

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ZEMİN ARAŞTIRMA VE İYİLEŞTİRMELERİNDE
JEOLOJİK, JEOFİZİK VE GEOTEKNİK YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat KESİCİ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Şefik RAMAZANOĞLU

Haziran 2022

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ARAŞTIRMA VE İYİLEŞTİRMELERİNDE
JEOLJİK JEOFİZİK VE GEOTEKNİK YÖNTEMLERİN
KARŞILAŞTIRMALI OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Vedat KESİCİ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez ... / ... /2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

**Dr. Öğr. Üyesi Şefik
RAMAZANOĞLU
Jüri Başkanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Ayhan
KESKİNSEZER
Üye**

**Dr. Öğr. Üyesi Şerafeddin
ÇAKIR
Üye**

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Vedat KESİCİ

TEŞEKKÜR

Üniversite eğitimim boyunca eğitime katkı sunan, tez çalışmam süresince de bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Dr. Şefik Ramazanoğlu'na sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Eğitimim sırasında katkılarından ve değerli bilgilerinden dolayı, değerli arkadaşım Jeofizik Yüksek Mühendisi Mustafa İlhan'a, Biyomedikal Mühendisliği'nde eğitimine devam eden Bilgenur Çelebi'ye ve aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÇALIŞILAN BÖLGENİN JEOLojİK ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1. Doğu Marmara Bölgesinin Jeolojik Evrimi.....	3
2.1.1. Sakarya İlinin jeolojisi.....	4
2.1.2. Adapazarı ovası.....	5
2.1.3. Adapazarı ovasının oluşumu hakkında görüşler.....	6
2.1.4. Adapazarı jeolojisi ve jeomorfolojisi.....	8
2.2. Adapazarı Zeminlerine Genel Bir Bakış.....	10
2.2.1. Çalışılan bölgede daha önce yapılmış yeraltı suyu araştırmaları.....	19
BÖLÜM 3.	
JEOfİZİK YÖNTEMLER VE SİSMİK DALGA YAYINIMI.....	21
3.1. Dalga Yayınımında Temel Kavramlar.....	21
3.1.1. Dalga yayılım hızı.....	21

3.1.2. Boyuna dalgalar (P).....	22
3.1.3. Enine dalgalar (S).....	23
3.1.4. Rayleigh dalgaları (R).....	24
3.1.5. Love dalgaları (L).....	25
3.2. Dalga Yayılım Geometrisi.....	26

BÖLÜM 4.

DİNAMİK ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	29
4.1. MASW Yöntemi.....	29
4.1.1. MASW yönteminin uygulanışı.....	30
4.1.2. MASW yönteminde veri toplama.....	32
4.2. Arazi Deneyleri.....	33
4.2.1. Düşük deformasyon deneyleri.....	34
4.2.1.1. Sismik yansıma.....	34
4.2.1.2. Sismik kırılma.....	35
4.2.1.3. Yüzey dalgalarının spektral analizi.....	35
4.2.2. Yüksek deformasyon deneyleri.....	36
4.2.2.1. Standart penetrasyon deneyi.....	36
4.3. Laboratuvar Deneyleri.....	37
4.3.1. Sınıflandırma deneyleri.....	38
4.3.1.1. Elek analizi.....	38
4.3.1.2. Hidrometre deneyi.....	38
4.3.1.3. Kıvam limitleri deneyi.....	39
4.3.1.4. Üç eksenli basınç deneyi.....	41
4.4. Dinamik Elastik Parametreler ve Tanım.....	42
4.4.1. Poisson oranı (σ).....	43
4.4.2. Elastisite (Young) modülü (E).....	43
4.4.3. Kayma modülü (G).....	43
4.4.4. Zemin emniyet gerilmesi (q_s).....	43

BÖLÜM 5.	
ANALİZ YÖNTEMLERİ.....	44
5.1. Regresyon Analizi.....	44
5.1.1. Basit regresyon ve korelasyon analizi.....	44
5.1.2. Non-linear regresyon analizi.....	45
5.1.3. Çoklu regresyon analizi.....	45
BÖLÜM 6.	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALARDAN VE ELDE EDİLEN KAYMA DALGASI HIZI VE SPTN ARASINDAKİ BAĞINTILAR.....	47
BÖLÜM 7.	
ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ.....	55
7.1. Mekanik İyileştirme.....	56
7.1.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi.....	57
7.1.2. Vibro kompaksiyon yöntemi.....	58
7.1.3. Drenaj yöntemi.....	58
7.1.4. Elektrik sinyali ile kompaksiyon.....	58
7.1.5. Hidro patlatma kompaksiyonu.....	59
7.1.6. Enjeksiyon yöntemi.....	59
7.1.7. Jet grouting.....	59
7.1.8. Forekazıklar.....	60
7.1.9. Kum kolonlar.....	61
7.1.10. Taş kolonlar.....	61
BÖLÜM 8.	
FİZİKSEL SORUNLARIN ZEMİNE ETKİSİ.....	62
8.1. Yeraltı Su Seviyesi ve Zemin Dayanımı İlişkisi.....	62
8.2. Zemin Tabakalarının Deprem Büyütme Etkisi.....	63

BÖLÜM 9.

ZEMİN İYİLEŞTİRME ÖRNEKLERİ.....	65
9.1. Adapazarı Merkezde Zemin Oturması Gözlenen Zeminin Taş Kolonlar ile İyileştirilmesi Çalışması.....	65
9.1.1. Taş kolonlar ile zemin iyileştirme uygulaması.....	65
9.1.2. Uygulamanın amacı ve sonuçları.....	69

BÖLÜM 10.

ADAPAZARI MERKEZDE ZAYIF DAYANIMA SAHİP BİR YAPI SAHASINDA JETGROUT YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRME UYGULAMASI..	70
10.1. İnceleme Alanı Jeolojik Yapısı.....	71
10.2. Zemin İyileştirilmesi Yapılan Alanda Sondaj Çalışmaları.....	72
10.2.1. Zemin iyileştirmesi yapılan bu örnekte yeraltı su seviyesinin durumu.....	73
10.2.2. Zemin iyileştirmesi yapılan bu örnekte yapılan sismik ölçümler.....	74
10.2.3. Zemin iyileştirmesi yapılan bu örnekte jetgrout kolonlarının dizilimi.....	75

BÖLÜM 11.

UYGULAMALAR.....	76
11.1. Sismik ve Sondaj Çalışmalarına Dayalı Zemin İncelemeleri.....	76

BÖLÜM 12.

VS KAYMA DALGASI HIZLARI VE SPTN ARASINDAKİ İLİŞKİLER.....	90
--	----

BÖLÜM 13.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER.....	97
--------------------------------	----

KAYNAKLAR.....	100
----------------	-----

ÖZGEÇMİŞ.....	102
---------------	-----

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

μ	: Sıkışmazlık (Rigidity) Modülü
CPT	: Koni Penetrasyon Testi
D	: Derinlik
DSİ	: Devlet Su İşleri
E	: Young (Elastisite) Modülü
F	: Formasyon
FC	: İnce Dane Oranı
Fs	: Sürtünme Kuvveti
G	: Kayma Modülü
J	: Jeolojik Yaş
L	: Love Dalgaları
LL	: Likit Limit
MASW	: Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analizi (Multi Channel Surface Waves Analysis)
MSE	: Hata Karelerinin Ortalaması
MTA	: Maden Tetkik ve Arama
N	: Ölçülen (Ham) SPT Değeri
N60	: Düzeltilmiş N Değeri
NP	: Plastik Olmayan (Non Plastic)
OKH	: Ortalama Karesel Hata
P	: Boyuna Dalgalar
p	: Yoğunluk
qc	: Direnç
qs	: Zemin Emniyet Gerilmesi
r	: Korelasyon Katsayısı
R	: Rayleigh Dalgaları

S	: Enine Dalgalar
SCPT	: Sismik Koni Penetrasyon Testi
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
T	: Zaman
UD	: Örselenmemiş Numune (Undisturbed)
uw	: Boşluk Suyu Basıncı
Vp	: P Dalga Hızı
Vs	: S Dalga Hızı
x	: Bağımsız Değişken
y	: Bağımlı Değişken
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları
YZ	: Yapay Zeka
Z	: Zemin Tipi
ε	: Hata Terimi
σ	: Poisson Oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Çalışılan Bölgeyi Gösteren Harita	2
Şekil 2.1. Jeolojik Zaman Cetvelinin Bir Bölümü (MTA2018) [2]	4
Şekil 2.2. Adapazarı ve Çevresinin Neotektonik Haritası [3].....	5
Şekil 2.3. Adapazarı'nın KD'den GB'ye Doğru Morfolojik Görünümü [9].....	10
Şekil 2.4. Adapazarı İlçesinde Daha Önceden Açılan Bazı Sondaj Yerleri [10]...	11
Şekil 2.5 Adapazarı'nın İlk 15 Metredeki Zemin Tabakaları [11]	12
Şekil 2.6. Adapazarı Ovası'nın Tipik Kesiti [11]	13
Şekil 2.7. Adapazarı'nda Ağır Hasar Alan Bölgeden Zemin Kesiti [11]	14
Şekil 2.8. Adapazarı Sayısal Haritası [4]	15
Şekil 2.9. Belli Derinliklerde Adapazarı Zemin Haritası [4]	16
Şekil 2.10. Adapazarı YASS Seviyeleri [4].....	20
Şekil 3.1. P Dalgası Yayınımı [14].....	22
Şekil 3.2. S Dalgası Yayınımı [14].....	24
Şekil 3.3. Rayleigh Dalgalarının Yayınımı Sırasında Parçacık Hareketleri [14]...	25
Şekil 3.4. Love Dalgası Yayınımında Parçacık Hareketleri [15].....	25
Şekil 3.5. Love ve Rayleigh Dalga Yayınım [14].....	26
Şekil 3.6. Huygens Prensibine Göre Düzlem Dalga Yayınımı; A) Homojen ortam B) Hızın düşey yönde doğrusal(lineer) artması C) Ortam değişikliği nedeniyle hızın ani olarak değişimi [15].....	27
Şekil 3.7. Snell Yasasında Kullanılan Bağintıya Bağlı Işın Geometrisi [16].....	28
Şekil 4.1. MASW Yönteminde Kullanılan Ekipman; a) Cihaz, b) Enerji kaynağı c) Jeofon, d) Kablo [17]	31
Şekil 4.2. Veri Toplama İşlemi Şematik Gösterimi [18]	32
Şekil 4.3. Topografya Örneklerinin Şematik Gösterimleri; (a) Düz Bir Topografyaya Sahip Arazi, (b) Değişken Bir Topografyaya Sahip	

Arazi, (c) Eğimli Bir Topografyaya Sahip Arazi, (d) Dağınık ve Düzensiz Bir Topografyaya Sahip Arazi [17].....	33
Şekil 4.4. SPT Gösterimi [20].....	37
Şekil 4.5. Zeminde Su İçeriğine Bağlı Hacim Değişim Davranışı ve Kıvam Limitleri.....	41
Şekil 4.6. Üç eksenli basınç Deneyi Sistemi [19].....	42
Şekil 6.1. SPT-N ve Kayma Dalgası Hızı Arasındaki İlişki	49
Şekil 6.2. Kayma Dalgası İçin Lineer Regresyon Dağılımı	50
Şekil 6.3. N1 ve Vs Arasındaki İlişki.....	51
Şekil 6.4. SPT ve Kayma Dalgası Arasındaki İlişki [18].....	52
Şekil 6.5. Vs–SPTN Arasında Bulunan Bazı Korelasyonlar [24].....	53
Şekil 6.6. Zemin Gruplarına Göre Kayma Dalgası Hızları ve SPTN30 Değerleri Tablosu.....	54
Şekil 8.1. Zeminin Büyütme Faktörü [26].....	64
Şekil 10.1. İnceleme Alanı Temel Görünümü.....	70
Şekil 10.2. İnceleme Alanı Jeolojik Kesiti.....	71
Şekil 10.3. İnceleme Alanında Açılan Sondajların Temel Alanındaki Konumları	72
Şekil 10.4. SPT ve PI'nin Zemindeki Değerleri.....	73
Şekil 10.5. Yeraltı Su Seviyeleri.....	74
Şekil 10.6. Tabakalar ve Sismik Hızlar.....	74
Şekil10.7. İnceleme Alanına Uygulanan Jetgrout Dizilim Planı.....	75
Şekil 11.1 Güneşler Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışması Yerleri	77
Şekil 11.2. İstiklal Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri	78
Şekil 11.3. Karakamış Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları..... Yerleri.....	79
Şekil 11.4. Mithatpaşa Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri.....	80
Şekil 11.5. Orta Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri.....	81
Şekil 11.6. Ozanlar Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri	82
Şekil 11.7. Papuççular Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri.....	83
Şekil 11.8. Tekeler Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri	84

Şekil 11.9. Tepekum Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları	
Yerleri.....	85
Şekil 11.10. Tuzla Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları Yerleri..	86
Şekil 11.11. Yağcılar Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları	
Yerleri.....	87
Şekil 11.12. Yahyalar Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları	
Yerleri.....	88
Şekil 11.13. Yenigün Mahallesi'nde Yapılan Sismik ve Sondaj Çalışmaları	
Yerleri.....	89
Şekil 12.1. 1,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	90
Şekil 12.2. 3 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	91
Şekil 12.3. 4,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	91
Şekil 12.4. 6 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	92
Şekil 12.5. 7,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	92
Şekil 12.6. 9 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	93
Şekil 12.7. 10,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	93
Şekil 12.8. 12 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	94
Şekil 12.9. 13,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	94
Şekil 12.10. 15 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	95
Şekil 12.11. 16,5 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	95
Şekil 12.12. 18 metrede V_s – SptN İlişkisi.....	96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 9.1. Taş Kolonların Çapları ve Malzeme Miktarları.....	67
Tablo 9.2. Taş Kolonların Çapları ve Malzeme Miktarları (Devamı).....	68

ÖZET

Anahtar kelimeler: Zemin Araştırmaları, Sondaj, SPT, Sismik dalgalar, MASW

Bu çalışmada Adapazarı Bölgesi'ne ait 50 adet zemin araştırma verisi kullanılmıştır. Genel olarak Adapazarı ovası alüvyon sedimentlerden oluşmuştur. Bölge birinci dereceden deprem bölgesidir. Bölge, Kuzey Anadolu fay hattı üzerine konumlanmıştır. Bundan dolayı sismik etkinliği çok fazladır. Bölgede zeminin çok zayıf olduğunu gösteren bir parametre de yeraltı su seviyesinin çok düşük seviyelerde olmasıdır. Yeraltı su seviyesi yüzeye çok yakın noktalardadır. Bu çalışmada zemine ait 50 adet zemin sondajları ve sismik çalışmalar değerlendirilmiştir. Özellikle yeraltı su seviyesi yapı temellerinin olduğu bölgeye çok yakın kısımlarda bulunmuştur. En yüksek su seviyesi yüzeyin 3 metre altındadır. Sismik ölçümlere göre kayma dalgası hızları zeminin 3-10 metre derinlikleri arasında, 100-130 m/sn'dir. Fakat kayma dalgası hızları diğer metrelerde 200 m/sn'nin altındadır. Sondaj çalışmalarına göre SPTN30 değerleri yüzeye yakın ilk kısımlarda 10'un altındadır. Bu düşük değerler zeminlerdeki zayıflığa işaret eder. MASW çalışmalarına göre yüzeyden 10 metreye kadar olan kayma dalgası hızları tüm Adapazarı ovasında düşük değerlerde ölçülmüştür. Düşük seviyedeki Vs hızları, düşük seviyedeki SPTN değerleri ve plastik limit değerlerine göre zeminler zayıftır. Deprem esnasında zemin tabakaları içerisinde sıvılaşma meydana gelebilir. Bu durum yapılarda yıkımlara yol açabilir. Sıvılaşmalar zemin oturmalarını meydana getirirler. Bölgede zemin sorunlarına bağlı olarak zemin iyileştirmeleri yöntemleri uygulanmalıdır. Jeolojik, jeofizik ve geoteknik yöntemlerden elde edilen verilere göre bölgede zemin dayanımı düşüktür. Kil, silt ve kumdan oluşmuş alüvyon zeminler düşük dayanıma sahiptir. Bu çalışmada incelenen bölgenin zeminleri kısa mesafelerde farklı oranlarda bileşenlere sahip değişken ve karmaşık kısımlardan oluşmaktadır. Sonuç olarak kısa mesafelerde farklı bileşen oranları ve dane boyutu dağılımlarına sahip zeminin karmaşık yapısı farklı yöntemler arasında güçlü korelasyonlar oluşmasına olanak vermemektedir.

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF GEOLOGICAL, GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL METHODS IN SOIL RESEARCH AND IMPROVEMENTS

SUMMARY

Keywords: Ground surveys, Drilling, SPT, Seismic Waves, MASW

In this study 50 pieces of ground survey datas which belong to Adapazarı region have been used. Generally Adapazarı plain occurred from alluvium sediments. Region is a first degree of earthquake zone. This region located on the North Anatolian Fault Zone. Because of this there are many seismic activities. Grounds of all regions are very weak. One of the very important parameter which is indicator of weak grounds is low level of underground water. Groundwaters are located in the very near points of surface. In this study fifty pieces of ground drillings and seismic datas have been evaluated. Especially groundwater levels have been found in the very near point where there are foundations of structures. The lowest level of groundwater is one meter. The highest level of groundwater is three meter below the surface. According to seismic measurements; Shear waves velocities are between 100-130 m/sn in 3-10 meters deep of grounds. But shear waves velocities are less than 200 m/sn in the other depths. According to drilling studies; the values of SPTN30 are less than 10 in the first parts which are closer the surface. These low values indicate the weakness of grounds. According to MASW studies; Shear wave velocities which have been measured from surface to 10 meter are very low level in all area of Adapazarı plain. According to low level VS velocities, low level SPTN30 values and low level Plastic limits values; the region's grounds are very weak. During the earthquake, liquefaction can be occurred inside of the ground's layers. This situation can cause of the structure's destructions. The liquefaction causes a ground consolidation. The methods of soil improvements, depending on the ground problems must be applied in the region. The soil strengths are found as weak in this region according to datas obtained by geological, geophysical and geotechnical studies. The Alluvium soils which are composed of clay, silt and sand have low strength. The soils of the region investigated in this study have very variable and complex parts which have different rate of the components at short distances. In conclusion; complex type of the grounds which have different rate of components and grain size distributions in short distance doesn't allow to occur strong correlation values within different methods.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Mühendislik açısından zemin araştırmalarında zemin problemlerinin çözümünde jeolojik ve jeofizik verilerin birlikte değerlendirilmesi en doğru sonuca ulaşmak açısından çok önemlidir. Zemin özelliklerinin ölçümünde en çok kullanılan veriler sondaj çalışmasından elde edilen değerler ve jeofizik çalışmalardan elde edilen sismik hız değerleridir. Bu çalışmada da sondaj çalışmasında elde edilen SPTN değerleri ve jeofizik sismik çalışmalardan elde edilen kayma dalga hızları (V_s) ve zemin numunelerinden elde edilen Atterberg limitleri kullanılmıştır. Zemin araştırmalarında SPT ve Sismik çalışmaların bir arada kullanılması ve böylece değerlendirmeler yapılması olası bir afet riskine karşı zemin karakteristiğinin bilenebilmesi açısından önemli ipuçları verir. Ayrıca alınan numuneler üzerinden yapılan Atterberg deneyleri zeminin fiziksel karakterinin ve yapısal dayanımının ne derecede olduğunu gösterir. Sismik deneyler bazen çeşitli nedenlerden dolayı yapılamayabilir. Ayrıca jeolojik çalışmalarda da aynı durum söz konusu olabilir. Numunelerin alınması esnasında bezen karşılaşılan zorluklar alınabilen veriler eşliğinde yapılır. Ayrıca zeminin dinamik özelliklerini belirlemek için kayma dalgası hızı ve SPT üzerinden çeşitli denklemlerde türetilmiştir.

Bu çalışmada da korelasyonlar üretmek amacıyla Sakarya İli Adapazarı İlçesinde SPTN- V_s kayma dalgası hızları arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş ve çalışılan bölgenin haritası Şekil 1.1.'de verilmiştir.

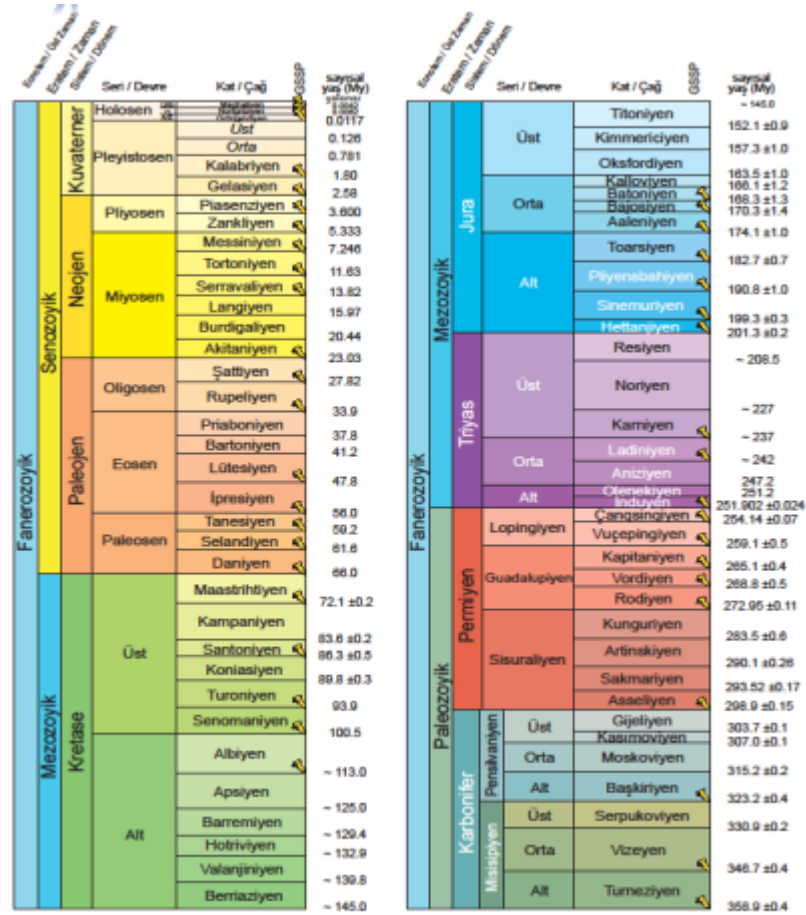
Birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş SPTN- V_s korelasyonları vardır. Farklı veriler arasında korelasyon kurulması araştırması yapılan bölgelerin hem jeolojik hem jeofizik verileri hakkında iyi bir bilgiye sahip olunmasını gerektirir.

BÖLÜM 2. ÇALIŞILAN BÖLGENİN JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

2.1. Doğu Marmara Bölgesi'nin Jeolojik Evrimi

Doğu Marmara Bölgesi'nin Neojen-Kuvaternerdeki morfolotektonik evriminde; 1) En Geç Pliyosen-Günümüz, 2) Geç Miyosen-Pliyosen, 3) Erken-Orta Miyosen olmak üzere üç ana şekillenme dönemi bulunur. Bu jeolojik dönemlerde birbiriyle açışal uyumsuz üç çökel istifli oluşmuştur. En Geç Pliyosen-Günümüz ise karasal-denizel çökellerle temsil edilir. Geç Miyosen-Pliyosen karasaldan denizele geçişli, Erken-Orta Miyosen karasal kırıntılı olarak temsil edilir. Bölge Oligosen sonunda Intra-Pontid okyanusunun kapanması sonucu karasal aşınım alanı haline gelmiş Doğu Marmara'nın günümüzdeki morfolojisi ve aktif tektonizması Kuzey Anadolu Fayı'nın transform hareketleri ile bilinen bu evrede ortaya çıkmıştır. Günümüz Marmara Denizi Havzası'nın da yapısal gelişimi Kuzey Anadolu Fayına bağılı olarak Geç Pliyosen döneminde başlamıştır. Geç Miyosen-Pliyosen'i kapsayan neotektonizmanın ilk evresinde bölgede K-G yönlü sıkışma rejiminin hâkimiyeti söz konusudur. Bunun sonucunda D-B yönlü kıvrımlar oluşmuştur. KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı fayların etkisiyle de bölge morfolojik olarak tümnden yükselime göstermiştir. Bu süreçte ilk etapta altta akarsu çökelleri ile başlayan ve üste doğru gölsel ve denizele geçişli olan Geç Miyosen-Erken Pliyosen istifleri çökelmiştir. Dönemin sonunda ise bu çökellerin geliştiğı havzalar parçalanmıştır. Böylece Geç Pliyosen'de bölge yüksek aşınım alanı haline dönüşmüştür. Neotektonik dönemin ikinci evresi en Geç Pliyosen'de Kuzey Anadolu Fayının ortaya çıkışı ile başlar. Aynı zamanda günümüze kadar olan süreyi kapsar. Erken-Orta Miyosen boyunca paleotektonik dönem olaylarının etkisinde olmuştur. Orta Miyosen sonlarına kadar devam eden bu aşınım dönemi sonunda geniş alanlara yayılan bir peneplen morfolojisi gelişmiştir. Bunun sonucunda karasal kırıntılılarda çökelmeler meydana gelmiştir. Günümüz jeolojisinde belirlemiş olan neotektonizma Geç Miyosen başlarında başlamıştır. Bu durum

birbirinden farklı evrelerde oluşmuştur. Şekil 2.1.'de jeolojik cetvelin bir bölümü gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Jeolojik zaman cetvelinin bir bölümü (MTA2018) [2].

2.1.1. Sakarya ilinin jeolojisi

Adapazarı eski bir göl yatağı olan sedimanter bir basen kenarında kuruludur. Anakayaların varlığı sedimanter zeminlerin altında gösterir. Kuzey istikametine doğru ise ana kayalar yeryüzeyine daha yakın bir seviyeye gelerek 200 metrelerde varlığını ortaya koyar. Şehrin güney bölümü sıg ve sert zeminler üzerinde yer alır. Bölge yapısal olarak kuvaterner alüvyon zeminlerin varlığı ile bilinir. Anakayaların üzerine derin göl çökelleri istiflenmiştir. Bu istiflenme sedimanter zemin yapısını oluşturur. Zemin yapısının bu şekilde oluşumunda Sakarya Nehri ve kolları tarafından derin göl çökellerinin taşınması etkili olmuştur. Adapazarı ovası çok derin göl çökelleri alüvyon

Ovanın yüz ölçümü 620 km² kadardır. Adapazarı Ovası'nın doğu-batı uzunluğu 27 km kadardır. Kuzey güney kesimi ise 23 km kadardır. Adapazarı Ovası'nın deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 30 metre olarak hesaplanmıştır. Ancak bu ovaya yakın bölgede bulunan dağların uzantısı tepeciklerin oluşmasına neden olmuştur. Önemli tepeciklerden bazıları Erenler Tepesi 75 m, Alibey Tepesi 112 m, Tersiyer Tepesi 85 m seviyelerindedir. Adapazarı Ovası'nı genel olarak güneyden kuzeye doğru akış rejimi olan Sakarya Nehri ve güneydoğu-kuzeybatı akış yönlü Mudurnu suyu beslemektedir. Sakarya Nehri, Adapazarı Ovası üzerinde çok çeşitli bölgelerde kıvrımlara ayrılır. Böylece akma sistemini devam ettirir. Adapazarı Ovası genelinde iklim bir geçiş kuşağı şeklindedir. Yaz mevsimlerinde sürekli kuraklık olmaz. Bu özelliği ile Karadeniz ikliminin benzerliğini taşır. Bazı yıllarda ise yağışın az olması Akdeniz iklimine benzer şekilde seyrederek. Adapazarı Ovası'nda gece gündüz sıcaklık farkları arasında büyük farklılıklar bulunmaz [4].

Akarsular ve akarsuların drenaj modellerini araştıran Erinç ve Bilgin Sakarya Nehri ile ilgili olarak bu akarsuyun istikrarsız bir yatağa sahip olduğunu ve buna bağlı olarak akış rejiminin de istikrarsız olduğunu belirtmişlerdir.

2.1.3. Adapazarı ovasının oluşumu hakkında görüşler

Adapazarı Ovası alüvyon ve yüksek bir katman tabaka şeklindedir. Bu alüvyon tabakanın eğimi yataya yakın bir şekildedir. Yüksek alüvyon tabakasının varlığının bilinmesi ve daha önce de hesaplanmış olmasına rağmen farklı yöntemler ve farklı bilim insanları tarafından alüvyon kalınlığı hakkında farklı sonuçlar ortaya konulmuştur. Bouguer yerçekimi anomalisi yönteminin uygulayan Komazawa ve diğerleri (2002) alüvyon tabaka kalınlığının 1000-1500 metreler arası hesaplamıştır.

Ardel ve İnandık'a göre Eosen döneminde ise Adapazarı Ovası birikme aşaması geçirmiş, daha sonra bu ova dolarak tektonik hareketlerin etkisine maruz kalmış ve daha sonra yükselmiş ancak akarsuların etkisi ile boşalmıştır [5].

1890 yılında N Andrussow, Pleyistosen döneminin farklı evrelerinde Karadeniz'in İzmit kanalı olarak bilinen su kanalı ile Aşağı Sakarya Vadisi, Sapanca Gölü ve İzmit Körfezi boyunca Marmara Denizi'ne bağlandığı fikri 1990 -1995 yıllarında körfezde yapılan deniz ve kara sondajlarından alınan numuneler üzerinde yapılan incelemeler sonucunda bu bilgiyi desteklemiştir.

