KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ek-2

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİT SEKA SAHİL ALANINDA SPT VE MASW ÖLÇÜMLERİNDEKİ DİNAMİK PARAMETRELER VE ARASINDAKİ İLİŞKİLER

GASIM YUSUBOV

KOCAELİ 2020

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEOFİZİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İZMİT SEKA SAHİL ALANINDA SPT VE MASW ÖLÇÜMLERİNDEKİ DİNAMİK PARAMETRELER VE ARASINDAKİ İLİŞKİLER

GASIM YUSUBOV

Doç.Dr.Tekin YEKEN
Danışman, Kocaeli Üniversitesi .....
Dr.Öğr.Üyesi Metin AŞÇI
Jüri üyesi, Kocaeli Üniversitesi .....
Dr.Öğr.Üyesi Fethi Ahmet YÜKSEL
Jüri üyesi, İstanbul Üniversitesi .....

Tezin Savunma Tarih: 25.08.2020

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışmada İzmit (Kocaeli Kongre Merkezi) bölgelerinden alınmış MASW ölçüleri ve İzmit Büyükşehir Belediyesinden alınmış SPT-N verileri ile dinamik parametreler arasindaki ilişkiler bulunmuştur.

Bu tezdeki bütün desteklerinden ötürü başda sayın danışman hocam Doç. Dr. TEKİN YEKEN'e teşekkür ederim. Arazi çalışmaları ve ofis çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğr. Üyesi METİN AŞÇI'ya, Prof. Dr. CENGİZ KURTULUŞ'a teşekkür ederim. İzmit Büyükşehir Belediyesi'ne başta SPT dataları olmak üzere veri paylaşımından dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca hayatım boyunca maddi, manevi desteğini esirgemeyen aileme de sonsuz minnet duygularımı sunarım.

Haziran - 2020 Gasım YUSUBOV

İÇİNDEKİLER

Tez Onay Sayfası.....i
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ii
İÇİNDEKİLER..... iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
TABLOLAR DİZİNİ..... vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ..... vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. MATERYAL VE METOD 4
1.1. MASW Yöntemi..... 4
1.1.1. Temel esaslar 4
1.2. SPT Yöntemi..... 6
1.2.1. Temel esaslar 6
1.2.2. Deney seti..... 7
1.2.3. SPT yapım yöntemi 12
1.2.4. SPT-N vuruş sayısını etkileyen unsurlar.....13
1.2.5. SPT-N düzeltmelerinin standartlaştırılması 14
2. BÖLGENİN JEOLOJİSİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ.....18
2.1. Genel Jeoloji.....18
3. DEĞERLENDİRMELER 21
3.1. SPT Vuruş Sayıları Üzerinde Yapılan Düzeltmeler.....21
3.2. Arazide Yapılmış MASW Çalışmaları 29
4. SONUÇ VE ÖNERİLER 37
KAYNAKLAR.....39
EKLER.....43
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....49
ÖZGEÇMİŞ.....50

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. MASW yönteminin şematik gösterimi 5
Şekil 1.2. Otomatik düşürmeli şahmerdan mekanizması (a) (FHWA, 1997) ve (b) (Coduto, 2000)..... 8
Şekil 1.3. (a) ve (b) halatla kaldırmalı sistemin uygulaması (Coduto,2000), (c) kedibaşı detayı (saatin ters yönünde 1.81 tur attığındaki şekli ile gösterilmiştir, ASTM D1586-11) 9
Şekil 1.4. Halatlı uygulamada kullanılan Şahmerdan tiplerinden bazıları. (a) halka tipli şahmerdan ve (b) emniyetli şahmerdan (Coduto, 2000) 10
Şekil 1.5. Boyuna yarık tüpün boyutları (Clayton vd., 1995) 11
Şekil 1.6. Standart nümune alma kaşığı (ASTM D 1587, 1992).....11
Şekil 1.7. SPT aşamaları (FHWA, 2002b) 13
Şekil 1.8. Donut tip Şahmerdan.....15
Şekil 2.1. İnceleme alanının jeoloji haritası 19
Şekil 2.2. İnceleme alanındaki sondaj kuyularının jeolojik enine kesiti.....20
Şekil 3.1. Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği 22
Şekil 3.1. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği 23
Şekil 3.1. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği 24
Şekil 3.2. SK-1 Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT -N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi.....25
Şekil 3.3. SK-2 düzeltilmemiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasında ilişki grafik göstergesi.....25
Şekil 3.4. SK-3 düzeltilmiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi 26
Şekil 3.5. SK-4 düzeltilmiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi 26
Şekil 3.6. SK-5 düzeltilmiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi 27

