

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

**SİSMİK VERİLER İLE SPTN ARASINDAKİ  
İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Jeofizik .Müh. Özlem SİPAHİ**

**Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Can KARAVUL**

**Haziran 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SİSMİK VERİLER İLE SPTN ARASINDAKİ  
İLİŞKİLERİN İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jeofizik.Müh. Özlem SİPAHİ

Enstitü Anabilim Dalı : JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez .. / .. /2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Can KARAVUL

Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Günay  
BEYHAN

Üye



Yrd. Doç. Dr. Alparslan S.  
DEMİR

Üye



## **TEŞEKKÜR**

Yükseklisans eğitimin boyunca danışmanlığımı yapan, tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Can KARAVUL 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yükseklisans eğitimim sırasında katkılarından dolayı , Yrd.Doç.Dr. Şefik RAMAZANOĞLU ' na , Yrd.Doç.Dr. Alparslan S. Demir ' e, Yrd.Doç.Dr. Günay BEYHAN, Yrd.Doç.Dr. Ayhan KESKİNSEZER'e teşekkür ederim ve yine Arş.Gör. Fikret KURNAZ 'a , Arş.Gör. Eray YILDIRIM' a ve Arş.Gör. Hatice ERGÜVEN 'e ayrıca teşekkür ederim.

Bugüne kadar, benden maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen her konuda yanımda olan aileme, babam Maksut SİPAHİ 'ye, annem Meral SİPAHİ 'ye ve kardeşlerim Kübra ve Şevval SİPAHİ 'ye , sonsuz sevgi ve saygılarımla teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY.....	xiv

## BÖLÜM 1

GİRİŞ.....	1
------------	---

## BÖLÜM 2

DALGA YAYINIMINDA TEMEL KAVRAMLAR.....	2
2.1.Sismik Dalga Şekilleri.....	3
2.1.1. Boyuna dalgalar (P) (Longitudinal Waves).....	3
2.1.2. Enine dalgalar (S) (Shear Waves).....	4
2.1.3. Rayleigh dalgaları (R ).....	5
2.1.4. Love dalgaları (L).....	6
2.2. Dalga Yayınım Geometrisi.....	7

## BÖLÜM 3.

DİNAMİK ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ.....	10
3.1.Arazi Deneyleri.....	11
3.1.1.Düşük deformasyon deneyleri.....	12

3.1.1.1. Sismik yansımada.....	13
3.1.1.2. Sismik kırılma.....	13
3.1.1.3. Askıda loglama.....	13
3.1.1.4. Yüzey dalgalarının spektral analizi.....	14
3.1.1.5. Kuyudan kuyuya sismik deney.....	14
3.1.1.6. Sismik kuyu aşığı ( kuyu yukarı).....	15
3.1.2. Yüksek deformasyon deneyi.....	16
3.1.2.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT).....	17
3.1.2.2. Koni penetrasyon deneyi (CPT).....	19
3.1.2.3. Sismik koni penetrasyon deneyi (SCPT).....	20
3.2. Laboratuvar Deneyleri.....	23
3.2.1. Sınıflandırma deneyleri.....	23
3.2.1.1. Elek analizi.....	24
3.2.1.2. Hidrometre deneyi.....	24
3.2.1.3. Kıvam limitleri deneyi.....	24
3.3. Dinamik Elastik Parametreler ve Tanımları.....	25
3.3.1. Poisson oranı ( $\mu$ ).....	25
3.3.2. Elastisite modülü (Young) (E).....	26
3.3.3. Kayma modülü ( G).....	26
3.3.4. Kayma zemin emniyet gerilmesi ( $q_s$ ).....	26

## BÖLÜM 4.

ÇALIŞMA ALANLARININ JEOLJİSİ.....	27
4.1. İstanbul 'un Genel Jeoloji ve Tektoniği.....	27
4.2. İstanbul' un Coğrafi Konumu.....	32
4.3. İstanbul ' un Jeomorfolojisi.....	33
4.4. İstanbul ' un Depremselliği .....	34
4.5 Çalışma Alanlarının Jeolojisi.....	36
4.5.1. Danişmen formasyonu.....	36
4.5.1.1. Gürpınar üyesi.....	37
4.5.2. Çukurçeşme formasyonu.....	38
4.5.3. Çekmece formasyonu.....	40
4.5.3.1. Güngöre üyesi.....	40

4.5.3.2. Bakırköy üyesi.....	42
4.5.4. Güncel Birikintiler.....	43
4.5.4.1. Alüvyon, bitkisel toprak plaj kumu.....	43
4.5.4.2. Yeni dolgular.....	44
<b>BÖLÜM 5.</b>	
<b>UYGULANAN YÖNTEMLER.....</b>	<b>47</b>
5.1. Regresyon Analizi.....	47
5.1.1. Basit regresyon ve korelasyon analizi.....	47
5.1.2. Non-lineer regresyon analizi.....	49
5.1.3 Çoklu regresyon analizi.....	49
5.2. Yapay Zekâ .....	51
5.2.1. Yapay tanımı.....	51
5.2.2. Yapay zekânın karakteristik özellikleri .....	53
5.2.3. Yapay zekâ teknolojileri.....	54
5.2.4 Yapay zekâ ve klasik sistemlerin karşılaştırılması .....	54
5.2.5. Yapay zekânın uygulamaları.....	55
5.2.6. Yapay zekânın uygulama örnekleri.....	55
5.3. Yapay Sinir Ağları.....	56
5.3.1. YSA 'nın tarihçesi.....	56
5.3.2. Yapay sinir ağlarının basit yapısı.....	59
5.3.2.1. Biyolojik nöron.....	59
5.3.2.2. İşlemci (yapay nöron).....	60
5.3.3. Yapay sinir hücresinin temel elemanları.....	61
5.3.3.1. Girişler.....	62
5.3.3.2. Ağırlıklar.....	62
5.3.3.3. Toplama işlevi.....	62
5.3.3.4. Aktivasyon fonksiyonları.....	63
5.3.3.4 . Çıkış işlevi.....	67
5.3.4. Yapay sinir ağlarının yapısı.....	67
5.3.4.1. Katmanlar.....	68
5.3.5. Yapılarına göre yapay sinir ağları.....	69
5.3.5.1. İleri beslemeli ağlar.....	69

5.3.5. 2. Geri beslemeli ağlar.....	70
5.3.6. Yapay sinir ağlarında öğrenme.....	70
5.3.7.Eğitim ve test.....	71
5.3.8. YSA' nın avantajları.....	71
BÖLÜM 6.	
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	73
BÖLÜM 7	
UYGULAMALAR.....	87
7.1. Basit Regresyon Analizi.....	87
7.2. Çoklu Regresyon Analizi.....	99
7.2.1. Avcılar bölgesi için çoklu regresyon analizi.....	100
7.2.2. Bakırköy Bölgesi için çoklu regresyon analizi.....	103
7.3. Yapay Sinir Ağları(YSA).....	106
7.3.1.Avcılar bölgesindeki yapay sinir ağları.....	106
7.3.2. Bakırköy bölgesi için yapay sinir ağları.....	107
BÖLÜM 8	
SONUÇ.....	110
KAYNAKLAR.....	112
ÖZGEÇMİŞ.....	116

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

CPT	: Koni Penetrasyon Testi
D	: Derinlik
E	: Young (elastisite) modülü
F	: Formasyon
FC	:İnce Dane Oranı
Fs	: Sürtünme Kuvveti
G	: Kayma Modülü
J	: Jeolojik Yaş
L	: Love Dalgaları
MSE	: Hata Karelerinin Ortalaması
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Kurumu
N	: Ölçülen (ham) SPT Değeri
N <sub>60</sub>	: Düzeltilmiş N Değeri
OKH	: Ortalama Karesel Hata
P	: Boyuna Dalgalar
r	: Korelasyon Katsayısı
R	: Rayleigh Dalgaları
S	: Enine Dalgalar
SCPT	: Sismik Koni Penetrasyon Testi
SPT	: Standart Penetrasyon Testi
t	: Zaman
u <sub>w</sub>	: Boşluk Suyu Basıncı
V <sub>p</sub>	: P Dalga Hızı
V <sub>s</sub>	: S Dalga Hızı
y	: Bağımlı Değişken
YASS	: Yer Altı Su Seviyesi
YSA	: Yapay Sinir Ağları



YZ	:Yapay Zeka
Z	: Zemin Tipi
$\sigma$	: Poisson Oranı
$\mu$	: Sıkışmazlık(rigidity) modülü
p	: Yoğunluk
qc	: Direnç
qs	: Zemin Emniyet Gerilmesi
x	: Bağımsız Değişken
$\varepsilon$	: Hata Terimi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Küp şeklinde bir katı cisme üç boyutta eşit bir basınç uygulanırsa hacim Küçülmesi.....	2
Şekil 2.2. Küp şeklinde bir katı cisme üç boyutta uygulanan kuvvetler birbirine eşit değilse cismin açılarında değişimin gözlenmesi.....	2
Şekil 2.3. P Dalgası yayınımlı.....	3
Şekil 2.4. S Dalgası yayınımlı.....	5
Şekil 2.5. Rayleigh dalgalarının yayınımlı sırasında parçacık hareketleri.....	6
Şekil 2. 6. Love dalgası yayınımlı parçacık hareketleri.....	6
Şekil 2.7. Love ve Rayleigh dalga yayınımlı.....	7
Şekil 2.8. Huygens prensibine göre düzlem dalga yayınımlı.....	8
Şekil 2.9. Snell yasasında kullanılan bağıntıya bağlı ışın geometrisi.....	9
Şekil 3.1. Kuyudan kuyuya sismik deney.....	15
Şekil 3.2. Sismik kuyu aşığı.....	16
Şekil 3.3. SPT gösterimi.....	19
Şekil 3.4. Tipik sismik penetrometre kesiti.....	21
Şekil 3.5. SCPT ekipmanı ile sismik sinyalin oluşturulması.....	22
Şekil 3.6. Kayma dalga hızının hesabı.....	22
Şekil.4.1. İstanbul'un Coğrafi Haritası.....	33
Şekil.4.2. Türkiye deprem bölgeleri haritasında İstanbul ilinin konumu.....	35
Şekil.4.3. Gürpınar Üyesinin Görünümü.....	38
Şekil.4.4. Güngören Üyesi ile Çukurçeşme formasyonu.....	39
Şekil.4.5. Güngören Üyesi.....	41
Şekil.4.6. Bakırköy Üyesi.....	43
Şekil.4.7. Çalışma Alanlarının Jeoloji Haritası.....	45
Şekil 4.8. İstanbul ve civarına ait genel stratigrafik kesit.....	46
Şekil 5.1. Üç değişkenli modelde en küçük kareler yüzeyi.....	50
Şekil 5.2. Biyolojik Nöron Yapısının blok diyagramı.....	59

Şekil 5.3. Biyolojik Nöronun Basit Yapısı.....	60
Şekil 5.4. Tıpk Bir Ağ Modeli.....	61
Şekil 5.5. Örnek Bir Sinir Ağı Modeli.....	61
Şekil 5.6. Simetrik Eşik Transfer Fonksiyonları.....	64
Şekil 5.7. Tek Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu.....	65
Şekil 5.8. Çift Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu.....	65
Şekil 5.9. Lineer Transfer Fonksiyonu.....	66
Şekil 5.10. Log-Sigma Transfer Fonksiyonu.....	66
Şekil 5.11. Hiperbolik Tanjant Transfer Fonksiyonu.....	67
Şekil 5.12. Çok katmanlı bir sinir ağı yapısı.....	68
Şekil 5.13. İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı.....	69
Şekil 5.14. Geri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı.....	70
Şekil 6.1. Hesaplanan eşdeğer kayma dalga hızı haritası.....	74
Şekil 6.2. Eşdeğer kayma dalgası hızlarının değişimi ile elde edilen harita.....	75
Şekil 6.3. SPT-N ve Kayma Dalgası hızı arasındaki ilişki.....	76
Şekil 6.4. Kayma dalgası için lineer regresyon dağılımı.....	77
Şekil 6.5. N1 ve Vs arasındaki ilişki.....	78
Şekil 6.6. Mike Turnbull tarafından oluşturulan SPT ve Kayma Dalgası arasındaki ilişki.....	79
Şekil 6.7. Çimentolanmamış Holosen kumlar için (N1)60CS VE (VS1)CS arasındaki ilişki.....	82
Şekil 6.8. Çimentolanmamış Holosen kumlar için (VS1)CS ve (qc1N)CS arasındaki ilişki.....	82
Şekil 6.9. Killi ve Siltli zeminler için ve Kil + Siltli ( Fine Grain Soils ) zeminler için Vs ve N(SPT) arasındaki korelasyon.....	83
Şekil 6.10. SPT N ve Vs için önerilen korelasyonlar arasındaki ilişkiler.....	83
Şekil 6.11. Kayma Dalgası hızının N değerleri ve N60 değerleri arasındaki ilişki.....	84
Şekil 6.12. Shear Wave Velocity Programı.....	85
Şekil 7.1. Avcılar ve Bakırköy' ün 1.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	90
Şekil 7.2. Avcılar ve Bakırköy' ün 3 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişki.....	90

Şekil 7.3. Avcılar ve Bakırköy' ün 4.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi.....	91
Şekil 7.4. Avcılar ve Bakırköy' ün 6 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi.....	92
Şekil 7.5. Avcılar ve Bakırköy' ün 7.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	92
Şekil 7.6. Avcılar ve Bakırköy' ün 9 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	93
Şekil 7.7. Avcılar ve Bakırköy' ün 10.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	93
Şekil 7.8. Avcılar ve Bakırköy' ün 12 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi.....	94
Şekil 7.9. Avcılar ve Bakırköy' ün 13.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	95
Şekil 7.10. Avcılar ve Bakırköy' ün 15 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi.....	95
Şekil 7.11. Avcılar ve Bakırköy' ün 16.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	96
Şekil 7.12. Avcılar ve Bakırköy' ün 18 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi.....	96
Şekil 7.13. Avcılar ve Bakırköy' ün 19.5 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	97
Şekil 7.14. Avcılar ve Bakırköy' ün 21 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	97
Şekil 7.15. Avcılar ve Bakırköy' ün 24 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	98
Şekil 7.16. Avcılar ve Bakırköy' ün 27 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	98
Şekil 7.17. Avcılar ve Bakırköy' ün 30 m deki SPTN – Vs arasındaki ilişkisi.....	99
Şekil 7.18.Yapay Sinir Ağlarının Katmanlarının Gösterimi.....	106

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1. Yapay Zeka ve Klasik Bilgisayar Programcılığı Karşılaştırılması.....	54
Tablo 6.1. Holosen yaşlı, çimentolaşmamış kumlu zeminlere ait regresyon denklemleri.....	80
Tablo 6.2. Çeşitli kum depozitler için tanımlanan yaş scala faktörleri.....	81
Tablo 6.3. Vs –SPTN arasında bulunan bazı korelasyonlar.....	86
Tablo 7.1. Avcılar bölgesindeki basit regresyon analizi sonuçları.....	88
Tablo 7.2. Bakırköy bölgesindeki basit regresyon analizi sonuçları.....	89
Tablo 7.3. Çalışmada kullanılan değişkenler.....	100
Tablo 7.4. Çoklu regresyondaki girdi parametreleri.....	100
Tablo 7.5. Avcılar Bölgesinin Çoklu Regresyon Katsayıları.....	101
Tablo 7.6. Avcılar Bölgesinin Çoklu Regresyon Sonuçları.....	102
Tablo 7.7. Bakırköy Bölgesinin Çoklu Regresyon Katsayıları.....	103
Tablo 7.8. Bakırköy Bölgesinin Çoklu Regresyon Sonuçları.....	104
Tablo 7.9. Avcılar ve Bakırköy bölgelerinin korelasyon ilişkileri.....	105
Tablo 7.10. Avcılar Bölgesindeki Yapay Sinir Ağları Sonuçları.....	107
Tablo 7.11. Bakırköy Bölgesinin Yapay Sinir Ağları Sonuçları.....	108
Tablo 7.12. Avcılar ve Bakırköy bölgelerinin korelasyon ilişkileri.....	109

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: SPTN, Vs (Kayma Dalgası Hızı), Basit Regresyon Analizi, Çoklu Regresyon Analizi, Yapay Sinir Ağları.

Bu çalışmada, Avcılar ve Bakırköy ' ün sahil kesimlerindeki Kayma Dalga Hızı( Vs) ve SPT Darbe Sayıları ( SPTN) aralarındaki ilişki basit regresyon, çoklu regresyon ve yapay sinir ağlarıyla incelenmiştir. . Dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir parametre olan kayma dalga hızının çeşitli araştırmacılar tarafından, önceleri mikrotremorler ve daha sonra ise karşıt kuyu, aşağı kuyu ve benzeri sismik deneylerden bulunan sonuçlar kullanılarak, kayma dalga hızı ile SPTN darbe adedi arasındaki ilişkiler değerlendirilerek çeşitli amprik bağıntılar üretilmiştir. Basit Regresyonda ; Avcılar bölgesi için 544 tane SPT N ve Vs veri çifti , Bakırköy bölgesi için ise; 1411 tane SPT N ve Vs veri çifti kullanılmıştır.

Çoklu Regresyon ve Yapay Sinir Ağlarında ; Avcılar 225 tane Bakırköy' de ise 308 tane SPTN, derinlik, jeolojik yaş, zemin tipi, formasyon ve yer altı su seviyesi verileri kullanılarak kayma dalga hızı elde edilmiş ve gerçek kayma dalga hızı değerleri ile karşılaştırılmıştır.  $SPTN \geq 50$  olan veriler kullanılmamıştır. Uygulanan yöntemlerden elde edilen sonuçlar birbirlerine göre karşılaştırılmıştır.

# **AXAMINATION OF RELATIONS BETWEEN SEISMIC DATA AND SPTN**

## **SUMMARY**

Keywords: SPTN, Shear Wave Velocity, Simple Regression Analysis, Multiple Regression Analysis, Artificial Neural Networks.

In this study, Avclar and Bakirkoy 's coastal areas of the Shear Wave Velocity (Vs) and SPT blow counts (SPTN) the relationship between the simple regression, examined with multiple regression and neural networks. . Dynamic soil properties in determining the important parameters of the shear wave velocity range by the researchers initially microtremor and then the anti-wells, the wells and related seismic experiments the results, using the shear wave speed SPTN pulse number between evaluated and several empirical equations were produced. In simple regression, Hunters for the region of 544 grains SPT N and Vs data pairs, while for the region of Bakirkoy, 1411 vs N and one SPT data was used to couple Multiple Regression and Neural Networks; Hunters 225 grains Bakirkoy in the 308 grain SPTN, depth, geological age, soil type, formation and ground water level data using the shear wave velocity have been obtained and actual shear wave velocity values are compared.  $SPTN \geq 50$  was not used for the data. The results obtained from the methods used are compared to each other.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

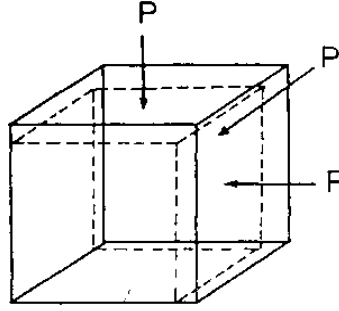
Geoteknik deprem mühendisliği problemlerinin çözümünde dinamik zemin özelliklerinin ölçülmesi son derece önemli bir işlemdir. Zemin özelliklerinin ölçüm yöntemleri arasında en çok kullanılanları sondaj çalışması ve jeofizik çalışmalardır. Bu çalışmada da sondaj çalışmasında elde edilen SPTN değeri ve jeofizik sismik çalışmada elde edilen kayma dalga hızı (Vs) kullanılmıştır. Zemin incelemelerinde özellikle SPT gibi arazi deneylerinin yaygın olarak kullanılmasına karşın sismik deneyler ise daha çok afet riski taşıyan yerlerde ve önemli projelerde tercih edilmektedir. Sismik deneylerin çeşitli sebeplerden dolayı yapılamadığı veya az sayıda yapıldığı yerlerde zeminin dinamik özelliklerini belirlemek zordur. Bu sebepten dolayı zeminin dinamik özelliklerini belirlemede yardımcı olan kayma dalgası hızına ulaşmak için diğer arazi deneyleri arasında ilişkiler kurularak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu çalışmalara örnek olarak; Ohba ve Tairumi'nin 1970 yılında Japonya - Osaka yakınlarındaki alüvyonal zeminlerde yaptığı çalışma, Iyisan'nın 1996'da Erzincan'da yaptığı çalışma ve Jafari'nin 2002 yılında Tahran'da yaptığı çalışma söylenebilir [20, 21, 28].

Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen SPT N-Vs korelasyonlarında, SPT deneyinin arazide uygulanması sırasında kullanılan donanım, deney teknikleri ve analizlerde kullanılan veri sayısı bu bağıntılardan elde edilen sonuçlar üzerinde doğrudan etkilidir. Bu nedenle elde edilen bağıntılarda korelasyon katsayısı ne kadar büyük olursa olsun sonuçların bir çok faktörden etkileneceği dikkate alınarak, bu bağıntılardan hesaplanan hız değerlerini, arazi ölçümlerinden bulunanlar gibi değerlendirmek yoluna gidilmemelidir.



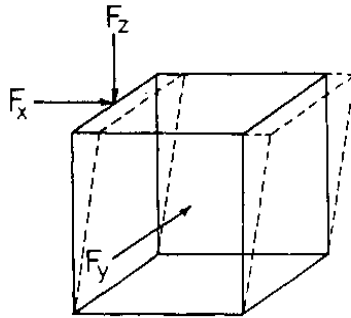
## BÖLÜM 2. DALGA YAYINIMINDA TEMEL KAVRAMLAR

Sismik dalganın yayıldığı yer altında ki gerçek ortamın karmaşıklığına rağmen, dalga hareketini daha başlangıçta zora sokmamak için ortamlar homojen ve izotrop olarak kabul edilir. Katı cisimlere herhangi bir kuvvet uygulandığında iki türlü davranış gözlenir. Birincisinde kuvvet uygulanan katı cismin şeklinde değişiklik olmadan hacmi değişir. İkinci türde ise hacim değişikliği olmaksızın şekil değişikliği gözlenir [8]. Şekil 2. 1.'de görüldüğü gibi x, y, z boyutlarındaki küp şeklinde bir katı cisim, üç eksenli eşit bir basınç altında hacim küçülmesine uğramıştır.



Şekil 2.1. Küp şeklinde bir katı cisme üç boyutta eşit bir basınç uygulanırsa hacim küçülmesi [56].

Küçülme miktarları  $dx$ ,  $dy$  ve  $dz$  olduğundan, küçülme oranları;  $dx/x$ ,  $dy/y$  ve  $dz/z$  olacaktır. Şekil 2.2'de ise uygulanan kuvvet sonucunda açılarda bir değişim meydana gelmiştir.



Şekil 2.2. Küp şeklinde bir katı cisme üç boyutta uygulanan kuvvetler birbirine eşit değilse cismin açılarında değişimin gözlenmesi [56]

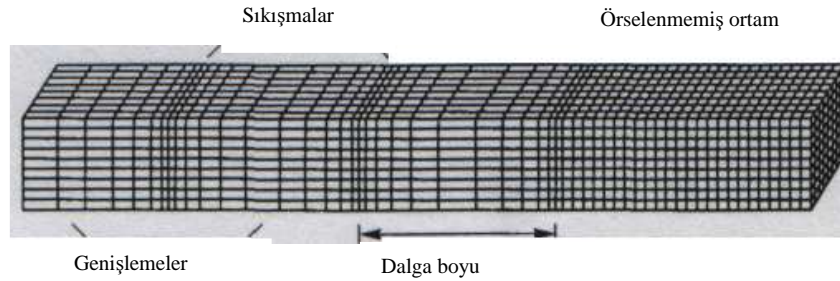
## 2.1. Sismik Dalga Şekilleri

Stress ve strain analizinden görülmektedir ki strain; enine (translational) ve rotasyona! olmak üzere iki şekilde deformasyon sonucunda meydana gelir. Dalga hareketi denklemi çözüldüğünde her iki deformasyonun de kendi hızlarına bağlı olarak kaynaktan dışarı doğru olduğu görülmektedir. Birinci tip (translational strain) boyuna dalga olarak ve ikinci tip (shear strain) ise enine dalga veya shear dalgası olarak adlandırılırlar.

Her iki tip dalga da cisim (body) dalgaları grubunda olup sınırsız homojen ortamlarda yayınırlar. Eğer ortam çökel kayalardan oluşmuş ve/veya serbest bir yüzeye sahipse, diğer bir grup dalgalar olan yüzey dalgaları (surface waves) meydana gelir. Bunlar "Rayleigh" ve "Love" dalgalarıdır.

### 2.1.1. Boyuna dalgalar (P)

Bu tip dalgalar, sıkışma veya ilk dalgalar olarak bilinirler ve sadece "P" dalgası şeklinde ifade edilirler. Bu dalgaların yayınımı sırasında kübik genişleme veya hacim değişikliği (deformasyon) olur. Boyuna dalgalarda sıkışma ve genişlemeyi temsil eden titreşim doğrultusu dalga yayınım doğrultusuyla aynıdır. Şekil 2.3 'te P dalgasının yayınım şekli görülmektedir.



Şekil 2.3. P Dalgası yayınımı [55]

Dalga yayınında hacim değişimiyle birlikte şekil değişimi de olur. Fakat bu şekil değişimi sırasında açılar değişmez, yani küp şeklindeki bir eleman dikdörtgen prizmaya dönüşür.

P dalgaları verilen bir ortamdaki en hızlı dalgalar olduğundan deprem kayıtlarında en önce kaydedilirler. P dalgasının hızı,

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda - 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma) \cdot (1-2\sigma)}} \quad (2.1)$$

bağıntısı ile verilir.

Burada,

$\sigma$  = Poisson oranı (enine daralmanın boyuna uzamaya oranı)

$\mu$  = Sıkışmazlık (rigidity) modülü (şekil değişmesine karşı gelen kaymadır)

$\rho$  = Yoğunluk

$E$  = Young modülü, elastisite modülü (cisim gerilmeye veya sıkışmaya tabi tutulduğunda oluşan stresin straine oranı)

### 2.1.2. Enine dalgalar (S)

Enine dalgaların yayını sırasında elemanlarda şekil bozulmaları, yani açılarda değişim gözlenir. Bunun nedeni dalga yayınında parçacıkların titreşim doğrultusunun, dalga yayını doğrultusuna dik olmasıdır. Bu tür dalgalar genellikle "S" dalgaları olarak adlandırılırlar.

S dalgalarının yayınında enine olan parçacık salınımı yatay düzlem üzerinde ise dalga SH adını alır. Eğer parçacık hareketleri düşey düzlem üzerinde kalıyorsa SV dalgası olarak adlandırılır.

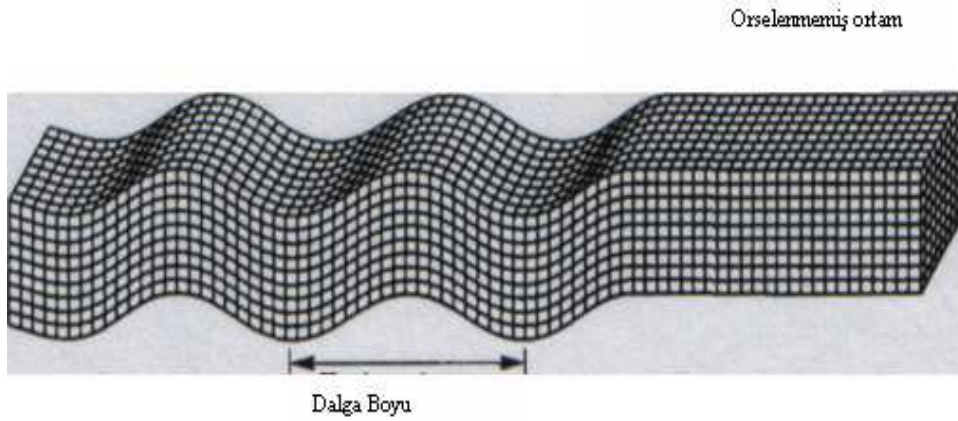
S dalgasının hızı  $V_s$ , aşağıdaki bağıntı ile verilebilir;

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (2.2)$$

P ve S dalgalarının birbirine oranı ise,

$$\frac{V_s}{V_p} = \sqrt{\frac{2(1-\sigma)}{1-2\sigma}} \quad (2.3)$$

bağıntısı ile gösterilebilir.



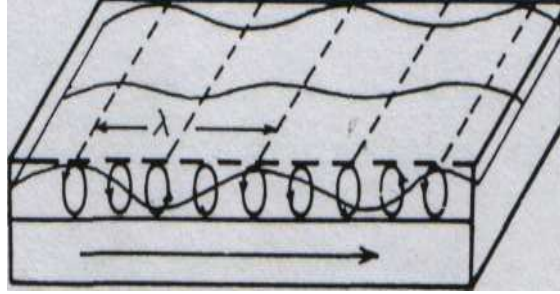
Şekil 2.4. S Dalgası yayını [55]

Poisson oranının (  $\sigma$  ) 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 kez daha hızlı olduğunu ifade etmektedir. Sıvılarda rigidite modülü  $\mu = 0$  olduğundan S dalgası yayını gerçekleşemez.

### 2.1.3. Rayleigh dalgaları (R)

Bu çeşit dalgalar yarı sonsuz ortamlarda meydana gelir ve yüzey dalgası olarak adlandırılırlar. R dalgaları eliptik bir yörünge boyunca olan parçacık hareketlerinden oluşur. Dalganın yayını doğrusu soldan sağa olduğunda parçacık hareketi saat

yönünün tersinedir. Yörünge uzun eksenini düşey olan bir elips olduğundan, bu tür dalgalar P ve S dalgalarının bileşkesi gibi düşünülebilir.

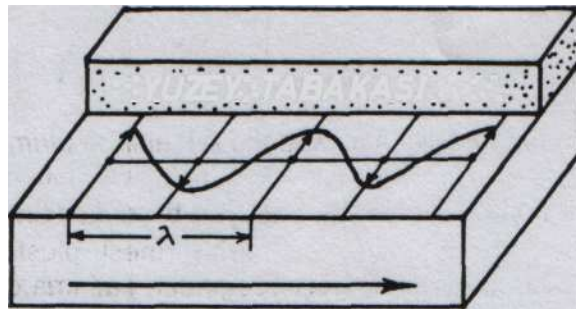


Şekil 2.5. Rayleigh dalgalarının yayılımı sırasında parçacık hareketleri [53]

Rayleigh dalgalarının hızı, aynı ortamda yayılan S dalgaları açısından yaklaşık olarak  $V_R = 0,92 V_S$  bağıntısı ile verilebilir. Yansımaya kayıtlarında görülen "Ground Roll" adı verilen gürültüler genellikle Rayleigh dalgalarıdır.

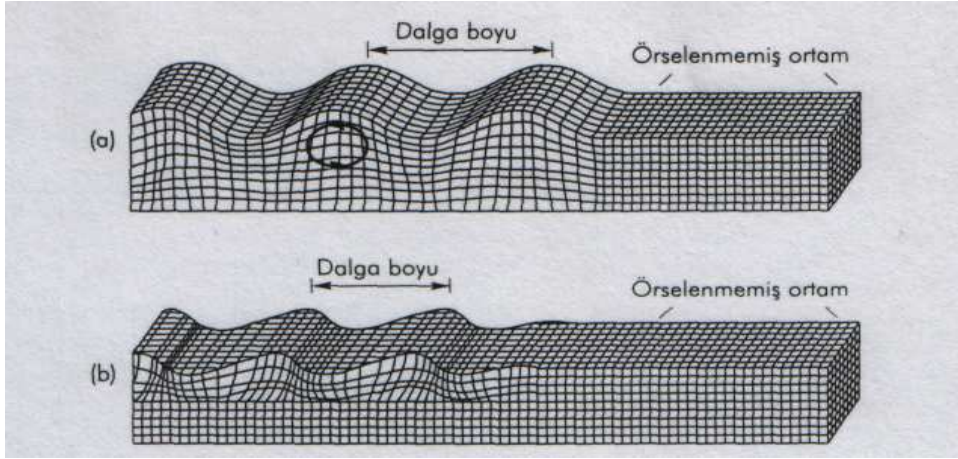
#### 2.1.4. Love dalgaları (L)

Diğer bir çeşit yüzey dalgası olan bu dalgalar yarı sonsuz ortamlardaki düşük hızlı yüzey tabakaları içerisinde meydana gelirler. Salınım düzlemleri yatay olduğu halde, yayılım doğrultusuna dik salınan parçacık hareketlerinden oluşurlar (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6. Love dalgası yayılımında parçacık hareketleri [53]

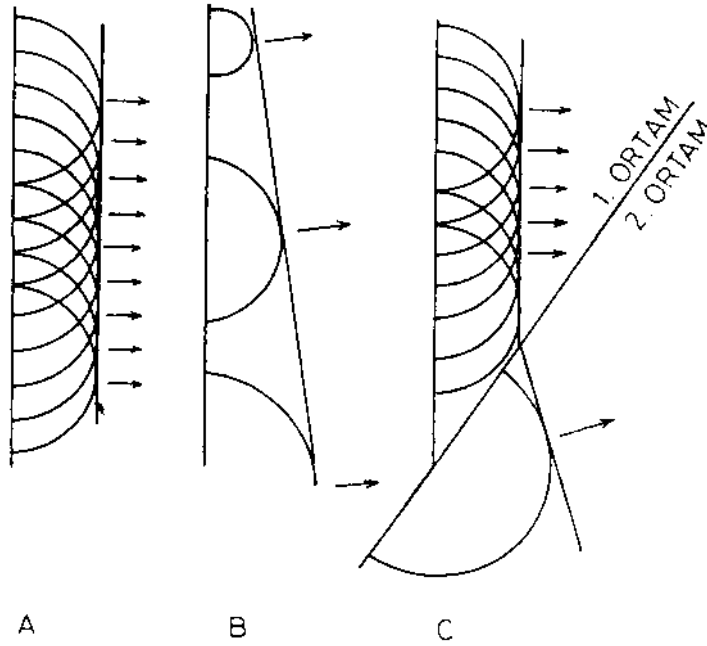
Love dalgaları saçılım (dispersiyon) gösterirler. Rayleigh dalgalarıyla birlikte love dalga halan, kısa boylu dalga uzunlukları için yüzey tabakalarında oluşan S dalga hızlarına yaklaşırlar. Aynı şekilde uzun dalga boyları içinse yer altında yayman S dalgası hızına yaklaşırlar. Derinlikle salınım genlikleri (amplitude) hızla azalır. Love dalgaları düşey bileşenli alıcılar tarafından kaydedilemezler.



Şekil 2.7. Love ve Rayleigh dalga yayılımı [55]

## 2.2. Dalga Yayılımı Geometrisi

Herhangi bir enerji kaynağından çıkan dalgalar, suya atılan bir taşın meydana getirdiği dalgalar gibi giderek genişleyen çemberler şeklinde yayılır. Yer içerisinde üç boyutlu ortamda bu dalgalar küresel olarak yayınırlar ki küreyi oluşturan yüzeylere "dalga cephesi" adı verilir. Bu dalga cephelerini oluşturan her nokta yeni bir enerji kaynağı gibi davranır (Huygens prensibi). Bu kurala göre, belirli bir zaman için herhangi bir dalga cephesi geometrisinin bilinmesi durumunda daha sonra oluşacak dalga cephesi geometrileri belirlenebilir. Bu işlem, dalga cephesinin her noktasının bir enerji kaynağı olduğu öngörülerek bu noktalardan yayılan küresel dalgaların zarflarının çizilmesi şeklinde yapılır (Şekil 2.8).

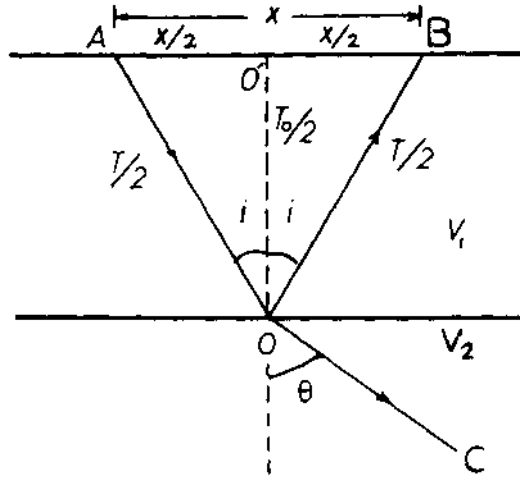


Şekil 2.8. Huygens prensibine göre düzlem dalga yayını; A) Homojen ortam B) Hızın düşey yönde doğrusal (lineer) artması C) Ortam değişikliği nedeniyle hızın ani olarak değişimi [54]

Dalga cephesinin  $t$  zamanında olduğu öngörülürse,  $\Delta t + t$  zamanı için oluşacak dalga cephesi, ortamın yayılım hızı kullanılarak  $S$  yarıçaplı çemberlerin zarfının çizilmesi ile elde edilir. Huygens prensibine göre genişleyen dalga cephesi oluşurken, dalga iki nokta arasında en kısa zamanda gidebileceği yolu izler, ki bu kural "Fermat prensibi" olarak bilinir. Huygens ve Fermat prensiplerinin farklı hızlara sahip ortamlara uygulanması sismik verilerin temelini oluşturur. Şekil 2.9 'da görüldüğü gibi  $V_1$  ve  $V_2$  hızlarından oluşan bir ortamda A ve B noktaları arasındaki ışınal dalga yayını, geliş açısı ile yansıma açılarının eşitliğini gerektirmektedir, iki farklı ortamda bulunan A ve C noktaları arasındaki dalga yayını için "Snell yasası" olarak bilinen,

$$\frac{\sin i}{V_1} = \frac{\sin \theta}{V_2} \quad (2.4)$$

bağıntısı yazılabilir.



Şekil 2.9. Snell yasasında kullanılan bağıntıya bağlı ışın geometrisi [54]



### **BÖLÜM 3. DİNAMİK ZEMİN ÖZELLİKLERİNİN ÖLÇÜLMESİ**

Geoteknik deprem mühendisliği problemlerinin çözümünde dinamik zemin özelliklerinin ölçülmesi son derece önemli bir işlemdir. Bu konuda çok değişik arazi ve laboratuvar yöntemleri mevcut olup bunların her birini değişik problemler açısından farklı üstünlükleri ve sınırlamaları vardır. Bunların çoğu düşük deformasyon seviyelerindeki özellikleri ölçmek için tasarlanmıştır ve diğer bir kısmı da daha büyük deformasyon düzeylerindeki özellikleri ölçmede kullanılmaktadır. Dinamik zemin özelliklerinin ölçümü için seçilen deney teknikleri, üzerinde çalışılan özel problemin dikkatli bir şekilde ele alınmasını ve anlaşılmasını gerektirir.

