

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İSTANBUL'DA SONDAJ KUYULARINDA PS LOGGING
YÖNTEMİ İLE ÖLÇÜLEN KAYMA DALGASI HIZININ
SPT-N İLE DEĞİŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Haluk YILDIZ

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : ZEMİN MEKANİĞİ VE GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2008

**İSTANBUL'DA SONDAJ KUYULARINDA PS LOGGING
YÖNTEMİ İLE ÖLÇÜLEN KAYMA DALGASI HIZININ
SPT-N İLE DEĞİŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Haluk YILDIZ

501041311

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Ocak 2008

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Recep İYİSAN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Atilla ANSAL (B.Ü.)

Y.Doç.Dr. Berrak TEYMÜR

OCAK 2008

ÖNSÖZ

Zemin tabakalarının dinamik davranış özelliklerini belirlemede kullanılan en önemli özelliklerden biri de kayma dalgası hızıdır. Geoteknik deprem mühendisliğinde zemin hakim periyodu, zemin büyütmesi, sıvılaşma potansiyelinin incelenmesi, ana kaya ivmesinin yüzeye taşınması ve dinamik özelliklerin belirlenmesi gibi bir çok alanda kullanılan kayma dalgası hızı genelde sondaj kuyuları içinde uygulanan sismik deneyler yardımı ile ölçülmektedir. Bu tür deneylerin uygulanmadığı durumlarda da kayma dalgası hızının tahmin edilmesi gereği, bu özellik ile diğer arazi deney sonuçları arasında ilişkilerin aranmasına neden olmaktadır. Kayma dalgası hızını tahmin edebilmek amacıyla pratik amaçlar doğrultusunda kullanılabilecek korelasyonlar geliştirilerek yeni bağıntıların elde edildiği bu çalışmanın, deprem kuşağında yer alan ülkemizin en büyük şehri olan İstanbul'da depreme dayanıklı yapı tasarımında ve geoteknik incelemelere katkısı olacağı inancındayım.

Çalışmalarım süresince engin bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, her konuda bana yardımcı olan Danışman Hocam Sayın Doç. Dr. Recep İYİSAN'a teşekkürü bir borç bilirim. Çalışmam esnasında her türlü desteği sağlayan çok kıymetli aileme teşekkür ediyorum.

Bu çalışmada kullanılan veriler İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Japon Uluslararası İşbirliği Ajansının birlikte yürüttükleri İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması kapsamında yapılan arazi deneylerinden elde edilmiştir. Bu verileri bu tez kapsamında kullanmam için veriler hakkında gerekli izinleri sağlayan İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürü Sayın Mahmut BAŞ ile Müdür Yardımcısı Sayın Hikmet KARAOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim.

Aralık, 2007

Haluk YILDIZ

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Kapsam	2
2. ZEMİNLERDE KAYMA DALGASI HIZI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Kayma Dalgası Hızı ve Önemi	6
2.3. Kayma Dalgası Hızı Ölçüm Yöntemleri	8
2.3.1. Yüzey Yöntemler	9
2.3.2. Kuyu İçi Yöntemler	10
2.3.2.1. Aşağı Kuyu Yöntemi	11
2.3.2.2. Karşıt Kuyu Yöntemi	11
2.3.2.3. PS Logging Yöntemi	12
2.3.3. Kuyu İçi Yöntemlerin Karşılaştırılması	16
3. KAYMA DALGASI HIZINI İÇEREN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
3.1. Giriş	19
3.2. Arazi Korelasyonlarına Etkiyen Değişkenler	20
3.2.1. Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı	20
3.2.2. Efektif Düşey Gerilme	25
3.2.3. Zemin Tipi	25
3.2.4. Jeolojik Yaş	26
3.3. Kayma Dalgası Hızını Tahmin Etmede Mevcut Korelasyonlar	26
4. YEREL ZEMİN KOŞULLARI VE KAYMA DALGASI HIZ ÖLÇÜMLERİ	38
4.1. Giriş	38
4.2. Çalışma Alanı ve Yerel Zemin Koşulları	39
4.2.1. Çalışma Alanı Sınırları	39
4.2.2. Genel Jeoloji	40
4.2.3. Sismotektonik Özellikler	46
4.3. Sondaj Yerleri ve PS Logging Ölçümleri	48
4.4. Veritabanının Oluşturulması	51
5. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	55
5.1. Giriş	55
5.2. Verilerin Analizinde Kullanılan Yazılımlar	56
5.2.1. SPSS® İle Analiz	57

5.2.1.1. Aykırı Değerlerin Ayıklanması	61
5.2.1.2. F Testiyle Anlamlılık Kontrolü	62
5.2.1.3. K-S Testiyle Normallik Kontrolü	67
5.2.2. MATLAB® İle Analiz	67
5.2.3. Tüm Zeminler Grubuna Ait İstatistiksel Analiz	71
6. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	84
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR	98
EKLER	103
ÖZGEÇMİŞ	138

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 : DBYBHY’de zemin grupları.....	7
Tablo 3.1 : Jeolojik yaş faktörü f_A ve zemin tipi faktörü f_G değerleri.....	29
Tablo 3.2 : Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen V_s -N bağıntıları.....	36
Tablo 3.3 : Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen $V_s - \sigma_v$ bağıntıları.....	37
Tablo 3.4 : Çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen V_s - H bağıntıları.....	37
Tablo 4.1 : Jeolojik zamanlar cetveli.....	45
Tablo 4.2 : PS logging yönteminin uygulandığı 39 sondaj kuyusunun yerleri	49
Tablo 4.3 : Avcılar-K.Çekmece sahil yolu- B3 kuyusuna ait veritabanı.....	52
Tablo 4.4 : Fatih-Şehremini-B18 kuyusuna ait veritabanı.....	53
Tablo 5.1 : Betimleyici istatistikler (Descriptive Statistics).....	60
Tablo 5.2 : SPSS programında eğri tahmini yapılan fonksiyonların açılımı....	64
Tablo 5.3 : Model sonuçları ve parametre tahminleri.....	66
Tablo 5.4 : Kolmogorov-Smirnov testi ile anlamlılık kontrolü.....	67
Tablo 5.5 : Tüm zeminler SPT-N- V_s ilişkisi için analiz öncesi ilk veriler.....	71
Tablo 5.6 : Aykırı değerlerin SPSS ile atılması sonunda istatistiki değerler...	72
Tablo 5.7 : SPT-N- V_s ilişkisinin anlamlılık kontrolü ve eğri tahmini.....	72
Tablo 5.8 : K-S testiyle normallik kontrolü.....	73
Tablo 5.9 : Tüm zeminler SPT-N- V_s ilişkisinin Matlab analizi son değerleri.	74
Tablo 5.10 : Matlab analizi sonrasında oluşan nihai verilerin istatistiği.....	74
Tablo 5.11 : Tüm zeminler D.Gerilme- V_s ilişkisi için analiz öncesi ilk veriler	75
Tablo 5.12 : Aykırı değerlerin SPSS ile atılması sonunda istatistiki değerler...	75
Tablo 5.13 : D.Gerilme - V_s ilişkisinin anlamlılık kontrolü ve eğri tahmini.....	75
Tablo 5.14 : K-S testiyle normallik kontrolü.....	76
Tablo 5.15 : Tüm zeminler D.Gerilme- V_s ilişkisinin Matlab’te son değerleri..	77
Tablo 5.16 : Matlab analizi sonrasında oluşan nihai verilerin istatistiği.....	77
Tablo 5.17 : Tüm zeminler SPT-N- σ_v - V_s ilişkisi için analiz öncesi ilk veriler.	78
Tablo 5.18 : Aykırı değerlerin SPSS ile atılması sonunda istatistiki değerler...	78
Tablo 5.19 : K-S testiyle normallik kontrolü.....	79
Tablo 5.20 : Çoklu analiz sonrasında oluşan nihai verilerin istatistiği.....	79
Tablo 5.21 : Parametre tahminleri.....	79
Tablo 5.22 : Tüm zeminlerin çoklu regresyonda korelasyonun belirlenmesi	79
Tablo 5.23 : Tüm zeminler Derinlik - V_s ilişkisi için analiz öncesi ilk veriler...	80
Tablo 5.24 : Aykırı değerlerin SPSS ile atılması sonunda istatistiki değerler...	80
Tablo 5.25 : Derinlik - V_s ilişkisinin anlamlılık kontrolü ve eğri tahmini.....	80
Tablo 5.26 : K-S testiyle normallik kontrolü.....	81
Tablo 5.27 : Tüm zeminler Derinlik- V_s ilişkisinin Matlab’teki son değerleri...	82
Tablo 5.28 : Matlab analizi sonrasında oluşan nihai verilerin istatistiği.....	82
Tablo 6.1 : Tüm zeminlere ait verilere göre elde edilen bağıntılar.....	86
Tablo 6.2 : Kil zeminlere ait verilere göre elde edilen bağıntılar.....	88
Tablo 6.3 : Kum zeminlere ait verilere göre elde edilen bağıntılar.....	89
Tablo 6.4 : İstanbul formasyonlarına ait verilere göre elde edilen bağıntılar..	91

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1 : P ve S dalgalarının yer değiştirme ve ilerleme yönleri.....	5
Şekil 2.2 : Kuyu içi yöntemlerin birlikte gösterimi.....	10
Şekil 2.3 : PS Logging deney sistemi.....	13
Şekil 2.4 : Kaydediciden termal baskı ile alınmış P ve S dalga kayıtları.....	14
Şekil 2.5 : Kayıtların bilgisayar ortamında P ve S dalga hızlarının hesaplanması.....	15
Şekil 2.6 : Kaynak ve alıcıların aynı birimde yer aldığı prob.....	16
Şekil 2.7 : Sismik yöntemlerin birlikte gösterimi.....	17
Şekil 2.8 : Sismik yöntemlerden elde edilen P ve S dalga hız profilleri.....	18
Şekil 4.1 : Çalışma alanı.....	39
Şekil 4.2 : İstanbul'un 1:50.000 ölçekli jeoloji haritası.....	42
Şekil 4.3 : İstanbul'un 1:5.000 ölçekli jeoloji haritası.....	43
Şekil 4.4 : Deprem bölgeleri haritasında İstanbul'un konumu.....	46
Şekil 4.5 : Marmara Denizi'nin batimetri haritası.....	47
Şekil 4.6 : Sondaj kuyularının noktasal gösterimi.....	50
Şekil 4.7 : Zemin kesitinde PS logging ve SPT'nin şematik gösterimi.....	51
Şekil 4.8 : Avcılar-K.Çekmece sahil yolu - B3 kuyusuna ait sondaj logu.....	54
Şekil 4.9 : Fatih-Şehremini - B18 kuyusuna ait sondaj logu.....	54
Şekil 5.1 : Aykırı değerler atıldıktan sonra SPT verilerine ilişkin histogram	59
Şekil 5.2 : Aykırı değerler atıldıktan sonra V_s verilerine ilişkin histogram....	60
Şekil 5.3 : H_0 hipotezinin kabul bölgesinin grafiksel gösterimi.....	63
Şekil 5.4 : H_0 hipotezinin red bölgesinin grafiksel gösterimi.....	63
Şekil 5.5 : Matlab'te güven aralığı sınırı belirlenmesi ve veri çifti dağılımı.	70
Şekil 5.6 : Güven aralığı dışındaki veri çiftlerinin atılması ve regresyon analizi.....	71
Şekil 5.7 : Veriler için tahmin edilen fonksiyonların grafikleri.....	73
Şekil 5.8 : Matlab ile güven aralığı sınırlarının belirlenmesi.....	73
Şekil 5.9 : Güven aralığı dışındaki veri çiftlerinin atılmasıyla kalan veriler..	74
Şekil 5.10 : Veriler için tahmin edilen fonksiyonların grafikleri.....	75
Şekil 5.11 : Veriler için tahmin edilen fonksiyonların grafikleri.....	76
Şekil 5.12 : Matlab ile güven aralığı sınırlarının belirlenmesi.....	76
Şekil 5.13 : Güven aralığı dışındaki veri çiftlerinin atılmasıyla kalan veriler...	77
Şekil 5.14 : D.Gerilme- V_s verileri için tahmin edilen fonksiyon grafikleri.....	78
Şekil 5.15 : Veriler için tahmin edilen fonksiyonların grafikleri.....	81
Şekil 5.16 : Matlab ile güven aralığı sınırlarının belirlenmesi.....	81
Şekil 5.17 : Güven aralığı dışındaki veri çiftlerinin atılmasıyla kalan veriler..	82
Şekil 5.18 : Derinlik- V_s verileri için tahmin edilen fonksiyonların grafikleri.	83
Şekil 6.1 : Nihai verilerle tüm zeminlere ait SPT-N İle V_s ilişkisi.....	85
Şekil 6.2 : Nihai verilerle tüm zeminlere ait σ_v İle V_s ilişkisi.....	86
Şekil 6.3 : Nihai verilerle tüm zeminlere ait Derinlik İle V_s ilişkisi.....	86
Şekil 6.4 : Nihai verilerle kil zeminlere ait SPT-N İle V_s ilişkisi.....	87

Şekil 6.5	: Nihai verilerle kil zeminlere ait σ_v İle V_s ilişkisi.....	87
Şekil 6.6	: Nihai verilerle kil zeminlere ait Derinlik İle V_s ilişkisi.....	88
Şekil 6.7	: Nihai verilerle kum zeminlere Ait SPT-N İle V_s ilişkisi.....	88
Şekil 6.8	: Nihai verilerle kum zeminlere Ait σ_v İle V_s ilişkisi.....	89
Şekil 6.9	: Nihai verilerle kum zeminlere Ait Derinlik İle V_s ilişkisi.....	89
Şekil 6.10	: Nihai verilerle alüvyon zeminlere Ait SPT-N İle V_s ilişkisi.....	90
Şekil 6.11	: Nihai verilerle Bakırköy formasyonlarında SPT ile V_s ilişkisi.....	90
Şekil 6.12	: Nihai verilerle Çukurçeşme formasyonunda SPT ile V_s ilişkisi...	91
Şekil 6.13	: Nihai verilerle Güngören formasyonunda SPT ile V_s ilişkisi.....	91
Şekil 6.14	: Formasyonlara göre SPT-N darbe sayısı – V_s değişimi.....	92
Şekil 6.15	: Tüm zeminler SPT-N– V_s değişiminin literatürle karşılaştırılması	92
Şekil 6.16	: Tüm zeminler Düşey Gerilme – V_s değişiminin literatürle karşılaştırılması.....	93
Şekil 6.17	: Tüm zeminler Derinlik- V_s değişimi literatürle karşılaştırılması...	93
Şekil 6.18	: Kumların SPT-N - V_s değişiminin literatürle karşılaştırılması.....	94
Şekil 6.19	: Killerin SPT-N– V_s değişiminin literatürle karşılaştırılması.....	94

SEMBOL LİSTESİ

$\bar{x}$	: Bağımsız Değişkenlerin Ortalaması
$\bar{y}$	: Bağımlı Değişkenin Ortalaması
y_i	: Bağımlı Değişkenin i.inci Gözlemsel Değeri
$\hat{y}_i$	: Bağımlı Değişkenin i.inci Gözlemsel Değeri İçin Tahmin Değeri
s_x^2	: Bağımsız Değişkenin Varyansı
s_y^2	: Bağımlı Değişkenin Varyansı
e_i	: Hatanın i.inci Değeri
F	: F (Fisher) Tablosundan Okunan F Değeri
H	: Derinlik
H₀	: Sıfır Hipotezi
H₁	: Alternatif Hipotez
k	: Değişken Grup Sayısı
n	: Gözlem Sayısı
p	: Anlamlılık Düzeyi
q_c	: Koni Penetrasyon Uç Mukavemeti
r	: Pearson Korelasyon Katsayısı
R	: Belirtme Katsayısı
sd₁	: Bağımlı Değişkenin Serbestlik Derecesi
sd₂	: Bağımsız Değişkenin Serbestlik Derecesi
SPT-N	: Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı
SS_x	: Bağımsız Değişken İçin En Küçük Farkların Karelerinin Toplamı
SS_y	: Bağımlı Değişken İçin En Küçük Farkların Karelerinin Toplamı
s_x, s_y	: Standart Sapma
S_{xy}	: Standart Hata
t	: t Tablosundan Okunan t Değeri
V_s	: Kayma Dalgası Hızı
α	: Risk Derecesi
β	: Katsayı Parametresi
σ	: Standart Sapma
σ²	: Varyans
σ_v'	: Efektif Düşey Gerilme

İSTANBUL'DA SONDAJ KUYULARINDA PS LOGGING YÖNTEMİ İLE ÖLÇÜLEN KAYMA DALGASI HIZININ SPT-N İLE DEĞİŞİMİ

ÖZET

Kayma dalgası hızı, depreme dayanıklı yapı tasarımı için bilinmesi gereken kayma modülü, elastisite modülü gibi zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemede önemli bir parametredir. Geoteknik Deprem Mühendisliği'nde mikrobölgeleme çalışmalarında, sıvılaşma potansiyelinin tahmininde, zemin hakim periyodunun, zemin büyütmesinin, ana kayada alınan bir tasarım depreminin yüzeye yakın tabakalarda oluşturacağı gerilmelerin ve deprem özelliklerinin hesaplanmasında kayma dalgası hızı kullanılmaktadır. Kayma dalgası hızının derinlikle değişiminin belirlenebilmesi için en uygun yöntemler, sondaj kuyuları içinde düşük deformasyon genliklerinde uygulanan sismik deney yöntemleridir. Aşağı kuyu, karşıt kuyu ve PS Logging gibi kuyu içi yöntemleri bu amaç için uygun olmaktadır. Tek kuyunun yeterli olduğu, alıcı kaynak mesafesinin sürekli sabit kaldığı PS Logging deneyinin diğer yöntemlere göre üstünlüğü vardır. Ancak, sismik deney yöntemlerinin maliyetinin diğer arazi deneylerine göre pahalı oluşu, bu deneylerin genellikle daha önemli projelerde tercih edilmesine yol açmakta, arazi sismik deneylerinin yapılamadığı veya sınırlı sayıda yapıldığı durumlarda da kayma dalgası hızının tahmin edilebilme gereği, kayma dalgası hızı ile diğer deney sonuçları arasında ilişkiler aranmasına neden oluşturmaktadır. Kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklığının, ince daneli zeminlerin kıvamının yerinde belirlenmesi amacıyla sondaj kuyuları içinde uygulanan Standart Penetrasyon Deneyinin sonuçları ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiler, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. SPT-N sayısına etkiyen faktörlerin kayma dalgası hızını da etkilediği belirlenmiştir. Bu çalışmada da İstanbul'daki sondaj kuyularında PS Logging yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızlarının SPT-N ile değişimi incelenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı'nın ortaklaşa yürüttüğü İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması kapsamında elde edilen verilerin birbirleriyle olan ilişkileri ve anlamlılıkları istatistiksel olarak incelenmiştir. İstanbul zeminlerinde kayma dalgası hızının, SPT-N sayısına bağlı olarak pratik amaçlar doğrultusunda tahmin edilerek kullanılabilecek bağıntılar geliştirilmiştir. Ayrıca, bu tür korelasyonlara efektif düşey gerilme, zemin cinsi ve derinlik gibi değişkenlerin etkileri de incelenerek önceki çalışmalarla karşılaştırmaları yapılmıştır.

VARIATION OF SHEAR WAVE VELOCITY MEASURED BY PS LOGGING TEST IN ISTANBUL WITH SPT-N VALUE

SUMMARY

Dynamic properties of soils are important for geotechnical investigations and designing structures against earthquake effect. Shear modulus and damping ratio are the most important dynamic properties of soil. Shear wave velocity is one of the most important parameters to determine the dynamic behavior of soil layer in geotechnical earthquake engineering. Liquefaction potential, predominant soil period, soil amplification may be calculated by shear wave velocity. Shear wave velocity can be measured by in-situ seismic methods such as PS logging test in predrilled boreholes. When the seismic tests to measure the shear wave velocity can not be performed in any field then shear wave velocity can be estimated from correlations based on other in-situ test results. Although it is preferable to measure shear wave velocity in situ, this is often not economic at all projects because of expense of in situ seismic experiments. In this study, variation of shear wave velocity measured by PS logging test in Istanbul with SPT-N value was investigated from the project of The Study on A Disaster Prevention / Mitigation Basic Plan In Istanbul Including Microzonation In The Republic of Turkey. First statistical analysis were performed to all data obtained from the SPT and PS logging tests, then some correlations between shear wave velocity and SPT-N value, depth and effective overburden pressure were established by using MATLAB and SPSS softwares for the purposes of engineering practical. Correlations obtained from this study to estimate the shear wave velocity and the existing correlations were compared.

1. GİRİŞ

Kayma dalgası hızı V_s , inşaat mühendisliğinde zeminlerin dinamik davranış özelliklerini belirlemede önemli parametrelerden biri olarak kabul edilmektedir (İyisan, 1996). Depreme dayanıklı yapı tasarımında zeminin dinamik özelliklerinin önemi çok büyüktür. Zeminlerin dinamik özellikleri arazide ve laboratuvarda yapılan deneylerle belirlenmektedir. Zeminin en önemli dinamik özelliği kayma modülü (G) olup, kayma modülü ile kayma deformasyonunun değişimi laboratuvar deneyleri ile bulunurken, zeminin elastik davrandığı durumlarda ise ancak arazide düşük deformasyon genliklerinde ölçülen kayma dalgası hızından hesaplanmaktadır. Kayma dalgası hızı, Geoteknik Deprem Mühendisliğinde mikrobölgeleme, sıvılaşma potansiyelinin tahmini, zemin hakim periyodu, zemin büyütmesi, ana kayada alınan bir tasarım depreminin yüzeye yakın tabakalarda oluşturacağı gerilmelerin ve deprem özelliklerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır (İyisan, 1994). Ayrıca, kayma dalgası hızı ile zeminlerin diğer özellikleri arasında da önemli korelasyonlar bulunmaktadır. Geçmiş dönemlerde de olduğu gibi günümüzde hala artan veri sayısına bağlı olarak korelasyonlar geliştirilerek kullanıma sunulmaktadır. Sismik yöntemlerin uygulanamadığı veya verilerin sınırlı olduğu durumlarda bu korelasyonlarla kayma dalgası hızı tahmin edilebilmektedir. Ölçüm teknikleri, toplanan veri sayısı ve seçilen değişkenler korelasyonları etkilemektedirler. Bu çalışmada da benzer bir yöntem uygulanabilmesi için çalışma alanı İstanbul seçilerek, İstanbul zeminlerine ilişkin verilerle, sondaj kuyularında PS Logging yöntemiyle ölçülen kayma dalgası hızlarına ait veriler kullanılarak gerekli veritabanı oluşturulmuştur. Bu amaçla, sismik deneylerin yapılmadığı veya belli bir sahada deneylerin yetersiz olması durumunda da kayma dalgası hızının SPT-N cinsinden tahmin edilebilmesi gerekliliğinden dolayı, oluşturulan bu veritabanı üzerinde istatistiksel değerlendirmeler yapılarak pratik amaçlar doğrultusunda kayma dalgası hızı V_s 'i tahmin etmeye yardımcı olacak bir takım bağıntılar geliştirilmiştir. Elde bulunan veriler ışığında kayma dalgası hızının efektif düşey gerilme, zemin cinsi ve derinlikle de değişimi incelenmiştir. Ancak zeminlerin mekanik ve mühendislik

özelliklerini belirlemede önemli olan laboratuvar verileri elde olmadığından bu çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Geliştirilen bağıntılar önceki çalışmalarda elde edilmiş olan bağıntılarla karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada, 1999 Kocaeli depremi sonrasında Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB)'nin işbirliğiyle yapılmış olan İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması kapsamında zemin araştırma, inceleme ve sondaj çalışmalarından elde edilmiş veriler ile bu sondaj kuyularında PS Logging yöntemi ile ölçülmüş olan kayma dalgası hız verileri, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü'nün 02.03.2007 tarih 29277-331 sayılı izni doğrultusunda kullanılarak elde edilen bulgular sunulmaktadır.

Verilerin sağlanmış olduğu söz konusu çalışma İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan 27 ilçeyi ve ek olarak seçilen Büyükçekmece, Silivri ve Çatalca ilçe merkezlerini kapsamaktadır. Söz konusu çalışmada, İstanbul şehri ve çevresi için sismik afet önleme/hasar azaltma planının temelini oluşturabilecek sismik mikrobölgeleme haritalarının derlenmesi, depreme dayanıklı şehirleşme için yapı inşaatı ve planlama tekniklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır (İBB ve JICA, 2002).

1.1 Kapsam

Çalışmanın ikinci bölümünde zeminlerde kayma dalgası hızının ölçülmesi ve dinamik özelliklerin belirlenmesi konusuna değinilmiştir. Bu bölümde kayma dalgası hızının önemi vurgulanmış ve nasıl ölçüldüğü anlatılmıştır. Arazi sismik yöntemlerinden olan kuyu içi yöntemler incelenerek bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) ve arazi korelasyonlarıyla kayma dalgası hızının tahmin edilmesi konuları anlatılmıştır. Sismik deneylerin yapılamadığı veya sınırlı sayıda yapıldığı durumlarda dinamik özelliklerin arazi penetrasyon deneylerinden tahmin edilebilmesinden ve eldeki mevcut verilerin SPT ile ilişkili olmasından dolayı arazi penetrasyon deneylerinden olan SPT seçilmiştir. Kayma dalgası hızına ilişkin korelasyonlara etkiyen faktörler incelenerek bu faktörlerin önemi belirlenmiştir. Kayma dalgası hızının bu faktörlerle

değişimi hakkında geçmişten günümüze kadar yapılmış olan çalışmalar araştırılarak tablolar halinde özetlenmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde İstanbul ve çevresi zeminlerinde kayma dalgası hızlarına ilişkin verilerin sağlanması konusuna değinilmiştir. İstanbul'daki incelemeler kapsamında sondaj kuyuları açılmış ve SPT uygulanmıştır. Aynı kuyularda kuyu içi yöntemi ile V_s ölçülmüştür. Sondaj loglarından gerekli tespitler yapılarak çalışma hem zemin cinsleri bakımından tüm zeminler, kil ve kum zeminler olmak üzere üç kategoride, hem de İstanbul'un jeolojik formasyonları bakımından incelenmiştir. Formasyonların jeolojik özelliklerinden kısaca bahsedilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise dördüncü bölümde elde edilen verilerin istatistiksel incelemesi yapılarak kayma dalgası hızının tahminine yönelik korelasyonlar geliştirilmiştir. İstatistik biliminden bahsedilerek, analizde kullanılan yöntem detaylı olarak anlatılmıştır. Analizde Statistical Packages for Social Sciences (SPSS) ve Matrix Laboratory (MATLAB) programlarından faydalanılmıştır.

Çalışmanın altıncı bölümünde ise, elde edilen tüm bağıntılar ve korelasyon katsayıları sonuç tablosunda sunulmuştur. Çalışmanın geçerliliğini kontrol etmek amacıyla mevcut çalışmanın geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarla kıyaslamasının yapılabilmesi için Microsoft Excel programında grafikler ortak düzlemde incelenmiştir. Zemin sınıflarına, formasyonlarına ve tüm zeminler grubuna göre dinamik davranış özelliklerinin değişimi Geoteknik Mühendisliği açısından yorumlanmıştır.

Sonuç bölümünde ise, elde edilen yeni bağıntılardan korelasyonu yüksek olan üç tanesi ön plana çıkarılarak bu bağıntıların daha yaygın olarak kullanılabileceği vurgulanmıştır. Bu çalışmada elde edilen bağıntıların pratik amaçlar doğrultusunda kayma dalgası hızını tahmin etmede kullanılabileceği, ayrıca eldeki verilerin laboratuvar deney sonuçları gibi yeni verilerle de zenginleştirilmesi durumunda, bundan sonraki çalışmalara yapacağı katkı değerlendirilmiştir.

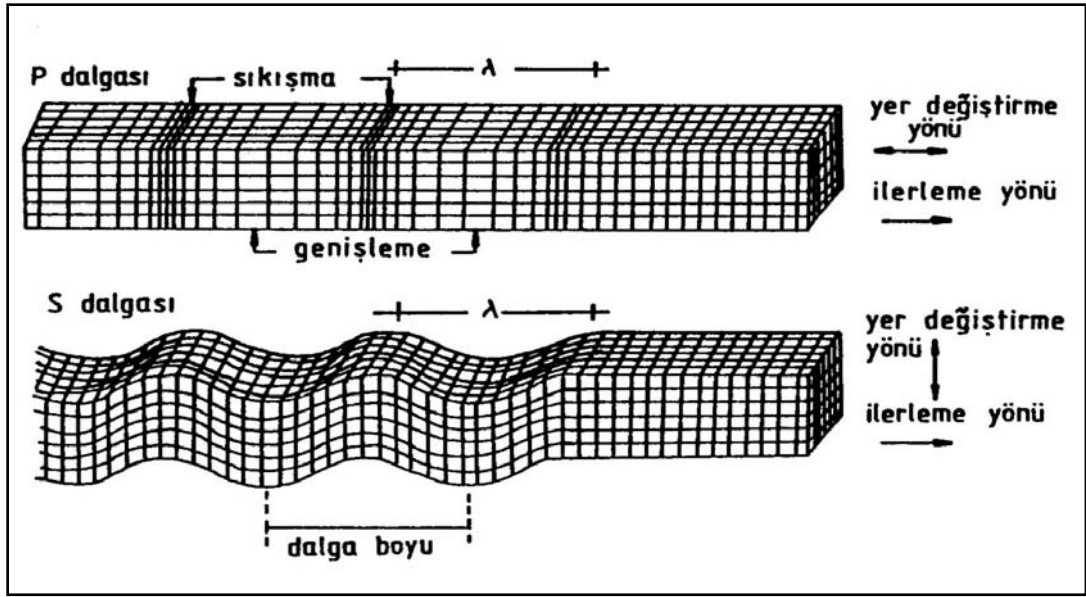
2. ZEMİNLERDE KAYMA DALGASI HIZI ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

2.1 Giriş

Zemin tabakalarının dinamik davranış özellikleri deprem hasarları üzerinde etkili olduğundan depreme dayanıklı yapı tasarımı için dinamik özelliklerin bilinmesi gerekmektedir. Zeminlerin dinamik özellikleri, laboratuvar ve arazi deneyleri ile belirlenebilmektedir. Bu özelliklerin belirlendiği laboratuvar deneyleri, dinamik üç eksenli, dinamik basit kesme, sarsma tablası ve rezonant kolon deneylerinden, arazi deneyleri ise sismik deneyler, penetrasyon deneyleri ve mikrotremorlardan oluşmaktadır.

Herhangi bir ortamda dinamik bir etki yaratıldığı zaman bir dalga alanı meydana gelmekte ve bu dalgalar hem yüzeyde hem de ortamın içinde yayılmaktadır. Geoteknik mühendisliğinde tipik olarak zemin ve kayadan oluşan ortam, genelde elastik yarı sonsuz ortam olarak tanımlanmaktadır. Bu ortamda oluşturulan dalga alanı, ortam içinde yayılan cisim dalgaları ve ortamın yüzeyinde yayılan yüzey dalgaları olarak bilinen dalga tiplerini içermektedir (İyisan ve Ansal, 1993). Ortam içinde yayılan dalgalar basınç ve kayma dalgaları, yüzeye yakın tabakalarda yayılan dalgalar ise Rayleigh ve Love dalgaları olmaktadır. Gerçek dalga tipi, parçacık hareketi yani yer değiştirmeleri ile dalga yayılma yönü dikkate alındığında ortaya çıkmaktadır. Bir ortam içinde üretilen dalganın yayılma yönü ile yer değiştirme (parçacık hareketi) yönü aynı ise bu dalga tipine basınç dalgası adı verilmektedir. Ortamda çekme ve basınç olarak yayılırken hacim değişikliğine neden olmaktadır. Basınç dalgaları için “P-dalgası”, “birincil dalga”, “boyuna dalga” ifadeleri de kullanılmaktadır (İyisan, 1994).

Kayma dalgaları elastik bir ortamda bükülerek, parçacık hareketine dik yönde yayılırlar. Hacim değişmesine neden olmazlar ancak ortamda şekil değişikliği meydana getirirler. Kayma dalgaları “S-dalgası”, “ikincil dalga” veya “transvers dalga” ifadelerle anılırlar. Kayma ve basınç dalgası için dalga ilerleme ve yer değiştirme yönleri Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: P ve S Dalgalarının Yer Değiştirme ve İlerleme Yönleri (İyisan, 1994)

Kayma dalgası parçacık hareketleri düşey bir düzlem ile çevrilirse yani yer değiştirmeler düşey düzlemde oluşursa bu dalgaya düşey polarize olmuş kayma dalgası veya kısaca SV dalgası adı verilmektedir. Diğer yandan, parçacık hareketi yatay düzlemde meydana gelirse, yatay polarize olmuş kayma dalgası ya da kısaca SH dalgası adını almaktadır. Love dalgası parçacık hareketi bir yatay düzlem üzerinde olup, dalga yayılma yönüne diktir. Bu yüzey dalgaları sadece, yüksek hızlı tabaka üzerinde düşük hızlı tabakaların yer aldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır. Rayleigh dalgası parçacık hareketi ise düşey düzlemde olup, bu düzlem dalga yayılma yönünü de içermektedir. Yatay yer değiştirme mevcut değildir ve parçacık hareketi yüzeyde eliptiktir (İyisan, 1994).

Zeminler dış yükler altında kayma deformasyonunun 10^{-3} veya daha küçük genliklerinde elastik davranış göstermektedirler. Arazi sismik yöntemlerinin kullanımları sırasında zeminde oluşturdukları deformasyon seviyeleri bu sınırın altında kalmakta ve bu tür ölçümlere düşük deformasyon genlikli ölçümler denilmektedir (Stokoe ve diğ., 1989). P- dalgasının yeraltı suyundan etkilenmesi ve kayma modülünün dinamik analizdeki önemi yüzünden S-dalga hızı (V_s) ölçümleri mühendislik uygulamalarında ön plana çıkmaktadır. Genellikle arazide yapılan bu tür ölçümler başlangıç modüllerini (G_{maks}) belirlemede kullanılmaktadır. Kayma dalgası hızının belirlenmesi ile elastisite teorisinde homojen izotrop ortamlar için belirlenen

bağıntılar yardımı ile kayma modülü, sönüm oranı, sıkışma modülü, poisson oranı, elastisite modülü, bulk modülü ve zemin hakim periyodu gibi dinamik zemin özellikleri hesaplanabilmektedir (İyisan, 1994). Bu bölümde kayma dalgası hızının önemi ve kayma dalgası hızının belirlenmesi için uygulanan ölçüm yöntemleri incelenerek bu yöntemlerin karşılaştırmaları yapılacaktır.

2.2 Kayma Dalgası Hızı ve Önemi

Kayma dalgası hızı, bir kaynaktan açığa çıkarılan kayma enerjisi ile zemin içinde oluşturulan kayma dalgalarının kaynaktan bilinen mesafelerde bulunan bir veya daha fazla alıcı noktasında gözlenerek, kayma dalgasının hareket ettiği bu mesafenin varış zamanına bölünmesiyle elde edilen önemli bir dinamik zemin parametresidir (İyisan,1994).

$$V_s = \frac{d}{t_s} \quad (\text{m/s}) \quad (2.1)$$

Kayma dalgası hızı, kayma modülü, sönüm oranı, sıkışma modülü, poisson oranı, elastisite modülü, bulk modülü ve zemin hakim periyodu gibi zemin özelliklerinin ve ayrıca bir dinamik davranış özelliği olan deprem yükleri sırasında zemin tabakalarının meydana getireceği büyütme hesaplanmasında kullanılan en önemli zemin parametrelerinden biridir.

$$\text{Kayma Modülü} \quad G=(\gamma/g)V_s^2 \quad (2.2)$$

$$\text{Sıkışma Modülü} \quad M=(\gamma/g)V_p^2 \quad (2.3)$$

$$\text{Poisson Oranı} \quad \mu=[0.5(V_p/V_s)^2-1]/[(V_p/V_s)^2-1] \quad (2.4)$$

$$\text{Elastisite Modülü} \quad E=2(\gamma/g)V_s^2(1+\mu) \quad (2.5)$$

$$\text{Zemin Hakim Peryodu} \quad T=4H/V_s \quad (2.6)$$

Kayma dalgası hızı, zeminlerin rijitliği hakkında doğrudan bilgi verdiği için zemin davranışının belirlenmesi için yapılan büyütme analizlerinde kullanılır. Bu yüzden yerel zemin koşullarının büyütme üzerindeki değişiminin incelenmesinde ve dinamik özellikleri hakkında bilgi edinilmesinde kayma dalgası hızının belirlenmesi temel bir amaçtır. Zemin türü, derinlik ve jeolojik yük kayma dalgasının hızını etkileyen en

temel faktörler olup bunlara bağlı olarak, efektif gerilme (σ_0'), aşırı konsolidasyon oranı ve boşluk oranı (e) de doğrudan etkileyen başlıca faktörlerdir (Güllü, 2001). Ayrıca, Vucetic ve Dobry (1991)'in çalışmalarında da belirtildiği gibi zeminlerin plastisite indisi de, maksimum kayma modülü ve dolayısı ile kayma dalgası hızı üzerinde önemli rol oynayan bir zemin özelliğidir. Kayma dalgası hızının mikrotremorlarla ölçülerek zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesine yönelik çalışma ise İyisan, Özçimen ve Ansal (2000) tarafından gerçekleştirilmiştir.

Kayma dalgası hızı sismik yöntemler ile yerinde ölçülerek veya ölçülemediği durumlarda ise SPT-N sayısı, koni uç mukavemeti gibi zeminin rijitlik parametrelerine bağlı olarak amprik korelasyonlarla tahmin edilerek belirlenir. Zeminlerde rijitliğin artmasıyla SPT-N ile kayma dalgası hızında da benzer bir artışın olması araştırmacıları amprik korelasyonların geliştirilmesine yöneltmiştir. Kayma dalgası hızı, ülkemizde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı'nın hazırlamış olduğu Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik kapsamında da ele alınmış olup Tablo 2.1' de görüldüğü gibi zeminlerin gruplara ayrılarak incelenmesinde bir araç olarak kullanılmıştır. Tablo 2.1' den zeminlerin kıvamı veya sıkılıkları arttıkça kayma dalgası hızının da arttığı gözlenmektedir. Aynı şekilde Tablo 2.1' de SPT darbe sayısı ile zemin gruplarının kıvam ve sıkılıkları arasında benzer bir ilişki olduğu görülmektedir.

Tablo 2.1: DBYBHY (2006)'de Zemin Grupları

<i>Zemin Grubu</i>	<i>Zemin Grubu Tanımı</i>	<i>Stand. Penetr. (N/30)</i>	<i>Relatif Sıkılık (%)</i>	<i>Serbest Basınç Direnci (kPa)</i>	<i>Kayma Dalgası Hızı (m/s)</i>
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar.... 2. Çok sıkı kum, çakıl..... 3. Sert kil ve siltli kil.....	— > 50 > 32	— 85—100 —	> 1000 — > 400	> 1000 > 700 > 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar.... 2. Sıkı kum, çakıl..... 3. Çok katı kil ve siltli kil...	— 30—50 16—32	— 65—85 —	500—1000 — 200—400	700—1000 400—700 300—700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar..... 2. Orta sıkı kum, çakıl..... 3. Katı kil ve siltli kil.....	— 10—30 8—16	— 35—65 —	< 500 — 100—200	400—700 200—400 200—300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın altüvyon tabakaları.... 2. Gevşek kum..... 3. Yumuşak kil, siltli kil.....	— < 10 < 8	— < 35 —	— — < 100	< 200 < 200 < 200

2.3 Kayma Dalgası Hızı Ölçüm Yöntemleri

Dinamik zemin özellikleri arazide ve laboratuvarda yapılan deney sonuçlarından elde edilen verilere göre belirlenmektedir. Zemin kesitinde yer alan bir tabakanın bu özelliklerinin laboratuvar deneyleri yardımı ile bulunmasında, arazi şartlarının tekrar yaratılması gerekmekte, ilgilenilen alanda tabakayı temsil eden çok sayıda deney numunesine ihtiyaç duyulmakta ve bu deney sonuçları numunenin alındığı bölge için geçerli olmaktadır. Bütün bunlar doğal koşullarda uygulanan arazi deneylerinin de gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Uygulanmaları sırasında meydana getirdikleri deformasyon seviyeleri bakımından başlangıç değerlerine doğrudan ulaşılabilmesi ve elde edilen sonuçların daha geniş bir alanda kullanılabilmesi arazi deney tekniklerinin üstünlükleridir (İyisan ve Ansal, 1991). Arazi deney yöntemleri arazi sismik ve penetrasyon deneyleri ile mikrotremorlardan oluşmaktadır.

Bir kaynaktan açığa çıkarılan enerjinin neden olduğu düşük deformasyon seviyelerindeki dalgalar ortamın fiziksel özelliklerine bağlı olarak yayılır. Ortamın içinde veya yüzeyinde yayılan bu dalgalar, yayıldıkları ortam hakkında önemli bilgiler içerir. Zeminlerin elastik davranış sergiledikleri düşük deformasyon genliklerinde dalga üretilmesi, bilinen mesafelerde bu dalgaların izlenerek algılanması ve yayılma hızlarının belirlenmesi sismik yöntemler olarak adlandırılır. Yayılma hızı, kayma dalgasının hareket ettiği kaynakla alıcı arasındaki bilinen mesafenin varış zamanına bölünmesiyle hesaplanmaktadır (İyisan, 1994).

Sismik yöntem türleri, uygulanması sırasında üretilen deformasyona ve kaynak-alıcı yerleşimine göre ikiye ayrılırlar. Uygulanması sırasında üretilen deformasyona göre; düşük ve yüksek deformasyon genlikli yöntemler, kaynak-alıcı yerleşimine göre de ; kuyu içi ve yüzey yöntemler olarak dört grupta incelenirler. Zeminler kayma deformasyonunun 10^{-3} veya daha küçük genliklerinde elastik davranış gösterdiklerinden düşük deformasyon genlikli yöntemler uygulanır. Kaynak-alıcı yerleşimine göre de kuyu içi ve yüzey yöntemler uygulanabilir. Geoteknik mühendisliğinde sismik yöntemler denilince genel olarak düşük deformasyon genliklerinde uygulanan kuyu içi yöntemler anlaşılmaktadır. Bu çalışmada da İstanbul'da sondaj kuyularında yapılan bir çalışmada kuyu içi yöntemlerden olan kuyu içi (PS Logging) deneyi uygulamasından elde edilen veriler kullanıldığı için yüzey yöntemler kısaca özetlenecektir.

2.3.1 Yüzey Yöntemler

Yüzey sismik yöntemlerinde kaynak ve alıcılar zemin yüzeyinde bulunmaktadır. Bu yöntemlerin uygulamalarında sondaj kuyusu gerekmemesi ekonomik açıdan en büyük üstünlükleridir. Yüzey yöntemleri, yüzey kırılma, yüzey yansıma ve Spectral Analysis of Surface Waves (SASW) olmak üzere üç tanedir.

Yüzey Kırılma Yöntemi, yüzeydeki bir kaynaktan çıkan cisim dalgalarının lineer düzendeki alıcılara varış zamanını ölçmekten ibarettir. Yüzey kırılma yönteminde kaynak ve alıcılar zemin yüzeyinde bulunmaktadır. Sismik dalga'nın en kısa yolu, dalga'nın daha alt tabakalardaki yayılma hızına bağlıdır ve alıcılara ilk dalga bu yoldan ulaşır. P-dalgası için en çok kullanılan kaynak patlayıcı tipte olanlardır. S-dalgası üretmekte yönlendirilmiş mekanik kaynaklar kullanılmaktadır. S-dalgası, P-dalgasından daha hızlı sönümlendiğinden etki derinliği sınırlıdır. Ayrıca zemin içine büyük miktarlarda kayma enerjisi verebilmek zordur. Ölçümlerde sinyal biriktirmeli ve yükselticili kayıt cihazları ve tekrarlı tipte darbe kaynakları kullanılmaktadır.

Yöntemin esas amacı yeraltı araştırmacılığı, su seviyesinin ve ana kaya derinliğinin bulunabilmesidir. Ayrıca çok geniş alanlarda uygulama kolaylığı açısından fizibilite çalışmalarında ve iş planlamasında bir ön bilgi edinilmesi amacı ile de kullanılmaktadır (İyisan, 1994).

Yüzey Yansıma Yöntemi, kavram olarak yüzey kırılma yöntemine benzetilmektedir ve bu yöntemde alıcılar kaynağa daha yakındır. Yöntemde ilk varışlardan direkt dalgaların ölçüldüğü, sonraki varışların iki tabakanın arakesitinden yansıyarak gelen dalgalar olduğu kabul edilmektedir. Bu yöntem, petrol aramada kullanılan ilk sismik yöntemidir. P- dalgası ölçümleri yapıldığından dinamik analizde çok fazla kullanım alanı olmamaktadır (İyisan, 1994).

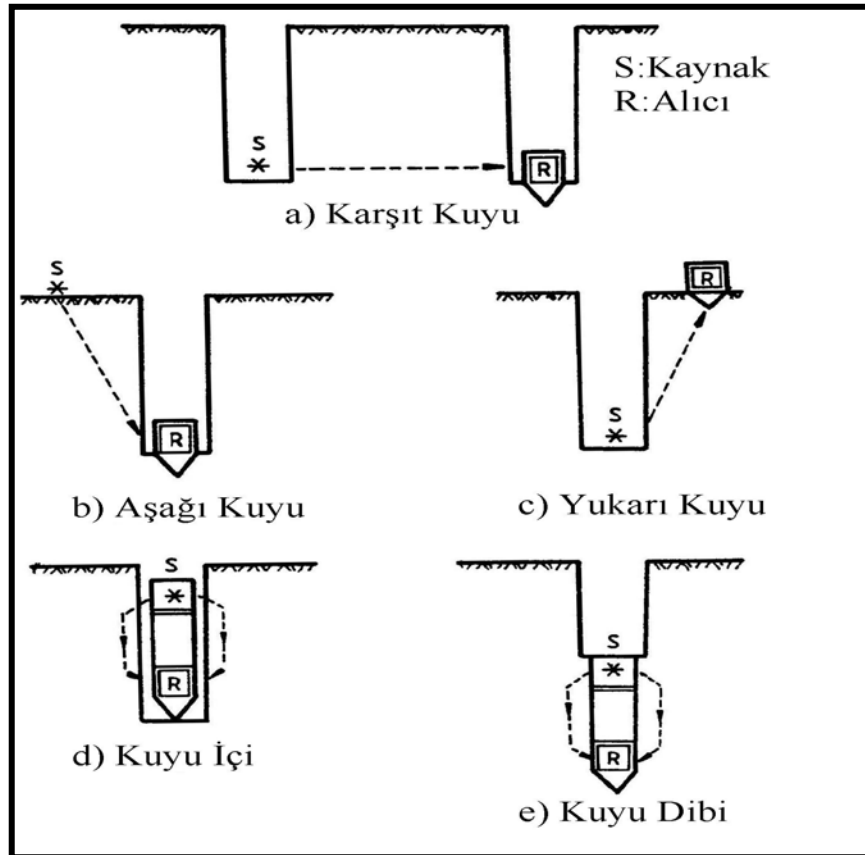
Yüzey Dalgalarının Spektral Analizi (SASW) Yöntemi, dispersiyon Rayleigh yöntemi olarak da bilinmektedir. Bu yöntemde bir düşey darbe ile üretilen dalgaların zemin yüzeyinde lineer düzende bulunan alıcılara ulaşması için gerekli süre ölçülmektedir (İyisan, 1994). Alıcılar sabit bir orta noktadan itibaren lineer düzende bir önceki açıklığın iki katı mesafede tutulmaktadır. Alıcıdan belli bir uzaklıkta düşey darbe ile dalga üretilerek kaydedilir. Alıcı yerleşimi bozulmadan, kaynak aynı mesafede diğer tarafa taşınarak yeteri kadar kayıt alınır. Alıcılar arası mesafe arttırılarak aynı işlemlere devam edilir. Kısa açıklıklarda el çekici, tokmak gibi hafif

kaynaklar kullanılırken, alıcılar arası mesafe açıldığında SPT çekici, iş makinelerinin kepçeleri kullanılmaktadır. Rayleigh dalgası hızı, frekans ile dalga boyunun çarpımıyla hesaplanmaktadır (İyisan, 1994).

$$V_R = L_R * f \quad (\text{m/s}) \quad (2.7)$$

2.3.2 Kuyu İçi Yöntemler

Sismik dalga hızlarının arazide ölçülmesi için kullanılan kaynak ve alıcı konumuna göre kuyu içi yöntemler, Şekil 2.2' de görüleceği üzere aşağı kuyu, yukarı kuyu, karşıt kuyu, kuyu içi ve kuyu dibi olmak üzere beş tane olup bunlardan en yaygın kullanılan yöntemler olan aşağı kuyu, karşıt kuyu yöntemleridir. Yukarı kuyu yöntemi, aşağı kuyu yönteminin simetriği olarak uygulanmaktadır. Yukarı kuyu yöntemi esas olarak, basınç (P) dalgası izini tanımlamak için yüzey yansıma ve kırılma ile kullanılması amacıyla geliştirilmiştir. Kuyu dibi yöntemi ise açık deniz dibi zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemek üzere geliştirilmiştir (Stokoe ve diğ., 1978).



Şekil 2.2: Kuyu İçi Yöntemlerin Birlikte Gösterimi (İyisan, 1994)

2.3.2.1 Aşağı Kuyu Yöntemi

Kayma dalgasını sismik yöntemlerle ölçmek için kullanılan yöntemlerden biri olan aşağı kuyu deneyinde, zemin yüzeyindeki bir kaynaktan üretilen sismik dalgaların kuyu içinde bilinen derinlikte bulunan alıcı veya alıcılara hemen hemen dikey olarak ulaşması için gereken süre ölçülmektedir. Bu yöntemde kaynak zemin yüzeyinde olup, alıcı veya alıcılar Şekil 2.2' deki gibi kuyu içerisinde. Kaynak yüzeye yerleştirilmiş çelik bir plaka veya üzerinde yük bulunan kalın bir ahşaptır. S-dalgası için yatay, P-dalgası için düşey darbe uygulanır. Alıcıların ölçüm derinliğinde kuyu duvarına temas etmesi gerekmektedir. S-dalga için alıcıların yatay bileşeni kullanılır. Aşağı kuyu yönteminde her ölçüm derinliğinde yeterince kayıt alınmasına dikkat edilmelidir. Tek alıcının kullanılması durumunda, sıfır zamanını belirlemek için uygun tetikleme sistemi gereklidir. Uygulanması için tek kuyu yeterlidir. Kuyular alıcı boyutlarına uygun olarak PVC ile kaplanmış, kaplama ve tabii zemin arası zayıf çimento ile doldurulmuş olmalıdır. Bu dolgu malzemesinin yoğunluğu zemininki ile uyumlu olmalıdır. Analiz aşamasında, kayıtlarda karakteristik noktalar belirlenerek dalga varış zamanları bulunur ve derinlik-zaman grafikleri çizilir (İyisan, 1994). Karakteristik nokta, Şekil 2.4' te normal ve polarize kayma dalgalarının alıcıya ilk ulaştıkları zamana karşılık gelen ve kayıtlarda simetrik tepe noktaları olarak görülen noktalardır. Derinlik-zaman grafiklerinin eğimlerden hızlar hesaplanır. Dalga hızları tabaka içerisinde ortalama sabit bir değer olarak belirlenir.

2.3.2.2 Karşıt Kuyu Yöntemi

Karşıt kuyu yönteminde, kuyu içindeki bir kaynaktan üretilen dalgaların aynı derinlikte bir veya daha fazla alıcıya yatay olarak ulaşması için gereken süre ölçülmektedir (İyisan, 1994). Şekil 2.2a'daki gibi kaynak ve alıcı ayrı kuyularda, her ikisi de aynı derinlikte. Alıcılar ve kaynak ölçüm derinliğinde kuyu duvarlarına temas etmelidir. Kaynak, S-dalgası üretmeye elverişli, tekrarlanabilir ve tersine döndürülebilir özel bir donanımdır. Ağırlığın alt başlığa düşürülmesi veya üst başlığa çarptırılması ile polarize S-dalgası üretilir. Karşıt kuyu yönteminde S-dalga için alıcıların düşey bileşeni kullanılır. Her ölçüm derinliğinde normal ve polarize S-dalgası için yeterince kayıt alınmalıdır.

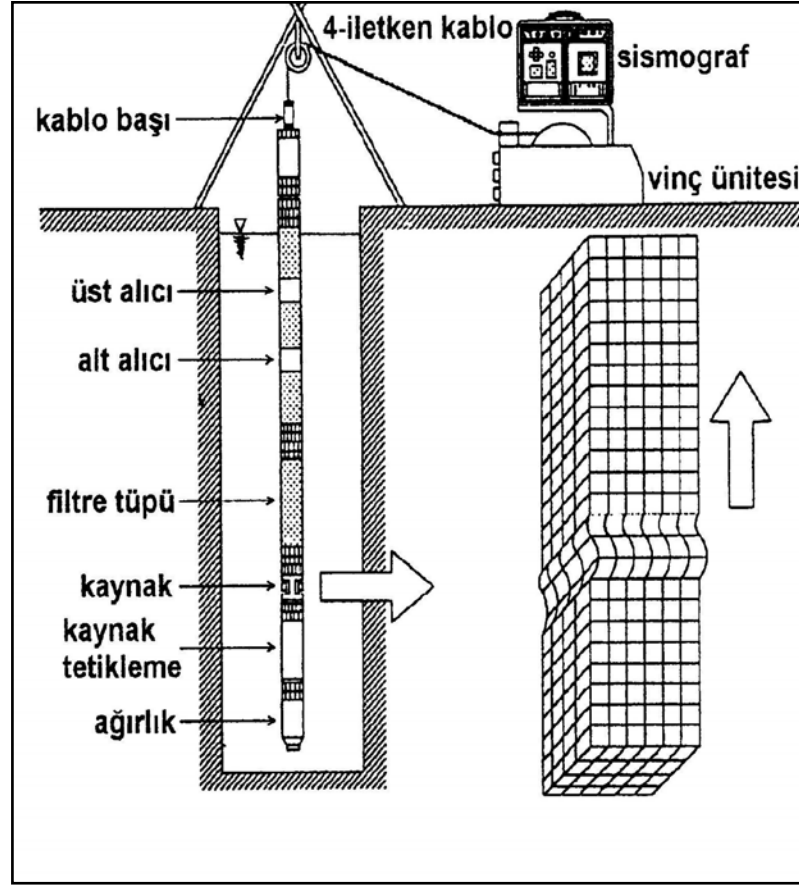
Tek alıcı kuyusunun kullanılması durumunda, sıfır zamanını belirlemek için uygun tetikleme sistemi gereklidir. Aynı dalganın iki alıcı kuyusunda kaydedilmesi

durumunda tetikleme sistemine gerek olmayabilir. Bu yöntemin uygulanabilmesi için en az iki tercihen üç kuyu yeterlidir. Kuyular alıcı boyutlarına uygun olarak PVC ile kaplanmış, kaplama ve tabii zemin arası zayıf çimento ile doldurulmuş olmalıdır. Dalga hızları, ölçülen varış zamanı ve kuyular arası yatay mesafeden her ölçüm derinliğinde doğrudan bulunur. Ölçüm aralıkları yeterince küçük seçilirse, düşük hızlı ince tabakalar algılanabilir. Ölçüm derinliğinde kuyular arası gerçek yatay mesafenin belirlenmesi için, kuyularda düşeyden sapmalar bilinmelidir. Bunun için inklinometrik ölçümlere gerek duyulmaktadır (İyisan, 1994).