Şekil 3.7. SİS-1 nolu Sismik kırılma Analizi. (a) - V_P-V_S dalgasının zaman-uzaklık grafiği. (b) - Yer altı kesiti ve sismik kırılma Analizi sonucunda elde edilen V_P-V_S dalga hızları. 30
Şekil 3.8. SİS-2 nolu Sismik kırılma Analizi. (a) - V_P-V_S dalgasının zaman-uzaklık grafiği. (b) - Yer altı kesiti ve sismik kırılma Analizi sonucunda elde edilen V_P-V_S dalga hızları. 31
Şekil 3.9. MASW-1 analizi: (a) 4-40 Hz band-Passfiltreli 12 kanallı MASW sinyali, (b) sismik kayıtta mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının faz-hızı-frekans dönüşümünü gösteren dispersiyon spektrumu. (c) Dispersion eğirisi. (d) V_{s30} tabaka modeli S-dalgası yer altı kesiti. 32
Şekil 3.10. MASW-2 analizi: (a) 4-40 Hz band-Passfiltreli 12 kanallı MASW sinyali, (b) sismik kayıtta mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının faz-hızı-frekans dönüşümünü gösteren dispersiyon spektrumu. (c) Dispersion eğrisi. (d) V_{s30} tabaka modeli S-dalgası yer altı kesiti. 33
Şekil 3.11. Dinamik Elastik parametreler arasındaki ilişkiler. (a) Poisson oranı ve V_p/V_s oranı arasındaki ilişkiler, (b) Bulk modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler, (c) Elastisite modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler.....34
Şekil 3.11. (Devam) Dinamik Elastik parametreler arasındaki ilişkiler. (a) Poisson oranı ve Vp/Vs oranı arasındaki ilişkiler, (b) Bulk modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler, (c) Elastisite modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler 35
Şekil 3.12. Düzeltilmemiş SPT-N30 ve SPT-N60 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler. (a) Düzeltilmemiş SPT-N30 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler, (b) SPT-N_{60} ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler.....35
Şekil 3.12. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N30 ve SPT-N60 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler. (a) Düzeltilmemiş SPT-N30 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler, (b) SPT-N_{60} ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler.....36

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. IRTP ve BS 1377 Standartlarında yer alan tij özellikleri 10
Tablo 1.2. Seed ve diğerleri (1984) tarafından önerilen düzeltme katsayıları 15
Tablo 1.3. N60 için düzeltme faktörleri 16
Tablo 3.1. Düzeltilmemiş SPT vuruş sayıları. 21
Tablo 3.2. Düzeltilmiş SPT-N60 vuruş sayıları 24
Tablo 3.3. Yapılan sondajlardan elde edilen SPT darbe sayıları (N30) – Zemin Sınıf 27
Tablo 3.4. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003) 28
Tablo 3.5. Sismik kırılma ve MASW ölçüleri ile hesaplanan parametreler 29