Kuvarterner birikmede ise Sakarya ve Mudurnu suyunun taşıdığı malzemeler etkili olmuş ve böylece geniş bir ova oluşmuştur. Tchihatcheff (1867-69) Adapazarı ve Düzce kenti arasındaki bir hendek oluşunu araştırma konusu yapmış ve bu bölgede bulunan çakıllı depoların kuvarterner yaşında olduğu hipotezini ortaya koymuştur. Tchihatcheff Sapanca'dan Beşköprü Vadisi'ne uzanan Çark Suyu'nun vadi ile bağlarını ve etkileşimini araştırmıştır [6].

Günümüzde Cuma Pazarı olarak adlandırılan Halk Pazarı'nın olduğu bölgenin bir tarafı Yorgalar Mezarlığı diğer kısmı ise Eski Hendek Caddesi'ne kadar uzanır. Bu bölge bir hat boyunca Yağcılar olarak bilinir. Bu geniş alan eski zamanlarda alçak tarlalar olarak adlandırılırdı. Adapazarı Ovası'nda eski dönemlerde tarlalık alanlara bakıldığında tarlaların etrafında 1 metre derinliğinde ve 50-60 cm genişliğinde kanallar bulunmaktaydı. Bu kanalların hepsi birbirine bağlantılı olacak şekilde inşa edilmişti. Aynı zamanda bu kanallar Sakarya Nehri taşkınlarına ve sel taşkınlarına karşı önemli oranda koruyucu görev üstlenmekteydi. Zamanla belediye bu kanalları ıslah ederek büyük su geçiş sistemlerine dönüştürdü. Aynı zamanda Sakarya Nehri'nin, Adapazarı Ovası'na yapacağı taşkın potansiyelini ortadan kaldırmak amacıyla nehirde setler oluşturuldu.

Rish 1909'da Sapanca Gölü'nün tarihte doğu-batı yönlü bir graben düzeninde olduğunu ve İzmit Körfezi'nin devamı şeklinde Adapazarı Havzası'na kadar sokulduğunu ileri sürmüştür [7].

Sapanca Gölü'nün aslında Marmara'nın devamı olduğunu ve çok önceleri Sakarya'nın da buraya döküldüğünü, ancak daha sonra Sapanca Gölü'nün körfezden ayrıldığını ve

suyunun tatlılaştığını ve İzmit Körfezi'ne doğru aktığını daha sonra da vadiler üzerinde Karadeniz'e bağlandığını ileri sürmektedir.

W. Peck (1918) İzmit Sapanca oluşuna değinmektedir. Bu bölgede yerli kayaların yükselmesi ile bir eşik oluştuğunu ve bu eşik ile Sapanca Gölü ve İzmit'in iki kesime ayrıldığını ileri sürmüştür [8].

2.1.4. Adapazarı jeolojisi ve jeomorfolojisi

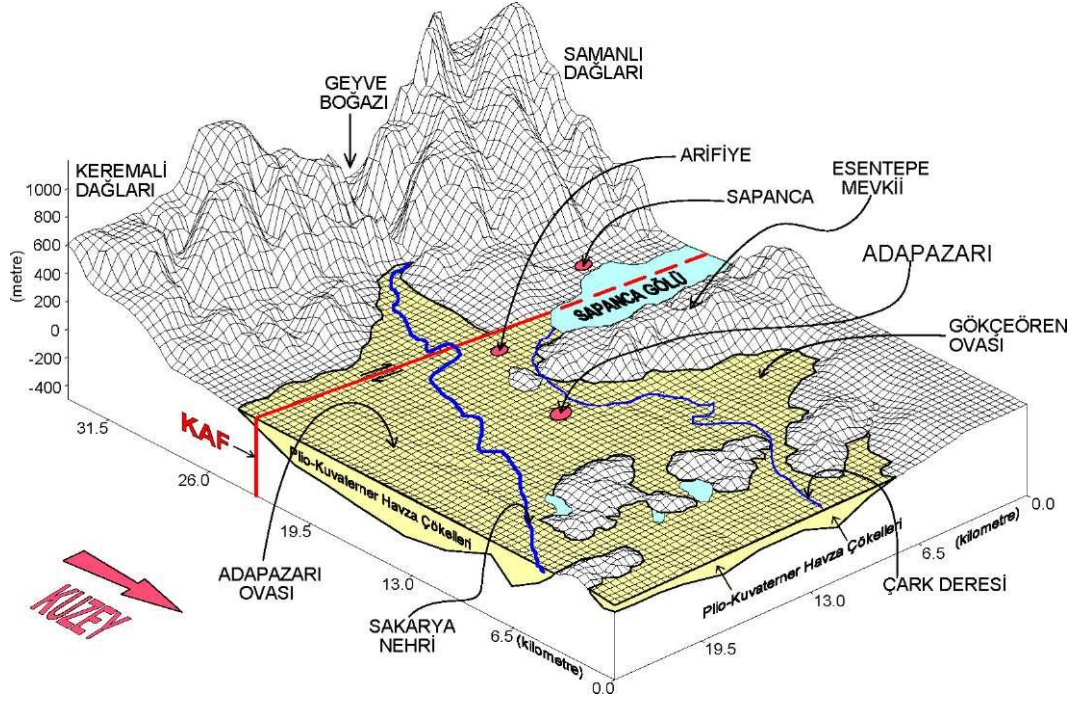
Adapazarı Bölgesi kuvaterner yaşlı genel olarak büyük bir alana yayılmış alüvyon malzemeli jeolojik formasyonlar ile temsil edilir. Adapazarı, Hendek ve Akyazı Ovaları yapısal olarak tutturulmamış kum, kil, silt ve çakıldan meydana gelmektedir. Alüvyonu oluşumundaki etkili olan mekanizma Sakarya Nehri, Çark Suyu ve Mudurnu Çayı tarafından Kuzey Anadolu Fay Kuşağı ve güneyindeki kayaların birikintileri ile taşınmıştır.

MTA (1998), daha önceki jeolojik çalışmalarda ova kenarlarında düşük seviyede var olan alüvyon kalınlığının ova ortalarında 150 metre kalınlığa kadar ulaştığı sonucuna varmıştır. DSİ ise Adapazarı Yenigün Mahallesi'nde yapılan ve 200 metre derinliğe kadar inilen sondaj sonucunda yine o metrelere kadar da alüvyon malzemenin varlığının devam ettiği sonucuna varmıştır. Bölgede büyük oranda var olan alüviyal malzemenin hangi bölgelerden ne şekilde taşındığının ortaya konulabilmesi için Sakarya Havzası'nın mekanizmasının bilinmesi gerekir. Sakarya Havzası alan olarak 58.000 km²'lik su toplama alanı ve 4 milyar m³ üzerinde yıllık ortalama su hacmi ile Türkiye'de var olan en büyük havzalar içerisinde önemli bir yerdedir.

Sakarya Nehri'nin uzunluğu 824 km'dir. Kızılırmak ve Fırat Nehirleri'nden sonra Türkiye'nin en uzun üçüncü akarsuyudur. Pamukova'nın güney kesiminde Sakarya topraklarına girer. Geyve Boğazı'na girmeden önce Karaçay'ın suyu ile birleşir. Doğuda Mudurnu Çayını da (65 km.) alarak kuzeye yönelir. Sapanca Gölü'nün oluşan fazlalık suyunu boşaltan Çark Suyu (45 km.) kuzeyde Sakarya ile birleşir. Vadinin batısında yüksekliği 1000 metreye varan dağlar yer alır. Sapanca'yı geçince yataya

yakın alanda akmaya başlar, kuzeydeki plato alanından boğazı geçer ve kıyı ovasına ulaşır. Karasu ilçesinde Karadeniz'e dökülür. Nehrin kesiti farklı bölgelerine aktığında mendereslerin meydana geldiğine dair bulgular vardır. Nehir yüksek boşalımlıdır. Bundan dolayı sel oluşumunu önleyecek az miktarda bitki örtüsü bulunur. Bunun sonucunda ovada çok yüksek hacimde çökellerin varlığı ortaya çıkar. Bununla birlikte Geyve Boğazı'ndan hızlı çıkışın ardından Adapazarı Ovası'nın yataya yakın düzlüğü sebebiyle hız kaybına uğramasından dolayı çakıl, kum, kil ve silt malzemeleri ovada birikim yapmıştır. Bu ova yatağının zamanla dolması sonucu su akış hızında belirgin bir azalma ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda kil ve siltten oluşan malzemelerin istiflenme durumu oluşmuştur.

Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi Adapazarı Havzası'nın güney kesiminde sınırlamış olan yüksek bölgeler E-W doğrultuludur. Bu doğrultunun batı kesimini Samanlı Dağları, doğu kısmını ise Karadağ-Keremali Dağları oluşturur. Burada yüksekliğin kısmen azaldığı alanda Geyve Boğazı olarak bilinen Derin Vadi, Sakarya Nehri'nin katettiği mesafeler içerisinde yer alır. Adapazarı'nın güneybatısında Sapanca Gölü bulunur. Gölün kuzey ve güney kısımları yüksek tepelerle sınırlanmıştır. Sapanca Gölü'nün doğuya uzanan kesimi daha düz bir alandır. Kentin kuzey tarafında yer alan kesimleri (Karakamış, Dağdibi kuzey kenarları) 150-200 m kadar tepelik bir alan ile sınırlanma gösterir. Adapazarı'nın tarihte kurulu olduğu bölge genel olarak düz bir görünümü işaret etmekle birlikte, şehir merkezinin deniz seviyesine göre hesaplanmış yüksekliği genel olarak 31 metre kadardır. Bu yükseklik NE doğrultusunda %0,5, NW doğrultusunda %2'lik bir eğimle azalma gösterir. Merkezdeki kentleşme sınırlarındaki bu yatay görünümü batıda Serdivan ve güneybatıda Erenler mevkileri kısmen değiştirmektedir [4].



Şekil 2.3. Adapazarı'nın KD'den GB'ya doğru morfolojik görünümü [9].

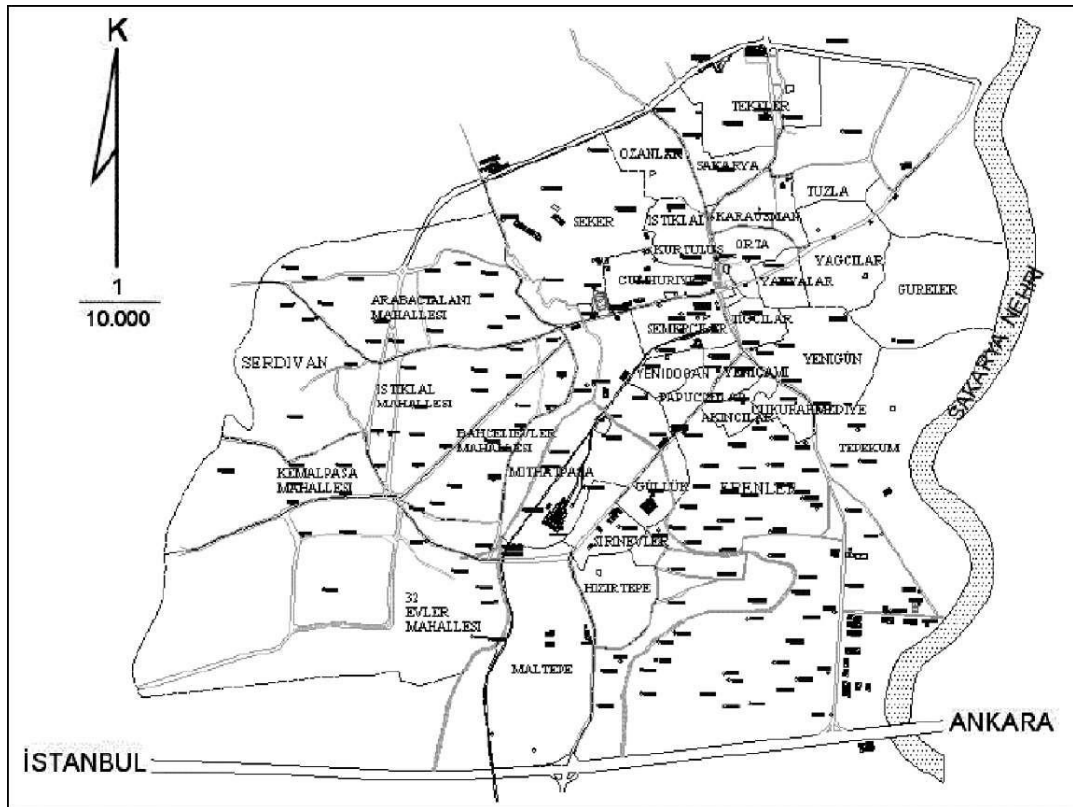
2.2. Adapazarı Zeminlerine Genel Bir Bakış

Adapazarı genel olarak genç çökeller üzerine kurulu şekildedir. Bu çökeller yeterli sıklığa ulaşmamış düzeydedir. Bu nedenle dayanımı zayıf bir zemin yapısı ortaya koymaktadır.

Adapazarı zemini Türkiye'deki büyük ölçekli depremlerden 17 Ağustos depreminde sınıvlaşma göstermiştir. Bu sınıvlaşma büyük yıkımlara neden olmuştur. Sınıvlaşma sebebiyle yapılarda dönmeler, batmalar ve ötelenmeler oluşmuştur. Zeminin zayıf olduğu Adapazarı Merkez'de çok büyük oranda yapısal hasarlar meydana gelmiştir. Adapazarı zeminleri genel olarak ince dane oranı yüksek ve dayanımı düşük zemin tabakalarından meydana gelir. Magnitüd olarak büyüklüğü 7.4 olan 17 Ağustos 1999 depremi şiddet olarak ileri düzeyde hissedilmiştir. Bu durum büyük yıkımlara yol açmıştır. Adapazarı'na komşu ilçeler Sapanca ve Arifiye KAF'a yakındır. Ancak bu bölgelerde depremin etkisi Adapazarı Merkez'e göre daha az olmuştur. Bunun nedeni bu bölgelerin havza tabanı topoğrafyasının yüksek tepeliklerden oluşması ve gevşek çökellerin çok ince tabaka halinde olmasıdır.

Zeminin zayıflığından dolayı birçok binada oturmalar ortaya çıkmıştır. Cadde ve sokaklardan bakıldığında binalar kanalizasyon ve su hattının olduğu kısma doğru kayma yapmıştır.

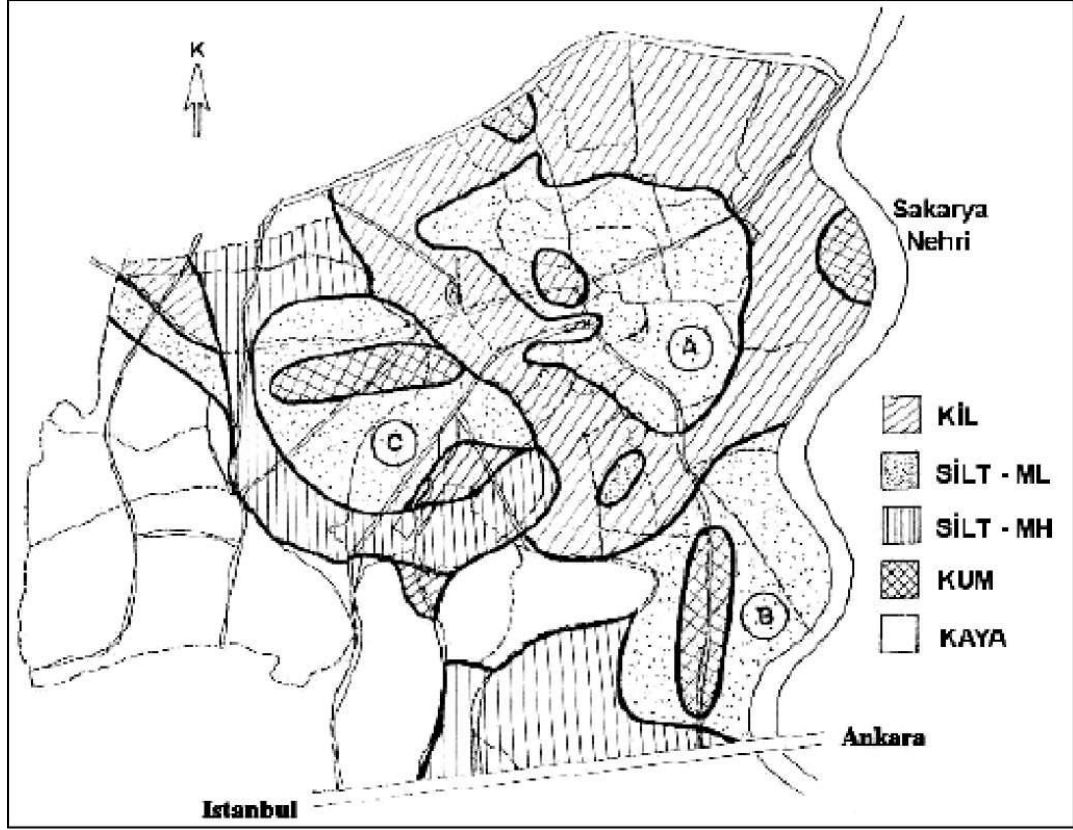
Adapazarı ilçesi konum olarak Sakarya Havzası'nda bulunmaktadır. Bu havzadaki alüvyondan oluşan malzemeler jeolojik zamanlarda Sakarya Nehri ve Çark Suyu tarafından taşınmıştır. Siltli ve killi tabakalar 3 metreden başlar. Adapazarı'nın birçok bölgesinde ise 15 metreden daha fazla bir kalınlığa ulaşır. Deprem sonrası bölgede parsel bazında zemin etüdlerinin yapılması zorunlu hale getirilmiştir. Bu etüplerde sondaj araştırmaları önemli yer kaplamaktadır. Şekilde bazı sondajlar ve sondajların yapıldığı bölgeler gösterilmektedir (Şekil 2.4.).



Şekil 2.4. Adapazarı İlçesi'nde daha önceden açılan bazı sondaj yerleri [10].

Şekil 2.5.'te Erken'e (2001) göre zeminden elde edilen verilerin analizi ile ortaya çıkan Adapazarı'nın zemin yüzeyinden 15 m derinliğe kadar olan tabakalarının jeolojik olarak malzeme ayırımı verilmektedir. Plastik olmayan veya düşük plastik özelliği

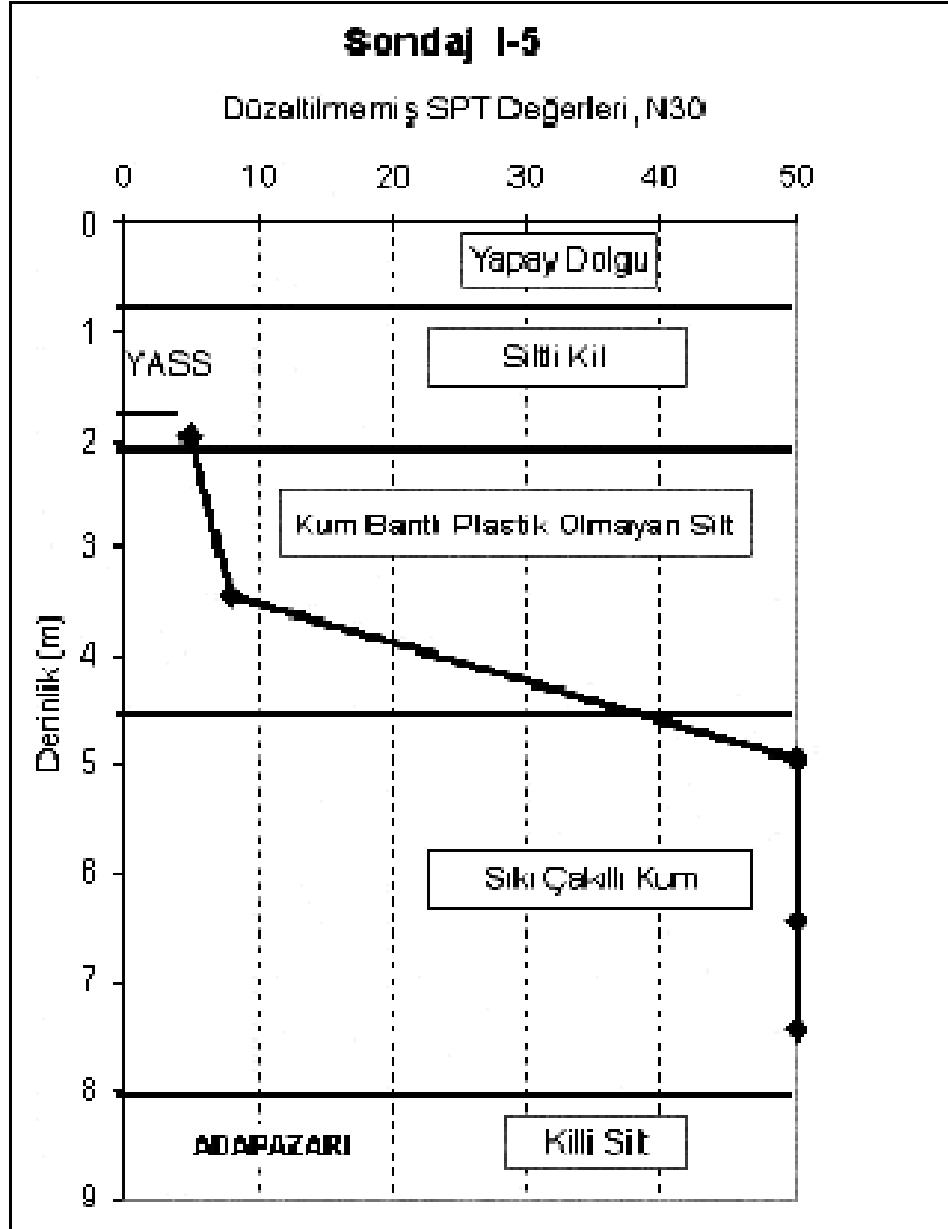
olan silt tabakaları Adapazarı Merkez’de yoğun şekilde varlığını göstermektedir. Bu tabakalaşma şekilde A bölgesi tarafından temsil edilmektedir. A bölgesinde siltli zeminde oransal olarak hesaplanan kum oranı bazı yerlerde %50 oranına ulaşmaktadır.



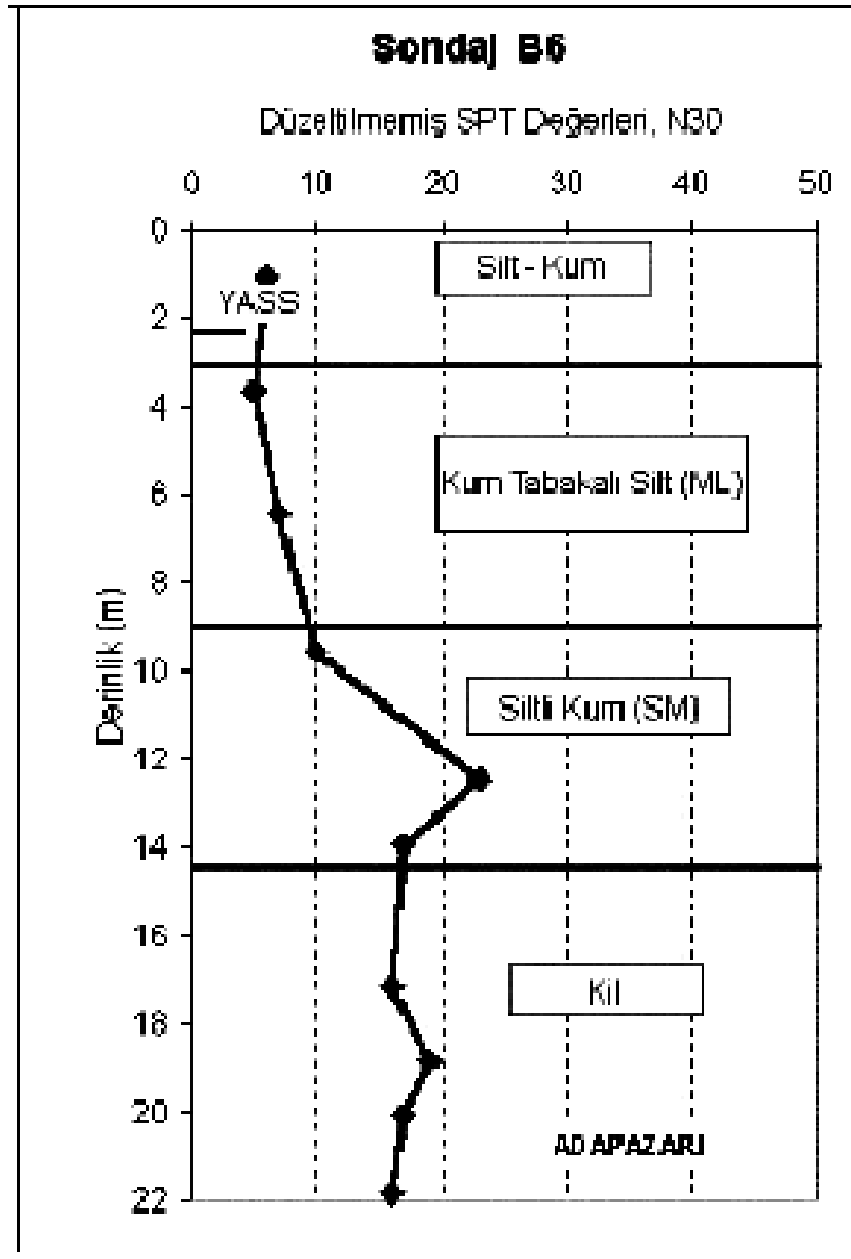
Şekil 2.5. Adapazarı'nın ilk 15 metredeki zemin tabakaları [11].

Deprem etkisiyle yıkım ve hasarların yoğunlaştığı A bölgesinde yer alan Çark Caddesi'nde Adapazarı'nın kanalizasyon boru hattı projesi amacıyla açılan sondaj kuyularından ikisi I-5 ve B6 aşağıdaki şekilde verilmiştir. Şekil 2.6.'da I-5 sondajına ait kesit verilmiştir. Kum bantlı plastik olmayan silt tabakası, dolgu ve siltli kil tabakaları altında bulunmaktadır. SPT darbe sayıları, yapılan deney sonuçlarına göre zemin yüzeyinden 4 m'ye kadar olan derinlikte 10'dan küçük çıkmıştır. Çakıllı kum tabakası sıkı şekildedir. Killi silt tabakasının üzerinde bulunmaktadır. Şekil 2.7.'de verilen B6 sondaj kesiti ise Adapazarı Merkez'de ağır hasarın olduğu bölgelerin genel olarak zemin yapısını göstermektedir. Bu kesitin jeolojik yorumuna göre yumuşak silt, kum tabakaları 14 m derinliğe ulaşır. Adapazarı'nda yeraltı su seviyesi

zemin yüzeyine çok yakın alanlarda bulunmaktadır. Ayrıca yeraltı su seviyesi doğal yağışlardan bir miktar etkilenmektedir.



Şekil 2.6. Adapazarı Ovasının tipik kesiti [11].



Şekil 2.7. Adapazarı'nda ağır hasar alan bölgeden zemin kesiti [11].

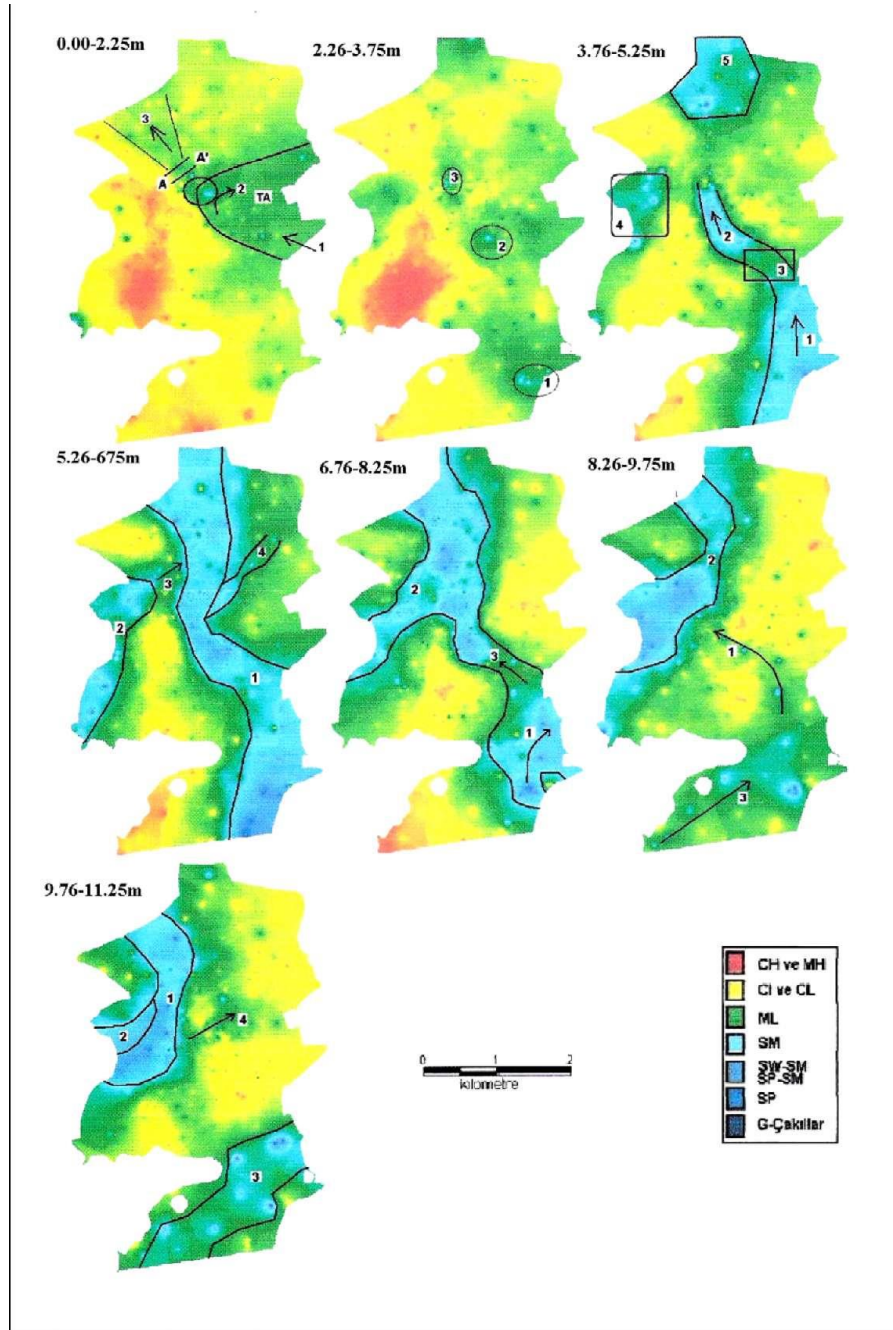
Bol (2003), Adapazarı zeminlerinin karakteristik özelliklerini belirlemek için araştırmalar yapmıştır. Çeşitli derinliklerde Adapazarı ve Erenler bölgelerinde 34 mahallede zeminleri TS 1500/2000 kurallarına göre 15,75 metreye kadar sınıflandırmıştır.

