

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ACIPAYAM OVASI (DENİZLİ) ZEMİNLERİNİN JEOLojİK,
JEOTEKNİK, HİDROJEOLojİK VE DEPREMSELLİK
AÇIDAN İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

TUĞBA SARAYKÖYLÜ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**ACIPAYAM OVASI (DENİZLİ) ZEMİNLERİNİN JEOLojİK,
JEOTEKNİK, HİDROJEOLojİK VE DEPREMSELLİK
AÇIDAN İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

TUĞBA SARAYKÖYLÜ

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

**Bu tez çalışması Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma
Koordinasyon Birimi tarafından 2022FBE058 nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

TUĞBA SARAYKÖYLÜ

ÖZET

**ACIPAYAM OVASI (DENİZLİ) ZEMİNLERİNİN JEOLojİK,
JEOTEKNİK, HİDROJEOLojİK VE DEPREMSELLİK AÇIDAN
İNCELENMESİ
DOKTORA TEZİ
TUĞBA SARAYKÖYLÜ
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. HALİL KUM SAR)**

DENİZLİ, TEMMUZ - 2024

Denizli İli' nin 35 km güney doğusunda yer alan Acıpayam İlçesi yerleşiminin büyük bir kesimi, KB-GD doğrultulu eğim atımlı normal faylarla şekillenen Acıpayam Ovası içinde ve kenarındaki alanlarda yerleşmiştir. Bu tez çalışması, Acıpayam Ovası içindeki yerleşim yerlerinin jeolojik, jeoteknik, hidrojeolojik özelliklerinin belirlenmesi ve kentleşme açısından değerlendirilmesi amacıyla yapılmıştır. Çalışma alanında yapılmış imara esas etüt raporlarında, jeoteknik sondajlar, gözlem çukurları verileri, zemin örneklerinin deney sonuçları, sondajlardaki yeraltı suyu seviyeleri, sismik kırılma ve mikrotremör ölçüm verileri derlenmiştir. Ayrıca, bu tez kapsamında 2022FBE058 numaralı PAÜ BAP projesi kapsamında farklı noktalarda derinlikleri 8 m ile 26 m arasında değişen 14 adet jeoteknik sondaj çalışması, zemin ve kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Zeminlerin dinamik özelliklerinin incelenmesi kapsamında 15 farklı alanda serim uzunluğu 72m olan sismik kırılma ve Mikrotremör ölçümleri yapılmıştır. Yukarıda değinilen tüm veriler KUMSAR-GIS programının JEOKBS Modülünde, Ova içinde DSİ tarafından açılmış 87 adet yeraltı suyu sondajlarının jeolojik ve hidrojeolojik logları da aynı yazılımın YAS-CBS Modülü Coğrafi Bilgi Sistemine aktarılmıştır. Tüm veriler değerlendirildiğinde, çalışma alanı içinde zemin yüzeyinden 10 m derinlik için sismik makaslama dalgalarının yayılma hızları (Vs) ovanın iç kesimlerinde 114 m/sn ile 200 m/sn arasında, ova kenarlarına yaklaştıkça 200 m/sn ile 350 m/sn arasında, Vs30 değerleri ise 155.2 m/sn ile 413.1 m/sn arasında değişmektedir. Çalışma alanındaki zeminlerin büyütme değerleri 0,83 ile 5,43 arasındadır. Yerleşim alanlarındaki zeminlerinin şişme basıncı değerleri 0 kPa ile 0.5 kPa arasında, şişme yüzdesi değerleri %0 ile %6.2 arasında değişmektedir. İnceleme alanındaki zeminler genellikle CL ve CH sınıfındadır. Bazı sondajlarda SC grubu zeminlerin varlığı belirlenmiştir. Geleneksel sıvılaşma analiz yöntemlerine göre kum tane boyundaki kolay sıvılaşabilir zeminler inceleme alanında sınırlı alandadır. Ova içinde yeraltı suyunun statik seviyesi 1m ile 20m arasındaki derinliklerde değişmektedir. Deprem yükleri altında sadece kumlu ve siltli zeminlerin sıvılaşabileceği olgusu yaygın olarak bilinmektedir. Ancak, laboratuvar da yapılan model deneylerinde suya doymuş killi zeminlerde de sıvılaşmaya benzer zemin hareketlerinin de gelişebileceği deneysel olarak ortaya konmuştur. Bu konu, ileriki çalışmalarda dinamik model deneyleri ile ayrıntılı olarak araştırılmalıdır.

ANAHTAR KELİMELER: Acıpayam (Denizli), Jeoloji ve Jeoteknik, Yeraltı suyu Sondajı, Coğrafi Bilgi Sistemi, Sıvılaşma

ABSTRACT

GEOLOGICAL, GEOTECHNICAL, HYDROGEOLOGICAL AND SEISMIC INVESTIGATION OF SOILS IN ACIPAYAM BASIN (DENİZLİ)

PH.D THESIS

TUĞBA SARAYKÖYLÜ

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

GEOLOGICAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF APPLIED GEOLOGY

(SUPERVISOR: PROF. DR. HALİL KUMSAR)

DENİZLİ, JULY 2024

A large part of the Acipayam, 55 km SE of Denizli, is took placed in and around the Acipayam Plain, which is shaped by NW-SE trending dip-slip normal faults. The study was carried out to determine the geological, geotechnical and hydrogeological characteristics of the settlement areas and to evaluate them in terms of urbanization. From the zoning surveys prepared before, geotechnical drillings, observation pits, drilling and observation pit data, test results of ground samples, groundwater levels in the drillings, seismic refractions and microtremor measurements data were compiled. In addition, in this thesis, 14 geotechnical drillings with depths from 8 m to 26 m at different points within the scope of the PAU-BAP project (No: 2022FBE058), and the physical and mechanical properties of the soil and rocks were evaluated. The dynamic properties of the soils, seismic refraction and microtremor measurements were made in 15 different areas. All the data yielded were transferred to the JEOKBS module of the Kumsar-Gis program, and the geological and hydrogeological logs of 87 groundwater boreholes by DSI in the plain were transferred to the GIS digital databases of the YAS-GIS module of the same software. When all data are evaluated, the propagation speeds (Vs) of the seismic shear waves for a depth of 10 m from the ground surface in the study area are between 114 m/s and 200 m/s in the inner parts of the plain, and between 200 m/s and 350 m/s towards the basin margins, by the way, the Vs30 values are between 155.2 m/sec to 413.1 m/sec. The magnification values of the soils are between 0.83 and 5.43. The swelling pressure values vary from 0 kPa to 0.5 kPa, and the swelling percentages vary from 0% to 6.2%. The soils in the area are mostly in CL and CH classes based on the combined soil class. The presence of SC group soils was determined in some boreholes. According to traditional liquefaction analysis, easily liquefiable sandy soils size are in the limited area. The static level of groundwater in boreholes are between 1m and 20 m deep. It is widely known that only sandy and sandy-silty soils can liquefy under earthquake loads. However, in the model experiments carried out in the laboratory within in the study, it has been experimentally demonstrated that liquefaction can also develop in clayey soils saturated. It is suggested that this issue should be investigated in detail through the model experiments and field applications in future studies.

KEYWORDS: Acipayam (Denizli), Geology and Geotechnics, Groundwater Drilling, Geographic Information System, Liquefaction.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	ix
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖNSÖZ.....	xi
1. GİRİŞ.....	13
1.1 Çalışma Alanının Konumu ve Tanıtımı	14
1.2 Çalışmanın Amacı	14
1.3 Önceki Çalışmalar	15
2. MATERYAL VE YÖNTEM	19
2.1 Materyal.....	19
2.2 Yöntem	20
2.2.1 Jeoteknik Sondaj Çalışmaları.....	22
2.2.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	23
2.2.3 Jeofizik Çalışmalar	25
2.2.3.1 Sismik Kırılma Çalışmaları.....	25
2.2.3.2 Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) Yöntemi.....	27
2.2.3.3 ReMi Arazi Çalışmaları	29
2.2.3.4 Mikrotremör Arazi Çalışmaları.....	30
2.2.4 Laboratuvar Çalışmaları	32
2.2.4.1. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri.....	32
2.2.4.2. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri.....	37
3. BÖLGESEL JEOLJİ VE JEOTEKNİK.....	39
4. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ, STRATİGRAFİSİ, TEKTONİĞİ, DEPREMSELLİĞİ VE HİDROJEOLJİSİ.....	40
4.1 Acıpayam ve Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Stratigrafisi.....	40
4.1.1 Likya Napları	42
4.1.2 Mevlütler Formasyonu (OMm)	42
4.1.3 Kale Formasyonu (Mk).....	45
4.1.4 Çameli Formasyonu (MPç).....	45
4.1.5 Dirmil Formasyonu.....	49
4.1.6 Kuvaterner Birimleri.....	50
4.2 Çalışma Alanının Tektoniği ve Depremselliği	50
4.2.1 Bölgenin jeolojik Evrimi	53
4.3 Hidrojeoloji	54
5. MÜHENDİSLİK JEOLJİSİ.....	57
5.1 Acıpayam Ovası JEOKBS Sistemi.....	57
5.2 Acıpayam Ovası Yeraltısuyu (YAS) Coğrafi Bilgi Sistemi.....	61
5.3 YAS Veri Tabanı Oluşturulması ve Çıktıları	63
6. BULGULAR	71
6.1 Acıpayam Ovası'nda Tez kapsamında Açılan Jeoteknik Sondaj ve Laboratuvar Deneylerinin Değerlendirilmesi.....	71
6.2 Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları;	94

6.3	Kil Analizleri	99
6.4	Jeofizik Çalışmaların Değerlendirmeleri	106
6.4.1	MASW Ölçülerin Değerlendirilmesi	108
6.4.2	REMI Ölçülerinin Değerlendirilmesi	111
6.4.3	Mikrotremör Ölçümlerinin Değerlendirmesi	117
6.5	Zeminin Dinamik-Elastik Parametreleri	120
7.	ACIPAYAM OVASI ZEMİNLERİNİN SIVILAŞMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	123
7.1	Sıvılaşma Mekanizması ve Analiz Yöntemleri	123
7.2	Acıpayam Ovası Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Deneysel İncelenmesi	129
7.3	Sıvılaşma Model Deneyi Çalışması	131
7.4	20 Mart 2019 Mw=5.5 Acıpayam Depreminin Zemin Sıvılaşması Açısından Değerlendirilmesi	137
8.	SONUÇ VE ÖNERİLER	140
9.	KAYNAKLAR	144
10.	EKLER	154
11.	ÖZGEÇMİŞ	169

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Çalışma Alanı yer bulduru haritası.....	14
Şekil 2.1: Arazideki sondaj çalışmalarından görünüm.....	22
Şekil 3.1: Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasındaki bölgede yer alan Burdur-Fethiye fay zonundaki tektonik yapıların birbirleriyle olan ilişkileri.....	39
Şekil 4.1: Çalışma Alanının Jeoloji ve Tektonik Haritası	41
Şekil 4.2: Çalışma Alanının Genelleştirilmiş Stratigrafik Dikme Kesiti.....	44
Şekil 4.3: Acıpayam ovasında D-B ve K-G doğrultularında alınmış jeolojik enine kesitler	47
Şekil 4.4: Değne Üyesi'nin gölsel kireçtaşlarından alınmış 1 Nolu ince kesite ait mikroskop görüntüleri.....	48
Şekil 4.5: Sk-9'un 12 metresinden alınan örneğin ince kesitinde (2 Nolu ince kesit) alg sarılımları ile oluşmuş onkoidal kireçtaşı dokusu.....	49
Şekil 4.6: 3 Nolu ince kesit görüntüleri	49
Şekil 4.7: Acıpayam ve civarının jeolojik ve tektonik yapısı, 1900 sonrası meydana gelen M>5 depremlerin ve jeoteknik sondajların dağılımı	51
Şekil 4.8: a) 20 Mart 2019 tarihinde meydana gelen Mw 5.5 Acıpayam depremi ve artçı depremlerin merkez üssü dağılımları b) $M_w = 5.5$ depreminin Acıpayam istasyonundaki ivme ölçüm değerleri.....	52
Şekil 4.9: a) Yeniköy'ün 20m doğusunda güneye akan drenaj kanal suyu, b) Uçarı göletinden görünüm.....	55
Şekil 5.1: JEOKBS veri tabanının yapısal bölümleri.....	58
Şekil 5.2: JEOKBS veri tabanında sayısallaştırılmış topografik harita üzerinde imar planı haritası ve araştırma çukurları lokasyonları.....	58
Şekil 5.3: a) ACIPAYAM-JEOKBS veri tabanındaki jeoteknik sondaj, gözlem çukuru, sismik ölçüm ve mikrotremör ölçüm yerlerinin jeoloji ve kent imar haritası üzerindeki görünümü, b) jeoteknik sondaj logunun ekran üzerinde koordinatına tıklandığında sorgulanması	59
Şekil 5.4: Acıpayam-JEOKBS veri tabanında seçilen sondaj logundaki zemin örneğinin elek analizi grafiğinin gösterimi.....	60
Şekil 5.5: Acıpayam-JEOKBS veri tabanından A-A' yönünde kesit izi tanımlanması	60
Şekil 5.6: Acıpayam-JEOKBS veri tabanından A-A' yönünde alınan kesit ve en yakın jeoteknik sondajların kesit üzerinde gösterilmesi	61
Şekil 5.7: Yeraltısuyu coğrafi bilgi sisteminin (YAS-CBS) içeriği.....	62
Şekil 5.8: a) YAS-CBS sisteminde sayısallaştırılmış Acıpayam ovası ve çevresinin jeolojik ve tektonik haritası	64
Şekil 5.8: b) DSİ tarafından açılan bir yeraltısuyu sondajının ekran üzerinde gösterimi.....	65
Şekil 5.9: 26716 numaralı DSİ sondajının 1997-2020 yılları arasındaki statik su seviyesinin değişimi grafiği.....	66
Şekil 5.10: Topoğrafik harita ve imar haritası üzerindeki kesit çizgisi ve YAS sondaj yerleri	67
Şekil 5.11: A-A' doğrultusunda alınan topoğrafik kesit üzerinde YAS sondajları ve YAS seviyesi.....	67

Şekil 5.12: B-B' doğrultusunda alınan topoğrafik kesit üzerinde YAS sondajları ve YAS seviyesi.....	68
Şekil 5.13: a) YAS-CBS sistemi kullanılarak elde edilen Acıpayam ovası YAS PH haritası, b) YAS elektriksel iletkenlik (EC) haritası	69
Şekil 5.14: Acıpayam Ovasındaki yeraltı suyu yükseklik haritası (metre cinsinden) ve akış yönleri	70
Şekil 6.1: Acıpayam Ovası içerisinde açılan sondajların konumları.....	71
Şekil 6.2: Acıpayam Ovası içinde proje kapsamında açılan jeoteknik sondaj yerleri.....	72
Şekil 6.3: A_SK1 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	73
Şekil 6.4: A_SK1 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	74
Şekil 6.5: A_SK2 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	75
Şekil 6.6: A_SK2 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	75
Şekil 6.7: A_SK3 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	77
Şekil 6.8: A_SK3 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	77
Şekil 6.9: A_SK4 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	78
Şekil 6.10: A_SK4 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	79
Şekil 6.11: A_SK5 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	80
Şekil 6.12: A_SK5 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	80
Şekil 6.13: A_SK6 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	81
Şekil 6.14: A_SK6 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	82
Şekil 6.15: A_SK7 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	83
Şekil 6.16: A_SK7 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği...	83
Şekil 6.17: A_SK8 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	84
Şekil 6.18: A_SK8 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	85
Şekil 6.19: A_SK9 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	86
Şekil 6.20: A-SK10 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği...	87
Şekil 6.21: A_SK10 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	88
Şekil 6.22: A_SK11 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği...	89
Şekil 6.23: A_SK11 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	89
Şekil 6.24: A_SK12 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği...	90
Şekil 6.25: A_SK13 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	91
Şekil 6.26: A_SK13 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.....	92
Şekil 6.27: A_SK14 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.....	93
Şekil 6.28: A_SK14 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği...	93
Şekil 6.29: Dakshanamurthy and Raman (1973) tarafından önerilen plastisite kartı üzerinde çalışma alanındaki zeminlerin sınıfları ve şişme potansiyeli ile ilişkisi.	96
Şekil 6.30: Tez kapsamında açılan zemin sondajlarından alınan numuneler ile laboratuvarında yapılan Kesme Kutusu Deneyleri Sonuç Grafiği.....	97
Şekil 6.31: Tez kapsamında açılan zemin sondajlarından alınan numunelerin Konsolidasyon Deneyleri Sonuç Grafiği.....	97
Şekil 6.32: A_SK1 Kil numunesinin XRD çekimleri	100
Şekil 6.33: A_SK3 Kil numunesinin XRD çekimleri	101
Şekil 6.34: A_SK5 Kil numunesinin XRD çekimleri	102
Şekil 6.35: A_SK10 Kil numunesinin XRD çekimleri	103

Şekil 6.36: A_SK11 Kil numunesinin XRD çekimleri	104
Şekil 6.37: Acıpayam ovası yerleşim yerlerindeki zeminlerin şişme basıncı değişimi.....	105
Şekil 6.38: Acıpayam ovası yerleşim yerlerindeki zeminlerin şişme yüzdesi değişimi.....	106
Şekil 6.39: Sismik kırılma ölçüm yerlerinin jeolojik harita üzerinde ve çalışma alanındaki dağılımı.....	107
Şekil 6.40: Sismik kırılma ve MASW ölçüm noktalarının dağılımı.....	107
Şekil 6.41: Microtremör ölçüm noktalarının çalışma alanındaki dağılımı.....	108
Şekil 6.42: MASW yönteminde temel işlem adımları (Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi	108
Şekil 6.43: Vs1.tabaka hız değerleri dağılım haritası.....	113
Şekil 6.44: Vs30 hız değerleri dağılım haritası.....	114
Şekil 6.45: Vs1.tabaka değerleri kullanılarak hesaplanan zemin büyütme faktörü dağılım haritası	115
Şekil 6.46: Vs30 değerleri kullanılarak hesaplanan zemin büyütme faktörü dağılım haritası.....	115
Şekil 6.47: (a): Yassihüyük mahallesinde betonarme prefabrik fabrika yapısındaki hafif hasarlar, b) Apa mahallesinde zemin katı ağır hasarlı üç ve hasarsız tek katlı betonarme yapılar.....	116
Şekil 6.48: Acıpayam ovası zeminlerinin hakim titreşim periyodu haritası	118
Şekil 7.1: Sıvılaşma olgusunun mekanizması	123
Şekil 7.2: Kahramanmaraş 6 Şubat 2023 depremleri sırasında meydana gelen a) yanal yayılma, b) yanal yayılma çatlağı içindeki zemin sıvılaşması, c) zemin sıvılaşması sonucu oluşan kum kaynama kraterlerinin dizilimi	124
Şekil 7.3: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaşan zemindeki kabarmalar ve oturmalar, binalardaki zemine gömülmeler, düşeyden sapmalar ve yapısal hasarlar	125
Şekil 7.4: Aydan ve diğ (2000) tarafından geliştirilen Türkiye'deki depremlerde sıvılaşmanın gözlemlendiği alanların depremin odağına olan uzaklığı ile deprem büyüklüğü (Ms) arasındaki ilişki.....	129
Şekil 7.5: Acıpayam ovası içinde açılan jeoteknik sondajlarda yapılan SPT-N30 değerlerinin derinlikle değişim	130
Şekil 7.6: Acıpayam ovası içinde açılan jeoteknik sondajlardan alınan zemin örneklerinin tane boyu dağılımı grafiği ve sıvılaşma sınırları (Port and Harbour Research Institute of Japan. 1997) ile ilişkisi.....	131
Şekil 7.7: Laboratuvar da Portatif deprem sarsma masası üzerinde sıvılaşma model deneyinin öncesinde deney ekibinin ve deney düzeneğinin görünümü.....	132
Şekil 7.8: Killi zeminlerin sıvılaşma model deneyi düzeneği.....	133
Şekil 7.9: Killi zemin sıvılaşma model deney sisteminin deney öncesi ve sonrasındaki görünümü.....	133
Şekil 7.10: Sıvılaşma modeli deneyi sonrasında bina ve logar modellerinin konumlarının görünümü.....	134

Şekil 7.11: Sıvılaşma model deneyi sırasında zeminde (ground), loggar (manhole) ve bina (building) modellerindeki yer değiştirme ölçümleri ve sıvılaşma (liquefaction) anının belirlenmesi.....	136
Şekil 7.12: Sıvılaşma modeli sırasında bina ve loggar modellerindeki yer değiştirme.....	136
Şekil 7.13: Sıvılaşma deneyi sırasında bina ve loggar modellerindeki ivme değişimleri	137
Şekil 7.14: 20 Mart 2019 Acıpayam depremlerinin episantr dağılımları b) AFAD Acıpayam kuvvetli yer hareketi istasyonunda alınan ivme kayıtları, hız ve yer değiştirme grafiği	138
Şekil 7.15: Kırca mahallesinde delikli tuğla ile yapılmış tek katlı binadaki ağır hasar ve tamamen yıkılmış kerpiç yapı.....	139
Şekil 7.16: Oğuz mahallesinde betonarme binanın delikli tuğla ile yapılmış çatı katındaki ağır hasar, b) ağır hasarlı yığma cami binası ve devrilmiş minaresi...	139

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Acıpayam Ovası içinde açılan 1 adet jeoteknik sondajların koordinatları, derinlikleri ve yas seviyeleri.....	23
Tablo 4.1: Acıpayam-Çameli yörelerinde farklı araştırmacılar tarafından yapılan Neojen birim adlamaları	43
Tablo 4.2: 1900-20.03.2019 tarihleri arasında Burdur-Fethiye (Muğla) fay zone içinde meydana gelen depremler	53
Tablo 6.1: Acıpayam Ovası sondajlarından alınan zemin örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.	95
Tablo 6.2: Acıpayam Ovası kaya sondajlarına ait kaya mekaniği deney sonuçları.....	98
Tablo 6.3: Sismik Serim açıklamaları.....	113
Tablo 6.4: Mikrobölgeleme çalışmalarında deprem etkisinde zemin büyütme faktörünün tehlike düzeyleri.....	117
Tablo 6.5: Mikrotremor Ölçüm sonuçları tablosu.....	119
Tablo 6.6: Dinamik Elastik Parametrelerin Hesaplanmasında Kullanılan Formüller.....	120
Tablo 6.7: Jeofizik ölçümler ile elde edilen sonuçlar.....	121
Tablo 6.7: Jeofizik ölçümler ile elde edilen sonuçlar devamı.....	122

SEMBOL LİSTESİ

AD	: Air Dry (Hava ile kurutma)
ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu
CD	: Konsolidasyonlu Drenajlı
CU	: Konsolidasyonlu Drenajsız
DSİ	: Devlet Su İşleri Kurumu
G_s	: Özgül ağırlık
H_n	: Tabaka Kalınlığı
KF	: Kil Fraksiyonu
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgaları Analiz Yöntemi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Kurumu
JEOKBS	: Jeolojik- Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi
KOERİ	: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
LL	: Likit Limit
PL	: Plastik Limit
PI	: Plastisite İndisi
SPT	: Standart Penetrasyon Deneyi
TUAM	: Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Arş. Merkezi
UD	: Örselenmemiş Numune
UU	: Konsolidasyonsuz Drenajsız
W	: Su İçeriği
XRD	: X-Işınları Difraksiyonu
V_p	: Boyuna Dalga Yayılım Hızı
V_s	: Enine Dalga Yayılım Hızı
YAS-CBS	: Yeraltısuyu Coğrafi Bilgi Sistemi
YAS	: Yeraltısuyu

ÖNSÖZ

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak hazırlanan bu çalışma ‘Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu (BAP proje no: 2022FBE058) tarafından desteklenmiştir. Bu çalışmanın yürütülebilmesi için maddi destek veren Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü’ne,

Doktora eğitimim boyunca, her konuda yardım ve desteğini esirgemeyen, bu tezin ortaya çıkmasında ve yürütülmesinde değerli fikir ve önerileriyle beni yönlendiren, tecrübe ve bilgisini paylaşan, arazi çalışmalarım da her zaman yanımda olan Danışmanım Sayın Prof. Dr. Halil KUMSAR’a

Ayrıca tezimin her aşamasında destek ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Sefer Beran ÇELİK, Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK ve ayrıca bu süreçte beni hiç yalnız bırakmayan Sayın Prof. Dr. Mehmet ÖZKUL, Sayın Doç. Dr. Barış SEMİZ’e, ve sıvılaşma deneylerinde değerli katkıları ve Deneylerin yapıldığı Deprem Sarsma Masasını PAÜ’ye bağışlayan Sayın Prof. Dr. Ömer AYDAN’a, dinamik deneylerin yapıldığı Laboratuvar binasını PAÜ’ye bağışlayan sayın Şemseddin TERZİOĞLU’na, sıvılaşma deneylerinde kullanılan Portatif Sıvılaşma Model Deneyi Cihazını PAÜ’ye bağışlayan sayın Prof. Dr. Hisataka TANO’ya

Jeofizik çalışmaları beraber yürüttüğümüz Makrojet Mühendislik ve İnşaat Şirketi Jeofizik Mühendislerine, ayrıca zemin mekaniği laboratuvar deneylerini yapan Ata Zemin ve Yapı Test Laboratuvarı ile Tralles Zemin Kaya Mekaniği ve Su Analiz Laboratuvarı Mühendislerine titiz çalışmaları için,

Doktora eğitimim ve tez sürecimde destek ve katkılarını benden hiçbir zaman esirgemeyen DSİ Genel Müdürlüğü’ne, tezimde kullandığım DSİ arşiv verilerinin temini döneminde DSİ Jeoteknik Hizmetler ve YAS Dairesi Başkanlığı görevinde iken, şu anda DSİ Jeoteknik Hizmetler Dairesi Başkanlığı görevini yürütmekte olan Jeoloji Mühendisi Sayın Dr. Ayhan KOÇBAY’a,

Halen çalışmakta olduğum ve bundan gurur duyduğum DSİ 21. Bölge Müdürlüğü Yeraltıuları Şube Müdürlüğü'ne ve bu süreçte katkılarını benden esirgemeyen değerli meslektaşlarıma, ayrıca Acıpayam Belediyesi Başkanlığı'na ve teknik personellerine,

Hayatımın her evresinde, her konuda maddi ve manevi destekleri ile her an yanımda olan doktora eğitimim ve tez sürecimin heyecanını bizzat benimle beraber yaşayan çok değerli aileme çok teşekkür ederim.

Bu satırlar içerisinde yazabildiğim ve yazamadığım değerli Üniversite hocalarım, meslektaşlarım, arkadaşlarım, yakınlarım katkı ve destekleriniz ile bu süreçte yanımda olduğunuz için sizlere minnet ve şükran borçluyum.

1. GİRİŞ

Acıpayam Havzası, Burdur-Fethiye Fay zone içinde yer alan, K-G uzanımlı genişlemeli bir Neojen havzasıdır. Genişleme zone aktif normal faylarla sınırlanmıştır. Deniz seviyesinden 850-950 metreler arasında konumlanmış olan havza GB' ya doğru Dalaman Çayı tarafından drene edilmektedir.

Acıpayam Ovasının zemin yapısı genellikle Neojen yaşlı kilitaşı-marn-kumtaşı, çakilitaşı ve gölssel kireçtaşı, Kuvaterner yaşlı yamaç molozu, kumlu, killi ve siltli alüvyon biriminden oluşmaktadır. Ova içerisindeki yeraltısuyu seviyesi 1m ile 5,5m arasında değişmektedir. Ova içinde biriken sular drenaj kanallarında toplanarak Dalaman Çayına drene edilmektedir. Acıpayam İlçesi'nin 2018 yılındaki toplam nüfusu, ilçe merkezinde ve ova içerisindeki köylerle birlikte toplam 55648 kişidir.

20 Mart 2019 tarihinde Türkiye saati ile 09:34'te merkez üssü Denizli İli, Acıpayam İlçesi'nin 7 km doğusunda Yeniköy Mahallesi sınırları içerisinde bir deprem meydana gelmiştir. AFAD (2019) Deprem Daire Başkanlığı-DDB depremin aletsel büyüklüğünü (Mw) 5.5, derinliğini 10.76 km olarak ölçmüştür. Kandilli Rasathanesi (KOERI, 2019) ise deprem büyüklüğünü (Mw) 5.7, derinliği 5 km olarak kaydetmiştir. Bu deprem sonucunda Acıpayam Ovası içindeki köylerin büyük kısmında yığma yapılarda ağır hasarlar oluşmuştur. Bazı betonarme binalarda, camilerde, sanayi tesislerinde de hasarlar meydana gelmiştir.

Bu tez çalışması, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne "Acıpayam Ovası (Denizli) Zeminlerinin Jeolojik, Jeoteknik, Hidrojeolojik ve Depremsellik Açısından İncelenmesi" başlığı ile önerilmiş bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar ile Acıpayam Ovası içindeki yerleşim yerlerinin ve yakın çevresinin jeolojik yapısı, zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri, ovanın hidrojeolojik özellikleri, yeraltısuyu durumu irdelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda statik ve dinamik koşullar altında Acıpayam İlçe merkezi ve ova içindeki yerleşim yerlerinin kentleşme açısından uygunluğu değerlendirilmiştir.

1.1 Çalışma Alanının Konumu ve Tanıtımı

Çalışma alanı; Ege Bölgesinin güneydoğu kesiminde yer alan Denizli İli'nin, güneydoğusunda bulunan Acıpayam İlçesi, Acıpayam Ovası ve yakın çevresindeki yerleşim alanlarını kapsamakta ve Türkiye 1/25.000'lik topografya haritalarından, M22-c4, M22-c3, N22-b1 ve N22-b2 paftaları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1.1). Acıpayam Ovası sınırları içerisinde bulunan çalışma alanı yaklaşık 130 km² dir.

Batı Toroslar üzerinde, ortalama 850-950 m yükseklik aralığında yer alan bir ovadır. Acıpayam Ovası yayla karakterinde olup, İç Egenin karasal ikliminin hakim olduğu bir ovadır.



Şekil 1.1: Çalışma Alanı yer bulduru haritası. (Google Earth ekran alıntısı)

1.2 Çalışmanın Amacı

Doktora tezi kapsamında yapılan bu çalışma, Denizli'nin Acıpayam İlçesi ve köylerinin içinde bulunduğu Acıpayam ovası ve yakın çevresinin jeolojik ve tektonik yapısına bağlı olarak ova içindeki zeminlerin jeolojik, jeoteknik ve hidrojeolojik açıdan incelenmesi ayrıca aktif fayların üretebileceği deprem büyüklükleri dikkate alınarak zeminlerin dinamik davranışlarının incelenmesi ve ova sınırları içerisinde yer alan yerleşim yerlerinin seçimine ışık tutmaktır.

Bu çalışmada, geçmiş yıllarda özel sektör tarafından bu bölgede yapılmış olan imara yönelik veya parsel bazında jeolojik, jeoteknik ve jeofizik çalışmalardan, ayrıca geçmiş yıllarda Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Acıpayam Ovası ve yakın çevresinde açtırılmış olan su sondajı kuyularının verilerinden de faydalanılmıştır. Daha önce bu bölgede yapılmış olan çalışmalardan temin edilen veriler, tez çalışması sırasında yapılmış olan arazi çalışmalarına altlık oluşturmuş, tez çalışması kapsamında yapılan sondaj ve jeofizik ölçüm çalışmalarının lokasyonlarının belirlenmesinde katkı sağlamıştır.

1.3 Önceki Çalışmalar

DSİ (1974), tarafından yapılan çalışmada, ova içerisinde yeraltısuyu alınabilecek birimlerin Eosen yaşlı kireçtaşları, konglomera ve alüvyonlar olduğu belirtilmiştir. Aynı çalışma sırasında derinlikleri 65 m ile 262 m arasında değişen 20 adet yeraltısuyu araştırma sondaj kuyusu açılmıştır.

Özdamar (1997), Acıpayam Ovası ve çevresinin jeolojik yapısının iki stragrafi istifine sahip olduğu belirlenmiştir. Bölgeye sürüklenim ile yerleşen Likya naplarına ait allokton birimler ile bunlar üzerine gelen Neotokton çökellerdir (Rapor yayınlanmamıştır).

Alçıçek ve diğ. (2004), Çameli Havzası (veya Çameli Grabeni), GB Anadolu'da Geç Miosen-Geç Pliyosen (10.8-2.5 My) döneminde gelişmiş KD-GB uzanımlı bir grabendir. Graben doğuda Dirmil Fayı, batıda Bozdağ Fayı ile sınırlandırılmıştır. Havza içinde daha sonra bu sınır faylarına paralel uzanan faylar ortaya çıkmıştır. Acıpayam, bu grabenin kuzey ucunda yer alır. Graben çökel dolgusu alüvyal, akarsu ve göl tortullarından kurulur.

Elitez (2010), GB Anadolu'da Burdur-Fethiye Fay Zonu (BFFZ)'nin orta kesiminde yer alan Çameli ve Gölhisar yörelerinde yaptığı yüksek lisans çalışmasında, temelde Likya Napları olarak bilinen Jura-Kretase yaşlı ofiyolit ve rekristalize kireçtaşlarının yer aldığını, bunların üzerine uyumsuz olarak Eosen yaşlı kırıntılı ve karbonatlı tortulların geldiğini belirtmiştir. Bu temel üzerinde uyumsuz olarak Orta-Üst Miyosen yaşlı Gölhisar Formasyonu depolanmıştır. Gölhisar Formasyonu akarsu

ortamında birikmiş çakıltası, kumtaşı, silttaşı ve kiltası gibi kırıntılı tortullarla temsil edilir. Gölhisar Formasyonu Üst Miyosen- Alt Pliyosen yaşlı İbecik Formasyonu ile yatay ve düşey geçişlidir. İbecik Formasyonu, göl ortamın çökelmiş kil, kumlu kireçtaşı, marn, killi kireçtaşı ve kalın tabakalı kireçtaşlarından oluşur İbecik Formasyonu üzerinde uyumsuzlukla Üst Pliyosen-Alt Kuvaterner yaşlı, kötü boylanmalı konglomera, çamurtaşı, silt ve kilden oluşan alüvyal yelpaze çökelleri bulunmaktadır. Dirmil Formasyonu olarak adlandırılan bu birimin üzerine ise yine uyumsuzlukla güncel alüvyonlar yerleşmiştir. Çalışma alanındaki faylar çoğunlukla KD-GB doğrultulu normal ve sol yanal normal faylardır. Yazara göre, Çameli ve Gölhisar yöresi tarih boyunca birçok yıkıcı depreme maruz kalmıştır. Bunlardan en önemli iki tanesi Gölhisar ilçesinde bulunan Kibyra antik kentinde M.S. 23 ve 417’de gerçekleşen depremlerdir.

İşçi (2012)’ de yapılan çalışmalar ile ova içerisinde yer alan kaynakların, derinliği 10m’ye kadar olan sığ su kuyularındaki, DSİ tarafından daha önce sulama kooperatifleri için açılmış olan derin su kuyularındaki, rasat ve araştırma kuyularındaki suların, debi ve kimyasal analiz özelliklerinin yanında ayrıca ovanın yeraltısuyu taşıyan akiferlerinin hidrojeolojik özellikleri, yeraltı – yerüstü suların ilişkileri incelenerek Acıpayam Ovasının hidrojeolojik özellikleri belirlenmiştir.

DSİ (2015), DSİ ve özel sektör iş birliği ile yapılan bu çalışmada, Batı Akdeniz Havzası Master Plan çalışmaları sürecinde Acıpayam Ovasının hidrojeolojik değerlendirmesi yapılmış, ovanın 34,44 hm³/yıl işletebilir yeraltısuyu potansiyeli olduğu belirlenmiştir. Ovadaki suların genelinin C2S1 1. dereceden iyi kullanılabilir sulama suyu sınıfında olduğundan söz edilmiştir (Rapor yayınlanmamıştır).

Elitez ve diğ. (2017)’ de Kibyra Fayı’nın varlığı tartışılmıştır. Önceki çalışmalarda GB Anadolu’da Gölhisar (Burdur) ilçesindeki antik kenti etkileyen Kibyra Fayı’nın KD-GB uzanımlı sol yanal Burdur-Fethiye Fay Zonu’nun (BFFZ) önemli bir kanıtı olduğu düşünülmüş, ancak yazarlar, son çalışmalara göre bölgede normal ve sol-yanal verev normal fayların baskın olduğunu ve ‘Burdur-Fethiye Makaslama Zonu’ olarak adlandırılan bir makaslama rejiminin varlığını işaret ettiğini öne sürmüşlerdir. Aynı çalışmada, bu makaslama zonunda çok sayıda antik yerleşim olduğu ve bu yerleşimlerin çoğunun eski depremlerle tahrip edildiğinden söz edilmiştir. Bu antik yerleşimlerden birisi de Kibyra’dır. Önceki çalışmalar kentteki

hasarları Kibyra Fayı'na bağlamışlardır. Oysa en yakın fay kentin batı tarafındadır ve deprem hasarı büyük olasılıkla dolgu zeminin davranışından kaynaklanmıştır. Bu çalışmada Gölhisar çevresinde doğrudan 35 km uzunluğunda sol yanal bir fayı işaret eden herhangi bir kanıtın bulunmadığı sonucuna varılmıştır.

Elitez ve diğ. (2018), Güneybatı Türkiye, genişleme, doğrultu atım ve sıkışma tektoniğinin bir arada meydana geldiği tektonik açıdan aktif bir bölgedir. Bu bölgenin tektonik evrimini anlamak oldukça önemlidir, ancak, tartışmalı Neojen kronostratigrafisi, yetersiz yaş verileri nedeniyle güçlü sentezlere izin vermemektedir. Acıpayam, Çameli ve Gölhisar Neojen havzaları bu makaslama zonunun orta kesiminde yer alırlar. Adı geçen havzalar yüksek oranda gölsel karbonat çökelleri içerir. Göl çökelleri, yer yer seyrek volkanik tuf ara seviyeleri içeren lamproitler tarafından kesilmiş ya da örtülmüştür. Bu çalışmada Yeşilyuva (Acıpayam) kuzeyinde yüzeyleyen volkanitlerden elde edilen yeni ^{40}Ar - ^{39}Ar biyotit ve U-Pb zirkon radyometrik yaşları (5-7 milyon yıl arası), bu çökeller için daha önce kullanılan Pliyosen yaşlarının doğru olmadığını ve Neojen çökellerinin Orta-Üst Miyosen (=Tortoniyen-Messiniyen) yaşında olduğunu göstermektedir.

Elitez (2019), Burdur-Fethiye Fay zone KD-GB uzanımlı transtansiyonel bir makaslanma zonudur. Acıpayam ve Çameli havzaları zone oluşumu ile ilgilidir.

Şekerci ve Kocabaş (2016, 2018a, 2018b), tarafından bölgede yapılan imara esas etüt çalışmalarında, Uçarı Mahallesi yolu üzerinde derinlikleri 10m ile 16m arasında değişen 5 adet zemin sondajı yapılmıştır. Ayrıca 5 adet sismik serim, 2 noktada rezistivite ve 5 farklı alanda mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Kırca Mahallesinde yapılan etüt çalışmalarında derinlikleri 10m ile 15m arasında değişen 10 adet zemin sondajı yapılmıştır. Ayrıca 13 adet sismik serim, 5 noktada rezistivite ve 10 farklı alanda mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Oğuz Mahallesinde yapılan etüt çalışmasında ise derinlikleri 10m ile 15m arasında değişen 6 adet zemin sondajı yapılmıştır. Ayrıca 9 adet sismik serim, 4 noktada rezistivite ve 8 farklı alanda mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Çalışma alanını da kapsayan daha önce yapılmış olan bu çalışmaların jeoteknik verilerinden yararlanılmış ova zeminlerinin jeoteknik özellikleri anlaşılmaya çalışılmış ayrıca bu etütler kapsamında yapılmış olan sondaj ve jeofizik çalışmalar sonucu elde edilen veriler ışığında bu tez çalışması için yapılan

sondaj ve jeofizik ölçümlerin saha içerisindeki dağılımları ve lokasyonlarının belirlenmesinde fayda sağlamıştır.

Kumsar ve diğ. (2020), 20 Mart 2019'da Denizli'nin Acıpayam İlçesinde meydana gelen ve odak derinliği 10.76 km, büyüklüğü 5.5 olan deprem ve deprem sonrası bölgede arazi incelemeleri yapmışlardır. Elde edilen başlıca bulgular şu şekilde özetlenebilir: Deprem KB-GD uzanımlı bir normal fayın kırılması sonucu meydana gelmiştir. Hasarlar daha çok kırsal kesimde zemin büyütmesinin olduğu gevşek alüvyon zeminler üzerinde yapılmış olan yığma yapılarda gözlenmiştir. En fazla hasar Yeniköy'de olmuştur. Alüvyon zeminlerde yeraltısuyu yüzeyden itibaren 1.0 ile 4.5 m derindedir. Deprem sonrası ova içerisinde zemin sıvılaşmasına rastlanmamıştır. Sıvılaşma olmaması, alüvyal zeminlerde silt ve kil gibi ince taneli bileşenlerin oranlarının fazlalığına bağlanmıştır. Bölgede benzer büyüklükteki bir deprem ($M_w=5.3$) 84 yıl önce, 1936'da meydana gelmiştir.

Kenanoğlu (2021), tarafından yapılan yüksek lisans tez çalışması kapsamında ovada 2019 yılında yaşanan depremin Burdur Fethiye Fay Zonu ile ilişkisi irdelenmiş ve depremi oluşturan depremin Burdur Fethiye Fay Zonu ile farklılık göstermesi nedeniyle KB-GD doğrultulu yeni bir fay olduğu belirlenmiştir.

Hançer ve diğ. (2022), yaptıkları çalışmada, Denizli'nin Acıpayam İlçesinde 20 Mart 2019 tarihinde meydana gelen $M = 5.6$ büyüklüğündeki depremin Acıpayam–Serinhisar Fay Zonu üzerinde meydana geldiğini ve bu fayın Türkiye Diri Fay Haritası üzerinde gösterilmediğini, dolayısı ile bu çalışma ile ilk defa ortaya konulduğunu belirtmişlerdir. Çalışmada söz konusu fayın iki segmentten oluştuğu, 20 Mart Depremi'nin Acıpayam segmenti üzerinde ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Fay zonu üzerinde yapılan hendek çalışmalarında radyokarbon tarihlendirmelerine göre üç sismik olay (M.Ö 235–95, M.S 1227–1263 ve MS 1471–1738) tespit edilmiştir. Son iki sismik olay dikkate alınarak yaklaşık 350 yıl arayla yüzey kırılmasına neden olan 6.0 ve 6.5 büyüklüğünde iki depremin meydana geldiği öne sürülmüştür.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışması kapsamında kullanılmış olan materyaller ve uygulanan yöntemler aşağıda başlıklar halinde verilmiştir.

2.1 Materyal

Çalışmalar, Denizli İl Merkezinin güneydoğusunda yer alan Acıpayam İlçesi, Acıpayam Ovası ve yakın çevresinde yer alan yerleşim alanlarında gerçekleştirilmiştir. Bu bölgede yer alan zeminlerin jeoteknik ve mühendislik açıdan özelliklerini belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu kapsamda, geçmiş yıllarda özel sektör tarafından bu bölgede yapılmış olan imara yönelik veya parsel bazında jeolojik, jeoteknik ve jeofizik çalışmalardan yararlanılmıştır. Çalışmada ayrıca jeoteknik ve jeofizik verilerin haricinde, daha önceki yıllarda Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından Acıpayam Ovası ve yakın çevresinde açtırılmış olan su sondajı kuyularının verilerinden de faydalanılmıştır. İlgili Kurumlardan çalışma alanına ait imar haritaları ve topografik haritalar temin edilerek sayısallaştırılmış, bu sayede veri tabanına altlık oluşturulmuştur. Bölgede daha önce yapılmış olan çalışmaların verilerinden faydalanmanın yanı sıra, Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğü tarafından desteklenen 2022FBE058 numaralı Bilimsel Araştırma Projesi (BAP) kapsamında çalışma alanı içerisinde farklı noktalarda açılan jeoteknik sondajlardan alınan zemin numunelerinin laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca çalışma alanı içinde farklı noktalarda yapılan jeofizik ölçümler (Sismik kırılma ve mikrotremör) ile Acıpayam ovasındaki zeminlerin dinamik parametreleri elde edilmiştir.

Arazi çalışmaları kapsamında yapılan sondaj ve standart penetrasyon testi (SPT) çalışmaları, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde hizmet vermekte olan üzerinde otomatik özellikte 63,5 kg ağırlığında şahmerdan bulunan zemin sondaj makinası ile üniversite bünyesinde görev yapan sondörler tarafından yapılmıştır. Sondajlardan alınan zemin numuneleri özel sektöre ait zemin mekaniği laboratuvarlarında, kaya numuneleri ise Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kaya Mekaniği Laboratuvarında incelenmiştir.

Arazide yapılan jeofizik ölçümler özel sektör tarafından, ilgili firmaya ait ölçüm cihazları ve lisanslı programlar kullanılarak yapılmış ve değerlendirilmiş olup, sismik ölçümlerde İtalyan yapımı AMBREO GEO model 24 kanallı sismik sinyal işleyici cihaz kullanılmış, elde edilen sismik kayıtlar bilgisayara aktararak, Seisimager SW programı ve WaveEq programı kullanılarak, Remi ölçümlerinden elde edilen kayıtlar ise SWAN ver. 1.4 SURFACE WAVE ANALYS programı kullanılarak değerlendirilmiştir.

Arazi deneyleri ve zemin mekaniği deneyleri sonucu elde edilen veriler Prof. Dr. Halil KUMSAR tarafından yazılmış, geliştirilmiş ve lisansı Prof. Dr. Halil KUMSAR'a ait olan KUMSARGIS yazılımında değerlendirilmiştir.

2.2 Yöntem

Bu tez çalışması süresince yapılan, literatür ve kaynak araştırmaları, arazi çalışmaları (sondaj, jeofizik çalışmalar), laboratuvar çalışmaları (zemin, kaya mekaniği deneyleri) ve elde edilen tüm verilerin bilgisayar yazılımlarına aktararak değerlendirilmesinde izlenen aşamalar maddeler halinde aşağıdaki gibidir;

- Tez konusunda ve çalışma alanı ve yakın çevresinde yapılmış önceki çalışmaları içeren literatür taraması yapılmıştır.
- Daha önce bu bölgede zemin araştırma firmaları tarafından yapılmış olan imar planına esas jeolojik ve jeoteknik etüt çalışmalarına ait raporlar temin edilmiş, bu raporlar içerisinde yer alan jeoteknik sondaj, araştırma çukuru ve jeofizik ölçüm verileri derlenmiş, bu doktora tezin danışmanı olan Prof. Dr. Halil KUMSAR tarafından program yazılımı gerçekleştirilen KUMSARGIS yazılımında Jeolojik Jeoteknik Coğrafi Kent Bilgi Sistemi (JEOKBS) modülü kullanılarak sayısallaştırılmış ve jeoteknik veri tabanı oluşturulmuştur.
- Acıpayam Belediyesi tarafından yapılmış olan, çalışma alanını kapsayan imar planı haritaları ve Harita Genel Komutanlığı tarafından sayısal olarak üretilen topografik haritalar (1/25.000 ölçekli) temin edilmiş ve KUMSARGIS yazılımında veri tabanına sayısal olarak aktarılmıştır.
- Çalışma alanı ve yakın çevresini kapsayan ve Maden Tetkik Arama tarafından (MTA) yapılan 1/25000 ölçekli jeoloji haritaları sayısal ortamda JEOKBS

yazılımında jeoloji ve tektonik veri tabanına aktarılmıştır. Farklı koordinat sistemlerinde temin edilen verilerin tamamının ED 50-6 derecelik koordinat sistemine dönüştürülmüş ve çalışma boyunca elde edilen tüm verilerinin koordinatlarında bütünlük sağlanmıştır.

- JEOKBS yazılımına yüklenen tüm veriler ile sayısal veri tabanı oluşturularak, Acıpayam Ovası Jeolojik Jeoteknik Coğrafi Kent Bilgi Sistemi (ACIPAYAM JEOKBS) ve Acıpayam Ovası Yeraltısuyu Sondaj Coğrafi Bilgi Sistemi (ACIPAYAM YAS-CBS) oluşturulmuştur.
- Tez kapsamında, arazi çalışmaları yapılmış, çalışma alanı içinde farklı yerleşim alanlarında 14 adet jeoteknik zemin sondajı açılmış, her sondaj içinde zemin ortamlarında her 1.5m’de bir kez standart penetrasyon testi (SPT) yapılmış, şelbi tüpü ile örselenmemiş zemin örnekleri ve karotlu zemin örnekleri alınmıştır. Kaya ortamlarda karotlu ilerlenmiş ve kayalardan karot örnekleri alınmıştır. Ayrıca zemin sondajlarındaki yeraltısuyu seviye değişimleri ölçülmüştür.
- Jeofizik çalışmalar kapsamında, çalışma alanını temsil edecek noktalarda 15 adet sismik kırılma, 15 adet MASW, 15 adet Remi ve 15 adet mikrotremör ölçümleri yapılmıştır.
- Arazide sondajlardan alınan zemin ve kaya örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar deneyleri (zemin ve kaya mekaniği deneyleri) yapılmıştır.
- Kil türlerini belirlemeye yönelik olarak kil analizleri (XRD) yapılmıştır.
- Tez kapsamında açılan jeoteknik zemin sondaj verileri, zemin ve kayaların fiziksel ve mekanik özellikleri ve alınan jeofizik ölçüm verileri JEOKBS programındaki veri tabanına aktarılmış ve farklı türde değerlendirme haritaları üretilmiştir.
- Daha önce yapılmış çalışmalardan derlenen verilerin değerlendirmesi ve tez çalışması sırasında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen tüm verilerin değerlendirilmesi ve yorumlanması yapılmıştır.
- Literatür ve tez kapsamında üretilen tüm verilerin değerlendirmesi ve sentezini içeren tez yazımı gerçekleştirilmiştir.

2.2.1 Jeoteknik Sondaj Çalışmaları

Acıpayam Ovası ve içerisinde yer alan yerleşim yerlerinin zeminlerinin jeolojik, jeoteknik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla çalışma alanını temsil edecek şekilde konumlandırılmış, BAP Projesi kapsamında derinlikleri 8m ila 26m arasında değişen 14 adet zemin sondaj çalışması yapılmıştır. Sondajlar Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi bünyesinde yer alan zemin sondaj makinası ile açılmıştır (Şekil 2.1).

Ova içerisinde yer alan yerleşim yerlerinde bulunan yumuşak zemin (kil, silt, kum, çakıl) alüvyon alanlarda açılan sondajlar auger (burgu) yöntemi ile yapılmış olup, bu sondajlardan örselenmiş ve örselenmemiş (UD) zemin örnekleri alınmıştır. Uçarı ve Yeniköy Mahallelerinde gölsel kireçtaşı bulunan kayalık bölgelerde açılan sondajlar rotary sulu yöntemle yapılmış ve karotlar alınmıştır. Açılan sondajlarda, her 1,5 m’de bir kez olmak üzere standart penetrasyon testi (SPT) yapılmıştır.

Açılan tüm sondajlar PVC boru ile borulanmış olup ağızları kapatılmıştır. Tez dönemi boyunca sondajlarda (07.08.2023-16.02.2024 tarihlerinde olmak üzere) 2 defa yeraltısuyu statik seviye ölçümleri yapılmıştır (Tablo 2.1).



Şekil 2.1: Arazideki sondaj çalışmalarından görünüm

Tablo 2.1: Acıpayam Ovası içinde açılan 14 adet jeoteknik sondajların koordinatları, derinlikleri ve YAS seviyeleri tablosu.

ACIPAYAM OVASI ZEMİN SONDAJLARI (PAU BAP PROJE KAPSAMINDA)							
SONDAJ NO	SONDAJ YERİ	X (ED50-6)	Y (ED50-6)	Z (m)	DERİNLİK (m)	YASS(m) 07.08.2023	YASS(m) 16.02.2024
A_SK1	Acıpayam	708828	4143925	908	15.35	13.9	13.40
A_SK2	Alaattin	705262	4150450	896	12.45	yok	yok
A_SK3	Kırca	707624	4150458	874	15.45	4.22	4.20
A_SK4	Oğuz	707419	4148494	887	15.45	14.55	yok
A_SK5	Yassihöyük	706021	4154361	870	15.45	4.21	ölçülemedi
A_SK6	Ovayurt	707451	4154383	870	15.45	4.5	3.85
A_SK7	Apa	708423	4154389	874	15.45	5.6	4.88
A_SK8	Karahöyük	712668	4154139	878	7.95	4.95	yok
A_SK9	Uçarı	714968	4105447	867	15.00	yok	6.45
A_SK10	Uçarı Göl	714404	4150654	860	15.45	1.74	1.25
A_SK11	Gedikli	712105	4146580	858	15.45	2.05	1.25
A_SK12	Yeniköy (kaya)	715600	4144022	870	15.00	11.18	10.80
A_SK13	Yeniköy (ova)	714887	4142997	858	11.50	4.43	3.87
A_SK14	Yassihöyük Pau tarla	706534	4152619	868	26.45	3.06	2.98

2.2.2 Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

Standart penetrasyon deneyi yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin arazide yerinde saptanabilmesine imkan sağlar. Zemin araştırmalarında sondaj kuyusu içinde yapılan bu deney zeminin mukavemetinin ve sıklığının belirlenmesinde kullanılır. Kesme direnci; kohezyonsuz zeminin izafi sıklığına bağlı iken, kohezyonlu zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine (kohezyon ve içsel sürtünme açısı) bağlıdır. Taşıma gücü, oturma, sıvılaşma gibi zeminin mühendislik özelliklerinin hesaplamalarında kullanılan parametreleri belirlemeyi sağlar.

Deney, 1927' de ABD' de Raymon Pile Company tarafından geliştirilmiştir (Douglas 1983). Arazide yaygın şekilde kullanılan ve uygulaması pratik, basit bir deneydir. Yöntem 1958'de ASTM standartlarına alınmış ve günümüze kadar değişerek (ASTM 2000) yerini korumuştur (Bowles 1988).

SPT deneyi sırasında elde edilen; zeminin penetrasyon mukavemeti değeri (N), 75 cm yükseklikten serbestçe düşürülen 63.5 kg lık şahmerdanın standart tüpü zemine 30 cm çakması için gerekli vuruş adedi olarak ifade edilir. Her penetrasyon deneyi sonucu tüpten numune alınır. Deney esnasında yeraltı suyu seviyesi de ölçülmelidir (Özçep 2006).

Deney, öncelikle kohezyonsuz zeminlerde; kumlu, killi ince daneli, siltli, ince çakıllı ve çimentolaşmamış zeminler için uygun iken, çakıllı, sert zeminler için ise uygun değildir. Deneyin, kumlu zeminlerde yapılması halinde zeminin sıkılık, yoğunluk ve dayanımı hakkında bilgi verirken, sığ temeller için taşıma güçlerinin hesaplanmasında, kumların sıkışma (kompaksiyon) derecelerinin belirlenmesinde, sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde kullanılırken, deneyin yumuşak killi zeminlerde yapılması halinde zeminin dayanımı hakkında bilgi edinilmekte tanımlama amaçlı deneyler için numune alınmasını sağlamaktadır. İleri derece ayrıışmış kayalarda penetrasyon verilerinin yüksek olması nedeniyle deney iptal edilebilmekle birlikte deney sonuçları daha sert olan ana kayaya doğru yaklaşıldığının da belirtisi olabilmektedir (Ulusay 2010).

Deney için sondaj makinesi, tijler, çakma gereçleri (şahmerdan,örs), ortadan ayrılabilen deney tüpü ve yardımcı malzemeler (halat, kedibaşı vs.) kullanılır. Deney için sondajda takım dizisi hazırlanır, takım kota kadar indirilir, kuyu ağzından itibaren tij üzerinde 45 cm (15cm, 15cm, 15cm) olmak üzere üç ölçü noktası belirlenir. Numune tüpünün 1.15cm'lik kısmın darbe ile ilerleme zeminde ilerlemesi sağlanırken 50 darbe vuruşu ile zemin içerisinde herhangi bir ilerleme sağlanamamış ise deneye son verilir. İlerleme sağlanmış ise kaç cm ilerleme olduğu kaydedilerek deneye devam edilir. Bu ilerlemeyi sağlayan darbe sayısı (N) olarak ifade edilir. Aynı işlem 2. ve 3. 15cm'ler için de uygulanır. Deney 3 kademde tamamlandıktan sonra deney tüpü açılarak içerisinde numune alınır. Deney sonucunun hesaplanmasında, 1. 15 cm'lik kısımda darbe sayısı (N) değeri hesaplamaya dahil edilmez iken, 2. ve 3. 15 cm'lik kısmın darbe vuruş sayıları (N) toplamı hesaplamalarda kullanılır (Sevim 2012).

Deneyin uygulama aralığı zemin koşulları ve incelenmesi gereken mühendislik sorununa bağlı olarak değişmekle beraber yaygın olarak 1-1.5m aralıklardır (Douglas 1983 ve BSI 1990). Deney yüzeye yakın kesimlerde 1m aralıklarla yapılabilirken, derine doğru bu aralığın 2.5m ye kadar artabilmesi fakat önemli seviyelerden numune alabilmek için tekrar bazı seviyelerde 1m aralığa düşürülerek yapılması şeklinde de uygulanabilmektedir (Douglas 1983).