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Vs_{30} : Zemin yüzeyinin ilk 30 m altı için kayma dalgası hızı (m/sn)
σ_v' : Efektif normal gerilim (kPa)
γ : Malzemenin birim ağırlığı (kN/m3)
γ_w : Suyun birim ağırlığı (10 kN/m3)
h : SPT'nin yapıldığı aralığın orta noktasından yüzeye kadar olan derinlik (m),
h_w : SPT'nin orta noktası ile yeraltısuyu derinliği (m)
N_{30} : Arazide ölçülen darbe sayısı
N_{60} : Teorik serbest düşme, tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş vuruş sayısı
$(N_1)_{60}$: Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına ve efektif jeolojik basıncı 100 kPa alarak düzeltilmiş vuruş sayısı
V_{SC} : Düzeltilmiş Kayma Dalgası Hızı
c_u : Drenajsız kayma mukavemeti
C_N : Jeolojik yük düzeltme faktörü
C_E : Enerji düzeltme faktörü
C_L : Darbe bloğu altındakı tij uzunluğu düzeltme faktörü
C_S : Numune alıcı kılıf (liner) düzeltme faktörü
E_R : 63,5 kg tokmağın 76 cm'den düşürülmesiyle tijlerde oluşan enerjinin, teorik enerjiye yüzde olarak ifade edilen oranı
E : Elastisite Modülü
G : Kayma Modülü
K : Bulk Modülü
D : Yoğunluk (gr/cm^3)
μ: : Poisson Oranı
T_0 : Zemin Hakim Titreşim Periodu

Kısaltmalar

BS : British Standard (İngiliz Standartı)
NEHRP : National Earthquake Hazard Reduction Programme (Ulusal Deprem Tehlikelerini Azaltma Programı)
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu
ASTM : Amerika Birleşik Devletleri Standart
NAVFAC 7.1 : Zemin Tasarım Klavuzu 7.1

İZMİT SEKA SAHİL ALANINDA SPT VE MASW ÖLÇÜMLERİNDEKİ DİNAMİK PARAMETRELER VE ARASINDAKİ İLİŞKİLER

ÖZET

Bu araştırmada, İzmit (Kocaeli Kongre Merkezi) sahil alanında yapılmış olan sondaj çalışmalarına bağlı olarak aynı ölçüm lokasyonlarında araziden alınmış kayma dalgası hızı MASW ölçüleri belirlenmiştir. Farklı derinliklerde yapılmış 5 adet sondaj çalışması sonucu Standart Penetrasyon Test (SPT) -N_{30} verileri belirlenilmiştir. Yapılmış sondaj çalışmalarının sonucu olarak bölgenin plastisitesi düşük kil ve silt' den ibaret olduğu kabul edilmiştir. Bu konuda farklı, zeminler için ampirik Kayma Dalgası Hız ilişkilerini tanımlamak için bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Ampirik ilişkilerin bazıları düzeltilmemiş SPT darbe sayılarına Kramer (2011) bazıları ise Anbazhagan (2012) enerji düzeltmeli SPT darbe sayılarına dayanır. Bu çalışmada ise düzeltilmiş ve düzeltilmemiş SPT-N değerleri ile Kayma Dalgası Hızı arasında korelasyon katsayısı belirlenmiştir. Çalışma alanında alüvyon olmak üzere bir ana birim gözlenmiştir Kurtuluş(2009). Bu, çalışmada zemin tanımlanması ise alüvyon kil ve silt olarak kabul edilmiştir. Ampirik korelasyonda ise Kayma Dalga Hızı ile SPT- Ndarbe sayıları dikkate alınmıştır. Hangisi arasında Düzeltilmiş veya düzeltilmemiş SPT-N ile Kayma Dalgası Hızı arasındakı ilişki ve dinamik parametreler belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kayma Dalga Hızı, MASW, SPT-N, Standart Penetrasyon Test.

DYNAMIC PARAMETERS IN SPRING AND MASW MEASUREMENTS IN IZMIT SEKA COAST AREA AND THE RELATIONSHIP BETWEEN

ABSTRACT

In this study, MASW measurements of shear wave velocity taken from the land in the same measurement locations were determined depending on the drilling studies carried out in the Izmit (Kocaeli Congress Center) coastal area. Standard Penetration Test (SPT) -N30 data was determined as a result of 5 drillings conducted at different depths. As a result of the drillings carried out, it was accepted that the region consists of clay and silt with low plasticity. In this regard, a number of studies have been conducted to define the empirical Shear Wave Velocity relationships for different soils. Some of the empirical relationships are based on uncorrected SPT pulses, while Kramer (2011) is based on Anbazhagan (2012) energy corrected SPT pulses. In this study, the correlation coefficient between corrected and uncorrected SPT-N values and Shear Wave Velocity was determined. A main unit, including alluvium, was observed in the study area. Kurtuluş (2009). In this study, the definition of soil was accepted as alluvial clay and silt. In empirical correlation, shear wave velocity and SPT-N pulse numbers are taken into consideration. The relationship between the corrected or uncorrected SPT-N and the Shear Wave Velocity and the dynamic parameters were determined.

