadır.

Büyük Menderes havzasında 50'den fazla akarsu ve dere yer almakta, bu yan dere ve akarsular Büyük Menderes Irmağını beslemektedir. Vadilerdeki yan dere ve akarsuların büyük kısmı yağışa bağlı olarak rejimi değişen mevsimlik akarsular olup büyük çoğunluğu yaz aylarında kurumaktadır (URL-3, 2019).

İnceleme alanında ve yakın çevresinde bulunan topoğrafik eğim ve bol miktarda kuru derelerin olması yağışların proje alanından kolayca drene edilebileceği ve dolayısı ile sel baskınlarına sebep olmayacağı düşünülmektedir. İnceleme alanında herhangi bir sit alanı, taşkın sahası ya da koruma altına alınmış bölge kararları bulunmamaktadır. İnceleme alanı yer bulduru haritası Şekil 1.1.'de ve inceleme alanı uydu görüntüleri Şekil 1.2.'de verilmiştir.



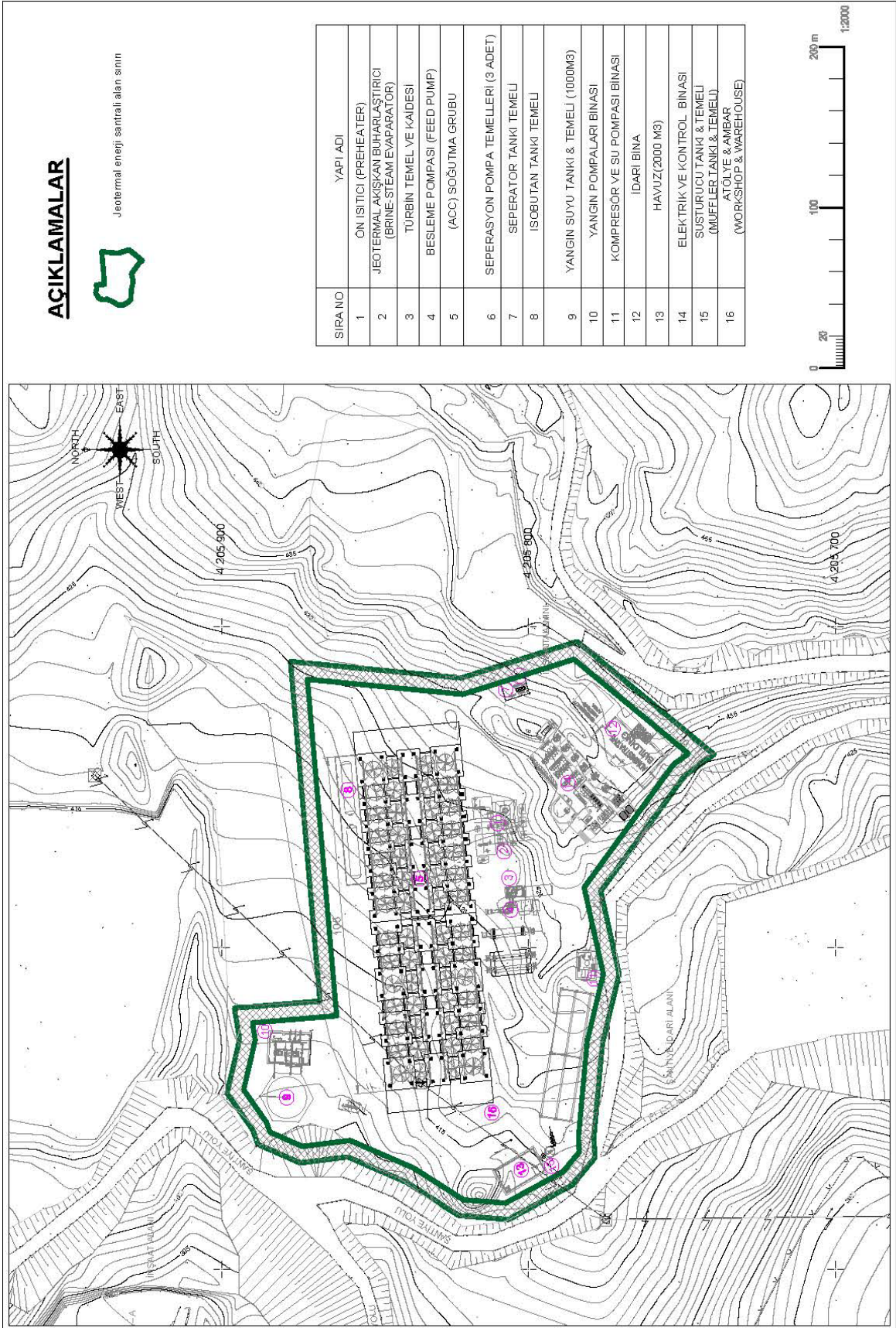
Şekil 1.1. İnceleme alanı yer bulduru haritası



Şekil 1.2. İnceleme alanı uydu görüntüleri

1.3.2. Projeye Ait Bilgiler

İnceleme alanında yapılması planlanan Limgaz Jeotermal Enerji Santraline ait 16 adet yapının öngörülen yapısal ve temel özellikleri Tablo 1.1.'de verilmektedir. Santrale ait unite temellerinin sığ temel yapısında olduğu görülebilmektedir. Limgaz Jeotermal Enerji Santraline ait genel yerleşim planı Şekil 1.3.'te yer almaktadır.



Şekil 1.3. Limgaz jeotermal enerji santraline ait genel yerleşim planı

Tablo 1.1. JES ünitelerinin öngörülen özellikleri

Yapı Özellikleri (Öngörülen)					Temel Özellikleri (Öngörülen)			
Yapı No	Yapı Adı	Yük (Yapı) (ton)	Yük (ekipman +su vs.) (ton)	Toplam Yük (ton)	Temel Tipi	Derinlik D _f (m)	Genişlik B (m)	Uzunluk L (m)
1	Ön Isıtıcı	130	171	301	Tekil Temel	2	2	2
2	Jeotermal Akışkan Buharlaştırıcı	60	106	166	Tekil Temel	2	2	2
3	Türbin Temel ve Kaidesi	1700.2	88.4	1788.6	Radye Temel	2	12	12
4	Besleme Pompası	1006.4	24	1030.4	Radye Temel	2	10	10
5	ACC Soğutma Grubu	3528.4	605	4133.4	Radye ve/veya Sürekli Temel	2	3.5	10
6	Seperasyon Pompa Temelleri	26.16	1.5	27.66	Radye Temel	2	4	5
7	Seperatör Tankı Temeli	22.4	12	34.4	Radye Temel	2	5	5
8	Isobutan Tankı Temeli	167.6	200	367.6	Radye Temel	2	3.5	5
9	Yangın suyu tankı ve temeli (1000 m ³)	473	1000	1473	Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5
10	Yangın pompaları binası	500	11	511	Radye Temel	2	10.5	15
11	Kompresör ve Su Pompası binası	310.45	2	312.45	Radye Temel	1.6	7	9
12	İdari Bina	1169.4		1169.4	Sürekli ve/veya Tekil Temel	4	1.5	1.5
13	Havuz (2000 m ³)	384.2	2000	2384.2	Radye Temel	2	9	15
14	Elektrik ve Kontrol Binası	2267.7	93	2360.7	Radye,Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5
15	Muffler tankı ve temeli	44.72	20	64.72	Radye Temel	2	4	4
16	Atölye ve Ambar Binası	1574.2	8	1582.2	Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5

1.3.3. İmar Planı Durumu

İnceleme alanı Aydın-Buharkent Belediyesi imar planı sınırları içerisinde yer almaktadır. İnceleme alanında, daha önce yapılmış bir imar planı çalışması bulunmamaktadır. İnceleme alanında ve çevresinde mevcut durumda yapılaşma bulunmamaktadır. İnceleme alanı Çevre ve Şehircilik Bakanlığının 1/100 000 ölçekli çevre düzeni planında “orman alanı” ve “termal turizm gelişiminin öncelikle desteklenmesi önerilen alan” olarak belirlenmiştir. İnceleme alanında herhangi bir Sakıncalı Alan veya 7269 sayılı Afet yasasına göre herhangi bir Afete Maruz Bölge Kararı bulunmamaktadır.

1.3.4. Önceki Çalışmalar

İnceleme alanı ve yakın çevresinde Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından 1962 yılından itibaren jeotermal enerji araştırmaları yapılmıştır. İlk çalışmalarına Denizli Sarayköy Jeotermal sahasında Uysallı (1967) ile başlamıştır.

Tezcan (1967), Denizli-Sarayköy'de jeotermik enerji araştırmaları kapsamında gravite ve rezistivite etütleri yapmıştır.

Erentöz ve Ternek (1968) Denizli-Kızıldere jeotermal sahasının bulunması ile yoğunluk kazanmıştır.

Ekingen (1970), Bölgedeki fayların yerini tespit etmek amacıyla yapılan detay gravimetrik prospeksiyon sonunda, genel olarak, kuzeybatıdan güneydoğuya doğru inen ve kuzeydoğu-güneybatı doğrultusunda uzanan basamakların varlığını belirlemiştir.

Uysallı ve Keskin (1971), Kızıldere jeotermal sahasında yapılmış olan sondaj verileri ve üretilen akışkanlardan yapılan kimyasal analizler neticesi, üçüncü hazne kaya olarak gnaysların varlığını jeokimyasal verilerle ortaya koymuştur.

Şimşek (1984), Kızıldere-Tosunlar-Yenice-Buldan-Tekkehamam alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanakları üzerine çalışmıştır. Kızıldere jeotermal sahasındaki birimlerin isimlendirmesini yapmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Genel Jeolojik, Stratigrafik Çalışmalar

Çalışma alanı Türkiye'nin batısında bulunan Ege Bölgesi'nde, Harita Genel Komutanlığı 1/25000 ölçekli Denizli-M21-b1 nolu topoğrafik haritasının kuzeybatı bölümünde yer almakta olup; Aydın il sınırları içerisindedir. Bu çalışma kapsamında MTA tarafından hazırlanan 1/25000 ölçekli Denizli-M21-b1 haritası genel jeoloji çalışmalarında altlık olarak kullanılmıştır. Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 2016 yılında yapılan aktif tektonik çalışmadan elde edilen veriler kullanılmıştır.

2.2. Yerinde Deneyle

Yerinde yapılan deneyle ile, zemin davranışını yansıtan parametrelerin belirlenmesine yönelik üst yapı yükleri altında temel zemin birimlerinin göstereceği davranışlar belirlenmektedir. Zeminin örselenmeden; doğal ortamında, gerçek veriler elde edilerek tespit edilmesini sağlamaktadır (URL-4, 2019).

Bu çalışma kapsamında yapılan yerinde deneylelerden Standart Penetrasyon Deneyleinde TS EN ISO 22476-3 standartında, Presiyometre Deneyle TS EN ISO 22476-4 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

2.2.1. Standart Penetrasyon Deneyle (SPT)

Dünyada en çok kullanılan arazi deneyle olan Standart Penetrasyon Deneyle; zeminlerin sıklık, mukavemet, zemin türü, sıvılaşma ve kıvam durumu ile tahmini oturmayı ve temel zeminin taşıma kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır. 1947 yılında Terzaghi tarafından Teksas Zemin Mekanikliği Konferansı'nda 'Standart Penetrasyon Deneyle'nden bahsedilmiştir. Deneyle, bir örnek alıcı tüpün zeminin içerisine çakılması olarak tanımlanmıştır (Clayton, 1990). Bu yöntem günümüzde de kullanılan SPT yöntemine çok benzemektedir.

Standart penetrasyon deneyle yapılabilmesi için öncelikle sondaj kuyusu açılır. Sonra

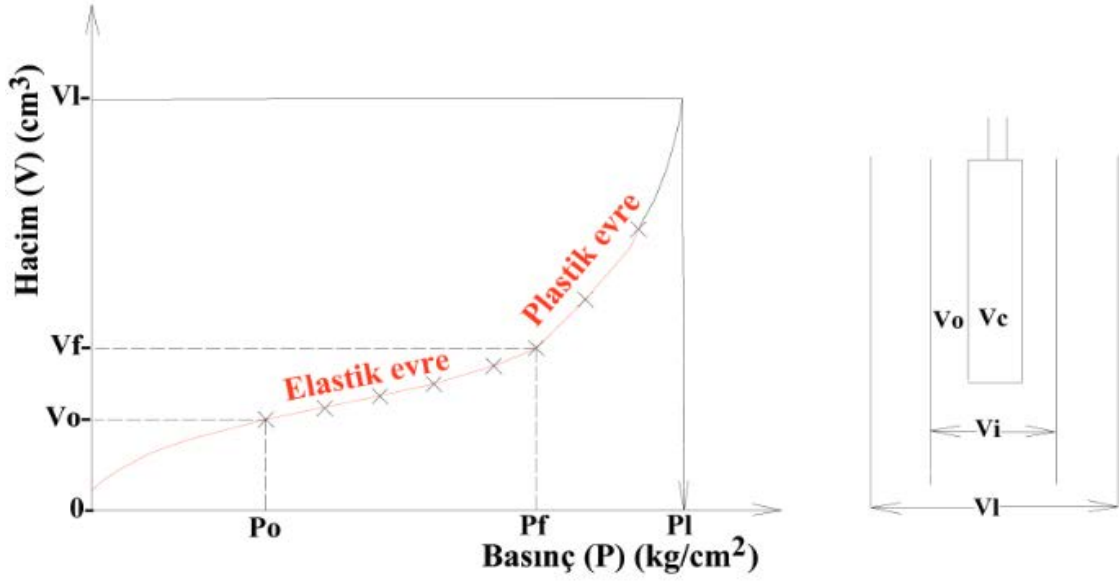
76.2 cm yükseklikten 63.5 kg ağırlığında ki bir şahmerdanın serbestçe düşürülerek zemine çakılması biçimde yapılmaktadır. Deney ilerleme adımı 15 cm'dir. Her 15 cm'lik ilerleme aşaması için şahmerdanın darbe sayısı belirlenir. İlk 15 cm'lik ilerleme sonucu belirlenen darbe sayısı örselenmeden dolayı hesaba katılmaz. İkinci ve üçüncü 15 cm'lik ilerleme sonucu belirlenen darbe sayıları toplanır ve Standart Penetrasyon Sayısı, N, değeri olarak kaydedilir. Eğer peşpeşe üç 15 cm'lik ilerlemeden bir tanesinde 50 darbeye 15 cm ilerleme gerçekleşmez ise deney durdurulur. Deney refü değerine ulaşmıştır. Bu genellikle sert zeminlerde meydana gelmektedir. Standart penetrasyon deneyi yaygın olarak 1.5 m'de bir adet yapılarak tekrarlanmaktadır (Erol ve Çekinmez, 2016).

Bu çalışma kapsamında temel zeminin sert kıvamda olması ve çakıllı seviyeler içermesi sebebiyle SPT deneyleri sınırlı sayıda yapılabilmektedir. Bundan dolayı, taşıma gücü ve oturma analizleri presiyometre deney sonuçlarına göre hesaplanmıştır.

2.2.2. Presiyometre Deneyi (PMT)

1955 yılında Fransız Mühendis Louis Menard tarafından geliştirilmiştir. Presiyometre deneyi örselenmemiş numune almanın zor olduğu çok çatlaklı kayalar, katı killer ve dolgu zeminlerde uygulanan bir arazi deneyidir. Presiyometre deneyi ile yerinde zeminin elastisite modülleri, taşıma gücü, oturma miktarı, kohezyon, içsel sürtünme açısı gibi zemin parametreleri hesaplanabilmektedir.

Presiyometre deneyi yapılabilmesi için öncelikle sondaj kuyusu açılır. Sonra sondaj kuyusuna silindirik prob indirilerek aşamalı olarak (1, 2, 3 kg/cm² ve artan dairesel basınçlar) radyal basınçlar verilerek, her basınç aşaması için (15-30-60 saniyelerde) ölçüm hücresinde oluşan basınç ve hacim değişimleri kaydedilir. Daha sonra y eksenine hacim, x eksenine basınç gelecek şekilde basınç-deformasyon grafik eğrisi çizilir. Bu eğride, verilen basınç ile probun zemine oturması P_0 içsel basıncını temsil eder. Sonra doğrusal hale geçen eğrinin olduğu evreye elastik evre denir. Eğrinin tekrar yükselmeye başladığı durumda ki evreye plastik evre denir. Plastik evre sınır basınç olarak tanımlanan limit basınç (P_L) değerine ulaşır (Kayabaşı vd., 2016). Presiyometre deneyi basınç-hacim grafiği Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1 Presiyometre deneyi basınç-hacim grafiği ve bölümleri (URL-7, 2019)

Limit basınç, zeminde açılmış olan silindirik bir boşluğun, ilksel hacminin iki katına yaklaştığı hacme ($2V_0+V_c$) karşılık gelen basınç değeridir (Baquelin vd., 1978).

$$V=V_0+V_m \quad (1)$$

Burada; V : basınç uygulama evresinde ortalama prob hacmi (cm^3), V_0 : ölçüm hücresinin boş hacmi (cm^3), V_m : elastik evredeki suyun hacmidir (cm^3).

$$V_m= (V_i+V_f)/2 \quad (2)$$

Burada; V_i : elastik evrenin başlangıcındaki hacim (cm^3), V_f : elastik evrenin bitimi, plastik evrenin başlangıcındaki hacmidir (cm^3).

$$E_M=2V(1+ \mu) \Delta P/\Delta V \quad (3)$$

Burada; E_M : Menard deformasyon modülü, ΔP : doğrusal kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki basınç farkı, ΔV : doğrusal kısmın başlangıç ve bitiş noktaları arasındaki hacim farkı, μ : poisson oranıdır.

$$E_M = 2.66(V_0 + V_m) \Delta P / \Delta V \quad (4)$$

Net limit basıncı bulmak için, limit basınç değerinden probun zemine dayandığı doğrusal evrenin başı olan kısım çıkarılır (Menard, 1975).

$$P_{L^*} = P_L - P_0 \quad (5)$$

Burada; P_{L^*} : net limit basınç (kPa), P_L : limit basınç (kPa), P_0 : yatay içsel basınçtır (kPa).

Presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınç değeri (P_{L^*}) ile zeminlerin içsel sürtünme açısı hesaplanabileceği Menard tarafından 1971 yılında önerilmiştir (Kayabaşı vd., 2016).

$$P_{L^*} = P_L - P_0 = 2.5 \times 2^{(\phi - 24/4)} \quad (6)$$

Presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınç değeri (P_{L^*}) ile zeminlerin kohezyonu hesaplanabilir (Baquelin vd., 1978).

$$c_u = (P_L - P_0 / 10) + 25 \quad (7)$$

$$P_{L^*} = P_L - P_0 = c [1 + \log_e \alpha E_M / (1 + \mu) \times 2 \times c_u] \quad (8)$$

Burada; α : E_M/P_L oranı ile ilgili bir katsayı (Tablo 2.1.), c : kohezyon, c_u = kayma direnci (kN/m²), μ : poisson oranıdır.

Tablo 2.1. E_M/P_L oranı ile ilgili bir katsayı (α)

E_M/P_L	α
25	1.0
15	1.7

Tablo 2.1.'in devamı

E_M/P_L	α
10	2.5
6	3

Presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınç değeri (P_{L*}) ile zeminin emniyetli taşıma gücü hesaplanabilir (Baquelin vd., 1978).

$$q_u = q_0 + k.(P_L - P_0) \quad (9)$$

Burada; q_u : nihai taşıma gücü, q_0 : zeminin temel seviyesindeki düşey içsel basınç, k : temel geometrik karakteristiklerine ve zemin özelliklerine bağlı katsayı zemin cinsi, temel derinliği, zemin direnci ve temel şekli gibi değişkenlere bağlı olarak bulunmaktadır (Tablo 2.2. veya Şekil 2.2.).

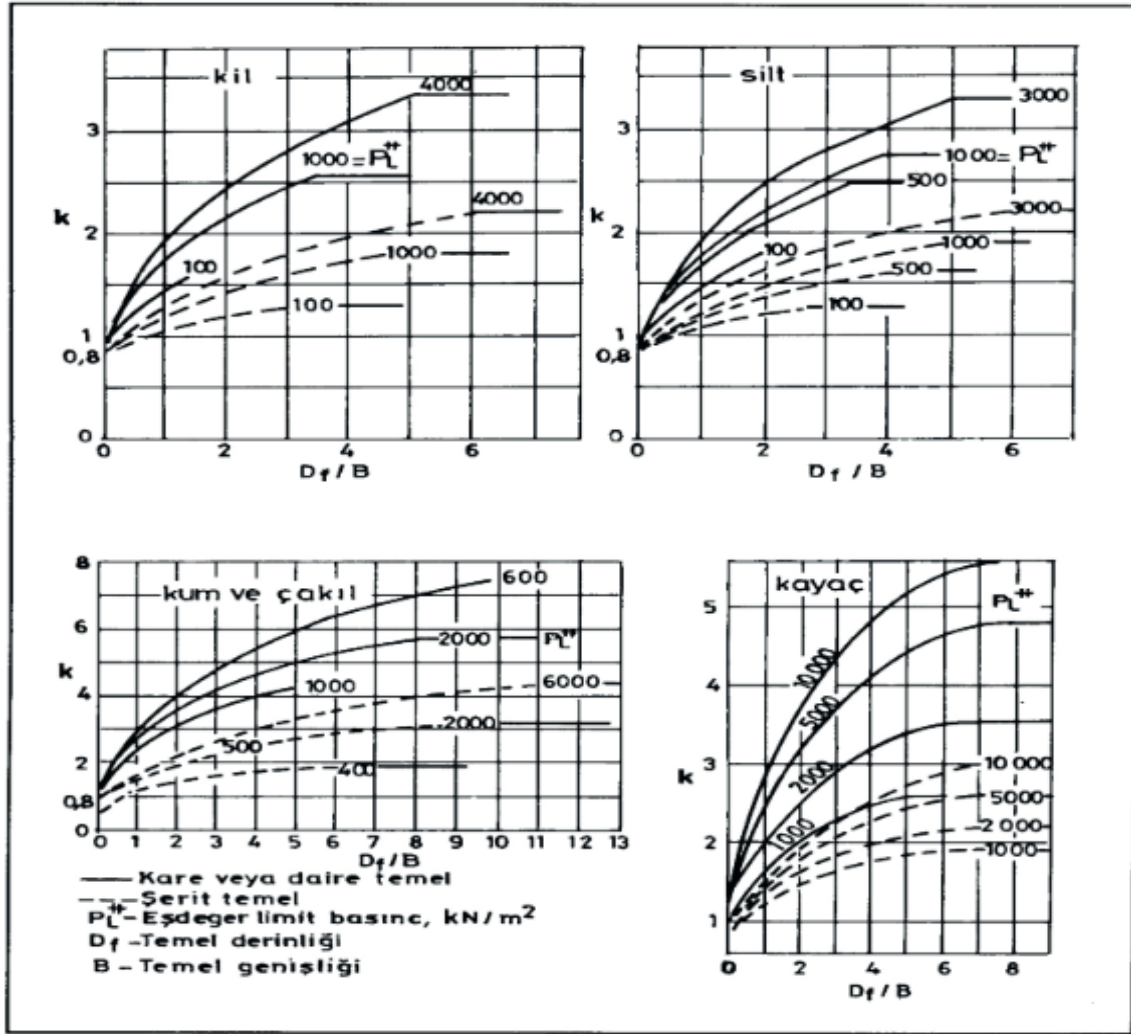
$$q_0 = h \cdot \gamma \quad (10)$$

Burada; h : Temel kazısı derinliği (m), γ : zeminin yoğunluğudur.

Tablo 2.2. Zemin cinslerine göre k katsayıları (Gürsoy, 2008).

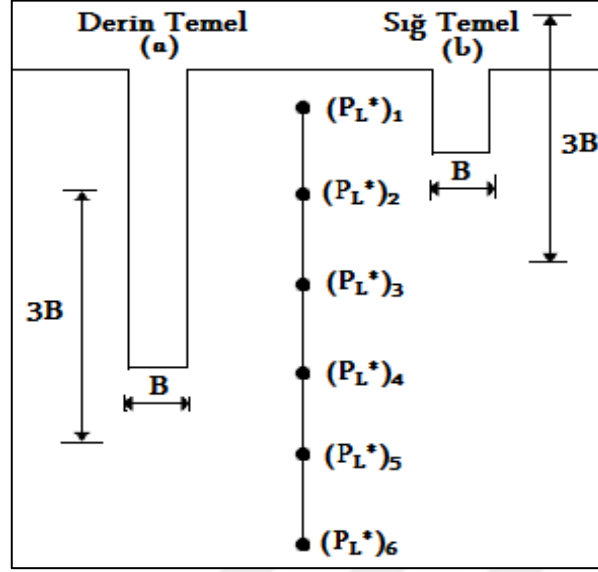
Zemin Cinsi	k
Kohezyonlu	$1 + 0.2.B/L$
Taneli-Gevşek	$1.1 + 0.2.B/L$
Taneli-Sıkı	$1.2 + 0.2.B/L$

Grafiksel yöntemlerle ve ampirik yöntemlerle de 'k' değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir (Şekil 2.2.).



Şekil 2.2. Temel şekilleri ve zemin tiplerine göre k katsayısı (Baquelin vd., 1978)

Temel; direnci derinliğe bağlı olarak değişkenlik gösteren tabakalara oturtulduğu zaman, bulunan net limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması alınır ve eşdeğer net limit basınç (PL^*e) hesaplanır (Şekil 2.3.).



Şekil 2.3. Derin temel ve sığ temelde limit basınçlar (Baquelin vd., 1978)

$$P_L^*e = ((P_L^*)_1 \times (P_L^*)_2 \times (P_L^*)_3)^{1/3} \quad (11)$$

Burada; P_L^*e : eşdeğer net limit basınç, $(P_L^*)_1$: Temel seviyesinin $+R, +3R$ arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması, $(P_L^*)_2$: Temel seviyesinin $+R, -R$ arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalaması, $(P_L^*)_3$: Temel Seviyesinin $-R, -3R$ arasındaki limit basınç değerlerinin geometrik ortalamasıdır.

Bağıntıdaki net limit basınç değerleri temel taban seviyesinin altında ve üstünde $\pm 1,5 B$ kalınlığındaki bölgedeki net limit basınç değerleridir. Yüzeysel temelerde eğer malzeme kaldırılacaksa $(P_L^*)_1$ dikkate alınmayabilir (Menard, 1975).

$$q_{em} = q_0 + \frac{k}{3} \cdot (P_L^*e) \quad (12)$$

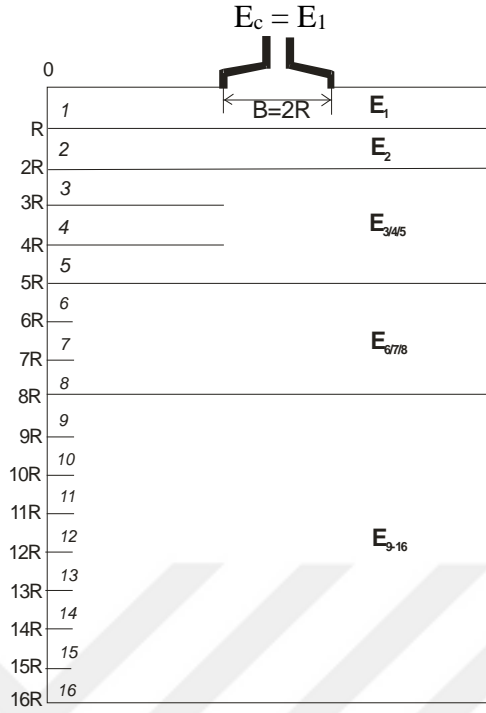
Presiyometre deneyinden faydalanılarak, zeminlerde yüzeysel temellerin oturmalarının tahmin edilebilmesi amacı ile yarı gözlemsel bir bağıntı Menard ve Rousseau (1962) tarafından önerilmiştir. Bir dikdörtgen temelin oturması, temel derinliğinin, temel genişliğinden büyük veya eşit olması ($D_f \geq B$) durumunda, aşağıdaki bağıntı ile kestirilebilmektedir.

$$S = S_1 + S_2 + S_3 \quad (13)$$

$$S = [(1 + \mu) / 3 \times E_d] \times P \times R_0 (\lambda_d \times R / R_0)^\alpha + (\alpha \times R \times P \times \lambda_c) / (4,5 \times E_c) \quad (14)$$

Burada; S: oturma miktarı (cm), S₁: mikro deformasyonlarla ilgili elastik oturmalar (ihmal edilebilir), S₂: hacimsel değişmeler olmaksızın kayma deformasyonlarına bağlı oturmalar, S₃ : hacimsel değişmelere bağlı oturmalar, μ : poisson oranı, E_d: deviatorik bölgedeki eşdeğer elastisite modülü, E_c: küresel bölgedeki eşdeğer elastisite modülü, R₀: temel referans genişliği, R: temel yarı genişliği (m), α : zeminin özelliğine ve presiyometreden elde edilen E_M/P_{L*} oranına göre değişen reolojik katsayı (Tablo 2.4.), λ_d , λ_c : temel tipi ve şekline bağlı katsayılar (temel uzunluğunun, temel genişliğine oranına (L/B) bağlı olarak çizelge ve/veya grafik değerleri kullanılarak elde edilir) (Tablo 2.3.), P: proje yüküdür (kg/cm²).

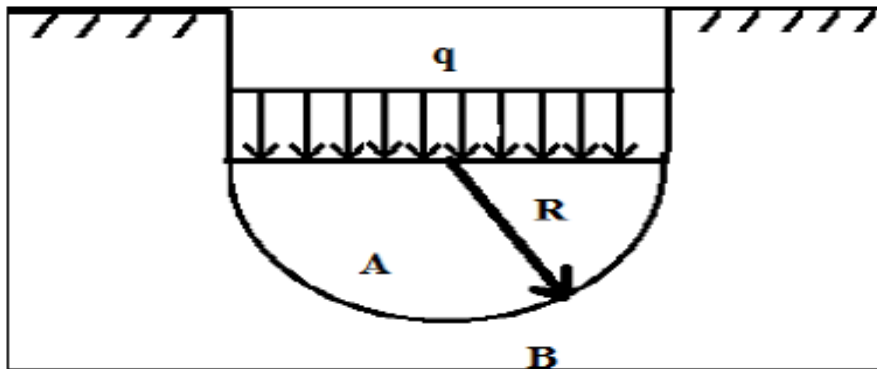
Yüklenmiş zemin ortamında, herhangi bir noktadaki gerilme, küresel (A bölgesi) ve deviatorik (B bölgesi) bileşenlerine ayrılırlar (Şekil 2.5.). 14 nolu bağıntının ilk bölümü deviatorik bileşenin etkisinde hacimsel değişmeler olmaksızın kayma deformasyonlarına bağlı oturmaya, ikinci bölümü ise gerilmenin küresel bileşenin etkisiyle hacimsel azalması sonucu oluşan oturmaya göstermektedir (Menard, L. 1975). Zeminlerde elastisite modülü tabakların cinsine ve derinliğe göre değişim göstermektedir. Bundan dolayı hem küresel gerilme hem de deviatorik gerilme alanları için o alanı temsil eden deviatorik bölgedeki eşdeğer elastisite modülü (E_c) ve küresel bölgedeki eşdeğer elastisite modülünü (E_d) hesaplamak gerekmektedir. Bu modül değerlerini bulmak için yapı temelinin genişliğine ya da çapına bağlı olarak R=B/2 kadar kalınlıkta hayali tabakalara ayrılır (Şekil 2.4.). İlk tabakanın presiyometre deformasyon modülü (E₁) küresel gerilme alanı için presiyometre deformasyon modülüne (E_c) eşittir. Bu tabakalar içinde deneyler sonucu bulunmuş olan elastisite modüllerinin harmonik ortalaması alınarak o tabakayı temsil eden deviatorik gerilme alanı presiyometre deformasyon modülü (E_d) değeri hesaplanır. (Menard, L. 1975).



Şekil 2.4. Oturma hesabı için temel altında oluşturulan varsayımsal tabakalar (Baquelin vd., 1978).

$$E_d = \frac{3,2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85 \times E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}} \quad (15)$$

Burada; $E_1, E_2, E_3, \dots, E_n$: tabaka içerisindeki presiometre elastisite modülleridir.

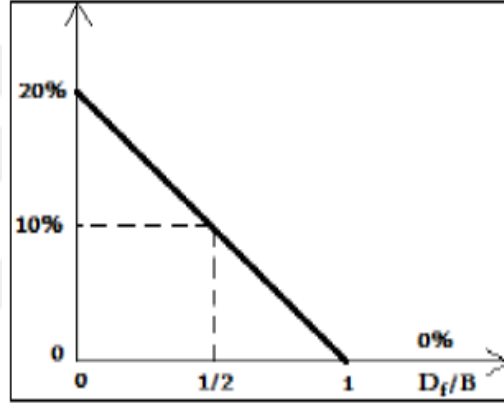


Şekil 2.5. Küresel (A) ve deviatorik (B) gerilme bölgeleri (Baquelin vd., 1978)

Yapısal temellerin geniş olduğu hallerde presiyometre deneyleri temel yarıçapının 16 katı (16R) derinliğe kadar yapılmalıdır. Farklı sebeplerden dolayı belirtilen derinliğe kadar yapılamaması durumunda $E_{3/4/5}$ - $E_{6/7/8}$ - $E_{9/16}$ eşdeğer elastisite modüllerinin üstteki tabakalar göre daha yüksek olduğu kabulü ile teorik olarak E_2 değerine eşit olarak kabul edilebilir.

Eğer $D_f < B$ veya $D = 0$ ise aşağıdaki şekilde (Şekil 2.6.) oturma hesabı eşitliğinden elde edilen değer D_f/B oranına göre

- $D_f = R$ için; % 10
- $D_f = 0$ için; %20 (yüzeysel temeller) oranında arttırılmalıdır (Kayabaşı, 2016).



Şekil 2.6. Oturma artış oranı (Baquelin vd., 1978)

Tablo 2.3. Temeller için kullanılan şekil faktörleri (Baquelin vd., 1978).

Şekil Faktörleri	Uzunluk-Genişlik Oranı (L/B)					
	1	1	2	3	5	20
	Daire	Kare				
λ_c	1	1.12	1.53	1.78	2.14	2.65
λ_d	1	1.12	1.2	1.3	1.4	1.5

Tablo 2.4. Zemin cinsine bağılı olan reolojik katsayı değerleri (Baquelin vd., 1978).

Zemin Cinsi	Turba	Kil		Silt		Kum		Kum ve Çakıl	
Zemin Durumu	α	E_M/P_L^*	α	E_M/P_L^*	α	E_M/P_L^*	α	E_M/P_L^*	α
Aşırı konsolide veya çok sıkı	-	>16	1	>14	2/3	>12	1/2	>10	1/3
Normal konsolide veya sıkı	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Düşük konsolide veya gevşek	-	7-9	1/2	5-8	1/2	5-7	1/2	-	1/4

Kayalar için, α değeri fissürlerin ve yapısal zayıflıkların boyutuna daha çok bağlıdır. Aşağıdaki değerler bunları temsil edici niteliktedir.

Tablo 2.5. Kaya türüne bağılı olan reolojik katsayı değerleri (Baquelin vd., 1978).

Aşırı kırıklı kayalar	$\alpha=1/3$
Normal Kayalar	$\alpha=1/2$
Az kırıklı-çok zayıf kayalar	$\alpha=2/3$

1867 yılında Winkler tarafından yatak katsayısı terimi ortaya çıkarılmıştır. Yatak katsayısında zeminin elastik olduğu ve sonsuz sayıda birbirine bitişik bağımsız yaydan oluştuğu varsayılmaktadır. Yatak katsayısı zeminin herhangi bir noktasındaki basıncın, o noktadaki oturmaya oranına denir. Temel yapısının, zeminden 10 kat ve daha fazla rijit olmasından dolayı taşıma gücü değerine göre yatak katsayısı hesaplanabilir (Bowles, 1996) (URL-8, 2019).

$$k_s = 40 \cdot q_u \quad (16)$$

$$q_u = q_{em} \cdot GS \quad (17)$$

Burada; k_s : yatak katsayısı, q_u : nihai taşıma gücü, q_{em} : emniyetli taşıma gücü, GS : güvenlik sayısıdır.