SPT sonuçlarını etkileyen faktörler; SPT den elde değerler darbe sayıları doğrudan çakma enerjisi ile ilişkilidir. Yapılan enerji ölçümleri ile penetrasyonun birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterdiği görülmüştür.

Bu faktörler; değişik firmalarca üretilmiş gereçler arasındaki farklılıklar, şahmerdan türleri ve özellikleri, halatın ve kedibaşının çapı ile özellikleri, sondörün şahmerdanı serbest bırakma şekli, pirinçten imal edilmiş iç tüpün kullanılıp kullanılmamış olması, örtü basıncı, tij uzunluğu ve kuyu çapıdır. Belirtilen bu faktörlerin etkisi ile aynı zemin içerisinde farklı darbe sayılarının elde edilmesi nedeniyle darbe sayılarına bazı düzeltmeler uygulanması gerekmektedir. Darbe sayılarındaki farklılıkların giderilmesi için yapılması gereken düzeltmeler; enerji oranı düzeltilmesi, gereç ve kuyu çapı ile ilgili düzeltmeler, efektif örtü gerilmesi düzeltilmesi, su düzeltilmesidir (Ulusay 2010).

2.2.3 Jeofizik Çalışmalar

Tez çalışması kapsamında yapılan jeofizik etütlerde, Denizli İli, Acıpayam İlçesi' nin de içerisinde yer aldığı Acıpayam Ovası ve yerleşim alanları zeminlerine ait dinamik elastik parametrelerinin belirlenmesi, yeraltındaki tabakaların devamlılığı ve konumlarının incelenmesi amacıyla toplam 15 profil Sismik Kırılma aynı profiller üzerinde MASW ve ReMİ ile bu ölçümler ile aynı parseller içinde olacak şekilde 15 noktada Mikrotremör ölçümleri alınmıştır. Jeofizik çalışmalar ve değerlendirmeleri tezin proje desteği temini kapsamında hizmet alımı yöntemi ile özel sektör tarafından yapılmış olup arazi çalışmaları kendi gözlemim ve gözetimimde yapılmıştır.

2.2.3.1 Sismik Kırılma Çalışmaları

Zemin araştırmalarında, mühendislik parametrelerinin hesaplanmasında ve zemin dinamik karakterinin belirlenmesinde “Sismik Kırılma Yöntemi” yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Sismik kırılma yöntemi farklı farklı yayılım hızına sahip zemin tabakalarının ara yüzlerinde kırılan sismik dalgaların seyahat zamanlarının ölçülmesine dayanmakta olan bu yöntem genellikle karşılıklı atışlarla, araştırma derinliğine bağlı olarak seçilmiş profil uzunluğu ve jeofon aralıklarına göre uygulanmaktadır (Özçep 2006).

Elde edilen P ve S dalgalarının yayılım hızları; boyuna (V_p), enine (V_s) ve tabaka kalınlıklarına (H_n) bağlı olarak çalışma alanındaki ortamları oluşturan zemin

dinamik elastik parametreler (Young Modülü, Bulk Modülü, Kayma Modülü, Poisson Oranı vb.) sismik kırılma yöntemiyle elde edilen V_p dalga hızı ile V_s dalga hızı ile birlikte hesaplanmıştır.

Sismik çalışmalarda İtalyan yapımı AMBREO GEO Model 24 kanallı sismik sinyal işleyici cihaz kullanılmıştır. Jeofon aralıkları arazinin konumu, arazi yapısı gereği uygun açılım mesafesi ve ilgilenilen derinliğe göre alınmış, ofset aralığı ise jeofon aralıklarıyla orantı sağlayacak şekilde düşünülerek sismik serimler oluşturulmuştur. Çalışmalarda enerji kaynağı olarak 10 kg ağırlığındaki balyoz kullanılmıştır. Sismik çalışmalarda kullanılan bu balyoz, çelik bir plaka üzerine noktasal ve düşey olarak vurularak P dalgası üretilmiştir. Üretilen P dalgalarını algılamak için 14 Hz' lik düşey jeofonlar kullanılmıştır.

Sismik Çalışma Ekipmanları:

- 1- Sismik Sinyal İşleyici : AMBREO GEO
Sayısal Sismograf Sistemi (İtalyan yapımı 24 kanallı)
- 2- Yatay jeofon : 24 adet (14 Hz)
- 3- Düşey (dikey) jeofon : 24 adet (4,5 Hz), 24 adet (14 Hz)
- 4- Jeofon kablosu : 2 adet 60 m. (24 kanal x 5m.)
- 5- Balyoz, plaka, ağaç takoz,
- 6- Akü ve bağlantı kabloları, GPS ölçüm aleti: GARMIN eTrex Vista HCx

Sismik Kırılma Profillerinin Değerlendirilmesi: Sismik ölçümlerde yer içinde boyuna (V_p) yayılan sismik dalga türleri kaydedilmiştir. Boyuna sismik dalgalar çift taraflı ölçülmüştür. V_p sismik dalga hızı yeraltındaki yapısal konumları daha derinlerden tespit etmek amacıyla ölçülmüştür. Tüm Profiller için karşılıklı olarak P atışları yapılarak kaydedilmiş ve değerlendirilerek modellenmiştir. Çalışma alanı trafik ve insan gürültüsü bakımından durağan bir bölgede olması nedeniyle ölçümler gündüz saatlerinde kontrollü olarak uygulanmıştır.

Sismik kırılma çalışması sonucu elde edilen analog kayıtlardan P dalgaları için ilk varışlara ait zaman değerleri okunduktan sonra Seisimager programı ile bu okunan zaman değerleri kullanılarak zaman-uzaklık grafikleri elde edilmiştir. Bu grafiklerden P görünür dalga hızları saptanarak, etüt alanındaki formasyonların gerçek hızları hesaplanmıştır.

Modelleme her bir dalga (P) türüne ait düz, ters ve orta atışların birlikte değerlendirilmesi ile gerçekleştirilmiştir. Modelleme sonucu ortamdaki tabaka sayısı, tabaka kalınlıkları ve tabakaların eğim ve konumları belirlenmiştir.

Sismik Kırılma yönteminden elde edilen P ve S dalga hızları (V_p , V_s) ve tabaka kalınlıklarına (H_n) bağlı olarak çalışma alanındaki ortamları oluşturan kayalara ait elastik parametreler (Young Modülü, Bulk Modülü, Kayma Modülü, Poisson oranı vb.) hesaplanmıştır.

Bu çalışmalar sonucunda, inceleme alanında sismik ölçümlerden elde edilen, sismik hızlara bağlı zemin ile ilgili elde edilen Litolojik Yapı Kesiti, Sismik Kırılma Arazi Kayıtları ve Zaman Uzaklık Grafikleri tezin ekler bölümünde verilmiştir.

2.2.3.2 Yüzey Dalgalarının Çok Kanallı Analizi (MASW) Yöntemi

Yüzey dalgasının çok kanallı analizi (MASW) yöntemi Park ve diğ. (1999) tarafından geliştirilmiş olan mühendislik jeolojisi, geoteknik alanlarında sıkça kullanılan, yerin sığ sismik hız özelliklerini belirlemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntemde, yer altındaki tabakalı yapıların kesme dalgası hızının (V_s) derinlikle değişiminin hesaplanması amacıyla Rayleigh dalgasının dispersif özelliğinde faydalanır. Yüzey dalgası yöntemleri aktif kaynaklı ve pasif kaynaklı yöntemler olmak üzere iki ana grup altında toplanabilir. Pasif kaynaklı yöntemler daha derin nüfus gücüne sahiptir. Özellikle ana kaya derinliğine ulaşılması gereken sahalarda etkin olarak kullanılabilir. Bunun yanında, MASW yöntemi daha sınırlı nüfus derinliğine sahip olmasının yanında, etkin kaynak kullanılması ile daha başarılı sonuçlar alınmaktadır. Özellikle V_{s30} çalışmalarında ilk 30 metrenin önemi ve ince tabakaların tespitinde oldukça sağlıklı sonuçlar vermesi nedeniyle etkin kullanıma sahiptir. Yüzey dalgası analiz yöntemleri aşağıdaki üç adımda gerçekleştirilir:

- (1) Yüzey dalgalarının alıcılar ile kaydedildiği arazi aşaması,
- (2) Veri işlem ve dispersiyon eğrilerinin eldesi,
- (3) Dispersiyon eğrisinin farklı yöntemlerle ters çözümlenmesinden elde edilen, Vs değerlerinin derinlikle değişimi olarak özetlenebilir.

Dispersiyon eğrisinin elde edilmesi kritik bir adımdır. Ters çözümleme ile elde edilen Vs hız profilinin doğruluğu büyük oranda frekansa ve faz hızına bağlı olan dispersiyon eğrisinin doğruluğuna ve özelliklerine bağlıdır. MASW araştırmaları, aynı kaynak-alıcı diziliminin doğrusal bir hat boyunca, sabit aralıklarla kaydırılmasıyla, birden fazla kayıt (12 veya daha fazla kanallı) içeren 2 boyutlu (yüzey ve derinlik) makaslama dalgalarının hızlarının haritalarını oluşturmak için kullanılır.

Buradan yola çıkarak, sismik kırılmanın tersine bir üst seviyeye oranla düşük hıza sahip birimlerinde tespit etmek mümkündür. MASW yöntemi, tabakalı yerküre modeli için Rayleigh dalgasında baskın bir etkisi olan S-dalga hızına dayanır. Dönüşmüş faz hızları ile derinliğe bağlı bir boyutlu S-dalga hızı fonksiyonunu tanımlayan S-dalga hızı profilleri elde edilir. MASW yönteminde, gürültüyü etkili bir şekilde kontrol etmek olasıdır. Bu nedenle, en yüksek sinyal/gürültü oranı sağlanır.

Makaslama dalgası hız profilinde tam bir veri işlem, yüzey dalgalarının kazancı, frekans bağımlı faz hızı eğrisinin yapılandırılması ve frekans bağımlı faz hızı eğrisinin ters-çözüm işleminden oluşur. Burada dikkat edilmesi gereken husus, makaslama dalgası hız derinlik profilini doğru saptayabilmek için geniş bantlı yüzey dalgalarının en az gürültüyle kaydedilmesidir.

MASW yönteminde bant-genişliği, araştırmanın derinliği ve çözünürlüğü arttırıldığı zaman yüksek sinyal/gürültü oranı hesaplanan frekans bağımlı faz hızı eğrisinde yüksek doğruluğa neden olur. Daha yüksek “modlu” veri, temel “modlu” veriden daha derin araştırma derinliğine sahiptir. Aynı zamanda, daha yüksek “modlu” veri frekansa ek olarak kaynak uzaklığına bağlı olan dönüşmüş S-dalga hızının çözünürlüğünü artırır. İlk olarak, standart CDP formatında birkaç çok kanallı kayıt toplanmalıdır. Yüzey dalga verilerinin elde edilmesi için yüzeyden etkiyen darbe türü kaynaklar için normalde 4 - 5 Hz’ den küçük alçak tepki frekanslı alıcılar seçilmelidir.

Sismik kaynak, jeofon (alıcı), yakın açılım (offset), alıcı aralığı gibi veri parametreleri, “Ground roll” dalga sinyallerini arttırmak için ayarlanmalıdır (Park ve diğ. 1999a). Veri toplanmasından sonra, her bir atış topluluğunun ‘ground roll’ dalgası faz hızları hesaplanır. ‘Ground roll’ dalgasının frekans ve faz hız dizileri başlangıç doğrusu boyunca verinin analiz edilerek hesaplanmasını gerektirir. Bu iki dizi, her bir atış topluluğundan frekans bağımlı faz hızı eğrilerini tam olarak çıkarmak için çok önemli bir sınırlamadır (Park ve diğ. 1999a). Ters-çözüm işlemi, derinlik profiline eş bir S-dalga hızının oluşturulması için her bir frekans bağımlı faz hızı eğrisine uygulanmalıdır (Xia ve diğ. 1999). Dönüşen S-dalga hız profili, jeofon aralığının ortasına yerleştirilmelidir (Miller ve diğ.1999). Başlangıç modelleri, ters-çözüm işleminin yakınsamasında anahtar bir etkidir. Regresyon analizi gibi iki boyutlu veri işlem teknikleri ise, bölgesel anomalileri arttırmak için S-dalga hızının düşey kesitine kolay bir şekilde uygulanabilir. 2-boyutlu S-dalgası hız haritasında çatlaklı bölgeler, boşluklar, örtülü dolgu alan sınırları ve benzeri alanlar, düşük hız bölgeleri S-dalga anomalileri ile gösterilirken, ana kaya yüzeyi, genellikle, yüksek S-dalga hız gradyanı ile ilişkilendirilir.

2.2.3.3 ReMi Arazi Çalışmaları

ReMi tekniği kesme dalgası yardımıyla zeminin jeoteknik özelliklerini ve ana kaya derinliğinin belirlenmesini hedefler. ReMi olarak adlandırılan bu yöntem kırılma mikrotremörü tekniğini kullanarak arka plan gürültüsünü kaydeder (Louie 2001). MASW tekniğine benzer özellikte olup, bu iki yöntem arasındaki en temel fark ReMi tekniğinin kaynak olarak çevresel gürültüleri kullanmasıdır. Bu teknik, temel olarak iki ilkeye dayanır. Birincisi trafikten ya da başka nedenlerden kaynaklanan çevresel gürültülerin standart sismik kırılma ekipmanı kullanılarak belli bir zaman süresince çizgisel bir profil üzerinde kaydedilmesidir. İkincisi ise, veri kaydının yavaşlık (hızın tersi)-frekans (p, f) dönüşümünün yapılmasıdır. Bu yolla Rayleigh dalgası diğer dalgalardan ayrılır ve elde edilen bu eğrinin ters çözüm tekniği ile (V_s) ve karşı gelen tabaka derinliklerine dönüştürülür. ReMi yöntemi, hızlı ve güvenilir olmasının yanı sıra yaklaşık 100 metre derinliğe kadar da yeraltından bilgi alınması nedeniyle özellikle hat ölçümleriyle başarılan aktif sismik yöntemlerle ilişkilendirme ve ortak yorum anlamında önemli katkılar sağlar (Louie 2001; Kanbur ve diğ. 2009).

ReMI profillerinin uzunluğu (profil boyu) 72 m. jeofon aralığı 3,0 m. olarak belirlenmiştir. Kayıt uzunluğu zemin tepkisine göre 30 sn. Örnekleme aralığı 1 sn. olarak alınmıştır. ReMI çalışmalarında yaklaşık 60 m. derinliğe kadar inilmiştir. Üretilen yüzey dalgalarını algılamak için ölçülerde, Sunfull marka düşey jeofonlar kullanılmıştır. 4.5 Hz. lik düşey olan bu jeofonlar, özel bir kablo aracılığıyla aldıkları sinyalleri alete iletirler.

2.2.3.4 Mikrotremör Arazi alışmaları

Yeryüzü, sismik gürültü adı verilen mikro ölçekteki titreşimlerin etkisi altındadır. Bu titreşimler periyod ve genlik kökenlerine bağlı olarak 1 sn'den daha küçük periyoda sahip olan salınımlar mikrotremor, 1sn'den daha büyük periyoda sahip olan salınımlar ise mikrotitreşim (mikroseism) olarak adlandırılırlar (Taga ve Kagami 1993; zep 2006). Bu titreşimlerin genlikleri mikron mertebesinde olup 10^{-8} cm- 10^{-3} cm arasında değişirken, periyodları ise 0.1 sn-10 sn arasındadır. (etinol 2003). Bu mikrotitreşimlerin çeşitli kaynakları vardır. Bunlar; okyanuslar, denizler, gel-git etkisi, yerkürenin dönmesi, yeraltı sismik aktiviteleri, jeotermal faaliyetler ve insan kaynaklı etkilerdir.

Mikrotremorlerin, deprem mühendisliğinde kullanılabilirliği konusunda bilimsel çalışmalar yapılmış olup, Kanai ve Tanaka, (1961) zemin tabakalarındaki S dalgalarının tekrarlı yansımaları sonucunda mikrotremorlerin oluştuğunu ortaya koymuştur. Kanai, geliştirdiği analiz yöntemleri ile mikrotremör çalışmalarına göre Japonya için dört zemin zemin grubu belirlemiştir. Kanai ve Tanaka, (1961) mikrotremorler ile deprem arasında yakın bir ilişki olduğunu, depremler sırasındaki yerin baskın dönemlerinin, mikrotremör ölçümleri ile elde edilen yerin baskın dönemiyle benzer olduğunu belirtmiş olmalarına rağmen, bazen depremlerden elde edilen sismogramların baskın periyodları ile mikrotremorlardan elde edilen baskın periyodlarla uyuşmadığı da grlmştir. Bunun nedeni ise deprem kaynağının etkisi ve daha büyük genlikli hareketlerin olabileceği belirtilmiştir (zep 2006; Yüksel ve diğ. 2021).

Çalışma alanında mikrotremör ölçümleri 15 farklı noktada, 100 Hz örnekleme frekansı ile 20 dakikalık kayıtlar halinde alınmıştır. Veriler sayısal olarak alınmış ve doğrudan bilgisayar ortamına taşınıp veri işlem ve yorum tamamen sayısal ortamda yapılmıştır. Çalışmalar, trafik ve insan gürültüsü bakımından durağan olan bölgelerde seçilmiş olup, ölçümler gündüz saatlerinde kontrollü olarak uygulanmıştır.

Sismometre Özellikleri

Arazide mikrotremör ölçümlerinin alınması için üç bileşenli kısa periyot sismometre (hız ölçer) (SARA SR04S3-20) kullanılmıştır. Sismometrenin sinüs dalgası frekans aralığı 10 Hz ile 0.1 Hz (0.1 ile 10 saniye periyodu) arasında yer almaktadır.

Kullanılan Formüller

$Se = Hs / Hb$ bağıntısı ile verilir (Nakamura, 1989).

Burada Hs yüzeydeki yatay bileşen hareketin genlik spektrumunu ve Hb ise toprak tabakasının tabanındaki yatay bileşen hareketin genlik spektrumudur. Kaynak etkisi ile Se' yi tamamlamak için değiştirilmiş yeni bir yerel etki fonksiyonu hesaplanmalıdır.

$$Sm = Se / As$$

Bu ise şuna eşdeğerdir.

$$Sm = (Hs / Vs) / (Hb / Vb)$$

Sonuç olarak Hb / Vb oranının bir olduğunu varsayarsak, yerel etki fonksiyonu (kaynak etkisi giderilmiş) şu şekilde ifade edilebilir;

$$Sm = Hs / Vs$$

Mikrotremör kayıtlarından, yukarıdaki bağıntı yardımıyla yerleşim alanlarındaki hâkim titreşim periyodu ve bu periyoda karşılık gelen zemin büyütme değerlerinin hesaplanması mümkündür.

2.2.4 Laboratuvar Çalışmaları

Acıpayam Ovası içinde açılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneklerinin, zemin sınıflandırma, fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi için alınan numuneler ile Şelbi tüpü içinde alınmış örselenmemiş (UD) örnekler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Zemin örneklerinin fiziksel ve mekanik deneyleri hizmet alımı ile Üniversite dışından akredite koşulları sağlayan özel bir zemin laboratuvarı tarafından yapılmış olup, sondajlardan çıkan kaya örneklerinin fiziksel ve mekanik deneyleri ise Pamukkale Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

2.2.4.1. Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri

Arazi çalışması kapsamında açılan zemin sondajlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin numuneleri ile akredite koşulları sağlayan özel laboratuvarlarda zemin tanımlama ve mühendislik parametrelerini belirleyeme yönelik zemin mekaniği deneyleri yapılmıştır. Bu kapsamda yapılan laboratuvar deneyleri; su muhtevasının, doğal birim hacim ağırlığın, kuru birim hacim ağırlığın, özgül ağırlığın belirlenmesi, elek analizi (tane boyu dağılımı), hidrometre analizi, atterberg limitleri tayini (likit limit, plastik limit, plastisite indisi), kesme kutusu deneyi, üç eksenli basınç deneyi, konsolidasyon, şişme yüzdesi ve şişme basıncı deneyleridir.

Su İçeriğinin Belirlenmesi (w)

Doğal su içeriği, zeminin taneler arasındaki boşluklarındaki içerdiği su durumunu yansıtan bir terim olup, zemin içindeki su ağırlığının kuru ağırlığa oranıdır ve yüzde olarak ifade edilir. ASTM standardına göre, deney etüvde kurutma metoduyla yapılır. Deneyde kullanılan ekipmanlar; 105°C-110°C sıcaklık sağlayabilen etüv, hassas tartım yapabilen terazi, paslanmaz ve hava geçirmez kap, palet bıçağıdır.

Deneyin yapılışı; öncelikle temiz ve kuru haldeki kap tartılır (W_1), kap içerisine zemin numunesi koyulur ve tartılır (W_2), numune kap ile beraber, 105°C-110°C sıcaklıktaki etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar 24 saat süreyle kurutmaya

bırakılır. Numune etüvden çıkarıldıktan sonra soğutulur ve kapla beraber tartılır (W_3) hesaplamalar şu formül ile yapılır;

$$w = ((W_2 - W_3) / (W_3 - W_1)) * 100$$

Birim Hacim Ağırlıkların Belirlenmesi

Zeminlerden alınan örselenmemiş örneklerle ait en önemli belirlenmesi gereken indeks özellik zemine ait birim hacim ağırlık değeridir. Birim hacim ağırlık genel olarak zeminin ağırlığının hacmine oranı şeklinde ifade edilir. Birim hacim ağırlık; zeminin yer aldığı koşullara bağlı olarak, doğal, kuru, doygun, batık, tane birim hacim ağırlığı gibi değişik şekillerde hesaplanabilir. Doğal birim hacim ağırlık zeminin doğal durumdaki ağırlığının tüm hacmine oranı şeklinde tanımlanır. Kuru birim hacim ağırlık, doğal zeminin kurutulduktan sonraki ağırlığının tüm hacmine (doğal hacim) oranıdır. Doygun birim hacim ağırlık, suya tam doygun zeminlerde tüm ağırlığın tüm hacme oranıdır. Batık (su altındaki) birim hacim ağırlık, doygun birim hacim ağırlık ile suyun birim hacim ağırlığı arasındaki fark olarak tanımlanır ve bu tanım yeraltısuyu altındaki zeminler için geçerlidir. Doğal birim hacim ağırlık direkt deneysel olarak, diğer birim hacim ağırlıklar dolaylı hesapsal olarak belirlenir. Tane birim hacim ağırlık, zeminin tane ağırlığının tanelerin boşluksuz toplam hacmine oranı olarak tanımlanır. Zeminlere ait birim hacim ağırlık değerleri; konsolidasyon, kesme kutusu, serbest basınç, üç eksenli basınç gibi mühendislik deneyleri için hazırlanan şekilli numuneler için hacmin doğrudan ölçülmesi ve numunenin tartılması ile kolayca bulunmaktadır (Yılmaz ve diğ. 2016).

Tez çalışma alanında yapılan sondajlar sırasında alınmış olan örselenmemiş zemin numunelerinde, zeminin birim hacim ağırlık ve doğal birim hacim ağırlık değerleri hesaplanmıştır.

Özgöl Ağırlığın Belirlenmesi (G_s)

Özgöl ağırlık, tane birim hacim ağırlığın, suyun birim hacim ağırlığına oranı şeklinde ifade edilir. Özgöl ağırlık (G_s), Türk Standartlarına uygun olarak, laboratuvar da piknometre (yoğunluk ölçme şişesi) metoduyla tayin edilir ve zeminin birim ağırlık, porozite, boşluk oranı, su içeriği vb. değerlerinin belirlenmesinde kullanılan bir parametredir. Dane birim hacim ağırlık deneysel olarak belirlenir, özgöl ağırlık hesapsal olarak ifade edilir.

Tane Boyu Dağılım (Elek) Analizi

Zemini oluşturan tanelerin boyutlarını ve dağılımlarını belirlemek amacıyla yapılan işlemlerin tümüne genel olarak tane boyu dağılım analizi adı verilmektedir. Zemindeki tanelerin (kil, silt, kum, çakıl) yüzde miktarlarının belirlenmesi, zeminin mühendislik özelliklerine (porozite, hidrolik iletkenlik, su tutma, dayanım özellikleri vb.) ışık tutar. Zeminlerin standart sistemlere göre sınıflandırılmasında kullanılır. Deney ağırlıkça kalan/geçen miktarların yüzde olarak ifade edilmesi şeklindedir. Deney ıslak ve kuru olmak üzere iki yöntemle yapılır. Islak yöntemde, kurutulmuş tartılmış zemin numuneleri 200 Nolu elekten yıkanır ve üstte kalan tekrar kurutularak elenir, altta kalan silt ve kil boyutundaki malzemenin analiz edilmesi için ıslak analiz (pipet analizi veya hidrometre analizi) yapılır. Elek analizi ve hidrometre analizi sonucunda, zemini oluşturan değişik boylardaki tanelerin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir ve yarı-logaritmik grafik üzerinde “Tane Boyu Dağılım Eğrisi” diğer adıyla “Granülometri Eğrisi” çizilir. Tane boyu dağılım eğrisi ile zemini oluşturan çakıl, kum, kil, silt malzeme miktarları belirlenerek “Zemin Sınıflaması” yapılır.

Hidrometre Analizi

İnce taneli zeminlerde, zemini elekten eleyerek çaplarına göre ayırmak zemin taneleri gözle görülemeyecek kadar küçük olduğundan mümkün olmamaktadır. Tane çapı 0,075 mm’den küçük boyuttaki (200 nolu elekten geçen) malzemelerde, tane çapı ve dağılımını deneysel olarak saptamak için ıslak analiz (hidrometre, pipet) yapılmaktadır. Bu deney Stoke’s yasasına dayanmaktadır. Stoke’s yasası, süspansiyon içindeki küresel katı maddelerin çökme hızlarının onların tane çapı ve ağırlığına

bağlı olarak değiştiği ilkesine dayanmaktadır. ASTM standartlarına uygun olarak yapılan hidrometre analizi sonucunda elde edilen tane boyu ve geçen yüzde değerleri elek analizi değerlendirmesinde olduğu gibi yarı logaritmik tane boyu dağılım grafiğine yerleştirilerek tane boyu dağılım eğrisi elde edilir.

Kıvam (Atterberg) Limitleri

İnce taneli zeminler, su içeriklerine göre çeşitli durumlarda olabilmektedirler. Kuru bir zemine artan miktarda su eklenerek yoğurulduğunda zemin sırayla şu durumlara (katı-yarı katı-plastik-likit durum) dönüşür ve hacmi bir miktar artar. Ters durumda ise likit (sıvı) haldeki ince taneli zemin, kurutulursa yani su içeriğini kaybettikçe sırayla; plastik, yarı katı, katı durumlara sahip olur ve hacmi bir miktar azalır. İsviçreli Atterbeg (1911) kimyacı ve tarım bilimci, bu durumları ayıran sınır su muhtevalarını Atterberg (Kıvam) Limitleri şeklinde tanımlamıştır. Atterberg (Kıvam) Limitleri, ince taneli (kohezyonlu) zeminlerin belirli fiziksel hallerde bulunduğu su içerikleri olarak tanımlanmaktadır. ASTM Standartlarına göre belirlenmektedir. İnce taneli (kohezyonlu) zeminlerin sınıflandırılması kıvam limitleri esas alınarak yapılmaktadır. Kıvam (Atterberg) Limitleri, zeminin su içeriğindeki azalmalara bağlı olarak başlıca 3 tanedir. Bunlar; likit limit, plastik limit ve rötre (büzülme) limitidir.

Likit Limit (LL): Zeminin plastik halden likit (akışkan) hale geçtiği su içeriğidir. Likit limit casagrande veya düşen koni yöntemi ile belirlenebilir.

Plastik Limit (PL): Zeminin plastik halden yarı katı hale geçtiği andaki su içeriğidir. Zeminin el altında cam bir yüzey üzerinde çubuk haline getirilirken, çubuğun çapı yaklaşık 3mm olduğunda kopmaların meydana geldiği su içeriği olarak tanımlanır.

Rötre (Büzülme) Limiti (SL): Daha fazla su kaybının, zeminin hacminde artık bir azalma meydana getirmediği maximum su içeriğidir. Diğer bir deyişle, zeminin suya doymun olabildiği en düşük su içeriğidir.

Plastisite İndisi (PI): Zeminin plastik davranış halindeki su içeriği olup Zeminin likit limit ile plastik limiti arasındaki sayısal farkı temsil eder.

Kesme Kutusu Deneyi

Direk kesme, örselenmemiş zeminlerin, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve drenajsız kayma dayanımını belirlemek amacıyla yapılan deneydir. Zeminlerin kayma dayanımı, taşıma gücü hesaplarında, şev denge analizlerinde, dolgu-dayanma yapılarının imalatında kullanılan mühendislik parametresidir.

Kesme kutusu deneyi; zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli, iki parçadan oluşan rijit bir kutu içerisine yerleştirilir ve uygulanan makaslama kuvveti ile numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanır ilkesine dayanır. Zeminler üzerinde yapılan kesme kutusu deneyleri; drenajsız, konsolidasyonlu-drenajsız ve konsolidasyonlu drenajlı deneyler olmak üzere sınıflandırılmıştır. Bu deney kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminler için uygun olmakla birlikte daha ziyade kumlar için uygundur.

Üç Eksenli Basınç Deneyi

Zeminin kayma dayanımını belirlemek için en yaygın olarak kullanılan deney üç eksenli basınç deneyidir. Bunun nedeni zeminin arazide üç eksenli gerilme etkisi altında olduğu için gerçeğe en yakın kayma mukavemetinin belirlenmesini sağlar. Her çeşit (kohezyonlu ve kohezyonsuz) zemin için uygundur.

Zeminlerin efektif sıkışma dayanımlarının belirlenebildiği, ASTM Standartlarında yapılan bu deneyde hidrostatik basınç altında, izotropik konsolidasyon ve artan eksenel deformasyon koşulları altında numunenin sıkıştırılarak makaslanması yöntemi kullanılır. Deney; Konsolidasyonsuz Drenajsız (UU), Konsolidasyonlu Drenajlı (CD), Konsolidasyonlu Drenajsız (CU) olmak üzere üç türlü yapılabilmektedir.

2.2.4.2. Kaya Mekaniği Laboratuvar Deneyleri

Arazi çalışması kapsamında açılan sondajlardan 2 tanesinden kaya karotları alınmıştır. Bu karotlarından alınan kaya numuneler (16 adet numune), Pamukkale Üniversitesi zemin ve kaya mekaniği laboratuvarında yapılmış olan kaya mekaniği deneyleri ile değerlendirilmiştir. Çalışma alanında görülen kaya türlerinin dayanım özelliklerini belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır.

Alınan kaya numunelerinin öncelikle dijital kumpas ile çap ve boy ölçümleri yapılmış, ıslak ve kuru ağırlıkları ölçülmüş ve hazırlanan bu numuneler ile Sonik Hız Deneyi, Brazilian Yöntemi ile kayaların İndirekt Çekilme Dayanımı Tayini, Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi ve Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi yapılmıştır.

Sonik Hız Deneyi

Sonik hız deneyi, kayaçların dinamik Young modülü ve Poisson oranının belirlenmesi amacıyla, kaya numuneler içerisinden sıkışma ve makaslama dalgalarının yayılma hızları kullanılarak yapılan bir deneydir. Bu yöntem, homojen ve izotrop yapıya sahip kayaçlar ile az derecede anizotrop yapıdaki kayaçlar için tercih edilir (Ulusay ve diğ. 2001).

Brazilian Yöntemi ile kayaların İndirekt Çekilme Dayanımı Tayini

Disk şeklinde hazırlanmış kaya numunelerinin, çapsal yükleme altında çekilme dayanımlarının dolaylı yoldan belirlenmesi amacıyla yapılan bir deneydir. Brazillian yöntemi, kaya numunelerinin deneye hazırlanması ve deneyin yapılışı açısından diğer yöntemlere göre daha pratik olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır (Ulusay ve diğ. 2001).

Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi

Kayaçları dayanımlarına göre sınıflandırma amacıyla yapılan bu deney, sınıflandırmada kullanılan nokta yüğü dayanım indeksinin belirlenmesini sağlar. Kaya kütlesi sınıflama sistemlerinde kaya malzemenin dayanım parametresi olarak kullanılan bu indeksin belirlenmesinin yanında, tek eksenli sıkışma ve çekilme

dayanımları gibi diğer dayanım parametrelerinin de dolaylı yoldan tayininde kullanılır (Ulusay ve diğ. 2001).

Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi

Bu deney, kayaçların dayanım ve kaya kütlesi sınıflamalarında ayrıca tasarında taşıma gücü hesaplamalarında yaygın olarak kullanılan tek eksenli sıkışma dayanımının belirlemek amacıyla yapılır (Ulusay ve diğ. 2001).

Kil Analizleri

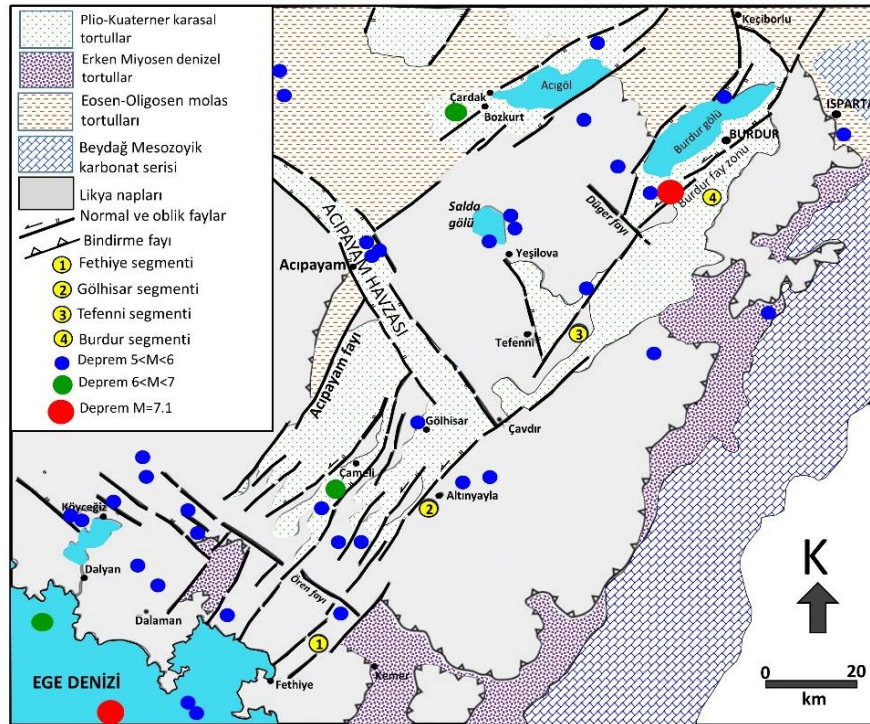
Çalışma alanında açılan; A_SK1, A_SK3, A_SK5, A_SK10 ve A_SK11 jeoteknik sondajlarından alınan kil numunelerinin mineralojik içerikleri ve şişme özelliklerinin belirlenmesi için 5 farklı noktadan seçilen numuneler, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne (TUAM) gönderilerek X-ışınları difraksiyonu (XRD) standart patern incelemesi yapılmıştır.

X-ışınları kırınımı (XRD) tüm kayaç (TK) ve kil fraksiyonu (KF) analizleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi (TUAM)'da Bruker D8 Advance marka model difraktometre cihazında, CuK α , 40 kV ve 30 mA koşullarında (Kağıt aralığı=2 teta=2-70°; step aralıkları = 0.02, integration time =2 saniye) yaptırılmıştır. Kil fraksiyonu için X-ışını difraktogramları, hava ile kurutulmuş (AD), 24 saat boyunca etilen-glikole edilmiş (G), ve 4 saat boyunca 550°C'ye ısıtılmış (H) olmak üzere 2°-40° aralığında çekilmiştir.

3. BÖLGESEL JEOLojİ VE JEOTEKNİK

Fethiye-Burdur fay zonu, GB Anadolu’da Burdur İli’nden başlayıp, Fethiye Körfezine kadar uzanan 300 km uzunluğunda, 75-90 km genişliğinde transtansiyonel, sol yanal bir makaslama zonudur (Elitez ve Yaltrık 2016; Elitez 2019; Kürçer ve diğ. 2016; Hançer ve diğ. 2022). Ülkemizin önemli neotektonik yapılarından birisidir. Farklı araştırmacılar tarafından bu zonun paleosismolojisine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Şentürk ve diğ. 2003; Bozcu ve diğ. 2007).

Fethiye ile Burdur Gölü arasındaki fay sistemlerini KD-GB, KB-GD ve K-G uzanımlı olmak üzere başlıca 3 grupta toplamak mümkündür. Özellikle Burdur Gölü’nü kuzeyden ve güneyden sınırlayan KD gidişli faylar sol verev atımlı normal fay karakterine sahiptirler. Bu faylar çoğu yerde Kuvaterner oluşuklarını keserek, bunlara yüksek eğimler kazandırmışlar ve alüvyonlar içerisinde gözlenebilen basamaklı yapılar oluşturmuşlardır. KB uzanımlı faylar ise büyük bölümüyle normal fay karakterinde olup; KD gidişli fayları değişik mevkilerde keserek bu faylar üzerinde farklı segmentlerin oluşumuna sebep olmuşlardır (Şekil 3.1) (Bozcu ve diğ. 2007).

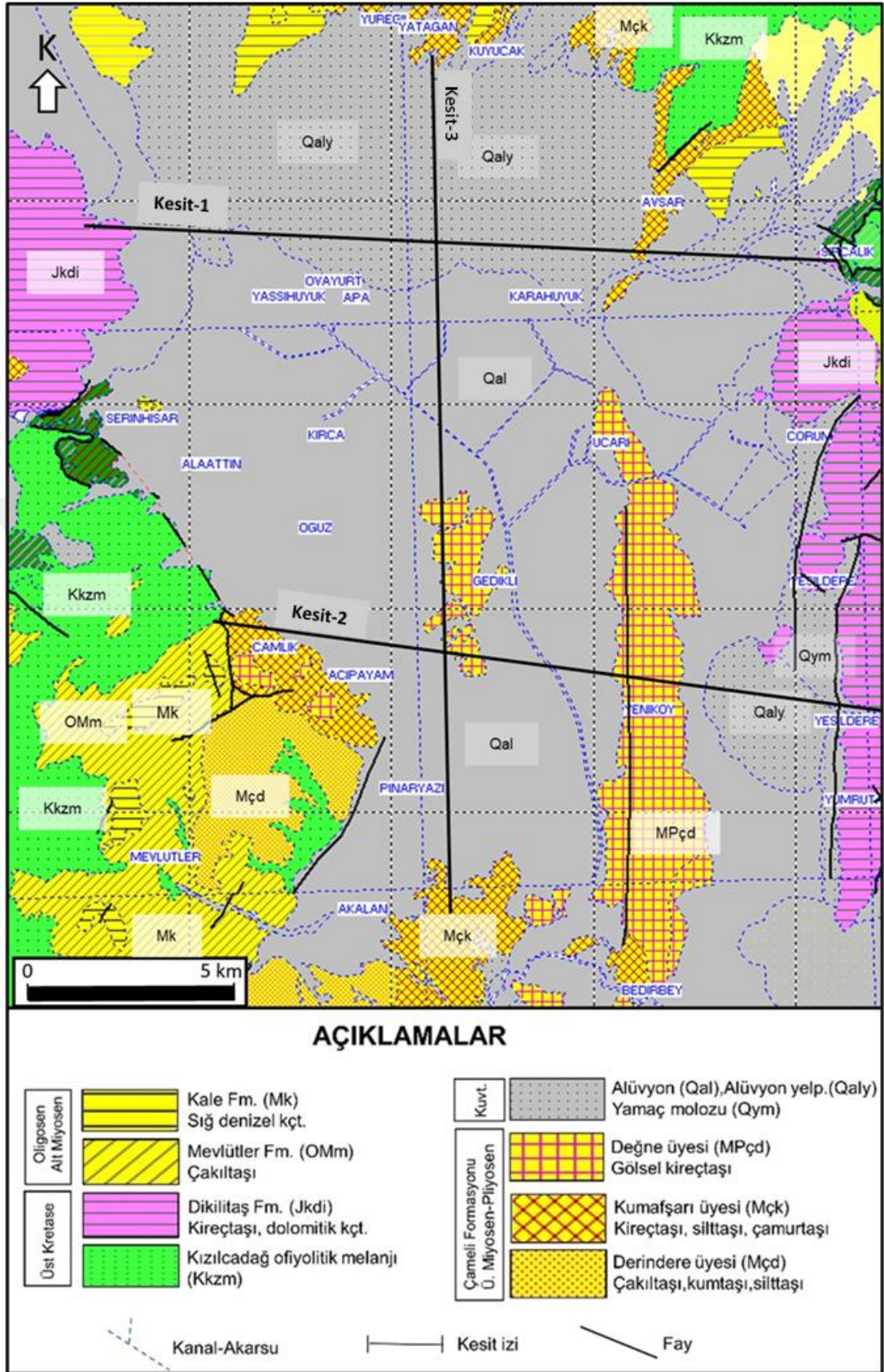


Şekil 3.1: Fethiye Körfezi ile Burdur Gölü arasındaki bölgede yer alan Burdur-Fethiye Fay Zonu’ndaki tektonik yapıların birbirleriyle olan ilişkileri (Bozcu ve diğ., 2007, Kumsar ve diğ. 2019’dan) değiştirilerek.

4. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ, STRATİGRAFİSİ, TEKTONİĞİ, DEPREMSELLİĞİ VE HİDROJEOLJİSİ

4.1 Acıpayam ve Yakın Çevresinin Jeolojisi ve Stratigrafisi

Çalışma alanının yer aldığı Acıpayam Ovası ve yakın çevresinde; temeli oluşturan kaya birimleri yaşlıdan gence doğru Likya napları, Oligosen, Miyosen ve Pliyosen birimleri ile genç Kuvaterner dolgularıdır. Acıpayam Havzası, Burdur-Fethiye Fay zone içinde yer alan, K-G uzanımlı genişlemeli bir Neojen havzadır. Deniz seviyesinden 850-950 metreler arasında konumlanmış olan havza GB' ya doğru Dalaman Çayı tarafından drene edilmektedir. Havzayı çevreleyen yüksek dağlık alanlarda Mesozoyik-Senozoyik yaşlı kayalar yüzeyler. Mesozoyik (Triyas-Jura-Kretase) birimleri çoğunlukla Likya Napları'nın karbonat ve ofiyolit kayalar toplulukları ile temsil edilir (Şekil 4.4). Acıpayam ilçe merkezinin güneybatısında Mevlütler yöresi, ofiyolitik kayaların iyi gözlemlendiği yerlerden birisidir (Balcı ve diğ. 1976). Senozoyik birimleri ise Erken Miyosen yaşlı Mevlütler Formasyonu ve Kale Formasyonu (Büyükmeriç 2017)'dur. Kale Formasyonu, Alçiçek ve diğ. (2004, 2005) tarafından 'sığ denizel kireçtaşları', Elitez (2010) ve Elitez ve Yaltırak (2014) tarafından ise 'Bozdağ Formasyonu' adı altında incelenmiştir (Tablo 4.2). Bölgede Orta-Geç Miyosen-Pliyosen döneminde alüvyon, akarsu ve göl çökelleri depolanmıştır (Kara 1976; Erten 2002; Alçiçek ve diğ. 2004, 2005; Elitez 2010; Elitez ve Yaltırak 2016) (Şekil 4.5). Havza'yı doğudan sınırlayan, Dikilitaş Formasyonu'nun yüzeylediği Malı Dağı'nın batı kenarı boyunca, üzerinde Yumrutaş-Yeşildere-Corum Mahalleleri'nin yer aldığı K-G uzanımlı fay morfolojisi oldukça belirgindir (Şekil 4.1). Havza ortasında, üzerinde Bedirbey-Yeniköy-Uçarı gibi yerleşim merkezlerinin yer aldığı, K-G doğrultulu ve batıya eğimli bir normal fay hattı gelişmiştir. Kuvaterner döneminin genç birimleri ise göl-akarsu çökelleri, alüvyonlar ve doğudaki Malı Dağı'nın (1745 m) batı yamaçları boyunca gelişmiş yamaç molozlarından (=kolüvyonlar) oluşmaktadır (Kumsar ve diğ. 2019). Acıpayam Ovası çoğunlukla alüvyonal bir zemin yapısına sahip olup, genellikle kum, silt ve kilden oluşmaktadır. Ovanın iç ve doğu kesimlerinde Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşlarının ayrışması sonucunda ova zemininde karbonat içeriğinin yüksek olmasından dolayı killi, siltli ve kumlu alüvyon birimi yer yer sarımsı bej renklerde izlenmektedir.



Şekil 4.1: Çalışma Alanının Jeoloji ve Tektonik Haritası (Konak ve Şenel 2002'den değiştirilerek).

4.1.1 Likya Napları

Çalışma alanında Likya Napları'na ait allakton birimler ile bunları üzerleyen neo-otokton konumlu örtüye ait kaya birimleri yüzeylemektedir. Çalışma alanında Likya Napları'na ait kaya birimler Acıpayam Ovası'nı çevreleyen yüksek dağlık ve tepelik alanlarda gözlenir (Özkul ve diğ. 2003). Doğuda Yeşildere ve Yumrutaş mahallelerinin yer aldığı K-G uzanımlı Malı Dağı'nda, Jura-Kretase yaşlı karbonatlar (Dikilitaş Formasyonu), Acıpayam'ın batısında Mevlütler çevresinde krom cevherleşmesi içeren ultrabazik kayalar ve Serinhisar'a doğru KB-GD uzanımlı yükseltiler boyunca yine karbonat birimleri izlenir. Öte yandan, nap birimleri çalışma alanının kuzeyinde Yatağan-Yeşilyuva-Kefe Yaylası yörelerinde görülür.

4.1.2 Mevlütler Formasyonu (OMm)

Üst Oligosen-Alt-Orta Miyosen döneminde depolanmış birimlerden ilki, çoğunlukla kaba kırıntılardan oluşan Mevlütler Formasyonu'dur (Tablo 4.1; Şekil 4.2). Mevlütler Formasyonu'nun üzerine uyumlu olarak sığ denizel kireçtaşları gelir (Göktaş ve diğ. 1989). Bu sığ denizel kireçtaşları Kale ve Acıpayam ilçelerinde yapılan önceki çalışmalar sırasında 'Kale Formasyonu' olarak adlandırılmıştır (Özcan ve diğ. 2008; Büyükmeriç 2017).

Tablo 4.1: Acıpayam-Çameli yörelerinde farklı araştırmacılar tarafından yapılan Neojen birim adlamaları

	Alçıçek ve diğ. (2004, 2005)			Elitez, 2010; Elitez ve Yaltırak, 2014 ; (Büyükmeriç, 2017)		Sarayköylü 2024 (bu çalışma)	
	Form.	Üye	Açıklama	Formasyon	Açıklama	Formasyon, üye	Açıklama
Kuvaterner			Alüvyon, akarsu ve göl tortulları	Dirmil Formasyonu (Üst Pliyosen-Alt Kuvaterner)	Oksit kırmızı renkli, kötü boylanmalı çakıltı, çamurtaşı, silt, kil	Yamaç molozu Qym) Alüvyon yelp. (Qaly) Alüvyon (Qal)	Köşeli breşik kireçtaşı taneleri ve bloklar Vadi önlerinde ve akarsu yataklarında birikmiş kırıntılı tortullar
Orta-Üst Miyosen Pliyosen	Çameli Formasyonu (MPç)			Lamproit (Tcv)		Denizli Volkanitleri	Lamproit
		Değne üyesi	Gölsel kireçtaşı-marn	İbecik Formasyonu Üst Miyosen-Alt Pliyosen	Gölsel kireçtaşı, marn, killi kireçtaşı	Değne üyesi (MPçd)	Yaş: 5-7 milyon yıl Gölsel kireçtaşı
		Kumaşarı Üyesi	Kumtaşı, çamurtaşı	Göhlisar Formasyonu	Çakıltı, kumtaşı, silttaşı	Kumaşarı Üyesi	Kumtaşı, çamurtaşı
		Derindere üyesi	Çakıltı, kumtaşı ve çamurtaşı			Derindere üyesi (Mçd)	Çakıltı üyesi (Tca)
Alt-Orta Miyosen		Resifal kçt.	Sığ denizel kireçtaşı	Bozdağ Formasyonu (Elitez ve diğ., 2018); Kale Formasyonu (Büyükmeriç, 2017)	Orta-kalın katmanlı, yer yer masif, koyu renkli kumtaşı, çamurtaşı.	Kale Form. (Mk)	Sığ denizel/resifal kireçtaşı
		Karasal kırıntılılar	Çakıltı, kumtaşı			Mevlütler Form.(OMm)	Çakıltı, kötü boylanmış
Mesozoyik Jura -Kretase	Likya Napları	Temel birimleri-	Mesozoyik ofiyolit, kireçtaşı	Temel birimleri-Likya Napları	Jura-Kretase ofiyolitik melanaj, rekrystalize kçt., Eosen türbidit	Dikilitaş Formasyonu (Jkdi) Kızılcadağ Melanjı (Kkzm)	Kireçtaşı, dolomitli kireçtaşı, dolomit.

Daha önce Acıpayam yöresinde yapılan bir çalışmada bu birimden ‘Erken Miyosen’ de karasal ve sığ denizel ortamda depolanmış bir istif olarak söz edilmiştir (Alçıçek ve diğ. 2004). Elitez ve diğ. (2018) ise aynı birimi ‘Bozdağ Formasyonu’ adı altında incelemişlerdir. Yazarlar Bozdağ Formasyonu’ nun temel birimlerini (Likya Naplarını) uyumsuz olarak örttüğünü belirtmişlerdir.

Birimin yüzeylemelerine batı-kuzeybatıda Akalan-Mevlütler çevrelerinde ve Alaadin yakınlarında, güneyde ise Kelekçi kasabasının 10 km kadar kuzeydoğusunda, Dalaman vadisinin güneye yöneldiği alanın kuzey-kuzeydoğusunda rastlanır (Elitez ve diğ., 2018). Birim orta-kalın tabakalı, yer yer masif, gri-koyu gri, sarımsı kahverengi – kırmızı renklidir. Kalınlığı yaklaşık 500 m’dir. Birimin yaşı, stratigrafik konumu ve üst kısımlarındaki sığ denizel kireçtaşlarında tayin edilen *Schizotrix* sp. ve *Scytonema* sp. gibi alg fosillerine göre Üst Oligosen-Alt Miyosen olarak kabul edilmiştir (Şenel 1997). Birim alüvyal yelpaze, akarsu ve sığ deniz koşullarında depolanmıştır.

4.1.3 Kale Formasyonu (Mk)

Mevlütler Formasyonu üzerine gelen birim, sığ denizel kireçtaşlarından, başka bir ifadeyle resifal kireçtaşlarından oluşur. Yüzeylemelerine Kale ve Acıpayam ilçelerinde rastlanır. Çalışma alanında, Acıpayam ilçe merkezinin B-GB’sında, Mevlütler çevresinde Alacain Mah. ve Kuleburnu Tepe’de gözlenir (Büyükmeriç, 2017). Altta Mevlütler Formasyonu’ nun kırıntılı tortulları ile uyumlu bir dokanak ilişkisine sahiptir. Kireçtaşlarında yapılan paleontolojik çalışmalara göre birime erken Orta Miyosen (Burdigaliyen) yaşı verilmiştir (Özcan ve diğ. 2008; Büyükmeriç 2017).

4.1.4 Çameli Formasyonu (MPç)

Acıpayam-Çameli dolaylarında geniş yayılımı gösteren karasal Neojen tortulları MTA ve TPAO tarafından yapılan önceki çalışmalarda (Göktaş 1990; Becker-Platen 1970; Kara 1976) ‘*Neojen Örtü*’ olarak haritalanmış ve ‘Çameli Formasyonu’ ve ‘Yatağan Formasyonu’ olarak adlandırılmıştır (Alçıçek ve diğ. 2004).

Geç Miyosen-Geç Pliyosen yaşlı bu karasal istif (alüvyon, akarsu ve göl tortulları) allokon konumlu Mesozoyik temel birimlerini (Likya Napları' nı) uyumsuz olarak örter. Toplam kalınlığı yaklaşık 500 m civarındadır. Çameli yöresinde yapılan çalışmalarda Neojen karasal istifi değişik formasyon ve üyelere ayrılmıştır (Tablo 4.1). Alçıçek ve diğ. (2004) istifi alttan üste doğru Derindere, Kumafşarı ve Değne üyelerine ayırmıştır (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Buna karşılık, Elitez (2010) ve Elitez ve Yaltırak (2014) Neojen istifini Gölhisar Formasyonu, İbecik Formasyonu ve Dirmil Formasyonu olmak üzere 3 birime ayırmıştır (Tablo 4.2). Bu çalışmada, Neojen (Üst Miyosen-Pliyosen) karasal istifi hakkında verilen bilgiler Alçıçek ve diğ. (2004)'nin yaptığı üye ayırımına dayandırılmıştır.

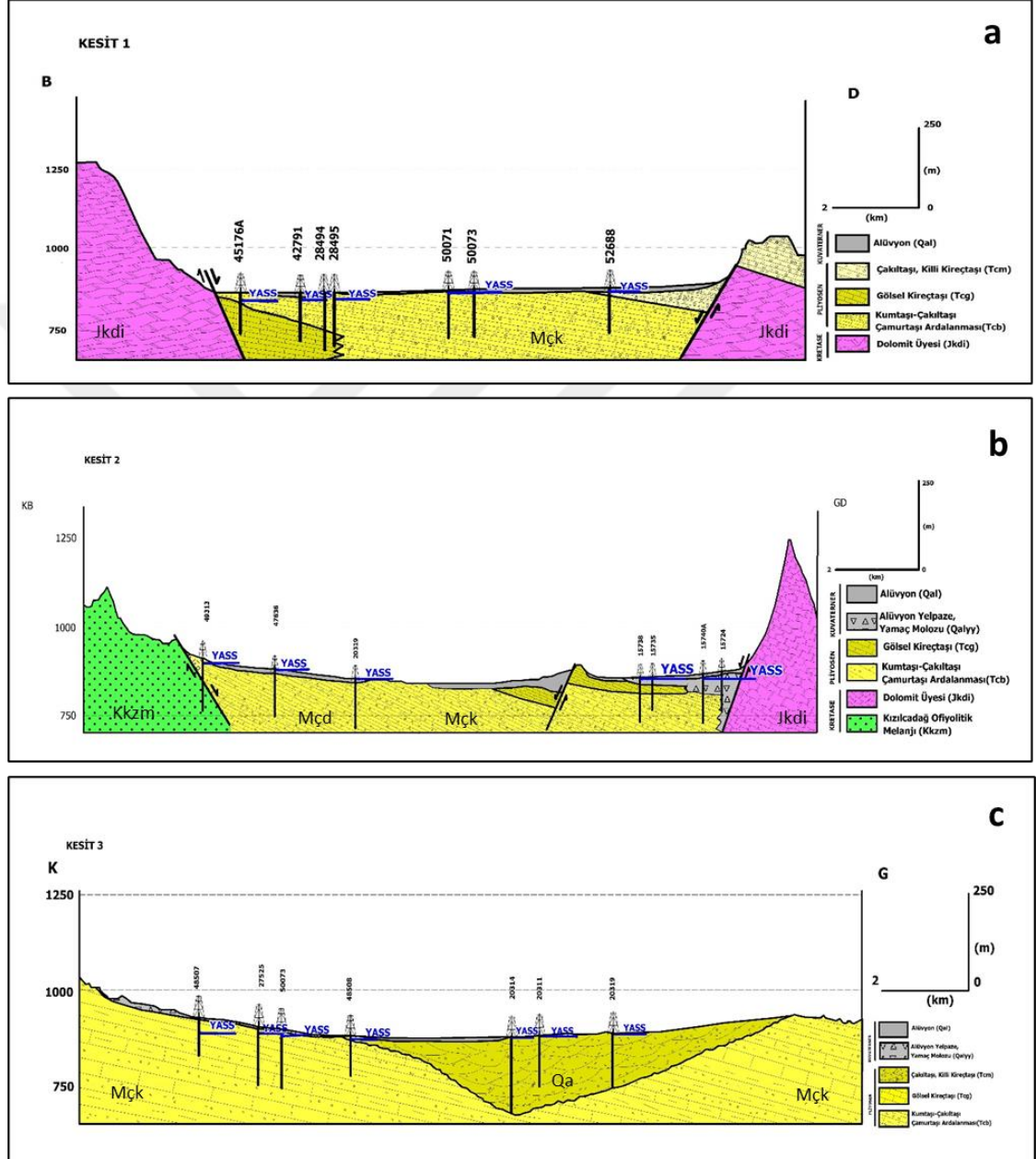
Derindere Üyesi (Mçd)

Birim Çameli Formasyonu' nun en alt kısmında yer alır (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Alüvyon yelpazesi tortullarından oluşur. Havzanın kenar kesimlerinde ve havza dolgusunun en alt ve en üst kesimlerinde yaygındır (Alçıçek 2001) Koyu kırmızı-kahverengi ve kalınlığı 40-60 m arasında değişen üye, hamur (=matriks) destekli çakıltaşı ve çamurtaşından oluşur. Kumafşarı ve Değne üyeleri ile yanal ve düşey ilişkilidir. Temeli oluşturan Kızılcadağ ofiyolitik melanji üzerinde uyumsuz olarak yer alır. Bazı kesimlerde faylı dokanak gözlenir (Alçıçek ve diğ. 2004). Çalışma alanında Pınaryazı ve Akalan Mahalleri çevresinde yüzeyler. Derindere Üyesi' ni oluşturan katmanlar, Şekil 4.3'da 1 ve 2 nolu jeolojik enine kesitlerde görüldüğü gibi, havzayı doğudan sınırlayan faylanmanın neden olduğu tiltlenme nedeniyle doğuya doğru eğimlidir (Şekil 4.3).