Keywords: Shear Wave Speed, MASW, SPT-N Standard Penetration Test.

GİRİŞ

Bugüne kadar Kayma Dalgası Hızı ile SPT-N verileri arasındakı ampirik ilişkileri hakkında çok sayıda çalışmalar yapılmıştır. Mühendislik açısından 1964' yılından Japonya' da meydana glen 1964’ yılında Niigata depreminden sonra bu konu önem kazanmaya başlamıştır. Günümüze kadar farklı ilişkiler araştırılmıştır, bu iki yöntem arasında. Farklı zeminler için farklı ampirik ilişkiler belirlenmiştir.

Literatürde SPT-N darbe sayıları ile Kayma Dalga Hızı arasında pek çok araştırmalar yapılmıştır.

Bunlardan kısaca behsedilirse;

Ohba and Toriumi (1970)' de yapmış oldukları çalışma bütün zeminler üzerinde olmuştur. Bu çalışmada ilişkiler SPT-N darbe sayıları enerji düzeltmeli ve düzeltilmememiş olarak Kayma Dalgası Hızı arasında yapılmıştır.

Sykora ve Koester (1988)' de yapmış oldukları çalışmalarda V_s ile N_{60} arasındakı ilişkinin zayıf olduğunu düşünüb hem V_s hem de N_{60} için effektiv gerilme düzeltilmeleri yapmışlar. V_{SC} ve $(N_1)_{60}$ olarak korelasyon ilişkisini devam ettirmişler.

Lee (1990) çalışması düzeltilmemiş SPT-N ve V_s-ler ile kum ve kil tipli zeminler arasında olmuştur. Lee (1990) yaptığı çalışmasında V_S tahminleri kil ve kum üzerinde olmuştur. SPT $N \leq 20$ değerlerinde V_S üçün az değerleri öngördüğünü ve SPT-N>20 değerlerinde ise aşırı V_S değerleri öngördüğünü söylemiştir.

Lodge (1994)' de Kayen ve diğ. (1992)' nin çalıştığı bölgelerin yanı sıra 1989 Loma Prieta depremi ile sarsılan diğer bölgeler çalışmışlardır. Lodge çalıştığı bölgelerin tekrarlı gerilme oranlarını hesaplamış ve arazi deneylerinden SPT-N değerini ölçmüştür. SPT-N değerinin efektiv düşey gerilme ve enerji seviyesine göre düzeltmiştir. Ayrıca, karşı kuyu (cross hole) yöntemi ile $V_S$ölçümleri yapmış ve efektiv düşey gerilmeye göre V_S' i düzeltip tekrarlı gerilme oranı ile ilişkilendirerek sıvılaşma sınırını analitik olarak belirlemişler.

Ayrıca, Ulusay ve Hasancebi (2006) çalışmalarında ise kumlu zeminler, killi zeminlerr, tüm zeminler arasında düzeltilmemiş V_S ve SPT-N darbe sayıları arasında ilişkiler araştırılmıştır. Ancak enerji düzeltilmesi yapılmış değerlere dayanan denklemler korelasyon ilişkilerinde iyi uyum sağlamamıştır. Düzeltilmemiş SPT-N darbe sayılarını tercih edilmiştir.

Anbazhagan ve Sitharam (2006) çalışmasında ise yapmış oldukları bu araştırmada; sahasında altere olmuş tabakanın altında sert kayaç tabakası belirlemişler. Yapılan çalışmada $V_S$değerlerine düzeltme yapmamış araziden alınan SPT-N darbe sayılarına enerji, efektiv gerilme düzeltmeleri yaptıkdan sonra ilişkini belirlemişler.