2.3. Zemin Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları

2.3.1. Su İçeriği

Su İçeriği deneyi, zemindeki su miktarının tayin edilmesi ve bunun zeminin kuru kütlelerinin yüzdesi olarak gösterilmesini kapsar. Su içeriği tayini için TS 1900-1 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyin yapılışı, deney kabı ve kapağı temizlenip kurutulduktan sonra hassas terazide tartılarak kütlesi belirlenmiştir (W_1). Zemin numunesinden bir miktar alınarak kaba konarak kapağı kapatılıp yaş numune+kap+kapak kütlesi terazide tartılarak belirlenmiştir (W_2). Kapaklar çıkartılarak $105^\circ C$ 'deki etüvde 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Numune soğuyuncaya kadar etüvde veya desikatörde bekletilir. Kurutulan numunelere kapağı tekrar kapatılarak kuru numune+kap+kapak kütlesi terazide tartılarak belirlenmiştir (W_3) (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Zemin Etüdü El Kitabı, 2016).

$$W_w = W_2 - W_3 \quad (18)$$

$$W_s = W_3 - W_1 \quad (19)$$

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \quad (20)$$

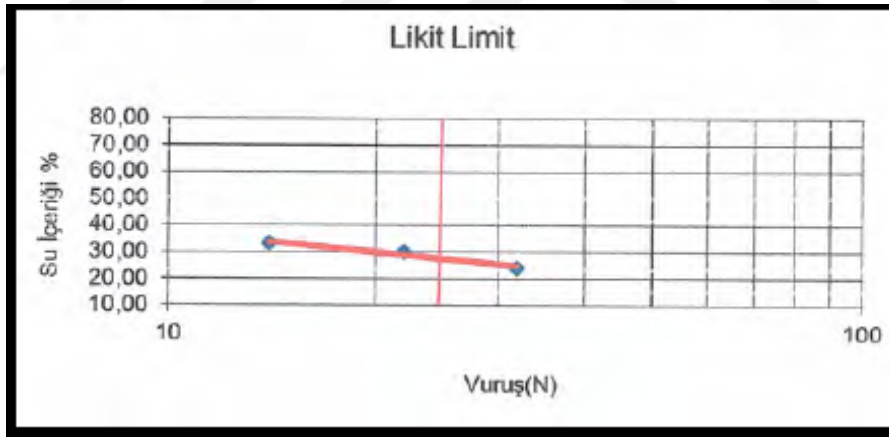
Burada; W_w : su kütlesi (g), W_s : kuru numune kütlesi (g), w : su içeriğidir (%).

2.3.2. Kıvam Limitleri (Atterberg Limitleri) Deneyi

Kıvam limitleri deneyleri, ince daneli zeminlerin plastisitesi ve su içeriği değişimine karşı hassasiyetini ölçerek zeminlerin isimlendirilmesi ve sınıflandırılmasında kullanılmaktadır. Kıvam limitleri tayini için TS 1900-1 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Likit limit, zeminin plastik durumdan sıvı duruma geçtiği su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Çarpmalı cihazda deney, oluk açılarak 2.0 mm olarak bölünmüş numunenin, kabın 10.0 mm yükseklikten düşürülmesi ile 13.0 mm kapanması şeklinde gerçekleştirilir. Deney çok noktalı ya da tek nokta şeklinde gerçekleştirilebilir. Her nokta için gerekli vuruş sayısına karşı gelen su içerikleri Tablo 2.6.'da noktalanır ve bu noktalardan geçen en uygun doğru çizilir. 25 vuruş sayısının doğruyu kesitiği noktadaki su içeriği likit limit değerini verir.

Tablo 2.6. Casagrande cihazı ile likit limit deney grafiği



Plastik limit, zeminin yarı katı durumdan plastik duruma geçtiği su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Plastik limit için zemin cam üzerinde el ayası ile yuvarlanır ve 3.0 mm kalınlıkta kırıldığı su içeriği belirlenir. Eğer yuvarlanan zemin örneğinin çapı 2.0 mm'ye düşmesine karşın kırılma olmuyor ise zemin henüz plastik kıvamda kabul edilir ve su içeriği azaltılarak deney yenilenir. Çapın 3.0 mm'ye indiği zaman yuvarlanan zeminde dağılamalar görülene kadar işlem devam eder. Numunenin dağılan parçaları toplanıp kaba konur ve su içeriği ölçülür. Deney en az 2 defa tekrarlanır ve ortalaması alınarak plastik limit değeri bulunur.

Zeminin plastisite indisini bulmak için likit limit ve plastik limit değerleri kullanılmaktadır.

$$\text{Plastisite İndisi (\%): } PI = LL - PL \quad (21)$$

2.3.3. Doğal Birim Hacim Ağırlık

Birim hacim ağırlık deneyi, zeminin doğal durumdaki birim hacim ağırlığını belirlemek için yapılmaktadır. Doğal halde bulunan zeminin boşluklarını da kapsayan birim hacimdeki katıların ve varsa suyun, toplam kütesinin bulunması amacı ile yapılmaktadır. Birim hacim ağırlık tayini için TS 1900-1 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyin yapılışı, zemin numunesinin kütlesi (W) hassas terazide tartılır. Hacim (V) belirlenmesi için silindirik şeklindeki numunenin çap ve yüksekliği en az 3 noktadan ölçülüp ortalamaları alınarak belirlenir. Deney sonucunda elde edilen kütle ve hacim kullanılarak numunenin doğal birim hacim ağırlığı aşağıdaki bağıntıdaki gibi hesaplanır.

$$\gamma_n = \frac{W}{V} \quad (22)$$

Burada; γ_n : doğal birim hacim ağırlık (kN/m^3), W: zeminin kütlesi, V: hacimdir.

2.3.4. Elek Analizi

Elek analizi deneyi, zeminin içerisinde bulunan bileşenleri (kil, silt, kum, çakıl) ağırlıkça yüzdeleri ve dane büyüklüğü dağılımı (granülometri) eğrileri kullanılarak belirlemek için yapılmaktadır. Elek analizi tayini için TS 1900-1 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyin yapılışı, dane büyüklüğü dağılımı belirlenecek zeminde öncelikle yıkamalı elek analizi yapılarak ince ve iri malzemeler birbirinden ayrılır. 200 No'lu eleğin üzerinde kalan zemin etüvde kurutulduktan sonra kuru eleme analizi yapılır. Çeyrekleme metodu ile numune alınır. Numune 105°C 'lik etüvde 24 saat kurutulur ve hassas terazide tartılarak

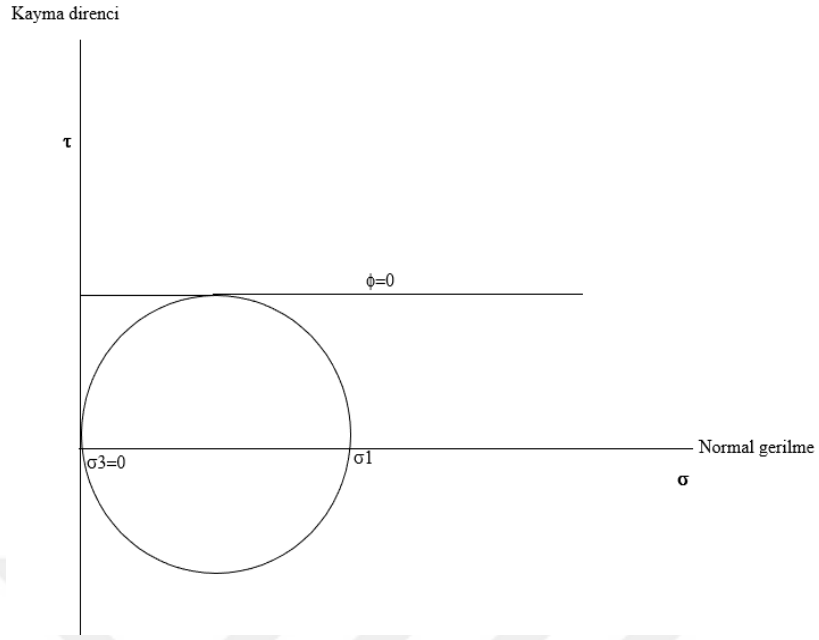
kütlesi belirlenir. Numune geniş bi tepsi içine serilerek su ile örtülür ve numune en az 1 saat süreyle ara sıra karıştırılarak su içinde bekletilir. Numune tekrar 200 No'lu eleğin üzerine aktararak iri daneler ince malzemeden temizlenene kadar el veya fırça ile yıkanır. Bu işlem sonrasında 200 No'lu elek üzerinde kalan zemin etüvde 24 saat kurutulur. Kuru numune en büyük açıklığı en üstte olacak şekilde üst üste duran elek serisi üzerinde bırakılarak kuru eleme işlemi yapılır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan malzeme tartılır. Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekte kalan numunenin miktarı ile yüzde geçen değerleri aşağıdaki bağıntıdaki gibi hesaplanır. Dane büyüklüğü dağılımı (granülometri) eğrisi çizilir.

$$\text{Yüzde Geçen (\%)}: P = 100 \cdot \frac{\text{Elekten geçen zemin kütlesi}}{\text{Deneyde kullanılan kuru zemin kütlesi}} \quad (23)$$

2.3.5. Serbest Basınç Dayanımı

Serbest basınç dayanımı deneyi, zemin birimlerin kayma direncini belirlemek için yapılmaktadır. Serbest basınç dayanımı tayini için TS 1900-2 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyin yapılışı, numune tek ekseni basınç deney aygıtına yerleştirilip alt ve üst yüzeyleri yatay hale getirilir. Okuma saatindeki değerler kaydedilir. Numune yüklenmesine başlanır ve o andan itibaren (10-15-20-25-.. sn) aralıklarla kuvvet halkası saatinden ve deformasyon saatinden okumalar alınır. Kırılmanın gözle görülebilir olması halinde; yüklemeler numunede kırılma düzlemi görülünceye kadar sürdürülür. Böyle durumlarda öncelikle yükler artar ve bir pik değere ulaşır. Okumalardan bir iki tanesi sabit kalır ve sonraki okumalar aniden azalır. Numunenin kırılma şekli şematik olarak çizilir. Numunede belirgin bir kırılma düzlemi oluşması durumunda bu düzlemin yatayla yaptığı açı (θ) ölçülür. Numune serbest basınç deneyi ile kırıldığı zaman Mohr dairesi çizilir (Şekil 2.7.). Yapılan hesaplamalar sonucunda çizilen Mohr dairesinde serbest basınç dayanımı (q_u) bulunur. Mohr dairesinden yararlanılarak kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) hesaplanır.



Şekil 2.7. Serbest basınç deneyi Mohr dairesi

$$\theta (^{\circ}) = \frac{\phi}{2} + 45 \quad (24)$$

Burada; θ : kırılma düzleminin yatayla yaptığı açı ($^{\circ}$), ϕ : içsel sürtünme açısıdır ($^{\circ}$).

$$c = \frac{qu}{2} \quad (25)$$

Burada; c : kohezyon, qu : serbest basınç dayanımıdır (kg/cm^2).

$$\sigma_1 = qu = \frac{P_{\max}}{A} \quad (26)$$

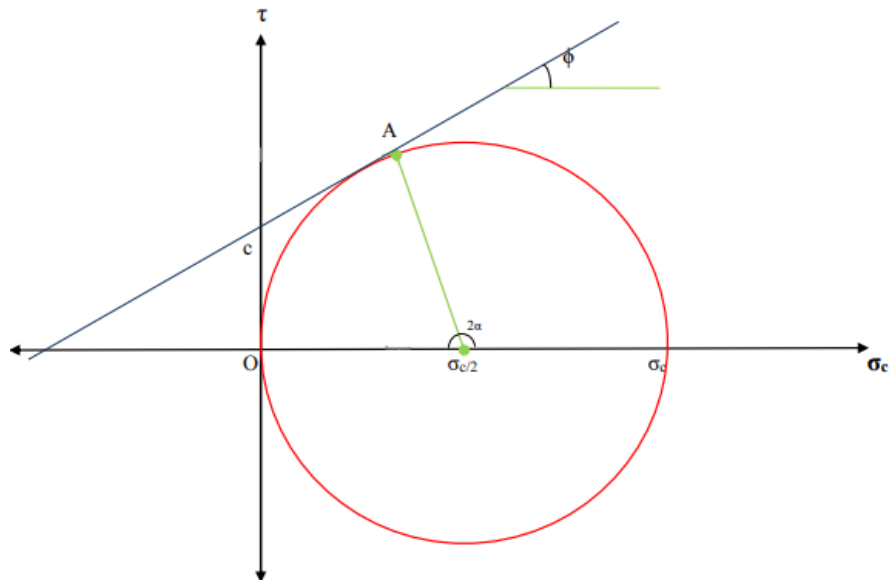
Burada; P_{\max} : kırılma anındaki yük, A : numunenin kesit alanıdır.

2.4. Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları

2.4.1. Tek Eksenli Basınç Dayanımı

Tek eksenli basınç dayanımı deneyi, kaya malzemelerinin dayanımının belirlemek için yapılmaktadır. Kaya numunesinin basınç dayanımı testi yapılarak o numunenin kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) gibi parametreleri bulunmaktadır. Tek eksenli basınç dayanımı tayini için TS EN 1926 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deneyin yapılışı, kaya numunelerin çapı ve boyu kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilir. Numune, hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilir. Numunenin altına ve üstüne numune çapında çelik diskler yerleştirilir. Bunun amacı yükün numuneye homojen şekilde dağımasıdır. Hidrolik preslerde numunenin üzerine konulduğu alt tabla yukarı doğru hareket eder. Presin bağlı olduğu bilgisayarlar numuneye düşey yük uygulanır. Yük, sabit ve sürekli bir şekilde (saniyede 0.5-1 MPa) uygulanır. Numune yenildiği anda bilgisayardan yenilme yükü (F) okunarak kaydedilir. Deney en az 5 adet numune üzerinde yapılır. Bütün dayanım değerlerinin ortalaması alınarak tek eksenli basınç dayanımı değeri bulunur (URL-5, 2019). Numune tek eksenli basınç dayanımı deneyi ile kırıldığı zaman Mohr dairesi çizilir (Şekil 2.8.). Yapılan hesaplamalar sonucunda çizilen Mohr dairesinde tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) hesaplanır.



Şekil 2.8. Tek eksenli basınç dayanımı deneyi Mohr dairesi (URL-5, 2019)

$$\text{Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm}^2\text{)} : \sigma_c = \frac{F}{A} \quad (27)$$

$$\text{Numune Alanı (cm}^2\text{)}: A = \pi * D^2 / 4 \quad (28)$$

Burada; A: numune alanı (cm²), F: kırılma yükü (kg), D: numune çapıdır (cm).

$$\theta \text{ (}^\circ\text{)} = \frac{\phi}{2} + 45 \quad (29)$$

Burada; θ : kırılma düzleminin yatayla yaptığı açı ($^\circ$), ϕ : içsel sürtünme açısıdır ($^\circ$).

$$\sigma_c = 2c \tan[45 + (\theta/2)] \quad (30)$$

Burada; c: kohezyon, σ_c : tek eksenli basınç dayanımıdır (kg/cm²).

2.4.2. Nokta Yükleme Dayanım İndeksi

Kayaların nokta yük dayanım indeksinin belirlenmesi için yapılmaktadır. Nokta yük dayanım indeksi; tek eksenli basınç dayanımı gibi diğer dayanım parametrelerinin dolaylı olarak belirlenmesinde kullanılmaktadır. Nokta yükleme dayanımı tayini için ISRM 1985 standartında belirtilen hususlar dikkate alınmıştır.

Deney numuneleri, düzgün olmayan parça, kesilmiş blok ya da karot şeklinde olabilir. Deney numunesi nokta yükleme aletine yerleştirilir. Aletin konik planetleri çap boyuna göre numuneye geçecek şekilde kapatılır. Bu sırada planetin değme noktası ile numunenin serbest yüzü arasında L uzaklığının numunenin çapının (R) en az 0.5 katı kadar olmasına dikkat edilir. Numuneye devamlı olarak yük verilir ve 1 dakikada kırılması sağlanır. Kırılma anındaki yük; aletin göstergesinden okunarak kaydedilir. Kaydedilen bu değer bağıntı 31'de yerine yazılarak düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı (Is) belirlenir (URL-6, 2019).

$$\text{Nokta yükü dayanımı indeksi (MPa)}: I_s = P / D_e^2 \quad (31)$$

Burada; I_s : nokta yükü dayanımı indeksi (MPa), P : numuneyi kırmak için uygulanan kuvvet, D_e : eşdeğer karot çapıdır.

Deney sırasında kullanılan karot çapları 50 mm'nin dışında olduğunda bağıntı 32'deki eşitlik kullanılarak büyüklük ve çap düzeltme katsayısı F bulunur, bu değer bağıntı 33'de yerine yazılarak numune büyüklüğüne göre düzeltilmiş nokta yükleme dayanımı I_{s50} indeksi belirlenmiş olur.

$$F = (D_e / 50) * 0.45 \quad (32)$$

$$I_{s50} = F * I_s \quad (33)$$

Burada; F : çap düzeltme katsayısı, I_{s50} : düzeltilmiş nokta yükü dayanımı indeksidir (MPa).