Kumafşarı Üyesi (Mçk)

Birim, özellikle Çameli Havzası'nın kuzey taraflarında yaygın olarak yüzeyler. Çameli Formasyonu' nun orta kesiminde yer alır (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Başlıca tabakalı kireçtaşı, kömür, lamine siltaşı-çamurtaşı, ince taneli çakıltaşı-kaba kumtaşı, epsilon çapraz tabakalı kumtaşı, tabakalı kumtaşı, düzlemsel çapraz tabakalı kumtaşı, ripil lamine ince kumtaşı, tane destekli konglomera ve düzlemsel çapraz tabakalı konglomeralardan oluşur (Alçıçek ve diğ. 2004). Kalınlığı en fazla 146 m olarak ölçülmüştür. Derindere ve Değne üyeleri ile yanal ve düşey ilişkilidir. Ağırlıklı

olarak örgülü akarsu, menderesli akarsu, akarsu deltası ve yelpaze deltası fasiyes topluluklarından oluşur (Alçiçek ve diğ. 2004). Kumafşarı Üyesi, çalışma alanında çoğunlukla gömülü olduğundan, yüzey gözlenmez. Daha çok Dalaman vadisinin yamaçları boyunca izlenir.

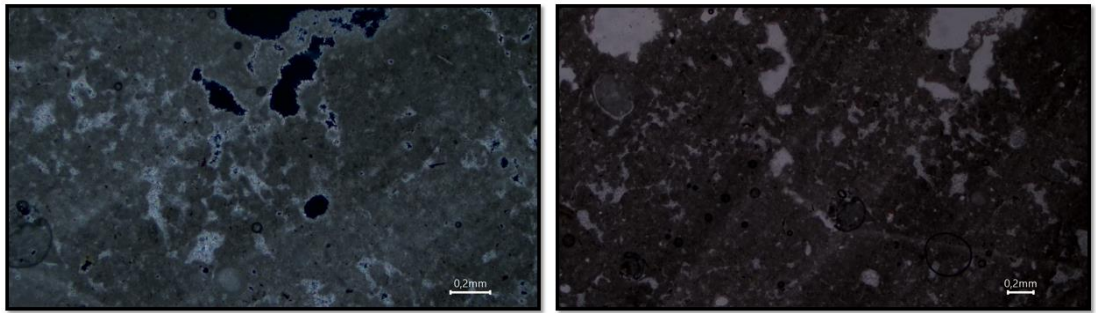


Şekil 4.3: Acıpayam Ovası'nda D-B ve K-G doğrultularında alınmış jeolojik enine kesitler (Kesit 1, Kesit 2 ve Kesit 3).

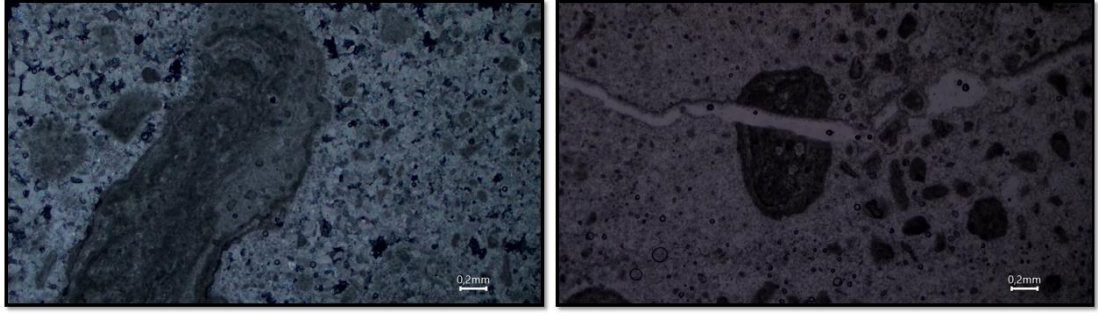
Değne Üyesi (MPçd)

Değne üyesi, Çameli Formasyonu' nun en üst üyesidir (Tablo 4.1, Şekil 4.2). Beyazımsı sarı, sarı ve bej renkli kireçtaşı, killi kireçtaşı ve marnlardan oluşur. Marnlar yer yer laminalıdır. Kalınlığı 75-300 m arasında değişir. Derindere ve Kumafşarı üyeleri ile yanal ve düşey ilişkilidir (Alçıçek ve diğ. 2004). Doğrudan temel birimler üzerine geldiği gibi, Kumafşarı üyesi üzerinde de bulunur. Elitez (2010) bu birimi 'İbecik Formasyonu' adı altında incelemiştir. Çalışma alanında, gölsel kireçtaşı yüzeylemeleri Bedirbey-Yeniköy Mahalleri'nde, K-G doğrultusunda uzanan bir sırt boyunca (Şekil 4.3'da, KB-GD doğrultusunda alınmış 2 nolu kesit). Gölsel kireçtaşlarından alınan örneklerin ince kesitlerinde yapılan mikroskop çalışmalarında mikritik kireçtaşı dokusu egemendir (Şekil 4.4). Bazı kesitlerde algal bileşenler gözlenir (Şekil 4.5).

Çalışma alanında yapılan kaya sondajlarından (SK-9 ve SK-12) alınan gölsel kireçtaşı numunelerinden 3 adet ince kesit hazırlanmıştır. **1 nolu ince kesit**, SK-9'un 2.m seviyesinden alınmış olup, peloidal mikritik kireçtaşını temsil etmektedir. Peloidal mikritik kireçtaşları yer yer boşlukludur. Taneler arası boşlukların bir kısmı ikincil sparikalsitle doldurulmuştur (Şekil 4.4). **2 nolu ince kesit**, Sk-9'un 12.m seviyesinden alınmış olup, mikroskop altında onkoidal kireçtaşı dokusu göstermektedir. İrili ufaklı onkoidal tanelerden ve sponit çimentodan oluşmaktadır. Max tane boyu 5-6 mm dir (Şekil 4.5).

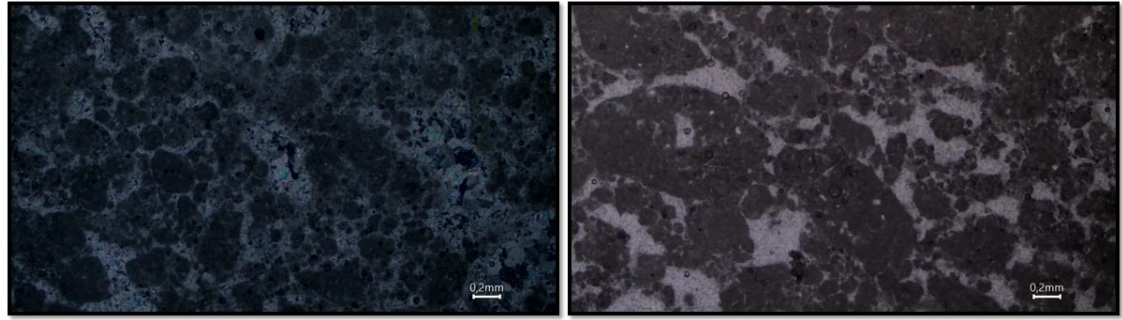


Şekil 4.4: Değne Üyesi'nin gölsel kireçtaşlarından alınmış 1 Nolu ince kesite ait mikroskop görüntüleri.



Şekil 4.5: Sk-9'un 12.metresinden alınan örneğin ince kesitinde (2 Nolu ince kesit) alg sarılımları ile oluşmuş onkoidal kireçtaşı dokusu.

Sk-12'nin 7.metresinden alınan örnekten hazırlanan ince kesitte (3 nolu ince kesit), peloidal mikritik kireçtaşı dokusu gözlenmiştir. Peloidal tanelerin çapları 0.15-0.23 mm arasında değişmektedir. Bu örnekler, sık ve düşük enerjili bir karbonatlı göl ortamında gerçekleşen depolanmayı temsil etmektedir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6: 3 Nolu ince kesit görüntüleri

4.1.5 Dirmil Formasyonu

Kırmızı renkli, kötü boylanmalı köşeli-yarı köşeli çakıltaşı, çamurtaşı, silttaşı ve kiltaşından kuruludur. Birim en iyi Dirmil (Altınyayla) dolaylarında gözlendiğinden Elitez (2010) tarafından bu isim verilmiştir (Elitez ve Yaltırak 2014). Önceki çalışmalarda Çameli Havzası'nın güneybatısından bulunan *Miomys pliocaenius*, *Apodemus dominans* ve *Micromys praeminutus* mikro memeli fosillerine göre birimin yaş konağı 2.6-1.8 milyon yıldır (Alçıçek ve diğ. 2005) Elitez ve Yaltırak (2014) mikro memeli fosil lokalitesinin stratigrafik konumuna göre birimi yeniden değerlendirmiş ve 'Dirmil Formasyonu' adını kullanmış, Üst Pliyosen-Alt Kuvaterner yaşını önermiştir. Elitez ve Yaltırak (2014)'ün Dirmil Formasyonu, Alçıçek (2001)'in kısmen de olsa Derindere Üyesi'ne karşılık gelir.

4.1.6 Kuvaterner Birimleri

Acıpayam Ovası KKB-GGD gidişli bir çöküntü alanıdır. Deniz seviyesinden ~ 950-840 m yüksektedir. Çöküntü alanını dolduran Kuvaterner birimleri yamaç molozu (kolüvyon), alüvyon, alüvyon yelpazesi, göl ve akarsu tortullarından oluşur. Ağırlıklı olarak çakıl, breş gibi kaba kırıntılardan kurulu yamaç molozları ve alüvyon yelpazeleri havza kenarlarında yer alırken; kum, silt, kil, çamur, marn ve yer yer ince çakıllardan oluşan orta-ince taneli tortullar havza ortasında, Acıpayam Ovası'nın göreceli düşük rakımlı orta kesimlerinde görülür. Yamaç molozları karbonat kayalarının yüzeylediği dik dağ yamaçlarının eteklerinde depolanmıştır. En tipik yamaç molozu birikimleri, çalışma alanını doğudan sınırlayan Malı Dağı'nın batıya bakan yamaçlarında gelişmiştir. Yumrutaş-Yeşildere Mahalleri arasındaki boğazdan batıya doğru açılan bir alüvyon yelpazesi gelişmiştir. Bu yelpazenin çapı yaklaşık 5 km'dir. Kuvaterner birimleri birbiriyle yanal ve düşey ilişkili, gevşek ya da zayıf çimentoludur. Şekil 4.3c 'de K-G doğrultusunda alınan jeolojik enine kesitte görüldüğü gibi, önceki yıllarda yapılan su sondajlarında en fazla 195 m kalınlığa kadar çakıllı birim kesilmiştir. Örgülü bir akarsu yatağını temsil ettiği düşünülen bu çakıllı birim alttaki Kumaşarı Üyesi'ni (Mçk) kazıyarak yerleşmiş olmalıdır. Günümüzde Acıpayam Ovası, Dalaman Çayı tarafından akaçlanmaktadır.

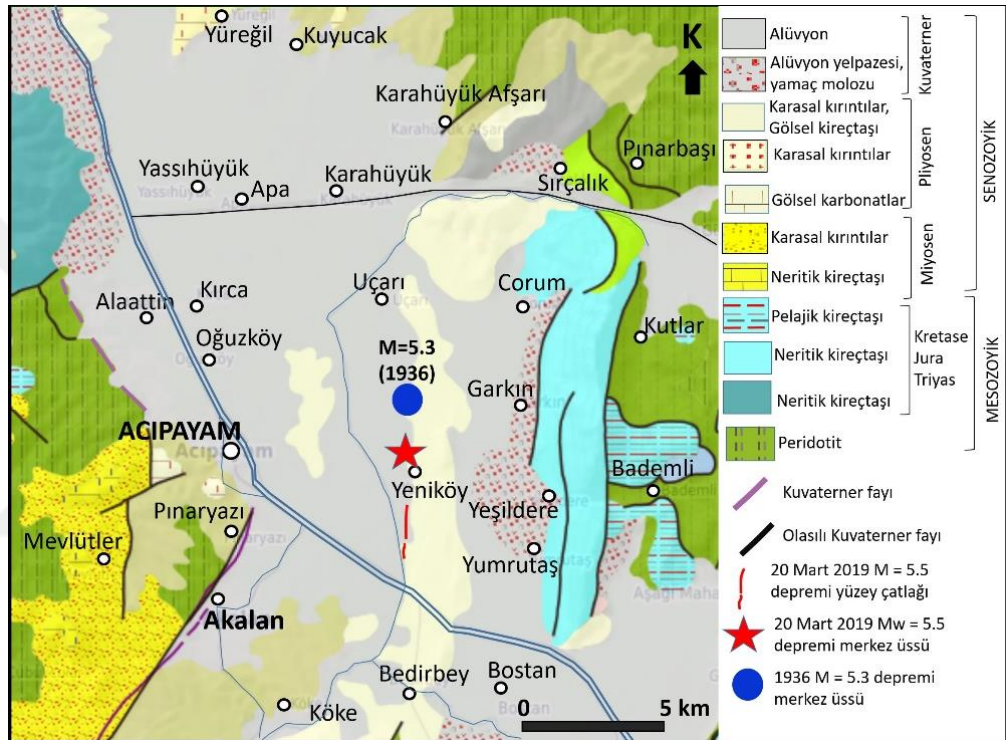
Alüvyon kalınlığı genelde fazla değildir. Ancak alüvyon yelpazesi, yamaç molozu ve akarsu-dere yataklarında ortalamanın üzerinde bir kalınlıktan söz edilebilir. Nicel (kantitatif) bir alüvyon kalınlığından söz edilememesinin olası nedenleri; alüvyon ile alttaki Miyo-Pliyosen tortul malzemenin benzerliği ve güvenilir sondaj ve jeofizik verilerin olmayışındır.

4.2 Çalışma Alanının Tektoniği ve Depremselliği

KD-GB uzanımlı Burdur-Fethiye Fay Zonu, Türkiye'nin önemli tektonik ve sismolojik kuşaklarından birisidir. Burdur-Fethiye Fay Zonu'nun yaklaşık orta kesiminde KB gidişli Acıpayam Havzası ile kesişir. Acıpayam Havzası 40 km uzunluğunda, 4–15 km genişliğinde KB gidişli bir yarı grabendir (Hançer ve diğ. 2022) Fethiye-Burdur Fay zonunda yer alan faylar başlıca doğrultu atım bileşeni de olan

normal faylardan oluşur ve yer yer verev atımlar gözlenir (Alçiçek ve ten Veen 2008; Kürçer et al. 2016; Kaymakcı ve diğ. 2018; Özkaptan ve diğ. 2018).

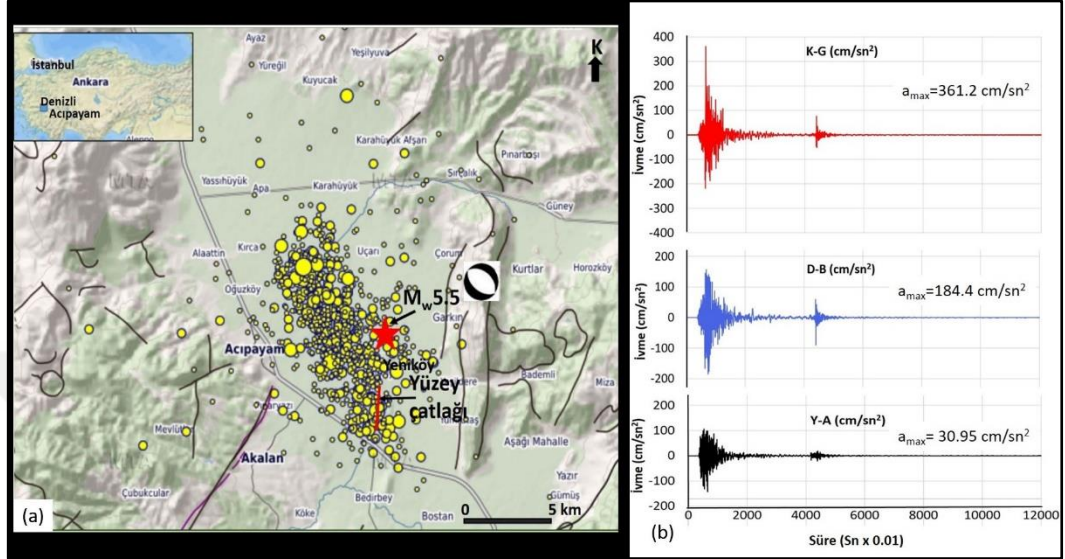
Acıpayam Havzası'nı batıda KB-GD uzanımlı Acıpayam-Serinhisar Fayı sınırlar. Bu fay Türkiye Diri Fay haritasında daha önce işaretlenmemiştir. 20 Mart 2019'da meydana gelen deprem nedeniyle varlığı anlaşıldı (Kumsar ve diğ. 2020; Hançer ve diğ. 2022). Doğu'da ise havza K-G uzanımlı Malı Dağı Fayı tarafından sınırlandırılır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7: Acıpayam ve civarının jeolojik ve tektonik yapısı, 1900 sonrası meydana gelen $M > 5$ depremlerin ve jeoteknik sondajların dağılımı (Emre ve diğ. 2013; MTA, 2019; Akbaş ve diğ. 2002; KOERI 2019; DDB 2019; Kondakçı 2017; Hançer ve diğ. 2022).

20 Mart 2019 tarihinde Türkiye saati ile 09:34'te merkez üssü Denizli İli, Acıpayam İlçesi'nin 7 km doğusunda Yeniköy Mahallesi sınırları içerisinde aletsel büyüklüğü (M_w) AFAD Deprem Daire Başkanlığı (DDB, 2019) tarafından 5.5, derinliği 10.76 km, KOERI (2019) tarafından büyüklüğü (M_w) 5.7 ve derinliği 5 km olarak hesaplanan deprem meydana gelmiştir. Burdur-Fethiye fay zonunun Acıpayam genişleme alanı içinde meydana gelen depremin DDB (2019) tarafından yapılan odak merkezi çözümünde 5.5 büyüklüğündeki ana şoku oluşturan depremin KB-GD gidişli, KD'ya eğimli normal fayın hareketi sonucu meydana geldiği belirtilmiştir.

DDB (2019) tarafından yapılan ön değerlendirme sonuçlarına göre en büyük ivme, depremin merkez üssüne 7 km uzaklıktaki AFAD ‘a ait 2017 kodlu ivmeölçer istasyonunun K-G bileşeninde 361.24 gal, D-B bileşeninde 184.4 gal, Y-A bileşeninde 30.95 gal olarak ölçülmüştür (Şekil 4.8).



Şekil 4.8: a) 20 Mart 2019 tarihinde meydana gelen Mw 5.5 Acıpayam depremi ve artçı depremlerin merkezüssü dağılımları (DDB 2019; KOERİ 2019; Emre ve diğ. 2013), b) $M_w = 5.5$ depreminin Acıpayam istasyonundaki ivme ölçüm değerleri (DDB 2019)

Burdur-Fethiye Fay zonu aktif bir fay zonu olup, büyüklüğü 7.1’e kadar yükselen depremler üretmektedir. Uzunluğu yaklaşık 150 km olan bu fay zonunun KD ucundaki Burdur İlinde 03.10.1914 tarihinde 7.1 büyüklüğünde, GB ucundaki Fethiye’de (Muğla) 25.04.1957 tarihinde 7.1 büyüklüğünde depremler meydana gelmiştir (Tablo 4.2). Bu fay zonunun i ve orta kesimlerinde meydana gelen 1900 sonrası depremlerin büyüklükleri 6.2’yi geçmemiştir. Acıpayam Ovasında ise, 1936 yılında Uçarı Mahallesi merkezli 5.3 büyüklüğünde deprem meydana gelmiştir. Bu depremin Merkez ss 20 Mart 2019 depremine çok yakın olup, 83 yıl içinde depremin tekrarlanması söz konusudur.

Tablo 4.2: 1900-20.03.2019 tarihleri arasında Burdur-Fethiye (Muğla) fay zone içinde meydana gelen depremler (DDB 2019; Koeri 2019; Kumsar ve diğ 2019).

Tarih	Yer	Büyükölük
03. 10. 1914	Burdur	7.1
03.01.1926	Gölhisar - Burdur	6.1
08.12.1936	Uçarı Acıpayam - Denizli	5.3
25.04.1957	Fethiye - Muğla	7.1
30.01.1967	Karamanlı - Burdur	5.7
14.01.1969	Fethiye - Muğla	6.2
12.01.1971	Burdur	6.2
15.01.1990	Gölhisar - Burdur	5.3
06.10.2012	Fethiye - Muğla	6.0
29.10.2007	Çameli-Denizli	5.1
20. 03. 2019	Yeniköy Acıpayam-Denizli	5.5
31. 03. 2019	Karahüyük Acıpayam-Denizli	5.1

4.2.1 Bölgenin jeolojik Evrimi

Geç Kretase sırasında Torid Karbonat Platformları üzerine devasa ofiyolit napları (düşük açılı bindirmeler) yerleşmiştir. Güneybatı Anadolu’da Menderes Metamorfik Masifi, Likya (Lycian) ofiyolitleri tarafından üzerlenir (Robertson 2002; Gündoğan ve diğ. 2008). Çalışma alanında Menderes Masifi ile Likya Napları arasındaki bu ilişki doğrudan gözlenmez. Bu nap yerleşimleri Oligosen sonuna kadar devam etmiştir. Oligosen-Alt Orta Miyosen aralığında bindirme cephelerinin önlerinden kaynaklanan kaba kırıntılı malzemeler KD-GB uzanımlı çöküntü alanlarında ya da vadilerde alüvyon ve akarsu tortullarının depolanmasına yol açmıştır. Oligosen dönemi, aynı zamanda, Türkiye arazilerinden deniz çekilmelerinin (regresyon) olduğu bir döneme karşılık gelir. Oligosen’ de bu şartlar altında çökelen istiflere jeoloji literatüründe ‘Oligosen Molas İstifi’ adı verilmiştir. Bu istifin GB Anadolu’da Burdur- Denizli-Muğla yörelerinde yaygın yüzeylemelerine rastlanır. Denizli yöresinde Oligosen molas istifi, Çardak-Tavas-Kale ilçelerinden başlayarak daha GB’ ya Ören’e (Muğla) kadar uzanır (Elmas ve diğ. 2019). Molas istifi’nin Denizli İli’ndeki yüzeylemeleri için ‘Denizli Molası’ adı kullanılmaktadır. ‘Denizli Molası’ Türkiye’nin ilk 100 Jeolojik Mirası listesinde yer almaktadır.

Acıpayam İlçesi’nin yakın GB’ sında yüzeyleyen kaba kırıntılı Mevlütler Formasyonu molas istifinin alt kısmına karşılık gelir. Molas istifinin oluşumundan sonra erken-orta Miyosende (Akitanıyen-Burdigaliyen) Akdeniz’in Anadolu’nun güney kıyılarındaki koy ve körfezlere sokulması sonucu yer yer sığ denizel-resifal

kireçtaşları oluşmuştur. Denizli özelinde bu kireçtaşları Kale ve Acıpayam ilçelerinde izlenir. Çalışma alanında Alaaddin ve Akalan Mahalleleri yakınlarında yüzeylemeleri vardır. Akalan'da Mevlütler Formasyonu üzerine uyumlu bir dokanakla gelir (Şekil 4.5).

Çameli havzası, Batı Anadolu'nun Neotektonik döneminde oluşmuş, KD-GB uzanımlı tektonik denetimli bir havzadır. Orta-Geç Miyosen' de bir graben olarak açılan havza alüvyon yelpazesi, akarsu ve göl tortulları gibi karasal tortullarla doldurulmuş ve etkinliğini Geç Pliyosen' e kadar sürdürmüştür. Göl çökellerinin oluşumunu izleyen evrede çalışma alanının kuzeyinde, Aydınlar, Kocapınar ve Yeşilyuva yörelerinde 4,6-6,5 milyon yıllar arasında (Tortoniyen-erken Pliyosen) etkin olan bir volkanik faaliyet gerçekleşmiştir.

Burdur-Fethiye Makaslama Zonu, 1-10 km uzunluğunda, KD-GB doğrultulu normal ve sol yanal atımlı verev faylar ile KD-GB gidişli havzalarla belirlenir. Çalışma alanını oluşturan Acıpayam Ovası bu zonun orta kesiminde bulunur.

4.3 Hidrojeoloji

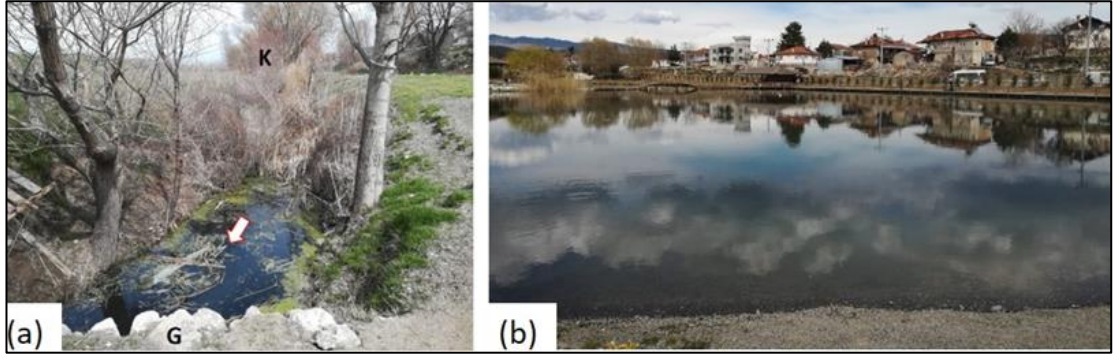
Acıpayam ovasında sürekli akışı olan tek akarsu Dalaman Çayı'dır ve ova içine güney doğuda Burdur ili, Gölhisar İlçesinin Çamköy sınırından girer, Bedirbey köyünün güneyinden akarak Köke köyü yakınlarından ova dışına akar. Ova içinde mevsimsel akışlı olan Karahüyük deresi drenaj kanalları ile Dalaman çayına karışır (Özdamar 1997; İşçi 2012).

Acıpayam ovası içindeki başlıca kaynaklar; 100 lt/sn debisi olan Uçarı, 300 lt/sn debisi olan Dedebağ, 20-30 lt/sn arasında debisi olan Sırçalık, 8-10 lt/sn debisi olan Alaattin ve 10-15 lt/sn arasında debisi olan Bademli kaynaklarıdır (DSİ 1974; Özdamar 1997; İşçi 2012). Bu kaynak suları köy arazilerinin sulanmasının yanı sıra içme suyu olarak da kullanılmaktadırlar.

Ova içerisindeki en önemli kaynak, ovanın orta kesiminin doğusunda bulunan Uçarı Mahallesinin kuzey çıkışında Alt Pliyosen yaşlı gölsel kireçtaşlarından çıkan kaynak suları (Şekil 4.9a) tabandaki killi zemin üzerinde birikerek bataklık ortamı oluşturmaktadır. Acıpayam Belediyesi tarafından yapılan çevre düzenlemesi çalışması

sonucunda bu alanda bir gölet oluşturulmuştur (Şekil 4.9b). Bu kaynağın bir kısmı köylüler tarafından kullanılmakta kalan kısmı ise drenaj kanalları ile ovanın güneyinde yer alan Dalaman Çayına boşaltılmaktadır.

Yeniköy, Uçarı ve Bedirbey mahalleleri düşük dayanımlı, karstik boşluklu ve yeraltısuyu içeren bozunmuş gölsel kireçtaşları üzerinde yapılaşmıştır. Karahüyük, Apa, Yassihüyük, Kırca, Alaattin ve Oğuzköy mahalleleri killi, siltli, kumlu ve az çakıllı alüvyon birimi üzerinde, Acıpayam ilçe merkezi Neojen yaşlı kilitaş-marn-kumtaşı ile yamaç molozu ve alüvyon birimleri üzerinde yer alır. K-G yönlü Acıpayam ovası içinde yer alan alüvyon biriminde yeraltısuyu seviyesi zemin yüzeyinden 1,7 ile 5,5 m arası derinlikte olup, kış mevsiminde biriken sular drenaj kanalları ile ova dışına boşaltılmaktadır.



Şekil 4.9: a) Yeniköy'ün 20m doğusunda güneye akan drenaj kanal suyu, b) Uçarı göletinden görünüm (Kumsar ve diğ. 2020).

Acıpayam ovası akiferlerini alüvyon ve Pliyosen birimler oluşturur. Ova ortasındaki bataklık alan haricindeki alüvyonal düzlükler yeraltısuyu işletmesine uygun olan bölgelerdir. Eğimin düşük olduğu yamaçlardan konglomera ve kireçtaşlarından su temin edilebilir. Belirlenen alüvyon alanlardan 100 m derinliklere kadar açılan su sondaj kuyularında su temini sağlanabilir (DSİ 2015).

Ovada daha önce DSİ tarafından yapılmış olan hidrojeolojik etütlerde yapılan yeraltısuyu kimyasal analiz incelemelerine göre; suların PH özelliklerinin genelde 7-8 aralığında olduğu, bor içermediğinden bor içeriği ve PH açısından birinci sınıf kalitede sular olduğu, EC değerlerine göre ise ABD tuzluluk diyagramlarına göre ikinci ve üçüncü sınıf kalitede sular olduğu, %Na, Cl, SO₄, SAR yönünden birinci kalitede sular olduğu belirlenmiştir (İşçi 2012).

Ova genelinde daha önceki yıllarda DSİ tarafından yapılmış olan, yeraltısuyu kimyasal analiz değerleri göz önüne alındığında, PH, SO₄, Mg içeriklerinin yeraltısuyunun TS-3440 standartları açısından değerlendirilmesine göre; ovanın yeraltısuyunun inşaat yönünden, yeraltısuyu seviyesinin yüksek olduğu durumlarda açılan temel ve betona zararlı bir etkisi olmayacağı değerlendirilmiştir.



5. MÜHENDİSLİK JEOLojİSİ

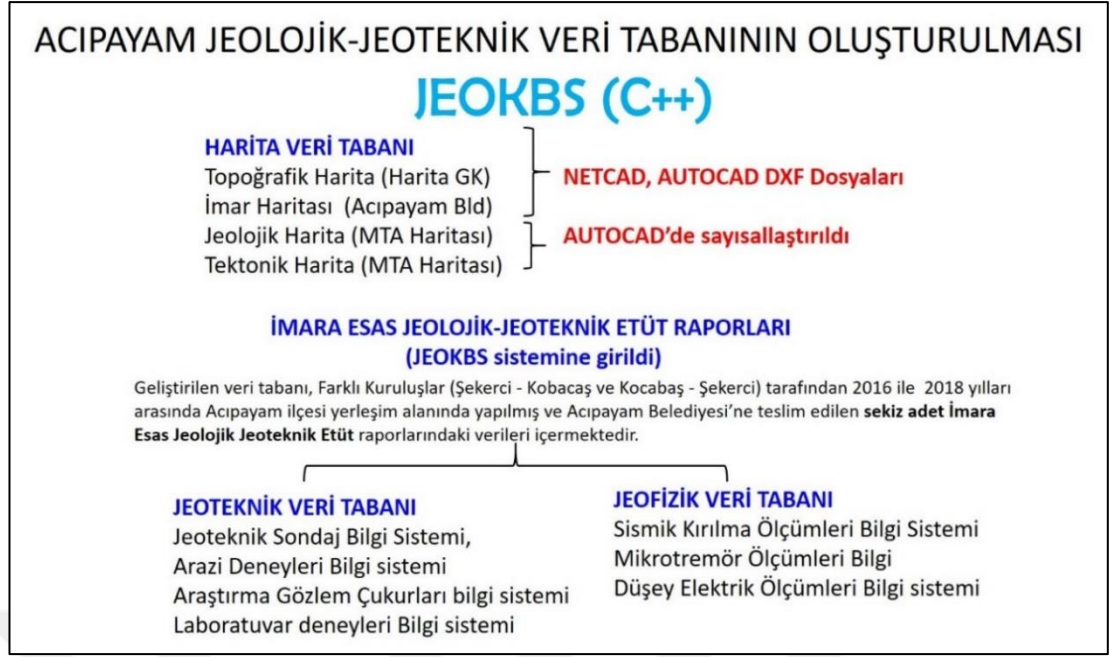
Çalışma alanında daha önce yapılmış olan yerleşim yeri seçimi amaçlı imara esas jeolojik ve jeoteknik etüt çalışmalarında yapılan jeoteknik sondaj çalışmaları, araştırma gözlem çukurları ve bunlardan alınan zemin örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, zeminlerin dinamik parametrelerini belirlemek için yapılan jeofizik ölçüm sonuçları KUMSARGIS Programı JEOKBS – Jeolojik ve Jeoteknik Coğrafi Kent Bilgi Sistemi modülünde sayısal ortama aktarılmış ve değerlendirilmiştir. Acıpayam Ovası içinde DSİ tarafından açılan Yeraltısuyu sondaj verileri de KUMSARGIS programı YAS-CBS Yeraltısuyu sondaj Bilgi Sistemi Modülünde sayısal ortamda değerlendirilmiş, çalışma alanının yeraltı jeolojisi ve hidrojeolojisi incelenmiştir.

Yukarıda değinilen sayısal veri tabanlarından elde edilen değerlendirmeler sonucunda Çalışma alanında bu tez kapsamında yapılan arazi çalışmaları, jeoteknik sondajların ve jeofizik ölçümlerin sayıları ve yerleri planlanmıştır.

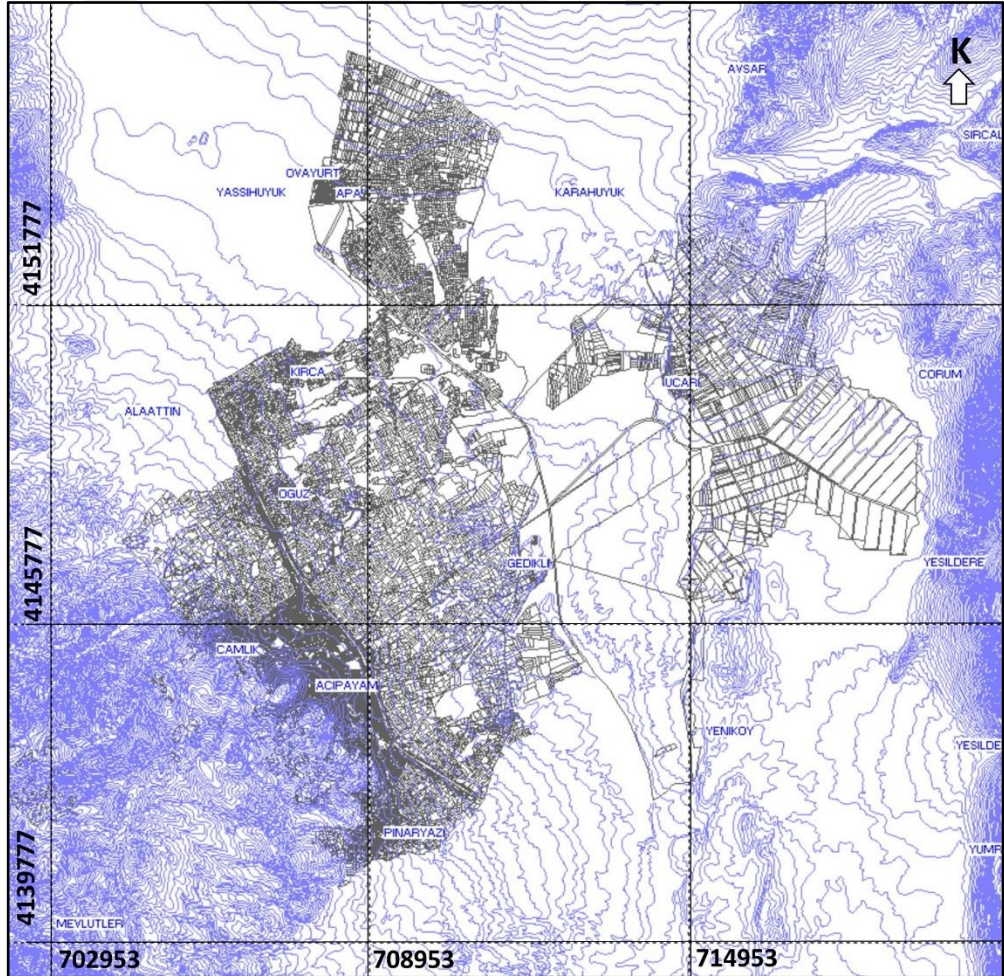
Tez kapsamında yapılan arazi ve laboratuvar deneyleri, arazideki tüm ölçüm sonuçları KUMSAR-GIS programında değerlendirilmiş, farklı mühendislik jeolojisi haritaları hazırlanmış ve Acıpayam Ovası'ndaki mevcut yerleşim yeri zeminlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri kentleşme açısından irdelenmiştir.

5.1 Acıpayam Ovası JEOKBS Sistemi

Çalışma alanı ile ilgili Acıpayam Ovasında daha önce yapılmış olan İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporları temin edilerek bu raporlardan Acıpayam Ovası ve civarı zeminleri hakkında bize katkı sağlayacak veriler derlenmiştir. Acıpayam Ovasında yapılmış olan zemin sondajları logları, araştırma çukurları logları ve jeofizik verilerin yanında alanın jeoloji haritası (MTA 1/500.000 ölçekli) Prof. Dr. Halil KUMSAR tarafından geliştiren JEOKBS programında sayısallaştırılarak jeolojik-jeoteknik bilgi sistemi oluşturulmuştur. Böylece, Acıpayam İlçesi Jeolojik Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi (ACIPAYAM-JEOKBS) çalışma sahasını alanının kapsayan alan için geliştirilmiştir (Şekil 5.1).

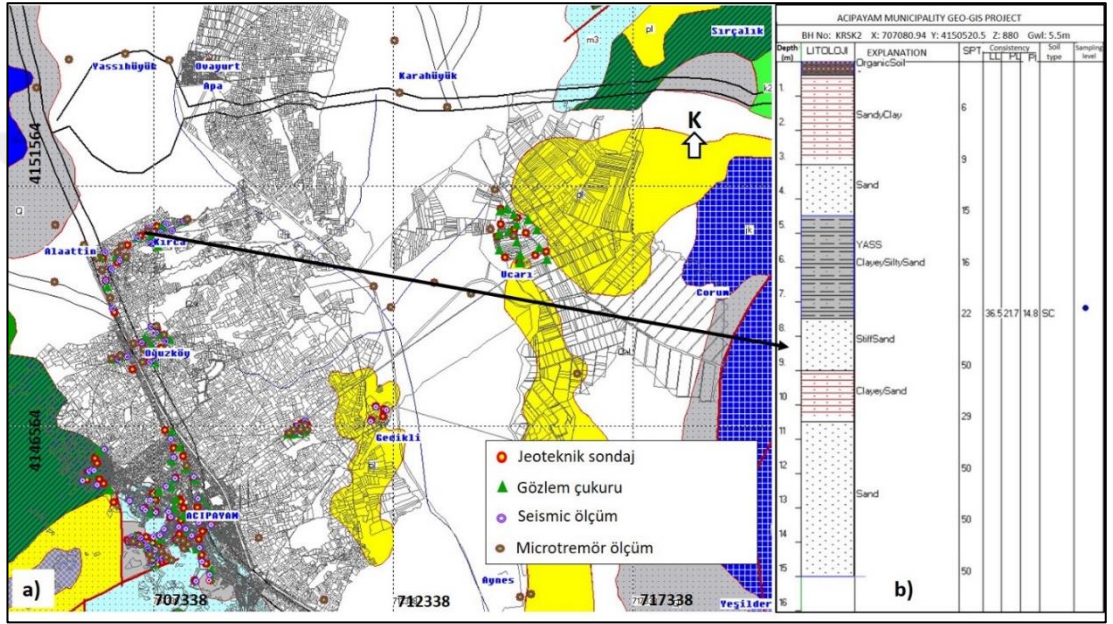


Şekil 5.1: JEOKBS veri tabanının yapısal bölümleri (Kumsar ve diğ. 2019).



Şekil 5.2: JEOKBS veri tabanı ortamında sayısallaştırılmış topoğrafik harita üzerinde imar planı haritası

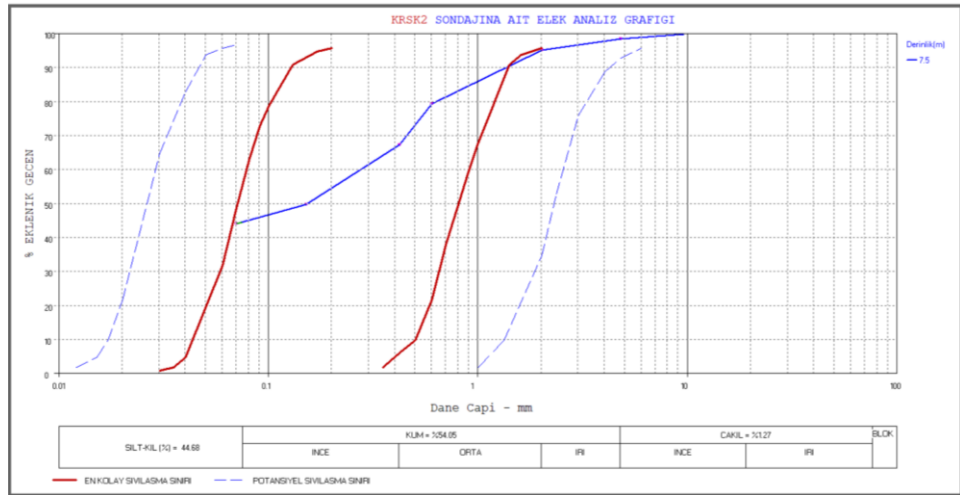
Acipayam Ovası ve ilçede daha önceki yıllarda yapılmış olan İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporlarından; Kırca Mahallesinde Şekerci ve Kocabaş (2018a). Oğuz Mahallesinde Şekerci ve Kocabaş (2018b), Uçarı Mahallesi yolu üzerinde Şekerci ve Kocabaş (2016), Çamlık Mahallesinde Şekerci ve Kılınçarslan (2013) tarafından yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. İmara Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Raporların verileri (sondaj-araştırma çukurları-rezistivite ve sismik veriler-yapılan deney verileri) tek bir koordinat sisteminde düzenlenmiş ve sayısal ortama aktarılmıştır (Şekil 5.3).



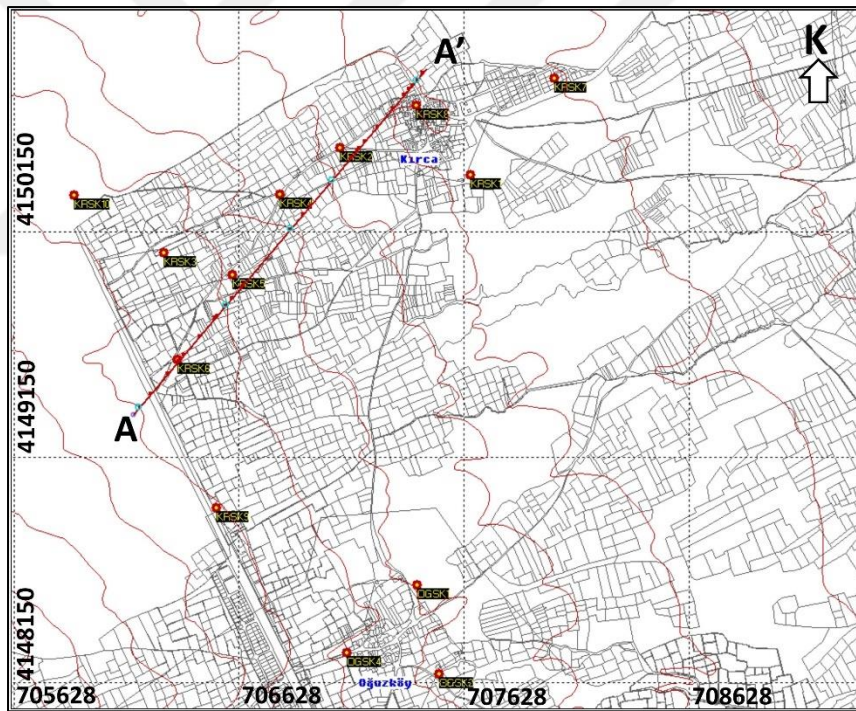
Şekil 5.3: a) ACIPAYAM-JEOKBS veri tabanındaki jeoteknik sondaj, gözlem çukuru, sismik ölçüm ve mikrotremör ölçüm yerlerinin jeoloji ve kent imar haritası üzerindeki görünümü, **b)** jeoteknik sondaj logunun ekran üzerinde koordinatına tıklandığında sorgulanması

Acipayam-JEOKBS veri tabanında, bu bölgede daha önce yapılmış olan çalışmalara ait, 82 jeoteknik sondaj, 85 gözlem çukuru, sondaj ve gözlem çukurlarından alınmış zemin örnekleri üzerinde yapılmış zemin mekaniği deney sonuçları ve sondajlardaki yeraltı suyu seviyeleri, 99 sismik kırılma ve 70 mikrotremör ölçüm verileri yer almaktadır.

Acipayam-JEOKBS veri tabanında, uzaysal koordinat sistemleri kullanılarak verilere ulaşım hızlı sağlanmaktadır. Temel altlık haritaları jeoloji, imar ve topoğrafik haritalardır. Bu haritalar üzerine veri tabanında yer alan jeoteknik ve jeofizik çalışmaların lokasyonları farklı sembollerle çizdirilmekte ve istenilen ölçüm sonucu uzaysal koordinat noktasına tıklanarak ekran üzerinde görülebilmektedir (Şekil 5.5).



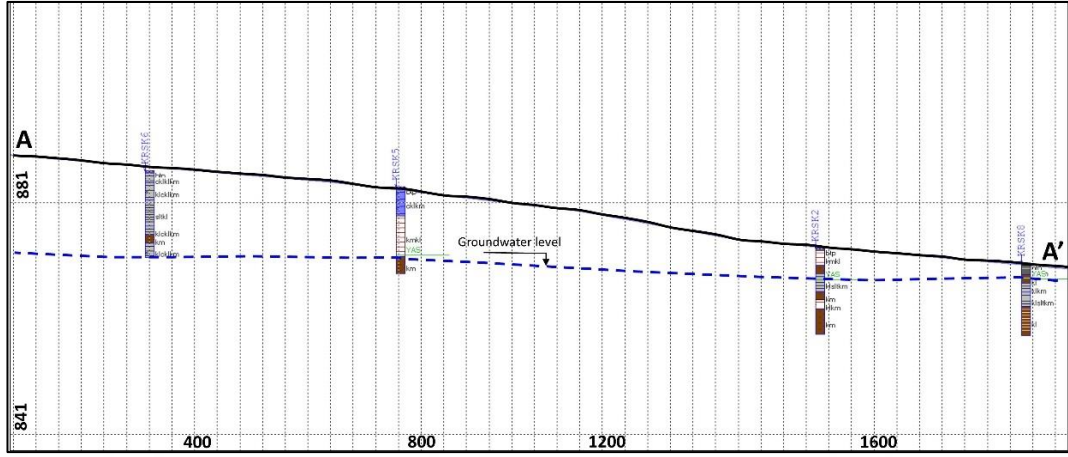
Şekil 5.4: Acıpayam-JEOKBS veri tabanında seçilen sondaj logundaki zemin örneğinin elek analizi grafiğinin gösterimi (Kumsar ve Sarayköylü 2023).



Şekil 5.5: Acıpayam-JEOKBS veri tabanından A-A' yönünde kesit izi tanımlanması (Kumsar ve Sarayköylü 2023).

Acıpayam-JEOKBS veri tabanı hazırlanırken sondaj loglarına eklenen laboratuvar deney sonuçları ekranda sorgulanabilmekte ve deney sonuçlarına ilişkin grafikler çizdirilebilmektedir (Şekil 5.4). Bunun haricinde istenilen herhangi bir yönde

kesit alınabilmekte (Şekil 5.5), bu kesit boyunca kesit hattına belirlenen mesafedeki sondaj logları görüntülenebilmektedir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6: Acıpayam-JEOKBS veri tabanından A-A' yönünde alınan kesit ve en yakın jeoteknik sondajların kesit üzerinde gösterilmesi (Kumsar ve Sarayköylü 2023).

5.2 Acıpayam Ovası Yeraltısuyu (YAS) Coğrafi Bilgi Sistemi

Havzalarda üretilen yeraltısuyu sondaj verileri birçok araştırmacı tarafından ticari yazılımlar kullanılarak (ArcGIS gibi) değerlendirilmektedir (Çelik ve diğ. 2017). Kentleşmeye yönelik uygulamalar için jeolojik ve jeoteknik coğrafi bilgi sistemi yazılımı Kumsar ve diğ. (2003; 2004; 2005) tarafından geliştirilmiş Denizli şehir merkezi ve Acıpayam ilçesi yerleşim alanlarına uygulanmıştır (Kumsar ve diğ. 2021). Yeraltısuyu sondaj verilerinin değerlendirilmesine yönelik yeni bir coğrafi bilgi sistemi Kumsar ve Sarayköylü (2021) tarafından geliştirilmiştir.

Bir havzanın yeraltısuyunun sürdürülebilir olarak kullanılması ve korunması için havza içinde açılmış yeraltısuyu sondajlarının bir veri tabanında sayısal ortamda değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, yeni bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı C++ programlama dilinde yazılımı birinci yazar tarafından geliştirilmiş ve “Yeraltısuyu Coğrafi Bilgi Sistemi (YAS-CBS)” olarak adlandırılmıştır. Mevcut durumda ticari olarak satılmamaktadır. YAS-CBS iki alt ana veri tabanından oluşur. Bunlar; harita ve yeraltısuyu sondaj veri tabanlarıdır (Şekil 5.7).

Harita veri tabanında aynı koordinat sisteminde sayısallaştırılmış topoğrafik, imar, jeolojik ve tektonik haritalar yer alır. Sayısal topoğrafik harita veri dosyaları, her

noktanın x, y ve z koordinatlarından oluşmaktadır. İmar haritaları ise iki boyutlu haritalar olup, yerleşim yerlerinde yapılmış imarlı alanların x ve y koordinatlarını içerir. Her iki türdeki harita verileri AutoCAD ve NetCAD gibi bilgisayar destekli çizim programlarının ortak veri paylaşımı olan DXF uzantılı çizim dosyalarından YAS-CBS veri tabanına aktarılmaktadır. Jeolojik ve tektonik haritalar ise MTA tarafından veya farklı bilimsel çalışmalarda ve raporlarda yayınlanmış haritaların sayısallaştırılması ile YAS-CBS programına aktarılır.



Şekil 5.7: Yeraltısuyu coğrafi bilgi sisteminin (YAS-CBS) içeriği Kumsar ve Sarayköylü (2021).

Yeraltısuyu sondaj veri tabanı, çalışılan havza içinde farklı kuruluşlar (DSİ, Büyükşehir Belediyelerinin Su Kanalizasyon Genel Müdürlükleri, İller Bankası, Özel İdare Müdürlükleri, özel sektör gibi) tarafından açılmış ve logları mevcut olan yeraltısuyu sondaj verilerini içerir. Bu veriler sondaj yeri koordinatı, sondajın jeolojik kesit logu, kuyudaki statik su seviyesi, dinamik seviyesi, kuyu açılış tarihi, kuyu teçhiz ve filtre verisi, kuyu içinden alınan suların kimyasal analiz sonuçları ve rasat yapılan yeraltısuyu sondajlarındaki statik seviyelerin aylık ölçüm verilerini içerir.

Geliştirilen YAS-CBS programında, harita bilgi sistemindeki farklı haritalar ayrı veya beraber çizdirilebilmekte, yeraltısuyu sondajlarının yerleri her farklı harita üzerinde noktasal olarak gösterilebilmektedir. Topoğrafik harita üzerinde istenilen iki nokta arasındaki kesit çizgisi boyunca topoğrafik kesit alınabilmektedir. Kesit çizgisine dik uzaklığı kullanıcı tarafından girilen mesafedeki sondajların jeolojik logları ve yeraltısuyu statik seviyeleri kesit üzerinde çizilebilmektedir. Kullanıcıların

bu verileri kullanarak kesit üzerinde jeolojik yapıyı, akifer seviyelerini ve yeraltısuyu seviyesi çizgisini oluşturmaya ve projelerinde kullanmasına imkan sağlanmaktadır.

Sondaj loglarında yer alan statik su seviyesi, suyun kimyasal ve fiziksel özelliklerinden seçilen bir parametrenin ova içerisindeki dağılım haritası YAS-CBS programı içinde çizdirilmekte ve böylece, seçilen parametrenin tüm ova içerisindeki dağılımı değerlendirilebilmektedir.

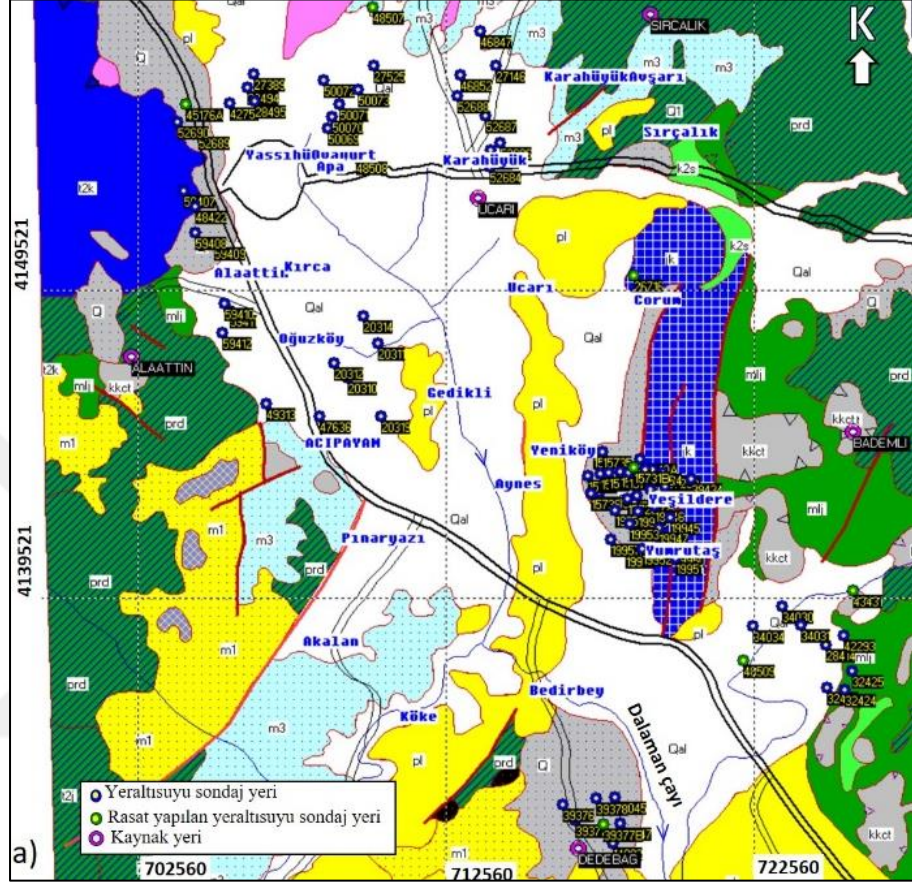
Geliştirilen YAS-CBS programının sınanması ve uygulamaya aktarılması için Acıpayam ovasında farklı tarihlerde DSİ tarafından açılan sondajlar tez çalışması kapsamında değerlendirilmiş ve Acıpayam Ovası Yeraltısuları Coğrafi Bilgi Sistemi oluşturulmuştur.