Dikmen (2009)' da yaptığı çalışmada öncelikle çeşitli zemin kategorileri için SPT-N ve Kayma Dalgası Hızı (V_s) korelasyonu odaklıdır. Araştırma sahasında zeminler, kum, silt, ve kil içeriklidir. Bu çalışmanın sonucunda ise düzeltilmemiş SPT-N darbe sayımları kullanıldığından V_s ile daha iyi korelasyon katsayısı elde edilmiştir.

T.P.Thaker ve K.S.Rao (2011)' de yapılmış bu çalışmada kapsamlı Kayma Dalgası Hızı ölçümü, SPT-N değerlerinin mevcut olduğu yerlerde yüzey dalgaları (MASW) tekniğinin çok kanallı analizi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma 3 farklı zemin kategorisi için enerji düzeltmeleri yapılmıştır. Zemin tipinin bu korelasyonlar üzerinde küçük bir etkisi olduğunu görülmüştür. Kum, kil ve tüm zeminler için düzeltilmemiş SPT-N korrelasyonlarından V_s değerlerinin %80-%85 daha iyi bir sonuç göstermiştir.

Muge K. Akın Steven L. Kremer ve Tamer Topal (2011)' de yapmış oldukları bu çalışmada Bang ve Kim (2007) tarafından SPT temelli kuyu dışı ve SPT temelli ampirik yaklaşımların ima ettiği V_s değerlerinin her ikisi de elde edilmiştir. Bu çalışmada düzeltilmemiş Kayma Dalga Hızı ile SPT darbe sayıları arasında korrelasyon yapmışlar.

Sitharam ve Arjun (2013)' de yapmış oldukları çalışmada SPT-N değeri 2 ile 50 arasında değerler almışlar. V_s değerleri ise 140-360 m/san arasında değişmiştir. $N<10$ olduğun da düzeltilme olup-olmamasında önemli bir fark görmemişler. $N>10$ olduğunda ise düzeltilmiş değerler her iki durumda da (derinliği dikkate alarak) SPT-N düzeltilmemiş değerlerine kıyasla daha yüksek bir V_s öngörür.

Milad Fatehnia, Myran Hayden, Matthew Landschoot (2015)' de Kuzey Florida' da yapmış oldukları çalışmada tüm zemin birimleri için SPT ve V_s ölçümlerini almışlar. Düzeltilme yapmadan M5 model algoritması ile aralarındaki ilişkini belirlemişler.

Gautam (2017)' Katmandu Vadisinde yapılan çalışmada bölgenin alüvyon örtülü yerlerinde deprem hasarı yaşamıştır. Kayma Dalgası Hızı ve SPT direnci arasındakı korelasyon ilişkisini düzeltilmemiş SPT direnci ile Kayma Dalgası Hızı arasında tüm zeminler için ayrı-ayrı geliştirmişdir.