2.3.2.3 PS Logging (Kuyu İçi) Yöntemi

Zeminlerin önemli bir dinamik özelliği olan kayma dalgası hızının yerinde doğrudan belirlenmesi için yapılan arazi sismik deneylerinden birisi de kuyu içi “asılı PS” veya “suspension PS logging” deneyidir. Diğer arazi sismik deneylerine bir alternatif olarak Japonya’da geliştirilen ve 1980’li yılların ortalarından itibaren dünyaca kullanılan bu sistem Türkiye’de ilk defa İyisan ve Ansal (1995) tarafından uygulanmıştır. Şekil 2.3’ te de görülebilen bu sistemde, dalga üreten kaynak ve alıcılar aynı birimde yer almakta olup bu birimin yoğunluğu yaklaşık olarak suyunkine eşittir. Sistemin üst bölümünde yatay ve düşey bileşenlere sahip üst ve alt jeofon olmak üzere iki adet alıcı yer almakta olup alıcılar arasındaki mesafe 1 metredir. Alt kısmında ise manyetik bir dalga üretme kaynağı ve sistemi suyun yoğunluğuna eşit kılabilmek için yerleştirilmiş bir ağırlık bulunmaktadır. Kaynak yatay yönde kuyu duvarına kuyu içindeki su vasıtası ile bir basınç uygulayarak her yöne dağılan P-dalgası ile kuyu boyunca yayılan S-dalgası üretir. Kaynak seviyesinde kuyu duvarında meydana getirilen deformasyonlar ilerleyerek alıcı seviyesine ulaştığında, kuyu içindeki su ile beraber alıcılar da sarsılmakta ve algılanan bu hareket sonucu alıcılar arasında kalan 1 m yüksekliğindeki zemin kolonunun hızı doğrudan elde edilebilmektedir. Böyle bir sistem ile bir profil boyunca sürekli ölçme imkanı sağlandığından çok ince tabakaların da özellikleri belirlenebilmekte, kaplamalı veya kaplamasız kuyularda da uygulandığından çok daha derin (300 m) tabakalara kadar da ölçüm alınabilmektedir. Ayrıca diğerlerinden farklı olarak bu sistemde, kaynak ve alıcılar kuyu duvarına temas etmeden aynı birimde yer aldığından kuyu içinde birlikte hareket edebilmekte ve deneyler daha

kısa sürede tamamlanabilmektedir. Deney düzeneği Şekil 2.3’ te daha detaylı olarak görülebilmektedir.



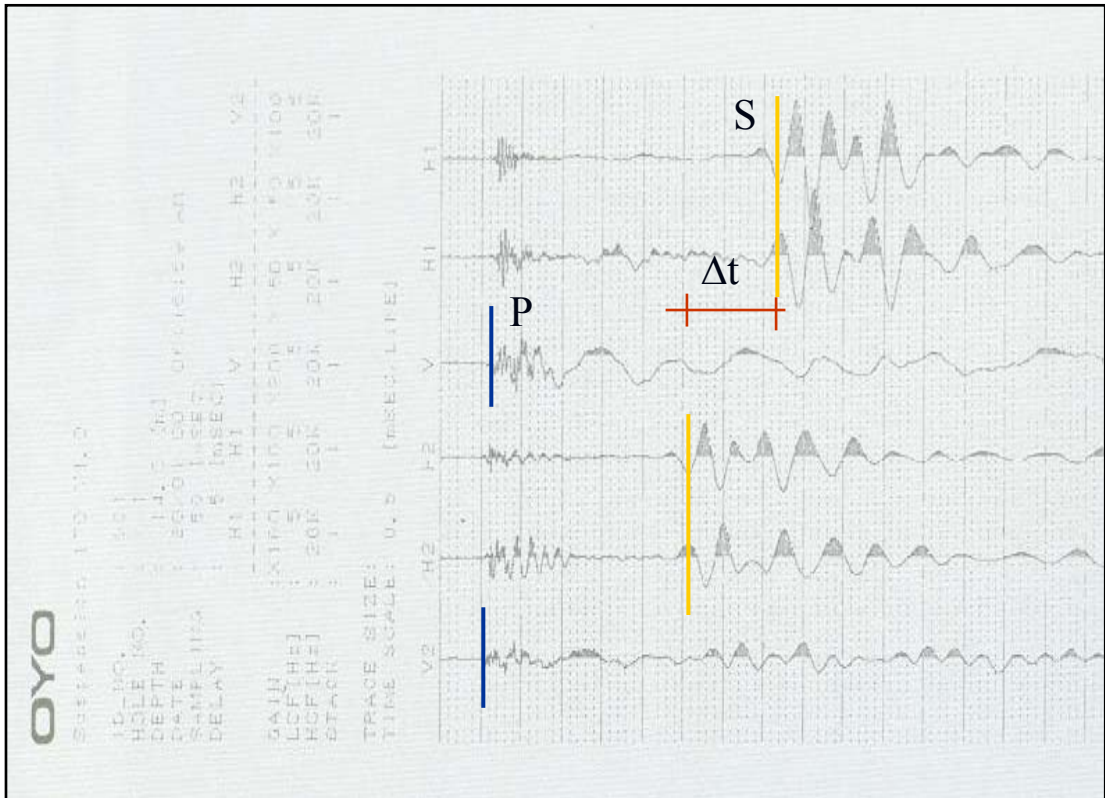
Şekil 2.3: PS Logging Deney Sistemi (İyisan ve Ansal, 1995)

Deneylerin uygulanması için yapılması gerekenler ise:

1. PS logging yönteminin uygulanacağı sondaj kuyuları açılmalı ve düşey olmalıdır.
2. Örselenmiş bölgenin olabildiğince küçük tutulması açısından kuyu çapının, içine indirilecek kaplama borusunun çapı ile uyumlu olması gerekir.
3. Kuyu içi probun çapı yaklaşık 70 mm olduğundan deney kuyusunun, iç çapı en az 80 mm olan burgulu PVC boru ile kaplanması gerekmektedir.
4. Kaplama ile tabii zemin arasındaki boşluğun zayıf çimento enjeksiyonu ile doldurulması ve enjeksiyonun yoğunluğu yaklaşık tabii zeminin yoğunluğuna eşit olması gerekmektedir. Kaplama ile doğal zemin arasında boşluk olması durumunda deney yapılamamaktadır.

5. Deney sırasında kuyunun temiz su ile dolu olması ve deney süresince su seviyesinin yüzeyde sabit kalmasının sağlanması gerekmektedir. Kuyuda su olmaması durumunda ölçüm mümkün değildir.
6. Deneylerde kuyu içine indirilen Şekil 2.6' da görülen probun alt ucu ile üst alıcı arası mesafe yaklaşık 6 metre olduğundan, ölçüm derinliği sondaj derinliğinden 6 m daha az olmaktadır. Deney yapılacak kuyularda hedeflenen ölçüm derinliği için bu durum dikkate alınmalıdır.

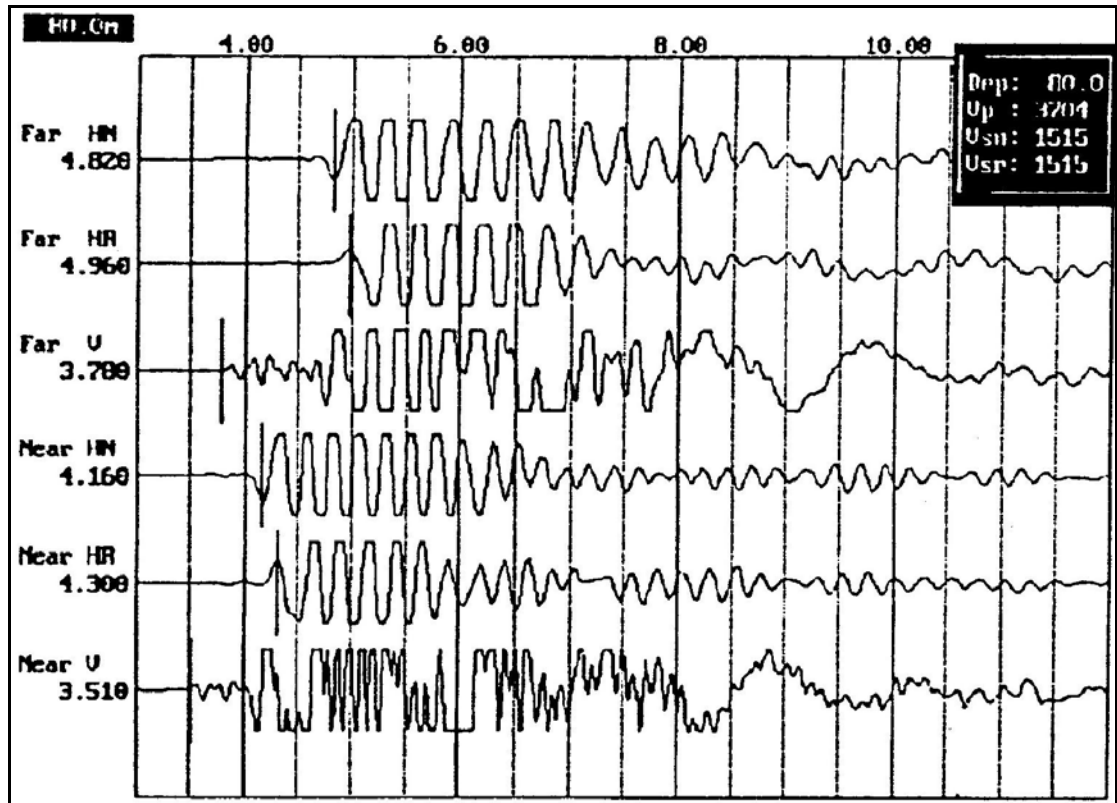
PS Logging yönteminin arazide uygulanişı, bir sondaj kuyusu içinde istenilen derinliklerde S ve P dalga kayıtlarının alınmasını içermektedir. Bir sahada uygulanan PS Logging deneylerinden alınan kayıtlara ait örnekler Şekil 2.4 ve Şekil 2.5' te verilmiştir. P ve S dalga hızlarının hesabı, bir analiz programıyla her derinlikte alınan zaman kayıtlarının bilgisayar ortamına aktarılması ve akabinde dalgaların varışını gösteren karakteristik noktaların seçilmesiyle gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.4: Kaydediciden Termal Baskı ile Alınmış P-S Dalga Kayıtları

Elde edilen kayıtlarda, kaynağa yakın ve uzak alıcıların düşey bileşenlerinde kaydedilmiş dalga formundaki ilk titreşim P dalgasını göstermektedir. P dalgası, dalganın 1 m mesafede bulunan iki alıcı arasındaki hareket süresine karşı gelen varış zamanları arasındaki farkın belirlenmesiyle hesaplanmıştır. S-dalgası, P-dalgasından

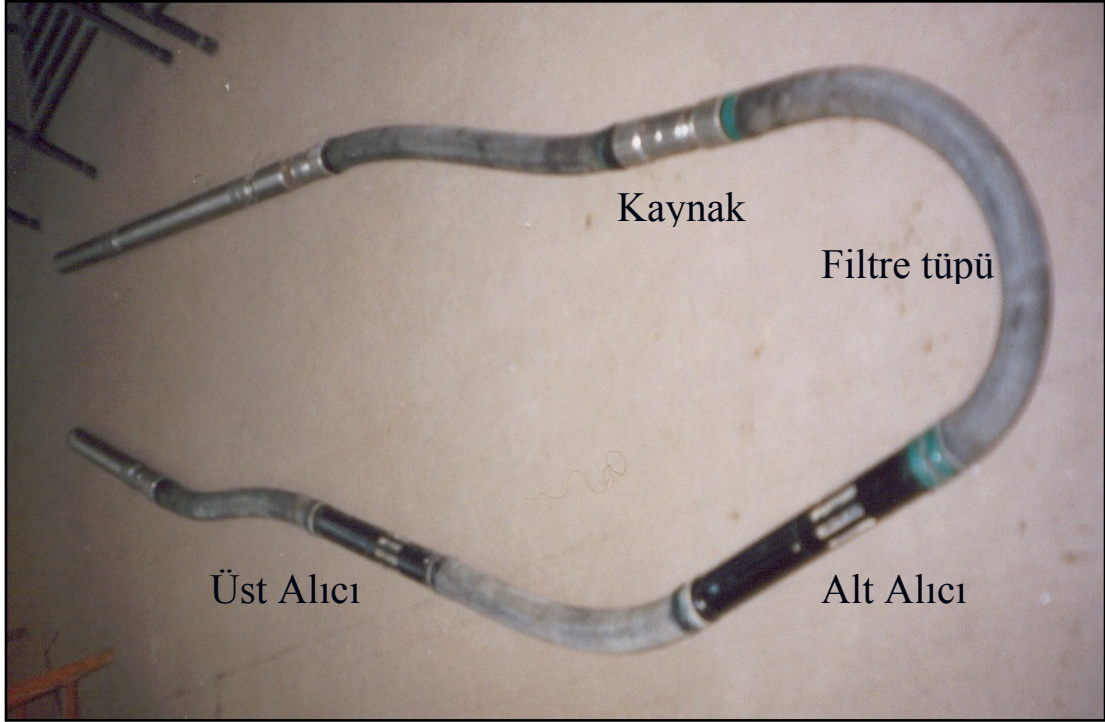
sonra ilk gelen dalga olup darbe yönüne bağlı olarak yön değiştiren polarize olma özelliğine sahiptir. Aynı kaynak alıcı konumunda, kayıtların kaynağın tersine çevrilerek de alınması ve karşılaştırılması, S dalgasını tanımada büyük kolaylık sağlamıştır. Analiz programı ile yatay alıcılardaki kayıtlardan belirlenen zamanlar kullanılarak hem normal hem de ters yönde kaydedilen S dalgaları hesaplanmış olup, yaklaşık olarak birbirlerine eşit olan bu iki değerin ortalaması alınmıştır. Normal ve ters yönde alınan S dalga kayıtlarından bulunan varış zamanlarının farklı olması ölçümün düşeyden sapmasından ve dolayısı ile alıcıların merkezden bir miktar uzaklaşmasından kaynaklanıp ortalama değerlerin alınması bir hata oluşturmamaktadır (İyisan ve Ansal, 1995).



Şekil 2.5: Kayıtlardan P ve S Dalga Hızlarının Hesaplanması (İyisan, 1994)

PS Logging yönteminde ölçüm aralıkları istenildiği kadar küçük seçilebilmektedir. 300 metre derinliğe kadar deney yapabilme imkanı vardır. PS Logging deneyinin üstünlükleri arasında, çok derinlerde ve deniz dibi zeminlerinde ölçüm yapılabilecek en uygun yöntem olması, tek kuyunun yeterli olması, kendini tutan zeminlerde kaplama ve enjeksiyona gerek duyulmaması, çok hızlı ölçüm yapılabilmesi, ölçüm aralıklarının çok küçük seçilerek çok detaylı profil elde edilebilmesi, otomatik modu ile operatörden bağımsız olması gösterilebilir. PS Logging deneyinin sınırlayıcı

yönleri olarak; çok özel donanım gereken pahalı bir sistem olması, kaplama ve enjeksiyondan etkilenmesi, kuyu cidarlarındaki örselenmiş bölge kalınlığının çok etkili olması, deneyimli ve kalifiye personele ihtiyaç duyulması ve mobilizasyon gösterilebilir (İyisan,1994).



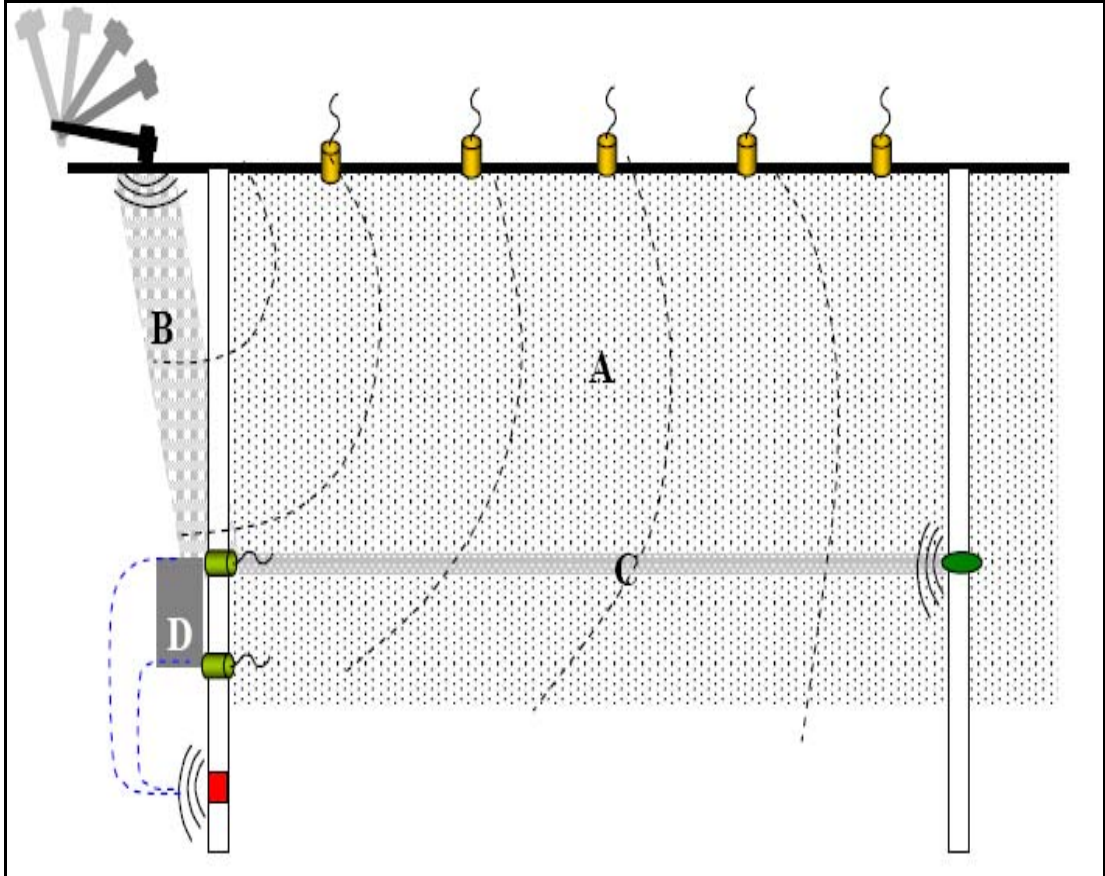
Şekil 2.6: Kaynak ve Alıcıların Aynı Birimde Yer Aldığı Prob

2.3.3 Kuyu İçi Yöntemlerin Karşılaştırılması

Kuyu içi yöntemlerin birbirlerine göre üstünlükleri ve sınırlayıcı yanları bulunmaktadır. Bir ölçüm sahasında amaca uygun olarak yöntemin seçilmesi gerekir. Aşağı kuyu ve PS Logging yöntemlerinde tek kuyu yeterli iken, karşıt kuyu yönteminde kaplamalı en az iki tercihen üç kuyu gerekmektedir. Aşağı kuyu yönteminde kaynak basit olup yüzeyde yer almaktadır. Alıcılar kuyuda bulunmaktadır ve kuyu duvarına temas etmektedir. Derinlere inildikçe veri kalitesi azalır. Ölçülen hız değerleri tabaka içerisinde ortalama bir değerdir. Düşük hızlı ince tabakalar belirlenemez. Diğer kuyu içi yöntemlere göre daha ekonomiktir.

Karşıt kuyu yönteminde, kuyularda düşeylik araştırmaları yapılır. Dalga üretimi için özel kuyu içi kaynak kullanılır. Alıcılar kuyudadır ve kuyu duvarına temas etmektedir. Hızlar her ölçüm derinliğinde ölçülebilmektedir. Sağlam tabakanın yakınlarda olması durumunda kırılma ve yansıma problemi olabilmektedir. Maliyet ve zaman açısından aşağı kuyu yöntemine göre daha pahalıdır.

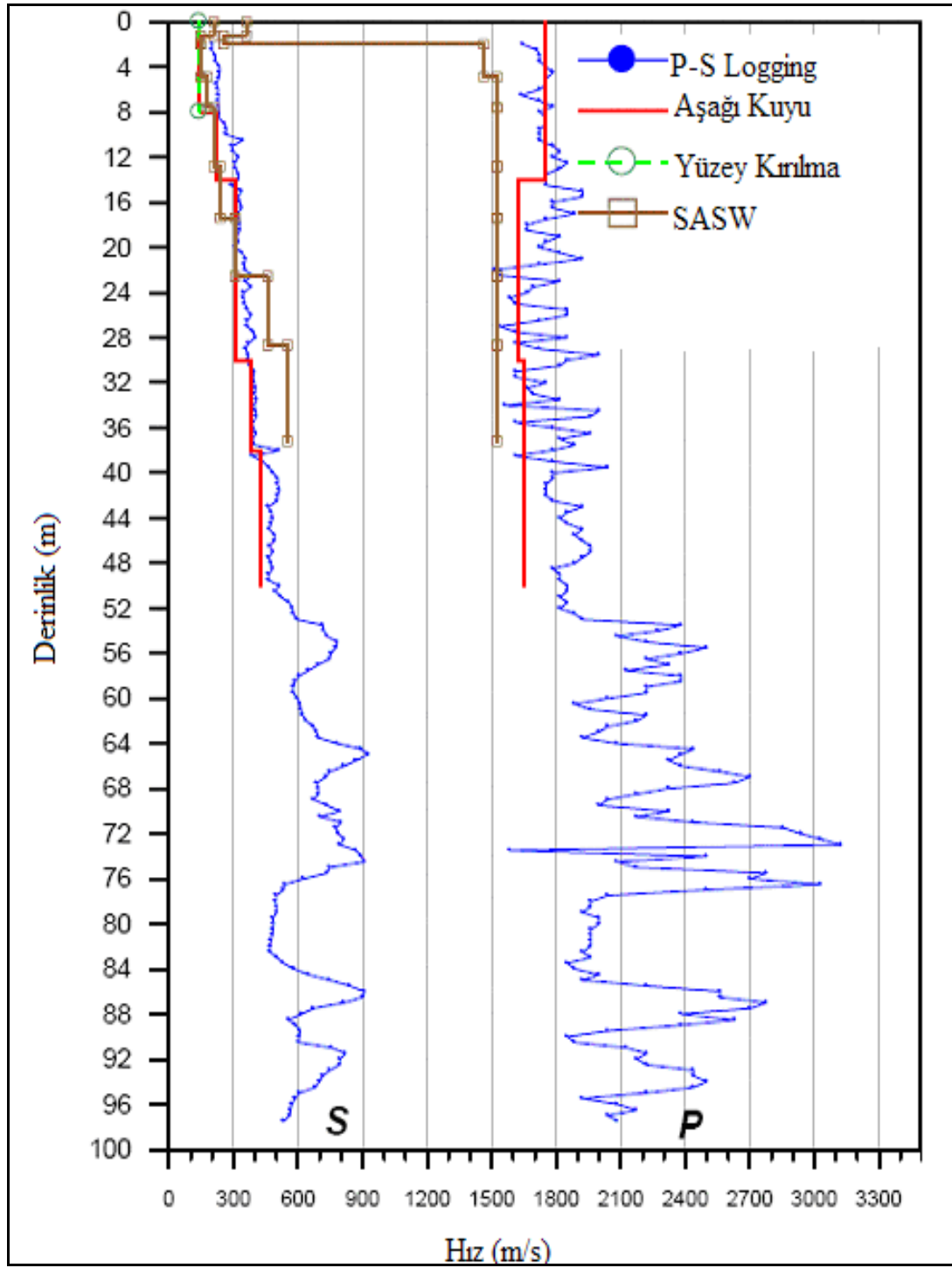
PS Logging yönteminde ise kaynak ve alıcılar aynı birimde olup, çok özel donanıma sahiptirler. Bu yöntemde alıcıların kuyu ile teması yoktur. Her ölçüm derinliğinde hız ölçümü yapılabilir ve düşük hızlı ince tabakalar belirlenebilir. Uygulama süresi kısa olup her derinlikte dalga üretimi söz konusudur. Pahalı bir sistem olmakla beraber 300 metre derinliklere varabilen ölçüm imkanı vardır. Sismik yöntemlerin birlikte gösterimi Şekil 2.7’ de verilmiştir.



Şekil 2.7: Sismik Yöntemlerin Birlikte Gösterimi, A-Yüzey Kırılma, B-Aşağı/Yukarı Kuyu, C-Karşıt Kuyu, D-PS Logging

(www.ces.clemson.edu/UsTaiwanWorkshop/Paper_SDEE/SDEE_Chen_MH.pdf)

Yapılan çalışmalar sonucunda sismik yöntemlerden olan kuyu içi ve yüzey yöntemleriyle ölçülen kayma dalgası hız profillerinin genel olarak birbirleriyle örtüştüğü ve paralellik gösterdiği tespit edilmiştir. Şekil 2.8’ de değişik yöntemlerle ölçülen kayma dalgası hız profillerinin gösterimi verilmiştir. Söz konusu grafikten de görüleceği gibi PS Logging yöntemiyle daha derindeki tabakalara ulaşma imkanının olması ve daha derindeki zeminlerin kayma dalgası hız ölçümlerinin yapılabilmesi açısından çok önemli bir üstünlüktür. Ancak PS Logging yönteminin pahalı bir sistem oluşu ve kalifiye personel gerekliliğinden dolayı sıkça kullanılamaması bir dezavantaj olarak görülmektedir.



Şekil 2.8: Yüzey Kırılma, SASW Yöntemi, Aşağı Kuyu ve PS Logging Yöntemlerinden Elde Edilen P ve S Dalga Hız Profillerinin Ortak Grafikte Gösterimi (www.ces.clemson.edu/UsTaiwanWorkshop/Paper_SDEE/SDEE_Chen_MH.pdf)

3. KAYMA DALGASI HIZINI İÇEREN ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

3.1 Giriş

Kayma dalgası hızının derinlikle değişimini belirlemek için kuyu içi sismik yöntemlerin uygulanmadığı veya sınırlı sayıda uygulandığı ancak diğer arazi deneylerinin yapıldığı durumlarda da bu özelliğin tahmin edilebilme gereği, sismik ve çeşitli penetrasyon deney sonuçları arasında bağıntıların aranmasına yol açmıştır. Geoteknik deprem mühendisliğinde önemli bir parametre olan V_s 'i içeren bağıntılar, artan veri sayısına paralel olarak geliştirilerek kullanıma sunulmakta ve çeşitli ülkelerde yapılanlarla karşılaştırma imkanı yaratılmaktadır. Kayma dalgası hızı ile diğer arazi deney sonuçları arasında geliştirilen bağıntılar incelendiğinde ana değişkenin SPT-N darbe sayısı olduğu görülmektedir. Ancak daha sonraki çalışmalarda efektif gerilme, zemin tipi gibi diğer zemin özelliklerinin de korelasyonlara etkisi incelenmiştir. Bunlar arasında V_s -N ilişkisini içeren bağıntılar, V_s ' in diğer değişkenler ile olan ilişkisi nedeniyle korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında daha güvenli sonuçlar vermektedir. Bununla beraber istatistik analiz sonuçları, V_s bağıntılarını geliştirmek için birçok değişkenin ve daha fazla verinin kullanılması gerektiğini göstermektedir. Ölçüm teknikleri, toplanan veri sayısı ve seçilen değişkenler bağıntıları etkilemektedir. Arazi ölçümlerine dayanan bu tür bağıntılara penetrasyon dirençleri ve efektif gerilme önemli derecede etkili olurken, zemin tipi ve jeolojik yaş gibi faktörlerin etkisi daha az olmaktadır (İyisan, 1996).

Bu çalışmada da kayma dalgası hızını, Standart Penetrasyon Deneyi darbe sayısı SPT-N değerine bağlı olarak tahmin edilebilmesi için pratik uygulamalarda kullanılabilecek korelasyonların geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda bu bölümde önce bu tür bağıntılara etkiyen faktörlere değinilmiş daha sonra kayma dalgası hızı ile penetrasyon dirençleri arasında çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş olan bağıntılar özetlenmiştir.

3.2 Arazi Korelasyonlarına Etkiyen Değişkenler

Kayma dalgası hızı ile diğer arazi deney sonuçları arasında geliştirilen bağıntılar incelendiğinde önceleri ana değişken olarak SPT-N darbe sayısının alındığı ancak daha sonraki çalışmalarda diğer zemin özelliklerinin de incelendiği görülmektedir. Bunlar arasında V_s -N ilişkisini içeren bağıntılar, V_s ' in diğer değişkenler ile olan ilişkisi nedeniyle korelasyon katsayıları karşılaştırıldığında daha güvenli sonuçlar vermektedir. Bununla beraber istatistik analiz sonuçları, V_s bağıntılarını geliştirmek için birçok değişkenin ve daha fazla verinin kullanılması gerektiğini göstermektedir. Önceki çalışmalardan V_s -N korelasyonlarını en fazla etkileyen parametrelerin derinlik ve jeolojik yaş olduğu ortaya çıkmaktadır. Genelde kayma dalgası hızı V_s , N darbe sayısına bağlı olarak artmaktadır. Bu artış derinlik ve jeolojik yaşta da görülmektedir. Bazı korelasyonlarda zemin tipinin etkisi de görülmektedir. Bütün bunlardan yola çıkarak, arazi korelasyonlarına etki eden değişkenler; çeşitli penetrasyon dirençleri, efektif düşey gerilme, zemin tipi ve jeolojik yaş olarak sıralanabilir. Bu değişkenlerden, SPT-N darbe sayısı, CPT- q_c uç mukavemeti ve efektif düşey gerilme değişkenlerinin etkisi zemin tipi ve jeolojik yaşa oranla daha yüksektir (İyisan, 1994). Bu çalışmada kullanılan veriler arasında koni penetrasyon uç mukavemetine ilişkin veriler olmadığından, SPT-N darbe sayısı, efektif düşey gerilme, zemin tipi ve jeolojik yaş değişkenleri ve bunların etkileri özetlenmiştir.

3.2.1 Standart Penetrasyon Deneyi Darbe Sayısı (SPT-N)

Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) dünyanın birçok yerinde olduğu gibi ülkemizde de geoteknik araştırma ve incelemelerinde en çok kullanılan arazi deneylerinden biridir. Kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklığı, ince daneli zeminlerin kıvamı, örselenmiş numune alımı için uygulanan SPT sonuçlarından geoteknik parametreler korelasyonlarla bulunabilmektedir. Hemen hemen her zemin inceleme programı standart penetrasyon deneyini içermektedir.

SPT, kumların mühendislik özelliklerini yerinde belirlemede kullanılan en yararlı olan deney türüdür. Bununla beraber, silt ve killerin mühendislik özelliklerinin tahmininde de kullanılmaktadır. Bu korelasyonların yaklaşık ifadeler olduğu, bu yaklaşımları projede kullanırken mühendisin tecrübesinin çok önemli olduğu da unutulmamalıdır. Standart Penetrasyon Deneyi, standart bir numune alıcının, 63.5 kg ağırlığında bir tokmağın 76 cm yükseklikten serbest düşürülmesi ile zemine toplam

45 cm çakılması suretiyle uygulanır. Numune alıcının iç çapı 3.5 cm ve dış çapı 5 cm olup uzunluğu 81 cm' dir. Deneyde her 15 cm penetrasyon için gerekli darbe sayıları belirlenir ve son 30 cm' lik penetrasyon için gerekli vuruş sayılarının toplamı, ASTM D 1586 standardına göre SPT-N darbe sayısı olarak tanımlanır.

Yapılan deneylerden kullanılabilir sonuçların sağlanabilmesi, uygulamada standartların tam yerine getirilmesi ile mümkün olmaktadır. SPT çekicinin düşürülme yöntemi ve onun düştüğü alt başlık bu deney için önemli değişkenlerdir ve çekicinin serbest düşmesiyle oluşan teorik enerjinin çubuklara aktarılan kısmını kontrol ederler. Çekicinin alt başlığa çarpması, düşme sisteminin enerji yutan özellikleri nedeniyle enerjinin bir kısmı kaybolur. Bu yüzden serbest düşmeden oluşan toplam enerjinin tamamı standart ucun penetrasyonuna yansımaz. Diğer yandan çarpma anında çekiç ve çubuklarda hızla yayılmaya başlayan basınç dalgaları oluşur ve enerjinin bir kısmı çubuklara (tijlere) aktarılır. Bu dalgalar çubuk ucundan yansiyarak çekme dalgası olarak geri dönerken de enerji kayıplarına yol açar. İlk basınç dalgası numune alıcının altına ulaşmasından sonra penetrasyon başlamış olur (Bosscher, 1987). Çubuğa giren basınç dalgası sadece çekiç-çubuk sistemine bağlı olup zeminin mukavemet özelliklerinden, dolayısıyla da N darbe sayısından bağımsızdır (Schmertmann, 1978). SPT'nin sonuçlarını doğru bir şekilde yorumlamak için, deneyde kullanılan aletlerin ve deneyin nasıl yapıldığının tamamen bilinmesi gerekmektedir. SPT için kullanılan aletler, ülkeden ülkeye, statik penetrometre aletinden daha fazla değişiklik arz etmektedir (Sivrikaya, 2002).

Birçok faktörler ve değişkenler SPT sonuçlarının geçerliliğini ve kullanılabilirliğini etkilemektedir. Ölçülen penetrasyon direnci (SPT-N), bu faktörlerin sonucu olarak çok aşırı yüksek veya çok aşırı düşük olabilmektedir. Aşırı yüksek olarak ölçülen SPT-N değeri, zeminin özellikleri ve taşıma gücü hakkında güvenli olmayan tahminler yapılmasına sebep olmaktadır. Aşırı düşük olarak ölçülen SPT-N_{arazi} değeri ise, aşırı güvenli sonuçlara sebep olmaktadır. ASTM standardı, deneyin yapılışı ile ilgili fazla detay belirlemediği için, belirli bir deneyden elde edilen sonuçlar yanlış olmayabilir. Fakat bunların, geoteknik tasarımda faydalı olabilmesi için düzeltilmeleri gerekmektedir (Sivrikaya, 2002).

SPT sonuçlarına etkiyen başlıca faktörler, sondaj metotları, sondaj çapı, numune alıcının doğal zemine oturmaması, numune alıcının durumu, numune alıcının kaplama borusu içindeki konumu, tij uzunluğu, tokmak düşürme yöntemi, tokmak

düşürme sıklığı, eksantrik çarpma, operatör deneyimi olarak gösterilebilir. Sondaj çapı 10 cm' nin üzerine çıktığında ve eksantrik çarpma durumunda SPT darbe sayısında düşme meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi SPT sonuçlarının geniş bir aralıkta değişmesine neden olan birçok faktör vardır. Bu durum SPT sonuçlarının yorumlanmasında ve önceki verilerin kullanılmasında zorluklara neden olmaktadır. Bu nedenle SPT verileri etkiyen bu faktörler dikkate alınarak düzeltilmektedir.

Düşey efektif gerilme düzeltilmesi yapıldığında elde edilen N_1 , V_S' i tahmin etmede uygun bağımlı bir değişken olmadığından, düzeltilmemiş SPT-N' lerin kullanılması gerektiğini kaydetmişlerdir (Sykora ve Koester, 1988). SPT, yeraltı su seviyesi üstündeki çok ince kumlarda ve inorganik siltlerde yanlış sonuçlara yöneltebilir. Böyle zeminlerde sondaj sıvısı olarak su kullanılırsa, deneyin yapılacağı ve numunenin alınacağı zemin kütlesi yumuşayabilir ya da gevşeyebilir. Dolayısıyla hatalı şekilde düşük SPT-N değerleri elde edilebilir (Sivrikaya, 2002).

Geoteknik mühendislerinin sıkça karşı karşıya kaldıkları zor durumlardan birisi de ilgili deney sonuçlarının çok az olması ya da hiç olmaması durumunda, zemin davranışını tahmin etmek zorunda kalmalarıdır. Önerilen bir yapı için geoteknik incelemesi, fiyat ve zaman bakımından uygun olmayan sonuçlara sebep olabilmektedir. Bununla beraber, sonuçları yorumlayan mühendisten zeminin özelliklerinin ve zemin davranışının doğru bir şekilde tahmin edilmesi beklenir. Herhangi bir arazinin zemin özelliklerini belirlemek için kullanılabilen laboratuvar tam temsili olmadığı için, araziden elde edilen bilgilerden, ihtiyaç duyulan zemin özelliklerinin korele edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Zeminin özelliklerini belirlemede korelasyonların kullanımı ucuz ve hızlı, fakat yaklaşık bir tahmin sağlar. Yararlanılan zemin özelliklerinin hacmi ve karmaşıklığı yüzünden, yalnızca çok tecrübeli mühendisler, en uygun korelasyonu efektif bir şekilde kullanmak için ihtiyaç duyulan bilgiye sahiptirler.

Zemin davranışının tahmininde kullanılan farklı arazi deney metotları içerisinde SPT, zemin incelemesinde en yaygın olanıdır. Çağdaş arazi zemin etüdünde, hemen hemen bütün durumlarda, sondaj logları standart kaşığın zemine son 30 cm çakılma direncini ölçen SPT-N değerleri ile birlikte verilmektedir. Bu sebepten zemin davranışını tahmin etmek isteyen mühendis, söz konusu arazi üzerindeki SPT-N verilerinin neredeyse tamamına ulaşma imkanına sahiptir (Sivrikaya, 2002).

SPT esas olarak yerinde yapılan bir dinamik deneydir. Bilindiği gibi kayma direnci kaba daneli zeminlerde zeminin rölatif sıkılığına, ince daneli zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bu sebeple penetrasyon deneyi sonuçları ile gerçeğe uygun bir bağıntı kurmak mümkündür.

Örselenmemiş numunelerin alınmasının güçlüğü sebebiyle SPT ve CPT gibi arazi deneyleri, kohezyonsuz zeminlerin özelliklerini tahmin etmede yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. SPT, kumlar ve siltler için arazideki efektif kayma mukavemeti açısını (ϕ) ve izafi sıkılığı (D_r) belirlemede sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca SPT, kaba daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelini, sıg ve derin temellerin taşıma gücünü ve oturmalarını tahmin etmede kullanılmaktadır. Hem oturma hem de taşıma gücü doğrudan SPT direncine bağlı olarak tahmin edilebilmektedir. SPT' den elde edilen veriler, SPT-N kumun sıkılığının direkt değerlendirilmesidir. Deneyden elde edilen SPT-N değerleri ϕ değerleri ile korole edilebilir. Asla unutulmamalıdır ki SPT-N ile ϕ arasındaki korelasyon yaklaşıktır. Kaba daneli zeminler için, penetrasyon direnci hem kumun yoğunluğunun artması ile hem de yanal basınçlar ile artmaktadır. İnce kum üzerinde yapılan laboratuvar deneylerinde ise penetrasyon direncinin suya doygun ince kumlarda azaldığı gözlenmiştir (Sanglerat, 1972). SPT-N değerinin bilinmesi halinde q_u , c_u ve m_v hakkında bilgi edinmek mümkündür. Serbest basınç mukavemeti (q_u) zeminin kıvamı hakkında bilgi verirken, drenajsız kohezyon (c_u) toplam gerilme analizlerinde kullanılan bir parametre ve hacımsal sıkışma katsayısı (m_v) ise killi zeminlerde konsolidasyon oturmasının hesaplanmasında kullanılan bir parametredir. SPT-N değerine dayanarak sert killerdeki sürtünme kazıklarının taşıma kapasitesi hakkında kabaca fikir edinmek mümkündür. Tahmin edilen kilin kayma mukavemetinden, statik kazık formülleri ile kil zeminlerdeki sürtünme kazıklarının birim uç mukavemeti ve birim çevre sürtünmesi tayin edilebilir (Sivrikaya, 2002).

Schultze ve Menzenbach (1961), SPT-N sayısındaki bu azalmanın, yeraltı su seviyesi (YASS) altında yapılan deneylerde ortalama %15 olacağını ve daha gevşek zeminlerde bu etkinin daha da belirgin olacağını belirtmişlerdir. Melzer (1971), SPT-N değerinin su altında daha düşük olduğunu hem arazi hem de laboratuvar da yaptığı deney sonuçlarından göstermiştir. De Mello (1971), kumlarda relatif sıkılık (D_r), efektif düşey gerilme ve kayma mukavemeti açısı ile SPT-N darbe sayısını etkileyen faktörleri araştırmış ve SPT deneyinin efektif düşey gerilmeden (σ_v) daha çok ortalama yatay gerilmenin ($\sigma_m = \sigma_v(1+2K_0)/3$) etkisinde olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Schmertmann (1971), De Mello (1971) yayınına karşı yaptığı araştırmalar sonucunda, SPT numune alıcısına etkiyen kuvvetleri inceleyerek, zemin cinsinin bir özelliği olan sürtünme oranını (F_r) kum zeminler için kullanarak toplam direncin %56'sının uç mukavemetine ve % 44'ünün çevre sürtünmesine harcadığını belirtmiş ve düşey gerilmenin önemini vurgulamıştır. Burada F_r , CPT deneyinden bulunan çevre sürtünmesinin uç mukavemetine oranıdır ($F_r = \frac{q_f}{q_c}$).

Bieganousky ve Marcuson (1976), laboratuvarı uyguladıkları SPT deney sonuçlarından N değerinin, yoğunluğun değişmesinden, aşırı konsolide oranından ve düşey efektif gerilmeden etkilendiğini ve bunlarda meydana gelecek bir artışın SPT-N değerinde önemli bir artışa sebep olacağını göstermişlerdir.

İyisan ve Ansal (1990), farklı zemin gruplarında ve farklı kurumlarca yapılmış SPT deneylerinden bulunmuş SPT-N darbe sayıları ile laboratuvarı elde edilen drenajsız kayma mukavemetleri arasında geliştirdikleri korelasyon sonuçlarını kullanarak önerdikleri düzeltme faktörünün büyük olmasını, yapılan SPT deneylerindeki enerji kayıplarının büyük olmasına bağlamışlardır.

Yapılan SPT deneylerinden elde edilen N sayısının düşey efektif gerilmeye göre düzeltilmesi yönünde bir eğilim vardır. Bu tür düzeltme faktörleri Peck ve diğ. (1974), Seed ve diğ. (1977), Seed ve Idriss (1981) tarafından önerilmiştir. Seed tarafından önerilen düzeltme, birim düşey efektif gerilmeye göredir. C_N jeolojik yük düzeltme faktörü olmak üzere, düzeltilmiş SPT-N sayısı $N_1 = C_N * N$ olarak bulunabilmektedir.

Sivrikaya (2002), yaptığı çalışmasında, Türkiye'de kullanılan aletler ve uygulama standartlarına göre, SPT düzeltme faktörlerini araştırarak Türkiye'de yapılan çalışmalarda alınması gereken C_E değerini, aşağıdaki şekliyle sunmuştur;

$$N_{60} = N_{arazi} * C_E \quad (3.1)$$

$$N_{1,60} = N_{60} * C_N \text{ olmak üzere,} \quad (3.2)$$

Türkiye'de kullanılan aletler ve uygulama standartlarına göre, SPT enerji düzeltme faktörü olan C_E 'nin değerini 0.75 olarak vermiştir.

Liao ve Whitman (1986), yaptıkları çalışmada çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmiş düzeltme faktörleri içinde birbiri ile uyum gösterenlerin ortalaması olarak,

$$C_N = (1/\sigma_v)^{0.5} \quad (\sigma_v: \text{kg/cm}^2) \quad (3.3)$$

bağıntısının kullanılabildiğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada ise;

$$N_{1,60} = 0.75 * N_{\text{arazi}} * (100/\sigma_v)^{0.5} \quad (\sigma_v: \text{kN/m}^2) \quad (3.4)$$

eşitliği kullanılarak düzeltilmiş SPT-N sayısının da korelasyona etkileyen bir değişken olarak kohezyonsuz zeminler ile olan ilişkisi incelenmiştir.

3.2.2 Efektif Düşey Gerilme

Zeminleri etkileyen efektif ortalama gerilme, V_s ve N üzerinde de ana etkenlerdir. Laboratuvarda yapılan birçok parametrik çalışmalarda da bu gösterilmiştir. Arazide bu gerilmeyi tayin etmek zor olduğundan ve sukunetteki toprak basıncı katsayısına (K_0) gerek duyulduğundan korelasyonlarda genelde efektif düşey gerilme kullanılmıştır. Bu gerilmenin hesaplanmasında yeraltı su seviyesi (YASS) ve ortamın yoğunluğu yeterli olmaktadır. Derinlikle düşey efektif gerilmenin artması YASS altında %50 civarında azalmaktadır. Efektif düşey gerilme ile V_s arasındaki bağıntılar mühendislikte faydalı olmakta ve kullanım alanı bulmaktadır. Bu bağıntılar ile zemin numunesi ve laboratuvar deneyleri olmaksızın, zeminin etkisinde kaldığı gerilme tahmin edilebilmektedir (İyisan, 1994).

3.2.3 Zemin Tipi

Farklı zemin tipleri benzer şartlar altında farklı davranış sergilemektedirler. Bu farklı davranış sismik dalga hızlarında da görülmektedir. Hemen hemen bütün araştırmacılar kayma dalgası hızını (V_s) içeren arazi bağıntıları ile ilgili analizleri yaparken zeminleri sınıflarına göre ayırmışlardır. Bu araştırmalar sonucunda her zemin cinsinin V_s ' in belli karakteristik sınırlara sahip olmasının yanında, zemin tipinin $V_s - N$ arasındaki korelasyonlarda çok fazla bir etkisi olmadığı gösterilmiştir. Zemin tipinin etkisi kayma dalgası hızı ile derinlik arasındaki ilişkide önemli bir rol oynamaktadır (İyisan, 1994).

Laboratuvar çalışmaları boşluk oranının (e) değişmesiyle V_s ' nin de değiştiğini göstermiştir. Fakat özellikle kohezyonsuz zeminlerde boşluk oranını arazide doğrudan belirlemek kolay olmamakta ve bu özellik relatif sıkılıktan

hesaplanabilmektedir. Genelde dane boyutu küçüldükçe sismik dalga hızlarının da düştüğü kabul edilmektedir.

3.2.4 Jeolojik Yaş

Önceki korelasyon çalışmalarında jeolojik yaşı $V_s - N$ ilişkisine çok fazla etkili olmadığı sonucuna varılmasına rağmen, kayma dalgası hızı yaşa bağlı olmaktadır. Genelde daha genç zeminler, daha yaşlı zeminler ile karşılaştırıldığında daha düşük hızla sahiptirler ve korelasyonlarda daha fazla saçılım göstermektedirler. Jeolojik yaşı, $V_s -$ derinlik üzerinde oldukça fazla etkisi olduğu Campbell ve Duke (1976), Fumal (1978) tarafından gösterilmiştir.

Jeolojik yaşı artışıdaki esas etki boşluk oranında olmakta ve boşluk oranının azalmasına sebep olmaktadır. Boşluk oranı azaldıkça, kayma dalgası hızı ve SPT-N değeri artmaktadır. Jeolojik yaşı diğer etkisi ise zemin danecikleri arasında çimentolaşmanın başlamasına sebep olmasıdır. Çimentolaşma ise zemin yapısında rijitliği arttırmakta ve dolayısıyla kayma dalgası hızının daha yüksek değerde olmasına neden olmaktadır (İyisan, 1994).

3.3 Kayma Dalgası Hızını Tahmin Etmede Mevcut Korelasyonlar

Arazi ekipmanlarının ve modern deney tekniklerinin gelişimiyle birlikte daha fazla verinin elde edilmesi sağlanmış, böylelikle bu veriler kullanılarak istatistiksel analizler doğrultusunda mühendislik uygulamalarında pratik amaçlara yönelik korelasyonlar geliştirilmiştir. Sismik dalga hızlarını, özellikle deprem ve geoteknik mühendisliğinde çok önemli bir parametre olan kayma dalgası hızını içeren bu korelasyonlar, her geçen gün artan veri sayısına paralel olarak geliştirilerek kullanıma sunulmaktadır. Önceleri mikrotremor, plaka yükleme deneyleri kullanılarak $V_s - N$ ilişkilerinin incelenmesindeki çalışmalar, küçük ölçekli olarak 1975 yılına kadar devam etmiştir. Daha sonra karşıt kuyu, aşağı kuyu ve diğer sismik deneylerden bulunan dalga hızları ile diğer arazi deneylerinden elde edilen sonuçlar (SPT-N darbe sayısı, CPT- q_c uç direnci vs. gibi) arasında ilişkiler bu önceki çalışmalardan yola çıkarak geliştirilmiştir (İyisan, 1994). 1966 yılında başlayan bu çalışmalar hala güncelliğini korumakta ve çeşitli ülkelerde yapılanlarla karşılaştırılabilmektedir. Geçmişten günümüze dek yapılmış bu çalışmalar kısaca özetlenecek olursa bu çalışmanın deprem kuşağında yer alan İstanbul'a ait verilerin

kullanılarak yapılan ilk çalışma olması açısından ne kadar önem arz ettiği daha iyi görülecektir.

Kanai ve diğ. (1966), genelde kumlarda yapılan yaklaşık 70 mikrotremor ölçüm sonuçlarını kullanarak aşağıda verilen bağıntıyı önermiştir.

$$V_s = 19 N^{0.6} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.5)$$

Sakai (1968), plaka yükleme deneyi ile N sayısından elde edilen taşıma gücünü karşılaştırarak elastisite modülünü saptamayı ve böylece V_s 'i N sayısına göre hesaplamayı düşünmüştür. Plaka yükleme deneyinde deformasyon derinlikle değiştiğinden, dairesel yükleme plağı çapının 3-4 katı derinlikteki ortalama deformasyonu kullanarak kayma dalgası hızı ve SPT-N darbe sayısı arasında aşağıdaki bağıntıyı vermiştir.

$$V_s = (15-30.5) N^{0.5} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.6)$$

Shibata (1970), V_s 'in, N ve σ_v 'nin bir fonksiyonu olarak N değeri cinsinden ifade edilebileceğini saptadıktan sonra bunlara ilişkin bağıntılarından yola çıkarak kumlar için aşağıdaki bağıntıyı geliştirmiştir.

$$V_s = 31.7 N^{0.5} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.7)$$

Ohba ve Toriumi (1970), Japonya'da Osaka yakınlarında alüvyon zeminlerde yapılan Rayleigh hızı ölçümlerine dayanan aşağıdaki bağıntıyı sunmuşlardır.

$$V_s = 85.3 N^{0.31} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.8)$$

Ohsaki ve Iwasaki (1973), genelde aşağı kuyu ölçümlerinden sağlanan veriler ile, jeolojik yaşın ve zemin tipinin etkisini de dikkate alarak $V_s - N$ ilişkisini basit istatistik analizle incelemişlerdir. Analizde, Ohsaki ve Sakaguchi (1972) tarafından önerilen basitleştirilmiş zemin profili içinde her zemin tipi için ortalama olarak alınan N değerleri kullanılmıştır. Bu yöntemle göre kayma modülü (G) veya kayma dalgası hızının sabit olduğu tabaka içinde, aynı hız veya kayma modülüne ortalama bir N darbe sayısı karşı gelmektedir. Araştırmacılar, Kanai ve diğ. (1966) verilerini kullanarak kum ve killer için kayma modülleri arasında, tipik arazi yoğunluklarını belirleyerek karşılaştırma yapmışlardır. Bu çalışmalardan aynı N değerinde kilin daha büyük kayma modülüne sahip olduğu sonucuna varılmış ve Japonya'da kumlar için birim hacim ağırlığı 1.80 t/m^3 kabul edilerek;

$$V_s = 81.4 N^{0.39} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.9)$$

bağıntısını elde etmişlerdir. Daha sonra verileri, zemin tipi ve jeolojik yaşa göre ayırarak $G=aN^b$ formundaki eşitlik için istatistik analiz sonucunda çeşitli korelasyon katsayılarına sahip bağıntılar elde edilmiştir. Bu analiz sonucunda korelasyon katsayıları bakımından en iyi ilişki sadece kohezyonlu zeminlerde uygulanan deneylerden elde edilen verilerden, ikinci en iyi ilişki tüm verilerle yapılan analizde bulunmuştur. Bu çalışmalardan V_s ile N arasındaki korelasyonların hemen hemen zemin tipi ve jeolojik yaştan bağımsız olduğuna işaret ederek çok önemli sonuçlara ulaşmışlardır.

İmai ve Yoshimura (1975), aşağı kuyu sismik ölçümleri ile 70 sahada 100 sondaj kuyusunda toplanan arazi verilerini kullanarak V_s ' in zemin tipi ve jeoloji ilişkisini inceleyerek V_s ile zeminlerin diğer mühendislik özellikleri arasında iyi sayılabilecek bir korelasyon olduğunu savunmuşlardır. Kayma dalgası hızının Halosen yaşlı alüvyon kumlarda 78-329 m/sn ve Pleistosen dilüvyal kumlarda ise 220-649 m/sn arasında değiştiğini ve daha yaşlı zeminlerin açık olarak daha yüksek değerde ve daha geniş sınırlarda V_s 'e sahip olduğunu gösterdiler. Daha yaşlı zeminlerin genç zeminlere göre daha derinlerde olduğu düşünüldüğünde, sahip olduğu efektif yükten dolayı daha fazla V_s ' e sahip olması doğal bir sonuçtur. Bu araştırmacılar, $N - V_s$ ilişkisinde zemin tipinin etkisinin ayırt edilmesinin zor olduğu sonucuna vararak, zemin cinsinden bağımsız olarak tüm verilerle aşağıdaki bağıntıya ulaştılar. Bağıntıda SPT-N sayılarının son girişte 50'den büyük olması durumunda, 50 darbe için giriş miktarına göre eşdeğer N sayısı alınmıştır.

$$V_s = 92 N^{0.329} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.10)$$

İmai ve diğ. (1975), toplam 756 data ile dolgular dahil tüm zemin grupları için yeniden analiz yaparak önceden verdikleri sınırları biraz daha genişleterek, alüvyon kumlar için 79-345 m/sn ve dilüvyal kumlar için ise 175-649 m/sn arasında kayma dalgası hızları bularak aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$V_s = 89.9 N^{0.341} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.11)$$

Ohta ve diğ. (1972), 18 sahadan toplanan 100 veri ile regresyon analizi yaparak Ohsaki ve Iwasaki (1973)'ye benzer bir bağıntı elde etmiş ve birim hacim ağırlığı 1.80 t/m^3 kabul ederek;

$$V_s = 87.2 N^{0.36} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.12)$$

şeklinde öncekilere benzeyen bir korelasyon eşitliği elde etmişlerdir.

Ohta ve Goto (1978), her birinde V_s , N , derinlik, jeolojik yaş ve zemin tipi ile ilgili bilgiler bulunan 300 set veriyi kullanarak, kayma dalgası hızının bu değişkenler ile ilişkisini incelemişlerdir. Bu incelemede, jeolojik yaşı Halosen ve Pleistosen olarak iki ayrı gruba ayırmışlardır. Bununla birlikte genelde arazi verisini Halosen devrine ait alüvyon zeminler teşkil etmektedir. Zemin tipi ise kil, kum, çakıl olarak üç grupta toplanmış ancak bunlar da alt gruplara ayrılmıştır. Aynı V_s hızında birden fazla N sayısı karşı geldiği durumlarda ortalama değerler alınmıştır. Çok sıkı zeminlerde SPT deneyinde, 30 cm' nin 50 vuruşta geçilememesi halinde N değerleri, 50 darbe için sağlanan giriş miktarından hesaplanmıştır. SPT- N değeri, derinlik, jeolojik yaş ve zemin cinsi ile kayma dalgası arasında yaptıkları analiz sonucunda Ohta ve Goto tarafından aşağıdaki korelasyon eşitliği verilmiştir.

$$V_s = 68.8 N^{0.171} H^{0.199} f_A f_G \quad (\text{m/sn}) \quad (3.13)$$

Bu bağıntıda H metre biriminde olup derinliği, f_A jeolojik yaş faktörünü, f_G ise zemin tipi faktörlerini göstermektedir ve aldıkları değerler Tablo 3.1' de verilmiştir.