5.3 YAS Veri Tabanı Oluşturulması ve Çıktıları

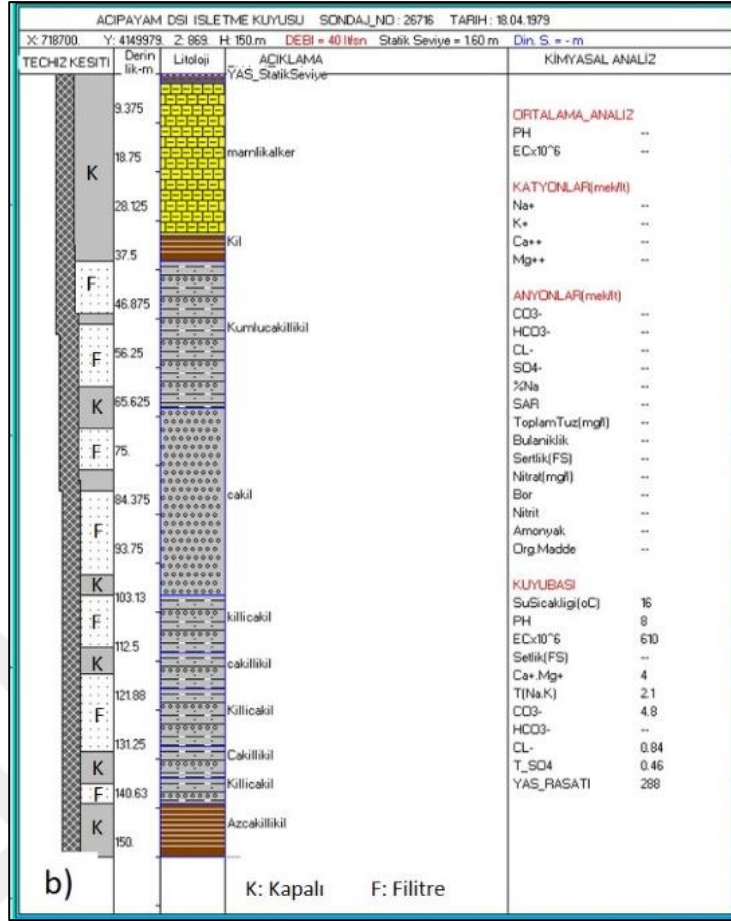
Acıpayam Ovasının topoğrafya ve imar haritası ED50-60' lik koordinat sisteminde AutoCAD yazılım programından DXF uzantılı dosya ile YAS-CBS sistemine aktarılmıştır. MTA tarafından yayınlanan bölgenin jeoloji haritası ise sayısallaştırılmıştır (Şekil 5.8a). Acıpayam Ovası içinde açılmış 87 adet yeraltısuyu arama ve işletme sondajlarının jeolojik ve hidrojeolojik logları sayısallaştırılmış ve YAS-CBS programındaki YAS sondaj veri tabanı oluşturulmuştur. Veri tabanında her sondajın açılış tarihi, x, y ve z koordinatları, derinliği, statik ve dinamik su seviyeleri, kuyu çapı, teçhiz ve filtre bilgileri, kuyu derinliği boyunca kesilen jeolojik birimlerin kalınlıkları, kuyu içinden alınan suların kimyasal ve fiziksel analiz değerleri yer almaktadır. Ayrıca, Acıpayam Ovası içinde DSİ tarafından açılan mevcut sondajlardan yedi adedi rasat kuyusu olarak kullanılmakta ve her ay kuyu içindeki statik su seviyesi DSİ tarafından ölçülmektedir. Bu sondajlarda ölçülen rasat verileri de, YAS veri tabanına aktarılmıştır.

YAS-CBS programı üzerinde farklı altlık haritalar üzerinde sondaj yerleri gösterilebilmekte ve logu görülmek istenen sondajın bulunduğu noktada farenin sağ tuşuna tıklandığında tüm sondaj logu sayısal veri tabanından okunarak grafik ekranında görülebilmektedir. Böylece YAS sondajlarının bilgilerine hızlı erişim

sağlanmaktadır. Örnek olarak Acıpayam ovasının Corum köyü sınırları içinde açılan 26716 numaralı sondaj logu gösterilmiştir (Şekil 5.8b).



Şekil 5.8: a) YAS-CBS sisteminde sayısallaştırılmış Acıpayam ovası ve çevresinin jeolojik ve tektonik haritası (Emre ve diğ. 2013; MTA 2019; Kumsar ve Sarayköylü 2021),



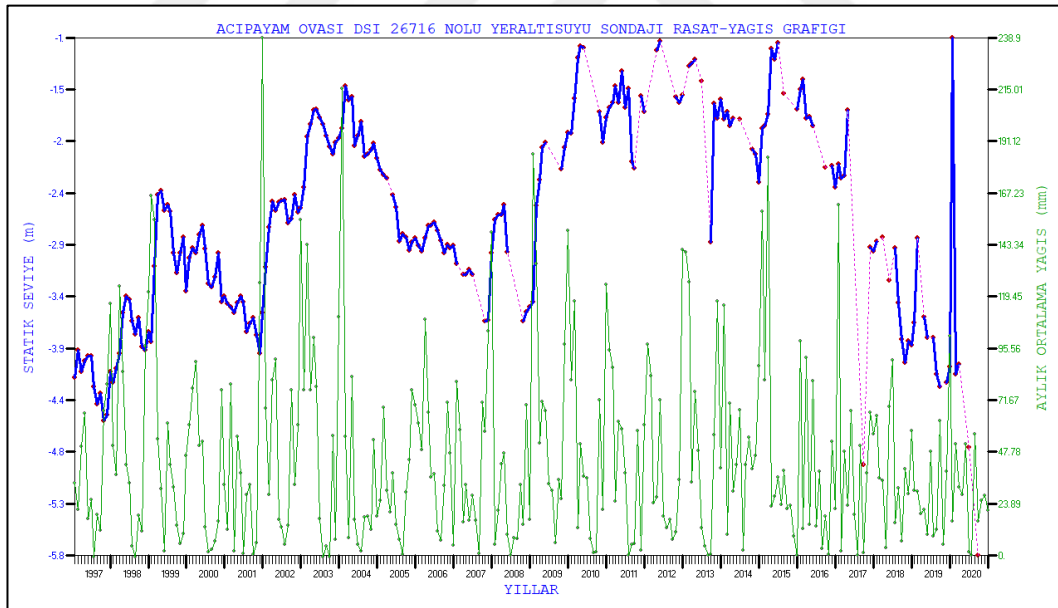
Şekil 5.8: b) DSI tarafından açılan bir yeraltısuyu sondajının ekran üzerinde gösterimi (DSİ 1974; Özdamar 1997; İşçi 2012; Kumsar ve Sarayköylü 2021).

Acıpayam Ovası Çorum köyü içinde açılmış 26716 numaralı sondajdaki statik seviye değerleri 1997 yılından günümüze kadar aylık olarak DSI tarafından ölçülmüştür. Bazı aylarda ise veri seviye ölçümü yapılamamıştır. YAS-CBS sistemindeki veri tabanı kullanılarak YAS sondajlarının rasat grafiği (Şekil 5.9) deki gibi çizdirilmektedir.

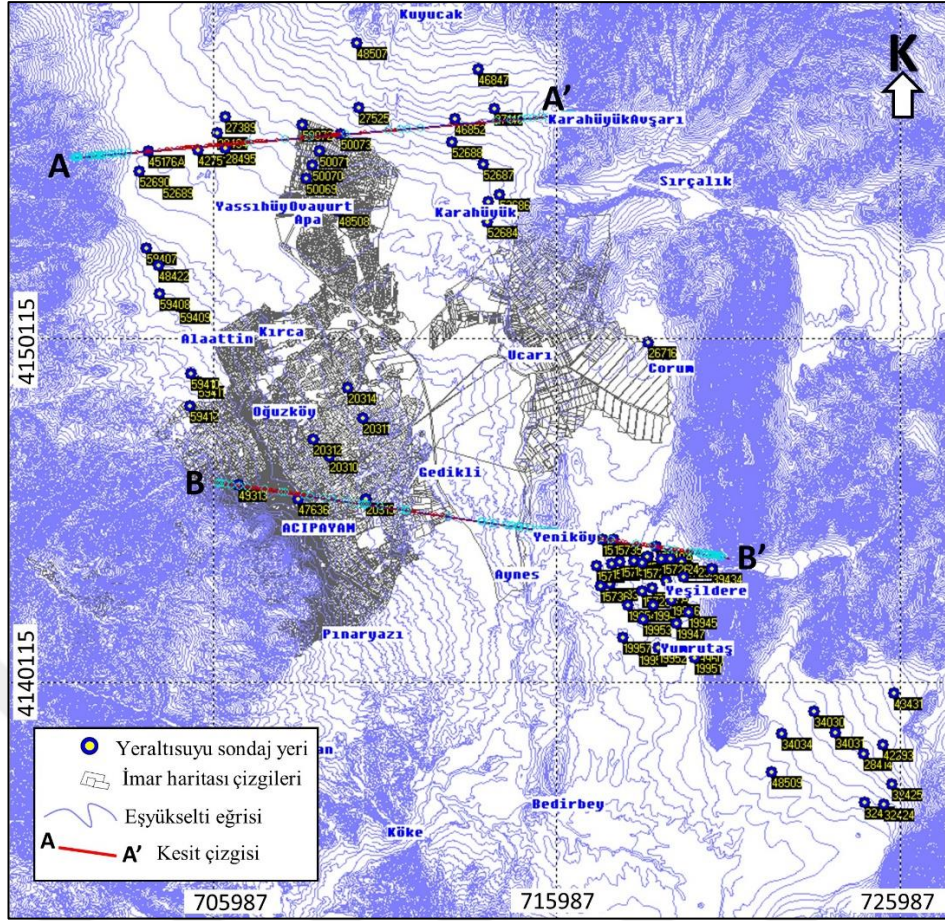
Grafik üzerinde veri alınan aylardaki çizgiler devamlı, alınamayan aylar arasındaki çizgiler ise kesiklidir. Grafikte görüldüğü gibi, 1997 yılından günümüze kadar geçen süre içinde statik seviye değişimi 5 ile 7 yıllık periyotlarda tekrarlanan uzun süreli yükselme ve alçalma eğilimi göstermektedir. Bu süre dilimleri içindeki yıllık ve mevsimlik değişimler de grafik üzerinde görülmektedir. 2020 yılı sonlarında ise statik su seviyesi tüm rasat süresinin en düşük seviyesinde yani -5.8 m'dedir (Şekil 5.9). Rasat verilerinin bölgedeki meteoroloji istasyonlarından alınacak ortalama yağış

verileri ile aynı grafik üzerinde çizdirilmesi, sondaj kuyusundaki statik su seviyesinin uzun süreli değişiminin iklim değişikliği ile ilişkisinin incelenmesi açısından önemlidir. Rasat süresi boyunca aylık ortalama yağış verilerinin elde edilebilmesi ve veri tabanına aktarılması durumunda, YAS-CBS sisteminde yağış ve YAS değişimi grafiğini çizdirmek mümkündür. Bu çalışmada yağış verileri elde edilemediğinden dolayı YAS veri tabanına aktarılmamıştır.

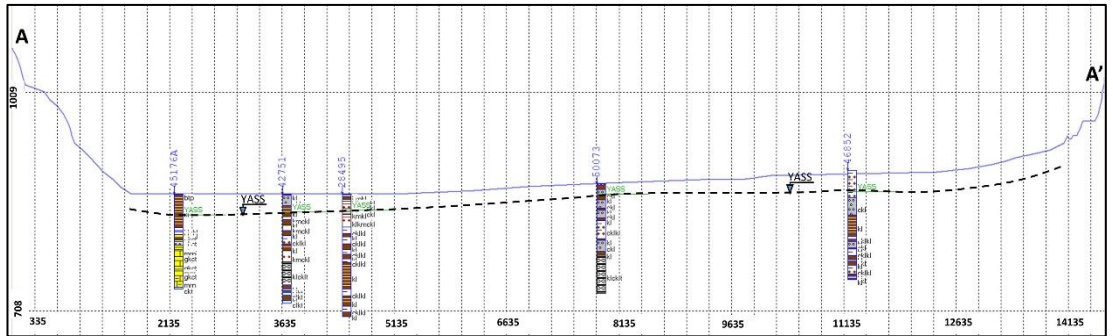
YAS-CBS programı kullanılarak Acıpayam ovasının topoğrafik haritası üzerinde A-A' noktaları ve B-B' noktaları arasında iki ayrı doğrultuda topoğrafik kesitler alınmış (Şekil 5.10) ve her iki kesit çizgilerine 100 m uzaklıktaki sondajların jeolojik kesitleri ve YAS seviyeleri kesitler üzerinde gösterilmiştir. A-A' kesitinde yeraltısuyu seviyesi yüzeyden 15 m ile 30 m arasında değişen derinliklerdedir (Şekil 5.11). B-B' kesitinde ise yüzeyden 0 m ile 14 m arasında değişmektedir. 29319 numaralı sondajda ise yeraltısuyu seviyesi zemin yüzeyindedir (Şekil 5.12).



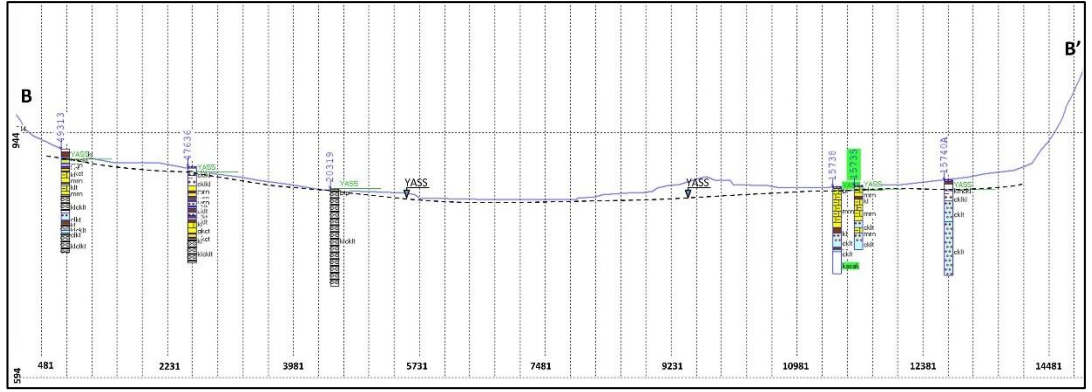
Şekil 5.9: 26716 numaralı DSİ sondajının 1997-2020 yılları arasındaki statik su seviyesinin değişimi (DSİ'den alınmıştır), (Kumsar ve Sarayköylü 2021).



Şekil 5.10: Topoğrafik harita ve imar haritası üzerindeki kesit çizgisi ve YAS sondaj yerleri (Kumsar ve Sarayköylü 2021).

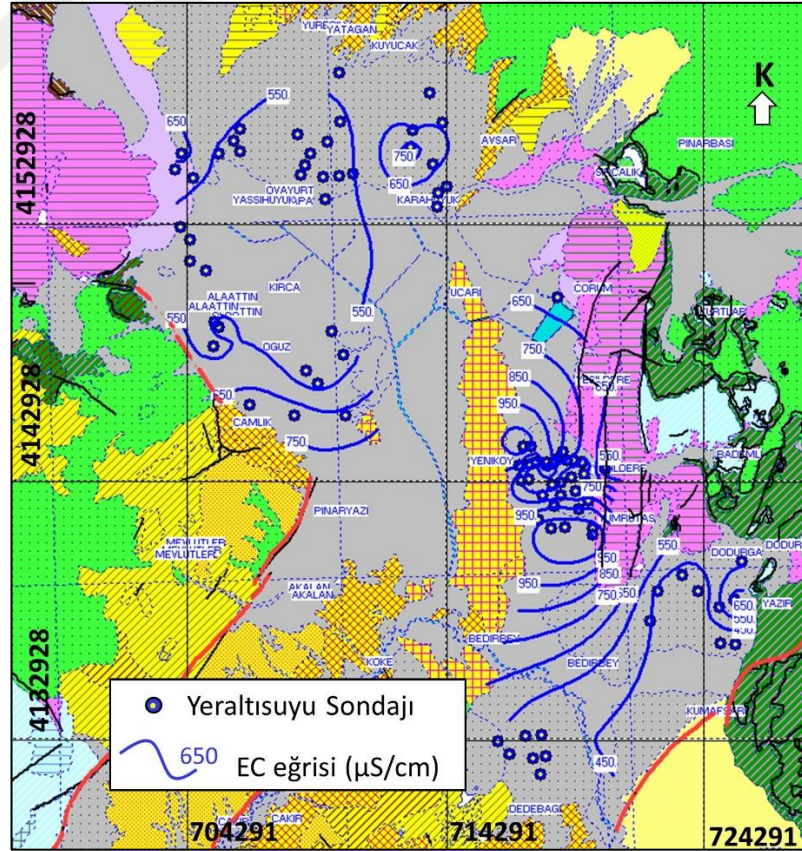
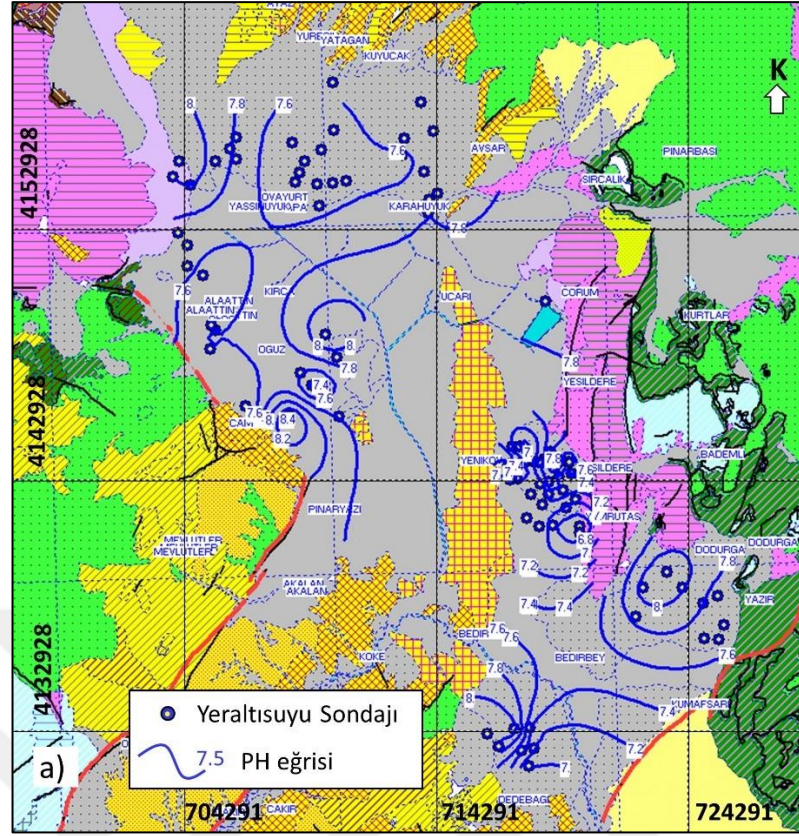


Şekil 5.11: A-A' doğrultusunda alınan topoğrafik kesit üzerinde YAS sondajları ve YAS seviyesi (Kumsar ve Sarayköylü 2021).



Şekil 5.12: B-B' doğrultusunda alınan topoğrafik kesit üzerinde YAS sondajları ve YAS seviyesi (Kumsar ve Sarayköylü 2021).

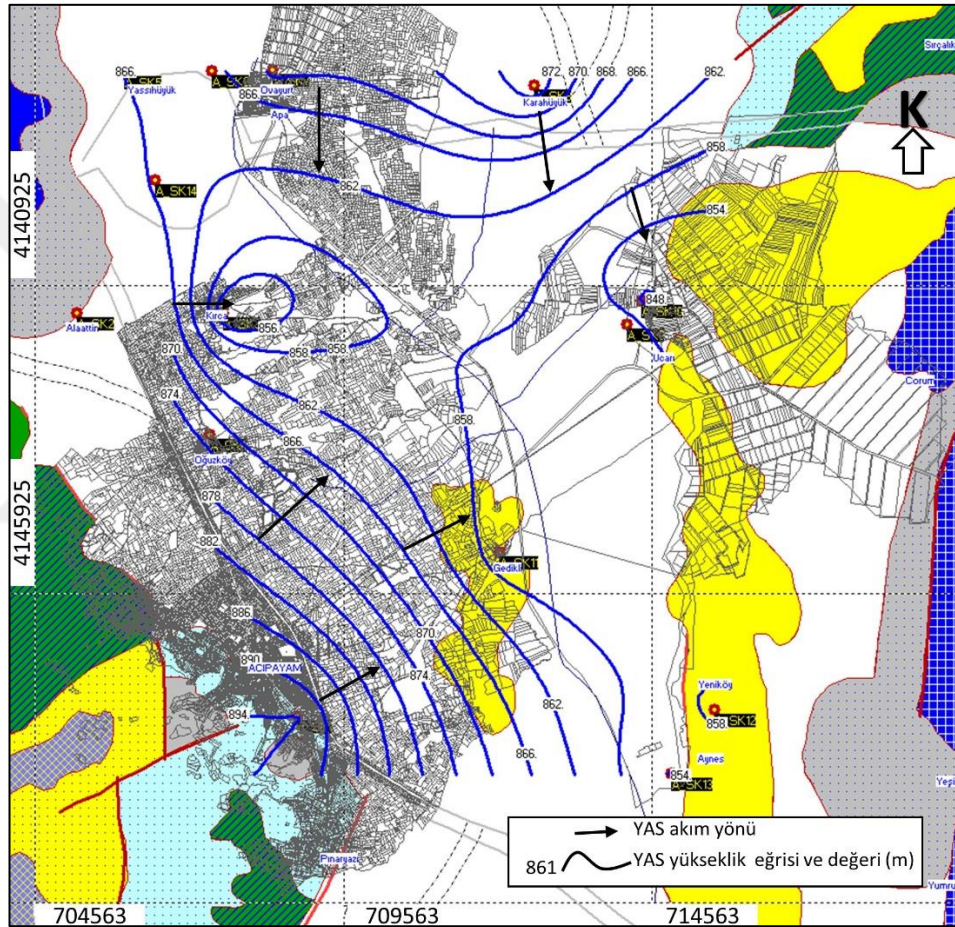
YAS sondaj veri tabanındaki tüm sondajların statik seviyeleri YAS-CBS sistemi içinde değerlendirilmiş ve Acıpayam ovası YAS PH haritası oluşturulmuştur. Şekil 5.13 a'da görüldüğü gibi PH değerleri Acıpayam ilçesi merkezinde 8.4 PH iken, Yumrutaş mevkiinde ise 6.8 PH değerlerindedir. YAS sondaj veri tabanındaki tüm sondajlardaki yeraltısularının elektrik iletkenlik (EC) değerleri ($\mu\text{S}/\text{cm}$) kullanılarak Acıpayam ovasındaki yeraltısularının EC değeri dağılım haritası YAS-CBS programında üretilmiştir (Şekil 5.13b).



Şekil 5.13: a) YAS-CBS sistemi kullanılarak elde edilen Acıpayam ovası YAS PH haritası, b) YAS elektriksel iletkenlik (EC) haritası (Kumsar ve Sarayköylü 2021).

Şekil 5.13 b’de görüldüğü gibi EC değerleri Yeniköy ve Yumrutaş köylerinin bulunduğu alanlarda 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ değerlerine kadar çıkmaktadır. Diğer alanlarda ise 500 ile 700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ arasında değişmektedir. ABD tuzluluk sınıflamasına göre (Wilcox, 1948) Yeniköy ve Yumrutaş köylerinin bulunduğu alanlarda açılan sondajlardaki yeraltısuları “Yüksek Tuzlu Sular” ve diğerleri “Orta Tuzlu Sular” sınıfındadır.

Şekil 5.13 a,b’de görülen jeolojik birimlerin açıklamaları Şekil 4.1’de verilmiştir.



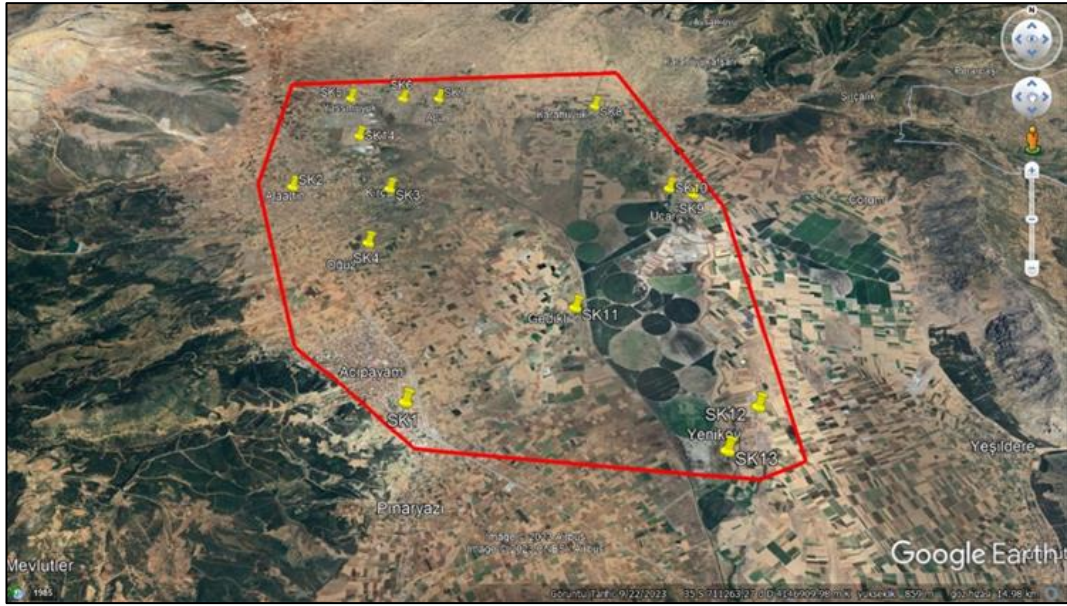
Şekil 5.14: Acıpayam Ovasındaki yeraltısuyu yükseklik haritası (metre cinsinden) ve akış yönleri (Kumsar ve Sarayköylü 2023).

Şekil 5.14' de görüldüğü gibi yeraltısuyu Acıpayam ovasının güneydoğu ve kuzeybatısındaki yüksek arazilerden beslenmekte ve Gedikli ve Uçarı Köyleri civarından merkez alana doğru akmaktadır. Bu lokasyonlarda sondajlardaki yeraltısuyu seviyesi zemin yüzeyinden 1,5 m derinliktedir. Havzadaki fazla yeraltısuyu havzanın güney sınırındaki Dalaman Çayına boşaltılmaktadır.

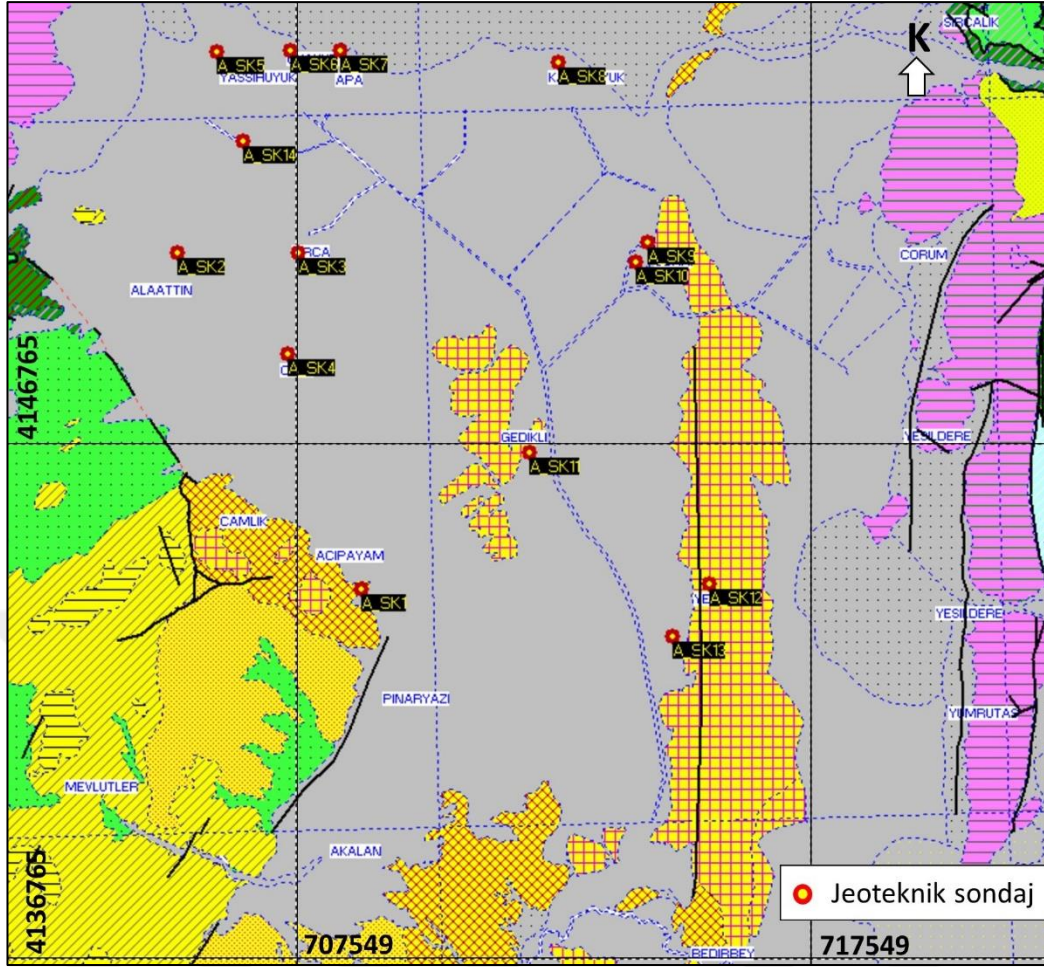
6. BULGULAR

6.1 Acıpayam Ovası'nda Tez kapsamında Açılan Jeoteknik Sondaj ve Laboratuvar Deneylerinin Değerlendirilmesi

Doktora tez çalışması kapsamında, Acıpayam Ovası içinde tez kapsamında her birinin derinlikleri 8 m ile 26 m arasında değişen 14 adet jeoteknik sondaj açılmıştır (Şekil 6.1). Arazi çalışması sırasında yerel zemin koşullarından dolayı A_SK2 sondajı 12,5m'de ve A_SK8 sondajı 7,95m derinlikte açılabilmiştir. Bu nedenle ilave bir sondaj daha yapılmıştır. Toplamda 14 adet jeoteknik sondaj açılmıştır (Şekil 6.2). Sondaj numaralandırması ACIPAYAM JEOKBS sisteminde mevcut sondajlarla karışmaması için A_SK olarak kodlanmıştır. Rapor ekindeki sondaj loglarında ise SK olarak adlandırılmıştır.



Şekil 6.1: Acıpayam Ovası içerisinde açılan sondajların konumları (Google Earth alıntısı)



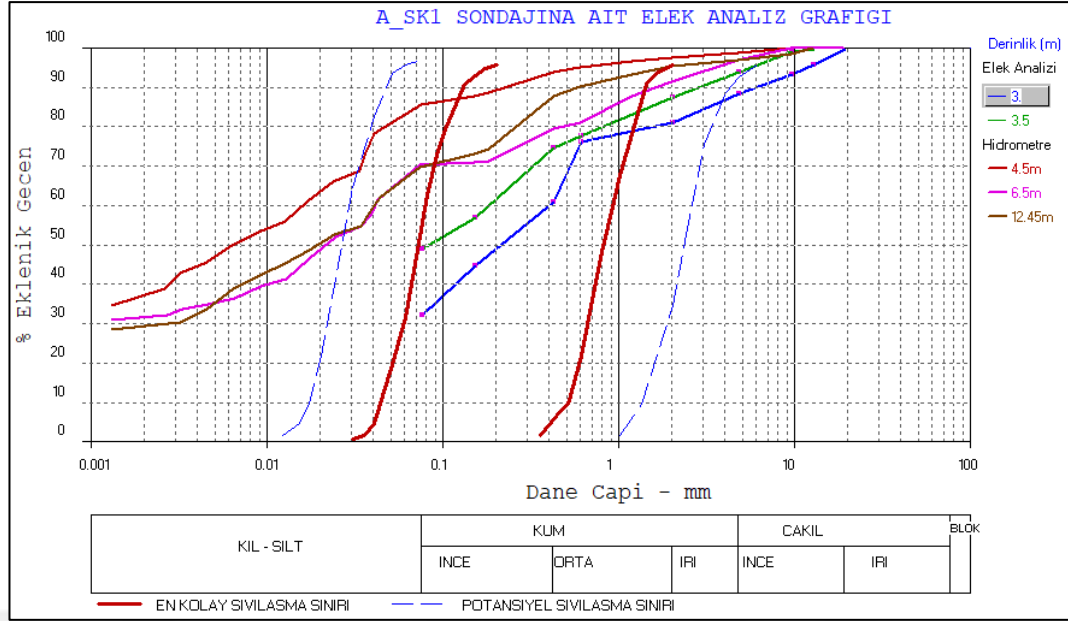
Şekil 6.2: Acipayam Ovası içinde proje kapsamında açılan jeoteknik sondaj yerleri

Girilen zemin verileri sondaj logları JEOKBS Sisteminde değerlendirilmiştir. Acipayam İlçesi içinde açılan A_SK1 sondajında çakıllı siltli kil, siltli kum ve kumlu silt birimleri geçilmiştir (Şekil 6.3). SPT (N_{30}) değerleri ilk 9m’de 14 ile arasında değişmekte, 10 m ile 14 m arasında 14 ve 13 değerlerinde olup, 15m’de $N > 50$ değerindedir. Sondaj içinden alınan zemin örneklerinden yapılan kıvam limitleri analiz sonucunda 3-4m arasındaki zeminlerin birleştirilmiş zemin sınıfının SC (killi kumlar), 7 m ile 12 m deki zeminlerin CL (düşük plastisiteli organik siltler) sınıfında oldukları gözlenmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %30’dan yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.4).

Bu sondajdan alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi sonucunda 3m’deki zeminin kohezyon değeri 3 kPa ve içsel sürtünme açısı 24° olarak belirlenmiştir. Bu zeminlerde şişme basıncı oluşmamıştır.

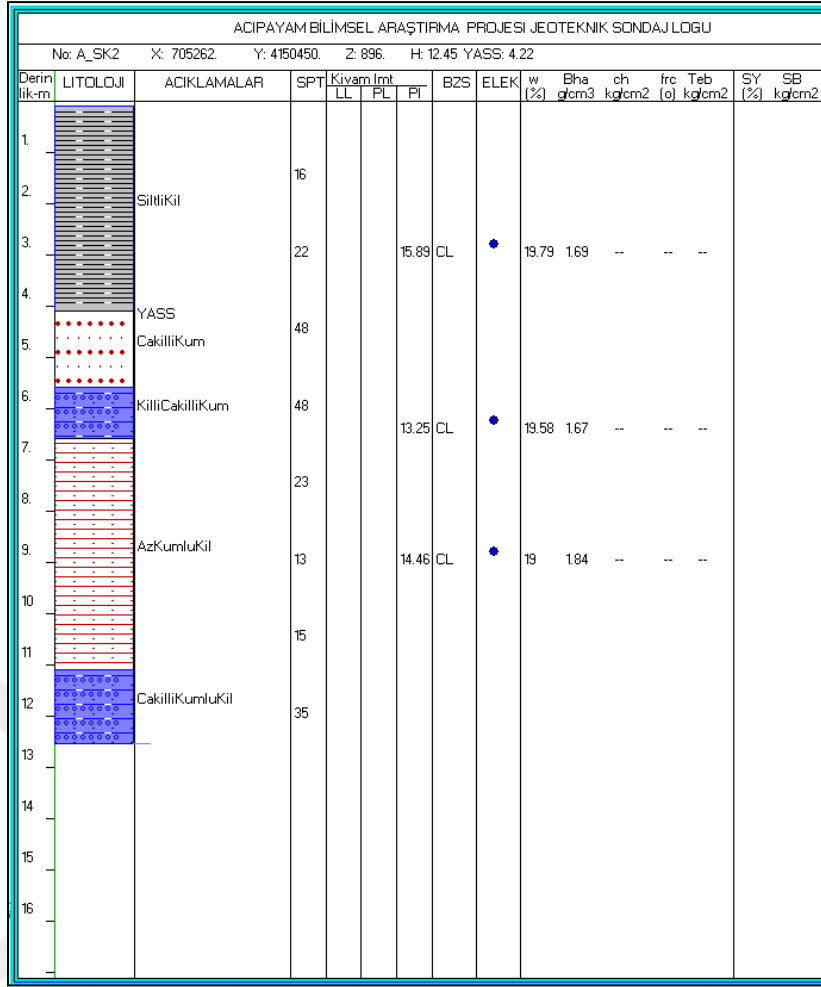
ACIPAYAM BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ JEOTEKNİK SONDAJ LOGU															
No: A_SK1 X: 708828 Y: 4143925 Z: 908 H: 15 YASS: 13.9															
Derinlik-m	LİTOLOJİ	ACIKLAMALAR	SPT	Kıvam LL	İmt PL	PI	BZS	ELEK	w (%)	Bha g/cm3	ch kg/cm2	frc (o)	Teb kg/cm2	SY (%)	SB kg/cm2
1.		Çakilli Siltli Kil	14												
2.															
3.		Az Killi Siltli Kum	75			17.15	SC	●	31.81	18.83	3.0	24	--	0	0
4.															
5.		Az Kumlu Siltli Kil	20			15.16	CL	●	19	1.73	--	--	--		
6.															
7.		Az Killi Siltli Kum	19			16.56	CL	●	19	1.73	--	--	--		
8.															
9.			26												
10.			24												
11.		Kumlu Siltli Kil	14												
12.															
13.			14			27.57	CL	●	19	1.67	--	--	--		
14.		YASS	13												
15.		Çakilli Kumlu Siltli Kil	68												
16.															

Şekil 6.3: A_SK1 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu

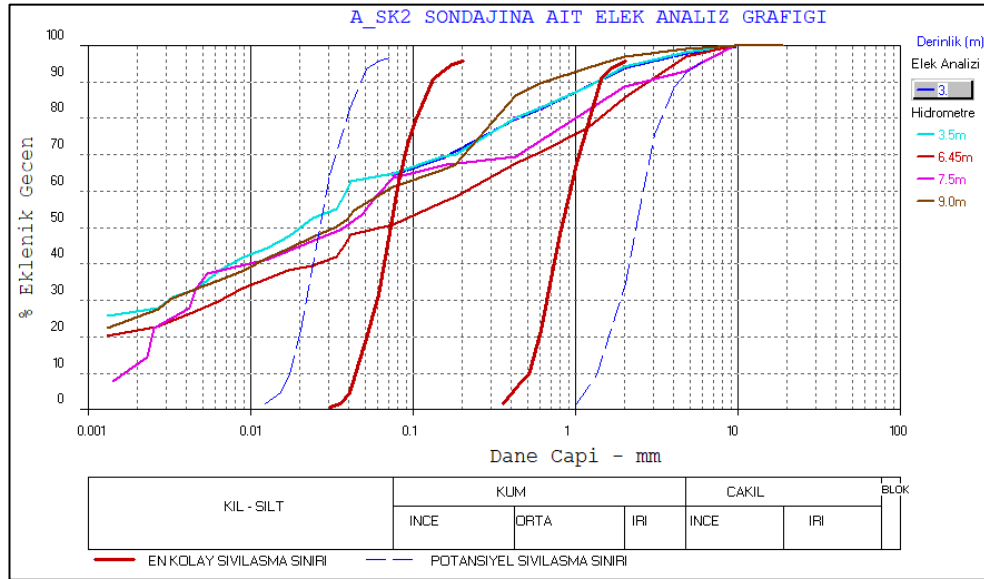


Şekil 6.4: A_SK1 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği

Acıpayam İlçesi, Alaattin Köyü (mahallesi) içinde açılan A_SK2 sondajında siltli kil, çakıllı kum, killi çakıllı kum, kumlu kil ve çakıllı kumlu kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.5). SPT (N_{30}) değerleri 1.5m’de 16, 3m’de 22, 4,5 ve 6m’lerde 48’dir. Bu seviyeden sonra 7-11 m ler arasında N_{30} değerleri düşmekte ve 23 ile 13 arasında değişmektedir. 11m’den sonra çakıllı kumlu kil içinde N_{30} değeri 35’e yükselmektedir. Bu sondaj içinde 3m, 6m ve 9m’lerden alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL sınıfında oldukları belirlenmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %40’dan yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.6).



Şekil 6.5: A_SK2 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

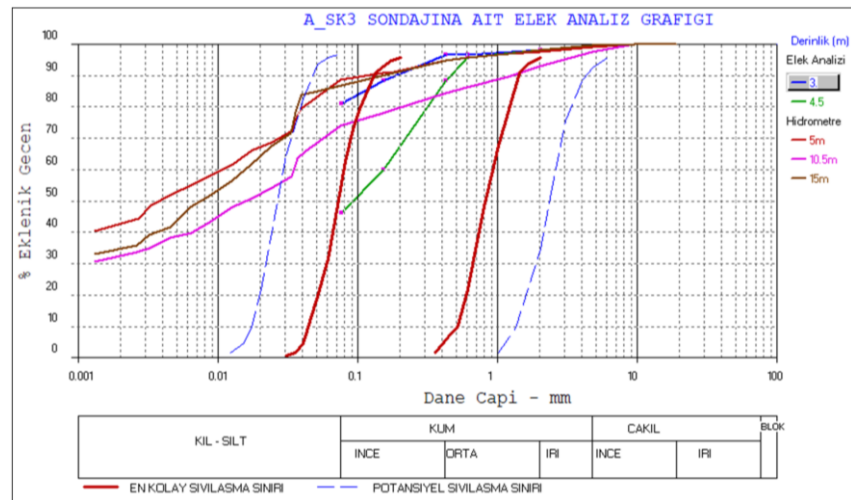


Şekil 6.6: A_SK2 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Kırca Köyü (mahallesi) içinde açılan A_SK3 sondajında yüzeyden 4 m'ye siltli kil, 4-12m'ler arasında kil, 12-13 m arasında kumlu kil ve 13-15.5 m arasında kil birimi seviyesi geçilmiştir (Şekil 6.7). SPT (N_{30}) değerleri 1.5 m'de 16, 3m'de 21, olup, 3m'den sonra zeminin N_{30} değerleri oldukça düşmekte, 7 ile 3 arasında değişmektedir. Bu sondaj içinde 3,45m'n alınan zeminin kohezyon değeri 73 kPa ve içsel sürtünme açısı 5° , 4.45 m'den alınan zeminin kohezyon değeri 18.21 kPa ve içsel sürtünme açısı 22° olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin üst seviyeden tabanına doğru zeminlerinlerin CH (yüksek plastisiteli inorganik kil, siltli kil) SC (killi kum) ve CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 3m'deki zeminin şişme yüzdesi 6.2 ve Şişme basıncı 0.5 kPa olarak elde edilmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %45'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.8). Bu sondajda yeraltısuyuna rastlanmamıştır.

ACIPAYAM BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ JEOTEKNİK SONDAJ LOGU														
No: A_SK3		X: 707624		Y: 4150458		Z: 874		H: 15.45 YASS: 20						
Derinlik-m	LİTOLOJİ	ACIKLAMALAR	SPT	Kıvam	İmt	BZS	ELEK	w (%)	Bha g/cm3	ch kg/cm2	frc (%)	Teb (o)	SY (%)	SB kg/cm2
LL	PL	PI												
1														
2		Siltli Kil	16											
3			13			28.97	CH	25.52	18.64	73	5	--	6.2	0.50
4														
5			7			14.20	SC	24.38	124.38	18.21	22	--	0	0
6						21.55	CL	18.30	1.74	--	--	--		
7			4											
8		Kil	4											
9			4											
10														
11			6			15.06	CL	20.59	1.67	--	--	--		
12		Az Kumlu Kil	8											
13														
14		Kil	4											
15			3			21.23	CL	23.20	1.73	--	--	--		
16														

Şekil 6.7: A_SK3 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

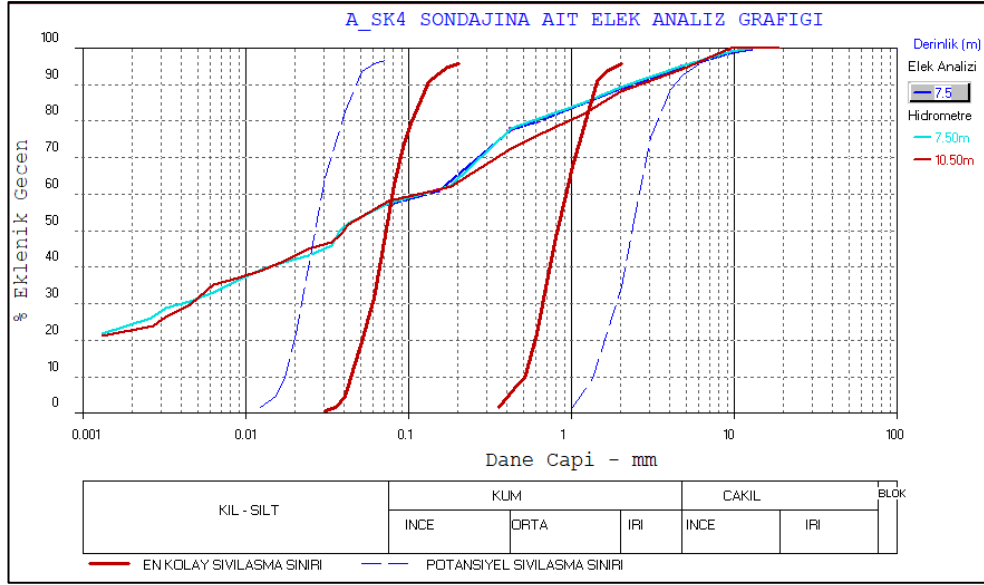


Şekil 6.8: A_SK3 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Oğuz Köyü (mahallesi) içinde açılan A_SK4 sondajında yüzeyden 6 m'ye az kumlu siltli kil, 6-9 m'ler arasında siltli kil, 9-15.5 m arasında Az kumlu siltli kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 7.9). SPT (N₃₀) değerleri tüm sondajda 11 ile 21 arasında değişmektedir. 7.5 ve 10.5 m'den alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %50'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.10). Bu sondajda yeraltısuyu 14.45 m derinde ölçülmüştür.

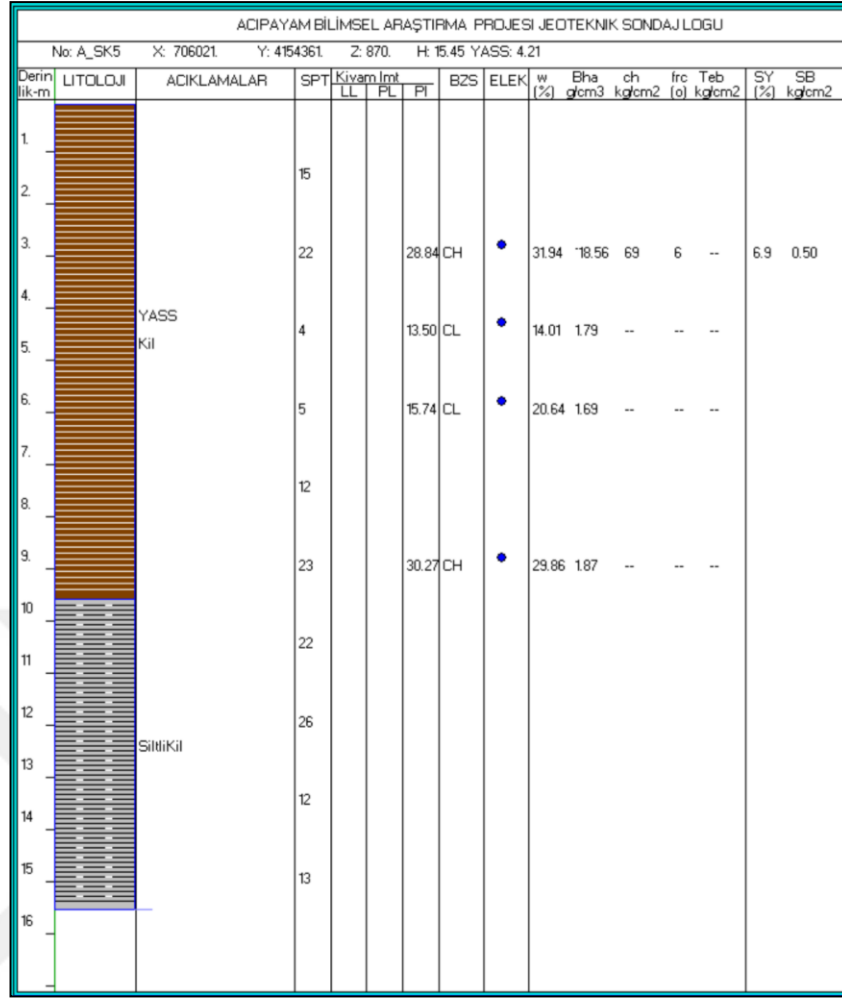
ACIPAYAM BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ JEOTEKNİK SONDAJ LOGU															
No: A_SK4 X: 707419. Y: 4148494. Z: 887. H: 15.45 YASS: 14.55															
Derinlik-m	LİTOLOJİ	ADIKLAMALAR	SPT	Kıvam LL	İmt PL	PI	BZS	ELEK	w (%)	Bha g/cm3	ch kg/cm2	İrc (o)	Teb kg/cm2	SY (%)	SB kg/cm2
1.			16												
2.															
3.		AzKumluSiltliKil	19												
4.			12												
5.															
6.			21												
7.															
8.		SiltliKil	13		15.29	CL		•	22.90	1.67	--	--	--		
9.			12												
10.															
11.			11		21.37	CL		•	18.03	1.71	--	--	--		
12.		AzKumluSiltliKil	11												
13.			13												
14.															
15.		YASS	12												
16.															

Şekil 6.9: A_SK4 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

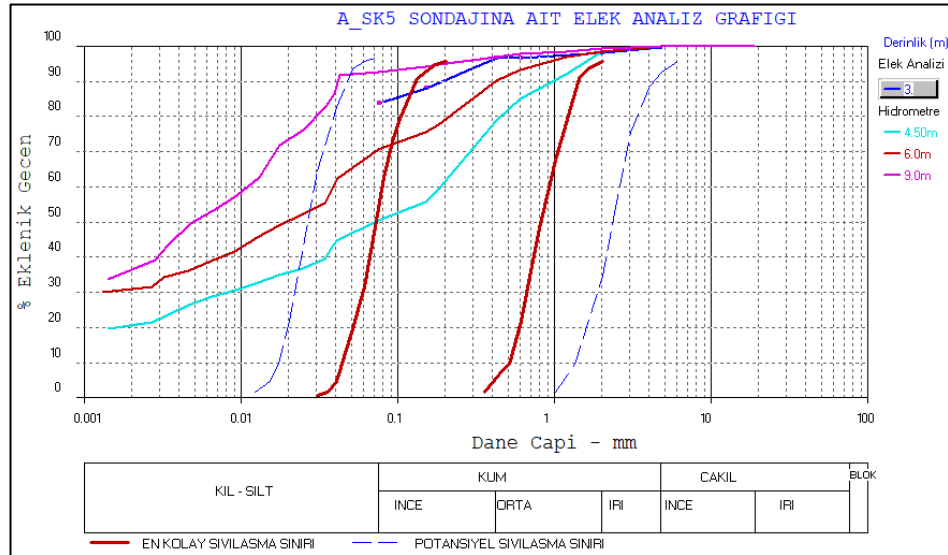


Şekil 6.10: A_SK4 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Yassıhüyük Köyü (mahallesi) içinde açılan A_SK5 sondajında yüzeyden 9.5 m'ye kil, 9.5-15m'ler arasında silt kil seviyesi geçilmiştir (Şekil 6.11). SPT (N_{30}) değerleri 1.6 m'de 16, 3 m'de 22, 4.5 m'de 4, 6 m'de 5, 7.5 m'de 12, 9 m'de 23, 10.5 m'de 22, 12 m'de 26, 13.5 m'de 12, 15 m'de 13'dür. Sondajın yeraltısuyu içeren seviyesinde SPT değerleri minimumdur. Bu sondaj içinde 3,45 m'den alınan zeminin kohezyon değeri 18.56 kPa, ve içsel sürtünme açısı 6 olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CH (yüksek plastisiteli inorganik kil, siltli kil), SC (killi kum) ve CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 3 m'deki zeminin şişme yüzdesi 6.9 ve şişme basıncı 0.5 kPa olarak elde edilmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %50'dan yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.12). Bu sondajda yeraltısuyu 4.25 m derindedir.



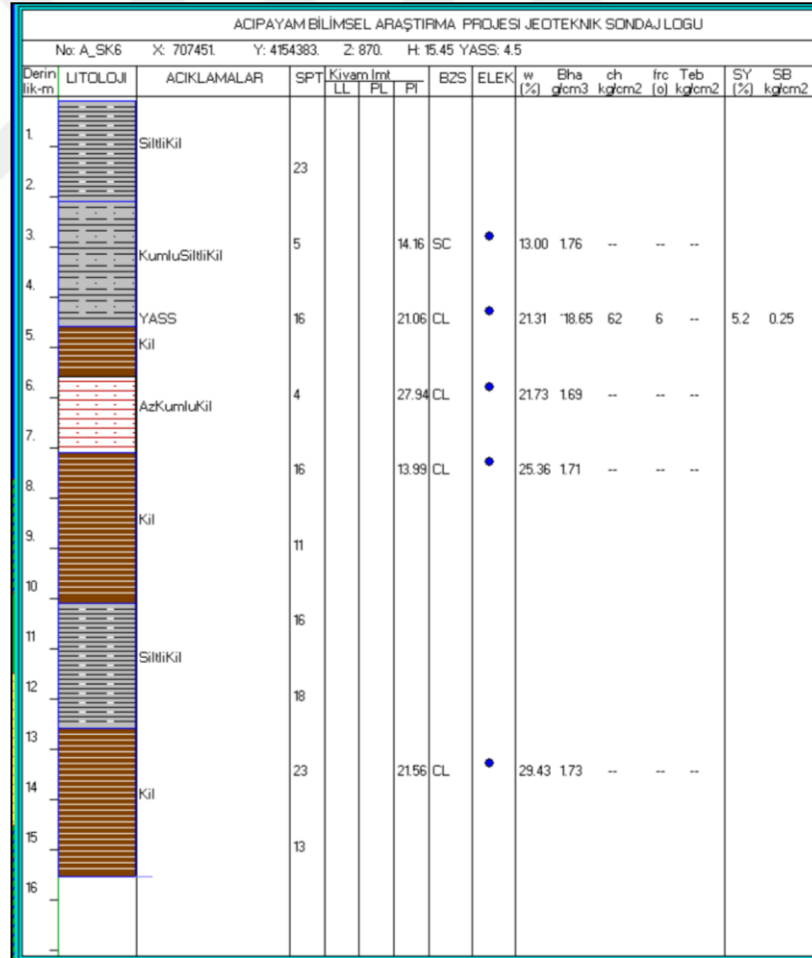
Şekil 6.11: A_SK5 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.



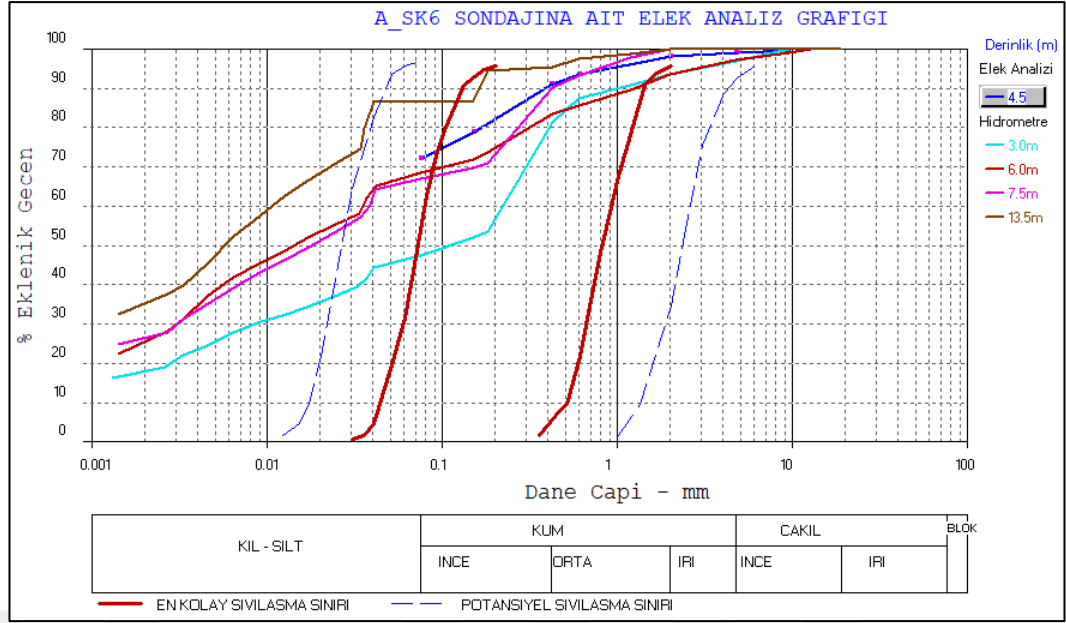
Şekil 6.12: A_SK5 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Ovayurt Köyü (mahallesi) içinde açılan A_SK6 sondajında yüzeyden 4.5 m'ye kumlu siltli kil, 4.5-5.5 m arası kil, 5.5-7 m arası Az kumlu kil, 7-9 m arasında kil, 10.12.5 m arasında siltli kil, 13-15 m arasında kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.13). SPT (N_{30}) değerleri 1.6m'de 23, 3m'de 5, 4.5m'de 16, 6m'de 4, 7.5m'de 11, 10.5m'de 16, 12m'de 18, 13.5m'de 23, 15m'de 13'dür.

Sondajın yeraltısuyu içeren seviyesinde SPT değerleri minimumdur. Bu sondaj içinde 4,5 m'den alınan zeminin kohezyon değeri 62 kPa ve içsel sürtünme açısı 6 olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin SC (killi kum) ve CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 3m'deki zeminin şişme yüzdesi 5.2 ve Şişme basıncı 0.25 kPa olarak elde edilmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %47'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.14). Bu sondajda yeraltısuyu 4.5 m derindedir.