1. MATERYAL VE METOD

1.1. MASW Yöntemi

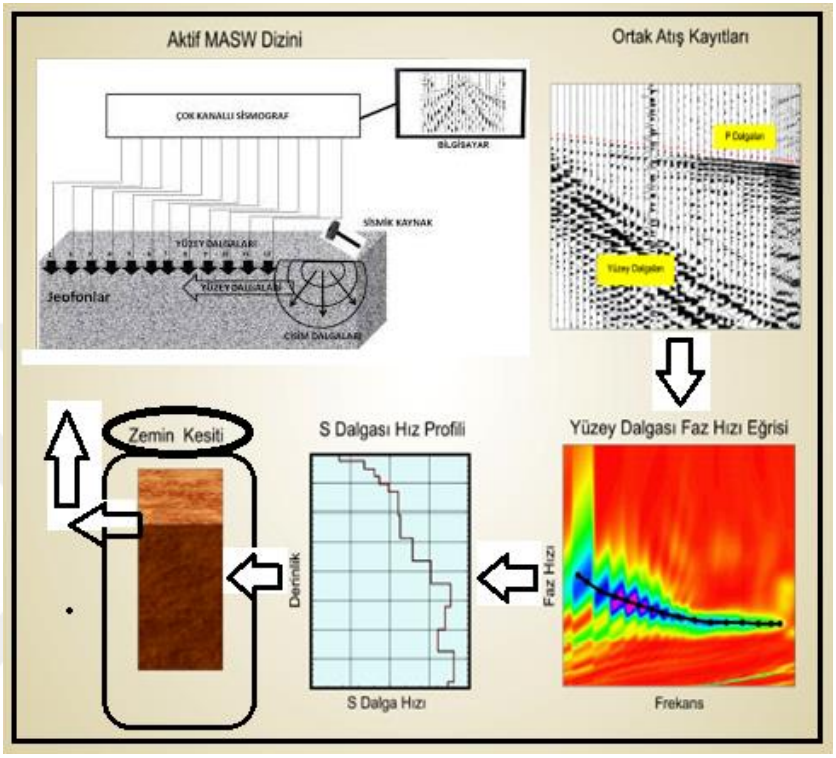
Park vd. 1999 tarafından geliştirilen MASW yöntemi, katmanlı bir zemin modelinde Rayleigh dalgasının oluşmasında yetkin bir etkiye sahip S dalgasının dönüşmüş faz hızının tersinden bir boyutlu S dalga hızını elde etmede kullanılmaktadır.Bu yöntemde uygulamada genel olarak iki alıcı (jeofon) kullanılmakta ve araştırılan derinlik aralığını kapsayabilmek adına, alıcı-alıcı ve alıcı-kaynak mesafeleri birçok defa değiştirilmektedir.Yeraltı tabakaların fiziksel ve elastik özellikleri (örneğin makaslanma modülü elastisite modülü sıkışmazlık modülü doğal salınım periyodu sismik büyütmesi ve poisson oranı vb.) makaslama (S) hızı ile o doğrudan ilişkilidir. Buna göre yeraltı tabakalarının S hızı değişimlerinin belirlenmesi jeoteknik açısından oldukca çok önemlidir.

Son zamanlarda yüzey dalgalarının çok-kanallı analizi (MASW) yöntemi S-hızı değişimlerinin belirlenmesinde sismik kırılma yöntemi ile yaygın olarak kullanılmaktadır. Sismik kırılma yönteminin uygulanamadığı durumlarda (örn. yerleşim alanlarındakı olan yüksek çevresel gürültüdendolayı) MASW yöntemi bu durumda tek alternatif yöntem olarak kullanılmaktadır. Sismik kırılma yöntemi ile ölçü alımında kullanılan dizilim geometrisi korunarak daha büyük araştırma derinliği elde edilebilmektedir. Yöntemin diğer yöntemlerden üstünlüğü ise hızlı veri toplama, kolay veri işleme ve düşük hız problemini çözmesi gösterilebilir.

1.1.1. Temel esaslar

MASW ve özellikle yeraltı jeolojik yapıların nisbi kayma dayanımını araştırma için çok yararlı bir yöntemdir.Yöntem atışölçümlerinin genellikle yakın kaynak-alıcı mesafeleriyle sınırlı olduğu yüzeye yakın mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. MASW uygulamasının şematik gösterimi Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Teknik olarak, bir yüzey boyunca yayılan sismik dalgaların algılanarak yorumlanmasına dayanır. Belirlenen mevcut jeofon serimi için uygulamalar yapılır. Yüzey dalgaları, diğer sismik sinyallerden daha yavaş hareket

eder ve karşılaştırılarak kaydedilir. Kaydedilen veriler ilk önce her çekim için dağılım eğrileri üretmek üzere işlenir. Bu eğriler daha sonra kayma dalgası hızının 1D derinlik profilleri üretmek için ayrı ayrı modellenir ve daha sonra zeminin kayma dalgası hız yapısını ortaya çıkaran bir derinlik kesiti üretmek için birleştirilir.