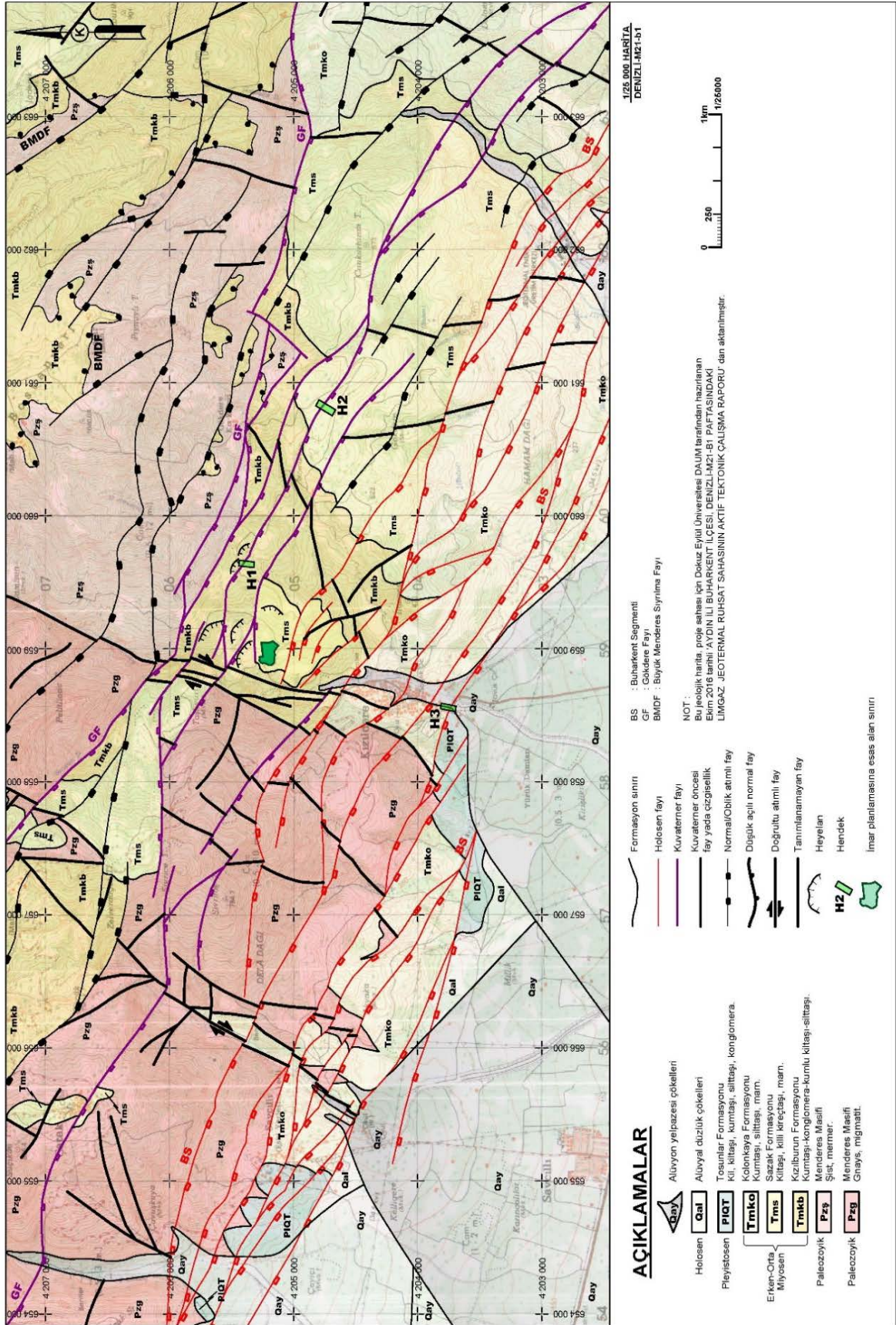


3. BULGULAR

3.1. Çalışma Alanı ve Yakın Çevresinin Jeolojisi

Çalışma alanı ve yakın çevresindeki en yaşlı kayaçlar Paleozoik yaşta olup, bunların üzerine Neojen çökelleri oturur. İstifin en üst seviyesini, taraça ve alüvyonlar meydana getirir. Bu çalışma kapsamında genel jeoloji ve stratigrafi jeoloji bilgileri Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 2016 yılında hazırlanan “Aydın İli Buharkent İlçesi Denizli-M21-b1 Paftasındaki Limgaz Jeotermal Ruhsat Sahasının Aktif Tektonik Çalışma Raporu” ndan elde edilen bilgiler ışığında hazırlanmıştır.

İnceleme alanı ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası Şekil 3.1.’de verilmektedir. Bu harita, MTA-1\25 000 ölçekli haritası altlık olarak kullanılarak Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 2016 yılında yapılan aktif tektonik çalışmadan elde edilen verilerle hazırlanmıştır.



Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin genel jeoloji haritası (Sözbilir vd., 2016)

3.2. Stratigrafik Jeoloji

Büyük Menderes Grabeni'nin en doğu ucunun kuzey kenarında bulunan inceleme alanı ve çevresinde yüzlek veren jeolojik birimler, birbirlerinden 3 ana uyumsuzlukla ayrılan 4 adet birimden oluşur. Bu birimlerin isimleri, jeolojik yaşları ve birbirleri ile olan stratigrafik ilişkileri, bölgede yapılmış önceki çalışmaların ışığında yapılan arazi gözlemlerine dayanarak oluşturulmuştur. Birim isimleri önceki çalışmalarda farklılık gösterse de, isimlendirilmelerde bölge ve çevresinde yapılmış en eski çalışmalarının kullandığı isimlendirilmelere sadık kalınarak hareket edilmiştir. Bu birimler jeolojik yaşları ve stratigrafik pozisyonları gözetildiğinde alttan üste; Menderes Masifi Metamorfikleri, Denizli Grubu, Tosunlar Formasyonu ve Alüvyon'dur. İnceleme alanı litostratigrafik kolon kesiti Şekil 3.2.'de verilmektedir. Bu kolon kesit, Şimşek, 1984; Alçiçek vd., 2007; Koçyiğit, 2015 ve Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi tarafından 2016 yılında yapılan aktif tektonik çalışmadan elde edilen verilerle hazırlanmıştır.

3.2.1. Menderes Masifi Metamorfikleri

İnceleme alanı ve çevresinde yüzlek veren Menderes Masifi Metamorfikleri'ne ait kaya topluluklarında farklı metamorfik fasiyeslerde özellik gösteren litolojiler göze çarpar. Kızıldere'nin yaklaşık K-G uzanımlı hattı, bu farklı metamorfik fasiyeslerde özellik gösteren kayaları iki ana gruba ayıran bir sınır niteliği ile çarpıcıdır. Bu K-G hattın batısı, Kızıldere ile Savcılı arasında kalan alanda gnays ve migmatitler yüzlek verirken, hattın doğusu ve kuzeydoğusundaki alanlarda şist, fillit ve mermer baskın litofasiyesler olarak yer alırlar. Daha ince metakırıntılı birimler Orta Tepe gibi yüksek rölyefli alanlarda yüzlek verir. Gnayslar, taze yüzey rengi grimsi beyaz ayrışma yüzey renkleri ise turuncumsu kırmızı kahve renklerde gözlenirler. Dokusal olarak iri kristalli, bol çatlaklı bir yapıya sahip gnayslar, çoğunlukla foliasyonlu bir yapıda, yersel olarak ise masiv olarak yüzlek verirler. Gnayslar içinde kuvars, mika mineralleri ve plajyoklaslar baskınken, özellikle sodyum ve potasyum feldispatlar porfiroblastlar şeklinde gözlenirler. Kızıldere'nin batısında yüzlek veren bir başka litofasiyes ise migmatitlerdir. Grimsi yeşil, beyazımsı krem renkleri sunan bu litofasiyeye ait kaya toplulukları, genelde bantlı migmatitler şeklinde gözlenirken, gnayslarla birlikte bulunurlar. İnceleme alanının kuzey ve kuzeydoğusunda ise baskın

olarak daha ince kristalli metamorfik kayalar yüzlek verir. Bu alandaki litofasiyeler ise orta ve ince taneli şistler, ince kristalli fillitler ile masif ve foliasyonlu mermerlerdir. Şistler genelde grimsi beyaz, yeşilimsi gri renklerde ve şistozetileri belirgindir. Orta ve ince kristalli, mineral bileşimi baskın olarak kuvars ve muskovitten yapılıdır. Kuvarsşist, mikaşist ardalanması şeklinde bulunan şistler fillitlerle ardalanma gösterir. Fillitler ise baskın olarak koyu gri siyahımsı yeşil renklerde ve çok ince kristallidir. Bu ince kırıntılı metamorfik fasiyeler içinde, yapraklanma aralığına bağlı olarak klivajlanma ve yaygın olarak asimetrik yapı kazanmış kuvarsit bant ve mercekleri bol gözlenir. Mermerler ise beyazımsı kirli gri, genelde dolomitik, masif ve bol çatlaklıdır.

Menderes Masifine ait metamorfik kayaların alt dokanağı inceleme alanında gözlenememekle beraber, üst dokanağı düşük açılı bir yapısal hatla, Denizli Grubu'na ait Kızılburun Formasyonu'ndan ayrılır. Kızıldere'nin doğusunda kalan fasiyelerini örtü serisi içinde değerlendirmek gerekir. Bu örtü serisinin yaşı ise genelde Permiyen – Paleosen arası yaşlar ile temsil edilir (Erdoğan, 2004).

3.2.2. Denizli Grubu

Bu çalışma kapsamında, inceleme alanı ve çevresinde yayılım gösteren, kabaca Miyosen yaşlı olan kırıntılı-karbonat baskın litolojilerden oluşmuş jeolojik birimlere Denizli Grubu şeklinde bir tanımlama yapılmıştır. Denizli Grubu birbirleriyle uyumlu şekilde, yanal ve düşey geçişli 3 formasyondan yapılıdır. Bu formasyonlar alttan üste Kızılburun, Sazak ve Kolonkaya olarak isimlendirilmiştir (Şimşek, 1984).

3.2.3. Kızılburun Formasyonu

Büyük Menderes Grabeni'nin doğu kenarındaki Miyosen yaşlı kaya birimlerinin tabanını temsil eden Kızılburun Formasyonu ilk kez Şimşek (1984) tarafından adlandırılmıştır. Formasyon Menderes Masifi Metamorfikleri ile Miyosen yaşlı tortul paket arasında gelişmiş düşük açılı fay düzlemlerinde askıda kalmış biçimde ve genelde Masif'in üzerinde yamalar şeklinde gözlenir. Birimin en iyi yüzlekleri inceleme alanının kuzeydoğusunda bulunan ve birime ismini veren Kızılburun Tepe ve çevresindedir. Formasyonun inceleme alanı içindeki gözlenebilen kalınlığı yaklaşık 350 metre civarındadır. Formasyon başlıca kumtaşı, çamurtaşı ve çakıltaşından oluşur. Bu kırıntılı

katmanlardan, kumtaşları ve çamurtaşları kızılımsı şarabi renklerde, çakıltaşları ise çoğunlukla kızılımsı olmalarına karşın yer yer açık kahve grimsi kahve renklidir.

Kızılburun Formasyonu'na ait çakıltaşları Menderes Masifi'nden şist, gnays ve kuvarsit gibi bileşenlere sahip polimiktik ve iyi pekleşmiştir. Tane destekli bir dokuya sahip çakıltaşlarının, boylanması ve küreselliği orta – orta iyi iken yuvarlaklığı orta - orta kötüdür. Formasyonun üst bölümlerinde yersel olarak kalınlığı 1-2 cm arasında değişen kömür arakatkıları ve ince orta katmanlı kireçtaşı seviyeleri bulunur. Birim kendi içinde Kızılburun ve çevresinde düzenli ve orta yüksek eğimlenmelere sahipken, Kızıldere çevresinde, aşırı derecede karmaşık ve fosil heyelanlıdır. Formasyon'un alt dokanağı Menderes Masifi Metamorfikleri'ne ait kaya toplulukları ile yapısal ve yer yer açısız uyumsuz iken, üste doğru yanal ve düşey olarak Sazak Formasyonu'na geçiş gösterir. Formasyona değişik çalışmacılar tarafından farklı jeolojik yaşlar önerilmiştir. Formasyona ait paleontolojik ve radyometrik yaş verisi olmadan Alt Pliyosen olarak değerlendirmiştir (Şimşek, 1984). MN5 ve 6 zonlarındaki Insectivora, Rodentia, Lagomorpha memeli fosillerine dayanarak Erken – Erken Orta Miyosen yaşı önerilmiştir. (Alçiçek vd., 2007). Bu çalışma kapsamında birimin yaşı kendi paleontolojik ve/veya radyometrik bulgularımızın olmayışı nedeniyle daha geniş kapsamda Miyosen olarak kabul edilmiştir.

3.2.4. Sazak Formasyonu

Bu formasyon üzerindeki ayrıntılı çalışmalar 60'lı yılların başlarında gerçekleşmiş olmasına karşın, ilk kez Sazak adı altında Şimşek (1984) tarafından isimlendirilmiştir. Birim en iyi yüzlekleri, inceleme alanı doğusunda bulunan ve formasyona ismini veren Sazak Köyü ve çevresindedir. Alan içinde gözlenebilen kalınlığı yaklaşık 200 metre olan formasyonun en iyi yüzlekleri ise Gökdere Mevki ile İntepesi arasında kalan bölgededir. Formasyon başlıca, orta ve ince taneli kumtaşı, kömür ara katkılı kiltası ve killi kireçtaşından yapıları olmasına karşın az miktarda çakıltaşı ara seviyeleri içerir. Katmanlanma özellikleri çok iyi gelişmiş ve orta ve ince katman kalınlığı gösteren bölümleri genelde ince ve orta taneli kırıntılı tortullardan ve karbonat kayalardan oluşmuştur. Kumtaşları iyi boylanmış ve ince taneli, beyazımsı sarı ve kirli gri gibi renklerde çeşitlilik sunar. Bol mollusk fosilli kumtaşları yersel olarak çapraz katman ve dalga/akıntı kırışıkları içerir.

Sazak Formasyonu içerisinde gözlenen çakıltaşları ise Menderes Masifi

Metamorfikleri'nden türeme çok tane bileşenli ve aramadde destekli bir dokuya sahiptir ve genelde kötü dokusal olgunluğa sahiptir. Formasyonun alt orta bölümleri bitümlü şeyller ile dereceli geçişli iyi boylanmış kumtaşları ve çakıltaşlarından yapıli kırıntılı baskın bir istif sunarken yanal ve düşey yönde üst kesimlerine doğru bu kırıntılı istif, karbonat baskın bir fasiyese dönüşür. Kırıntılı karbonat geçişlerinde jips ve anhidrit oluşumları yaygın olarak gözlenir. Formasyon içinde daha önce işletilmeye çalışılmış kömürlü seviyelerde yaygın olarak gözlenir. Formasyonun alt dokanağı çoğu bölgede Kızılburun Formasyonu ile yanal düşey geçişli iken, Kızılburun Tepe'nin güney yamaçlarında ve Cankurtaran Tepe'nin batısındaki bazı alanlarda yapısal bir sınırla ayrılır. Sazak Formasyonu'nun yaşı yine farklı çalışmalarda farklı yaşlar önerilerek belirtilir. Formasyona ait paleontolojik ve radyometrik yaş verisi olmadan yine alttaki Kızılburun Formasyonu ile uyumlu olduğu belirtilerek Alt Pliyosen olarak değerlendirir (Şimşek, 1984). Rodentia memeli fosiline dayanarak formasyonun MN6 – 8 zonuna denk gelen aralıkta çökeldiğini ve yaşının Orta – erken Geç Miyosen olduğunu belirtir (Alçıçek vd., 2007).

3.2.5. Kolonkaya Formasyonu

Kolonkaya Formasyonu yine ilk kez Şimşek (1984) tarafından adlandırılmış, baskın olarak kumtaşı, kilitaşı ve killi kireçtaşından yapıli bir istifle tanımlanmıştır. Denizli Grubu içerisinde stratigrafik olarak en üstte yer alan formasyonun inceleme alanı ve çevresindeki en iyi yüzlekleri, Hamam ve İmam dağlarının güney bölümleri ile Savcılı Köyü'nün güneyindeki düşük rölyefli alanlarda bulunur. Formasyon başlıca kumtaşı – çamurtaşı ve çakıltaşından oluşur. Killi kireçtaşı ve kireçtaşı seviyeleri ise birimin tabanında, Sazak Formasyonu'na yakın bölümlerde ve bir miktarda üst bölümde konumlanmıştır.

Kolonkaya Formasyonu içerisinde yer alan, taze yüzey rengi grimsi beyaz ve kirlili beyaz ayrışma yüzey rengi çok açık sütlü kahve renkli olan kumtaşları iyi- çok iyi boylanmış ve ince tanelidir. Siltaşı ve kilitaşından oluşan daha ince kırıntılı tortullar kumtaşları ile ardalanırlar. Grimsi boz renkli çakıltaşları, çok tane bileşenli ve orta – orta kötü dokusal olgunluğa sahiptir. Çakıltaşları ile ince kırıntılı bölümler arasındaki sınırlar ise taban aşınmalı olarak gözlenir. Formasyonun alt dokanağı Sazak Formasyonu ile yanal ve düşey yönde geçişli ve uyumlu, üst dokanağı ise açısal uyumsuzlukla Tosunlar Formasyonu ile örtülür.

Bu formasyon içinde yine farklı çalışmalarda farklı yaşlar önerilir. Kızılburun ve

Sazak formasyonları ile uyumlu olduğu belirtilerek Alt Pliyosen yaşı olarak değerlendirmiştir (Şimşek, 1984). Formasyon içinde gözlemledikleri Insectivora, Rodentia, Carnivora, Tubulidentata, Perissodactyla, Artiodactyla gibi mikromemeli faunalarının birliklerine dayanarak MN 11 – 12 ve 17 gibi memeli zonlarına denk gelen orta Geç Miyosen – Geç Pliyosen yaşı önerilmiştir (Alçıçek vd., 2007).

3.2.6. Tosunlar Formasyonu

Bu formasyon özelinde yapılan çalışmalar, yine bölgedeki diğer Neojen yaşlı birimler gibi 60'lı yılların başlarında gerçekleşmiş olmasına karşın, yine ilk kez Şimşek (1984) tarafından Tosunlar Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Tosunlar Formasyonu başlıca çakılda ve kumtaşı gibi kırıntılı tortul kayalardan yapıldır. Kumtaşları genelde grimsi krem ve yeşilimsi gri renklerde, çakılda ise açık sütlü kahve ve grimsi yeşil renklerde gözlenir. İnceleme alanı ve çevresinde Savcılı ve Kızıldere'nin güneyinde kısıtlı bir alanda gözlenen birimin toplam kalınlığı yaklaşık 50 metre civarındadır. Bu formasyon özellikle Büyük Menderes Grabeni'nin kuzey kenarını şekillendiren yaklaşık DKD –BGB gidişli havza kenar faylarının tavan bloklarında, faylara bitişik ve bu yapısal hatlar kontrolünde gelişmiş bir geometriye sahiptir. Genelde yatay ve yataya yakın katmanlanma özelliği gösteren birim içinde ters ve normal derecelenmeye sahip çakılda Menderes Masifi Metamorfikleri'nden ve Sazak Formasyonu'nun taneler içeren çok tane bileşenli, genelde kötü dokusal olgunluğa sahip ve güney – güneybatıya akıntı yönlerine işaret eden kiremitvari çakıl dizilimleri gibi sedimanter yapılar içerirler.