Zemini genel olarak yorumlayabilmek için bu 34 bölgenin sınırlarını gösteren bir sayısal harita ortaya konmalıdır. Bu haritalarda kullanılan mahallerin 26 tanesi Adapazarı Merkez’de yer almaktadır (Şekil 2.8.).



Şekil 2.8. Adapazarı Sayısal Haritası [4].

Bol'un (2003) çalıştığı zemin özelliklerini sınıflandırılması amacıyla yapılmış olan harita 11,25 metre derinliğe kadar gösterilmektedir (Şekil 2.9.).



Şekil 2.9. Belli derinliklerde Adapazarı zemin haritası [4].

Şekil 2.9.'daki haritaların yorumlanması çok farklı sonuçlar elde edilmesi açısından önem taşımaktadır.

Yüzeiden 3,75 metreye kadar olan kısımlar zemin özelliği bakımından birbiriyle benzerlik göstermektedir. Bu tabakalarda kırmızı ile gösterilen CH sınıfı zeminler Adapazarı Merkez'de tepelik sahanın kuzey ve güney kesimlerinde büyük bir bölgeye yayılım göstermiştir.

Burada yer alan CH türü killer yüzey suları tarafından taşınması ile oluşmuştur. Adapazarı'nın güney kısmını temsil eden Akveren formasyonuna ait killi kireçtaşı, marn, kil taşı, silt taşı gibi kayaçların ayrışmasından ortaya çıkan malzemelerdir. Bu ince malzeme tepelerin üst kısmına birikmiş şekilde bulunurlar [4].

Adapazarı'nın kuzey ve doğu kısımlarında yoğun şekilde ML sınıfı killer bulunur. Kuzey kısma gidildiğinde ise CL sınıfı killer görülmeye başlanmıştır. Tabaka-1 ve Tabaka-2'de yer alan kumlar çok sınırlı bir bölgeyi temsil ederler. Kumlarla kaplanmış olan bu alan Adapazarı'nın jeolojisinde önemli bir yeri olan Sakarya Nehri'ne çok yakın bir bölgededir. Çeşitli dönemlerde oluşan taşkınlar nedeniyle bölgede kum birikintilerinin ortaya çıktığı düşünülür [4].

Bol'a (2003) göre taşkınlarla oluşan sular Adapazarı'nın içine ok1 doğrultusunda girerler. Bazen de taşkının debisi eğer çok yüksek değilse ok2 ile çizilmiş doğrultuda bir menderes oluştururlar. Böylece bu bölgeyi bu şekilde terkederler veya A-A' bölgesinde eğer topografik bir engel var ise da TA bölgesinde birikmeler oluşur. Böylece zamanla çekilme gerçekleşir. Bu alan ise taşkın alanı olarak isimlendirilir. Aynı zamanda bu alan yeşil renkle temsil edilen ML sınıfı siltlerin yüksek oranda varlığı görülür. Bazı zamanlarda ise A-A' engeli aşılabilir durumdaydı. Taşkın suları ise ova içerisinde ok3 yönünde günümüzdeki topografya hesaplamalarına göre çok düşük olan kısımlarında bile diğer kısımlara oranla daha alçak kısımlarına doğru hareket etmekteydi. 2,26-3,75 metreleri temsil eden harita değerlendirdiğinde 1, 2 ve 3 no.lu bölgelerde sellenme kaynaklı kumlanmaların oluştuğu görülmektedir [4].

3,26-5,25 metre derinlikte Tabaka-1 ve Tabaka-2'deki var olan CH türü malzemenin yerini CL sınıfı zemine yerini bıraktığı görülür. Ancak CH sınıfı zeminler bu bölgede kısım kısım varlığını sürdürmektedir. Kuzey uçta büyük oranda kum tabakaları

bulunur. Doğu ve kuzeydoğu kısımlarında ise ML sınıfı zeminler yoğundur. Bu bölgede de CL sınıfı zeminler kısım kısım görülmektedir. Güneydoğu kısmında ve Adapazarı'nın orta noktalarında ise kum tabakasının varlığı belirginleşir. 3,26- 5,25 derinliklerinde önemli bir ayrıntı ise Adapazarı'nı güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda iki kısma ayıran kum tabakasının varlığıdır. Kum tabakaları kendisinden daha alt kısımlarda yer alan tabakalarda net olarak belirecek bir akarsu yatağının üst kısımlarının işaret eder. Söz konusu olan bu kanal eski dönemlerde Sakarya Nehri'nin bu güzergâhı kullandığının ve bu şekilde akış karakteri gösterdiğinin bir kanıtıdır. Bu tabakada ifade edilen 4 ve 5 no.lu kısımlar daha altta var olan ve bir nehir kanalına ait dolgu malzemesinin üst kısımlarının varlığını gösterir [4].

5,26-6,75 metre derinlikte kanal şeklinde bir kum tabakası bulunur. Bu durum bu bölgede bir nehir yatağının varlığını gösterir. Bu kum tabakasının Adapazarı Merkezi'nden geçtiği ve güneydoğu-kuzeybatı doğrultusunda görünürleştiği söylenebilir. Bu derinlikte Adapazarı'nın kuzey kısımlarında ML sınıfı zemin yapıları yoğun şekilde bulunur. Bazı bölgelerde ise kısım kısım CL sınıfı zeminler vardır. Akarsu bu derinlikteki kanal malzemesini oluşturan kum ve iri kum boyutundaki malzemeleri bu bölgeye biriktirmiştir. 2 no.lu bölge olarak gösterilen kısımda da bir nehir kanalının faaliyeti sonucu yığılmış olduğu kumlar belirmektedir. Kumların yayılımından bu kısımda etkin olan nehrin güneyden kuzeye doğru akan bir nehir olduğu bununla birlikte 1 no.lu kanalla devamlı bir bağlantısı olmadığı söylenebilir. Ancak 2 no.lu nehir kolu yüksek debili olduğu zamanlarda ok3 ile gösterilen kısım ile 1 no.lu nehir kanalına bağlandığı yorumlanabilir. Bununla birlikte 4 no.lu bölgede 1 no.lu nehrin küçük bir uzantısının olduğu gözlemlenmiştir [4].

6,76-8,25 metre derinlikte, kuzeydoğu bölgelerinde CL tipi zeminler belirginleşmekte ve yer yer CH tipi zeminler görülmektedir. Bu tabakada kum, kil, silt cinsi zeminler belli bölgelerde yoğun olarak bulunmaktadır. Bu derinliklerde batıda görülen kanalın sürekliliği göze çarpmaktadır. 1 no.lu kanal güneyden gelmekte ve bir menderes büklümü yaparak doğuya doğru yönelmektedir. Taşkın anlarında ise ok3 yönüyle gösterilen kanal yardımıyla fazla sularını 1 no.lu kanala aktarmaktadır. Bu şekilde bir

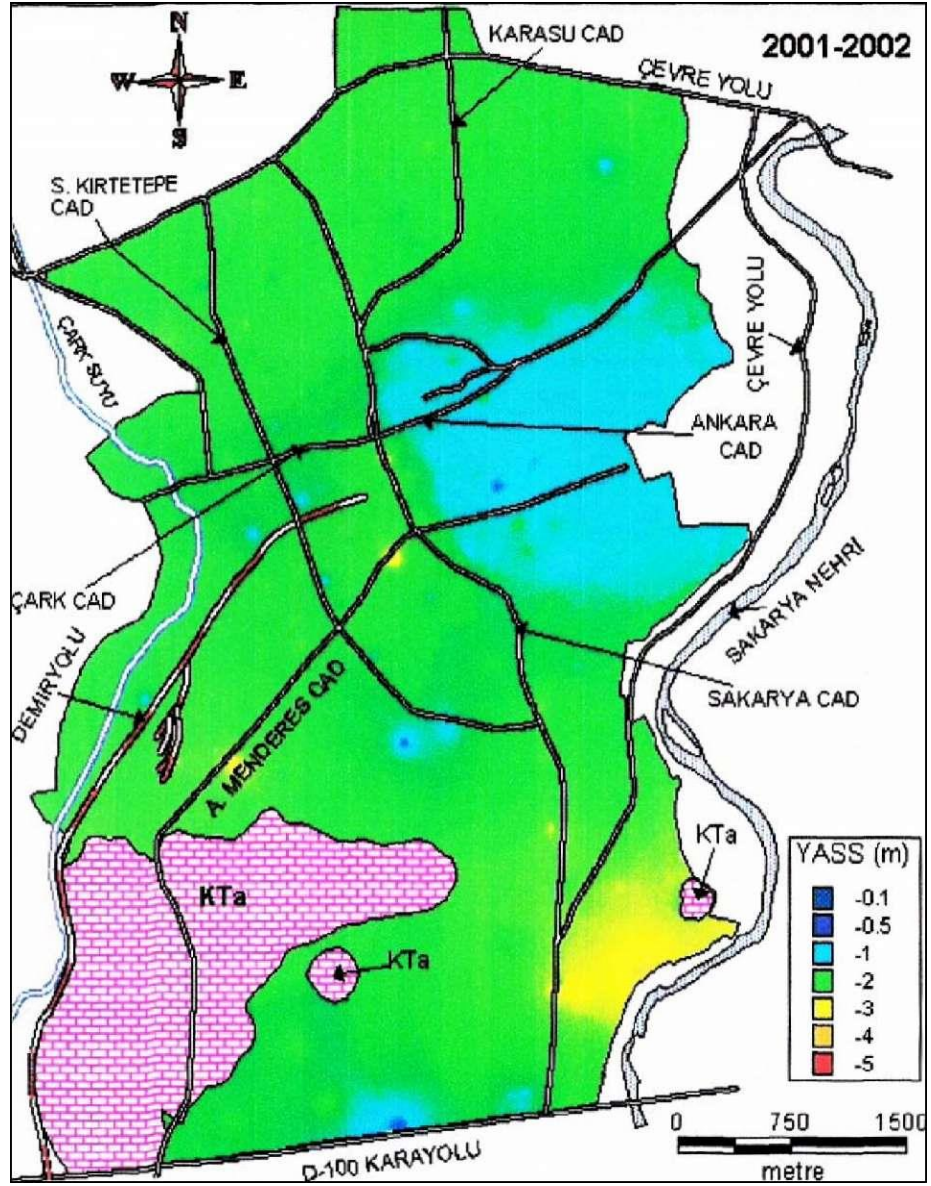
diğer özellik olarak 1 ve 2 no.lu kanallar arasında kalan bölgenin, 2 no.lu bölgenin batıyı çevrelediği düşünülürse CH ve CI killerin egemen olduğu bir ada şeklinde kalmış olması açıklanabilir [4].

8,26-9,75 metre derinlik incelendiğinde kuzeydoğu bölgelerinde CL sınıfı zeminlerin yoğunluğu görülür. Bazı kısımlarda CH sınıfı zeminler de vardır. Batı bölgelerinde kum tabakaları çok yoğun bir şekilde görünür. Bu kum tabakasının doğusunda ML sınıfı zeminlerin varlığı dikkat çeker. Bu derinliklerde üst kısımlardaki tabakalarda doğuda beliren kanalın artık bittiği ve bu hattın ancak üstteki kanalın alt tabanını temsil eden bölgesel kumlardan ibaret olduğu ortadadır (ok1). Aynı zamanda bu seviyede kumların ok3 ile gösterilmiş doğrultuda sıralanması yeni bir kanalı temsil edecek oluşumun ortaya çıktığına dair bir işarettir [4].

9,76-11,25 metre derinlikler incelendiğinde batıdaki kanallar devam etmektedir. Doğudaki hâkim CL sınıfı zeminlere ML türü zeminler sokulmakta ve CH türü zeminler varlığını kaybetmektedir. Bu seviyede güneydeki kanal kendini iyice belli eder. Daha sonra kuzeydoğuya doğru yönelir. Aynı zamanda ok4 ile gösterilen doğrultuda killerin arasında bir kanal şeklinde siltler görünür hale gelir. Doğu kısmına doğru bu silt kanalı genişlemiş ve daha sonra sınırları yaklaşık belli olan bir bölge haline gelmiştir [4].

2.2.1. Çalışılan bölgede daha önce yapılmış yeraltı suyu araştırmaları

Adapazarı Ovası genelinde YASS seviyesi yüzey seviyesine yakındır. Bazı bölgelerde 1 ile 2 m arasında değerlerdedir. Yağışlar ve eriyen karlar nedeniyle YASS seviyesi yer yüzeyine çok yakın noktalara kadar ulaşmaktadır. 1999 yılı öncesi için 60 adet sondaj araştırmasında ortalama YASS seviyesi 1,56 metreyken temmuz aylarında yaklaşık 2,77 metre gibi değerler gözlemlenmiştir. 2000 yılında 488 adet sondajdan elde edilen YASS seviyesi ortalaması 1,05 m'lerdedir. 2002 yılında ölçülen değerlerde ise YASS 1,88 m ve bu yıla ait minimum seviye 2,62 metredir. Şekil 2.10.'da 2001-2002 yıllarına ait yeraltı su seviyeleri verilmiştir. Bu haritalarda yeşil kısımlar yaklaşık 2,00 metre derinliği göstermektedir [4].



Şekil 2.10. Adapazarı YASS seviyeleri [4].

BÖLÜM 3. JEOFİZİK YÖNTEMLER VE SİSMİK DALGA YAYINIMI

Jeofizik çalışmalarda P ve S dalga hızlarının tespiti zemin tabakalarının fiziksel analizi için önemli yer tutmaktadır. Sismik atışların yapılmasıyla çizilen yol-zaman grafikleri tabakalar hakkında önemli bilgiler verir. Zamanla jeofizik yöntemler ve hesaplama yöntemleri geliştirilmiştir. Son yıllarda MASW ölçümleri yapılarak kayma dalgası hızlarına bağlı zemin analizleri yapılmaktadır. Zeminlerden elde edilen sismik veriler eşliğinde zemin elastik parametreleri elde edilir [13].

3.1. Dalga Yayınımında Temel Kavramlar

Sismik dalgaların yayıldığı yeraltı ortamlarındaki bilinmezliklerin varlığına karşı dalga hareketinin matematiksel olarak rahatça çözülebilmesi amacıyla yeraltındaki ortamlar teorik olarak homojen ve izotrop olarak kabul edilir. Katı bir cisme kuvvet uygulandığında iki türlü durum söz konusudur. Birincil olarak üzerine kuvvet uygulanan katı cisim şeklinde bir değişiklik olmaz. Ancak hacimsel bir değişme ortaya çıkar. İkincil durumda ise şekil değişiklikleri ortaya çıkar ancak hacmi değişmez [19].

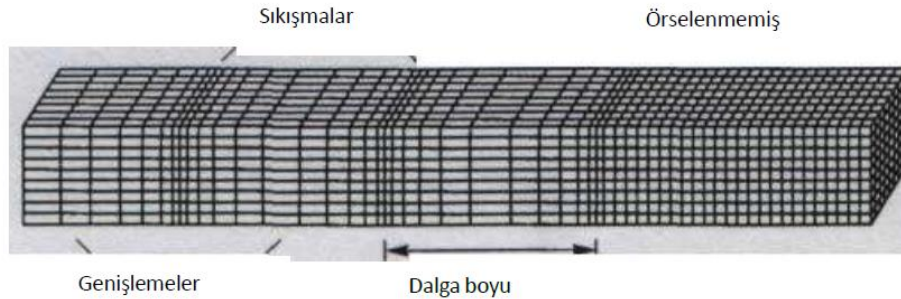
3.1.1. Dalga yayılım hızı

Dalga yayılım hızı genel olarak maddeye uygulanan gerilim ve gerilimin ortaya çıkaracağı etki ile açıklanır. Özellikle katı cisimler içinde ilerleyen elastik dalgaların fiziksel özelliklerin dalga yayılım hızının belirlenmesinde önemlidir. Katı cisimler üzerine etki eden bir gerilimin ortadan kalkması sonucu cisim oluşturulan parçacıkların eski yerlerine geri dönmesine karşı daha fazla gerilim ve kalıcı bir yer değiştirme

görülür. Ancak kalıcı yer değiştirme görülmeyen parçacık hareketine elastik davranış denir.

3.1.2. Boyuna dalgalar (P)

P dalgalarına aynı zamanda sıkışma dalgaları da denilebilir. Boyuna dalgalar olarak isimlendirilen P dalgaları jeofonlara gelen ilk dalgalardır. P dalgaları ortamın yapısından bağımsız olarak her durumda yayılabilirler. Sudaki dalgalanmalar, hava boşluğundaki ses dalgaları P dalgasının varlığını gösterir. P dalgalarının yayılması (1-2000 Hz) değerleri arasındadır. Boyuna dalgaların hızı malzemenin sıkışma ve genişlemeye karşı direncine göre değişkenlik gösterir. Bu dalgaların yayılımı sırasında hacimde değişiklikler olur. Boyuna dalgalar titreşimin doğrultusu dalga yayılımı doğrultusunun yönündedir. Buna bağlı olarak gevşek zeminlerde P dalgası hızı düşük çıkmaktadır. Sert ve sıkışması zor zeminlerde P dalga hızı gevşek zeminlere göre çok daha yüksek çıkacaktır. P dalga değeri ortamın yapısal durumu hakkında bilgiler verir. Jeolojik yapıların geometrik şekilleri hakkında önemli bilgiler elde edilebilir. P dalga hızından yola çıkarak zeminlerin ya da kayaçların kazılabilirlikleri hakkında yorumlar yapılabilir [13]. Şekil 3.1.'de P dalgasının yayılım şekli görülmektedir.



Şekil 3.1. P Dalgası yayılımı [14].

Dalga yayılımında hacim ve şekil değişimi birlikte görülür. Ancak şekil değişimi sırasında açılar değişmez. Yani küp şeklindeki bir eleman dikdörtgen prizmaya dönüşür.

P dalgaları yayıldığı ortamda en hızlı dalgalardır. Bu nedenle deprem kayıtlarında en önce kaydedilirler. P dalgasının hızı,

$$V_P = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(2-\sigma)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}} \quad (3.1)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Burada;

σ = Poisson oranı (Enine daralmanın boyuna uzamaya oranı)

μ = Sıkışmazlık (Rigidity) Modülü (şekil değişmesine karşı gelen kaymadır)

ρ = Yoğunluk

E = Young modülü, Elastisite Modülü (Cisim gerilmeye veya sıkışmaya tabi tutulduğunda oluşan stresin straine oranı)

3.1.3. Enine dalgalar (S)

S dalga hızları enine dalgalar olarak tanımlanır. Enine dalgalar (S dalgaları) malzemenin şekil değişimine ve burulmasına karşı oluşan direnç ile ortaya çıkar. Kayma dalgalarının yayılımı sırasında malzemelerde şekil bozulması açısız değişiklik gözlemlenir. Bunun nedeni dalga yayılımı esnasında malzemeyi oluşturan partiküllerin titreşim doğrultusunun dalga yayılımı doğrultusuna göre dik olmasıdır. S dalgası SH ve SV olarak ikiye ayrılır. SH, S dalgasının yatay bileşenidir. SV ise S dalgasının dikey bileşenidir. S dalgasının frekansı 1-40 Hz arasındadır. S dalgaları ortamların fiziksel durumları hakkında bilgi verirler. Sıvı içeren ortamlarda S dalga hızları çok düşük değer alır. Dolayısıyla S dalga hızları kullanılarak bir bölgede sıvılaşma olabilecek alanlar doğrudan tespit edilebilirler. $V_s < 200 \text{ m/sn}$ olan durumlarda sismik araştırmanın yapıldığı o bölgede sıvılaşma potansiyelinin olabileceğinden bahsedilebilir.

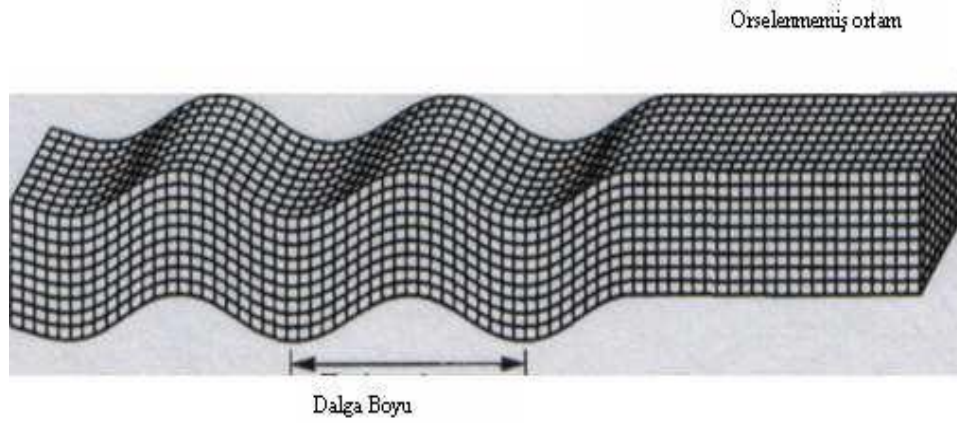
S dalgasının hızı V_s , aşağıdaki bağıntı ile verilebilir;

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\sigma}} \quad (3.2)$$

P ve S dalgalarının birbirine oranı ise,

$$\frac{v_S}{v_P} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \quad (3.3)$$

bağıntısı ile gösterilebilir.

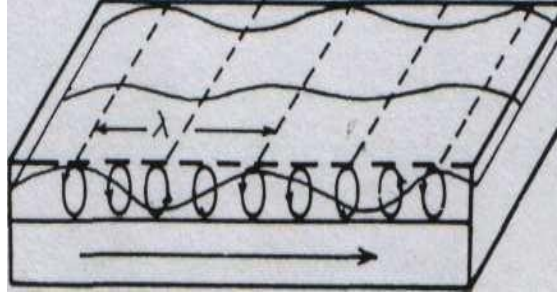


Şekil 3.2. S Dalgası yayını [14].

Poisson oranının (σ) genellikle 1/4 olan değeri yukarıdaki bağıntıda yerine konulursa V_P / V_S oranı kök 3 değerini alır. Bu da katı cisimlerde P dalgasının S dalgasından 1,7 kat daha hızlı olduğunu ifade etmektedir. Sıvılarda rigidite modülü $\mu=0$ olduğundan S dalgası yayını gerçekleşmez.

3.1.4. Rayleigh dalgaları (R)

Rayleigh dalgaları yarı sonsuz ortamlarda oluşur. Bu tür dalgalar eliptik bir yörünge düzleminde partiküllerin hareketleri ile meydana gelir. Bu dalganın yayılma doğrultusu soldan sağa doğrudur. Bundan dolayı partiküllerin hareketi saat yönünün tersindedir. Yörünge uzun eksenini geometrik olarak düşey bir elipstir. Bundan dolayı bu tür dalgalar fiziksel olarak P ve S dalgalarının vektörel bir bileşkesi gibidir. Rayleigh dalgalarının hızı aynı ortamda yayılım gösteren S dalgalarına biraz yakın bir matematiksel bağıntı ile hesaplanabilir. Rayleigh dalgaları ve S dalgaları arasında aşağıdaki bağıntı verilebilir.

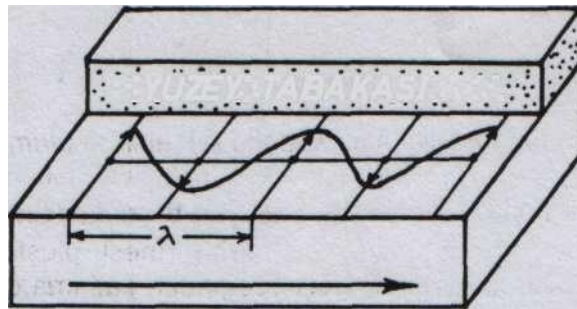


Şekil 3.3. Rayleigh dalgalarının yayılımı sırasında parçacık hareketleri [14].

Rayleigh dalgaları hız olarak aynı ortamda yayılma gösteren S dalgalarına göre hesaplandığında formül olarak $V_R=0,92 V_s$ bağıntısı ile hesaplanabilir. Yansıma kayıtlarında görülen "Ground Roll" adı verilen gürültüler genellikle Rayleigh dalgalarıdır.

3.1.5. Love dalgaları (L)

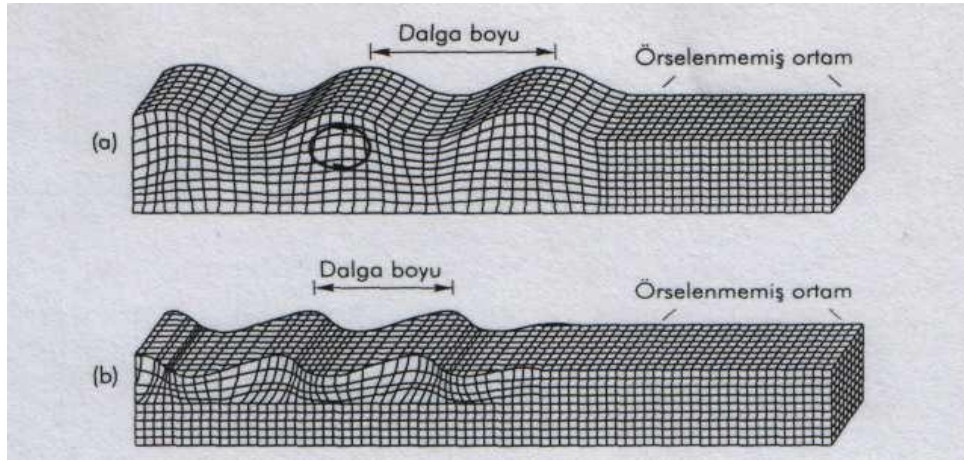
Bir diğer yüzey dalgası olan Love dalgaları yarı sonsuz ortamlardaki düşük hızlı yüzey tabakaları içerisinde meydana gelirler. Love dalgaları düşük sismik hızlara sahip tabakalarda yarı sonsuz ortamlarda meydana gelirler. Salınım düzlemi yataydır. Love dalgaları dispersiyon hareketi gösterirler. Derinliğin artması ile birlikte salınım genliği azalır. Salınım düzlemleri yatay iken, yayılım doğrultusuna dik olarak salınan parçacık hareketlerinden oluşurlar (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Love dalgası yayılımında parçacık hareketleri [15].

Love dalgaları yarı sonsuz ortamlarda sismik hızı düşük yüzey tabakaları içerisinde oluşurlar. Salınım düzlemleri yataydır. Love dalgaları dispersiyon hareketi gösterirler. Derinlik arttıkça salınım genliği azalır.

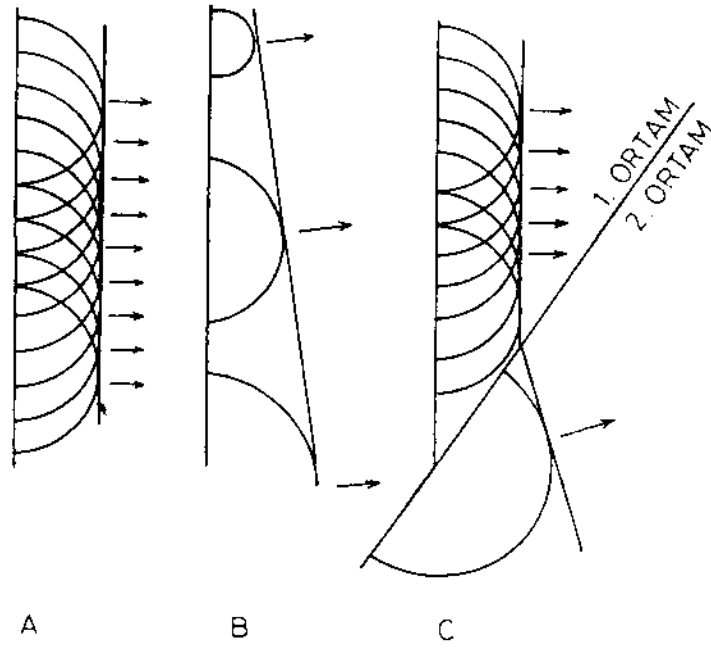
Love dalgaları saçılım (dispersiyon) gösterirler. Love dalgaları düşey bileşenli alıcılar tarafından kaydedilemezler.



Şekil 3.5. Love ve Rayleigh dalga yayılımı [14].