Dalga yayılmasını etkileyen zemin özellikleri ve diğer düşük deformasyon kavramları rijitlik, sönümleme, poisson oranı ve yoğunluğu kapsar. Bunlar arasında rijitlik ve sönümleme en önemlileridir. Diğerlerinin etkisi daha az olup , değer olarak genellikle dar bir aralığa düşme eğilimindedirler. Tekrarlı olarak yüklenen zeminlerin rijitlik ve sönümleme özellikleri çoğu geoteknik deprem mühendisliği problemi açısından son derece önemlidir. Zeminde doğrusal olmayan malzemeler olduğundan, bu durum sadece düşük deformasyon seviyelerinde geçerli olmayıp orta ve yüksek düzey deformasyonlarında da geçerlidir. Yüksek deformasyon seviyelerinde devirsel yük sayısı ve hızının kayma dayanımı üzerindeki etkisi de önemli olabilir. Yüksek deformasyon seviyelerinde ayrıca hacim değişim özellikleri de önemlidir.

Bu önemli zemin özellikleri, laboratuvar ve arazi ölçümü ile belirlenir. Bu deneylerin çoğu özellikle dinamik özellikleri ölçmek için geliştirilmiştir. Diğerleri ise, zemin davranışını tekdüze yükleme şartlarında ölçen geleneksel deneylerin değişkenmiş şekilleridir.

Dinamik zemin özellikleri konusunda herhangi bir inceleme yapılırken, ölçümü yapılan özelliklerle de bazı kaçınılmaz belirsizliklerin bulunacağı hatırdan çıkarılmamalıdır. Belirsizliğin kaynakları zeminlerin kendine özgü özellikleri (çökeldikleri jeolojik ortamın bir sonucu), doğal anizotrop (zemin yapısının ya daha dokunun bir fonksiyonu), sonradan gelişen anizotropi, sondaj ve numune alımı sırasındaki örselenme arazi veya laboratuvar deney ekipmanları ile ilgili kısıtlamalar, deney hataları ve yorumları hatalarıdır. Bu belirsizlik kaynaklarından bazıları deney ayrıntılarını özel bir dikkat sarfetmekle askeriye indirilebilsede, bazılarında mümkün olmamaktadır.

Dinamik özelliklerin ölçülmesi iki yolla yapılmaktadır.

### **3.1. Arazi Deneyleri**

Arazi deneyleri zemin özelliklerinin yerinde (yani; gerilme, kimyasal, termal ve yapısal özelliklerin karmaşık etkilerinin ölçülen özelliklere yansıtıldığı yerdeki mevcut hallerinde) ölçülmesine izin verir. Dinamik zemin özelliklerini arazide ölçmenin çok sayıda faydası vardır. Arazi deneylerinde numune alınmasına gerek yoktur. Dolayısıyla, numune alımı sırasında karşılaşılan ve numunenin gerilme, kimyasal, termal ve yapısını değiştiren şartlar ortadan kalmış olur. Arazi deneylerinin çoğu büyük hacimli zemin kütleleri üzerinde yapılır ve böylelikle, ölçülen özelliğin küçük ve temsilci olmayan numune üzerinde yapılmasından ileri gelen hatalar minimuma indirilmiş olur.

Bazı arazi deneyleri zemin üzerinde yapılabilirken bazıları da kuyu açılmasını veya ölçüm cihazının zemin içine sürülmesini gerektirir. Yüzeydeki deneyler genellikle düşük maliyetlidir ve kısa bir zaman aralığında yapılır. Kuyu deneylerinde bilginin kuyudan doğru elde edilmesi şeklinde bir avantaj söz konusudur.

### 3.1.1. Düşük deformasyon deneyleri

Düşük deformasyon deneyleri genellikle zeminlerde önemli düzeyde bir doğrusal olmayan gerilme-birim deformasyona neden olmayacak şekilde küçük birim deformasyon düzeylerinde yapılır. Kayma birim deformasyonları tipik olarak yaklaşık  $0.001$  ' in altındadır. Bunların çoğu, doğrusal malzemelerdeki dalga yayılma teorisine dayalıdır. Bunların çoğunda, düşük birim deformasyon zemin modülleri ile kolaylıkla ilişkilendirilebilen cisim dalgası hızının ölçümü söz konusudur. Bir kısmında ise, frekans ve dalga boyları düşük birim deformasyon modüllerini hesaplamada kullanılan düzenli dalga geliştirilmesi söz konusudur.

Sismik jeofizik deneyleri dinamik zemin özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir yeri olan arazi deneylerini oluşturur. Sismik deneylerde geçici ve sabit durum gerilme dalgalarının oluşturulması ve bir veya daha fazla noktada yapılan ölçümlerden bunların davranışlarının yorumlanması söz konusudur. Sismik deneylerin çoğunda, kaynaktan bir dalgalar 'palsı' oluşturulur ve bunun daha uzaktaki jeofonlara varış zamanları kaydedilir. Enerjisi, balyoz ile zemin yüzeyine çarpmadan, gömülmüş patlayıcılara kadar değişen bir aralığa sahip olan kaynaktan genellikle P, S ve yüzey dalgaları oluşturur. Bunların her birinin göreceli genliği, palsın oluşturulma şekline bağlıdır. Patlayıcı kullanılan ve ya düşey yönde çarpma yapılan kaynaklarda egemen tür P dalgalarıdır. SH dalgaları en etkin şekilde genellikle zemine sıkıca oturtulmuş bir kirişin ucuna yatay çarpma yapılarak elde edilir.

Yayıma hızı en büyük olan P dalgaları olduğundan, jeofonlarda bunların algılanması çok kolaydır ve geliş zamanları da kolaylıkla ölçülmektedir. S dalgası çözünürlüğü çarpmanın kutbunu değiştirmekte önemli miktar da artırılabilir. P dalga dizisi kutbunun terslenmesi söz konusu olmadığından, başlangıçtaki kayıtan terslenmiş kaydın çıkarılmasıyla P dalga genlikleri azaltılmış fakat S dalgalarının arttırılmış olacaktır. Dalga gelişlerini, çoklu çarpmalarla elde edilen kayıtları ekleme veya üst üste yığma yapmak suretiyle zenginleştirmek mümkündür. Kayıtların gerçek dalgalar kısmı kuvvetlendirirken, rastgele gürültü kısımları birbirini iptal etme eğilimindedir.

Sismik jeofizik deney ölçümlerinden doğru bir yorumlama yapabilmek için yer altı suyu şartlarının dikkatli bir şekilde göz önüne alınması gerekir. P dalgaları yer altı

suyunda sıcaklık ve tuzluluğa bağlı olarak yaklaşık 5000 ft/s hızla yayılırlar. Zemin iskeletinin rijitliği hız için bir belirteç olmadığı halde, yumuşak ve doygun zeminler P dalgalarını bu yüksek hızda yayabilmektedir. Yer altı suyu etkilerini dikkate almayan yorumlarda zemin rijitliği olduğundan daha büyük çıkacaktır. Yer altı suyu problemleri S dalgaları kullanılmak suretiyle önemli ölçüde giderilebilir; S dalgaları yer altı suyuyla değil de zemin iskeleti vasıtasıyla yayılır.

### **3.1.1.1. Sismik yansıma**

Sismik yansıma deneyleri zemin katmanlarının dalga iletme hızı ve kalınlıklarının yeryüzünden veya kıyı ötesi ortamlarda ölçülmesine izin verir. Deneyin yapılışı ve yorumlanması kavramsal olarak çok kolaydır. Yansıma deneyinin en kullanışlı olduğu uygulamalar büyük ölçekli araştırmalar ve/veya çok derin stratigrafik çalışmalardır. Sığ zemin katmanlarının stratigrafisinin belirlenmesinde çok ender olarak kullanılır.

### **3.1.1.2.Sismik kırılma**

Sismik kırılma deneyinde, belirli bir jeofona gelen dalganın geliş yolunun hiçbir önemi olmaksızın, ilk geliş zamanları kullanılmak suretiyle sismik yansıma deneyinde en önemli kısıtlama ortadan kalkmış olur. Deneyde, kaynaktan bir pals ile oluşturulan P ve/veya S dalgalarının, kaynaktan farklı mesafelerde bulunan ve zemin yüzeyinde bir hat üzerine yerleştirilmiş olan jeofonlara geliş zamanları ölçülür. Sismik yansıma deneyinde daha çok kullanılan sismik kırılma deneyi ile ayrıca deprem mühendisliği uygulamalarında çok büyük önemi olan ana stratigrafik birimlerin sınırları ortaya konmaktadır.

### **3.1.1.3. Askıda loglama**

Petrol aramalarında yaygın olarak kullanılan askıda loglama tekniği son zamanlarda geoteknik deprem mühendisliği problemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır. 5-6 m uzunluğunda bir prop su veya çamur dolu çıplak bir kuyuya sarkıtılmaktadır. Probun tabanına yakın bir yerdeki terslenebilir kutuplu yatay bir bobin, sondaj sıvısı içinde

keskin ve ani bir basınç dalgası oluşturur. Kuyu cidarına ulaşan basınç dalgası zemin içinde P ve S dalgaları üretir. Zemin içinde yayılan bu dalgalar tekrar kuyu içine dönerek, probun tepesinde ve aralarında 1 m mesafe olan çift eksenli iki jeofon tarafından algılanır. P ve S dalgalarının teşhis edilmeleri kolaylaştırmak için, yapılan işlem ters kutuplu bir pals ile birlikte tekrarlanır. Jeofon arasındaki zeminin P ve S hızları bunların jeofonlara geliş zamanı farklarından hesaplanır. Askıda loglama deneyi ile tek ve çıplak bir kuyuda dalga yayılma hızlarını ölçmek mümkündür, fakat bu sistemde üretilen dalgaların frekansları (S dalgalarında 500 ile 2000 Hz ve P dalgalarında 1000 ile 3000 Hz arası) geoteknik deprem mühendisliğindeki frekanslardan çok yüksektir.

#### **3.1.1.4. Yüzeysel dalgalarının spektral analizi**

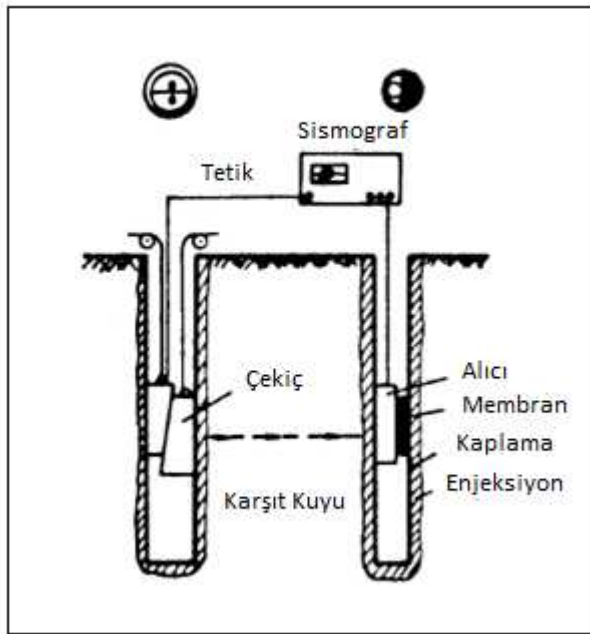
Belirli bir sahada dispersiyon eğrisinin şekli, cisim dalga hızlarının derinlikle değişimi ile ilgilidir. Sabit titreşim durum titreşim deneyi, yüklemeyi değişik frekanslarda tekrarlamak suretiyle dispersiyon eğrisi elde etmede kullanılabilir. Ancak, arazide yapılan bu işlem çok uzun zaman almaktadır. Dispersiyon eğrisi, dijital veri toplama ve sinyal işleme ekipmanının da kullanımıyla, ani bir çarpmada veya rastgele gürültü yükünden elde edilebilir. Dispersiyon eğrilerinin ölçüm ve yorumlanmasının yüzeysel dalgalarının spektral analizi olarak bilinen bu elde edilme şekli, sığ sismik incelemelerde son zamanlarda yapılan en önemli yeniliklerden biridir [22, 23, 24].

#### **3.1.1.5. Kuyudan kuyuya sismik deney**

Kuyudan-kuyuya sismik deneylerinden yatay yöndeki dalga yayılma hızlarını ölçmek için iki veya daha fazla sondaj kuyusu gereklidir. En basit kuyudan-kuyuya deney düzeneğinde biri enerji kaynağı diğeri de alıcıyı ihtiva eden iki sondaj kuyusu vardır. Kuyulardaki kaynağı ve alıcıyı aynı derinlikte yerleştirmek suretiyle, iki kuyu arasındaki malzemenin o derinlikteki dalga yayılma hızı ölçülür.

Değişik derinliklerde deney yapmak suretiyle bir hız profili elde edilebilir. Tetikleme zamanı ölçümü, muhafaza borusu ve arka dolgusunda (muhafaza borusu ile kuyu

cidarı arasına yerleştirilen malzemeden) kaynaklanan olası hataları azaltmak için, mümkün olan durumlarda ikiden fazla kuyu açılabilir. Dalga yayılma hızları böyle durumlarda birbirine komşu iki kuyu arasındaki geliş zamanı farklarından hesaplanabilir. Varış zamanı, kayıtlardaki yaygın faz noktalarının (örnek; ilk geliş, ilk pik vb.) gözle tespit edilmesiyle veya petrol aramalarında yaygınca kullanılan çapraz korelasyon teknikleriyle belirlenebilir.

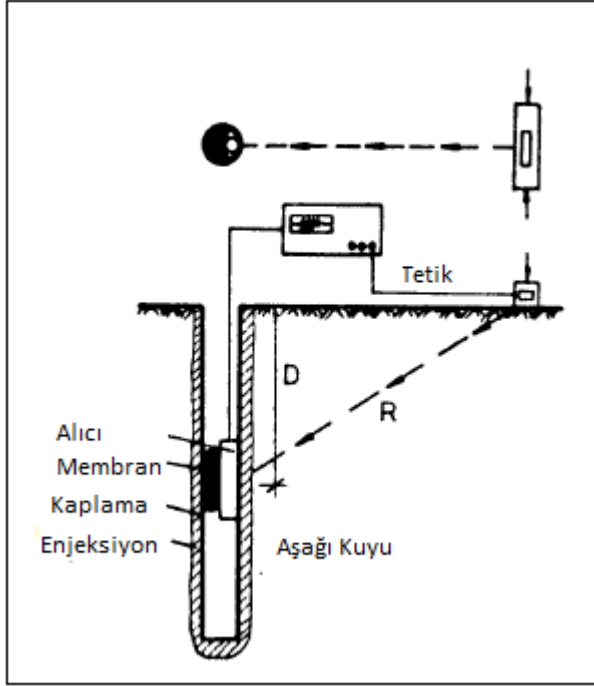


Şekil 3.1. Kuyudan kuyuya sismik deney [58]

### 3.1.1.6.Sismik kuyu aşağı ( kuyu yukarı ) deneyi

Sismik kuyu aşağı (veya kuyu yukarı) deneyleri sadece bir kuyuda yapılabilmektedir. Kuyu aşağı deneyinde dinamik enerji kaynağı yüzeyde ve kuyunun hemen yakınındadır. Değişik derinliklere kaydırılabilen bir alıcı veya çoklu alıcılardan oluşan bir kablo sistemi kuyu cidarına sabitlenir ve bir alıcıda enerji kaynağının hemen yanında bulunur. Tüm alıcılar, çıktılarının zamanın fonksiyonu olarak ölçülebilmesi için, yüksek hızlı bir kaydediciye bağlıdır. Kuyu yukarı deneyinde kuyu içinde hareketli bir enerji kaynağı bulunur ve yüzeyde de kuyu ağzına yakın bir yerde bir alıcı yerleştirilir.

Diğer arazi deneyleri olarak Yatay Katmanlanma, Eğimli ve Düzensiz Katmanlanma ve Sismik Koni Deneyi ve Sabit Durum Titreşim (Rayleigh Dalgası) Deneyini sayabiliriz.



Şekil 3.2. Sismik kuyu aşağı [58]

### 3.1.2.Yüksek deformasyon deneyleri

Son 25 yılda yeni cihaz ve yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulamaya sokulmasıyla birlikte, zeminlerde yapılan yerinde deneylerde adeta bir patlama olmuştur. Bu deneylerin çoğu zemin dayanımı gibi yüksek deformasyon karakteristiklerini ölçmeye yönelik olarak kullanılmışsa da, elde edilen sonuçlar zeminlerin düşük deformasyon özellikleri ile de deneştirilmiştir. Bu deneylerden geoteknik deprem mühendisliği problemlerini ilgilendirenler: standart penetrasyon deneyi, konik penetrasyon deneyi, scpt deneyidir.

### 3.1.2.1. Standart penetrasyon

Bazı arazi deneyleri 40- 50 yıldan beri kullanıla gelmektedir. Bazıları ise teknolojik gelişmeler ile birlikte ortaya çıkmıştır. SPT, geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir [31].

SPT, ASTM(D 1686) da tanımlandığı şekilde, sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilen ve içinde pirinçten yapılmış bir iç tüpün bulunduğu bir örnekleyicinin, 63,5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır. Kullanılan şahmerdan türleri çeşitli ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, ülkemizde yaygın olarak Donut tipi şahmerdan kullanılmaktadır [32].

Uygulamada öncelikle sondaj kuyusu deneyin yapılacağı derinliğe kadar temizlenerek, deney derinliğinde örselenmiş sedimandan mümkün olduğunca arındırılır. Tijlerin ucuna yerleştirilen örnekleyici kuyu tabanına kadar indirilir. Şahmerdanın tijlerin üzerine düşürülmesi ilkesiyle 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) olarak adlandırılır.

Örnekleyici son iki aşamada 30 cm ' lik bir penetrasyona ulaşmadan önce elde edilen darbe sayısı 50 ise daha fazla darbe uygulanmaz ve SPT değeri ' refü ' olarak adlandırılır. SPT, temiz ince-orta kumlar, çok ince çakıllı kumlar ve az siltli kumların ve silt-killerin mühendislik özelliklerinin tahmini için yararlı olan bir deney türü olup; bu zeminlerde daha uygun sonuçlar vermektedir. Ancak zemin içerisindeki iri dane oranı artıkça, örnekleyici ağzına kaba danelerin rastlaması gerçek sıklıktan daha fazla sıklığa ulaşılmasına sebep olabilir. Bu nedenle bu tür zeminlerde SPT sonuçları çok fazla güvenilir olmamaktadır.

SPT deneyinin örselenmemiş bir zemin üzerine uygulanması esastır. Deneyden önce sondaj kuyusu dikkatlice temizlenmelidir. Sondaj suyu seviyesi daima yer altı suyu seviyesinde ya da daha yüksek tutulmalıdır. Delgi aleti ve tijler kuyu içerisindeki zeminin gevşemesini önlemek için yavaş bir şekilde çekilmelidir. Zeminin kendini



tutamadığı durumlarda kuyu içerisinde muhafaza borusu ya da sondaj çamuru kullanılmalıdır. Muhafaza borusu kullanıldığı durumlarda, muhafaza borusu deneyin yapılacağı seviyenin daha altına çakılmamalıdır.

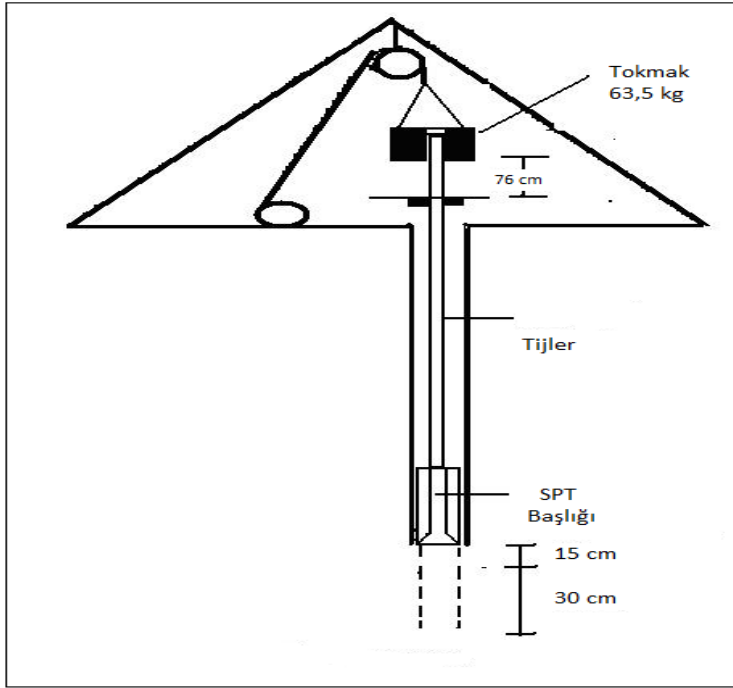
Deneyin tamamlanmasının ardından örnekleyici yüzeye çekilir ve açılır. Zemine ait numuneler hava geçirimsiz kaplar içerisinde muhafaza edilmelidir. Bu kaplar üzerine çalışma alanı, sondaj kuyu numarası, penetrasyon derinliği, darbe sayısı, numune alma tarihi gibi bilgiler kaydedilmelidir. Alınan numuneler, zemin parametrelerinin belirlenmesi noktasından bakıldığında örselenmiş kabul edilir.

SPT deneyinin asıl amacının kumlar ve çakıllar için göreceli sıklığın elde edilmesi olmasına karşı; silt, kil ve ayrılmış kayaçların mukavemetinin tahmin edilmesinde de kullanılmaktadır. Basit ve ucuz bir teknik olması sebebiyle yaygın olarak kullanılan deney; özellikle sondaj çalışmalarından yeterli kalitede örnek almanın mümkün olmadığı koşullarda zemin parametrelerinin yaklaşık elde edilmesinde yararlı olmaktadır.

SPT deneylerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle deneyi yapan kişi ya da kişilerin deneyin nasıl yapıldığını tamamen bilmesi gerekmektedir. Ülkemizde zemin etüdlerinde gerçekleştirilen SPT deneylerinin doğruluğu açısından en büyük sorun deneyin doğru olarak bilinmemesinden kaynaklanır.

SPT-N değerlerini birçok faktör etkilemektedir. Arazide ölçülen SPT- N değeri, bu etki faktörleri sonucunda çok aşırı yüksek ya da çok aşırı düşük elde edilebilmektedir. Aşırı yüksek elde edilen SPT-N değerleri, zemin parametreleri ve taşıma gücü açısından güvenli olmayan tahminlere sebep olur. Aşırı düşük elde edilen SPT- N değerleri ise aşırı güvenli sonuçlara sebep olmaktadır.

SPT- N değerlerini etkileyen faktörler; yanlış sondaj tekniği, standart olmayan ya da hatalı aletlerin kullanılması, standartlara uygun davranılmaması, deneyi gerçekleştiren kişilerin yetersizliği gibi ana unsurlardan oluşmaktadır.



Şekil 3.3. SPT Gösterimi [59]

### 3.1.2.2. Konik penetrasyon

Koni penetrasyon deneyi geoteknikte zemin özelliklerini yerinde belirlemek için sıklıkla kullanılan bir arazi deneyidir. Bu yöntem 1920 'li yıllarda Hollanda'da kullanılmaya başlamıştır. Türkiye'de 1980 'li yıllardan beri zemin etütlerinde CPT kullanılmaya başlanmış olup günümüzde söz konusu metod alüvyonel, özellikle yumuşak zemin koşullarının hâkim olduğu bölgelerde oldukça yaygın bir kullanım alanına yayılmıştır. Sismik aktivitenin yüksek olduğu Türkiye' de çok yönlü kullanılabilir. CPT deneyi uygun zemin koşullarında gerek sürati, gerekse de derinlikle sürekli veri sağlanması açısından zemin etütlerinde ve temel mühendisliği değerlendirmelerinde tercih edilen yöntem haline gelmiştir.

Bu deney ucu sivri bir sondajın zemine yavaşça sokulması sırasında beliren uç direnci ve çevre sürtünmesinin mekanik, elektronik veya sonik yoldan ölçümüyle zeminin mekanik özelliklerini yansıtan katsayıların bulunması işlemidir. Ayrıca sondaja farklı yerde takılan piyezometreler yardımıyla boşluk suyu basınçları da ölçülebilmektedir.

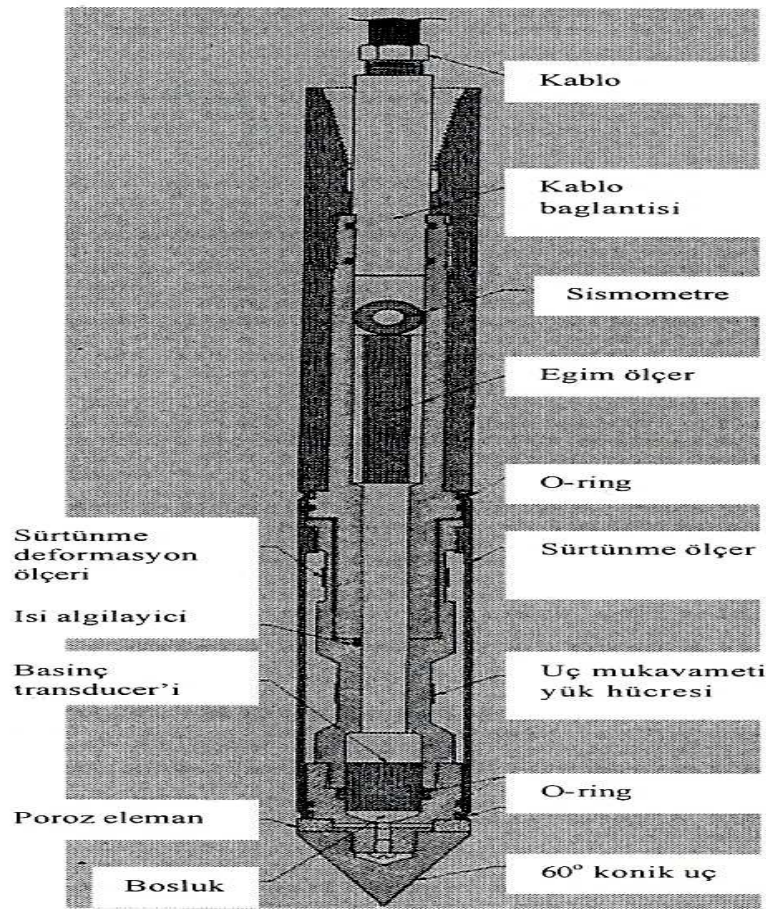
Koni penetrasyon aleti paletli bir araca ya da özel kamyonuna bindirilmiş olarak taşınmaktadır. Deneyin yapılacağı alana getirilen araç vidalı ankrajlar vasıtasıyla zemine sabitlendikten sonra sondaj zemine itilmeye başlanır. Kesit alanı  $10 \text{ cm}^2$ , konik uç açısı  $60^\circ$  olan silindir şeklinde sondaj zemine  $20 \text{ mm/sn}$  hızla itilmektedir. Sondaja bağlanan tijlerin boyu  $1 \text{ m}$  olup inilecek derinlik zeminin gösterdiği dirence ve makinenin kapasitesine göre değişir. Sondaja bağlanan borular hidrolik itme sistemi ile zemine sokulmaya başlanır. İtme sisteminin bir çubuk boyundan fazla bir mesafe ile değişmez bir hızda itme özelliği olması, bu sırada penetrometre ucundaki gerekli itme kuvvetinin değişiminden etkilenmemesi gerekir. Derin sondajlarda gerekli itme kuvveti  $10 \text{ kN}$ -  $200 \text{ kN}$  dolayında değişir. Genellikle alet kapasitesi  $50 \text{ kN}$  küçük olmamalıdır. Bu işlem sırasında koni ucunda oluşan direnç ( $qc$ ) silindirik yüzeyde oluşan sürtünme kuvveti ( $fs$ ) ve penetrasyon sırasında meydana gelen boşluk suyu basınçları ( $uw$ ) bulunur. Ayrıca istenen derinlikte penetrasyonu durdurarak boşluk suyu basınçlarının ölçümü, bunu izleyerek de zeminin geçirimsizlik ve sıkışabilirlik özellikleri hakkında bilgi edinebilme ve arazi boşluk suyu basınçları bulunabilmektedir.

### 3.1.2.3.Sismik koni penetrasyon (SCPT)

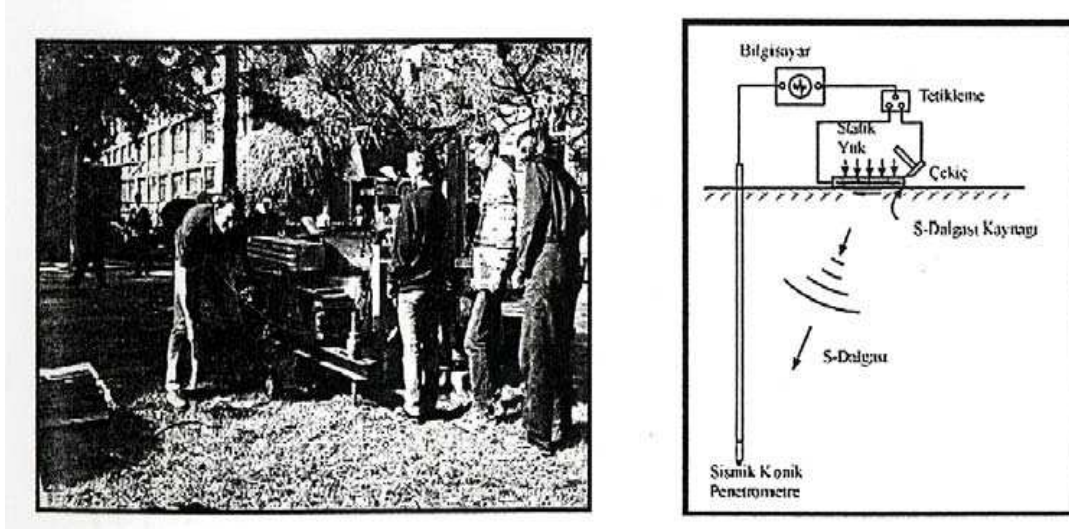
Standart bir CPT konik ucuna sismik algılayıcının eklenmesi ile elde edilen SCPT probu yardımıyla yapılır. Penetrometre konik ucun hemen arkasında birbirine  $1 \text{ m}$  ara mesafe ile yerleştirilmiş olan, yatayda iki ve düşeyde bir yönde üçlü jeofon sistemindeki iki sismometre aracılığıyla  $V_s$  hızı istenilen derinliklerde hesaplanabilmektedir. Sismik penetrometre tipik kesiti Şekil 3.4 'de verilmiştir.

Temel zemininin geodinamik değişkenlerinin belirlenmesi amacıyla SCPT ölçümü düşeyde  $1.0 \text{ m}$  ara mesafeyle gerçekleştirilebilir. Sismik ölçümün yapılacağı derinlikte konik uç penetrasyonu durdurulmakta ve yüzeye yerleştirilen bir kirişe bir balyoz aracılığıyla verilen darbe ile kayma dalgası oluşturulmakta ve deneyin yapıldığı derinlikte penetrometre sisteminde yer alan algılayıcılar aracılığı ile kayma dalgasının jeofonlara ulaşma zamanı kayıt edilmektedir. Jeofonların bağlı olduğu sistemin zemin içerisinde hidrolik baskı yolu ile itilmesi, sismometrelerin zemin ile tam bir mekanik temasını sağlamaktadır. Bu durum elde edilen sinyalin oldukça net

olmasını sağlamakla birlikte çevre gürültüsünden dolayı meydana gelen sismik sinyallerdeki gürültüyü önlemektedir. Buna ilaveten jeofonların konumu ve derinliği hassas bir şekilde kontrol edilebilmektedir. Kiriş-balyoz kaynağından jeofonlara sismik dalganın ulaşma zamanı 1.0 m'lik aralıklarla kayıt edildiğinde, birbiri ile 1.0 m ara mesafede yerleştirilmiş jeofon kayıtları arasındaki zaman farkından kayma dalgasının 1.0 m'lik mesafelerdeki yol alma süreleri hesaplanabilmektedir. Bu şekilde kayma dalgası hızının zemin profili içerisindeki derinlikle değişimi ölçülebilmektedir. SCPT ile sismik sinyalin oluşturulması Şekil 3.5 'de verilmiştir.

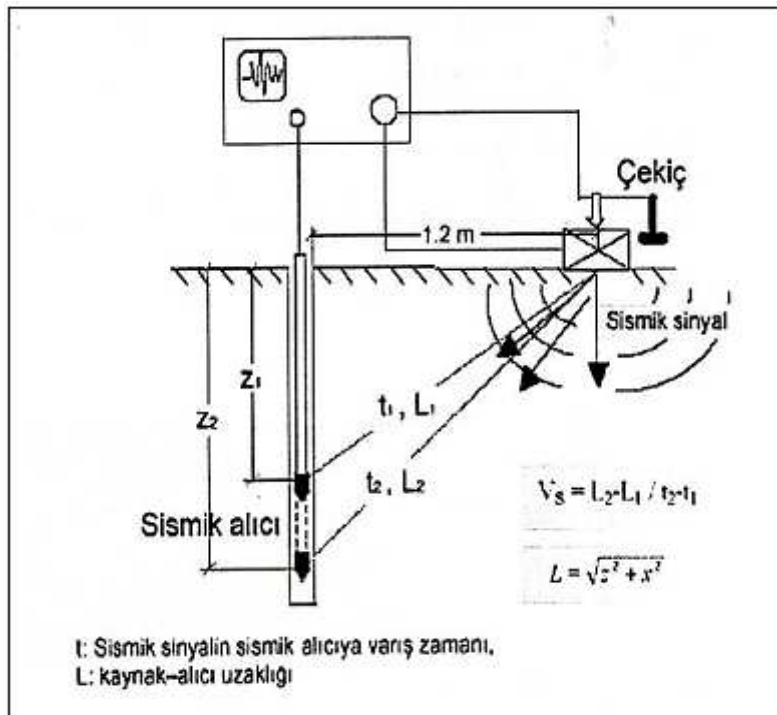


Şekil 3.4. Tipik sismik penetrometre kesiti [25]



Şekil 3.5. SCPT ekipmanı ile sismik sinyalin oluşturulması [6]

SCPT ile  $V_s$  hızının hesaplanmasını gösterir şematik gösterim Şekil 3.6 'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kayma dalga hızının hesabı [6]

SCPT ile üretilen kayma dalga hızı:

$$V_s = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1) \quad V_s \text{ (m/sn)}, L \text{ (m)}, t \text{ (sn)} \quad (3.1)$$

$$L_i = (z_i^2 + x_i^2)^{1/2} \quad L \text{ (m)}, z \text{ (m)}, x \text{ (m)} \quad (3.2)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu bağıntıda L: Kaynak-alıcı uzaklığı, t: Sismik sinyalin sismik alıcıya varış zamanı, z: Sismik alıcının bulunduğu derinlik, x: Atış mesafesidir.

### 3.2. Laboratuvar Deneyleri

Zeminler, tabii bir malzeme olmaları ve katı, sıvı, gaz gibi üç değişik fazda bileşenden meydana gelmeleri sebebi ile diğer inşaat mühendisliği malzemelerine göre davranışlarının anlaşılması çok daha zordur. Bu sebeple, zemin özelliklerinin her proje alanı için deneysel olarak saptanması gerekmektedir. Bu yapılırken arazi koşullarının dikkatle göz önünde bulundurulması unutulmamalıdır.

Zemin etüt çalışmalarında, zeminlerin mühendislik özelliklerinin tanımlanması ve deneysel olarak saptanması amacıyla kullanılan deneyler üç ana başlık altında incelenir. Bunlar; sınıflandırma deneyi, zeminin gerilme-şekil değiştirme karakteristiklerini belirleyen deneyi, zeminin oturma karakteristiklerini belirleyen deneylerdir. Bunlardan sınıflandırma deneylerinden kısaca bahsedelim.

#### 3.2.1. Sınıflandırma deneyleri

Zeminler, farklı mühendislik özelliklerine sahip birçok malzemenin birleşiminden oluşmaktadır. Bu sebeple, yüklemeler altında zeminlerin davranışlarını analiz edebilmek ve mühendislik tasarımları için gerekli parametreleri belirleyebilmek için, zeminlerin öncelikle basit özelliklerine göre sınıflandırmak, daha sonra ise zeminlerin mühendislik özelliklerini saptamaya çalışmak yararlı olmaktadır. Zemin etüt çalışmalarında zeminleri sınıflandırmak için gerçekleştirilen başlıca laboratuvar deneyleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

### 3.2.1.1.Elek analizi

İri taneli zeminlerde dane çapı dağılımını belirlemek için kullanılan deney yöntemidir. Bu amaçla zemin numunesi, değişik büyüklükte açıklıkları olan bir seri standart elekten geçirilmekte ve değişik boyutlar arasında kalan danelerin ağırlık yüzdeleri (toplam kuru ağırlığa oranı) saptanmaktadır. Zemin sırasıyla en büyük açıklıklı elekten en küçük açıklıklı eleğe doğru bir seri elekten geçirildiği zaman, bir elekten geçip diğeri üzerinde kalan danelerin içinde kaldığı çap sınırları belirlenmiş olmaktadır.

### 3.2.1.2. Hidrometre deneyi

200 nolu elekten geçen ince daneli zeminlerin (siltler ve killer) dane çaplarının belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Bu deney çalışmasında, belirli bir ağırlıktaki zemin numunesi mekanik bir karıştırıcı ile karıştırılarak suda bir süspansiyon haline getirilir. İyice karıştırılan süspansiyon çökmeye bırakılarak değişik zaman aralıkları ile yoğunluk ölçümleri gerçekleştirilir. Bu sayede zemin içerisindeki danelerin çap dağılımları belirlenmiş olmaktadır.

### 3.2.1.3.Kıvam limitleri deneyi

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri boşluklarında bulunan su miktarına bağlı olarak değişmektedir. İnce daneli zeminlerin su muhtevası değiştikçe kıvamı da değişmektedir. Belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar katı kıvamda bulunan zeminler, bu sınır su muhtevası değerinden belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar plastik davranış sergilemektedir. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden kıvam limitleri denilmektedir. Kıvam limitleri ilk olarak Atterberg (1911) tarafından önerildiğinden Atterberg Limitleri olarak da adlandırılır [26]. Kıvam limitlerinin küçükten büyüğe doğru aldıkları isim ise sırası ile rötire limiti, plastik limit, likit limit' dir. Kıvam limitleri, aşağıda verilen deneyler yardımıyla laboratuvar ortamında tespit edilmektedir.