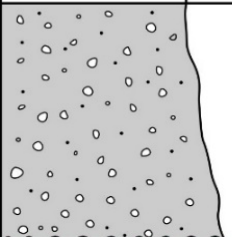
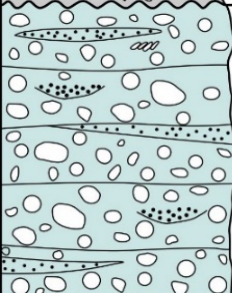
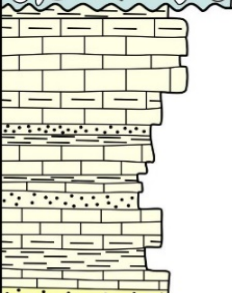
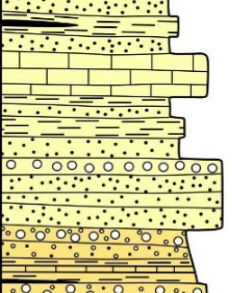
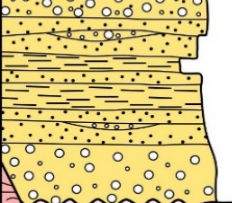
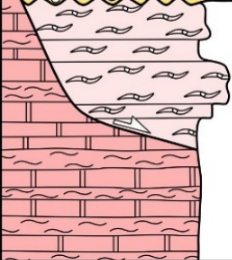
Birimin jeolojik yaşı için yine farklı çalışmalar değişik yaş aralıkları önermektedir. Şimşek (1984) formasyona Üst Pliyosen yaşını önerir. Formasyon içindeki paleontolojik veri eksikliği birimin yaşının belirlenmesini güçleştirmektedir. Alçıçek vd. (2007) ise birimin yaşının Erken Kuvaterner olabileceğini yorumlamıştır. Bu çalışma kapsamında ise formasyonun stratigrafik yeri gözetilerek birime Pliyo-Kuvaterner yaşı önerilmiştir.

3.2.7. Alüvyon

İnceleme alanı içerisinde batıda Savcılı'dan doğuda Karakırana kadar gözlenen ve Büyük Menderes Nehri'nin ve grabenin gidişine paralel olarak DKD-BGB doğrultusunda uzanım gösteren Kuvaterner yaşlı çoğunlukla kaba kırıntılı çökeller Alüvyon birimi adı

altında toplanmıştır. Genelde bu birimler olası Holosen ya da Kuvaterner jeolojik yaşa sahip az pekleşmiş tortul kayalar ve/veya çökelimleri hala devam eden tortullardan oluşmaktadırlar. Bu çökel toplulukları, ana hatları ile iki başlık altında değerlendirilebilir. Bunlar; Büyük Menderes Nehri'nin ana kolu içinde çökelmiş taşkın ve kanal çökellerinden oluşan fluviyal çökeller ile, havzaya yaklaşık dik gelişmiş ve kuzeyden güneye doğru akan İrmenli, Eskiköy, Gebeler ve özellikle Kızıldere'nin havzaya açıldığı alanlarda ve DKD uzanımlı havza kenar fayları önünde depolanmış ve hala çökelimlerine devam eden alüvyon yelpazelerinden oluşur.

Alüvyon yelpazesi fasiyesinde çökelen tortullar, blok ve kil arası tanelerden, boylanması kötü - çok kötü, kötü - orta yuvarlaklık ve küresellik gösteren, polimiktik bileşimde kırıntılı tortullardan yapılıdır. Blok ve çakıllar egemen olarak Menderes Masifi Metamorfikleri'den türeme gnays, şist ve mermer gibi metakırıntılı ve metakarbonatlardan, az miktarda ise kumtaşı, kireçtaşı, killi kireçtaşı ve çakıltaşı bileşenlerinden yapılıdır. Bu çökellerin, kaba orta kırıntılı örgütlenmiş bölümlerinde gözlenen sedimenter yapılar, egemen akıntı yönünün GGB olduğunu göstermektedir. Sınırlı alanlarda gözlenebilen BMN'nin kanal çökelleri kahverengimsi ve gri renkli, bloklu kaba çakıltaşı ve çakıllı kumtaşlarından oluşur. Tane bileşenleri kendisinden daha yaşlı tüm kayalardan türeme kırıntılardan oluşmakla beraber, bileşimsel olarak metamorfik kaya kırıntıları ağırlıktadır. Kanal çökellerinin inceleme alanı içindeki yayılım sınırları ve ince taneli taşkın tortulları ile stratigrafik ilişkisi örtülü olduğundan açıkça gözlenememekle beraber, taşkın çökelleri, inceleme alanının güneyinde nehrin terkedilmiş kanallarının üst bölümlerinde, yamalar şeklinde kısıtlı yüzlelerde çok az görülebilmektedir. Bu çökeller genelde ince/çok ince taneli kum ve çamur baskın fasiyeslerde izlenirler. İnceleme alanının orta ve güney bölümünde ise yelpazelerin alüvyonel düzlükleri, Büyük Menderes Nehri'nin fluviyal kırıntılı çökelleri ile yanal ve düşey geçişli bir dokanak özelliği gösterirler. Bu birimler Büyük Menderes Grabeni içindeki çökelimlerine günümüzde hala devam etmektedirler (Sözbilir vd., 2016).

YAŞ	BİRİM	KALINLIK	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR	
KUVATERNER	Alüvyon	~ 70 m		Blok ve kil arası tanelerden, boylanması kötü - çok kötü, kötü - orta yuvarlaklık ve küresellik gösteren, polimiktik bileşimde kırıntılı tortullardan yapıli, baskın olarak metamorfik kaya kırıntılarından oluşmuş alüvyal ve fluviyal çökeller.	
PLİYO-KUVATERNER	Tosunlar Formasyonu	~ 50 m		Grimsi krem ve yeşilimsi gri renkli kumtaşı, grimsi yeşil renkli, çok tane bileşenli, kiremit vari dizilim gösteren, baskın olarak bloklu çakıltaşından yapıli alüvyon yelpaze çökeli.	
MİYOSEN	Denizli Grubu	Kolonkaya Formasyonu	~ 200 m		Grimsi beyaz, kirli beyaz renkli baskın olarak iyi boylanmış kumtaşı, tabanda ve üstte killi kireçtaşı ve kireçtaşı ara seviyeleri içeren, silttaşı, kiltası ve kumtaşı araldanması.
		Sazak Formasyonu	~ 200 m		Beyazımsı sarı, kirli gri renlerde, alt bölümlerinde bitümlü şeyllerle dereceli geçiş gösteren orta ve ince taneli kumtaşı, çakıltaşı, üste doğru karbonat kayalardan yapıli karasal çökeller.
		Kızılburun Formasyonu	~ 350 m		Kızılımsı şarabi, yer yer açık kahve grimsi renlerde, genellikle Menderes Masifine ait kayalardan türeme kırıntılar içeren, tabanda çakıltaşı, üste doğru ince kömür ve kireçtaşı ara seviyeleri bulunan, baskın olarak kumtaşı ve çamurtaşı araldanması.
NEOJEN ÖNCESİ	Menderes Masifi Metamorfikleri			Turuncumsu kıvı kahve renkli gnays ve migmatit Grimsi yeşil, beyazımsı krem renkli şist, fillit ve mermer baskın metamorfik kayalar	

Şekil 3.2. İnceleme alanının litostratigrafik kolon kesiti (Sözbilir vd., 2016)

3.3. İnceleme Alanının Mühendislik Jeolojisi

İnceleme alanında Miyosen yaşlı, Denizli Grubundan Sazak Formasyonuna ait kiltası ayrışma ürünleri ve kiltası-marn ar dalanması yer almaktadır. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarında, 0.30~0.50 m bitkisel toprak, bu seviye altından 7.80-11.00 m arasında değişen derinlikte yeşilimsi gri yer yer kırmızımsı kahverengi renkli, içerisinde blok ve çakıl boyutunda kireçtaşı-kalsedon yumruları içeren sert kıvamda siltli kil (CI), killi silt (ML), bu derinliklerden sonra araştırma derinliği olan 20~25 m'lere kadar kadar kiltası-marn ar dalanması geçilmiştir.

Marn birimi grimsi bej renkli, orta ince tabakalı, orta derecede ayrışmış, çok düşük dayanımlı, çok kötü-kötü kayaç kalitesindedir. Kiltası birimi yeşilimsi gri renkli, ince orta tabakalı, yersel laminalı, lamina yüzeyleri boyunca zor ayrılabilen, kötü ve orta pekleşmiş/kötü-orta tutturulmuş, orta-çok ayrışmış, çok düşük dayanımlı, kötü-orta-iyi aralıkta değişen kayaç kalitesindedir. Kiltaları yer yer tamamen ayrışmış olup zemin niteliğindedir. Bu seviyeler kiltası ayrışma ürünü yeşilimsi gri renkli, sert kıvamda siltli kil, (CI) ve yer yerde kayaca ait çakıl boyutunda parçalar bulundurarak sert kıvamda killi çakıl (GC) seviyeleri şeklinde görülmektedir.

Temel araştırma sondaj verilerine göre inceleme alanı genelleştirilmiş zemin profili aşağıda verilmiştir.

Zemin Profili	
Bitkisel Toprak	0.30 ~ 0.50 m
Kireçtaşı-Kalsedon Yumruları İçeren Sert Kıvamda Siltli Kil, Killi Çakıl (Kiltası Ayrışma Ürünleri)	7.80 ~ 11.0 m
Sazak Formasyonu Kiltası-Marn Ar dalanması (Kil Seviyeli)	20.0 ~ 25.0 m

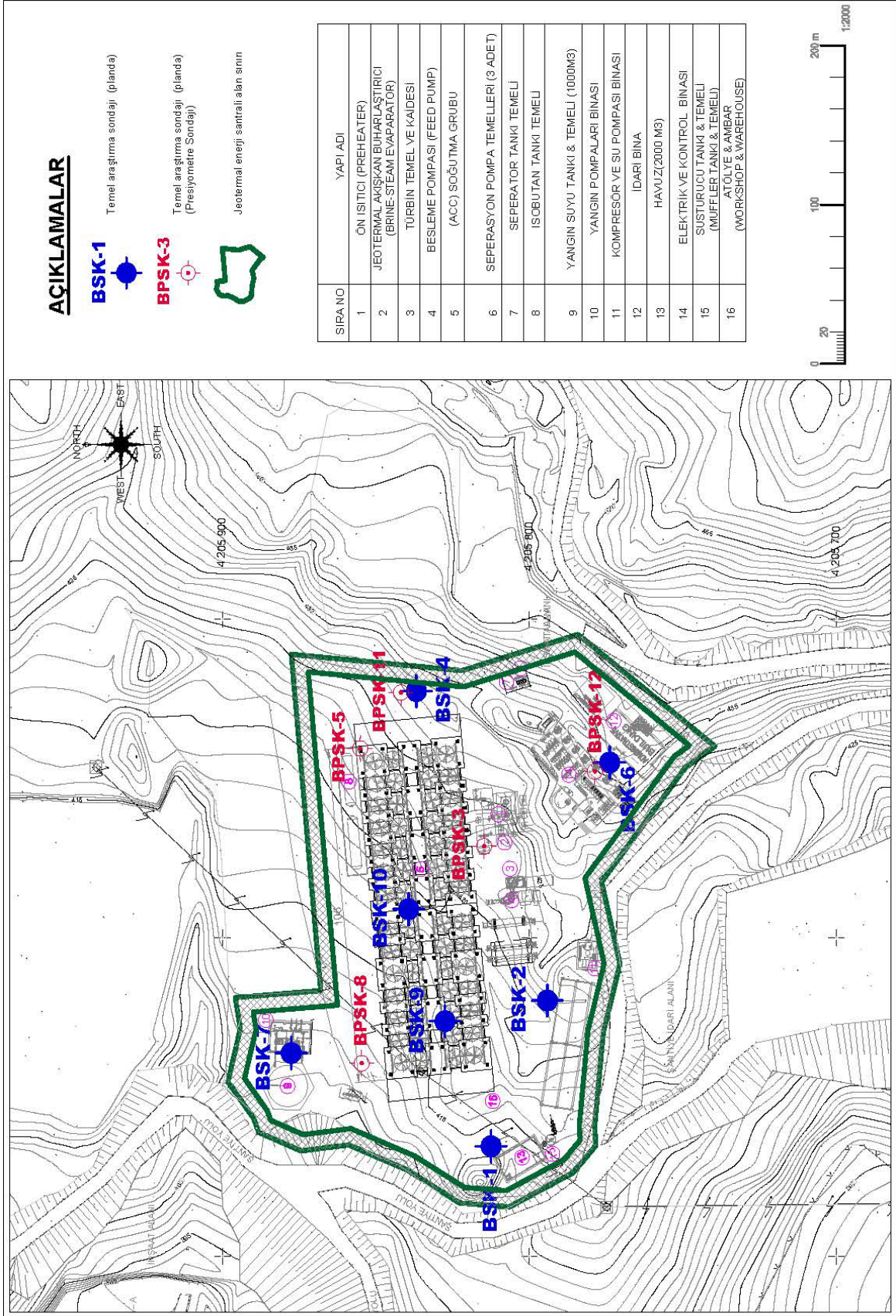
Şekil 3.3. İnceleme alanı genelleştirilmiş zemin profili

3.4. Arazi Araştırmaları ve Yerinde Deneyler

Arazi araştırmaları kapsamında, inceleme alanında 12 adet ve derinlikleri 20.00-25.00 m arasında değişen, toplam 260 m derinlikte sondaj kuyusu aılımtır. BSK-1 (20 m), BSK-2 (20 m), BSK-4 (25 m), BSK-6 (20 m), BSK-7 (20 m), BSK-9 (20 m) ve BSK-10 (20 m) olmak üzere toplam 145 m karotlu sondaj yapılmış; BPSK-3 (25 m), BPSK-5 (25 m), BPSK-8 (20 m), BPSK-11 (25 m) ve BPSK-12 (20 m) nolu kuyular presiyometre deneyi amaçlı açılmış olup, toplam 115 m karotsuz ilerlenerek her bir kuyuda 2 m’de bir olmak üzere 5 adet kuyuda toplam 56 adet presiyometre deneyleri yapılmıştır.

Karotlu sondajlardan belirli aralıklarla uygun zeminlerde SPT deneyi yapılmış ve uygun zeminlerde karot numuneler alınmıştır. Zeminin sert kıvamda olması ve çakıllı seviyeler içermesi sebebiyle SPT deneyleri sınırlı sayıda yapılabilmifitir. Sondajlardan toplam 5 adet rselenmiş SPT numunesi ve 29 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde su içeriği, doğal birim hacim ağırlığı, elek analizi, kıvam limitleri, zemin sınıfı tayini, tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır.

İnceleme alanında yapılan sondajlarda BSK-1: 18.00 m, BSK-2: 17.00 m, BPSK-3: 13.50 m, BSK-4: 11.50 m, BPSK-5: 9.00 m, BSK-6: 18.10 m, BSK-7: 8.50 m, BPSK-8: 11.00 m, BSK-9: 7.00 m, BSK-10: 8.00 m, BPSK-11: 11.55 m, BPSK-12: 18.00 m’de yeraltı su seviyelerine rastlanılmış olup, bu YASS piyezometrik seviye olarak yorumlanmıştır. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondaj lokasyonları Şekil 3.4.’de, temel araştırma sondaj bilgileri Tablo 3.1.’de verilmektedir.



Şekil 3.4. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondaj lokasyonları

Tablo 3.1. İnceleme alanında yapılan temel araştırma sondajlarının bilgileri

Sondaj No	Derinlik (m)	Birim	Formasyon Adı	Y	X
BSK-1	0.00-0.50	Bitkisel toprak	Sazak Formasyonu	658895	4205190
	0.50-8.00	Blok boyutunda kalsedon ve kireçtaşı yumruları içeren ayrışma ürünü siltli kil-killi çakıl			
	8.00-12.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli KİL-Killi çakıl			
	12.00-16.50	Marn-Kiltaşı ardalanması			
	16.50-20.00	Kiltaşı			
BSK-2	0.00-0.50	Bitkisel toprak	Sazak Formasyonu	658994	4205173
	0.50-2.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli kil-killi silt			
	2.00-3.00	Marn			
	3.00-4.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli kil-killi çakıl			
	4.00-8.50	Kiltaşı-ayrışma ürünü siltli kil			
	8.50-20.00	Kiltaşı-Marn ardalanması			
BSK-4	0.00-0.50	Bitkisel toprak	Sazak Formasyonu	659037	4205219
	0.50-9.00	Blok boyutunda kalsedon ve kireçtaşı yumruları içeren ayrışma ürünü siltli kil-killi silt			
	9.00-11.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli kil-killi çakıl			
	11.00-12.00	Marn			
	12.00-23.30	Kiltaşı			
	23.30-24.00	Marn			
	24.00-25.00	Kiltaşı			
BSK-6	0.00-0.50	Bitkisel toprak	Sazak Formasyonu	659016	4205155
	0.50-1.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli silt			
	1.00-1.50	Marn			
	1.50-4.50	Kiltaşı			
	4.50-4.70	Marn			
	4.70-6.00	Kiltaşı			
BSK-6	6.00-12.00	Marn-ayrışma ürünü siltli kil ardalanması	Sazak Formasyonu		
	12.00-20.00	Kiltaşı			
BSK-7	0.00-0.50	Bitkisel toprak	Sazak Formasyonu	658922	4205256
	0.50-11.00	Blok boyutunda kalsedon ve kireçtaşı yumruları içeren ayrışma ürünü siltli Kil-killi çakıl			
	11.00-18.00	Kiltaşı ayrışma ürünü siltli Kil-Marn ardalanması			
	18.00-20.00	Kiltaşı-Marn ardalanması			

NOT: Koordinatlar, UTM-ED50 (6°)'ye göre verilmiştir.

İnceleme alanında yapılan SPT deney sonuçları Tablo 3.2.'de, presiyometre deneyinden elde edilen jeoteknik parametreler Tablo 3.3.'de verilmektedir.