3.2. Dalga yayılımı geometrisi

Herhangi bir enerji kaynağından çıkan dalgalar, suya atılan bir taşın oluşturduğu dalgalar gibi giderek genişleyen daireler gibi yayılım gösterirler. Yer katmanlarında üç boyutlu ortamda küresel olarak yayılırlar. Küreyi oluşturan yüzeylere ise "dalga cephesi" denir. Dalga cephesini meydana getiren her bir nokta yeni bir enerji kaynağı gibi davranır (Huygens prensibi). Bu kurala göre, belirli bir zaman diliminde herhangi bir dalga cephesi geometrisinin bilinirliği ile daha sonra oluşacak dalga cephesi geometrileri bilinebilir. Bu işlem, dalga cephesine ait her bir noktanın bir enerji kaynağı olduğu düşünülerek bu noktalardan yayılma gösteren küresel dalgaların zarflarının çizilmesi ile yapılır.

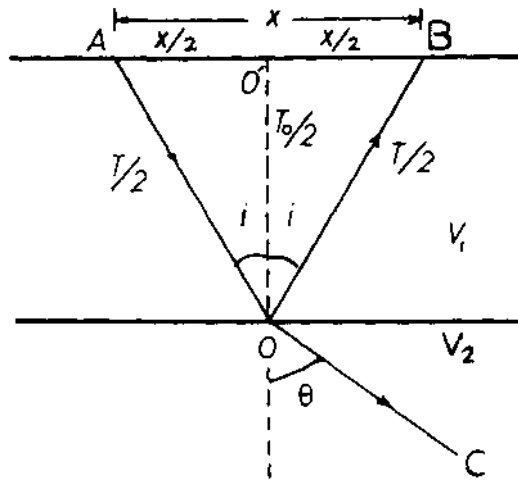


Şekil 3.6. Huygens prensibine göre düzlem dalga yayını; A) Homojen ortam B) Hızın düşey yönde doğrusal (lineer) artması C) Ortam değişikliği nedeniyle hızın ani olarak değişimi [15]

Dalga cephesinin bir t zamanında oluştuğu düşünülürse; $\Delta t+t$ zamanı için oluşacak dalga cephesi, ortamın yayılım hızının kullanılması ile S yarıçaplı çemberlerin zarfının çizilmesi ile elde edilir. Huygens prensibine göre genel olarak genişleyen dalga cepheleri oluşurken, bu dalgalar iki nokta arasındaki en kısa mesafeyi izleyerek giderler. Bu kurala "Fermat prensibi" denir. Huygens ve Fermat prensiplerinin sismik hızları birbirinde farklı olan ortamlarda uygulama esasları sismik veri işlemin temelini oluşturur. 3.7.de anlatıldığı gibi V_1 ve V_2 hızlarının olduğu bir ortamda A ve B noktaları arasındaki dalga yayılım hareketi geliş açısı ile yansıma açılarının eşit olması gerekliliğini ortaya koymaktadır. İki farklı ortamda bulunan A ve C noktaları arasındaki dalga yayılımının ışımsal geometrisi için "Snell yasası" olarak bilinen,

$$\frac{\sin i}{V_1} = \frac{\sin \theta}{V_2} \quad (3.4)$$

bağıntısı yazılabilir.



Şekil 3.7. Snell yasasında kullanılan bağıntıya bağlı ışın geometrisi [16].

BÖLÜM 4. DİNAMİK ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

Geoteknik sorunların çözümünde dinamik elastik parametrelerin elde edilmesi ve yorumlanması önemli bir aşamadır. Bu konuda çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri bulunur. Bu deneylerin büyük çoğunluğu düşük deformasyon seviyesindeki özelliklerini ortaya koyması için tasarlanmıştır. Sismik dalgaların yayılımını etkileyen zemin özellikleri ve düşük deformasyon deneyleri rijitlik, sönümlenme, poisson oranı ve yoğunluk ile ilgilidir. Bu fiziksel parametrelerden en önemlileri rijitlik ve sönümlenmedir. Tekrarlı yükler altındaki zeminlerin rijitlik ve sönümlenme özelliklerinin bilinmesi geoteknik sorunların çözümü için gereklidir.

Zemin karakteristik özelliklerini belirlemek için yapılan incelemelerin uygulanabilirliğine göre bu deneyler laboratuvarda veya arazi üzerinde yapılır.

4.1. MASW Yöntemi

MASW yöntemi yakın yüzey araştırmalarında tabakalardaki Vs kayma dalgası hızını belirlemek amacıyla kullanılan sismik yöntemlerdendir. Köprüler, barajlar, büyük sanayi tesisleri, iskân alanları gibi yapıların zeminlerinin karakteristiğini belirlemede önem arz eder. Zeminlerde sıvılaşmalar kaya zemin ayrımının belirlenmesi, yeraltı boşluklarının bulunması gibi geoteknik konularda kullanılır. Yapılan çoğu çalışmalarda zayıf zemin tabakalarının tespiti dolgu zemin ayrımının ve boşluklu yapıların tespitinde çok net bilgilere ulaşılmıştır. MASW yönteminin Vs kayma dalga hızını katmanlar arasında belirleme özelliği birçok geoteknik soruya cevap sunabilmektedir.

4.1.1. MASW yönteminin uygulanışı

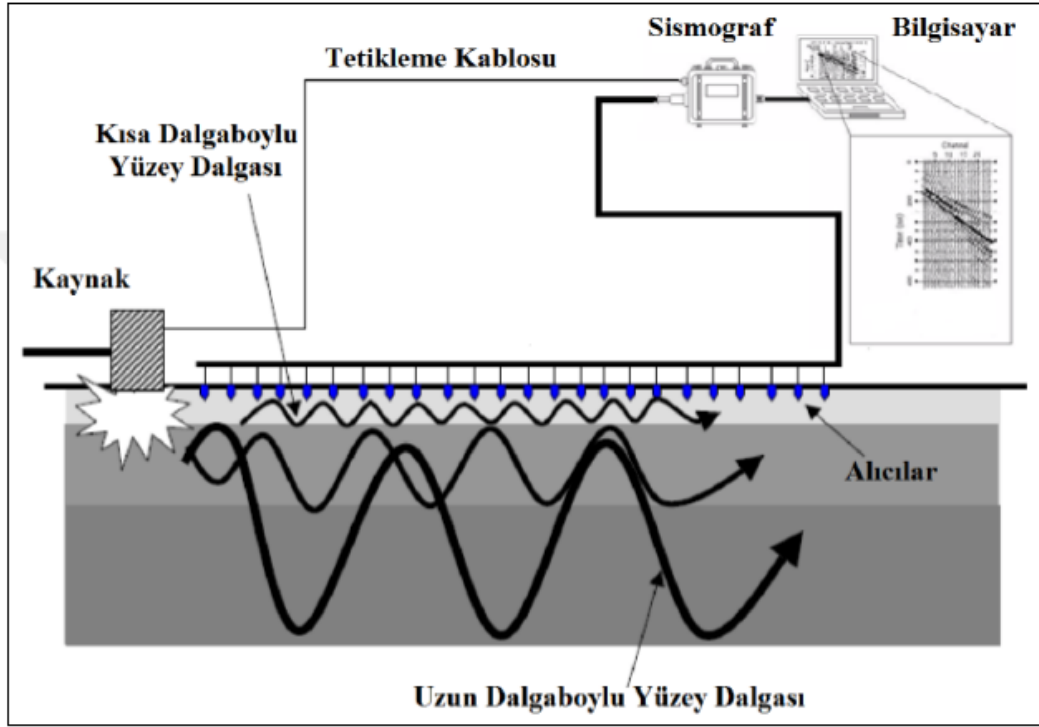
Yüzey dalgalarının çok kanallı analizi Rayleigh dalgalarının dispersiyonundan elde edilen sonuçların analizine dayanmaktadır. Derinliğe bağlı değişkenlik gösteren Vs kayma dalgası hızları bu yöntemle tespit edilir. MASW yöntemi doğrusal bir hat üzerinde dizilmiş olan 12 adet veya daha fazla jeofonların kullanılmasıyla uygulanır. Sismik kırılma ve yansıma sinyallerin frekansı genellikle 50 Hz üzerinde yüksek frekansa sahip dalgalardan meydana gelmekteyken MASW yönteminde daha düşük 1-30 Hz aralığındaki frekanslardaki yüzey dalgaları kullanılır.

MASW yöntemi bir boyutlu 1D olarak değerlendirilebilir. Aynı hat üzerinden elde edilen bir boyutlu modeller birleştirilerek iki boyutlu modeller elde edilebilir. İki boyutlu hatlar ise birbirine paralel şekilde yan yana birleştirilirse 3 boyutlu modeller oluşturulur. MASW uygulamasında önce veriler toplanır sonra dispersiyon eğrileri elde edilir. Daha sonra dispersiyon eğrilerinin ters çözümleri yapılarak Vs dalgaları elde edilir. MASW yönteminde ekipman olarak bilgisayar, sismograf, sismik kaynak, alıcılar, demir plaka, sismik kablolar, tetikleme kablosu bulunur.



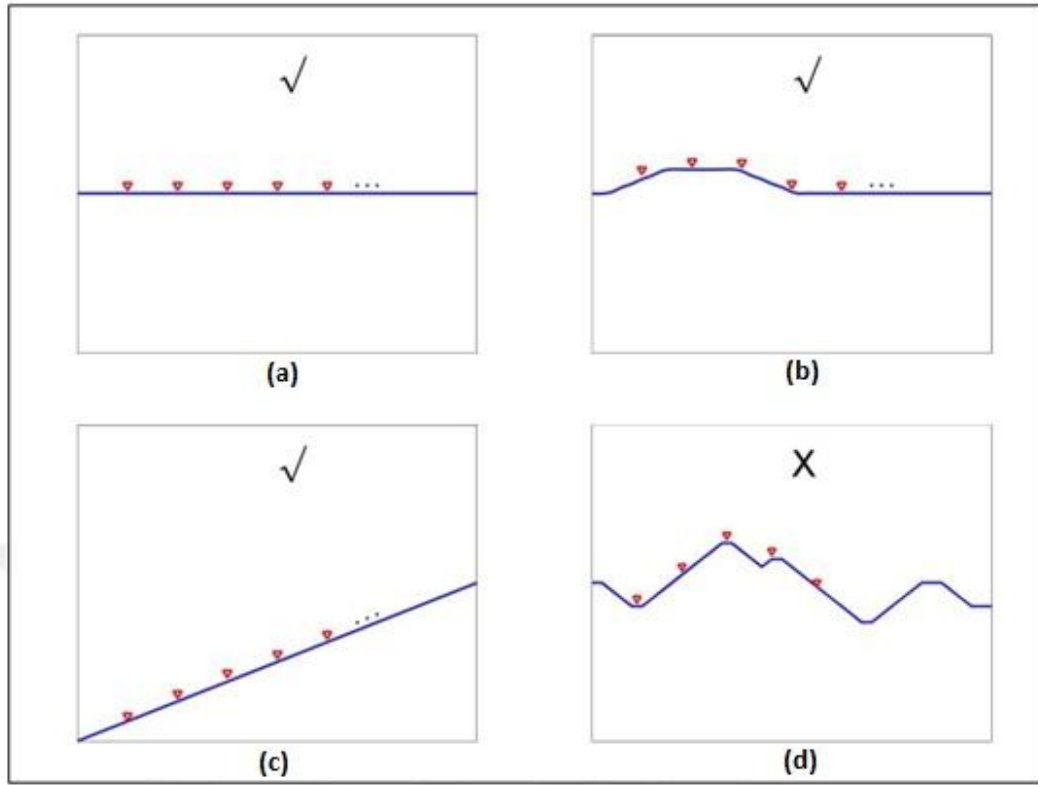
Şekil 4.1. MASW yönteminde kullanılan ekipman; a) Cihaz, b) Enerji kaynağı, c) Jeofon, d) Kablo [17]

4.1.2. MASW yönteminde veri toplama



Şekil 4.2. Veri toplama işlemi şematik gösterimi [18]

Veri toplamada en iyi veri alma işlemi yüzeyin düz olduğu zeminlerde gerçekleşir. Ölçüm hattında topografik farklılıklar ölçümleri etkileyecektir. Serim boyunun %10'undan daha büyük topografik farklılıklar yüzey dalgalarının meydana gelmesinin önemli oranda engellenmesine sebep olur. Aşağıdaki dört adet şekillerden sağ alttaki (d) şeklindeki zeminde yüzey dalgaları açısından veri alınması topografya dolayısıyla uygun değildir.



Şekil 4.3. Topografya örneklerinin şematik gösterimleri; (a) Düz bir topografyaya sahip arazi, (b) Değişken bir topografyaya sahip arazi, (c) Eğimli bir topografyaya sahip arazi, (d) Dağınık ve düzensiz bir topografyaya sahip arazi [17]

4.2. Arazi Deneyleri

Arazi deneyleri genel olarak bakıldığında zeminin yerinde incelenmesine olanak sağlayan deneylerdendir. Gerilme etkisi, kimyasal etkiler, termal ve yapısal etkiler gibi durumların ölçülmesine izin verir. Zemine ait dinamik özelliklerin ölçümünün arazide yapılması deney laboratuvarlarına göre daha doğru sonuçlar verir. Çünkü arazi deneylerinde ölçüm yapılabilmesi için numuneye ihtiyaç duyulmaz. Bu nedenle numune alımı sırasında karşılaşılan sorunlara rastlanılmaz. Ayrıca numuneye yapay şekilde etki eden ve numunenin gerilme, kimyasal, termal özelliklerini gerçeklikten saptırabilen ve buna bağlı olarak fiziki yapısında değişiklikler yapan koşullar oluşmaz. Arazi deneylerinin çok büyük bir kısmı büyük hacimli sahalarda yapılır. Dolayısıyla kütleli olarak bir bölgeyi temsil eden bir numunenin o bölge üzerindeki hata payından uzaklaşmış olur.

Bazı arazi deney uygulamaları zemin üzerindedir. Bazıları için ise zeminde kuyu açılması ve bu açılan kuyuda çeşitli cihazların ölçüm yapabilmesi olanağının sağlanmasını gerektirir. Yüzeydeki deneylerin maliyetleri genel olarak düşüktür. Zaman konusunda da daha az zamanda gerçekleştirilir. Zeminde kuyu açarak gerçekleştirilen deneylerde ise zemin hakkındaki birçok fiziksel bilginin kuyu sayesinde bilinir hale gelmesi büyük avantaj sağlar.

4.2.1. Düşük deformasyon deneyleri

Düşük deformasyon deneyleri genel olarak zemin üzerinde araştırılan alana zarar verme düzeyi sifira çok yakın veya sıfır kabul edilebilen deney yöntemlerindedir. Kayma birim deformasyonları matematiksel olarak %0.001'in altındadır. Bu deneylerin çoğu dalga yayılım hızı ve buna bağlı ilişkiler üzerinedir. Bu deneylerin çoğunda cisim dalgası hızının değişimleri hesaplanmaktadır. Jeofizik araştırmalardan olan sismik araştırmalar zeminin dinamik özellikleri hakkında bilgi verir. Ayrıca arazi deneyleri içinde önemli bir alan kapsar. Sismik deneylerde gerilme dalgaları hem geçici hem sabit durumlarda oluşur. Bir veya daha fazla noktada ölçümler gerçekleştirilir ve yorumlanır. Sismik deneylerde bir enerji kaynağı bulunur. Bu kaynak aracılığıyla dalgaların palsinin oluşması sağlanır. Bunun daha uzaktaki jeofonlara varış zamanları kaydedilir. Sismik dalgalar içerisinde yayılma hızı en büyük olan dalga P dalgasıdır. P dalgalarının jeofonlar tarafından algılanması kolaydır. Dolayısıyla geliş zamanlarının ölçümü de buna bağlı olarak daha kolay olur. Jeofizik deney ölçümlerinden doğru bir değerlendirme yapabilmek için araştırılması yapılan bölgenin yeraltı suyu durumunda bilinmesi önem taşır.

4.2.1.1. Sismik yansıma

Sismik yöntemlerden olan sismik yansıma çalışması zemin tabakalarının sismik dalga hızlarını iletme özellikleri ve tabaka kalınlıklarının yeryüzü ölçeği veya kıyı ötesi ortamlarda ölçülmesine olanak sağlar. Deneyin yapılışı ve yorumlanması kolaydır. Yansıma deneyi aynı zamanda büyük ölçekli araştırmalarda sonuca kolay götürecektir.

önemli bir çalışmadır. Sığ zemin çalışmalarında ve tabakaların stratigrafisinin belirlenmesinde çok nadir olarak bu yöntemden faydalanılır.

4.2.1.2. Sismik kırılma

Sismik kırılma yöntemi fiziksel olarak, belirli bir jeofona gelen sismik dalganın ilk varış zamanları kullanılarak yorumlanır. Deneyde kaynakta bir pals ile meydana getirilen P ve/veya S dalgalarının sismik enerji kaynağından farklı mesafelerde var olan ve zemin yüzeyinde bir hat üzerine yerleşmiş bulunan jeofonlara geliş zamanları ölçüme tabi tutulur. Sismik kırılma çalışmaları genellikle zemin araştırmalarında kullanılır. Sığ tabakalar hakkında önemli bilgiler verir. Geoteknik açıdan problemleri araştırma sahalarında elastik parametrelerin hesaplanmasına olanak sağlar. Çünkü stratigrafik olarak tabaka analizi bu yöntemde basittir.

P ve S dalgalarının bulunmasını daha da basitleştirmek için arazide yapılan işlem ters kutuplu bir palsın tekrarlanma işlemidir. Jeofonlar arasındaki zeminin P ve S hızları bunların jeofonlara geliş zamanları arasındaki farklarından bulunur.

4.2.1.3. Yüzey dalgalarının spektral analizi

Çalışması yapılan belirli bir alanda dispersiyon eğrisindeki değişimler cisim dalgalarına ait hızların derinliğinden etkilenir. Titreşim deneyi, sismik yüklemeyi değişik frekanslarda tekrarlayarak buradan dispersiyon eğrisi elde edilmesi mantığına dayanır. Ancak sahada yapılan bu işlemler için uzun bir süre geçmektedir. Dispersiyon eğrisi, dijital veri toplama ve sinyal işleme ekipmanının da aracılığıyla ani bir çarpmaya ait veya rastgele bir gürültü yükünden elde edilebilir. Dispersiyon eğrilerinin ölçümleri ve bu ölçümlere dayanarak değerlendirilmesi yüzey dalgalarının spektral analizinin temelini oluşturur. Yakın bölge olarak adlandırılan sığ sismik araştırmalarda kullanılan en önemli araştırmalardan biridir.

4.2.2. Yüksek deformasyon deneyleri

Son yıllarda yeni cihaz ve tekniklerin geliştirilmesi ve uygulama alanına sokulması ile birlikte, yerinde yapılan deneyler kapsamındaki deney sayıları çok hızlı bir artış göstermiştir. Bu deneylerin büyük bir kısmı zeminin karakteristik özelliklerinin belirlenmesi ve dayanımının ne derecede etkilenebileceğinin öngörülmesinde büyük oranda bilgi verir. Bu deneylerden zeminin araştırılması ve elde edilen verilere göre nasıl bir iyileştirme sunulabileceği konusunda kullanılabileceklerden olan deneyler: Standart penetrasyon deneyi, Konik penetrasyon deneyi, Scpt deneyidir.

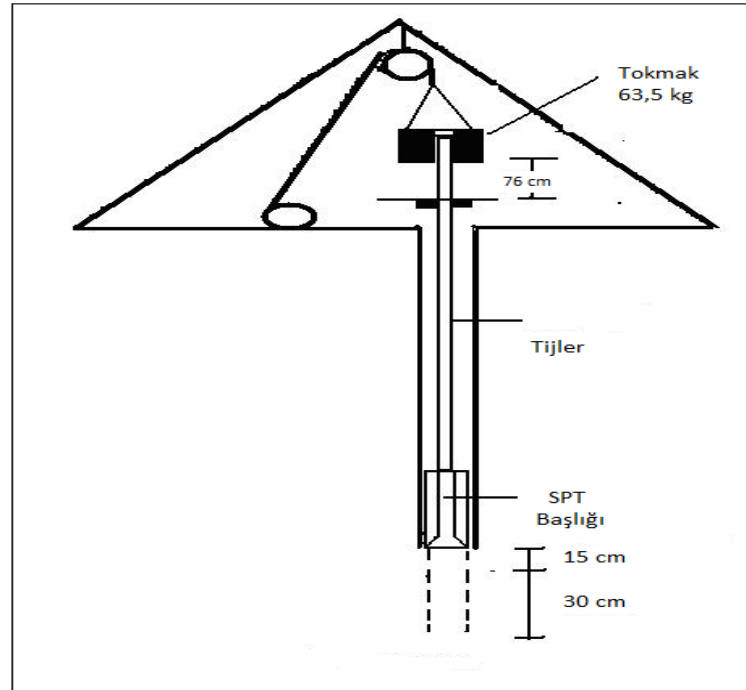
4.2.2.1. Standart penetrasyon deneyi

Standart Penetrasyon deneyi yaklaşık 50 yıldır kullanılmaktadır. SPT, zemin problemlerinin belirlenmesinde çok yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir [13]. SPT sisteminde ASTM (D 1686) da tanımlandığı şekilde, sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilme özelliği taşıyan ve iç kısmında pirinç malzemeden üretilmiş bir iç tüpün bulunduğu bir örnekleyici bulunur. Burada fiziksel olarak deney 63,5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine serbest bırakılması ve böylece tijin zemin içerisinde ilerlemesi mantığına dayanır. Kullanılan şahmerdanın cinsi birçok ülkeye göre farklılık göstermekle birlikte Türkiye’de donut tipidir.

Standart penetrasyon testi genel olarak zeminin araştırıldığı arazi üzerinde yapılan dinamik kesme deneyidir. Fiziksel olarak kesme direnci bir zeminin izafi olarak sıkılığına bağlıdır. Kohezyonlu zeminlerin araştırıldığı testlerde ise bir takım mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bundan dolayı standart penetrasyon testinin sonuçları ile zeminin taşıma gücü arasında fiziksel bir ilişki kurulması önemlidir. Zemin taşıma gücü belirlenmesinde arazi üzerinde yapılacak olan SPT testi her 1,5 metrede bir veya zeminin her malzeme değişiminde veya özel olarak istenilen metrelerde yapılabilir. Zeminin penetrasyon mukavemeti 75 cm yükseklikten serbest şekilde düşürülen 63,5 kg ağırlığında şahmerdanın standart olan tüpünün zeminin içerisinde 30 cm ilerleyebilmesi için gerekli vuruş sayısı olarak tanımlanır. Her

penetrasyon testi sonrasında tüpten zemin numunesi alınır. Ayrıca bu deneyin yapılması esnasında yeraltı suyunun durumu da saptanmalıdır. Standart penetrasyon testi taşlı, çakıllı, kayaç tabakalı, çok sert, yüksek mukavemetli zeminler için uygun değildir. Genel olarak kumlu, siltli, ince çakıllı, killi zeminler için uygundur.

Uygulamada önce sondaj kuyusu deneyin yapılacağı derinliğe kadar temizlenmesi istenir. Tijlerin ucuna yerleştirilen örnekleyici kısım kuyunun taban noktasına indirilir. Güç kaynağı olarak kullanılan Şahmerdanın tijlerin üzerine serbest bırakılması ile üç kez 15 cm ilerleyen örnekleyici için her bir 15 cm ilerlemeyi sağlayan vuruş sayısı kaydedilir. Son iki aşamadaki toplam vuruş sayısı SPT değeri (N değeri) adını alır.



Şekil 4.4. SPT Gösterimi [20].

4.3. Laboratuvar Deneyleri

Zeminler doğal bir malzemelerdir. Bundan dolayı katı, sıvı, gaz gibi üç değişik halde bileşenlerden oluşmaları sebebi ile doğal olmayan, insan eliyle üretilen diğer yapay malzemelere göre fiziksel davranışlarının belirlenebilmesi çok daha zordur. Bu nedenle zemine ait fiziksel özelliklerin her bir proje sahası için deneysel olarak

belirlenmesi gerekir. Bu belirleme işlemleri yapılmasında araziye ait özel koşulların bilinmesi gerekir.

Yapı inşası amacıyla yapılan zemin etütlerinde, zeminlerin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve deneysel olarak hesaplanabilmesi amacıyla farklı deneyler yapılmaktadır. Bunlar deneyler kendi aralarında basınç, sıcaklık, sıvıya doygunluk durumlarına göre değişen fiziksel parametrelerin hesaplandığı uygulama yöntemleri açısından da farklılıklar gösteren deneylerdir.

4.3.1. Sınıflandırma deneyleri

Zeminler, birbirinden farklı mühendislik özelliklerine sahip birçok bileşenden oluşur. Bu nedenle belirli yüklemeler altında zeminlerin bu yüke göre davranışlarını yorumlayabilmek ve mühendislik hesaplamaları amacıyla gerekli parametreleri ortaya koyabilmek için, ilk olarak zeminleri basit özelliklerine göre sınıflandırmak gerekir. Zemin etütlerinde zeminleri sınıflandırmak amacıyla yapılan laboratuvar deneyleri aşağıda açıklanmıştır.

4.3.1.1. Elek analizi

Elek Analizi Yöntemi; iri taneli zeminlerde dane çapı dağılımını belirlemek amacıyla yapılan deneysel bir yöntemdir. Bu nedenle zeminden alınmış bir numune, farklı büyüklükte açıklıkları olan bir seri standart elekten geçirilir. Böylece değişik boyutlar arasında kalan danelerin ağırlık yüzdeleri (toplam kuru ağırlığa oranı) saptanır. Zemin sırası ile en büyük açıklıklı elekten başlayarak en küçük açıklıklı eleğe doğru bir seri elekten geçirildiği zaman, bir elekten geçip diğeri üzerinde kalan danelerin içinde kaldığı çap sınırları belirlenir.

4.3.1.2. Hidrometre deneyi

Hidrometre deneyi 200 no.lu elekten geçen ince daneli zeminlerin (siltler ve killler) dane çaplarının belirlenmesi için kullanılır. Bu deney çalışmasında, belirli bir

ağırlıktaki zemin numunesi mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılarak suda bir süspansiyon haline getirilir. İyice karıştırılmış olan bu süspansiyon çökelmeye bırakılır. Çökelme esnasında değişik zaman aralıkları ile yoğunluk ölçümleri yapılır. Bu yöntemle zemin içerisindeki danelerin çap dağılımları kolayca belirlenebilir.

4.3.1.3. Kıvam limitleri deneyi

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri zemini oluşturan danelerin boşluklarında bulunan su miktarına bağlı olarak değişir. İnce daneli zeminlerin su içeriği değiştikçe kıvamında da değişiklikler oluşur. Belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar zeminler katı kıvamda bulunurlar. Bu sınır değer belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar plastik davranış sergilemektedir. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden Kıvam Limitleri denilir. Kıvam Limitleri ilk olarak Atterberg (1911) tarafından ortaya atılmıştır. Bu nedenle Atterberg Limitleri olarak isimlendirilmiştir. Kıvam Limitleri'nin küçükten büyüğe doğru aldıkları isim ise sırasıyla; Rötire Limiti, Plastik Limit, Likit limitdir. Kıvam limitleri, aşağıda verilen deneyler yardımıyla laboratuvar ortamında tespit edilmektedir.

- Casagrande Deneyi
- Düşey Koni Deneyi
- Plastik Limit Deneyi
- Rötire Limit Deneyi

Elastik Davranış; Bir cisim belirli bir gerilme değerine kadar yüklendikten sonra üzerindeki yük kaldırılınca da eski haline dönebiliyorsa bu davranışa elastik davranış bu cisme de elastik cisim denir. Hooke yasasına göre mükemmel elastik bir cisimde deformasyon gerilmenin lineer bir fonksiyonudur [1].

Plastik davranış; Gerilmenin sonlu bir değeri için gerilme artmadığı durumda da deformasyonun sürekli arttığı cisimler mükemmel plastik cisimlerdir. Bu davranış plastik davranıştır.

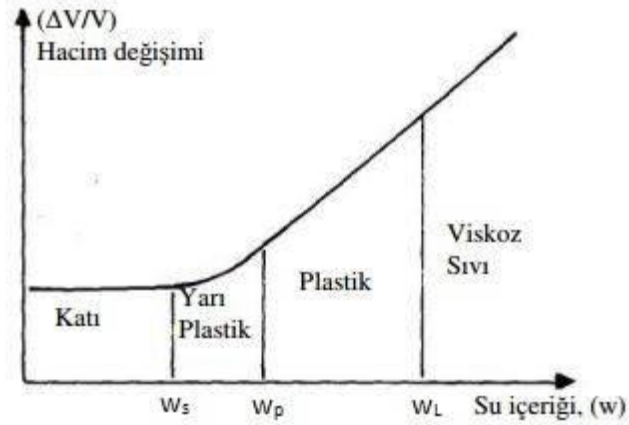
Viskoz Davranış; Viskoz davranış gösteren cisimler mükemmel akışkanlar ile katılar arasında yer alan malzemelerdir. Bu cisimler kendi ağırlıklarında dahi deformasyon gösterirler.

Kıvam limitleri;

Likit limit (w_L): Zeminin viskoz bir sıvıdan plastik bir kıvama dönüştüğü andaki malzemede bulunan su içeriğidir. Başka bir ifadeyle, zeminin kendi ağırlığı altında akabildiği en düşük su içeriğidir.

Plastik limit (w_p): Zeminin plastik bir malzemedan yarı plastik bir malzemeye dönüştüğü andaki su içeriğidir. Diğer bir ifadeyle, zemin malzemesinin el ile işlenmesinde ve cam bir yüzey üzerinde, çubuk haline getirilirken oluşan bu çubukların çapları yaklaşık 3 mm seviyesine geldiğinde, kopmaların oluştuğu andaki su içeriğidir.