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

### 3.3. Dinamik Elastik Parametreler ve Tanımı

Sismik hızlar, zeminin yoğunluğuna ve elastisite parametrelerine bağlıdır. Elastik parametreler ise kayaçların litolojisine yani kayaçların mineral bileşimine, tane büyüklüğüne, tane dağılımına, gözenekliliğine, gözeneği dolduran sıvının türüne ve miktarına, sıklığına, çimentolaşmasına, maruz kaldığı basınçlara ve jeolojik geçmişine bağlıdır. Zemin taşıma kapasitesi ve oturma parametreleri kayaçların sırasıyla kohezyon ve içsel sürtünme açısına, hacimsel sıkışma katsayısı özelliklerine bağlıdır. Bu özellikler ise kayaçların yoğunluğuna, su muhtevasına, boşluk oranı ve boşluk suyu basıncına, tane büyüklüğüne ve dağılımına, kayacın türüne bağlıdır. Bu bakımdan her iki yöntemde elde edilen parametrelerde bir biriyle eşdeğer anlamdadırlar.

#### 3.3.1. Poisson oranı ( $\sigma$ )

Zeminin gözenekliliğini ve bu gözeneklerin su ile dolu olup olmadığını ve kırıklığını gösterir. Poisson oranı 0- 0,25 arası olması zeminin gözeneksiz, 0,25 – 0,350 arası olması orta gözenekli, 0,350-0,500 arası olması ise zeminin gözenekli olduğunu göstermektedir.

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_p}{V_s}\right)^2 - 1\right]}$$

(3.3)



### 3.3.2. Elastisite ( Young ) modülü ( E )

Zeminin dayanıklılığını, sertliğini başka bir deyişle katılığını gösterir. Elastisite modülü 1700 kg/cm<sup>2</sup> den az olduğu zeminler gevşek, 2000 kg / cm<sup>2</sup> - 10000 kg / cm<sup>2</sup> arası olduğu zeminler orta sağlam, 10000 kg / cm<sup>2</sup> - 30000 kg / cm<sup>2</sup> arası olduğu zeminler sağlam, 30000 kg / cm<sup>2</sup> ' den fazla ise çok sağlam olarak değerlendirilir.

$$E = G \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2} \quad (3.4)$$

### 3.3.3. Kayma modülü ( G )

Zeminin yatay kuvvetlere karşı direncini, dayanıklılığını gösterir. Kayma modülünün, 600 kg / cm<sup>2</sup> ' den az olduğu zeminler gevşek, 600 kg / cm<sup>2</sup> - 3000 kg / cm<sup>2</sup> arası olduğu zeminler orta sağlam, 3000 kg / cm<sup>2</sup> - 10000 kg / cm<sup>2</sup> arası zeminler sağlam ve 10000 kg / cm<sup>2</sup> ' den fazla ise çok sağlam olduğunu gösterir.

$$G = d V_s^2 \quad (3.5)$$

### 3.3.4.Zemin emniyet gerilmesi ( q<sub>s</sub> )

İnşaat Mühendislerinin binaların tasarımında ve projelendirme safhasında dikkate aldıkları parametrelerden biridir. Bu değer ne kadar büyükse kayacın emniyetli olarak gerilmesi de o kadar artar.

$$q_s = \frac{G}{V_p} \quad (3.6)$$

## **BÖLÜM 4. ÇALIŞMA ALANININ JEOLojİSİ VE TEKTONİĞİ**

### **4.1. İstanbul 'un Genel Jeolojisi ve Tektoniği**

Marmara bölgesinin İstanbul ili ve yakın çevresini kapsayan kuzey kesimi, erken paleozoyik'ten günümüze kadar süren çeşitli kaya birimlerini içerir.

İstanbul iki büyük kayastratigrafi birimden oluşmuştur. Bunlardan biri metamorfizma gösteren 'Istranca Birliği' diğeri ise metamorfizma göstermeyen 'İstanbul Birliği' dir.

Istranca Birliği, Trakya yarımadasının kuzey kesiminde özellikle Tekirdağ-Edirne arasında geniş alanlar kaplayan şist, kuvarsit ve mağmatitleri içeren Istranca Birliği metamorfitlerinin küçük bir bölümü, Çatalca ilçesinin batı ve kuzey kesimlerinde İstanbul il sınırları içine girer. Bu metamorfitler ile ilgili bilgiler büyük ölçüde, MTA tarafından basılan "Trakya bölgesinin 1/100.000 ölçekli jeoloji haritası" açıklamalarından sağlanmıştır [7]. Çatalca yöresinde, söz konusu metamorfik istifin "Kızılağaç Metagraniti", "Şermat Kuvarsiti" ve "Mahya Şisti" adlarıyla bilinen birimleri yüzeylenir.

İstanbul Birliği, Boğaz'ın her iki yakasında ve Kocaeli yarımadasında geniş alanlar kaplayan Paleozoyik ve Mezozoyik yaşta metamorfizma göstermeyen kaya birimlerini içerir. Metropolitan alanı ve yakın dolayında yüzeye çıkan Alt Ordovisiyen yaşta karasal çökeller, İstanbul Birliği'nin en yaşlı kaya birimini oluşturur. "Kocatöngel Formasyonu" ve "Kurtköy Formasyonu" adlarıyla bilinen Alt Ordovisiyen yaşlı istifin tabanı İstanbul ve çevresinde açığa çıkmamış olmasına karşın, Armutlu yarımadası ve Bolu yöresinde şist, gnays ve meta-mağmatitleri kapsayan İnfakambriyen yaşta metamorfik bir temeli açısız uyumsuzlukla üstlediği bilinmektedir. Yaklaşık 450-500 milyon yıl öncesine karşılık gelen Erken

Ordovisiyen başlangıcında, İstanbul ve yakın dolayını kapsayan bir kara parçası üzerinde, Kocatöngel ve Kurtköy formasyonlarıyla temsil edilen akarsu, göl ve olasılıkla lagünlerin yer aldığı karasal ortam koşulları egemen olmuştur. Erken-Orta Ordovisiyen ile birlikte bölge, plaj ortam koşullarında çökelmiş “Aydos Formasyonu”nun kuvarsitleriyle temsil edilen genel bir transgresyona (deniz ilerlemesi) uğramıştır. Silüriyen ve Devoniyen’de bölge, giderek derinleşen tektonik bakımdan duraylı bir denizle kaplanır. Bu süreçte yaşlıdan gence doğru, miltaş-kumtaşı ile temsil edilen “Yayalar Formasyonu” (Alt Ordovisiyen), şelf tipi resifal ve sığ deniz karbonat çökeliğini yansıtan “Pelitli Formasyonu” (Alt Ordovisiyen-Silürüyen), düşük enerjili açık şelf ortamını temsil eden, bol makrofosilli, seyrek kireçtaşı arakatlı mikalı şeyilleri kapsayan “Kartal Formasyonu” (Alt-Orta Devoniyen) ve açık şelf-yamaç ortamını temsil eden yumrulu kireçtaşlarının yoğun olduğu “Denizli Köyü Formasyonu” (Üst Devoniyen+Alt Karbonifer) çökelmiştir. Denizli Köyü Formasyonu içerisinde ara düzeyler halinde yer alan ve en üst kesiminde, bu incelemede “Baltalimanı Üyesi” adı altında incelenmiş olan, Alt Karbonifer yaşlı silisli (lidit) çökeller, söz konusu denizel havzanın yakınlarında, yoğun silis getirimine neden olan volkanik etkinliğin bulunduğunu düşündürür. Ordovisiyen’den Karbonifer başlangıcına değin tektonik duraylık gösteren havza, Erken Karbonifer’le birlikte, türbiditik yoğunluk akıntılarının etkin olduğu duraysız ortam karakterine bürünür ve buna bağlı olarak 1000 metreyi aşan kalınlıkta “Trakya Formasyonu”nun filiş türü türbiditik kumtaşı-şeyil ardışık istifli çökeler. Karbonifer-Permien aralığında etkin olan tektonik hareketlere bağlı olarak, bölgede günümüzdeki yönler göre kabaca K-G eksen gidişli kıvrım ve D-B yönlü düşük açılı ters ayrılmı faylar gelişmiştir. Örneğin Çamlıca tepelerini oluşturan Aydos Kuvarsiti’nin daha genç Paleozoyik yaştaki birimler üzerinde ilerlemesine neden olan Çamlıca Sürüklenimi’nin bu süreçte geliştiği düşünülmektedir. Gebze’nin batısında yüzeylenen “Sancaktepe Graniti” (Permien) ile temsil edilen magmatik sokulumların da bu dönemde gelişmiş ve bölge su dışına çıkarak yeniden kara halini almış olduğu anlaşılmaktadır. Permien – Erken Triyas aralığına karşılık gelen bu karalaşma sürecinde bölge, “Kapaklı Formasyonu” adıyla bilinen kızıl renkli kumtaşı ve çakıltaşlarından oluşan akarsu birikintileriyle kaplanmıştır. Kapaklı Formasyonu içinde arakatlılar halinde yer alan bazalt bileşimli splitik volkanitler bölgede bir riftleşme sürecinin başlangıcı olarak yorumlanabilir. Orta-Geç Triyas aralığında

bölge, sırasıyla kıyı ve gelgitarası çökelleri (Erikli Formasyonu, Demirciler Formasyonu), şelf karbonatları (Ballıkaya Formasyonu) ve yamaç çökelleri (Tepeköy Formasyonu ve Bakırlıkıran Formasyonu) ile temsil edilen ve giderek derinleşen transgresif bir denizle ikinci kez kaplanır. Jurasik-Erken Kretase aralığını temsil eden kaya istifleri İstanbul il sınırları içinde saptanamamıştır; bu sürece ait bir istifin bulunamamış olması Geç Kretase öncesi bir aşınma ya da Jurasik-Erken Kretase aralığında egemen olmuş bir karalaşma süreci ile açıklanabilir. Geç Kretase’de bölgenin tümünde etkili olan yeni bir transgresyon başlar ve Üst Kretase yaşlı Sarıyer Gurubu’nun volkano-tortullarının (Bozhane Formasyonu, Garipçe Formasyonu) ve Üst Kretase–Paleosen yaşlı Akveren Formasyonu’nun kırıntılı ve sığ fasiyesli karbonat istiflerinin çökeldiği bir denizle kaplanır. Bu süreçte, Tetis Okyanusu’nun kapanma sürecinde gelişmiş adayayı-yay adı volkanizmasını temsil ettiği düşünülen Sarıyer Formasyonu’nun andezitik volkanitleri bölgenin kuzey kesimini kaplamıştır. Üst Kretase yaşlı “Çavuşbaşı Granodiyoriti” ile Paleozoyik istifi içinde yoğun olarak görülen andezitik volkanik dayklar bu dönemde gelişmiştir. Eosen’de Anadolu’nun büyük bölümünü etkisi altına alan kompresif hareketler, Lütesiyen öncesinde, İstanbul yöresini de kapsayan Marmara havzasında yoğun kıvrımlanma ve faylanmalara neden olmuştur. Örneğin, Paleozoyik ve Mezozoyik yaşlı kaya birimlerinin Erken Eosen çökeliği sırasında, Üst Kretase-Erken Eosen yaşlı istifler üzerine bindirmesine neden olan ve bölgenin Karadenize bakan kuzey kesimini kabaca KKB-GGD doğrultusunda kesen Sarıyer-Şile Fayı’nın bu hareketlere bağlı olarak geliştiği anlaşılmaktadır. Şile bölgesinde yüzeyleyen Alt Eosen yaşta Şile Formasyonu’nun şeyilleri içinde, Akveren Formasyonu’na ait Kretase-Paleosen yaşlı kireçtaşı blok ve olistolitlerini içeren olistostromların bu hareketlerin doğurduğu duraysız ortam koşullarına bağlı olarak gelişmiş olduğu düşünülmektedir. Orta Eosen (Lütesiyen)’ de bölge yeni bir transgresyon uğramış ve Orta Eosen-Erken Oligosen aralığında Çatalca ve Şile bölgeleri, kıyılarında kumsal ve resiflerin (Koyunbaba Formasyonu, Yunuslubayır Formasyonu, Soğucak Kireçtaşı), iç kısımlarına killi çamurların (Ceylan Formasyonu) çökeldiği bir denizle kaplanmıştır. Orta-Geç Oligosen’de bütün Trakya havzasını etkileyen tektonik hareketlere bağlı olarak, bölge yeniden yükselerek, Günümüz’e değin süren bir karalaşma sürecine girmiş ve özellikle Geç Oligosen-Geç Miyosen aralığını temsil eden akarsu birikintileri (Kıraç Formasyonu) ile lagün ve göl çökelleri (Danişmen

Formasyonu ve Çekmece Formasyonu) gelişmiştir. Kabaca K-G doğrultulu sıkışmaya neden olan bu hareketlere bağlı olarak gelişen, özellikle KB-GD ve KD-GB doğrultulu makaslama fay ve eklem sistemleri yoğun olarak gelişmiştir. Bu süreksizlikler boyunca gelişen zayıflık zonları, İstanbul ve Çanakkale boğazları ile bölgenin büyük akarsu vadilerinin ve Haliç'in gidişlerini denetlemiş ve çok belirgin olan zikzaklı geometri kazanmalarına neden olmuştur. Büyükçekmece ve Küçükçekmece gölleri ile Çatalca yükseliminin günümüzdeki KB-GD uzanımlarını, aynı sistemde gelişmiş hareketlerle kazanmış oldukları düşünülmektedir. Ancak oluşturdukları zayıflık zonlarıyla morfolojiye güzel yansımış olan bu fay ve makaslama kırıklarının, günümüzde aktif olabileceklerini gösteren öteleme, basınç sırtı vb herhangi bir saha verisi saptanamamış; aksine, olasılıkla Pliyosen yaşlı karasal birikintiler tarafından örtülü buldukları izlenmiştir. Çalışmaların bu aşamasına değin metropoliten alanı içersinde, Marmara denizinin kuzey kesiminde Marmara çukurluklarını izleyen Kuzey Anadolu Fay zonunun dışında, canlı bir fayın varlığına rastlanmamıştır. Bu konuda, metropoliten alanını kapsayacak büyük ölçekli ayrıntılı jeolojik incelemeler sonunda, daha sağlıklı veriler sağlanabileceği umulmaktadır.

İstanbul'un Avrupa yakasında Küçükçekmece-Büyükçekmece gölleri arasında, Beylikdüzü Gürpınar semti dolaylarında, Harami derenin batı yamaçlarında, Avcılar'ın Marmara denizine bakan yamaçlarında, Küçükçekmece gölünün batı yakası ve Büyükçekmece gölünün doğu yakasındaki yamaçlarda çok sayıda heyelan gelişmiştir. Arpat (1999) 'a göre sözkonusu heyelanların büyük bölümü, günümüzdekinden farklı bir topoğrafyada gelişmiş olan eski heyelanlardır; ancak günümüzde bilinçsizce yapılan eğim arttırıcı yapay kazılarla etkinlik kazanmaktadırlar. Heyelanlı sahaların büyük bölümü, sutaşıma kapasitesi yüksek ve aşınmaya karşı daha dayanımlı çakıl ve kaba kum boyu gereçli Kıraç Formasyonu'nun tabanında yer alan, geçirimsiz ve aşınmaya karşı dayanımsız Gürpınar Üyesi'nin dik yamaçlı topografyalar oluşturan kiltaşlarının yaygın olduğu bölgelerde gelişmiştir [2].

İstanbul ve yakın dolay Karbonifer-Neojen aralığında etkin olmuş çok sayıda ve değişik nitelikte tektonik hareketlerin derin izlerini taşır. Bu hareketlere bağlı olarak

gelişmiş kıvrım, fay ve eklem gibi yapısal unsurların kapsamlı analizi henüz yapılamamıştır. Aşağıda, inceleme sırasında dikkati çeken yapısal unsurlar, kronolojik bir sıralama gözetilmeksizin ana çizgileriyle belirtilmiştir. İstanbul'un Alibey deresi, Kağıthane deresi, Riva çayı, Ömerli barajı ve yan kolları gibi başlıca büyük akarsuları ve Boğaz ve Haliç'in KD-GB ve KB-GD doğrultulu zikzaklı bir geometriye sahiptirler. Özellikle Boğaz'ın bu doğrultulara koşut gelişmiş keskin zikzaklı kıyı morfolojisi belirgindir. Büyükçekmece ve Küçükçekmece göllerinin yerleştiği vadiler ve Çatalca ilçesinin yaslandığı metamorfizmlerinden oluşan büyük sırt KB-GD doğrultusunda uzanım gösterirler. Büyükçekmece gölü ile Küçükçekmece gölü arasında Eosen-Alt Oligosen yaşlı Ceylan Formasyonu'nun yaygın olduğu alanda KD-GB ve KB-GD gidişli birbirleriyle keşisen drenaj ağı çok belirgindir. Ceylan Formasyonu içinde bu doğrultulara paralel gelişmiş vadileri izleyen düşey faylar izlenebilmektedir. Büyükçekmece gölünün KD yakasında bu tür bir fayın Oligosen yaşlı Danişmen Formasyonu'nu da etkilediği görülmektedir. Büyükçekmece gölü havzasını da içeren Trakya havzası ve İstanbul yöresinde Erken Eosen ve Orta-Geç Oligosen'de şiddetli sıkışma hareketlerinin etkinlik gösterdiği bilinmektedir. İstanbul'un her iki yakasında Karadeniz kıyı kuşağı boyunca uzanan ve önceleri Şile Şariyacı [4], daha sonra Şile-Sarıyer Fayı [33] adlarıyla bilinen doğrultu atımlı fay Erken Eosen hareketlerine güzel bir örnektir. K-G doğrultulu Oligosen hareketleri İstanbul yöresinde KD-GB ve KB-GD yönlerine uygun olarak makaslama kırıklarının gelişmesine neden olmuştur. Bu kırıkların oluşturduğu zayıflık zonları, İstanbul ve Çanakkale boğazlarının Haliç'in ve İstanbul'un büyük akarsularının zikzaklı gidişlerini denetlemiştir. Sözü edilen KD-GB ve KB-GD doğrultulu kırık sisteminin günümüzde aktif olduğunu gösteren herhangi bir saha verisi bulunamamıştır. Drenaj ağını denetleyen bu fayların aktif olmaları halinde, topoğrafyada basınç sırtları, öteleme vb morfoloji şekillerinin gelişmesi beklenirdi.

## 4.2. İstanbul ' un Coğrafi Konumu

280 01' ve 290 55' doğu boylamlarıyla 410 33' ve 400 28' kuzey enlemleri arasında kalmakta ve İstanbul il toprakları toplam 5.512 km<sup>2</sup>'lik bir alanı kaplamaktadır.

İstanbul Boğazı, Karadeniz'i, Marmara Denizi'yle birleştirirken; Asya Kıtası'yla Avrupa Kıtası'nı birbirinden ayırmakta ve İstanbul kentini de ikiye bölmektedir

İli kuzeyde Karadeniz, doğuda Kocaeli Sıradağları'nın yüksek tepeleri, güneyde Marmara Denizi ve batıda ise Ergene Havzası'nın su ayırım çizgisi sınırlamaktadır.

İl alanı, idari bakımdan doğu ve güneydoğudan Kocaeli'nin Karamürsel, Gebze, Merkez ve Kandıra ilçeleriyle, güneyden Bursa'nın Gemlik ve Orhangazi ilçeleriyle, batı ve kuzeybatıdan Tekirdağ'ın Çorlu Çerkezköy ve Saray ilçelerinin yanı sıra, Kırklareli'nin de Vize İlçesi topraklarıyla çevrilidir.

Türkiye topraklarının % 9,7'sini kaplayan İstanbul, nüfus varlığı açısından ülkenin en önemli ili durumundadır. 2000 Yılı Genel Nüfus Sayımı sonuçlarına göre, İstanbul'un toplam nüfusu 10.041.477 olarak belirlenmiştir. Yıllık nüfus artış hızı binde 35 ' tir.

İstanbul ili sınırları içerisinde 29 ilçe bulunmaktadır. Bunlar Batıda; Avcılar, Küçükçekmece, Bakırköy, Bahçelievler, Bağcılar, Güngören, Esenler, Bayrampaşa, Zeytinburnu, Fatih, Eminönü, Beyoğlu, Beşiktaş, Şişli, Kağıthane, Sarıyer, Gaziosmanpaşa, Eyüp. Doğuda ise; Üsküdar, Beykoz, Kadıköy, Kartal, Pendik, Tuzla, Ümraniye, Adalar, Maltepe, Sultanbeyli bulunmaktadır. Bağımsız belediyeler ise Büyükçekmece, Çatalca, Silivri ve Şile'dir [52].

Çalışma alanlarımızdan olan Avcılar; batısında Büyükçekmece ilçesine bağlı olan Esenyurt ve Yakuplu beldeleri, doğusunda Küçükçekmece ilçesi ve Küçükçekmece Gölü, kuzeyinde Bahçeşehir beldesi, güneyinde Marmara Denizi yer almaktadır.

Diğer çalışma alanımız olan Bakırköy ise; Küçük çekmece gölünün ve Avcılar' ın doğusunda, Bahçelievler ve Güngören' in güneyinde, Zeytinburnu' nun batısında ve Marmara Denizinin kuzeyinde yer almaktadır.



Şekil 4.1. İstanbul'un Coğrafi Haritası [52]

### 4.3. İstanbul'un Jeomorfolojisi

İstanbul, Kocaeli ve Çatalca Yarımadaı üzerinde yer almaktadır. Kocaeli ve Çatalca Yarımadaı aşınmış platodur. İstanbul ve çevresi, jeolojik zamanlar içinde III. Zamanın Miosen devri sonunda Sarmat iç denizinin bir körfezi iken, Pliosen devrinde deniz çekilmiş, karalar ortaya çıkmış daha sonra akarsu ve rüzgar aşındırmaları ile uzun bir erozyon devrinin ardından, yükseltelerin kaybolduğu, aşınmaya dayanıklı kuvarsit tepelerin kaldığı, geniş bir plato ortaya çıkmıştır. Boğaziçi'nin yerindeki vadi de genişlemiştir. Daha sonra platonun Boğaziçi Vadisi'nin doğusunda kuzey kısmın kabarması (yükselmesi) batısında ise güney kısmın kabarması ile su bölümü hatları değişmiş, akarsu vadilerinde eğim artışı nedeniyle su aşındırması da artmış, doğu yakasında büyük akarsular Karadeniz'e, batı yakasında ise Marmara Denizi'ne dökülmüşlerdir. Jeolojik hareketler sonucunda İstanbul'un yer aldığı alan, genellikle aşınmaya



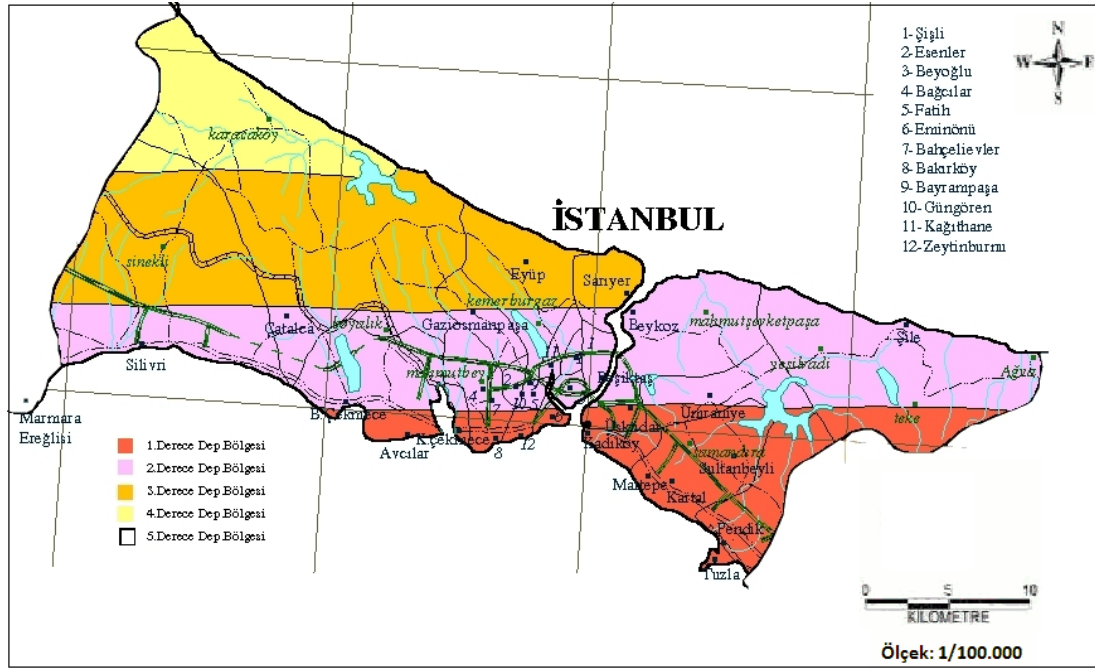
uğramış silik yeryüzü Şekilleri iğerren bir plato görünümü kazanmıştır.

Jeomorfolojik birimler olarak gruplanabilen, vadiler, ovalar, yükseklikler (hafif dalgalı tepelik alanlar), yüksek alanlar vb, anlatılan nedenlerle İstanbul metropoliten alanda keskin ve ęarpıcı bir görünüme sahip değillerdir. Doğu yakasında (Kocaeli Platosu'nda) aşınmaya dayanıklı Kuvarsit tepelerle (Aydos, Kayışdağı, Alemdağ vs.) Gebze - Ömerli Barajı hattının doğusundan başlayan ve doğuya doğru yükselmeyi sürdüren (350m+) yüksek alanlar yer alır. Bu yarımada "su bölümü hattı", Marmara kıyılarına daha yakındır. Platonun geri kalan kısımlarda akarsuların akış yönünün daha ęok Karadeniz olduğu, geniş vadi tabanlı ve hafif dalgalı alanları içerir.

Batı yakasında (Çatalca veya Trakya Penepleni'nde), Boğaziçi'nden Büyükçekmece - Karacaköy hattına yer yer 200 m.yi bulan ve aşan birkaç tepelik dışında yine geniş tabanlı akarsu vadilerinin yer aldığı bir peneplen söz konusudur. Ancak bu yarımada "su bölümü hattı" bu kez Karadeniz'e daha yakındır. Akarsular daha ęok Haliç'e, Büyük ve Küçükçekmece göllerine ve Marmara Denizi'ne su verirler. Terkos gölü ise esas suyunu kuzey batıda yer alan Istranca Dağları'ndan alır. Yer yer 350 m.'nin üzerinde yüksekliklere sahip olan Istrancalar dışında, Çatalca'nın batısında, ayrıca Kestanelik - Belgrad Köyleri hattının batısında, yükseklikleri 200-350 m. arasında değişen tepeler ve sırtlar göze ęarpmaktadır

#### **4.4. İstanbul ' un Depremselliği**

İstanbul, tarih boyunca yıkıcı depremlerden etkilenmiştir. İstanbul'un İmar ve İskan Bakanlığı tarafından hazırlanan 1996 tarihli Türkiye Deprem bölgeleri haritasındaki konumu Şekil 4.2. de izlenmektedir. Buna göre İstanbul il sınırları içerisinde 1, 2, 3 ve 4. derece deprem bölgeleri bulunmaktadır.



Şekil.4.2. Türkiye deprem bölgeleri haritasında İstanbul ilinin konumu [52]

İstanbul il sınırları içerisinde kara üzerinde gerek tarihsel gerekse aletsel döneme ait bilinen hiçbir yıkıcı deprem yaşanmamıştır. İstanbul'da yıkıcı etki oluşturan bütün depremlerin Marmara denizi içerisindeki faylar üzerinde oluştuğu kabul edilmektedir. Son veriler ışığında da Marmara denizi içerisinde ciddi bir deprem tehlikesi olduğu kabul edilmektedir. Bu konudaki başlıca kabuller aşağıdaki verilere dayanmaktadır.

17 Ağustos 1999 Kocaeli-Gölcük ve 12 Kasım 1999 Düzce depremleri Kuzey Anadolu Fayı üzerinde 1939 da başlayan ve batıya doğru süren bir dizi deprem etkinliğinin son halkaları olmuşlardır. Bu durum fay segmentleri üzerindeki stres transferi ile açıklanmaktadır. Bir deprem, üzerinde oluştuğu faydaki gerilmeyi azaltırken, komşu faylar üzerindeki gerilmeleri değiştirir. Deprem sonrası yapılan çalışmalar, sismik aktivitenin gerilmenin arttığı alanlarda arttığını, gerilmenin azaldığı alanlarda ise azaldığını ortaya koymuştur. İzmit depremi Düzce depreminin meydana geldiği bölgede, yani 17 Ağustos 1999 kırığının doğusunda kalan bölgede, gerilimi 1-2 bar arttırmış, kırığın batı tarafındaki bölgede gerilimin 0.5-5 bar artmasına yol açmıştır.

Parsons vd. (2000) tarihsel depremler üzerinde yaptıkları çalışmalarla Marmara denizi içerisindeki fayların tekrarlanma aralıklarını araştırmış ve bunları GPS verileri

ile deneştirerek Marmara Denizinde deprem tekrarlanma zamanının yaklaştığı sonucuna ulaşmışlardır [34]. Bu araştırmacılara göre İstanbul'da önümüzdeki 30 yıl içerisinde büyük bir depremin olma olasılığı deprem tekrarlama aralıklarına göre ~%25 tir. Bu araştırmacılar diğer yandan tekrarlanma zamanlarından tahmin edilen zamana bağlı olmayan Poisson olasılığını da hesaplamışlar ve Marmara denizi içerisindeki gelecekteki otuz yıl içinde büyük bir deprem olma olasılığını ~%25 olarak hesaplamışlardır. Üzerinde gerilimin arttığı fayların, gerilimi değişmemiş diğer faylardan daha önce kırılacağı göz önünde tutularak, deprem olasılık hesaplarına gerilim transferi de eklenmiştir. Sonuçta İstanbul'da önümüzdeki 30 yıl içerisinde kuvvetli bir sarsıntının (yer sarsıntısı ivmesi 0.34-0.65g ) olma olasılığı % 62±15 olarak hesaplanmıştır. Bu oran önümüzdeki 22 yıl için %50±13 iken, önümüzdeki 10 yıl için ise %32±12 olarak belirlenmiştir. Üzerinde tartışma olmakla birlikte deprem senaryolarında Marmara Bölgesini etkileyecek bir depremin büyüklüğü M=7.5 olarak alınmaktadır .

#### **4.5.Çalışma Alanlarının Jeolojisi**

##### **4. 5. 1. Danişmen formasyonu**

Trakya havzasında akarsu, göl ve bataklık çökelleriyle temsil edilen regresif delta ortamı çökellerin bütünü ya da bir bölümünü danişmen formasyonu oluşturur. Önceki araştırmalarda Yenimuhacir Formasyonu [36], Danişmen Formasyonu [5, 37, 43] ve Danişmen Şeyili [37] gibi değişik adlarla incelenmiştir.

Petrol amaçlı incelemeler yapan yerbilimciler tarafından yaygın olarak kullanılmış ve Özgül (2005) tarafından önerilmiş olan “Danişmen Formasyonu” adı benimsenmiştir [33].

Büyük bölümü kumtaşı,çakıltaşı,miltası arakatlı ve kiltası seyilden oluşan tuf ve kömür gibi aradüzeylerini içeren Danişmen Formasyonu Özgül (2005) tarafından 1) Süloğlu Seyil Üyesi 2) Gürpınar Üyesi 3) Çantaköy Volkanit Üyesi 4) Sinekli Üyesi ve 5) Ağaçalı Üyesi olmak üzere beş bölüme ayrılmıştır. Yapmış olduğum bu çalışmada sadece Gürpınar Üyesi ortaya çıkmaktadır [33].

#### 4.5.1.1. Gürpınar üyesi

Küçükçekmece gölünün batısında kalan kısmında, gölün kuzey kesiminin her iki yakasında vadi tabanı ve yamaçlarında açığa çıkmaktadır.

Birim adı Sayar (1977) tarafından yüzeylemelerinin fazla olduğu Gürpınar ilçesinden almıştır [39].

Başlıca ince kum, mil arakatlı kil-kiltaşı Gürpınar üyesinin egemen kaya türünü oluşturmaktadır. Seyrek olarak çakıl merceklerini içermektedir. Kiltaşı taze iken morumsu boz açık külrengi ince orta tabakalı ve laminalıdır. Kumtaşı ara katmanların kalınlığı 20cm'yi geçmeyen ara seviyeler oluşturur. Genellikle küçük ebatlı, beyaz renkli ve gastropod kavkı yığınlarını içeren 5 -10 cm kalınlıkta seyrek olarak Congeria'lı beyaz kireçtaşı arakatmanlarını içerir. Zaman zaman bitki izlidir.

Gürpınar Üyesi Küçükçekmece gölünün batı yakasında yüzeylemelerinde egemen kayatürünü oluşturan kil ve kiltaşı ara katkılarını içermektedir. Gölün doğu kısmında kum-kumtaşı içeriği azalırken kil-kiltaşı ortama hâkim olmaktadır.

Gürpınar Üyesi alt düzeylerinde tabanına yakın kısımlarında çakıl ya da çakıltaşı merceklerini içermektedir. Yapılan derin sondajlarda Gürpınar Üyesinin çalışmasında 250 m'nin üzerinde bir kalınlığa sahip olduğunu göstermektedir.

Formasyon, araştırma alanında Eoson kireç taşları ve Trakya Formasyonu uyumsuz olarak üstlenir. Yıldırım ve Savaşkan (2003) 'e göre Eminönü-Fatih ilçeleri tarafında 40-90 m.Küçükçekmece dolayında 80 m kalınlıktadır. Gürpınar bölgesinde tabanı açığa çıkmamış olan yüzeylemelerin 100 m'nin üzerinde kalınlık gösterir. Yapılan derin sondajlarda birimin Topkapı bölgesinde 50m Ataköy civarında 160m Avcılar bölgesinde ise 250 m den daha kalın olduğu belirlenmiştir [38].

Formasyon zaman zaman lamelli branş gastropod vb. kavkılı seviyelerini kapsar. Rückert-Ülkümen (1960) ve Keskin (1971) birim için Miyosen yaşını öngörmüşlerdir [42, 45]. Umut ve diğ (1983) formasyonun üst Oligoseni gösteren

foraminiferleri içerdiğini belirtir [44]. Palinolojik belgilemelerine göre, Danişmen Formasyon'un üst Oligason ve alt Miyoseni temsil eden polinomorfları içerir. Fosil bulgularına göre formasyon üst Oligason-alt Miyosen aralığını temsil eder [33].



Şekil.4.3. Gürpınar Üyesinin Görünümü [49]

#### 4.5.2. Çukurçeşme formasyonu

Formasyon başlıca, çakıl, kum, mil karışımından meydana gelir. Küçükköy, Çukurçeşme ve Mahmutbey ilçelerinde belirli bir alanda yüzeyleyen çapraz tabakalı bol mikalı yer yer kil arakatlı çakıl ve çakılcıklı tutturulmamış kumların hâkim olduğu önceki incelemelerde Çukurçeşme Formasyonu [39] ya da Çekmece Formasyon alanında Çukurçekmece üyesi üyesi [40] adlarıyla incelenmiştir. Bu analizde Çukur çekmece formasyonu alanında araştırılmış olan kızıl kahverengi çakıl ve kum biriminin büyük bir kısmı çakıl ve daha az oranda kum-mil boyu gereçten oluşur. İrili ufaklı yer yer büyüklüğü birkaç m'yi bulan köşeleri yuvarlaklaşmış ağaç parçalarını içerir. Çakıllar 1-2 cm'den 20-30 cm ebatında olabilir.

Kuzeybatıda çakıl oranı güneybatıda ise kum oranı yüksek seviyededir. Formasyon akarsu ortamını temsil eder.

Danişmen Formasyonu'nu uyumsuzlukla üstler. Çekmece Formasyonu tarafından uyumlu olup olmadığı belirgin olmayan bir dokunakla üstlenir. Çalışmada kalınlığı 1-10 cm arasında değişir. Özgül (2005) ' e göre Büyükçekmece Kırâç taraflarında yaklaşık 30 m civarında olan birim kalınlığı kuzeye Karadeniz'e doğru gidildikçe artış gözlenmektedir [33]. Çalışmalarda yapılan sondaj çalışmaları sırasında 0.5-15.0 m arasında değişen kalınlıkta kesilen birim kum ağırlıklı olduğunda Çukur çeşme çakıl ve blok ağırlık olduğu zaman Kırâç formasyonu olarak isimlendirilmiştir. Bu iki birimin dağılım ve yayılım korele edilemeyecek kadar karışık olduğundan jeolojik haritasında Çukur çeşme formasyonu olarak haritalanmıştır.

Tabanında yer alan en genç birim olan Gürpınar Formasyon üst Oligosen alt Miyosen yaştaadır. Kırâç formasyonu orta miyosen yaşta olduğu kabul edilmiştir.



Şekil.4.4.Güngören Üyesi ile Çukurçeşme formasyonu [49]

### 4.5.3. Çekmece formasyonu

İstanbul'un Avrupa yakasındaki Marmara denizi kıyıları ile Karadeniz kıyısı arasında yaygın olan Neojen çökelleri Sayar (1976) tarafından önce Küçükçekmece Grubu kapsamında olmak üzere Çukurçekmece, Güngören, Bakırköy Kireçtaşı olmak üzere üç formasyona ayrılmıştır [39] .

Çukurçekmece Üyesi bu incelemede Çukurçeşme Formasyonu adı altında incelenmiş olduğundan Çekmece Formasyonu kapsamından çıkarılmıştır.

Çekmece Formasyonu alttan üste doğru kum, kil,mil,kireçtaşı karışımı hakim olduğu seviyeleri kapsar. Bu formasyon Güngören üyesi ve Bakırköy Üyesi olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir

#### 4.5.3.1. Güngören üyesi

Başlıca kum-mil arakatlı killerden oluşur, üst seviyelerde makrofosil kavkılı ince , kireçtaşı arakatmanlıdır. Güngören Formasyonu [39] ya da Çekmece Formasyonun Güngören üyesi [40] adlarıyla incelenmiştir. Güngören üyesi bol mikali kuvarsi gereçli kum kil ardışıyla başlamaktadır. Yer yer makrofosil kavkılı yeşil killer yer alır. Bakırköy üyesinin kireçtaşlarına benzer özellikte 5-30 cm kalınlıkta kireçtaşı, kireçli kiltası arakatlıdır.