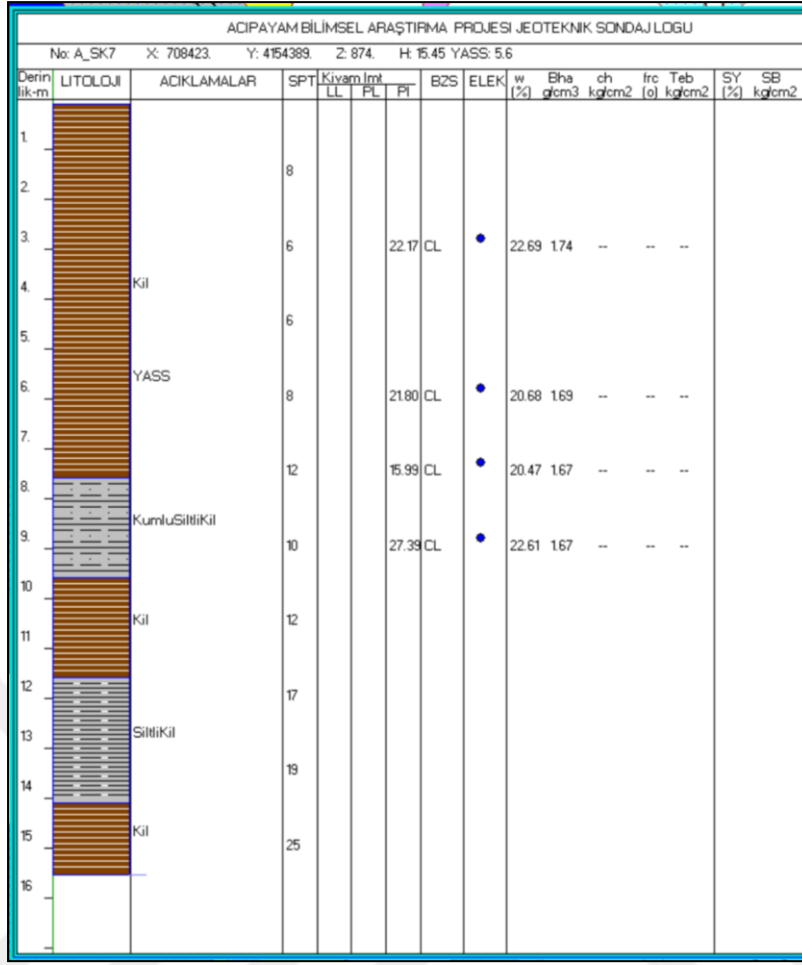
Şekil 6.13: A_SK6 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.



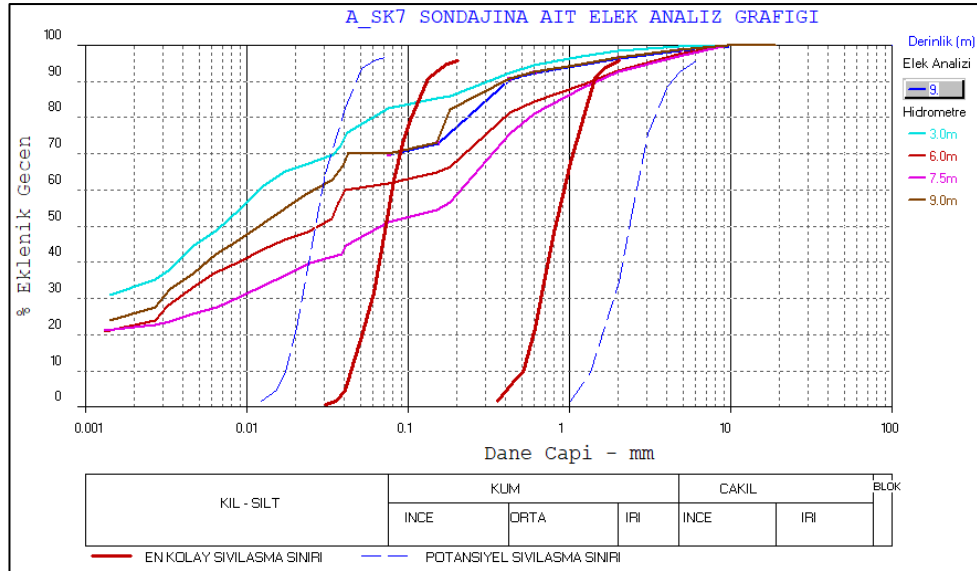
Şekil 6.14: A_SK6 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Ovayurt Mahallesi içinde açılan A_SK7 sondajında yüzeyden 7.5 m'ye kil, 7.5-9.5 m arası kumlu siltli kil, 9.5-11.5 m arası kil, 7-9 m arasında kil, 11.5-14 m arası siltli kil, 14-15.5 m arasında kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.15).

SPT (N_{30}) değerleri 1.5 m'de 8, 3 m'de 6, 4.5 m'de 6, 6m'de 8, 7.5 m'de 12, 9 m'de 10, 10.5 m'de 12, 12 m'de 17, 13.5 m'de 19, 15 m'de 25'dir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %50'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.16). Bu sondajda yeraltısuyu 5.6m derindedir.

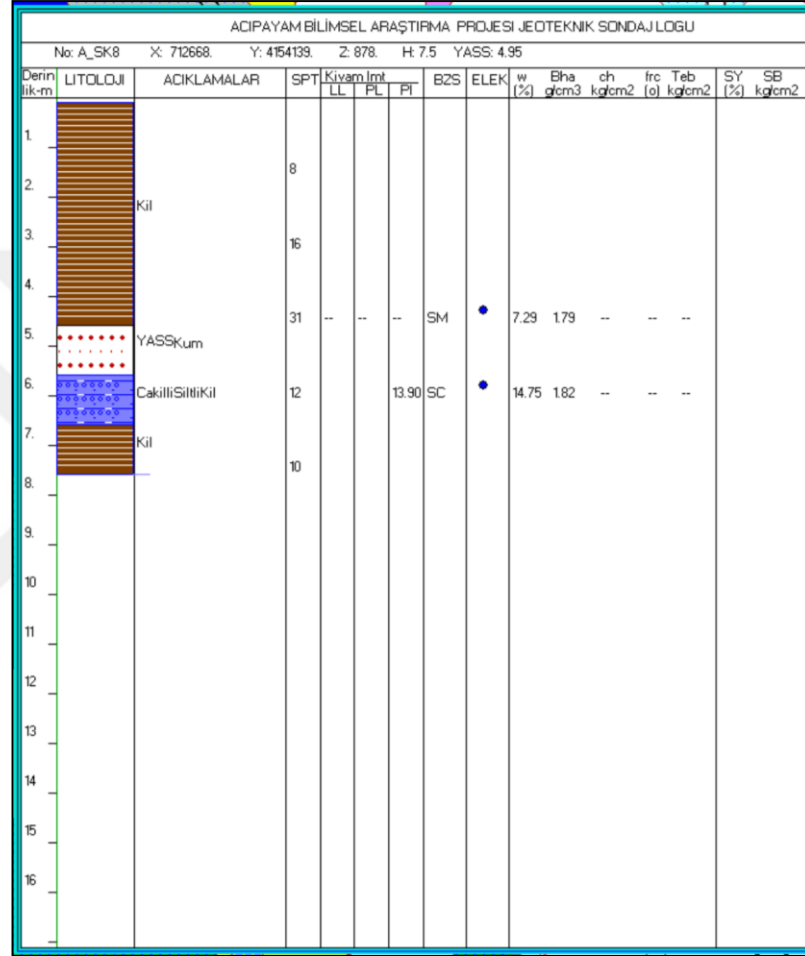


Şekil 6.15: A_SK7 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

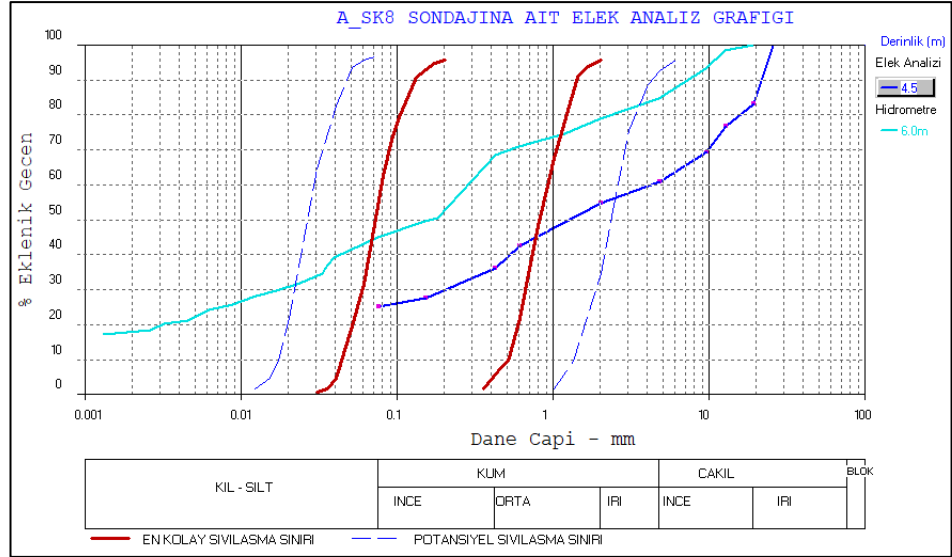


Şekil 6.16: A_SK7 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Karahüyük Mahallesi içinde açılan A_SK8 sondajında yüzeyden 4.5 m'ye kil, 4.5-5.5 m arası kum, 5.5-6.5 m arası çakıllı siltli kil, 6.5-7.5 m arasında kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.17). SPT (N_{30}) değerleri 1.6 m'de 8, 3 m'de 16, 4.5 m'de 31, 6 m'de 12, 7.5 m'de 10'dur. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriğinin %25 ile %45 arasında olduğu görülmektedir (Şekil 6.18). Bu sondajda yeraltısuyu 4.95 m derindedir.



Şekil 6.17: A-SK8 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

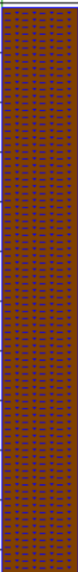
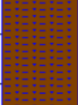
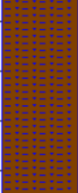
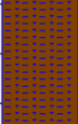


Şekil 6.18: A-SK8 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

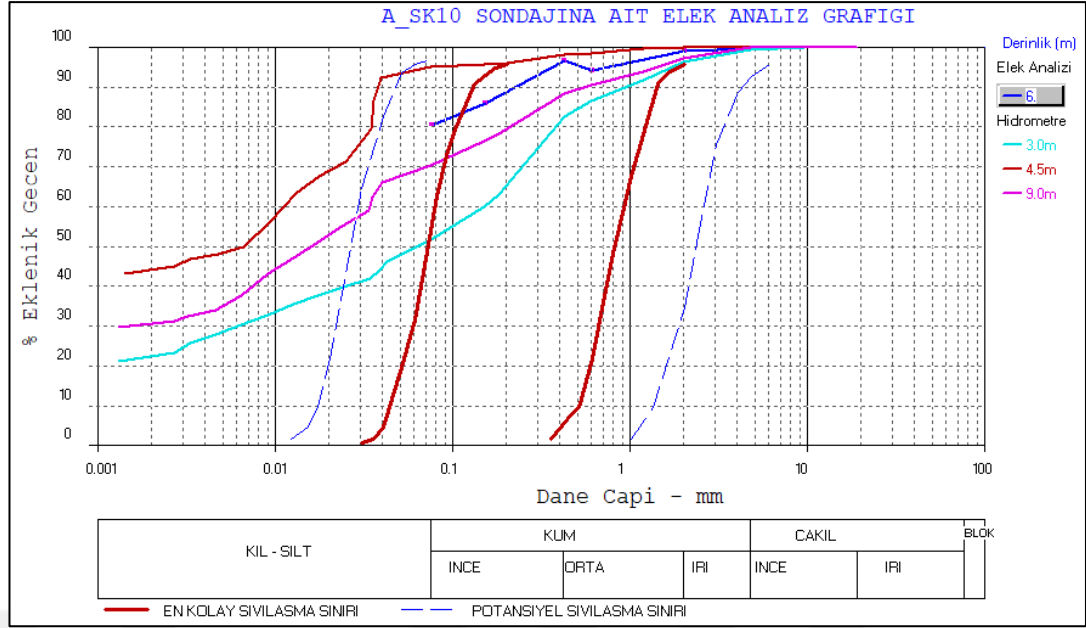
Acıpayam İlçesi, Uçarı Mahallesi içinde açılan A_SK9 sondajında yüzeyden 2.5 m'ye kadar kil, 2.5-15 m arasında gölsel kireçtaşı seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.19).

SPT (N_{30}) değerleri 1.5 m'de 50 olup, gölsel kireçtaşında SPT değerleri 50'den yüksek olduğu için karotlu ilerleme yapılmış, gölsel kireçtaşı biriminin fiziksel ve mekanik özellikleri Pamukkale Üniversitesi Kaya mekaniği laboratuvarında belirlenmiştir. Bu sondajda yeraltısuyu seviyesine rastlanmamıştır. Sondaj derinliğinden daha derindedir.

Bu sondaj içinde 5,5 m'den alınan zeminin kohezyon değeri 58 kPa ve içsel sürtünme açısı 6 olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) ve CH (yüksek plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 5.5m'deki zeminin şişme yüzdesi 4.5 ve Şişme basıncı 0.25 kPa olarak elde edilmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %60'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.21). Bu sondajda yeraltısuyu 1.5 m derindedir.

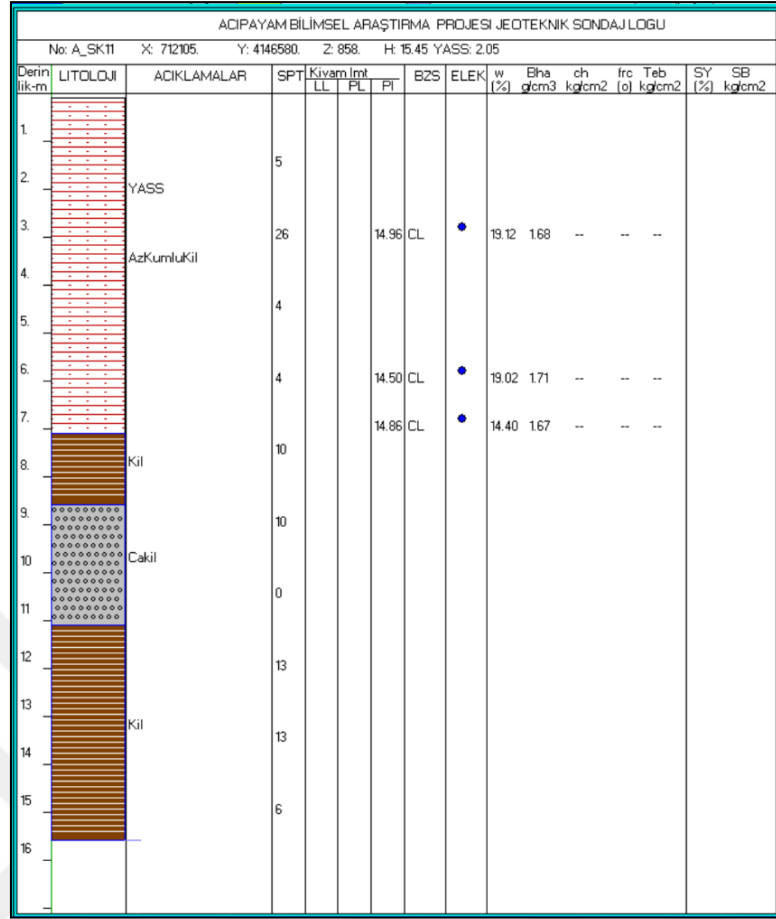
ACIPAYAM BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ JEOTEKNİK SONDAJ LOGU															
No: A_SK10		X: 714404	Y: 4150654	Z: 860	H: 15.45		YASS: 1.74								
Derinlik-m	LİTOLOJİ	ACIKLAMALAR	SPT	Kıvam Limit			BZS	ELEK	w (%)	Bha g/cm ³	ch kg/cm ²	Irc (o)	Teb kg/cm ²	SY (%)	SB kg/cm ²
				LL	PL	PI									
1.		YASS	5												
2.															
3.			13			15.57	CL	•	26.55	1.70	--	--	--		
4.															
5.			4			31.29	CH	•	34.03	1.81	--	--	--		
6.		Organik Kil	0			20.78	CL	•	35.83	18.59	58	6	--	4.5	0.25
7.															
8.			0												
9.			9			20.70	CL	•	19.31	1.71	--	--	--		
10.															
11.			6												
12.		Kumlu Kil	11												
13.															
14.		Organik Kil	5												
15.			6												
16.															

Şekil 6.20: A_SK10 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

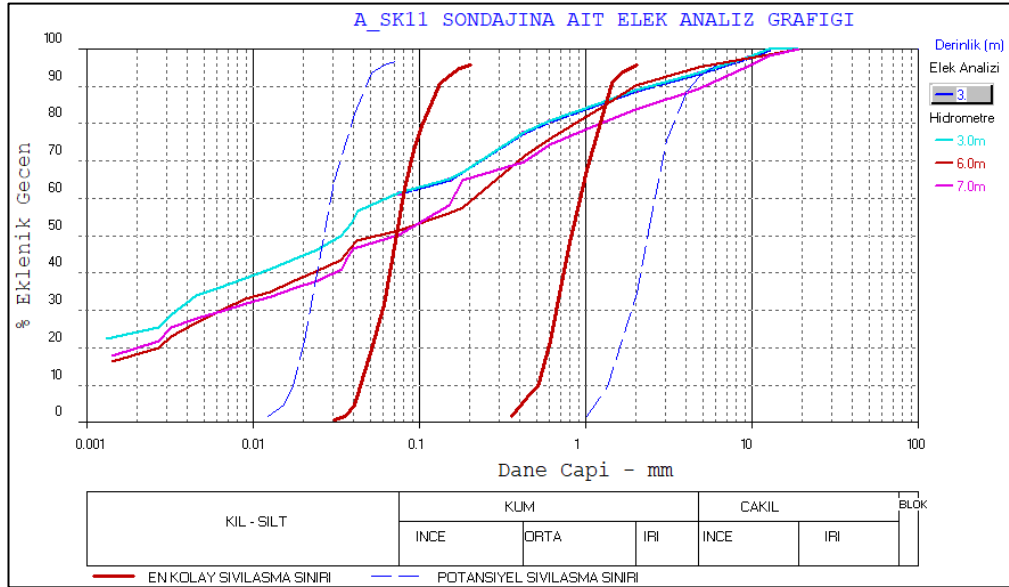


Şekil 6.21: A_SK10 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Gedikli Mahallesi'nde açılan A_SK11 sondajında yüzeyden 7 m'ye kadar organik az kumlu kil, 7-8.5 m arasında kil, 8.5-11 m çakıl ve 9-15.5 m arasında kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.22). SPT (N_{30}) değerleri 1.6m'de 5, 3m'de 26, 4.5 m'de 4, 6 m'de 4, 7.5 m'de 10, 9 m'de 10, 10.5 m'de 0, 12 m'de 13, 13.5 m'de 13, 15 m'de 6'dır. 10.5 m'de zemin kendini tutamayan bir dayanımdadır ve SPT deneyi vuruşu yapılmadan tijler kendi ağırlığı ile kuyu içinde düşey ilerlemiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %50'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.23). Bu sondajda yeraltısuyu 2.05 m derindedir.



Şekil 6.22: A_SK11 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.



Şekil 6.23: A_SK11 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Yeniköy Mahallesi içinde açılan A_SK12 sondajında yüzeyden 15 m'ye kadar gölsel kireçtaşı seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.24). Gölsel kireçtaşı SPT değerleri 50'den yüksek olduğu için karotlu ilerleme yapılmış, gölsel kireçtaşı biriminin fiziksel ve mekanik özellikleri Pamukkale Üniversitesi Kaya mekaniği laboratuvarında belirlenmiştir. Bu sondajda yeraltısuyu seviyesi 11.18 m derindedir.

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ												DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ - YENİKÖY											
SONDAJ NO		SK - 12										DERİNLİĞİ		15,00m		MÜHENDİS PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ							
KOORDİNATLAR		X	715600								EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY										
		Y	4144022								SONDAJ METODU		ROTARY										
		Z	870								MAKİNE TİPİ		DS-500										
BAŞLANGIÇ TARİHİ		3.07.2023								YAS	DERİNLİK	TARİH	SAAT	SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI									
BİTİŞ TARİHİ		3.07.2023								DURUMU	11,18												

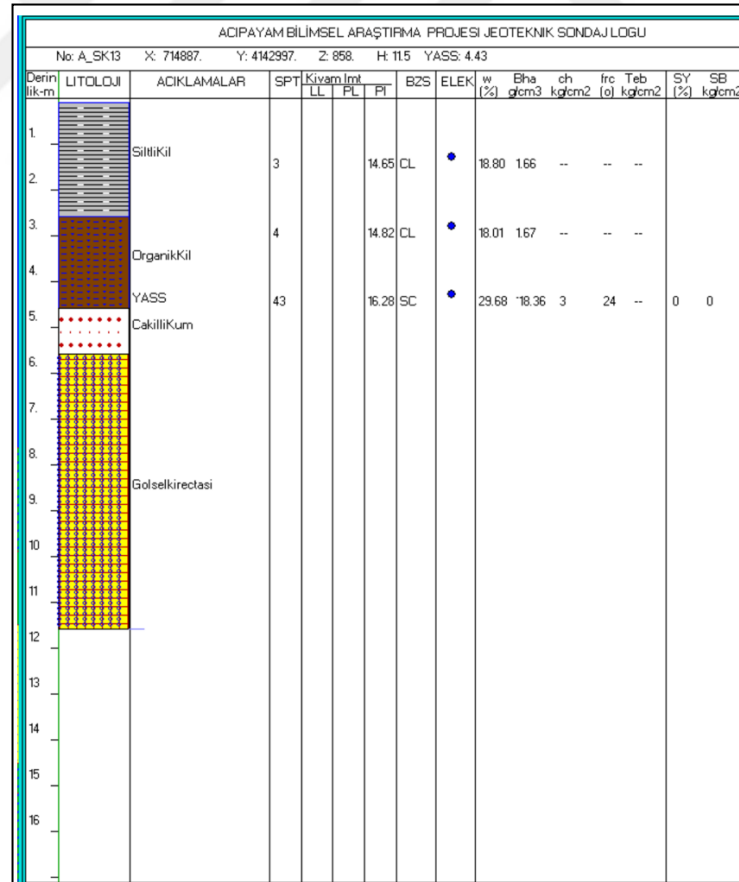
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ					JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				SPT					PRESSİOMETRE DENEYİ	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESTİ %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESTİ % (SGR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESTİ	KAROT ÇAPLARI (mm)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
				DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				15	30	45	10	20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	</

EK:Zemin Sondaj Logu.

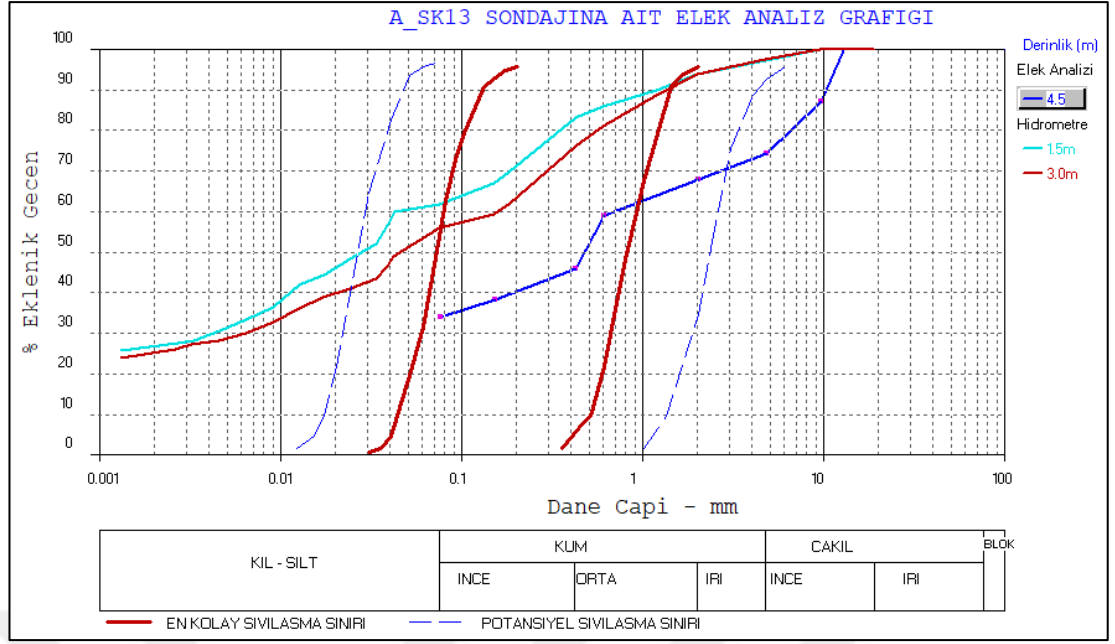
Şekil 6.24: A_SK12 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.

Acıpayam İlçesi, Yeniköy Mahallesi'nin güney sınırında ova kenarında açılan A_SK13 sondajında yüzeyden 2.5 m'ye kadar siltli kil, 3.5-4.5 m arası organik kil, 4.5-5.5 m arası çakıllı kum, 5.5-11.5 m arasında gölsel kireçtaşı seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.25). SPT (N₃₀) değerleri 1.6m'de 33, 3m'de 4, 4.5m'de 43'dür. Gölsel kireçtaşı SPT değerleri 50'den yüksek olduğu için karotlu ilerleme yapılmış, gölsel kireçtaşı biriminin fiziksel ve mekanik özellikleri Pamukkale Üniversitesi Kaya mekaniği laboratuvarında belirlenmiştir.

Bu sondaj içinde 4,5m'den alınan zeminin kohezyon değeri 3 kPa ve içsel sürtünme açısı 24 olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin SC (killi kum) ve CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 4.5 m'deki zeminin şişme yüzdesi 0 ve şişme basıncı 0 kPa olarak elde edilmiştir. Yani şişme meydana gelmemiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde zeminlerin ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %35'den yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 6.26). Bu sondajda yeraltısuyu 4.43 m derindedir.



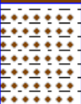
Şekil 6.25: A_SK13 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.



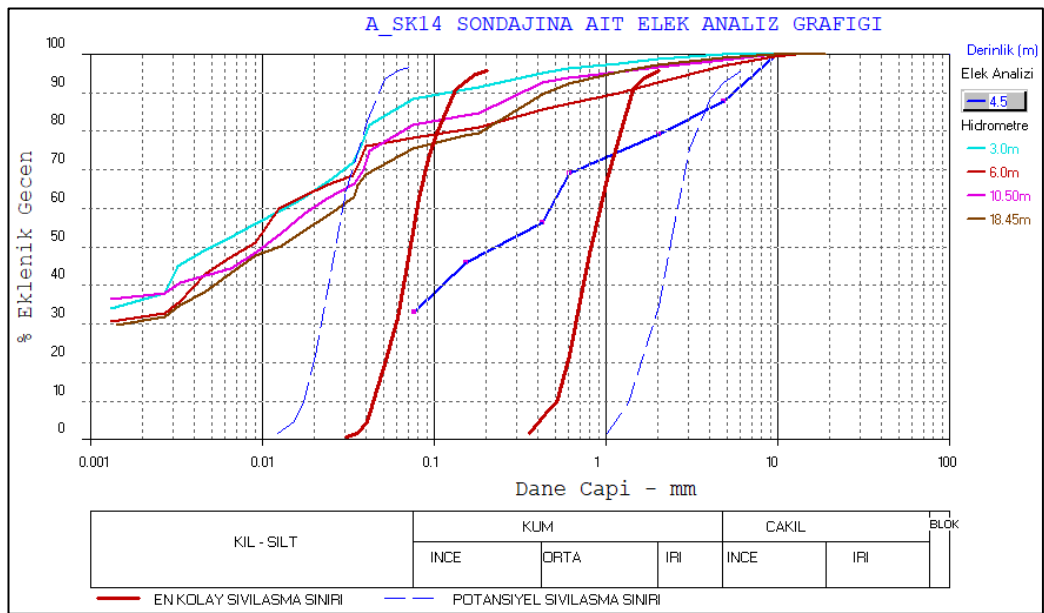
Şekil 6.26: A_SK13 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

Acıpayam İlçesi, Kırca ve Yassihüyük Mahalleleri arasında ova içinde açılan A_SK14 sondajında yüzeyden 5.5 m'ye kadar kil, 5.5-7.5 m arası ince çakıllı kil, 7.5-16 m arası az çakıllı kum, 16-17 m arasında ince çakıllı kil, 17-18.5 m arasında az çakıllı kil, 18.5-22 m arasında kil, 22-24 m arasında siltli kil seviyeleri geçilmiştir (Şekil 6.27). SPT (N_{30}) değerleri 1.5 m'de 20, 3 m'de 6, 4.5 m'de 4, 6 m'de 2, 7.5 m'de 0, 9 m'de 20, 10.5 m'de 0, 12 m'de 20, 13.5 m'de 21, 15 m'de 0, 16.5 m'de 30, 18 m'de 0, 19.5 m'de 0, 20.5 m'de 20, 22 m'de 20, 24.5 m'de 22 dir. Sondaj boyunca kendini tutan ve zemin tutamayan seviyeleri tekrarlanmaktadır.

Bu sondaj içinde 4,5 m'den alınan zeminin kohezyon değeri 3 kPa ve içsel sürtünme açısı 24 olarak belirlenmiştir. Alınan zemin örneklerinin kıvam limitleri değerlendirildiğinde zeminlerin CL (düşük plastisiteli inorganik kil, siltli kil) sınıfında olduğu belirlenmiştir. 4.5 m'deki zeminin şişme yüzdesi 0 ve şişme basıncı 0 kPa olarak elde edilmiştir. Yani şişme meydana gelmemiştir. Yapılan elek analizi değerlerinde 4.5 m deki zemin örneğinde ince tane içeriği (silt ve kil boyutunda) %35, diğer seviyelerden alınan örneklerdeki ince tane içeriği %75 ve üzerindedir (Şekil 6.28). Bu sondajda yeraltısuyu 3.06 m derindedir.

ACIPAYAM BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ JEOTEKNİK SONDAJ LOGU																
No: A_SK14 X: 706534 Y: 4152619 Z: 868 H: 26.45 YASS: 3.06																
Derinlik-m	LİTOLOJİ	ACIKLAMALAR	SPT	Kıvam İmt. LL	PL	PT	BZS	ELEK	w (%)	Bha g/cm3	ch kg/cm2	İrc (o)	Teb kg/cm2	SY (%)	SB kg/cm2	
1.		Kil YASS	20													
2.																
3.			6			14.29	CL	●	29.78	1.74	--	--	--			
4.																
5.			4			19.48	SC	●	28.50	18.50	3	24	--	0	0	
6.		kucukcakilliKil	2					22.00	CL	●	17.71	1.73	--	--	--	
7.																
8.		Kil	0													
9.			14													
10.																
11.			0			21.72	CL	●	17.25	1.70	--	--	--			
12.			20													
13.																
14.			21													
15.			0													
16.		AzacakilliKum	30													

Şekil 6.27: A_SK14 Sondajının jeolojik ve jeoteknik logu.



Şekil 6.28: A_SK14 Sondajının zemin örneklerinin tane boyu dağılım grafiği.

6.2 Zemin ve Kaya Mekaniği Laboratuvar Çalışmaları;

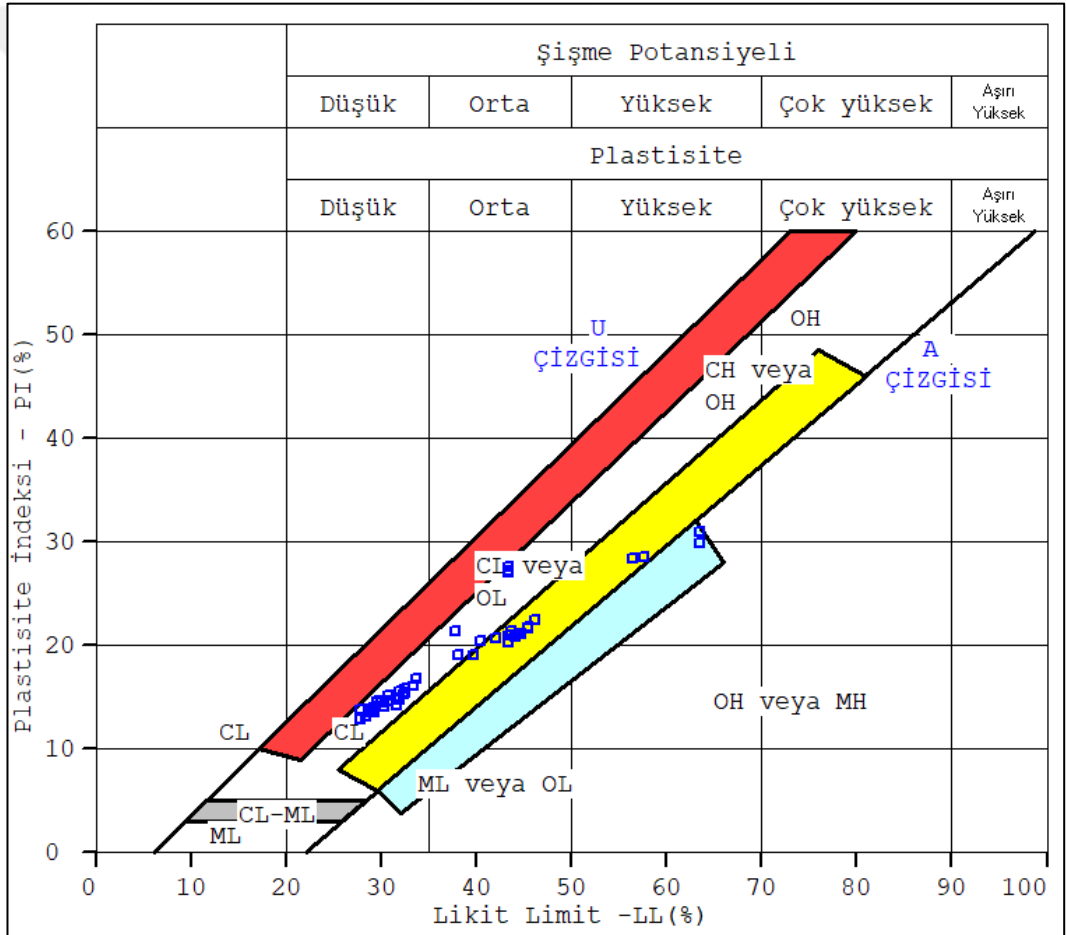
Arazi çalışması kapsamında açılan 14 adet sondajın, 2 tanesi gölsel kireçtaşı içinde, 12 tanesi ise çakıl kum, silt ve genellikle kilden oluşan zemin içinde açılmıştır. Zemin içinde sondajlarından alınan örselenmiş ve örselenmemiş numuneler ile yapılan laboratuvar deneyleri; su muhtevası, doğal birim hacim ağırlığı, kuru birim hacim ağırlığı, özgül ağırlığı, elek analizi (tane boyu dağılımı), hidrometre analizi, atterberg limitleri tayini (likit limit, plastik limit, plastisite indisi), kesme kutusu ve üç eksenli basınç, konsolidasyon (şişme yüzdesi ve şişme basıncı) deneyleridir. Tez çalışmaları kapsamında yapılan zemin mekaniği laboratuvar deneylerinin sonuçları Tablo.6.1’de verilmiştir;

Tablo 6.1: Acıpayam Ovası sondajlarından alınan zemin örneklerinin fiziksel ve mekanik özellikleri.

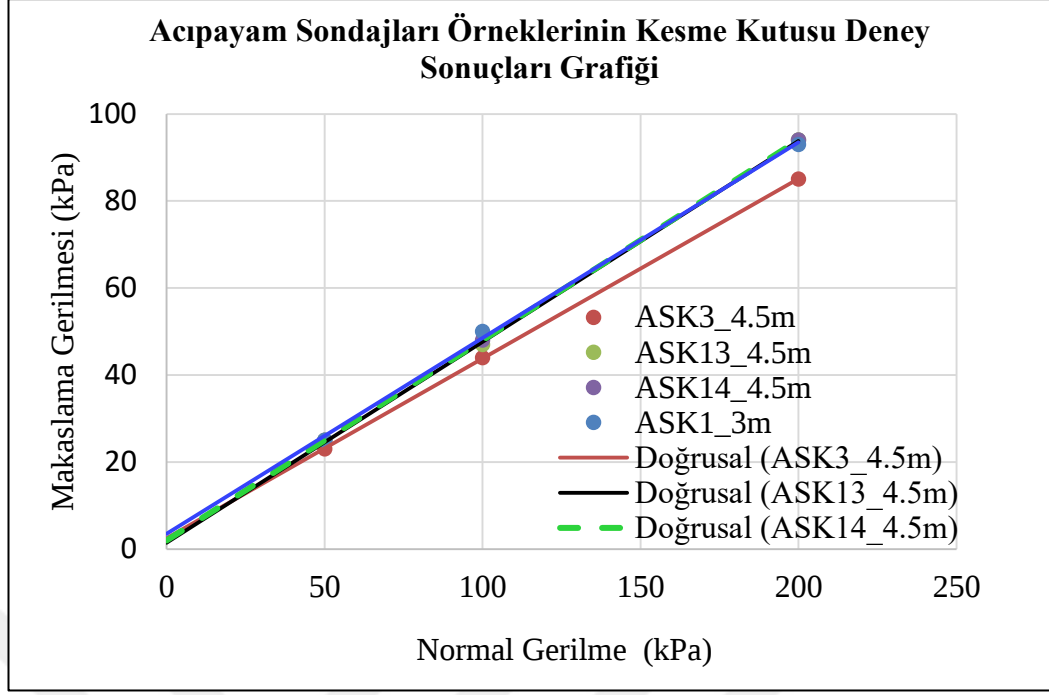
ACIPAYAM OVASI ZEMİN SONDAJLARI NUMUNELERİ LABORATUVAR SONUÇLARI																	
Sondaj No / Örnek No	Derinlik (m)	Su içeriği (W _n) %	Doğal Birim Hacim Ağ. kN/m ³	Kuru Birim Hacim Ağ. kN/m ³	Örgül Ağırlık (G _c)	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıflaması USCS	Hidrometre		Koheryon c (kPa)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ (deg.)	Şişme Basıncı (kPa)	Şişme Yüzdesi (%)
						No 4 Geçen	No 200 Geçen	LL (%)	PL (%)	PI (%)		Silt (%)	Kil (%)				
SK-1/UD-1	3.00-3.50	31,81	18,83		2,69	88,6	32,5	33,27	16,12	17,15	SC			3	24	0	0
SK-1/ 1	3.50-3.85	8,89	17,7	16,3		5,77	49,43	45,71	22,82	22,89	SC						
SK-1/ 2	4.50-6.00	24,94	17,3	13,8	2,62	1,35	85,63	31,51	16,36	15,16	CL	50,1	35,53				
SK-1/ 3	6.50-7.50	18,45	17,3	14,6	2,59	2,99	70,33	32,92	16,36	16,56	CL	38,2	32,13				
SK-1/ 4	12.45-13.50	24,44	16,7	13,4	2,61	3,25	69,76	42,92	15,35	27,57	CL	40,2	29,56				
SK-2/ 1	3.00-3.45	19,79	16,9	14,1	2,59	1,86	64,9	31,99	16,1	15,89	CL	39,2	25,7				
SK-2/ 2	6.45-7.50	19,58	16,7	13,9	2,62	3,11	50,84	27,32	14,08	13,25	CL	30	20,84				
SK-2/ 3	9.00-9.45	15,09	17	14,8	2,6	0,9	61,32	28,94	14,47	14,46	CL	38	23,32				
SK-3/UD-1	3.00-3.50	25,52	18,64		2,72	100	81,3	57,16	28,18	28,97	CH			73	5	0,5	6,2
SK-3/UD-2	4.50-5.00	24,38	18,21		2,72	100	46,6	27,29	13,1	14,2	SC			3	22	0	0
SK-3/ 1	5.00-5.45	18,3	17,4	14,7	2,56	1,05	88,77	44,25	22,7	21,55	CL	55,1	33,67				
SK-3/ 2	10.50-10.95	20,59	16,7	13,9	2,62	2,5	73,91	29,15	14,09	15,06	CL	40	33,91				
SK-3/ 3	15.00-15.45	23,2	17,3	14,1	2,64	0,38	86,73	43,63	22,4	21,23	CL	49,9	36,83				
SK-4/ 1	7.50-7.95	22,9	16,7	13,6	2,62	4,98	57,48	31,13	15,84	15,29	CL	34,2	23,28				
SK-4/ 2	10.50-10.95	18,03	17,1	14,5	2,61	5,88	58,12	42,92	21,55	21,37	CL	35,6	22,52				
SK-5/UD-1	3.00-3.50	31,94	18,56		2,73	100	84,2	55,95	27,11	28,84	CH			69	6	0,5	6,9
SK-5/ 1	4.50-4.95	14,01	17,9	15,7	2,57	0	50,36	27,98	14,49	13,5	CL	29,8	20,56				
SK-5/ 2	6.00-7.95	20,64	16,9	14	2,6	0	70,81	31,87	16,13	15,74	CL	39,8	31,01				
SK-5/ 3	9.00-9.45	29,86	18,7	14,4	2,5	0	92,67	63,09	32,83	30,27	CL	56,5	36,17				
SK-6/ 1	3.00-3.45	13	17,6	15,6	2,68	2,99	47,54	28,25	14,09	14,16	SC	29,2	18,34				
SK-6/UD-1	4.50-5.00	21,31	18,65		2,71	99,4	72,6	41,61	20,55	21,06	CL			62	6	0,25	5,2
SK-6/ 2	6.00-6.45	21,73	16,9	13,9	2,6	2,93	68,69	42,92	14,98	27,94	CL	43,2	25,49				
SK-6/ 3	7.50-9.45	25,36	17,1	13,7	2,57	0	67,06	28,55	14,55	13,99	CL	40,1	26,96				
SK-6/ 4	13.50-13.95	29,43	17,3	13,4	2,56	0	86,57	43,94	22,39	21,56	CL	53,4	33,17				
SK-7/ 1	3.00-4.95	22,69	17,4	14,2	2,57	0,42	82,55	44,94	22,77	22,17	CL	50,1	32,45				
SK-7/ 2	6.00-6.45	20,68	16,9	14	2,62	2,42	61,66	37,29	15,49	21,8	CL	38,2	23,46				
SK-7/ 3	7.50-7.95	20,47	16,7	13,9	2,6	3,24	51,03	31,52	15,53	15,99	CL	27,4	23,63				
SK-7/ 4	9.00-11.00	22,61	16,7	13,6	2,6	1,11	70,23	42,92	15,53	27,39	CL	42,5	27,73				
SK-8/ 1	4.50-4.95	7,29	17,9	16,7		38,68	25,57		NP		SM						
SK-8/ 2	6.00-7.95	14,75	18,2	15,9	2,69	15,22	45,04	28,83	14,93	13,9	SC	25,8	19,24				
SK-10/ 1	3.00-3.45	26,55	17	13,5	2,58	0,47	51,86	30,28	14,71	15,57	CL	30,5	21,36				
SK-10/ 2	4.50-7.00	34,03	18,1	1,35	2,52	0	95,05	63,02	31,73	31,29	CH	50,5	44,55				
SK-10/UD-1	6.00-6.50	35,83	18,59		2,72	100	80,8	39,91	19,14	20,78	CL			58	6	0,25	4,5
SK-10/ 3	9.00-11.00	19,31	17,1	14,3	2,61	0	70,5	42,92	22,22	20,7	CL	39	31,5				
SK-11/ 1	3.00-3.45	19,12	16,8	14,1	2,62	6,49	61,42	30,21	15,25	14,96	CL	38,2	23,22				
SK-11/ 2	6.00-6.45	19,02	17,1	14,4	2,61	4,97	51,46	29,81	15,32	14,5	CL	32,2	19,26				
SK-11/ 3	7.00-7.95	14,4	16,7	14,6	2,58	10,8	50,09	29,52	14,67	14,86	CL	30,2	19,89				
SK-13/ 1	1.50-1.95	18,9	16,6	14	2,59	2,94	61,8	31,17	16,52	14,65	CL	34,2	27,6				
SK-13/ 2	3.00-3.45	18,01	16,7	14,2	2,62	2,43	55,93	29,1	14,29	14,82	CL	30,1	25,83				
SK-13/UD-1	4.50-5.00	29,68	18,36		2,71	74,6	34,2	32,11	15,83	16,28	SC			3	24	0	0
SK-14/ 1	3.00-6.00	29,78	17,4	13,4	2,6	0	88,43	28,57	14,29	14,29	CL	36,1	52,33				
SK-14/UD-1	4.50-5.00	28,5	18,5		2,7	88,2	33,5	37,59	18,11	19,48	SC			3	24	0	0
SK-14/ 2	6.00-8.00	17,71	17,3	14,7	2,59	3,12	78,31	44,98	22,97	22	CL	48,2	30,11				
SK-14/ 3	10.50-12.00	17,25	17	14,5	2,58	1,59	81,69	43,21	21,5	21,72	CL	45	36,69				
SK-14/ 4	18.45-20.00	19,3	17,1	14,4	2,57	0,95	75,59	39,26	19,82	19,44	CL	45,1	30,49				

Sondajlardan alınan zeminlerin kıvam limitleri değerlendirildiğinde birleştirilmiş zemin sınıfına göre düşük plastisiteli inorganik killler, inorganik siltli killler (CL) ve yüksek plastisiteli inorganik killler (CH) sınıfındadır. Bazı sondajlarda killi kum olarak tanımlanan SC grubu zeminlerin varlığı gözlenmiştir.

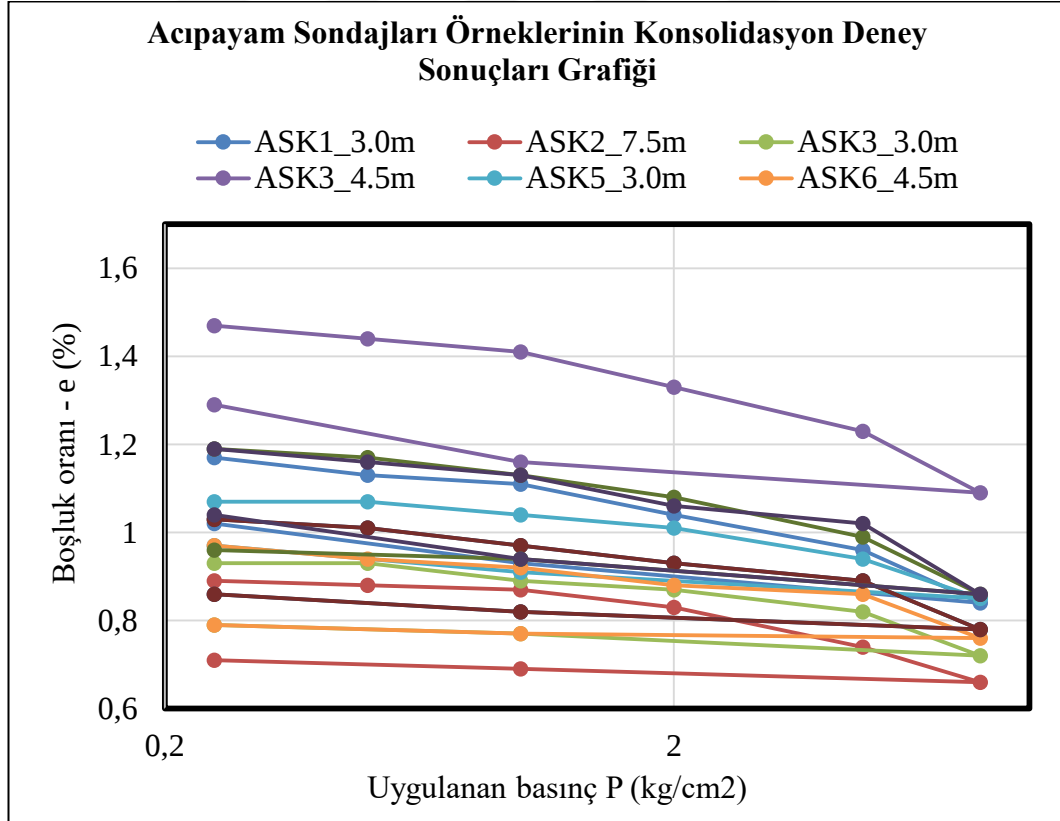
Zemin örneklerinin kıvam limiti değerleri Dakshanamurthy and Raman (1973) tarafından önerilen plastisite kartı üzerinde örneklerin şişme potansiyeli değerlendirilmiştir. Acıpayam ovası zeminleri genellikle düşük, orta derecede, çok az yüksek derecede şişme potansiyeline sahiptir (Şekil 6.29). Yüksek derecede şişme potansiyeline sahip olan OH grubu zeminler Oğuzköy, Yassihüyük ve Uçarı köylerinden alınan örneklerde rastlanmıştır.



Şekil 6.29: Dakshanamurthy and Raman (1973) tarafından önerilen plastisite kartı üzerinde çalışma alanındaki zeminlerin sınıfları ve şişme potansiyeli ile ilişkisi.



Şekil 6.30: Tez kapsamında açılan zemin sondajlarından alınan numuneler ile laboratuvarında yapılan Kesme Kutusu Deneyleri Sonuç Grafiği.



Şekil 6.31: Tez kapsamında açılan zemin sondajlarından alınan numunelerin Konsolidasyon Deneyleri Sonuç Grafiği.

Acıpayam Ovasında yapılan 14 adet zemin sondajından 2 tanesi Uçarı (A_SK9) ve Yeniköy (A_SK12) Mahallelerinde yapılmış olan kaya sondajlarıdır.

Bu sondajlardan çıkan kaya karot numuneleri Pamukkale Üniversitesi zemin ve kaya mekaniği laboratuvarında yapılmış olan kaya mekaniği deneyleri ile değerlendirilmiştir. Alınan kaya numunelerinin çap ve boyları dijital kumpas ile ölçüldükten sonra; Sonic Hız Deneyi, Brazilian Yöntemi ile kayaların İndirekt Çekilme Dayanımı Tayini, Nokta Yüğü Dayanım İndeksi Deneyi, Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı Deneyi yapılmış ve sonuçları tablo Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2: Acıpayam Ovası kaya sondajlarına ait kaya mekaniği deney sonuçları.

ACIPAYAM- KAYA SONDAJ DENEYLERİ (SK-9 UÇARI) (SK-12 YENİKÖY)										
SK-9 UÇARI	ÇAP (mm)	BOY (mm)	SONIC HIZ (ms)	KURU AĞIRLIK (gr)	DOYGUN AĞIRLIK (gr)	ARŞİMET	SONIC HIZ İLETİMİ- VP (km/sn)	BREZİLYAN ÇEKME DAYANIMI-BTS (mPa)	NOKTA YÜK DAYANIM İNDEKSİ-PLI (MPa)	TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI- UCS (MPa)
1.KAROT NUMUNE	60,69	126,47	27,1	779,9	825,9	471,92	4,67			15,70
2.KAROT NUMUNE	60,38	93,89	20,7	551,75	586,73	332,57	4,54			13,91
3.KAROT NUMUNE	60,2	125,23	27	761,4	811,7	467,12	4,64			17,33
4.KAROT NUMUNE	59,9	124,84	33,3	633,9	707,8	385,56	3,75			8,67
5.KAROT NUMUNE	60,56	154,41	28,6	1080,7	1100,8	665,7	5,40			30,49
1.DİSK NUMUNE	60,82	36,67	7,8	219,91	231,74	135,77	4,70		3,44	
2.DİSK NUMUNE	60,56	36,05	8,4	204,81	219,86	126,62	4,29	4,01		
3.DİSK NUMUNE	60,28	34,11	6,4	198,57	206,04	122,47	5,33		5,02	
4.DİSK NUMUNE	59,67	35,07	8,3	158,92	181,32	95,01	4,23	1,57		
5.DİSK NUMUNE	60,09	35,58	9,1	177,94	194,77	108,66	3,91		1,80	
6.DİSK NUMUNE	59,94	33,15	8,8	175,98	196,89	107,05	3,77	4,14		
7.DİSK NUMUNE	60,25	30,91	6,4	187,42	198,28	114,78	4,83		2,92	
8.DİSK NUMUNE	60,2	32,44	8,4	176,98	193,19	107,68	3,86	1,72		
9.DİSK NUMUNE	60,75	35,18	6,4	216,51	225,93	133,19	5,50		1,16	
10.DİSK NUMUNE	60,23	33,48	6,4	235,6	238,35	143,86	5,23	7,15		
11.DİSK NUMUNE	59,1	34,01	6,4	225,97	230,09	139,54	5,31		3,93	
12.DİSK NUMUNE	59,91	33,64	6,4	224,59	230,05	137,71	5,26	6,48		
SK-12 YENİKÖY										
1.KAROT NUMUNE	60,17	124,17	28,8	704,01	749,9	418,95	4,31			18,31
2.KAROT NUMUNE	60,09	122,3	28,1	745,3	795,9	460,78	4,35			14,47
1.DİSK NUMUNE	59,77	32,09	8,9	168,32	187,02	102,21	3,61		1,71	
2.DİSK NUMUNE	59,87	31,63	6,4	174,69	189,61	107,43	4,94	3,16		
3.DİSK NUMUNE	59,86	30,91	6,5	156,39	172,74	93,35	4,76		1,93	
4.DİSK NUMUNE	60,29	32,39	5,9	217,51	223,01	134,32	5,49	7,26		
5.DİSK NUMUNE	60,4	31,05	5,9	211,04	216,87	130,54	5,26	4,84		
6.DİSK NUMUNE	60,54	30,96	5,9	208,14	213,82	129,05	5,25	6,24		
7.DİSK NUMUNE	60,77	29,35	5,4	202,57	207,1	125,43	5,44		6,72	

Kaya mekaniği deneylerinden, elde edilen tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi sonuçları 8,67 – 30,49 MPa değerleri arasındadır. Buna göre (ISMR 1981) kaya sınıflaması tanımına göre A_SK9 Uçarı Mahallesi ve A_SK12 Yeniköy Mahallesi sondajlarından elde edilen kaya türleri “zayıf kaya” grubundadır.

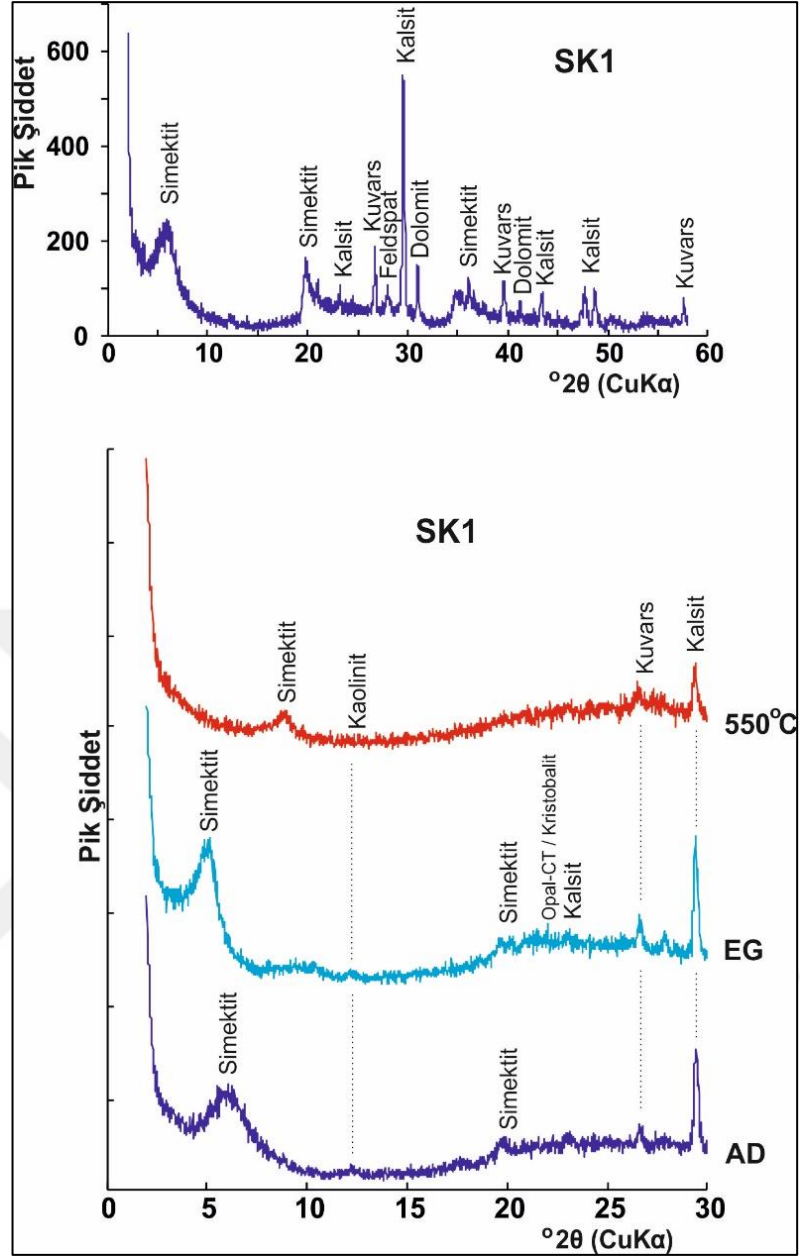
A_SK9 ve A_SK12 kaya sondajlarına ait karotlardan 3 ayrı noktadan seçilen numuneden Pamukkale Üniversitesi ince kesit hazırlama laboratuvarında 3 adet ince kesit hazırlanmıştır (Şekil 4.4, 4.5, 4.6). İnce kesitler ve gözlemsel değerlendirmelere göre kaya numunelerin gölgesel kireçtaşlarına ait olduğu düşünülmektedir.