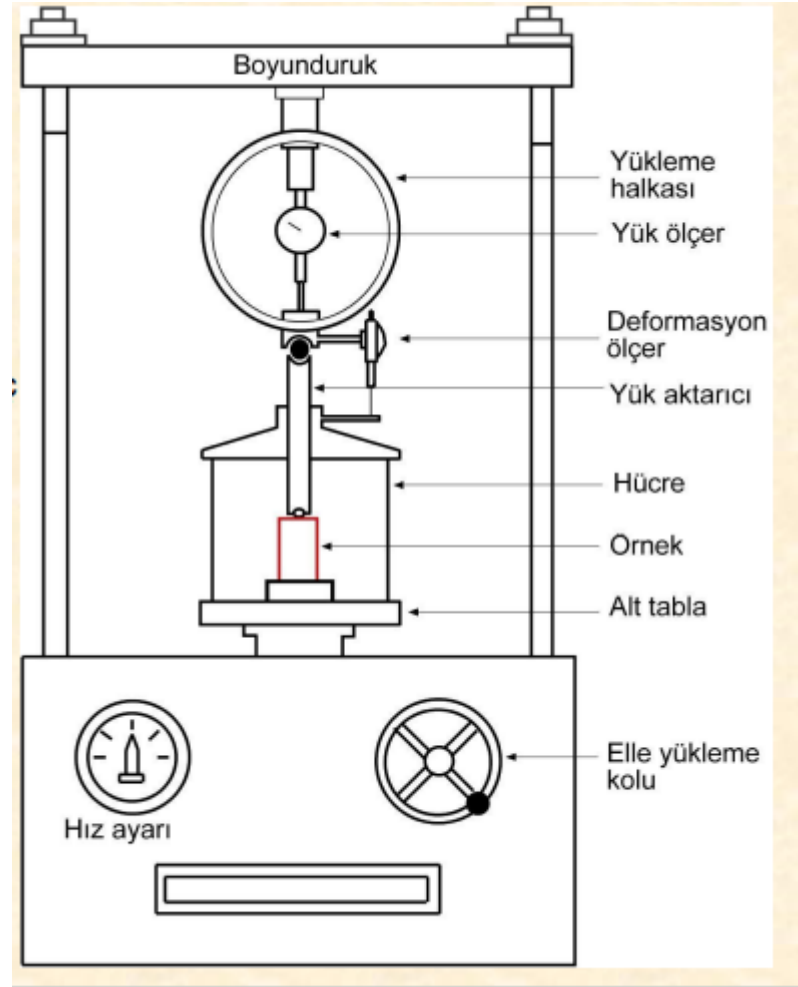
Büzülme limiti (w_s): Zeminin yarı plastik bir malzemedan katı bir malzemeye dönüştüğü su içeriğidir. Diğer bir ifadeyle, zeminin suya tam doygun olabildiği en düşük su içeriğidir [30].



Şekil 4.5. Zeminde su içeriğine bağlı hacim değişim davranışı ve kıvam limitleri

4.3.1.4. Üç eksenli basınç deneyi

Üç eksenli basınç deneyinde genel olarak makaslama dayanımı parametrelerinin belirlenebilmesi beklenir. Alınan zemin örneğinin çapı yaklaşık 35,6 mm'dir. Boyu ise 76,2 mm'dir. $H=2D$ olarak verilir. Zemin örneği ince plastik bir membran içerisine yerleştirilir. Genellikle içi su veya gliserin malzeme ile dolu olan plastikten yapılmış silindirik bir hücre içine yerleştirilir. Alınan zemin numunesi hücre içinde oluşan çevresel basınca maruz bırakılır. Bu deney deformasyon ve yük kontrollü şekilde yapılır. Eksenel yük yükleme halkası içerisindeki yük ölçer ile ölçülür. Boy değişimi ise deformasyon ölçer ile ölçülür [19].



Şekil 4.6. Üç eksenli basınç Deneyi Sistemi [19]

4.4. Dinamik Elastik Parametreler ve Tanım

Zeminin yoğunluğu ve elastik özellikleri sismik hızların artışında veya azalışlarında etki eden önemli bir parametredir. Elastik parametreler kayaçların litolojik durumuna yani mineral bileşimine, tane büyüklüğüne, tane dağılımına, gözenekliliğine, gözeneği dolduran sıvının türüne ve miktarına, sıklığına, çimentolaşmasına, maruz kaldığı basınçlara ve jeolojik geçmişine göre değişkenlik gösterir. Zemin taşıma gücü ve oturma parametreleri zemini oluşturan malzemelerin sırasıyla kohezyon ve içsel sürtünme açısına, hacimsel sıkışma katsayısı özellikleri ile yakın ilişkilidir. Bu özellikler ise kayaçların yoğunluğuna, su muhtevasına, boşluk oranı ve boşluk suyu basıncına, tane büyüklüğüne, dağılımına ve kayacın türüne bağlıdır [12].

4.4.1. Poisson oranı (σ)

Poisson oranı zeminin gözenekliliğini ve bu gözeneklerin su ile dolu olup olmadığını ve kırıklığını gösteren bir parametredir. Poisson oranı 0-0,25 arasında bir değere sahipse zeminin gözeneksiz, 0,25-0,350 arasında ise orta gözenekli, 0,350-0,500 arası olması ise zeminin gözenekli olduğunu gösterir.

4.4.2. Elastisite (Young) modülü (E)

Elastisite modülü zeminin dayanıklılığını, sertliğini başka bir deyişle katılığını gösteren bir parametredir. Elastisite modülü 1700 kg/cm² den az olduğu zeminler gevşek, 2000 kg/cm²-10000 kg/cm² arası olduğu zeminler orta sağlam, 10000 kg/cm²-30000 kg/cm² arası olduğu zeminler sağlam, 30000 kg/cm² den fazla ise çok sağlam olarak değerlendirilir.

4.4.3. Kayma modülü (G)

Kayma modülü zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini ve dayanımını gösteren bir parametredir. Kayma modülü 600 kg/cm² den az ise zeminler gevşek, 600 kg/cm² - 3000 kg/cm² arasında ise orta sağlam, 3000 kg/cm²-10000 kg/cm² arasında ise sağlam ve 10000 kg/cm² den fazla ise çok sağlam olduğunu gösterir.

4.4.4. Zemin emniyet gerilmesi (q_s)

Bu parametre yapıların projelendirme aşamasında önem gösterilen parametrelerden biridir. Zemin emniyet gerilmesi ne kadar büyükse kayacın emniyetli olarak gerilmesi de o kadar artar.

BÖLÜM 5. ANALİZ YÖNTEMLERİ

5.1. Regresyon Analizi

Mühendislik araştırmalarında birçok alanda yapılan hesaplamalar ve bu hesaplamalara bağlı üretilmesi gereken yorumlamalar için bir değişkenin farklı değişkenler aracılığıyla hesaplanması veya tahmin edilmesi istenir. Değişkenler arasındaki ilişkinin araştırılmasında kullanılan yöntemler ise Regresyon ve Korelasyon analizi yöntemleridir. Değişkenler arasında matematiksel bir ilişki hesaplanabiliyor ise, bu durumun ifadesi olarak ancak matematiksel fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon, ilişkinin şekline göre lineer bir doğru ya da lineer olmayan bir eğri denklemi ile ifade edilir [23].

5.1.1. Basit regresyon ve korelasyon analizi

Bir regresyon fonksiyonu ele alındığında iki değişken arasındaki ilişkiden bahsederken değişkenlerden biri bağımlı (y), diğeri bağımsız (x) değişken olarak tanımlanır. Regresyon analizi iki farklı değişken arasındaki ilişkiyi belirlerken, kuvveti ve yönü hakkında bir sonuç vermez. Eğer bağımsız değişken bir adet ise basit regresyon analizi, birden fazla ise çoklu regresyon analizi olarak ifade edilir. Matematiksel olarak regresyon analizlerinde iyi bir hesaplama yapabilmek için doğrusal bir ilişki kullanılması istenir. Basit regresyon ele alındığında matematiksel olarak iki değişken arasında var olan ilişki $y=ax+b$ denklemi ile tanımlanır. Buradan elde edilen “a” ve “b” değerleri regresyon katsayılarıdır. Burada değişkenler arasındaki ilişkiyi en doğru biçimde ifade eden denklemi ortaya koyabilmek için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Bu yöntemle göre, çizilen eğriden serpilme diyagramındaki noktalara olan dikey uzaklıkların kareleri toplamı minimum değerlerde olması beklenir.

Regresyon analizi iki farklı değişken arasındaki ilişkinin yalnızca şeklini (en uygun doğru ya da eğri denklemini) belirler. Kuvveti, yönü ve doğrunun veya eğrinin verilere uyumluluğunun derecesi hakkında sonuç ortaya koymaz. İlişkinin yönünün, derecesinin ve istatistiksel olarak anlamlılığının hesaplanması korelasyon yoluyla yapılır. Korelasyon katsayısı ise (r) ile ifade edilir [23].

5.1.2. Non-linear regresyon analizi

Basit doğrusal regresyon ile birlikte, doğrusal olmayan (non-linear) basit regresyon analizleri de vardır. Doğrusal olmayan basit regresyon analizleri daha çok bilgisayar programları üzerinden yapılır. Bu çalışmada $y=ax+b$ şeklindeki doğrusal regresyon ile birlikte $y=abx$, $y=abx$ şeklinde lineer olmayan regresyon analizleri yapılmıştır.

Matematiksel olarak;

$y=A+Bx$ yerine;

$y= aLn x + b$ logaritmik fonksiyonu, $y = ax^2 +bx+c$ polinom fonksiyonları ve, $y =axb$ üs, $y = aebx$ üstel hesaplamalar kullanılabilir [23].

5.1.3. Çoklu regresyon analizi

Çoklu regresyonda birden çok bağımsız değişken bulunur. Bu bağımsız değişkenler (x_1, x_2, \dots, x_n) ile bir bağımlı değişken (y) arasındaki ilişkiler değerlendirilir. Buradaki regresyon fonksiyonunda teorik olarak her bağımsız değişken bir başka bağımlı değişkenle doğrusal bir ilişkisi içindedir.

$$Y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (5.1)$$

şeklindedir. Bu fonksiyon vasıtasıyla değişkenler arasında çoklu ilişkinin bulunduğu varsayılır. Bu varsayıma ait bir tahmin aşağıdaki fonksiyon vasıtasıyla hesaplanabilir.

$$Y = \alpha + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n \quad (5.2)$$

Katsayıların hesabı için burada en küçük kareler yöntemi kullanılır. Böylece gerçek y ve teorik y arasındaki değer en küçük değerini alması istenir [25].

BÖLÜM 6. ÖNCEKİ ÇALIŞMALARDAN VE ELDE EDİLEN KAYMA DALGASI HIZI VE SPTN ARASINDAKİ BAĞINTILAR

Sismik çalışmaların çeşitli sebeplerden dolayı yapılamadığı ya da sınırlı miktarda yapılabildiği fakat SPT gibi diğer arazi deneylerinin uygulanabildiği durumlarda, zemin araştırmaları yapılan bölgeye ait sismik dalga hızlarını, özellikle deprem mühendisliğinde önemli bir zemin parametresi olan kayma dalgası hızını geliştirilen bazı matematiksel korelasyonların aracılığıyla hesaplayabilmek mümkün hale getirilmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından daha önce yapılan çalışmalarda mikrotremör çalışmaları, karşıt kuyu, aşağı kuyu gibi çalışmalardan elde edilen sonuçlar kullanılarak kayma dalgası hızı ile SPT N arasındaki ilişkiler değerlendirilmiştir. Buradan çeşitli deneysel bağıntılar üretilmiştir. Aşağıda çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan bu bağıntılardan bazıları ifade edilmiştir. Ohba & Toriumi (1970), Japonya'da Osaka yakınlarında alüvyon tabakalardan oluşan zeminlerde yapılan Rayleigh hızı ölçümlerine dayanan,

$$V_S = 84 \cdot N^{0,31} \quad (6.1)$$

bağıntısını sunmuşlardır. Bu korelasyon eşitliklerinde V_S , m/sn biriminde kayma dalgası hızını, N ise SPT darbe sayısını ifade eder [24].

Ohta & Goto (1978), her birinde V_S , SPT-N, derinlik, jeolojik yaş ve zemin tipi ile ilgili bilgiler bulunan 300 set veriyi kullanmıştır. Zemin tabakalarının dayanımının ölçülmesinde önemli bir yeri olan V_S kayma dalgası hızının bu değişkenler ile ilişkisini incelemişlerdir. Derinlik, jeolojik yaş ve zemin türünün etkisiyle değişkenlik gösteren SPT-N değeri ile kayma dalgası hızı arasında yaptıkları analiz sonucunda aşağıda verilen korelasyon eşitliğini ortaya koymuşlardır. Bu bağıntıda, çok sıkı zeminlerde

yapılan SPT deneylerinde 30 cm'nin 50 vuruşta geçilememesi halinde SPT-N değerleri, 50 darbe için belirlenen giriş miktarından hesaplanmıştır.

$$V_s = 69N^{0.17}D^{0.2}EF \quad (6.2)$$

Burada;

$$E=1,0 \text{ (Halosen)} \quad F=1.00 \text{ (Kil)}; \quad F=1.09 \text{ (İnce Kum)}$$

$$E=1,3 \text{ (Pleistosen)} \quad F=1.07 \text{ (Orta Kum)}; \quad F=1.14 \text{ (Kaba Kum)}$$

$$F=1.15 \text{ (Kum-Çakıl)}; \quad F=1.45 \text{ (Çakıl)}$$

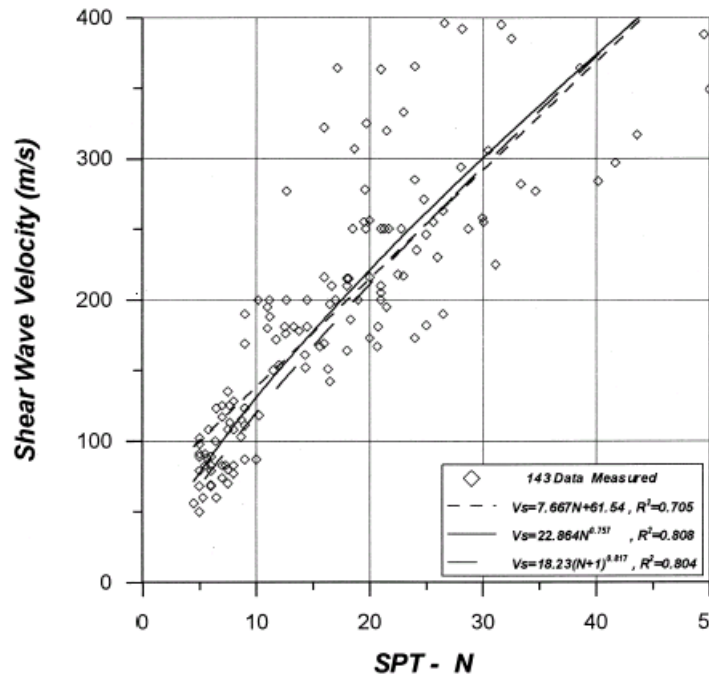
olarak alınması önerilmektedir. Bağıntıda, F zemin cinsini, E jeolojik yaş faktörünü ve D ise metre cinsinden derinliği ifade eder.

Daha önce yapılan sismik ve sondaj verileri arasında sayısal bir bağıntı kurma çalışmalarından bir örnek verecek olursak İyisan (1996), Erzincan'da yapılan bir grup sismik ve arazi penetrasyon testine ait (SPT) deney sonuçlarını değerlendirerek ve tüm zemin grubunu içeren 65 adet veri kullanarak yaptığı regresyon analizi sonucunda V_s ve N arasında korelasyon katsayısı (r) %81 olan;

$$V_s = 51,5 \cdot N^{0,516} \quad (6.3)$$

Ampirik bağıntısını geliştirmişlerdir. Bağıntının geliştirilmesinde, sismik dalga hız ölçümleri yeraltı su seviyesinin (YASS) üzerinde yapıldığından YASS'nin etkisi önemsenmemiştir [24].

Üç farklı Regrasyon analizi sonucunda SPT-N değerleri ve V_s kayma dalga hızları arasında bir aşağıdaki bağıntılar elde edilmiştir.



Şekil 6.1. SPT-N ve Kayma Dalgası hızı arasındaki ilişki.

Şekil 6.1.'de SPT-N ve Kayma Dalgası hızları (V_s) arasındaki çeşitli bağıntılar üretilmiştir. Ming-Hung Chen vd. Tarafından geliştirilen korelasyon düzeltilmiş SPT değerlerini ve hızın derinliğe bağlı değişimi de göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Arazide elde edilen SPT değerleri;

$$N1 = (10 / \sigma_1) 1 / 2 \cdot NF \quad (6.4)$$

NF = Araziden elde edilen N değerleri

σ_1 = Efektif Gerilme

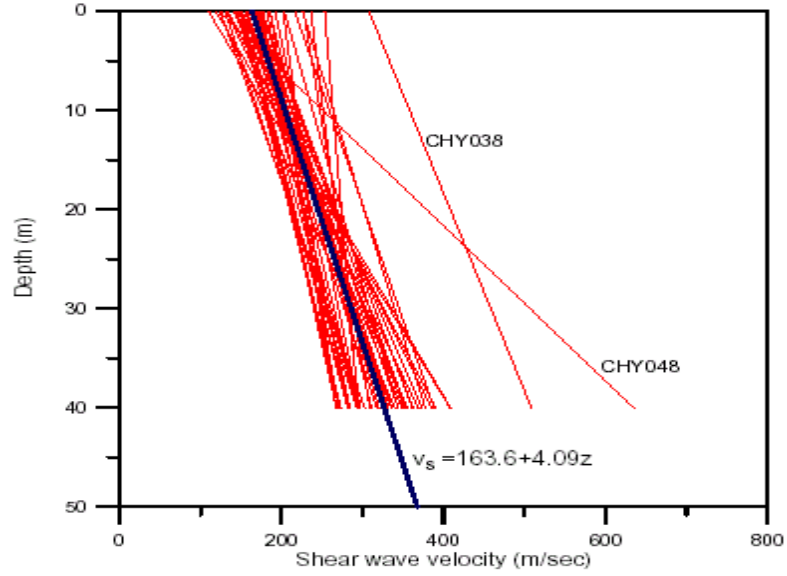
N1 = Düzeltilmiş N değeri

Daha önce bu konuda önemli deneysel bağıntılar geliştirilmiştir. Bununla birlikte V_s hızı araziden elde edilen SPT-N değerlerinin analizi ile bulunmuştur. Geliştirilen ampirik formül;

$$VS = c1 + c2 \cdot z + c3 \cdot N1 \quad (6.5)$$

olarak bulunmuştur.

Öncelikle Şekil 6.2. kullanılarak c2 katsayısı bulunmuştur. Burada c2 derinlik ile ilişkilendirilmiştir.



Şekil 6.2. Kayma dalgası için lineer regresyon dağılımı.

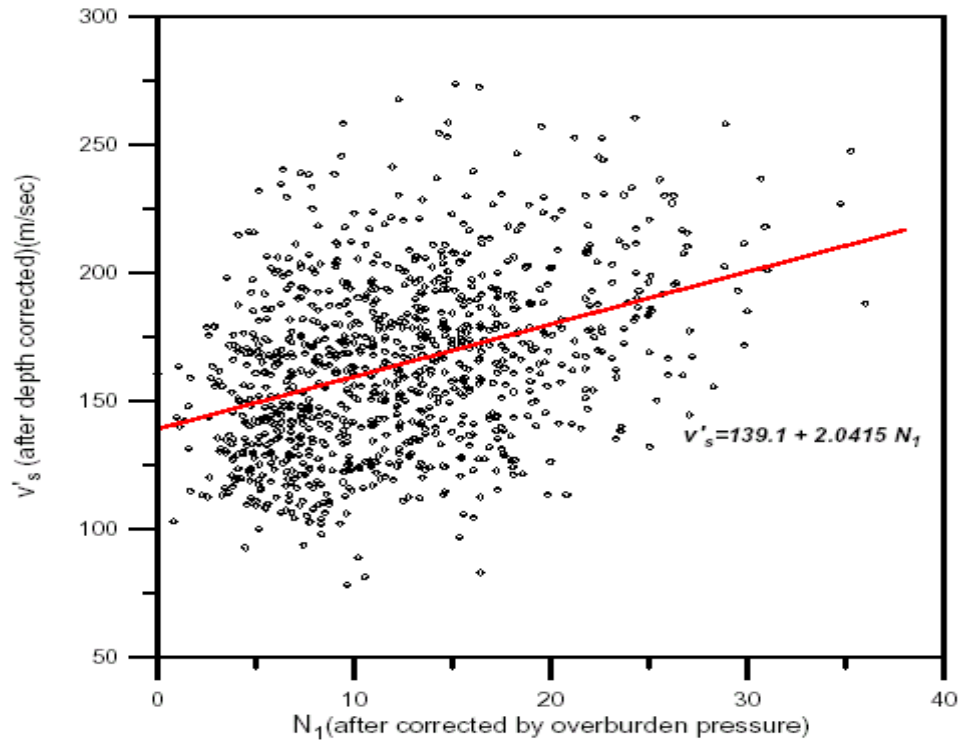
Şekil 6.2.'de derinliğe bağlı olarak kayma dalgası hızlarındaki değişimler gösterilmiştir.

$$VS = c1 + 0,409z + c3 \cdot N1 \quad (6.6)$$

Vs ile N1 arasındaki diğer bir ilişki;

$$v_{s1} = v_s - 4,09z = c1 + c3 \cdot N1 \quad (6.7)$$

olarak tanımlandı. Şekil 6.3. kullanılarak c1 ve c3 tanımlandı.



Şekil 6.3. N_1 ve V_s arasındaki ilişki.

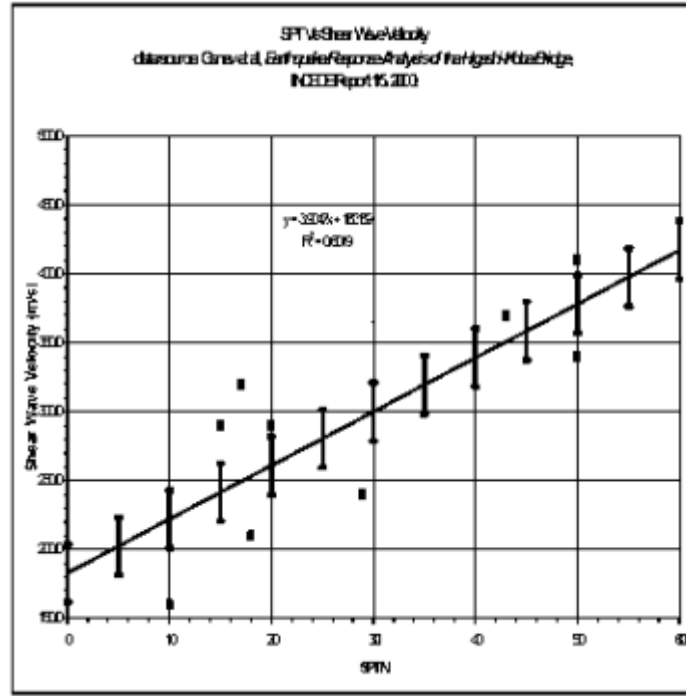
Böylece aşağıdaki formül tanımlanmış.

$$v_s = 139,1 + 4,09 \cdot z + 2,0415 \cdot N_1 \quad (6.8)$$

Mike Turnbull (2000) tarafından geliştirilen deneysel bağıntıda;

$$v_s \approx 3,9 \cdot SPT + 182,9 (ms - 1) \quad (6.9)$$

olarak verilmiştir.



Şekil 6.4. SPT ve Kayma Dalgası arasındaki ilişki. [18]

Andrus, vd. (2000) tarafından Kaliforniya'dan 34, Tayvan'dan 13, Japonya'dan 10 ve Kanada'dan 6 olmak üzere toplam 63 veri çiftinin incelenmesiyle ince dane yüzdesi ve derinliğe bağlı olarak hesaplanan formüle dayalı ampirik bağıntılar geliştirmiştir. Bu bağıntıların geliştirilmesinde CPT, SPT ve Kayma dalgası hızlarından faydalanılmıştır. Aşağıda tabloda bu bağıntılar gösterilmiştir. Zemin türü, ince tanelerin zemindeki varlığı, plastisite, uniformluk derecesi, depozit türü, jeolojik yaşlar dikkate alınmıştır.

Birçok yer bilimci tarafından geliştirilmiş SPT-Vs arasındaki ampirik bağıntılar şekil 6.5.'de verilmiştir. Yapılan çalışmaların yıllara göre değişimi incelenirse bağıntılarda belirgin değişimler yoktur. Önemli olan bu bağıntıların jeolojik özellikleri bilinen belirli zemin yapılarında yapılmış olmasıdır. Geliştirilen bağıntıların parametre olarak zemine göre değişkenlik gösteren fiziksel farklılıkları bulunması sebebiyle araştırma yapılan alanlardan daha farklı bölgelerde aynı sonuçları vermesi beklenmemelidir.

Yazar	Z. Cinsi	$V_s(m/sn)$	N=10	N=20	N=30
Kanai et al (1966)	Tüm	$V_s = 19 N^{0,6}$	76	115	146
Ohsaki & Iwasaki (1973)	Tüm	$V_s = 82 N^{0,39}$	201	264	309
Imai & Yoshimura (1975)	Tüm	$V_s = 92 N^{0,329}$	196	247	282
Imai et al (1975)	Tüm	$V_s = 90 N^{0,341}$	197	250	287
Imai (1977)	Tüm	$V_s = 91 N^{0,377}$	217	282	328
Ohta & Goto (1978)	Tüm	$V_s = 85 N^{0,348}$	189	241	278
Seed & Idriss (1981)	Tüm	$V_s = 61 N^{0,5}$	193	273	334
Imai & Tonouchi (1982)	Tüm	$V_s = 97 N^{0,314}$	200	248	282
Imai & Yoshimura (1990)	Tüm	$V_s = 76 N^{0,33}$	162	204	233
Yokota et al (1991)	Tüm	$V_s = 121 N^{0,27}$	225	272	303
Jafari et al (1997)	Tüm	$V_s = 22 N^{0,85}$	156	281	396
Shibata (1970)	Kumlu	$V_s = 32 N^{0,5}$	101	143	175
Ohta et al (1972)	Kumlu	$V_s = 87 N^{0,36}$	199	256	296
Ohta & Goto	Kumlu	$V_s = 88 N^{0,34}$	192	244	280
JRA (1980)	Kumlu	$V_s = 80 N^{0,33}$	171	215	246
Seed et al (1983)	Kumlu	$V_s = 56 N^{0,5}$	177	250	306
Lee (1990)	Kumlu	$V_s = 57 N^{0,49}$	176	247	302
JRA (1980)	Killi	$V_s = 100 N^{0,33}$	214	264	307
Lee (1990)	Killi	$V_s = 106 N^{0,32}$	221	276	315
Ohta & Goto (1978)	Çakılı	$V_s = 94 N^{0,34}$	206	260	299
Ohsaki & Iwasaki (1973)	Kohezyon	$V_s = 59 N^{0,47}$	174	241	292

Şekil 6.5. V_s -SPTN arasında bulunan bazı korelasyonlar [24].

Aynı zamanda zemin türleri ve SPTN V_s kayma dalgası tablosu da aşağıdaki şekilde verilmiştir.

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetrasyon Testi (N/30)	Kayma Dalgası Hızı (m/sn)
(A)	1. <i>A1</i> -Masif Volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	---	>1000
	2. <i>A2</i> -Çok sıkı kum, çakıl	>50	>700
	3. <i>A3</i> -Sert kil ve siltli kil	>32	>700
(B)	1. <i>B1</i> -Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar	---	700-1000
	2. <i>B2</i> -Sıkı kum, çakıl	30-50	400-700
	3. <i>B3</i> -Çok katı kil ve silt	16-32	300-700
(C)	1. <i>C1</i> -Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	---	400-700
	2. <i>C2</i> -Orta sıkı kum, çakıl	10-30	200-400
	3. <i>C3</i> -Katı kil ve siltli kil	8-16	200-300
(D)	1. <i>D1</i> -Yer altı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak kalın alüvyon tabakaları	---	<200
	2. <i>D2</i> -Gevşek kum	<10	<200
	3. <i>D3</i> -Yumuşak kil, siltli kil	<8	<200

Şekil 6.6. Zemin Gruplarına göre Kayma dalgası hızları ve SPTN30 değerleri tablosu [19]

BÖLÜM 7. ZEMİN İYİLEŞTİRME YÖNTEMLERİ

Zemin katı malzemeler su ve hava olarak üzere üç farklı bileşenden oluşan doğal heterojen ve anizotrop özellik gösteren bir malzemedir. Mühendislik yapılarının yükleri zeminin üzerindedir. Bu yükler altındaki zemin yükleri daha altta yer alan tabakalara doğru iletmektedir. Özellikle yapıların temellerinin altındaki zeminlerin özellikleri mühendislik hesapları bakımından çok önemlidir. Yapı temelini hemen altındaki zeminin davranışı zeminin yer hareketine maruz kalması esnasında yapı ile nasıl bir etkileşim gösterebileceğinin bir parametresidir.

Yapıların güvenliği ve sonradan olası sorunların ortaya çıkmaması açısından zemin araştırmalarına bir bütçe ayrılması gerekmektedir. Zemin araştırmalarında eksiklik halinde özellikle temel kazısı esnasında farklı zemin koşullarının ortaya çıkması nedeniyle yapı temel projeleri hesaplamalar açısından geçerliliğini yitirebilmektedir. Yapıların inşa edilmesi sonrasında ise yapılarda farklı oturmalar mukavemet kayıpları ve zeminin sıvılaşma göstermesi ortaya çıkabilir. Yer hareketi sırasında, zeminin ortaya koyacağı davranışların önceden göz önünde bulundurulması inşa edilecek yapılar için çok önemlidir. Dinamik parametrelerin hesabı mühendislik jeolojisindeki problemlerin çözümü açısından zorunludur. Bununla birlikte var olan yapıların üzerinde bulunduğu zeminlerin dinamik özelliklerinin daha önceden bilinmesi ile olası bir deprem sonrası o bölgede yönetimsel olarak önemli bir koruma faktörü sağlar.