Küçükçekmece gölünün doğu yakasında Avcılar ve Firüzköyün kapsadığı kısım Küçükçekmece gölüne bakan doğu yamacındaki kimi ocak ve yarmalarda birimin temiz kesitleri açığa çıkar. İstifler güneye eğilimlidir.

Güngören üyesi, Gürpınar ve Çukur çeşme formasyonlarını aşıl uyumsuzluklarla üstlenmektedir. Üyenin birim kalınlığı çalışmada 50 m ya da daha az olarak gözlenmiştir.

Kil, mil, boyu ince gercin hâkim olduğu Güngören üyesi düşük enerjili göl bataklık ve çoğu zaman denizle bağlantılı ortam şartlarını yansıtır.

SPT deneyleri genelde 50 N dolayında iken heyelan ve kripli bölgelerde iste 20-30N dolayında SPT değeri vermektedir.



Şekil.4.5.Güngören Üyesi [49]

#### Gürpınar ve Güngören Üyeleri Arasındaki Uyum

Gürpınar ve Güngören üyeleri benzer litolojik ve fiziksel özelliklerine sahiptir. Gürpınar üyesi daha fazla sıkıştırılmıştır.,daha yüksek SPTN değerlerine sahiptir.

Güngören üyesi içini kapsayan eğimli alanlar zemin duraylılığı açısından dikkat edilmesi ve önlem alınması gerekmektedir.

Karot örneklerinde bu iki durumu birbirinden ayırt etmek zordur. Sondaj karotlarında Çukurçeşme Formasyonun çakılların geçilmesi halinde iki birim birbirinden ayırt edilebilir. Gürpınar Üyesi kireç çimentolu kumtaşı, bitki fosilli kiltası kapsamında Güngören Üyesi taşınmış mika pulu içermesi ile belirgindir. Ancak; bu kıstaslar her zaman kesin ayırmada veri olarak kullanılamamaktadır.



Gürpınar üyesi hemen hemen her durumda iyi pekişmiştir. Gürpınar'ın SPT değeri Güngören'e göre daha yüksektir. Bu durum dikkate alındığında özellikle derin kuyularda Güngören- Gürpınar ayırımının yapılması nispeten daha kolaydır.

Gürpınar üyesi, yerel olarak Küçükçekmece gölünün batı yakasında yamaçların alçak kesiminde yüzeylenmektedir.

#### 4.5.3.2. Bakırköy üyesi

Çekmece formasyonunun üst düzeyini oluşturan Bakırköy üyesi büyük bölümüyle kireçtaşından oluşmaktadır. Bolca Mactra kapsamından dolayı önceleri “Mactra’lı kalkerler” [1, 39, 41], sonraları “Bakırköy Formasyonu” [39], “Bakırköy Kireçtaşı” [39] ve “Bakırköy Üyesi” [40] adlarıyla incelenmiştir

Bakırköy üyesi Haliç-Marmara kıyısı arasındaki alanda Yeşilköy-Yeşilyurt civarında Avcılar-Firuzköy, Kavaklı ve Küçükçekmece yerleşim yerlerinde yer aldığı üst kotlarındaki yatağa yakın hafifçe güneye eğilimli düzlüklerini oluşturur. Kil kireç oranı değişkendir, alt seviyelerde kireç kapsamı artar. Bolca mactra cinsi lamelli branş kapsamı ayırtman özelliklerindedir.

Güngören üyesinin yanal ve düşey geçişli olarak üstler, yüzeylemeleri genellikle güncel aşınmaya açık olduğundan kalınlığı tam olarak saptanamamaktadır. Atatürk Hava Limanı ve Bakırköy Limanı çevresinde 45 m havzanın kenarlarında ise 10 m civarındadır.

Bakırköy üyesinin istifleri yerel heyelanlar nedeniyle yamaç eğilimleri boyunca aşağı kotlara sahil kesimine kaymıştır.

Bakırköy üyesi Güngören üyesi uyumlu ve geçişli olarak üstler. İki üye arasında keskin bir dokanak çizilmemektedir. Bakırköy üyesi içerdiği fosil içeriği özellikleriyle durgun bir göl ortamı şartlarını yansıtır.

Bakırköy üyesinin üst miyosen yaşta olduğu düşünülmektedir.



Şekil.4.6. Bakırköy Üyesi [49]

#### **4.5.4.Güncel birikintiler**

##### **4.5.4.1. Alüvyon, bitkisel toprak (Top Soil), plaj kumu**

Alüvyon, akarsular boyunca alçak yerlerde birikmektedir. Alüvyon, deniz seviyesinin düşük olduğu zamanlarda ortaya çıkan vadilerde birikmiş olan bir katmandır. Bu nedenle, geçmiş zamandaki vadiler alüvyon birikintilerin altında gömülüdür. Bu vadiler “gömülü vadiler” olarak adlandırılmaktadır.

Alüvyon kalınlığı gömülü vadinin şekline bağlıdır. Bu kalınlık büyük akarsuların ağzında 30 m ye kadar kadar çıkmaktadır.

Alüvyon genellikle kilden meydana gelmektedir. Çoğunlukla organik gereç içeren koyu gri renkli kil genelde kavkılar içerir.

Alüvyon birikimi çoğunlukla Holosen yaşında (10000 yıl öncesi) iken diğer birikintiler Pliyosen yaşı içerisindedirler.

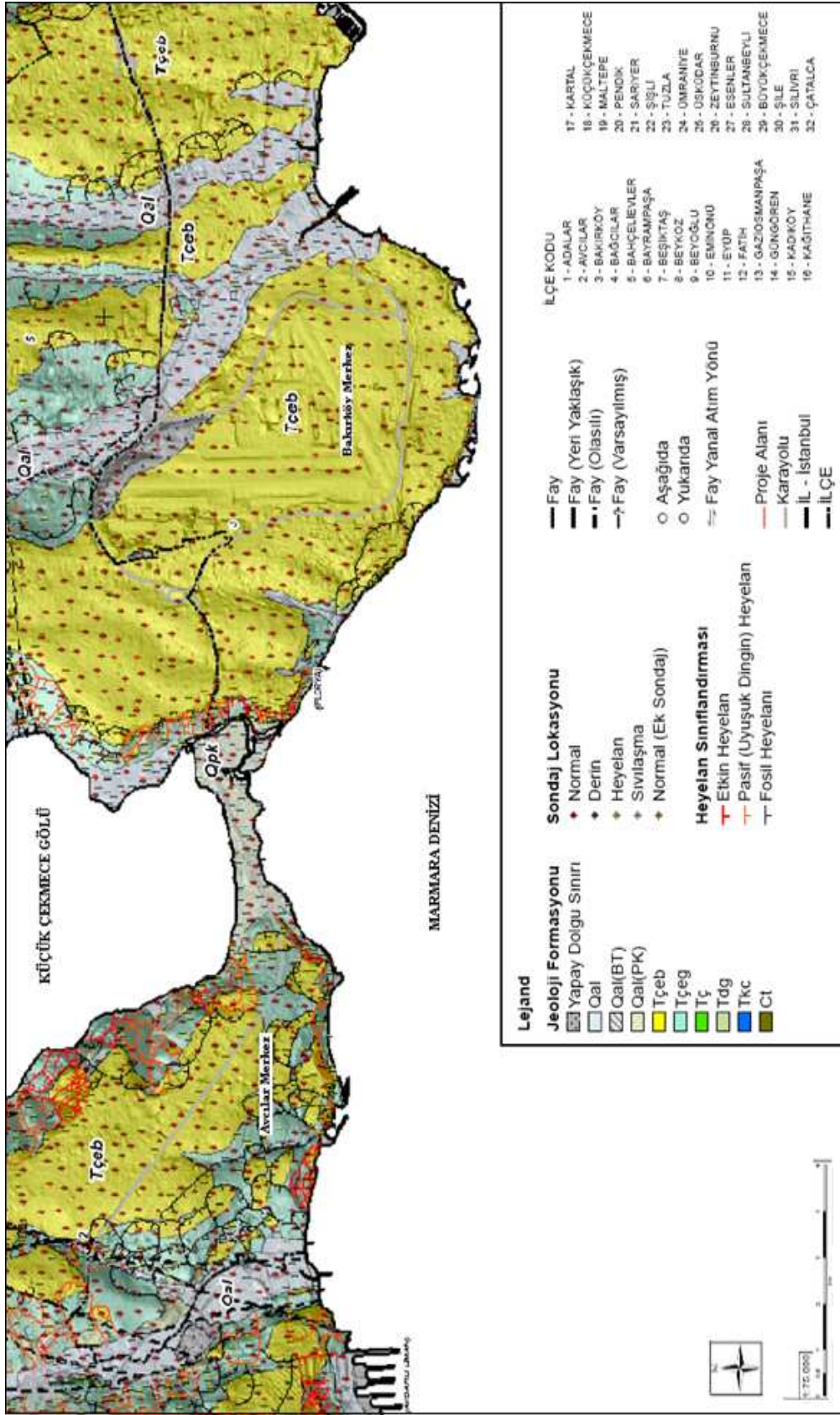
Bitkisel toprak örtüsü genel olarak proje alanının bazı kısımlarında dağılmaktadır. Bu toprakların çöküntü alanlarına ya da yamaçlara, rüzgarlar veya yüzey suları ile taşınmış olduğu düşünülmektedir. Bitkisel toprak örtüsü (koyu kahverengi), büyük miktarda organik gereç içeren yumuşak ve killi topraklardır.

Plaj Kumu Küçükçekmece Gölü ile Marmara Denizi arasındaki kumsalda ve Marmara sahil şeridinde dağılmaktadır. Plaj kumu genellikle, ince daneli kil içeren ve iyi pekişmiş kalın kumdan meydana gelmektedir. Rengi çoğunlukla kahverengi iken alüvyon kumu koyu gri renklidir.


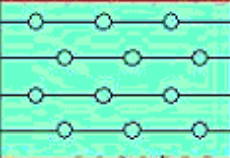



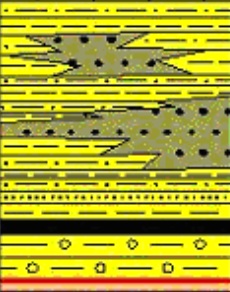



#### **4.5.4.2.Yeni dolgular**

Çalışmada çok çeşitli dolgular bulunmaktadır. Bu dolgular fabrikalarda, havaalanların okulların inşasında kullanılan çeşitli yapay zeminlerden meydana gelmektedir.

Dolguların kalınlığı genellikle 3 ile 5 metre iken bazı bölgeler ise 10 ile 40 metreden fazladır. Dolgular düzensiz bir şekilde dağılmaktadır. Bunları ayırt etmek genellikle zordur. Bu dolgular genel olarak kum, moloz, tuğla parçaları vb. içeren kilden meydana gelmektedir. Bu dolgular sondaj karot örneklerinde gözlenen çeşitli yapay materyalinden ayırt edilebilir.



4.7. Çalışma Alanlarının Jeoloji Haritası [49] (değiştirilmiştir)

UST SİSTEM	KUYA- TEKNER	SİSTEM	SERİ	FORMASYON	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR
S E N O Z O Y İ K	KARONİFER	T E R S İ Y E R	P L I Y O S E N	S A M A N D İ R A	5 - 30		ÇAKIL, KUM, SİLT, KİL (ALÜVYON) Uyumsuzluk
					10 - 50		SİLTİLİ KİL : Kızıl renkli, kumlu, yuvarlak - yarı yuvarlak kuvarsit çakıllı, çok katı - sert, gevşek tutturulmuş Uyumsuzluk
S E N O Z O Y İ K	KARONİFER	T E R S İ Y E R	U . O L I G O S E N - U . M İ Y O S E N	B A K İ R K Ö Y	20 - 30		KİREÇTAŞI - MARN : Beyaz krem renkli, tebeşirimsi, poroz, ince - orta katmanlı, Maktralı, kil / kum arakatmanlı
					10 - 30		KİL : Koyu gri - boz renkli, karbonatsız veya az karbonatlı, siltli, bitki artıklı, yüksek plastisiteli orta katı - katı, mercekssel
S E N O Z O Y İ K	KARONİFER	T E R S İ Y E R	U . O L I G O S E N - U . M İ Y O S E N	ÇUKUR- PEŞME	20 - 30		KUM : Sarımsı gri, açık kahverengi, çakıllı ve siltli, kil arakatmanlı, tutturulmamış veya çok gevşek tutturulmuş, çapraz katmanlı
					> 200		KİL / KİLTAŞI - KUM ARDALANMASI : Kil : Grimsi yeşil, aşırı konsolide, tuf seviyeli, fissürlü yer yer karbonatlı / kireçtaşı bantlı, kömür katkılı Kiltaş : Gri - yeşil, ince - orta katmanlı Kum : Açık gri - sarımsı krem renkli, kuvarsit-kireçtaşı çakıl ve bloklulu ÇAKILTAŞI : Grimsi kahverengi, kumlu, killi, kireçtaşı çakıllı, kömür arakatmanlı Uyumsuzluk
S E N O Z O Y İ K	KARONİFER	T E R S İ Y E R	O . E O S E N - A . O L I G O S E N	KIRKLARELİ	> 250		MARN - KİREÇTAŞI : Beyaz - sarımsı bej - gri renkli, orta-kalın katmanlı, karbonatlı kil arakatmanlı, fosilli
					> 1000		KARBONATLI KUMTAŞI : Krem renkli, ince taneli, sert, som yapılı RESİFAL KİREÇTAŞI : Beyaz - bej renkli, sert, som yapılı, karstik, bol fosilli ÇAKILTAŞI - MARN : Grimsi bej renkli, bol grovak çakıllı, kum - silt - kil ve kömür arakatmanlı Uyumsuzluk
PALEOZOYİK	KARONİFER	TRAKYA	> 1000				KUMTAŞI (Grovak) - SİLTİTAŞI - KİLTAŞI : Mavimsi gri - kahverengi, kireçtaşı mercekli ( Ölçeksiz )

4.8. İstanbul ve civarına ait genel stratigrafik kesit [38]

## **BÖLÜM 5. UYGULANAN YÖNTEMLER**

### **5.1. Regresyon Analizi**

Genellikle mühendisliğin birçok dalında yapılan araştırmalar için, bir değişkenin farklı değişkenler vasıtasıyla bulunması ya da tahmin edilmesi istenir. Değişkenler arasındaki ilişkinin araştırılması için ise regresyon ve korelasyon analizi yöntemleri kullanılır. Değişkenler arasında bir ilişki bulunabiliyorsa, bu ilişki en doğru şekilde ancak matematiksel fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon, ilişkinin şekline göre lineer bir doğru ya da lineer olmayan bir eğri denklemi ile ifade edilir. [31].

#### **5.1.1. Basit regresyon ve korelasyon analizi**

Bir regresyon fonksiyonundaki iki değişken arasındaki ilişkiyi tanımlarken değişkenlerden biri bağımlı (y), diğeri bağımsız (x) değişken olarak ifade edilir. Regresyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin şeklini belirlerken, kuvveti ve yönü hakkında bilgi vermez. Eğer bağımsız değişken bir tane ise basit regresyon analizi, birden fazla ise çoklu regresyon analizi olarak adlandırılır. Matematiksel açıdan regresyon analizlerinde doğrusal bir ilişki kullanılması daha kolaydır ve tercih edilir.

Basit regresyonda, iki değişken arasında varolan ilişki  $y=ax+b$  şeklinde ifade edilir. Burada elde edilen “a” ve “b” değerleri regresyon katsayıları olarak isimlendirilmektedir. Burada değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden denklemi tespit etmek için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Bu metoda göre, çizilen eğriden serpilme diyagramındaki noktalara olan dikey uzaklıkların kareleri toplamı minimum olacaktır [31].  $y_i$  gözlenen değerler,  $\hat{y}_i$  ise hesaplanan değerler olmak üzere;

$$\sum (y_i - y_x)^2 = \sum \Delta y_i^2 = \text{minimum} \quad (5.1)$$

olacak a ve b değerleri alınır ve bu katsayılar şu şekilde hesaplanır [31] ;

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}), SS_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, SS_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (5.2)$$

$$b = \frac{S_{xy}}{SS_x}, a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (5.3)$$

Regresyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin yalnızca şeklini (en uygun doğru ya da eğri denklemini) belirlerken; kuvveti, yönü ve doğrunun veya eğrinin verilere uyumluluğunun derecesi hakkında bilgi vermez. İlişkinin yönünün, derecesinin ve istatistiksel olarak anlamlılığının tayini korelasyon yoluyla yapılmakta ve korelasyon katsayısı (r) ile ifade edilmektedir [31].

İki değişken arasındaki ilişkinin ölçülebilmesinde, değişkenler arasındaki ilişkinin doğrusal olması halinde bu ilişki için en çok kullanılan ölçü Pearson korelasyon ( $r_p$ ) katsayısıdır. Normal dağılmış X ve Y değişkenleri için n elemanlı ( $X_i$   $Y_i$ ) çiftlerinden oluşan bir örnekten korelasyon katsayısı aşağıdaki denklemle tahmin edilir

$$r_p = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{SS_x SS_y} \quad (5.4)$$

Bu çalışmada  $r_p$  yerine r olarak gösterimde bulunulmuştur. Bulunan r değerleri 0 'a yaklaşırsa ilişki zayıf, 1'e yaklaşırsa ise ilişki güçlüdür.

### 5.1.2. Non-linear regresyon analizi

Basit doğrusal regresyon yanında, doğrusal olmayan (non-linear) basit regresyon analizleri de mevcuttur. Doğrusal olmayan basit regresyon analizleri daha çok bilgisayar paket programları vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada  $y=ax+b$  şeklindeki doğrusal regresyonun yanında  $y=ax^b$ ,  $y=abx$  şeklinde lineer olmayan regresyon analizleri “Curve Expert 1.3” programı vasıtasıyla yapılmış ve en uygun şekli  $y=ax^b$  olarak bulunmuştur.

Başka bir ifadeyle;  $y=A+Bx$  yerine;

$y= a \ln x + b$  logaritmik,  $y = ax^2 + bx + c$  polinom ,  $y = ax^b$  üs ,  $y = ae^{bx}$  üstel kullanılabilir.

### 5.1.3. Çoklu regresyon

Çoklu regresyonda birden fazla bağımsız değişken ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) ile bir bağımlı değişken ( $y$ ) arasındaki ilişki incelenir. Burada kullanılacak regresyon fonksiyonu her bağımsız değişkenin bağımlı değişkenle doğrusal bir ilişkisi olduğu kabul edilerek;

$$y = a + b_1 * x_1 + b_2 * x_2 + \dots + b_n * x_n \quad (5.5)$$

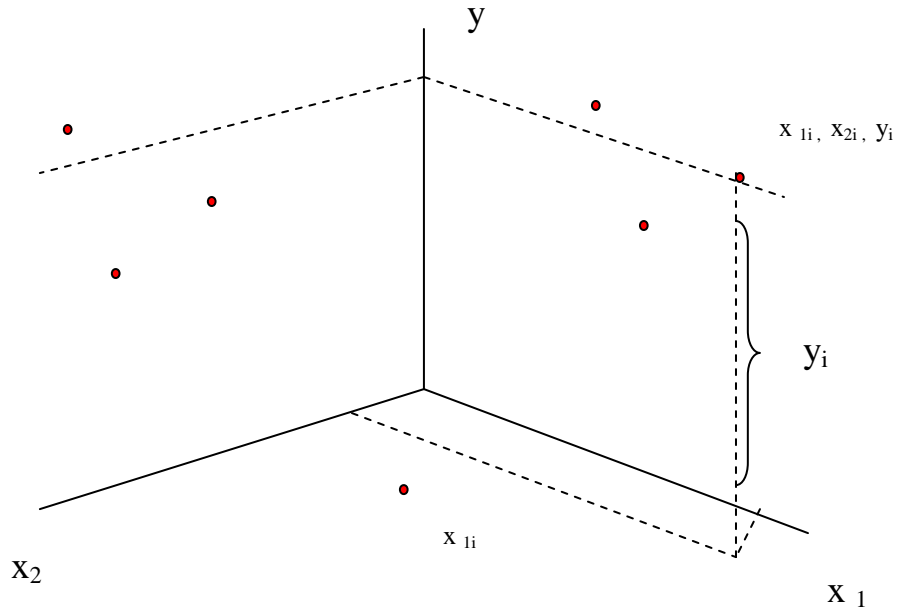
şekindedir. Bu fonksiyondan yararlanarak değişkenler arasında bulunduğu varsayılan gerçek çoklu ilişkinin bir tahmini aşağıdaki fonksiyon yardımıyla yapılmaktadır.

$$y = \alpha + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n \quad (5.6)$$

Bu fonksiyondaki katsayıların hesabı için en küçük kareler yönteminden yararlanarak gerçek  $y$  değerleri ile teorik  $y$  değerleri arasındaki farklar minimize edilecektir.

$$\sum_{i=1}^n (y_i - (\alpha + \beta_1 * x_{1i} + \beta_2 * x_{2i}))^2 \quad (5.7)$$





Şekil 5.1. Üç değişkenli modelde en küçük kareler yüzeyi

Üç değişkenli bir modelde her noktanın üç koordinata sahip olduğu ve bir yüzey hesaplanacağı için denklem bir doğru denklemi olmayıp yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi en küçük kareler yüzeyidir. Burada da gerçek  $y$  değerleri ( $y_i$ ) ile *teorik*  $y$  değerleri arasındaki uzaklıkların farklarının kareleri toplamı minimum yapılacaktır. *En küçük kareler* yöntemi ile üç katsayı şu şekilde hesaplanacaktır [51].

$$\sum x_1 \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i}, \quad \sum x_1 * x_2 \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i}, \quad \sum x_1 * y \rightarrow \sum_{i=1}^n x_{1i} * y_i \quad (5.8)$$

şeklinde alınarak;

$$\sum y = n * a + b_1 * \sum x_1 + b_2 * \sum x_2 \quad (5.9)$$

$$\sum x_1 * y = a * \sum x_1 + b_1 * \sum x_1^2 + b_2 * \sum x_1 * x_2 \quad (5.10)$$

$$\sum x_2 * y = a * \sum x_2 + b_1 * \sum x_1 * x_2 + b_2 * \sum x_2^2 \quad (5.11)$$

Basit analizden farklı olarak burada gerçek değerlerin bir doğrudan değil, bir yüzeyden uzaklıkları ölçülmektedir. Çoklu korelasyon katsayısı için determinasyon katsayısı aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$r^2 = \frac{n * (a * \Sigma y + b_1 * \Sigma x_1 * y + b_2 * \Sigma x_2 * y) - (\Sigma y)^2}{n * \Sigma y^2 - (\Sigma y)^2} \quad (5.12)$$

Bu formülün karekökü alınarak *çoklu korelasyon katsayısı* hesaplanır.

## 5.2.Yapay Zekâ

### 5.2.1.Yapay zekânın tanımı

Yapay Zeka (Artificial intelligence), en kısa şekilde, insan beyninin çalışma sistemini anlamak ve bu sistemi taklit ederek benzer etkinlikleri gerçekleştirebilecek bilgisayar işlemlerini oluşturmaya çalışmak olarak tanımlanabilir. Yapay zekâ kullanılarak yapılan çalışmaların temel amacı, insanların doğuştan sahip oldukları zekâyı modelleyerek bazı fonksiyonlarını bilgisayarlara ve bilgisayar denetimli makinelere kazandırabilmektir. Anlama ve kavrama yeteneği olan zekânın pek çok tanımı bulunmaktadır.

En basit tanımıyla zekâ, “Bir insanın belli bir duruma uyma, koşullara göre etkinlik araçları seçme yetkinliği; kavrama gücü; ayırt etme yetisidir”.

Zekânın yukarıda verilen tanımı ışığında yapay zekâ çalışmalarının, bilgisayarlara ve bilgisayar denetimli makinelere, zekanın en temel özellikleri olan anlama, genelleme ve geçmiş deneyimlerden öğrenme gibi yeteneklerini kazandırmayı hedeflediği söylenebilir.

Önceleri sadece elektronik veri transferi ve karmaşık hesaplamaları gerçekleştirmek için geliştirilen bilgisayarlara zaman içinde verileri filtreleyerek özetleyebilme ve eldeki bilgileri kullanarak olaylar hakkında yorumlar yapabilme nitelikleri de kazandırılmıştır [10]. Günümüzde ise bilgisayarlar hem olaylar hakkında karar verebilmekte hem de olaylar arasındaki ilişkileri öğrenebilmekte, matematiksel olarak formülasyonu kurulamayan ve çözülmesi mümkün olmayan problemler, sezgisel yöntemler kullanılarak çözülebilmektedir. Bilgisayarları bu özellikler ile donatan ve bu yeteneklerinin gelişmesini sağlayan çalışmaların hepsi yapay zeka çalışmaları olarak adlandırılır. Bir problemin çözümünü sağlayan formül ya da algoritmalar geliştirilmiş ise geleneksel bilgisayar sistemleri problemi çözmek için yeterlidir. Fakat önemli olan problemin çözümünün elde edilemediği durumlarda bilgisayarlara problemleri çözdürmektir. Yapay zekâ bu görevi üstlenmektedir [11].

İnsan beyni ve işleyişinin insanoğlunun ilgisini çekmesi çok eskilere dayansa da, bu konuda pratiğe yönelik bilimsel çalışmalar 19. yüzyılın sonlarında yapılmaya başlanmıştır. Yapay zekânın yaygın bir şekilde araştırma ve uygulama alanı bulan belli başlı alt dalları aşağıdaki gibi özetlenebilir. Elmas (2003) tarafından işlenen yazılımlardır. Uzman sistemler geliştirilirken, belirli bir konuda uzmanlaşmış olan insanların bilgi ve deneyimlerinin bilgisayara aktarılması amaçlanır [12].

Bulanık Mantık, bulanık küme teorisine dayanan matematiksel bir disiplindir. Bulanık mantık; bilgisayarın, sadece bir durumun ya da karşıtının olabileceğini kabul eden mantığının yerine, insan mantığındaki gibi ara değerleri de hesaba katarak karar vermesini sağlar. Örneğin bir bilgisayar için sadece uzun-kısa ya da sıcak-soğuk olabilen bir durum, bulanık mantık kullanılarak uzun-ortadan uzun-orta-ortadan kısa kısaya da sıcak-ılık-az soğuk-soğuk-çok soğuk gibi ara değerlere sahip olabilir.

Genetik algoritma, Darwin'in evrim kuramı "doğada en iyinin yaşaması" kuralından esinlenerek oluşturulan, bir veri kümesinden özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir arama yöntemidir. Genetik algoritmalar, geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya imkansız olan problemleri sanal olarak evrimden geçirerek en iyi çözümü elde etmeyi amaçlamaktadır

Yapay zeka, uygulama alanı olarak bilgisayarlar ve bilgisayar destekli makineleri kullandığı için bilgisayar bilimlerinin bir alt dalı gibi görünmesine rağmen, gelişebilmesi için konusu insan olan diğer pek çok bili dalının çalışmalarından da faydalanmaktadır. Bu nedenle biyoloji, fizik, matematik, psikoloji, felsefe ve bilgisayar bilimleri yapay zekâ çalışmalarına önemli katkılar sağlanmaktadır. Böylece çalışma biçimi pek çok bilim dallarının katkısıyla çözülmeye çalışılan beynin fonksiyonları, bilgisayarlar ve robotlar kullanılarak modellenmeye çalışılmaktadır. [3].

Yapay zekâ çalışmaları değişik teknolojilerin doğmasına neden olmuştur. Çünkü günlük olaylar ve problemler sürekli değişmektedir. Değişik yerlerde olayların farklı yönleri insanları ilgilendirmektedir. Bir olay, değişik insanlar tarafından değişik şekillerde yorumlanmaktadır. Bilgisayarların insanların karar verme ve problem çözme mekanizmalarını taklit etmesinin sağlanması da dolayısıyla farklı teknolojilerin doğmasına neden olmaktadır [13].

### **5.2.2. Yapay zekânın karakteristik özellikleri**

YZ nin karakteristik özelliklerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Bilgiyi kullanma
- Sembolik bilgi işleme
- Sezgisel problem çözme
- Eksik, belirsiz ve tam olmayan bilgi işleme
- Açık olarak formülize edilmeyen problemleri çözebilme
- Tecrübe ile öğrenme
- Yeni durumlara adapte olabilme
- En fazla geliştiren kadar zeki olma
- Hata yapabilme

### 5.2.3. Yapay Zekâ Teknolojileri

- Uzman sistemler (uzmanlık bilgisini işler)
- Yapay sinir ağları
- Genetik algoritmalar
- Bulanık mantık
- Vaka tabanlı muhakeme
- Monoton olmayan muhakeme
- Kalitetif muhakeme
- Model tabanlı muhakeme vs.

### 5.2.4. Yapay zekâ ve klasik sistemlerin karşılaştırılması

YZ programları, insanın akıl davranışını kabaca taklit ettiği gibi aynı zamanda programlarda oluşturulan iç dinamikler sayesinde insana benzer karakteristik özellikler gösterir. Bazen insanın karşısına iyi tanımlanmış problemler çıkar. Çözüm algoritması net olan problemlerin aksine bu tip problemlerde sezgisel algoritmik olmayan yöntemlerle sonuca gidilir.

Tablo 5.1. Yapay Zeka ve Klasik Bilgisayar Programcılığı Karşılaştırılması [60]

Yapay Zekâ Programlama	Klasik Bilgisayar Programlama
Genelde sembolik işlemler yaparlar.	Sayısal işlemler yaparlar.
Sezgisel araştırma yapısına sahiptir	Algoritmik araştırma yapısı vardır.
Belli tanım aralığındaki belirli problemleri çözebilir.	Belli tanım aralığında yalnızca bir problemi çözebilir.
Genellikle değiştirmek, güncelleştirmek ve genişletmek kolaydır.	Değiştirilmesi zordur.
Sonuçlar kesin olmayabilir.	Sonuçlar kesindir.
Tatminkâr sonuçlar genellikle kabul edilebilir	Mümkün olan en iyi sonucu verir.
Bilgiyi işler.	Veriyi işler.

### 5.2.5. Yapay zekânın uygulamaları

Yapay zekânın uygulama alanlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

- Yorumalama: Sensörlerden gelen bilgilerin yorumlanması,
- Tahmin: bilinen durumlardan muhtemel durumları tahmin etme,
- Tasarım: kısıtlara bağlı olarak nesnelerin tasarlanması,
- Planlama: aktivitelerin belirlenmesi,
- Gözleme: gözlemlerin beklentiler ile karşılaştırılması,
- Tamir: hataların düzeltilmesi
- Talimat oluşturma: eylem ve planların uygulanmasında koordine etme
- Kontrol: sistem davranışını bütün olarak kontrol etme

### 5.2.6.Yapay zekânın uygulama örnekleri

YZ nin uygulama örneklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Robotik: yol ve yönerge planlama (Navigation-Gemi İşletmesi); bilgisayar görme; imalat kontrol (cam); imalat teşhis sistemleri (Manufacturing Diagnostic Systems); imalar; imalat çizelgeleme
- Uzman sistemler: tıbbi teşhis (MYCIN); savaş alanı yönetimi (Pilot' s Associate); jeolojik başarı (PROSPECTOR); bilgisayar konfigürasyon (XCOM); güç sistemleri kontrolü; üretim planlama ve çizelgeleme; tasarım
- Oyun oynama (Game Playing)
- Ana dili anlama
- Teorem İspatlama
- Bilgisayar yardımı ile eğitimi/ öğrenme
- Otomatik karar verme
- Otomatik yazılım oluşturma

### 5.3. Yapay Sinir Ağları

#### 5.3.1. YSA 'nın tarihçesi

Yapay Sinir Ağları (YSA), beynin fizyolojisinden yararlanılarak oluşturulan bilgi işleme modelleridir. Bazı bilim adamları, beynin güçlü düşünme, hatırlama ve problem çözme yeteneklerini bilgisayara aktarmaya çalışmışlardır. Bazı araştırmacılar ise, beynin fonksiyonlarını kısmen yerine getiren birçok modeli oluşturmaya çalışmışlardır [14].

YSA'ların öğrenme özelliği, araştırmacıların dikkatini çeken en önemli özelliklerden birisidir. Çünkü herhangi bir olay hakkında girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiyi, doğrusal olsun veya olmasın, elde bulunan mevcut örneklerden öğrenerek daha önce hiç görülmemiş olayları, önceki örneklerden çağrışım yaparak ilgili olaya çözümler üretebilme özelliği YSA'lar daki zeki davranışın da temelini teşkil eder.

İnsan beyni hakkındaki çalışmalar binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Beynin fonksiyonları hakkında bilgi veren ilk eser 1890 yılında William James tarafından yayımlanmıştır. Nöroloji ve psikoloji alanlarında yapılan çalışmaların sinir hücrelerinin yapısı ve sinir ağlarının çalışma biçimlerindeki bilinmeyenleri aydınlatmada katedilen yol, yapay sinir ağları gelişimine önemli katkılar yapmıştır.

1940'tan önce Helmholtz, Pavlov, Poincare gibi bazı bilim adamlarının yapay sinir ağların kavramı üzerinde çalıştıkları bilinmektedir, ancak bu çalışmaların matematiksel bir tabanı yoktur. 1940'lı yıllarda McCulloch ve Pitts, Hebb, Rosenblatt gibi bilim adamlarının bu konudaki çalışmaları yapay sinir ağları çalışmalarının mühendislik alanına kayması ve günümüzdeki yapay sinir ağlarının temelini oluşturmaya neden olmuştur.

Modellemeye yönelik araştırmaların başlangıcı, aynı zamanda bir dönüm noktası olarak kabul edilen çalışma, 1943 yılında bir nörobiyolojist olan Warren McCulloch ve bir istatistikçi olan Walter Pitts tarafından yayımlanan "Sinir Aktivitesindeki Düşüncelere Ait Bir Mantıksal Hesap" başlıklı bir makale olmuştur ve bu çalışma ilk

olmuştur ve bu çalışma ilk dijital bilgisayarlara ışık tutmuştur [15]. John Von Neumann bu makaleyi, “elektronik beyinler” için bir kopya olarak görmüştür. Yapay zeka alanındaki araştırmacılar içerisinde istisnai bir yeri olan Marvin Minsky, bu makaleden aldığı ilhamla makroskobik zeka fikrini ortaya atmış ve uzman sistemlerin dogmasına neden olmuştur [16].

Donald Hebb 1949 yılında yayımlanan “The Organization of Behavior” adlı kitabı ile öğrenebilen ve uyum sağlayabilen sinir ağları modeli için temel olacak Hebb Kuralı’nı ortaya koymuştur [62]. Hebb kuralı; sinir ağlarının bağlantı sayısının değiştirilmesi durumunda ağın öğrenebileceğini ileri sürer [17].

Frank Rosenblatt, gözün hesaplamaları ile ilgilenmiştir. Bu bilim adamları, öğrenmenin ve zekânın herhengi bir özelliğinin simülasyonunda bilgisayarların aktif olarak nasıl kullanılabileceğini, 1956 yılında düzenlemiş oldukları ilk yapay zeka konferansında tartışmışlardır.

1959’da Bernard Widrow, basit nöron benzeri elemanlara dayanan ve “adaline” (Adaptive Linear Neuron) olarak adlandırılan bir adaptif lineer elemanı geliştirmiştir. Adaline ve iki tabakalı biçimi olan “madaline” (Multiple Adaline); ses tanıma, karakter tanıma, hava tahmini ve adaptif kontrol gibi çok çeşitli uygulamalar için kullanılmıştır. Daha sonraları adaline, ayırık bir çıkış yerine sürekli bir çıkış üretmek için geliştirilmiştir. Widrow, telefon hatları üzerindeki ekoları elimine etmeye yarayan adaptif filtreleri geliştirmede, adaptif lineer eleman algoritmasını kullanmıştır. Bununla ilk defa YSA’lar gerçek bir probleme uygulanmıştır. Teuvo Kohonen, 1970’lerin ilk yıllarında adaptif öğrenme ve birleşik hafızalar üzerine temel çalışmalar yapmış ve bu olduğu çalışmaları ile danışmansız öğrenme metotlarının gelişmesine ışık tutmuştur [11].

Minsky ve Papert’in tek katmanlı algılayıcıların kısıtlılıklarını anlattıkları Perseptron isimli kitaplarında, YSA’nın temel olarak ilgi çekici konular olmadığını belirtmeleri birçok araştırmacının bu alanda çalışmaktan vazgeçmelerine sebebiyet vermiştir [16]. Bu olay yapay sinir ağlarının problem çözümlerinde uygulanabilirliğine olan inancın zayıflamasına, bu çalışmalara destek veren ve ABD Pentagon’da yer alan DARPA



isimli organizasyonun desteğini çekmesine yol açmıştır. Yapay sinir ağları çalışmaları durma noktasına gelmiş, ancak yapay zeka alanındaki diğer yöntemlerin desteklenmesi artmıştır. Ancak Shun-ichi Amari, James Anderson, Michael Arbib, Kunihiko Fukushima, Stephen Grossberg, Teuvo Kohonen, Arthur Little, Cristoph von der Malsburg ve Paul Werbos gibi bazı bilim adamları yapay sinir ağları alanındaki çalışmalarını sürdürmüşlerdir [17].

YSA konusunda çalışmaya devam eden Grossberg, YSA modellerini yapılandırmak için nörolojik verinin kullanılması, algı ve hafıza için YSA tabanlı mekanizmaların önerilmesi, belirgin eşitliklerle bütünleşen bir sinaptik model için bir ilişkilendirici kural üzerinde çalışmıştır.

Seksenli yıllar, teknolojinin gelişmesiyle beraber yapay sinir ağları araştırmalarının hızla yaygınlaşmaya başladığı dönemdir. 1982 ve 1984 yıllarında John Hopfield tarafından yayımlanan çalışmalar, farklı tipteki yapay sinir ağlarının matematiksel modellerini üretmiş ve özellikle geleneksel bilgisayar programlama ile çözülemeyen problemlerin yapay sinir ağları ile çözülebileceğini göstermiştir. Bu çalışmaların pratikte uygulanabilirliği yapay sinir ağlarına olan ilginin yeniden artmasına neden olmuştur.

1986'da Rumelhart ve McClelland karmaşık ve çok katmanlı ağlar için geri yayılım Öğrenme algoritmasını (backpropagation) ortaya koymuşlardır. Bu çalışma ile Parker ve Werbos'un yaptıkları araştırmacılar, tek katmanlı ağlarla çözülemeyen XOR probleminin çözülmesini sağlamıştır [11]. 1987 yılında yapılan ilk yapay sinir ağları sempozyumundan sonra YSA uygulamaları yaygınlaşmıştır. 1988'de Broomhead ve Lowe, Radyal Tabanlı Fonksiyonlar (Radial Basis Functions - RBF) modelini geliştirmişlerdir [61].