6.3 Kil Analizleri

Kil boyutundaki zeminlerin suya teması sonucunda meydana gelen hacimlerdeki artış, zeminlerde kabarma ve oturma problemlerinin oluşmasına ve bu zeminler içinde yer alan kentsel alt yapı ve üstünde inşa edilen mühendislik yapılarında yapısal hasarların oluşmasına neden olur (Chen 1975, 1978). İnce taneli zeminlerde oluşan şişme basıncı (SP) eğer üstteki yapının kütleinden dolayı uygulanan düşey basıncı aşar ise yapılarda önemli hasarlar meydana gelir ve bu kentleşmeyi olumsuz etkilemektedir. Bu tür alanlarda önemli mühendislik önlemleri alınmalıdır.

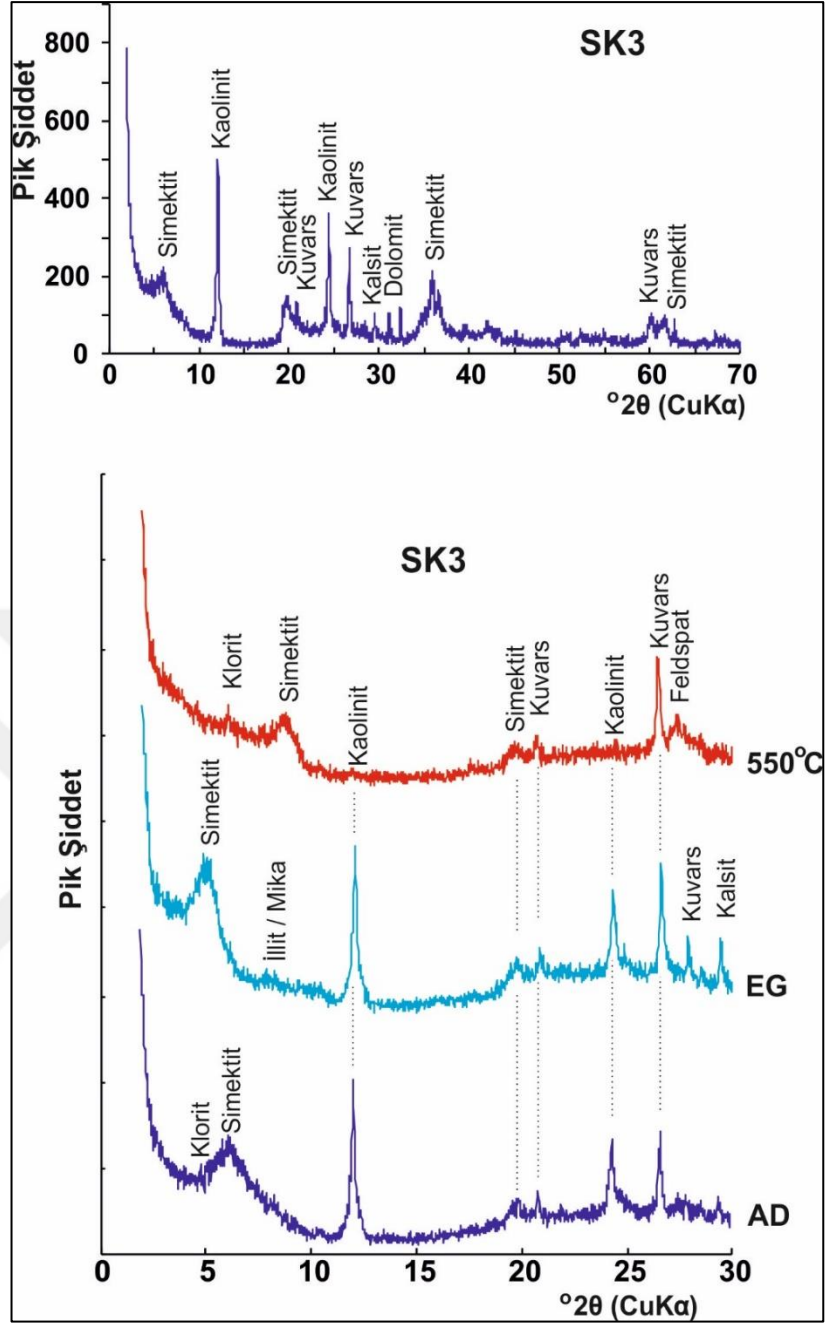
Kil analizleri sonucunda görüldüğü gibi numunelerin büyük çoğunluğunu simektit grubu (şişen) kil mineralleri oluşturmaktadır. Bu killer, ıslanma ve kuruma halinde %30'a varan oranlarda hacim değişikliği gösterebilirler.

Çalışma alanındaki kil türleri ve şişme özelliklerinin belirlenmesi amacıyla 5 adet kil numunesi üzerinde, X-ışınları kırınımı (XRD), tüm kayaç (TK) ve kil fraksiyonu (KF) analizleri yapılmış sonucunda elde edilen grafiklerdeki pik boyları ölçümleri Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde (TUAM) hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar şu şekildedir;



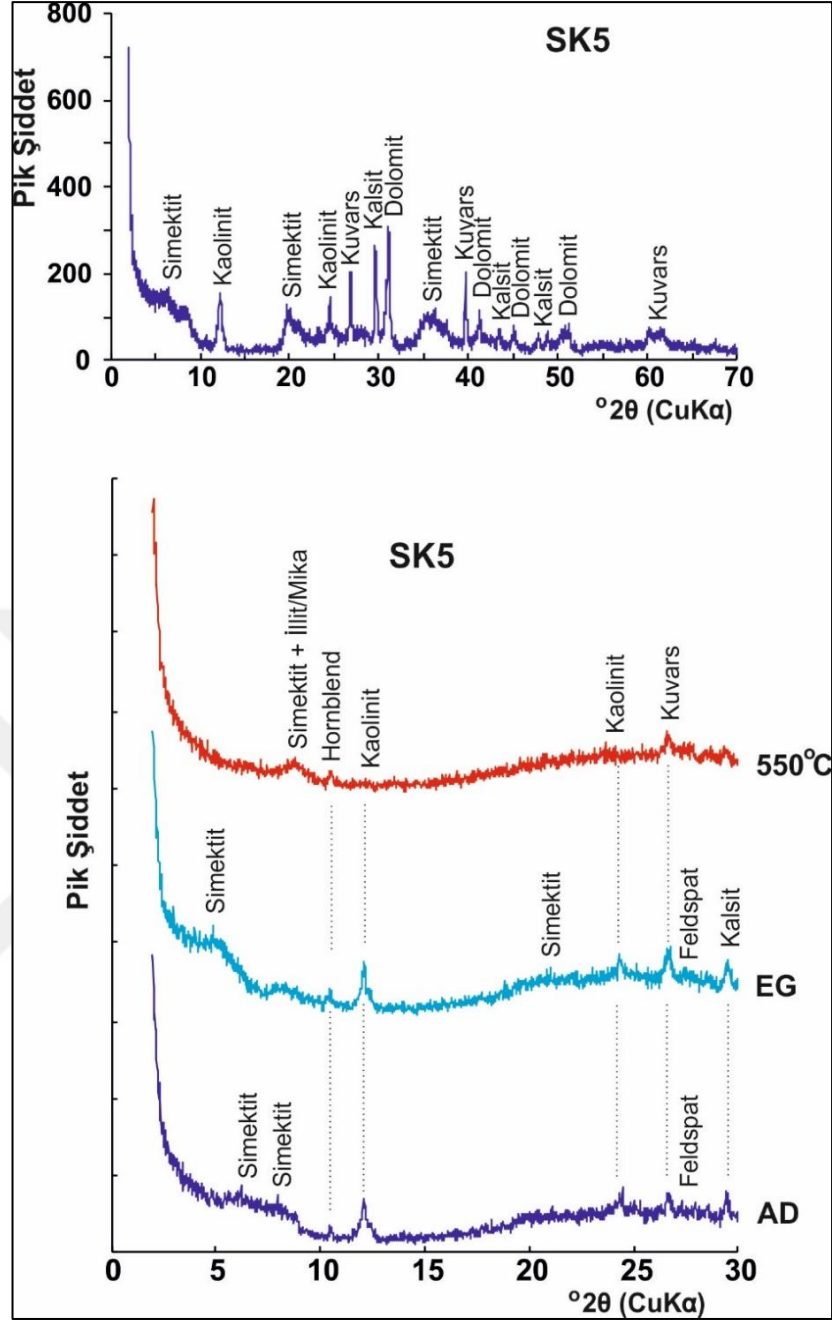
Şekil 6.32: A_SK1 Kil numunesinin XRD çekim grafikleri

A_SK1 sondajından alınan kil numunesinin XRD çekimine göre; tüm örnek, %80 kil, %13 kalsit, % 4 kuvars, %3 dolomit olup, %80 oranındaki kil miktarının; %93 ünü simektit, % 7 sini kaolinit oluşturmaktadır (Şekil 6.32).



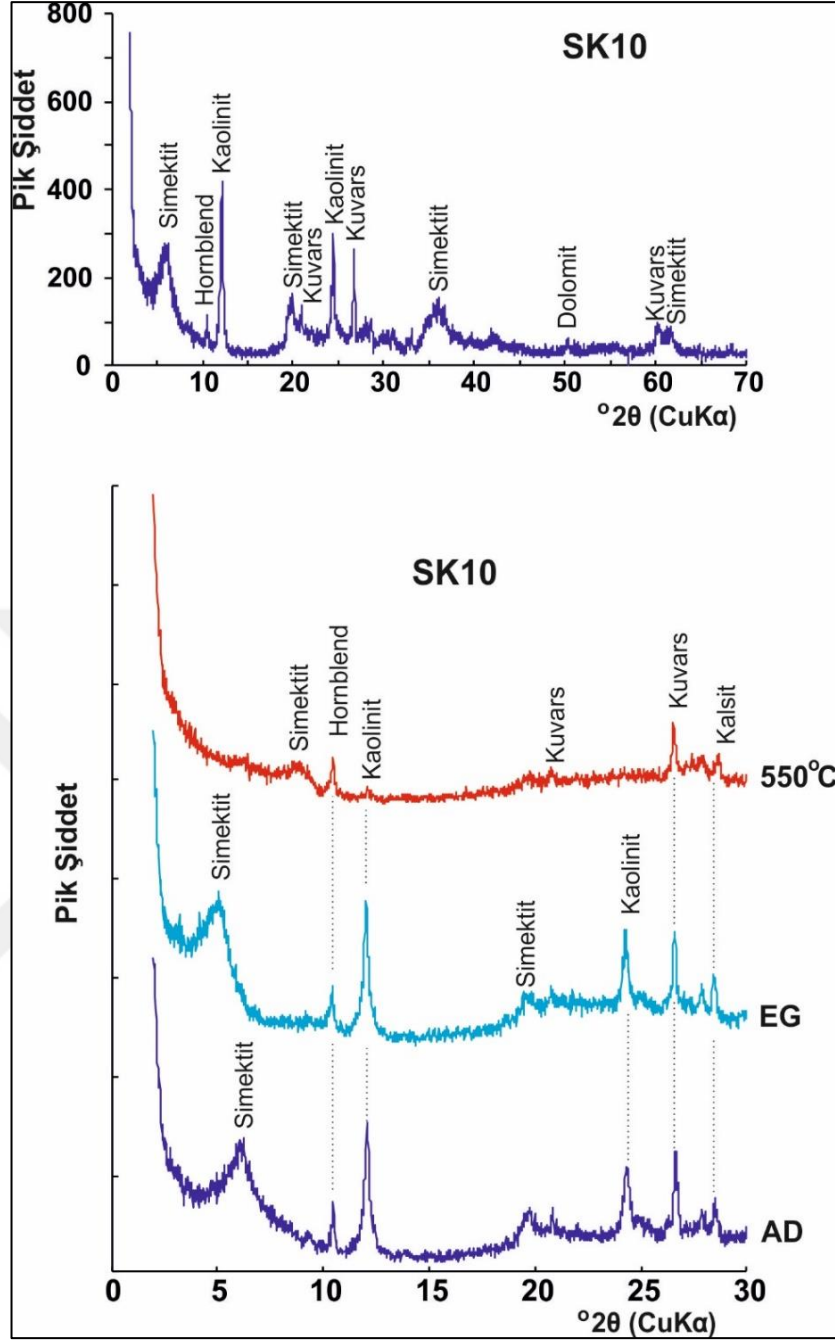
Şekil 6.33: A_SK3 Kil numunesinin XRD çekim grafikleri.

A_SK3 sondajından alınan kil numunesinin XRD çekimine göre; tüm örnek, %89 kil, %1 kalsit, %3 kuvars, %1 dolomit, %6 hematit olup, %89 oranındaki kil miktarının; %42 sini simektit, %58 ini kaolinit oluşturmaktadır (Şekil 6.33).



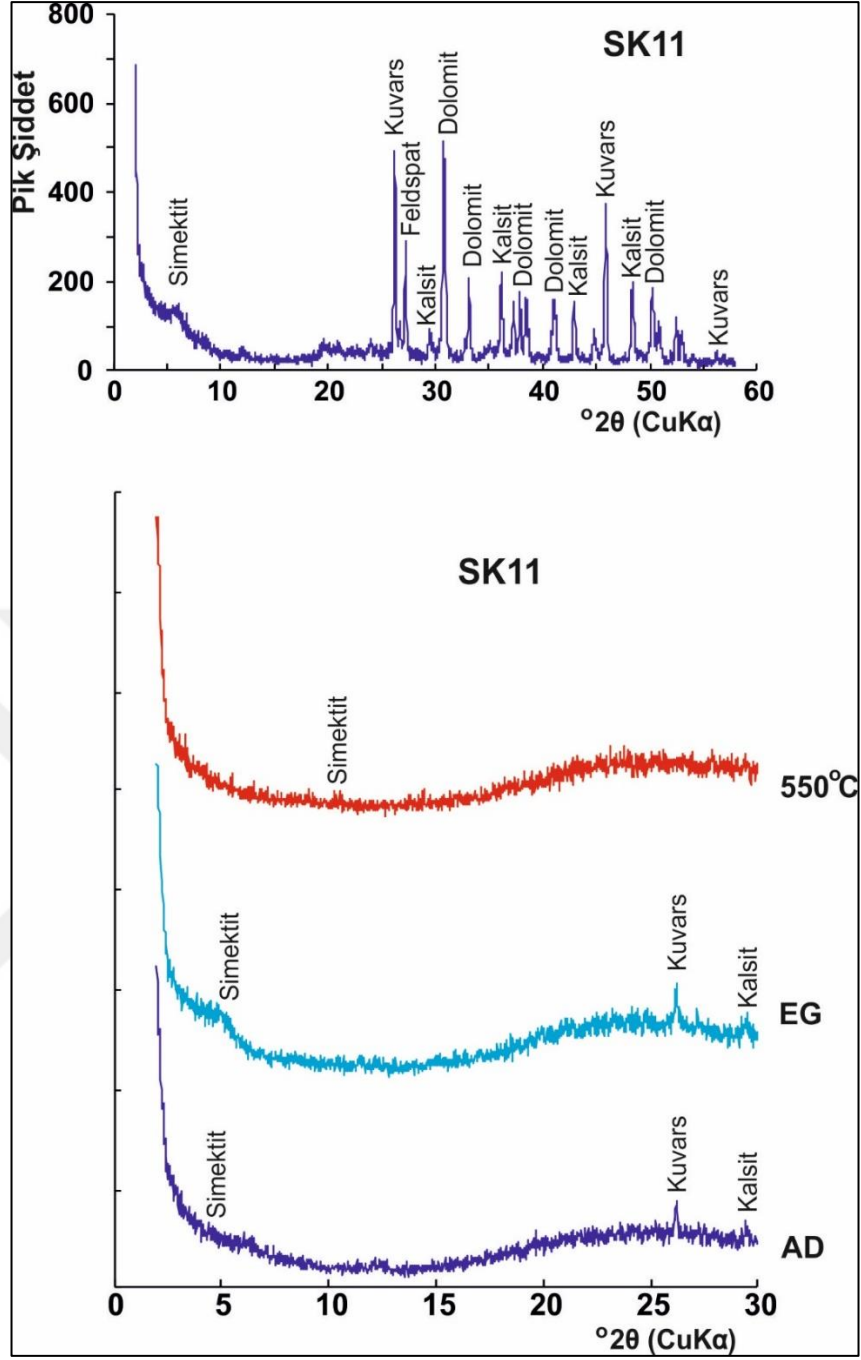
Şekil 6.34: A_SK5 kil numunesinin XRD çekimleri.

A_SK5 sondajından alınan kil numunesinin XRD çekimine göre; tüm örnek, %72 kil, %6 kuvars, %13 dolomit, %9 kalsit olup, %72 oranındaki kil miktarının; %54 ünü kaolinit, %39 unu simektit, %7 sini illit oluşturmaktadır (Şekil 6.34).



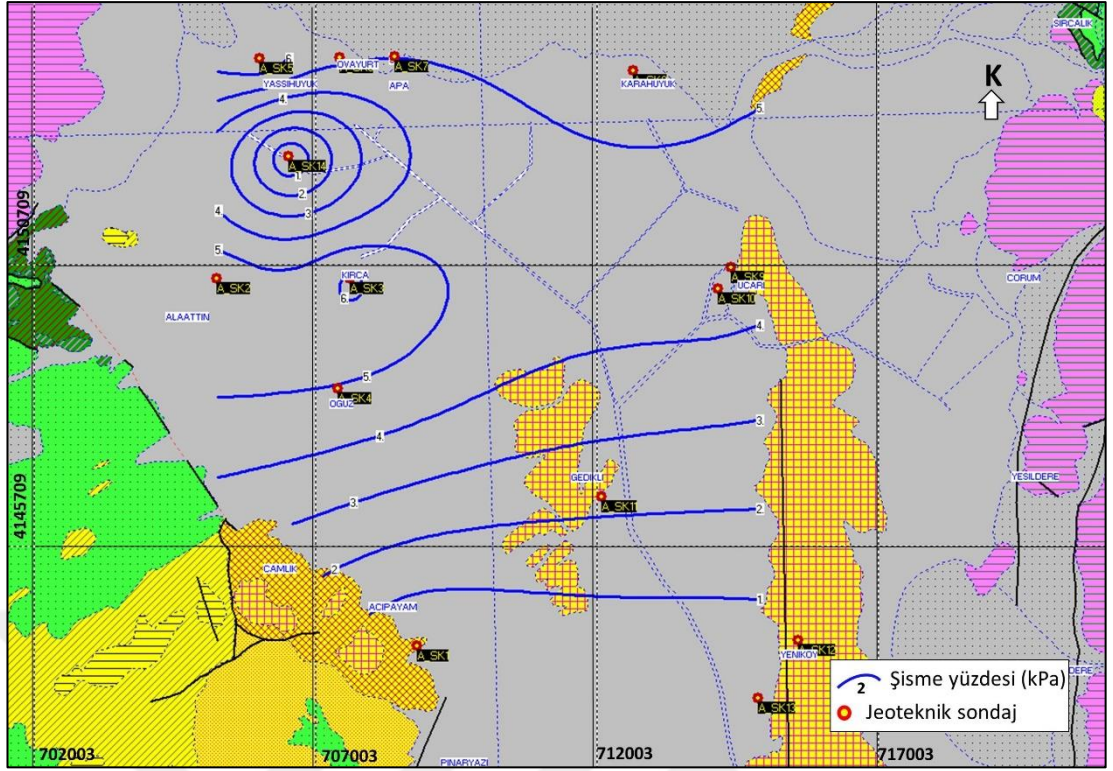
Şekil 6.35: A_SK10 kil numunesinin XRD çekimleri.

A_SK10 sondajından alınan kil numunesinin XRD çekimine göre; tüm örnek, %95 kil, %3 kuvars, %1 dolomit, %1 kalsit olup, %95 oranındaki kil miktarının; %51'ini kaolinit, %45'ini simektit oluşturmaktadır (Şekil 6.35).



Şekil 6.36: A_SK-11 kil numunesinin XRD çekimleri

A_SK-11 sondajından alınan kil numunesinin XRD çekimine göre; tüm örnek, %33 kil, %32 feldspat, %15 kuvars, %18 dolomit, %2 kalsit olup, %100 olan kil miktarının tamamı %100 simektittir (Şekil 6.36).

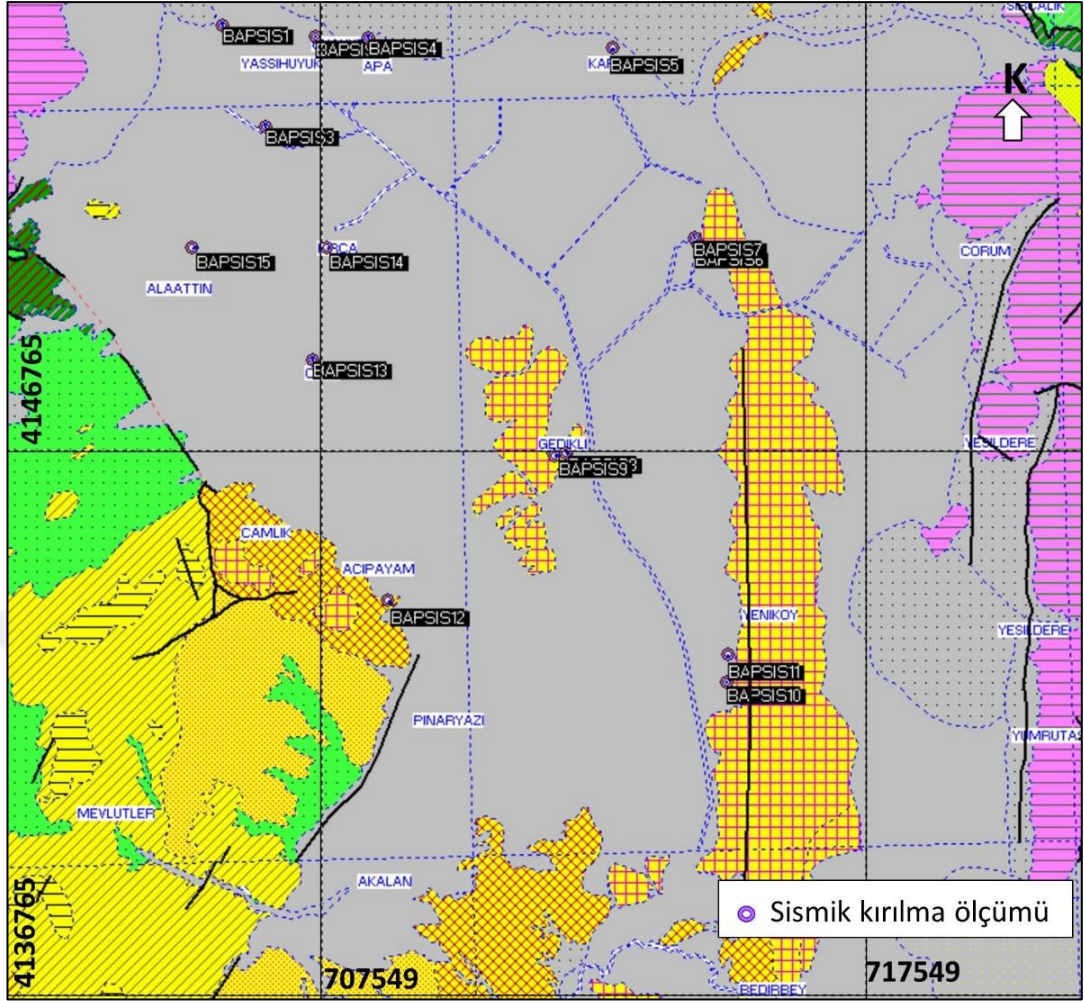


Şekil 6.38: Acıpayam ovası yerleşim yerlerindeki zeminlerin şişme yüzdesi değişimi

6.4 Jeofizik Çalışmaların Değerlendirmeleri

Acıpayam Ovası içindeki proje sahasında yapılan jeofizik çalışmalarda, proje alanındaki farklı ait dinamik parametrelerinin belirlenmesi, yeraltındaki tabakaların devamlılığı ve konumlarının incelenmesi amacıyla toplam 15 Profil Sismik Kırılma aynı profiller üzerinde MASW ve Remi ile 15 noktada Mikrotremör ölçümleri yapılmıştır (Şekil 6.39; 40; 41).

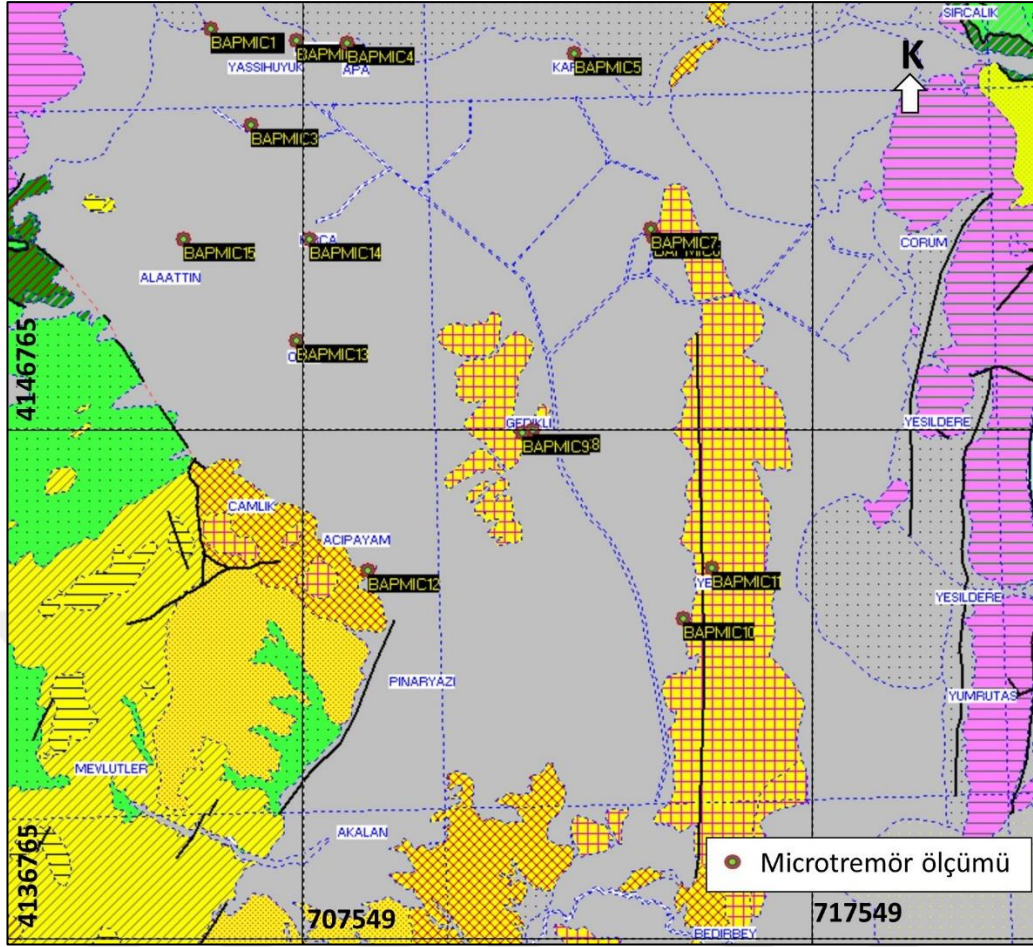
Elde edilen P ve S dalga hızları (V_p , V_s) ve tabaka kalınlıklarına (H_n) bağlı olarak çalışma alanındaki ortamları oluşturan kayalarla ait elastik parametreler (Young Modülü, Bulk Modülü, Kayma Modülü, Poisson oranı vb.) hesaplanmıştır.



Şekil 6.39: Sismik kırılma ölçüm yerlerinin jeolojik harita üzerinde ve çalışma alanındaki dağılımı.

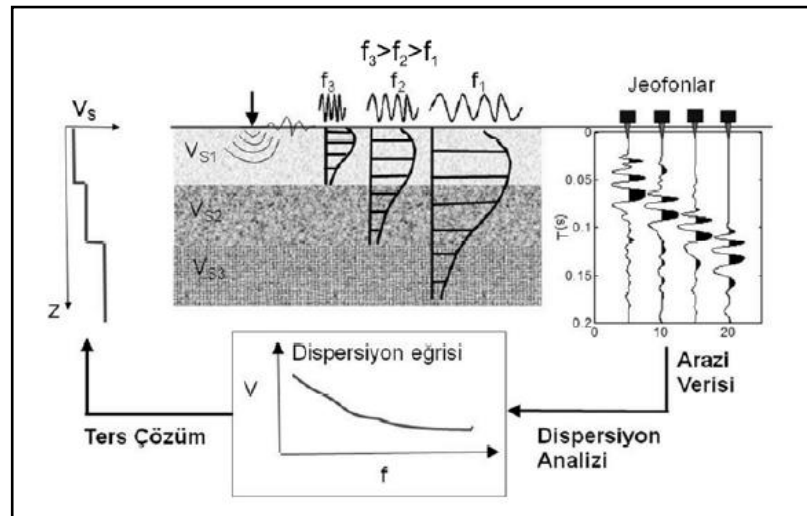


Şekil 6.40: Sismik kırılma ve MASW ölçüm noktalarının dağılımı (Google Earth alıntısı).



Şekil 6.41: Microtremör ölçüm noktalarının çalışma alanındaki dağılımı

6.4.1 MASW Ölçülerin Değerlendirilmesi



Şekil 6.42: MASW yönteminde temel işlem adımları (Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi) (Dikmen,Ü. ve diğ. 2009).

Doktora tez çalışması kapsamında PAÜ-BAP desteklenen tarafından proje kapsamında hizmet alımları ile çalışma alanının farklı noktalarından yapılan jeofizik ölçümlerde elde edilen sismik kayıtlar bilgisayara aktarılarak Seisimager SW programı ile gerekli filtrelemeler ve düzeltmeler yapılmış ve WaveEq programı ile 10 iterasyon yapılarak dispersiyon eğrisi oluşturulmuştur (Şekil 6.42). Elde edilen eğrinin ters çözüm değerlendirmesi sonucu seviye Vs hızları, derinlikleri hesaplanmıştır.

Serim 1; Sismik 1 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 2,1 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 221 m/sn, Vs hızı 114 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1277 m/sn, Vs hızı 350 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-1 ölçümler sonucu Vs30 =303,60 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 2; Sismik 2 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 5,4 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 300 m/sn, Vs hızı 130 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1613 m/sn, Vs hızı 363 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-2 ölçümler sonucu Vs30 =330,50 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 3; Sismik 3 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 2,6 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 395 m/sn, Vs hızı 142 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1589 m/sn, Vs hızı 206 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-3 ölçümler sonucu Vs30 =196,60 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 4; Sismik 4 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 3,8 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 303 m/sn, Vs hızı 161 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1274 m/sn, Vs hızı 209 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-4 ölçümler sonucu Vs30 =204,20 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 5; Sismik 5 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 4,2 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 353 m/sn, Vs hızı 161 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1029 m/sn, Vs hızı 195 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-5 ölçümler sonucu Vs30 =192,70 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 6; Sismik 6 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 5,1 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 867 m/sn, Vs hızı 345 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1470 m/sn, Vs hızı 424 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-6 ölçümler sonucu Vs30 =408,60 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 7; Sismik 7 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 7,2 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 365 m/sn, Vs hızı 116 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1131 m/sn, Vs hızı 270 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-7 ölçümler sonucu Vs30 =249,10 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 8; Sismik 8 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 4,3 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 335 m/sn, Vs hızı 158 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1356 m/sn, Vs hızı 160 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-8 ölçümler sonucu Vs30 =160,70 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 9; Sismik 9 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 4,2 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 342 m/sn, Vs hızı 178 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1005 m/sn, Vs hızı 172 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-9 ölçümler sonucu Vs30 =174,50 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 10; Sismik 10 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 4,3 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 361 m/sn, Vs hızı 172 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1324 m/sn, Vs hızı 288 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-10 ölçümler sonucu Vs30 =265,70 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 11; Sismik 11 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 7,6 m. dir. Birinci tabakada Vp hızı 662 m/sn, Vs hızı 435 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada Vp hızı 1240 m/sn, Vs hızı 443 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-11 ölçümler sonucu Vs30 =444,0 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 12; Sismik 12 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 4,0 m. dir. Birinci tabakada V_p hızı 325 m/sn, V_s hızı 200 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada V_p hızı 1046 m/sn, V_s hızı 270 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-12 ölçümler sonucu V_{s30} =260,90 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 13; Sismik 13 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 5,0 m. dir. Birinci tabakada V_p hızı 374 m/sn, V_s hızı 166 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada V_p hızı 992 m/sn, V_s hızı 208 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-13 ölçümler sonucu V_{s30} =202,30 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 14; Sismik 14 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 3,7 m. dir. Birinci tabakada V_p hızı 613 m/sn, V_s hızı 116 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada V_p hızı 1477 m/sn, V_s hızı 175 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-14 ölçümler sonucu V_{s30} =173,60 m/sn olarak bulunmuştur.

Serim 15; Sismik 15 çalışması sonucunda ortamda iki farklı katman görülmüştür. Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 6,0 m. dir. Birinci tabakada V_p hızı 470 m/sn, V_s hızı 271 m/sn olarak bulunmuştur. İkinci tabakada V_p hızı 1044 m/sn, V_s hızı 358 m/sn olarak bulunmuştur. MASW-15 ölçümler sonucu V_{s30} =354,40 m/sn olarak bulunmuştur.

6.4.2 REMI Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Ölçülerle elde edilen kayıtlar, bilgisayara aktarılarak SWAN ver. 1.4 (SURFACE WAVE ANALYS) programı ile gerekli filtrelemeler ve düzeltmeler yapıldıktan sonra iterasyon yapılarak dispersiyon eğrisi oluşturulmuştur. Elde edilen eğrinin ters çözüm değerlendirmesi sonucu sismik tabakaların V_s hızları ve derinlikleri hesaplanmıştır (Tablo 6.3).

Tablo 6.3: Sismik Serim Açıklamaları

SERİM NO	JEOFON ARALIĞI (m)	SERİM BOYU (m)	İNİLEN DERİNLİK (m)	MASW VS(30) (m/sn)
Serim 1	3,0	69,0	60,0	368,0
Serim 2	3,0	69,0	60,0	295,2
Serim 3	3,0	69,0	60,0	240,8
Serim 4	3,0	69,0	60,0	294,8
Serim 5	3,0	69,0	60,0	155,2
Serim 6	3,0	69,0	60,0	336,6
Serim 7	3,0	69,0	60,0	303,4
Serim 8	3,0	69,0	60,0	251,3
Serim 9	3,0	69,0	60,0	235,6
Serim 10	3,0	69,0	60,0	221,6
Serim 11	3,0	69,0	60,0	324,2
Serim 12	3,0	69,0	60,0	394,3
Serim 13	3,0	69,0	60,0	287,5
Serim 14	3,0	69,0	60,0	214,3
Serim 15	3,0	69,0	60,0	413,1

Kayma dalgası hızı V_{S30} değerleri yüksek olan yerler daha sağlam ve sıkı zeminleri temsil etmekte iken, V_{S30} değerleri düşük olan yerler ise daha gevşek ve zayıf zeminleri temsil ederler. Burada Kayma dalgası hızı V_{S30} değerleri 155,2-413,1 (m/sn) değerleri arasında olduğundan zemin genel olarak az sıkı, orta sıkı- sıkı kum, çakıl, kil tabakalarını ifade etmektedir.

Tez kapsamında inceleme alanı içinde 15 ayrı nokta yapılan sismik kırılma ölçümlerine ait zeminlerin kayma dalgası hızları (V_s) zemin yüzeyinden birinci tabaka sınırına karşılık gelen derinlik için (yaklaşık 10m) ve yine zemin yüzeyinden 30m derinlik için değerlendirilmiştir. Ketleşmede, özellikle kırsal kesimlerdeki geleneksel yapı türünde bina temellerinin birinci tabaka içerisinde 1m ile 3m arası derinlikte inşa edilmesinden dolayı açılmış İlk tabakanın kayma dalgası hızları zeminin dinamik parametrelerinin değerlendirmesi önem taşımaktadır (Kumsar ve Sarayköylü 2024).

Çalışma alanında birinci tabaka kalınlığı için en düşük V_s değeri Kırca köyünün bulunduğu alanda 120 m/sn'dir. Bu değer, ovanın kuzeyinde 160m/sn iken

güneyinde 280 m/sn değerlerine yakındır (Şekil 6.43). Zemin yüzeyinden 30m derinliğe kadar olan tabaka kalınlığı Vs değerleri Kırca mahallesi ve yakınlarında 170 m/sn, ovanın güneyinde ise 300 m/sn değerlerindedir (Şekil 6.44).

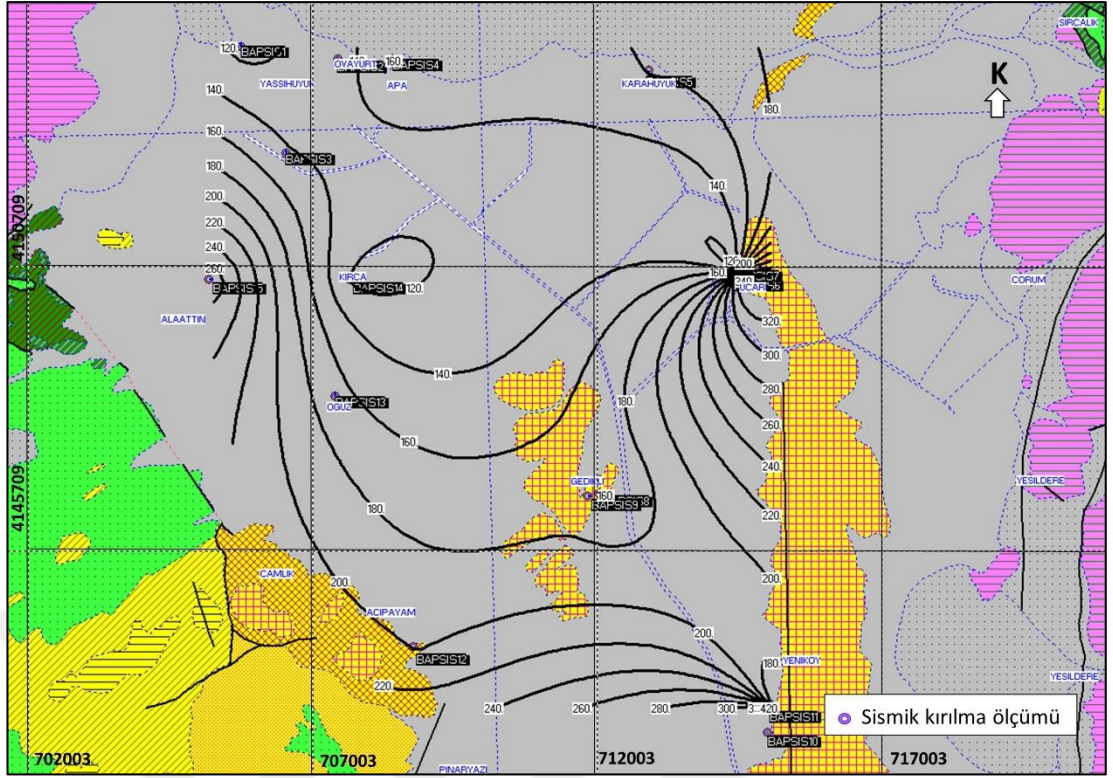
Çalışma alanı içinde yapılan sismik kırılma ölçümlerinde elde edilen Vs değerleri kullanılarak Acıpayam ovası zeminlerinin büyütme faktörü (A_0) değerleri zemin yüzeyinden birinci tabaka (0 ile yaklaşık 10m arası kalınlık için) ve zemin yüzeyinden 30 m derinlik için hesaplanmış ve değerlendirme haritaları (Şekil 7.45 ve 46'da) verilmiştir.

Dinamik yükler sırasından zeminlerin büyütme faktörünün kayma dalgası hızlarından hesaplanması için Midorikawa (1987) tarafından önerilen aşağıda verilen eşitlik yaygın olarak kullanılmaktadır.

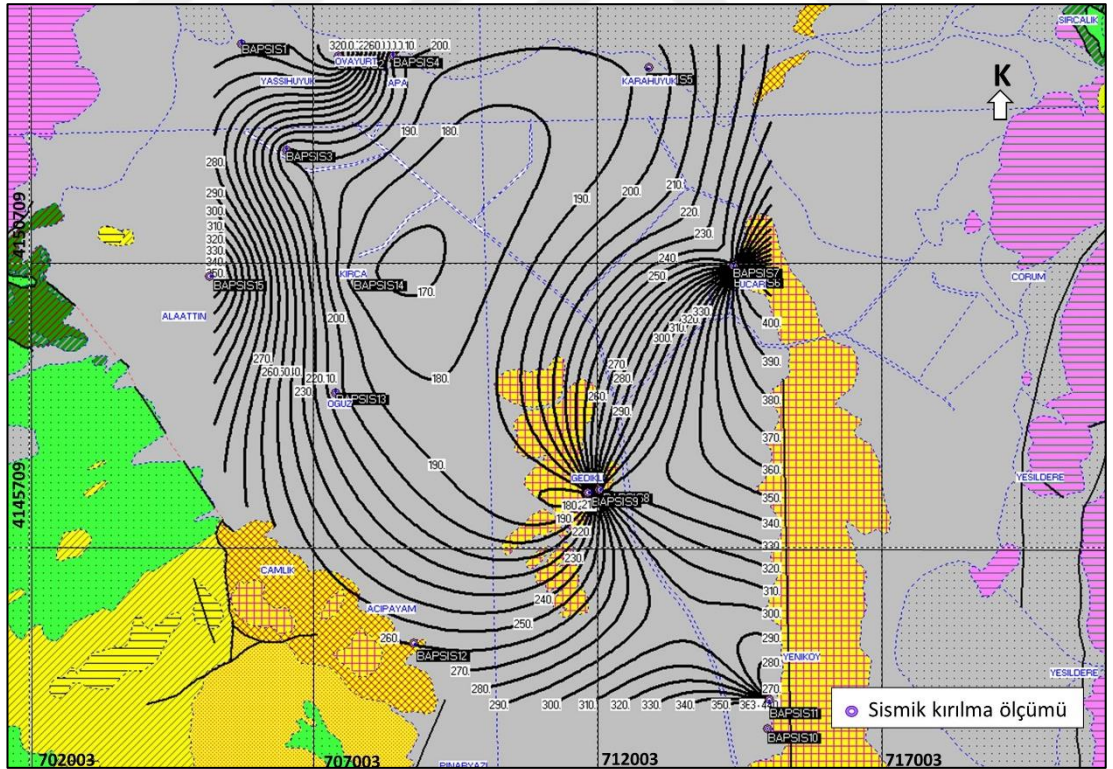
$$A=68V_s^{-0.6} \quad (2)$$

Çalışma alanı içinde yapılan sismik kırılma ölçümlerinde elde edilen Vs değerleri kullanılarak Acıpayam ovası zeminlerinin büyütme faktörü (A_0) değerleri zemin yüzeyinden birinci tabaka ve zemin yüzeyinden 30 m derinlik için hesaplanmış ve değerlendirme haritaları (Şekil 6.45 ve 46'da) verilmiştir.

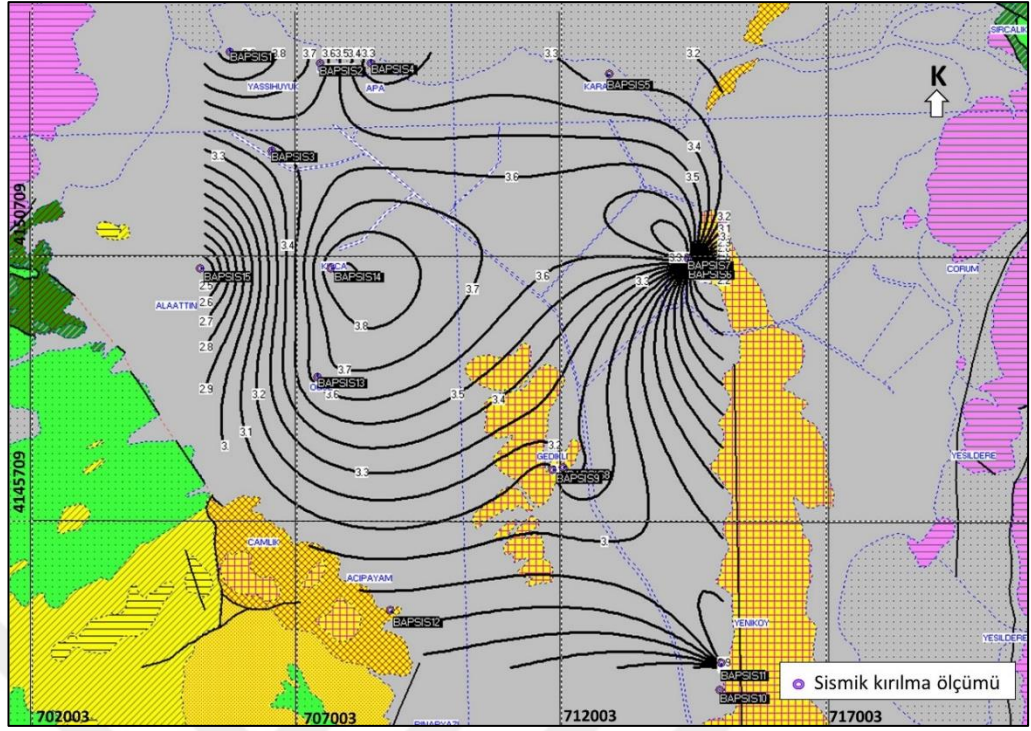
Zemin yüzeyinden itibaren birinci tabaka derinliğindeki zeminin büyütme faktörü Kırca mahallesinde 3.9 olup, Kırca, Oğuzköy ve Uçarı arasındaki alanda 3.5 ile 3.9 arasındadır. Ayrıca, Yassıhöyük, Ovayurt ve Apa köylerinin bulunduğu alanlarda A_0 değerleri 3.3 ile 3.9 arasındadır (Şekil 7.45). Zemin yüzeyinden 30m derinlik için hesaplanan A_0 değerlerine ait harita değerlendirildiğinde Kırca köyü ve yakın alandaki en yüksek A_0 değeri 3.1'dir. Yassıhöyük, Ovayurt, Apa köylerinin bulunduğu alanda ise A_0 değerleri 2.2 ile 2.8 arasında değişmektedir. Ovanın batısında Alaattin köyü ve Acıpayam ilçe merkezinde A_0 değerleri 2.3 değerlerindedir. Ovanın güneyinde ve doğusunda A_0 değerleri 2 ve altına inmektedir (Şekil 6.46).



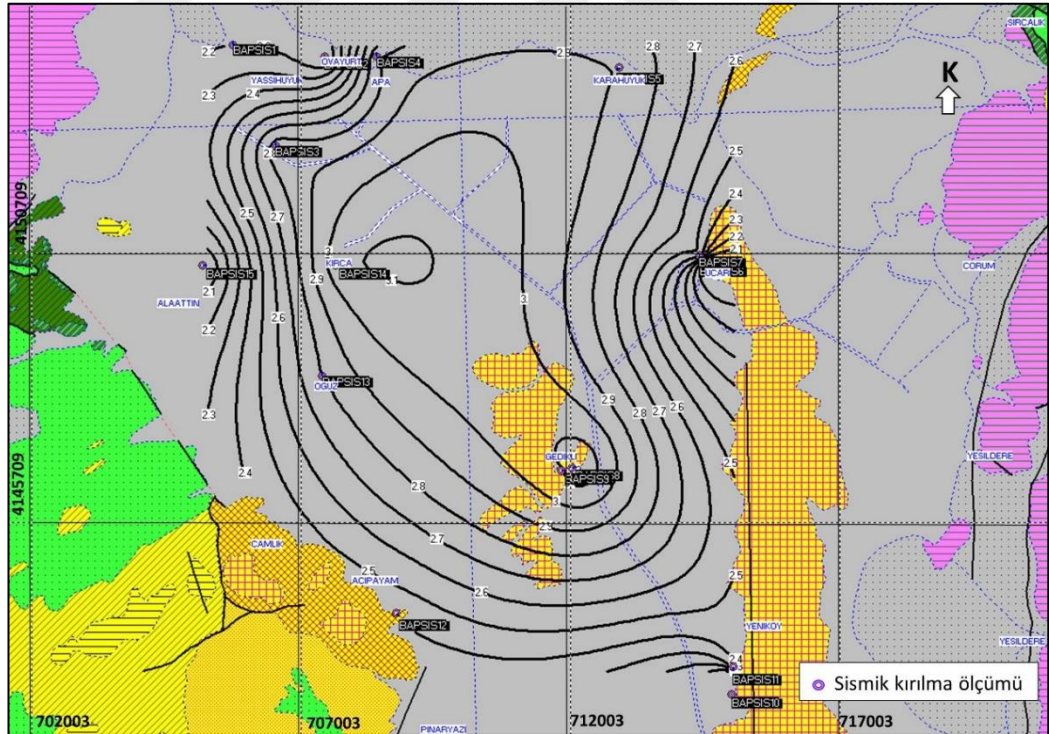
Şekil 6.43: V_{s1} tabaka hız değerleri dağılım haritası.



Şekil 6.44: V_{s30} hız değerleri dağılım haritası.



Şekil 6.45: V_{s1} tabaka değerleri kullanılarak hesaplanan zemin büyütme faktörü dağılım haritası



Şekil 6.46: V_{s30} değerleri kullanılarak hesaplanan zemin büyütme faktörü dağılım haritası

Özçep (2007) kentsel alanlarda zeminlerin deprem etkisine ilişkin büyütme faktörlerine bağlı olarak tehlike düzeylerini üç düzeyde sınıflandırmıştır. Bunlar düşük, orta ve yüksektir (Tablo 6.4). Acıpayam ovasındaki yerleşim yerleri zeminlerinin tehlike düzeyi genel olarak orta seviyededir. Gevşek yapıdaki alüvyon çökellerinin kalın ve yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olduğu ovanın orta, kuzeydoğu ve güneydoğu kesimlerinde zemin büyütme faktörü değerleri artmaktadır. Acıpayam Belediyesi'nin bulunduğu havzanın batı kesiminde ise, zemin büyütme faktörleri azalmaktadır. Bu durum, yeraltısuyu seviyesinin 15m'den derinde, alüvyon ve yamaç moluzu biriminin iri taneli çakıl blok içermesi ve kalınlığının 5 ile 10m arasında olması ve yapılaşma açısından uygun olan gölsel kireçtaşı sınırının zemin yüzeyine yakın olmasının etkisinden kaynaklanmaktadır.

Bu sonuçlar havzada meydana gelen 5,5 büyüklüğündeki deprem hasarlarıyla uyum içindedir. Şöyle ki, Apa Köyü'ndeki iki kat ve üzeri betonarme binalarda hafif hasar meydana gelirken, tek katlı betonarme binalarda hasar gözlenmemiştir. Yassıhöyük köyündeki prefabrik beton tekstil fabrikası yapısında ise hafif hasar oluşmuştur (Şekil 6.47a, b).



Şekil 6.47(a): Yassıhöyük mahallesinde betonarme prefabrik fabrika yapısındaki hafif hasarlar, **(b)** Apa mahallesinde zemin katı ağır hasarlı üç ve hasarsız tek katlı betonarme yapılar (Kumsar ve diğ. 2020).

Tablo 6.4: Mikrobölgeleme çalışmalarında deprem etkisinde zemin büyütme faktörünün tehlike düzeyleri (Özçep 2007).

Deprem etkisinde Zemin büyütme faktörü (A)	Tehlike seviyesi
0.0 – 2.0	Düşük
2.0 – 4.0	Orta
4.0 – 6.0	Yüksek

6.4.3 Mikrotremör Ölçümlerinin Değerlendirmesi

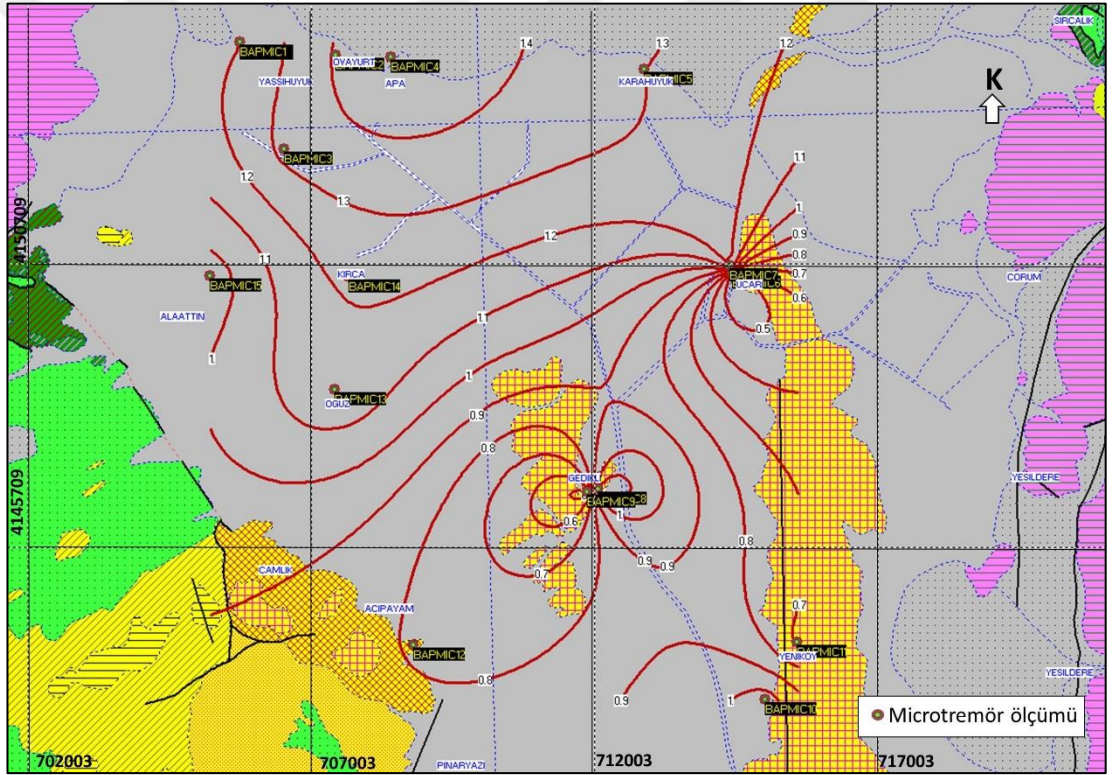
Mikrotremör ölçüleriyle elde edilen kayıtlar GEOPSY (Geophysical Signal Database For Noise Array Processing) ver. 2.9.0 programı ile gerekli filtrelemeler ve düzeltmeler yapıldıktan sonra çözümlenerek ortamın Zemin Hakim Titreşim Periyodu ve H/V (Spektral Oran) (Deprem Zemin Büyütmesi) parametreleri hesaplanmıştır.

Her bir mikrotremör kaydı üzerinde pencerelere ayrılarak (min. 10 pencere), her bir veri penceresinin Fourier dönüşümü alınmıştır. Elde edilen spektrumlarda iki yatay bileşen (DB, KG) ile birleştirilerek yatay bileşen hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan yatay bileşen spektrumu, düşey bileşen spektrum oranlanmıştır. Her pencerenin ortalaması alınarak ölçü noktasına ait büyütme ve hâkim frekans değerleri elde edilmiştir. Zaman ortamında alınan sinyal verileri, Fourier dönüşümü ile frekans ortamına taşındıktan sonra, verilerin frekans içerikleri ve genlikleri ile ilgili analizler ve değerlendirmeler yapılmıştır.

Deprem dalgaları zeminde yayılırlarken birçok titreşim frekansları içerirler. Zeminlerin davranışlarını saptamada en önemli faktörlerden biri zeminin deprem sarsıntısında hakim titreşim frekansı veya hakim periyodudur. Deprem hasar türlerinden önemli biri olan rezonans hasar türü zemin hakim periyodu ile bina yükseklik veya kat adetleri arasında oluşan rezonans ilişkisi bilinen bir gerçektir. Zemin hakim periyodu değiştirilemez, fakat bina yüksekliği veya kat adedi ve diğer özellikleri değiştirilebilir. Bu bakımdan, yapılacak bir binanın tüm özellikleri inşaat mühendisleri tarafından saptanır. İnşaat proje tasarımında deprem zemin hakim periyoduna bağlı bina kat adedinin veya bina yüksekliğinin önceden belirlenmesi rezonans hasarlarının en aza indirgenmesi bakımından hem hayati, hem ekonomik önem arz etmektedir (Keçeli ve Cevher 2019). Acıpayam ovası yerleşim alanları

zeminlerinin hakim periyodu ovanın kuzeyinde Oğuz, Kırca, Ucarı, Yassihüyük, Ovayurt ve Apa mahallelerinin bulunduğu alanlarda 1 ile 1.4 arasında değişmektedir. Ovanın güneyinde ve Acıpayam ilçe merkezinde ise bu değer 0.6 ile 1 arasında değişmektedir (Şekil 6.48). Dolayısıyla uzun periyodlu zemin salınım periyodu uzun olan yapılarda daha fazla hasara neden olacaktır.