Zeminler tarih boyunca mühendislik özellikleri üzerinde çeşitli bilgi ve birikimler ışığında dayanımı artırılmaya çalışılmıştır. Son yüzyılda teknoloji ve bilginin artışı ve buna bağlı olarak insanoğlunun medeniyet seviyesinin artışına bağlı iskân ve üretim sahalarına duyulan ihtiyaç karşılığında yapı ihtiyacının artmıştır. Bununla birlikte çok çeşitli zemin iyileştirme yöntemleri de geliştirilmiştir. Aynı zamanda tarih boyunca yaşanan depremler de zeminlerde iyileştirme yapılması gereksinimini ortaya

çıkarmıştır. Özellikle sismik hareketliliğin yoğun olduğu ve zeminden kaynaklı yapı yıkımlarının fazla olduğu bölgelerde zemin iyileştirme teknikleri üzerinde daha çok durulmaktadır. Zemin hareketleri vektörel olarak yatay ve düşey bileşenlere sahiptir. Zeminde ortaya çıkan yatay ve düşey bileşenlerin etkisi yer hareketi esnasında veya hareketin sona erdiği bir başka zaman diliminde ortaya çıkabilir. Bir yer hareketi olmamasına rağmen zeminin stabilitesinde değişim varsa o zaman zemin çok yüksek derecede dayanımsız demektir. Birçok zemin iyileştirme yöntemi zeminin fiziksel olarak mukavemetini ve sertliğini artırmak amacıyla yapılmaktadır.

Zemin iyileştirmede iki temel mantık bulunur. Bunlardan birincisi zemini daha dayanımlı hale getirerek mukavemetini artırmaktır. İkincisi ise düşük dayanımlı zeminlerin su tutma kapasitesini minimum seviyeye getirmeye çalışmaktır. Yani zemini daha yüksek mukavemetli bir zemin haline getirme amacına dayanır.

7.1. Mekanik İyileştirme

Zeminin yoğunluğunu artırmaya dayalı olarak dışardan mekanik kuvvetler uygulanarak elde edilmesi amaçlanan yöntemlerdendir. Mekanik yöntemler ile zemin tabakalarının iyileştirilmesi ve zemin tabakalarını yoğunlaştırılması sağlanır. Pratik uygulamalarda kelime anlamı olarak mekanik iyileştirme tanımı kompaksiyonu tarif etmektedir. Kompaksiyon fiziksel olarak satürasyona uğramamış bir zemin yapısını doygun hale getirebilmek amacıyla zemini oluşturan partikülleri birbirine yaklaştırmaktır. Zemin tanecikleri ile taneciklerin arasında kalan hava boşlukları azaltılır. Hava ile dolu olan kısmın hacmi mümkün olabildiğince en düşük seviyeye indirmek ve yoğun hale getirmek gerekmektedir. Zeminde boşlukların azaltılması eskisine oranla dayanımda çok daha fazla derecede artma sağlayacaktır. Üzerine fiziksel bir yük verilecek bir madde için maksimum kayma mukavemeti minimum boşluklu yapıda oluşur. Zeminde hava boşluğu oldukça kayma mukavemetinin azalmasına bağlı olarak permeabilitesi yükselir. Taneciklerin su ile dolması beklenir. Mekanik iyileştirme aynı zamanda uygulamalarında hata olma olasılığı en düşük iyileştirme yöntemlerinden biridir. Maliyet açısından değerlendirildiğinde ise diğer yöntemlerin maliyetlerine göre çok daha ekonomik olduğu görülmektedir.

7.1.1. Dinamik kompaksiyon yöntemi

Yöntemde fiziksel olarak makine üzerine bağlanmış ağır bir yükün belirli bir mesafeden serbest bırakılarak zemini oluşturan malzemelerin sıkılaştırılması sağlamayı amaçlamaktadır. Burada temel amaç zemine belirli bir enerjinin verilmesi ve sonuç olarak sıkılaştırmanın sağlanması ve sağlanan sıkılaştırma sonucunda zemin taşıma kapasitesinin artırılmasıdır. Taşıma kapasitesi artan bir zeminde zemin oturması da azalacaktır. Zemin oturmasının azaltılması aynı zamanda zemin sıvılaşma potansiyelini de daha düşük bir seviyeye geleceği anlamını taşımaktadır. Zeminlerde istenilen mukavemete ulaşabilmek için iyi bir teknik bilgiye ve analiz yeteneğine sahip olmak gerekmektedir. Aynı zamanda doğru sonuçlara ulaşabilmek ve tam çözüme ulaşabilmek için çalışılan bölgenin kendi koşullarının bilinmesini yani bölgesel tecrübe gereklidir.

Zemin üzerinde uygulanan dinamik kompaksiyon işleminde teknik açıdan kontrolsüzlük ve hatalar var ise zeminin alt tabakalarında sıkılaştırmamış, boşluklu bölgeler kalabilir. Zemin bir bütün olarak düşünüldüğünde bu boşluklu ve sıkılaştırmadan kalan kısımlar kompaksiyon işlemini hatalı kılar ve işlemin yeniden tekrarlanması zorunluluğunu ortaya çıkarır.

Genel olarak dinamik kompaksiyon taşıma gücü zayıf ve boşluklu yapıya sahip zeminlerde çok yaygın olarak kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemidir. Teknik olarak kurallarına uygun ve eksiksiz uygulama yapıldığı takdirde zayıf zeminlerde önemli ölçüde mukavemeti artıran çok elverişli bir yöntemdir.

Ayrıca dinamik kompaksiyon yönteminin uygulama süresi ve maliyeti açısından bir değerlendirme yapılırsa diğer yöntemlere göre daha az maliyetli ve kolay olduğu görülür.

Yee ve Aunn (2010) bir çalışmasına göre dinamik kompaksiyon uygulamasında doğaya metrekaresine başına 35,5 kg karbondioksit gazı salınmaktadır.

7.1.2. Vibro kompaksiyon yöntemi

Vibro kompaksiyon yöntemi zeminin derin ve kohezyonsuz olduğu durumlarda (kum zemin kumlu ve çakıllı zemin) zemine yerleştirilen sondanın ve sonda sistemine entegre olan bir titreşim sisteminin ortaya çıkardığı vibrosismik enerji titreşimleri ile zemini oluşturan malzemenin birbirine yaklaşarak sıkışması sağlanır. Böylece zemin mukavemetinin artırılarak istenilen değerlere ulaşması hedeflenir.

Yatay yönlü verilen titreşimler sonrasında kalın ve ince daneli malzemeler arasında geçici zamanlı sürtünme kaybı oluşur. Granüler zeminlerde ise titreşimin oluşturulduğu sondayı çevreleyen zeminde sıvılaşma durumu ortaya çıkar. Sonda (vibratör) sürekli zamanlı olarak su jeti ile birlikte çalışır. Böylece rölatif sıkılık %70-85 değerlerine çıkabilir. Uygulama öncesi ve sonrası sahada yapılan kontrol çalışması uygulamanın beklenen zemin iyileştirmesini sağlayıp sağlayamadığını ortaya koyar.

7.1.3. Drenaj yöntemi

Yeraltı su seviyesinin zemin dayanımını çok önemli ölçüde azalttığı kohezyonsuz zeminlerde yatay ve düşey yönde kurulmuş dren sistemleri, pompalar gibi araçlar ile istenmeyen suyun varlığını yok etmeye dayalı tahliye amaçlı yöntem derin drenaj yöntemidir. Özellikle şev yapılarında yeraltı suyunun etkinliği büyük ölçüde risk oluşturur. Zemini oluşturan moleküllerin içerisine ulaşan su hacim ve basınç değişikliklerine sebep olur. Ayrıca yüzeye yakın yeraltı suyunun varlığı siltli ve kumlu tabakaların varlığının da bir göstergesidir. Dolayısıyla dayanımı zayıf alüvyon tabakalarda drenaj; zaman almayan, maliyeti düşük ve etkili sonuç vermesi açısından her türlü riske karşı da uygulanması yararlıdır.

7.1.4. Elektrik sinyali ile kompaksiyon

Yöntemin temel mantığı yüksek elektrik voltajı üretmektir. Üretilen yüksek elektrik voltajının ortaya çıkaracağı şok dalgaları zeminde sıkışma sağlar. Ancak yüksek maliyetinden dolayı tercih edilmemektedir.

7.1.5. Hidro patlatma kompaksiyonu

Hidro patlatma yöntemi ile zemin tabakalarında iyileştirme yönteminde ilk uygulamalar kumlu ve killi balçık malzemeli nehir yataklarında olmuştur. Yöntemde iyileştirmenin yapılacağı zemine sondaj kuyuları açılır, daha sonra bu kuyulara su verilerek zeminin çok derin bölgelerine kadar inmesine imkân tanınarak zeminde bir çökelme oluşması sağlanır. Bütün bu işlemlerden sonra sondaj kuyularına patlayıcılar yerleştirilerek patlatma gerçekleştirilir. Bu patlatma hem boşluklu yapıları büyük oranda azaltır hem de belirli bir düzeyde sıkışma sağlar. Böylece bir zemin kompaksiyonu gerçekleşir.

7.1.6. Enjeksiyon yöntemi

Enjeksiyon yöntemi; zayıf ve dayanımı düşük zeminlerde zeminin boşluklu ve tanecikli yapılarının içerisine çimento veya tutuculuğu yüksek kimyasallardan oluşan karışım malzemelerinin enjekte edilmesiyle dayanımı artırmaya yönelik yapılan zemin iyileştirme yöntemlerinden biridir. Yöntemin temel amacı aynı zamanda zemin tabakalarında sızdırmazlık sağlamaktır. Bu yöntem sıvılaşma potansiyeli yüksek olan ve yeraltı su seviyelerinin yüzeye çok yakın olduğu alüvyon kil ve silt malzemelerden oluşan zeminlerde sıvılaşmayı engellemeye yönelik önemli bir uygulamadır.

7.1.7. Jet grouting

Jet Groting yönteminde genellikle çimento esaslı karışımlar kullanılmaktadır. Jet grouts her zemine uygulanabilir özellikte bir yöntemdir. Yüksek basınçta su ile kesim yapma işlemi ABD de kömür maden sahaları üzerinde yapılmaktaydı. Jet groutda aynı yöntem uygulanarak zemin çok yüksek basınçtaki suyun kesme kuvveti ile kesilir. Çeşitli zemin türleri ve zemini oluşturan çeşitli tane çaplarında başarılıdır. Yöntemde zemin içerisine yüksek basınç altında 700 kg/cm^2 jet karışımı verilir. Bu basınç zemini çok hızlı şekilde keserek zemine kazığa benzeyen kolonumsu bir yapı katar. Bu oluşan yapı rijit kolonlardır. Zemine verilen bu karışım zeminin kayma mukavemetinde çok ciddi iyileşmeler sağlar. Ayrıca çimento karışımına uçucu kül ve sodyum sülfat

eklenir. Jet grout amacına ve uygulanışa göre tek akışkanlı harç, iki akışkanlı (harç+hava), harç+üç akışkanlı (harç+hava+su) olmak üzere üç çeşittir.

Jet grout yöntemi aynı zamanda zemin oturmalarını ve sıvılaşma riskini azaltır. Yöntem tüm zayıf dayanımlı zeminler için uygulanabilir niteliktedir. Klasik enjeksiyon türleri göz önüne alındığında jet grout daha etkilidir. Jet grout yönteminin zeminin dayanımını artırdığının tespit edilmesine yönelik yapılan bir araştırmaya göre bu yöntemin uygulandığı zeminlerde kolonların yakın çevresinde işlem görmemiş bir sondaj kuyusunda yapılan Spt değerlerinde yüzde yirmi beşlik bir dayanım artışı gözlemlenmiştir (Akan2013). Jet grout yöntemi zemine göre istenilen çap ve derinlikte tasarlanabilir. Yöntemde uygulama esnasında jet grout kolonlarında eğimin en fazla 10-20 derece arasında olması istenir. Jet grout yöntemindeki dezavantajlardan biri de; jet grout kolon çaplarının tamamının birbiriyle aynı olmayışından kaynaklı, planlamada netliğin sağlanamamasıdır.

7.1.8. Forekazıklar

Forekazık sistemleri kohezyonu zayıf veya çok zayıf olan kendini tutabilen veya tutamayan zemin yapılarında üzerine yapılacak inşanın sismik etkinlikten etkilenmemesi için imal edilmiş yapay dökme kazık sistemleridir. Çap olarak geniş çaplıdırlar. Olası bir yer hareketi esnasında zeminin zayıflığından kaynaklı oluşabilecek temel deformasyonunu engellemek için uygulanabilecek en etkili yöntemlerden biridir. Forekazıklar aynı zamanda derin temeller olarak tanımlanırlar. Forekazıklarda aynı zamanda donatılar bulunur. Çelik karkas sistemine sahiptirler. Uygulamada iyileşme sağlanmak istenen zemine çeşitli delgi yöntemleri kullanılır. Donatı çapı 65-150 cm aralığında değişkenlik gösterir. Delme işlemi yapılan zeminde uygun boy ve çaptaki donatı seçilerek zemine yerleştirilir. Daha sonra içerisine beton dökülerek forekazık oluşturma işlemi gerçekleştirilir. Forekazıklar buldukları zemin içerisinde zemin oturmasını engeller. Yanal ötelemeye ise sebep olmaz.

7.1.9. Kum kolonlar

Bu iyileştirme yönteminde titreşimli borular ile zemin içerisine girilir. Titreşim sayesinde zemin sıkışırken boşluklara kum eklenmesi ile zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşme sağlanmış olur. Boru içerisinde sıkışma ile ortaya çıkan boşluk alanlara kum dökülür ve sıkıştırma uygulaması yapılır. Bu şekilde kum kolonları ortaya çıkmış olur. Borular hesaplanan derinliğe vardıldıktan sonra kum ekipmanın mili arasından oluşan boşluğa boşaltılır. Bir vibratör aracılığı ile sıkıştırma uygulanır. Böylelikle kum sıkışır. Bu işlem defalarca tekrarlanarak işlemler tamamlanmış olur.

7.1.10. Taş kolonlar

Bu yöntem zemin içerisine delgi ile delme işlemi yapılarak planlanan derinliğe ve çapa ulaşılnca zemin içerisine belirli çaplarda kırmataş dökülmesi işlemine dayanır. Yöntemin uygulanması ile zeminin mühendislik özelliklerinde iyileşme sağlanır. Taş kolon işlemi yumuşak ve dayanımı çok düşük zemin türlerinde sıvılaşmayı engellemek amacıyla uygulanır. Sıvılaşmanın engellenmesinde taş kolonların boşluk suyu basıncını azaltmada drenaj görevi görmesi etkili olmaktadır. Gevşek kum zeminlerde yumuşak kil silt ve siltli kumlarda ve sorunlu zemin katmanının yüzeye 10 metre kadar yaklaşık alanda bulunduğu arazilerde rahatça kullanılabilir.

BÖLÜM 8. FİZİKSEL SORUNLARIN ZEMİNE ETKİSİ

8.1. Yeraltı Su Seviyesi ve Zemin Dayanımı İlişkisi

Suyun yeryüzündeki döngüsünü en yüksek derecede hidrojeoloji bilimi açıklamaktadır. Yağış şeklinde başlayan akarsu ve denizlere kadar ulaşan ve buharlaşan su hidrolojinin temel inceleme konularıdır. Burada döngü halindeki suyun yeniden yağışa dönüşmesi olayı hidrolojik dönüşümdür. Yeryüzünde zeminler ya da kayaçların içerisindeki boşluklu yapıları dolduran suların fiziksel özellikleri ve etkileri Yeraltı suyu hidrolojisi adı altında araştırılmaktadır.

Yeraltında boşluklu yapılarda ve zeminlerin içeriğinde bulunan su yeraltı suyu olarak ifade edilmektedir. Yeraltı boşluklarında suyun kolayca depolanabildiği ve iyi derecede geçirimsizliğe sahip ekonomik açıdan da su elde edilebilen geçirimsiz ortamlar akifer olarak isimlendirilir.

Suyun depolanabildiği ancak zor iletilebildiği yarı geçirimsiz ortamlara akiklud denir. Suyu depolayamayan tamamen geçirimsiz olarak adlandırılan ortamlara ise akifuj denir. Geoteknik araştırmalar yeraltı suyu ve zemin arasındaki ilişkiyi ve bu ilişkinin zeminin fiziksel ve kimyasal özelliklerine etkilerini inceler. Zeminler su ile farklı fiziksel davranışlar ortaya koyar. Sıvı oranları artan veya azalan zeminler özellikle yer hareketi ve yapı yükü altında çok farklı davranış gösterir. Yeraltı suyu ve zeminlerin su içeriği killerin direnç özelliklerini, şişme ve dağılma durumlarını, sıkışabilirliklerini değiştirirler.

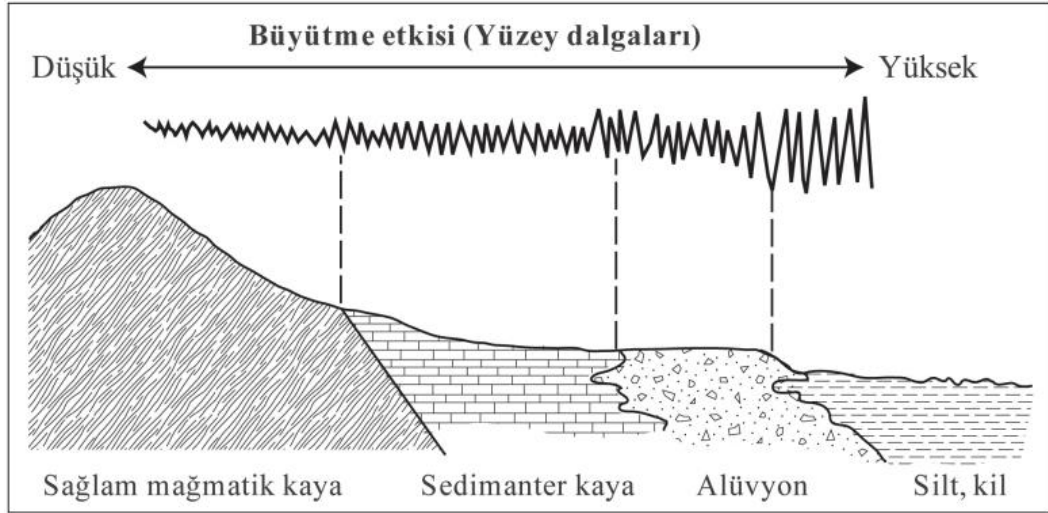
Yeraltı suyu eğer statik bir durumda ise bu statik durumdaki suyun üst seviyesine yeraltı suyu seviyesi (YASS) veya yeraltı su tablası (YAST) denir. Yeraltı su tablasının yüzey kısmındaki suyun basıncı atmosfer basıncına eşittir. Derinlik arttıkça basınç

artar. Bu basınç hidrostatik basınçtır. Zemin araştırmalarında yeraltı su seviyesinin alt kısmında kalan bütün zemin çeşitleri doğun olarak kabul edilir. Yeraltı su seviyesi (YASS) birçok nedene bağlı olarak değişir. Yeraltı su seviyesi yıllık değişim miktarı olarak 1-10 m/yıl olarak değişebilir. Yeraltı su tablası genellikle bölgenin yüzeyine paralel şekildedir. Yeraltı suyu yüksek seviyelerden düşük seviyelere doğru hareket halindedir. Bunda yerçekimi kuvvetleri etkilidir. Yeraltında su hareketi düzenli bir hareket şeklinde ise buna laminer akım denir. Düzensiz ise türbülanslı akım denir. Laminer akım yavaş, türbülanslı akım hızlıdır. Birçok zeminde akım laminer şekildedir. Ancak iri taneli çakıllı zeminlerde akım türbülanslıdır.

8.2. Zemin Tabakalarının Deprem Büyütme Etkisi

Yer hareketi esnasında oluşan farklı genliktteki sismik dalgalar dalğanın oluştuğu kaynaktan itibaren yer katmanları içerisinde birbirinden farklı hızlarda yayılmaya başlarlar. Bu sismik dalgalar yeryüzeyine ulaştıklarında birkaç saniyeden dakikalar boyutuna varan sürelerde titreşimler oluştururlar. Belirli bir noktadaki sismik dalga titreşiminin süresi ve şiddeti deprem kaynağına olan mesafeye depremin büyüklüğüne ve bulunulan yerin yerel zemin koşullarına bağlıdır (şekil 8.1.).

Sismik dalgalar genel olarak ilk hareketin oluştuğu kaynak noktasından yer yüzeyine kadar olan seyahatlerinin büyük bir kısmını yer kabuğunu oluşturan ana kayalarda geçirirler. Seyahatlerinin son kısmı ise ana kayalardan çok daha farklı özelliklere sahip olan gevşek yapıdaki zemin tabakalarında gerçekteşir. Zeminin fiziksel yapısı yer yüzeyinde ortaya çıkan titreşimin hangi karakterde olacağını tayin eder. Zemin tabakaları sismik dalgalar için bir test niteliğindedir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönüme uğrayabilir. Bazı sismik dalgalar ise büyütülürler. Sismik dalgaların zeminin fiziksel yapısına bağlı çeşitli değişimlere uğramasına zemin etkisi adı verilir. Ancak genellikle bu değişim sismik dalgaların genliklerini artıran bir değişim olması nedeniyle bu durum zemin büyütmesi olarak nitelendirilir [1].



Şekil 8.1. Zeminin Büyütme Faktörü [26]

BÖLÜM 9. ZEMİN İYİLEŞTİRME ÖRNEKLERİ

9.1. Adapazarı Merkezde Zemin Oturması Gözlenen Zeminin Taş Kolonlar ile İyileştirilmesi Çalışması

Arazi zemin yapısı olarak revizyon imar planına esas geoteknik etüd raporlarına göre önlem alınmadan yapılaşmaya izin verilmeyecek alanlar kapsamına girmektedir. Bu iyileştirme var olan bir binanın bir miktar oturması ve çevre binalarında temellerinde zemine oturma yapması nedeniyle binanın varlığında yapılmıştır. Arazi Adapazarı merkezinin Yenicami Mahallesi'nde yer almaktadır. Var olan binanın parseline ait arazide jeolojik araştırma amaçlı 15 derinliğinde sondaj kuyusu açılmıştır. Sondaj numunelerine ait, laboratuvar deneylerine göre zeminden elde edilen profil kumlu silt, kil ve siltten oluşan bir formasyona sahiptir. Arazinin hemen yanında yer alan binalarda 17 Ağustos 1999 depremi kaynaklı 10-15 cm kadar oturmalar görülmüştür. Burada bir yapı varlığında zeminin güçlendirilmesi söz konusudur.

Alınan sondaj numunelerinden Ud numunesinden elde edilen verilere göre $q_{em} = 0,50$ kg/cm² olarak hesaplanmıştır. q_{em} değerinin bu seviyede olması zeminin sıvılaşabileceği konusunda bir parametredir. Aynı zamanda bölgedeki binaların çoğunun bir miktar oturma yapması gözlemsel olarak da zayıf zemini göstermektedir.

9.1.1. Taş kolonlar ile zemin iyileştirme uygulaması

Taş kolon makinası ebat olarak 160x200 cm ebatlarında bir iyileştirme ekipmanıdır. Boam yüksekliği 210 cm kadardır. Uygulamada 5 metre derinliğinde taş kolon uygulaması uygun görülmüştür. Taş kolonlar arası uzaklık 2-2,5 metre kadardır. Malzeme olarak 2-4 cm çaplarında kırmataş çakıl malzeme kullanılmıştır.

Bu çaplardaki bir çakıl malzemenin en iyi drenajı sağlayacağı düşünülmüştür. Sıkıştırma işlemi ters Auger yöntemi ile yapılmıştır. Taş kolonların çapları zeminin kıvam durumunun bozuk olduğu ve kazının aynı oranda yapılmasına imkan sağlamadığı için birbirinin tamamen aynısı şeklinde olmamıştır. Az miktarlarda da olsa değişkenlik göstermektedir.

1 no.lu kolonda 5m kadar delinen kuyuda 0.65m^3 2-3 cm arasında değişen boyutlarda kırmataş malzeme dökülmüştür. Kullanılan malzeme miktarına göre kolonun ortalama çapı hesaplandığında 40 cm'lik bir çap değeri ortaya çıkmaktadır.

2 no.lu kolonda 5 m derinliğe inilmiştir. 0.720 m^3 2-4 cm arasında değişen boyutlarda kırmataş malzeme dökülmüştür. Kolon apı 43 cm hesaplanmıştır.

3 no.lu kuyuda 5 m derinliğe inilmiştir. 0.65 m^3 2-3 cm arasında değişen temiz kırmataş malzeme dökülmüştür. Kolon apı 40 cm olarak hesaplanmıştır.

Tüm kolanlar 0.65 ile $0,72\text{ m}^3$ aralığında bir hacimde 2-3 cm arasında değişen kırma taş malzeme doldurularak 50 adet kolonda bu işlem uygulanmıştır.

Kolon inşa uygulamasında delme işlemi 20 cm'lik auger delici ile yapılmıştır. Auger ile foraj işlemi yapılıp dışarıya kötü malzemeler atılmıştır. Ancak zeminin zayıflığından dolayı kuyularda az miktarda da olsa yıkıntılar gerçekleşmiştir. Delme işleminden sonra ters Auger yöntemi ile sıkıştırma yapılarak bu etki ortadan kaldırılmaya çalışılmıştır.

Tablo 9.1. Taş kolonların çapları ve malzeme miktarları.

Kolon No	Kuyu Derinliği (m)	Basilan Malzeme Miktarı (m ³)	Kolon Çapı (cm)
1	5,00	0,650	40
2	5,00	0,715	43
3	5,00	0,650	40
4	5,00	0,650	40
5	5,00	0,700	42
6	5,00	0,680	41
7	5,00	0,680	41
8	5,00	0,650	40
9	5,00	0,700	42
10	5,00	0,680	41
11	5,00	0,650	40
12	5,00	0,650	40
13	5,00	0,750	44
14	5,00	0,650	40
15	5,00	0,715	43
16	5,00	0,700	42
17	5,00	0,700	42
18	5,00	0,715	43
19	5,00	0,650	40
20	5,00	0,650	40
21	5,00	0,715	43
22	5,00	0,680	41
23	5,00	0,650	40
24	5,00	0,680	41
25	5,00	0,715	43
26	5,00	0,700	42
27	5,00	0,700	42
28	5,00	0,650	40

Tablo 9.2. Taş Kolonların çapları ve malzeme miktarları (Devamı).

Kolon No	Kuyu Derinliği (m)	Basilan Malzeme Miktarı (m ³)	Kolon Çapı (cm)
29	5,00	0,680	41
30	5,00	0,700	42
31	5,00	0,600	40
32	5,00	0,680	41
33	5,00	0,715	43
34	5,00	0,700	42
35	5,00	0,650	40
36	5,00	0,650	40
37	5,00	0,750	44
38	5,00	0,680	41
39	5,00	0,680	41
40	5,00	0,700	42
41	5,00	0,650	40
42	5,00	0,650	40
43	5,00	0,715	43
44	5,00	0,700	42
45	5,00	0,715	43
46	5,00	0,650	40
47	5,00	0,650	40
48	5,00	0,680	41
49	5,00	0,680	41
50	5,00	0,715	43
51	5,00	0,650	40
52	5,00	0,650	40
53	5,00	0,750	44
54	5,00	0,650	40
55	5,00	0,650	40
56	5,00	0,715	43

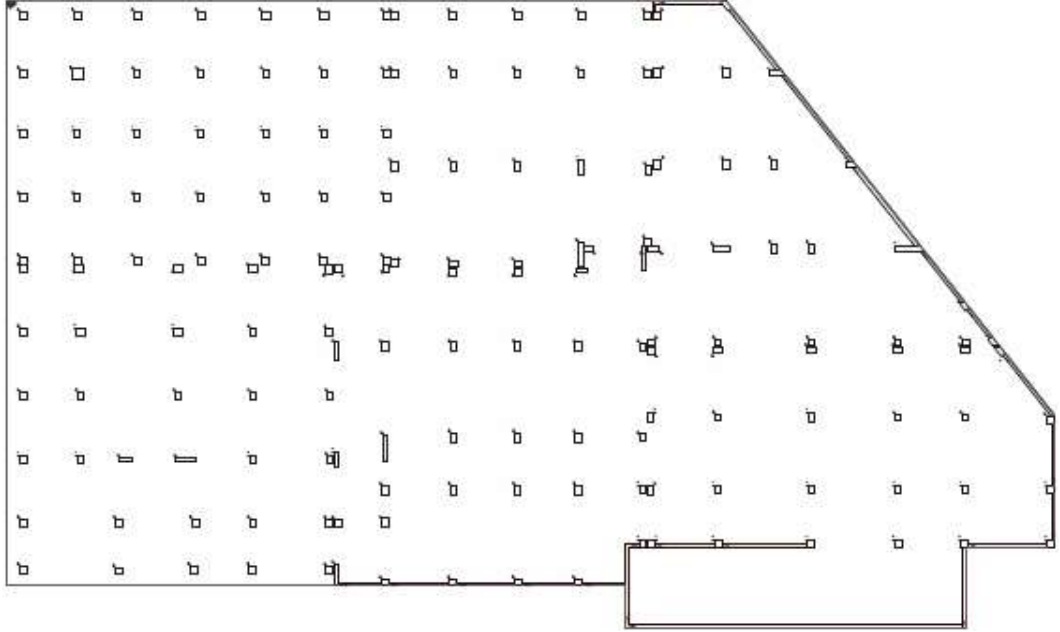
9.1.2. Uygulamanın amacı ve sonuçları

Bu çalışmada yapılan taşkolon imalatı ile zemin güçlendirme işlemi iyileştirmeye uygunluğu bakımından onaylanmış ve kabul görmüştür. 60 adet taşkolon imalatı gerçekleştirilmiştir. 60 adet ortalama 40-44 cm çaplarından oluşan 500 cm'lik kolonlara toplamda 40.95 m³ kırmataş dökülmüş olup projelendirmeye uygun bir iyileştirme çalışması yürütülmüştür.