Doksanlı yılların başlarından itibaren sayısız çalışma ve uygulamalar geliştirilmiş, özellikle yapay sinir ağlarını eğitmek için gerekli süreleri kısaltmak, yeni ve daha verimli öğrenme algoritmaları geliştirmek, zamana bağlı olarak değişen modellere karşılık verebilen ağlar ve silikon sinir ağları geliştirmek, yapılan araştırmaların en önemli amaçlarını oluşturmaktadır.

Günümüzde, Yapay Sinir Ağları ile ilgili araştırmalar yapan çok sayıda bilim adamı ve araştırma grupları bulunmakla birlikte ve farklı bilimlerde ve ilgi alanlarında çalışmalar yaparak birçok yeni gelişmeyi sunmaya devam etmektedirler.

### 5.3.2. Yapay sinir ağlarının basit yapısı

YSA' ların yapısı üç ana eleman içermektedir ve bu elemanlar, temel işlem elemanı olan nöron, girdi ve çıktı yolunu sağlayan bağlantı ve bu bağlantıların sağlamlığını gösteren bağlantı ağrlılığıdır [12].

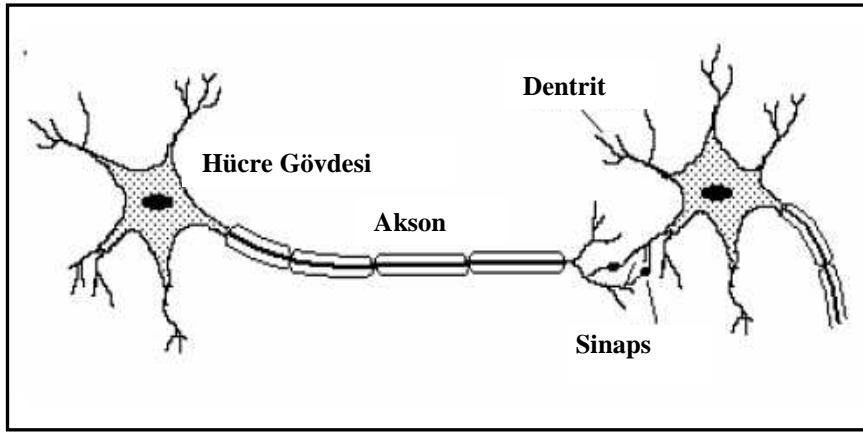
#### 5.3.2.1. Biyolojik nöron

Biyolojik sinir sistemi, merkezinde sürekli olarak bilgiyi alan, yorumlayan ve uygun bir karar üreten beynin bulunduğu üç katmanlı bir sistem olarak açıklanır. Alıcı sinirler organizma içerisinden ya da dış ortamlardan aldıkları uyarıları, beyne bilgi ileten elektriksel sinyallere dönüştürür. Tepki sinirleri ise, beynin ürettiği elektriksel darbeleri organizma çıktısı olarak uygun tepkilere dönüştürür. Şekil 5.2 'de bir sinir sisteminin blok diyagramı verilmiştir.



Şekil 5.2. Biyolojik Nöron Yapısının blok diyagramı [63]

Merkezi sinir ağında bilgiler, alıcı ve tepki sinirleri arasında ileri ve geri besleme yönünde değerlendirilerek uygun tepkiler üretilir. Bu yönüyle biyolojik sinir sistemi, kapalı çevrim denetim sisteminin karakteristiklerini taşır. Merkezi sinir sisteminin temel işletim elemanı, nöron olup insan beynindeki sayısının yaklaşık 10 milyar olduğu tahmin edilmektedir. Sinir hücresi; sinir gövdesi, dentritler ve aksonlar olmak üzere 3 bileşenden meydana gelmektedir (Şekil 5.3). Dentritler, diğer hücrelerden aldığı bilgileri hücre gövdesine bir ağaç yapısı Şeklindeki ince yollarla iletir.



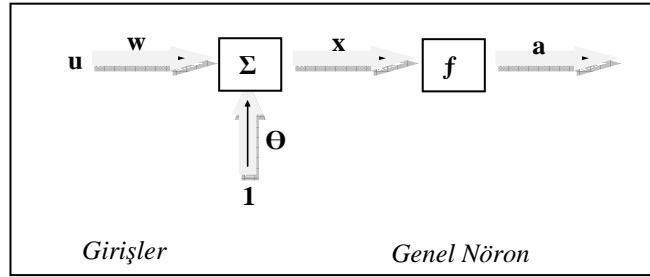
Şekil 5.3. Biyolojik Nöronun Basit Yapısı [63]

Aksonlar ise elektriksel darbeler şeklindeki bilgiyi hücreden dışarı taşıyan daha uzun bir yoldur. Aksonların bitimi, ince yollara ayrılabilir ve bu yollar, diğer hücreler için dentritleri oluşturur. Akson-dentrit arasındaki bağlantıyı sağlayan eleman şekil 5.3’de de görüldüğü üzere, sinaps olarak isimlendirilir. Sinapstan gelen ve dentritler tarafından alınan bilgiler genellikle elektriksel darbelerdir. Ancak, sinapstaki kimyasal ileticilerden etkilenir. Belirli bir sürede bir hücreye gelen girişlerin değeri, belirli bir eşik değerine ulaştığında hücre bir tepki gösterir. Hücrenin tepkisini arttırıcı yöndeki girişler uyarıcı, azaltıcı yöndeki girişler ise önleyici girişler olarak isimlendirilir ve bu etkiyi sinaps belirler [12].

Yapay sinir ağları insan beyninin yapısı göz önünde bulundurularak oluşturulduğu için aralarında benzerlikler bulunmaktadır. Şöyle ki, gerçek bir insan beyninde bulunan nöron; YSA’ daki işlemciyi, dentrit; toplama fonksiyonunu, hücre gövdesi; transfer fonksiyonunu, aksonlar; çıkış elemanını, sinapslar ise ağırlıkları temsil eder.

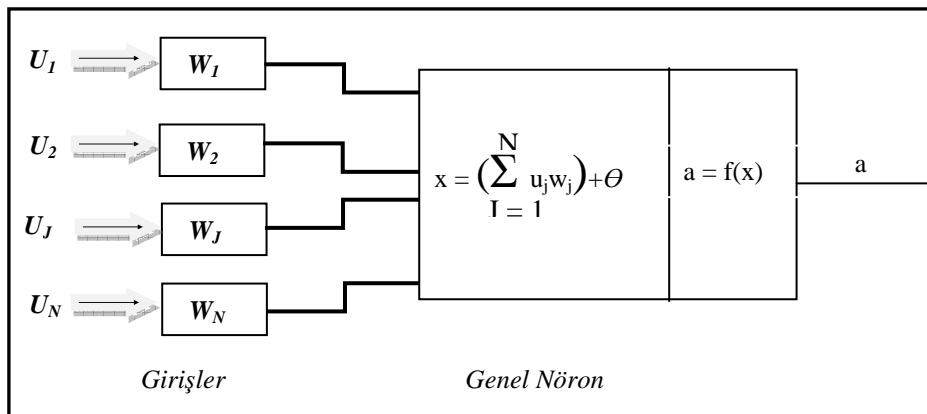
### 5.3.2.2. İşlemci (Yapay Nöron)

Bir YSA modelinin temel birimi, işlem elemanı yani nöronlardır. Şekil 5.4’ de verilen ağ modeli, bazı küçük değişikliklerle beraber YSA’ da geniş olarak kullanılan modellerden biridir.



Şekil 5.4. Tipik Bir Ağ Modeli [18]

Şekil 5.4' te tek girdili bir nöron gösterilmektedir. Bunun haricinde Şekil 5.5' te olduğu gibi gösterimleri de mevcuttur. Tüm yapay sinir ağları bu temel yapıdan üretilmektedir. Bu yapıdaki farklılıklar, yapay sinir ağlarının farklı sınıflandırılmasını sağlar. Bir öğrenme yeteneği, seçilen algoritma içerisindeki ağırlıkların uygun şekilde seçilmesine bağlıdır [18].



Şekil 5.5. Örnek Bir Sinir Ağı Modeli [63]

Her bir giriş ( $u$ ), ağırlık ( $w$ ) ile çarpılarak eşik değeri ( $\Theta$ ) ile toplanır ve sonucu oluşturmak için aktivasyon fonksiyonu (transfer fonksiyonu) ile işlem yapılarak nöron çıkışı ( $a$ ) üretilir. Nöron çıkışı  $a = f(w.u + \Theta)$  şeklinde hesaplanır ve bu çıkış ( $a$ ), seçilen transfer fonksiyonuna bağlıdır.

### 5.3.3. Yapay sinir hücresinin temel elemanları

Yapay sinir ağlarının temel birimi, işlemci olarak adlandırılan yapay nöronlardır. Yapay bir nöron, biyolojik nöronlara kıyasla daha basit bir yapıda olmasına rağmen,

biyolojik nöronların bazı temel işlemlerini taklit eder. Bu işlemler basit olarak 5 başlık altında toplanabilir.

### 5.3.3.1. Girişler

Yapay bir sinir hücresinden başka bir sinir hücresine ya da dış dünyadan bilgi alımı işlemi girişler tarafından gerçekleştirilir. Giriş elemanları ağa öğretilmek istenen örnekler tarafından belirlenir.

### 5.3.3.2. Ağırlıklar

Bir ağda girişler tarafından alınan bilginin önemini ve hücre üzerindeki etkisini belirleyen katsayılar ağırlık olarak tanımlanır. Bir sinir ağında her bir giriş için bir ağırlık vardır. Seçilen ağırlıkların büyüklüğünün ve pozitif ya da negatif olmasının girdilerin önemi ile bir bağlantısı yoktur. Yani küçük bir ağırlık, ona ait girişin önem derecesinin az olduğunu göstermez. Ağırlığın pozitif ya da negatif olması ise giriş değerinin pozitif ya da negatif olduğunu gösterir. Ancak bir ağırlık değerinin sıfır olması ağ için bir önemlidir [11].

### 5.3.3.3. Toplama işlevi

Toplama işlevi, yapay bir nörondaki her bir giriş ile o girişe ait ağırlığın çarpımlarının toplamını ifade eder.

$$\text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j \quad (5.13)$$

Bununla beraber çoğu uygulamada eşik değeri olan  $\theta$  'da bu toplama dahil edilmiştir.

$$\text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j + \theta \quad \text{Net toplam} = \sum_J^n u_j w_j - \theta \quad (5.14)$$

$\theta$  eşik değeri, girişlerden bağımsız olduğu için bütün girişlerin sıfır olması durumunda dahi nöron çıkışının sıfır olma durumunu ortadan kaldırır. Bir sinir ağında eşik

değerinin kullanımı, toplama fonksiyonuna +1 ya da -1 değerine sahip sabit bir girişin  $\theta$  ağırlığına sahip bir bağlantı ile eklendiği şeklinde yorumlanır.

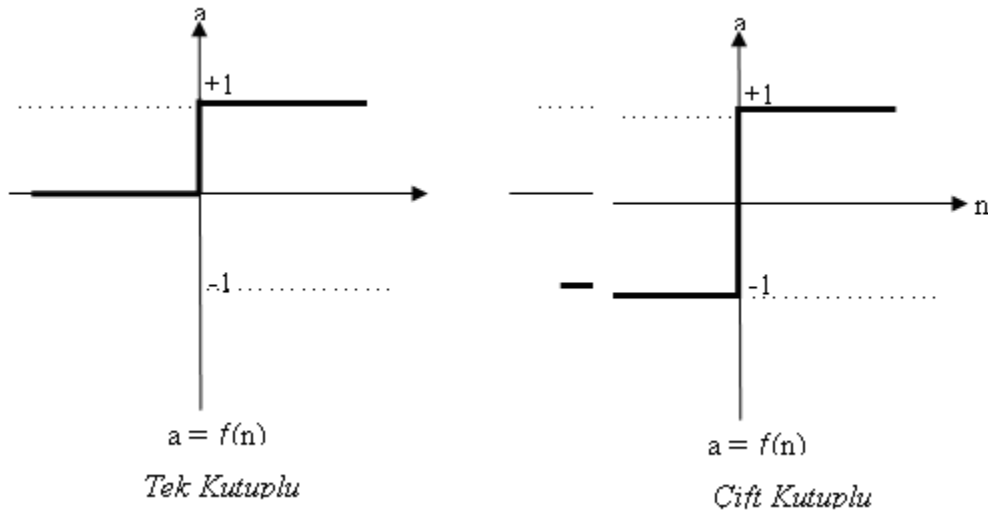
Yapay sinir ağlarında kullanılan her model ve her uygulamam için bu toplama fonksiyonunun kullanılma zorunluluğu yoktur. Oluşturulan bazı modeller, kullanılacak olan toplama fonksiyonunu kendisi belirleyebilir. Bazı durumlarda daha karmaşık ve değişik toplama fonksiyonları kullanılabilir. Genel olarak kullanılan toplama fonksiyonları; çarpım, maksimum toplam, minimum toplam, çoğunluk toplamı ve kümülatif toplam olarak sıralanabilir. Bazı modellerde giriş değerleri önemli olurken, bazı modellerde ise girişlerin sayısı önem arz etmektedir. Yani bir model oluştururken kullanılacak toplama fonksiyonunu belirlemek için bir standart yoktur. En uygun toplama fonksiyonu iteratif yöntemle bulunacaktır [14].

#### 5.3.3.4. Aktivasyon fonksiyonları

Yapay nöronun davranışını belirleyen önemli etkenlerden biri aktivasyon fonksiyonudur. Aktivasyon fonksiyonu hücreye toplama fonksiyonunu işleyerek bu hücreye gelen girişlere karşılık olan çıkışı belirler. Hücre modellerinde, hücrenin gerçekleştireceği işleve göre çeşitli türlerde aktivasyon fonksiyonu kullanılabilir En uygun aktivasyon fonksiyonunu belirlemek için geliştirilmiş bir fonksiyon yoktur. Transfer fonksiyonları sabit parametrelili ya da uyarlanabilir parametrelili olarak seçilebilir. Doğrusal olmayan fonksiyonların kullanılması yapay sinir ağlarının çok karmaşık ve farklı problemlere uygulanmasını sağlamıştır. Hücre modellerinde yaygın olarak kullanılan bazı transfer fonksiyonları aşağıdaki gibi sıralanabilir [11].

**Simetrik eşik transfer fonksiyonu:** McCulloch-Pitts modeli olarak bilinen eşik aktivasyon fonksiyonlu hücreler, mantıksal çıkış verir ve sınıflandırıcı ağlarda tercih edilir. Perseptron olarak da bilinen eşik fonksiyonlu hücrelerin matematiksel modeli aşağıdaki şekilde tanımlanır. Tek kutuplu ve çift kutuplu olmak üzere iki çeşidi vardır (Şekil 5.6)

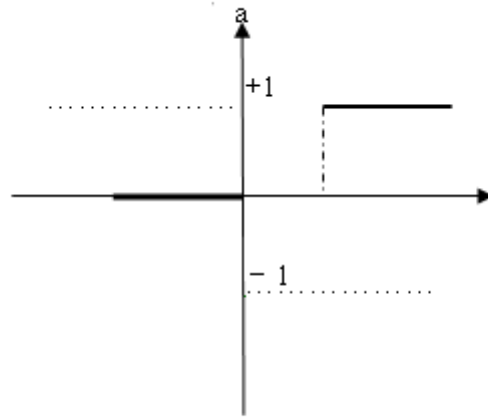
$$a = \begin{cases} 1 & n \geq 0 \\ -1 & n < 0 \end{cases} \quad (5.15)$$



Şekil 5.6. Simetrik Eşik Transfer Fonksiyonları [18]

**Kutuplamalı eşik transfer fonksiyonu:** Kutuplama değeri tek kutuplu (Şekil 5.7) ve çift kutuplu (Şekil 5.8) eşik aktivasyon fonksiyonunun her ikisine de eklenebilir. Aktivasyon fonksiyonu eşik değeri olan  $\theta$  'yı aştığı zaman nöron aktif olur. Tek kutuplu eşik fonksiyonu;

$$a = f(n) = \begin{cases} 1 & u \cdot w \geq \theta \\ 0 & u \cdot w < \theta \end{cases} \quad (5.16)$$

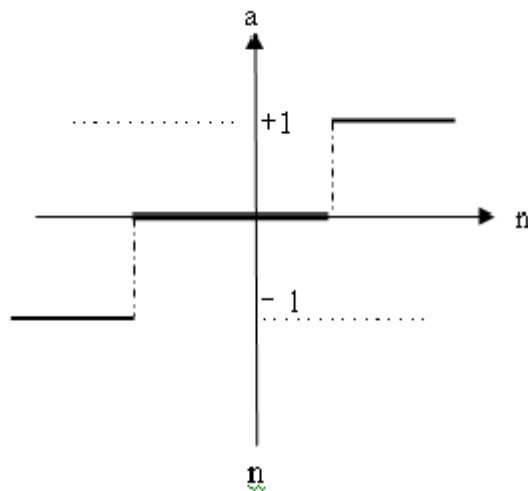


Şekil 5.7. Tek Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu [18]

Çift kutuplu basamak fonksiyonu ise;

$$a = f(n) = \begin{cases} +1 & u.w \geq \theta \\ -1 & u.w < \theta \end{cases} \quad (5.17)$$

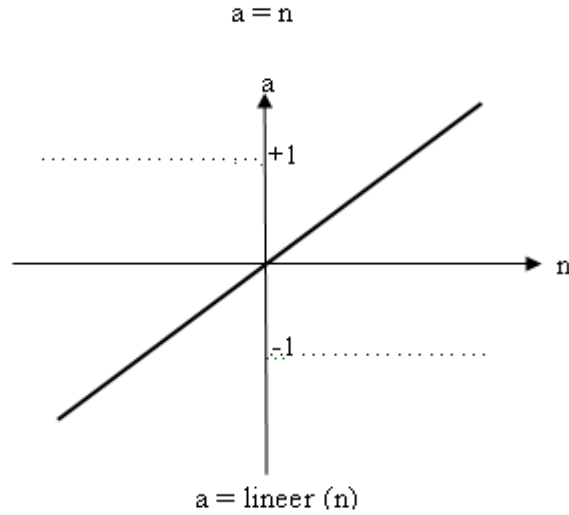
Şeklindedir.



Şekil 5.8. Çift Kutuplu Eşik Transfer Fonksiyonu [18]



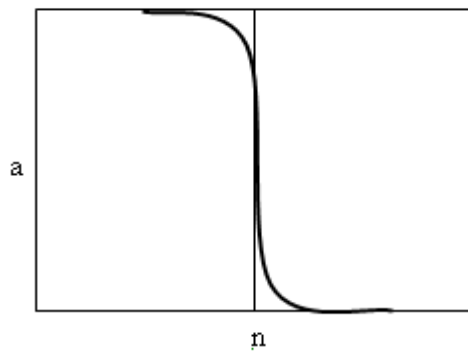
**Lineer transfer fonksiyonu:** Bu transfer fonksiyonunda, fonksiyon çıkışı girişine eşittir. Literatürde Adaline olarak da bilinen model, genellikle klasik işaret işleme ve regresyon analizinde kullanılır.



Şekil 5.9. Lineer Transfer Fonksiyonu [18]

**Log-Sigma transfer fonksiyonu:** Bu fonksiyon, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılır (Şekil 5.10). Bu transfer fonksiyonu giriş olarak  $+\infty$  ile  $-\infty$  arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri 0 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.

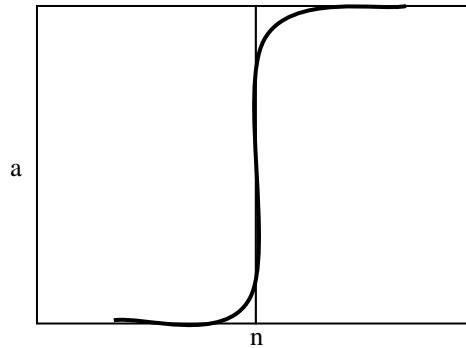
$$a = 1 / (1 + e^{-n}) \quad (5.18)$$



Şekil 5.10. Log-Sigma Transfer Fonksiyonu [18]

**Hiperbolik tanjant transfer fonksiyonu:** Bu transfer fonksiyonu, türevi alınabilir, sürekli ve doğrusal olmayan bir fonksiyon olması nedeniyle doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılan bir fonksiyondur. Bu transfer fonksiyonunda giriş olarak  $+\infty$  ile  $-\infty$  arasında herhangi bir değer alır ve çıkış değeri -1 ile 1 arasındadır. Literatürde çift kutuplu fonksiyon olarak da adlandırılır.

$$a = (e^n - e^{-n}) / (e^n + e^{-n}) \quad (5.19)$$



Şekil 5.11. Hiperbolik Tanjant Transfer Fonksiyonu [18]

#### 5.3.3.4 . Çıkış işlevi

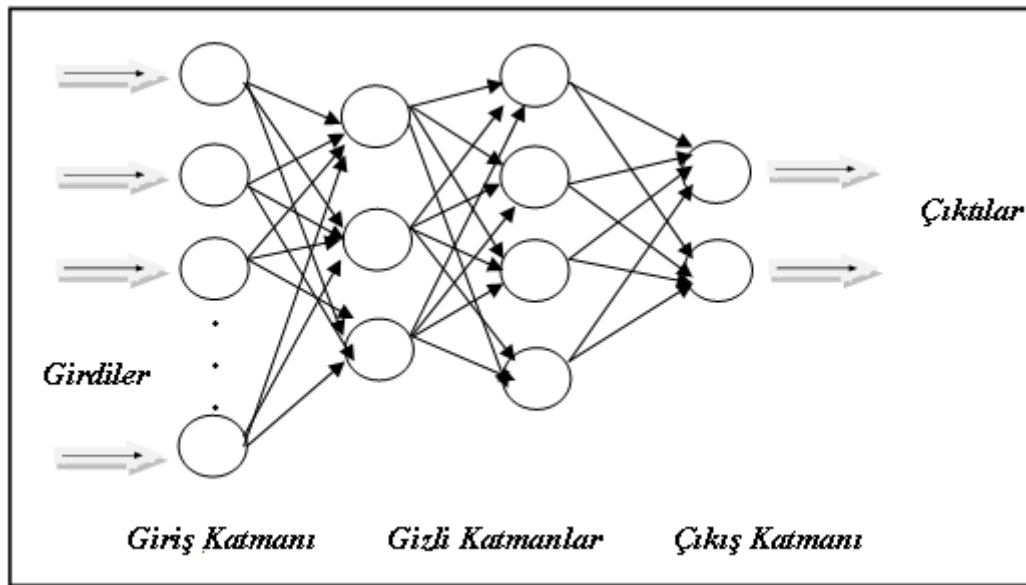
Çıkış  $a = f(n)$ , aktivasyon fonksiyonunun diğer sınırlara gönderilmesi olarak tanımlanır. Bir nöronun çıkışı, kendisine ve kendisinden sonra gelen bir ya da daha fazla nörona giriş olabilir.

Şekil üzerinde bakıldığında, ağda bir nöronun çok sayıda çıkışı var gibi gözükmemektedir. Ancak gerçek nöronlarda olduğu gibi bir nöronun birden fazla sayıda girişi olmasına karşılık yalnızca tek bir çıkışı vardır.

#### 5.3.4. Yapay sinir ağlarının yapısı

Yapay sinir ağları, birden fazla yapay sinirin birbirine bağlanması ile meydana gelir. Hücrelerin bağlanma işlemi rastgele olmaz. Ağı oluşturan sinir hücreleri katmanlar

içerisine yerleştirilir. Hücreler genellikle üç katman halinde ve katmanlar içinde birbirlerine paralel olacak şekilde ağı oluştururlar. Her katmandaki düğümler yalnızca kendinden önceki katmanda yer alan düğümlerden giriş alabilir. Bir düğüm kendinden sonraki bir sinir hücresine bağlanırken kendine asla bağlanamaz. Son katmanda yer alan işaretler ağın çıkışını vermektedir. Aşağıda çok katmanlı bir sinir ağı yapısı şematik olarak gösterilmektedir (Şekil 5.12) [11, 12] .



Şekil 5.12. Çok katmanlı bir sinir ağı yapısı [12]

#### 5.3.4.1. Katmanlar

Yapay sinir ağlarının oldukça basit bir yapısı vardır. Nöronların bir kısmı girişleri alırken bir kısmı da çıkışlarını verirler. Diğerleri ise görünmediğinden ve dış dünya ile direkt olarak bağlantısı olmadığından gizli katman olarak isimlendirilirler. Yapay sinir ağlarında, nöronlar katmanlarda toplanır ve giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olmak üzere toplam üç çeşit katman vardır.

Kısaca açıklamak gerekirse; dış dünyadan girişleri alan sinirlerin bulunduğu katman giriş katmanı, ağın oluşturduğu çıkışı dış dünyaya ileten katman çıkış katmanı, giriş ve çıkış katmanı arasında bulunan katman ise gizli katman olarak tanımlanabilir. Karmaşık problemleri hesaplayabilmek için ağların gizli katmana sahip olması zorunludur. Ancak gizli katmanların sayısı artarsa ağda genelleşme sorunu ortaya

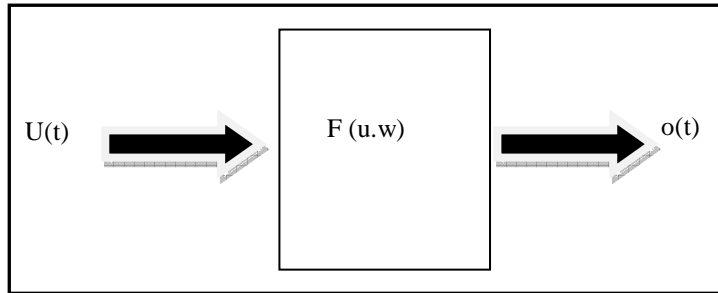
çıkar. Bu nedenle ağıdaki gizli katman sayısı, en iyi çıkışı verecek şekilde seçilmelidir.

### 5.3.5.Yapılarına göre yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları yapılarına göre iki başlık altında incelenebilir.

#### 5.3.5.1. İleri beslemeli ağlar

İleri beslemeli ağlarda nöronlar katmanlarda bulunur. Girişler bir katmandan sonraki katmana tek yönlü bağlantı ile gönderilir. Bağlantı tek yönlü olduğu için sonraki katmandan alınan çıkışların geriye giriş olarak dönüşü mümkün değildir. Aynı zamanda statik ağlar olarak da isimlendirilirler. Şekil 5.13 ' de ileri beslemeli ağların blok diyagramı görülmektedir.



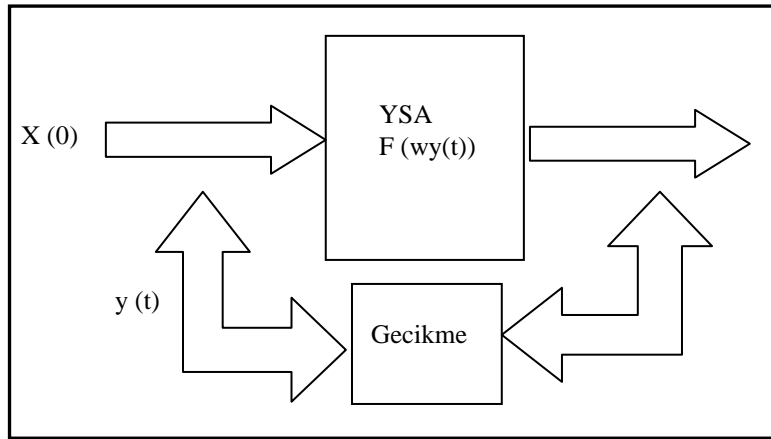
Şekil 5.13. İleri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı [63]

İleri beslemeli ağlarda ilk katmandaki sinirler için  $u$  girişleri ile  $w$  ağırlık değerlerinin bir işlevi hesaplanır ve bu sonuç sonraki tüm komsu sinirlere iletilir. İlk gizli katman gibi ikinci gizli katman sinirleri de önceki katmana tam bağlıdır. Buradaki sinirler de aynı şekilde girişler ve ağırlık değerlerinin işlevini alarak sonraki sinirlere gönderirler. Bu işlem arada tüm ara katmanlarda ve çıkış katmanında yapıldıktan sonra tamamlanır. Bu ağlara “Çok Katmanlı İleri Beslemeli Ağlar” da denir [57].

İleri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan örnekleri Çok Katmanlı Perseptron (MLP) ve Öğrenme Vektör Nicelendirmesi (LVQ) ağları verilebilir.

### 5.3.5. 2. Geri beslemeli ağlar

Dinamik ağlar olarak da adlandırılan bu tip ağlarda ileri beslemeli ağlardan farklı olarak, katmanlar arası bağlantılar tek yönlü değil çift yönlüdür (Şekil 5.14). Bu nedenle bu tip ağlarda gizli katmanların ya da çıkış katmanının çıkışları bir önceki katmana giriş olarak gönderilmektedir. Böylece bir andaki çıkış hem o andaki giriş hem de bir önceki giriş olarak kullanılır. Bu özelliklerinden dolayı bu tür ağlar tahmin uygulamaları için kullanılmaktadır. Ancak ağdaki bu geri dönüş işlemleri zaman kaybına sebep olabilmektedir. Bu nedenle de daha farklı geri dönüşümlü ağ modelleri geliştirilmektedir [57].



Şekil 5.14. Geri Beslemeli Sinir Ağlarının Basit Yapısı [63]

Geri beslemeli ağların yaygın olarak kullanılan çeşitleri başta Elman ağı olmak üzere, Hopfield, Uyarlanırlı Rezonans (ART), Öz örgütlemeli Harita (SOM) Ağları olarak sıralanabilir.

### 5.3.6. Yapay sinir ağlarında öğrenme

Yapay sinir ağlarında üç tip öğrenme şekli vardır. Danışmalı, takviyeli ve danışmansızdır. Danışmanlı öğrenmede doğru cevap sisteme verilir. Takviyeli öğrenmede yalnızca ağın elde ettiği değerlerin doğru olup olmadığı belirtilir. Danışmansız öğrenmede ise sistemin bulduğu sonuçlar hakkında bilgi vermez.

### 5.3.7.Eğitim ve test

Problemdeki toplam veriler eğitim ve test grupları olmak üzere ikiye ayrılır. Eğitimin amacı problemin YSA tarafından algılanmasıdır. YSA'nın ürettiği sonuçlar tolerans limitlerine ulaşması hedeflenir. Test için ayrılan ve grubun girdi parametrelili eğitim yoluyla oluşturulan YSA modeline verildiğinde, YSA çıktı değerlerini üretir.

Ağın eğitimin başlangıcında ağırlıklar ağ tarafından belirlenir. Eğitim esnasında hatalara bağlı olarak ağırlıklar güncellenir. Ağırlık matrisi buluncaya kadar devam eder. Elde edilen modeldeki ağırlık değerleri eğitime çok bağlı kaldığından genelleştirme yeteneği azdır. Bu şekilde YSA modelinde eğitim verilerinde hemen hemen hiç hata vermezken test grubundaki hatadan dolayı çok büyük hatalar vermektedir.

Sonuç olarak YSA ile oluşturulmuş modelin eğitim ve test gruplarındaki hata değerlerinin benzer olması o modelin iyi tasarlanmış uygun bir model olduğunu ifade edebilir. Optimum eğitim düzeyine ulaşıldıktan sonra eğitim grubunun hataları düşmeye başlarken, test grubunun hataları artmaya başlar. Buda aşırı eğitimin yada ezberlenmenin başladığının göstergesidir.

### 5.3.8. YSA' nın avantajları

YSA'nın sık kullanmasının pek çok sebebi vardır. Şöyle sırayabiliriz.

- YSA'lar girdi çıktı değerler arasında herhangi bir matematiksel açıklamaya gerek duymadan ilişki kurulabilir.
- Deney aletlerinin yetersizliğine rağmen YSA yinede iyi sonuçlar üretebilir.
- YSA karmaşık yapıdaki problemlere kolaylıkla adapte olabilmektedir

Genellikle matematiksel açıklamalar sınırlı sayıdaki deneysel gözlemlerden elde edilmiştir. Dolayısıyla yapıları gerçeği tahmin yetenekleri sınırlıdır. Buda YSA'nın ön plana çıkmasını sağlar.

YSA' lar pek çok sayıdaki farklı problemlere uygulanabilmesinin nedeni, transfer fonksiyonunun lineer olmaması özelliğidir. YSA yaklaşımı daha öncede tanımlanmış yapı gerektirmez. Çünkü problemin yapısına direkt adapte olabilmektedir.

## BÖLÜM 6. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Sismik deneylerin uygulanmadığı ya da sınırlı miktarda uygulandığı fakat özellikle SPT gibi diğer arazi deneylerinin yapıldığı durumlarda, sismik dalga hızlarını, özellikle geoteknik deprem mühendisliğinde önemli bir zemin parametresi olan kayma dalgası hızını, geliştirilen bu korelasyonlar yardımıyla belirlemek mümkün olmaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından, önceleri mikrotremörler ve daha sonra ise karşıt kuyu, aşağı kuyu ve benzeri sismik deneylerden bulunan sonuçlar kullanılarak, kayma dalgası hızı ile SPT N darbe adedi arasındaki ilişkiler değerlendirilerek çeşitli ampirik bağıntılar üretilmiştir. Aşağıda çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen bu ampirik bağıntılardan bazılarına yer verilmiştir.

Ohba & Toriumi (1970), Japonya'da Osaka yakınlarında alüvyon zeminlerde yapılan Rayleigh hızı ölçümlerine dayanan,

$$V_s = 84.N^{0.31} \quad (6.1)$$

bağıntısını sunmuşlardır. Bu korelasyon eşitliklerinde  $V_s$ , m/sn biriminde kayma dalgası hızını, N ise SPT darbe sayısını göstermektedir [20].

Ohta & Goto (1978), her birinde  $V_s$ , SPT-N, derinlik, jeolojik yaş ve zemin tipi ile ilgili bilgiler bulunan 300 set veriyi kullanarak, kayma dalgası hızının bu değişkenler ile ilişkisini incelemişlerdir. SPT-N değeri, derinlik, jeolojik yaş ve zemin cinsi ile kayma dalgası hızı arasında yaptıkları analiz sonucunda aşağıda verilen korelasyon eşitliğini tanımlamışlardır. Bu bağıntıda, çok sıkı zeminlerde SPT deneyinde, 30 cm nin 50 vuruşta geçilememesi durumunda SPT-N değerleri, 50 darbe için belirlenen giriş miktarından hesaplanmıştır [46].

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



Burada

E=1.0 (Halosen) F=1.00 (Kil); F=1.09 (İnce Kum)

E=1.3 (Pleistosen) F=1.07 (Orta Kum); F=1.14 (Kaba Kum)

F=1.15 (Kum-Çakıl); F=1.45 (Çakıl)

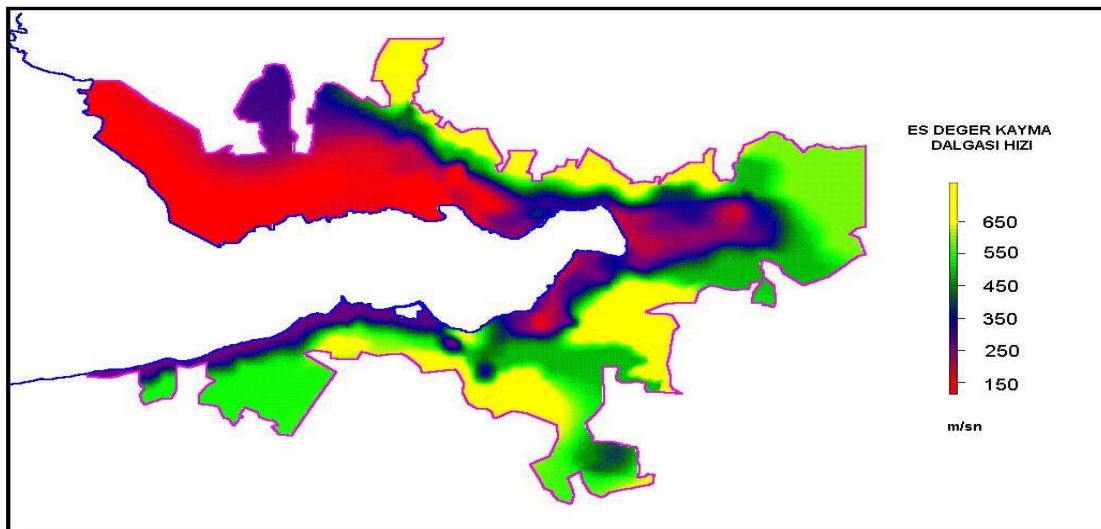
olarak alınması önerilmekte ve bağıntıda, F zemin cinsini, E jeolojik yaş faktörünü ve D ise metre cinsinden derinliği ifade etmektedir.

İyisan (1996), Erzincan'da yapılan bir grup sismik ve arazi penetrasyon (SPT) deneyi sonuçlarını değerlendirerek ve tüm zemin grubunu içeren 65 adet veri kullanarak yaptığı regresyon analizi sonucunda Vs ve N arasında korelasyon katsayısı (r) % 81 olan;

$$V_s = 51.5 \cdot N^{0.516} \quad (6.3)$$

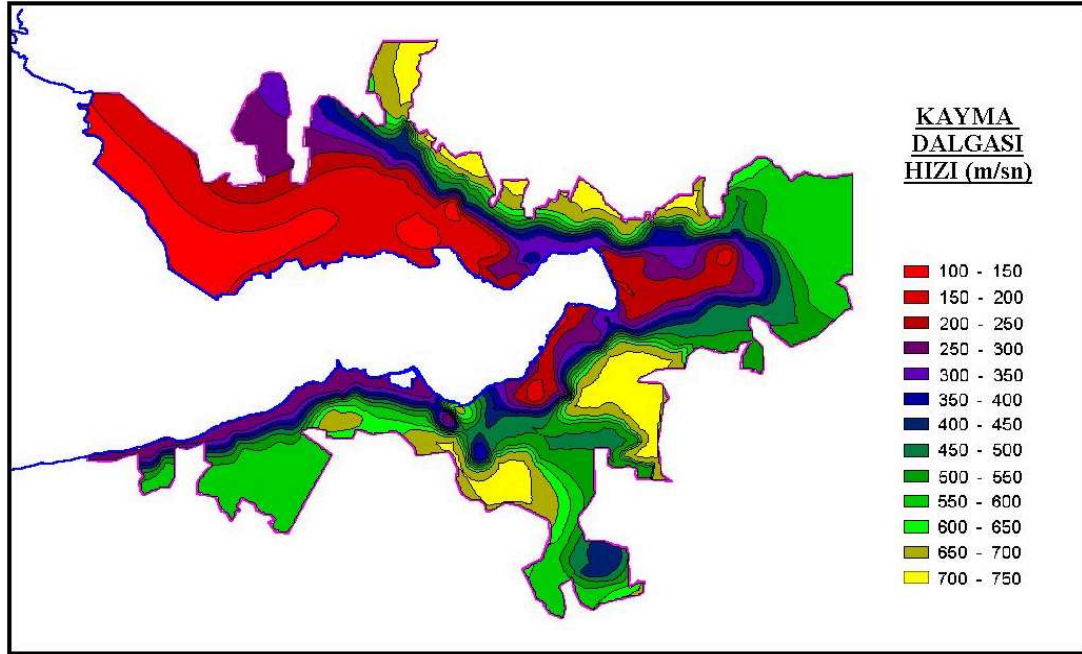
ampirik bağıntısını elde etmiştir. Bağıntının geliştirilmesinde, sismik dalga hız ölçümleri yeraltı su seviyesinin (YASS) üzerinde yapıldığından YASS'nin etkisi dikkate alınmamıştır [21].