Tablo 3.2. İnceleme alanında yapılan SPT deneyinde elde edilen SPT-N₃₀ değerleri

Sondaj No	Derinlik (m)	SPT-N	SPT-N ₃₀	Litoloji	Formasyon
BSK-1	1.50-1.95	11-13-20	33	Siltli Kil-Killi Çakıl	Sazak Formasyonu
	3.00-3.02	50/2 cm	>50	Siltli Kil	
	4.50-4.68	16-50/3 cm	>50	Siltli Kil	
	6.00-6.17	27-50/2 cm	>50	Siltli Kil	
	7.50-7.53	50/3 cm	>50	Siltli Kil	
	9.00-9.02	50/2 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil - Killi Çakıl	
	10.50-10.52	50/2 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil - Killi Çakıl	
BSK-2	1.50-1.95	10-13-18	31	Ayrışma ürünü Siltli Kil	Sazak Formasyonu
	3.00-3.45	14-25-48	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil	
	4.50-4.52	50/2 cm	31.2	Ayrışma ürünü Siltli Kil	
	6.00-6.00	Refü	Refü	Marn	
	7.50-7.53	50/3 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil	
BSK-4	1.50-1.95	10-22-22	44	Siltli Kil	Sazak Formasyonu
	3.00-3.45	8-14-15	29	Siltli Kil	
	4.50-4.53	50/3 cm	>50	Siltli Kil	
	6.00-6.21	23-50/6 cm	>50	Siltli Kil	
	7.50-7.53	50/3 cm	>50	Kireçtaşı yumrusu	
	9.00-9.02	50/2 cm	>50	Kiltaşı	
BSK-6	1.50-1.68	25-50/3 cm	18	Kiltaşı	Sazak Formasyonu
	7.50-7.70	23-50/5 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil	
	9.00-9.03	50/3 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli Kil	
BSK-7	1.50-1.95	7-8-12	20	Siltli Kil	Sazak Formasyonu
	3.00-3.45	10-14-16	30	Siltli Kil	
	4.50-4.95	12-14-16	30	Siltli Kil	
	6.00-6.45	12-16-19	35	Siltli Kil	
	7.50-7.95	10-7-10	17	Siltli Kil	
	9.00-9.45	9-10-10	20	Ayrışma Ürünü Siltli Kil	
	10.50-10.95	10-14-14	28	Ayrışma Ürünü Siltli Kil	
	12.00-12.45	14-18-22	40	Ayrışma Ürünü Siltli Kil	
	13.50-13.95	17-17-23	40	Ayrışma Ürünü Siltli Kil	
	15.00-15.45	14-15-20	35	Ayrışma Ürünü Siltli Kil	
	16.50-16.95	20-50/ 4 cm	>50	Kiltaşı	
	18.00-18.45	21-27-34	61	Ayrışma Ürünü Siltli kil	
BSK-9	1.50-1.51	50/1 cm	>50	Kalsedon yumrusu	Sazak Formasyonu
	3.00	Refü	Refü	Kireçtaşı yumrusu	
	4.50	Refü	Refü	Kireçtaşı yumrusu	
	6.00	Refü	Refü	Kireçtaşı yumrusu	
	7.50-7.53	50/3 cm	>50	Siltli KİL	
	9.00-9.02	50/2 cm	>50	Ayrışma ürünü Siltli kil	
BSK-10	1.50-1.53	50/3 cm	>50	Kireçtaşı yumrusu	Sazak Formasyonu
	3.00-3.02	50/2 cm	>50	Kireçtaşı yumrusu	
	4.50-4.95	15-20-21	41	Siltli kil	

Tablo 3.3. Presiyometre deney sonuçlarından elde edilen jeoteknik parametreler

Sondaj No	Derinlik (m)	E_M (kg/cm ²)	P_L (kg/cm ²)	E_M/P_L^*	P_0 (kg/cm ²)	P_L-P_0 (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)	α	c (kg/cm ²)	ϕ
BPSK-3	2	144,5	12,61	11,46	0,18	7,38	0,988	2,5	1,25	30,25
BPSK-3	4	157,3	14,6	10,77	0,33	11,15	1,365	2,5	1,96	32,63
BPSK-3	6	543,3	23,29	23,33	0,46	17,59	2,009	1,7	2,86	35,26
BPSK-3	8	1278	33,43	9,00	1,3	21,78	2,428	1	3,46	36,49
BPSK-3	10	1381	33,32	41,45	1,8	26,76	2,926	1	4,33	37,68
BPSK-3	12	1513	33,32	45,41	2,74	21,82	2,432	1	3,38	36,50
BPSK-3	14	1290	28,42	45,39	1,8	21,79	2,429	2,5	3,02	36,49
BPSK-3	16	1670	28,64	58,31	1,8	21,85	2,435	2,5	2,93	36,51
BPSK-3	18	1564	33,31	46,95	1,8	25,79	2,829	2,5	3,56	37,47
BPSK-3	20	1496	33,38	44,82	2,74	26,77	2,927	2,5	3,73	37,68
BPSK-3	22	1312	33,39	39,29	2,74	26,74	2,924	1,7	4,02	37,68
BPSK-3	24	1522	33,32	45,68	1,8	26,78	2,928	1,7	3,93	37,68
BPSK-5	2	121,9	13,49	9,04	0,17	10,02	1,252	3	1,76	32,01
BPSK-5	4	163,6	15,1	10,83	0,33	11,18	1,368	2,5	1,95	32,64
BPSK-5	6	323,6	15,14	21,37	0,49	11,55	1,405	1,7	2,27	32,83
BPSK-5	8	533,8	22,92	23,29	0,61	17,6	2,01	1,7	2,87	35,26
BPSK-5	10	918,5	28,01	32,79	0,75	18,75	2,125	1	3,08	35,63
BPSK-5	12	701,1	23,03	30,44	0,97	12,77	1,527	1	2,08	33,41
BPSK-5	14	951,7	23,01	41,36	1,13	12,83	1,533	1	1,99	33,44
BPSK-5	16	624,7	27,87	22,41	1,17	21,58	2,408	1,7	3,53	36,44
BPSK-5	18	968,7	28,16	34,40	1,33	20,73	2,323	1	3,42	36,21
BPSK-5	20	970,1	28,07	34,56	1,54	16,78	1,928	1	2,69	34,99
BPSK-5	22	843	33,16	25,42	1,59	22,66	2,516	1	3,88	36,72
BPSK-5	24	1632	33,32	48,98	1,68	26,79	2,929	1	2,63	37,69
BPSK-8	2	142,4	12,64	11,26	0,17	9,23	1,173	2,5	1,61	31,54
BPSK-8	4	174,1	14,67	11,87	0,34	9,35	1,185	2,5	1,58	31,61
BPSK-8	6	123,4	14,26	8,65	0,52	9,13	1,163	1,7	1,75	31,47
BPSK-8	8	643,8	22,95	9,00	0,61	16,69	1,919	1	2,86	34,96
BPSK-8	10	1160	33,49	34,64	0,7	26,71	2,921	1	4,45	37,67
BPSK-8	12	1319	33,42	39,47	0,84	26,74	2,924	1	4,36	37,68
BPSK-8	14	1222	28,4	43,03	1,02	21,78	2,428	2,5	3,04	36,49
BPSK-8	16	1695	28,2	60,11	1,2	18,86	2,136	2,5	2,48	35,66
BPSK-8	18	2127	33,53	63,44	1,26	26,84	2,934	2,5	3,57	37,70
BPSK-8	20	1273	33,53	37,97	1,39	27,72	3,022	2,5	3,97	37,88
BPSK-11	2	240,4	14,5	16,58	0,18	7,61	1,011	1,7	1,26	30,42
BPSK-11	4	182,1	16,49	11,04	0,32	13,14	1,564	2,5	2,31	33,58
BPSK-11	6	183,3	16,51	11,10	0,48	13,15	1,565	2,5	2,31	33,58
BPSK-11	8	968,8	28,18	34,38	0,61	16,78	1,928	1	2,69	34,99
BPSK-11	10	1185	28,1	42,17	0,74	19,8	2,23	1	3,14	35,94
BPSK-11	12	1279	28,24	45,29	0,89	19,81	2,231	1	3,11	35,94
BPSK-11	14	977,6	33,42	29,25	0,99	25,67	2,817	1	4,37	37,44
BPSK-11	16	619,5	32,92	18,82	1,14	24,52	2,702	1,7	4,10	37,18
BPSK-11	18	841	27,85	30,20	1,35	18,72	2,122	1	3,12	35,62
BPSK-11	20	847,1	27,82	30,45	1,54	16,76	1,926	1	2,74	34,98
BPSK-11	22	3222	34,34	93,83	1,52	28,89	3,139	1	4,15	38,12
BPSK-11	24	2307	33,28	69,32	1,75	26,86	2,936	1	4,02	37,70

Tablo 3.3. 'ün devamı

Sondaj No	Derinlik (m)	E_M (kg/cm ²)	P_L (kg/cm ²)	E_M/P_L^*	P_0 (kg/cm ²)	P_L-P_0 (kg/cm ²)	C_u (kg/cm ²)	α	c (kg/cm ²)	ϕ
BPSK-12	2	199,5	12,55	15,89	0,18	7,53	1,003	1,7	1,29	30,36
BPSK-12	4	225,2	14,57	15,46	0,36	7,58	1,008	1,7	1,27	30,40
BPSK-12	6	181,4	16,55	10,96	0,48	13,14	1,564	2,5	2,31	33,58
BPSK-12	8	324,1	22,66	9,00	0,63	14,46	1,696	3	2,27	34,13
BPSK-12	10	1166	23,16	50,35	0,75	18,8	2,13	1	2,97	35,64
BPSK-12	12	2609	33,34	78,25	0,84	26,87	2,937	1	3,95	37,70
BPSK-12	14	1477	33,34	44,30	1,02	21,81	2,431	1	3,39	36,50
BPSK-12	16	1281	33,32	38,45	1,13	25,75	2,825	1	4,19	37,46
BPSK-12	18	1156	33,35	34,66	1,26	26,71	2,921	1	4,45	37,67
BPSK-12	20	1195	33,53	35,64	1,4	26,72	2,922	1	4,43	37,67

Ayrışma ürünü zeminlerin elastisite modülü 121,9-240.4 kg/cm², kohezyonu (c) 1.25-1.96 kg/cm², içsel sürtünme açısı (ϕ) ise 30.25⁰-32.64⁰ arasında değişmektedir. Elastisite modülü/Limit basınç oranı ise 8.65-16.58 arasındadır. Bu derinliklerin altında yer alan kıltaşı-marn ardalması ait elastisite modülü 240.4-3222 kg/cm², kohezyonu (c) 1.96-4.45 kg/cm², içsel sürtünme açısı (ϕ) ise 32.83⁰-38.12⁰'dir. Elastisite modülü/Limit basınç oranı ise 9-93.83 arasındadır.

3.4.1. Zemin Birimlerinin Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında derinlikleri 20 ile 25 metre arasında değişen 7 adet temel araştırma sondajı yapılmıştır. Sondaj kuyularından alınan numuneler üzerinde elek analizi, kıvam limitleri, su içeriği, doğal birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Laboratuvar deney sonuçları ve örnek derinlikleri Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.4. Zeminlerin indeks- fiziksel özellikleri

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği (%)	Elek Analizi (%)		Kıvam Limitleri (%)			Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Zemin Sınıfı
				#10 (+)	# 200 (-)	LL	PL	PI		
BSK-1	K-1	4.00-4.50	17,91	39,48	43,21	27,53	14,84	12,69		GC
BSK-1	K-2	8.00-9.00	11,02	44,12	27,73	35,94	14,44	21,50	19,16	GC
BSK-1	K-3	13.60-14.00	6,74						24,10	

Tablo 3.4.'ün devamı

Sondaj No	Örnek No	Derinlik (m)	Su İçeriği %	Elek Analizi (%)		Kıvam Limitleri (%)			Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Zemin Sınıfı TS 1500
				#10 (+)	# 200 (-)	LL	PL	PI		
BSK-1	K-4	18.50-19.00	12,74						22,64	
BSK-2	SPT-1	1.50-1.95	17,03	12,65	68,11	NP	NP	NP		ML
BSK-2	K-1	3.60-3.80	18,00	39,20	44,04	50,72	27,63	23,09	18,83	GC
BSK-2	K-2	8.30-8.70	30,63						17,10	
BSK-2	K-3	11.50-11.60	3,10						18,57	
BSK-2	K-4	13.50-13.80	16,90	24,09	62,18	33,19	17,54	15,65	18,57	CL
BSK-2	K-5	19.00-19.50	13,75						20,90	
BSK-4	SPT-2	3.00-3.45	17,76	27,12	57,83	28,48	25,18	3,30		ML
BSK-4	K-1	12.20-12.50	38,76	6,37	71,15	55,87	24,24	31,63	18,35	CH
BSK-4	K-2	13.95-14.30	21,09						19,80	
BSK-4	K-3	15.33-15.50	18,15						21,54	
BSK-6	K-1	1.90-2.10	20,81	8,32	66,32	NP	NP	NP	17,57	ML
BSK-6	K-2	9.40-9.60	30,26	8,28	65,36	43,11	20,10	23,02	19,55	CI
BSK-6	K-3	10.70-10.87	1,39						26,93	
BSK-6	K-4	13.70-13.85	21,97						19,30	
BSK-6	K-5	17.70-17.85							22,82	
BSK-7	SPT-1	1.50-1.95	15,73	0,00	92,93	32,85	12,86	19,99		CL
BSK-7	K-1	2.30-2.60	36,91	1,53	84,00	35,99	14,18	21,80	18,80	CI
BSK-7	SPT-3	4.50-4.95	19,51	15,74	60,77	27,90	15,34	12,56		CL
BSK-7	K-2	8.00-8.50	14,01	60,03	25,28	30,08	13,13	16,95	20,71	GC
BSK-7	K-3	17.00-17.70	22,80	0,40	84,63	44,96	21,76		19,43	CI
BSK-9	K-1	4.70-5.00	22,32	7,55	66,86	NP	NP	NP	19,52	ML
BSK-9	K-2	6.20-6.70	33,57	0,59	75,20	37,39	17,31	20,08	21,16	CI
BSK-9	K-3	9.20-9.60	24,21						20,10	
BSK-9	K-4	13.00-13.50	22,17						21,50	
BSK-9	K-5	13.75-13.95	31,92	1,52	89,83	41,31	20,94	20,37		CI
BSK-9	K-6	19.00-19.30	5,32						18,00	
BSK-10	SPT-3	4.50-4.95	9,86	49,09	29,45	46,69	23,21	23,48		GC
BSK-10	K-1	8.50-9.00	20,10	28,47	63,17	49,87	21,60	28,27	20,08	CI
BSK-10	K-2	12.00-12.50	28,48	27,10	55,94	42,01	17,54	24,48	17,47	CI
BSK-10	K-3	16.00-17.00	26,78	7,50	80,91	49,15	20,55	28,60	20,48	CI

3.4.2. Zemin Birimlerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında açılan sondajlarda Sazak Formasyonunun rezidüel seviyelerini temsil eden zemin birimlerinden alınan karot numuneler üzerinde, serbest basınç deneyleri yapılmıştır (Tablo 3.5.). İnceleme alanında zeminin çok sert kıvamda olması nedeniyle örselenmemiş (UD) numune alınamamıştır. Buna bağlı olarak da konsolidasyon deneyi ve üç eksenli basınç deneyleri yapılamamıştır.

Tablo 3.5. Zeminlerin mekanik özellikleri

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Serbest Basınç Dayanımı (kPa)	Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	Formasyon Adı
BSK-1	K-2	8.00-9.00	915,3	19,16	Sazak Formasyonu
BSK-2	K-1	3.60-3.80	179,55	18,83	
BSK-4	K-1	12.20-12.50	258,32	18,35	
BSK-6	K-1	1.90-2.10	251,16	17,57	
BSK-7	K-1	2.30-2.60	26,32	18,80	
BSK-7	K-2	8.00-8.50	119,280	20,71	
BSK-7	K-3	17.00-17.70	252,90	19,43	
BSK-9	K-1	4.70-5.00	1532,96	19,52	
BSK-9	K-2	6.20-6.70	489,60	21,16	
BSK-10	K-1	8.50-9.00	857,12	20,08	
BSK-10	K-3	16.00-17.00	974,28	20,48	

3.4.3. Kaya Birimlerinin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında yer alan Sazak Formasyonuna ait kaya birimlerinin mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla tek eksenli basınç ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler ve sonuçları Tablo 3.6.' da verilmiştir.

Tablo 3.6. Kaya mekaniği deney sonuçları

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Nokta Yükleme Deneyi (I _{s50}) (kg/cm ²)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Formasyon Adı
BSK-1	K-3	13.60-14.00		6,0	Sazak Formasyonu

Tablo 3.6.'nın devamı

Kuyu No	Örnek No	Derinlik (m)	Nokta Yükleme Deneyi (I_{S50}) (kg/cm^2)	Tek Eksenli Basınç Dayanımı (MPa)	Formasyon Adı
BSK-1	K-4	18.50-19.00	2,8		Sazak Formasyonu
BSK-2	K-2	8.30-8.70		0,55	
BSK-2	K-3	11.50-11.60	18,5		
BSK-2	K-5	19.00-19.50		1,74	
BSK-4	K-2	13.95-14.30		1,86	
BSK-4	K-3	15.33-15.50	2,2		
BSK-6	K-3	10.70-10.87	61,1		
BSK-6	K-4	13.70-13.85		1,190	
BSK-6	K-5	17.70-17.85	1,5		
BSK-9	K-3	9.20-9.60		0,830	
BSK-9	K-4	13.00-13.50		1,69	
BSK-9	K-6	19.00-19.30	21,4		

Sondajlardan alınan örneklerin üzerinde laboratuvarında yapılan nokta yük dayanım indeksi değerleri 1.5-61.1 kg/cm^2 aralığında bulunmuştur. Minimum ve maksimum değerler aşağıda Tablo 3.7.'de verilmiştir. En yüksek değer (61.1 kg/cm^2) genel trende uygun olmadığından elimine edilmiştir.

Tablo 3.7. Sondajlardan alınan örneklerin nokta yük dayanım değerleri

Formasyon (Litoloji)	Nokta Yükleme İndisi (kg/cm^2) (Min)	Kayaç Sınıfı	Nokta Yükleme İndisi (kg/cm^2) (Maks)	Kayaç Sınıfı
Sazak Formasyonu (Kiltaşlı-Marn)	1.5	Çok Düşük Dayanımlı	21.4	Orta Dayanımlı

Tablo 3.8. Kayaçların nokta yük dayanım indeksi sonuçlarına göre sınıflaması (Bieniawski, 1975).