Burada taş kolon seçilmesinin esas amacı planlama ve uygulamanın pratik ve düzenli oluşu ve olası bir yer hareketinde zeminde sıvılaşma oluşumunu engellemek amacıyla yüksek basınçlı boşluk suyu için bir drenaj yolu sağlamak ve tüm zemin kütlesini olası zemin sıvılaşmasına karşı koruma altına alarak yapıda oluşabilecek oturma ve yıkımı azaltmaktır. Bununla birlikte teorikte de bu yöntemin zeminin taşıma gücünü arttıracığı öngörülmektedir.

BÖLÜM 10. ADAPAZARI MERKEZDE ZAYIF DAYANIMA SAHİP BİR YAPI SAHASINDA JETGROUT YÖNTEMİ İLE İYİLEŞTİRME UYGULAMASI

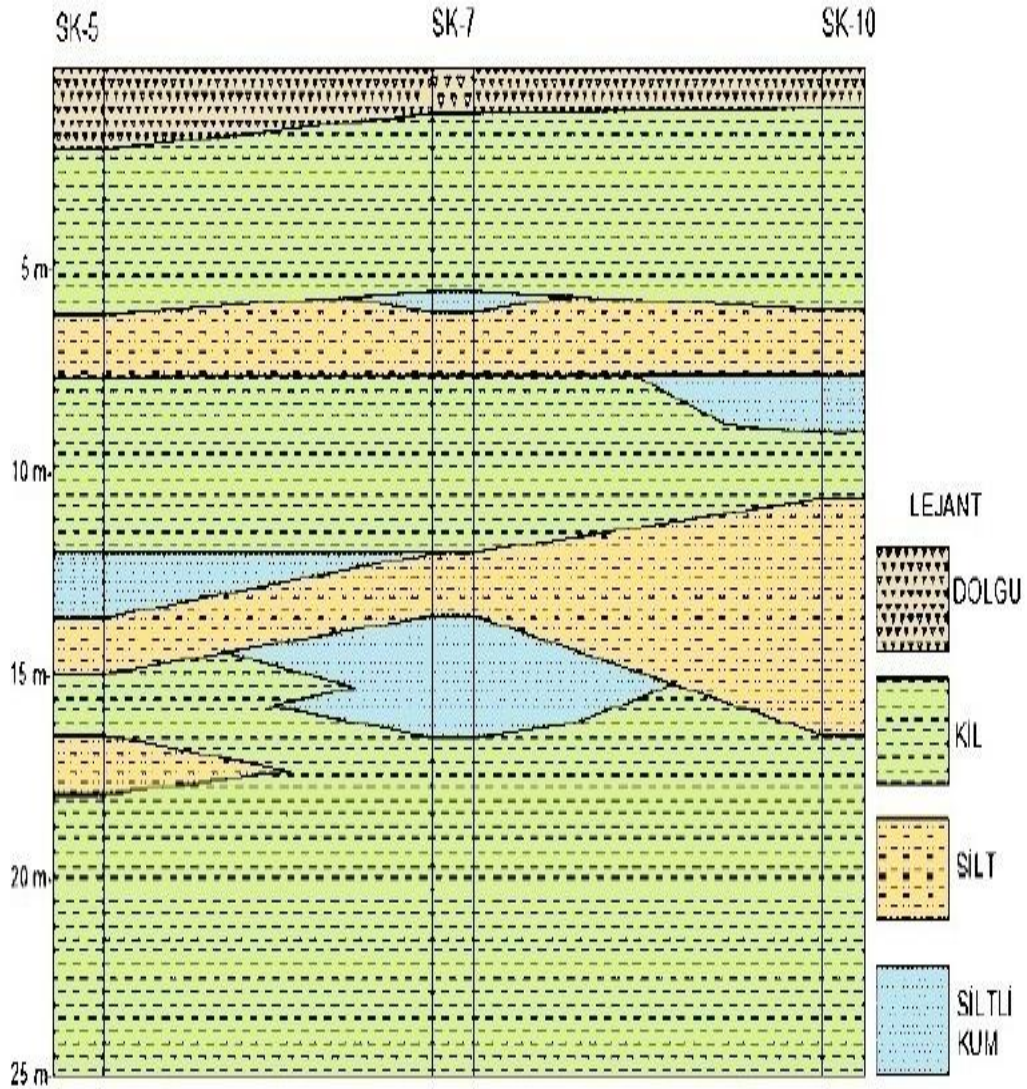
Çalışma alanı Adapazarı merkezde bulunan Güllük Mahallesi'dir. Çalışma alanında inşaatın temel sistemi bölgenin genel olarak zayıf zemin tabakalarından oluştuğuna dair ipucu verir. Yeraltı suyunu yüzeye yakın tabakalarda bulunması ve zeminin gevşek malzemelerden oluşması sebebiyle radye olarak seçilmiştir. Temelin ortalama boyutları 85,10x43,15 m olarak tasarlanmıştır. Temel toplam alanı 3672 m²'dir. Radye temelin gömme derinliği 4,05 m düzeyindedir. Aşağıdaki şekilde temel geometrisi verilmiştir.



Şekil 10.1. İnceleme alanı temel görünümü.

10.1. İnceleme Alanı Jeolojik Yapısı

Çalışma alanında yapılan sondaj çalışmalarından elde edilen verilere göre zemin tabakaları ilk 25 m için kil silt ve killi kumlardan oluşmuştur. Tabakaları oluşturan jeolojik birimlerin bu derecede zayıf ve dayanımsız oluşu zeminin olası bir depremde duraylılığını yitirebileceği ve oturmaların ortaya çıkabileceği sonucuna varılmıştır. Killi ve siltli yapıların sıklığını tamamlamamış, geçirimsizliği yüksek tabakalar olması sebebiyle zeminin genel karakteristiğinin zemin davranışına etkisi ve iyileştirmenin ne şekilde yapılması gerektiği bu duruma göre planlanmıştır.



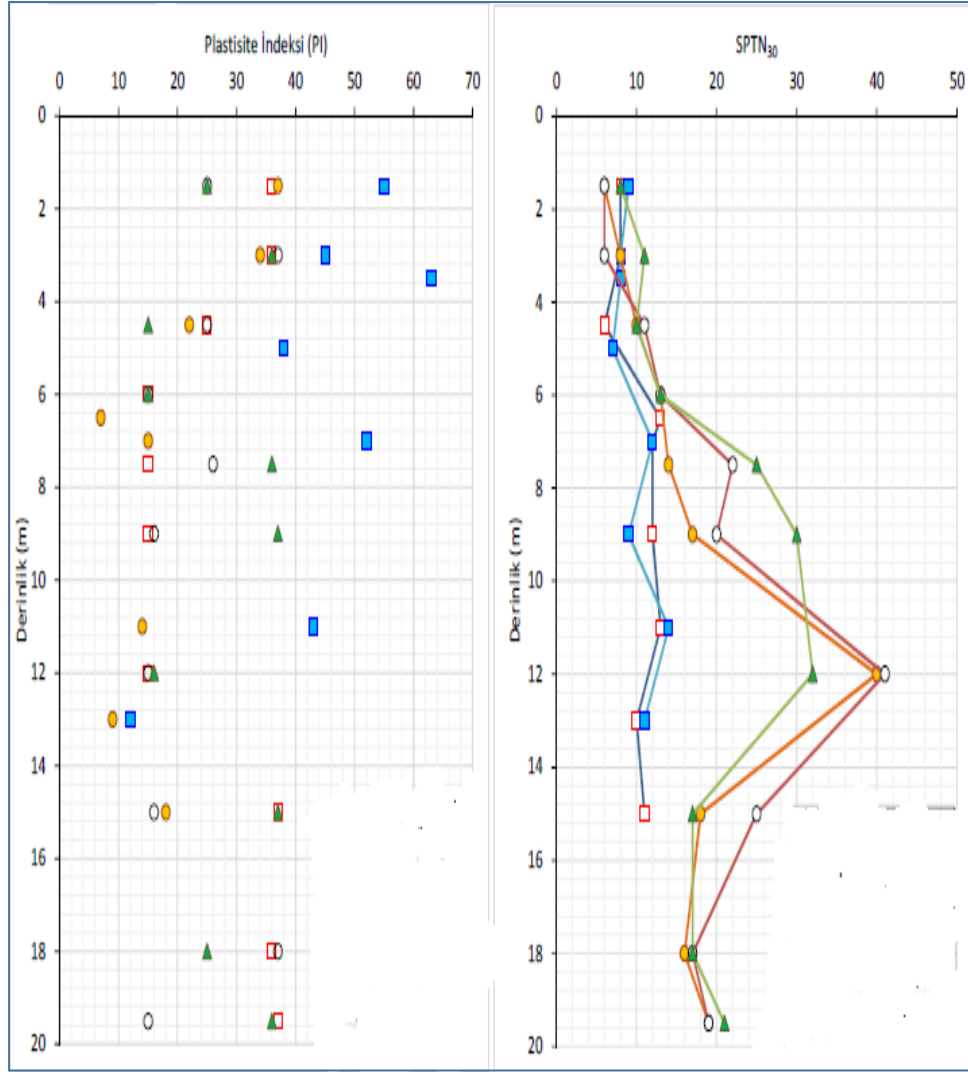
Şekil 10.2. İnceleme alanı jeolojik kesiti.

10.2. Zemin İyileştirilmesi Yapılan Alanda Sondaj Çalışmaları



Şekil 10.3. İnceleme alanında açılan sondajların temel alanındaki konumlandırılmaları.

İnceleme alanında birbirlerine benzer mesafelere yakın olacak şekilde koordinatlandırılmış on adet sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Sondaj çalışmasında SptN değerlendirmeleri yapılmıştır. SptN30 değerleri düşük bulunmuştur. İnceleme alanında toplam 10 adet sondaj kuyusu açılmıştır.



Şekil 10.4. SPT ve PI nin zemindeki değerler.

10.2.1. Zemin iyileştirmesi yapılan bu örnekte yeraltı su seviyesinin durumu

Yeraltı su seviyesi araştırması yapılan sahada alınan 10 adet sondaj verilerinden ortaya çıkan sonuca göre çok düşük seviyededir. Çalışma alanının batı kısmında yer alan ve aynı zamanda Adapazarı Ovası'nın önemli su kaynaklarından biri olan Çark Suyu tarafından sınırlandırılmaktadır. Bu bölgede yeraltı suyundaki bir miktar değişim gözlenmesinden aynı zamanda Çark Suyu'na yakınlığı da bir sebep olarak düşünülmektedir.

SK-No	Tarih	YASS (m)	xxxxx	SK-No	Tarih	YASS (m)
SK-1	5.12.2020	2.00		SK-6	19.12.2020	2.15
	6.12.2020	1.85			20.12.2020	1.85
	7.12.2020	1.70			21.12.2020	1.70
SK-2	12.12.2020	1.90		SK-7	19.12.2020	2.00
	13.12.2020	1.70			20.12.2020	1.85
	14.12.2020	1.50			21.12.2020	1.60
SK-3	6.12.2020	2.10		SK-8	19.12.2020	2.10
	7.12.2020	1.90			20.12.2020	1.90
	8.12.2020	1.80			21.12.2020	1.70
SK-4	13.12.2020	2.00		SK-9	20.12.2020	1.95
	14.12.2020	1.75			21.12.2020	1.70
	15.12.2020	1.60			22.12.2020	1.50
SK-5	5.12.2020	1.90		SK-10	20.12.2020	1.90
	6.12.2020	1.70			21.12.2020	1.75
	7.12.2020	1.50			22.12.2020	1.60

Şekil 10.5. Yeraltı su seviyeleri.

10.2.2. Zemin iyileştirmesi yapılan bu örnekte yapılan sismik ölçümler

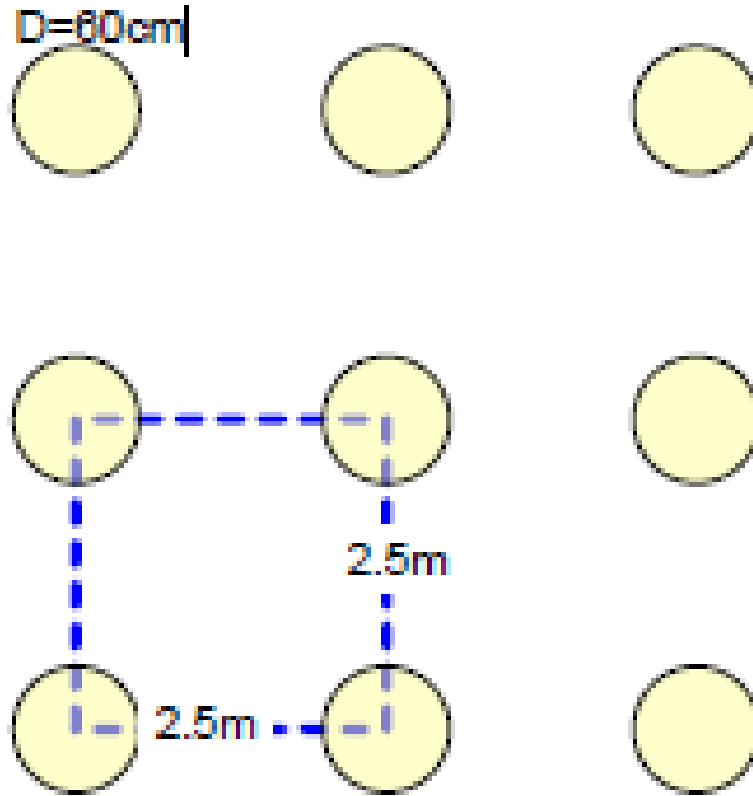
Çalışma Alanında MASW ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerden çıkan sonuçlara göre değerlendirme yapıldığında kayma dalgası hızları V_s çok düşük değerler çıkmıştır. 30 metredeki V_{s30} kayma dalgası hızı ortalama 221 m/sn bulunmuştur.

Serim No	Tabaka No	Tabaka Kalınlığı (m)	V_s (m/sn)	$V_{s[30]}$ (m/sn)	$V_{s[30]_{ort}}$ (m/sn)
1. Serim	1.Tabaka	1.90	207	209.0	221.83
	2.Tabaka	---	208		
2. Serim	1.Tabaka	3.45	245	233.8	
	2.Tabaka	---	230		
3. Serim	1.Tabaka	2.76	194	218.0	
	2.Tabaka	---	220		
4. Serim	1.Tabaka	2.02	241	236.1	
	2.Tabaka	---	235		
5. Serim	1.Tabaka	3.16	153	221.1	
	2.Tabaka	---	234		
6. Serim	1.Tabaka	3.65	137	217.0	
	2.Tabaka	---	237		
7. Serim	1.Tabaka	3.50	161	216.5	
	2.Tabaka	---	225		
8. Serim	1.Tabaka	4.33	181	223.1	
	2.Tabaka	---	237		

Şekil 10.6. Tabakalar ve Sismik Hızlar.

10.2.3. Zemin iyileştirme yapılan bu örnekte jetgrout kolonlarının dizilimi

Zeminin zayıf yapısı göz önünde bulundurularak jetgrout kolonları 60 cm çapında seçilmiştir. İki jetgrout kolonları arası mesafe merkezden merkeze 2,5x2,5 aralıklara sahip şekilde tasarlanmıştır. Jetgrout yeryüzeyinden -14 m kotuna kadar uzanmaktadır. Burada temel kotunun -4,05 seviyesinden başlayacağı düşünüldüğünde 14,00-4,05 yaklaşık olarak 10 m boyunda jetgrout kolonları dökülmüştür.

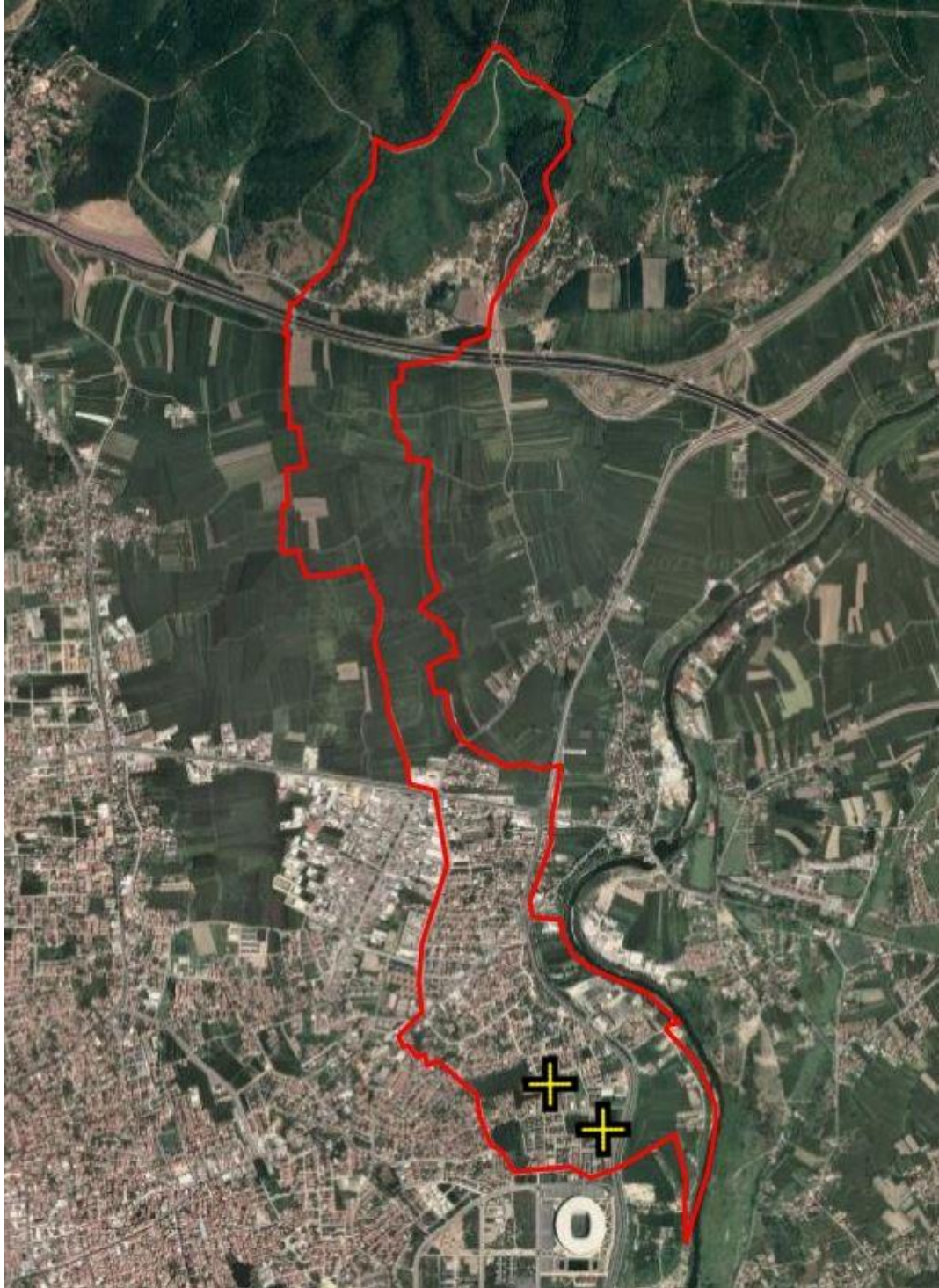


Şekil10.7. İnceleme alanına uygulanan Jetgrout dizilim planı.

BÖLÜM 11. UYGULAMALAR

11.1. Sismik ve Sondaj Çalışmalarına Dayalı Zemin İncelemeleri

Çalışma alanında zemin araştırmaları kapsamında sismik ve sondaj yöntemleri uygulanmıştır. Sismik yöntemlerden MASW yöntemi kullanılmıştır. Yüzey dalgalarının dispersiyonundan faydalanılarak yapılan ölçümlerde sismik kayma dalgası hızları olan Vs dalga hızları bulunmuştur. Bununla birlikte sismik ve sondaj yöntemlerinin uygulandığı sahaların lokasyonları aşağıda gösterilmiştir. Adapazarı Merkezi'ni örnekleme alanı olarak gösteren bu çalışma elli adet sahayı kapsamaktadır. Çalışma yapılan sahalarda SPT ölçümleri yapılmıştır. Bölge SPT yönteminin rahatça uygulanabileceği sedimanter malzemelerden oluşmuş killi, siltli ve kumlu birimlerden oluşmuş alüvyonel zemin yapısına sahiptir. Jeolojik ve jeofizik yöntemlerin birlikte kullanılarak araştırıldığı bu örnekleme alanı genç kuvarterner çökelleri sahasıdır.



Şekil 11.1 Güneşler Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj çalışması yerleri.

Güneşler Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre SPTN değerleri ve Vs kayma dalgası hızları düşük bulunmuştur.



Şekil 11.2. İstiklal Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

İstiklal Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarında Vs kayma dalgası hızları ve SPTN değerleri düşük bulunmuştur. Yeraltı su seviyesi yeryüzeyine yakın bulunmuştur.



Şekil 11.3. Karakamış Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Karakamış Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre SPTN ve Vs kayma dalgası hızları düşük bulunmuştur. Zeminler düşük dayanımlı gevşek zemin yapısını göstermektedir.



Şekil 11.4. Mithatpaşa Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Mithatpaşa Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre SPTN ve Vs kayma dalgası hızları düşük bulunmuştur. Yeraltı su seviyesi yeryüzeyine yakın seviyededir.



Şekil 11.5. Orta Mahallesiinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Orta Mahalle’de yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre V_s kayma dalgası hızları ve SPTN değerleri düşük bulunmuştur. Zemin dayanımı düşüktür.



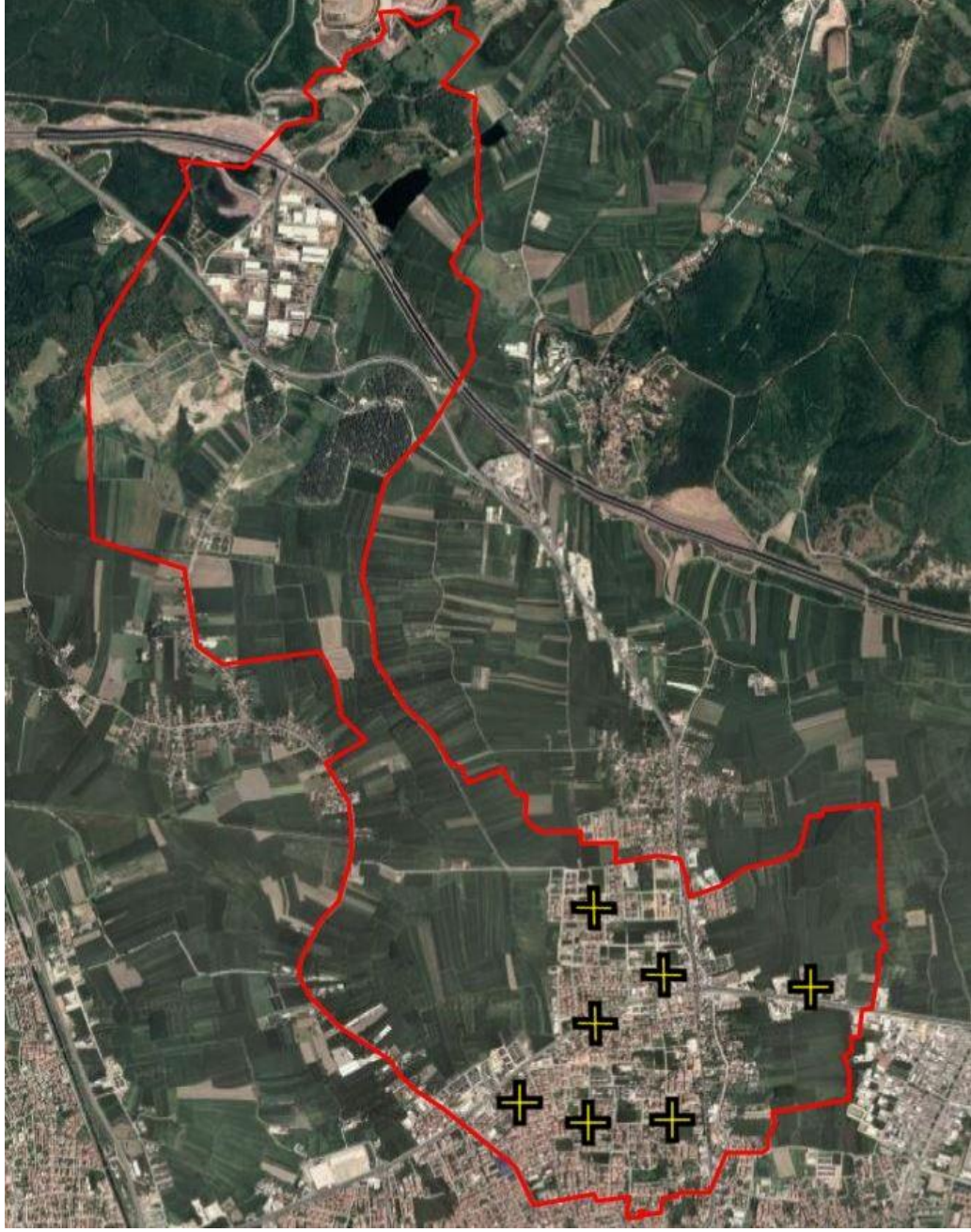
Şekil 11.6. Ozanlar Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Ozanlar Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre SPTN ve V_s kayma dalgası hızları düşük bulunmuştur.



Şekil 11.7. Papuular Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj alıŐmaları yerleri.

Papuular Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalıŐmalarından elde edilen verilere göre SPTN değerleri ve V_s Kayma dalgası hızları dűŐuk dayanımlı zemini göstermektedir.



Şekil 11.8. Tekeler Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Tekeler Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalardan elde edilen verilere göre zeminler düşük Vs hızlarına ve düşük SPTN değerlerine sahiptir. Zeminler dayanımı düşük gevşek zemin tabakalarından oluşmaktadır.



Şekil 11.9. Tepekum Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Tepekum Mahallesi'nde yapılan sismik ve sondaj çalışmalarından elde edilen verilere göre zeminler düşük dayanımlı killi siltli ve kumlu tabakalardan oluşmuştur. Vs Kayma dalgası hızları da düşük bulunmuştur.



Şekil 11.10. Tuzla Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Tuzla Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre düşük V_s kayma dalgası hızları ve SPTN değerleri bulunmuştur.



Şekil 11.11. Yağcılar Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Yağcılar Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre yeryüzeyine yakın yeraltı su seviyeleri ve düşük değerlerde Vs kayma dalgası hızları bulunmuştur.



Şekil 11.12. Yahyalar Mahallesi'nde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Yahyalar Mahallesi'nde yapılan Sondaj ve Sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre düşük dayanımlı zemin yapısı bölgeyi karakterize etmektedir. Vs kayma dalgası hızları düşük değerlerde bulunmuştur. Yeraltı su seviyesi yeryüzeyine yakındır.



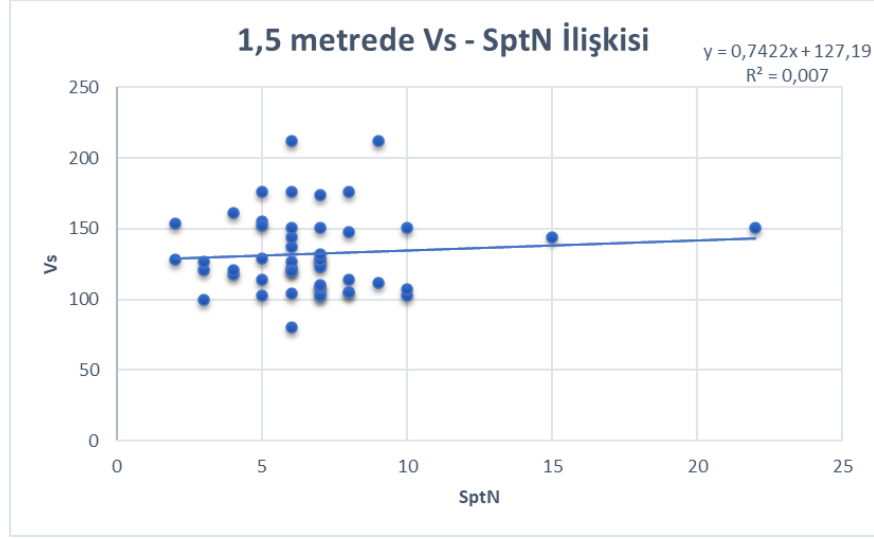
Şekil 11.13. Yenigün Mahallesinde yapılan Sismik ve Sondaj çalışmaları yerleri.

Yenigün Mahallesi'nde yapılan sondaj ve sismik çalışmalarından elde edilen verilere göre düşük V_s kayma dalgası hızları ve SPTN değerleri bulunmuştur.

Adapazarı zeminlerinde 50 Adet sondaj numunelerinden alınan Atterberg limitlerine göre Sakarya Nehri civarı bölgelerinin bazı kısımlarında bazı tabakalar kum içerikli yapıdadır. LL değerleri az bir kısımda NP sonucu vermiştir.