Aşağıdaki şekilde ampirik bağıntı kullanılarak İzmir Büyük Şehir Belediye sınırları içinde bulunan eşdeğer kayma hızları Şekil 6.1' de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Hesaplanan eşdeğer kayma dalga hızı haritası [30]

Aşağıdaki Şekil 6.2 ise aynı bölge için eşdeğer kayma dalgası hızlarının değişimi farklı kayma dalgası hızlarına göre bölgelendirilerek çizilmiştir.



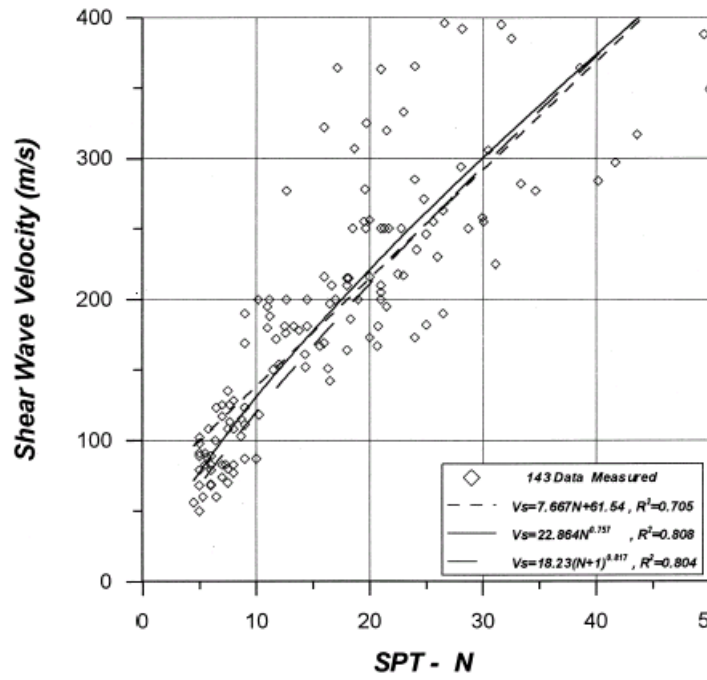
Şekil 6.2. Eşdeğer kayma dalgası hızlarının değişimi ile elde edilen harita [30]

Lien-Kwei Chien & Yan-Nam Oh (2000) Yun Lin bölgesinde 143 nokta ve 23 kuyudan toplanan bu veriler kullanarak elde edilen ilişki Şekil 6.3' te gösterilmiştir. Üç farklı Regrasyon analizi yaparak SPT-N değerleri ve  $V_s$  kayma dalga hızı arasında bir aşağıdaki gibi çıkartılmıştır [35].

$$V_s = 7,66 * N * 61,54 \quad R^2 = 0,71 \quad (6.4)$$

$$V_s = 22,86 * N^{0,757} \quad R^2 = 0,81 \quad (6.5)$$

$$V_s = 18,23 * (N+1)^{0,817} \quad R^2 = 0,80 \quad (6.6)$$



Şekil 6.3. SPT-N ve Kayma Dalgası hızı arasındaki ilişki

Ming-Hung Chen vd.. tarafından geliştirilen korelasyon düzeltilmiş SPT değerlerini ve hızın derinlikle değişimide göz önüne alınarak hesaplanmıştır [19]. Arazide elde edilen SPT değerleri;

$$N_1 = (10/\sigma^1)^{1/2} \cdot N_F \quad (6.7)$$

$N_F$  = Araziden elde edilen N değerleri

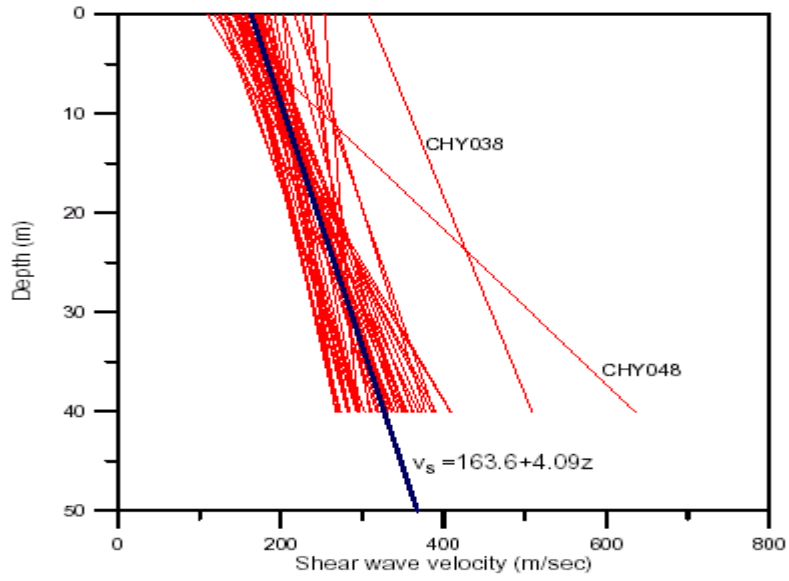
$\sigma^1$  = Efektif Gerilme

$N_1$  = Düzeltilmiş N değeri

Daha önce bu konuda önemli ampirik bağıntılar geliştirilmiş ancak  $V_s$  hızı araziden elde edilen SPT-N değerlerinden hesaplanmıştır. Geliştirilen ampirik formül;

$$V_s = c_1 + c_2 \cdot z + c_3 \cdot N_1 \quad (6.8)$$

İlk olarak Şekil 6.4 kullanılarak  $c_2$  katsayısı bulunmuştur. Burada  $c_2$  derinlik ile ilişkilendirilmiştir.



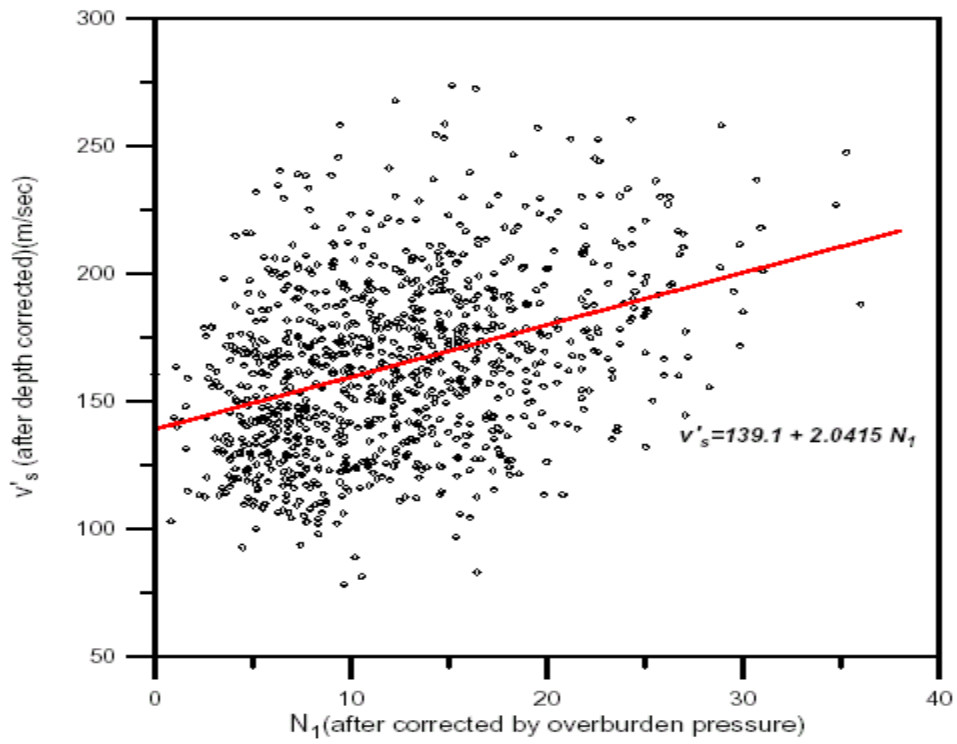
Şekil 6.4. Kayma dalgası için lineer regresyon dağılımı

$$V_s = c_1 + 0,409z + c_3 \cdot N_1 \quad (6.9)$$

$V_s$  ile  $N_1$  arasındaki diğer bir ilişki;

$$V_s' = V_s - 4,09z = c_1 + c_3 \cdot N_1 \quad (6.10)$$

olarak tanımlandı. Şekil 6.5 kullanılarak  $c_1$  ve  $c_3$  tanımlandı.



Şekil 6.5.  $N_1$  ve  $V_s$  arasındaki ilişki

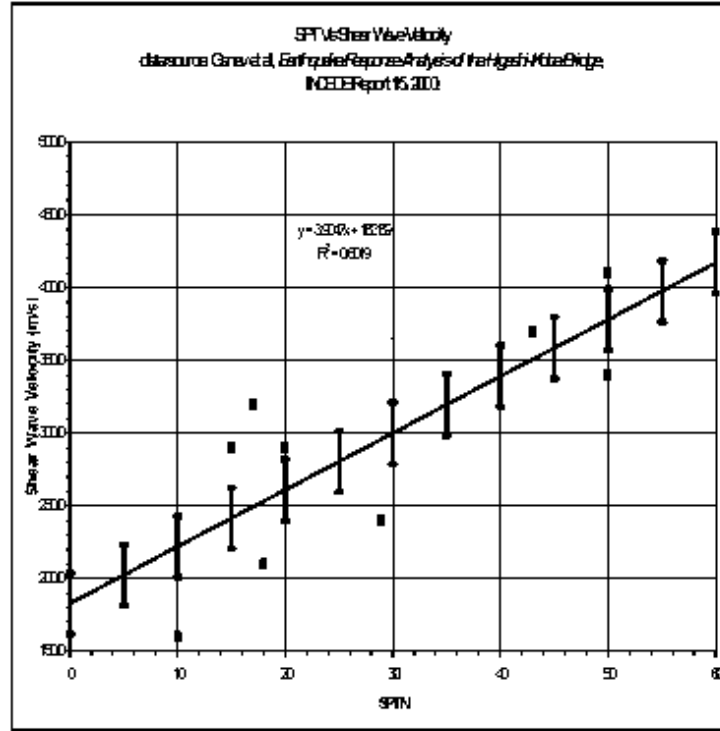
Böylece aşağıdaki formül tanımlanmış.

$$V_s = 139,1 + 4,09.z + 2,0415.N_1 \quad (6.11)$$

Mike Turnbull (2000) tarafından geliştirilen ampirik bağıntıda

$$V_s \approx 3,9.SPT+182,9 \text{ (ms}^{-1}\text{)} \quad (6.12)$$

olarak verilmiştir [9].



Şekil 6.6. Mike Turnbull tarafından oluşturulan SPT ve Kayma Dalgası arasındaki ilişki [9]

Andrus, v.d. (2000) Kaliforniya' dan 34, Tayvan' dan 13, Japonyadan 10 ve Kanada' dan 6 olmak üzere toplamda 63 veri çiftinden yararlanarak ince dane yüzdesi ve derinliğe bağlı olarak ampirik bağıntılar geliştirilmiştir. Bu bağıntıların geliştirilmesinde CPT, SPT ve Kayma dalgası hızları kullanılmıştır. Bu bağıntılar aşağıda tablo olarak verilmiştir. Zemin tipi, ince taneler, plastisite, uniformluk derecesi, depozit tipi, jeolojik yaşlar dikkate alınarak yapılmıştır [47].

Tablo 6.1. Holosen yaşlı, çimentolaşmamış kumlu zeminlere ait regresyon denklemleri

Regression Equation for Predicting $V_S$ or $V_{SI}^a$ (m/s)		Number of Data pairs	$R^2$	SDE (m/s)	Equation Number
FC < 10 %	$V_S = 66.7(N_{60})^{0.248} D^{0.138}$	25	0.823	14.8	1
FC = 10-35 %	$V_S = 72.3(N_{60})^{0.228} D^{0.152}$	10	0.951	8.4	2
FC = 0-40 %	$V_S = 72.9(N_{60})^{0.224} D^{0.130}$	39	0.788	15.5	3
FC < 10 %	$V_{SI} = 95.5(N_1)_{60}^{0.226}$	28	0.688	17.5	4
FC = 10-35 %	$V_{SI} = 103.4(N_1)_{60}^{0.205}$	13	0.878	11.7	5
FC = 0-40 %	$V_{SI} = 101.8(N_1)_{60}^{0.205}$	45	0.719	16.7	6

Burada ;

FC = İnce Dane Yüzdesi

$(N_1)_{60}$  = Düzeltilmiş SPT değeri

D = Derinlik

Andrus ve diğerleri (2003) tarafından SPT, CPT ve Kayma Dalgası hızı kullanarak sınıflama değerlendirmesinin karşılaştırmaları yapılmıştır. Burada kayma dalgası hızının, CPT ve SPT değerlerinin korelasyonları yapılmıştır. Andrus v.d. yaptığı çalışmanın temel amacı sınıflama değerlendirmesidir [48].

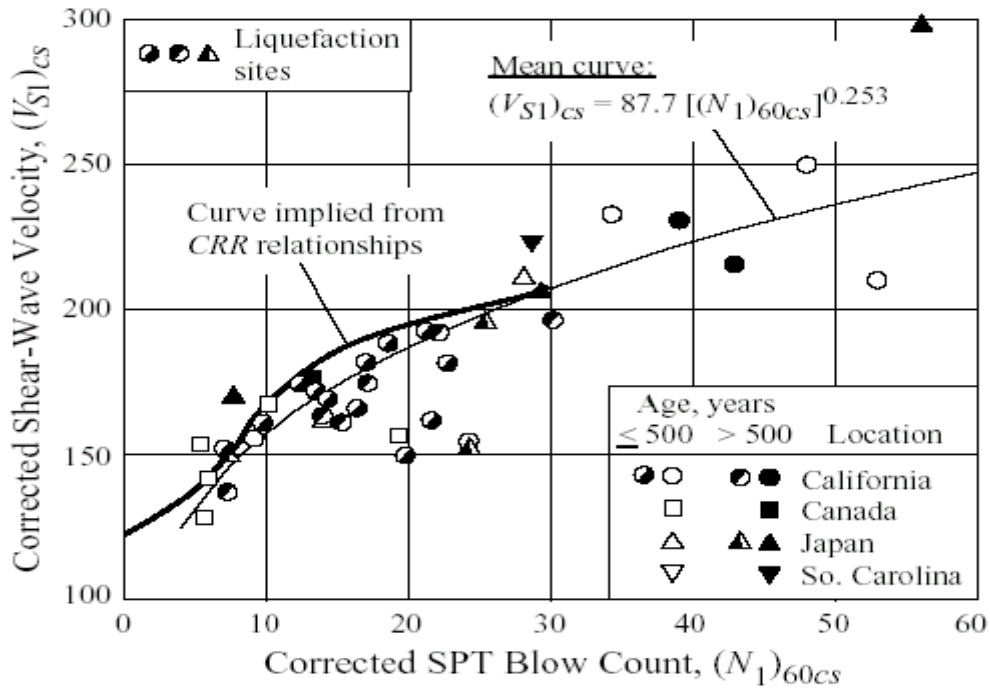
$$ASF = 0,0730\log(\text{age}) + 0,920 \quad (6.13)$$

olarak tanımlanmıştır.

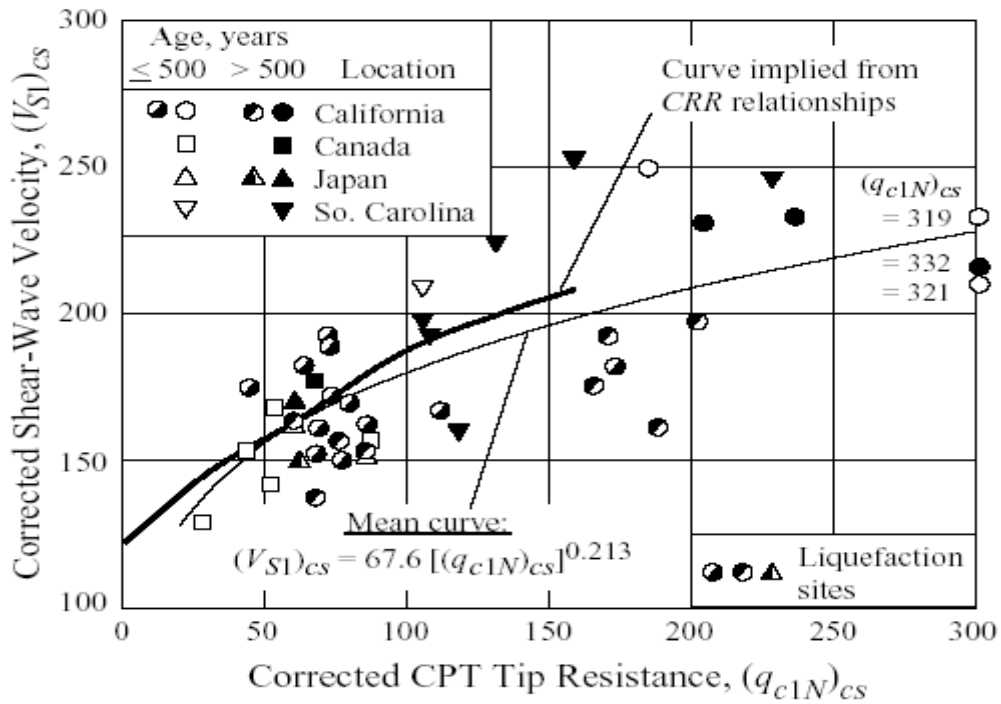
Tablo 6.2. Çeşitli kum depozitler için tanımlanan yaş skala faktörleri

Regression Equation and Geologic Unit	Age (years)	Mean Age Scaling Factor, <i>ASF</i>	Standard Deviation of <i>ASF</i> Values	Number of Data Pairs, <i>j</i>
$(V_{S1})_{CS} = 87.7[(N_1)_{60CS}]^{0.253} ASF$				
Holocene sands	< 100	1.00 (0.99) <sup>a</sup>	0.09 (0.08)	10 (12)
Holocene sands	100-500	1.08	0.01	2
Holocene sands	0.5-10 ka	1.09 (0.96)	0.10 (0.07)	6 (10)
Ten Mile Hill beds, Qts	200-240 ka	na <sup>b</sup> (1.27)	na (0.17)	na (5)
$(V_{S1})_{CS} = 67.6[(q_{c1N})_{CS}]^{0.213} ASF$				
Holocene sands	< 100	1.00 (1.00)	0.11 (0.10)	8 (12)
Holocene sands	100-500	1.04	0.04	2
Holocene sands	0.5-10 ka	1.08 (0.90)	0.11 (0.07)	12 (9)
Merritt Sand	6-71 ka	1.30	0.21	9
Wando Formation, Qws	70-130 ka	1.38	0.17	12
Ten Mile Hill beds, Qts	200-240 ka	1.29 (1.05)	0.20 (0.08)	4 (5)
Dry Branch Formation	34-36 Ma	1.42	0.07	8
Taiwan deltaic sands	unknown	1.26 (1.16)	0.05 (0.08)	15 (3)
$(N_1)_{60CS} = 0.488[(q_{c1N})_{CS}]^{0.779} ASF$				
Holocene sands	< 100	0.98 (1.08)	0.38 (0.32)	8 (12)
Holocene sands	100-500	0.86	0.10	2
Holocene sands	0.5-10 ka	1.04 (0.83)	0.28 (0.35)	5 (9)
Ten Mile Hill beds, Qts	200-240 ka	na (0.51)	na (0.30)	(5)





Şekil 6.7. Çimentolanmamış Holosen kumlar için  $(N_1)_{60cs}$  VE  $(V_{S1})_{cs}$  arasındaki ilişki



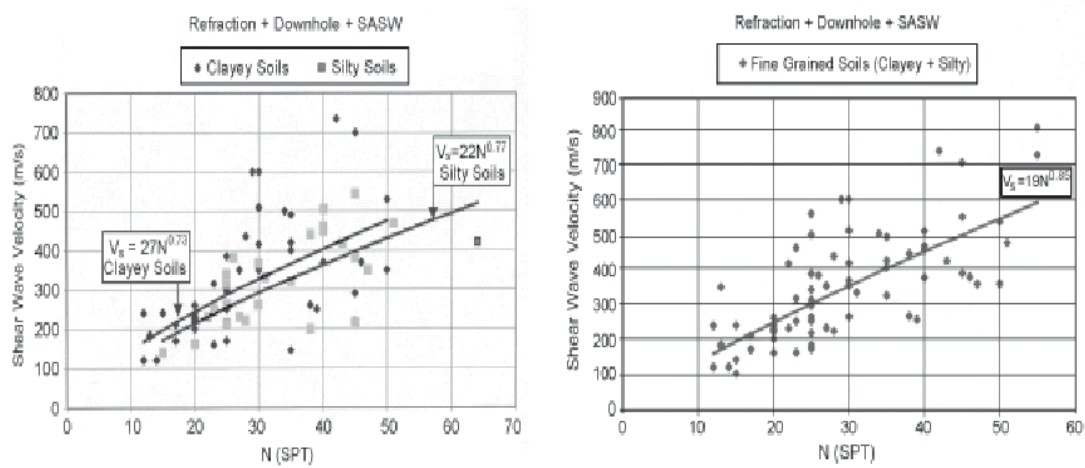
Şekil 6.8. Çimentolanmamış Holosen kumlar için  $(V_{S1})_{cs}$  ve  $(q_{c1N})_{cs}$  arasındaki ilişki

Jafari v.d. (2002)Tahran' ın güneyinde yapılan çalışmada yeni bir  $V_s$  ve SPT değerleri arasında yeni bir korelasyon geliştirmiştir [28]. Buna göre;

$$\text{Killi zeminlerde;} \quad V_s = 27.N^{0,73} \quad (6.14)$$

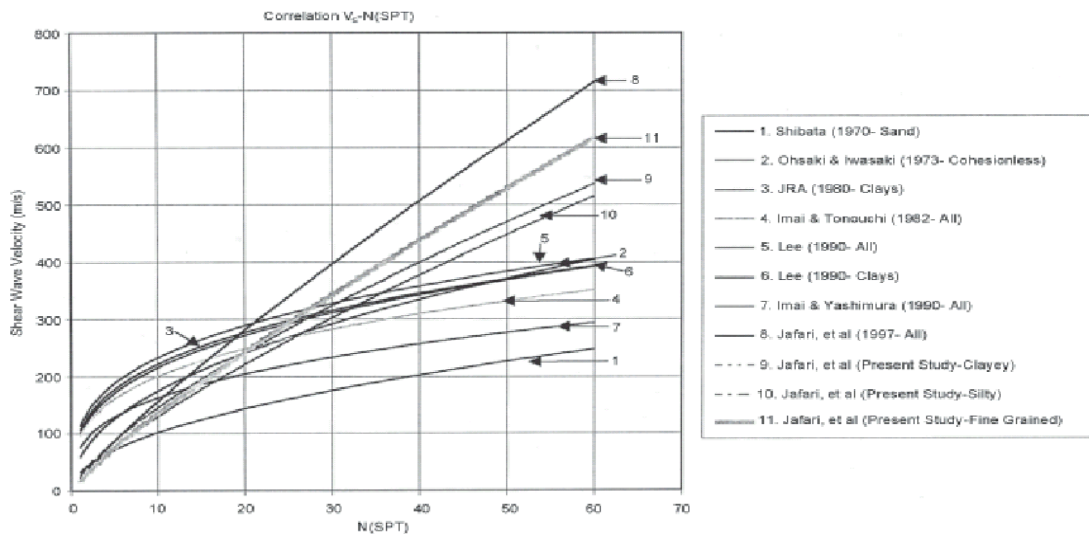
$$\text{Siltli zeminlerde;} \quad V_s = 22.N^{0,77} \quad (6.15)$$

$$\text{Killi ve Siltli zeminlerde;} \quad V_s = 19.N^{0,85} \quad (6.16)$$



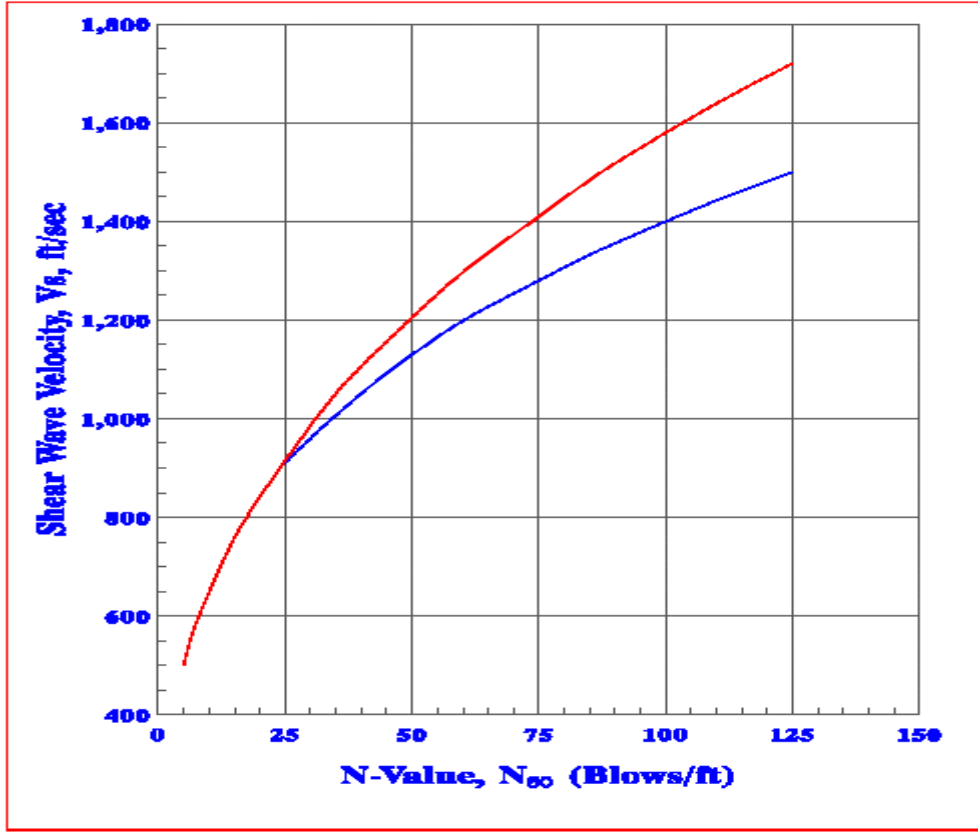
Şekil 6.9. Killi ve Siltli zeminler için ve Kil + Siltli ( Fine Grain Soils ) zeminler için  $V_s$  ve N(SPT) arasındaki korelasyon

Ayrıca Jafari v.d.  $V_s$  ve N(SPT) için önerilen korelasyonlar arasındaki ilişkileri bir şekil altında toplamıştır [28].



Şekil 6.10. SPT N ve  $V_s$  için önerilen korelasyonlar arasındaki ilişkiler

Amerika Birleşik Devletleri savunma bakanlığının zemin dinamiği ve özel tasarım yaklaşımı yayınında  $V_s$  ile SPT  $N$  değeri için ve  $N_{60}$  değerleri için aşağıdaki şekil tanımlanmıştır.



Şekil 6.11. Kayma Dalgası hızının  $N$  değerleri ve  $N_{60}$  değerleri arasındaki ilişki

Aşağıda görülen Ejge soft firmasının yapmış olduğu Kayma dalgası hızının amprik bağıntılarla hesaplayan bir programın menüsüdür. Bu programda çeşitli araştırmacılara ait amprik formüller kullanarak girilen SPTN değerine göre tahmini olarak Kayma dalgası hızını otomatik olarak hesaplamaktadır. Bu programda çeşitli araştırmacılara ait amprik formüller mevcuttur. Programda zemin tipi Jeolojik durumu, yaşı boşluk oranı gerilme spesifik gravite değeri satürasyon ve diğer faktörler tanımlanarak kayma dalgası hızı kestirilmektedir [50] .

The screenshot displays the 'Shear Wave Velocity' software interface. The window title is 'Shear Wave Velocity'. The menu bar includes 'File' and 'Help'. A license notice states 'This software is licensed to: Mete Dner'. The 'Ohta - Goto Method' is selected. The input fields are: Soil type: Medium Sand, Geological epoch: Alluvium, Factors to include: All factors, Depth in meters: 10, and SPT N value: 25. The calculated 'Estimated shear wave velocity is: 201.1 m/sec'. The 'Hardin - Drnevich Method' is also visible with input fields for Void ratio, e: 0.8, Confining pressure: 100 kPa, and Specif. gravity, Gs: 2.67. The 'Saturated' radio button is selected, and the calculated 'Estimated shear wave velocity is: 209.0 m/sec'. The 'EJGE soft' logo is in the top right corner.

Şekil 6.12. Shear Wave Velocity Programı

Bugüne kadar birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş SPT-Vs ampirik bağıntıları aşağıda tablo olarak verilmiştir. Yapılan bu çalışmaların yıllara göre değişimine bakıldığında bağıntılarda belirgin değişimler gözlenmemiştir. Asıl önemli olan ise bu bağıntıların jeolojik özellikleri bilinen belirli alanda yapılmış olmasıdır. Zira geliştirilen bağıntıların araştırma yapılan sahanın dışında da aynı sonuçları vermesi beklenmemelidir.

Tablo 6. 3. Vs –SPTN arasında bulunan bazı korelasyonlar

Yazar	Z. Cinsi	Vs(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	$V_s = 82N^{0,39}$	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)	Çakıllı	$V_s = 94 N^{0,34}$	206	260	299
Ohsaki & Iwasaki (1973)	Kohezyon	$V_s = 59 N^{0,47}$	174	241	292

## **BÖLÜM 7. UYGULAMALAR**

Kayma dalga hızı ile SPT N arasındaki ilişki için; basit regresyon, çoklu regresyon ve yapay sinir ağları uygulanmıştır. SPT N, derinlik, zemin tipi, jeolojik yaş, formasyon, yer altı suyu verileri kullanılarak ise çoklu regresyon ve yapay sinir ağları uygulanmıştır.

### **7.1. Basit Regresyon Analizi**

Avcılar bölgesi için 544 tane SPT N ve Vs veri çifti, Bakırköy bölgesi için ise; 1411 tane SPT N ve Vs veri çifti kullanılarak basit regresyona tabi tutulmuş ve arasındaki ilişki bulunmuştur.

Çalışma alanlarında 30 m 'ye kadar yapılan sondajlarda; 21m' ye kadar 1.5 m aralıklarla 21 m 'den 30 m' ye kadar ise 3 m aralıklarla elde edilen SPT N değerleri ile sismik kırılmadan elde edilen Vs değerleri arasındaki ilişkiler doğrusal, logoritmik, polinom, üs ve üstel olarak incelenmiş ve aşağıda tablo olarak sunulmuştur.

Tablo 7.1. Avcılar bölgesindeki basit regresyon analizi sonuçları

Derinlik	Doğrusal		Logaritmik		Polinom		Üs		Üstel	
	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>
1.5	$-0.8717x + 184.61$	0.1725	$-22.1221\ln(x) + 229.34$	0.1594	$-0.0032x^2 - 0.6693x + 182.35$	0.1726	$245.74x^{\text{üst}0.1449}$	0.1698	$182.85e^{\text{üst} - 0.0056x}$	0.1782
3	$-0.00233x + 163.88$	9E-07	$2.8046\ln(x) + 154.89$	0.0021	$0.0764x^2 + 4.6869x + 112.88$	0.0922	$154.35x^{\text{üst}0.0094}$	0.0007	$160.23e^{\text{üst} - 0.0003x}$	0.0003
4.5	$0.1233x + 175.91$	0.0026	$8.5997\ln(x) + 151.63$	0.0196	$-0.1215x^2 + 7.6393x + 94.02$	0.2082	$149.09x^{\text{üst}0.0493}$	0.0208	$170.85e^{\text{üst}0.0008x}$	0.0035
6	$-0.11527x + 200.28$	0.0025	$-0.3447\ln(x) + 196.51$	1E-05	$-0.0401x^2 + 2.5099x + 162.48$	0.0223	$187.21x^{\text{üst}0.0067}$	0.0002	$194.72e^{\text{üst}0.0005x}$	0.001
7.5	$-0.4446x + 226.19$	0.0281	$-16.341\ln(x) + 267.2$	0.0417	$0.0621x^2 - 4.6443x + 285.04$	0.0675	$266.82x^{\text{üst}0.0728}$	0.0358	$221.85e^{\text{üst}0.0019x}$	0.0229
9	$-0.3542x + 236.75$	0.0164	$-9.1838\ln(x) + 255.95$	0.0111	$-0.0372x^2 + 2.2072x + 199.29$	0.0277	$259.74x^{\text{üst}0.0459}$	0.0136	$235.71e^{\text{üst}0.0017x}$	0.0195
10.5	$-0.3912x + 249.09$	0.0174	$-12.8931\ln(x) + 280.24$	0.0185	$0.0011x^2 - 0.4659x + 250.22$	0.0174	$283.72x^{\text{üst}0.0572}$	0.0198	$247.23e^{\text{üst}0.0017x}$	0.0187
12	$-0.1437x + 246.89$	0.0024	$-9.5941\ln(x) + 275.58$	0.0113	$0.1208x^2 - 8.3499x + 365.69$	0.1486	$275.6x^{\text{üst}0.0405}$	0.0115	$244.4e^{\text{üst}0.0006x}$	0.0027
13.5	$0.2722x + 239.58$	0.0071	$3.9582\ln(x) + 235.99$	0.0016	$0.0944x^2 - 6.1644x + 333.29$	0.0987	$234.23x^{\text{üst}0.015}$	0.0015	$237.18e^{\text{üst}0.0011x}$	0.0067
15	$-0.2182x + 268.14$	0.003	$-3.0442\ln(x) + 270.25$	0.0006	$-0.045x^2 + 2.9907x + 217.22$	0.0166	$264.6x^{\text{üst}0.0091}$	0.0003	$263.28e^{\text{üst}0.0007x}$	0.0019
16.5	$0.026x + 266.87$	5E-05	$4.7275\ln(x) + 230.56$	0.0013	$-0.0855x^2 + 6.2384x + 165.55$	0.0362	$251.99x^{\text{üst}0.0136}$	0.0008	$265.11e^{\text{üst} - 2E-05x}$	1E-06
18	$1.0703x + 231.47$	0.0629	$38.357\ln(x) + 134.54$	0.0699	$-0.0487x^2 + 4.6546x + 171.96$	0.0741	$157.16x^{\text{üst}0.1495}$	0.0784	$228.61e^{\text{üst}0.0042x}$	0.073
19.5	$-0.387x + 303.69$	0.0045	$-13.9561\ln(x) + 339.13$	0.0039	$-0.0325x^2 + 2.2106x + 234.55$	0.0055	$331.06x^{\text{üst}0.0412}$	0.0027	$298.4e^{\text{üst}0.0012x}$	0.0032
21	$-1.2397x + 350.69$	0.0659	$-47.9361\ln(x) + 476.24$	0.0821	$0.0821x^2 - 7.4545x + 457.73$	0.0949	$514.2x^{\text{üst}0.1495}$	0.0711	$347.38e^{\text{üst}0.0038x}$	0.0566
24	$-0.3123x + 318.58$	0.0034	$-3.3536\ln(x) + 317.05$	0.0003	$-0.2081x^2 + 15.273x + 54.661$	0.0967	$304.71x^{\text{üst}0.0029}$	2E-05	$312.34e^{\text{üst}0.0008x}$	0.0021
27	$-0.7415x + 349.5$	0.0315	$-27.6521\ln(x) + 420.61$	0.0363	$0.0244x^2 - 2.5746x + 380.74$	0.034	$431.19x^{\text{üst}0.0843}$	0.0353	$347.07e^{\text{üst}0.0023x}$	0.0304
30	$-0.292x + 346$	0.0042	$-7.7898\ln(x) + 362.36$	0.0022	$-0.1162x^2 + 8.5772x + 190.46$	0.0347	$370.16x^{\text{üst}0.0299}$	0.0039	$346.47e^{\text{üst}0.001x}$	0.0063

(Y = Vs (Kayma Dalga Hızı) X = SPTN)

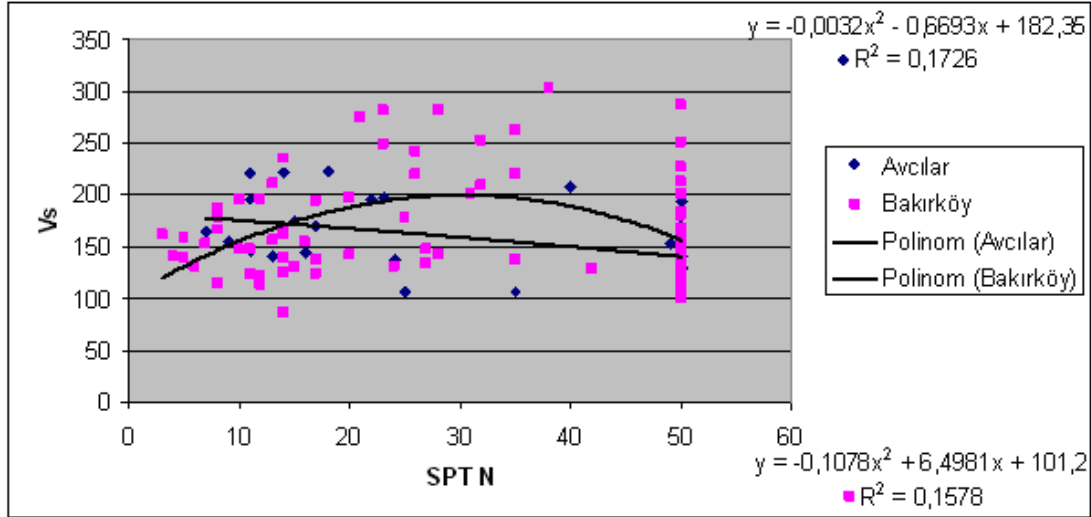
Tablo 7.2. Bakırköy bölgesindeki basit regresyon analizi sonuçları