Bu durum 2019 yılında 5.5 büyüklüğünde meydana gelen Acıpayam depremlerinde de gözlenmiştir. Bu depremde Ova içinde ağır hasarlı konut, bina, cami ve okullar genellikle Oğuz, Kırca, Ucarı, Yassihüyük, Ovayurt ve Apa mahallelerinin yerleşim alanlarında gözlenmiştir.



Şekil 6.48: Acıpayam ovası zeminlerinin hakim titreşim periyodu haritası

Tablo 6.5: Mikrotremör Ölçüm Sonuçları Tablosu

Mikrotremör No	Frekans	T0	H/V Oranı
M-1	0,83	1,20	1,35
M-2	0,71	1,41	1,31
M-3	0,75	1,33	1,24
M-4	0,67	1,49	0,83
M-5	0,77	1,30	1,71
M-6	2,60	0,38	0,95
M-7	0,82	1,22	1,14
M-8	0,83	1,20	1,36
M-9	2,21	0,45	1,68
M-10	0,95	1,05	1,55
M-11	1,47	0,68	5,43
M-12	1,26	0,79	1,56
M-13	0,83	1,20	1,53
M-14	0,82	1,22	1,19
M-15	1,06	0,94	1,49

- İnceleme alanında alınan 15 noktadaki Mikrotremör verileri analiz edilerek, yer etkisi çalışmalarının temel parametrelerinden olan “Zemin Hakim Titreşim Periyodu” ve “H/V Spektral Oran (Zeminin Depremi Büyültme Katsayısı)” hesaplanmıştır (Tablo.6.5).

- Zemin Hakim Titreşim Periyodu daha küçük olan bölgelerin, daha büyük olan bölgelere göre jeolojik olarak daha sert, çok sıkışmış, çimentolanması fazla, genellikle sıkı alüvyonel ve/veya kaya karakterli bölgeler olduğu önceki deneyimlerden bilinmektedir. Bu tür bölgeler ise jeofizik veriler ışığında sismik S dalga hızı, kesme direnci büyük olan, yanal yöndeki yüklere karşı iyi dayanımlı deprem mühendisliği açısından sağlam ve sakıncasız bölgeler olarak nitelendirilen yerlerdir.

- Çalışma alanına ait “Zeminin Depremi Büyütme Değerleri (Spektral Oran H/V)” incelendiğinde, zemin büyütme değerlerinin 0,83-5,43 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bu değer bize inceleme alanındaki zeminin, oluşması muhtemel bir deprem dalgasını ortalama 0,83-5,43 katı kadar büyütebileceği bilgisini vermektedir. Ayrıca çalışma alanındaki etkin frekans 0,67-2,60 Hz aralığında hesaplanmıştır.

6.5 Zeminin Dinamik-Elastik Parametreleri

Mühendislik jeofiziğinde en önemli Sismik parametreler P ve S dalga hızlarıdır. P ve S dalga hızları zemin parametrelerinin belirlenmesinde kullanılır. Sismik hızlar, tamamen ortamın elastik özelliklerine (E, G, K) bağlı olduğundan aşağıdaki dinamik parametreler, sismik hızların fonksiyonları şeklinde sağlıklı olarak bulunabilir. Daneler arası bağ yer üstüne gelen mühendislik yapısının düşey yükü altında veya deprem dalgasının neden olduğu yanal yük oluştuğunda önem kazanır. Bu nedenle mühendislik araştırmalarında S dalgaları P den daha önemlidir. Sismik hızlar, doğrudan yerin esneklik özellikleri ve yoğunluğu ile ilgilidir. Alınan jeofizik ölçümlerden elde edilen veriler bazı Tablo 6.6 de verilen bazı bağıntılarda değerlendirilerek zeminin dinamik ve elastik parametreleri hesaplanmıştır (Tablo6.7).

Tablo 6.6: Dinamik elastik parametrelerin hesaplanmasında kullanılan formüller

Yoğunluk (Vp)	$\rho = 0,31 * V_p^{0,25}$	(gr/cm ³)
Yoğunluk (Vs)	$\rho = 0,44 * V_s^{0,25}$	(gr/cm ³)
Poisson	$\sigma = (0,5 * (V_p/V_s)^2 - 1) / ((V_p/V_s)^2 - 1)$	
Kayma Modülü (max.)	$G = (\rho * V_s^2) / 100$	(kg/cm ²)
Elastisite	$E = G * (3 * V_p^2 - 4 * V_s^2) / (V_p^2 - V_s^2)$	(kg/cm ²)
Sıkışmazlık(Bulk)	$K = \frac{M_c}{\rho} = \rho * (V_p^2 - 4/3 * V_s^2) / 100$	(kg/cm ²)
Taşıma Gücü	$Q_U = \rho * (V_p * T_0) / 40$	(kg/cm ²)
Güvenli Taşıma Gücü	$Q_e = \rho * (V_s * T_0) / 40$	(kg/cm ²)
Oturma	$S = ((Q_U + Q_e) / E) * h$	(cm)
Zemin Hakim Titreşim Periyodu	$T_0 = (4 * h) / V_s$	(sn)
Zemin Büyütmesi	$A_k = 68 * (V_{s30})^{-0,6} (V < 1100 \text{ m/sn})$ $A_k = 1.0 (V > 1100 \text{ m/sn})$ (Midorikawa 1987)	
Vs30 (m/sn)	$\frac{30}{N-1} \left(h_1 / V_{s1} + h_2 / V_{s2} + \dots + h_{N-1} / V_{sN-1} + (30 - \sum_{j=1}^{N-1} h_j) / V_{sN} \right)$	

Tablo 6.7: Jeofizik ölçümler ile elde edilen sonuçlar.

Ölçü No :	Tabaka No :	Vp	Vs	Kalınlık	Hız Oranı	Poisson Oranı	Yoğunluk 0,31*Vp^0,25	Kayma Modülü	Elastisite Modülü	Bulk Modülü	Zemin Taşıma Gücü	Zemin Emniyet Gerilmesi	T01 (sn)	T0 (sn)	T02 (sn)	Vs30 (m/sn)	Büyütme (Ak)	
		m/sn	m/sn	h (m)	Vp/Vs	(u)	d (gr/cm3)	G (kg/cm2)	E (kg/cm2)	K (kg/cm2)	Qf (kg/cm2)	Qa (kg/cm2)					Midorika wa (1987)	Borcher dt (1991)
1.	1.tb	221.00	114.00	2.1	1.94	0.32	1.20	155.34	409.69	376.66	1.36	0.70	0.34	0.51	0.76	303.60	2.204	2.306
	2.tb	1277.00	350.00		3.65	0.46	1.85	2270.10	6625.93	27192.97	6.49	1.78						
2.	1.tb	300.00	130.00	5.4	2.31	0.38	1.29	218.04	603.70	870.42	1.68	0.73	0.36	0.55	0.82	330.50	2.094	2.118
	2.tb	1613.00	363.00		4.44	0.47	1.96	2588.71	7628.03	47662.29	7.13	1.60						
3.	1.tb	395.00	142.00	2.6	2.78	0.43	1.38	278.67	794.65	1784.72	1.96	0.71	0.53	0.80	1.20	196.60	2.860	3.561
	2.tb	1589.00	206.00		7.71	0.49	1.96	830.57	2477.52	48311.17	4.03	0.52						
4.	1.tb	303.00	161.00	3.8	1.88	0.3	1.29	335.25	873.87	740.42	2.08	1.11	0.52	0.79	1.18	204.20	2.796	3.428
	2.tb	1274.00	209.00		6.10	0.49	1.85	809.00	2404.62	28981.61	3.87	0.64						
5.	1.tb	353.00	161.00	4.2	2.19	0.37	1.34	348.30	953.42	1209.98	2.16	0.99	0.70	1.04	1.57	192.70	2.895	3.633
	2.tb	1029.00	195.00		5.28	0.48	1.76	667.63	1978.02	17700.55	3.42	0.65						
6.	1.tb	867.00	345.00	5.1	2.51	0.41	1.68	2002.19	5629.88	9975.00	5.80	2.31	0.32	0.48	0.72	408.60	1.844	1.713
	2.tb	1470.00	424.00		3.47	0.45	1.92	3450.82	10039.33	36877.66	8.14	2.35						
7.	1.tb	365.00	116.00	7.2	3.15	0.44	1.35	182.33	526.50	1562.08	1.57	0.50	0.59	0.88	1.32	249.10	2.481	2.810
	2.tb	1131.00	270.00		4.19	0.47	1.80	1310.55	3852.46	21248.61	4.85	1.16						
8.	1.tb	335.00	158.00	4.3	2.12	0.36	1.33	331.08	898.53	1046.93	2.10	0.99	0.83	1.25	1.88	160.70	3.228	4.356
	2.tb	1356.00	160.00		8.48	0.49	1.88	481.58	1437.93	33947.53	3.01	0.36						

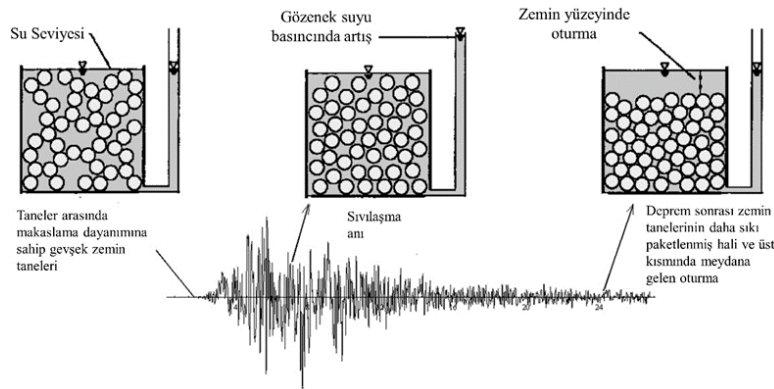
Tablo 6.7: Jeofizik ölçümler ile elde edilen sonuçlar devamı

Ölçü No :	Tabaka No :	Vp	Vs	Kalınlık	Hız Oranı	Poisson Oranı	Yoğunluk 0,31*Vp^0,25	Kayma Modülü	Elastisite Modülü	Bulk Modülü	Zemin Taşıma Gücü	Zemin Emniyet Gerilmesi	T01 (sn)	T0 (sn)	T02 (sn)	Vs30 (m/sn)	Büyütme (Ak)	
		m/sn	m/sn	h (m)	Vp/Vs	(u)	d (gr/cm3)	G (kg/cm2)	E (kg/cm2)	K (kg/cm2)	Qf (kg/cm2)	Qa (kg/cm2)					Midorikawa a (1987)	Borchardt (1991)
9.	1.tb	342.00	178.00	4.2	1.92	0.31	1.33	422.38	1110.23	996.09	2.37	1.24	0.77	1.16	1.74	174.50	3.072	4.011
	2.tb	1005.00	172.00		5.84	0.48	1.75	516.37	1533.53	16940.82	3.00	0.51						
10.	1.tb	361.00	172.00	4.3	2.10	0.35	1.35	399.76	1081.87	1227.97	2.32	1.11	0.49	0.73	1.10	265.70	2.387	2.635
	2.tb	1324.00	288.00		4.60	0.48	1.87	1551.02	4576.04	30712.02	5.39	1.17						
11.	1.tb	662.00	435.00	7.6	1.52	0.12	1.57	2975.46	6665.39	2923.87	6.84	4.49	0.30	0.45	0.68	444.00	1.754	1.577
	2.tb	1240.00	443.00		2.80	0.43	1.84	3610.14	10302.24	23471.75	8.15	2.91						
12.	1.tb	325.00	200.00	4	1.63	0.2	1.32	526.49	1258.57	688.28	2.63	1.62	0.51	0.76	1.14	260.90	2.413	2.683
	2.tb	1046.00	270.00		3.87	0.46	1.76	1285.20	3763.87	17575.32	4.76	1.23						
13.	1.tb	374.00	166.00	5	2.25	0.38	1.36	375.66	1034.82	1406.00	2.26	1.00	0.66	0.99	1.48	202.30	2.811	3.460
	2.tb	992.00	208.00		4.77	0.48	1.74	752.69	2223.46	16116.78	3.62	0.76						
14.	1.tb	613.00	116.00	3.7	5.28	0.48	1.54	207.56	614.97	5519.51	1.79	0.34	0.79	1.19	1.78	173.60	3.082	4.032
	2.tb	1477.00	175.00		8.44	0.49	1.92	588.55	1757.27	41139.76	3.36	0.40						
15.	1.tb	470.00	271.00	6	1.73	0.25	1.44	1060.05	2652.19	1775.07	3.91	2.26	0.39	0.58	0.87	354.40	2.008	1.975
	2.tb	1044.00	358.00		2.92	0.43	1.76	2258.41	6474.28	16194.83	6.31	2.16						

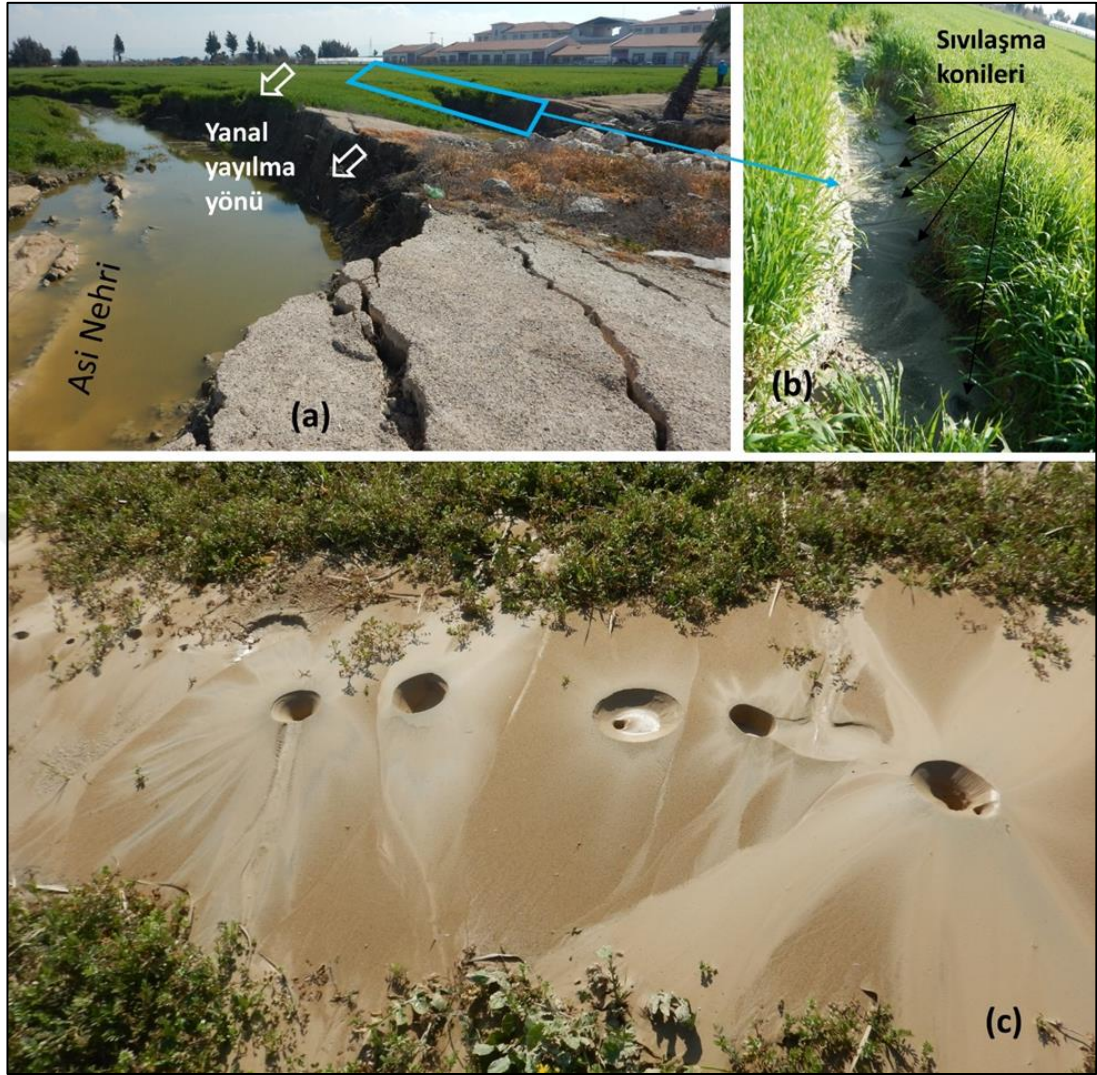
7. ACIPAYAM OVASI ZEMİNLERİNİN SIVILAŞMA AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

7.1 Sıvılaşma Mekanizması ve Analiz Yöntemleri

Gözenekli ve geçirimli zemin ortamlarında dinamik yükler altında boşluk suyu basıncındaki ani artış, zemin taneleri arasındaki makaslama direncinde ani düşmeye neden olur. Tekrarlı dinamik gerilmeler sırasında taneler arasına suyun yerleşmesi, taneler arasındaki makaslama direncinde ani azalmaya neden olur. Makaslama direncini kaybeden zemin içindeki gözenek suyu basıncının örtü yükünden gelen düşey gerilmeye eşit ve büyük olması durumunda zeminde sıvılaşma meydana gelir (Şekil 7.1). Eğer gözenek suyu basıncı örtü yükü basıncından fazla ise düşük eğimli arazilerde ve özellikle akarsu yatağına, göl ve deniz kıyılarına yakın alanlarda kara içinde zeminde metrelerce uzunlukta yarılmalar ve çatlamlar meydana gelir. Taneler arasına yeraltısuyunun girmesiyle makaslama direnci minimuma ve genellikle sıfıra inen zemin taneleri, yüksek basınca sahip gözenek suyu ile beraber çatlaklardan yüzeye fişkirir. Daha sonra fişkıran su zemine geri süzülür. Sıvılaşmış zemin taneleri ise çatlak kenarında birikerek sıvılaşmış zemin sırtı, küçük kraterler ve kum volkanı yapılarını oluşturur (Şekil 7.2). Bu çatlakların sayı ve açıklıklarının fazla olduğu durumlarda akarsu yatağı, göl, deniz kıyısı alanlarında yanal yayılma ve heyelanlar oluşur. Yerleşim yerlerinde zeminde meydana gelen oturmadan dolayı ağır ve yüksek yapılarda zemine gömülme ve düşeyden sapmalar meydana gelir (Şekil 7.3).



Şekil 7.1: Sıvılaşma olgusunun mekanizması (Aydan 2023)



Şekil 7.2: Kahramanmaraş 6 Şubat 2023 depremleri sırasında meydana gelen a) Yanal yayılma, b) Yanal yayılma çatlağı içindeki zemin sıvılaşması, c) Zemin sıvılaşması sonucu oluşan kum kaynama kraterlerinin dizilimi (Resimler Halil KUMSAR’ dan alınmıştır).



Şekil 7.3: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde sıvılaştıran zemindeki kabarmalar ve oturmalar, binalardaki zemine gömülmeler, düşeyden sapmalar ve yapısal hasarlar (resim Halil Kumsar’dan alınmıştır)

Sıvılaşmaya eğilimli zemin, katı zemin taneleri iskeleti ve taneler arasındaki boşlukları dolduran sıvı karışımı olarak kabul edilir (Aydan 2023). Zemin sıvılaşmasının teorik temelleri şu şekilde oluşturulmuştur: Biot (1956). Karışım teorisine dayanarak, ana denklemlerin aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\nabla \cdot (1-n)\sigma_s + (1-n)\rho_s g \mathbf{b} = (1-n)\rho_s \ddot{\mathbf{u}}_s - \xi_{sf} \quad (x1)$$

$$\nabla \cdot n\sigma_f + n\rho_f g \mathbf{b} = n\rho_f \ddot{\mathbf{u}}_f + \xi_{sf} \quad (x2)$$

Burada; g = yer çekimi, n = gözeneklilik, $\rho_s, \mathbf{b}, \sigma_s, \ddot{\mathbf{u}}_s$: katı durum için yoğunluk, cisim vektörü, gerilme tensörü ve yerdeğiştirme vektörüdür. Cisim (body) vektörü $\mathbf{b} = 0\mathbf{e}_1 + 0\mathbf{e}_2 + 1\mathbf{e}_3$ gibi tanımlanır. $\rho_f, \sigma_f, \ddot{\mathbf{u}}_f$ sıvı durum için yoğunluk, gerilme tensörü ve yer değıştirme vektörüdür.

Bu eşitliklerdeki Darcy Yasası ve efektif gerilme aşağıda gibi verilmiştir (Aydan 2001a,b; 2016, 2021).

$$\text{Darcy Yasası } \xi_{sf} = -n \frac{\eta}{k} \mathbf{v}_r \quad x3$$

$$\text{Efektif Gerilme yasası } \sigma = \sigma' - \alpha p \quad x4$$

Burada α Biot katsayısıdır. Bu değer 1 olduğunda Terzaghi'nin efektif gerilmesine eşit olur. Yukarıda değinildiği gibi sıvılaşma olgusunda ana temel parametredir (Aydan 2023).

Zemin sıvılaşma durumu, etkin gerilme tensörü sıfır (etkisiz) olduğunda matematiksel olarak aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\sigma' = 0 \quad x5$$

Bu varsayımda zemin (su ile zeminin ortalama yoğunluğundan oluşan karışım) bir sıvı gibi davranır. Aşırı gözenek suyu basıncı azaldığı durumda, zemin sıvılaşma sonrası özelliklere sahip olacaktır (Aydan 2023).

Ayrıca literatürde açılan jeoteknik zemin sondajlarında her 1.5m'de yapılan Standart Penetrasyon (SPT) ve Konik Penetrasyon (CPT) testleri ve bu seviyelerden alınan zemin örneklerinin tane boyu dağılımı, jeoteknik sondajlardaki yeraltısuyu seviyesi değerleri, bölgenin depremselliği ve sondaj makinasının teknik parametreleri kullanılarak zeminlerin sıvılaşma analizleri farklı görgül yöntemlere göre yapılmaktadır.

Seed Yöntemine göre SPT (N) verilerinin enerji düzeltmesi aşağıdaki eşitlikteki gibi hesaplanır.

$$N_{60} = N \cdot C_N \frac{E_m}{0.60 E_{ff}} \quad x6$$

Burada C_N derinlik düzeltmesi faktörü, E_m ölçülen enerji, E_{ff} serbest düşme enerjisidir.

Seed ve Idris (1982), Tokimatsu ve Yoshimi (1983) ve Aydan ve diğ. (1997, 2000) sırasıyla aşağıdaki eşitlikleri önermişlerdir (Aydan 2023).

$$C_N = 0.777 \log \left(\frac{E_m}{\sigma'_v} \right) ; \quad C_N = \frac{1.7}{0.7 + \sigma'_v} ; \quad C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_v} ; \quad \text{x7}$$

Burada, efektif gerilme (σ'_v) Seed ve Idris (1982) tarafından ton_k/cm², Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından kg_k/cm², Aydan ve diğ. (1997, 2000) tarafından kPa olarak verilmiştir.

Seed ve Idris (1982) tarafından önerilen Sıvılaşmaya Karşı Devirsel Gerilme Oranı (CSRL) fonksiyonu Aydan ve diğ. (1997, 2000) tarafından aşağıdaki gibi düzenlenmiştir.

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.0096 * N_{60} (1 + 0.0011 * e^{0.06 N_{60}}) \frac{2}{1 + \left(\frac{M}{7.5} \right)^3} \quad \text{x8}$$

CSRL zeminin sıvılaşmaya karşı zeminin direnci olarak yorumlanmış ve Barlet ve Youd (1992) CSRL için aşağıdaki eşitliği önermiştir.

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.0013 * M_s * N_{60}^{0.5} \quad \text{x9}$$

Bu eşitlikte ince tane içeriği oranı (FC) hesaba katılmamıştır. Bu nedenle Seed ve diğ. (1985) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik kullanılmaktadır.

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.0096 * N_{60} (1 + 0.0011 * e^{0.06 N_{60}}) \frac{2}{1 + \left(\frac{M}{7.5} \right)^3} + 0.02 FC^{0.3} \quad \text{x10}$$

Deprem kaynaklı sarsıntılar için zemin içindeki Devirsel Stres Oranı (Cyclic Stress Ratio) CSRE aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$CSRE = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \sigma_d \quad \text{x11}$$

Azaltma faktörü r_d , zemin yüzeyinden derinliğe (z) bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$r_d = 1 - \frac{z}{90} \quad (\text{Seed ve Idris, 1971}) \quad \text{x12}$$

$$r_d = 1 - 0.015_z \quad (\text{Yoshimi ve Tokimatsu 1983}) \quad \text{x13}$$

Zeminde sıvılaşmaya neden olacak depremin büyüklüğünü hesaba katmak için Yoshimi ve Tokimatsu (1983) ve Japan Roadway and Bridges Society (1996) aşağıdaki fonksiyonu önermişlerdir (Aydan 2023):

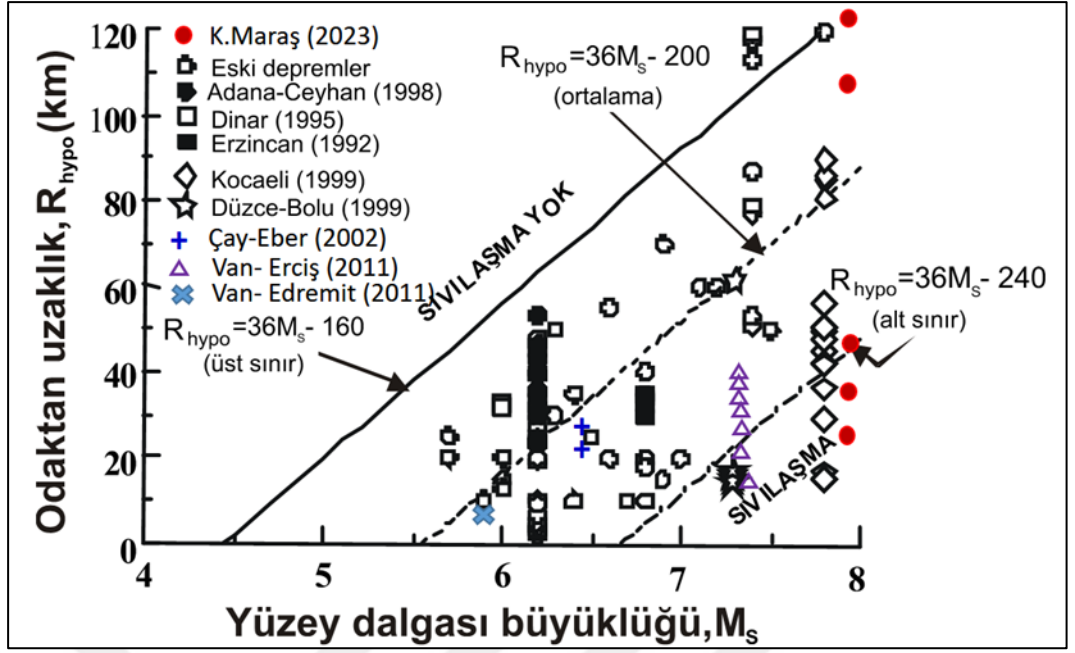
$$CSRE = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_v} = 0.1(M_s - 1) \frac{a_{max}}{g} * \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \sigma_d \quad \text{x14}$$

Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısı $F_L = CSRL/CSRE$ eşitliği ile hesaplanır. $F_L \leq 1$ zeminde sıvılaşma gerçekleşir, $1 < F_L \leq 2$ durumunda zeminde sıvılaşma potansiyeli vardır ve $F_L < 2$ durumunda ise analiz edilen zeminde sıvılaşma gerçekleşmez.

Türkiye'deki depremlerde sıvılaşma gözlenen alanlarının depremin hiposantr (iç merkez) noktasına uzaklığı ve depremin büyüklüğü ile olan ilişkisi Aydan ve Kumsar (1997) ve Aydan ve diğ (2000) tarafından geliştirilmiş ve Ulusay ve diğ. (2023) tarafından son depremlerdeki gözlemler ile genişletilmiştir (Şekil 7. 4). Bu grafikten de görüldüğü gibi sıvılaşma için depremin hiposantr noktasına uzaklık;

$$R_{hypo} = 36M_s - 200 \quad (\text{Ortalama değer}) \quad \text{x15}$$

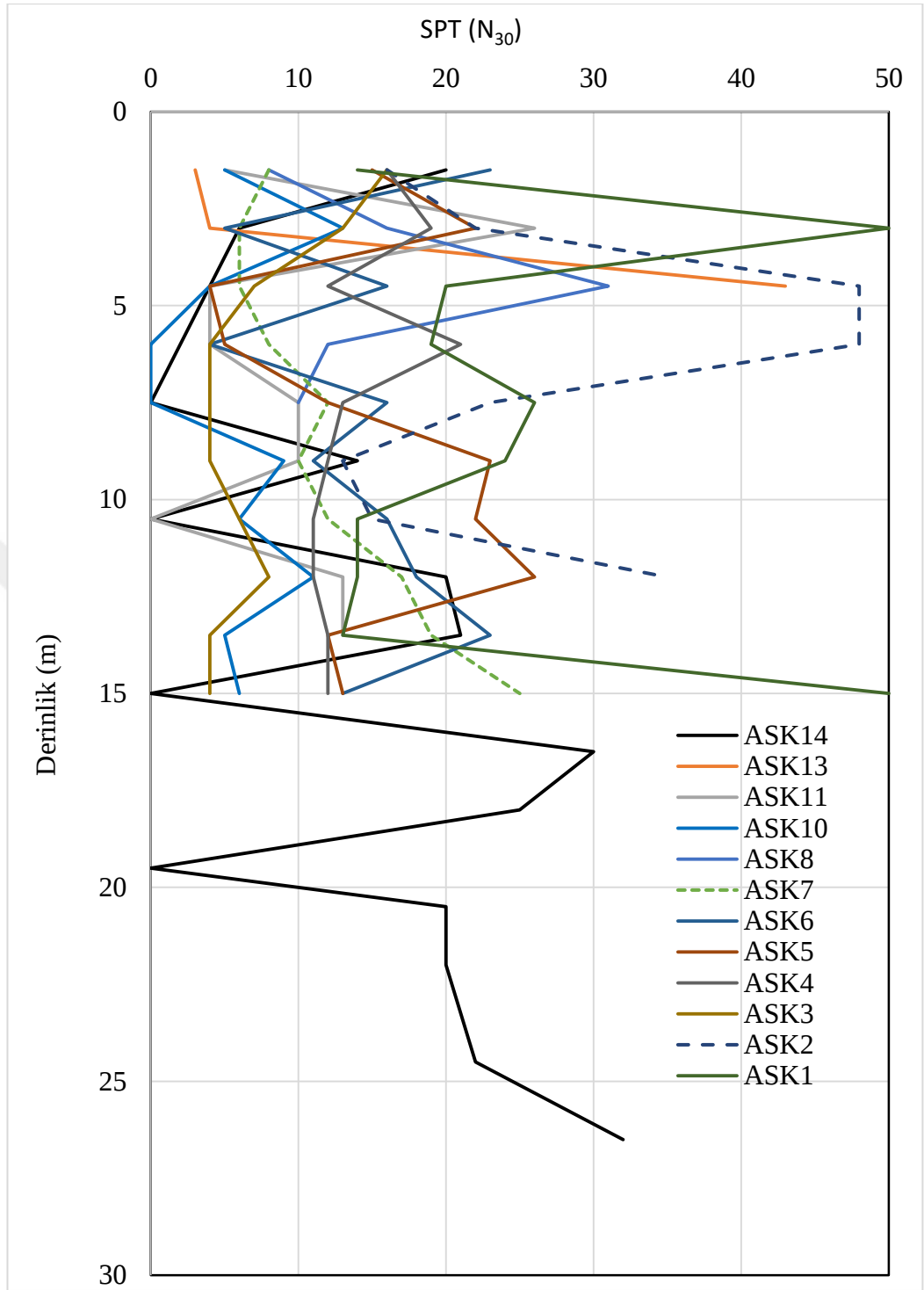
eşitliği ile hesaplanabilir (Aydan ve diğ. 2000)



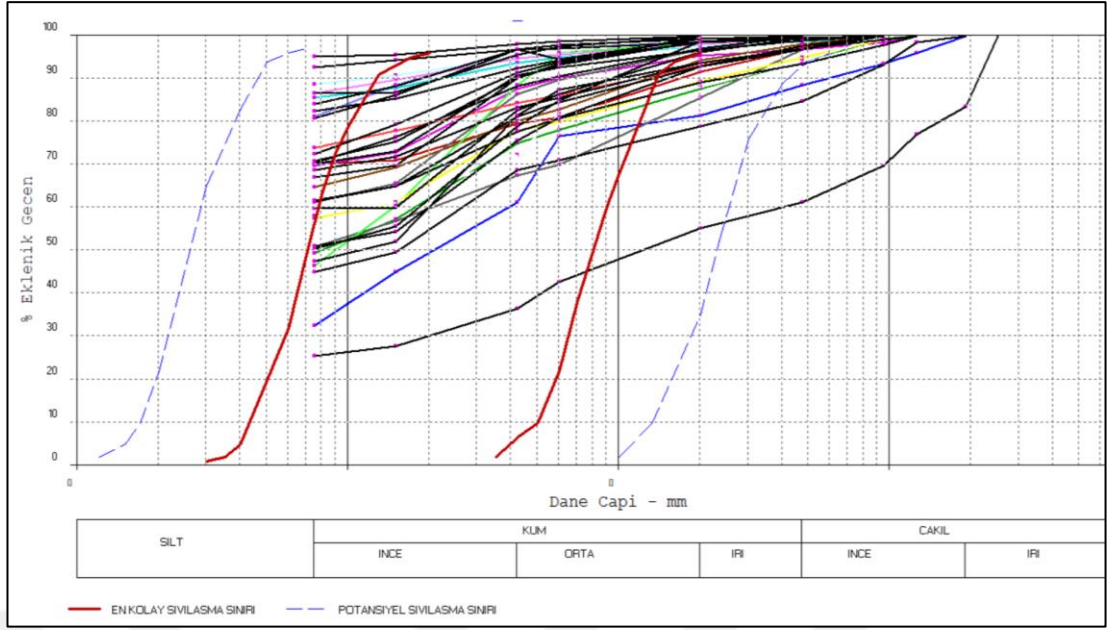
Şekil 7.4: Aydan ve diğ. (2000) tarafından geliştirilen Türkiye'deki depremlerde sıvılaşmanın gözlemlendiği alanların depremin odağına olan uzaklığı ile deprem büyüklüğü (M_s) arasındaki ilişki (Ulusay ve diğ. 2023'den alınmıştır).

7.2 Acıpayam Ovası Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Deneysel İncelenmesi

Çalışma alanında açılan jeoteknik sondajlarda alınan zemin örneklerinin tane boyu dağılım analizleri yapılmış ve ince taneli zeminlerin kıvam limitleri belirlenmiştir. SPT deneylerinde N_{30} değerleri genellikle 25 ve altında olup, A_SK10 sondajında 7.5m'de, A_SK14 sondajında 7.5, 10.5, 15 ve 19.5 m derinliklerde $N_{30}=0$ değerleri elde edilmiştir (Şekil 7. 5). Bu seviyelerde zemin çok zayıf dayanıma sahip olup, sondaj tiji kendi ağırlığı ile derine ilerlemiştir. Tüm zeminlerden alınan zemin örneklerinin tane boyu dağılımları değerlendirildiğinde örneklerin silt+kil miktarları toplam deney örneğinin %45'inden fazladır (Şekil 8.6). Yani ova içinde yeraltısuyu seviyesi yüzeye yakın olsa bile Port and Harbour Research Institute of Japan (1997) tarafından önerilen kolay sıvılaşabilir tane boyu dağılımına sahip zeminler oldukça sınırlıdır.



Şekil 7.5: Acıpayam ovası içinde açılan jeoteknik sondajlarda yapılan SPT-N₃₀ değerlerinin derinlikle değişimi



Şekil 7.6: Acıpayam ovası içinde açılan jeoteknik sondajlardan alınan zemin örneklerinin tane boyu dağılımı grafiği ve sınırları (Port and Harbour Research Institute of Japan, 1997) ile ilişkisi.

Acıpayam Ovası içinde açılan sondajlardan alınan örselenmiş ve örselenmemiş zemin örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi sonrası ova içindeki zeminlerin genellikle killi ve siltli zeminler olması ve yeraltı suyu seviyesinin yüzeye yakın olmasından dolayı suya doymuş killi zeminlerin depremler sırasındaki dinamik davranışını incelemek amacıyla sınırlama model deneyleri yapılmıştır.

7.3 Sınırlama Model Deneyi Çalışması

Pamukkale Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü bünyesinde kurulu olan Şemseddin Terzioğlu Deprem Bilimi ve Mühendisliği Laboratuvarı'na Japonya'nın Nihon Üniversitesi'nden emekli öğretim üyesi ve PAÜ Fahri Profesörü olan Prof. Dr. Hisataka TANO tarafından hibe edilen portatif Sınırlama Test Cihazı üzerinde Acıpayam zeminlerinin sınırlama model deneyleri yapılmıştır.

Acıpayam zeminlerinin tane boyu analizlerinde zemin sınıfı genellikle kil grubu zeminler olduğu için bu zeminlerin deprem sırasındaki davranışı ve bu zeminler üzerinde inşa edilen farklı yapıların ve gömülü alt yapı sistemlerinin depremler sırasında zeminlerde ölçülen farklı yer ivmesi değerlerindeki davranışı model deneyleri ile incelenmiştir.

Yapılan sıvılaşma deneyleri Japonya'nın Ryukyu Üniversitesi Emekli Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Ömer Aydan'ın (PAÜ Fahri Profesörü) yönlendirmesiyle ve emekli Prof. Dr. Naohiko Tokashiki'nin katılımıyla gerçekleştirilmiştir (Şekil 7.7).



Şekil 7.7: Laboratuvarda Portatif deprem sarsma masası üzerinde sıvılaşma model deneyinin öncesinde deney ekibinin ve deney düzeneğinin görünümü

Yapılan model deneyleri boyutları Eni 27cm, boyu 17cm ve derinliği 18cm olan bir şeffaf kap içerisine 5cm kalınlığında suya doymun kil örneği yerleştirilmiştir. Bu kil zemin üzerinde bina modeli ve logar modeli yerleştirilerek bu modellerin sarsma sırasındaki davranışları incelenmiştir (Şekil 7.8).

Deney sırasında bina modeli ve logar modeli üzerine iki ayrı ivme ölçer yerleştirilmiş ve sarsıntı sırasında bu modellerin ivmeleri üç ayrı eksen yönünde (x, y, z) ölçülmüştür. Ayrıca bina ve logar modellerindeki yer değiştirmeler lazer mesafe ölçerler ile eş zamanlı olarak ölçülmüş ve veriler logger kayıt cihazları üzerinde kayıt edilmiştir (Şekil 7.9).

ACIPAYAM OVASI SIVILAŞMA DENEYİ EKİPMANLARI

- 1) Sarsma masası (built by Prof. Tano, University of the Ryukyus)
- 2) İvme ölçerler (accelerometers of QV3-OAM-PT and OAMIT)
- 3) Lazer mesafe ölçerler Ohmron Laser Transducers with GRAPHTECH
- 4) Bina ve logar modelleri
- 5) Killi ıslak zemin modeli



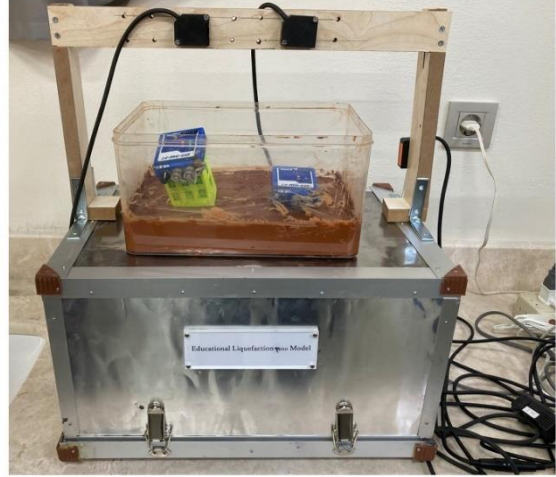
Şekil 7.8: Killi zeminlerin sıvılaştırma model deneyi düzeneği

Test on June 13

Modelin sarma öncesi görünümü



Modelin sarma sonrası görünümü



Sarsma sonrası bina modelinde düşeyden sapma, kısmen zemine gömülme ve logar modelinde zemin yüzeyinden yukarı hareket dikkati çekmektedir.

Şekil 7.9: Killi zemin sıvılaştırma model deney sisteminin deney öncesi ve sonrasındaki görünümü

Yapılan deneyler sırasında killi zemin örneği üzerinde radye temelli bir yapı ve zemin içerisinde gömülü olan ve kapak yüzeyi zemin yüzeyi ile aynı seviyede olan kanalizasyon logar yapısı modellerinin deprem yükleri altındaki davranışları incelenmiştir. Deprem sarsıntısı sonrasında radye temelli bina modelinin düşeyden saptığı ve ağırlık merkezine bağlı olarak kısmen yana yattığı gözlenmiştir. Logar modelinin ise deney öncesi zemin seviyesinde olan kapağının deprem yükleri sonucunda zeminden yüzeye doğru yükseldiği, killi zeminin topoğrafya yüzeyindeki ıslaklığın arttığı gözlenmiştir (Şekil 7.10).

Sıvılaşma model deneyi sonrasında suya doymun kil zeminden örnek alınmış ve model deneyleri sırasında killi zeminin su içeriğinin (w) %44 olduğu hesaplanmıştır.



Şekil 7.10: Sıvılaşma modeli deneyi sonrasında bina ve logar modellerinin konumlarının görünümü.

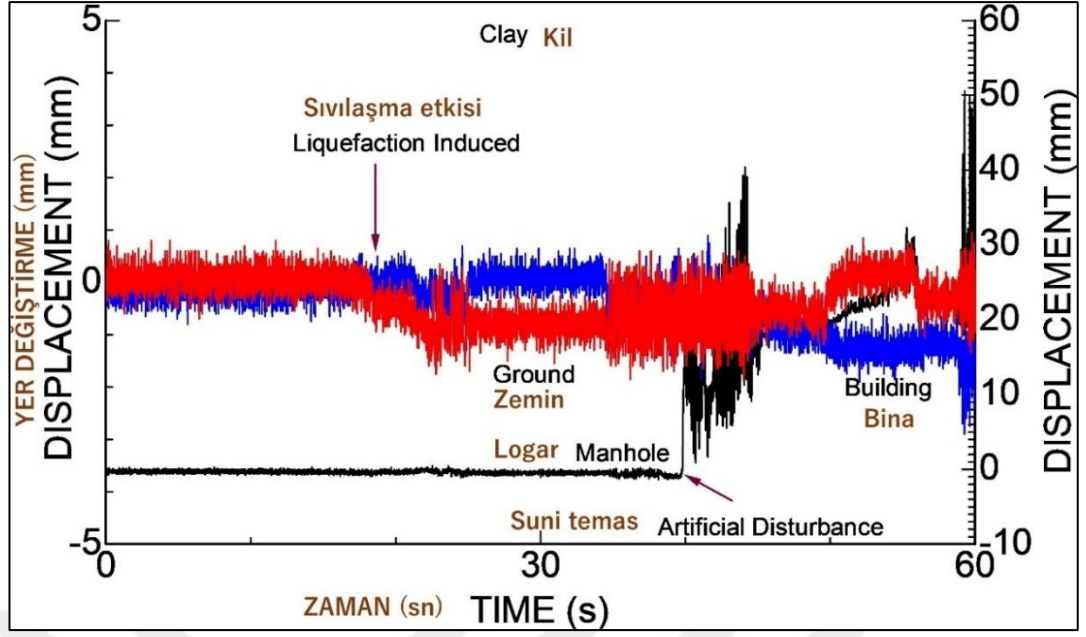
Deney sonuçları değerlendirildiğinde, deney başlangıcından itibaren 17. Saniyede suya doymun killi zeminde, bina ve logar modellerinde yer değiştirmelerin başladığı gözlenmektedir (Şekil 7.11). Bu zemindeki sıvılaşma olgusuna benzer ilk yer değiştirmelerin başladığı an olarak belirlenmiştir. Sarsıntının devamında yer değiştirmeler daha fazla artmış, bina modeli zemine kısmen batmış ve düşeyden sapmış, logar modeli de zemin içinde yüzeye hareket etmiş ve kısmen düşeyden sapmıştır (Şekil 7.10 ve 12). Suya doymun killi zeminin üst yüzeyinin ıslaklığında artma olduğu gözlenmiştir.

Sıvılaşma olgusundakine benzer yer değiştirmelerin gözleendiği andaki bina ve logar modellerindeki ivme kayıt değerleri 600 gal seviyesindedir. Deney sırasında sarsıntının devamında suya doygun killi zemin üzerinde ve içindeki bina ve logar modellerinin sarsıntı kaynaklı kendi salınımlarından dolayı bu modeller üzerine monte edilmiş ivme ölçerlerin kayıtlarında 2000 gal ile 2500 gal değerlerine kadar ulaşan ivme değerleri gözlenmiştir (şekil 7.13). Bu yüksek ivme değerleri zemindeki ivme değeri olmayıp, bina ve logar modellerinin sarsıntı sırasında kendi salınımlarından kaynaklanmıştır.

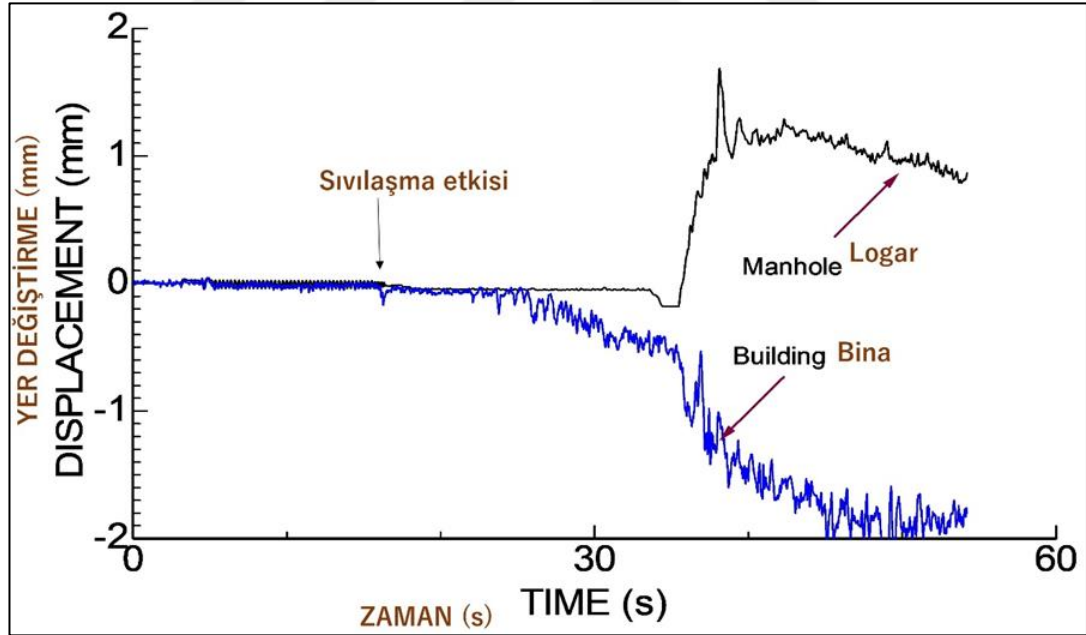
Benzer bir durum, 6 şubat Kahramanmaraş depremleri sırasında bölgede yer alan AFAD' a ait kuvvetli yer hareketi istasyonlarından bazılarının zayıf zeminler üzerinde kurulu olması, zemin hareketinden dolayı istasyonlarda da ilave salınımlar olması, bazılarının da hasar görmesi sonucu ölçülen ivme kayıtlarındaki artış ile benzerlik göstermektedir.

Dolayısıyla killi zeminlerde, kohezyon gerilmelerinin varlığından dolayı zemin taneleri su ile birlikte kum fişkırmaları gibi yüzeye çıkmamaktadır. Ancak, zemin kendi içindeki doygunluk durumuna göre sıvılaşmaya benzer yer değiştirme ve buna bağlı kentsel üst yapı ve altyapılarda yer değiştirmelere neden olmaktadır.

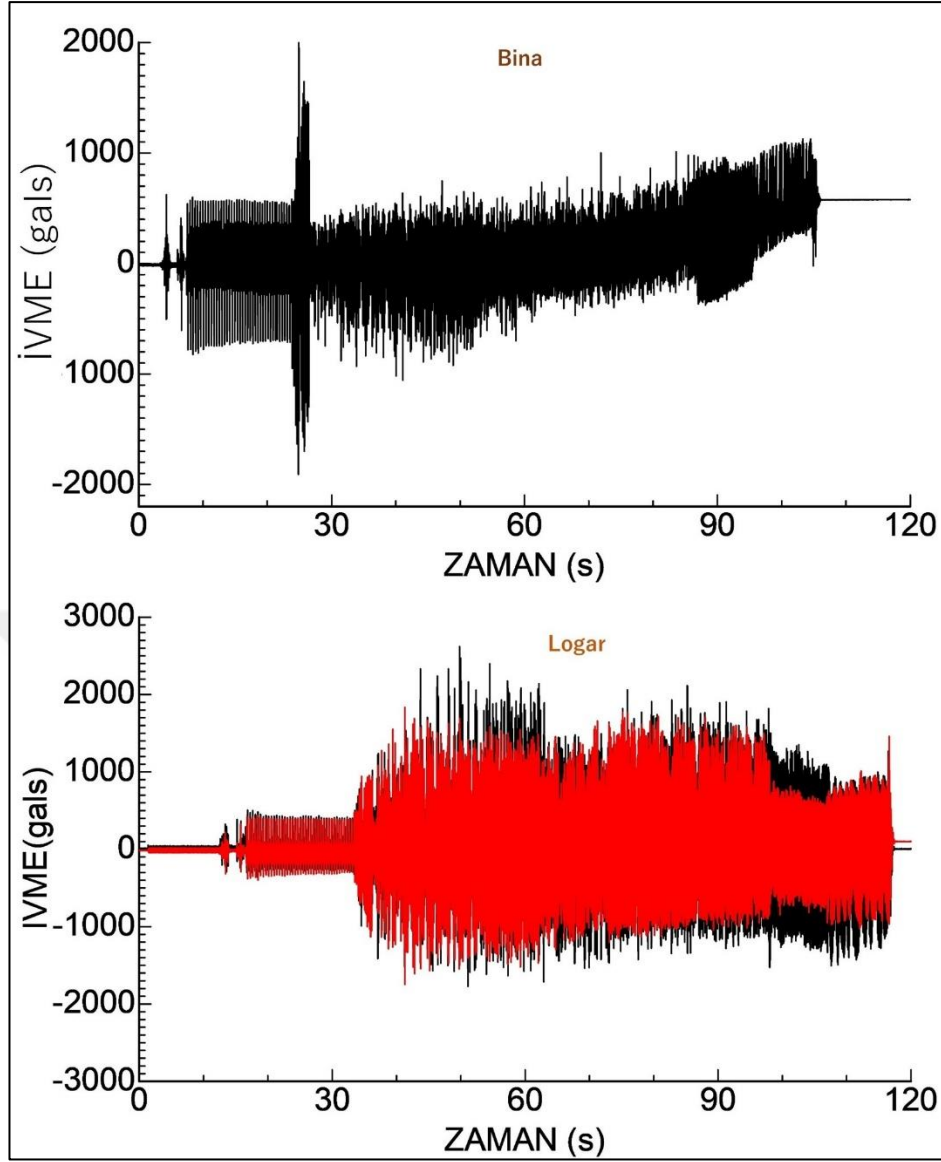
Bu deney sonuçları da göstermektedir ki, Burdur-Fethiye fay zonu içindeki bir genişleme havzasında yer alan Acıpayam ovasındaki suya doygun killi zeminlerde, olası büyük bir deprem sırasında kumlu zeminlerde gözlenen sıvılaşmaya benzer bazı zemin hareketleri meydana gelebilecektir. Dolayısıyla bu alanlardaki kentleşmede yapı projelerinde bu sonuç önemle dikkate alınmalı ve mühendislik projelerinde gerekli mühendislik önlemleri alınmalıdır.



Şekil 7.11: Sıvılaşma model deneyi sırasında zeminde (ground), loggar (manhole) ve bina (building) modellerindeki yer değiştirme ölçümleri ve sıvılaşma (liquefaction) anının belirlenmesi



Şekil 7.12: Sıvılaşma modeli sırasında bina ve loggar modellerindeki yer değiştirme



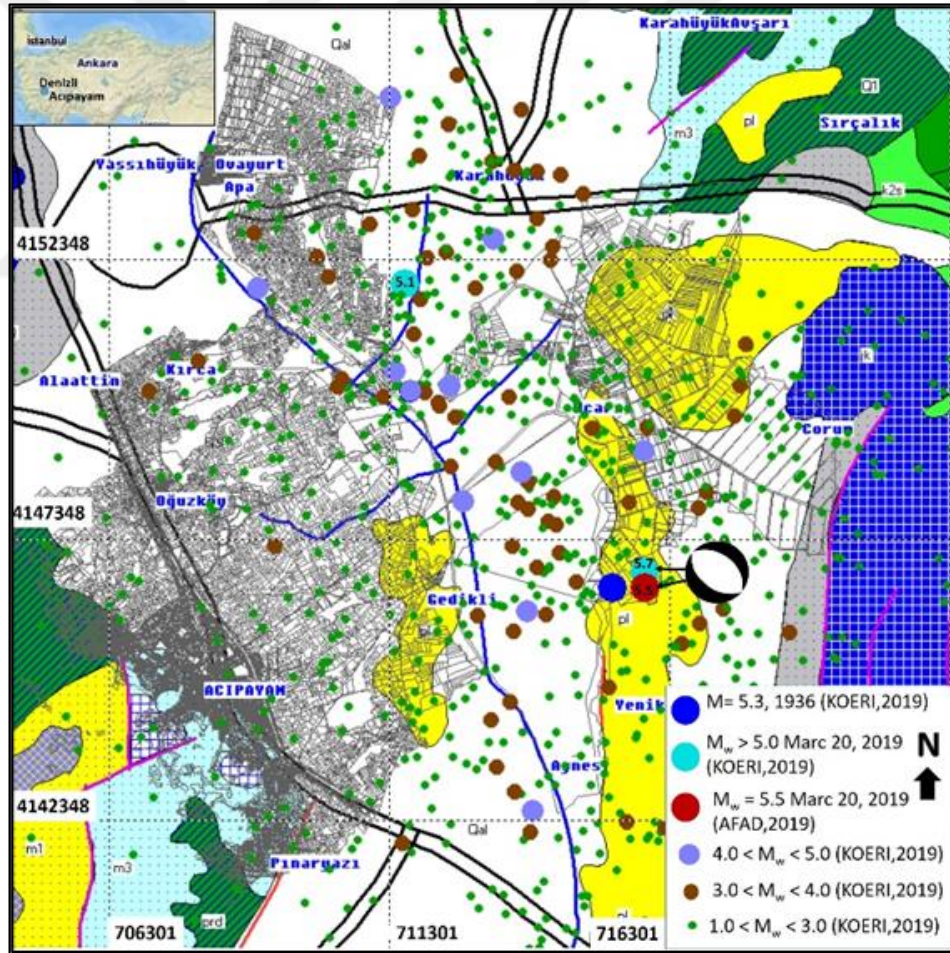
Şekil 7.13: Sıvılaşma deneyi sırasında bina ve logar modellerindeki ivme değişimleri

7.4 20 Mart 2019 Mw=5.5 Acıpayam Depreminin Zemin Sıvılaşması Açısından Değerlendirilmesi

Aydan ve Kumsar (1997) ve Aydan ve diğ. (2000) tarafından yapılan çalışmalarda, Türkiye’de meydana gelen sıvılaşma olguları ile depremlerin büyüklük (M_s) ve uzaklıkları (R) arasındaki ilişkiler incelenmiş eşitlik x15’de verilen bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntıda eğer R değeri 0’dan küçük ise sıvılaşma meydana gelmemektedir. 20 Mart 2019 Acıpayam depremleri için yapılan değerlendirmede, deprem büyüklüğü $M_w = 5.56$ için $R = -2$ km elde edilmiştir. Yani bu depremde zemin yüzeyinde gözlenecek bir sıvılaşma meydana gelmemektedir.