Tablo 3.1: f_A ve f_G Faktörleri (Ohta ve Goto, 1978)

Zemin Tipi Faktörü f_G	İnce Kum	Orta Kum	Kaba Kum	Kum Çakıl	Çakıl
	1.09	1.07	1.14	1.15	1.45
Yaş Faktörü f_A	Halosen			Pleistosen	
	1.0			1.3	

Bu analiz sonucunda araştırmacılar, daha yaşlı zeminlerin benzer şartlarda daha yüksek kayma dalgası hızına sahip olduğunu ve zeminlerdeki hakim dane çapı büyürken diğer değişkenlerin sabit kalması durumunda V_s 'in büyümekte olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak Kanai ve diğ. (1966) ve Ohta ve diğ. (1972), aynı N değerinde killerin daha büyük V_s değeri alacağını savunmuşlardır. Ohta ve Goto (1978), ayrıca tüm zemin sınıfı için kayma dalgası hızını SPT- N darbe sayısı ve derinlik cinsinden tanımlayan aşağıdaki bağıntıları elde etmişlerdir.

$$V_s = 85.3 N^{0.348} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.14)$$

$$V_s = 92 H^{0.339} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.15)$$

Bu bağıntıda H metre biriminde olup, ilk bağıntının korelasyon katsayısı %72, diğerinin ise %67 olarak elde edilmiştir.

Amerika’da V_S korelasyonları ile ilk uğraşan bilim adamı Hamilton (1976), deniz sedimentlerinde V_S ’in derinlik ve basınçla değişimini incelemiştir. Düşük genlikli arazi ölçüm yöntemlerinden Rayleigh ve aşağı kuyu ile 12 m derinliğe kadar elde ettiği 29 veri ile, H (m) derinlik olmak üzere aşağıda verilen amprik bağıntıyı önermiştir.

$$V_S = 128 H^{0.28} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.16)$$

Yine Hamilton (1976), kayma dalgası hızına efektif düşey gerilmenin etkisini incelemek için kaba kumlar üzerinde labotatuvarında yapmış olduğu deneyler sonucunda,

$$V_S = 257.9 \sigma_v^{0.31} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.17)$$

bağıntısını önermiştir. Bu bağıntıda σ_v kg/cm² biriminde olup efektif düşey gerilmeyi göstermektedir.

Fumal (1978), SPT-N darbe sayısı, derinlik, zemin tipi, jeolojik yaş, YASS değişkenlerini içeren 59 sahadan aşağı kuyu ile tüm zemin grupları için toplanan verilerle, V_S korelasyonları üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların sonuçları San Fransisco bölgesinde yapılan mikrobölgeleme çalışmalarında da kullanılmıştır. Fumal, SPT-N sayısının 40’dan düşük olduğu durumlarda kumları gevşek olarak tanımlamış ve gevşek kumlarda en büyük V_S değerini 250 m/sn, çakıllar için en düşük V_S değerini 360 m/sn almıştır. 38 veri ile yaptığı incelemede V_S ve N arasında çok büyük saçılımların olduğunu görünce, $V_S - N$ korelasyonundan vazgeçerek diğer özellikler arasındaki ilişkiyi araştırmış ve derinlik ile kumlarda aşağıdaki bağıntıyı geliştirmiştir.

$$V_S = 182 H^{0.20} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.18)$$

Campbell ve Duke (1976), 5 yıllık bir peryot içinde yüzey kırılma ve yansıma deneylerinden toplanan 63 veriyi kullanarak yaptıkları çalışmalarda, çakıl oranının kayma dalgası hızına oldukça fazla etkisi olduğunu, çakıl ve kum zeminlerin hız oranının yaklaşık 1.5 olduğunu göstermişler ve derinlik ile kayma dalgası arasında alüvyon zeminler için aşağıdaki bağıntıları geliştirmişlerdir. Bağıntılarda H metre, V_S ise m/sn birimindedir.

genç alüvyon zeminlerde

$$V_S = 153.8 H^{0.386} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.19)$$

yaşlı alüvyon zeminlerde

$$V_S = 195.4 H^{0.358} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.20)$$

Seed ve Idriss (1981), topladıkları arazi verilerine kendi deneyimlerini de katarak tüm zeminler için, derinliğe göre düzeltilmiş SPT-N sayısı N_1 'e göre aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir.

$$V_S = 61 N_1^{0.5} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.21)$$

Sykora ve Stokoe (1983), arazi korelasyonları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonunda kayma dalgası hızının çeşitli zemin özellikleri ile değişimini incelemişlerdir. Çalışmalarda değişken olarak jeolojik yaş, efektif, düşey gerilme, SPT-N darbe sayısı, CPT uç mukavemeti q_c alınmış, Karşıt Kuyu ve Aşağı Kuyu yöntemleri ile ölçülen kayma dalgası hızının değişimi incelenmiştir. Araştırmacılar yaptıkları regresyon analizi sonucunda efektif düşey gerilme ile kayma dalgası hızı arasında kohezyonsuz zeminler için aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir.

$$V_S = 219.5 \sigma_v^{0.36} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.22)$$

Bağıntıdaki σ_v , kg/cm^2 biriminde efektif düşey gerilmedir. Efektif gerilmenin sıfır olduğu durumlarda kohezyonsuz zeminler için en düşük dalga hızının 114 m/sn olacağını söyleyen araştırmacılar, zeminlerde jeolojik yaşın artması ile V_S değerinde de artış olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca Karşıt Kuyu yöntemiyle ölçülen dalga hızlarının daha yüksek korelasyon katsayısı verdiğini savunarak, bu yöntem ile ölçülen kayma dalgası hızının SPT-N darbe sayısı ile ilişkisini incelemişler ve yaptıkları analiz sonucunda;

$$V_S = 100.5 N^{0.29} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.23)$$

korelasyon bağıntısını önermişlerdir. Yeraltı su seviyesi (YASS) üstünde ve altında kum zeminlerde yapılan ölçümlerden sağlanan 229 veri ile yapılan bu analizin korelasyon katsayısı % 84 olarak bulunmuştur. Aynı SPT-N değerlerini, Seed ve Idriss (1976) tarafından önerilen düzeltme faktörüne göre düzeltilmiş şekli ile kullanarak, analiz tekrarlanmış ve korelasyon katsayısı % 67 olan aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$V_S = 109.7 N_1^{0.28} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.24)$$

Bu bağıntıda N_1 derinlik düzeltilmesi yapılmış SPT-N sayısıdır. Ayrıca kullandıkları veriler ile elde ettikleri en düşük hız değerini aşağıda verilen eşitlik yardımıyla tanımlamışlardır.

$$(V_S)_{\min} = 4N + 114 \quad (\text{m/sn}) \quad (3.25)$$

Bağıntıdan sıfır N sayısında en küçük hız değeri olarak yaklaşık 114 m/sn elde edilmekte, bu ise efektif gerilmenin sıfır olduğu andaki değer ile üst üste düşmektedir.

Sykora ve Stokoe (1983), CPT uç direnci q_c ile kayma dalgası ilişkisini de incelemişlerdir. Kohezyonsuz zeminlerde YASS dikkate alınmadan yapılan deneylerden sağlanan 256 veri ile yapılan lineer ve lineer olmayan regresyon analizi sonucunda aşağıdaki eşitlikleri vermişlerdir.

$$V_S = 1.7 q_c + 134 \quad (\text{m/sn}) \quad (3.26)$$

$$V_S = 109.7 q_c^{0.29} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.27)$$

Bu bağıntılardaki q_c , kg/cm^2 biriminde olmak üzere CPT uç direncini göstermektedir. q_c uç mukavemetinin 10 ile 700 kg/cm^2 arasındaki değerlerin kullanıldığı bu bağıntıların korelasyon katsayıları sırasıyla % 78 ve % 71 bulunmuştur.

Baldi ve diğ. (1989), SPT deneyleri ile Karşıt Kuyu ve Aşağı Kuyu deneylerinden, YASS'nin 1-3 m derinlikte olduğu farklı sahalardan kohezyonsuz zeminlerden sağladıkları veriler ile yaptıkları çalışmalarda Ohta ve Goto (1978) tarafından verilen 3.13 nolu bağıntıyı kullanmışlardır. SPT deney sonuçlarını %60 enerji oranına göre düzelterek bu bağıntının katsayısını, 68.8 yerine 67.9 olarak değiştirmişlerdir.

Lo Presti ve Lai (1989), genelde kum zeminlerde uygulanan sismik ve CPT deney sonuçlarını kullanarak, q_c uç mukavemeti ve efektif düşey gerilmeyi (σ_v) değişken olarak alıp, kayma dalgası hızını içeren, q_c ve σ_v Mpa biriminde olmak üzere aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir.

$$V_S = 277 q_c^{0.13} \sigma_v^{0.27} \quad (\text{m/sn}) \quad (3.28)$$

Sismik dalga hızları ile diğer arazi deney sonuçları arasında çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilmiş korelasyon bağıntıları, genel olarak kayma dalgası ile SPT-N darbe sayısını içermektedir. CPT deneyinin sahip olduğu üstünlüklere rağmen, çakıllı

ve çimentolaşmış zeminlerde uygulamasında görülen zorluk ve sonuçlarından direkt olarak zemin sınıfına geçilememesi gibi sınırlayıcı sebeplerden dolayı, CPT sonuçlarına dayanan korelasyon sayısı daha azdır.

İyisan (1996), arazi uygulamaları kapsamında Erzincan ilinde çeşitli derinliklerde açılmış sondaj kuyularında Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) yapılarak N darbe sayıları bulunduğunu ve kuyu içi sismik yöntemler uygulanarak V_s ' in ölçüldüğünü belirterek, sondaj kuyularının yakınlığında (CPT) yapılarak uç direnci q_c ve Dinamik Sonda Deneyi yapılarak, 10 cm giriş için gerekli darbe sayıları N_{10} belirlendiği, ayrıca alınan zemin numuneleri üzerinde de gerekli laboratuvar deneyleri yapıldığını kaydetmiştir. V_s 'i içeren bağıntıları genel olarak N, q_c , N_{10} ' dan ibaret üç bağımsız değişkeni kullanılarak elde etmiş olup, elde edilen bu bağıntılara zemin tipi, efektif düşey gerilme σ_v ve derinliğin etkisini de araştırmış, V_s ' i iki bağımsız değişken cinsinden ifade eden bağıntılar da geliştirmiştir. Tüm zemin grubunu içeren 65 adet veri kullanarak yaptığı regresyon analizi sonucu, V_s ve N arasında korelasyon katsayısı (r) % 81 olan;

$$V_s = 51.5 N^{0.516} \quad (\text{m/s}) \quad (3.29)$$

bağıntısını elde etmiş olup, elde edilen bu bağıntı günümüzde çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Söz konusu çalışmada elde edilen diğer bağıntılar şu şekildedir;

$$V_s = 115.8 \sigma_v^{0.367} \quad (\text{m/s}), (\sigma_v : \text{t/m}^2) \quad (\text{Tüm Zeminler}) \quad (3.30)$$

$$V_s = 61 N^{0.267} \sigma_v^{0.383} \quad (\text{m/s}), (\sigma_v : \text{t/m}^2) \quad (\text{Tüm Zeminler}) \quad (3.31)$$

$$V_s = 47.3 N^{0.324} \sigma_v^{0.270} \quad (\text{m/s}), (\sigma_v : \text{t/m}^2) \quad (\text{Kil Zeminler}) \quad (3.32)$$

$$V_s = 54 N^{0.332} \sigma_v^{0.221} \quad (\text{m/s}), (\sigma_v : \text{t/m}^2) \quad (\text{Kum Zeminler}) \quad (3.33)$$

$$V_s = 205.7 N^{0.074} \sigma_v^{0.177} \quad (\text{m/s}), (\sigma_v : \text{t/m}^2) \quad (\text{Çakıl Zeminler}) \quad (3.34)$$

$$V_s = 79.8 H^{0.675} \quad (\text{m/s}), (H : \text{m}) \quad (\text{Tüm Zeminler}) \quad (3.35)$$

Jafari ve diğ. (2002), arazi ve laboratuvar çalışmaları doğrultusunda Tahran'ın güneyindeki ince daneli zeminlerin dinamik özelliklerini incelemiştir. Güney Tahran'ın sismik mikrobölgelemesi için birçok arazi ve laboratuvar çalışması yapmıştır. Arazi araştırmaları, orta düşük / düşük orta plastisiteli siltli malzemeler üzerindeki sismik kırılma, düşey-kuyu, SASW ve SPT testlerini içermektedir. Geosismik çalışmaları baz alarak yeni V_s -SPT(N) korelasyonlarını ince daneli zeminler için sunmuştur. Plastisite etkilerinin, deformasyon özellikleri üzerindeki

değerlendirmesini araştırarak, 12'den düşük plastisite indisine sahip olduğunda plastisite etkilerinin deformasyon özellikleri üzerinde göze çarpan bir etkisi yokken, plastisite indisinin artmasıyla Kayma Modülü Oranı artmakta ve sönüm oranı azalmaktadır. 400'den fazla sondaj kuyusunda çalışılmış, ince daneli zeminlerin tüm tipleri için geliştirdiği V_s -N korelasyonu oldukça tutarlı olmuştur. Ayrıca çalışmaları paralelinde arazinin doğal periyodunu da hesaplamak amacıyla mikrotremor ölçümleri de yapmıştır. Buna göre V_s -N için önerilen amprik korelasyonlar;

$$V_s = 27 N^{0.73} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Killi Zeminler}) \quad (3.36)$$

$$V_s = 22 N^{0.77} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Siltli Zeminler}) \quad (3.37)$$

$$V_s = 19 N^{0.85} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{İnce Daneli Zeminler}) \quad (3.38)$$

Düşey efektif gerilme düzeltmesi yapıldığında elde edilen N_1 , V_s 'i tahmin etmede uygun bağımsız bir değişken olmadığından, düzeltilmemiş N 'ler kullanılmasını Sykora ve Koester (1988) tavsiye ettiğinden Jafari ve diğ. (2002) çalışmalarında düzeltilmemiş SPT-N sayılarını kullanmışlardır.

Chen ve diğ. (2002), Tayvan'da yapmış oldukları çalışmalarında PS Logging metodunu kullanarak kayma dalgası hız ölçümleri elde etmişler ve bu verilerin derinlik ve SPT-N sayıları ile olan ilişkisini incelemişlerdir. 45 sondaj kuyusunda PS logging deneyine başvurdıkları gibi bazı mahallerde de yüzey dalgası, sismik kırılma ve düşey kuyu yöntemleri de uygulanmıştır. Farklı yöntemlerin uygulanmasıyla elde ettikleri sonuçların hemen hemen aynı olması ölçümlerinin güvenilirliğini artırmıştır. Alüvyon birikintiler için elde ettikleri bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$V_s = 139.1 + 4.09 z + 2.0415 N_1 \quad (\text{m/s}) \quad (3.39)$$

Hasançebi ve Ulusay (2006), Türkiye'nin Marmara Bölgesinde yüksek depremselliği olan düzlük bir alüvyon zemininde yerleşik olan Bursa-Yenişehir'de çalışmışlardır. Çalışmanın yapıldığı alanda, Kuzey Anadolu Fay hattının güney kolu ve Bursa fay hattı ile İnönü-Eskişehir fay hatları en önemli deprem üreten kaynaklardır. Birinci dereceden deprem bölgesinde bulunan Yenişehir İlçesi, kuzey ve güneyden sıradağlarla çevrili bir alüvyon havzanın içerisinde yer almaktadır. İstatistiksel değerlendirmelerden sonra elde ettikleri sondaj verilerini, laboratuvar zemin sınıflandırma testlerini, sismik kırılma çalışmalarını ve SPT sondajlarını içermektedir. Zemin sınıfının hesaba katımını ve istatistiksel değerlendirmeleri temel alarak, kayma dalgası hızı V_s 'in SPT-N' den tahmini için bir dizi denklem

geliştirmişler ve bunları daha önceki var olan korelasyonlarla karşılaştırılmışlardır. Yenişehir yerleşim bölgesiyle ilgili Doyuran ve diğ. (2000) ve DLH Genel Müdürlüğü'nün 2002 yılında yapmış olduğu çalışmalardan faydalananak kendilerinden önceki çalışmalarda var olan 37 sondaj kuyusu ve SPT verilerinden faydalanılmıştır. Söz konusu çalışmada kayma dalgası hızlarının ölçümü, Afet İşleri Genel Müdürlüğü ve Ankara Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü'nün teknik destekleriyle sismik kırılma metoduyla yapmışlardır. 97 adet V_s ve SPT-N veri çifti üzerinde çalışarak değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Korelasyonları, oluşturdukları bir veritabanı üzerinden basit bir regresyon analizi ile elde etmişlerdir.

$$V_s = 90 N^{0.309} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Tüm Zeminler}) \quad (r=0,73) \quad (3.40)$$

$$V_s = 90.8 N^{0.319} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Kumlu Zeminler}) \quad (r=0,65) \quad (3.41)$$

$$V_s = 97.9 N^{0.269} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Killi Zeminler}) \quad (r=0,75) \quad (3.42)$$

Hasançebi ve Ulusay (2006), yaptıkları regresyon analizini yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırdıklarında V_s değerinin SPT-N sayısının 20'den fazla olduğu durumlarda önerilen korelasyonların oldukça farklı değerler almaya başladığına dikkat çekmektedirler. Ayrıca enerji düzeltmesi yapılarak elde edilen SPT-N (N_{60}) ile V_s arasındaki ilişkiyi tüm zeminler, kumlar ve killi için de ayrıca incelemişlerdir.

$$V_s = 104.79 N_{60}^{0.26} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Tüm Zeminler}) \quad (r=0,71) \quad (3.43)$$

$$V_s = 131 N_{60}^{0.205} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Kumlu Zeminler}) \quad (r=0,56) \quad (3.44)$$

$$V_s = 107.63 N_{60}^{0.237} \quad (\text{m/s}) \quad (\text{Killi Zeminler}) \quad (r=0,75) \quad (3.45)$$

Yaptıkları çalışmayı, enerji düzeltmesi yaparak korelasyon öneren Pitilakis ve diğ. (1999) çalışması ile karşılaştırmışlardır. Her ne kadar kum zeminler için benzerlik gösterse de, killi zeminler için farklılık göstermiştir. Zaten enerji düzeltmesi yapılarak elde edilen regresyonların korelasyon katsayıları da enerji düzeltmesi yapılmayanlara oranla düşük çıkmıştır. Pratik kullanımlar için enerji düzeltmesi yapılmadan V_s saptanmasının daha isabetli olacağını belirtilmişlerdir.

SPT-N ile V_s arasındaki önceki çalışmalara ait korelasyonlar Tablo 3.2' de toplu halde verilmiştir. Ayrıca V_s ile efektif düşey gerilme (σ_v) arasındaki önceki korelasyonlar Tablo 3.3' te ve V_s ile derinlik (H) arasındaki önceki çalışmalara ait korelasyonlar Tablo 3.4'te toplu olarak sunulmuştur.

Tablo 3.2: Çeşitli Araştırmacılar Tarafından Geliştirilen V_s -N Bağıntıları

Araştırmacı	Bağıntı V_s , [m/s]	Zemin Cinsi
Kanai ve diğ. (1966)	$V_s = 19N^{0.6}$	Tüm
Shibata (1970)	$V_s = 31.7N^{0.54}$	Kum
Ohba ve Toriumi (1970)	$V_s = 85.3N^{0.31}$	Alüvyon
Imai ve Yoshimura (1970)	$V_s = 76N^{0.33}$	Tüm
Fujiwara (1972)	$V_s = 92.1N^{0.337}$	Tüm
Ohta ve diğ. (1972)	$V_s = 87.2N^{0.36}$	Tüm
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s = 81.4N^{0.39}$	Tüm
Imai ve Yoshimura (1975)	$V_s = 92N^{0.329}$	Tüm
Imai ve diğ. (1975)	$V_s = 89.9N^{0.341}$	Tüm
Imai (1977)	$V_s = 91N^{0.337}$	Tüm
	$V_s = 80.6N^{0.331}$	Kum
	$V_s = 80.2N^{0.292}$	Kil
Ohta ve Goto (1978)	$V_s = 85.35N^{0.348}$	Tüm
Seed ve Idriss (1981)	$V_s = 61N_I^{0.5}$	Tüm
Imai ve Tonouchi (1982)	$V_s = 97N^{0.314}$	Tüm
Sykora ve Stokoe (1983)	$V_s = 100.5N^{0.29}$	Kum
	$V_s = 109.7N_I^{0.28}$	Kum
Jinan (1987)	$V_s = 116.1(N+0.3185)^{0.202}$	Tüm
Lee (1990)	$V_s = 57.4N^{0.49}$	Kum
	$V_s = 114.43N^{0.31}$	Kil
	$V_s = 105.64N^{0.32}$	Silt
Sisman (1995)	$V_s = 32.8N^{0.51}$	Tüm
Iyisan (1996)	$V_s = 51.5N^{0.516}$	Tüm
Jafari ve diğ. (1997)	$V_s = 22N^{0.85}$	Tüm
Pitilakis ve diğ. (1999)	$V_s = 145(N_{60})^{0.178}$	Kum
	$V_s = 132(N_{60})^{0.271}$	Kil
Kiku ve diğ. (2001)	$V_s = 68.3N^{0.292}$	Tüm
Jafari ve diğ. (2002)	$V_s = 27N^{0.73}$	Kil
Hasancebi ve Ulusay (2006)	$V_s = 90N^{0.309}$	Tüm
	$V_s = 90.8N^{0.319}$	Kum
	$V_s = 97.9N^{0.269}$	Kil

Tablo 3.3: Çeşitli Araştırmacılar Tarafından Geliştirilen $V_s - \sigma_v$ Bağlılıları

Araştırmacı	Bağıntı V_s [m/s]	Zemin Cinsi
Hamilton (1976)	$V_s = 257.9 \sigma_v^{0.31}$, σ_v [kg/cm ²]	Kum
Sykora ve Stokoe (1983)	$V_s = 219.5 \sigma_v^{0.36}$, σ_v [kg/cm ²]	Kum
İyisan (1996)	$V_s = 115.8 \sigma_v^{0.367}$, σ_v [t/m ²]	Tüm

Tablo 3.4: Çeşitli Araştırmacılar Tarafından Geliştirilen $V_s - H$ Bağlılıları

Araştırmacı	Bağıntı V_s [m/s] , H [m]	Zemin Cinsi
Ohta ve Goto (1978)	$V_s = 92H^{0.339}$	Tüm
Hamilton (1976)	$V_s = 128H^{0.28}$	Tüm
Fumal (1978)	$V_s = 182H^{0.20}$	Kum
Campbell ve Duke (1976)	$V_s = 153.8 H^{0.386}$	Genç Alüvyon
	$V_s = 195.4 H^{0.358}$	Yaşlı Alüvyon
Lee (1990)	$V_s = 57.40 H^{0.46}$	Kum
	$V_s = 70.81 H^{0.37}$	Kil
	$V_s = 70.52 H^{0.39}$	Silt
İyisan (1996)	$V_s = 79.8H^{0.675}$	Tüm
	$V_s = 20.8H + 166$	Tüm

4. YEREL ZEMİN KOŞULLARI VE KAYMA DALGASI HIZ ÖLÇÜMLERİ

4.1 Giriş

17 Ağustos 1999 tarihinde Kuzey Anadolu Fayı (KAF) üzerinde meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki Kocaeli depremi bölgede önemli can ve mal kaybına neden olmuştur. İstanbul'un 110 km doğusunda olan bu deprem İstanbul'da da önemli yapısal hasarlara yol açmıştır. Düzce'deki 7.2 büyüklüğündeki deprem ise Kuzey Anadolu Fay hattında 12 Kasım 1999 tarihinde meydana gelmiştir. İstanbul'da muhtemel deprem felaketinin zararlarını azaltmak amacıyla, bir sismik afet azaltma planı, acil kurtarma planı ve depreme maruz kalmış bölgenin orta ve uzun vadelerde yeniden yapılandırılması planına ihtiyaç duyulmuştur. "Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması" adı altında Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı ile İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nin ortak çalışmalarıyla bir proje hazırlanmıştır. Proje İstanbul Büyükşehir Belediyesi sınırları içinde bulunan 27 ilçeyi ve ek olarak seçilen Büyükçekmece, Silivri ve Çatalca ilçe merkezlerini kapsamaktadır. Söz konusu projede, İstanbul şehri ve çevresi için sismik afet önleme/hasar azaltma planının temelini oluşturabilecek sismik mikrobölgeleme haritalarının derlenmesi, depreme dayanıklı şehirleşme için yapı inşaatı ve planlama tekniklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır (İBB ve JICA, 2002).

Bu proje kapsamında İstanbul ili sınırları içinde, yerel zemin koşullarının belirlenmesi amacıyla değişik noktalarda derinlikleri 50, 100, 150 m civarında olan 48 sondaj kuyusu açılmıştır. Sondajlar sırasında SPT yapılmış, numuneler alınmıştır. Ayrıca, bu sondaj kuyularının 39'unda PS Logging yöntemi ile kayma dalgası hızının derinlikle değişimi belirlenmiştir. Proje kapsamında laboratuvar testleri ve bazı noktalarda mikrotremor ölçümleri de yapılmış olup ayrıca sıvılaşma potansiyeli analizi için yeraltı zemin suyu seviyesi de izlenmiştir. Elde edilen bilgiler birlikte değerlendirilerek ve dinamik analizler yapılarak çeşitli deprem senaryoları için bölgeleme yapılmıştır. Dört deprem senaryosu üzerinde çalışılarak her bir senaryo için risk analizleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında V_s ' in SPT-N' e bağlı

4.2.2 Genel Jeoloji

İstanbul, yer yer geniş yayımlı ve oldukça kalın olabilen alüvyonlar ve yamaç molozları ile tarihi bir yerleşimin ve hızla büyüyen bir metropol olmanın beraberinde getirdiği yapılaşmanın bir sonucu olan suni dolgular dışında genel olarak kaya ortamı üzerinde yer almaktadır. İstanbul'un üzerine oturduğu bu birimler zemin davranışı açısından üç grupta ele alınabilir. Birinci grup Paleozoyik yaşlı kayalardan oluşur. Bu birimlerin ortak özelliği yaşlı ve sağlam kayalardan oluşmasıdır. Bilhassa Avrupa yakasında Halkalı, Küçükçekmece ve İkitelli civarlarında görülen Eosen yaşlı kireçtaşları da sağlam kaya niteliği nedeniyle bu gruba dahil edilebilir. İkinci grup Mimarşinan, Gürpınar ve çevresinde görülen Gürpınar formasyonu, Karaburun formasyonu ve eşdeğerleri, Bakırköy, Gaziosmanpaşa, Bahçelievler ve çevresinde görülen Üst Miyosen istifleri ile bilhassa Anadolu yakasında geniş yayımlı olan Belgrad formasyonunun tutturulmamış ya da çok zayıf tutturulmuş kırıntılılarından oluşur. Bu grubun ortak özelliği genellikle killi, kumlu yer yer zayıf tutturulmuş nitelikte birimleri içermesidir. Üçüncü grup ise genellikle zayıf zemin niteliği taşıyan alüvyon, yamaç molozu ve suni dolguları içerir (Tüysüz, 2003).

İstanbul Paleozoyik istifi litolojik olarak kuvarsit, arkoz, grovak, şeyl ve kireçtaşlarından oluşmaktadır. Tüm bu birimler orijinal niteliklerinin korunduğu alanlarda son derece sağlam bir kaya ortamı, böylece de yerleşim açısından tercih edilir bir özellik sergilemektedirler. Ancak bu birimlerin deformasyon esnasında kazanmış oldukları kırık, çatlak fay ve makaslamalar ile atmosferik koşullar altında uğradıkları değişiklikler yukarıda da değinildiği gibi orijinal kaya davranışının bozulmasına neden olmuşlardır. Bilhassa zemin davranışı açısından önemli olan üst 30 metrelik zon içerisinde görülen ayrışmalar İstanbul'da mühendislik yapılarının inşasında karşılaşılan büyük problemlere yol açmaktadır. Örneğin Anadolu yakasında geniş yer kaplayan Kurtköy formasyonunun arkozları orijinalde sert-çok sert kaya niteliği taşımalarına rağmen yer yer alterasyon sonucu tamamen kuma dönüşmüş olarak izlenmektedir. Bilhassa Avrupa yakasında yaygın olarak görülen ve İstanbul'un tünel, metro, köprü gibi önemli mühendislik yapıları için detaylı araştırılmış olan Karbonifer yaşlı grovaklar (Trakya formasyonu) yer yer aşırı çatlaklı yapısının yanı sıra killeşme, ayrışma gibi ikincil etkilerle de kaya niteliğini yitirmiş olarak bulunabilmektedir. İlkel niteliklerinin korunduğu alanlarda V_s hızı 1000-1500 m/sn veya daha fazla olan birimde bu tür kesimlerde V_s hızı 200 m/sn' ye

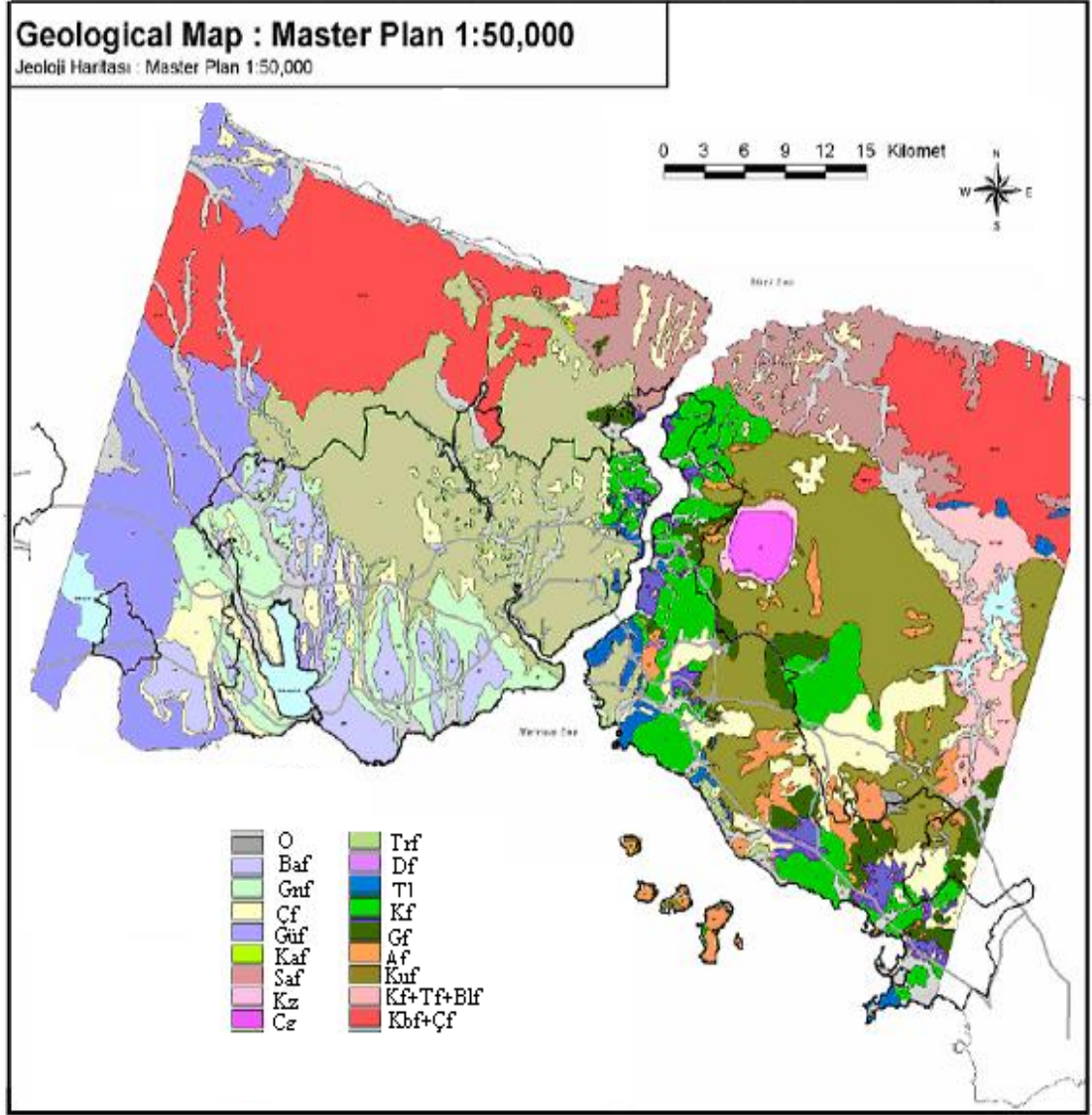
kadar düşebilmektedir. Paleozoyik istiflerdeki bu davranış farkı genellikle yatay ve düşey olarak çok ani ve hızlı değişimler gösterebilmekte, aynı yapının farklı kesimlerinde bile çok farklı davranışlar ortaya çıkabilmektedir. Bu örneklerden de anlaşılacağı gibi her ne kadar İstanbul'un büyük bir kesimi kaya ortamı üzerinde bulunmakta ise de bu ortamın zemin davranışı çok sayıda faktör tarafından hızla indirgenebilmektedir (Tüysüz, 2003).

İstanbul'un bilhassa Avrupa yakasında görülen Çukurçeşme, Güngören ve Bakırköy formasyonları gibi birimler zemin davranışı açısından Paleozoyik birimlerden farklı özelliklere sahiptir. Masif kayadan gevşek kuma kadar değişen litolojilerden oluşan ve çoğunlukla birbirleri ile yanal ve düşey geçişler gösteren bu birimlerde Bakırköy formasyonundaki bazı erime yapıları dışında ikincil etkiler genellikle önemsiz kalmaktadır. Bu birimler içerisinde zemin davranışını etkileyecek başlıca ikincil etkilerin başında yeraltı suyu gelmektedir. Örneğin yer yer gevşek kumlardan oluşan Çukurçeşme formasyonunda sığ yeraltı suyu varsa zemin taşıma gücü son derece azalmaktadır. Bu tür örnekler Gaziosmanpaşa, Maslak, Eyüp gibi ilçelerde yaygın olarak rastlanmıştır (Tüysüz, 2003).

Güngören ve Bakırköy formasyonlarında oturma, heyelan gibi olumsuz etkiler yaygındır. Bu grup kayaların önemli bir özelliği de 1 ile 2.5 katına varan oranlarda zemin büyütmesine yol açmalarıdır. İstanbul'un kuzey kesimlerini oluşturan ve Şile, Kilyos, Sarıyer civarlarında yaygın olarak mostra veren ve üzeri Miyosen çökelleri ile örtülen Üst Kretase yaşlı volkanik istifler de farklı zemin davranışı gösteren birimlerdendir. Bu istifin egemen litolojisi olan volkanitler genellikle şiddetli bir alterasyondan etkilenerek kısmen ya da tümü ile killeşmişlerdir. Orijinalde masif kaya olan bu birimler çoğu mühendislik çalışmalarında sert-orta sert kil olarak değerlendirilmektedir. Alüvyonlar dere içerilerine özgü alanlarda yer almakla birlikte üzerlerinde yer yer yoğun yerleşim görülmektedir (Tüysüz, 2003).

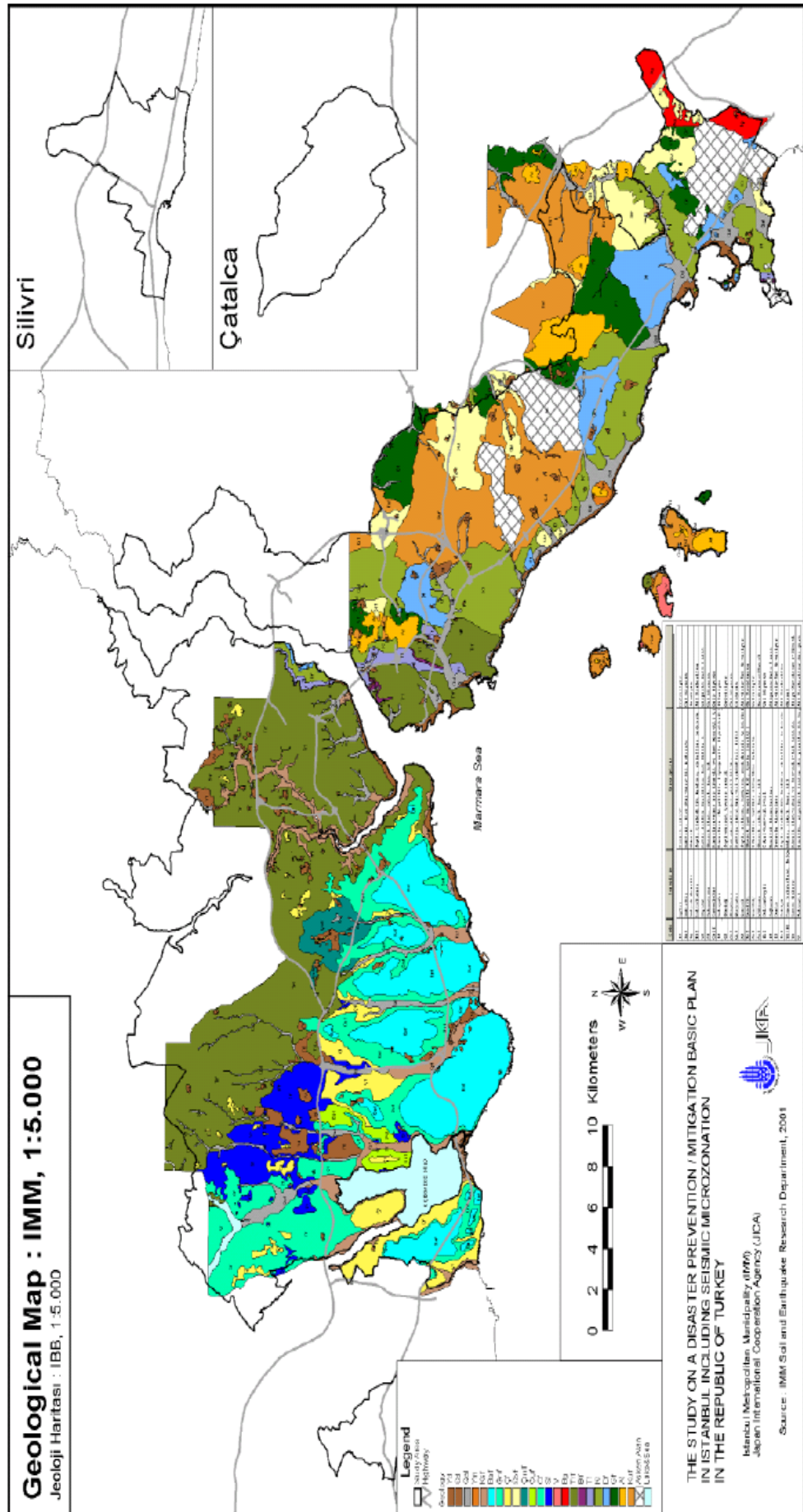
Gerek alüvyonlar gerekse benzer zemin davranışı gösteren örneğin yamaç molozları gibi diğer birimler ve dolgular zemin davranışını olumsuz etkileyen birimlerdir. Bunlarda zemin ve şev duraysızlıkları, oturma, kabarma ve kayma olayları ile 3 misline varan zemin büyütmesi başlıca sorunları oluşturmaktadır. Çoğu çalışmada bu tür birimler üzerinde yerleşimden kaçınılması tavsiye edilmektedir. Zemin davranışını etkileyen faktörlerden biri de morfolojidir. Topoğrafya eğimi, bakış yönü, kayanın yapısal unsurları ile topoğrafya eğimi arasındaki ilişki zemin

davranışını etkilemektedir. Örneğin tabakalanma ile topoğrafya eğiminin aynı yöne olması kaya akmalarına ya da heyelanlara yol açabilmektedir. Diğer yandan ani topoğrafik değişimlerin deprem dalgalarının yayılmasında son derece etkili olduğu ve bunların büyütülmesine yol açtığı bilinmektedir (Tüysüz, 2003).



Şekil 4.2: İstanbul'un 1:50 000 ölçekli Jeoloji Haritası (İBB-JICA, 2002)

İBB Şekil 4.2' deki genel haritayı jeolojik etütler yaparak ve mevcut sondajları, jeofizik incelemelerini ve gözlem verilerini ekleyerek geliştirmiştir. Bu haritalar daha sonra sayısal ortamda 1:5.000'lik haritalara indirgenmiştir. JICA tarafından bu haritalar Şekil 4.3' te gösterilen şekilde, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) formatında oluşturulmuştur. Böylece çalışma alanına ilişkin jeolojik harita, Şekil 4.3' te daha detaylı olarak görülebilmektedir.



Şekil 4.3: İstanbul'un 1:5 000 ölçekli Jeoloji Haritası (İBB-JICA, 2002)

Güngören Formasyonu, Genellikle yeşil-mavi renkli üst seviyelerinde kirli beyaz renkli maktrali kireçtaşı ara seviyeli, kum cepli kil ve marnlardan oluşur. Şirinevler-Yenibosna-Kocasinan-Mahmutbey sırtının doğu ve batı yamaçlarında Şenlikköy-Sefaköy-Halkalı sırtının doğu ve batı yamaçlarında yer alır. Sarımsı esmer-yeşil renkli kil, beyaz renkli marnlar ile bunlar arasında ince düzensiz tabakalı maktrali kalker, beyaz tebeşirimsi kalker seviyelerinden oluşur. Killer içinde marnlı kalker toprakları vardır. Killer içinde ayrıca bitki sap ve yaprak izleri, silt ve kum mercikleri gözlenir. Killi kireçtaşı-kil ardalanımı Bakırköy kireçtaşına geçişte çoğalır. Killer ince tabakalı olup laminalıdır. Ayrıca içlerinde kum mercikleri bulunur. Yüzeye yakın yerlerde organik madde zenginleşmesiyle kahverengiye dönüşmektedir. Güngören formasyonu ayırtlandığı kesimlerde altına gelen Çukurçeşme formasyonu ve üstüne gelen Bakırköy formasyonu ile dereceli geçişlidir. Güngören formasyonunun en fazla 30 m kalınlığı bulunmaktadır (<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/avrupa.doc>).

Bakırköy Formasyonu, Halkalı Gurubunun en genç birimi olup, tabaka araları yeşil killi, genelde değişik kalınlıkta beyaz ve kirli beyaz renkli maktrali kireçtaşlarından oluşur. Formasyon tabanda kil ve seyrek kirli beyaz killi kireçtaşı ardalanımı ile başlayan tatlı su fasiyesli; düzensiz tabakalanmalı, beyaz mikritik bir kireçtaşıdır. Aralarda yer yer yeşil ve mavi renkli killi ve marnlı düzeyler bulunur. Kireçtaşı yer yer oolitlik ve tebeşirimsidir. İnceden kalına doğru değişen tabakalı boşluklu ve bol kırıklıdır. Bol bol fosil iç kalıplıdır. Genelde 25-30 m kalınlık gösteren Bakırköy formasyonun kuzeye doğru kalınlığı azalır. Bu kalınlık 10-15 m ye kadar düşer (<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/avrupa.doc>).

Çukurçeşme Formasyonu, Halkalı Gurubu'nun en yaşlı üyesi olup Küçükköy, Atışalanı, Sağmalcılar, Güngören'in kuzeyindeki Üçüzlü çeşme, Bağcılar batısı, Değirmentepe'nin kuzeyi, Mahmutbey civarları, Küçükçekmece, Hakalının doğu ve batı tarafları ile Halkalı-İkitelli arasındaki sırtlarda, Ambarlı, Esenyurt, Firüzköy yamaçlarında; Yakuplar-Kavaklı-Gürpınar-Kıraç-Çakmaklı köylerinin bulunduğu yamaçlarda, Hoşdere ile çakmaklı kuzeyindeki sırtlarda yer alır. Genelde blok-çakıl-kumdan oluşmuştur. Bazı merciklerin en üst kesimlerinde ince killer bulunmaktadır (<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/avrupa.doc>).

Alüvyonlar, Geç Kuvaterner'de İstanbul ve Kocaeli yarımadaında mevcut olan çeşitli akarsu yataklarında depolanmış gevşek blok-çakıl-kum-kilden yapılmış

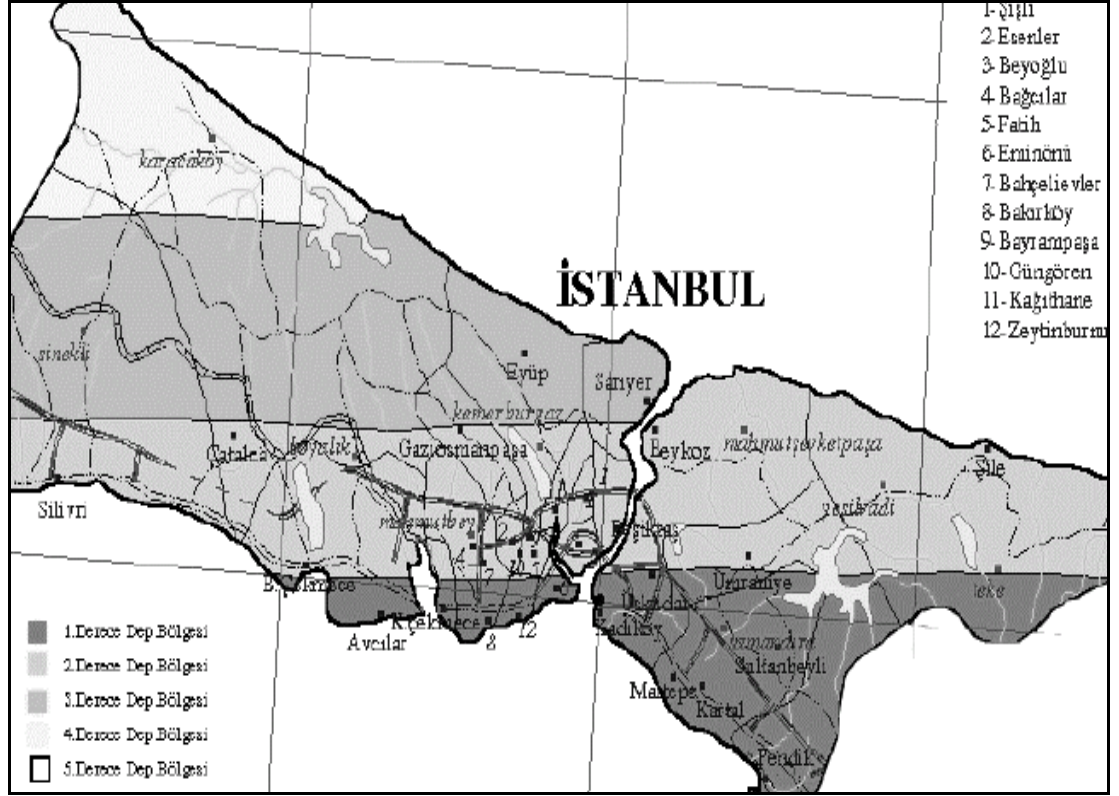
çökellerdir. Genelde çapraz tabakalı ve devresel çökeller şeklinde olup kalınlıkları ve kendilerini oluşturan malzeme çevrelerine ve akarsuların fiziksel ve geometrik özelliklerine bağlı olan alüvyonlar holosen yaşlıdır (<http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/avrupa.doc>). Jeolojik yaşlara ilişkin cetvel Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1: Jeolojik Zamanlar Cetveli (Eyidoğan, 2003)

ZAMANLAR	DEVİRLER	DEVRELER	ÇAĞLAR	YAŞ Milyon Yıl
SENOZOYİK	KUVATERNER	NEOJEN	Holosen	0
			Pleistosen	1
			Pliyosen	3-12
	TERSİYER	PALEOJEN (NÜMÜLİTİK)	Miyosen	12-25
			Oligosen	25-40
			Eosen	40-60
Paleosen			60-70	
MESOZOYİK	KRETASE	ÜST KRETASE		
		ALT KRETASE		70-110
	JURA	ÜST JURA (MALM)		110-135
		ORTA JURA (DOGER)		135-165
		ALT JURA (LİAS)		165-180
	TRİYAS	ÜST TRİYAS		
		ORTA TRİYAS		180-225
		ALT TRİYAS		
PALEOZOYİK	PERMİYEN	ÜST PERMİYEN		
		ORTA PERMİYEN		
		ALT PERMİYEN		225-270
	KARBONİYER	ÜST KARBONİFER		
		ALT KARBONİFER		270-350
	DEVONİYEN	ÜST DEVONİYEN		
		ORTA DEVONİYEN		350-400
		ALT DEVONİYEN		
	SİLÜRİYEN			400-440
	ORDOVİSİYEN			440-500
KAMBRİYEN	ÜST KAMBRİYEN			
	ORTA KAMBRİYEN		500-600	
	ALT KAMBRİYEN			

4.2.3 Sismotektonik Özellikler

İstanbul, tarih boyunca yıkıcı depremlerden etkilenmiştir. İstanbul'un İmar ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan 1996 tarihli Türkiye Deprem bölgeleri haritasındaki konumu Şekil 4.4' te görülmektedir. Buna göre İstanbul il sınırları içerisinde 1, 2, 3 ve 4. derece deprem bölgeleri bulunmaktadır.

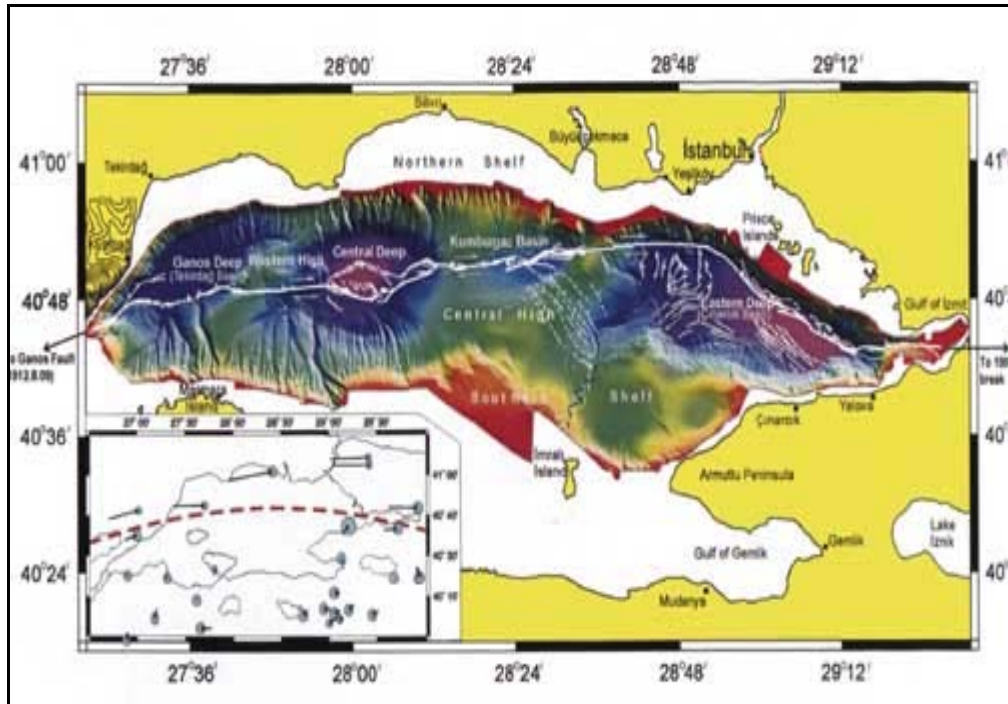


Şekil 4.4: Deprem Bölgeleri Haritasında İstanbul'un Konumu (AİGM, 1996)

İstanbul il sınırları içerisindeki kara üzerinde gerek tarihsel gerekse aletsel döneme ait bilinen hiçbir yıkıcı deprem yaşanmamıştır. İstanbul'da yıkıcı etki oluşturan bütün depremlerin Marmara denizi içerisindeki Şekil 4.5' teki faylar üzerinde olduğu 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 gerilme transferi ile açıklanmaktadır. Bir deprem, üzerinde olduğu 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 (Tüysüz, 2003).



Şekil 4.5: Marmara Denizi'nin Batimetri Haritası (Le Pichon vd., 2001)

Ambraseys ve Finkel (1991)'e dayanarak aşağıda özetlenen, üç deprem İstanbul'da ciddi anlamda hasara neden olmuştur.

10 Eylül 1509'da 7.7 büyüklüğündeki yıkıcı bir deprem, Marmara Denizi boyunca, Gelibolu'dan Bolu'ya ve Edirne ve Dimetoka'ya kadar, oldukça büyük bir hasara neden olmuştur. Birçok caminin, binanın, surlarının bir kısmının ve yaklaşık 1000 konutun yıkıldığı, 5000 kişinin öldüğü bu depremde, özellikle İstanbul'da ki hasar oldukça ağırdı. Dimetoka, Gelibolu, İznik ve Bolu'da ki birçok konut ve kamu binası da çeşitli derecelerde hasar olmuştur. Şok 750 km' lik bölge içinde hissedilmiştir. Bunu, Marmara Denizinin doğu kısımlarındaki deprem dalgası (tsunami) takip etmiştir.

22 Mayıs 1766'da 6.5 büyüklüğünde Marmara Denizi'nin doğu kısımlarında meydana gelen yıkıcı deprem, Tekirdağ'dan İzmit'e ve Marmara Denizi'nin güney sahiline, Mudanya'dan Karamürsel'e kadar uzanan bölgede ağır hasar meydana getirmiştir. Gelibolu, Edirne, İzmit ve Bursa'daki binalarda ve yüksek yapılarda da

hasar oluşmuştur. İstanbul'da ise, depremde birçok ev ve kamu binası yıkılmış ve 880 kişinin ölümüne neden olmuştur. Yeraltındaki su kanallarının suları arz sisteminin bir kısmı da harap olmuştur. İstanbul'un kuzeyinde, Kağıthane' de Ayvad bendi hasar görmüş ve Sultanahmet'in çevresindeki Yerebatan Sarnıcının tavanı çökmüştür. Boğaz boyunca şiddetli bir tsunami gözlenmiştir.

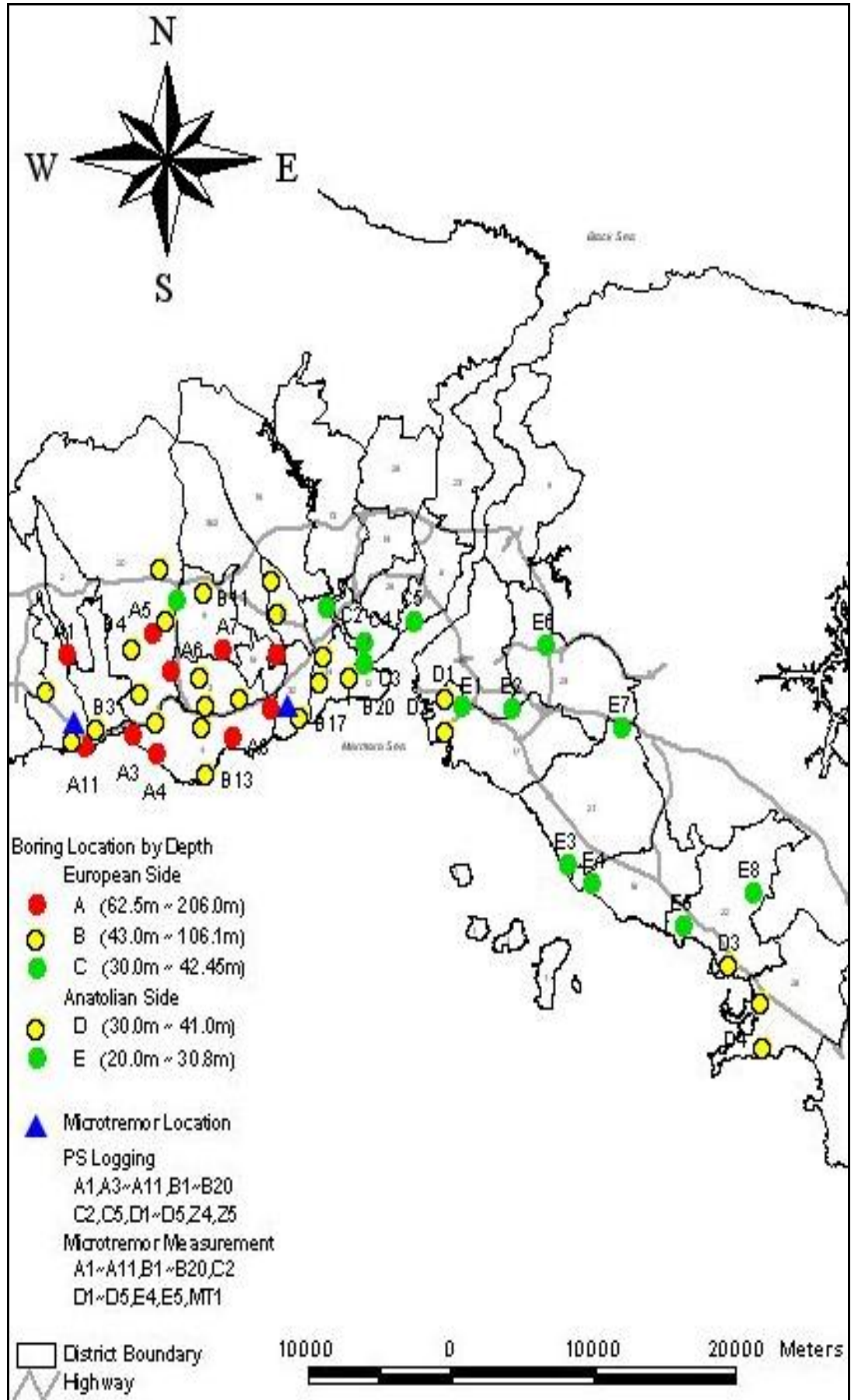
10 Temmuz 1894'te 6.7 büyüklüğünde İzmit Körfezi'nde yıkıcı bir deprem meydana gelmiş ve daha doğusunda bulunan Silivri, İstanbul, Adapazarı ve Katırlı arasındaki bölgede, büyük hasarlara neden olmuştur. En çok hasar, köylerin tamamen yok olduğu ve ölü sayısının yüksek olduğu, Heybeliada, Yalova ve Sapanca arasındaki bölgede, meydana gelmiştir. Şok, Sakarya Nehrinin taşmasına ve çamur volkanlarının oluşmasına neden olmuştur. Adapazarı'nda 83, Sapanca'da ise 990 kişi ölmüştür. İstanbul'da hasar, ağırdı ve çok geniş bir alana yayılmıştı. Birçok kamu binalarının, camilerin ve evlerin çoğu paramparça olmuştur. Binaların çoğu ise çökmenin eşiğinde iken, bazı eski yapılar yıkılarak, 276 kişinin ölümüne ve 321 kişinin yaralanmasına neden olmuştur. İstanbul'da, içme suyunun sağlandığı barajlardan üç tanesi fena halde hasar görmüştür. Şok tsunami ile birleşmiş, dalgalar Yeşilköy'de 1.5 m'ye ulaşmış ve yeraltı kablolarının arızalanmasına neden olmuştur.