Derinlik	Doğrusal		Logaritmik		Polinom		Üs		Üstel	
	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>	Y	R <sup>2</sup>
1.5	0,0283x + 166,2	0,0004	5,8664ln(x) + 148,65	0,0081	-0,1078x <sup>2</sup> + 6,4981x + 101,2	0,1578	149,71x <sup>0,0224</sup>	0,0038	161,52e <sup>0,0002x</sup>	0,0002
3	1,1442x + 196,42	0,0624	26,5561ln(x) + 146,71	0,0702	-0,0609x <sup>2</sup> + 4,8606x + 156,21	0,0877	141,11x <sup>0,1372</sup>	0,0911	183,04e <sup>0,0058x</sup>	0,0784
4.5	1,1636x + 229,44	0,0811	23,061ln(x) + 194,1	0,0742	0,0272x <sup>2</sup> - 0,498x + 246,62	0,0877	187,28x <sup>0,1007</sup>	0,0809	219,9e <sup>0,0049x</sup>	0,0828
6	1,7923x + 215,42	0,1977	36,5331ln(x) + 158,87	0,2	-0,0126x <sup>2</sup> + 2,5611x + 207,7	0,1991	163,97x <sup>0,1527</sup>	0,2282	210,38e <sup>0,0072x</sup>	0,2073
7.5	2,2294x + 207,26	0,2728	51,2151ln(x) + 114,46	0,26	-0,0151x <sup>2</sup> + 3,2015x + 195,5	0,2746	144,01x <sup>0,1972</sup>	0,2744	208,43e <sup>0,0083x</sup>	0,2684
9	2,1207x + 222,18	0,1893	48,5851ln(x) + 135,77	0,1964	-0,0594x <sup>2</sup> + 5,9743x + 175,89	0,2114	153,54x <sup>0,1899</sup>	0,2523	216,71e <sup>0,0081x</sup>	0,2342
10.5	1,8962x + 247,25	0,151	48,2461ln(x) + 151,5	0,1912	-0,083x <sup>2</sup> + 7,2748x + 181,52	0,2003	165,82x <sup>0,1816</sup>	0,2458	239,58e <sup>0,007x</sup>	0,1847
12	1,9147x + 251,78	0,1369	54,7281ln(x) + 132,12	0,1458	-0,047x <sup>2</sup> + 5,1232x + 207,43	0,1469	160,01x <sup>0,195</sup>	0,1767	244,7e <sup>0,0069x</sup>	0,1676
13.5	1,9787x + 258,26	0,1167	50,81ln(x) + 156,04	0,1082	-0,0207x <sup>2</sup> + 3,4165x + 237,26	0,1187	178,45x <sup>0,1731</sup>	0,1261	252,68e <sup>0,0068x</sup>	0,1365
15	2,3078x + 239,93	0,1403	71,9161ln(x) + 82,743	0,1776	-0,0935x <sup>2</sup> + 9,0481x + 144,32	0,1758	127,97x <sup>0,2657</sup>	0,2547	232,19e <sup>0,0089x</sup>	0,1874
16.5	1,9111x + 276,9	0,1189	64,3881ln(x) + 120,47	0,1609	-0,1042x <sup>2</sup> + 9,2218x + 169,35	0,1603	157,61x <sup>0,2183</sup>	0,203	271,19e <sup>0,0062x</sup>	0,1377
18	1,9795x + 281,09	0,1047	69,9581ln(x) + 106,47	0,15	-0,1325x <sup>2</sup> + 11,476x + 134,95	0,1678	149,76x <sup>0,2368</sup>	0,1972	273,6e <sup>0,0065x</sup>	0,1277
19.5	2,3011x + 271,56	0,1463	72,7181ln(x) + 101,68	0,203	-0,1295x <sup>2</sup> + 11,4x + 137,66	0,2248	147,81x <sup>0,2445</sup>	0,2704	265,22e <sup>0,0074x</sup>	0,1805
21	2,8525x + 250,08	0,1692	89,1351ln(x) + 45,16	0,2178	-0,1229x <sup>2</sup> + 11,481x + 122,8	0,2318	121,09x <sup>0,2993</sup>	0,2998	245,64e <sup>0,0093x</sup>	0,2204
24	2,4804x + 273,55	0,1293	88,6681ln(x) + 50,787	0,1896	-0,207x <sup>2</sup> + 17,177x + 52,894	0,2637	123,04x <sup>0,2991</sup>	0,2745	261,52e <sup>0,0083x</sup>	0,1849
27	0,5697x + 371,56	0,0052	22,9911ln(x) + 310,1	0,0058	-0,0457x <sup>2</sup> + 4,2131x + 303,21	0,0067	320,02x <sup>0,0553</sup>	0,0045	371,04e <sup>0,0014x</sup>	0,0041
30	0,2442x + 397,56	0,0005	9,39141ln(x) + 372,99	0,0004	0,1711x <sup>2</sup> - 14,245x + 694,45	0,0028	387,54x <sup>0,0123</sup>	0,0001	399,76e <sup>0,0003x</sup>	0,0002

(Y = Vs (Kayma Dalga Hızı) X = SPTN)

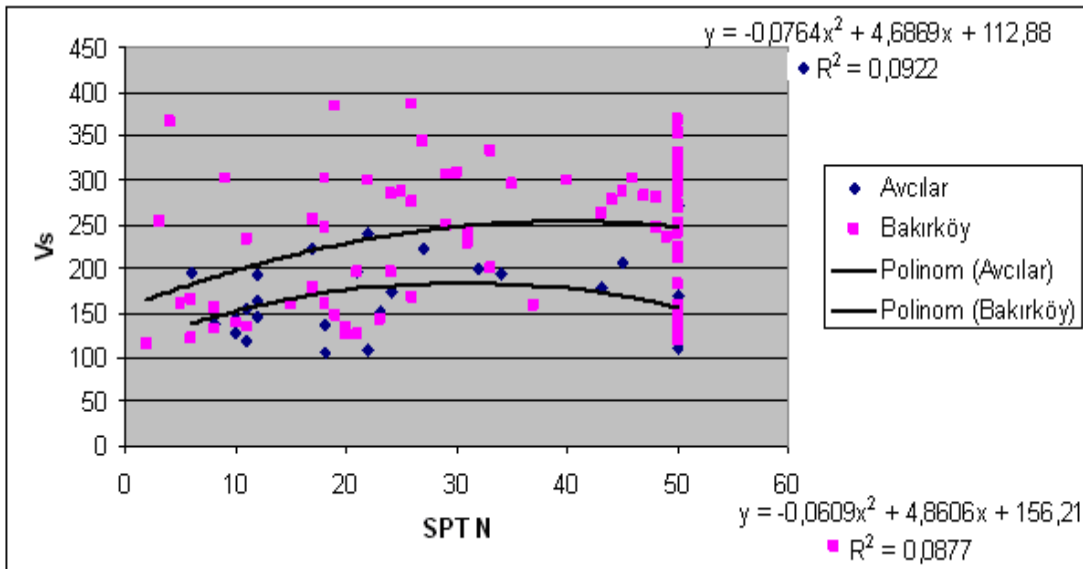


Çalışma alanlarındaki ikili korelasyonlarda en güzel sonuçları polinom verdiği için SPT N ve Vs arasındaki ilişkinin incelenmesinde o tercih edilmiştir.



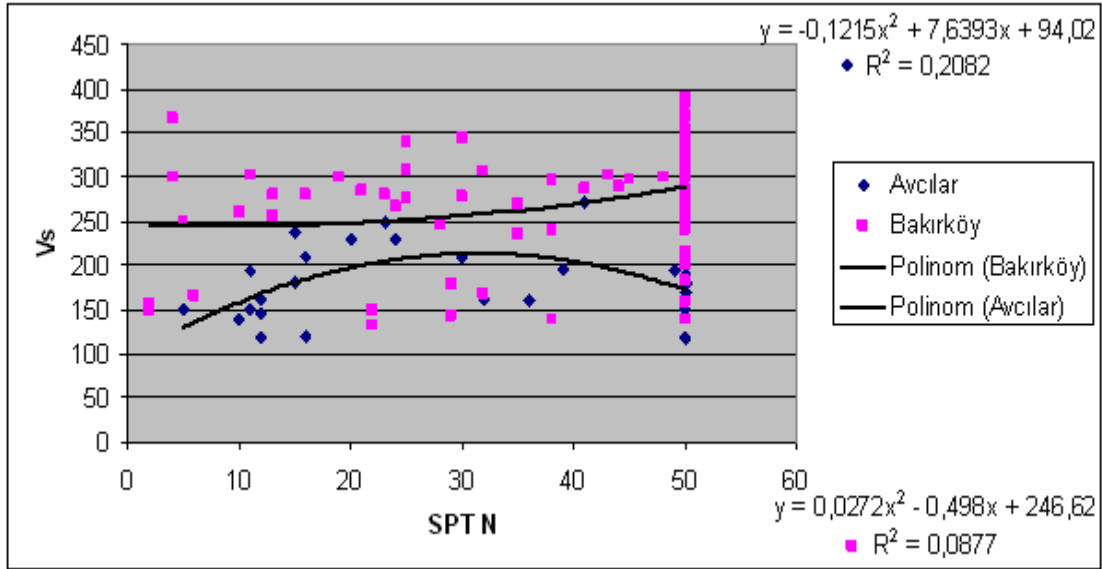
Şekil 7.1. Avcılar ve Bakırköy'ün 1.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.1 'de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy'ün 1.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar'ın  $y = -0,0032x^2 - 0,6693x + 182,35$  Bakırköy'ün  $y = -0,1078x^2 + 6,4981x + 101,2$  dir. Korelasyon analizleri ise ; Avcılar'ın  $R^2 = 0,1726$  Bakırköy'ün  $R^2 = 0,1578$  dir.



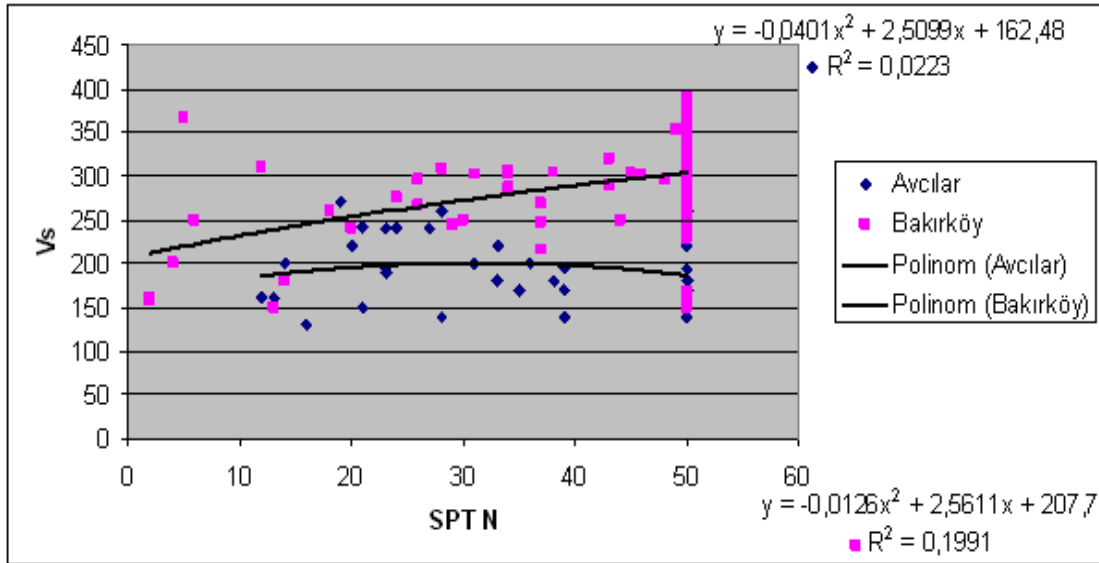
Şekil 7.2. Avcılar ve Bakırköy'ün 3 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.2 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 3 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = - 0,0764x^2 + 4,6869 x + 112,88$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,0609 x^2 + 4,8606 x + 156,21$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0922$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,0877$  dir.



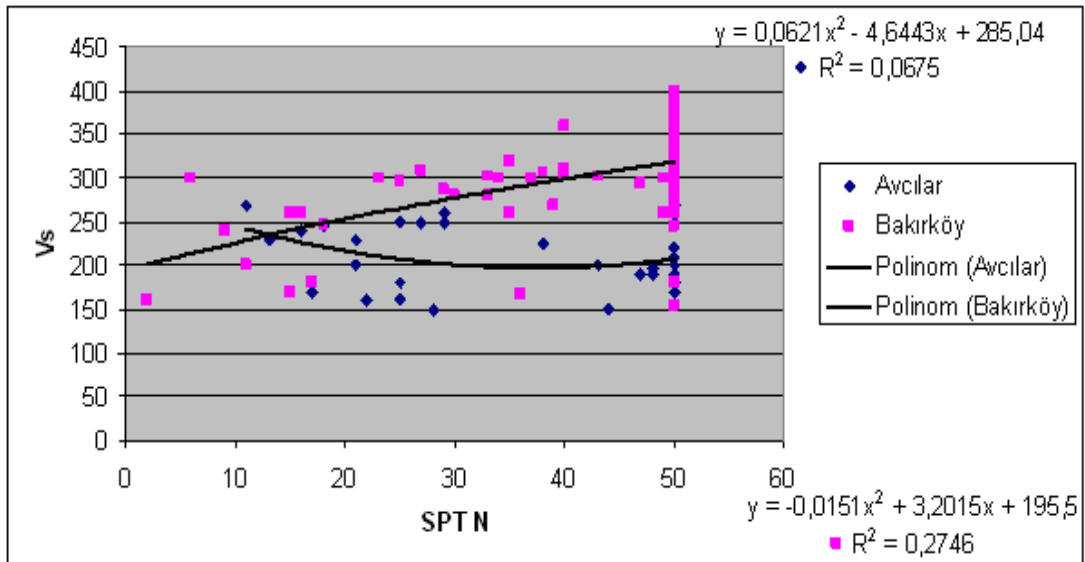
Şekil 7.3. Avcılar ve Bakırköy' ün 4.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.3 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 4.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = - 0,1215 x^2 + 7,6393 x + 94,02$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,0272 x^2 - 0,498 x + 246,62$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,2082$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,0877$  dir.



Şekil 7.4. Avcılar ve Bakırköy'ün 6 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

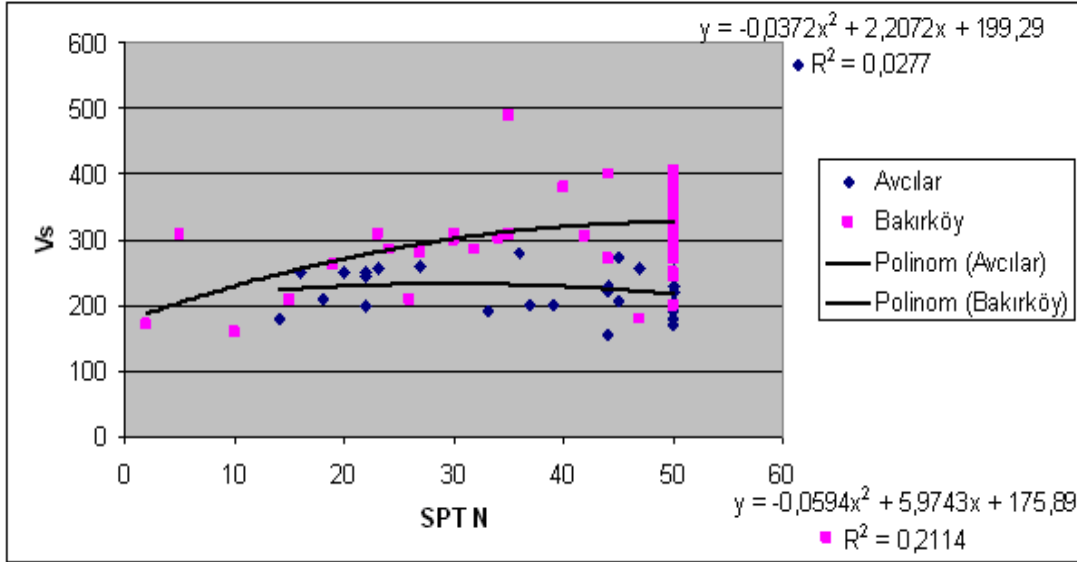
Şekil 7.4 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 6 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = - 0,0401 x^2 + 2,5099 x + 162,48$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,0126 x^2 + 2,5611 x + 207,7$  dir. Korelasyon analizleri ise ; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0223$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1991$  dir.



Şekil 7.5. Avcılar ve Bakırköy'ün 7.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

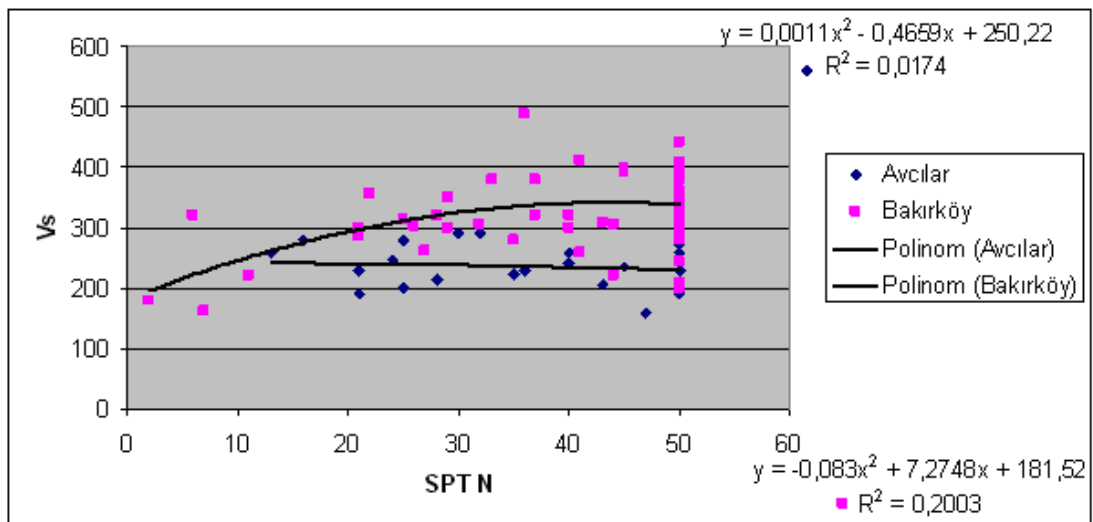
Şekil 7.5 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 7.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,0621 x^2 - 4,6443 x + 285,04$

Bakırköy 'ün  $y = -0,0151 x^2 + 3,2015 x + 195,5$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0675$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2746$  dir.



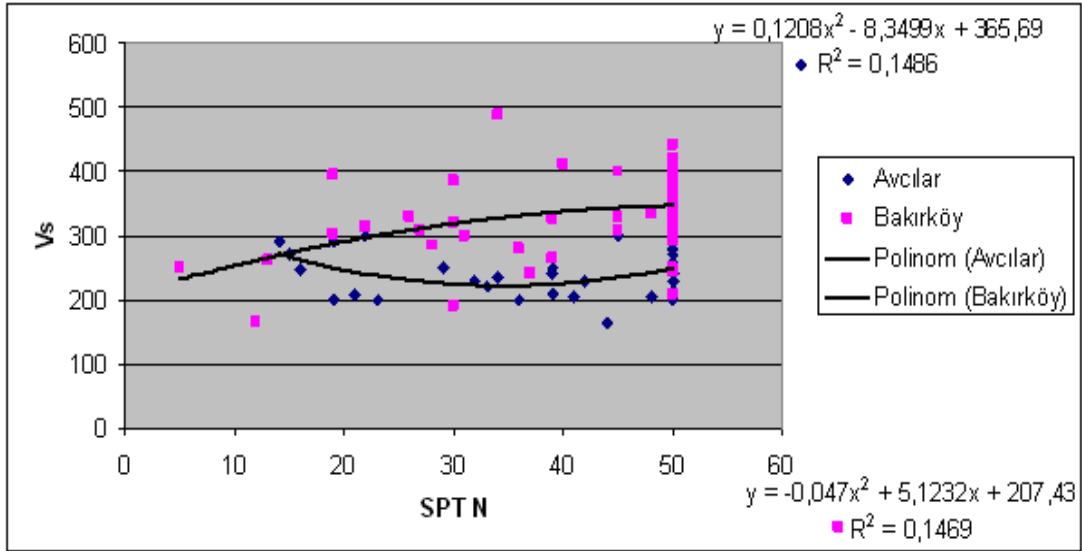
Şekil 7.6. Avcılar ve Bakırköy' ün 9 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.6 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 9 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,0372 x^2 + 2,2072 x + 199,29$  Bakırköy 'ün  $y = -0,0594 x^2 + 5,9743 x + 175,89$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0277$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2114$  dir.



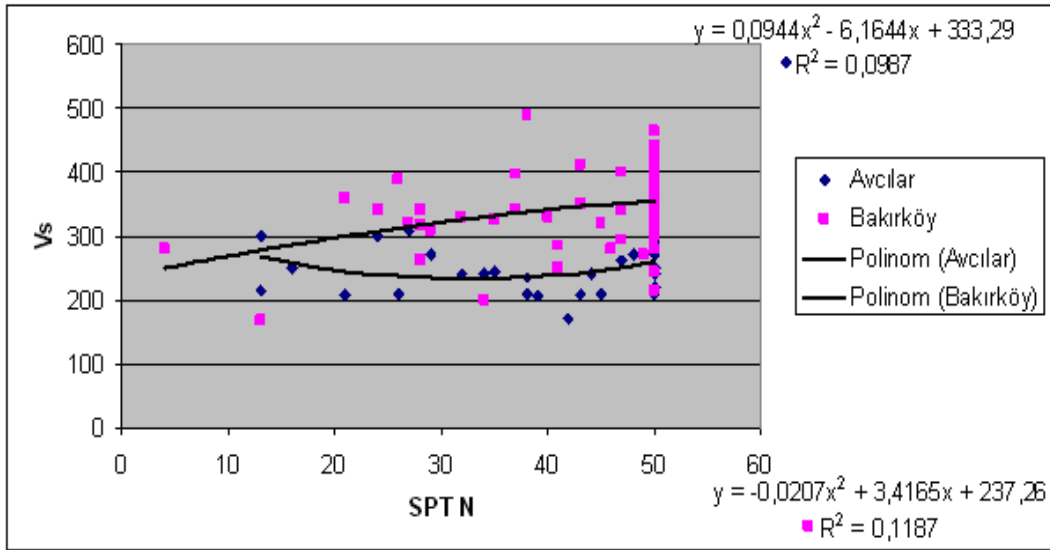
Şekil 7.7. Avcılar ve Bakırköy' ün 10.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.7 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 10.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,0011 x^2 - 0,4659 x + 250,22$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,083 x^2 + 7,2748 x + 181,52$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0174$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2003$  dir.



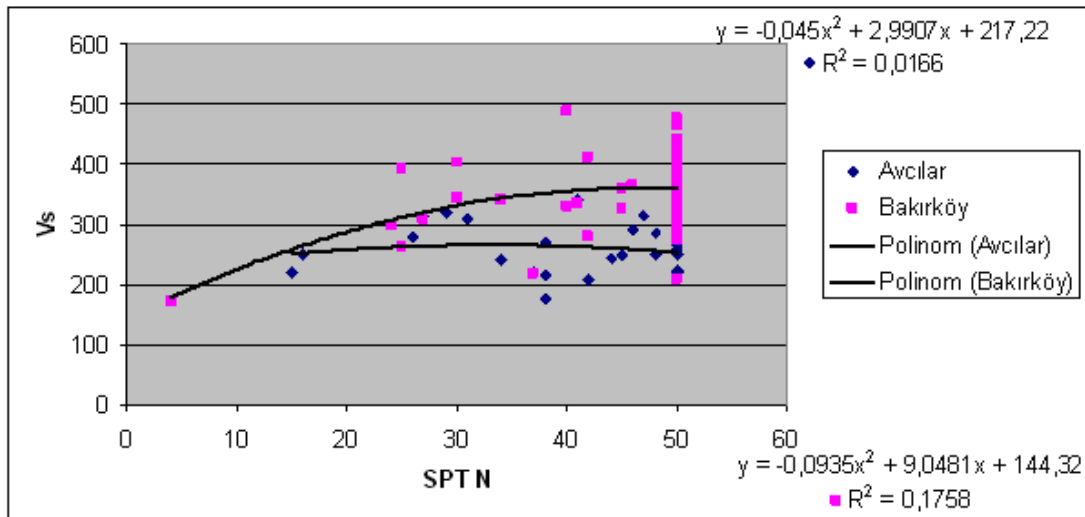
Şekil 7.8. Avcılar ve Bakırköy' ün 12 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.8 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 12 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,1208 x^2 - 8,3499 x + 365,69$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,047 x^2 + 5,1232 x + 207,43$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,1486$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1469$  dir.



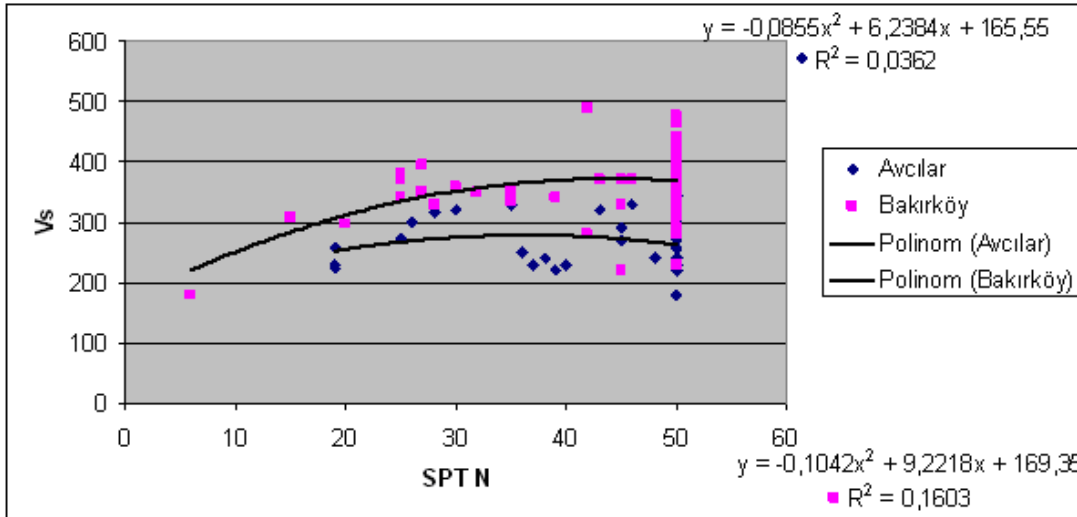
Şekil 7.9. Avcılar ve Bakırköy'ün 13.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişki

Şekil 7.9 ' da görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 13,5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,0944 x^2 - 6,1644 x + 333,29$  Bakırköy 'ün  $y = -0,0207 x^2 + 3,4165 x + 237,26$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0987$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1187$  dir.



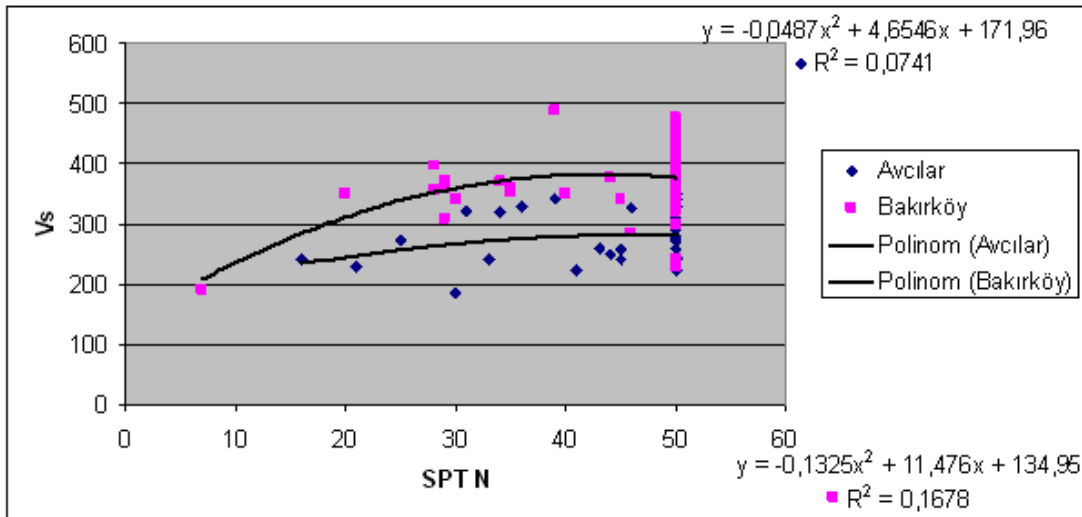
Şekil 7.10. Avcılar ve Bakırköy'ün 15 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişki

Şekil 7.10 ' da görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 15 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,045 x^2 + 2,9907 x + 217,22$  Bakırköy 'ün  $y = -0,0935 x^2 + 9,0481 x + 144,32$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0166$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1758$  dir.



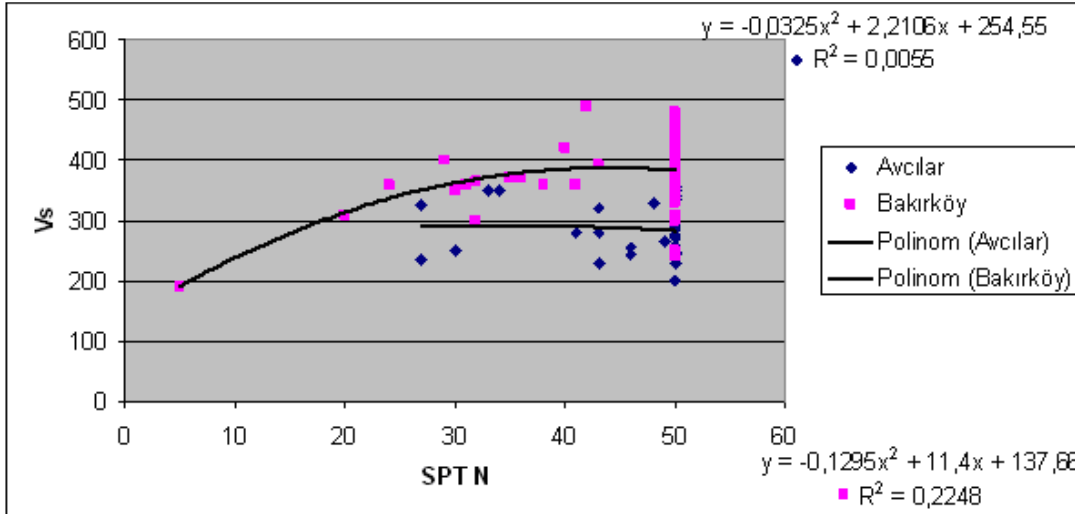
Şekil 7.11. Avcılar ve Bakırköy'ün 16.5 m deki SPT N - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.11 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 16.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,0855 x^2 + 6,2384 x + 165,55$  Bakırköy 'ün  $y = -0,1042 x^2 + 9,2218 x + 169,35$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0362$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1603$  dir



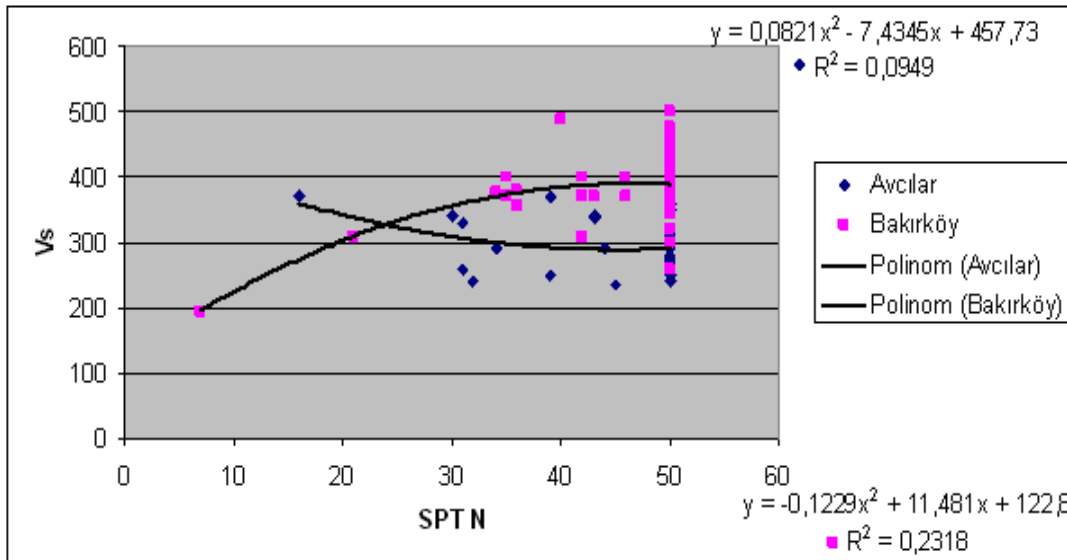
Şekil 7.12. Avcılar ve Bakırköy'ün 18 m deki SPT N - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.12 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 18 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,0487 x^2 + 4,6546 x + 171,96$  Bakırköy 'ün  $y = -0,1325 x^2 + 11,476 x + 134,95$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0741$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,1678$  dir



Şekil 7.13. Avcılar ve Bakırköy' ün 19.5 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.13 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 19.5 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,0325 x^2 + 2,2106 x + 254,55$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,1295 x^2 + 11,4 x + 137,66$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0055$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2248$  dir

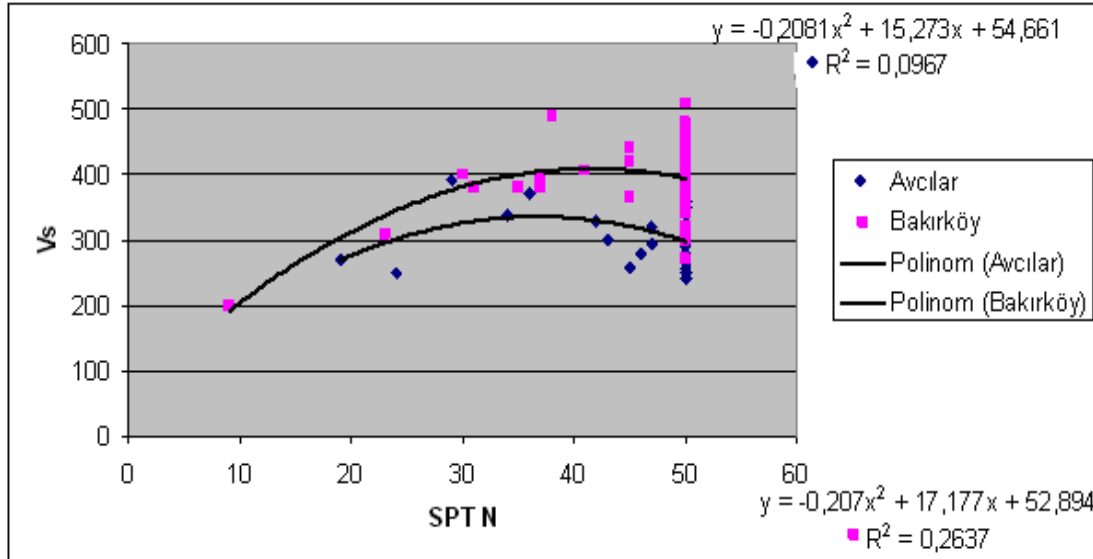


Şekil 7.14. Avcılar ve Bakırköy' ün 21 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.14 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 21 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,0821 x^2 - 7,4345 x + 457,73$

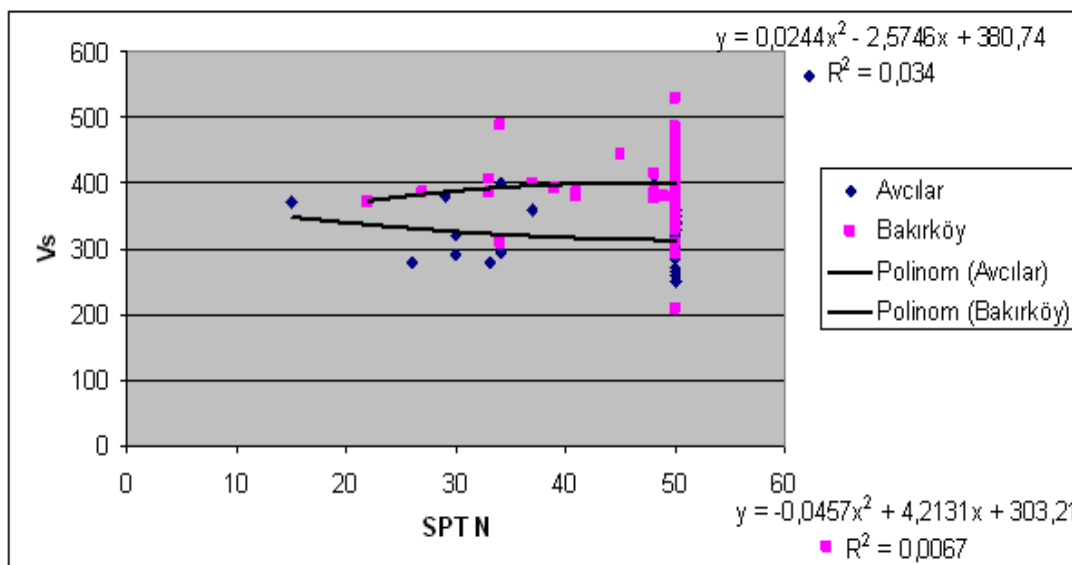


Bakırköy 'ün  $y = - 0,1229 x^2 + 11,481 x + 122,8$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0949$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2318$  dir



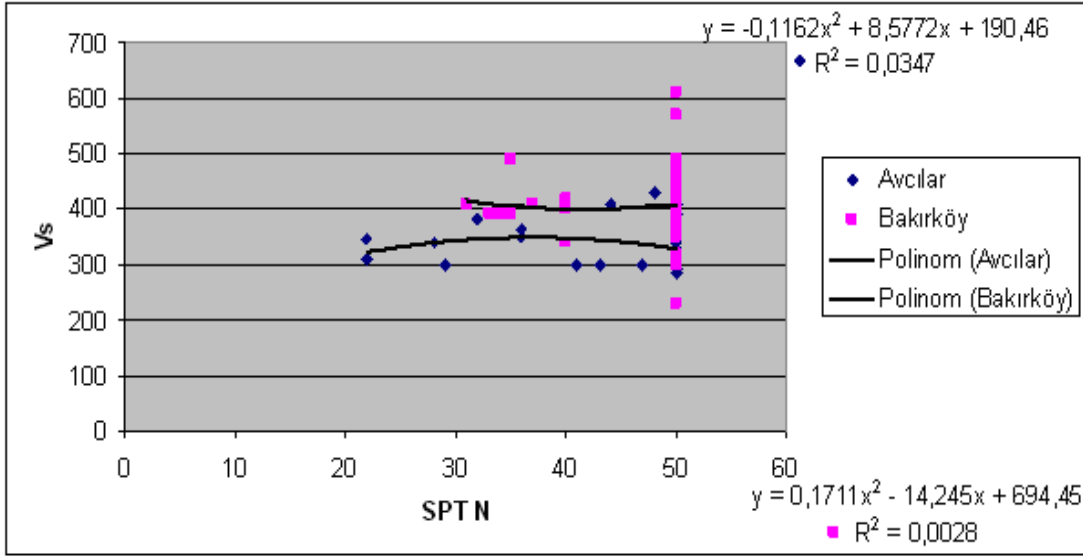
Şekil 7.15. Avcılar ve Bakırköy' ün 24 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.15 ' de görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 24 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = -0,2081 x^2 + 15,273 x + 54,661$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,207 x^2 + 17,177 x + 52,894$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0967$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,2637$  dir



Şekil 7.16. Avcılar ve Bakırköy' ün 27 m deki SPTN - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.16 ' da görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 27 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = 0,0244 x^2 - 2,5746 x + 380,74$  Bakırköy 'ün  $y = - 0,0457 x^2 + 4,2131 x + 303,21$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,034$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,0067$  dir



Şekil 7.17. Avcılar ve Bakırköy' ün 30 m deki SPT N - Vs arasındaki ilişkisi

Şekil 7.17 ' da görüldüğü gibi Avcılar ve Bakırköy ' ün 30 m deki SPT N ve Vs arasındaki regresyon analizleri Avcılar' ın  $y = - 0,1162 x^2 + 8,5772 x + 190,46$  Bakırköy 'ün  $y = 0,1711 x^2 - 14,245 x + 694,45$  dir. Korelasyon analizleri ise; Avcılar' ın  $R^2 = 0,0347$  Bakırköy 'ün  $R^2 = 0,0028$  dir

## 7.2.Çoklu Regresyon Analizi

Çoklu regresyonda SPTN, derinlik, jeolojik yaş, zemin tipi, formasyon, yer altı su seviyesi ve bu parametrelerinin olasılıkları da kullanılarak, bulunan kayma dalga hızı (Vs) ile gerçek kayma dalga hızı (Vs) arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çoklu regresyonda SPT N 50 ve üstü olanlar, bitkisel toprak, deniz kumu olanlar çıkarılmıştır. Avcılarda 225 tane veri kullanılmış bunun; 171 tanesi eğitim için 54 tanesi ise test için kullanılmıştır. Bakırköy' de 308 tane veri kullanılmış bununda; 231 tanesi eğitim için 77 tanesi ise test için kullanılmıştır.