Aynı depremde Acıpayam kuvvetli yer hareketi istasyonunda ölçülen maksimum yer ivmesi K-G yönünde 361.23 cm/sn^2 'dir (AFAD 2019). Ömer Aydan tarafından ivme kaydı kullanılarak EPS Yöntemi (Ohta and Aydan 2007; Aydan 2023)'nden hesaplanan en yüksek yer hareketi hızı KG yönünde 32 m/sn ve aynı yöndeki kalıcı yer değiştirme 3.22 cm 'dir. Depremden hemen sonra arazide yapılan incelemelerde zemin yüzeyinde sıvılaşma olgusuna rastlanmamıştır (Kumsar ve diğ. 2020). Zemin içinde bazı yer değiştirmeler meydana gelmiş, ancak yüzeye kadar çıkamamış olabilir.

Yapısal hasarlar değerlendirildiğinde, çoğunlukla suya doymun killi alüvyon birimlerinin yayılım gösterdiği kırsal yerleşim yerlerinde yığma yapılarda ağır hasar, betonarme yapılarda ise hafif ve orta derecede hasarlar meydana gelmiştir (Şekil 7.15 ve 16a-16b).



Şekil 7.14: 20 Mart 2019 Acıpayam depremlerinin episantır dağılımları (Kumsar ve diğ. 2020), b) AFAD Acıpayam kuvvetli yer hareketi istasyonunda alınan ivme kayıtları, EPS yöntemine göre hesaplanan hız ve yer değiştirme grafiği (AFAD 2019 ve bu çalışma).



Şekil 7.15: Kırca mahallesinde delikli tuğla ile yapılmış tek katlı binadaki ağır hasar ve tamamen yıkılmış kerpiç yapı.



Şekil 7.16: a) Oğuz mahallesinde betonarme binanın delikli tuğla ile yapılmış çatı katındaki ağır hasar, **b)** Ağır hasarlı yığma cami binası ve devrilmiş minaresi.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

Acıpayam Ovası içindeki zeminler genellikle alüvyonal bir zemin yapısına sahip olup, genellikle siltli ve kumlu kil birimlerden oluşmaktadır.

Ova içinde imar planına esas yapılmış jeolojik ve jeoteknik etüt rapor verileri derlenmiştir. Bu raporlarda yer alan 82 jeoteknik sondaj, 85 gözlem çukuru, sondaj ve gözlem çukurlarından alınmış zemin örnekleri üzerinde yapılmış zemin mekaniği deney sonuçları ve sondajlardaki yeraltısuyu seviyeleri, 99 sismik kırılma ve 70 mikrotömör ölçüm verileri KUMSAR-GIS programındaki JEOKBS Modülü sayısal veri tabanına aktarılmış ve Acıpayam Ovası Jeolojik Jeoteknik Coğrafi Kent Bilgi Sistemi (ACIPAYAM JEOKBS) oluşturulmuştur.

Ayrıca, DSI tarafından Acıpayam ve Serinhisar İlçeleri kapsayan alanda açılmış olan 87 adet yeraltısuyu arama ve işletme su sondajı verileri de yine KUMSAR-GIS programındaki YAS-CBS Modülü sayısal veri tabanına aktarılmış ve Acıpayam Ovası Yeraltısuyu Coğrafi Bilgi Sistemi (ACIPAYAM YAS-CBS) oluşturulmuştur. Ovanın yeraltı jeolojik modeli YAS-CBS programında alınan kesitlerden ve su sondajı verilerinden çıkarılmıştır.

Acıpayam ilçe merkezi ve ovasını içeren çalışma alanında yapılan bu tez çalışmasında jeoteknik sondaj verileri, laboratuvar deney ve jeofizik ölçüm sonuçları JEOKBS sayısal veri tabanına aktararak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmalardan edilen verilere göre, ovanın jeoteknik zemin özellikleri değerlendirildiğinde;

Zemin yüzeyinde 10m derinlik için sismik makaslama dalgalarının zemindeki yayılma hızları (Vs) ova içerisinde 114 m/sn ile 200 m/sn arasında ova kenarlarına yaklaştıkça 200m/sn ile 350 m/sn arasında değişmektedir. Aynı seviyedeki zeminlerin büyütme faktörü değerleri de ova içindeki alanlarda 2.8 ile 4.0 arasında değişmektedir.

Kayma dalgası hızları ve zemin büyütme faktörü değerlerinin zemin yüzeyinden itibaren birinci tabaka kalınlığı için elde edilen değerlendirme haritaları kentleşme açısından daha gerçekçi ve kullanışlı sonuçlar vermektedir. Bu sonuç, 20

Mart 2019 Acıpayam depreminde ($M_w=5.5$) meydana gelen yapısal hasarların dağılımı ile uyum göstermektedir.

Yapılan jeofizik çalışmalardan Remi ölçümlerinde 60m derinliğe kadar olan kayma dalgası hızı V_{s30} değerleri dikkate alındığında elde edilen sonuçlara göre, V_{s30} değerleri 155.2 ile 413.1 (m/sn) değerleri arasında olduğundan 60 m derinliğe kadar olan ova zemininin, genel olarak orta sıkı- sıkı kum, çakıl, kil tabakalarından oluştuğu görülmektedir. Çalışma alanına ait “Zeminin Depremi Büyütme Değerleri (Spektral Oran H/V)” incelendiğinde ise Büyütme Değerinin 0,83 ile 5,43 arasında olduğu hesaplanmıştır. Bu değer bize inceleme alanındaki zeminin, oluşması muhtemel bir deprem dalgasını ortalama 0,83-5,43 katı kadar büyütebileceği bilgisini vermektedir. Bu bölgede hazırlanacak inşaat projeleri kapsamında yukarıda verilen deprem büyütme değerleri mutlaka hesaplarda göz önüne alınmalıdır. Ayrıca yer etkin titreşim periyodu değerleri dikkate alınarak projelendirmeler yapılmalı ve yapının doğal periyodu ile yer etkin titreşim periyodunun rezonans oluşturması mutlaka engellenmelidir.

Acıpayam Ovasının iç kesimlerinde zemin yüzeyinden 3m den sonraki derinlikte SPT değerleri (N) 0 ile 10 arasında, ova kenarlarında 10 ile >50 arasında değişmektedir. Ova içinde SPT değerlerinin çok düşük, yeraltısuyunun suyunun yüzeye yakın ve zeminin suya doygun olması ova içindeki yapıların dinamik yükler karşısındaki davranışını olumsuz etkileyecektir. Ova içindeki kentleşme projelerinde ve yapılaşmada gerekli mühendislik önlemleri alınmalı ve yapılar projelendirilmelidir.

Ovanın doğusunda Uçarı ve Yeniköy mahallelerinde açılan sondajlardan alınan gölgesel kireçtaşı birimden alınan karot örneklerinin tek eksenli sıkışma dayanımı deneyi sonuçlarında 8.67 – 30.49 MPa dayanım değerleri arasındadır. Bu sonuçlar değerlendirildiğine, SK-9 Uçarı Mahallesi ve SK-12 Yeniköy Mahallesi sondajlarından elde edilen kaya türleri ISMR (1981) kaya sınıflaması tanımına göre “zayıf kaya” sınıfındadır.

Sondajlarda yapılan yeraltısuyu seviye ölçümlerinde, ova içinde yeraltısuyu zemin yüzeyinden 1.7m ile 5.5m arasındaki derinliklerde değiştiği, ova kenarlarında ise daha derinlerde olduğu belirlenmiştir.

Çalışma alanındaki zeminler genellikle birleştirilmiş zemin sınıfına göre CL, CH sınıfındadır. Bazı sondajlarda SC grubu zeminlerin varlığı belirlenmiştir. Dolayısıyla, ince tane içeriği değerlendirildiğinde, kum tane boyu dağılımında kolay sıvılaşabilir zeminler gözlenmemiştir. Zemin yapısının genellikle killi, siltli ve ince tane oranının yüksektir. Ancak bu zeminler yeraltısuyunun yüzeye yakın olmasından dolayı suya doymuş zeminlerdir.

Jeoteknik sondajlarda SPT değerlerinde sıfır değerler elde edilmiştir. Bu sondaj noktalarında zemin tamamen suya doymuş olduğu için sondaj tiji kendi ağırlığı ile ilerlemiştir. Olası bir büyük deprem sırasında bu zeminler bir sıvı gibi davranacak ve eğer su basıncı örtü yükü (jeolojik yük) basıncını yener ise sıvılaşmış zemin yüzeye çıkacaktır.

Zemin örneklerinin kıvam limit değerleri kullanılarak yapılan değerlendirmede, çalışma alanındaki zeminler düşük ve orta derecede şişme potansiyeline sahiptirler. Bazı örneklerde yüksek şişme potansiyeline sahip zeminlerin varlığı belirlenmiştir. Ova içindeki yerleşim alanları zeminlerinin şişme basıncı değerleri 0 kPa ile 0.5 kPa arasında, şişme yüzdesi değerleri %0 ile %6.2 arasında değişmektedir. Şişme basıncı ve şişme yüzdesi değerlerinin en yüksek olduğu alanlar Yassıhüyük ile Oğuz köyleri arasındaki yerleşim yerleridir. Bu alandaki alüvyon birimleri bünyesinde genellikle ofiyolitik ve volkanik kayaların vardır. Bu tür kayaların aşınması, taşınması ve birikmesi ile oluşan kil minerallerinde şişme basıncı karbonatlı killere oranla daha fazladır.

Acıpayam Ovası zeminlerinin genellikle CL ve CH grubu suya doymuş killi zeminler olmasından dolayı bu zeminlerin deprem sırasındaki davranışı Pamukkale Üniversitesi Şemseddin Terzioğlu Deprem Bilimi ve Mühendisliği Laboratuvarında sıvılaşma model Deneyi Prof. Dr. Ömer Aydan'ın katılımıyla yapılmıştır. Deneylerde killi zeminin su içeriği %44'olarak elde edilmiştir. Japonya'nın Nihon Üniversitesi öğretim üyesi Prof. Dr. Hisataka Tano tarafından PAÜ Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne hibe edilen sıvılaşma model deneyi cihazı üzerinde yapılan sarsma deneylerinde, bina modeli zemine kısmen batmış ve düşeyden sapmıştır. Logar modeli de zemin içinde yüzeye doğru hareket etmiş ve kısmen düşeyden sapmıştır. Suya doymuş killi zeminin üst yüzeyinin ıslaklığında artma olduğu gözlenmiştir.

Dolayısıyla, yeraltısuyu içeren kumlu zeminlerde sıvılaşma sonucu binalarda ve kentsel altyapı elemanlarında gözlenen yer değiştirmeler, suya doymun killi zeminler üzerindeki kentleşme alanlarında da meydana gelmektedir. Bu da, Acıpayam ovası gibi suya doymun killi zeminlerde kuvvetli depremler sırasında sıvılaşmaya benzer zemin hareketlerinin olabileceğini göstermektedir.

Dolayısıyla, ova içindeki kırsal yerleşim yerlerindeki kentleşme ve sanayileşme projelerinde, mevcut sanayi tesislerinde suya doymun killi zeminlerde sıvılaşma olgusuna benzer zemin hareketlerinin meydana gelebileceği ve zemin büyütme faktörünün yüksek olduğu gerçeği dikkate alınmalıdır.

Deprem yükleri altında sadece kumlu ve kumlu siltli zeminlerin sıvılaşabileceği olgusu yaygın olarak bilinmektedir. Ancak, bu çalışmada laboratuvarında yapılan model deneylerinde suya doymun killi zeminlerde de sıvılaşma olgusuna benzer zemin hareketlerinin gelişebileceği de deneysel olarak ortaya konmuştur. Bu konunun ileri çalışmalarda model deneyleri ve arazi uygulamaları ile ayrıntılı olarak araştırılması önerilmektedir.

9. KAYNAKLAR

AFAD. www.deprem.afad.gov.tr (24.03. 2019).

Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ.H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M.F., Yurtsever, A. ve diğerleri., Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara, Türkiye, (2002).

Alçıçek, M. C., “Çameli Havzası’nın (Geç Miyosen, Pliyosen, Denizli, GB Anadolu) Sedimentolojik İncelemesi”. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Jeoloji Müh. Bölümü, Ankara, (2001).

Alçıçek, M. C., Kazancı, N., Özkul, M., Şen, Ş., “Çameli (Denizli) Neojen Havzasının Tortul Dolgusu ve Jeolojik Evrimi”, MTA Dergisi 128, 99–123, (2004).

Alçıçek, M. C., Kazancı, N., Özkul, M. “Multiple rifting pulses and sedimentation pattern in the Çameli Basin, southwestern Anatolia, Turkey”. Sedimentary Geology, 173, 409–431, (2005).

Alçıçek, M. C., “Tectonic development of an orogen-top rift recorded by its terrestrial sedimentation pattern: The Neogene Eşen Basin of southwestern Anatolia, Turkey”, Sedimentary Geology, 200, 117–140, (2007).

Alçıçek M. C., ten Veen J. H., “The late Early Miocene Acipayam piggy-back basin: refining the last stages of Lycian nappe emplacement in SW Turkey”, Sedimentary Geology, 208, 101–113, (2008).

ASTM, (American Society for Testing Materials), “Construction: Soil and Rock ASTM Publication”, Annual Book of ASTM Standards, V.04.08,978 pp, (1994).

ASTM, (American Society for Testing Materials), “Construction: Soil and Rock ASTM Publication”, Annual Book of ASTM Standards, Part 19, Philadelphia, 1624 pp, (2000).

ASTM D4546, “Standard test method for one dimensional swell or settlement percent of cohesive soils”, Annual Book of ASTM Standards, www.astm.org (2008).

Atterberg, A.,Über die Pysikalsishe Bodeuntersuchung und über die Plastizitat der Tone, Int. Mitt. Für. Bodenkunde, Vol.1, 10-43 pp, (1911).

Aydan, Ö., “A finite element method for fully coupled hydro-thermo-diffusion problems and its applications to geo-science and geo-engineering”. 10th IACMAG Conference, Austin, 781–786, (2001a).

Aydan Ö., “Modelling and analysis of fully coupled thermo-hydro-diffusion phenomenon” a. IS-SHIZUOKA, Shizuoka, 353–360, (2001b).

Aydan, Ö., “Time Dependency in Rock Mechanics and Rock Engineering”, CRC Press, Taylor and Francis Group, 241p.i (2016).

Aydan, Ö., “Continuum and Computational Mechanics for Geomechanical Engineers”. CRC Press, Taylor and Francis Group, ISRM Book Series No 7, 324p., (2021).

Aydan, Ö., “Earthquake Science and Engineering”. CRC Press, Taylor and Francis Group, 4991p., (2023).

Aydan, Ö., Kumsar, H., “A new liquefaction assessment method and its applications”. The 2nd Symposium on Geotechnical and Earthquake Problems of Izmir and its Environment, Izmir, Turkey, 1–10., (1997).

Aydan, Ö., Ulusay, R., Kumsar, H., “Liquefaction phenomenon in the earthquakes of Turkey, including recent earthquakes of Turkey, Recent Erzincan, Dinar and Adana-Ceyhan earthquakes”. 12th WCEE, Auckland, New Zealand, (2000).

Bailey A. D., “Near surface fault detection by magnetometer”. Calif. Geol. 27, 5, 274-277, (1974).

Bartlett, S. F., Youd, T. L., “Empirical analysis of horizontal ground displacement generated by liquefaction-induced lateral spreads”, Technical Report, NCEER 92-0021, National Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, New York, 5–15. (1992).

Becker-Platen, J. D., Lithostratigraphische Untersuchungen im Kanozoikum Südwest Anatoliens (Turkei)- (Kanozoikum und Braunkohlen der Turkei)-Beihefte zum. Geol. Jahrb. 97. 244 pp., Hannover (1970).

Biot, M., “Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid”. *J. Acous. Soc. Am.*, 28, 168–191, (1956).

Bozcu, M., Yağmurlu, F., Şentürk, M., “Fethiye-Burdur Fay Zonunun Bazı Neotektonik ve Paleosismolojik Özellikleri, GB-Türkiye”. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 31, 1, 25–48, (2007).

Bowles, J.E., Foundation Analysis and Design. McGraw Hill Book Company, Singapore, 1004 p, (1988).

BSI (British Standards Institution), British Standard Code of Practice for Site Investigation, British Standards Institution, BSI, 1377p, (1990).

Büyükmeriç, Y., “Kale-Tavas ve Acıpayam Havzaları’nda Erken Miyosen Çökellerinin Mollusk Biyostratigrafisi (Denizli, GB Türkiye)”, Maden Tetkik ve Arama Dergisi 155, 49–73, (2017).

Chen, F.H., “Foundations on Expansive Soils”, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, (1975).

Chen, F.H., “Foundation Expansive Soils”, 2nd edition. New York, Elsevier Scientific Pub. Co., 280p, (1988).

Dakshanamurthy, V., Raman, V., “A simple method of identifying an expansive soil. Soils and foundations”, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 13, 1, 97–104, (1973).

DDB, “20 Mart 2019 Acıpayam (Denizli) Mw 5.5 Depremine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu”, www.deprem.gov.tr (2019).

Dikmen Ü., Başkur A. T, Akkaya, İ., Arısoy, M. Ö., “Yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi yönteminde uygun atış mesafesinin seçimi”. Yerbilimleri 31, 1, 3–32, (2009).

Douglas, D.J., The standard penetration test. In: Proceedings of an Extension Course on In-situ Testing for Geotechnical Investigations, Sydney, Australia, M.C. Ervin (ed.), Balkema, 21-31pp, (1983).

DSİ, “Acıpayam Ovası Hidrojeolojik Etüt Raporu”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 28 s, (1974).

DSİ, “Batı Akdeniz Havzası Master Plan Raporu”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 369 s, (yayınlanmamış), (2015).

DSİ, “Teknik Araştırma Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı Deney Föyleri”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, (2005).

Elitez, İ., “Çameli ve Gölhisar Havzalarının Miyosen-Kuvaterner Jeodinamiği, Burdur-Fethiye Fay Zonu, GB Türkiye”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Yüksek Lisans Tezi, 72 s, (yayınlanmamış), (2010).

Elitez, İ. ve Yaltırak, C., “Miocene to Quaternary tectonostratigraphic evolution of the middle section of the Burdur-Fethiye Shear Zone, south-western Turkey: Implications for the wide inter-plate shear zones”, *Tectonophysics*, 690, 336–354, (2016).

Elitez, İ., Yaltırak, C., Kürçer, A., Özdemir, E., Uygun, G. U., “A critical review of the Kibyra Fault (Burdur-Fethiye Shear Zone, SW Turkey)”, *Geodinamica Acta*, 29, 1, 91–102, (2017).

Elitez, İ., Yaltırak, C. Sunal, G., “A new chronostratigraphy (^{40}Ar - ^{39}Ar and U-Pb dating) for the middle section of the Burdur-Fethiye Shear Zone, SW Turkey (eastern Mediterranean)”, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 27, 5, 405–420, (2018).

Elitez, İ., “Miocene to Quaternary Geodynamic Evolution of the Burdur-Fethiye Shear Zone, South-Western Turkey”. PhD Thesis. İstanbul Technical University, Graduate School of Science Engineering and Technology, İstanbul, (2019).

Elmas, G., Seyitoğlu, G., Kazancı, N., Işık, V. "Syn-sedimentary tectonic markings in the Oligocene Datça-Kale-Acı Göl basin, Western Anatolia". *Bull. Min. Res. Exp.*, 160, 1–20, (2019).

Ersoy, Ş., “Batı Toros (Likya) Napları'nın Yapısal Ögelerinin ve Evriminin Analizi”, *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 37, 5–16, (1990).

Erten, H., Acıpayam-Çameli Bölgesi'nin Stratigrafisi ve Mikromemeli Araştırması, Yüksek lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, Türkiye, (2002).

Göktaş, F., Denizli M22-b1, b2, b3, paftalarının jeolojisi; MTA Rap. No. 9114, (yayınlanmamış), Ankara, (1990).

Hançer, M., Kenanoğlu, N., Erdal Akyol, E., “New geologic paleoseismological observations along the Acıpayam–Serinhisar fault zone, SW Anatolia”. *Natural Hazards*, doi.org/10.1007/s11069-022-05762-5, (2022).

ISMR, Suggested Methods: Rock Karakterization, Testing and Monitoring. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211 p., (1981).

İşçi, A., “Acıpayam Ovası Revize Hidrojeolojik Etüt Raporu”, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 115 s., (yayınlanmamış), Ankara, (2012).

Japan Roadway and Bridges Society. “Roadway and Bridges Design Standard”, Chapter V: Earthquake Resistance Design., (1996).

Kanai, K. and Tanaka, T., “On Microtremors. 8”. *Bullutein of the Earthquake Research Institute*, 39, 97–114, (1961).

Kanbur, Z., Kanbur, S., “İsparta Şehir Merkezi Kuzeyinin Sismik Kırılma-Mikrotitreşim (ReMi) Tekniği ile S-Dalgası Hız Dağılımı”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13 (2), 156–172, (2009).

Kara, H., “Acıpayam (Denizli) Ovasının ve Civarındaki Neojen Havzalarının jeolojik Etüdü”, MTA Rap. no: 6153, (yayımlanmamış) Ankara, (1976).

Kaymakcı, N., Langereis, C., Özkaptan, M., Özacar, A.A., Gülyüz, E., Uzel, B., Sözbilir, H. “Paleomagnetic evidence for upper plate response to a STEP fault, SW Anatolia”. *Earth and Planetary Science Letters*, 498, 101–115, (2018).

Kenanoğlu, N., “Acıpayam-Serinhisar Fayının Jeolojik ve Paleosismolojik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, (2021).

Keçeli A. D., “The determination of the Bearing Capacity by means of the seismic method”. (in Turkish). *Jeofizik*, 4, 83–92, (1990).

Keçeli A., Cevher, M., “Zemin Hakim Periyodu ve Bina Yüksekliği Rezonans İlişkisi, Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi, 17, 2, 203–224, (2019).

KOERI., Kandilli Observatory and Research Institute. www.koeri.boun.edu.tr, (2019).

Konak, N., Şenel, M., Türkiye Jeoloji Haritası Denizli Paftası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, (2002).

Kondakcı, D., “Acıpayam Kuzey Doğusunun sınırlama potansiyelinin belirlenmesi”, Tezsiz Yüksek Lisans Bitirme Projesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 59 s., (2017).

Kumsar, H., Çelik, S. B., Kaya, M., “Kentleşmeye Yönelik Mühendislik Jeolojisi Uygulamalarında Jeolojik ve Jeoteknik Bilgi Sistemlerinin Önemi ve Denizli Örneği”, 56. Türkiye Jeoloji Kurultayı, Bildiriler kitabı, 14-20 Nisan 2003, Ankara, s 248-250. (2003).

Kumsar, H., Çelik, S. B., Kaya, M., “Denizli il Merkezi Yerleşim Alanının Jeolojik, Jeoteknik Kent Bilgi Sistemi (JEO-KBS)”, Pamukkale Üniv. Mühendislik Bilimleri Dergisi, Denizli, Özel Sayı (ISSN 1300-7009), s 25-31.(2004).

Kumsar, H., Çelik, S.B., Kaya, M. Topaloğlu, S., “Geological-Geotechnical Urban Information System for Denizli, (Denizli için jeolojik-jeoteknik kent bilgi sistemi)”, Mühendislik Jeolojisi Büleni-Bulletin of Engineering Geology, ISSN 1305-6859,v. 21, pp 35-47.(2005).

Kumsar, H., Özkul, M., Semiz, B., “20 Mart 2019 Acıpayam-Yeniköy (Denizli) Mw Depremlerinin Ön Değerlendirme Raporu”, (yayımlanmamış), 21 s, (2019).

Kumsar, H., Özkul, M., Semiz, B., “Geotechnical site investigation and evaluation of 20 March 2019 Mw 5.5 Acıpayam (Denizli) earthquake”, *Pamukkale Univ. Müh. Bilim Dergisi*, 26, 8, 1343–1352, (2020).

Kumsar, H., Sarayköylü, T., “Yeraltısuyu Sondaj Coğrafi Bilgi Sistemi Geliştirilmesi-Acıpayam Ovası (Denizli) Uygulaması”, Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu Bildirileri Kitabı, (İTÜ) İstanbul, 353–361, (2021).

Kumsar, H., Sarayköylü, T., “A Geological and Geotechnical Information System (GEO-GIS) for Urban Planning and Its Application to Acıpayam Basin (Denizli-Turkey) with some observations from Mw 5.5 earthquake on 20 March, 2019”, *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 57, (2023).

Kumsar, H., Sarayköylü, T., “Acıpayam Ovası Yerleşim Yeri Zeminlerinin Jeolojik ve Jeoteknik Açısından İncelenmesi”, Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu Bildirileri, 6–8 Haziran 2024, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, 353–361, (2024).

Kürçer, A., Özdemir, E., Uygun Göldoğan, C., Duman, T. Y., “The first Paleoseismic trench data from Acıpayam fault, Fethiye Burdur fault zone, SW Turkey”, *Bull. Geol. Soc. Greece*, 50, 1, 75–84, (2016).

Louie, J. N., “Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays”. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91 (2), 347–364, (2001).

Meşhur, M. ve Akpınar, M., “Yatağan-Milas-Bodrum-Karacasu-Kale-Acıpayam-Tavas civarının jeolojisi ve petrol olanakları”, TPAO Rap. No: 1963 (yayımlanmamış), (1984).

Midorikawa S., “Prediction of isoseismal map in the Kanto Plain due to hypothetical earthquake”. *Journal of Structural Engineering*, 33B, 43–48, (1987).

Miller, R. D., Oristaglio, M., Beylkin, G., “A new slant on seismic imaging: Migration and integral geometry”, *Geophysics*, 52, 7, (1987).

Miller, R. D., Xia, J., Park, C. B., Ivanov, J. M., “Multichannel analysis of surface waves to map bedrock”. *The Leading Edge*, 1999, 1392–1396, (1999).

Miller, R. D., Xia, J., C. Park, Ivanov, J., Geier, N., Laflen, D., “Using MASW to map bedrock in Olathe, Kansas”. *Kansas Geological Survey*, Openfile Report 99-9, (1999).

MTA., “MTA Genel Müdürlüğü” <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, (2019).

Nakamura, Y., “A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface”, Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), 30, 1, (1989).

Ohta, Y., Aydan, Ö., “An integration technique for ground displacement from acceleration records and its application to actual earthquake records”, *Journal of The School of Marine Science and Technology*, Vol.5, No.2, 1-12. (2007).

Özcan, E., Less, G., Báldi-Beke, M., Kollányi, K., Acar, F., “Oligo-Miocene foraminiferal record (Miogypsinidae, Lepidocyclinidae and Nummulitidae) from the Western Taurides (SW Turkey): Biometry and implications for the regional geology”. *Journal of Asian Earth Sciences* 34, 740–760, (2009).

Özçep, F., “Zeminlerin Statik ve Dinamik Analizi”, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 551s, ISBN No: 9944-89-195-9, Ankara, (2006).

Özçep, F., “Microzonation: Principles and Practices”, (in Turkish). TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, 11 p., ISBN No: 978-9944-89-231-5, Ankara, (2007).

Özdamar, A., “Acıpayam Ovası Revize Hidrojeoloji Etüt Raporu”, DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, Aydın, (yayımlanmamış), (1997).

Özkul, M., Topal, S., Alçiçek M. C., Erten, H., Gül, A., “Keloğlan Mağarasının Konumu ve Oluşumu”, 1. Acıpayam Sempozyumu Bildirileri (Ed. Turgut Tok), 1-3 Aralık 2003, Acıpayam, Denizli, s. 810–816, (2003).

Özkaptan, M., Kaymakcı, N., Langereis, C. G., Gülyüz, E., Özacar, A. A., Uzel, B., Sözbilir, H., “Age and kinematics of the Burdur basin: Inferences for the existence of the Fethiye-Burdur Fault Zone in SW Anatolia (Turkey)”. *Tectonophysics*, 744, 256–274, (2018).

Park, C. B., Miller R. D., Xia J., “Multichannel analysis of surface waves (MASW); Geophysics” 64, 3, 800–808, (1999).

Poisson, A., “Récherches géologiques dans les Taurides occidentales (Turquie)”. Thèse Doct. és Sciences. Université de Paris-Sud, Orsay, 795 pp., (1977).

Port and Harbour Research Institute of Japan., “Handbook of Liquefaction Remediation of Reclaimed Land”, Balkema, The Netherlands, (1997).

Robertson, A. H. F. “Overview of the genesis and emplacement of Mesozoic ophiolites in the Eastern Mediterranean Tethyan region”. *Lithos*, 65, 1–67, (2002).

Sevim, B., Temel Sondajı Kaya Mekaniği Arazi Deney Notları, Hermes Ofset, Ankara, 198s, (2012).

Soycan, H., Erdoğan, K., Konak, N., “Aalenian–Early Bathonian (Middle Jurassic) radiolarian assemblages in the Tavas nappe within Lycian nappes in the western Taurides (SW Turkey) The first dating of carbonate platform drowning. *Journal of Asian Earth Sciences*, 104, 3–21, (2015).

Xia, J., Miller, R.D., Park, C.B., “Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh wave”. *Geophysics*, 64 (3), 691-700, (1999).

Taga, N. and Kagami, H., Earthquake Motions and Ground Conditions, In Commemoration of the 20th Anniversary of the Research Subcommittee On Earthquake Ground Motion, The Architectural Institute of Japan. 315–325 ISBN: 4-189423-9 C3052, (1993).

Seed, H. B., Idriss, I. M., “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction procedure. *Journal of Soil Mechanics Foundation, Division ASCE* 97 (SM9), 1249–1273, (1971).

Seed, H. B. and Idriss, I. M., “Ground motions and soil liqefaction during eartquakes”, EERI Monograph Series, University of California, Berkeley, CA, 134, (1982).

Seed H. B., Tokimatsu K, Harder L F., Chung, R. M., “The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations”. *Journal of the Geotechnical Engineering, Division ASCE* 111, 12, 1425–1445, (1985).

Şekerci, H., Kılınçarslan, N., Denizli İli Acıpayam İlçesi Acıpayam Belediyesi, Çamlık Mahallesi 20L-I Paftasında Yer alan Çalışma Alanının İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu. Nisan, 141s., (2013).

Şekerci, H., Denizli İli Acıpayam İlçesi Oğuz Mahallesi N22B07B2C, N22B07B2B, N22B07B3C, N22B07B3D, N22B08A4D, N22B08A4A, N22B08A4C, N22B08D1A, N22B08D1B, Paftalarında Yer alan Çalışma Alanının İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu. Kasım, 222s., (2013).

Şekerci, H., Kocabaş, A., Denizli İli Acıpayam İlçesi Uçarı Yolu Üzeri N22B08A2C, N22B08B1D Paftalarında Yer alan Çalışma Alanının İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu. Temmuz, 165s., (2016).

Şekerci, H., Kocabaş, A., Denizli İli Acıpayam İlçesi Kırca Mahallesi N22B02B3C, N22B02B3D, N22B02B4C, N22B02B4D, N22B02C1A, N22B02C1B, N22B02C1C, N22B02C1D, N22B02C22A, N22B02C2B, N22B02C4B, N22B03A4D Paftalarında Yer alan Çalışma Alanının İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu. Ekim, 247s., (2018a).

Şekerci, H., Kocabaş, A., Denizli İli Acıpayam İlçesi Oğuz Mahallesi N22B02C3A, N22B02C3B, N22B02C3C, N22B02C3D, N22B02C4AD, Paftalarında Yer alan Çalışma alanının İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu. Kasım, 205s., (2018b).

Şenel, M., “Geological Map of Denizli, J9 quadrangle, No: 16, in 1:100.000” scale sheet. General Directorate of Mineral Research and Exploration, (MTA), Ankara, Turkey, (1997).

Şentürk, M., ve Yağmurlu, F., “Acıgöl ve Burdur Gölü Arasındaki Bölgenin Jeolojik ve Sismotektonik Özellikleri”, *Süleyman Demirel Üniv. Fen Bil. Enst. Dergisi*, 7, 2, 11–24, Özel sayı, (2003).

Tokimatsu, K. and Yoshimi, Y., Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT N-value and fines content. *Soil and Foundations*, 26(4), 127–138, (1983).

Ulusay, R., Gökçeoğlu, C., Binal A., Kaya Mekaniği Labotatuvar Deneyleri. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 58, Ankara, 161s, (2001).

Ulusay, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 38, Ankara, 458s, 5.Baskı, (2010).

Ulusay, R., Karagüzel, R., Kumsar, H., Mutlutürk, M., “6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Pazarcık ve Ekinözü Depremlerinin Saha İncelemesi ve Mühendislik Jeolojisi/Jeoteknik Açısından Ön Değerlendirme Raporu”, *Yer Mühendisliği*, (Mühendislik jeolojisi Derneği Yayını), 19, 10–22, (2023).

Yılmaz, I., Yıldırım, M., Keskin, İ., Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri ve Çözümlü Problemler. Seçkin Yayınları: 206, Ankara, 280s, (2016).

Yüksel, F.A., Er, S., Boyraz, Z., Avcı, K., “Elazığ İlinde Kuvaterner Birimler Üzerinde Mikrotremor Çalışmaları”, *Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu Bildirileri*, 21–23 Ekim 2021, İTÜ, İstanbul, s 423–430, (2021).



EKLER

EK-1: A_SK1 Sondaj Logu

154

EK-2: A_SK2 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ										TEMEL SONDAJ LOGU										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- ALAATTİN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
SONDAJ NO		SK - 2								DERİNLİĞİ		12.45 m				MÜHENDİS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	705262						EĞİM YONU		DÜŞEY				PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
		Y	4150450						SONDAJ METHODU		AÜĞER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
		Z	896 m						MAKİNE TİPİ		D-500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
BAŞLANGIÇ TARİHİ		10.05.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
BİTİŞ TARİHİ		10.05.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		yok		yok																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ										JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
				SPT					PRESSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESESİ %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				MUHAFİZA BORUSU	DARBE SAYISI		SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
				15	30	45	10	20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

Ek:Zemin Sondaj Logu.

UD:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE
DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE

EK-3: A_SK3 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- KIRCA									
SONDAJ NO		SK - 3								DERİNLİĞİ		15.45 m		MÜHENDİS PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ					
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	707624						EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY								
		Y	4150458						SONDAJ METHODU		AUGER		SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI						
		Z	874m						MAKİNE TİPİ		D-500								
BAŞLANGIÇ TARİHİ		15.05.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024			
BİTİŞ TARİHİ		15.05.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		4.22		4.20			

DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ								JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
				MUHAFAZA BORUSU	SPT			PRESSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESESİ % (C/D)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESESİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
					DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
						15	30								45	10	20	30	40	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</

EK-4: A_SK4 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- OĞUZ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
SONDAJ NO		SK - 4								DERİNLİĞİ		15,45 m		MÜHENDİS PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKOYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	707419							EĞİM YÖNÜ		DUŞEY																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		Y	4148494							SONDAJ METHODU		AUGER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
		Z	887m							MAKİNE TİPİ		D-500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
BAŞLANGIÇ TARİHİ		16.05.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
BİTİŞ TARİHİ		16.05.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		14,95		yok																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				SPT			PRESİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YUZDESİ % (CR)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YUZDESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECEİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
				MUHAFAZA BORUSU	DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
						15								30	45	10	20	30	40			50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

EK-5: A_SK5 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- YASSIHÖYÜK											
SONDAJ NO		SK - 5								DERİNLİĞİ		15.45 m		MÜHENDİS PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI							
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	706021							EĞİM YONU		DÜŞEY									
		Y	4154361							SONDAJ METHODU		AUGER									
		Z	870 m							MAKİNE TİPİ		D-500									
BAŞLANGIÇ TARİHİ		26.05.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024					
BİTİŞ TARİHİ		27.05.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		4.21		ölçülemedi					
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				SPT					PRESSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESİ % (CB)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECEŚİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)						
				MUHAFAZA BORUSU	DARBE SAYISI		SPT GRAFİĞİ														
				15	30	45	10	20	30	40	50										
1																					
	1	1,50	SPT		5	8	7														
2																					
	2	3,00	SPT		8	9	13														
	3	3,00-3,50	UD																		
4																					
	4	4,00-4,50	DS																		
	5	4,50	SPT		2	2	2														
5																					
	6	6,00	SPT		2	2	3														
6																					
	7	7,50	SPT		3	5	7														
7																					
	7	7,50-9,00	DS																		
8																					
	8	9,00	SPT		6	10	13														
9																					
	9	10,50	SPT		5	8	14														
10																					
	10	12,00	SPT		9	12	14														
11																					
	11	13,50	SPT		5	6	6														
12																					
	12	15,00	SPT		6	6	7														
13																					
	13																				
14																					
	14																				
15																					
	15																				
16																					
	16																				
17																					
	17																				
18																					
	18																				
19																					
	19																				
20																					
	20																				
ZEMİN DEĞERLENDİRMEŚİ - SPT										KAROT NİTELİĞİ -				AYRIŞMA DERECEŚİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)					
İnce Taneli (Kohezyonlu)					İri Taneli (Kohezyonsuz)					RQD (%)											
N: 0-2 Çok Yumuşak					N: 0-4 Çok Gevşek					0-25 Çok Zayıf				W ₁ Taze (Ayrışmamış)		<1 Masif					
N: 3-4 Yumuşak					N: 5-10 Gevşek					25-50 Zayıf				W ₂ Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı-Kırıklı					
N: 5-8 Orta Katı					N: 11-30 Orta					50-75 Orta				W ₃ Orta Derecede Ayrış.		3-10 Kırıklı					
N: 9-13 Katı					N: 31-50 Sıkı					75-90 İyi				W ₄ Ayrışmış		10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı					
N: 14-30 Çok Katı					N: >50 Çok Sıkı					90-100 Çok İyi				W ₅ Tamamen Ayrışmış		>50 Parçalanmış					
N: 30 Sert																					
Ek:Zemin Sondaj Logu.																					
UD:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE																					

EK-6: A_SK6 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										TEMEL SONDAJ LOGU										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- OVAYURT																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
SONDAJ NO		SK - 6								DERİNLİĞİ		15.45 m				MÜHENDİS																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
KOORDİNATLAR (Ed-50-6)		X	707451						EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY				PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
		Y	4154383						SONDAJ METHODU		AUGER																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
		Z	870 m						MAKİNE TİPİ		D-500																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
BAŞLANGIÇ TARİHİ		1.06.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
BİTİŞ TARİHİ		2.06.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		4.50		3.85																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ										JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
				SPT						PRESSİOMETRE DENEYİ	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESLİ % (C/D)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESLİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESELİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
				MUHAFAZA BORUSU	DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
						15	30	45	10								20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								

EK-7: A_SK7 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ -ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- APA									
SONDAJ NO		SK - 7								DERİNLİĞİ		15.45 m		MÜHENDİS					
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	708423						EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY		PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI						
		Y	4154389						SONDAJ METHODU		AUGER								
		Z	874m						MAKİNE TİPİ		D-500								
BAŞLANGIÇ TARİHİ		5.06.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024			
BİTİŞ TARİHİ		6.06.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		5.60		4.88			

DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
				SPT					PRESİSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİVELERİ	KAROT YÜZDESESİ %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESESİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
				MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI			SPT GRAFİĞİ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
					15	30	45	10								20	30	40	50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

EK-8: A_SK8 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										TEMEL SONDAJ LOGU										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- KARAHÖYÜK									
SONDAJ NO		SK - 8								DERİNLİĞİ		7.95 m				MÜHENDİS													
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	712668						EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY				PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ														
		Y	4154139						SONDAJ METODU		AUGER																		
		Z	878m						MAKİNE TİPİ		D-500																		
BAŞLANGIÇ TARİHİ		6.06.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024		SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI											
BİTİŞ TARİHİ		7.06.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		4.95		yok													
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ										JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI				
				SPT			PRESSİOMETRE DENEYİ	VANE DENEYİ SEVİVELERİ	KAROT YÜZDESTİ %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESTİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESTİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)																
MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI		SPT GRAFİĞİ																										
				15	30	45	10	20	30	40	50																		
1																													
	1	1,50	SPT		2	5	3																						
2																													
	2	3,00	SPT		4	7	9																						
3																													
	3	4,50	SPT		9	13	18																						
4																													
	4	6,00	SPT		3	5	7																						
5																													
	5	7,50	SPT		3	4	6																						
6																													
7																													
8																													
9																													
10																													
11																													
12																													
13																													
14																													
15																													
16																													
17																													
18																													
19																													
20																													

Ek:Zemin Sondaj Logu.

UD:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE
DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE

EK-9: A_SK9 Sondaj Logu

TEMEL SONDAJ LOGU																					
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- UÇARI											
SONDAJ NO		SK - 9								DERİNLİĞİ		15,00m		MÜHENDİS							
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	714918							EĞİM YONU		DÜŞEY		PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ							
		Y	4150267							SONDAJ METHODU		ROTARY									
		Z	867							MAKİNE TİPİ		DS-500									
BAŞLANGIÇ TARİHİ		7.06.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024					
BİTİŞ TARİHİ		7.06.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		yok		6,45					
SONDÖR		Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI																			
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				SPT			PRESSIOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESTİ %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESTİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESTİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)								
				MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ															
1																					
2	1	1,50																			
3	2	3,00																			
4	3	4,50																			
5	4	6,00																			
6	5	7,50																			
7	6	9,00																			
8	7	10,50																			
9	8	12,00																			
10	9	13,50																			
11	10	15,00																			
12	11	16,50																			
13	12	18,00																			
14	13	19,50																			
15	14																				
16	15																				
17	16																				
18	17																				
19	18																				
20	19																				
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT				KAROT NİTELİĞİ -				AYRIŞMA				ÇATLAK SIKLIĞI									
İnce Taneli (Kohezyonlu)				İri Taneli (Kohezyonsuz)				RQD (%)				DERECESTİ (W)									
N: 0-2 Çok Yumuşak				N: 0-4 Çok Gevşek				0-25 Çok Zayıf				W ₁ Taze (Ayrışmamış)									
N: 3-4 Yumuşak				N: 5-10 Gevşek				25-50 Zayıf				W ₂ Az Ayrışmış									
N: 5-8 Orta Katı				N: 11-30 Orta				50-75 Orta				W ₃ Orta Derecede Ayrış.									
N: 9-13 Katı				N: 31-50 Sıkı				75-90 İyi				W ₄ Ayrışmış									
N: 14-30 Çok Katı				N: >50 Çok Sıkı				90-100 Çok İyi				W ₅ Tamamen Ayrışmış									
N: 30 Sert																					

EK:Zemin Sondaj Logu.

EK-10: A_SK10 Sondaj Logu

TEMEL SONDAJ LOGU																					
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- UÇARI GÖL KENARI											
SONDAJ NO		SK - 10								DERİNLİĞİ		15.45 m		MÜHENDİS PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ							
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	714404							EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY									
		Y	4150654							SONDAJ METHODU		AUGER									
BAŞLANGIÇ TARİHİ		Z	860m							MAKİNE TİPİ		D-500		SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI							
		8.06.2023									YAS	TARİH	7.08.2023				16.02.2024				
BİTİŞ TARİHİ		8.06.2023									DURUMU	DERİNLİK(m)	1.74	1.25							
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				SPT			PRESSİOMETRE DENEYİ	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESLİ % (CB)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESLİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESELİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)								
MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ																			
				15	30	45	10	20	30	40	50										
1																					
2	1	1,50	SPT	2	2	3															
3	2	3,00	SPT	3	5	8															
4																					
5	3	4,50	SPT	2	2	2															
6	4	6,00	SPT	0	0	0															
7	5	6,00-6,50	UD																		
8	6	7,50	SPT	0	0	0															
9	7	9,00	SPT	3	4	5															
10																					
11	8	10,50	SPT	2	3	3															
12	9	12,00	SPT	11	6	5															
13																					
14	10	13,50	SPT	2	2	3															
15	11	15,00	SPT	2	3	3															
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										KAROT NİTELİĞİ -				AYRIŞMA DERECESELİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)					
İnce Taneli (Kohezyonlu)					İri Taneli (Kohezyonsuz)					RQD (%)											
N: 0-2	Çok Yumuşak				N: 0-4	Çok Gevşek				0-25	Çok Zayıf			W ₁	Taze (Ayrışmamış)		<1	Masif			
N: 3-4	Yumuşak				N: 5-10	Gevşek				25-50	Zayıf			W ₂	Az Ayrışmış		1-3	Az çatlaklı-Kırıklı			
N: 5-8	Orta Katı				N: 11-30	Orta				50-75	Orta			W ₃	Orta Derecede Ayrış.		3-10	Kırıklı			
N: 9-13	Katı				N: 31-50	Sıkı				75-90	İyi			W ₄	Ayrışmış		10-50	Çok çatlaklı-Kırıklı			
N: 14-30	Çok Katı				N: >50	Çok Sıkı				90-100	Çok İyi			W ₅	Tamamen Ayrışmış		>50	Parçalanmış			
N: 30	Sert																				
Ek:Zemin Sondaj Logu.															ÜB:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE						

EK-11: A_SK11 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										TEMEL SONDAJ LOGU										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- GEDİKLİ									
SONDAJ NO		SK - 11								DERİNLİĞİ		15,45 m				MÜHENDİS													
KOORDİNATLAR (Ed-50-6)		X	712105						EĞİM YÖNÜ		DÜŞEY				PROR.DR.Halil KUMSAR Tuğba SARAYKÖYLÜ														
		Y	4146580						SONDAJ METHODU		AUGER																		
		Z	858 m						MAKİNE TİPİ		D-500				SONDÖR														
BAŞLANGIÇ TARİHİ		9.06.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024		Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI											
BİTİŞ TARİHİ		10.06.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		2.05		1.25													
DERİNLİK (m)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ										JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI				
				SPT					PRESİSİYOMETRE DENEYİ	VANE DENEYİ SEVİVELERİ	KAROT YÜZDESESİ (%)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESİ (%) (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESESİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)														
				MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI		SPT GRAFİĞİ																						
				15	30	45	10	20	30	40	50																		
1																													
2	1	1,50	SPT		1	2	3																						
3	2	3,00	SPT		5	11	15																						
4																													
5	3	4,50	SPT		2	2	2																						
6	4	6,00	SPT		2	1	3																						
7																													
8	5	7,50	SPT		3	4	6																						
9	6	9,00	SPT		4	4	6																						
10	7	9,45-11	DS																										
11	8	10,50	SPT		0	0	0																						
12	9	12,00	SPT		3	5	8																						
13																													
14	10	13,50	SPT		3	6	7																						
15	11	15,00	SPT		3	3	3																						
16																													
17																													
18																													
19																													
20																													
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										KAROT NİTELİĞİ -					AYRIŞMA					ÇATLAK SIKLIĞI									
İnce Taneli (Kohezyonlu)					İri Taneli (Kohezyonsuz)					RQD (%)					DERESESİ (W)					#(m)									
N: 0-2 Çok Yumuşak					N: 0-4 Çok Gevşek					0-25 Çok Zayıf					W ₁ Taze (Ayrışmamış)					<1 Masif									
N: 3-4 Yumuşak					N: 5-10 Gevşek					25-50 Zayıf					W ₂ Az Ayrışmış					1-3 Az çatlaklı-Kırıklı									
N: 5-8 Orta Katı					N: 11-30 Orta					50-75 Orta					W ₃ Orta Derecede Ayrış.					3-10 Kırıklı									
N: 9-13 Katı					N: 31-50 Sıkı					75-90 İyi					W ₄ Ayrışmış					10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı									
N: 14-30 Çok Katı					N: >50 Çok Sıkı					90-100 Çok İyi					W ₅ Tamamen Ayrışmış					>50 Parçalanmış									
N: 30 Sert																													
Ek:Zemin Sondaj Logu.																				UD:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE									
																				DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE									

EK-12: A_SK12 Sondaj Logu

TEMEL SONDAJ LOGU																				
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- YENİKÖY										
SONDAJ NO		SK - 12								DERİNLİĞİ		15.00m		MÜHENDİS						
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	715600							EĞİM YONU		DÜŞEY		PROR.DR.Halil KUMSAR						
		Y	4144022							SONDAJ METHODU		ROTARY		Tuğba SARAYKÖYLÜ						
		Z	870							MAKİNE TİPİ		DS-500		SONDÖR						
BAŞLANGIÇ TARİHİ		3.07.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024				
BİTİŞ TARİHİ		3.07.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		11.18		10.80				
Abdullah ERTEKİN										Servet BURSALI										
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ					JEOLOJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				SPT			PRESSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESI %	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESI % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECESESİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)							
MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI	SPT GRAFİĞİ	15	30	45	10								20	30	40	50			
1																				
2	1	1,50			REFU															
3	2	3,00																		
4	3	4,50																		
5	4	6,00																		
6	5	7,50																		
7	6	9,00																		
8	7	10,50																		
9	8	12,00																		
10	9	13,50																		
11	10	15,00																		
12	11	16,50																		
13	12	18,00																		
14	13	19,50																		
15	14																			
16	15																			
17	16																			
18	17																			
19	18																			
20	19																			
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT										KAROT NİTELİĞİ -					AYRIŞMA		ÇATLAK SIKLIĞI			
İnce Taneli (Kohezyonlu)					İri Taneli (Kohezyonsuz)					RQD (%)					DERESESİ (W)		#m			
N: 0-2 Çok Yumuşak					N: 0-4 Çok Gevşek					0-25 Çok Zayıf					W ₁ Taze (Ayrışmamış)		Masif			
N: 3-4 Yumuşak					N: 5-10 Gevşek					25-50 Zayıf					W ₂ Az Ayrışmış		Az çatlaklı-Kırıklı			
N: 5-8 Orta Katı					N: 11-30 Orta					50-75 Orta					W ₃ Orta Derecede Ayrış.		Kırıklı			
N: 9-13 Katı					N: 31-50 Sıkı					75-90 İyi					W ₄ Ayrışmış		Çok çatlaklı-Kırıklı			
N: 14-30 Çok Katı					N: >50 Çok Sıkı					90-100 Çok İyi					W ₅ Tamamen Ayrışmış		Parçalanmış			
N: 30 Sert																				

EK:Zemin Sondaj Logu.

EK-13: A_SK13 Sondaj Logu

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLJİ MÜHENDİSLİĞİ										DENİZLİ -ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- YENİKÖY OVA											
SONDAJ NO		SK - 13								DERİNLİĞİ		11.45 m		MÜHENDİS PROR.DR.HALİL KUMSAR TUĞBA SARAYKÖYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSALI							
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	714887							EĞİM YONU		DUŞEY									
		Y	4142997							SONDAJ METHODU		AUGER									
		Z	858							MAKİNE TİPİ		D-500									
BAŞLANGIÇ TARİHİ		3.07.2023								YAS		TARİH		7.08.2023		16.02.2024					
BİTİŞ TARİHİ		4.07.2023								DURUMU		DERİNLİK(m)		4.43		3.87					
DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENEYLERİ										KAYA ÖZELLİKLERİ						JEOLJİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				SPT						PRESSİOMETRE DENEY	VANE DENEYİ SEVİYELERİ	KAROT YÜZDESE % (CR)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESE % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECECİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#m)					
				MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI			SPT GRAFİĞİ													
				15	30	45	10	20	30	40	50										
1																					
2	1	1.50	SPT		1	1	2														KOYU GRİ RENKLİ KUMLU SİLT
3	2	3.00	SPT		2	2	2														KOYUGRİ RENKLİ ORGANİK KİL YÜKSEK PLASTİSİTELİ
4																					
5	3	4.50	SPT		8	18	25														KARBONAT ÇAKILLI KUM
6																					
7																					
8																					
9																					
10																					
11																					
12																					0,5-2.00-2,5 CM GÖZENEKLİ GÖSEL KİREÇTAŞI
13																					
14																					
15																					
16																					
17																					
18																					
19																					
20																					
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT												KAROT NİTELİĞİ -				AYRIŞMA DERECECİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI (#m)			
İnce Taneli (Kohezyonlu)				İri Taneli (Kohezyonsuz)				RQD (%)													
N: 0-2 Çok Yumuşak				N: 0-4 Çok Gevşek				0-25 Çok Zayıf				W ₁ Taze (Ayrışmamış)		<1 Masif							
N: 3-4 Yumuşak				N: 5-10 Gevşek				25-50 Zayıf				W ₂ Az Ayrışmış		1-3 Az çatlaklı-Kırıklı							
N: 5-8 Orta Katı				N: 11-30 Orta				50-75 Orta				W ₃ Orta Derecede Ayrış.		3-10 Kırıklı							
N: 9-13 Katı				N: 31-50 Sıkı				75-90 İyi				W ₄ Ayrışmış		10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı							
N: 14-30 Çok Katı				N: >50 Çok Sıkı				90-100 Çok İyi				W ₅ Tamamen Ayrışmış		>50 Parçalanmış							
N: 30 Sert																					
Ek:Zemin Sondaj Logu.												UD:ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE									
												DS:ÖRSELENMİŞ NUMUNE									

TEMEL SONDAJ LOGU									
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ					DENİZLİ - ACIPAYAM DOKTORA BAP PROJESİ- PAU TARLA YASSIHÖYÜK				
SONDAJ NO		SK - 14 (SAYFA-1)			DERİNLİĞİ		26.45 m		MÜHENDİS PROR.DR.HALİL KUMSAR Tuğba SARAYKOYLÜ SONDÖR Abdullah ERTEKİN Servet BURSA LI
KOORDİNATLAR (ED-50-6)		X	706534		EĞİM YONU		DÜŞEY		
		Y	4152619		SONDAJ METODU		AUGER		
		Z	868 m		MAKİNE TİPİ		D-500		
BASLANGIÇ TARİHİ		17.07.2023			YAS	TARİH	7.08.2023	16.02.2024	
BITİŞ TARİHİ		18.07.2023			DURUMU	DERİNLİK(m)	3.06	2.98	

DERİNLİK (m.)	NUMUNE NO	NUMUNE DERİNLİĞİ (m.)	NUMUNE TÜRÜ	ZEMİN DENİYLERİ								PRESSİOMETRE DENİY	VANE DENİY SEVİYELERİ	KAYA ÖZELLİKLERİ							JEOLojİK KESİT	ZEMİN TANIMLAMASI
				MUHAFAZA BORUS	DARBE SAYISI			SPT GRAFİĞİ						KAROT YÜZDESESİ (%)	TAM ÇAPLI ÖRNEK YÜZDESİ % (SCR)	RQD %	AYRIŞMA DERECE Sİ	ÇATLAK SIKLIĞI (#/m)				
																			SPT			
					15	30	45	10	20	30	40								50	(cm)		
1																						
2	1	1,50	SPT		5	8	12													KOYU GRİ-KAHVE KİL		
3	2	3,00	SPT		4	3	3													ÇAKILLI SİLT Lİ KUMLU KİL		
4																						
5	3	4,50	SPT		3	2	2													AÇIK KAHVERENG İ YÜKSEK PLASTİSİTELİ KİL		
6		4,50-4,90	UD																			
6	4	6,00	SPT		1	1	1													KÜÇÜK ÇAKILLI YÜKSEK PLASTİSİTELİ KAHVE RENG İ KİL		
7																						
8	5	7,50	SPT		0	0	0															
9																						
9	6	9,00	SPT		5	6	8															
10																						
10	8	10,50	SPT		6	8	12															
11																						
12	9	12,00	SPT		5	8	13															
13																						
14	10	13,50	SPT		0	0	0															
15																						
15	11	15,00	SPT		0	0	0															
16																						
16		16,50	SPT		6	12	18															
17																						
18		18,00	SPT		7	11	14															
19																						
19		19,50	SPT		0	0	0	</														

[illegible]

11. ÖZGEÇMİŞ

Yayın Listesi :

- Kumsar, H., Sarayköylü, T., “A Geological and Geotechnical Information System (GEO-GIS) for Urban Planning and Its Application to Acıpayam Basin (Denizli-Turkey) with some observations from Mw 5.5 earthquake on 20 March, 2019”, Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology, <https://doi.org/10.1144/qjegh2022-065> Vol.57, (2023).

Konferans listesi :

- Halil Kumsar, Tuğba Sarayköylü, “Acıpayam Ovası Yerleşim Yeri Zeminlerinin Jeolojik ve Jeoteknik Açısından İncelenmesi” MÜHJEO24 Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 2024, NEVÜ, Nevşehir.
- Halil Kumsar, Tuğba Sarayköylü, “Yeraltısuyu Sondaj Coğrafi Bilgi Sistemi Geliştirilmesi- Acıpayam Ovası (Denizli) Uygulaması” MÜHJEO21 Ulusal Mühendislik Jeolojisi ve Jeoteknik Sempozyumu, 2022, İTÜ, İstanbul.
- Halil Kumsar, Tuğba Sarayköylü, Yiğithan Say, “Geotechnical Evaluation of Acıpayam Basin (Denizli-Turkey) by Using A Geological and Geotechnical Information System (GEO-GIS)”, Proceedings of 3rd European Regional, edited by V.P. Marinos, C. Loupasakis, C. Saroglou, N. Depountis, G. Papathanassiou, <https://Euroengeo2020>, 97-103., 6-10 October 2021, Conference of IAEG/ Athens/ Greece.

- Halil Kumsar, Tuğba Sarayköylü, Yiğithan Say, Didem Özyurt, Umut Karagöz, Mehmet Reçber, “Geological, Geotechnical and Geographical City Information System for Sustainable Urbanization (JEOKBS), Acıpayam Municipality (Denizli) Application (in Turkish)”, 73rd Geological Congress of Turkey with International Participation, JMO Publications, 509-510., 6-10 April 2020, Ankara.