4.3 Sondaj Yerleri ve PS Logging Ölçümleri

Şekil 4.6' da gösterilen noktalarda açılan sondaj kuyuları A, B, C, D, E olmak üzere 5 gruba ayrılmıştır. Avrupa yakasındaki sondaj kuyuları derinliklerine göre A, B ve C gruplarına, Anadolu yakasındaki sondaj kuyuları da yine derinliklerine göre D ve E gruplarına ayrılmışlardır. PS Logging yönteminin uygulandığı 39 sondaj kuyusunun yerleri ise Tablo 4.2' de verilmiştir. Söz konusu 39 sondaj kuyusunun 32 tanesi Avrupa yakasında, 7 tanesi ise Anadolu yakasında yer almaktadır. A grubu sondaj kuyuları 150 m., B grubu sondaj kuyuları 50m., C ve D grubu sondaj kuyuları 35 m., E grubu sondaj kuyuları ise 30 m. civarında derinliğe sahiptirler. Tablo 4.2' den de görülebileceği gibi en derin sondaj kuyusu 200 metre derinliğe sahip Avcılar Denizköşkleri' deki A11 kuyusudur. 17 Ağustos 1999' da meydana gelen Kocaeli depreminden İstanbul'da en fazla Avcılar, Küçükçekmece ve Bakırköy ilçeleri etkilendiğinden, sondaj kuyularının da daha çok bu bölgelerde ağırlıklı olduğu Tablo 4.2'den görülebilmektedir.

Tablo 4.2: PS Logging Yönteminin Uygulandığı 39 Sondaj Kuyusunun Yerleri

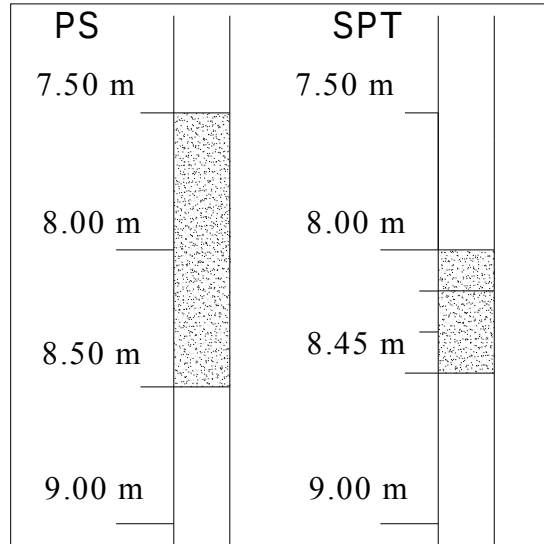
No	Sondaj No	Derinlik (m)	Konum
1	A1	100	Firuzköy/Avcılar
2	A3	98	Bakırköy/Menekşe
3	A4	101	Bakırköy/Florya
4	A5	83	K.Çekmece/Çamlıkaltı
5	A6	53	K.Çekmece/İnönü
6	A7	83	Bağcılar/Yıldıztepe
7	A8	100	Ataköy/Ataköy Camii
8	A9	90	Zeytinburnu/Veliefendi
9	A10	90	Davutpaşa/Y.T.Ü. Kampüs
10	A11	200	Avcılar/Denizköşkler
11	B1	51	Avcılar/Firuzköy
12	B2	51	Avcılar/Denizköşkler
13	B3	100	Avcılar/K.Çekmece Sahil
14	B4	51	K.Çekmece/Yeni Doğan
15	B5	52	K.Çekmece/Cumhuriyet
16	B6	47	K.Çekmece/İkitelli
17	B7	37	K.Çekmece/Halkalı
18	B8	51	Bakırköy/Şenlikköy
19	B9	46	Bakırköy/DTM Ayamama
20	B10	51	Bahçelievler/Zafer
21	B11	51	Bağcılar/Demirkapı
22	B12	52	Bahçelievler/Hürriyet
23	B13	50	Bakırköy/Yeşilköy
24	B14	51	Bahçelievler/Siyavuşpaşa
25	B15	52	Bayrampaşa/Yıldırım
26	B16	51	Bayrampaşa/Kocatepe
27	B17	51	Zeytinburnu/Kazlıçeşme
28	B18	51	Fatih/Şehremini
29	B19	51	Fatih/Neslişah
30	B20	56	Fatih/Laleli
31	C2	33	Eyüp/Eyüp İmareti
32	C5	26	Beşiktaş/Barbaros Anıtı
33	D1	26	Kadıköy/Rasimpaşa
34	D2	34	Kadıköy/Rasimpaşa
35	D3	30	Pendik/Kaynarca-STFA P.
36	D4	36	Tuzla/Evliya Çelebi
37	D5	35	Tuzla/Postane
38	E4	20	Kartal/Orhantepe
39	E5	25	Pendik/Yenimahalle



Şekil 4.6: Sondaj Kuyularının Noktasal Gösterimi (İBB-JICA 2002)

4.4 Veritabanının Oluşturulması

Çalışmada kullanılan veritabanı oluşturulurken sondaj loglarından, sondajın yapıldığı zeminlere ilişkin mühendislik özellikleri hakkında bilgi edinilmiştir. Böylece sondajın yapıldığı derinlik, zeminin cinsi, formasyonu, yeraltı su seviyesinin varlığı ve seviyesi, SPT-N darbe sayısı birer bağımsız değişken olarak zeminin rijitliğiyle olan ilişkileri incelenerek bir veritabanı oluşturulmuştur. SPT deneyinin uygulandığı 45 cm' lik zemin kesiti uniform olarak kabul edilmektedir. SPT' de ölçümler 1.5 metre aralıklarla, PS Logging deneylerinde ise ölçümler 1 metre aralıklarla yapıldığından iki ölçüme karşılık gelen noktalar arasında 5 cm' lik ölçüm farklılığı mesafesi bulunmaktadır. Örneğin Şekil 4.7' den de görülebileceği gibi 8 m derinliğinde yapılan ölçümlerde, SPT-N darbe sayısına ait değer -8.15 ile -8.45 kotları arasındaki zeminin özelliklerini temsil etmekte iken, PS Logging ölçümleriyle ölçülen kayma dalgası hız değeri -7.50 ile -8.50 kotları arasındaki zeminin özelliklerini temsil etmektedir. İki zemin kesitinin -8.45 m ve -8.50 m kotları yaklaşık olarak çakışmaktadır. Buna göre 8.45 m. derinlikteki zemin parametreleriyle 8.50 m. derinlikteki zemin parametrelerinin yaklaşık aynı olacağı düşünülmüştür.



Şekil 4.7: Zemin Kesitinde PS Logging ve SPT'nin Şematik Gösterimi

Verilerin tamamı üzerinde yapılan incelemeler neticesinde bu 5 cm' lik mesafenin sonuçlar üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı kabul edilerek ihmal edilmiştir. Ölçümlerden ve sondaj loglarından oluşturulan veritabanında V_s 'i temsil eden 1m'lik zemin kesiti ile SPT Deneyinde SPT-N' i temsil eden 30 cm' lik zemin kesitlerinin 5 cm' lik mesafede değişmedikleri kabul edilmiştir. Dolayısıyla SPT-N ile V_s

değerlerinin birebir karşılık geldiği kabul edilmiştir. Şekil 4.8 ve 4.9 'dan da görüleceği üzere, kayma dalgası hızının derinlikle değişimi, SPT-N darbe sayısının derinlikle değişimiyle büyük ölçüde paralellik göstermektedir. Söz konusu 5 cm' lik mesafe de sondaj loglarına ait Şekil 4.8 ve 4.9'dan görülebilmektedir. Şekil 4.8' de Avcılar-K.Çekmece sahil yolundaki B3 nolu sondaj kuyusu ile Şekil 4.9'da Fatih-Şehremini' deki B18 nolu sondaj kuyusuna ait sondaj logları örnek olarak sunulmuştur.

Bağımsız değişkenlerden birisi olan efektif düşey gerilme hesaplanırken zeminin birim hacim ağırlığı 18.5 kN/m^3 olarak kabul edilerek veritabanı oluşturulmuştur. Veritabanı oluşturulurken kullanılan verilere örnek teşkil etmesi açısından Avcılar-K.Çekmece Sahil Yolu'nda bulunan B3 kuyusuna ait veritabanı Tablo 4.3' te, Fatih-Şehremini' de bulunan B18 kuyusuna ait veritabanı ise Tablo 4.4'te verilmiştir.

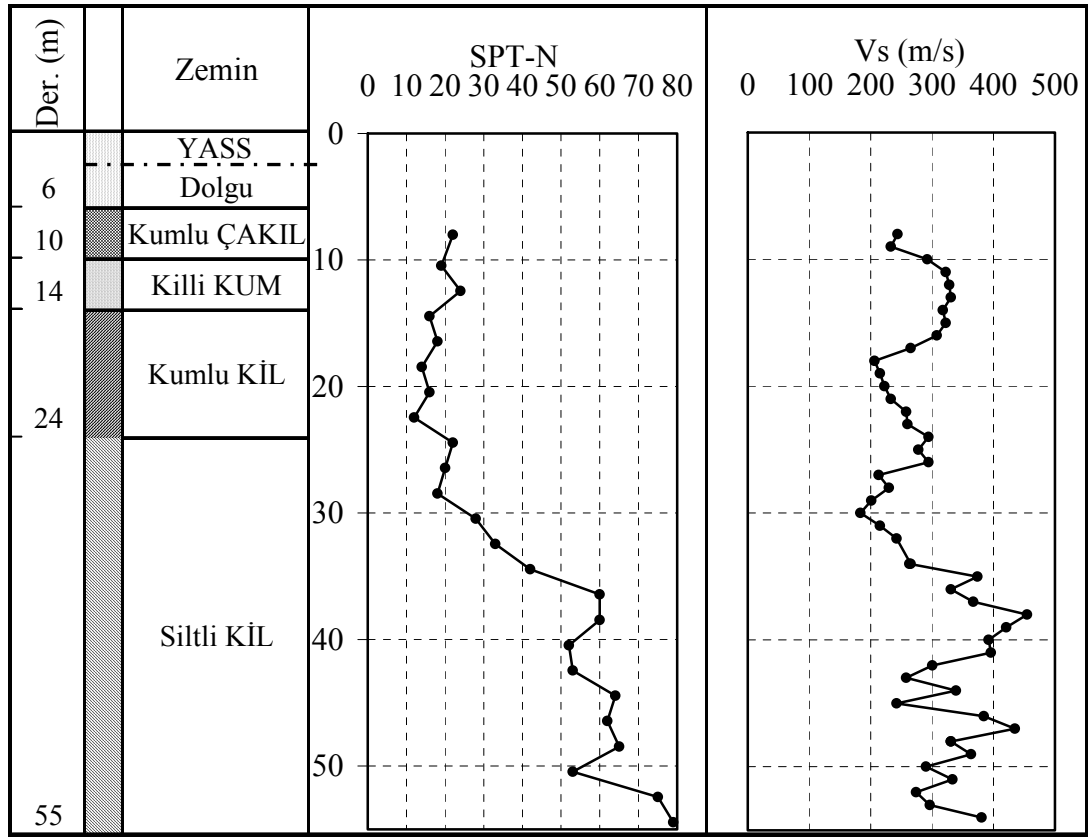
Tablo 4.3: Avcılar-K.Çekmece Sahil Yolu - B3 Kuyusuna Ait Veritabanı

Derinlik (m)	SPT-N	Vs (m/s)	σ_v' (kN/m ²)	Formasyon
8	22	244	68	Alüvyon
10	19	283	85	Alüvyon
12	24	328	102	Alüvyon
14	16	317	119	Alüvyon
16	18	308	136	Alüvyon
18	14	206	153	Alüvyon
20	16	222	170	Alüvyon
22	12	259	187	Alüvyon
24	22	294	204	Alüvyon
26	20	262	221	Güngören
28	18	230	238	Güngören
30	28	183	255	Güngören
32	33	242	272	Güngören
34	42	263	289	Güngören
36	60	357	306	Güngören
38	60	438	323	Güngören
40	52	392	340	Güngören
42	53	301	357	Güngören
44	64	339	374	Güngören
46	62	385	391	Güngören
48	65	331	408	Güngören
50	53	364	425	Güngören
52	75	333	442	Güngören
54	80	381	459	Güngören

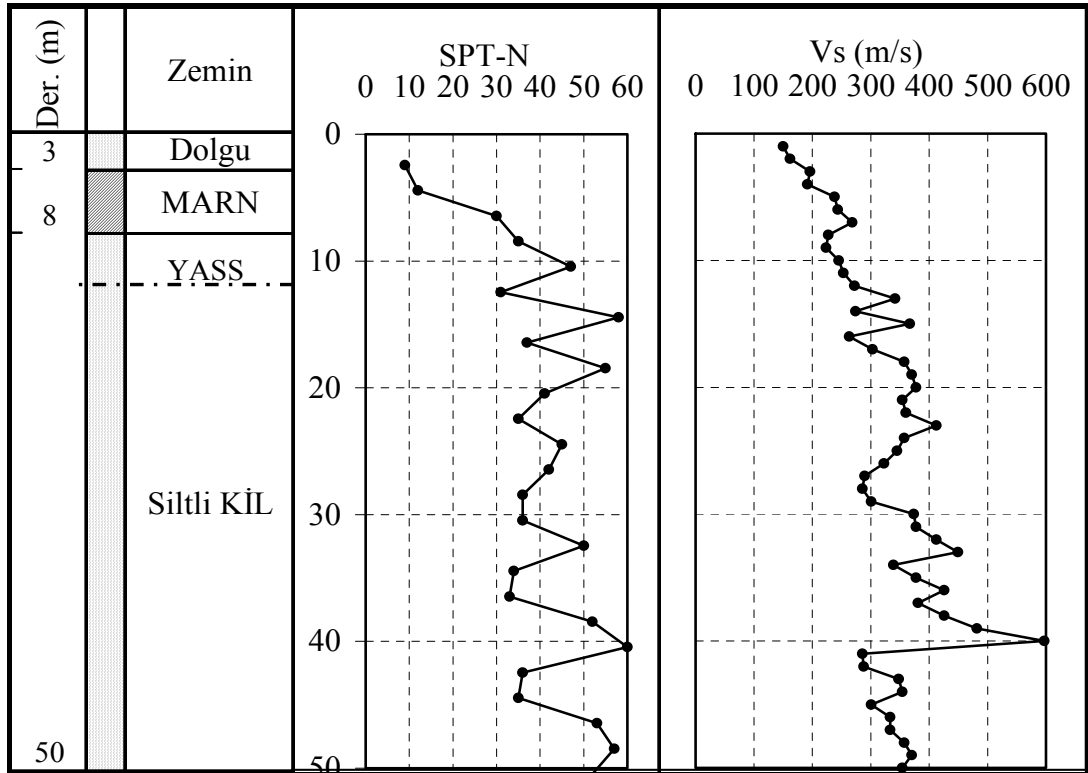
Tablo 4.4: Fatih-Şehremini - B18 Kuyusuna Ait Veritabanı

Derinlik (m)	SPT-N	Vs (m/s)	σ_v' (kN/m ²)	Formasyon
2	9	179	37	Bakırköy
4	12	215	74	Bakırköy
6	30	256	111	Bakırköy
8	35	225	148	Bakırköy
10	47	249	185	Güngören
12	31	272	102	Güngören
14	58	355	119	Güngören
16	37	283	136	Güngören
18	55	364	153	Güngören
20	41	366	170	Güngören
22	35	360	187	Güngören
24	45	371	204	Güngören
26	42	323	221	Güngören
28	36	286	238	Güngören
30	36	374	255	Güngören
34	34	358	289	Güngören
36	33	404	306	Güngören
38	52	454	323	Güngören
40	60	597	340	Güngören
42	36	318	357	Güngören
44	35	328	374	Güngören
46	53	333	391	Güngören
48	57	364	408	Güngören
50	52	354	425	Güngören

Toplamda 611 veri çiftinden oluşan tüm zeminler grubuna ait veritabanındaki veri çifti sayısı formasyonlar bazında Alüvyon zeminler için 61, Bakırköy Formasyonu için 30, Çukurçeşme Formasyonu için 34, Güngören Formasyonu için 396 adet olup geriye kalan diğer formasyonlara ait veriler çok düşük olduğu için çalışmaya formasyonlar bazında dahil edilmezken zemin cinsi, derinlik, efektif düşey gerilme değişkenleri bazında çalışmaya dahil edilmiştir. Zemin cinsi kategorisinde ise kumlar için 56, killi için 499 adet veri çiftleri üzerinde çalışılmış, geriye kalan diğer zemin cinslerinin korelasyonu düşük çıktığı tespit edildiğinden çalışma kapsamı dışında tutulmuştur. Tüm zeminler grubunda 611 veri çifti olmasına rağmen refü veren SPT-N değerleri 150'ye kadar çıkabildiğinden dikkate alınmayarak veri çifti sayısı V_s ile SPT-N ilişkisi incelenirken 574'e kadar inmektedir. Oluşturulan veritabanında SPT-N değeri için en yüksek değer 79 iken, en küçük SPT-N değeri ise 1' dir. Kayma dalgası hızında ise en küçük değer 110 m/s iken, en büyük değer 5000 m/s' dir.



Şekil 4.8: Avcılar-K.Çekmece Sahil Yolu - B3 Kuyusuna Ait Sondaj Logu



Şekil 4.9: Fatih-Şehremini - B18 Kuyusuna Ait Sondaj Logu

5. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

5.1 Giriş

Belirsizlik veya riskin söz konusu olduğu her durumda, belirsizlik veya riskin ölçülebilir ve anlamlı hale getirilmesi istatistik bilimi ile sağlanmaktadır. Deterministik olmayan (rastgele) olaylara ilişkin araştırmalarda, bir hipotezin kabule değer olup olmadığının belirlenmesi ve araştırma sonuçlarının objektif olarak yorumu ancak modern istatistik metotlarına dayanmak suretiyle mümkün görülmektedir. Gerekli bir istatistik metoduna dayanmayan araştırmalar ve bunlarla ulaşılan sonuçlar bilimsel sayılmamaktadır (Bayazıt, 1996).

İstatistik değişik anlamlarda kullanılan, bunun bir sonucu olarak da farklı tanımları olan bir kavramdır. Quetelet adında bir istatistikçi, daha 19. yy'da kavramın yüzden fazla değişik tanımını belirlemiştir. Üzerinde çalışılan konu ile ilgili rakamların doğru ve amaca yararlı bir şekilde toplanmaları, özetlenmeleri, analizleri ve bunlardan bilimsel sonuçların çıkarılmaları biçiminde yapılan işlemlere istatistik denir. Bir başka ifadeyle istatistik, bir sorunu çözmek üzere belirli yöntemlere göre, önceden hazırlanmış program çerçevesinde veri toplama, toplanan verileri düzenleyip çözümleyerek sonuçlandırma ve yorumlama bilimidir. Ayrıca istatistik kelimesi yapılan çalışmalara dayalı olarak farklı bir anlamda daha kullanılarak tesadüfi olarak bir örnekten hesaplanan, yığına ilişkin ortalama, varyans, standart sapma gibi değerlerin tahminleri de istatistik olarak tanımlanmıştır (Türel, 2006).

Mühendislik problemlerinde karşılaşılan olayların birçoğunda belirsizlikler görülmektedir. İnşaat mühendisliğinde de rastgele olaylarla karşılaşılabilir. Rastgele değişkenlerle ilgili problemlerde ilk olarak bir değişken için elde edilen verilerin istatistik yöntemleri kullanılarak kolayca değerlendirilebilir ve yorumlanabilir bir hale getirilmesi ve değişkenin başlıca istatistik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. İnşaat Mühendisliği anabilim dallarından olan geoteknik, ulaştırma, hidroloji ve yapı mühendisliği alanlarında belirsizlik etkilerinin önemli olduğu problemlerde istatistik biliminden faydalanılması gerekmektedir (Bayazıt,1996). Bu çalışmada da zeminlerin dinamik özelliklerini belirlemede önemli

bir parametre olan kayma dalgası hızının mevcut olmadığı veya sınırlı sayıda olduğu durumlarda, kayma dalgası hızının zeminlerin diğer parametrelerden tahmin edilebilmesinde ihtiyaç duyulan korelasyonları elde etmek için ve bu korelasyonların bilimsel geçerliliğinin olması bakımından istatistik bilimine ve dolayısıyla istatistiksel analizlere ve analiz yazılım programlarına ihtiyaç duyulmuştur.

5.2 Verilerin Analizinde Kullanılan Yazılımlar

Günümüzde bilgisayar birçok çalışma alanında olduğu gibi özellikle araştırma sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi aşamasında vazgeçilmez bir araçtır. Bu amaçla birçok istatistik paket program geliştirilmiştir. Bunlar içerisinde SPSS, SAS, MINITAB, SYSTAT gibi istatistik paket programları en fazla kullanılanlardan birkaçıdır. Bu çalışmada kayma dalgası hızı V_s ile SPT-N arasındaki korelasyonların incelenmesi için gerekli istatistiksel çalışmalar yapılarak sonuçların güvenilirliğinin test edilmesi amaçlanmıştır. Bunun için SPSS ve MATLAB yazılım programlarından faydalanılarak en uygun ilişkiler araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle verilerin istatistiksel analizi yapılmıştır.

İstanbul’da açılan sondaj kuyularından 39 tanesinde yapılan PS Logging çalışmaları neticesinde elde edilen 611 adet veri çiftinin istatistiksel incelemesi yapılmıştır. Bu verilerden öncelikle aykırı değerlerin ayıklanması sağlanmıştır. Bu aykırı değerler ayıklanırken ilk aşamada SPSS programından faydalanılmıştır. Ancak aykırı değerlere ait bu ayırma işlemi yalnız aynı türden değişkenlerin kendi içerisinde yapılabildiğinden, bir veri çiftinde yani kartezyen düzlemdeki saçılımlarda aynı işlemi yapmak mümkün olmamaktadır.

SPT-N sayısı, derinlik ve efektif düşey gerilme bağımsız değişkenler, kayma dalgası hızı ise bağımlı değişken olmak üzere toplam 4 değişken serisi üzerinde çalışılmıştır.

Birinci aşamadan sonra kalan verilerin arasındaki ilişkinin anlamlı olup olmadığı, anlamlıysa bu verilerden ne tür bir eğri geçirileceği hususunda yine SPSS’ de eğri tahmin analizi yapılarak, hangi fonksiyon tipinin daha yüksek korelasyona sahip olabileceği araştırılmıştır. Yapılan bu araştırma neticesinde tüm bağımsız değişkenler cinsinden elde edilen fonksiyon tipi tüm zeminler grubunun tamamında, zemin sınıfları ve formasyon gruplarının ise genelinde $V_s=a.x^b$ şeklinde olduğundan üslü biçimdeki bir fonksiyon türü üzerinde çalışılmıştır. Zira geçmiş yıllarda benzer

konuda yapılmış olan çalışmalarda da bu üslû biçimdeki fonksiyona yönelik bağıntılar geliştirilmiştir.

Tüm zeminler grubu, zemin sınıfları ve formasyon grupları olmak üzere 3 ana grupta incelenen veri çiftlerinin MATLAB programında üslû biçimdeki fonksiyona ait grafikleri çizdirilerek bu grafik üzerinde aykırı çift olabileceğine inanılan veri çiftleri ayıklanmıştır. Bu ayıklama işleme yapılırken elde edilecek bağıntıların korelasyon katsayılarının yüksek olmasına ve anlamlılık değerlerine dikkat edilmiştir. Bu çalışmalar yapılırken kullanılan istatistik terimlerin anlamları aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Örnek (n) : Toplumu temsil edecek nitelik ve sayıdaki birimden oluşan, araştırılan özellikleri taşıyan ve gözleme alınan gruba örnek adı verilir, n ile gösterilir.

Ortalama ($\bar{x}$) : Tüm örneklerin değer toplamalarının toplam örnek sayısına bölümüdür ve $\bar{x}$ ile gösterilir.

Varyans: Rastgele değişkenin merkez değerinin çevresindeki yayılımının büyüklüğünü ifade eden istatistik moment tipi parametredir. σ^2 ile gösterilir.

Standart Sapma: Varyansın kareköküdür. σ ile gösterilir.

Standart Hata: Regresyon eğrisinin etrafında gözlenen değerlerin dağılımının ya da yayılımının ölçüsüdür. S_{xy} ile gösterilir.

t değeri: $df=n-2$ serbestlik derecesi (df) için belli bir risk derecesine göre t Dağılım Tablolarından belirlenen t değeridir.

% 95 güven seviyesinde seçilen güven aralığında t_{α} 'nın değeri bu çalışma için t Dağılım Tablolarından 1.960 olarak okunmaktadır.

5.2.1 SPSS ile Analiz

Bilimsel araştırma sürecinde, çeşitli yöntemler ile toplanan verilerin analiz edilmesi, araştırmacılar için önemli bir aşamadır. Diğer alanlarda olduğu gibi istatistik alanında da gün geçtikçe yeni yazılımların geliştirilmesi, araştırmacılara veri analizi sürecinde zaman kazandırması, sonuçların belirli bir düzen içerisinde alınması ve en önemlisi hesaplamalardan kaynaklanan hata payının ortadan kaldırılması gibi birçok yönden yararlar sağlamaktadır.

Veri analizine yönelik çok sayıda paket program olup yoğun olarak kullanılan programlar MINITAB, SAS, S-Plus, LINGO, LINDO, SYSTAT, STATISTICA ve SPSS programlarıdır.

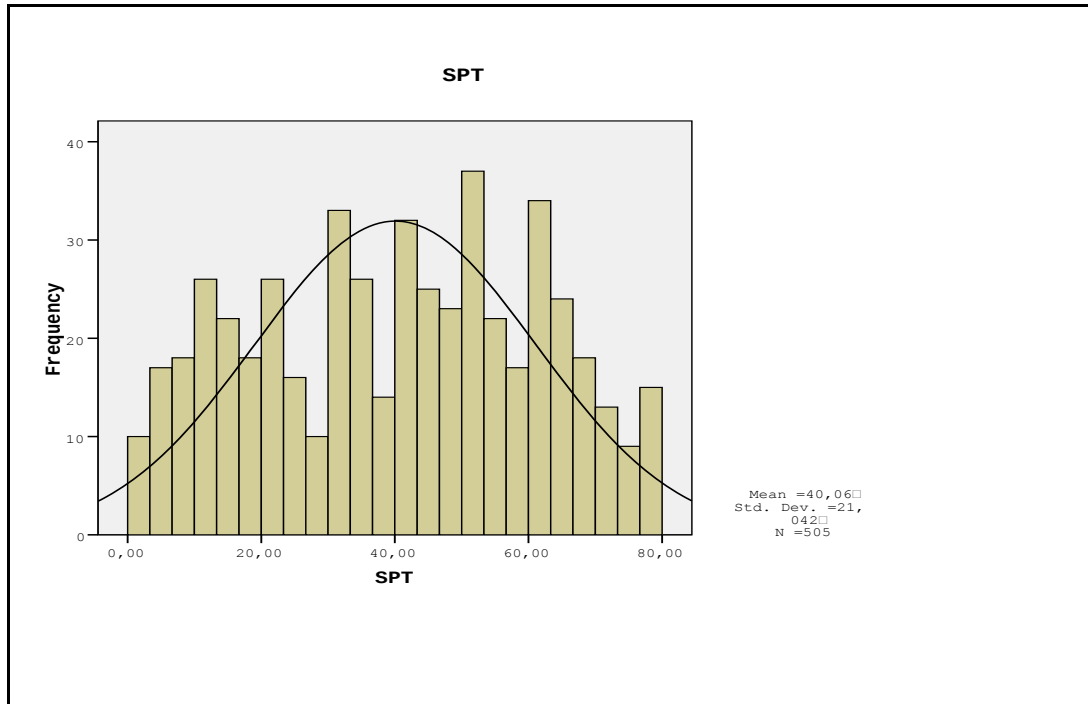
Statistical Packages for the Social Sciences (Sosyal Bilimler İçin İstatistik Paketi) kelimelerinin ilk harfleri ile ifade edilen SPSS programı, araştırmacıların istatistiksel veri analizinde tercih ettikleri programların en başında gelmektedir. Windows tabanlı bir program olan SPSS' in, diğer Office programlarına benzer menü özellikleri taşıması ve kullanışlı olması bu programa olan ilgiyi artırmıştır. SPSS programı, sadece bilimsel araştırmalarda değil sektörel bazda özellikle sağlık, gıda, bankacılık, finans, sigorta, pazar araştırmaları ve insan kaynakları gibi alanlarda kullanıcılara ve ilgili kurum ve kuruluşlara stratejik karar desteği sağlayan analitik çözümler sunmaktadır.

Araştırmalara ilişkin değişkenlerin tanımlanması, verilerin kodlanarak veri sayfasına girilmesi, girilen veriler üzerinde düzeltmeler yapılması, verilerin birleştirilmesi, çeşitli ölçütlere göre gruplanması, veriler üzerinde istatistiksel analizlerin yapılması, grafik oluşturma, çıktı (Output) özellikleri ile sonuçların düzenli tablolar halinde çıkarılması ve diğer programlara aktarılması gibi veri analizi sürecine ilişkin bir çok konuda, kullanıcıya önemli imkanlar sağlamaktadır.

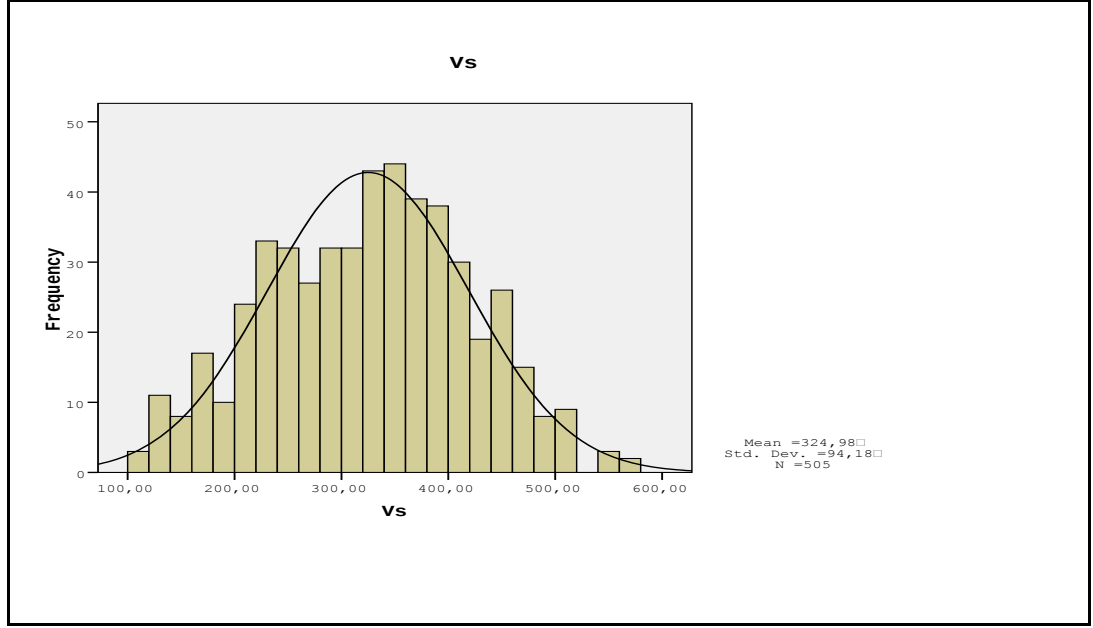
Verilerin tanımlandığı, veri girişinin ve analizinin yapıldığı, grafiklerin çizildiği, analize ilişkin kodların yazılabildiği ve veri analiz raporlarının alınabildiği “Base”, doğrusal regresyon modellerine uymayan veriler için ileri analiz tekniklerinin yer aldığı “Regression Models”, veriler arasındaki karmaşık ilişkilerin ileri analiz teknikleriyle çözümlendiği ve özellikle ileri düzeydeki deneysel ve biyoistatistik araştırmalarında sıklıkla kullanılan tekniklerin yer aldığı “Advanced Models”, ileri tabloları seçenekleri ile kaliteli sunum imkanı yaratan “Tables”, güçlü zaman serileri analizi yapmak ve çoklu eğrisel uygunluk modelleri yaratmak için kullanılabilecek “Trends”, kategorik –benzeşik- veriler arasındaki zor olan ilişkilerin tespit edildiği “Categories”, ortak analiz teknikleri sağlayan ve özellikle ürün geliştirme ve fiyatlandırma alanında kullanılabilecek “Conjoint”, kayıp verilerin niteliklerini belirleyerek uygun değerlerle boşlukları doldurmak amacıyla kullanılabilen “Missing Value Analysis” modüllerinin yanı sıra, verileri, bir çok arka plan kombinasyonu kullanarak yüksek kaliteye sahip haritalara dönüştüren “Maps” ve özellikle sosyal bilimler alanındaki araştırmalarda karmaşık örnek grubu üzerinde yapılan anket analizi için kullanılan “Complex Samples” modüllerini içermektedir. “Complex Samples” modülü ile uygulamaların karmaşık örneklem üzerinde yapıldığı araştırmalarda (anket, pazar araştırmacıları, kamuoyu araştırmacıları ve

sosyal bilimciler için) ihtiyaç duyulan istatistik araçların ileri seviyede planlaması gerçekleştirilebilir ve böylelikle hatalı veya yanlış sonuçlarla karşılaşma riski azaltılarak istatistiksel olarak daha geçerli sonuçlara ulaşılması sağlanabilir.

Bu çalışmada, SPSS programının genellikle dosya (File) ve analiz (Analyze) menüleri kullanılmıştır. İlk olarak veriler tablolara işlenerek bir veritabanı oluşumu sağlanmıştır. Bu veritabanında her bir değişken bir sütunda veri sayısı kadar satırda yer almıştır. Daha sonra veriler betimleyici istatistik işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlem, analiz menüsünden betimleyici istatistik (Descriptive Statistics) sekmesine geçilerek buradan hem frekanslar (Frequencies) hem de betimlemeler (Descriptives) menüleri kullanılarak verilerin istatistiksel değerleri hakkında bilgi edinilmiştir. Frekans menüsünde, tanımlanan değişkenlerin dağılımına ilişkin histogramların çizimi ve bu histogram üzerinden normal eğrisinin geçirilmesi sağlanmıştır. Bu işlem, frekanslar menüsünden 'charts' bölümüne geçilerek 'histograms' seçeneğinin işaretlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.1 ve 5.2' de SPT-N ve V_s değişkenlerine ait histogramlar ve değişkenlere ait verilerin dağılımı görülmektedir.



Şekil 5.1: Aykırı Değerler Atıldıktan Sonraki SPT Verilerine İlişkin Histogram



Şekil 5.2: Aykırı Değerler Atıldıktan Sonraki V_s Verilerine İlişkin Histogram

Betimlemeler menüsüyle eldeki verilerin istatistiki değerleri hesaplanabilmektedir. Betimlemeler menüsünün ‘options’ bölümünde kullanıcı eldeki verilere ait hangi istatistiki değer hesaplanacağına karar verebilir. Veri kümesinden hesaplanabilen bu değerler ortalama değer, toplam, en küçük, en büyük, varyans, standart sapma, ortalama standart hata, çarpıklık gibi değerlerdir. İstenilen veya aranan istatistiki değerler çıktı sayfasında Tablo 5.1’ deki gibi bir tablo halinde elde edilebilmektedir.

Tablo 5.1: Betimleyici İstatistikler (Descriptive Statistics)

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama	Std. Sapma
SPT	574	1,00	79,00	40,57	21,11
V_s	574	110,00	5000,00	377,99	379,79
Geçerli N	574				

Betimlemeler menüsünde ayrıca ‘save standardized values as variables’ seçeneği de işaretlenerek çıktı sayfasında standartlaştırılmış değişkenin hesaplanmış biçimde görülmesi sağlanmıştır. Bu işlemin faydası aykırı değer atılmasına yardımcı olmasıdır. Standartlaştırılmış değişkenin mutlak değerinin 3’ten büyük olan değerine karşılık gelen veriler aykırı değer olarak tanımlanmaktadır, standartlaştırılmış değişkenin hesaplanmasına ilişkin detaylar bölüm 5.2.1.1’de verilmiştir.

Regresyon menüsü ile lineer ve nonlineer regresyon analiz yapma imkanı sunulmaktadır. Regresyon menüsünde bir alt menü olan ‘curve estimation’ menüsünün kullanımıyla çıktı sayfasında bir tablo halinde sunulan 11 fonksiyon Tablo 5.2’ de verilmiştir. Elde mevcut olan veri setine en uygun fonksiyonun

seçilebileceği bu analizde belirtme katsayısını ifade eden R^2 değeri ile anlamlılık değerini ifade eden p değeri önemlidir. Bu değerlerin nasıl hesaplandığına dair detaylar bölüm 5.2.1.2’ de verilmiştir. Yine regresyon menüsü altında bulunan ‘nonlinear’ başlıklı menüde kullanıcıya çoklu regresyon yapma imkanı da sunulmaktadır. Bu çalışmada kayma dalgası hızının değişiminde paralellik gösteren SPT-N darbe sayısı ile efektif düşey gerilme arasında çoklu regresyon analizi yapılarak bir takım bağıntılar elde edilebilmiştir. ‘Nonlinear regression’ penceresinde bağımlı değişken, parametreler ve model tanımlanmasına yönelik boşluklar ilgili değişkenler yerleştirilerek ve modeli tanımlanarak doldurulur. Bu çalışmada çoklu regresyon modeli olarak $V_s = b_1 * N^{b_2} * \sigma_v^{b_3}$ eşitliği tanımlanmış olup çıktı olarak bu modele ilişkin katsayılar elde edilmiştir.

Nonparametrik tests menüsü ile ki-kare (chi-square), K-S (Kolmogorov-Smirnov) gibi testler yapılabilmektedir. Eldeki verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin kontrolü K-S testiyle yapılır. Çünkü regresyon analizi yapılabilmesi için verilerin normal dağılımda olması gerekir. K-S testiyle verilerin normal dağılım gösterip göstermediğinin yanı sıra, poisson, uniform veya eksponansiyel dağılım gösterip göstermediği de incelenebilir. K-S testinin değerlendirilmesi ile ilgili detaylar, bölüm 5.2.1.3’te verilmiştir.

5.2.1.1 Aykırı Değerlerin Ayıklanması

Kendisinden populasyon veya örnek ortalaması çıkarıldıktan sonra populasyon veya örnek standart sapmasına bölünerek standartlaşmış bir forma indirgenmiş bu değişken, standartlaştırılmış değişken olarak anılmaktadır. Analizle elde edilen standartlaştırılmış değişkenin mutlak değerinin 3’ten büyük değerlerine karşı gelen veriler aykırı değerler olarak toplum değerlerinden ayrılmıştır (<http://www.math.ou.edu/~mcknight/4753/spss/SPSS7.pdf>).

$$\text{Standartlaştırılmış değişken} = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} \quad (5.1)$$

(5.1) eşitliğinde verilen x, değişkenin herhangi bir değerini, $\bar{x}$ değişkenlerin ortalamasını, σ ise standart sapmayı göstermektedir. Ancak bu işlem yalnız tek değişkenler için yapılabilmektedir. Çünkü veri çiftlerinin atılabildiği bir yöntem yoktur. Her ne kadar karekök veya logaritmik eksenler deneyerek küçültme yoluna gidilse de bunların sağlıklı sonuç vermediği tespit edilmiştir

(<http://cc.uoregon.edu/cnews/spring2000/outliers.html>). Kartezyen düzlemde bir saçılım gösteren veri setinde saçılıma uzak kalan veriler aykırı değer olarak nitelendirilse de bunları ancak kendi içerisinde yani x değişkenine ait verileri kendi arasında, y değişkenine ait verileri de kendi arasında inceleyerek aykırı değerler veri setinden çıkarılabilirler. Bu çalışmada da değişkenler, SPT-N, derinlik, efektif düşey gerilme ve kayma dalgası hızı olduğundan, her bir değişkene ait aykırı değerler (5.1) denkleminde göre SPSS programıyla belirlenerek veri setinden ayrılmışlardır. Bu aykırı değerler veri setinden atıldıkça regresyon analizi yapılarak elde edilen fonksiyonların korelasyon katsayılarının arttığı gözlenmiştir.

5.2.1.2 F Testiyle Anlamlılık Kontrolü

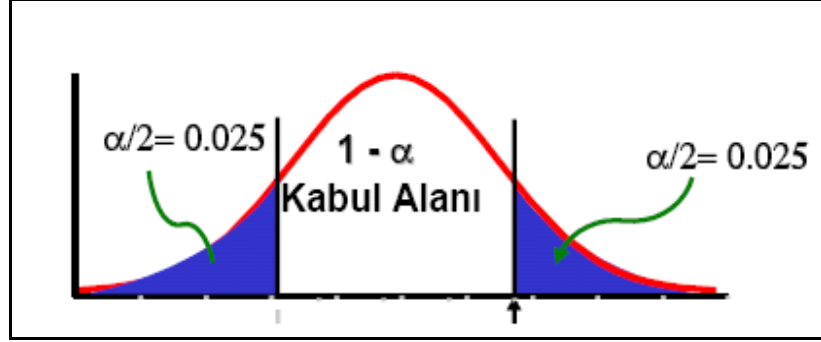
Verileri elde ettikten sonra, elde edilen veriler bir popülasyon olarak nitelendirilecek olursa, bu popülasyon hakkında ileri sunulan hipotezin kabul edilip edilmeyeceğini belirlemek için sistematik bir yol izlenir. Bu yol üç aşamadan oluşur;

Birinci aşama, sıfır hipotezi (H_0) ile alternatif hipotezin (H_1) belirlenmesi aşamasıdır. Sıfır hipotezine göre bir popülasyonun parametresi hakkında bir varsayım ileri sürülür. Genellikle bu varsayımlarda popülasyon parametresinin belli bir değeri olduğu varsayılır. Sıfır hipotezi " H_0 " sembolüyle gösterilir. Sıfır hipotezinin aksine, örneklemeye ait veriler sıfır hipotezinin yanlış olduğuna ait deliller sunduğu durumlarda kabul edilen hipoteze alternatif hipotez denir. Alternatif hipotez " H_1 " sembolüyle gösterilir.

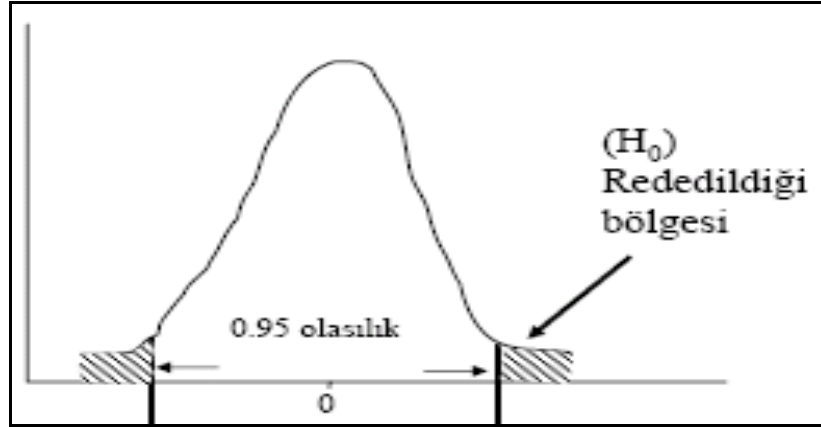
İkinci aşama, önem veya risk derecesi olarak da tanımlanan α 'nın belirlenmesi aşamasıdır. Aynı zamanda sıfır hipotezinin reddedilme olasılığı olarak da düşünülebilir. Bu α değeri araştırmalarda genelde 0.05 veya 0.01 yani %5 veya %1 olarak kullanılmaktadır. Bu değer SPSS ve MATLAB programlarının başlangıç değerlerinde bu değer %5 olarak seçili durumda olduğundan bu çalışmada da değiştirilmeden $\alpha = 0.05$ olarak kullanılmıştır.

Üçüncü aşama, istatistiksel test metodu ile anlamlılık düzeyinin belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada, sıfır hipotezinin reddedilip edilmeyeceğinin belirlenmesinde kullanılan test değeri önemlidir. İstatistik testlerinden olan t, F veya Ki-Kare testleri bu işlem için seçilebilir. Bu çalışmada kullanılan SPSS programında, bu istatistik test yöntemlerinden F (Fisher) Testi seçilerek H_0 hipotezinin reddedilip edilmeyeceği belirlenmiştir. Böylece, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'teki gibi alınan risk

derecesi doğrultusunda sıfır hipotezinin reddinin veya kabulüne karar verilir (<http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/regresyon.pdf>).



Şekil 5.3: H_0 Hipotezinin Kabul Bölgesinin Grafiks gösterimi (<http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/hipotez%20testi.pdf>)



Şekil 5.4: H_0 Hipotezinin Red Bölgesinin Grafiks gösterimi (<http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/regresyon.pdf>)

Bu çalışmada H_0 sıfır hipotezi, eldeki verilerin birbirinden bağımsız olduğunu kabul etmektedir. Çalışmada kullanılan veriler, bağımlı değişken (y) ve bağımsız değişken (x) olarak ikiye ayrılıp, bu iki değişkenin arasında bir ilişki olup olmadığı araştırıldığında, H_0 hipotezine göre bu değişkenlerin arasındaki β parametresinin sıfır olduğu yani değişkenler arasında bir ilişki olmadığı kabul edilir.

$y = \beta \cdot x$ eşitliğiyle gösterilecek olursa H_0 hipotezi $\beta = 0$ olduğunu, H_1 hipotezi ise $\beta \neq 0$ olduğunu savunmaktadır. Bu işlem SPSS' te bir ara işlem olarak geçtiğinden, kullanıcıya ancak sonuç kısmı, yani hipotezin kabulünü veya reddini simgeleyen anlamlılık düzeyi şeklinde sunulmaktadır. SPSS' te sunulan anlamlılık düzeyinin risk değeri olan 0.05'ten küçük olması β parametresinin anlamlı olduğu (β parametresinin 0'dan farklı olduğu) yani H_0 hipotezinin reddedileceği, H_1 hipotezinin ise kabul edileceği anlamına gelmektedir. Bu çalışmada Tablo 5.3' teki SPSS tablosundan da görüleceği üzere F testi kullanılarak bağımlı değişken ile bağımsız değişkenin

arasında bir ilişki olup olmadığı araştırılarak, anlamlılık düzeyinin, %5’lik risk değerinden düşük olduğundan değişkenlerin birbiriyle ilişkili olması durumu anlamlı olarak kabul edilmiştir. Tablo 5.2’ deki gibi SPSS programında 11 tane eğri modeli tanımlanarak, her modele göre F testi uygulanarak anlamlılık düzeyi tespit edilebilir (http://ozgur.beykent.edu.tr/~lokman/kvt_w.10.ppt, <http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/regresyon.pdf>, <http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/hipotez%20testi.pdf>).

Tablo 5.2: SPSS Programında Eğri Tahmini Yapılan Fonksiyonların Açılımı

	Eğri Modeli	Denklem
1	Lineer	$y = b_0 + (b_1 \cdot x)$
2	Logaritmik	$y = b_0 + (b_1 \cdot \ln(x))$
3	Ters (Inverse)	$y = b_0 + (\frac{b_1}{x})$
4	Kuadratik	$y = b_0 + (b_1 \cdot x) + (b_2 \cdot x^2)$
5	Kübik	$y = b_0 + (b_1 \cdot x) + (b_2 \cdot x^2) + (b_3 \cdot x^3)$
6	Üslü (Power)	$y = b_0 \cdot x^{b_1}$
7	Bileşik (Compound)	$y = b_0 \cdot (b_1^x)$
8	S-Curve	$y = e^{(b_0 + \frac{b_1}{x})}$
9	Lojistik(Logistic)	$y = \frac{1}{(\frac{1}{u} + (b_0 \cdot b_1^x))}$
10	Büyüme (Growth)	$y = e^{(b_0 + (b_1 \cdot x))}$
11	Eksponansiyel	$y = b_0 \cdot (e^{(b_1 \cdot x)})$

Tablo 5.3’ teki F değeri her bir model için en küçük kareler yöntemine göre hesaplanmaktadır. F değerinin bulunuşu, basit doğrusal regresyona yani lineer modele göre tarif edilecek olursa; regresyon analizinin en basit şekli iki değişken arasındaki basit doğrusal regresyondur. Burada x ile y arasındaki ilişkinin

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \quad (5.2)$$

şeklinde olduğu kabul edilmektedir. X değişkeninin verilen bir x_0 değeri için Y’ nin beklenen değeri:

$$E[Y|X = x_0] = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_0 \quad (5.3)$$

olup ε_i , beklenen değeri sıfır olan kalıntı terimidir. Buna göre Y' nin X' e göre regresyon denklemi:

$$y = b_0 + b_1 \cdot x \quad (5.4)$$

şeklinde yazılabilir. b_0 ve b_1 , β_0 ve β_1 regresyon katsayılarının eldeki örnekten hesaplanan değerleridir. $X=x_i$ için Y değişkeninin y_i en iyi tahmini (5.4) denkleminde hesaplanır (Bayazıt, 1996).

$$\hat{y}_i = b_0 + b_1 \cdot x_i \quad (5.5)$$

Y'nin X'e göre regresyon doğrusunun (5.4) denklemindeki b_0 ve b_1 regresyon katsayıları gözlenen y_i değerleriyle (5.5) denklemiyle tahmin edilecek $\hat{y}_i$ değerlerinin $e_i = y_i - \hat{y}_i$ farklarının karelerinin toplamını en küçük yapacak şekilde hesaplanır (Bayazıt, 1996).

SST : Ortalamadan Ayrılışların Karelerinin Toplamı

SSR : Regresyona Dayalı Kareler Toplamı

SSE : Hataya Dayalı Kareler Toplamı

MST : Gruplar Arası Varyans

MSE : Gruplar İçindeki Varyansların Toplamı olmak üzere;

$$F = \frac{MST}{MSE} \quad (5.6)$$

$$MST = \frac{SST}{k-1} \quad (5.7)$$

$$MSE = \frac{SSE}{N-k} \quad (5.8)$$

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} \quad (5.9)$$

$$SST = \sum (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.10)$$

$$SSR = \sum (\hat{y}_i - \bar{y})^2 \quad (5.11)$$

$$SSE = \sum (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5.12)$$

$$SST = SSR + SSE \quad (5.13)$$

Eğer $F > F_{\alpha}$ ise H_0 hipotezi reddedilir. F_{α} değeri İstatistik biliminde önemli çalışmalar yapmış olan Fisher'e ait olan Fisher Tablosundan okunabilir. Eğer H_0 hipotezi reddediliyorsa demek ki $\beta \neq 0$ dır. Dolayısıyla β anlamlıdır. Tablo 5.3' teki anlamlılık $p < 0.05$ olarak zaten görülmektedir.

Tablo 5.3: Model Sonuçları ve Parametre Tahminleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R ²	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Linear	,414	391,670	1	555	,000	205,521	3,147		
Logaritmik	,406	379,877	1	555	,000	45,688	82,645		
Ters	,178	120,102	1	555	,000	356,867	-476,724		
Kuadratik	,424	204,022	2	554	,000	177,889	5,124	-,025	
Kübik	,430	139,252	3	553	,000	148,937	8,987	-,142	,001
Bileşik	,465	481,570	1	555	,000	204,192	1,011		
Üslü	,511	580,508	1	555	,000	111,485	,300		
S	,266	201,135	1	555	,000	5,850	-1,885		
Büyüme	,465	481,570	1	555	,000	5,319	,011		
Üstel	,465	481,570	1	555	,000	204,192	,011		
Lojistik	,465	481,570	1	555	,000	,005	,989		

Bu durumda eğri modeli değiştikçe regresyona dayalı değerler de değişeceğinden, b_0 , b_1 gibi katsayıların yanı sıra F değeri de değişecektir. SPSS programında eğri tahmini tablosunda bu değerlerin tamamı ve anlamlılık değeri olan p de görülebilmektedir. Böylece verilerin hangi eğri modelinde anlamlı olup olmadıkları rahatlıkla tespit edilebilir. Tablo 5.3' teki b_0 , b_1 , b_2 , b_3 katsayıları, Tablo 5.2'deki fonksiyonların katsayılarına karşılık olarak hesaplanan katsayı değerleridir. Tablo 5.3' teki R^2 değeri belirtme katsayısı olarak değişkenlerin fonksiyon bazında birbirleriyle olan korelasyonlarının değerini göstermektedir. Tablo 5.3' te görülen sd1 ile sd2 ise bağımlı ve bağımsız değişkenlere karşılık gelen serbestlik dereceleridir. Bağımlı değişkenin serbestlik derecesi sd1 ile, bağımsız değişkenin serbestlik derecesi sd2 ile gösterilmiştir. Böylelikle aranan regresyona ilişkin parametre tahminini gösteren katsayılar Tablo 5.3' ten görülebilmektedir.

5.2.1.3 K-S Testiyle Normallik Kontrolü

Bu çalışmada eldeki verilere uygun regresyon analizi uygulanırken bu regresyon analizinde en küçük kareler yönteminin uygulanabilmesi için bağımlı değişkene ait verilerin normal dağılım göstermesi gerekmektedir. Aksi takdirde en küçük kareler yöntemi uygulanamaz. Bağımlı değişkene ait verilerin normal dağılıp dağılmadığı ise SPSS programından K-S (Kolmogorov-Smirnov) testi uygulanarak kontrol edilebilir.

K-S testinde SPSS programı H_0 sıfır hipotezi olarak verilerin normal dağılımdan gelmediğini savunmaktadır. Bu durumda anlamlılık değeri p , 0,05'ten küçük olursa H_0 sıfır hipotezinin kabul edileceği böylece dağılımın normal olmadığı, anlamlılık değeri p 'nin 0,05'ten büyük olması durumunda H_0 hipotezinin reddedileceği yani dağılımın normal dağılım olduğu sonucuna varılmaktadır. Normal dağılıma ait sonuçlar Tablo 5.4' ten görülebilir.