Kayaç Sınıfı	Nokta Yük Dayanımı (kg/cm^2)
Çok Yüksek Dayanımlı	> 80
Yüksek Dayanımlı	80 – 40

Tablo 3.8.'in devamı

Kayaç Sınıfı	Nokta Yük Dayanımı (kg/cm ²)
Orta Dayanımlı	40 – 20
Düşük Dayanımlı	10 – 20
Çok Düşük Dayanımlı	< 10

Sondajlardan alınan örnekler üzerinde laboratuvarında yapılan tek eksenli basınç dayanım değerleri 0.55-6.0 MPa aralığında bulunmuştur. Minimum ve maksimum değerler aşağıda Tablo 3.9.'da verilmiştir. En yüksek değer (6 MPa) genel trende uygun olmadığından elimine edilmiştir.

Tablo 3.9. Sondajlardan alınan örneklerin tek eksenli basınç dayanım değerleri

Formasyon (Litoloji)	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²) (Min)	Kayaç Sınıfı	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²) (Max)	Kayaç Sınıfı
Sazak Formasyonu (Kiltaşı-Marn)	5.50	Çok Düşük Dayanımlı	18.96	Çok Düşük Dayanımlı

Tablo 3.10. Tek eksenli basınç dayanımına göre kayaçların sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966).

Kayaç Sınıfı	Tek eksenli basınç dayanımı (kg/cm ²)
Çok yüksek dayanımlı	> 2000
Yüksek dayanımlı	2000-1000
Orta dayanımlı	1000-500
Düşük dayanımlı	500-250
Çok düşük dayanımlı	<250

3.5. Mühendislik Analizleri ve Değerlendirme

3.5.1. Taşıma Gücü

Yapılarda aranan en önemli şartlardan birisi, yapıdan gelecek yüklerin zemin tarafından emniyetle taşınmasıdır. Zeminin taşıma gücü arazide yapılan presiyometre deneyinden elde edilen net limit basınç değeri (P_L^*) ile hesaplanabilir (Baquelin vd., 1978).

JES alanında yapılması planlanan 16 adet yapının öngörülen temel özelliklerine göre taşıma gücü hesapları yapılmış; temele en büyük gerilmelerin aktarılacağı iki önemli yapı için örnek hesaplar aşağıda verilmiştir. Diğer yapılara ait hesap sonuçları Tablo 3.11.'de verilmektedir.

(4) Nolu Yapı (Besleme Pompası) için BPSK-3 Nolu Kuyu Bilgileri ile Zemin Emniyetli Taşıma Gücü Hesabı;

Bu yapı için öngörülen temel karakteristiklerine göre;

Temel Derinliği (D_f): 2,00 m

Temel Genişliği (B): 10,00 m

Temel Boyu (L): 10,00 m

+R derinliğinden +3R derinliğine kadar eşdeğer net limit basınç değeri:

$P_{L*1} = \text{YOK}$

Temel taban seviyesinden R kadar derinlikte eşdeğer net limit basınç değeri:

$P_{L*2} = 11.31 \text{ kg/cm}^2$

-R kadar derinlikten -3R derinliğe kadar eşdeğer net limit basınç değeri:

$P_{L*3} = 22.72 \text{ kg/cm}^2$

$P_{L*e} = (P_{L*2} \times P_{L*3})^{1/2}$

$P_{L*e} = 16.03 \text{ kg/cm}^2$

$q_0 = h \times \gamma$

$q_0 = 2.00 \text{ m} \times (20 \text{ kN/m}^2) = 40 \text{ kPa} = 0.40 \text{ kg/cm}^2$

$q_{em} = q_0 + k / 3 \times (P_{L*e})$

k: Presiyometre taşıma gücü katsayısı olup D/B ve P_{L*e} değerlerine bağlı olarak abak üzerinden bulunmaktadır (Tablo 2.2. ve ya Şekil 2.2.).

k: 1.2 olarak alınmıştır.

Zemin emniyetli taşıma gücü değeri,

$$q_{em} = 0.40 + 1.2 \times 16.03 / 3 \quad q_{em} = 6,81 \text{ kg/cm}^2$$

(3) Nolu Yapı (Türbin Temel ve Kaidesi) için BPSK-3 Nolu Kuyu Bilgileri ile Zemin Emniyetli Taşıma Gücü Hesabı;

Bu yapı için öngörülen temel karakteristiklerine göre;

Temel Derinliği (D_f): 2,00 m

Temel Genişliği (B): 12,00 m

Temel Boyu (L): 12,00 m

+R derinliğinden +3R derinliğine kadar eşdeğer net limit basınç değeri:

$P_L^*1 = \text{YOK}$

Temel taban seviyesinden R kadar derinlikte eşdeğer net limit basınç değeri:

$$P_L^*2 = 13.32 \text{ kg/cm}^2$$

-R kadar derinlikten -3R derinliğe kadar eşdeğer net limit basınç değeri:

$$P_L^*3 = 24.02 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_L^*e = (P_L^*2 \times P_L^*3)^{1/2}$$

$$P_L^*e = 17.88 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_0 = h \times \gamma$$

$$q_0 = 2.00 \text{ m} \times (20 \text{ kN/m}^2) = 40 \text{ kPa} = 0.40 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{em} = q_0 + k / 3 \times (P_L^*e)$$

k: Presiyometre taşıma gücü katsayısı olup D/B ve $(p_l^*)_e$ değerlerine bağlı olarak abak üzerinden bulunmaktadır (Tablo 2.2. ve ya Şekil 2.2.).

k: 1.2 olarak alınmıştır.

Zemin emniyetli taşıma gücü değeri,

$$q_{em} = 0.40 + 1.2 \times 17.88 / 3$$

$$q_{em} = 7,55 \text{ kg/cm}^2$$

3.5.2. Oturma Miktarı

İnceleme alanında yer alan yüksek plastisiteli kil birimlerinin geçirimsizliği çok düşük olduğundan, suyun dışarı atılması uzun zaman alır, dolayısıyla da bu oturma zamana bağlı olarak gelişir. JES alanında yapılması planlanan 16 adet yapının öngörülen temel özelliklerine göre oturma hesapları yapılmış; seçilen iki yapı için örnek hesaplar aşağıda verilmiştir. Diğer yapılara ait hesap sonuçları Tablo 3.11'de verilmektedir.

$$S = ((1 + \mu) / 3 \times E_d) \times P \times R_0 (\lambda_d \times R / R_0)^\alpha + (\alpha \times R \times P \times \lambda_c) / 4,5 \times E_c$$

1 Nolu Yapı (Ön Isıtıcı) için BPSK-3 Nolu Kuyu Bilgileri ile Oturma Hesabı;

Bu yapı için öngörülen temel karakteristiklerine göre;

h= 2.00 m için;

E_1 = Temel seviyesi ile – R arası eşdeğer E_M modülü

$$E_1 = E_c = 144,5 \text{ kg/cm}^2$$

E_2 = -R - 2R arasındaki eşdeğer E_M modülü

$E_{3/4/5}$ = - 2 R - 5 R arasındaki eşdeğer E_M modülü

$$E_{3,4,5} = 292,34 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_d = \frac{3,2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85 \times E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}}$$

$$E_d = 310,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_2 = 1,12$$

$$\lambda_3 = 1,10$$

$$\alpha = 1/3 \text{ (Tablo 2.4)}$$

$$R = 1,00 \text{ m}$$

$$R_0 = 30 \text{ cm}$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$S = 1.33 / 3 E_d p R_0 (\lambda_2 \cdot R/R_0)^\alpha + \alpha / 4.5 E_c \cdot p \cdot \lambda_3 \cdot R$$

$$S = 0.39 \text{ cm (P: Proje Yüğü= 3,35 kg/cm}^2 \text{ için)}$$

4 Nolu Yapı (Besleme Pompası) için BPSK-3 Nolu Kuyu Bilgileri ile Oturma Hesabı;

Bu yapı için öngörülen temel karakteristiklerine göre;

h= 2.00 m için ;

E_1 = Temel seviyesi ile – R arası eşdeğer E_M modülü

$$E_1 = E_c = 144,5 \text{ kg/cm}^2$$

E_2 = -R - 2R arası eşdeğer E_M modülü

$$E_2 = 157,31 \text{ kg/cm}^2$$

$E_{3/4/5}$ = - 2 R - 5 R arası eşdeğer E_M modülü

$$E_{3,4,5} = 986,15 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_d = \frac{3,2}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{0,85 \times E_2} + \frac{1}{E_{3/4/5}}}$$

$$E_d = 207,79 \text{ kg/cm}^2$$

$$\lambda_2 = 1,12$$

$$\lambda_3 = 1,10$$

$$\alpha = 1/3 \text{ (Tablo 2.4.)}$$

$$R = 2,00 \text{ m}$$

$$R_0 = 30 \text{ cm}$$

$$S = S_1 + S_2$$

$$S = 1.33 / 3 E_d P R_0 (\lambda_2 \cdot R/R_0)^\alpha + \alpha / 4.5 E_c \cdot p \cdot \lambda_3 \cdot R$$

$$S = 0.93 \text{ cm (P: Proje Yüğü= 6,81 kg/cm}^2 \text{ için)}$$

Zemin emniyet gerilmesi ve oturma miktarı hesaplarından elde edilen sonuçlara göre yapıdan gelecek gerilmelerin zemine üniform olarak yayılmasını sağlamak ve ortaya çıkabilecek farklı oturmaları dengelemek amacıyla, JES ünitelerinin temel kazısının tabanı sıkıştırıldıktan sonra temellerin iyileştirilmesi (yaklaşık 10-20 cm grobeton ile) ve temellerin bunun üzerine inşa edilmesi önerilir. İlgili temel iyileştirme önlemleri alındığında öngörülen temel boyutları ve yapı yükleri ile JES ünitelerinin temel zemininde taşıma gücü ve oturma açısından bir problem beklenmemektedir.

3.5.3. Yatak Katsayısı

İnceleme alanında yapılması planlanan 16 adet yapının öngörülen temel özelliklerine göre yatak katsayısı hesapları yapılmış; seçilen bir yapı için örnek hesap aşağıda verilmiştir. Diğer yapılara ait hesap sonuçları Tablo 3.11.'de verilmektedir.

$$k_s = 40 \cdot q_u$$

$$q_u = q_{em} \cdot GS$$

(4) Nolu Yapı (Besleme Pompası) için Yatak Katsayısı Hesabı;

Bu yapı için öngörülen temel boyutları ile hesaplanan zemin emniyetli taşıma gücü;

$$q_{em} = 6,81 \text{ kg/cm}^2 = 681 \text{ kN/m}^2$$

$$q_u = q_{em} \cdot GS \quad (GS=3 \text{ alındığında})$$

$$q_u = 681 \cdot 3 = 2043 \text{ kN/m}^2$$

$$k_s = 40 \cdot q_u$$

$$k_s = 40 \cdot 2043$$

$$k_s = 81720 \text{ kN/m}^3 \quad k_s = 8172 \text{ t/m}^3$$

Limgaz-Buharkent JES alanında yapılması planlanan 16 adet yapının öngörülen yapı yükü, temel boyutları ile zemin özelliklerine göre hesaplanan zemin emniyet gerilmesi, oturma ve yatak katsayısı hesapları aşağıdaki tabloda verilmiştir. Bu hesaplarda kullanılan proje detaylarının (temel genişliği, temel tipi, temel derinliği ve yapı yükü gibi) değişmesi durumunda, “zemin emniyet gerilmesi, oturma ve yatak katsayısı hesapları”nın gerçekleşecek yapı ve temel boyutlarına göre gözden geçirilmelidir (Su Yapı, Limgaz-Buharkent Jeotermal Enerji Santral Sahası Zemin ve Temel Etüt Raporu, 2017).

Tablo 3.11. JES ünitelerinin temel zeminine ait zemin emniyet gerilmesi, oturma miktarı ve yatak katsayısı hesabı sonuçları

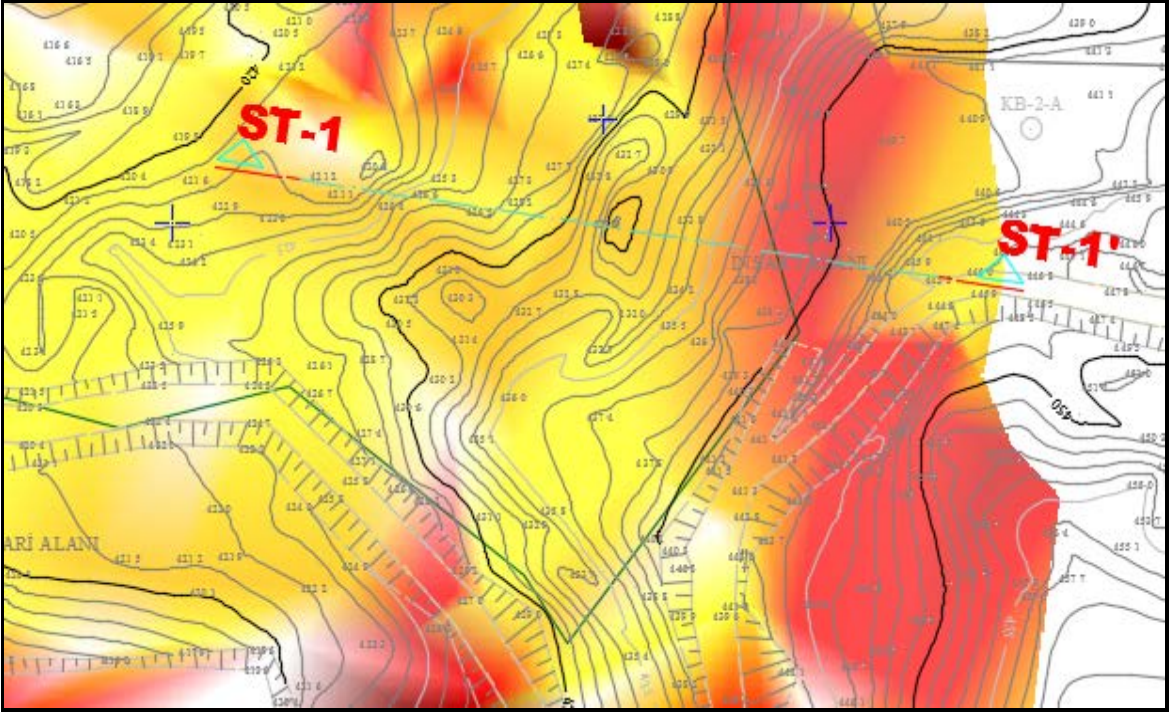
Grup No	Yapı Özellikleri (Öngörülen)			Temel Özellikleri (Öngörülen)					Zemin Emniyet Gerilmesi (kg/cm ²)	Oturma (cm)	Yatak Katsayısı (t/m ³)
	Yapı No	Yapı Adı	Yük (Yapı) (ton)	Temel Tipi	Derinlik Df (m)	Genişlik B (m)	Uzunluk L (m)	Yük			
1. GRUP	BPSK-3	1	Ön Isıtıcı	130	Tekil Temel	2	2	2	3.35	0.39	4020
	BPSK-3	2	Jeotermal Akışkan Buharlaştırıcı	60	Tekil Temel	2	2	2	3.35	0.39	4020
2. GRUP	BPSK-3	3	Türbin Temel ve Kaidesi	1700.2	Radye Temel	2	12	12	7.55	0.98	9060
	BPSK-3	4	Besleme Pompası	1006.4	Radye Temel	2	10	10	6.81	0.93	8172
3. GRUP	BPSK-3	15	Muffler tankı ve temeli	44.72	Radye Temel	2	4	4	4.03	0.93	4836
	BPSK-3	5	ACC Soğutma Grubu	3528.4	Radye ve/veya Sürekli Temel	2	3.5	10	3.35	1.08	4020
4. GRUP	BPSK-11	6	Seperasyon Pompa Temelleri	26.16	Radye Temel	2	4	5	4.39	0.72	5268
	BPSK-11	7	Seperatör Tankı Temeli	22.4	Radye Temel	2	5	5	4.39	0.72	5268
5. GRUP	BPSK-5	8	Isobutan Tankı Temeli	167.6	Radye Temel	2	3.5	5	3.91	1.08	4692
	BPSK-8	9	Yangın suyu tankı ve temeli (1000 m ³)	473	Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5	4.70	1.08	5640
6. GRUP	BPSK-8	10	Yangın pompaları binası	500	Radye Temel	2	10.5	15	6.05	1.08	7260
	BPSK-12	11	Kompresör ve Su Pompası binası	310.45	Radye Temel	1.6	7	9	5.20	0.97	6240
7. GRUP	BPSK-8	13	Havuz (2000 m ³)	384.2	Radye Temel	2	9	15	6.05	1.08	7260
8. GRUP	BPSK-12	12	İdari Bina	1169.36	Sürekli ve/veya Tekil Temel	4	1.5	1.5	3.35	0.39	4020
	BPSK-12	14	Elektrik ve Kontrol Binası	2267.71	Radye,Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5	3.35	0.39	4020
	BPSK-8	16	Atölye ve Ambar Binası	1574.2	Sürekli ve/veya Tekil Temel	2	1.5	1.5	4.70	1.08	5640

3.5.4. Kazı Şevlerinin Stabilitesi

İnceleme alanında yamaçlar hakim olarak KB yönelimlidir. Alanın GD'sunda iki küçük tepelik vardır. Bu tepelikler KD-GB doğrultulu bir sırt oluştururlar. Bunların batı

kanatları KB, doğu kanatları ise GD'ya eğimlidir. Sahada en düşük kot 408 m, en yüksek kot ise 440 m'dir. İnceleme alanının eğim değerleri genelde 15°-30°, yer yer de 30°-60° arasındadır.

Aşağıdaki şekilde gösterildiği üzere santral sahasının eğim haritası üzerinde belirlenen bir kesit hattında (ST1-ST1') bir stabilite analizi yapılmış ve sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir. Eğim haritası olarak, Buharkent Belediyesi ait 1/1000 ölçekli Aydın-Buharkent M21-B-02-A-4-C haritası kullanılmıştır.



Şekil 3.5. Şev stabilite analizi kesit hattı (ST1-ST1')

Santral sahasında eğimin yüksek olduğu inceleme alanının GD kesimini temsil eden bir kesit hattı belirlenmiş ve Slide v5.0 programı ile bu kesitin şev stabilite analizi yapılmıştır. Topoğrafik olarak şev duraysızlığı düzlemsel olarak beklenmediğinden; “dairesel kayma” analizi yapılmıştır. Analiz yöntemi olarak Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi (Simplified Bishop) seçilmiş; normal (drenajsız) parametreler kullanılarak şevin deprensiz “kısa süreli duraylılığı” tahkik edilmiştir.