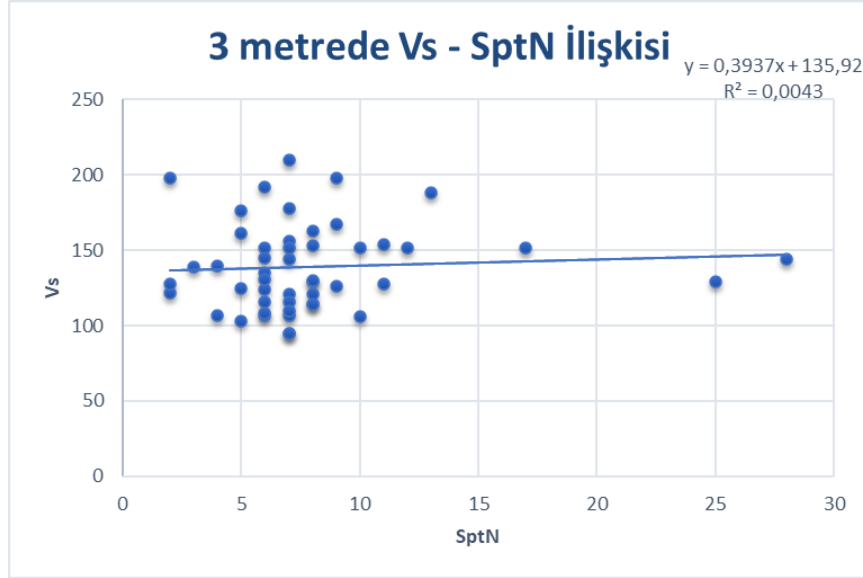
Kumlarda teorik olarak kohezyon sıfır değerindedir. Aynı bölgede yapılan bazı sondajlarda ise Atterberg limitlerinden elde edilen LL sonuçları tablo değerlerine göre değerlendirildiğinde zemin birimlerinin siltli ve killi yapıdan oluştuğu gözlemlenir. LL değerleri tablo değeri olarak silt içerikli yapılarda 30-40 arası, kil içerikli kısımlarda 40-150 arası değerlerdedir. Atterberg limitleri analizi bu zeminlerin zayıf ve dayanımı düşük kil ve siltli ve kısmen de kumlu malzemedan oluştuğunu göstermektedir.

BÖLÜM 12. VS KAYMA DALGASI HIZLARI VE SPT N ARASINDAKİ İLİŞKİLER



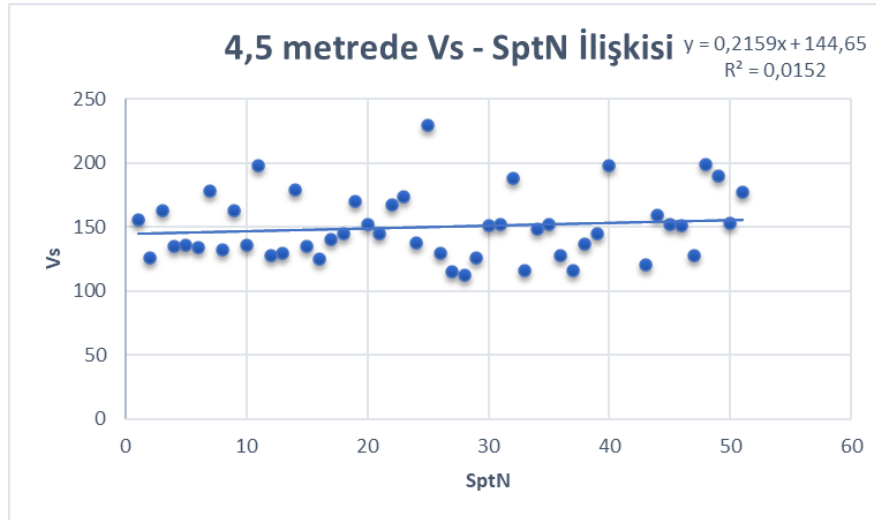
Şekil 12.1. 1,5 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerde 1,5 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Zemin yüzeyinden 1,5 m derinliğe inildiğinde, $y=0,7422x+127,19$ olarak doğru denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,007$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.1.).



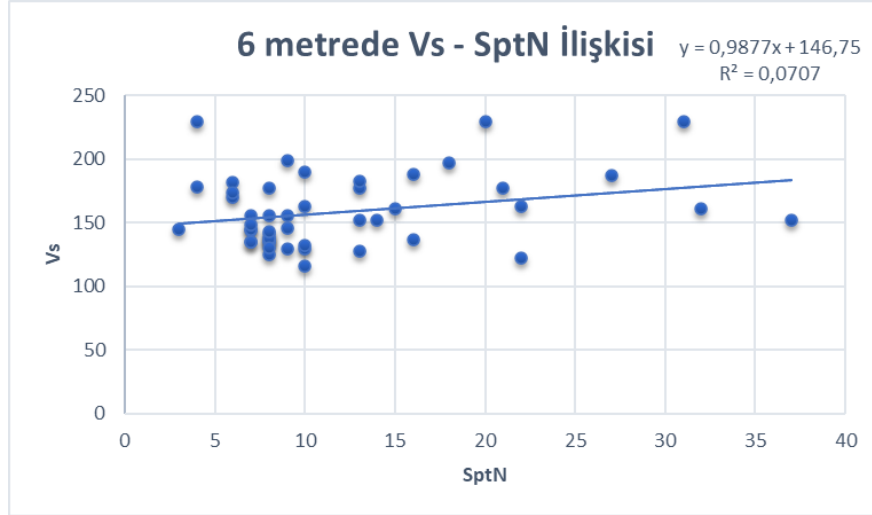
Şekil 12.2. 3 metrede Vs – SptN İlişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 3 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Zemin yüzeyinden 3 m derinliğe inildiğinde; Vs –SptN arasında $y=0,3937+135,92$ olarak doğru denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0043$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.2.).



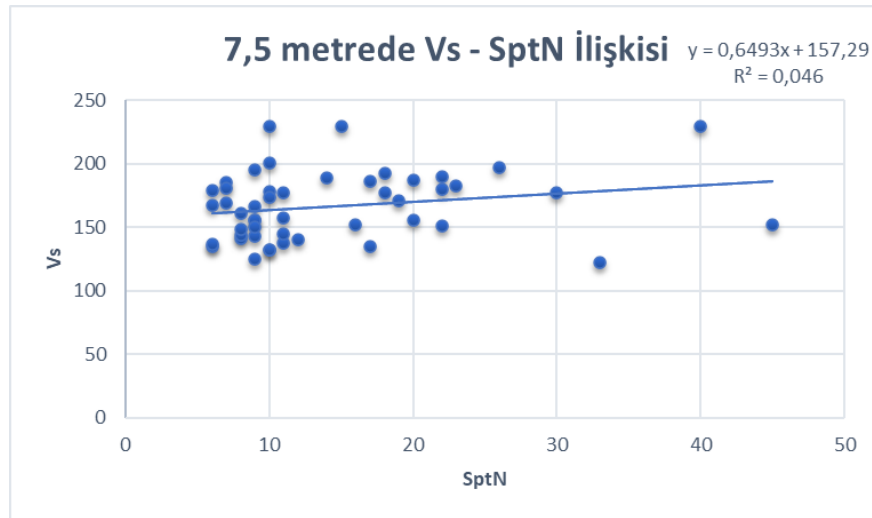
Şekil 12.3. 4,5 metrede Vs – SptN İlişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerde 4,5 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Zeminin 4.5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,2159x+144,65$ olarak doğru denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0152$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.3.).



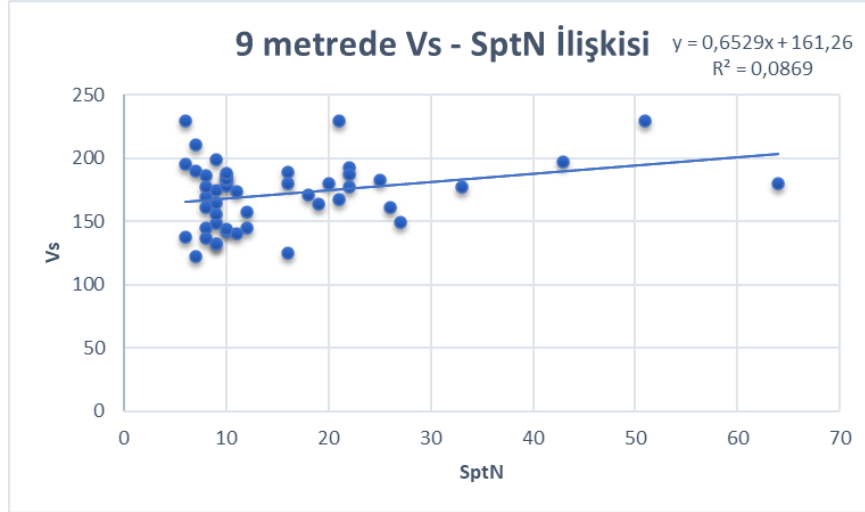
Şekil 12.4. 6 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 6 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Zeminin 6 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,9877x+146,75$ olarak doğru denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0707$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.4.).



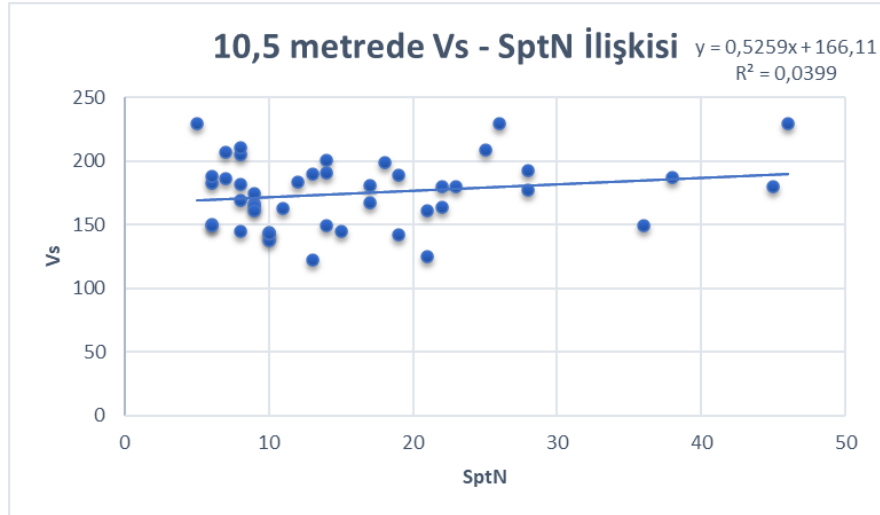
Şekil 12.5. 7,5 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 6 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Zeminin 7.5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,6493x+157,29$ olarak doğru denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,046$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.5.).



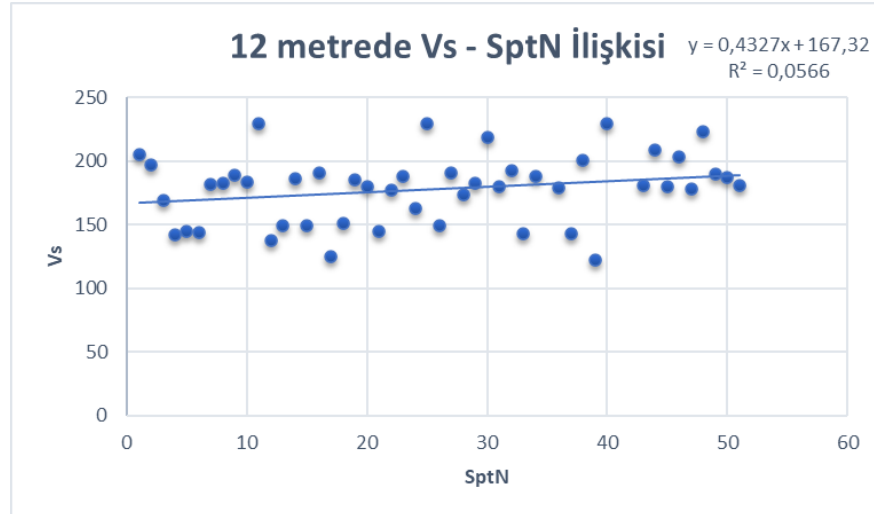
Şekil 12.6. 9 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerde 9 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 19,5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,6529x+161,26$ denklemi elde edilmiştir. Doğru denklemi ise; $R^2=0,0869$ değeri bulunmuştur. (Şekil 12.6.).



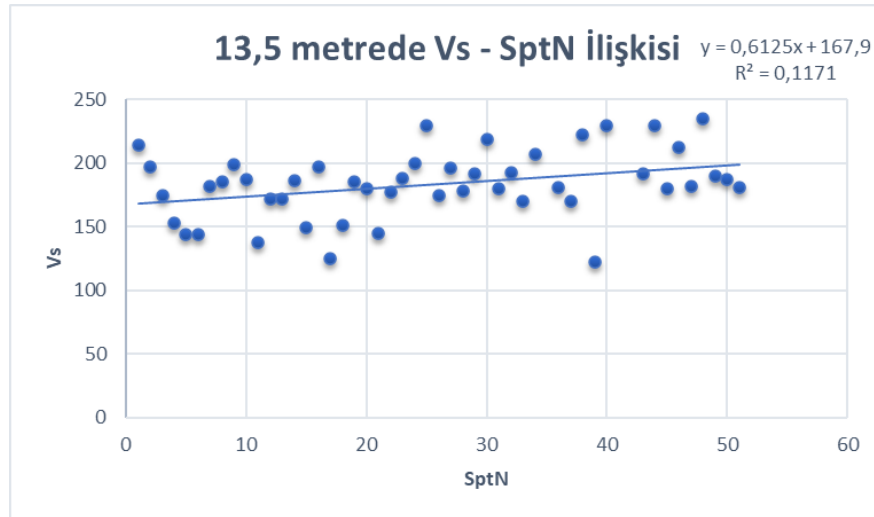
Şekil 12.7. 10,5 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı zeminlerinde 10,5 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 10,5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,5259x+166,11$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0399$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.7.).



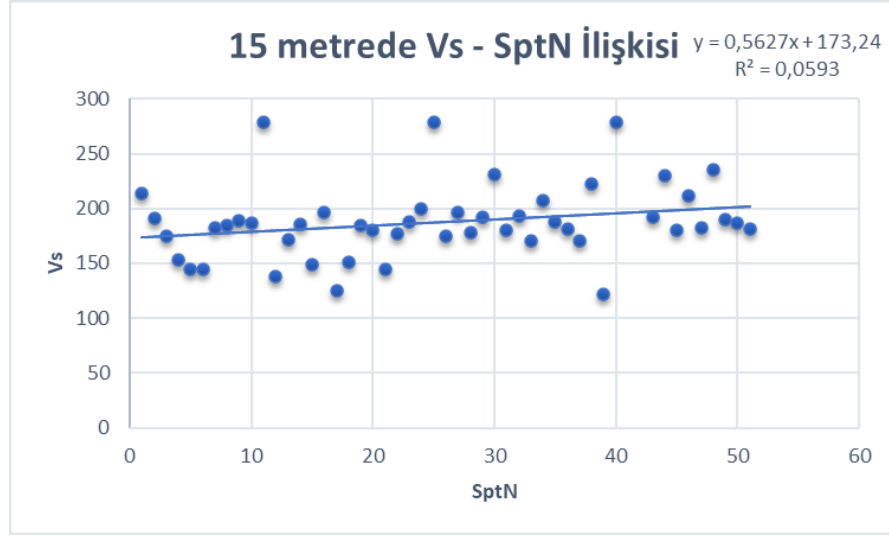
Şekil 12.8. 12 metrede Vs – SptN İlişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 12 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 12 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,4327x+167,32$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0566$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.8.).



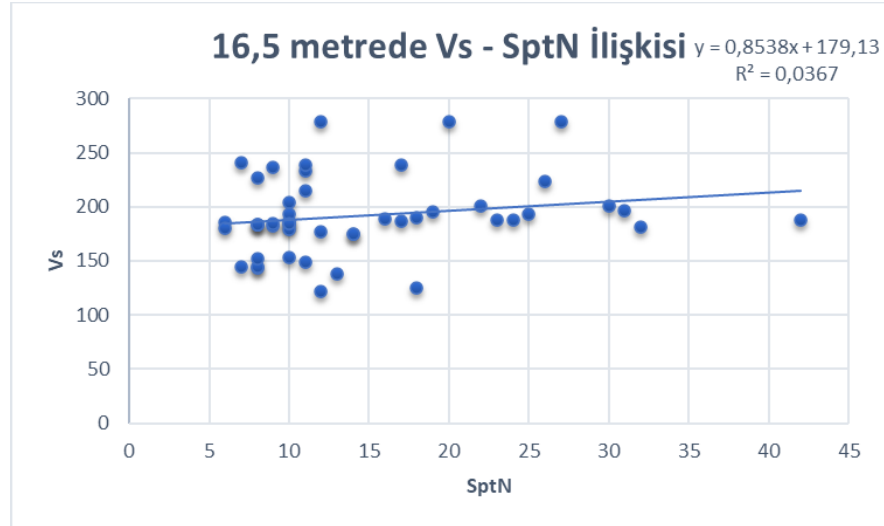
Şekil 12.9. 13,5 metrede Vs – SptN İlişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerde 13,5 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 13,5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,6125x+167,9$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,1171$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.9.).



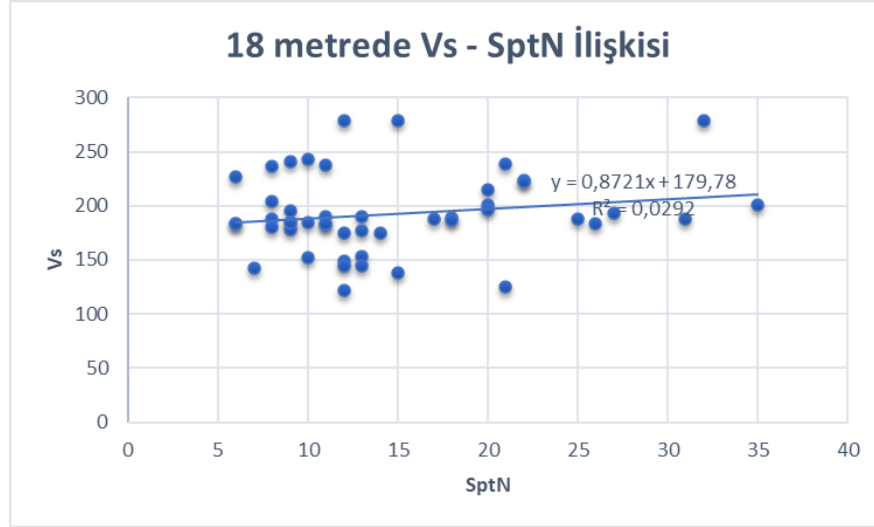
Şekil 12.10. 15 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 6 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 15 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,5627+173,24$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0593$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.10.).



Şekil 12.11. 16,5 metrede Vs – SptN ilişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 16,5 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 16,5 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,8538x+179,13$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0367$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.11.).



Şekil 12.12. 18 metrede Vs – SptN İlişkisi.

Adapazarı merkezde araştırılan zeminlerinde 18 metrede Vs-SptN arasındaki ilişki. Sakarya Adapazarı merkezdeki araştırılan zeminlerin 18 metre derinliğinde Vs-SptN ilişkisi incelendiğinde; $y=0,8721x+179,78$ denklemi elde edilmiştir. $R^2=0,0292$ değeri bulunmuştur (Şekil 12.12.).

BÖLÜM 13. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Adapazarı genelinde elde edilen sismik, sondaj ve alınan numunelerden elde edilen zemin laboratuvar sonuçlarına göre ayrı ayrı değerlendirme yapıldığında;

Sismik hızlara göre Vs kayma dalgası hızının düşüklüğü genel olarak Adapazarı Merkez zemininin zayıflığını göstermektedir.

Zemin Sondaj çalışmalarında yeraltı su seviyesinin bölge genelinde yapılan tüm etütlerde 1-3 metreler arasında bulunmuş olup yer yüzeyine yakın seviyelerdedir. Bu durum zeminin sıvılaşacağına önemli bir göstergesidir.

Laboratuvar sonuçlarından elde edilen verilere göre bölge zeminlerinde kohezyon değerlerinin düşüklüğü zayıf ve gevşek zemin tabakalarının varlığıyla örtüşmektedir.

Çoğu zeminde zemin sondaj çalışmalarından alınmış UD numunelerinden elde edilen örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçlarına göre içsel sürtünme açıları sıfır değerinde bulunmuştur. Bazılarında ise 15-25 derece arasında çok düşük değerler bulunmuştur. Zemin içerisindeki dane dizilimi ve buna bağlı olarak sıkılık ve dayanım düşüktür. Düşük içsel sürtünme açısı değeri suya doygunluk derecesinin belirlenmesi açısından önemlidir. Zeminlerin zayıf ve dayanımının düşük olduğu laboratuvar ortamında da doğrulanmış olmaktadır.

Vs kayma dalgası hızları tüm zeminlerde 100-200 m/sn arasında bulunmuştur. Bu hız değerlerine göre zeminlerin zayıf zeminler arasında olduğu hesaplanmıştır. Yeraltı su seviyesinin alt kısmına doğru 4,5 metre ve daha derin mesafelerde Vs kayma dalgası hızı belirgin şekilde artmıştır.

Vs kayma dalgası hızları, SPTN30 değerleri ve Atterberg Limitleri arasında kurulan korelasyonlarda düşük korelasyon değerleri bulunmuştur. Bunun sebebi sıvılaşıma eğilimi gösteren silt, kil ve kumlu malzemeden oluşan alüvyon zeminlerde zemin yapısının çok kısa mesafelerde dahi değişkenlik göstermesi olarak yorumlanabilir. Deneyleerin mekanik ve fiziksel olması nedeniyle, boşluklu, killi ve aynı zamanda buna bağlı olarak sıvıya doygunluğu ve sıklılığını tamamlamamış malzemelerden oluşan zeminin varlığı bir araya gelince korelasyonlar zayıf bulunmuştur.

SPTN30 Vs kayma dalgası ve Atterberg Limitleri arasındaki korelasyonların zayıflığı zeminin fiziksel özelliğine bağlı olarak sonuçların ve yorumlamaların farklı olacağı anlamı taşımaz.

SPTN30 değerleri, Atterberg limitleri ve Vs sismik kayma dalgası hızları aralarındaki korelasyonların çok zayıf olduğu görülmektedir.

Zayıf zeminlerin zayıf korelasyonlar verdiği görülmüştür. Korelasyonların zayıflığının bir sebebi de silt, kil ve kum tabakalarının varlığı ve bu malzemelerin bazen bir arada bazen yekpare bulunmasıdır.

Kumlarda kohezyon sıfır değerindeyken kil ve silt içeren malzeme kohezyonludur. Kohezif bir malzeme plastiktir. Kohezif olmayan bir malzeme plastik değildir. Karmaşık zemin yapısı korelasyonun düşüklüğüne sebep olarak düşünülebilir

Tane boyutu ve içeriği farklı zeminler kısa mesafelerde değişkenlik gösterirler. Bu durum da korelasyonların zayıflığının bir sebebi olarak düşünülmektedir.

Aynı zamanda kil yüzdesine bağlı olarak zeminlerde su içeriğinin artma eğilimi göstermesi değerlerde değişim gösterebilir. Çalışma alanının karmaşık bir kuvarterner çökelleri alanı olması ilişkilerin zayıflığının bir sebebidir.

Zemin sondajlarından elde edilen Spt değerleri, alınan sismik Vs kayma dalgası hızları ve zemin laboratuvar deneylerinden elde edilen Plastik limit, Likit limit ve Plastisite

değerlerine göre değerlendirme yapılırsa bu bölgede her durumda zeminde drenaj yapılması, zeminin mutlaka iyileştirilmesi, iyileştirilme yapılmadan yapılara başlanılmaması gereklidir.

Yapılan ölçümlerde Vs kayma dalgası hızlarının çok düşük çıkması olası bir yer hareketinde zemin büyütmesi ile karşılaşılacağını gösterirken yine SPTN değerlerinin de düşük değerlerde olması zemin büyütmesi açısından aynı sonucu ortaya koymaktadır.

Zemin iyileştirmelerinde iyileştirmelerin bazen birlikte yapılması gerekir. Drenaj yapılmadan yapılan bir forekazık ile iyileştirme uygulamasında drenajın eksikliğine bağlı olarak forekazıkların da statik dengesi bozulabilir. Zemini iyileştirme amacıyla tasarlanan bir sistemin de güvenilirliğinin sağlanması gerekir

Zayıf ve duraylılığını çabuk yitirebilen alüvyon zeminlerde statik dengenin korunması ve basma gerilmeye karşı dayanımın yüksek çıkması ve buna bağlı olarak taşıma gücünün yüksek değerlerde olması için forekazık çaplarının yüksek seçilmesi uygun olur. Yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın bulunduğu bölgelerde drenaj uygulanması yapılacak iyileştirmenin sağlıklı olması açısından önemlidir.

Zemin araştırılması yapıldığında ve zeminin zayıf olduğu sonucuna varıldığında iyileştirme uygulaması önerisi verilerek zemin iyileştirilmesi yapılırsa, iyileştirmenin hemen ardından iyileştirme yapılan bölgeye çok yakın bir alanda Sismik çalışma yapılarak VS kayma dalgası hızları bulunmalı, aynı zamanda zeminde sıkılaşma oluşup oluşmadığının sağlanması için SPT deneyi yapılmalıdır. Böylece iyileştirilmeden önceki zemin ile iyileştirme sonrası zeminin karakteristik özellikleri net olarak ortaya çıkmış olur. İyileştirme sonrası Jeolojik ve jeofizik yöntemlerle sağlanması yapılmayan bir iyileştirmenin net olarak ne sonuç vereceği öngörülemez.

KAYNAKLAR

- [1] Özçep, F., Statik ve Dinamik Etkiler Altında Zemin Davranışı ve Mühendislik Uygulamaları T.M.M.O.B Jeofizik Mühendisleri Odası 88s. Ankara, 2015.
- [2] https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomibultenleri/2018_25/63-66.pdf Erişim Tarihi: 02.06.2022.
- [3] Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Cihan, M., Özacar, A. Ve Teksöz, B., 17 Ağustos Gölcük-Arifiye (Kd Marmara) Depremi Jeolojik Ön Raporu. Odtü Jeol. Müh. Bölümü, 26 S,1999.
- [4] Bol, E., Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri, Doktora Tezi, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003
- [5] İnandık, H., Adapazarı Ovası ve Çevresinin Joemorfolojik Etüdü, İstanbul, 1953.
- [6] Tchihatcheff, P., Asie Mineure, Geologie, I, II, III, Paris, 1867-1869.
- [7] Rish, C., Der Sabandjasee und Seine Umgebund, Gotha, 1909.
- [8] Peck, W., Die Tectonischen Gründzüge Westkleinasiens, Stuttgart, 1918.
- [9] MTA, Sakarya İlinin Çevre Jeolojisi ve Doğal Kaynakları, MTA Genel Müdürlüğü Jeoloji Etütleri Dairesi, Ankara, 1998.
- [10] Erken, A., The Role of Geotechnical Factors on Observed Damage in Adapazarı, XV ICMGE Satelite Conference on Lessons Learned from Recent Strong Earthquakes, İstanbul, 2001
- [11] Erken, A., Okan, R., Erdem, A., 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depreminde Adapazarında Yeralan Zeminlerin Davranışı, V. Ulusal Deprem Müh. Konferansı, İstanbul, 2003.
- [12] Keçeli, A., Uygulamalı Jeofizik T.M.M.O.B Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:18. Ankara, 2015.
- [13] B.A. Earthquakes, W.H Freeman, New York, 331 pp, 1993.

- [14] Al-Sadi, H., N., Seismic exploration. Stuttgart, Birkhauser Verlag, 215. Stuttgart, 1982
- [15] US, E., Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya Giriş. T.M.M.O.B Jeofizik Mühendisleri Odası No:2, 226s. Ankara, 1993.
- [16] Park, C.B. and R.D. Miller, 2005c, Multichannel analysis of passive surface waves modeling and processing schemes, Proceedings of the Geo-Frontiers conference, 23-26 January Austin Texas.
- [17] Durdağ, D., Çok Kanallı Yüzey Dalgalarının Analizi (MASW) ve Geoteknik Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, 9 Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018
- [18] Sipahi, Ö., Sismik Veriler İle Sptn Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018
- [19] https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/87990/mod_resource/content/0/Hafta-12.pdf Erişim Tarihi: 02.06.2022
- [20] <http://www.kalitekontrol.org/images/stories/spt.jpg> Erişim Tarihi: 02.06.2022
- [21] Gujarati D.N., 2005.Temel ekonometri, (Çev.Ü.Şenesen ve G. Şenesen), Literatür Yayıncılık, s.850, İstanbul.
- [22] Johnson R.A., Wichern D.W., 1998. Applied multivariate statistical analyses, Prentice Hall, pp. 816, New Jersey.
- [23] Kılıçbay A., 1980.Ekonometrinin temelleri, Has Kurtulmuş matbaası, s.677, İstanbul.
- [24] Ohba,S., Tarumi, I., " Dynamic Responce Characteristics Of Osaka Plain" , Proc. Annual Meeting A.I.J, 1970.
- [25] İyisan, R.,"Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması" İMO Teknik Dergisi, (7)2:1187-1199, 1996.
- [26] https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/6ea4b281d76acdf_ek.pdf Erişim Tarihi: 02.06.2022
- [27] Özaydın, K., 1997, Zemin Mekaniği,140-166s Birsen Yayınevi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Vedat KESİCİ

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Sakarya Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Jeofizik Mühendisliği	2022
Lisans	Sakarya Üniversitesi/ Mühendislik Fakültesi / Jeofizik Mühendisliği	2009
Lise	Şehit Üsteğmen Selçuk Esedoğlu Yabancı Dil Ağırlıklı Lisesi	2002

YABANCI DİL

İngilizce