Tablo 5.4: Kolmogorov-Smirnov Testi ile Anlamlılık Kontrolü

		Vs
N		557
Normal	Ortalama	333,1544
Parametreler(a,b)	Standart Sapma	103,43246
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,033
	Pozitif	,033
	Negatif	-,018
Kolmogorov-Smirnov Z		,780
Anlamlılık		,577

5.2.2 MATLAB İle Analiz

MATLAB, teknik hesaplamalar için geliştirilmiş yüksek performanslı bir programdır. Hesaplama, görselleştirme ve programlamayı, kolay kullanımlı bir ortamda bir araya getirir. Fen bilimleri, sosyal bilimler ve mühendislik bilimleri alanlarında kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır. Problemler ve çözümleri tanıdık matematiksel gösterimlerle ifade edilir. En son ve en etkin algoritmalar, büyük verileri işleme kapasitesi, güçlü programlama araçları MATLAB' ın en önemli avantajlarıdır. MATLAB' ın en temel uygulama alanları: teknik hesaplamalar, kontrol sistemlerinin model tabanlı tasarımı, sinyal işleme ve iletişim, görüntü işleme, test ve ölçüm, finansal modelleme ve analizdir (Kocakoç, 2007).

İstatistik, örnek verilerinden hareketle ilgilenilen ana kütle hakkında çıkarımlar yapmada kullanılan bir bilim olduğundan, hemen hemen tüm bilimsel araştırmalarda özelliklerinin incelenmesi istenilen bir veri seti bulunur. Veriler toplandıktan sonra tablolar veya grafikler ile düzenlenerek araştırmacının toplanan bilgileri anlamasına yardımcı olacak bir hale getirilebilir. MATLAB’ te ana kütle ile ilgili istatistiksel metotlardan olan olasılık teorisi, örneklem teorisi, hipotez testleri ve güven aralıkları, regresyon gibi metotlar uygulanabilmektedir. MATLAB, istatistiksel veri analizi için kullanılacak en kolay ve kullanışlı paket program olmasa da, güçlü grafiksel altyapısı ve programlama yetenekleri sayesinde SPSS, Minitab, vb. istatistiksel paket programların yapamadığı pek çok hesaplama ve görselleştirme özelliğini kullanıcıya sunar. Kullanıcının mevcut istatistiksel prosedürleri kendi amacı doğrultusunda kullanabilmesi için esnek bir programlama ortamı oluşturur.

MATLAB’te çalışma alanı, hafızada bulunan değişkenlerin gösterildiği bölümdür. Yeni değişken oluşturma, mevcut değişkenleri inceleme, düzenleme, silme, bir veri dosyası kaydetme, kayıtlı veri dosyalarını hafızaya yükleme, kolayca grafiklerini çizme gibi işlemler buradan yapılabilir. MATLAB, komutlar ile çalıştığından bir de komut penceresi bulunmaktadır. İstenen komut girildikten sonra ‘enter’ tuşuna basılarak komutun çalışması sağlanır. Çıktılar da yine aynı komut penceresinde görüntülenir. Komut penceresindeki eski komutların üzerinde düzeltme yapılamaz. Üst ok tuşu, en son kullanılan komuttan başlayarak geçmiş komutları komut satırına getirir. Komut penceresinde kopyalama, kesme ve yapıştırma işlemleri yapılabilir. Ayrıca bir de komut geçmişi penceresi bulunmaktadır. En son girilen komuttan geriye doğru geçmiş komutları listeler. Buradan seçilen komutlar üzerine çift tıklanarak veya komut satırına sürüklenerek kolayca çalıştırılabilir.

Bu çalışmada MATLAB’ te güven aralığı çizimi özelliğinden faydalanılmıştır. SPSS’ te olmayan bu özellik, veri çiftlerinin kartezyen düzlemdeki saçılıma uzak kalan veri çiftlerinin güven aralığının içinde olup olmadığının kontrolü imkanını sunmaktadır. Veri setleri çalışma alanında bulunan ‘load data file’ menüsüyle programa dahil edilerek bir veritabanı yüklenmiştir. Dosya ismi olarak ‘matlab’ kullanılmıştır. Bu programda veritabanı, program isminin açılışında da olduğu gibi (Matrix Laboratory) matrisler yardımıyla oluşturulmaktadır. Değişkenlerin her biri bir sütun matris olarak düşünülecek olursa her bir değişken için birer matris tanımlanmıştır. Şu komutlar kullanılarak matrisler oluşturulmuştur: `spt=matlab(:,1);`

ile $V_s = \text{matlab}(:,2)$; Komutlardan da anlaşılacağı üzere ‘matlab’ dosyasının 1. sütunu SPT-N verilerinden, 2. sütunu ise V_s verilerinden oluşmaktadır. Tanımlanan bu değişkenlerin ilişkisi zaten SPSS programında incelenerek hangi eğri tipinin daha uygun olduğu tespit edilmişti. SPSS’ te belirlenen fonksiyon tipi MATLAB’ te de tanımlanarak benzer şekilde eğri çizdirilmiştir. Gerek önceki korelasyon çalışmaları olsun gerekse de SPSS’ te korelasyon katsayısının yüksek olduğu bağıntıların incelendiği çalışmalar doğrultusunda MATLAB’ te üslü (power) biçimindeki fonksiyon tanımlanarak bu fonksiyona ait eğri çizdirilmiştir. Bu eğri çizdirilirken $\text{fun} = \text{inline}('b(1)*\text{spt}.^b(2)')$, 'b', 'spt') komutu ile $\text{nlintool}(\text{spt}, V_s, \text{fun}, [0 \ 0])$ komutları kullanılmıştır. Bu işlemlerin sonunda programın sunduğu grafik Şekil 5.5’ teki gibi olup alt ve üst güven aralıklarının belirlenmesi sağlanmıştır.

Güven aralığının dışında kalan değerler atılınca korelasyon katsayısının arttığı görüldüğünden MATLAB programında güven aralığı çizgileri çizdirilerek bu çizgilerin dışında kalan değerlerin kontrollü atılması korelasyon katsayısını artırmaktadır. Bu işlem MATLAB tarafından yapılmakta olup, ara işlemler aşağıda gösterilmiştir. Güven aralığının hesaplanmasına yönelik aşağıdaki bağıntılar Bayazıt (1996)’ dan derlenmiştir.

$$y = \bar{y}_0 \pm t_{\alpha} \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(x_0 - \bar{x})^2}{SS_x}} \quad (\text{Güven Aralığı}) \quad (5.14)$$

$$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} \quad (5.15)$$

$$r = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{x_i - \bar{x}}{s_x} \cdot \frac{y_i - \bar{y}}{s_y} \quad (5.16)$$

$$s_x^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad (5.17)$$

$$s_y^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(y_i - \bar{y})^2}{n-1} \quad (5.18)$$

$$\sigma^2 = \frac{SS_y - b_1 S_{xy}}{n-2} \quad (5.19)$$

$$(e_i = y_i - \hat{y}_i) \quad (5.20)$$

$$b_1 = \frac{S_{xy}}{SS_x} = r \cdot \sqrt{\frac{SS_y}{SS_x}} \quad (5.21)$$

$$b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x} \quad (5.22)$$

(5.2) denklemindeki ε_i kalıntı terimlerinin varyansı,

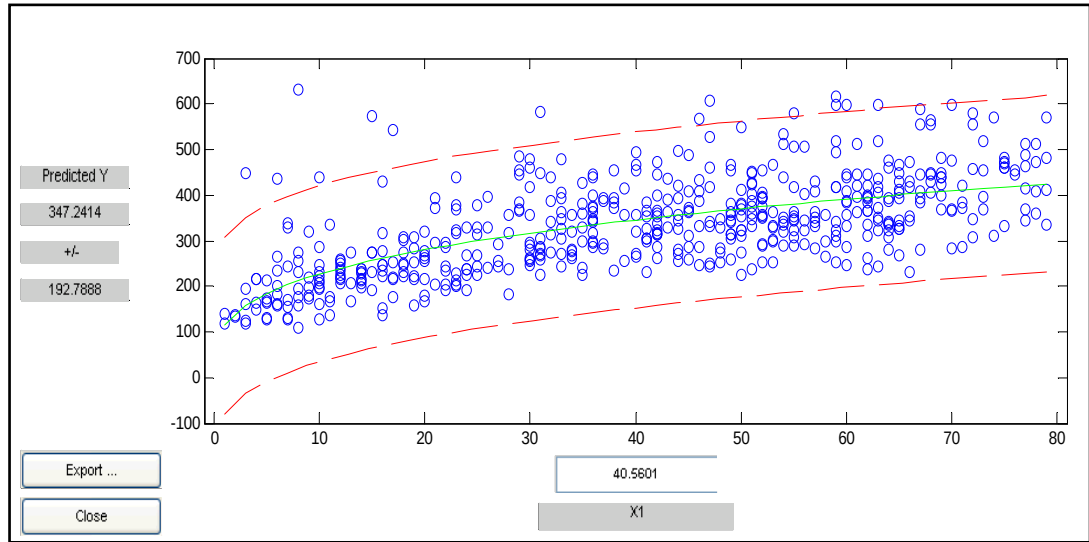
$$Var[Y|X = x_0] = \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} = \frac{SS_y - b_1 S_{xy}}{n-2} \quad (5.23)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{SS_y - b_1 S_{xy}}{n-2}} \quad (5.24)$$

$$SS_y = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \quad (5.25)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) \quad (5.26)$$

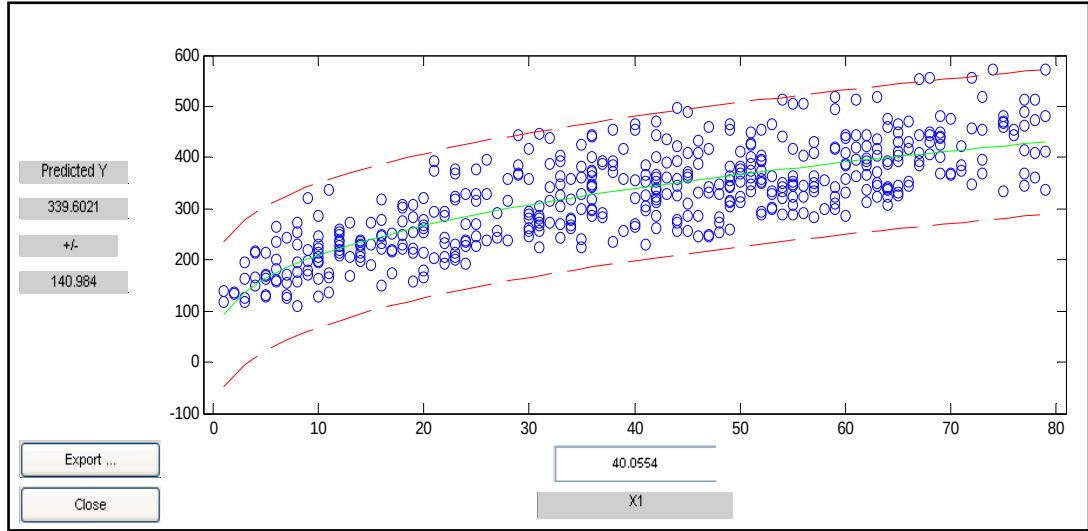
$$SS_x = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (5.27)$$



Şekil 5.5: Matlab’ te Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi ve Veri Çifti Dağılımı

Tanımlanan eğri modeline göre sınır çizgileri de değişebileceğinden ara işlemlerin bilinmesi hususu önemlidir. Bir eğri modelinde atılan veri çiftinin başka bir eğri modelinde atılmayabileceği hususuna dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada kullanılan üslû biçimdeki modele ait grafik Şekil 5.5’ te görülmektedir. Sınır çizgileri

dışında kalan veri çiftleri, korelasyon katsayılarının artıp artmadığının kontrolü yapılarak atıldığından korelasyonu yüksek regresyonlar sağlanır. Böylece yüksek belirtme katsayılı bağıntılar elde edilmiş olunur. Bu bağıntıların elde edildiği veriler yani geriye kalan örnek çiftleri Şekil 5.6’ da sınır çizgilerinin arasında görülmektedir.



Şekil 5.6: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılması ve Regresyon Analizi

5.2.3 Tüm Zemin Gruplarına Ait İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada incelenen veri seti kayma dalgası hızı, SPT-N darbe sayısı, efektif düşey gerilme, derinlik değişkenlerinden oluşmaktadır. Tüm zeminler başlığı altında yapılan analiz çalışması bu bölümde anlatılmakta tablo ve şekilleri yine bu bölümde verilmektedir. Diğer gruplamalara yönelik yapılan analiz çalışmaları Ekler Bölümünde sunulmuştur.

Veri setindeki tüm zeminlere ait kayma dalgası hızı ve bunlara karşılık gelen SPT-N darbe sayılarına ait istatistiki bilgiler Tablo 5.5’ te, bu verilerden aykırı değerlerin SPSS programı yardımıyla atılması sonunda kalan verilere ait bilgiler ise Tablo 5.6’da verilmiştir.

Tablo 5.5: Tüm Zeminler SPT-N-Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	574	1,00	79,00	40,5784	21,11127
Vs	574	110,00	5000,00	377,9965	379,79293
Geçerli N	574				

Tablo 5.6: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	557	1,00	79,00	40,5601	21,14234
Vs	557	110,00	630,00	333,1544	103,43246
Geçerli N	557				

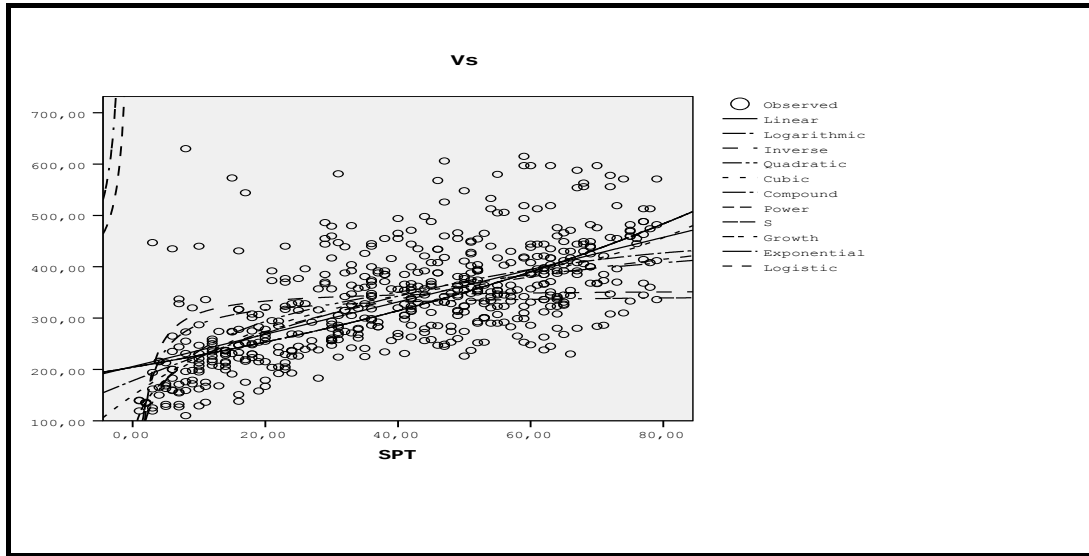
Kayma dalgası hızı ile SPT-N verileri arasında oluşabilecek en anlamlı ilişkinin tespiti Tablo 5.7’ deki R^2 ve p değerleri vasıtasıyla yapılmaktadır. Buna göre tabloda anlamlılık değeri olan p’ nin 0.05’ten küçük değerlerine karşı gelen tanımlı fonksiyonlar anlamlı olup ancak bunlardan R^2 ’si en yüksek olan daha anlamlı bir korelasyona sahiptir. SPSS yardımıyla aykırı değerlerin atılmasıyla kalan 557 veri çiftine ait değerler Tablo 5.6 ve 5.7’de sayısal olarak, Şekil 5.7’de ise grafik olarak gösterilmiştir. Üslü biçimdeki fonksiyona ait belirtme katsayısı Tablo 5.7’ den de görüleceği gibi 0.511’dir. Bu değer söz konusu tablodaki 11 fonksiyon içerisinde katsayısı en yüksek olan yani değişkenlerin arasındaki ilişkinin en çok olduğu fonksiyonu göstermektedir. Dolayısıyla bu üslü biçimdeki fonksiyon seçilerek bu tipteki fonksiyonun Matlab programında güven aralıklarının grafik olarak belirlenmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Tablo 5.7: SPT-N-Vs İlişisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	0,414	391,67	1	555	0	205,521	3,147		
Logaritmik	0,406	379,877	1	555	0	45,688	82,645		
Ters	0,178	120,102	1	555	0	356,867	-476,724		
Kuadratik	0,424	204,022	2	554	0	177,889	5,124	-0,025	
Kübik	0,43	139,252	3	553	0	148,937	8,987	-0,142	0,001
Bileşik	0,465	481,57	1	555	0	204,192	1,011		
Üslü	0,511	580,508	1	555	0	111,485	0,300		
S	0,266	201,135	1	555	0	5,85	-1,885		
Büyüme	0,465	481,57	1	555	0	5,319	0,011		
Üstel	0,465	481,57	1	555	0	204,192	0,011		
Lojistik	0,465	481,57	1	555	0	0,005	0,989		

Tablo 5.7’ deki gibi bir eğri tahmini yapılırken regresyon analizi yapılmaktadır. Regresyon analizinin yapılabilmesi için ise ön koşul bağımlı değişkene ait verilerin normal dağılmış olması gerekliliğidir. SPSS programında Tablo 5.8’ deki gibi K-S testi yapılarak normallik kontrolü yapılmış olur. Burada anlamlılık değerinin 0.05’ten büyük olduğu görülmektedir. Bu da H_0 hipotezinin red olunacağı anlamına

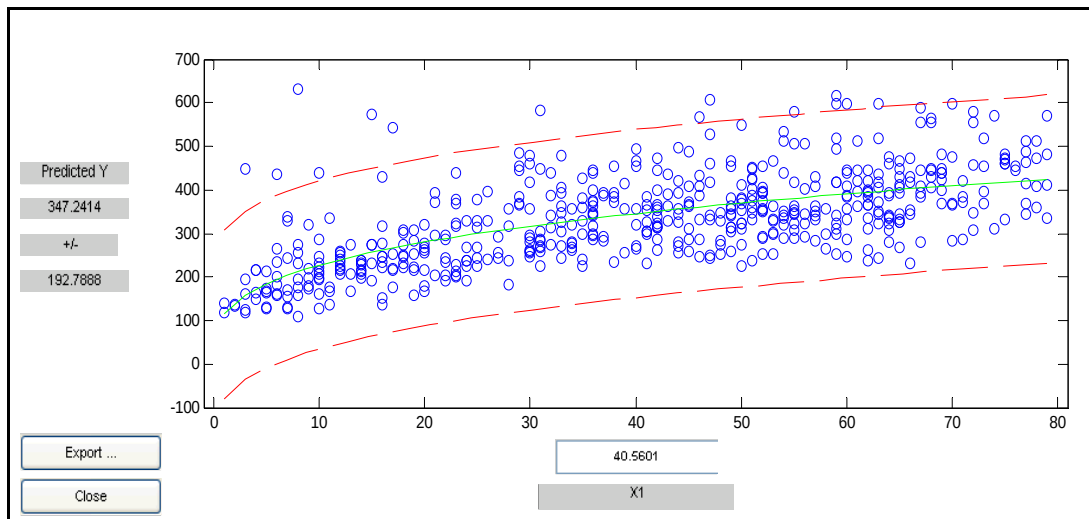
gelmektedir. Yani veriler normal bir dağılımdan gelmektedirler. Böylece regresyon analizinin yapılabileceği görülmüştür.



Şekil 5.7: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

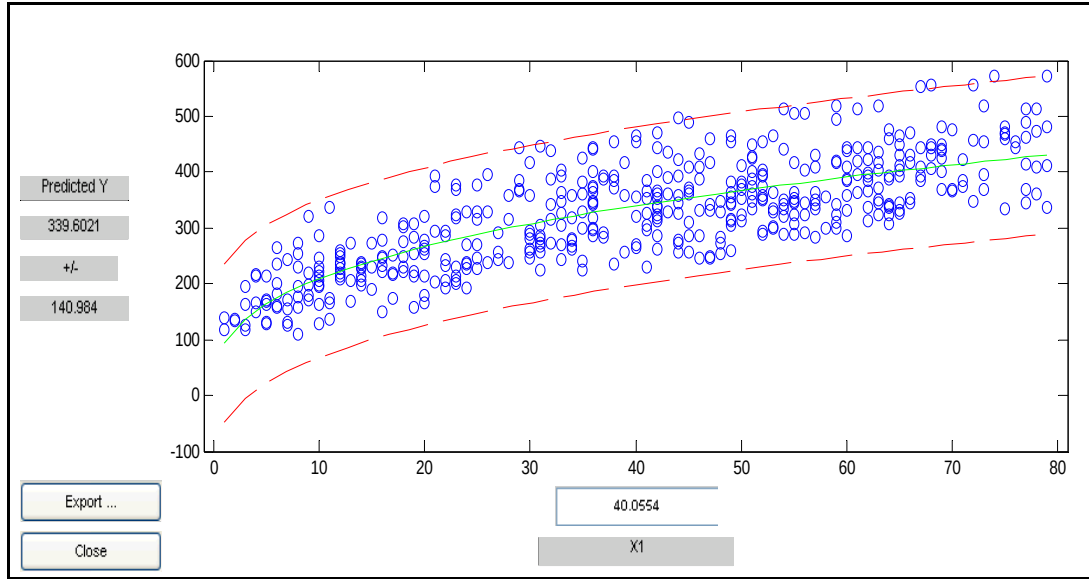
Tablo 5.8: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		557
Normal	Ortalama	333,1544
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	103,43246
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,033
	Pozitif	,033
	Negatif	-,018
Kolmogorov-Smirnov Z		,780
Anlamlılık		,577



Şekil 5.8: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi

SPSS programıyla aykırı değerlerin ayıklandıktan sonraki haliyle kalan verileri Şekil 5.8’de görüldüğü gibi bir saçılıma sahiptir. Kırmızı çizgiler güven sınırlarını göstermektedir.



Şekil 5.9: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

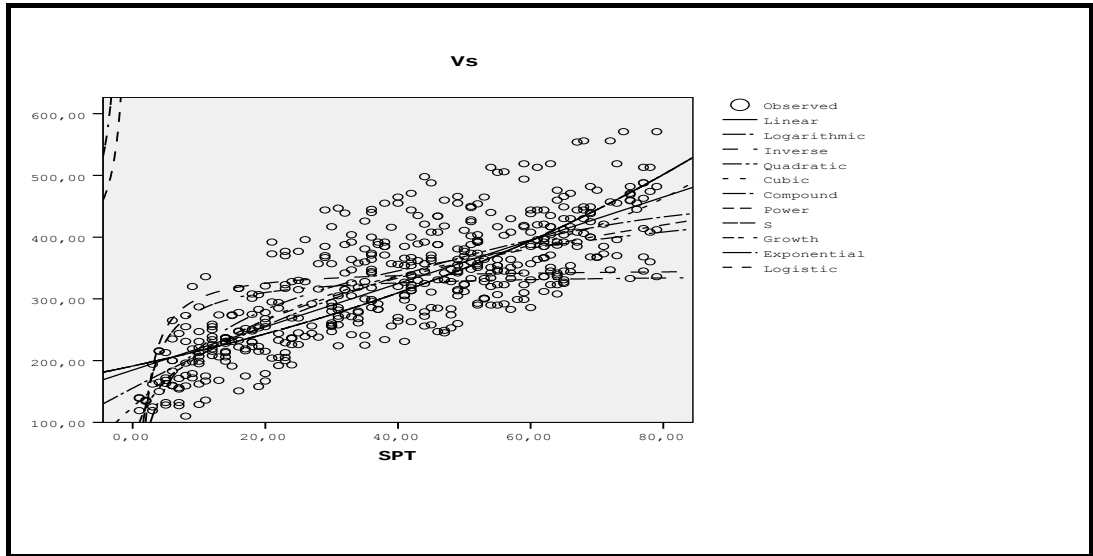
Tablo 5.9: Tüm Zeminler SPT-N-Vs İlişisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,614	799,169	1	503	,000	184,529	3,506		
Logaritmik	,595	738,895	1	503	,000	10,143	90,870		
Ters	,242	160,796	1	503	,000	349,835	-490,707		
Kuadratik	,628	423,749	2	502	,000	155,288	5,593	-,027	
Kübik	,636	292,280	3	501	,000	124,870	9,643	-,149	,001
Bileşik	,623	831,464	1	503	,000	191,249	1,012		
Üslü	,678	1057,343	1	503	,000	98,515	,331		
S	,330	247,415	1	503	,000	5,835	-1,953		
Büyüme	,623	831,464	1	503	,000	5,254	,012		
Üstel	,623	831,464	1	503	,000	191,249	,012		
Lojistik	,623	831,464	1	503	,000	,005	,988		

Böylece 574 SPT-N ile V_s veri çiftiyle başlayan istatistiksel analiz 505 veriyle sonlanmış olmaktadır. Kalan verilerin görüldüğü Tablo 5.10’a göre kayma dalgası hız verilerinden en büyük olanı 571 m/s, en küçük olanı ise 110.00 m/s’dir.

Tablo 5.10: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	505	1,00	79,00	40,0554	21,04231
V_s	505	110,00	571,00	324,9762	94,18021
Geçerli N	505				



Şekil 5.10: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Yukarıda tüm zeminler grubuna ait SPT-N darbe sayısı ile kayma dalgası hızı V_s arasındaki incelenirken izlenen yöntem efektif düşey gerilme ile kayma dalgası hızı arasında da aşağıdaki sıralamayla aynı şekilde yapılmıştır.

Tablo 5.11: Tüm Zeminler D.Gerilme -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

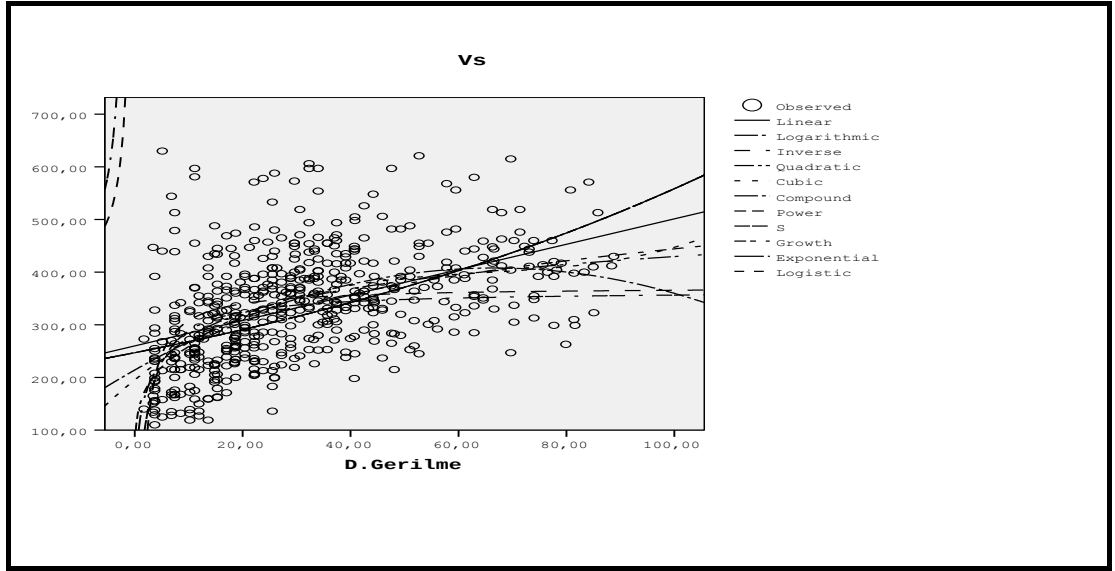
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	611	1,70	163,20	33,7030	26,25806
Vs	611	110,00	5000,00	382,5974	370,00537
Geçerli N	611				

Tablo 5.12: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistik Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	570	1,70	88,80	30,6295	19,96841
Vs	570	110,00	630,00	333,8684	102,52653
Geçerli N	570				

Tablo 5.13: D.Gerilme -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

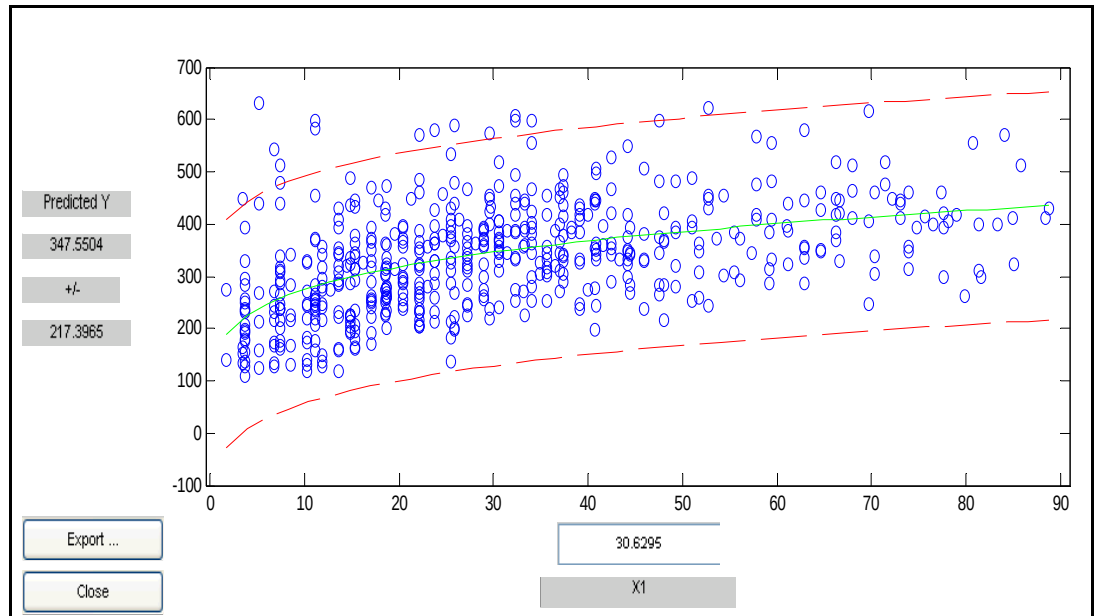
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,220	160,609	1	568	,000	260,032	2,411		
Logaritmik	,255	194,223	1	568	,000	122,249	66,744		
Ters	,169	115,772	1	568	,000	372,017	-639,683		
Kuadratik	,259	98,900	2	567	,000	214,200	5,804	-,043	
Kübik	,262	67,018	3	566	,000	195,522	8,241	-,118	,001
Bileşik	,241	180,585	1	568	,000	247,071	1,008		
Üslü	,302	245,708	1	568	,000	150,588	,235		
S	,218	158,744	1	568	,000	5,900	-2,349		
Büyüme	,241	180,585	1	568	,000	5,510	,008		
Üstel	,241	180,585	1	568	,000	247,071	,008		
Lojistik	,241	180,585	1	568	,000	,004	,992		



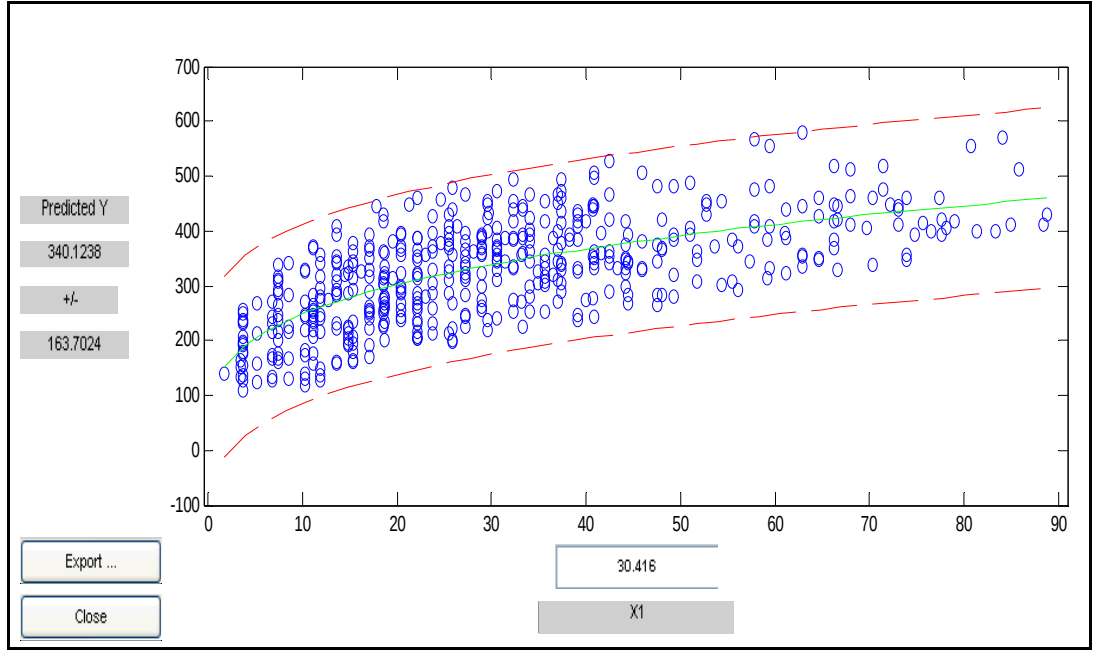
Şekil 5.11: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo 5.14: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		570
Normal	Ortalama	333,8684
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	102,52653
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,031
	Pozitif	,031
	Negatif	-,017
Kolmogorov-Smirnov Z		,731
Anlamlılık		,660



Şekil 5.12: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



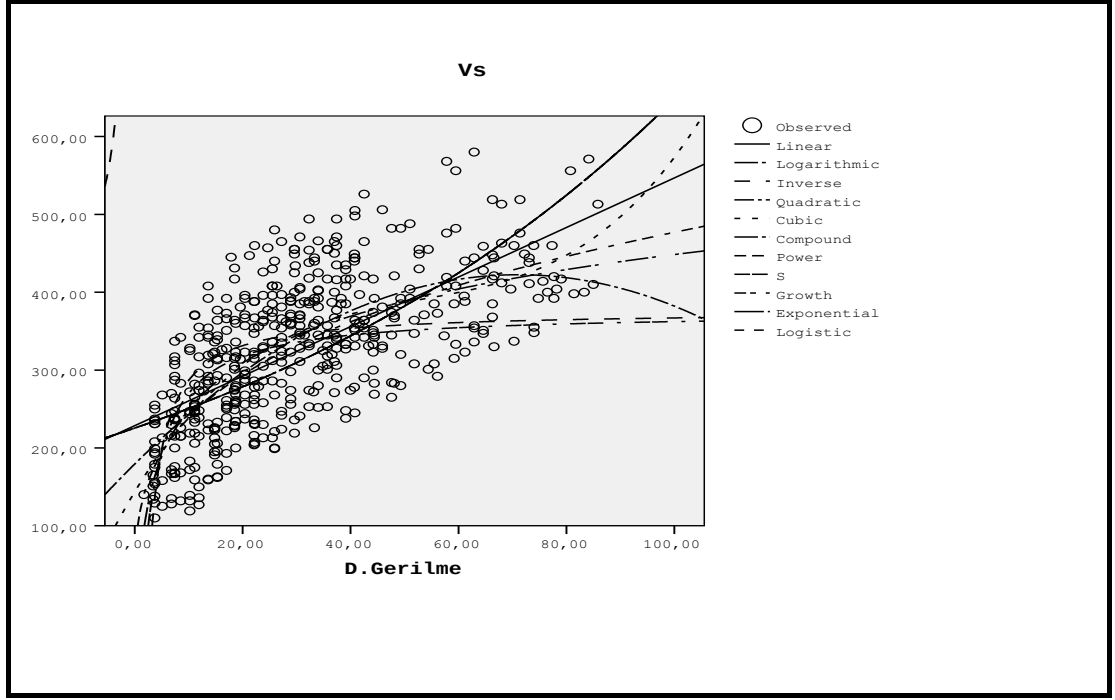
Şekil 5.13: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo 5.15: Tüm Zeminler D.Gerilme-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,426	378,862	1	510	,000	228,694	3,179		
Logaritmik	,480	471,480	1	510	,000	49,969	86,510		
Ters	,334	255,261	1	510	,000	375,835	-889,383		
Kuadratik	,475	230,365	2	509	,000	179,413	6,839	-,048	
Kübik	,488	161,635	3	508	,000	143,760	11,476	-,193	,001
Bileşik	,405	347,072	1	510	,000	225,544	1,011		
Üslü	,502	513,207	1	510	,000	119,266	,301		
S	,388	323,665	1	510	,000	5,925	-3,267		
Büyüme	,405	347,072	1	510	,000	5,419	,011		
Üstel	,405	347,072	1	510	,000	225,544	,011		
Lojistik	,405	347,072	1	510	,000	,004	,990		

Tablo 5.16: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	512	1,70	85,85	30,1887	19,00903
Vs	512	110,00	580,00	324,6738	92,57049
Geçerli N	512				



Şekil 5.14: D.Gerilme-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo 5.9’da verilen belirtme katsayısı R^2 ’nin karekökü olan R katsayısı korelasyon katsayısı olarak kabul edildiğinden, bu katsayı yukarıda tüm zeminler grubu SPT-N ile V_s arasında 0.82 olarak hesaplanmakta iken, Tablo 5.15’te bu sayı 0.71’e düşmektedir. Kayma dalgasını içeren önceki korelasyonlarda genellikle efektif düşey gerilme ve SPT-N’ in kayma dalgası hızıyla korelasyonları yüksek olduğundan bu iki değişkenle çoklu regresyonları yapılarak bağıntılar araştırılmıştır. Bu çalışmada da benzer şekilde çoklu regresyon yapıldığında aşağıdaki sıralama takip edilmiştir.

Tablo 5.17: Tüm Zeminler SPT-N- σ_v -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	611	1,00	167,00	43,5663	23,99413
D.Gerilme	611	1,70	163,20	33,7030	26,25806
Vs	611	110,00	5000,00	382,5974	370,00537
Geçerli N	611				

Tablo 5.18: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	569	1,00	107,00	41,9402	22,49828
D.Gerilme	569	1,70	88,80	30,6176	19,98396
Vs	569	110,00	630,00	333,6907	102,52881
Geçerli N	569				

Tablo 5.19: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		461
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	319,9610
	Std. Sapma	91,12425
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,045
	Pozitif	,036
	Negatif	-,045
Kolmogorov-Smirnov Z		,957
Anlamlılık		,319

Tablo 5.20: Çoklu Analiz Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	460	1,00	79,00	38,7870	20,72431
D.Gerilme	460	1,70	85,85	29,5793	19,13540
Vs	460	110,00	571,00	319,5913	90,64707
Geçerli N	460				

Tablo 5.21: Parametre Tahminleri

Parametre	Tahmin	Std. Hata	95% Güven Aralığında	
			Alt Sınır	Üst Sınır
b1	,245	,018	,210	,279
b2	,119	,016	,088	,149
b3	92,097	4,545	83,165	101,029

Yapılan çoklu regresyon analiziyle parametrelerin tahmini değerleri bulunmuştur. Çoklu regresyon yapılırken SPSS programına $V_s = b_1 * N^{b_2} * \sigma_v^{b_3}$ denklemi çözdürüldüğünden Tablo 5.21'deki b1 katsayısı sabit katsayıyı, b2 katsayısı SPT-N' in üssünü, b3 katsayısı ise efektif düşey gerilmenin üssünü temsil etmektedir.

Tablo 5.22: Tüm Zeminlerin Çoklu Regresyonunda Korelasyonun Belirlenmesi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması
Regresyon	49546456,204	3	16515485,401
Kalıntı	1208853,796	457	2645,194
Düzeltilmemiş Toplam	50755310,000	460	
Düzeltilmiş Toplam	3771553,165	459	

Ancak çoklu regresyon yukarıdaki diğer iki analizden farklı olarak Tablo 5.22' deki kalıntıların karelerinin toplamının düzeltilmiş toplamın kareleri toplamına bölümü 1'den çıkarıldığında kalan sayı belirtme katsayısını vermektedir. Elde edilen katsayının karekökü alınarak korelasyon katsayısı hesaplanmaktadır.

Tüm zeminler grubuna ilişkin veritabanında derinlik ve bunlara karşı gelen kayma dalgası hızları SPT-N ve efektif düşey gerilmede olduğu gibi aynı sıralamayla istatistiki analizi yapılarak diğer iki değişkene nazaran daha düşük korelasyona sahip bağıntı elde edilmiştir. Üslü biçimdeki fonksiyonun belirtme katsayısının 0.451 olduğu Tablo 5.27’den görülebileceği gibi tüm zeminler grubunda derinlikle kayma dalgası hızının korelasyonu 0.67 olarak hesaplanır.

Tablo 5.23: Tüm Zeminler Derinlik -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

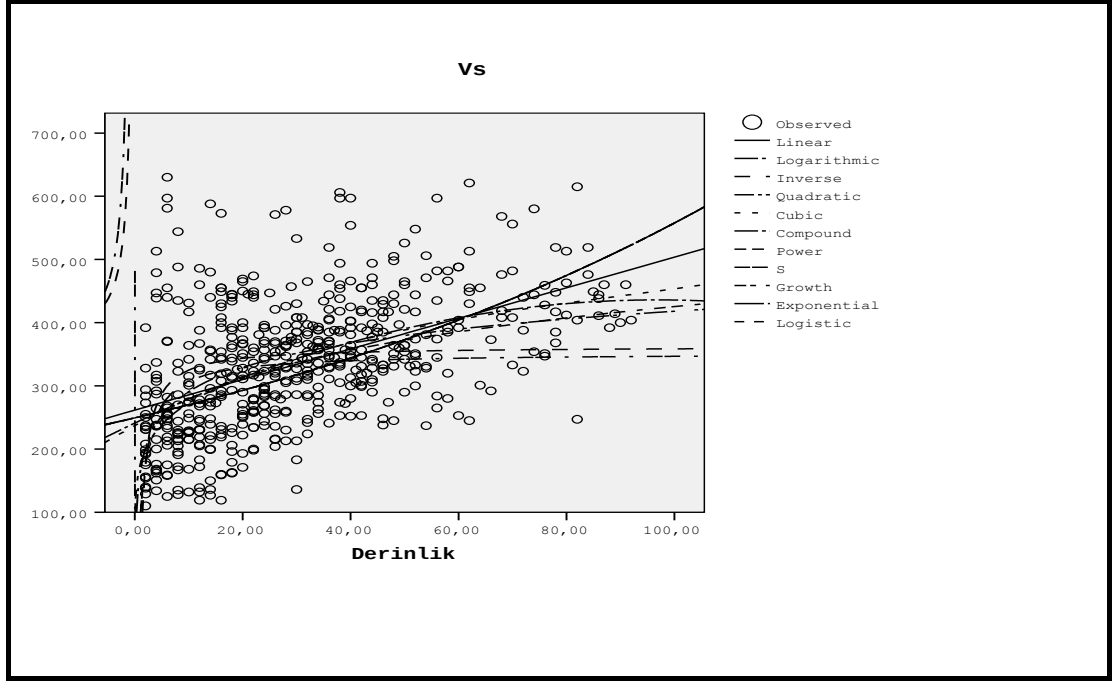
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	611	2,00	192,00	33,8838	29,22532
Vs	611	110,00	5000,00	382,5974	370,00537
Geçerli N	611				

Tablo 5.24: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	568	2,00	92,00	29,9648	20,73480
Vs	568	110,00	630,00	334,0511	102,39135
Geçerli N	568				

Tablo 5.25: Derinlik -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

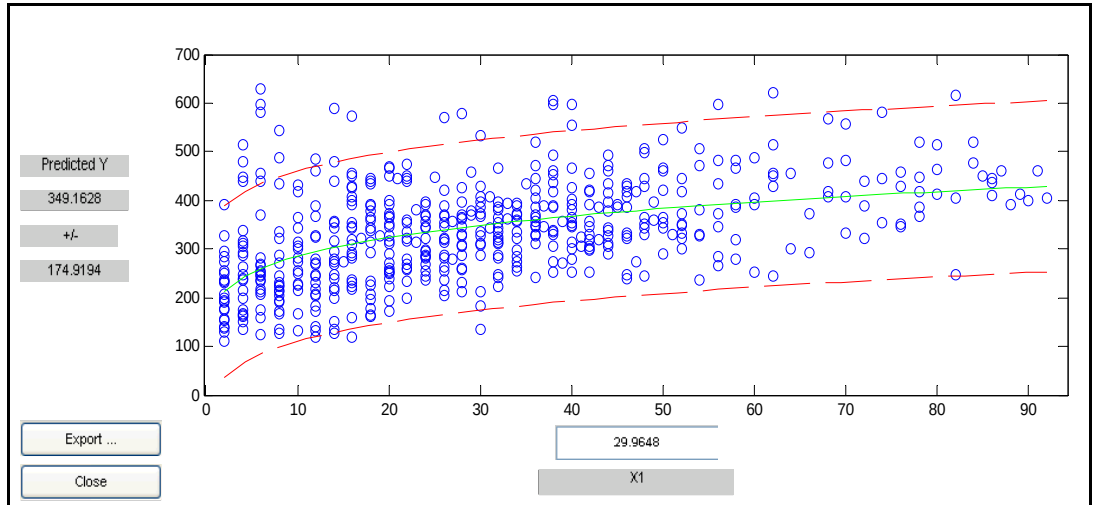
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,240	178,776	1	566	,000	261,555	2,419		
Logaritmik	,237	175,472	1	566	,000	163,380	55,299		
Ters	,142	93,469	1	566	,000	362,277	-374,433		
Kuadratik	,251	94,908	2	565	,000	241,058	4,023	-,021	
Kübik	,252	63,251	3	564	,000	237,044	4,603	-,039	,000
Bileşik	,253	191,717	1	566	,000	249,335	1,008		
Üslü	,274	213,957	1	566	,000	174,962	,193		
S	,177	121,540	1	566	,000	5,862	-1,355		
Büyüme	,253	191,717	1	566	,000	5,519	,008		
Üstel	,253	191,717	1	566	,000	249,335	,008		
Lojistik	,253	191,717	1	566	,000	,004	,992		



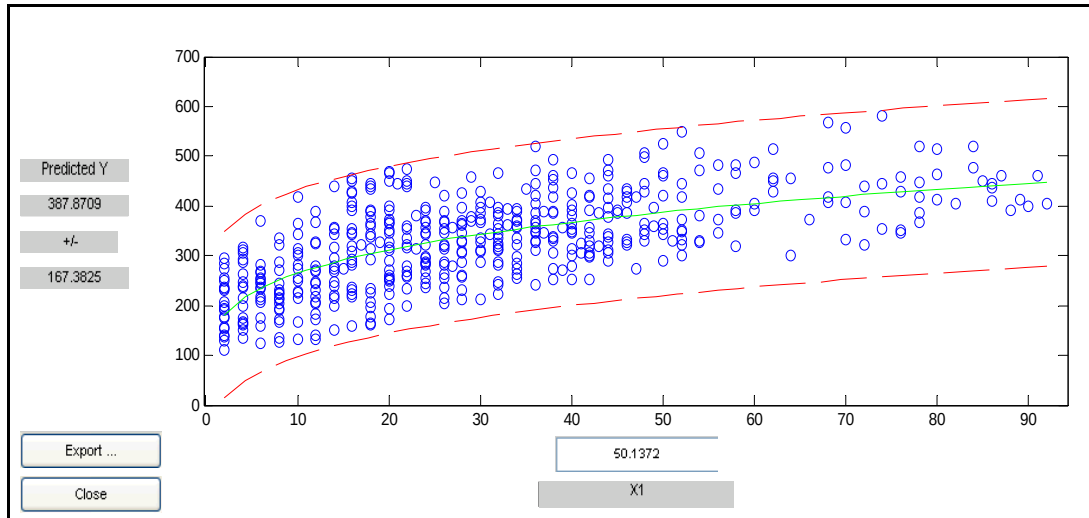
Şekil 5.15: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo 5.26: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		568
Normal	Ortalama	334,0511
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	102,39135
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,032
	Pozitif	,032
	Negatif	-,016
Kolmogorov-Smirnov Z		,771
Anlamlılık		,593



Şekil 5.16: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



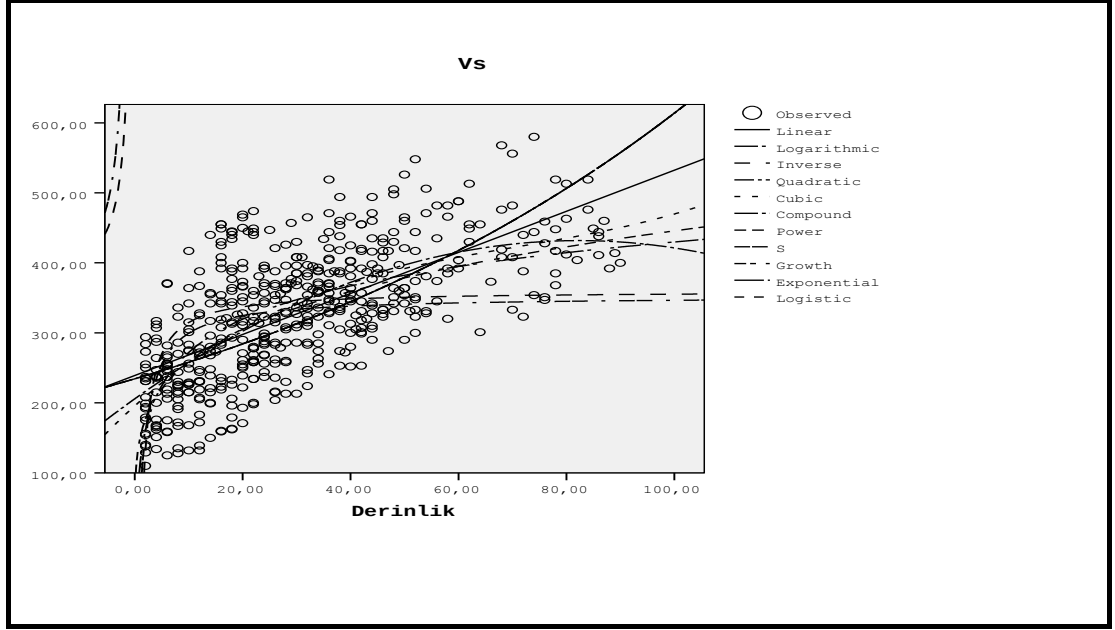
Şekil 5.17: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo 5.27: Tüm Zeminler Derinlik-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,415	366,289	1	516	,000	238,966	2,934		
Logaritmik	,432	392,484	1	516	,000	114,143	68,551		
Ters	,250	172,066	1	516	,000	359,774	-450,153		
Kuadratik	,450	210,270	2	515	,000	205,793	5,494	-,033	
Kübik	,451	141,033	3	514	,000	195,670	6,948	-,079	,000
Bileşik	,395	337,036	1	516	,000	234,406	1,010		
Üslü	,451	424,617	1	516	,000	150,524	,236		
S	,287	207,255	1	516	,000	5,864	-1,621		
Büyüme	,395	337,036	1	516	,000	5,457	,010		
Üstel	,395	337,036	1	516	,000	234,406	,010		
Lojistik	,395	337,036	1	516	,000	,004	,990		

Tablo 5.28: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	518	2,00	90,00	29,9054	20,14984
Vs	518	110,00	580,00	326,7008	91,74623
Geçerli N	518				



Şekil 5.18: Derinlik-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Eldeki verilere göre tüm zeminler kum ve kil zeminler olmak üzere ikiye ayrılarak yukarıda tüm zeminler için yapılan işlemlerin tamamı aynı şekilde kum ve kil zeminlere uygulanmıştır. Kil zeminlerdeki analizlere ait tablo ve şekiller Ek-A' da, kum zeminlerdeki analizlere ait tablo ve şekiller ise Ek-B' de yukarıda anlatıldığı sırasıyla sunulmuştur. Yine çalışma kapsamındaki tüm zeminlere ait veriler yeterli sayıda ve güvenilir nitelikte olduğu düşünülen İstanbul'daki Alüvyon zeminlerine ve Bakırköy, Çukurçeşme, Güngören Formasyonlarına ait verilere ayrılarak benzer şekilde analizleri yapılmıştır. Ancak formasyonlara ilişkin verilerde V_s ile SPT-N arasındaki korelasyon, efektif düşey gerilme ve derinliğe nazaran daha yüksek olduğundan Ek-C'de İstanbul formasyonlarındaki kayma dalgası hızının sadece SPT-N darbe sayısına göre değişiminin incelendiği analize ait tablo ve şekiller sunulmuştur. Verilerin istatistiksel analiziyle elde edilen tüm bağıntılar ve korelasyon katsayıları çalışmanın 6. Bölümü olan Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi Bölümünde tablolar ve grafikler halinde bir bütün olarak verilmiştir.

6. ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Zemin tabakalarının kayma dalgası hızı, geoteknik deprem mühendisliğinde önemli bir parametredir. Zeminlerin dinamik davranışını belirlemek için gerekli olan başlangıç kayma modülü, zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi gibi özellikler kayma dalgası hızından belirlenebilmektedir. Ayrıca mikrobölgeleme çalışmalarında, sıvılaşma potansiyelinin tahmininde, ana kayada alınan bir tasarım depreminin yüzeye yakın tabakalarda oluşturacağı gerilmelerin ve deprem özelliklerinin hesaplanmasında da kayma dalgası hızı kullanılmaktadır.

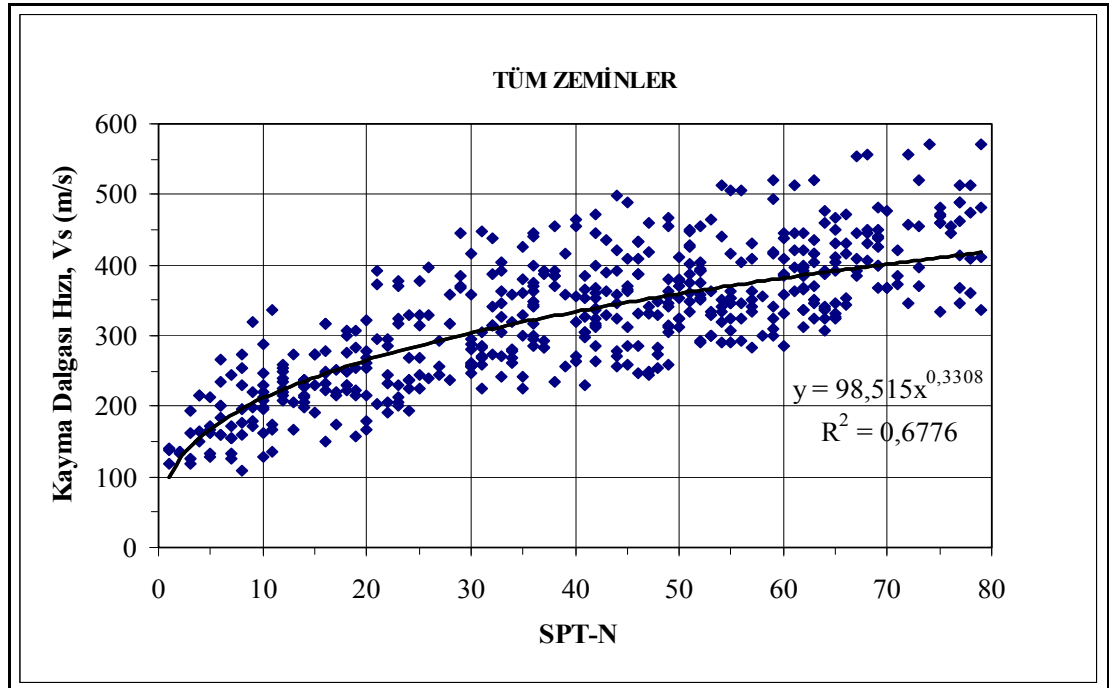
Kayma dalgası hızının derinlikle değişiminin belirlenebilmesi için en uygun yöntemler, sondaj kuyuları içinde düşük deformasyon genliklerinde uygulanan sismik deney yöntemleridir. Aşağı kuyu, karşıt kuyu ve PS Logging gibi kuyu içi yöntemleri bu amaç için uygun olmaktadır. Tek kuyunun yeterli olduğu, alıcı kaynak mesafesinin sürekli sabit kaldığı PS Logging deneyinin diğer yöntemlere göre üstünlüğü vardır. Sismik deney yöntemlerinin maliyetinin diğer arazi deneylerine göre pahalı oluşu, bu deneylerin genellikle daha önemli projelerde tercih edilmesine yol açmakta, arazi sismik deneylerinin yapılamadığı veya sınırlı sayıda yapıldığı durumlarda da kayma dalgası hızının tahmin edilebilme gereği, kayma dalgası hızı ile diğer deney sonuçları arasında ilişkiler aranmasına neden oluşturmaktadır.

Kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklığının, ince daneli zeminlerin kıvamının yerinde belirlenmesi amacıyla sondaj kuyuları içinde uygulanan Standart Penetrasyon Deneyinin sonuçları ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiler, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. SPT-N sayısına etkiyen faktörlerin kayma dalgası hızını da etkilediği belirlenmiştir.

Bu çalışmada da İstanbul'da değişik noktalarda açılmış sondaj kuyularında PS Logging yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızlarının SPT-N ile değişimi incelenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı'nın ortaklaşa yürüttüğü İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması kapsamında elde edilen verilerin

birbirleriyle ilişkileri ve anlamlılıkları istatistiksel olarak incelenmiştir. İstanbul zeminlerinde kayma dalgası hızının, SPT-N sayısına bağlı olarak pratik amaçlar doğrultusunda tahmin edilerek kullanılabilecek bağıntılar geliştirilmiştir. Ayrıca, bu tür korelasyonlara efektif düşey gerilme, zemin cinsi ve derinlik gibi faktörlerin de etkisi incelenerek önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

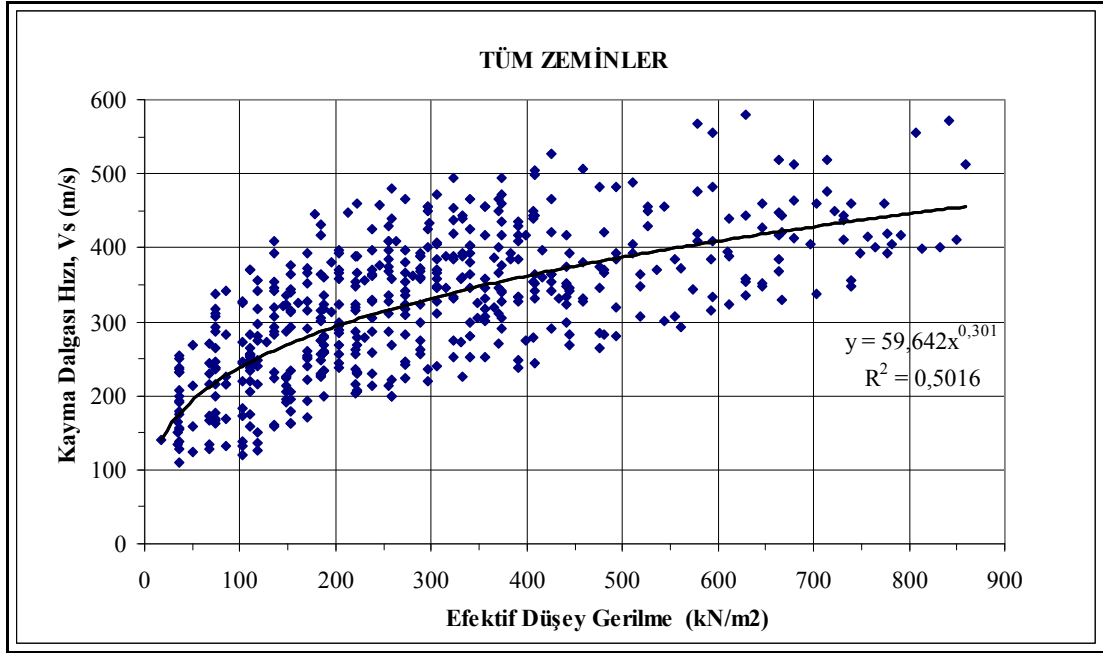
Yapılan istatistiksel analizler sonucunda aşağıda verilen tablolardaki bağıntılarda, derinlik (H) birimi metre, efektif düşey gerilmenin (σ_v') birimi kN/m^2 'dir. Veri sayısının daha çok olduğu zeminlerde korelasyonun genellikle daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İstanbul'un diğer formasyonlarına ait veri sayısı yetersiz olduğundan diğerleri için güvenilir bağıntılar geliştirilememiştir. İstanbul zeminlerinde yapılan sondajlardan elde edilen verilerin yaklaşık %88'i killi zeminler olup geri kalan kısmı kumlu zeminlerdir. Formasyon bazında bakacak olursak verilerin yaklaşık %70'i Güngören Formasyonu zeminlerine aittir. Bazı formasyonlarda istatistik analiz yapacak yeterli veri bulunamamıştır. Dolayısıyla elde edilen verilerin ağırlıklı olarak kil zeminlerden ve Güngören Formasyonuna ait verilerden oluşması tüm zeminler grubunda yapılan analizlerde bu gruplara yakın sonuçlar çıkmasına neden olmuştur. Tüm zeminler grubu için yapılan istatistiksel incelemeler sonucunda Tablo 6.1' deki bağıntılar elde edilmiş olup korelasyonun en yüksek olduğu durum $R=0.82$ katsayısıyla V_s ile SPT-N arasında gözlenmiştir. Burada elde edilen bağıntıların elde edildiği verilere ait grafikler Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te görülmektedir.



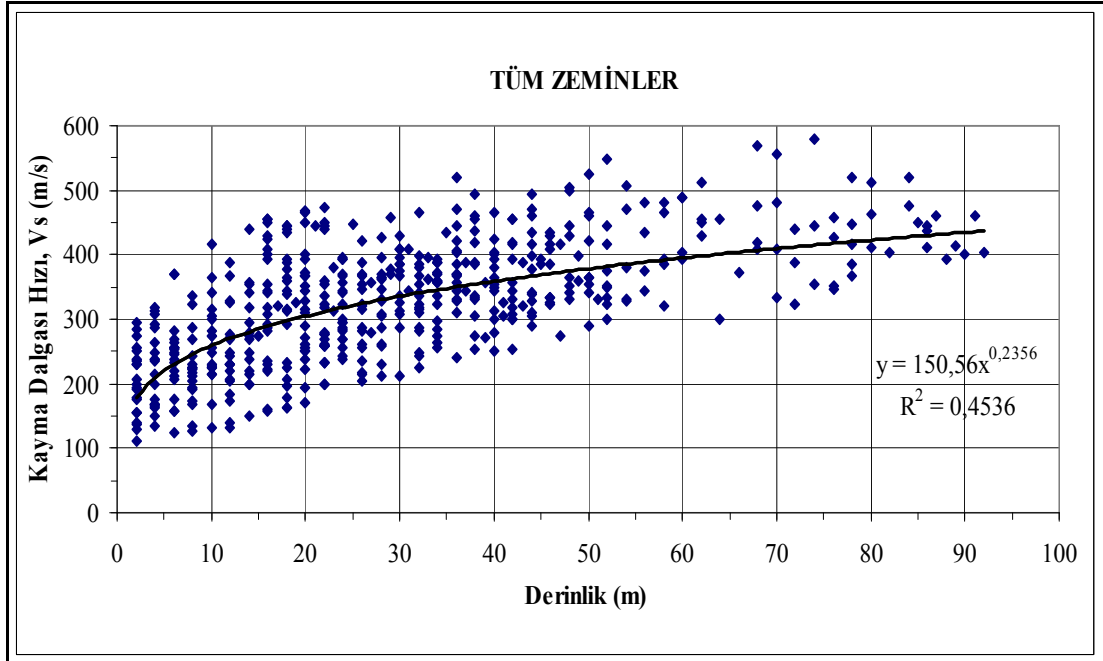
Şekil 6.1: Nihai Verilerle Tüm Zeminlere Ait SPT-N İle V_s Arasındaki İlişki

Tablo 6.1: Tüm Zeminlere Ait Verilere Göre Elde Edilen Bağlıntılar

Veri Sayısı	Değişkenler	Bağıntı	R
n=505	SPT Sayısı (N)	$V_s = 98.5 \times N^{0.331}$	0.82
	Düşey Gerilme (σ_v)	$V_s = 59.6 \times \sigma_v^{0.301}$	0.71
	SPT ve D. Gerilme	$V_s = 70.0 \times N^{0.245} \times \sigma_v^{0.119}$	0.82
	Derinlik (H)	$V_s = 150.5 \times H^{0.236}$	0.67

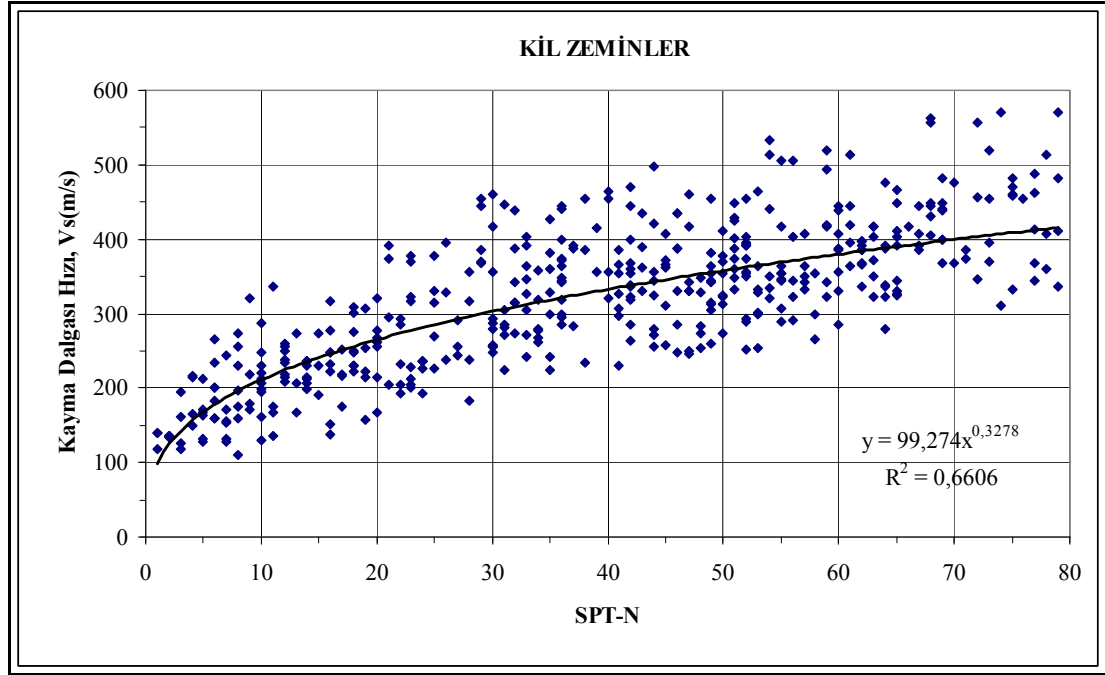


Şekil 6.2: Nihai Verilerle Tüm Zeminlere Ait σ_v İle V_s Arasındaki İlişki

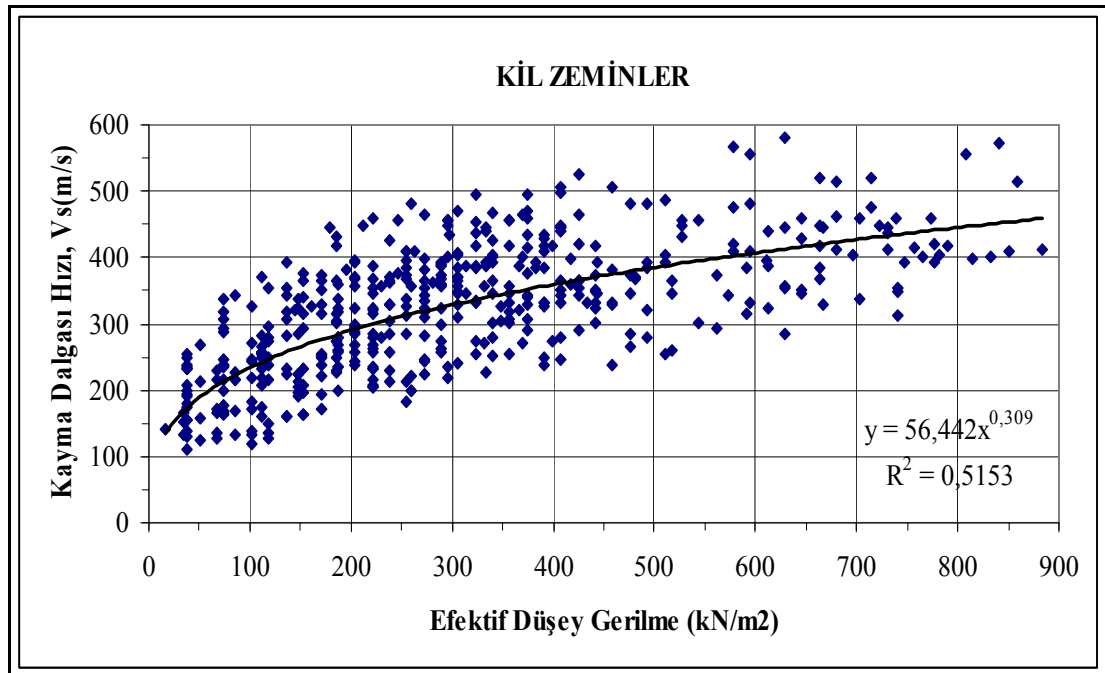


Şekil 6.3: Nihai Verilerle Tüm Zeminlere Ait Derinlik İle V_s Arasındaki İlişki

Eldeki verilerin yaklaşık %88'i killi zeminler olduğu için, killi zeminlerle yapılan çalışmada sonuçların tüm zeminler grubunda yapılan analizle benzerlik gösterdiği görülmüştür. Ancak kayma dalgası hızı V_s ' in derinlikle olan ilişkisi burada 0.67 olarak hesaplanmış olup diğer değişkenlere nazaran düşük kalmıştır. Tablo 6.2' de killi zeminlerde kayma dalgası hızı V_s ' in İstanbul'daki killi zeminlerde tahmin edilebilmesine yönelik elde edilen bağıntılar verilmiş olup bunların grafik gösterimi Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da sunulmuştur.



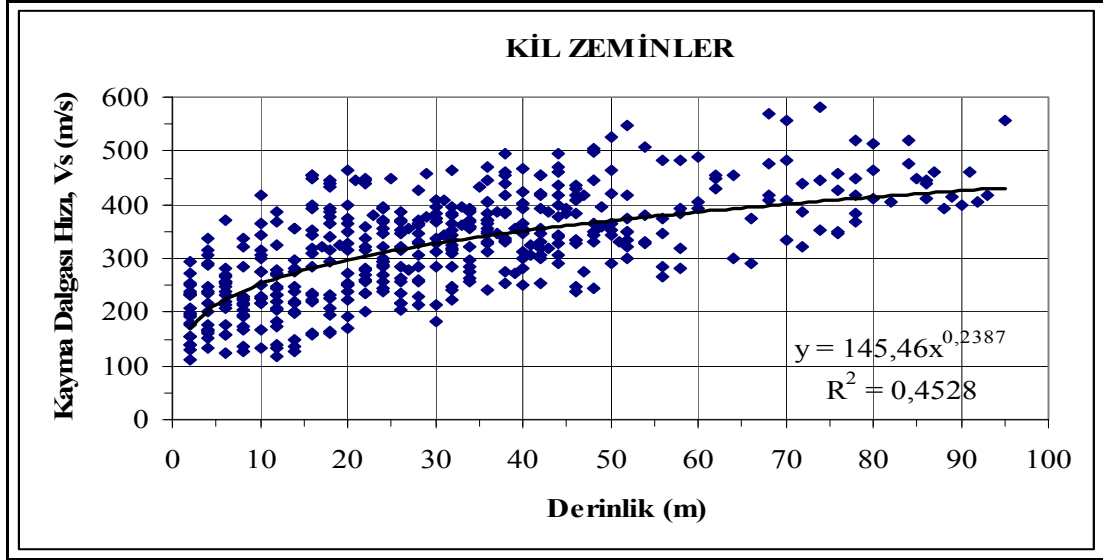
Şekil 6.4: Nihai Verilerle Kil Zeminlere Ait SPT-N İle V_s Arasındaki İlişki



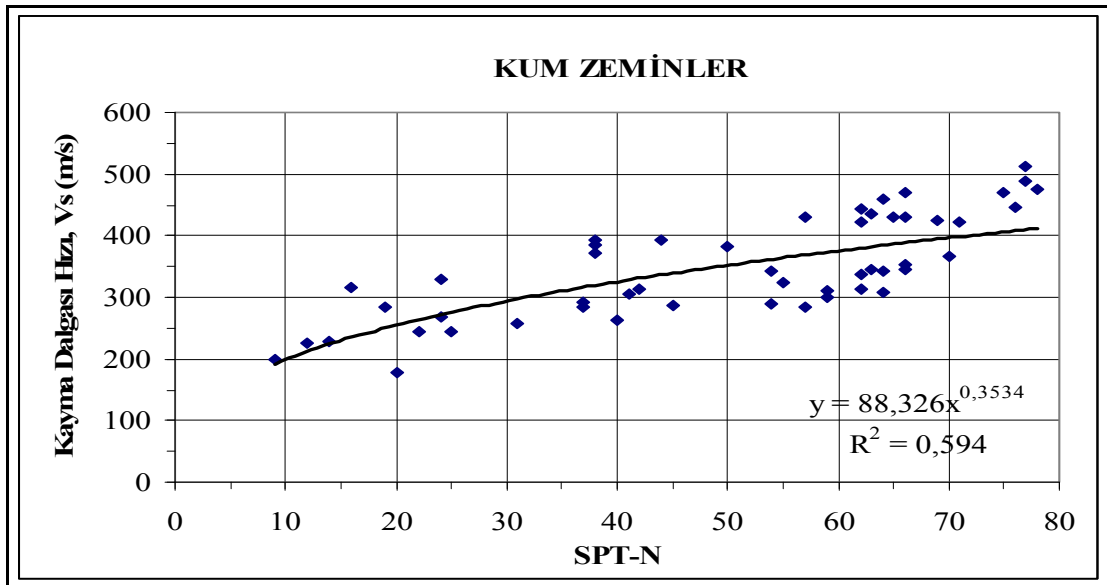
Şekil 6.5: Nihai Verilerle Kil Zeminlere Ait σ_v İle V_s Arasındaki İlişki

Tablo 6.2: Kil Zeminlere Ait Verilere Göre Elde Edilen Bağntılar

Veri Sayısı	Değişkenler	Bağıntı	R
n=454	SPT Sayısı (N)	$V_s = 99.2 \times N^{0.328}$	0.81
	Düşey Gerilme (σ_v)	$V_s = 56.4 \times \sigma_v^{0.309}$	0.72
	SPT ve D. Gerilme	$V_s = 70.0 \times N^{0.240} \times \sigma_v^{0.121}$	0.81
	Derinlik (H)	$V_s = 145.5 \times H^{0.239}$	0.67

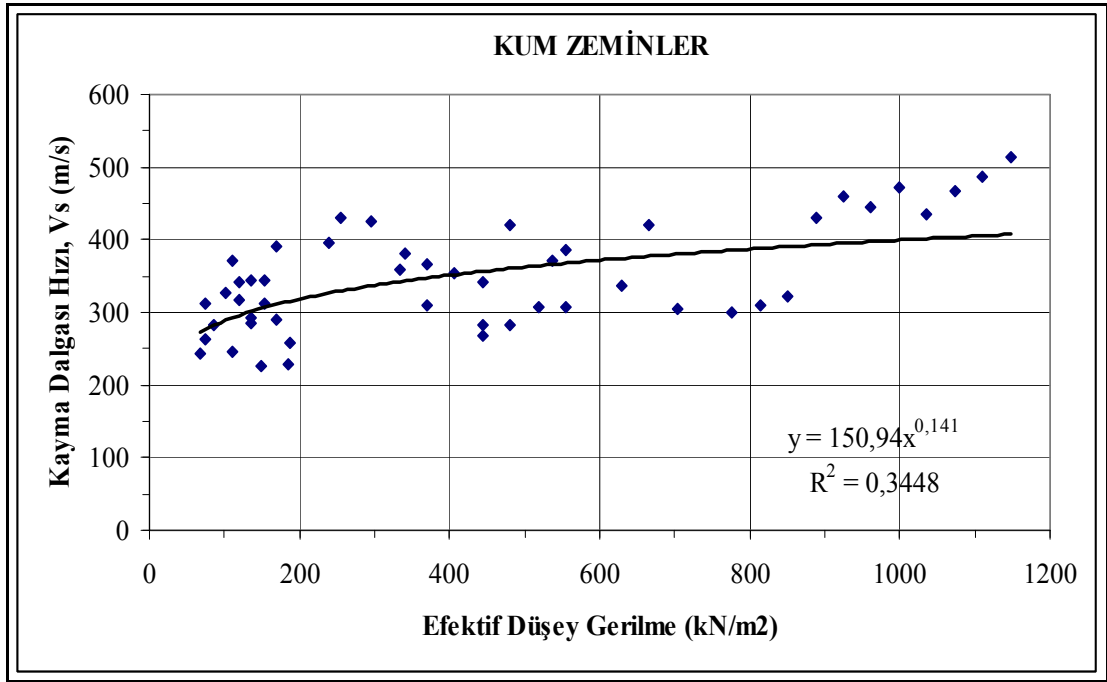
**Şekil 6.6:** Nihai Verilerle Kil Zeminlere Ait Derinlik İle V_s Arasındaki İlişki

Eldeki verilerde kumlu zeminlere ait veri sayısı killi zeminlere oranla çok düşük olduğu için kumlu zeminlerde yapılan istatistiksel analizde düşük korelasyon katsayılarıyla karşılaşmıştır. Kumlu zeminlere ait verilerle yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen bağıntılar Tablo 6.3' te verilmiştir. Bu verilerin grafiksel gösterimi ise Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da sunulmuştur.

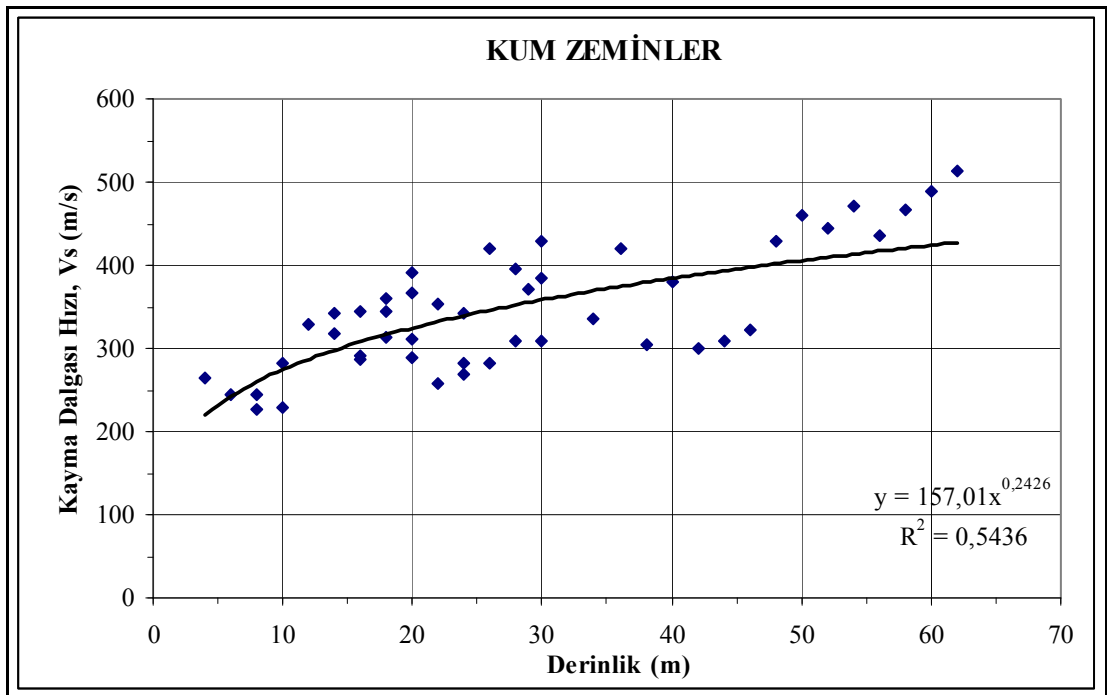
**Şekil 6.7:** Nihai Verilerle Kum Zeminlere Ait SPT-N İle V_s Arasındaki İlişki

Tablo 6.3: Kum Zeminlere Ait Verilere Göre Elde Edilen Bağıntılar

Veri Sayısı	Değişkenler	Bağıntı	R
n=51	SPT Sayısı (N)	$V_s = 88.3 \times N^{0.333}$	0.77
	Düşey Gerilme(σ_v')	$V_s = 150.9 \times \sigma_v'^{0.141}$	0.59
	SPT ve D. Gerilme	$V_s = 79.5 \times N^{0.245} \times \sigma_v'^{0.09}$	0.75
	Derinlik (H)	$V_s = 157.0 \times H^{0.243}$	0.74

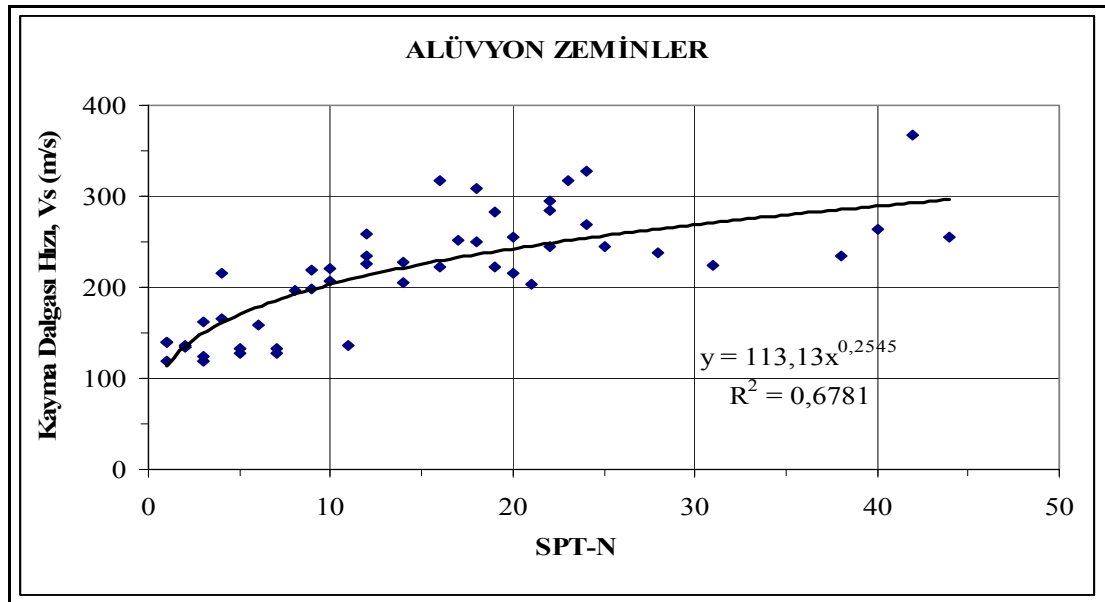


Şekil 6.8: Nihai Verilerle Kum Zeminlere Ait σ_v' İle V_s Arasındaki İlişki

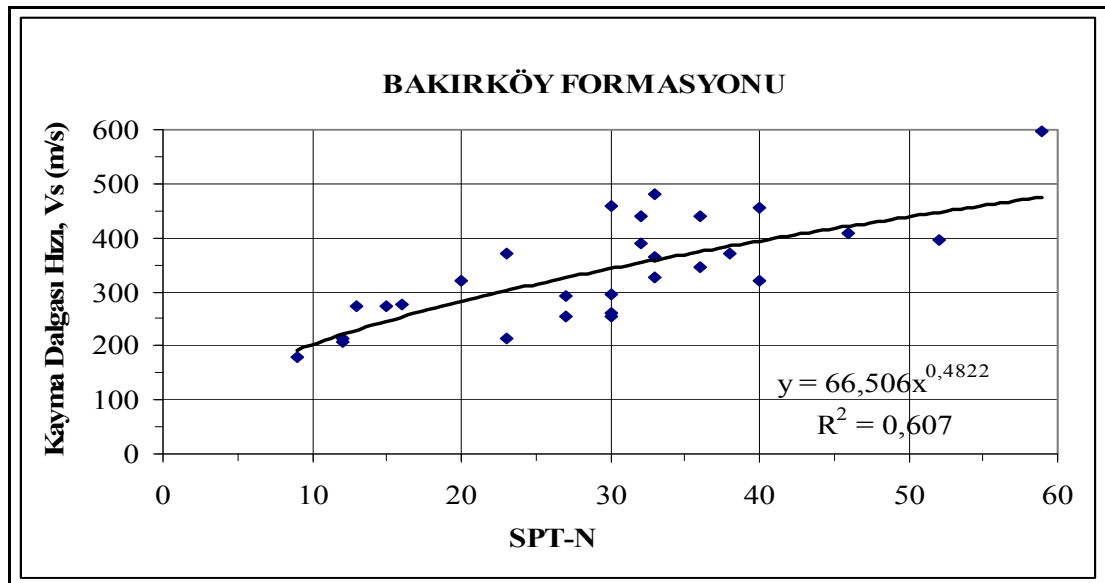


Şekil 6.9: Nihai Verilerle Kum Zeminlere Ait Derinlik İle V_s Arasındaki İlişki

Çalışmada kullanılan veri seti İstanbul'daki formasyonlara ait olan gruplara ayrılarak bu formasyonlardan yeterli veriye sahip olanlarında yapılan benzer istatistiksel analizler sonucunda SPT-N değişkeniyle yapılan analizlerin korelasyonlarının yüksek olduğu görüldüğünden SPT-N sayısına bağlı olarak elde edilen bağıntılar Tablo 6.4' te sunulmuştur. Bu verilerin saçılımına ilişkin grafiklerden Alüvyon zeminlere ait olanlar Şekil 6.10'da, Bakırköy Formasyonuna ait olanlar Şekil 6.11'de, Çukurçeşme Formasyonuna ait olanlar Şekil 6.12'de, Güngören Formasyonuna ait olanlar ise Şekil 6.13'te verilmiştir. Elde edilen bu grafikler sonrasında bu 4 formasyon aynı grafikte incelendiği grafik ise Şekil 6.14'te sunulmuştur.



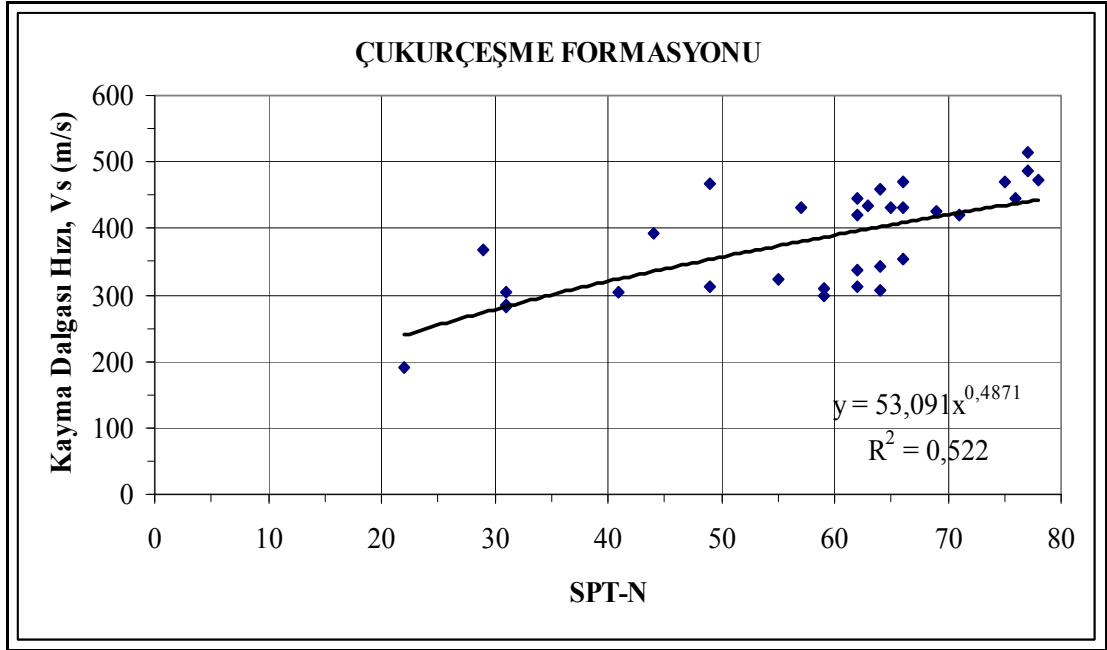
Şekil 6.10: Nihai Verilerle Alüvyon Zeminlere Ait SPT-N İle V_s Arasındaki İlişki



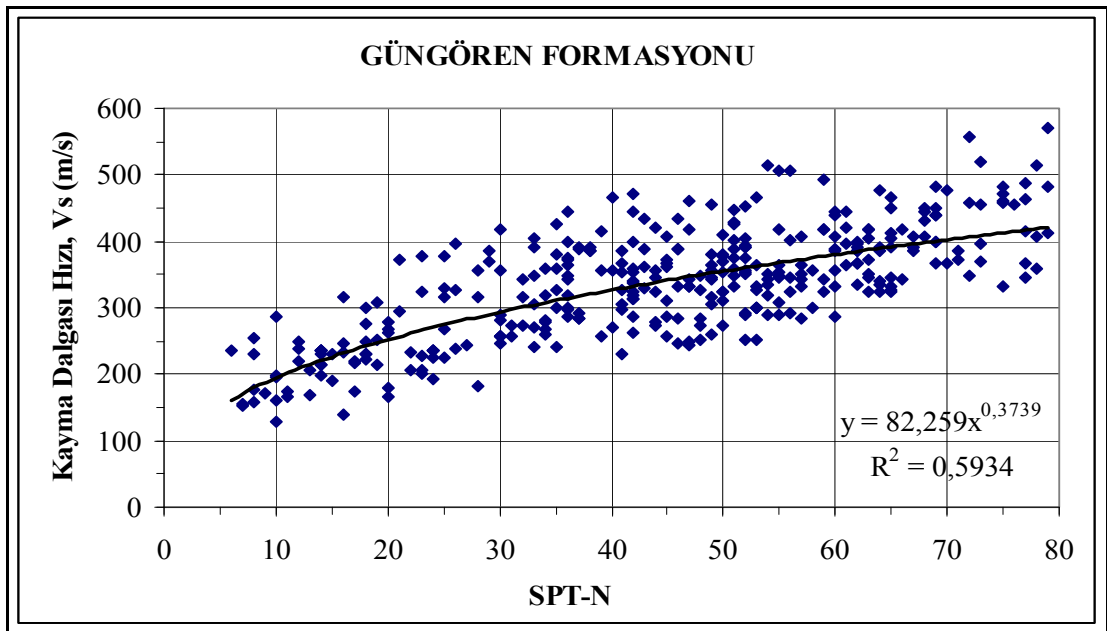
Şekil 6.11: Nihai Verilerle Bakırköy Formasyonlarında SPT ile V_s Arasındaki İlişki

Tablo 6.4: İstanbul Formasyonlarına Ait Verilere Göre Elde Edilen Bağlıntılar

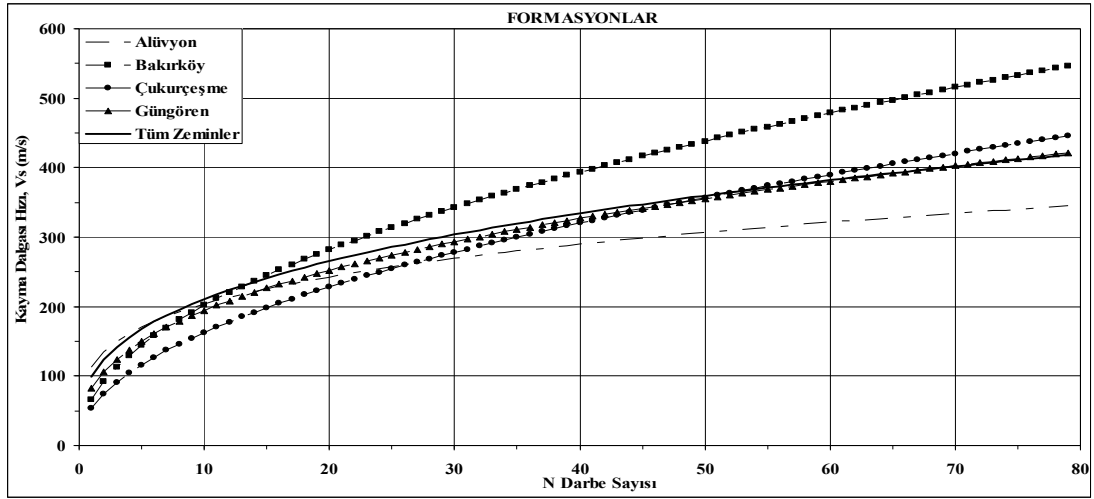
Veri Sayısı	Değişken	Bağıntı	R
Alüvyon n=50	SPT Sayısı (N)	$V_s = 113.1 \times N^{0.255}$	0.82
Bakırköy n=28	SPT Sayısı (N)	$V_s = 66.5 \times N^{0.482}$	0.78
Çukurçeşme n=32	SPT Sayısı (N)	$V_s = 53.1 \times N^{0.487}$	0.72
Güngören n=355	SPT Sayısı (N)	$V_s = 82.2 \times N^{0.374}$	0.77



Şekil 6.12: Nihai Verilerle Çukurçeşme Formasyonunda SPT ile V_s Arasındaki İlişki



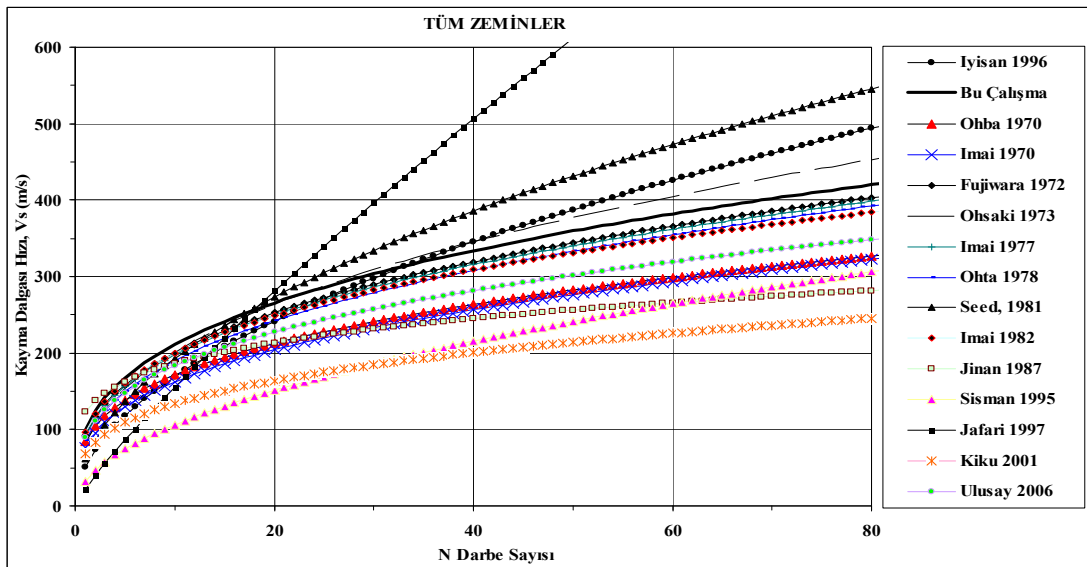
Şekil 6.13: Nihai Verilerle Güngören Formasyonunda SPT ile V_s Arasındaki İlişki



Şekil 6.14: Formasyonlara Göre SPT-N Darbe Sayısı – V_s Değişimi

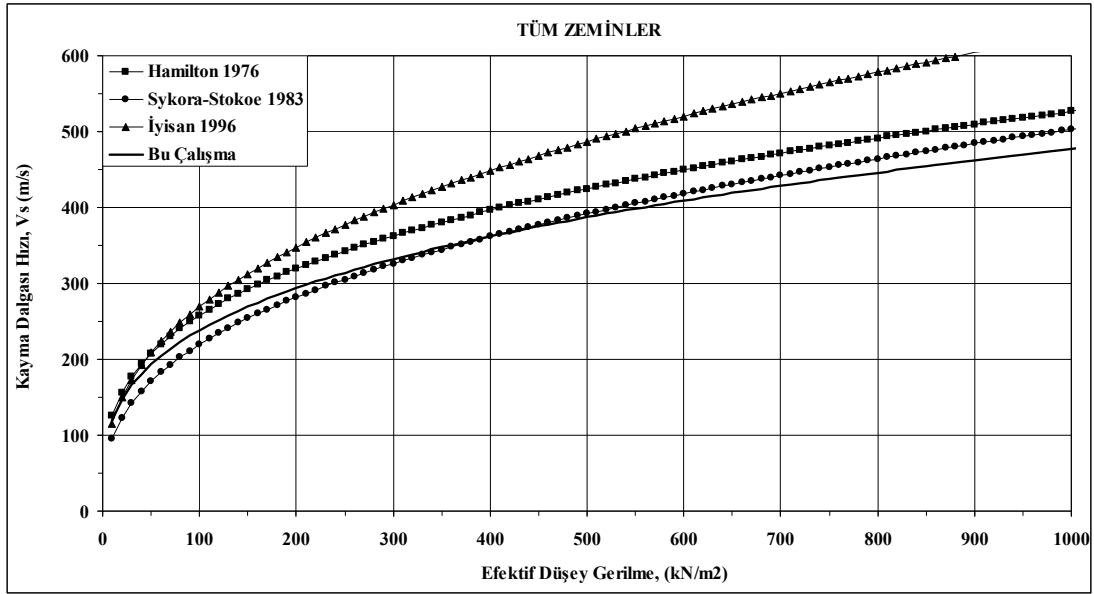
Şekil 6.14’te verilen formasyonların SPT-N sayılarının kayma dalgası hızı V_s ile değişimi incelendiğinde bu 4 formasyon içerisinde en yüksek kayma dalgası hızının Bakırköy formasyonunda, en düşük kayma dalgası hızının ise Alüvyon zeminlerde ölçüldüğü görülmektedir.

Yapılan analizler sonucunda elde edilen korelasyonların konuyla ilgili olarak önceki korelasyonlarla karşılaştırması yapılmıştır. Kayma dalgası hızının SPT-N ile değişimini gösteren grafikler Şekil 6.15’te toplanmıştır. Buna göre bu çalışmada elde edilen grafik SPT-N sayısının 20’den düşük değerlerinde diğer çalışmalarda elde edilen grafiklere göre daha yüksek kayma dalgası hızı vermektedir. SPT-N’in 20’den büyük değerlerinde ise Ohsaki ve Iwasaki (1973) ile Fujiwara (1972) arasında kalmaktadır.



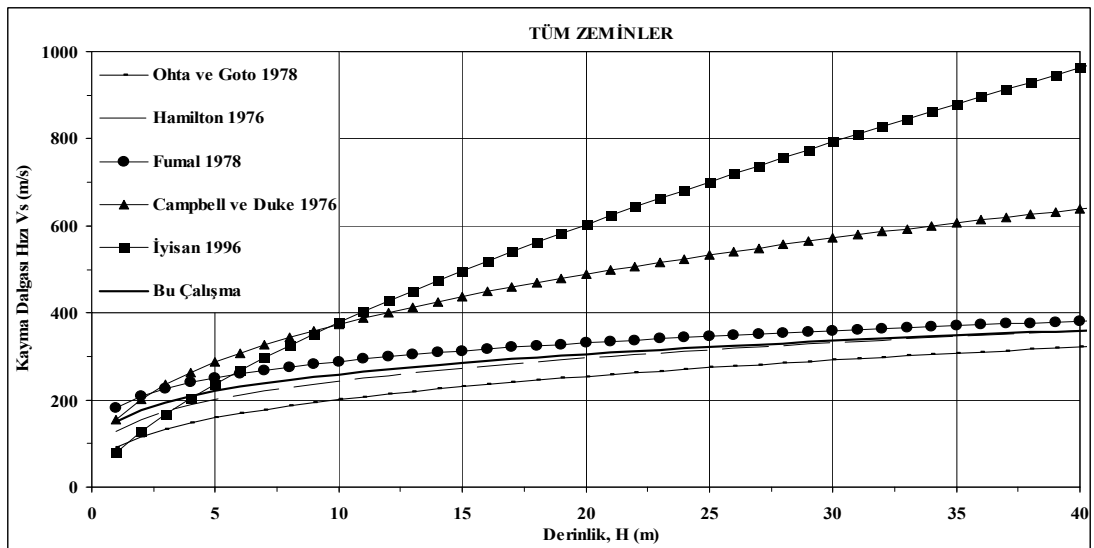
Şekil 6.15: Tüm Zeminler SPT-N – V_s Değişiminin Literatürle Karşılaştırılması

Tüm zeminlere ait verilerde efektif düşey gerilme değişkeniyle yapılan analizde elde edilen grafiğin önceki çalışmalarla karşılaştırması Şekil 6.16'da verilmiştir. Bu çalışmada elde edilen grafik, efektif düşey gerilmenin 500 kPa' dan yüksek olduğu değerlerde diğer çalışmalardan daha düşük kayma dalgası hızı vermektedir. Efektif düşey gerilmenin 500 kPa' dan küçük değerlerde ise kayma dalgası hızı Hamilton (1976) ile Sykora ve Stokoe (1983)'ün arasında değerler almaktadır.



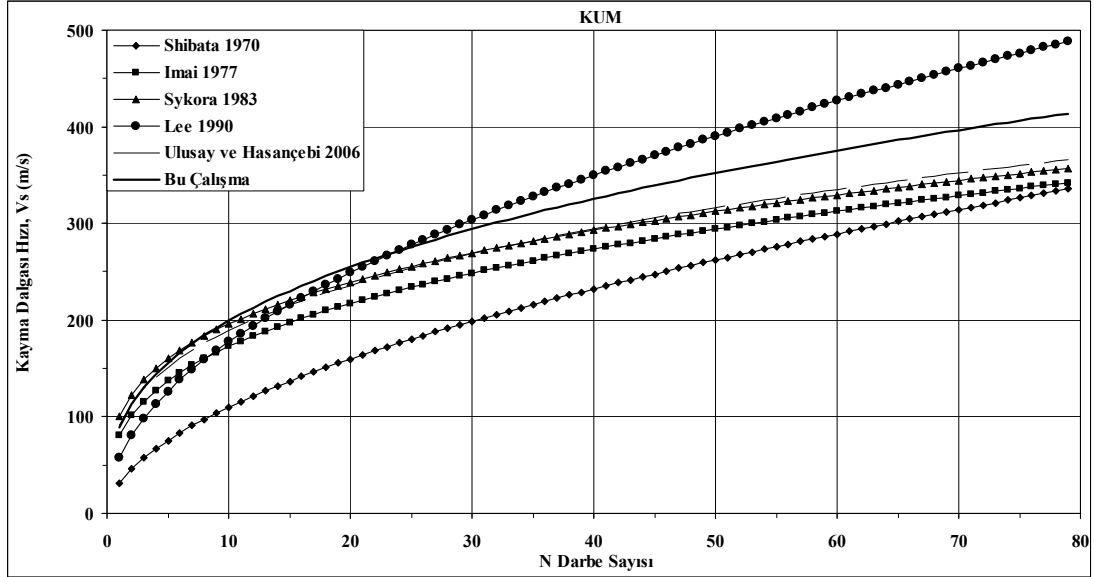
Şekil 6.16: Tüm Zeminler Düşey Gerilme – V_s Değişimini Literatürle Karşılaştırma

Tüm zeminlere ait kayma dalgası hızlarının derinlikle değişiminin geçmiş yıllarda yapılan çalışmalarla karşılaştırması Şekil 6.17'de yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen grafik tüm derinlik değerleri boyunca Fumal (1978) ile Hamilton (1976) arasında yer almaktadır.



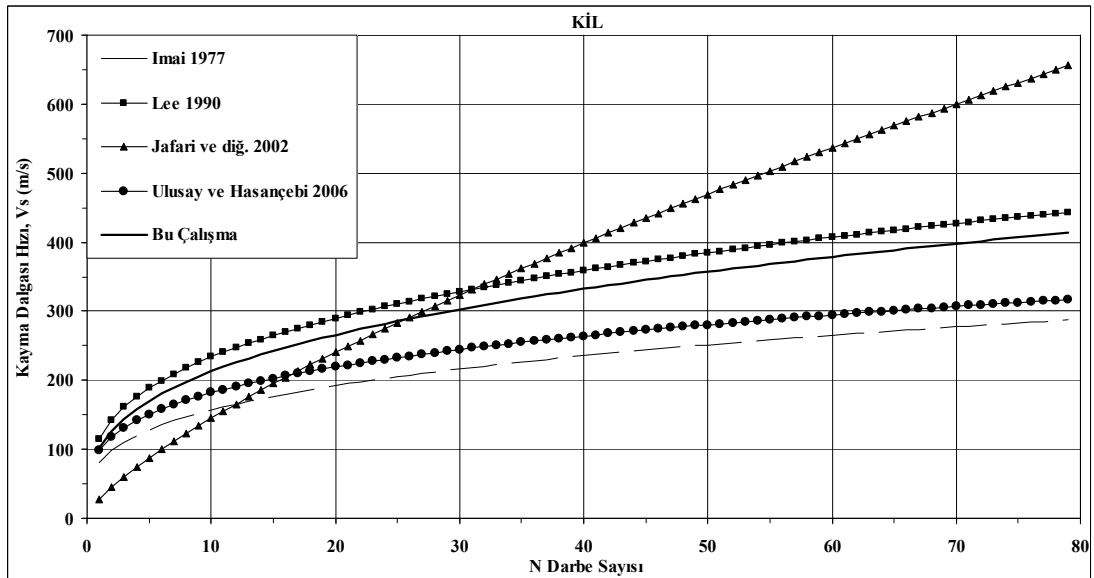
Şekil 6.17: Tüm Zeminler Derinlik – V_s Değişimini Literatürle Karşılaştırma

Kum zeminlere ait kayma dalgası hızlarının SPT-N darbe sayısı ile değişimi Şekil 6.18’de verilmiş olup grafiklerden görüleceği üzere bu çalışmada elde edilen grafik Lee (1990) ile Hasançebi ve Ulusay (2006) arasında yer almaktadır.



Şekil 6.18: Kumların SPT-N Darbe Sayısı - V_s Değişimini Literatürle Karşılaştırma

Kil zeminler ait kayma dalgası hızlarının SPT-N darbe sayısı ile değişimi Şekil 6.19’da verilmiş olup grafiklerden görüleceği üzere bu çalışmada elde edilen grafik yukarıda karşılaştırılması yapılan kum zeminlerde olduğu gibi Lee (1990) ile Hasançebi ve Ulusay (2006) arasında yer almaktadır.



Şekil 6.19: Killerin SPT-N Darbe Sayısı – V_s Değişimini Literatürle Karşılaştırma

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Zemin tabakalarının kayma dalgası hızı, geoteknik deprem mühendisliğinde önemli bir parametredir. Zeminlerin dinamik davranışını belirlemek için gerekli olan başlangıç kayma modülü, zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesi gibi özellikler kayma dalgası hızından belirlenebilmektedir. Ayrıca mikrobölgeleme çalışmalarında, sıvılaşma potansiyelinin tahmininde, ana kayada alınan bir tasarım depreminin yüzeye yakın tabakalarda oluşturacağı gerilmelerin ve deprem özelliklerinin hesaplanmasında da kayma dalgası hızı kullanılmaktadır.

Kayma dalgası hızının derinlikle değişiminin belirlenebilmesi için en uygun yöntemler, sondaj kuyuları içinde düşük deformasyon genliklerinde uygulanan sismik deney yöntemleridir. Aşağı kuyu, karşıt kuyu ve PS Logging gibi kuyu içi yöntemleri bu amaç için uygun olmaktadır. Tek kuyunun yeterli olduğu, alıcı kaynak mesafesinin sürekli sabit kaldığı PS Logging deneyinin diğer yöntemlere göre üstünlüğü vardır. Sismik deney yöntemlerinin maliyetinin diğer arazi deneylerine göre pahalı oluşu, bu deneylerin genellikle daha önemli projelerde tercih edilmesine yol açmakta, arazi sismik deneylerinin yapılamadığı veya sınırlı sayıda yapıldığı durumlarda da kayma dalgası hızının tahmin edilebilme gereği, kayma dalgası hızı ile diğer deney sonuçları arasında ilişkiler aranmasına neden oluşturmaktadır.

Kaba daneli zeminlerin yerleşim sıklığının, ince daneli zeminlerin kıvamının yerinde belirlenmesi amacıyla sondaj kuyuları içinde uygulanan Standart Penetrasyon Deneyinin sonuçları ile kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiler, birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. SPT-N sayısına etkiyen faktörlerin kayma dalgası hızını da etkilediği belirlenmiştir.

Bu çalışmada İstanbul'da değişik noktalarda açılmış sondaj kuyularında PS Logging yöntemi ile ölçülen kayma dalgası hızlarının SPT-N ile değişimi incelenmiştir. İstanbul Büyükşehir Belediyesi ile Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı'nın ortaklaşa yürüttüğü İstanbul İli Sismik Mikrobölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması kapsamında elde edilen verilerin birbirleriyle ilişkileri ve

anlamlılıkları istatistiksel olarak incelenmiştir. İstanbul zeminlerinde kayma dalgası hızının, SPT-N sayısına bağlı olarak pratik amaçlar doğrultusunda tahmin edilerek kullanılabilecek bağıntılar geliştirilmiştir. Ayrıca, bu tür korelasyonlara efektif düşey gerilme, zemin cinsi ve derinlik gibi faktörlerin de etkisi incelenerek önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Yapılan istatistiksel analizler sonucunda kayma dalgası hızının değişiminin en çok SPT-N ile ilişkili olduğu ve veri sayısının daha çok olduğu zeminlerde korelasyonun genellikle daha yüksek olduğu gözlenmiştir. İstanbul'un alüvyon zeminleri ile Bakırköy, Çukurçeşme ve Güngören Formasyonları dışında kalan diğer formasyonlarına ait veri sayısı yetersiz olduğundan diğer formasyonlar için güvenilir bağıntılar geliştirilememiştir. İstanbul zeminlerinde yapılan sondajlardan elde edilen verilerin yaklaşık %88'i killi zeminler olup geri kalan kısmı kumlu zeminlerdir. Formasyon bazında incelendiğinde ise verilerin yaklaşık %70'i Güngören Formasyonu zeminlerine ait olduğu görülmektedir. Sayısal olarak ifade edilecek olursa kayma dalgası hızının SPT-N ile değişiminin analizinde tüm zeminlerde 505 veri, kil zeminlerde 454 veri, Güngören Formasyonunda ise 355 veri ile sonuca ulaşılmıştır. Bazı formasyonlarda istatistik analiz yapacak yeterli veri bulunamamıştır. Dolayısıyla elde edilen verilerin ağırlıklı olarak kil zeminlerden ve Güngören Formasyonuna ait verilerden oluşması tüm zeminler grubunda yapılan analizlerde bu gruplara yakın sonuçlar çıkmasına neden olmuştur. İstanbul'da değişik noktalarında açılmış sondaj kuyularından elde edilen verilere göre oluşturulan tüm zeminler grubuna ilişkin aşağıda bulunan bağıntı elde edilmiştir.

$$V_s = 98.5 * N^{0.331} \quad (\text{m/s}) \quad (7.1)$$

Bu eşitliğin korelasyon katsayısı (r) % 82 olarak hesaplanmıştır. Önceki çalışmalarla karşılaştırıldığında korelasyon katsayısının yeterince yüksek olduğu görülmüştür. Bu bağıntıda, SPT-N değerinin 20'den küçük değerlerinde önceki çalışmalara göre daha yüksek kayma dalgası hızı elde edilmektedir.