Tablo 7. 3. Çalışmada kullanılan değişkenler

	Değişkenler	Kısaltmalar
X <sub>1</sub>	Sondaj Darbe Sayısı	SPT N
X <sub>2</sub>	Derinlik	D
X <sub>3</sub>	Jeolojik Yaş	J
X <sub>4</sub>	Zemin Tipi	Z
X <sub>5</sub>	Formasyon	F
X <sub>6</sub>	Yer Altı Su Seviyesi	YASS
Y	Kayma Dalga Hızı	Vs

### 7.2.1. Avcılar bölgesi için çoklu regresyon analizi

Girdi parametreleri Avcılar ve Bakırköy için ortaktır ve aşağıdaki tabloda verilmiştir. ( Tablo 7.4. )

Tablo 7.4. Çoklu regresyondaki girdi parametreleri

MODEL	GİRDİ PARAMETRELERİ					
1	SPT-N					
2	SPT-N	DERİNLİK				
3	SPT-N	JEOLJİK YAŞ				
4	SPT-N	ZEMİN TİPİ				
5	SPT-N	FORMASYON				
6	SPT-N	YASS				
7	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ			
8	SPT-N	DERİNLİK	ZEMİN TİPİ			
9	SPT-N	DERİNLİK	FORMASYON			
10	SPT-N	DERİNLİK	YASS			
11	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ			
12	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	FORMASYON			
13	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	YASS			
14	SPT-N	ZEMİN TİPİ	FORMASYON			
15	SPT-N	ZEMİN TİPİ	YASS			
16	SPT-N	FORMASYON	YASS			
17	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ		
18	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	FORMASYON		
19	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	YASS		
20	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	FORMASYON		
21	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	YASS		
22	SPT-N	ZEMİN TİPİ	FORMASYON	YASS		
23	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	FORMASYON	
24	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	YASS	
25	SPT-N	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	FORMASYON	YASS	
26	SPT-N	DERİNLİK	JEOLJİK YAŞ	ZEMİN TİPİ	FORMASYON	YASS

Tablo 7.5. Avcılar Bölgesinin Çoklu Regresyon Katsayıları

MODEL	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
1	203.8168	1.4646					
2	162.2096	-0.1261	6.4133				
3	-754.0730	1.4575	398.3391				
4	209.5063	1.4672	-4.6906				
5	-159.3047	1.1529	111.1390				
6	195.7061	1.4884	1.5450				
7	-350.6853	-0.0374	6.0403	214.2939			
8	166.8212	-0.1240	6.4133	-3.8018			
9	204.1220	-0.1024	6.4641	-12.9288			
10	150.8829	-0.1130	6.4887	2.0645			
11	-810.4919	1.4371	403.0934	37.0879			
12	-783.4238	1.3929	379.0698	23.1654			
13	-779.9373	1.4843	405.2816	1.7468			
14	-185.2594	1.1396	18.0150	112.3948			
15	188.6443	1.4854	5.7957	1.5511			
16	-160.8579	1.1811	109.2333	1.4820			
17	-379.2859	-0.0466	6.0361	216.8082	18.6170		
18	-249.2501	0.1132	6.2247	267.1877	-70.3416		
19	-377.9542	-0.0211	6.1073	220.7729	2.1439		
20	-846.8448	1.3653	382.5532	40.0393	25.1482		
21	-857.1166	1.4576	411.9377	50.1912	1.8026		
22	-201.1882	1.1609	27.9725	111.1471	1.5102		
23	-265.1798	0.1071	6.2211	268.1109	9.8594	-69.7986	
24	-431.0929	-0.0377	6.1008	225.5162	34.2771	2.1816	
25	-886.8334	1.3978	394.7926	52.5101	20.8824	1.7845	
26	-307.9189	0.1311	6.3058	282.0584	25.2480	-76.4967	2.2608

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6 \quad (7.1)$$

Tüm girdi parametreleri kullanıldığında Avcılar için bu denklem;

$$y = -307.9189 + 0.1311 X_1 + 6.3058 X_2 + 282.0584 X_3 + 25.2480 X_4 - 76.4967 X_5 + 2.2608X_6 \quad (7.2)$$

Tablo 7.6. Avcılar Bölgesinin Çoklu Regresyon Sonuçları

MODEL	R
1	0,0801
2	0,5777
3	0,1897
4	0,0801
5	0,1107
6	0,0932
7	0,6077
8	0,5777
9	0,5781
10	0,6011
11	0,1909
12	0,1908
13	0,2065
14	0,1109
15	0,0933
16	0,1228
17	0,608
18	0,6172
19	0,633
20	0,1921
21	0,2086
22	0,1234
23	0,6173
24	0,634
25	0,2095
26	0,6451

Avcılar bölgesinin çoklu regresyon sonuçlarına göre; derinlik ve derinliğin tüm olasılıklarında ilişki kuvvetli derecededir. Diğerler parametrelerde (Tablo 7.9) ve olasılıklarında ise ilişki zayıftır. Tüm parametreler de ise; en yüksek ilişkiyi vermiştir.

### 7.2.2.Bakırköy bölgesi için çoklu regresyon analizi

Tablo 7.7. Bakırköy Bölgesinin Çoklu Regresyon Katsayıları

MODEL	B <sub>0</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>
1	219.5059	2.8497					
2	192.1719	1.2886	6.5992				
3	0	2.8497	91.4608				
4	128.6975	2.5641	75.1788				
5	1246.8	2.4	-312				
6	238.4272	2.8952	-3.4639				
7	0	1.2886	6.5992	80.0716			
8	80.7929	0.9181	6.6899	91.8981			
9	1308.1	0.7	6.8	-339.1			
10	209.2296	1.3520	6.5004	-3.0478			
11	0	2.5641	53.6240	75.1788			
12	0	2.3669	519.5081	-312.0008			
13	0	2.8952	99.3447	-3.4639			
14	1256.5	2.4	-2.6	-314			
15	163.5553	2.6606	61.0520	-3.2575			
16	1194.5	2.4	-291.2	-2.9			
17	0	0.9181	6.6899	33.6637	91.8981		
18	0	0.7229	6.7723	545.0229	-339.1175		
19	0	1.3520	6.5004	87.1790	-3.0478		
20	0	2.3736	523.5219	-2.5798	-313.9800		
21	0	2.6606	68.1480	61.0520	-3.2575		
22	1239.1	2.5	-12.1	-300.3	-3		
23	0	0.6952	6.7783	529.4317	10.0357	-331.4423	
24	0	1.0253	6.5879	46.3321	79.6172	-2.7730	
25	0	2.4699	516.3037	-12.0798	-300.3039	-2.9716	
26	0	0.7982	6.6846	523.3712	1.9924	-319.8730	-2.4614

$$y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_4X_4 + B_5X_5 + B_6X_6 \quad (7.3)$$

Tüm girdi parametreleri kullanıldığında Bakırköy için bu denklem;

$$y = 0.7982 X_1 + 6.6846 X_2 + 523.3712 X_3 + 1.9924 X_4 - 319.8730 X_5 - 2.4614 X_6 \quad (7.4)$$

Tablo 7.8. Bakırköy Bölgesinin Çoklu Regresyon Sonuçları

MODEL	R
1	0.1358
2	0.4995
3	0.1358
4	0.1545
5	0.2394
6	0.1866
7	0.4995
8	0.5273
9	0.6216
10	0.5387
11	0.1545
12	0.2394
13	0.1866
14	0.2394
15	0.1987
16	0.2757
17	0.5273
18	0.6216
19	0.5387
20	0.2394
21	0.1987
22	0.2761
23	0.6219
24	0.5592
25	0.2761
26	0.6470

Bakırköy bölgesinin çoklu regresyon sonuçlarına göre; derinlik ve derinliğin tüm olasılıklarında ilişki kuvvetli derecededir. Diğerler parametrelerde (Tablo 7.9) ve olasılıklarında ise ilişki zayıftır. Tüm parametreler de ise en yüksek ilişkiyi vermiştir

Tablo 7.9 da sondaj darbe sayısı SPTN, derinlik D, jeolojik yaş J, zemin tipi Z, formasyon F, yer altı su seviyesi ise YASS ile gösterilmiştir.

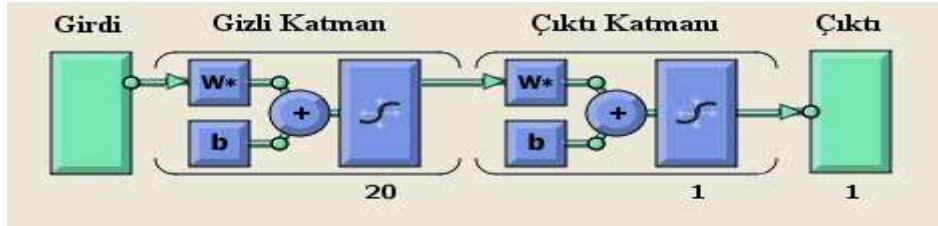
Tablo 7.9. Avcılar ve Bakırköy bölgelerinin korelasyon ilişkileri

	0 – 0.30 ( Zayıf İlişki )	0.30- 0.70 ( Kuvvetli İlişki )	0.70 – 1 (Çok Kuvvetli İlişki)
Avcılar	Spt N	Spt N - D	
	Spt N - J	Spt N – D – J	
	Spt N - Z	Spt N – D – Z	
	Spt N - F	Spt N – D – F	
	Spt N - YASS	Spt N – D – YASS	
	Spt N - J - Z	Spt N – D – J – Z	
	Spt N - J - F	Spt N – D – J – F	
	Spt N - J – YASS	Spt N – D – J – YASS	
	Spt N - Z – F	Spt N – D – J – Z - F	
	Spt N – Z – YASS	Spt N – D – J – Z - YASS	
	Spt N – F – YASS	Spt N – D – J – Z – F -YASS	
	Spt N – J – Z - F		
	Spt N – J – Z - YASS		
	Spt N – Z – F - YASS		
	Spt N – J – Z – F - YASS		
Bakırköy	Spt N	Spt N - D	
	Spt N - J	Spt N – D – J	
	Spt N - Z	Spt N – D – Z	
	Spt N - F	Spt N – D – F	
	Spt N - YASS	Spt N – D – YASS	
	Spt N - J – Z	Spt N – D – J – Z	
	Spt N - J - F	Spt N – D – J – F	
	Spt N - J – YASS	Spt N – D – J – YASS	
	Spt N - Z – F	Spt N – D – J – Z - F	
	Spt N - Z – YASS	Spt N – D – J – Z - YASS	
	Spt N – F – YASS	Spt N – D – J – Z – F -YASS	
	Spt N – J – Z - F		
	Spt N – J – Z - YASS		
	Spt N – Z – F - YASS		
	Spt N – J – Z – F - YASS		



### 7.3.Yapay Sinir Ağları

Çalışmanın Yapay Sinir ağları tekniği ile modelleme/ $V_s$  tahmini kısmında iki katmanlı ileri beslemeli ağ tipi kullanılmıştır. Eğitim türü olarak geriye yayımlı eğitim türü, gizli katmanda ise 20 nöron kullanılmıştır.



Şekil 7.18. Yapay Sinir Ağlarının Katmanlarının Gösterimi

Girdiler olarak derinlik, jeolojik yaş, zemin tipi, formasyon, yer altı su seviyesi ve SPT N' in tüm kombinasyonları denenmiştir. Çıktı olarak ise kayma dalga hızı ( $V_s$ ) kullanılmıştır.

Ağın eğitiminde kullanılan optimizasyon algoritması olarak hızlı yakınsaması ile bilinen Levenberg-Marquardt optimizasyon tekniği seçilmiştir. Ağın eğitimi, ağın doğruluğunun onaylanması ve test kısımlarında amaç fonksiyonu olarak hata kareleri ortalaması (Mean Squared Error) değeri baz alınmıştır.

#### 7.3.1.Avcılar bölgesindeki yapay sinir ağları

SPTN 50 ve üstü olanlar, bitkisel toprak ve deniz kumu olanlar çıkarılmıştır. Avcılarda 225 tane veri kullanılmış bunun; 124 tanesi eğitim seti, 45 tanesi doğrulama seti, 56 tanesi ise test seti olarak belirlenmiştir.

Tablo 7.10. Avcılar Bölgesindeki Yapay Sinir Ağları Sonuçları

Girdiler	MSE	R
Spt N	4306.37715e-0	0.321744
Spt N - Derinlik	1794.77464e-0	0.713318
Spt N - Jeolojik Yaş	3463.80379e-0	0.394668
Spt N - Zemin Tipi	5031.62266e-0	0.307908
Spt N - Formasyon	3737.49927e-0	0.395333
Spt N - YASS	3152.94015e-0	0.474803
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş	2133.64942e-0	0.705854
Spt N – Derinlik – Zemin Tipi	2175.42057e-0	0.616544
Spt N – Derinlik – Formasyon	3072.03036e-0	0.661262
Spt N – Derinlik – YASS	1991.04424e-0	0.778628
Spt N - Jeolojik Yaş – Zemin Tipi	4180.90034e-0	0.252136
Spt N - Jeolojik Yaş – Formasyon	2704.94547e-0	0.544882
Spt N - Jeolojik Yaş – YASS	2790.75076e-0	0.566768
Spt N - Zemin Tipi – Formasyon	3979.60285e-0	0.407996
Spt N - Zemin Tipi – YASS	2262.35998e-0	0.605967
Spt N – Formasyon - YASS	2725.98819e-0	0.542809
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi	1814.02896e-0	0.708012
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Formasyon	1386.83515e-0	0.782821
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – YASS	2241.51074e-0	0.707276
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - Formasyon	3010.03609e-0	0.415644
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - YASS	3434.21882e-0	0.577150
Spt N – Zemin Tipi – Formasyon - YASS	3680.11253e-0	0.530706
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - Formasyon	1626.87850e-0	0.780062
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - YASS	1246.70051e-0	0.838426
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi – Formasyon - YASS	2227.70290e-0	0.640930
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi – Formasyon -YASS	858.28642e-0	0.871199

### 7.3.2. Bakırköy Bölgesindeki Yapay Sinir Ağları

SPT N 50 ve üstü olanlar, bitkisel toprak olanlar çıkarılmıştır. Bakırköy’ de 308 tane veri kullanılmış bununda; 184 tanesi eğitim için, 62 tanesi doğrulama seti için ve 62 tanesi de test için kullanılmıştır.

Tablo 7.11. Bakırköy Bölgesinin Yapay Sinir Ağları Sonuçları

Girdiler	MSE	R
Spt N	5402.65089e-0	0.377779
Spt N - Derinlik	3763.67371e-0	0.619151
Spt N - Jeolojik Yaş	5725.96377e-0	0.283357
Spt N - Zemin Tipi	5992.81721e-0	0.410567
Spt N - Formasyon	5535.01396e-0	0.306027
Spt N - YASS	5222.16657e-0	0.386639
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş	2971.03223e-0	0.719041
Spt N – Derinlik – Zemin Tipi	2444.00768e-0	0.776303
Spt N – Derinlik – Formasyon	3230.11802e-0	0.753931
Spt N – Derinlik – YASS	2887.93471e-0	0.758673
Spt N - Jeolojik Yaş – Zemin Tipi	6594.17937e-0	0.394335
Spt N - Jeolojik Yaş – Formasyon	5192.39946e-0	0.547299
Spt N - Jeolojik Yaş – YASS	5738.91956e-0	0.466537
Spt N - Zemin Tipi – Formasyon	5207.67013e-0	0.528856
Spt N - Zemin Tipi – YASS	4635.82375e-0	0.518843
Spt N – Formasyon - YASS	5028.04439e-0	0.494433
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi	2745.15972e-0	0.780890
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Formasyon	2488.81420e-0	0.839378
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – YASS	1908.73840e-0	0.789915
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - Formasyon	7113.60370e-0	0.328042
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - YASS	7477.00427e-0	0.401471
Spt N – Zemin Tipi – Formasyon - YASS	4388.49238e-0	0.491829
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - Formasyon	1676.32216e-0	0.810141
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi - YASS	4538.70236e-0	0.635225
Spt N – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi – Formasyon - YASS	3286.29359e-0	0.630667
Spt N – Derinlik – Jeolojik Yaş – Zemin Tipi – Formasyon - YASS	2674.95431e-0	0.788078

Avcılar ve Bakırköy ' de yapılan yapay sinir ağlarında ; bir çok değişken grubu ile Vs arasındaki korelasyon değerleri bulunmuştur. Bu değerler tablo 7.12 de gösterilmiştir .

Tablo 7.12. Avcılar ve Bakırköy bölgelerinin korelasyon ilişkileri

	0 – 0.30 (İlişki yoktur)	0.30 – 0.70 (İlişki vardır)	0.70-1 (kuvvetli ilişki vardır)
Avcılar	Spt N - J - Z	Spt N	Spt N - D
		Spt N - J	Spt N - D - J
		Spt N - Z	Spt N - D - YASS
		Spt N - F	Spt N - D - J - Z
		Spt N - YASS	Spt N - D - J - F
		Spt N - D - Z	Spt N - D - J - YASS
		Spt N - D - F	Spt N - D - J - Z - F
		Spt N - J - F	Spt N - D - J - Z - YASS
		Spt N - J - YASS	Spt N - D - J - Z - F - YASS
		Spt N - Z - F	
		Spt N - Z - YASS	
		Spt N - F - YASS	
		Spt N - J - Z - F	
		Spt N - J - Z - YASS	
		Spt N - Z - F - YASS	
	Bakırköy	Spt N - J	Spt N
		Spt N - D	Spt N - D - Z
		Spt N - Z	Spt N - D - F
		Spt N - F	Spt N - D - YASS
		Spt N - YASS	Spt N - D - J - Z
		Spt N - J - Z	Spt N - D - J - F
		Spt N - J - F	Spt N - D - J - YASS
		Spt N - J - YASS	Spt N - D - J - Z - F
		Spt N - Z - F	Spt N - D - J - Z - F - YASS
		Spt N - Z - YASS	
		Spt N - F - YASS	
		Spt N - J - Z - F	
		Spt N - J - Z - YASS	
		Spt N - Z - F - YASS	

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR

Bu çalışmada İstanbul ilinin Avcılar ve Bakırköy ilçelerinde yapılan sondaj çalışmasından elde edilen SPTN ve sismik kırılmadan elde edilen kayma dalga hızı (Vs) arasındaki ilişki incelenmiştir. Avcılarda 544 tane SPTN-Vs veri çifti, Bakırköy' de ise 1141 tane SPTN - Vs veri çifti kullanılmıştır.

Basit regresyonda sahadan elde edilen tüm SPTN - Vs veri çiftleri kullanılmıştır. 30 m 'ye kadar yapılan sondajlarda; 21m' ye kadar 1.5 m aralıklarla 21 m 'den 30 m' ye kadar ise 3 m aralıklarla elde edilen SPT N ile bunlara karşılık gelen kayma dalga hızları (Vs) arasındaki ilişkiler doğrusal, logoritmik, polinom, üs ve üstel olarak incelenmiş ve en iyi ilişkinin polinomda olduğu görülmüştür. Fakat polinomda da ilişki zayıftır.

Çalışma alanlarındaki sismik ve sondaj verileri incelenerek SPT N, derinlik, formasyon, zemin tipi, jeolojik yaş ve yer altı su seviyesi veri setleri toplanmış ve çoklu regresyona tabi tutulmuştur. . SPT N, derinlik, formasyon, zemin tipi, jeolojik yaş, yer altı su seviyeleri ve olasılıkları girdi olarak seçilmiş ve sonucunda çıkan Vs ile gerçek Vs değerleri arasındaki ilişki incelenmiştir.

Çoklu regresyon ve yapay sinir ağlarında; sondaj verilerinde  $SPTN \geq 50$  olduğunda "refü" olarak kabul edildiğinden dolayı işleme konmamıştır. Dolayısıyla çıkması gereken  $SPTN \geq 50$  değerleri hesaba katılmamakta ve karşılık gelen Vs gerçeği yansıtmamaktadır.

Çoklu regresyon ve yapay sinir ağlarında; plaj kumu ve bitkisel topraklarda çıkarılmıştır.

Çoklu regresyonda sonuçlar 1' e yaklaşırsa ilişki kuvvetli 0' a yaklaşırsa ilişki zayıftır. Buna göre Avcılar ve Bakırköy 'de; model 2, 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 23, 24, 26 ( Tablo 7.4 )arasında kuvvetli bir ilişki vardır.

Avcılar ve Bakırköy'de yapılan yapay sinir ağları ile Vs tahmini sonuçları, çoklu regresyon'a göre daha iyi sonuç vermiş, yüksek korelasyon değerlerine ulaşılmıştır. Doğa olayları baz alındığında özellikle 0.30-0.40 üzerindeki korelasyon katsayısına sahip değişkenler ile Vs arasındaki ilişkilerde anlamlılık olduğundan bahsedilebilir. Kaldı ki bir çok değişken grubu ile Vs arasında %70'in üzerinde bir korelasyon değerine ulaşılmıştır ki bu da kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir (Tablo 7.12).

Her iki bölgede yapay sinir ağları ile Vs modellemesi yapılabileceği görülmüştür. Sonuçlar detaylı olarak incelendiğinde hem Avcılar'da model 2, 7, 10, 17, 18, 19, 23, 24, 26 (Tablo7.4)

Bakırköy'de ise: model 7, 8, 9, 10, 17, 18, 19, 23, 26 parametre grupları ile Vs arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu sonuç, bu parametreleri kullanarak yaklaşık Vs hesabı tahmininin yapılabileceğini göstermektedir. Daha önceden elde edilmiş veriler düşünüldüğünde Yapay Sinir ağları ile zorlu kazı çalışmalarına ve yüksek maliyetli işgücü ve ekipman kullanımlarına gerek kalmadan Vs tahmini yapılabileceği ortaya çıkmıştır. Bu noktada bölge şartlarına uygun yapay sinir ağları destekli yazılımlar geliştirilerek zemin bilgileri tahmini yapılabilir. Bu tahminler sadece çalışma alanları olan Avcılar ve Bakırköy için geçerlidir.

Bugüne kadar yapılan çalışmaların tümünün sınırları belirli bir bölge içinde yapıldığı ve geliştirilen bağıntıların o bölgenin karakteristik özelliklerini yansıttığını söylemek mümkündür.

Bu ampirik bağıntılardan bulunan sonuçları, arazi sismik deneylerinin yapılamadığı durumlarda zemin dinamik özellikleri hakkında yaklaşık bir fikir edinmek veya sınırlı sayıda sismik deneyin uygulanabildiği durumlarda ise, ölçülen hız değerlerini kontrol etmek ve sismik deney programını desteklemek amacıyla kullanmak daha anlamlı olmaktadır.

## KAYNAKLAR

- [1] ARIÇ, C., İstanbul Paleozoyik arazisinde bulunan oolitli ve fosilli demir madeni: İTÜ Dergi., II, 3-4, 67-68 , 1955.
- [2] ARPAT,E., Büyükçekmece ile Küçükçekmece (İstanbul) Heyelanlarının Genel Özellikleri ve Yarattıkları Başlıca Sorunlar: 52. Türk. Jeol. Kurultayı Bildiriler Kitabı, Ankara, 17-23, 1999.
- [3] BAS, N., Yapay Sinir Ağları Yaklaşımı ve Bir Uygulama, Yüksek Lisans Mimar Sinan Üniversitesi İstatistik Anabilim Dalı 2006.
- [4] BAYKAL, F., Şile bölgesinin jeolojisi, İÜ Fen Fak. Monog.,3, İstanbul, 86 s, 1943.
- [5] BEER, H. ve WRIGHT, J.A., Stratigraphy of the Ganosdağ, Korudağ an .Keban Hills, District I. TPAO Arama Dairesi Arşivi, teknik rapor no: 736, 42 s., (yayımlanmamış) 1960.
- [6] BELİCELİ, A.,Eskişehir yerleşim yeri zeminin büyütme etkisinin makaslama dalga hızına (Vs) bağlı olarak belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı,Balıkesir, 2006.
- [7] ÇAĞLAYAN, M. A. ve YURTSEVER, A., 1/100.000 Ölçekli Türkiye . Jeoloji Haritaları, Burgaz-A3, Edirne-B2 ve B3; Burgaz-A4 ve Kırklareli-B4; Kırklareli B5 ve B6; Kırklareli - C6 Paftaları. Pafta No. 20, 21, 22, 23, MTA Yayını, Ankara , 1998.
- [8] DOBRİN, M . B., ‘Introduction to Geophysical Prospecting’ ,1976.
- [9] TURNBULL, M., " Seismic microzonation of bundaberg, quennsland" , 2000.
- [10] CHEN, S., H., JAKEMAN, A., J., NORTON, J., P., “Artificial Intelligence Techniques: An Introduction to Their Use for Modelling Environmental Systems”.Mathematics and Computers in Simulation, 78, 2-3, 379-400, 2008.
- [11] ÖZTEMEL, E., Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, İstanbul, 2003.
- [12] ELMAS, Ç., “Yapay Sinir Ağları (Kuram, Mimari, Eğitim, Uygulama)”. Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2003.

- [13] RUSSELL, S., NORVING P., "Artificial Intelligence A Modern Approach". Prentice- Hall, 1995.
- [14] EFE, Ö., KAYNAK, O., "Yapay Sinir Ağları ve Uygulamaları". Boğaziçi Üniversitesi Yayını, İstanbul, 141 S, 2000.
- [15] KROSE, B., SMAGT, P., "An Introduction to Neural Networks". 8th edition, University of Amsterdam, 1996.
- [16] MINSKY, M., PAPER, S., "Perceptrons". MIT Press, Cambridge. 1969.
- [17] MEHROTRA, K., MOHAN, C., K., RANKA, S., "Elements of Artificial Neural Networks". The MIT Press, London, 1996.
- [18] HAGAN, M. T., DEMUTH, H. B., BEALE, M., Neural Network Dizayn, Pws, Publishing Company, Boston, 1999.
- [19] CHEN M.H. vd. "Eperience of Suspension P-S Logging Method And Empirical Fomula of Shear Wave Velocities in Taiwan" National Center for Research on Earthquake Engineering, Taiwan.
- [20] OHBA, S. & TARIUMI, I., " Dynamic Responce Characteristics of Osaka Plain" , Proc. Annual Meeting A.I.J, 1970.
- [21] İYİSAN, R., " Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı ile Penetrasyon Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması" İMO Teknik Dergisi, (7)2:1187-1199, 1996.
- [22] HEİSEY, J.S., STOKOE, K.H., AND MEYER, A.H., " Moduli of pavement systems from spectral analysis of surface waves, " Transportation Research Record 853, Transportation Research Board Washington, D.C., 1982.
- [23] NAZARIAN, S. AND STOKOE, K.H., "Use of spectral analysis of surface waves for determination of moduli and thicknesses of pavement systems. Transportation Research Record 954, Transportation Research Board, Washington, D.C. 1983.
- [24] STOKOE, K.H., WRIGHT, S.G., BAY, J.A. AND ROESSET, J.M. of geotechnical sites by SASW method, Geophysical Characterisation of Sites, R.D.Woods, ed., A.A. Balkema, Rotterdam, pp.15-25, 1994.
- [25] SAL ,Z., Makaslama Dalga Hızı İle Konik Penetrasyon Testi Sonucu .Hesaplanan Geoteknik Parametreler Arasındaki İlişkiler, Yüksek Lisans Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [26] ŞEKERCİOĞLU, E., Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, 2002.
- [27] YILMAZ. İ., Verilerin Çözümlemesi- İlişki- Korelasyon, Yüksek Lisans Tezi, 2006.



- [28] JAFARI, M.K. ve Diğ., " Dynamic Properties Of Fine Grained Soils in Sounth. of Tehran " J.S.E.E. Spring, Vol. 4, No 1/25 , 2002.
- [29] KRAMER S.L.," Geotecnical Eartquake Engineering" ISBN 975-8640-63-1,USA, 1996.
- [30] ANSAL A., " İzmir Büyük şehir Belediyesi Deprem Master Planının Hazırlanmasında yapılacak Geoteknik çalışmalar.
- [31] SİVRİKAYA, O., Standart Penetrasyon Deneyi İle Zemin Özelliklerinin. Belirlenmesi ve Türkiye ' deki Uygulaması, Doktora Tezi, 2003.
- [32] ULUSAY, R., Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler, 2001.
- [33] ÖZGÜL, N., ÜNER, K., BİLGİN, İ., KORKMAZ, R., ÖZCAN, İ., AKMEŞE, İ., YILDIZ, Z., YILDIRIM, Ü., AKDAĞ, ., TEKİN, M., "İstanbul İl Alanının Genel Jeoloji Özellikleri", İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü , 2005.
- [34] PARSONS, T., TODA, S., STEİN, R., BARKA, A., DIETERİCH, J., Heightened odds of large earthquakes near İstanbul: an interaction-based probability calculation. Science, 288, 661-665, 2000.
- [35] LIEN-KWEI Chien & YAN-NAM OH, 39(1): 254-265 ," Effects of Fines Content on Liquefaction Strength and Dynamic Settlement of Reclaimed.Soil, 2000.
- [36] HOLMES, A. W., Stratigraphie review of Thrace. T.P.A.O. Arama Grubu Arşivi, 368, 1961.
- [37] ÜNAL, O. T., Trakya jeolojisi ve petrol imkanları. TPAO Arama Dairesi Arşivi, teknik rapor no: 391, 80 s, (yayımlanmamış), 1967
- [38] YILDIRIM M, SAVAŞKAN E .,"İstanbul Bölgesi Tersiyer Çökellerinin Stratigrafisine Yeni Bir Yaklaşım ve Çökellerin Mühendislik Özellikleri", . İstanbul'un Jeolojisi Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Sayfa: 87- 102, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası - İstanbul Şubesi, Yer: Kadir Has Üniversitesi-Konferans Salonları, Cibali-İstanbul ,2003.
- [39] SAYAR, C., "Haliç ve Civarının Jeolojisi": B.Ü., İstanbul. Haliç Sorunları ve Çözüm Yolları Sempozyumu, 1976, İstanbul, 1977.
- [40] SAYAR , C., "İstanbul ve Çevresi Neojen Çökelleri ve Paratetis İçindeki Konumu": Maden Fakültesi 40.Yıl Bült., pp. 250-266., 1989.
- [41] SAYAR, C., New observation in the Paleozoic sequence of the Bosphorus and adjoining areas, Istanbul, Turkey: Symp. Band 2. Intern Silur-Devon. Bonn-Bruxelles, 1960, 222- 223, Stuttgart, 1962.

- [42] RÜCKERT-ÜLKÜMEN, N., Trakya ve Çanakkale mntıklarında bulunan Neojen balıklı formasyonları hakkında: İÜ Fen Fak. Monog., 16, 80 s. (Geomar Kitaplığı), 1960.
- [43] UMUT, M, İMİK, M., KURT, Z., ÖZCAN, I., SARIKAYA, H. ve SARAÇ, G., Tekirdağ, Silivri (İstanbul), Pınarhisar alanının jeolojisi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, teknik rapor, 7349, (yayınlanmamış), 1984.
- [44] UMUT, M, İMİK, M., KURT, Z., ÖZCAN, I., SARIKAYA, H. ve SARAÇ, G., Edirne İli-Kırklareli İli-Lüleburgaz (Kırklareli İli) - Uzunköprü (Edirne İli) civarının jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, teknik rapor no: 7604, m42 s, (yayınlanmamış), 1983.
- [45] KESKİN , C., Pınarhisar alanının jeolojisi: T.J.K. Bült. XIV, 31-83, 1971.
- [46] OHTA,Y. & GOTO,N., "Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristics Soil Indices" Earthquake Eng. and Struc. Dyn., (6):167- 187, 1978.
- [47] ANDRUS, R.D., ve STOKOE, K.H., Liquefaction Resistance of Soils from Shear- Wave Velocity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol.126, No.11, 1015-1025, 2000.
- [48] ANDRUS D.R. vd., " Comparing Liquefaction Evaluation Methods Using Penetration- Vs Relationships" Clemson University Department of Civil Engineering, USA, 2003.
- [49] İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ Deprem ve Zemin İnceleme raporu " Mikrobölgeleme Raporu ve Haritaların Hazırlanması Avrupa Yakası Güney", İstanbul, Ekim 2007.
- [50] [http://www.ejge.com/ejgesoft/main\\_vs.jpg](http://www.ejge.com/ejgesoft/main_vs.jpg) (10.04.2010).
- [51] <http://www.ce.yıldız.edu.tr / mygetfile.php?id=1228> (12.02.2010).
- [52] [http://www.ibb.gov.tr/trTR/SiteImages/Haber/nisan2008/100\\_YENI\\_ESKI\\_I DARI.jpg](http://www.ibb.gov.tr/trTR/SiteImages/Haber/nisan2008/100_YENI_ESKI_I DARI.jpg) - (24.03.2010).
- [53] AL-SADİ, H., N., Seismic exploration. Stuttgart, Birkhauser Verlag, 215. Stuttgart, 1982.
- [54] US, E., Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya Giriş. T.M.M.O.B Jeofizik Mühendisleri Odası No:2, 226s. Ankara, 1993.
- [55] BOLT, B.A. Earthquakes,W.H Freeman, New York, 331 pp, 1993.
- [56] US, E., Sismik Yöntemler ve Yorumlamaya Giriş. T.M.M.O.B Jeofizik Mühendisleri Odası No:2, 3 Baskı. Ankara, 2005.

- [57] SAĞIROĞLU, S., BESDOK, E., & ERLER, M., Mühendislikte Yapay Zeka Uygulamaları. Kayseri, 2003.
- [58] İYİSAN R., ANSAL A., “ Erzincan ’da Dinamik Zemin Özelliklerinin Kuyu İçi Sismik Yöntemlerle Belirlenmesi ” , 2. Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 13 Mart 1993.
- [59] <http://www.kalitekontrol.org/images/stories/spt.jpg> (24.03.2010)
- [60] GEVARTEL, W. B., “ Intelligent Machines” , New Jersey: Prentice Hall Inc., pp: 4, 1985.
- [61] BROOMHEAD, D. S., LOWE, D., “Radial basis-functions, multi-variable functional interpolation and adaptive Networks”, Royal signals and radar establishment memorandum 4148, 1988.
- [62] HEBB, D. O., “The organization of behaviour”, New York: Wiley, Introduction and Chapter 4, “The first stage of perception: growth of the assembly”, pp. xi-xix, 60-78, 1949.
- [63] DERE, A., Yapay Sinir Ağları Yöntemi İle Sıvılaştırma Analizi ve Adapazarı İçin Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2009.

## ÖZGEÇMİŞ

Özlem Sipahi 07.02.1985 de 'Sakarya' da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya 'da tamamladı. 2001 yılında Sakarya Hacı Zehra Akkoç Kız Lisesi Fen Bilimleri'nden mezun oldu. 2003 yılında başladığı SDÜ Jeofizik Bölümünü 2007 yılında bitirdi. 2007 yılında SAÜ'ye yüksekisans yapmak üzere girdi.2007 yılında girmiş olduğu yüksekisansı devam etmektedir.