Şev duraylılık analizlerinde Güvenlik Sayısının (GS); deprensiz (statik) durum için 1.50, depremlili durum için 1.00 olması şartı aranmaktadır (TS 8853). İnceleme alanında zeminin çok sert kıvamda olması nedeniyle örselenmemiş (UD) numune alınmadığından

üç eksenli basınç deneyi yapılamamıştır. Drenajlı (uzun dönem) parametreler üç eksenli konsolidasyonlu drenajlı (CD) deneyinden elde edileceğinden uzun dönem şev stabilite analizleri yapılamamıştır.

Analiz modelinde jeolojik birimlere ait, doğal birim hacim ağırlık (γ_n), kohezyon (c) ve içsel sürtünme açısı (ϕ) parametreleri kullanılmıştır.

Kil-kiltaşı hakim birimlerde açılan sondajlarda yeraltısuyu (YAS) piyezometrik seviye olarak gözlemlendiğinden; analizde de YAS piyezometrik seviye olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3.11. Laboratuvar deneyi ve presiometre deneylerinden türetilen parametreler

Jeolojik Birim	γ (kN/m ³)	c (kN/m ²)	ϕ (°)
Ayrışma Zonu (Siltli Kil-Killi Çakıl)	18.50	125-196	30.25-32.64
Sazak Formasyonu (Kiltaşı-Marn)	20.00	196-445	32.83-38.12

Drenajsız (kısa dönem) şev stabilite analizi için de güvenli tarafta kalınarak aşağıdaki parametreler kullanılmıştır.

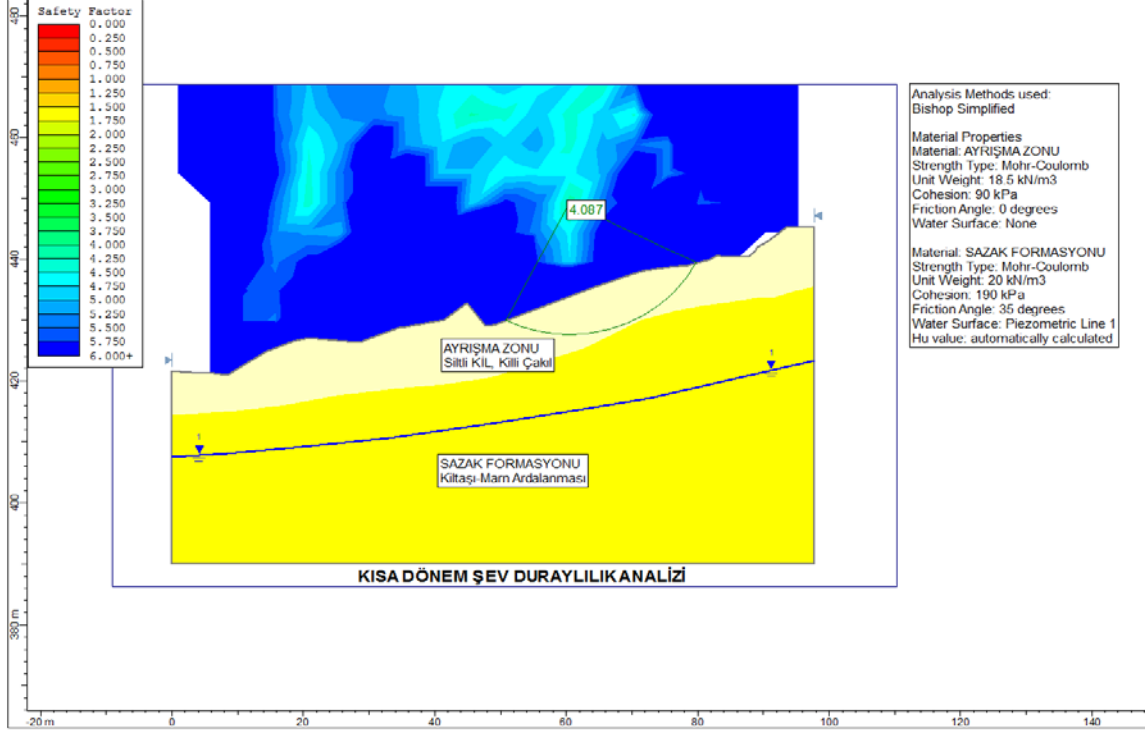
Tablo 3.12. Şev stabilite analizinde kullanılan parametreler

Jeolojik Birim	γ (kN/m ³)	Kısa Dönem / Drenajsız Parametreler	
		c (kN/m ²)	ϕ (°)
Ayrışma Zonu (Siltli Kil-Killi Çakıl)	18.50	90	0
Sazak Formasyonu (Kiltaşı-Marn)	20.00	190	35

İnceleme alanı için yapılan stabilite analizinde Güvenlik Sayısı (GS) (Factor of safety); Kısa Dönem (Drenajsız Durum) GS= 4.09 > 1.50 elde edilmiş olup; bu güvenlik sayısı değerine göre yamaç güvenlidir. Analiz sonucu Şekil 3.6.'da verilmektedir.

Santral sahasında yapılacak temel kazılarında, kazı şevlerinin 1y/2d alınması uygun

olacaktır. Kazı sırasında geçilecek zemin şartlarına göre; gerekmesi halinde kazılar uygun iksa sistemleri ile desteklenmelidir.



Şekil 3.6. Kısa dönem şev stabilite analizi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Aydın İli, Buharkent İlçesi, Kızıldere Mahallesi sınırları içerisinde Limgaz Elektrik Üretim Madencilik San. ve Tic. A.Ş.'ye ait 17.984,38 m²lik alanda Limgaz Jeotermal Enerji Santrali (JES) yapılması planlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Limgaz Buharkent Jeotermal Enerji Üretim Santrali inşaat sahasına ait yerleşim alanının, zemin araştırmalarının yapılarak, yapının oturacağı alandaki jeolojik formasyonların yanal ve düşey değişimleri, zemin karakterleri, taşıma gücü, oturma, yatak katsayısı, yeraltısuyu durumu, şev ve duraylılık özellikleri gibi jeolojik-jeoteknik koşullar mühendislik jeolojisi ve jeoteknik açıdan değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

1. Çalışma alanı Türkiye'nin batısında bulunan Ege Bölgesi'nde 1/25000 ölçekli Denizli-M21-b1 paftasının kuzeybatısında Aydın İli, Buharkent İlçesi, Kızıldere Mahallesi sınırları içerisinde yer almaktadır.
2. Arazi araştırmaları kapsamında, inceleme alanında derinlikleri 20.00-25.00 m arasında değişen, 12 adet sondaj yapılmıştır.
3. BSK-1 (20 m), BSK-2 (20 m), BSK-4 (25 m), BSK-6 (20 m), BSK-7 (20 m), BSK-9 (20 m) ve BSK-10 (20 m) olmak üzere toplam 145 m karotlu sondaj yapılmış; BPSK-3 (25 m), BPSK-5 (25 m), BPSK-8 (20 m), BPSK-11 (25 m) ve BPSK-12 (20 m) nolu kuyular presiyometre deneyi amaçlı açılmış olup, toplam 115 m karotsuz ilerlenerek her bir kuyuda 2 m'de bir olmak üzere 5 adet kuyuda toplam 56 adet presiyometre deneyleri yapılmıştır.
4. Karotlu sondajlardan belirli aralıklarla uygun zeminlerde SPT deneyi yapılmış ve uygun zeminlerde karot numuneler alınmıştır. Zeminin sert kıvamda olması ve çakıllı seviyeler içermesi sebebiyle SPT deneyleri sınırlı sayıda yapılabilmektedir. Sondajlardan toplam 5 adet örselenmiş SPT numunesi ve 29 adet karot numunesi alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde su içeriği, doğal birim hacim ağırlığı, elek analizi, kıvam limitleri, zemin sınıfı tayini, tek eksenli basınç dayanımı deneyi ve nokta yükleme deneyleri yapılmıştır.
5. İnceleme alanı, Miyosen yaşlı Sazak Formasyonuna ait sedimanter çökellerden oluşmaktadır. Yapılan temel araştırma sondajlarında, üstte 0.30~0.50 m bitkisel toprak, bu seviye altından 7.80~11.00 m arasında değişen derinlikte yeşilimsi gri

yer yer kırmızımsı kahverengi renkli, içerisinde blok ve çakıl boyutunda kireçtaşı-kalsedon yumruları içeren sert kıvamda siltli kil (CI), killi silt (ML), bu derinliklerden sonra araştırma derinliği olan 20~25 m'lere kadar kadar kıltaşı-marn ar dalanması geçilmiştir.

6. İnceleme alanında yapılan sondajlarda BSK-1;18.00 m, BSK-2-17.00 m, BPSK-3;13.50 m, BSK-4;11.50 m, BPSK-5;9.00 m, BSK-6;18.10 m, BSK-7;8.50 m, BPSK-8;11.00 m, BSK-9;7.00 m, BSK-10;8.00 m, BPSK-11;11.55 m, BPSK-12;18.00 m'de yeraltı su seviyelerine rastlanılmış olup, bu YASS piyezometrik seviye olarak yorumlanmıştır.
7. İnceleme alanında potansiyel anlamda akifer niteliği taşıyabilecek, yapılaşmayı olumsuz etkileyecek yeraltı ve yerüstü sularının varlığına rastlanılmamıştır. Temellerin suya bağlı olumsuzluklardan etkilenmemesi için, yağış vb. kaynaklı suların yüzey ve temel drenaj sistemleri ile sahadan uzaklaştırılması gerekmektedir.
8. Limgaz-Buharkent JES alanında yapılması planlanan 16 adet yapının öngörülen yapı yükü ve temel boyutları ve zemin özelliklerine göre zemin emniyet gerilmesi, oturma miktarı ve yatak katsayısı hesaplanmıştır. Öngörülen tasarım verilerine göre; santral sahasında zemin emniyet gerilmesi en az $q_{em}= 3.35$ kg/cm², en çok $q_{em}= 7.55$ kg/cm², oturma en az $S=3.9$ mm en çok $S=10.8$ mm, düşey yatak katsayısı en az $k_s=4020$ t/m³, en çok $k_s=9090$ t/m³ 'dir.
9. Yapıdan gelecek gerilmelerin zemine üniform olarak yayılmasını sağlamak ve ortaya çıkabilecek farklı oturmaları dengelemek amacıyla, JES ünitelerinin temel kazısının tabanı sıkıştırıldıktan sonra temellerin iyileştirilmesi (yaklaşık 10-20 cm grobeton ile) ve temellerin bunun üzerine inşa edilmesi önerilir. Bu iyileştirme yönteminin yeterli olmaması durumunda ise kazıklı temel alternatiflerinin düşünülmesi önerilir.
10. İnceleme alanı için yapılan stabilite analizinde kısa dönem (drenajsız durum) $GS= 4.09 > 1.50$ elde edilmiş olup; bu güvenlik sayısı değerine göre yamaç güvenlidir. Santral sahasında yapılacak temel kazılarında, kazı şevlerinin 1y/2d alınması uygun olacaktır. Kazı sırasında geçilecek zemin şartlarına göre gerekmesi halinde kazılar uygun iksa sistemleri ile desteklenmelidir.
11. Aydın-Buharkent Jeotermal Enerji Santral yerinde yapılan araştırmalar değerlendirildiğinde önerilen temel iyileştirme önlemleri alındığında verilen temel

boyutları ve yapı yüklerine göre temel zemininde taşıma gücü ve oturma açısından bir problem beklenmemektedir. Ancak temel genişliği, temel tipi, temel derinliği ve yapı yükü gibi proje detaylarının değişmesi durumunda zemin emniyet gerilmesi, oturma ve yatak katsayısı hesaplarının gerçekleşecek yapı ve temel boyutlarına göre gözden geçirilmesi; gerekmesi halinde hesaplar güncellenmesi gerekmektedir.



5. KAYNAKLAR

- Alçiçek, H., Varol, B. ve Özkul, M., 2007. Sedimentary Facies, Depositional Environments and Palaeogeographic Evolution of The Neogene Denizli Basin, SW Anatolia, Turkey, *Sedimentary Geology*, 202, 596–637.
- Baquelin., Jezequel, J. F. ve Shields, D. H., 1978. *The Pressuremeter and Foundation Engineering*. Trans Tech Publications, Clausthal-Zellerfeld, Germany, 617.
- Bieniawski, Z. T., 1975. *The Point-Load Test in Geotechnical Practice*, *Engineering Geology*, 9, M, Ipp.
- Bowles, J. E., 1996. *Foundation Analysis and Design*: McGraw-Hill Companies, Inc., New York, USA.
- Clayton, C. R. I., 1990. *SPT Energy Transmission: Theory, Measurement and Significance*, *Ground Engineering*.
- Deere D. V. ve Miller R. L., 1966. *Engineering Classification and Index Properties of Intact Rock*, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana, 90-101.
- Ekingen, A., 1970. Kızıldere (Denizli) Sondaj Alanı Detay Gravimetrik Etüdü, MTA Rapor No: 4788.
- Erdoğan, B. ve Güngör, T., 2004. The problem of the core–cover boundary of the Menderes Masif and an emplacement mechanism for regionally extensive gneissic granite, Western Anatolia Turkey. *Turkish Journal of Earth Science*, 13, 15-36.
- Erentöz, C. ve Ternek Z., 1968. Türkiye Termomineral Kaynakları ve Jeotermik Enerji Etüdüleri, *MTA Dergisi*, Sayı:70.
- Erol, A. O. ve Çekinmez Z., 2016. *Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri*, Ankara.
- Gürsoy, N., 2008. *Jeoteknik Etütlerde Presiyometre Deneyi*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Ankara.
- ISRM, 1985. *Suggested Method for Determining Point Load Strength*, *International Journal of Rock Mechanics, Mining Sciences and Geomechanical Abstracts*, 22, 51-60.
- Kayabaşı, A., Cengiz İ. ve Yıldız C., 2016. *Sığ Temelerde Presiyometre Deneyi*, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No:129.
- Koçyiğit, A., 2015. An overview on the main stratigraphic and structural features of a geothermal area: the case of Nazilli-Buharkent section of the Büyük Menderes Graben, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, 27, 84–108.

- Menard, L., 1975. The Menard Pressuremeter.; Interpretation and Application of Pressuremeter Test Results to Foundation Design.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 1/25000 ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları, Denizli-M21-b1 Paftası, Ankara.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö. ve Uzel, B., 2016. Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, Aydın İli Buharkent İlçesi Denizli-M21-b1 Paftasındaki Limgaz Jeotermal Ruhsat Sahasının Aktif Tektonik Çalışma Raporu, İzmir.
- Su-Yapı Müh. ve Müş. A.Ş., 2017. Limgaz-Buharkent Jeotermal Enerji Santral Sahası Zemin ve Temel Etüt Raporu, Ankara.
- Şimşek, Ş., 1984. Denizli, Kızıldere-Tekkehamam-Tosunlar-Buldan-Yenice Alanının Jeolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları, MTA Rapor No:7846, 85s, Ankara.
- Tezcan, A. K., 1967. Denizli-Saraköy Jeotermik Enerji Araştırmaları Gravite ve Rezistivite Etüdüleri, MTA Rapor No:3896.
- TS EN ISO 22476-3, 2013. Jeoteknik Etüt ve Deneyler - Arazi Deneyleri - Bölüm 3: Standard Penetrasyon Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 22476-4, 2013. Jeoteknik Etüt ve Deneyler - Arazi Deneyleri - Bölüm 4: Menard Presiyometre Deneyi, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1926, 2013. Doğal Taşlar - Deney Yöntemleri - Tek Eksenli Basınç Dayanımı Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-1, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 1900-2, 2006. İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 2: Mekanik Özelliklerin Tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- TS 8853, 1991. Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metodları – Zeminde, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
- Uysallı, H., 1967. Tekke-Kızıldere Sıcaksu Sahalarının (Denizli-Sarayköy Batısı) Jeolojik Etüd ve Jeotermik Enerji İmkanları, MTA Rapor No:3874.
- Uysallı, H. ve Keskin B., 1971. Denizli-Sarayköy KD-I, KD-II, TH-1, KD-1/A, KD-III, IV, VI, IX, XII, XIII, VIII, XIV Derin Jeotermik Sondajları Bitirme Raporu, MTA Rapor No:4441.
- Zemin Etüdü El Kitabı, 2016. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Yayın No:215-09, Ankara.
- URL-1, <http://www.jeotermaldernegi.org.tr/sayfalar-Jeotermal-Enerji-Nedir-> 12.01.2019.

URL-2, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomibultenleri/2013_15/1.pdf. 15.01.2019.

URL-3, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/editorDOSYA/Aydin_icdr2013.pdf. 30.01.2019.

URL-4, <https://docplayer.biz.tr/9237861-Zemin-inceleme-yontemlerini-kullanan-tasimacucu-analiz-metodlarinin-incelenmesi.html>. 08.02.2019.

URL-5, http://www.ktu.edu.tr/dosyalar/maden_6db88.pdf. 21.02.2019.

URL-6, <https://docplayer.biz.tr/23729353-Nokta-yukleme-dayanim-indeksi-tayini-budeney-kayalarin-nokta-yukleme-dayanim-indekslerinin-tayinine-iliskin-birdeneydir.html>. 27.02.2019.

URL-7, <https://dergipark.org.tr/download/article-file/280151>. 13.03.2019.

URL-8, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10830.pdf>. 07.04.2019.

ÖZGEÇMİŞ

15.11.1988 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini İskenderpaşa İlköğretim Okulu'nda, lise öğrenimini Trabzon Lisesi'nde tamamladı. 2006 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 1 yılı İngilizce hazırlık olmak üzere 5 yıllık lisans eğitimini 2011 yılında tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Programı'na başladı. 2013-2016 yılları arasında HK Harita Planlama Müh. İnş. Mim. Yaz. Tic Ltd. Şti.'de proje sorumlusu olarak çalıştı. 2016 yılında Su-Yapı Müh. ve Müş. A.Ş.'de proje mühendisi olarak çalışmaya başladı ve halen orada çalışmaktadır. Yabancı dili İngilizce'dir.