Çalışma zemin cinsine indirgendiği takdirde, fazla sayıda verinin bulunduğu kil zeminlere ilişkin elde edilen bağıntı (7.2) de verilmektedir. Bu bağıntıda r değeri %81 olarak hesaplanmıştır.

$$V_s = 99.2 * N^{0.328} \quad (\text{m/s}) \quad (7.2)$$

Aynı şekilde tüm zeminlere ait çalışma formasyonlar bazında incelendiğinde verilerin ağırlıklı olarak bulunduğu Güngören Formasyonu'na ilişkin elde edilen bağıntı (7.3) te verilmektedir. Bu bağıntıda ise r değeri % 77 olarak hesaplanmıştır.

$$V_s = 82.2 * N^{0.374} \quad (\text{m/s}) \quad (7.3)$$

Bu çalışmada, İstanbul zeminlerinde yapılan arazi deneyleri kapsamında elde edilen verilerle V_s ' i SPT-N' e bağlı olarak tahmin edebilmek için bazı bağıntılar geliştirilmiştir. Kayma dalgası hızı V_s ' i belirlemede bu tür bağıntıların, arazi sismik deneylerinin alternatifi olarak düşünülmemesi gerekir. Arazi sismik deneylerinin yapılamadığı veya sınırlı sayıda yapıldığı durumlarda, dinamik analiz için gerekli olan kayma modülünü pratik olarak tahmin etmede yararlı olacağı düşünülmektedir. Eldeki mevcut sınırlı sayıdaki verilere yeni verilerin eklenmesi ile bu bağıntıların geliştirilmesi mümkün olmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F.**, 1991, Long-Term Seismicity of Istanbul and the Marmara Sea Region, *Terra Nova*, 3.
- ASTM Designation**, 1985, Standart Test Method For Fundamental Transvers, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens, ASTM Committee on Standards, C 215-85 1916 Race St., PA 19103, Philadelphia.
- Baldi, G., Jamiolkowski, M., Lo Presti, D.C.F., Manfredini, G., Rix, G.J.**, 1989, Italian Experience in Assessing Shear Wave Velocity from CPT and SPT, *Proceedings of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, XII. ICSMFE*, Rio De Janerio, pp.157-168.
- Bayazıt, M.**, 1996, İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Beiganousky, W., Marcuson W., III**, 1976, Liquefaction Potential of Dams and Foundations; Laboratory Standard Penetration Tests on Reid Bedford Model and Ottawa Sands, *Research Report S-76-2*, Report 1, U. s. Army Engineer Waterways Experiment Station, CE, Vicksburg, Miss., 43 pp.
- Bosscher, P.J., ve Showers D.R.**, 1987, Effect of Soil Type on Standart Penetration Test Input Energy, ASCE, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.113, No.GT4, pp.385-389.
- Campbell, K., ve Duke, C.**, 1976, "Correlations Among Seismic Velocity, Depth and Geology in the Los Angeles Area", *University of California at Los Angeles School of Engineering and Applied Science Report ENG-7662*.
- Chen, M.H., Wen, K.L., Loh, C.H., Nigbor, R.L.**, 2002, "Experience of Suspension P-S Logging Method and Empirical Formula of Shear Wave Velocities in Taiwan".
- De Mello, V. F.**, 1971, The Standart Penetration Test, *Proceedings of the Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Puerto Rico, Vol.1, pp.1-861.
- Doyuran, V., ve diğ.**, 2000, Geological and Geotechnical Investigation at Yenişehir Settlement Area, Middle East Technical University, Ankara (in Turkish, unpublished).

- Eyidoğan, H.**, 2003, Tektonik ve Deprem Tehlikesi, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 26-30 Mayıs, İstanbul.
- Fumal, T.**, 1978, "Correlations Between Seismic Wave Velocities and Physical Properties of Geologic Materials in the Southern San Fransisco Bay Region", *California, U.S.G.S. Open File Report*.
- Güllü, H.**, 2001, "Dinar'ın Zemin Büyütmelerine Göre Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Mikrobölgelemesi", *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Hamilton, E.**, 1976, "Shear Wave Velocity Versus Depth in Marine Sediments", *A Review, Geophysics*, Vol. 41, No. 5, pp. 985-996.
- Hasançebi, N., Ulusay R.**, 2006, "Empirical Correlations Between Shear Wave Velocity and Penetration Resistance for Ground Shaking Assessments", *Bull Eng. Geol. Environ. Springer –Verlag*.
- Imai, T., Fumoto, H., Yokota, K.**, 1975, The Relation of Mechanical Properties of Soils to P- and S- Wave Velocities for Soil Ground in Japan, *Proceedings of the Fourth Japanese Earthquake Engineering Symposium*, pp.86-96, (In Japanese; Trans. by H. Umehara).
- Iwasaki, T. Y.**, 1989, In-Situ Seismic Velocity and Its Relationship with Soil Characteristics in Osaka Bay, *Earthquake Engineering and Soil Dynamic II. Procc. Of The Speciality Conference*, ASCE, June, 27-30, Park City, Utah.
- İyisan R. ve Ansal A.**, 1990, SPT-N Darbe Sayıları İle Kayma Mukavemeti İlişkisi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 3. Ulusal Kongresi Tutanakları*, II. Cilt, s. 303-314, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul
- İyisan, R. ve Ansal A.**, 1991, Kayma Dalgası Hızlarının Arazide Bulunması, *Türkiye İnşaat Mühendisliği XI. Teknik Kongresi, Bildiriler Kitabı, I.Cilt*, s.575-587, İstanbul.
- İyisan, R. ve Ansal A.**, 1993, Erzincan'da Dinamik Zemin Özelliklerinin Kuyu İçi Sismik Yöntemler İle Belirlenmesi, *2. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiriler Kitabı*, s.372-379, İstanbul.
- İyisan, R.**, 1994, "Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deney Sonuçlarının Karşılaştırılması", *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- İyisan, R. ve Ansal A.**, 1995, Dinamik Zemin Özelliklerini Belirlemede PS Logging Yöntemi, *3. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, Bildiriler Kitabı*, s.635-644, İstanbul.
- İyisan, R.**, 1996, Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıklar, *İMO Teknik Dergi*, Yazı 89, s.1187-1199.

- İyisan, R., Özçimen, N. ve Ansal A.,** 2000, Dinamik Zemin Özelliklerini Belirlemede Arazi Ölçümlerine Dayanan Korelasyonlar, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 8. Ulusal Kongresi*, İTÜ, İstanbul.
- Jafari, M.K., Shaffie, A., Ramzkhah, A.,** 2002, “Dynamic Properties of the Fine Grained Soils in South of Tehran”, *JSEE, Vol. 4*, pp. 25-35.
- Kanai, K., et al,** 1966, Observation of Microtremors, XI. Matsushiro Earthquake Swarm Areas, *Bulletin of Earthquake Research Institute*, XLIV, Part 3, University of Tokyo.
- Kocakoç, İ.,** 2007 Matlab ve İstatistiksel Veri Analizi, Nobel Basımevi, Ankara.
- Liao, S.S.C., Whitman, R.W.,** 1986, Overburden Correction Factors for SPT in Sand, ASCE, *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.112, No.GT3, pp.373-377.
- Le Pichon, X., Şengör, A.M.C., Demirbağ, E., Rangin, C., İmren, C., Armijo, R., Görür, N., Çağatay, N., Mercier de Lepinay, B., Meyer, B., Saatçılar, R., Tok, B.,** 2001, The active Main Marmara Fault, *Earth and Planetary Science Letters*, 192, 595-616.
- Lo Presti, D.C.F., Lai, C.,** 1989, Shear Wave Velocity from Penetration Tests, Atti del Dipartimento di Ingegneria Strutturale, Politecnico di Torino, Torino.
- Melzer, K.,** 1971, The Standart Penetration Test, discussion to De Mello’s paper, *Proceedings of the Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Puerto Rico, Vol. III, pp.80-81.
- Ohba, S., Toriuma, I.,** 1972, Research on Vibrational Characteristics of Soil Deposits in Osaka, Part 2, On Velocities of Wave Propagation and Predominant Periods of Soil Deposits, Abstracts of Technical Meeting of Architectural Institute of Japan.
- Ohsaki, Y., Iwasaki, R.,** 1973, On Dynamic Shear Moduli and Poisson’s Ratio of Soil Deposits, *Soil and Foundation*, Vol. 13, No. 4, pp.61-73.
- Ohsaki, Y., Sakaguchi, O.,** 1972, Major Types of Soil Deposits in Urban Areas of Japan, *Faculty of Engineering Research Report 72-03*, Univesity of Tokyo (in Japanese).
- Ohta, Y., Goto, N.,** 1978, Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 6, pp. 167-187.
- Ohta, Y., et al,** 1972, Elastic Moduli of Soil Deposits Estimated by N-values, *Proceedings of the Seventh Annual Conference, The Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering* (in Japanese).

- Peck, R., Hanson, W., Thornburn, T.,** 1974, Foundation Engineering, John Wiley and Sons Inc., New York.
- Sakai, Y.,** 1968, A Study on the Determination of S-Wave Velocity by the Soil Penetrometer Test, (in Japanese, as translated by J.Inove).
- Sanglerat, G.,** 1972, The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publishing Co., Amsterdam.
- Schmertmann, J.,** 1971, The Standard Penetration Test, discussion to De Mello's paper, *Proceedings of the Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Puerto Rico, Vol.III, pp.90-98.
- Schmertmann, J.H.,** 1978, Use of the SPT to Measure Dynamic Soil Properties? Yes, But., Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654, pp.341-355.
- Schultze, E., Menzenbach, E.,** 1961, Standard Penetration Test and Compressibility of Soils, *Proceedings of the Fifth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Paris, Vol.1, pp.527-532.
- Seed, H.B., Mori, K., Chan, C.,** 1977, Influence of Seismic History on Liquefaction of Sands, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, Vol.103,GT4, pp.257-270.
- Seed, H.B., Idriss, I.M.,** 1981, Evaluation of Liquefaction Potential of Sand Deposits Based on Observations of Performance in Previous Earthquakes, *Proceedings of the Conference on In Situ Testing to Evaluate Liquefaction Susceptibility*, ASCE, St. Louis, MO, 26 pp.
- Shibata, T.,** 1970, The Relationship Between The N-Value and S-Wave Velocity in the Soil Layer, Disaster Prevention Research Laboratory, Kyoto University (in Japanese; as translated by Y.Yamamoto).
- Sivrikaya, O.,** 2003, "Standart Penetrasyon Deneyi İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türkiye'deki Uygulaması", *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Stokoe, K.H., II., Arnold, E.J., Hoar, R.J., Shirley, D.J., Anderson, D.G.,** 1978, Development of a Bottom-Hole Device for Offshore Shear Wave Velocity Measurement, *Proceedings of the Tenth Annual Offshore Technology Conference*, Paper No. OTC 3210, pp. 1367-1380.
- Stokoe, K.H., II., Mok, Y.J., Lee, N., Lopez, R.,** 1989, In Situ Seismic Methods: Recent Advances in Testing, Understanding and Applications, *Conferenze di Geotecnica di Torino XIV Ciclo*, Torino, Italy.

- Sykora, D.W., Stokoe, K.H., II.,** 1983, Correlations of In Situ Measurements in Sands of Shear Wave Velocity, Soil Characteristics, and Site Conditions, *Geotechnical Engineering Report GR83-33*, The University of Texas, Austin, 484 p.
- Sykora, D.W., ve Koester, P.J.,** 1988, Correlations Between Dynamic Shear Resistance and Standard Penetration Resistance in Soils, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II*, 389-404.
- Pitilakis, K., Raptakis, D., Lontzetidis, K., Tika-Vassilikou, T., Jongmans, D.,** 1999, Geotechnical and Geophysical Description of Euro-Seistests, Using Field and Laboratory Tests and Moderate Strong Groun Motions, *J Earthquake Eng* 3(3):381-409.
- Türel, S.,** 2006, İstatistik Ders Notları, S. Demirel Üni. Basımevi, Isparta.
- Türkiye Cumhuriyeti İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB), Japon Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA), Türkiye Cumhuriyeti İstanbul İli Sismik Mikro-Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Azaltma Temel Planı Çalışması Son Raporu Cilt V, 2002 Eylül, İstanbul.
- Türkiye Cumhuriyeti İstanbul Büyükşehir Belediyesi, Zemin ve Deprem İnceleme Müdürlüğü, İstanbul Avrupa Yakası Güneyi 1/5000 Ölçekli İmar Planlarına Esas, Jeoloji/Jeoteknik Etüd Raporu, 2001, Ocak, İstanbul.
- Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2006.
- Türkiye Cumhuriyeti Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası, 1996.
- Tüysüz, O.,** 2003, İstanbul İçin Deprem Senaryolarının Hazırlanmasında Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, *İTÜ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü Kuvaterner Çalıştayı IV*, 164-173.
- Vucetic, M., Dobry, R.,** 1991, Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Vol.117, No.1, January, pp.89-107.
- <http://cc.uoregon.edu/cnews/spring2000/outliers.html>
- <http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/hipotez%20testi.pdf>
- <http://mf.kou.edu.tr/jeoloji/yolcubal/folders/istatistik/regresyon.pdf>
- http://ozgur.beykent.edu.tr/~lokman/kvt_w10.ppt
- http://www.ces.clemson.edu/usTaiwanworkshop/Paper_SDEE/SDEE_Chen_MH.pdf
- <http://www.ibb.gov.tr/tr-TR/SubSites/IstanbulVeDeprem/Documents/avrupa.doc>
- <http://www.math.ou.edu/~mcknight/4753/spss/SPSS7.pdf>

EK - A

Killi Zeminlere Ait Verilerin Analiz Aşamaları

KİLLİ ZEMİNLERDE SPT-N İLE Vs VERİLERİNİN ANALİZ AŞAMALARI

Tablo A.1: Kil Zeminler SPT-N-Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	499	1,00	79,00	39,6273	20,98855
Vs	499	110,00	5000,00	377,5070	403,35990
Geçerli N	499				

Tablo A.2: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

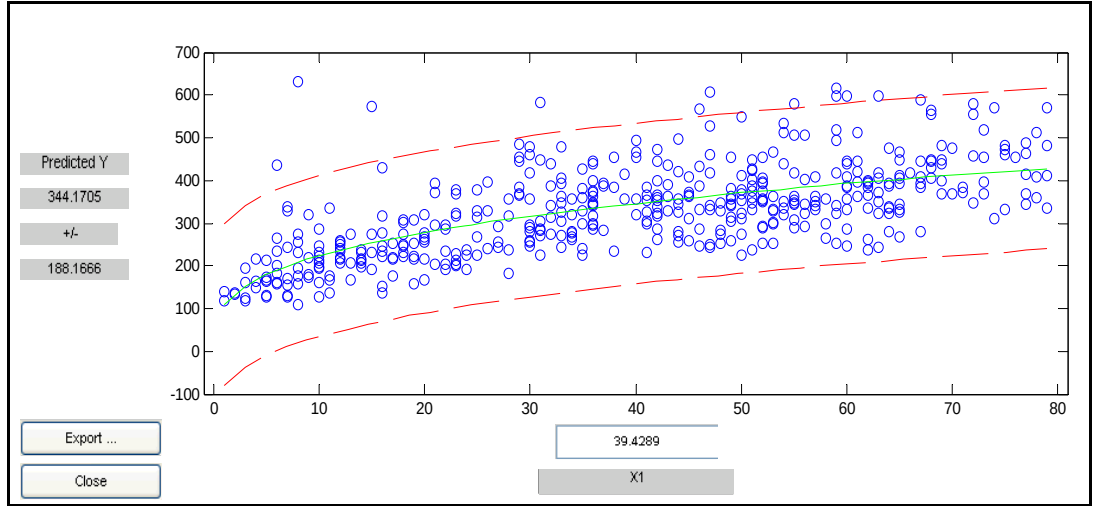
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	485	1,00	79,00	39,4289	21,03415
Vs	485	110,00	630,00	329,3072	104,27797
Geçerli N	485				

Tablo A.3: SPT-N-Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

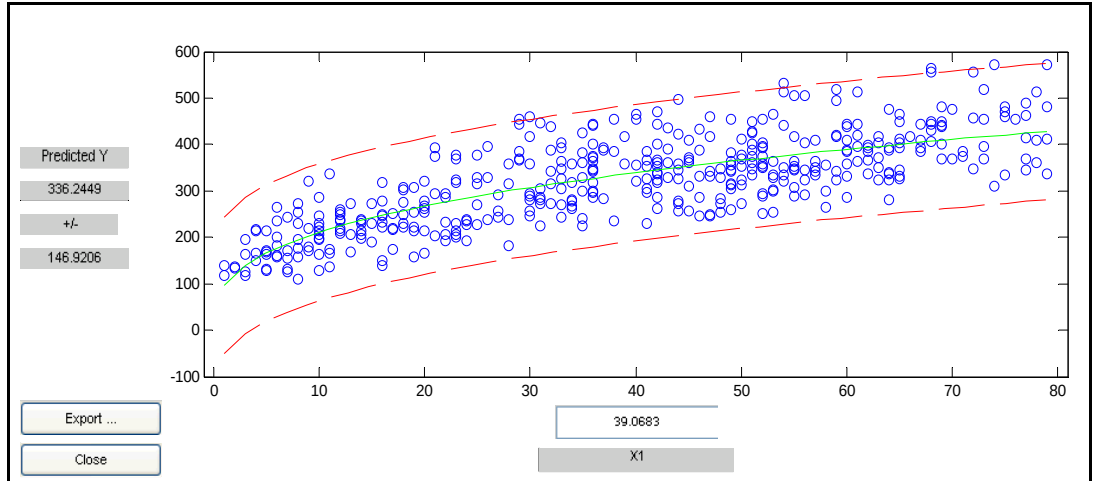
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,443	384,334	1	483	,000	199,188	3,300		
Logaritmik	,444	385,045	1	483	,000	35,818	85,305		
Ters	,197	118,158	1	483	,000	354,416	-479,026		
Kuadratik	,459	204,452	2	482	,000	166,200	5,721	-,031	
Kübik	,465	139,525	3	481	,000	137,913	9,568	-,149	,001
Bileşik	,494	470,898	1	483	,000	198,892	1,011		
Üslü	,551	593,060	1	483	,000	106,825	,311		
S	,288	195,156	1	483	,000	5,842	-1,898		
Büyüme	,494	470,898	1	483	,000	5,293	,011		
Üstel	,494	470,898	1	483	,000	198,892	,011		
Lojistik	,494	470,898	1	483	,000	,005	,989		

Tablo A.4: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

	Vs
N	485
Normal	
Ortalama	329,3072
Parametreler(a,b)	
Std. Sapma	104,27797
En Uç Farklılıklar	
Mutlak	,041
Pozitif	,041
Negatif	-,020
Kolmogorov-Smirnov Z	,913
Anlamlılık	,375



Şekil A.1: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



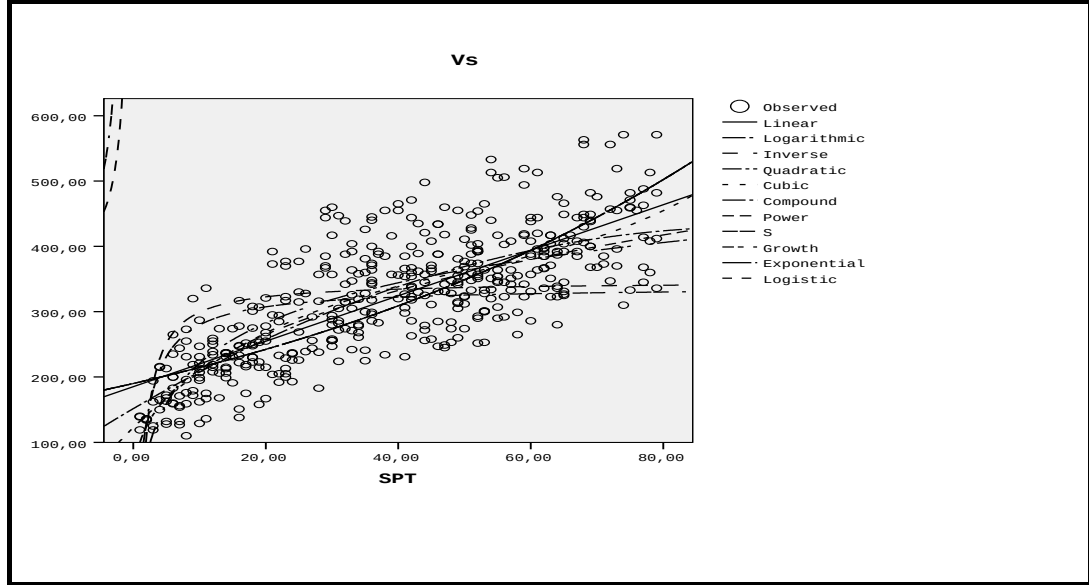
Şekil A.2: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo A.5: Kil Zeminler SPT-N-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,587	643,235	1	452	,000	185,108	3,482		
Logaritmik	,579	621,965	1	452	,000	16,155	88,939		
Ters	,241	143,603	1	452	,000	346,404	-473,569		
Kuadratik	,607	348,425	2	451	,000	151,528	5,937	-,032	
Kübik	,615	239,827	3	450	,000	122,430	9,889	-,152	,001
Bileşik	,600	678,043	1	452	,000	190,077	1,012		
Üslü	,661	879,854	1	452	,000	99,274	,328		
S	,326	218,284	1	452	,000	5,823	-1,899		
Büyüme	,600	678,043	1	452	,000	5,247	,012		
Üstel	,600	678,043	1	452	,000	190,077	,012		
Lojistik	,600	678,043	1	452	,000	,005	,988		

Tablo A.6: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	454	1,00	79,00	39,0683	21,02752
Vs	454	110,00	571,00	321,1498	95,54440
Geçerli N	454				



Şekil A.3: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

KİL ZEMİNLER EFEKTİF DÜŞEY GERİLME İLE Vs İLİŞKİSİ

Tablo A.7: Kil Zeminler D.Gerilme -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	531	1,70	163,20	33,5243	25,71801
Vs	531	110,00	5000,00	383,0320	393,04783
Geçerli N	531				

Tablo A.8: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistikî Değerler

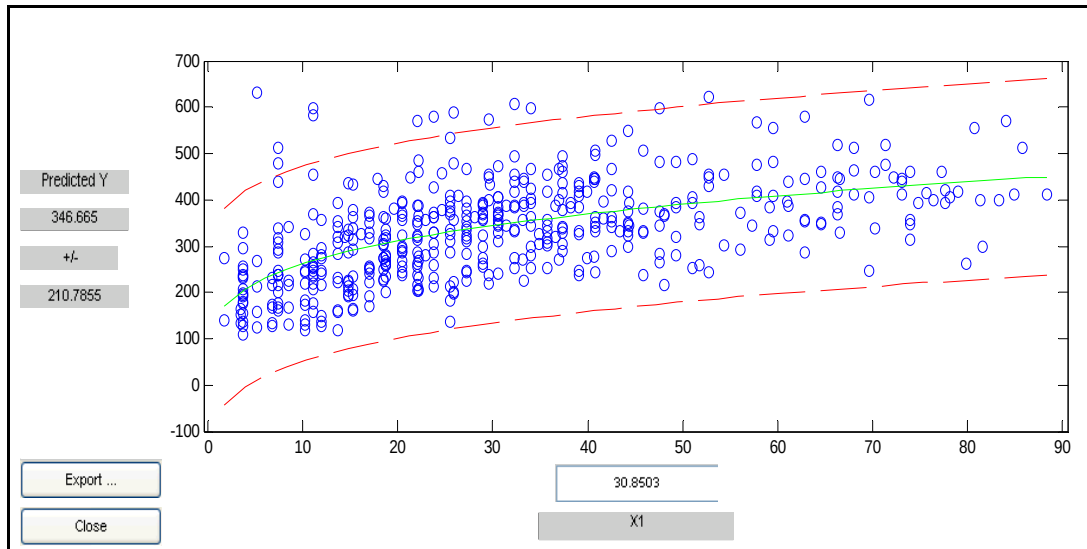
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	500	1,70	88,40	30,8503	19,73534
Vs	500	110,00	630,00	331,8920	104,29200
Geçerli N	500				

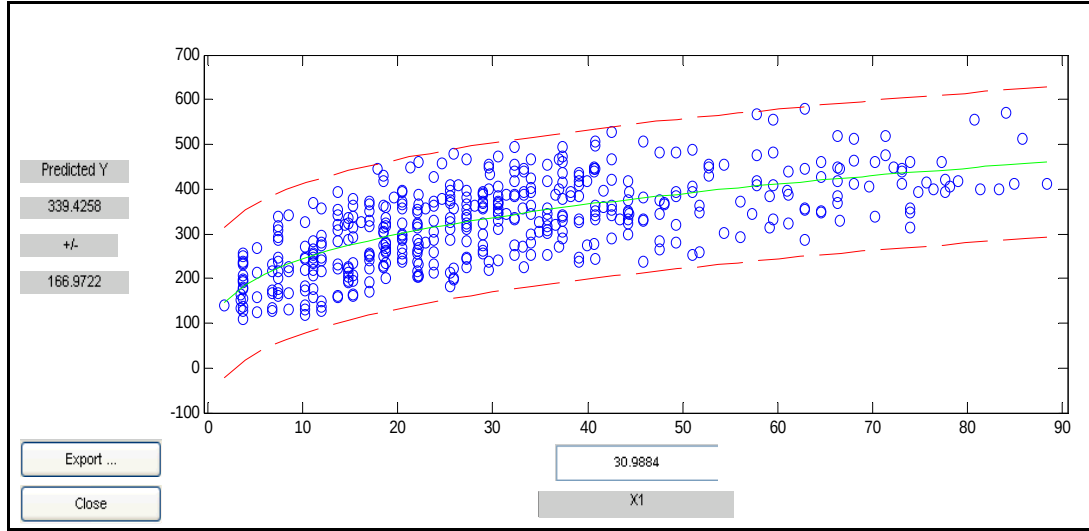
Tablo A.9: D.Gerilme -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,283	196,155	1	498	,000	245,228	2,809		
Logaritmik	,323	237,351	1	498	,000	87,227	76,855		
Ters	,210	132,547	1	498	,000	374,153	-716,231		
Kuadratik	,327	120,591	2	497	,000	194,077	6,572	-,048	
Kübik	,331	81,842	3	496	,000	172,696	9,389	-,136	,001
Bileşik	,301	214,130	1	498	,000	234,831	1,010		
Üslü	,374	298,035	1	498	,000	132,994	,270		
S	,265	179,962	1	498	,000	5,906	-2,628		
Büyüme	,301	214,130	1	498	,000	5,459	,009		
Üstel	,301	214,130	1	498	,000	234,831	,009		
Lojistik	,301	214,130	1	498	,000	,004	,991		

Tablo A.10: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		500
Normal	Ortalama	331,8920
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	104,29200
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,041
	Pozitif	,041
	Negatif	-,020
Kolmogorov-Smirnov Z		,908
Anlamlılık		,382

**Şekil A.4:** Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



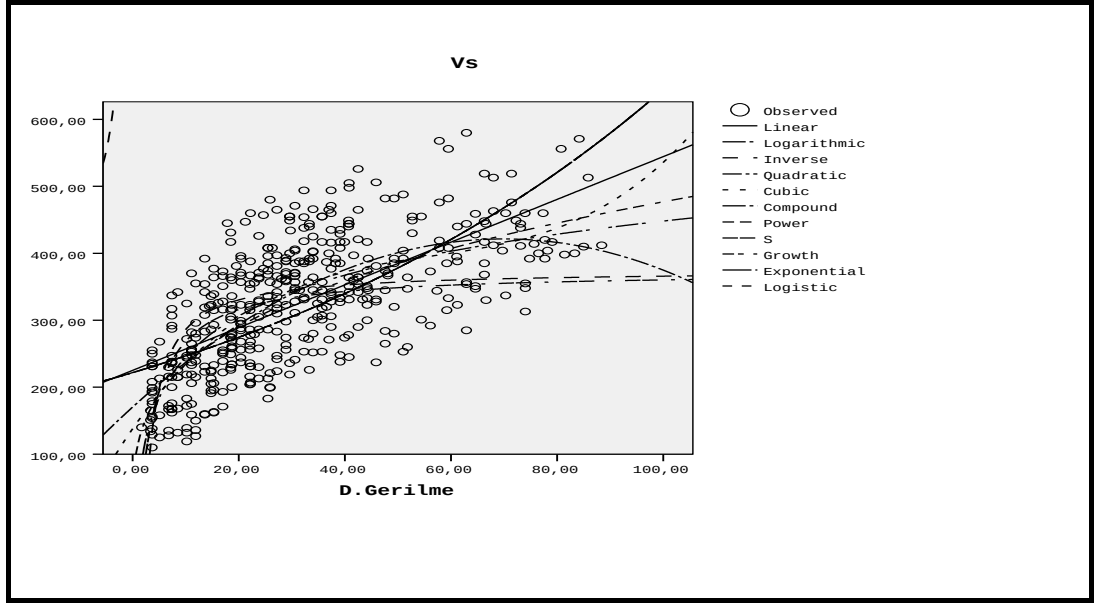
Şekil A.5: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo A.11: Kil Zeminler D.Gerilme-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,430	350,839	1	466	,000	225,112	3,193		
Logaritmik	,489	445,641	1	466	,000	42,177	88,161		
Ters	,334	233,438	1	466	,000	374,704	-885,908		
Kuadratik	,488	221,389	2	465	,000	170,205	7,188	-,051	
Kübik	,499	154,133	3	464	,000	137,789	11,395	-,181	,001
Bileşik	,412	326,282	1	466	,000	221,788	1,011		
Üslü	,515	495,383	1	466	,000	114,962	,309		
S	,391	299,126	1	466	,000	5,920	-3,273		
Büyüme	,412	326,282	1	466	,000	5,402	,011		
Üstel	,412	326,282	1	466	,000	221,788	,011		
Lojistik	,412	326,282	1	466	,000	,005	,989		

Tablo A.12: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D.Gerilme	468	1,70	88,40	30,9884	19,50431
Vs	468	110,00	580,00	324,0662	95,03446
Geçerli N	468				



Şekil A.6: D.Gerilme-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

KİL ZEMİNLER ÇOKLU REGRESYON

Tablo A.13: Kil Zeminler SPT-N- σ_v -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	531	1,00	167,00	42,7175	24,16069
D.Gerilme	531	110,00	5000,00	383,0320	393,04783
Vs	531	1,70	163,20	33,5243	25,71801
Geçerli N	531				

Tablo A.14: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistik Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	499	1,00	107,00	40,9519	22,42063
D.Gerilme	499	1,70	88,40	30,8372	19,75296
Vs	499	110,00	630,00	331,6854	104,29416
Geçerli N	499				

Tablo A.15: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

	Vs
N	434
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama 319,5599
	Std. Sapma 93,39280
En Uç Farklılıklar	Mutlak ,044
	Pozitif ,042
	Negatif ,044
Kolmogorov-Smirnov Z	,922
Anlamlılık	,363

Tablo A.16: Çoklu Analiz Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	434	1,00	79,00	38,7765	20,95168
D.Gerilme	434	1,70	88,40	30,4251	19,49327
Vs	434	110,00	571,00	319,5599	93,39280
Geçerli N	434				

Tablo A.17: Parametre Tahminleri

Parametre	Tahmin	Std. Hata	95% Güven Aralığında	
			Alt Sınır	Üst Sınır
b1	,240	,020	,201	,279
b2	,121	,018	,085	,156
b3	92,599	4,953	82,864	102,334

Tablo A.18: Kil Zeminlerin Çoklu Regresyonda Korelasyonun Belirlenmesi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması
Regresyon	46803174,115	3	15601058,038
Kalıntı	1292988,885	431	2999,974
Düzeltilmemiş Toplam	48096163,000	434	
Düzeltilmiş Toplam	3776718,942	433	

KİL ZEMİNLER DERİNLİK İLE Vs İLİŞKİSİ**Tablo A.19: Kil Zeminler Derinlik -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler**

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	531	2,00	192,00	35,4878	30,50341
Vs	531	110,00	5000,00	383,0320	393,04783
Geçerli N	531				

Tablo A.20: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistikî Değerler

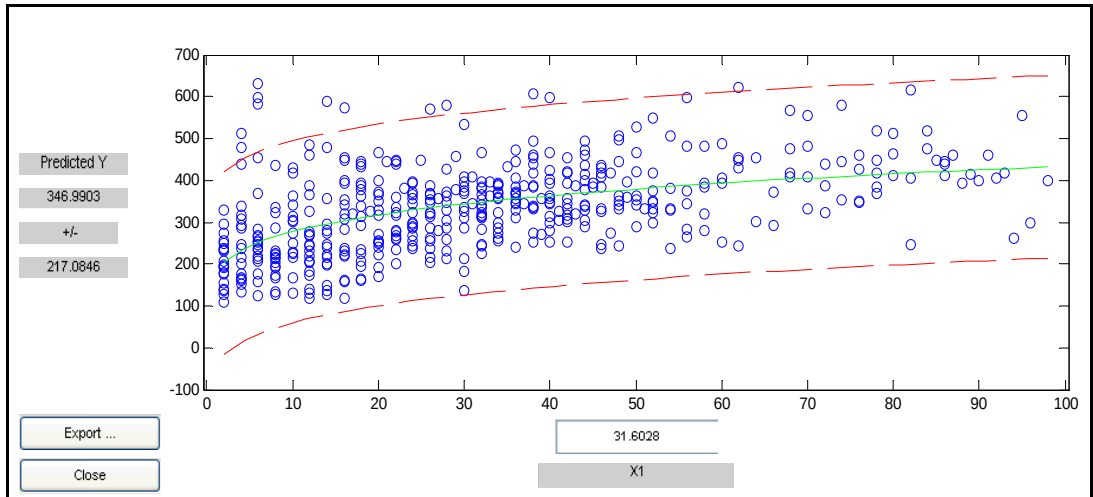
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	496	2,00	98,00	31,6028	22,18348
Vs	496	110,00	630,00	330,7258	103,71259
Geçerli N	496				

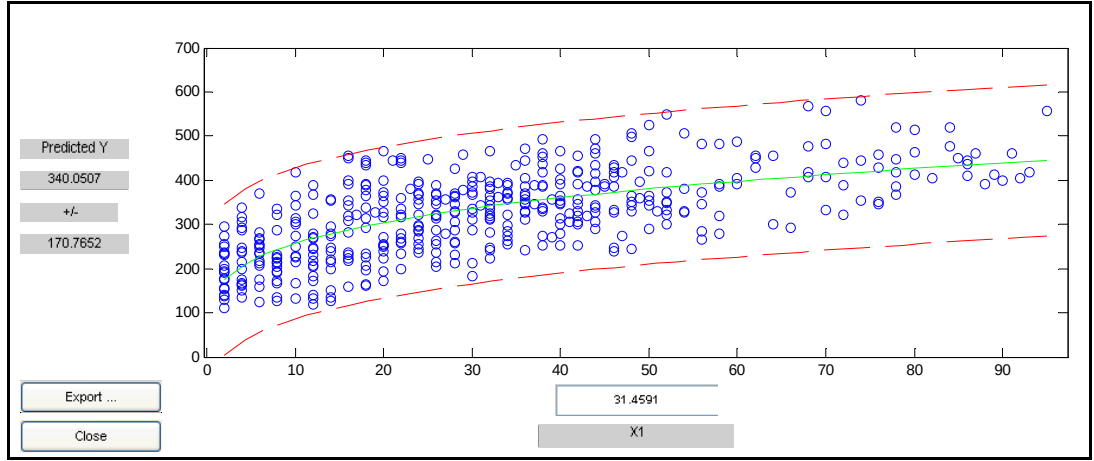
Tablo A.21: Derinlik -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,258	171,783	1	494	,000	255,676	2,375		
Logaritmik	,267	179,756	1	494	,000	149,910	57,849		
Ters	,163	96,287	1	494	,000	360,531	-398,943		
Kuadratik	,280	95,841	2	493	,000	227,588	4,471	-,026	
Kübik	,280	63,777	3	492	,000	226,121	4,678	-,032	4,67E-005
Bileşik	,273	185,444	1	494	,000	243,392	1,008		
Üslü	,310	221,796	1	494	,000	165,539	,204		
S	,203	125,628	1	494	,000	5,856	-1,457		
Büyüme	,273	185,444	1	494	,000	5,495	,008		
Üstel	,273	185,444	1	494	,000	243,392	,008		
Lojistik	,273	185,444	1	494	,000	,004	,992		

Tablo A.22: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		496
Normal	Ortalama	330,7258
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	103,71259
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,041
	Pozitif	,041
	Negatif	-,021
Kolmogorov-Smirnov Z		,904
Anlamlılık		,387

**Şekil A.7:** Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



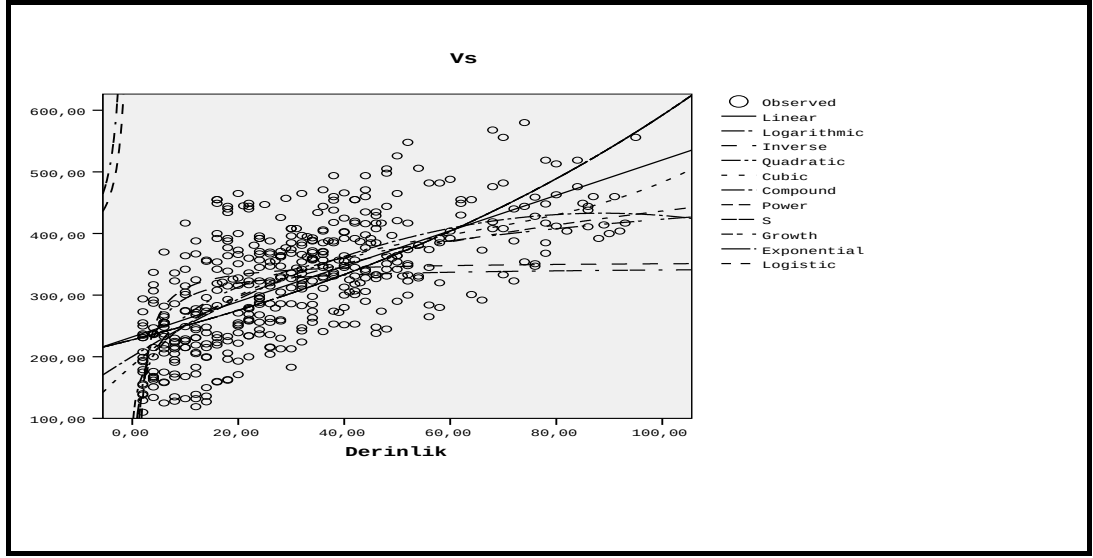
Şekil A.8: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo A.23: Kil Zeminler Derinlik-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,428	346,114	1	462	,000	232,134	2,873		
Logaritmik	,438	359,614	1	462	,000	107,921	68,456		
Ters	,248	152,041	1	462	,000	355,414	-447,006		
Kuadratik	,460	196,379	2	461	,000	200,476	5,240	-,030	
Kübik	,464	132,995	3	460	,000	185,790	7,333	-,093	,000
Bileşik	,404	313,139	1	462	,000	227,499	1,010		
Üslü	,453	382,279	1	462	,000	145,458	,239		
S	,279	178,524	1	462	,000	5,848	-1,626		
Büyüme	,404	313,139	1	462	,000	5,427	,010		
Üstel	,404	313,139	1	462	,000	227,499	,010		
Lojistik	,404	313,139	1	462	,000	,004	,990		

Tablo A.24: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	464	2,00	95,00	31,4591	21,47173
Vs	464	110,00	580,00	322,5172	94,26230
Geçerli N	464				



Şekil A.9: Derinlik-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

EK - B

Kumlu Zeminlere Ait Verilerin Analiz Aşamaları

KUM ZEMİNLERDE SPT-N İLE V_s VERİLERİNİN ANALİZ AŞAMALARI

Tablo B.1: Kum Zeminler SPT-N-Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

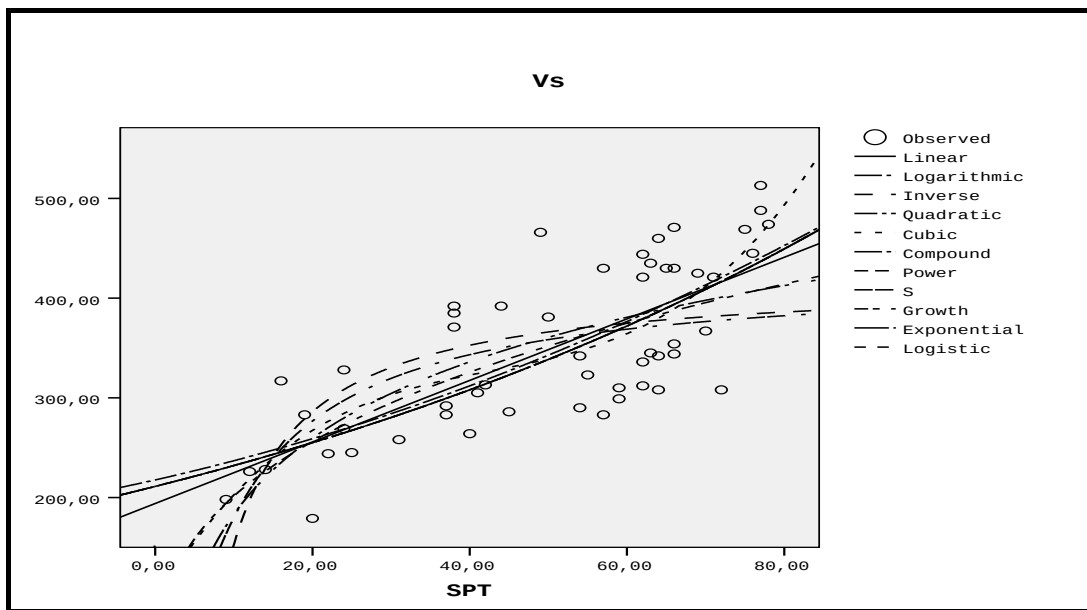
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	56	9,00	78,00	48,5536	20,56026
Vs	56	179,00	1180,00	379,7321	157,41578
Geçerli N	56				

Tablo B.2: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	53	9,00	78,00	50,3774	19,57552
Vs	53	179,00	513,00	349,5094	81,90699
Geçerli N	53				

Tablo B.3: SPT-N-Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

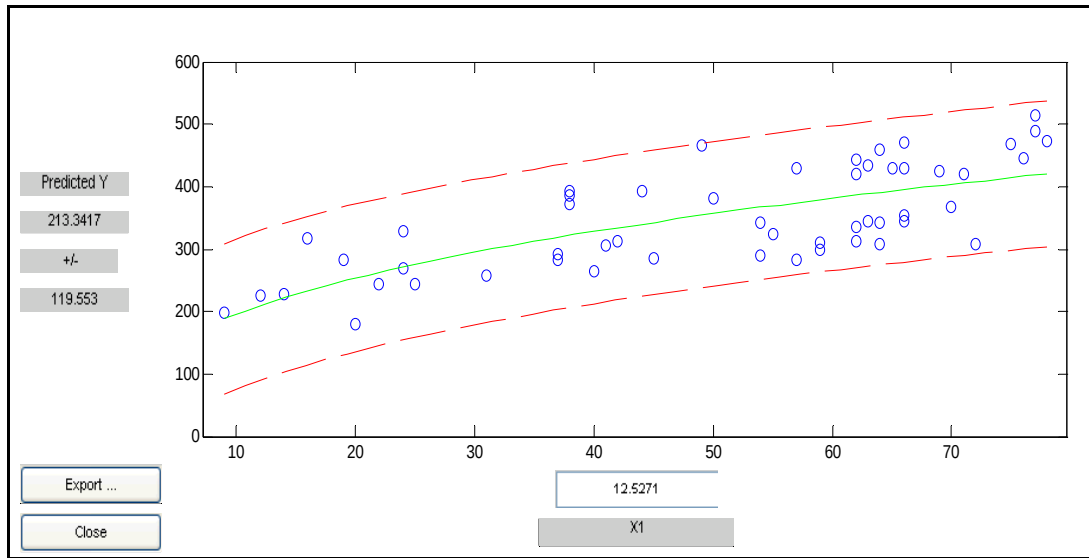
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,544	60,939	1	51	,000	193,985	3,087		
Logaritmik	,506	52,160	1	51	,000	-70,978	110,354		
Ters	,404	34,500	1	51	,000	419,396	-2666,690		
Kuadratik	,548	30,332	2	50	,000	217,643	1,779	,015	
Kübik	,577	22,273	3	49	,000	96,468	13,115	-,271	,002
Bileşik	,572	68,092	1	51	,000	211,127	1,009		
Üslü	,560	64,873	1	51	,000	90,698	,347		
S	,474	45,896	1	51	,000	6,054	-8,624		
Büyüme	,572	68,092	1	51	,000	5,352	,009		
Üstel	,572	68,092	1	51	,000	211,127	,009		
Lojistik	,572	68,092	1	51	,000	,005	,991		



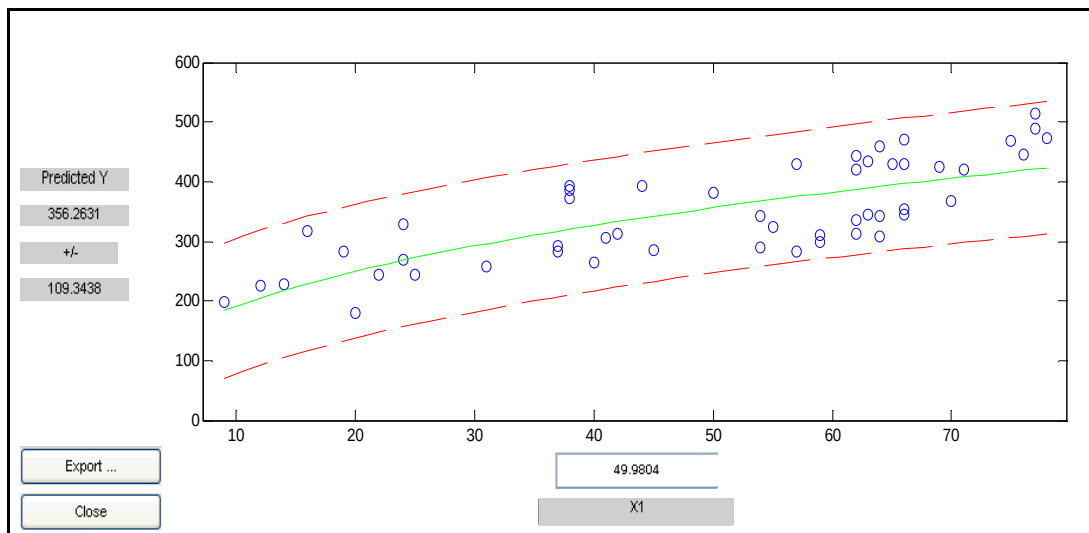
Şekil B.1: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo B.4: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		53
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	349,5094
	Std. Sapma	81,90699
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,111
	Pozitif	,088
	Negatif	-,111
Kolmogorov-Smirnov Z		,805
Anlamlılık		,537



Şekil B.2: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



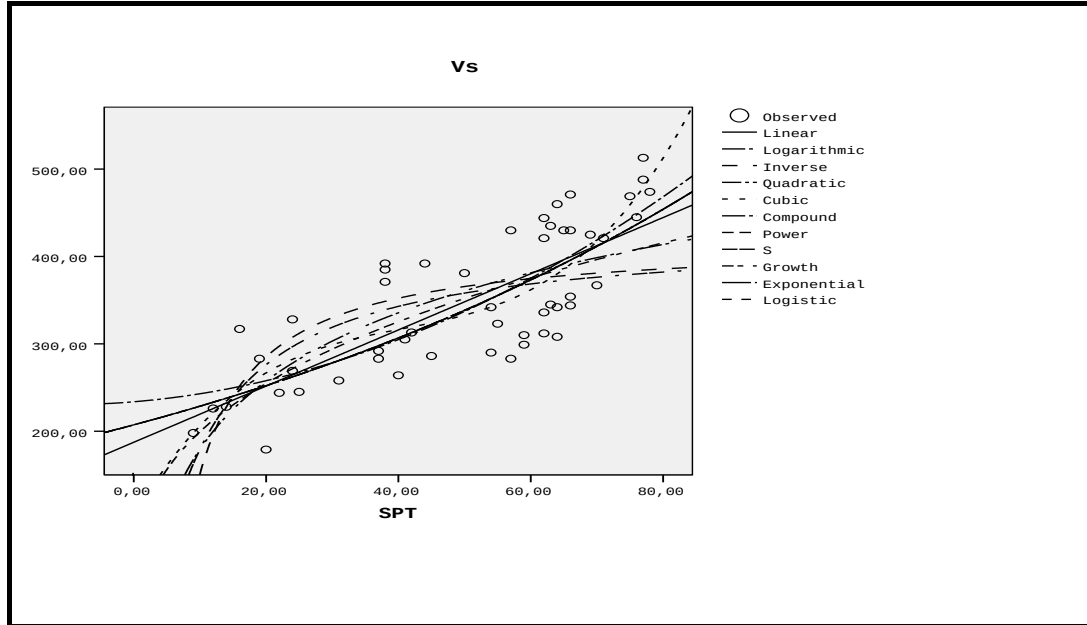
Şekil B.3: Güven Aralığı Sınırlarındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo B.5: Kum Zeminler SPT-N-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,603	74,485	1	49	,000	187,310	3,216		
Logaritmik	,544	58,367	1	49	,000	-80,443	112,770		
Ters	,423	35,951	1	49	,000	419,307	-2683,047		
Kuadratik	,618	38,857	2	48	,000	233,711	,628	,029	
Kübik	,653	29,516	3	47	,000	103,130	12,853	-,279	,002
Bileşik	,623	81,119	1	49	,000	207,266	1,010		
Üslü	,594	71,691	1	49	,000	88,326	,353		
S	,492	47,428	1	49	,000	6,054	-8,672		
Büyüme	,623	81,119	1	49	,000	5,334	,010		
Üstel	,623	81,119	1	49	,000	207,266	,010		
Lojistik	,623	81,119	1	49	,000	,005	,990		

Tablo B.6: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	51	9,00	78,00	49,9804	19,72257
Vs	51	179,00	513,00	348,0392	81,66418
Geçerli N	51				

**Şekil B.4:** Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

KUM ZEMİNLERDE EFEKTİF DÜŞEY GERİLME İLE Vs İLİŞKİSİ

Tablo B.7: Tüm Zeminler D.Gerilme -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

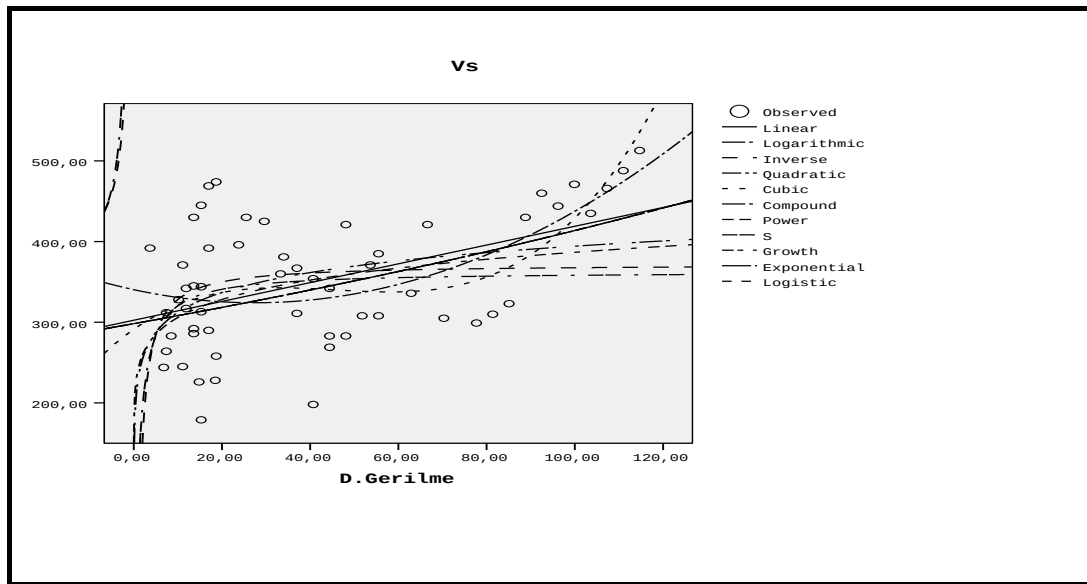
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D. Gerilme	60	3,70	114,70	39,4175	32,18775
Vs	60	179,00	1180,00	378,3833	152,28376
Geçerli N	60				

Tablo B.8: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D. Gerilme	57	3,70	114,70	40,9254	32,32682
Vs	57	179,00	513,00	350,2105	79,39992
Geçerli N	57				

Tablo B.9: D.Gerilme -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

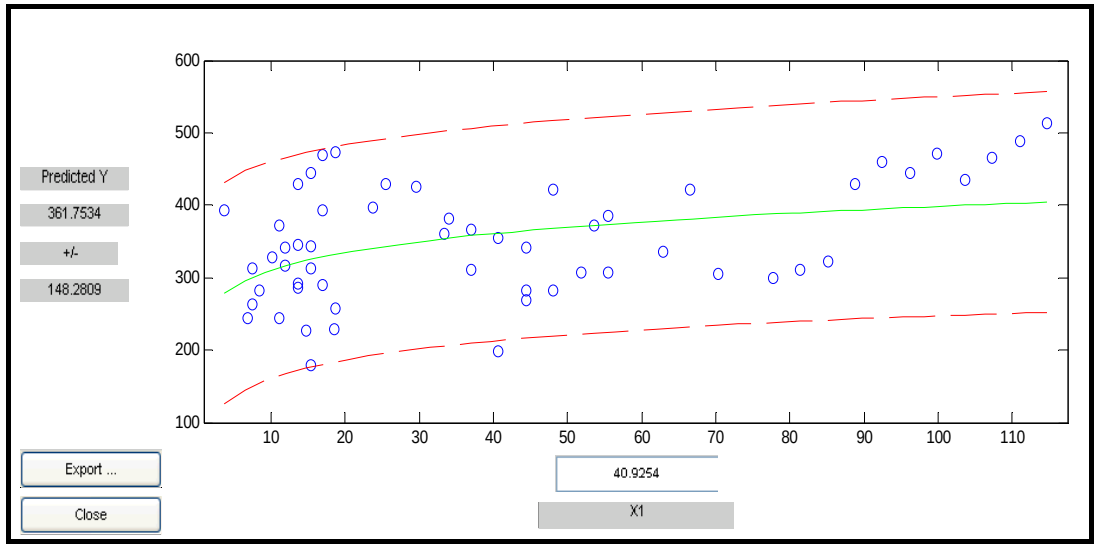
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,225	15,951	1	55	,000	302,550	1,165		
Logaritmik	,155	10,070	1	55	,002	229,891	35,707		
Ters	,066	3,874	1	55	,054	372,001	-438,251		
Kuadratik	,286	10,795	2	54	,000	340,440	-1,184	,022	
Kübik	,325	8,488	3	53	,000	291,214	3,832	-,091	,001
Bileşik	,199	13,663	1	55	,001	298,257	1,003		
Üslü	,141	9,056	1	55	,004	241,870	,102		
S	,059	3,459	1	55	,068	5,894	-1,241		
Büyüme	,199	13,663	1	55	,001	5,698	,003		
Üstel	,199	13,663	1	55	,001	298,257	,003		
Lojistik	,199	13,663	1	55	,001	,003	,997		



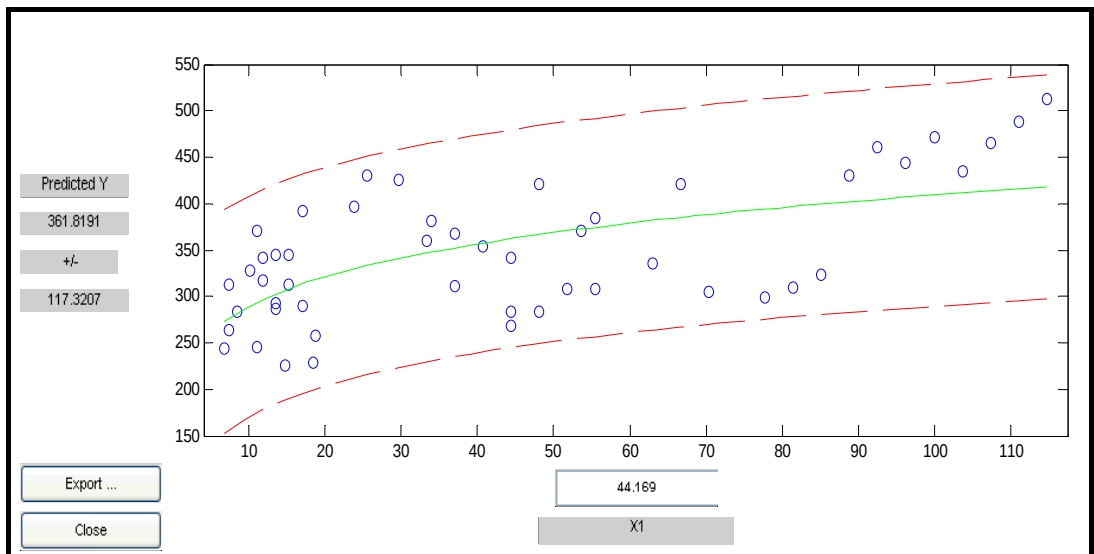
Şekil B.5: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo B.10: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		57
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	350,2105
	Std. Sapma	79,39992
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,094
	Pozitif	,084
	Negatif	-,094
Kolmogorov-Smirnov Z		,713
Anlamlılık		,690



Şekil B.6: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



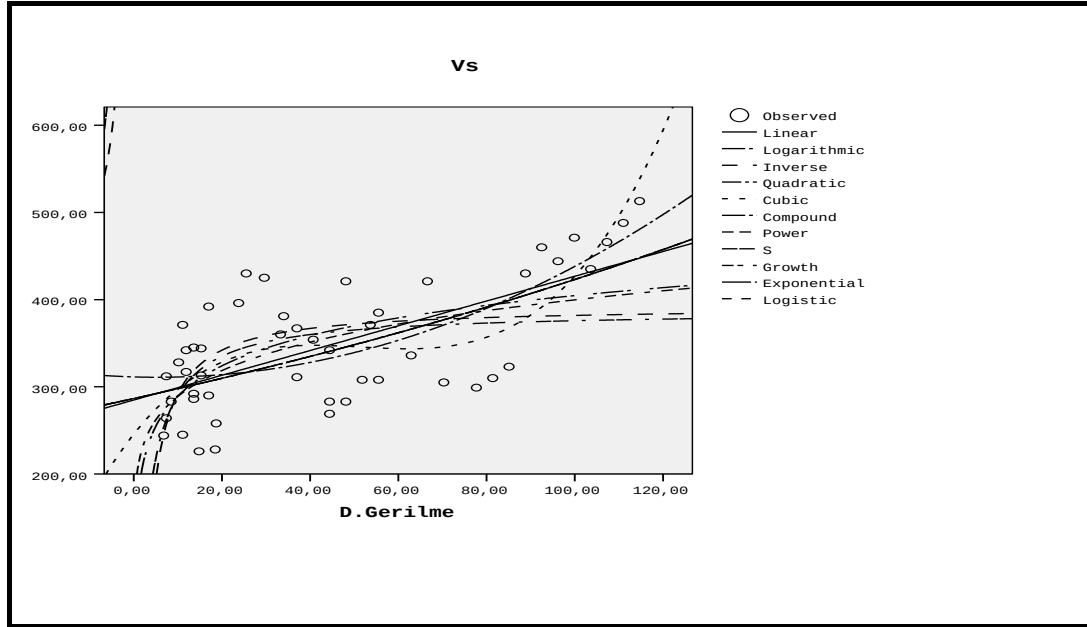
Şekil B.7: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo B.11: Kum Zeminler D.Gerilme-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,425	35,471	1	48	,000	284,794	1,420		
Logaritmik	,357	26,684	1	48	,000	174,037	50,068		
Ters	,272	17,898	1	48	,000	391,879	-998,290		
Kuadratik	,459	19,921	2	47	,000	311,310	-,151	,014	
Kübik	,536	17,723	3	46	,000	245,528	6,385	-,129	,001
Bileşik	,390	30,676	1	48	,000	286,507	1,004		
Üslü	,345	25,256	1	48	,000	208,826	,141		
S	,274	18,139	1	48	,000	5,958	-2,875		
Büyüme	,390	30,676	1	48	,000	5,658	,004		
Üstel	,390	30,676	1	48	,000	286,507	,004		
Lojistik	,390	30,676	1	48	,000	,003	,996		

Tablo B.12: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
D. Gerilme	50	6,80	114,70	44,1690	33,03773
Vs	50	226,00	513,00	347,5000	71,94988
Geçerli N	50				

**Şekil B.8:** D.Gerilme-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

KUM ZEMİNLER ÇOKLU REGRESYON

Tablo B.13: Kum Zeminler SPT-N- σ_v -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	60	9,00	87,00	50,8833	21,72173
D.Gerilme	60	3,70	114,70	39,4175	32,18775
Vs	60	179,00	1180,00	378,3833	152,28376
Geçerli N	60				

Tablo B.14: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	57	9,00	87,00	52,7018	20,71746
D.Gerilme	57	3,70	114,70	40,9254	32,32682
Vs	57	179,00	513,00	350,2105	79,39992
Geçerli N	57				

Tablo B.15: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

	Vs
N	44
Normal	
Parametreler(a,b)	Ortalama
	344,6136
	Std. Sapma
	73,65861
En Uç Farklılıklar	Mutlak
	,112
	Pozitif
	,112
	Negatif
	-,100
Kolmogorov-Smirnov Z	,740
Anlamlılık	,644

Tablo B.16: Çoklu Analiz Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	44	12,00	77,00	49,5909	18,37253
D.Gerilme	44	6,80	114,70	44,1011	33,30305
Vs	44	226,00	513,00	344,6136	73,65861
Geçerli N	44				

Tablo B.17: Parametre Tahminleri

Parametre	Tahmin	Std. Hata	95% Güven Aralığında	
			Alt Sınır	Üst Sınır
b1	,245	,065	,114	,375
b2	,090	,030	,029	,152
b3	97,763	21,402	54,541	140,986

Tablo B.18: Kum Zeminlerin Çoklu Regresyonunda Korelasyonun Belirlenmesi

Kaynak	Karelerin Toplamı	Serbestlik Derecesi	Karelerin Ortalaması
Regresyon	5356953,431	3	1785651,144
Kalıntı	101723,569	41	2481,063
Düzeltilmemiş Toplam	5458677,000	44	
Düzeltilmiş Toplam	233300,432	43	

KUM ZEMİNLER DERİNLİK İLE Vs İLİŞKİSİ**Tablo B.19:** Kum Zeminler Derinlik -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

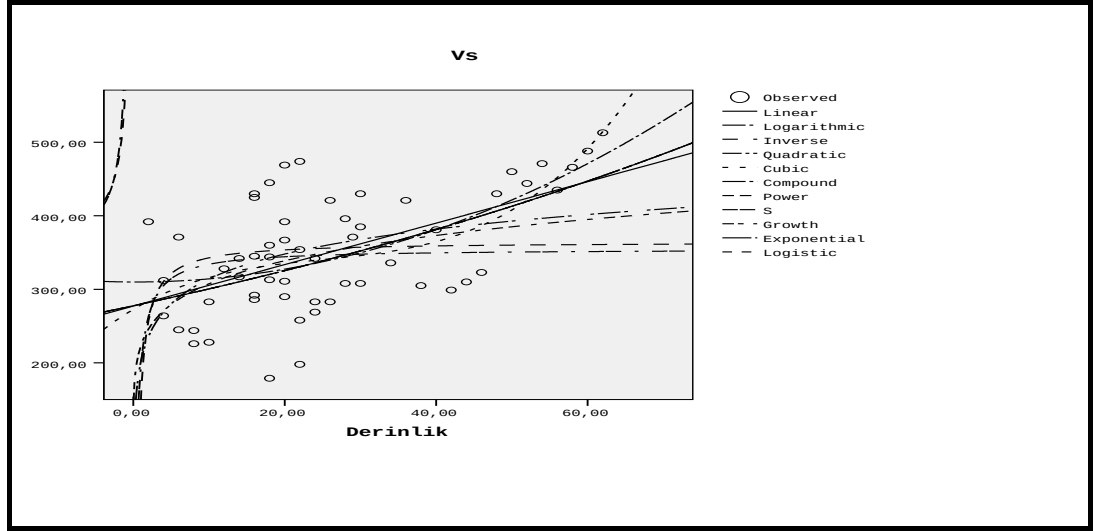
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	60	2,00	62,00	25,2167	15,41746
Vs	60	179,00	1180,00	378,3833	152,28376
Geçerli N	60				

Tablo B.20: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistikî Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	57	2,00	62,00	25,8772	15,53116
Vs	57	179,00	513,00	350,2105	79,39992
Geçerli N	57				

Tablo B.21: Derinlik -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

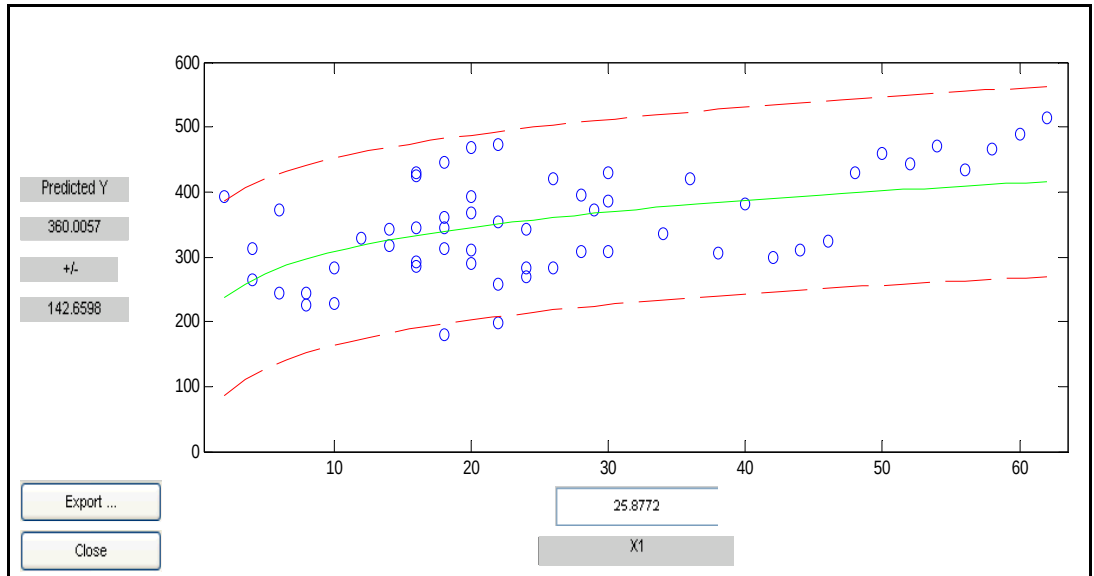
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,304	24,053	1	55	,000	277,238	2,820		
Logaritmik	,199	13,704	1	55	,000	201,453	48,917		
Ters	,044	2,503	1	55	,119	364,482	-216,200		
Kuadratik	,326	13,032	2	54	,000	310,001	-,029	,045	
Kübik	,344	9,272	3	53	,000	272,651	6,094	-,203	,003
Bileşik	,271	20,416	1	55	,000	277,632	1,008		
Üslü	,182	12,246	1	55	,001	223,038	,140		
S	,038	2,197	1	55	,144	5,872	-,607		
Büyüme	,271	20,416	1	55	,000	5,626	,008		
Üstel	,271	20,416	1	55	,000	277,632	,008		
Lojistik	,271	20,416	1	55	,000	,004	,992		



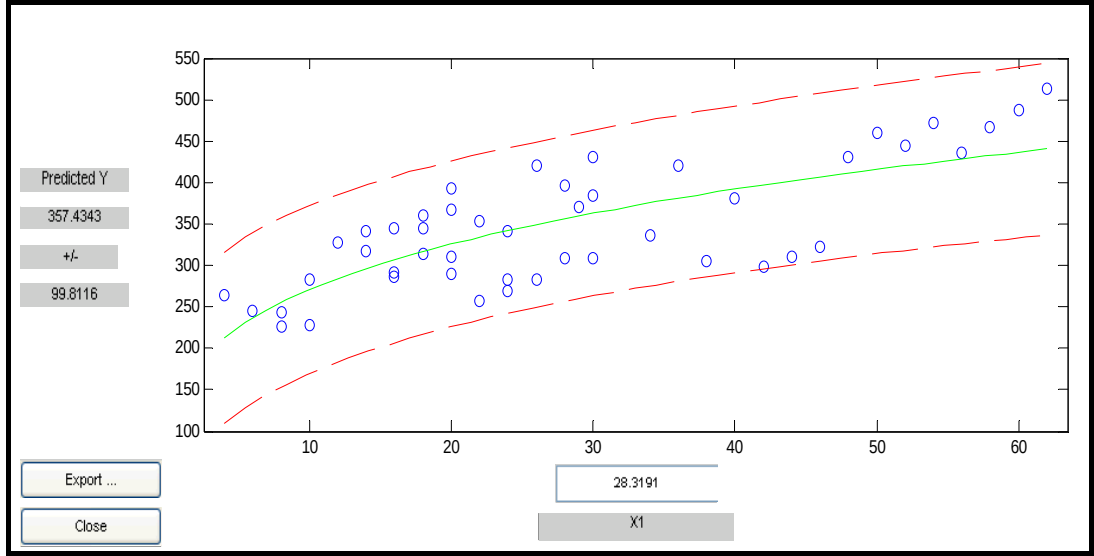
Şekil B.9: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo B.22: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		57
Normal	Ortalama	356,3651
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	83,58255
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,098
	Pozitif	,095
	Negatif	-,098
Kolmogorov-Smirnov Z		,776
Anlamlılık		,583



Şekil B.10: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



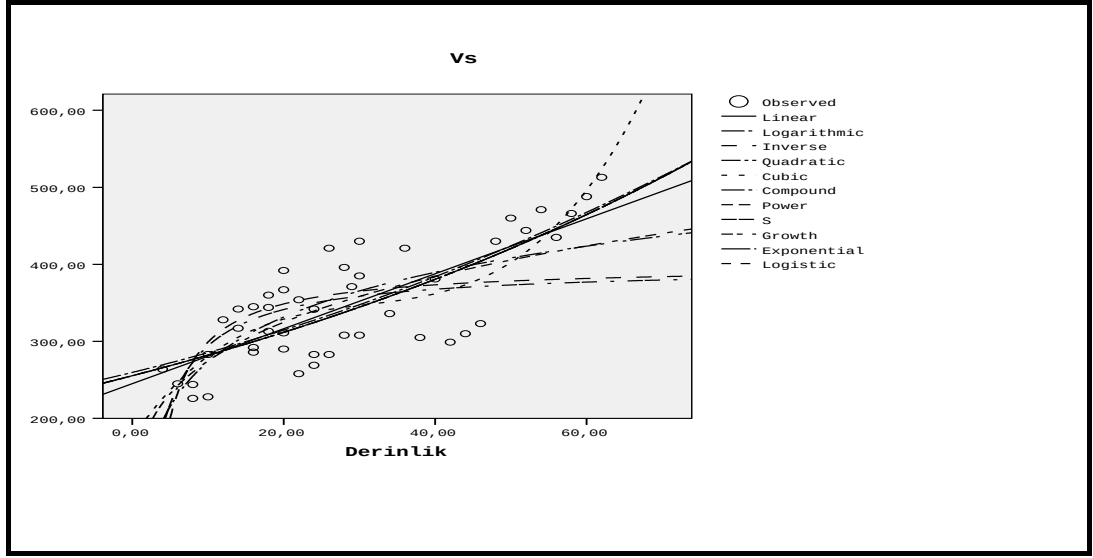
Şekil B.11: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo B.23: Tüm Zeminler Derinlik-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,590	64,715	1	45	,000	245,125	3,566		
Logaritmik	,532	51,242	1	45	,000	80,601	83,771		
Ters	,346	23,836	1	45	,000	398,201	-991,660		
Kuadratik	,593	32,106	2	44	,000	259,695	2,394	,018	
Kübik	,650	26,565	3	43	,000	174,438	14,474	-,430	,005
Bileşik	,561	57,598	1	45	,000	255,407	1,010		
Üslü	,544	53,597	1	45	,000	157,007	,243		
S	,381	27,682	1	45	,000	5,982	-2,981		
Büyüme	,561	57,598	1	45	,000	5,543	,010		
Üstel	,561	57,598	1	45	,000	255,407	,010		
Lojistik	,561	57,598	1	45	,000	,004	,990		

Tablo B.24: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
Derinlik	47	4,00	62,00	28,3191	15,74264
Vs	47	226,00	513,00	346,1064	73,09203
Geçerli N	47				



Şekil B.12: Derinlik-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

EK - C

Formasyonlara Ait Verilerin Analiz Aşamaları

ALÜVYON ZEMİNLER SPT-N İLE Vs VERİLERİNİN ANALİZ AŞAMALARI

Tablo C.1: Alüvyon Zeminler SPT-N-Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

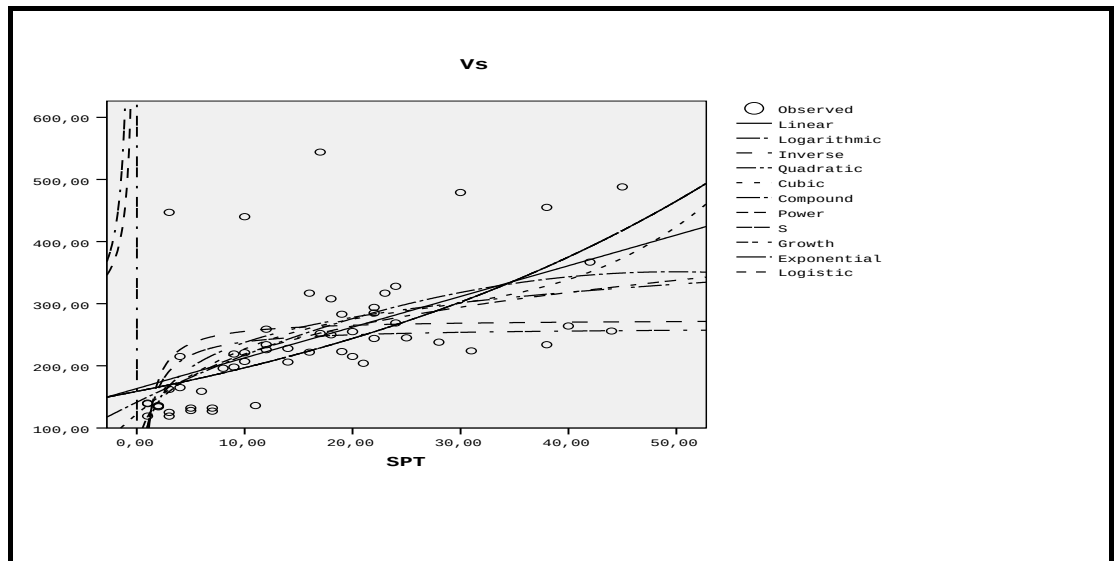
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	61	1,00	70,00	18,4918	16,34485
Vs	61	119,00	1180,00	271,3934	168,47713
Geçerli N	61				

Tablo C.2: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	56	1,00	45,00	15,8750	12,01675
Vs	56	119,00	544,00	241,8571	102,13190
Geçerli N	56				

Tablo C.3: SPT-N-Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

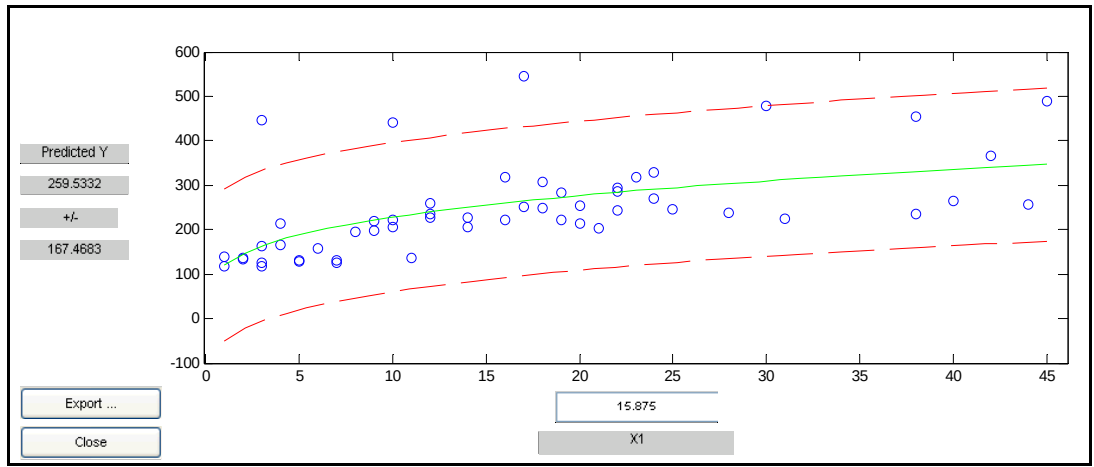
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,338	27,584	1	54	,000	163,403	4,942		
Logaritmik	,339	27,652	1	54	,000	103,483	58,253		
Ters	,205	13,883	1	54	,000	275,156	-196,822		
Kuadratik	,356	14,618	2	53	,000	141,449	8,418	-,084	
Kübik	,363	9,896	3	52	,000	122,446	14,468	-,457	,006
Bileşik	,423	39,587	1	54	,000	158,846	1,022		
Üslü	,477	49,343	1	54	,000	117,965	,269		
S	,310	24,312	1	54	,000	5,568	-,943		
Büyüme	,423	39,587	1	54	,000	5,068	,021		
Üstel	,423	39,587	1	54	,000	158,846	,021		
Lojistik	,423	39,587	1	54	,000	,006	,979		



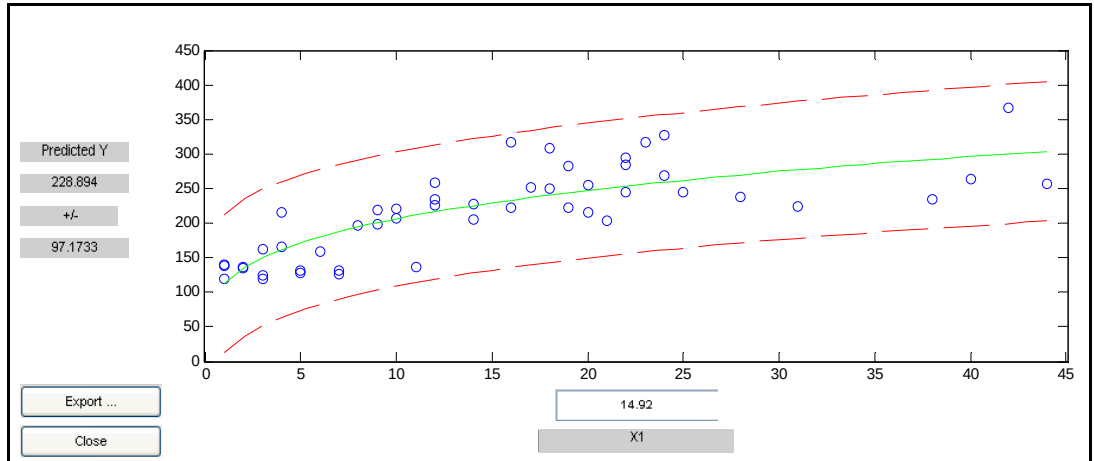
Şekil C.1: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo C.4: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		56
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	241,8571
	Std. Sapma	102,13190
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,148
	Pozitif	,148
	Negatif	-,115
Kolmogorov-Smirnov Z		1,105
Anlamlılık		,174



Şekil C.2: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



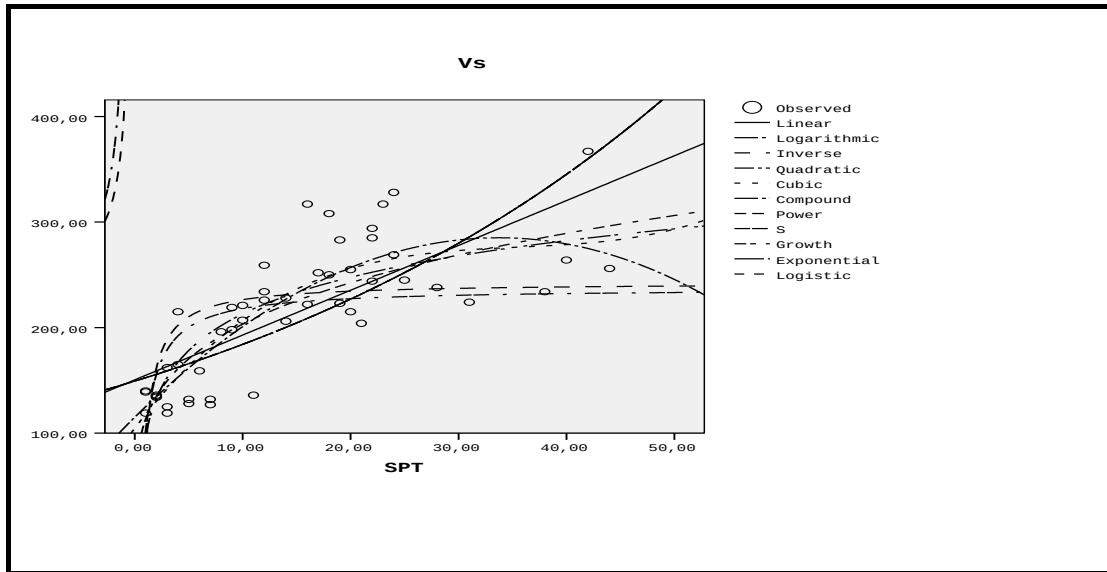
Şekil C.3: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo C.5: Alüvyon Zeminler SPT-N-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,556	60,180	1	48	,000	150,478	4,245		
Logaritmik	,634	83,256	1	48	,000	97,803	50,032		
Ters	,382	29,619	1	48	,000	242,560	-161,459		
Kuadratik	,681	50,064	2	47	,000	115,122	10,075	-,149	
Kübik	,686	33,570	3	46	,000	104,719	13,504	-,366	,003
Bileşik	,559	60,941	1	48	,000	149,335	1,021		
Üslü	,678	101,121	1	48	,000	113,130	,255		
S	,430	36,266	1	48	,000	5,469	-,844		
Büyüme	,559	60,941	1	48	,000	5,006	,021		
Üstel	,559	60,941	1	48	,000	149,335	,021		
Lojistik	,559	60,941	1	48	,000	,007	,979		

Tablo C.6: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	50	1,00	44,00	14,9200	11,21013
Vs	50	119,00	367,00	213,8200	63,80925
Geçerli N	50				

**Şekil C.4:** Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

BAKIRKÖY FORMASYONU SPT-N İLE Vs İLİŞKİSİ

Tablo C.7: Bakırköy Formasyonu SPT-N-Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

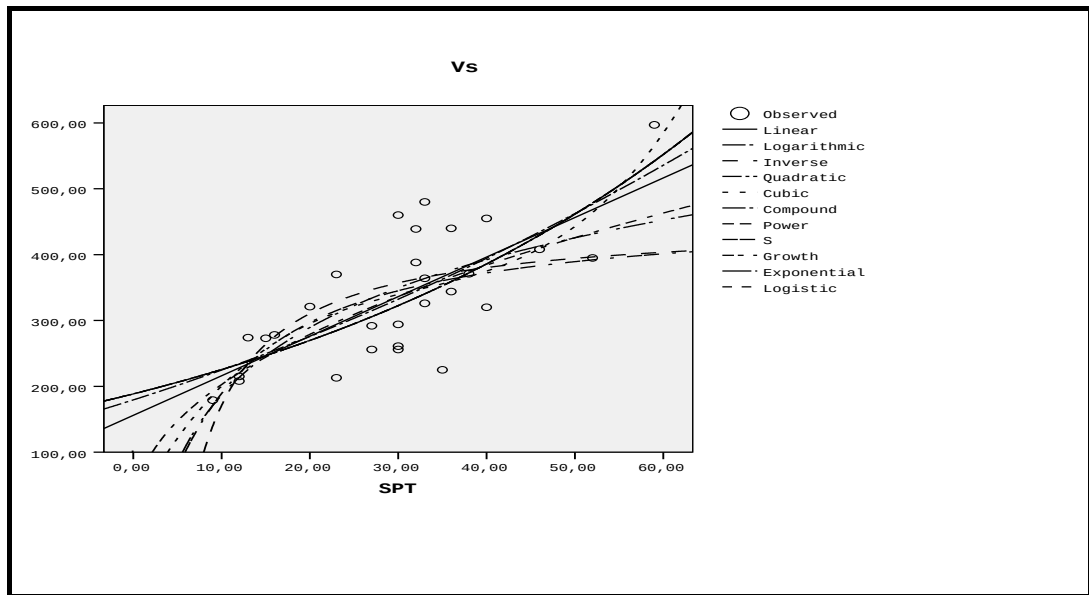
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	30	9,00	66,00	30,9333	13,47010
Vs	30	179,00	714,00	347,2000	118,98200
Geçerli N	30				

Tablo C.8: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	29	9,00	59,00	29,7241	11,93703
Vs	29	179,00	597,00	334,5517	98,44563
Geçerli N	29				

Tablo C.9: SPT-N-Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

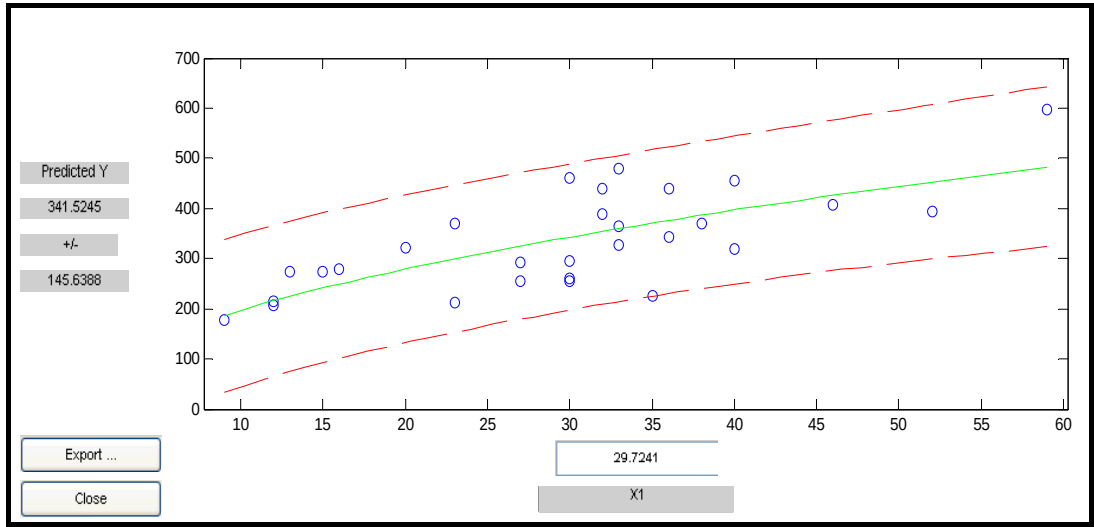
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,530	30,505	1	27	,000	156,008	6,007		
Logaritmik	,489	25,851	1	27	,000	-155,304	148,454		
Ters	,416	19,214	1	27	,000	450,154	-2793,705		
Kuadratik	,534	14,869	2	26	,000	179,388	4,258	,028	
Kübik	,558	10,535	3	25	,000	13,647	24,664	-,668	,007
Bileşik	,530	30,481	1	27	,000	188,523	1,018		
Üslü	,531	30,576	1	27	,000	70,079	,461		
S	,488	25,755	1	27	,000	6,145	-9,026		
Büyüme	,530	30,481	1	27	,000	5,239	,018		
Üstel	,530	30,481	1	27	,000	188,523	,018		
Lojistik	,530	30,481	1	27	,000	,005	,982		



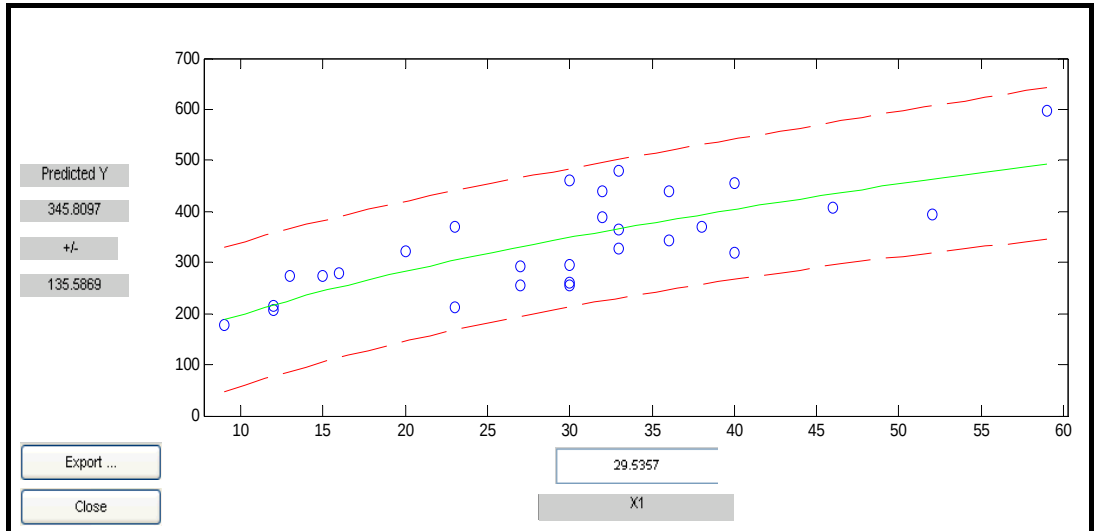
Şekil C.5: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo C.10: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		29
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	334,5517
	Std. Sapma	98,44563
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,108
	Pozitif	,108
	Negatif	-,065
Kolmogorov-Smirnov Z		,582
Anlamlılık		,887



Şekil C.6: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



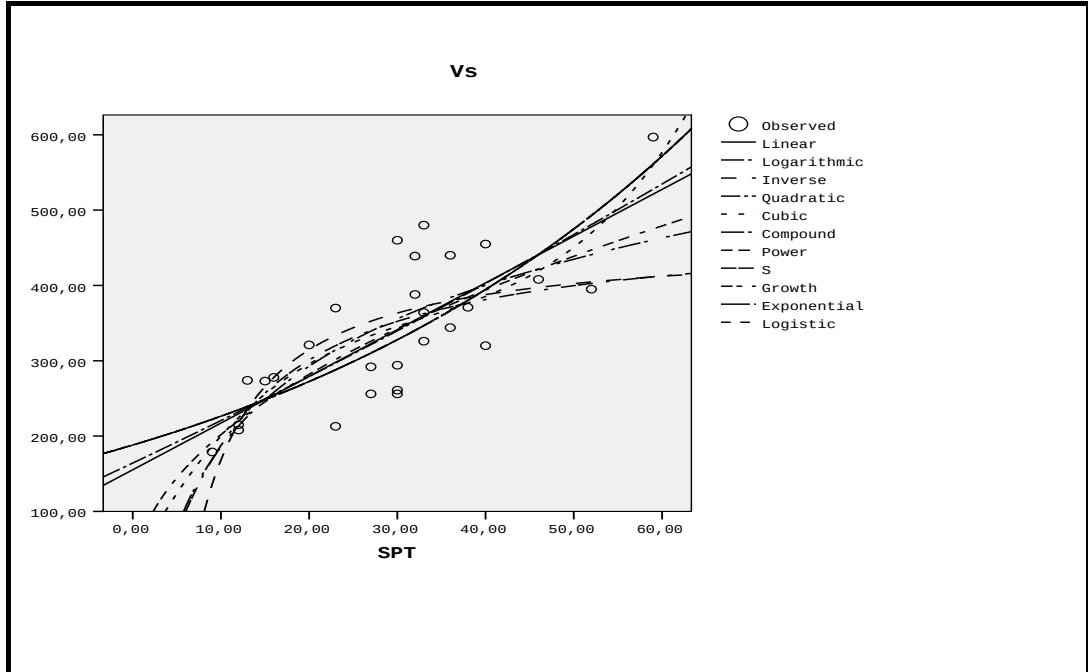
Şekil C.7: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo C.11: Bakırköy Formasyonu SPT-N-Vs İlişkisinin Matlab’la Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,588	37,155	1	26	,000	155,298	6,202		
Logaritmik	,553	32,116	1	26	,000	-171,615	155,011		
Ters	,473	23,355	1	26	,000	460,990	-2928,660		
Kuadratik	,589	17,897	2	25	,000	164,173	5,536	,011	
Kübik	,608	12,392	3	24	,000	22,937	22,951	-,584	,006
Bileşik	,596	38,336	1	26	,000	188,097	1,019		
Üslü	,607	40,158	1	26	,000	66,506	,482		
S	,561	33,191	1	26	,000	6,180	-9,463		
Büyüme	,596	38,336	1	26	,000	5,237	,019		
Üstel	,596	38,336	1	26	,000	188,097	,019		
Lojistik	,596	38,336	1	26	,000	,005	,982		

Tablo C.12: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	28	9,00	59,00	29,5357	12,11208
Vs	28	179,00	597,00	338,4643	97,92911
Geçerli N	28				

**Şekil C.8:** SPT-N-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

ÇUKURÇEŞME FORMASYONU SPT-N İLE Vs İLİŞKİSİ

Tablo C.13: Çukurçeşme Formasyonu SPT-N-Vs İlişkisi Analiz Öncesi İlk Veriler

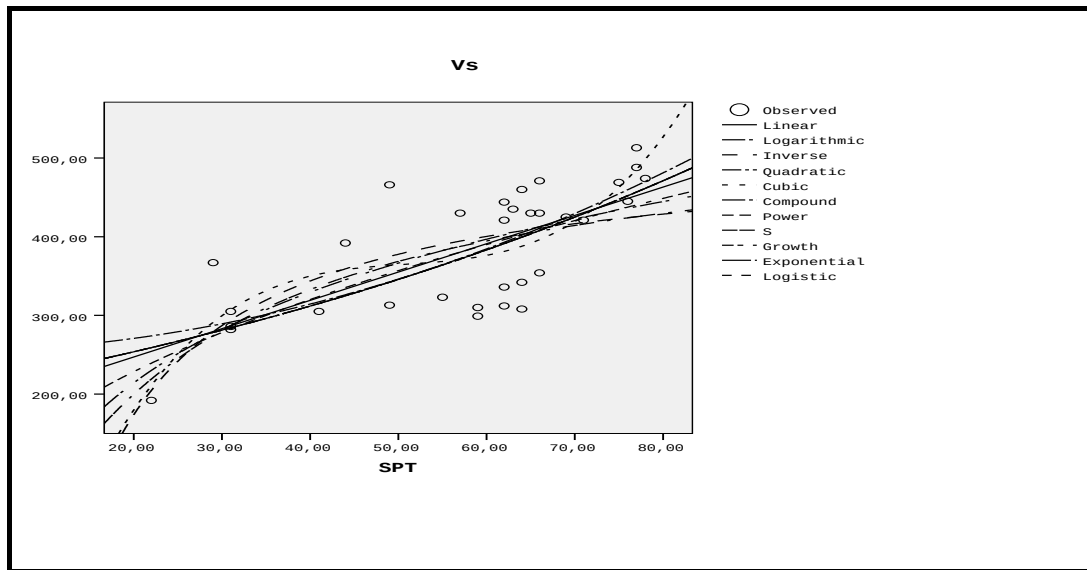
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	34	22,00	78,00	58,5000	15,37659
Vs	34	192,00	513,00	377,7059	78,75375
Geçerli N	34				

Tablo C.14: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistiki Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	32	22,00	78,00	57,6875	15,49493
Vs	32	192,00	513,00	382,7500	78,40918
Geçerli N	32				

Tablo C.15: SPT-N-Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

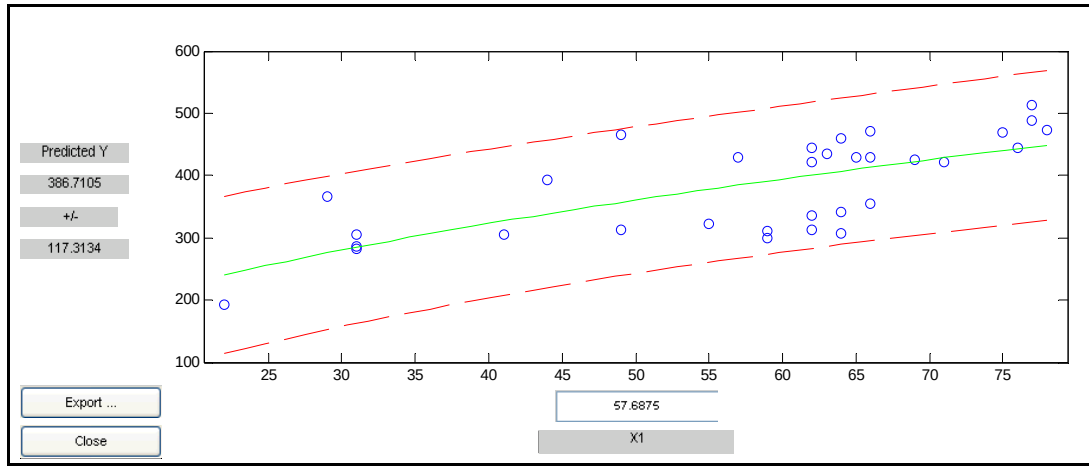
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,506	30,744	1	30	,000	175,074	3,600		
Logaritmik	,485	28,289	1	30	,000	-283,768	166,229		
Ters	,456	25,159	1	30	,000	513,752	-6802,672		
Kuadratik	,516	15,476	2	29	,000	253,629	,194	,033	
Kübik	,580	12,912	3	28	,000	-402,850	43,893	-,850	,006
Bileşik	,521	32,574	1	30	,000	206,420	1,010		
Üslü	,522	32,765	1	30	,000	53,091	,487		
S	,516	31,989	1	30	,000	6,319	-20,442		
Büyüme	,521	32,574	1	30	,000	5,330	,010		
Üstel	,521	32,574	1	30	,000	206,420	,010		
Lojistik	,521	32,574	1	30	,000	,005	,990		



Şekil C.9: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo C.16: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

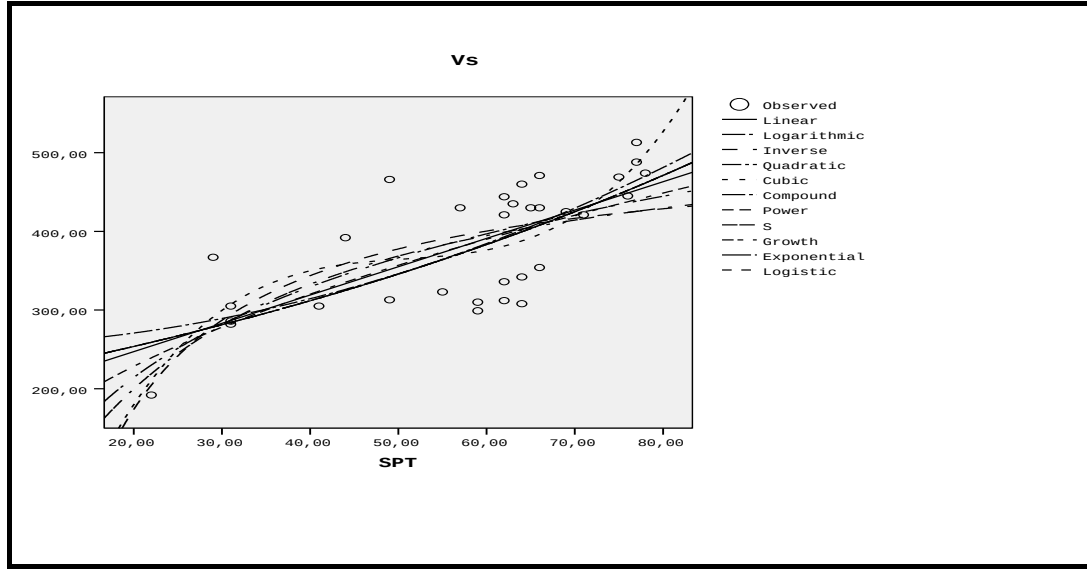
		Vs
N		32
Normal Parametreler(a,b)	Ortalama	382,7500
	Std. Sapma	78,40918
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,187
	Pozitif	,126
	Negatif	-,187
Kolmogorov-Smirnov Z		1,059
Anlamlılık		,212

**Şekil C.10: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi****Tablo C.17: Bakırköy Formasyonu SPT-N-Vs İlişkisinin Matlab’la Nihai Değerleri**

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,506	30,744	1	30	,000	175,074	3,600		
Logaritmik	,485	28,289	1	30	,000	-283,768	166,229		
Ters	,456	25,159	1	30	,000	513,752	-6802,672		
Kuadratik	,516	15,476	2	29	,000	253,629	,194	,033	
Kübik	,580	12,912	3	28	,000	-402,850	43,893	-,850	,006
Bileşik	,521	32,574	1	30	,000	206,420	1,010		
Üslü	,522	32,765	1	30	,000	53,091	,487		
S	,516	31,989	1	30	,000	6,319	-20,442		
Büyüme	,521	32,574	1	30	,000	5,330	,010		
Üstel	,521	32,574	1	30	,000	206,420	,010		
Lojistik	,521	32,574	1	30	,000	,005	,990		

Tablo C.18: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	32	22,00	78,00	57,6875	15,49493
Vs	32	192,00	513,00	382,7500	78,40918
Geçerli N	32				



Şekil C.11: SPT-N-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

GÜNGÖREN FORMASYONU SPT-N İLE Vs İLİŞKİSİ

Tablo C.19: Tüm Zeminler Derinlik -Vs İlişkisi İçin Analiz Öncesi İlk Veriler

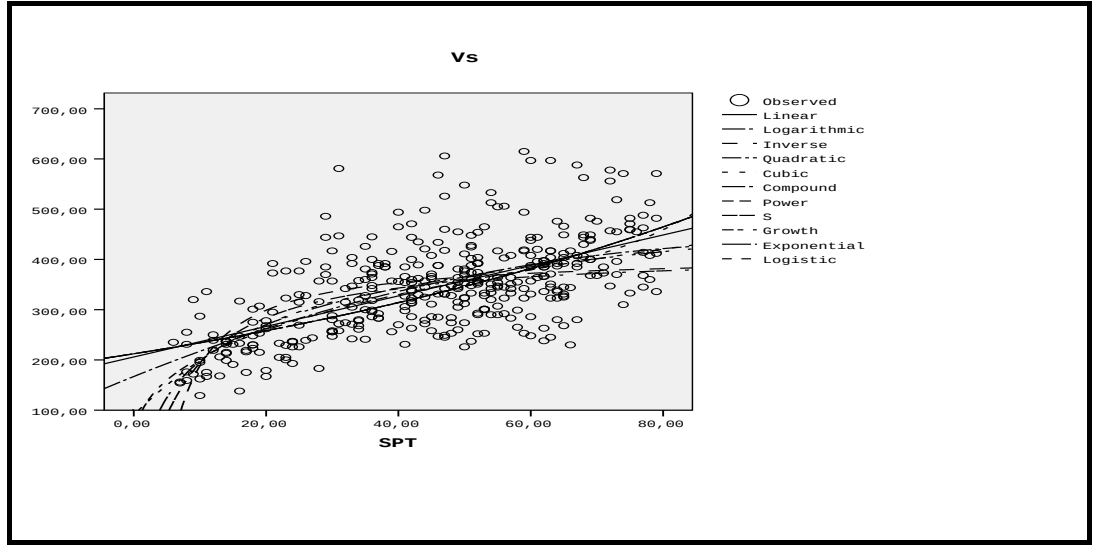
	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	396	6,00	79,00	45,1944	18,40817
Vs	396	129,00	5000,00	393,2475	439,35835
Geçerli N	396				

Tablo C.20: Aykırı Değerlerin SPSS ile Atılması Sonunda İstatistik Değerler

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	390	6,00	79,00	45,1872	18,52028
Vs	390	129,00	615,00	343,0692	91,97752
Geçerli N	390				

Tablo C.21: SPT-N -Vs İlişkisinin Anlamlılık Kontrolü ve Eğri Tahmini

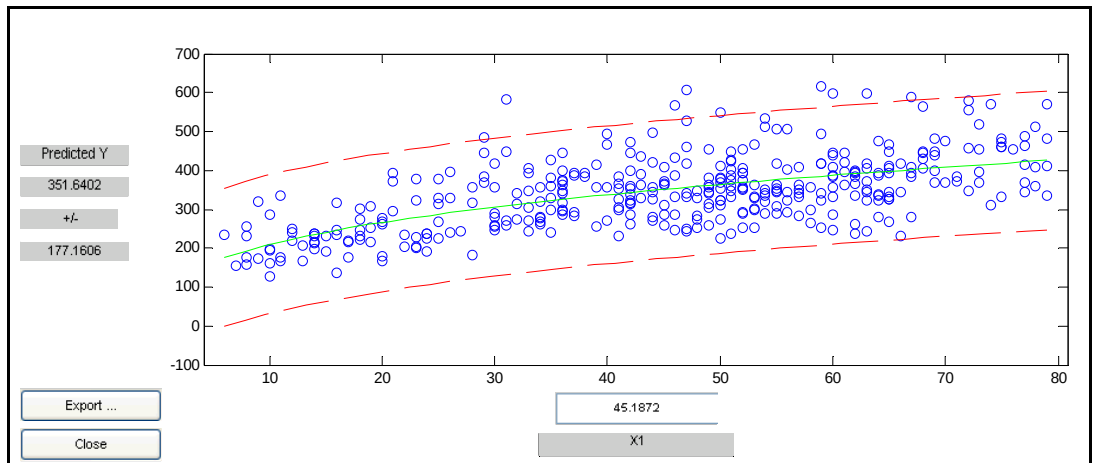
Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,374	231,448	1	388	,000	205,895	3,036		
Logaritmik	,385	243,349	1	388	,000	-43,933	104,824		
Ters	,318	181,232	1	388	,000	409,267	-2211,077		
Kuadratik	,384	120,801	2	387	,000	166,900	5,284	-,026	
Kübik	,398	85,009	3	386	,000	90,233	13,030	-,232	,002
Bileşik	,418	278,906	1	388	,000	212,200	1,010		
Üslü	,460	330,019	1	388	,000	91,007	,349		
S	,405	264,305	1	388	,000	6,028	-7,610		
Büyüme	,418	278,906	1	388	,000	5,358	,010		
Üstel	,418	278,906	1	388	,000	212,200	,010		
Lojistik	,418	278,906	1	388	,000	,005	,990		



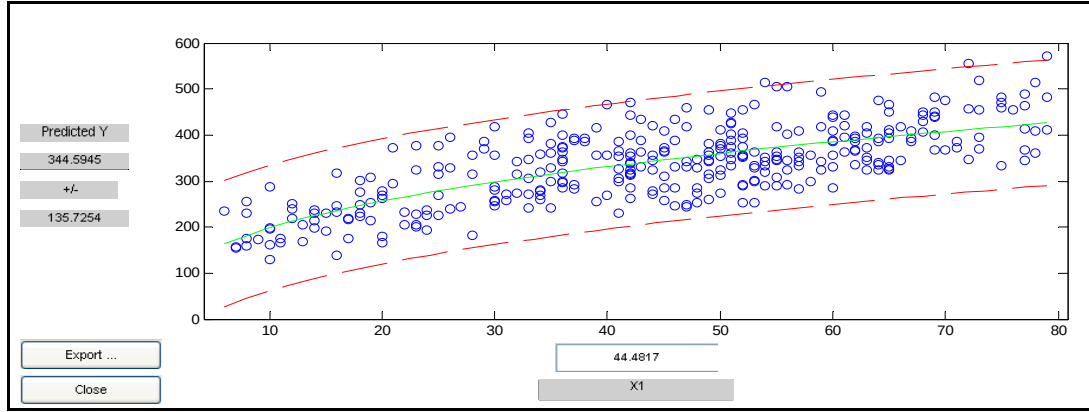
Şekil C.12: Veriler İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

Tablo C.22: K-S Testiyle Normallik Kontrolü

		Vs
N		390
Normal	Ortalama	343,0692
Parametreler(a,b)	Std. Sapma	91,97752
En Uç Farklılıklar	Mutlak	,038
	Pozitif	,038
	Negatif	-,024
Kolmogorov-Smirnov Z		,758
Anlamlılık		,613



Şekil C.13: Matlab İle Güven Aralığı Sınırlarının Belirlenmesi



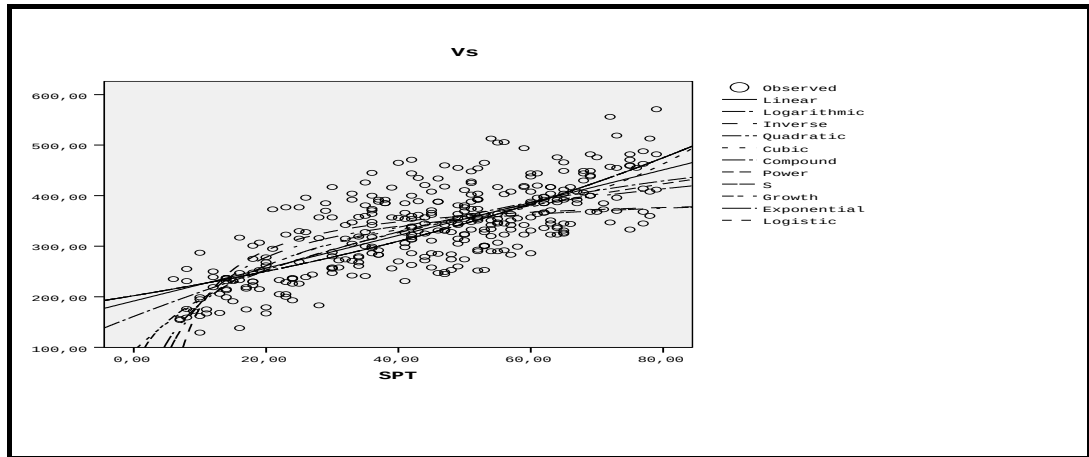
Şekil C.14: Güven Aralığı Dışındaki Veri Çiftlerinin Atılmasıyla Kalan Veriler

Tablo C.23: Tüm Zeminler Derinlik-Vs İlişkisinin Matlab Sonrası Nihai Değerleri

Model	Model Sonucu					Parametre Tahmini			
	R2	F	sd1	sd2	p	b0	b1	b2	b3
Lineer	,535	406,496	1	353	,000	191,597	3,243		
Logaritmik	,538	410,346	1	353	,000	-67,672	109,814		
Ters	,432	268,029	1	353	,000	404,967	-2269,464		
Kuadratik	,544	209,706	2	352	,000	161,125	5,009	-,021	
Kübik	,557	147,198	3	351	,000	93,150	11,885	-,204	,001
Bileşik	,553	436,168	1	353	,000	202,100	1,011		
Üslü	,593	515,160	1	353	,000	82,259	,374		
S	,510	367,744	1	353	,000	6,027	-7,997		
Büyüme	,553	436,168	1	353	,000	5,309	,011		
Üstel	,553	436,168	1	353	,000	202,100	,011		
Lojistik	,553	436,168	1	353	,000	,005	,989		

Tablo C.24: Matlab Analizi Sonrasında Oluşan Nihai Verilerin İstatistiği

	N	En Küçük	En Büyük	Ortalama	Std. Sapma
SPT	355	6,00	79,00	44,4817	18,46577
Vs	355	129,00	571,00	335,8592	81,86010
Geçerli N	355				



Şekil C.15: SPT-N-Vs Verileri İçin Tahmin Edilen Fonksiyonların Grafikleri

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında İzmit'te doğan Haluk YILDIZ, ilköğreniminden sonra sırasıyla Kars Anadolu Lisesi ve Kırıkkale Fen Lisesi'ni bitirerek 1999 yılında kazandığı İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden 2004 yılında, yine İ.T.Ü.'de Çift Anadal Programında öğrenim gördüğü Elektrik Mühendisliği'nden de 2005 yılında mezun olmuştur. 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği programında lisansüstü eğitime başlamıştır. 2004 yılında T.C. Başbakanlık Vakıflar Genel Müdürlüğü İstanbul Bölge Müdürlüğü'nde İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başlayan yazar halen aynı görevini sürdürmektedir.