Şekil 1.1. MASW yönteminin şematik gösterimi

Aktif bir sismik enerji kaynağı kullanılarak gerçekleştirilen MASW temelde üç aşamadan oluşmaktadır. Bunlar; atış ölçümü, dispersiyon eğrisinin elde edilmesi ve ters çözüm işlemleridir. Veri kazanımında kullanılan ekipman esasen sismik kırılma ekipmanı ile benzerlik gösterir. Ancak yüzey dalgalarını iyi kaydedebilmek için düşük frekanslı jeofonlar (4.5 Hz) tercih edilmelidir. Dalgaboyu ile ilgili olan bu seçimde, profil uzunluğu kayıt edilebilecek en büyük dalga boyu ile ilişkilidir.Buna bağlı olarak, araştırma derinliğini belirlemek için jeofon aralığı en küçük dalga boyu ile ilişkilendirilir.$V_s$bilgisinin hesaplanması dispersiyon eğrisinin belirli bir yoğunluk ve Poisson değerinin tahminini gerektiren yinelemeli ters çözüm ile hesaplanır. En küçük kareler yaklaşımı otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. En küçük kareler yaklaşımındayineleme adımında bu parametrelerden yoğunluk ve Poisson oranı sabit kalırken Vs bilgisi güvenilir olarak kabul edilir.

1.2. SPT Yöntemi

Standart Penetrasyon Test (SPT) tüm dünyada en çok uygulanan saha deneyidir. Zemin tanımlamak için 110 libre şahmerdan ile çakılan 1 inç (yaklaşık 2.5 cm) çapındakı açık örnek alıcı geliştirilmiştir. Örnek alıcının farklı tipleri geliştirilmiştir.

1.2.1. Temel esaslar

Kahezyonsuz zeminlerde standart numune alıcılarla örselenmemiş örnek almak olanaksız olduğu için bu tip zeminler laboratuar deneyleri ile belirlenememektedir. Ayrıca bu tür zeminlerde SPT gibi arazi deneyleri tercih edilmektedir. Testlerde elde edilen örnek, zeminin daha iyi tanımlanmasını sağlamaktadır. Bu nedenlerle tüm zemin etütlerinde SPT uygulamaları zeminin daha iyi tanımlanması bakımından önemlidir. Son çeyrek yüzyılda jeoteknik amaçlı zemin araştırmalarında SPT' nin kullanımı yaygın olarak devam etmektedir.

SPT uygulaması kısaca; sondaj kuyusundaki standart örnek alıcısının bağlı olduğu tijlerin üzerine, ' boyuna yarık tüp ' olarak bilinen 140lb (63.5kg) bir şahmerdanın 76.2 cm yükseklikten tekrarlı bir şekilde bırakılmakla tanımlanabilir. Bu uygulamada, kuyu tabanından toplamda 45 cm'lik penetrasyon sağlanana kadar çakılması ve gerekli olan darbe sayısı (SPT-N) değerlerinin belirlenmesi esas alınır.

Özellikle kohezyonsuz zeminlerde, taşıma gücü ve potansiyel oturmaların tesbit edilmesinde ve fore kazıklı temellerde taşıma gücü tayinine yönelik ampirik yöntemler geliştirilmiştir. SPT yönteminin avantajları ve dezavantajları aşağıda verilmektedir:

Avantajları:

Deney süresi kısa olmakla birlikte deneyin uygulanışı karmaşık değildir. Zemin mühendisliği araştırmalarında oldukça sık kullanılan bir test tekniğidir. Penetrasyon direncinin belirlenmesiyle birlikte numune de alınması maliyetin düşük olmasını sağlamaktadır. SPT uygulama tekniği kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerle birlikte, ince çakıl ve dolgu tabakalarına da uygulanabilmektedir.

Dezavantajları:

Elde edilecek veriler, operatör hatasından ya da sondaj ekipmanından ya da diğer etkilerden kaynaklanabilen hassas test verileridir. Blok-iri granül veya kaya zeminlerde numune alıcı aparatlar hasara uğrayabilir. Ayrıca çok yumuşak killerde yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Yeraltı suyu seviyesi altındaki kuyu tabanında

yanıltıcı sonuçlar verme olasılığı vardır.

1.2.2. Deney seti

SPT Deney seti genel olarak aşağıdakı birimlerden oluşmaktadır.

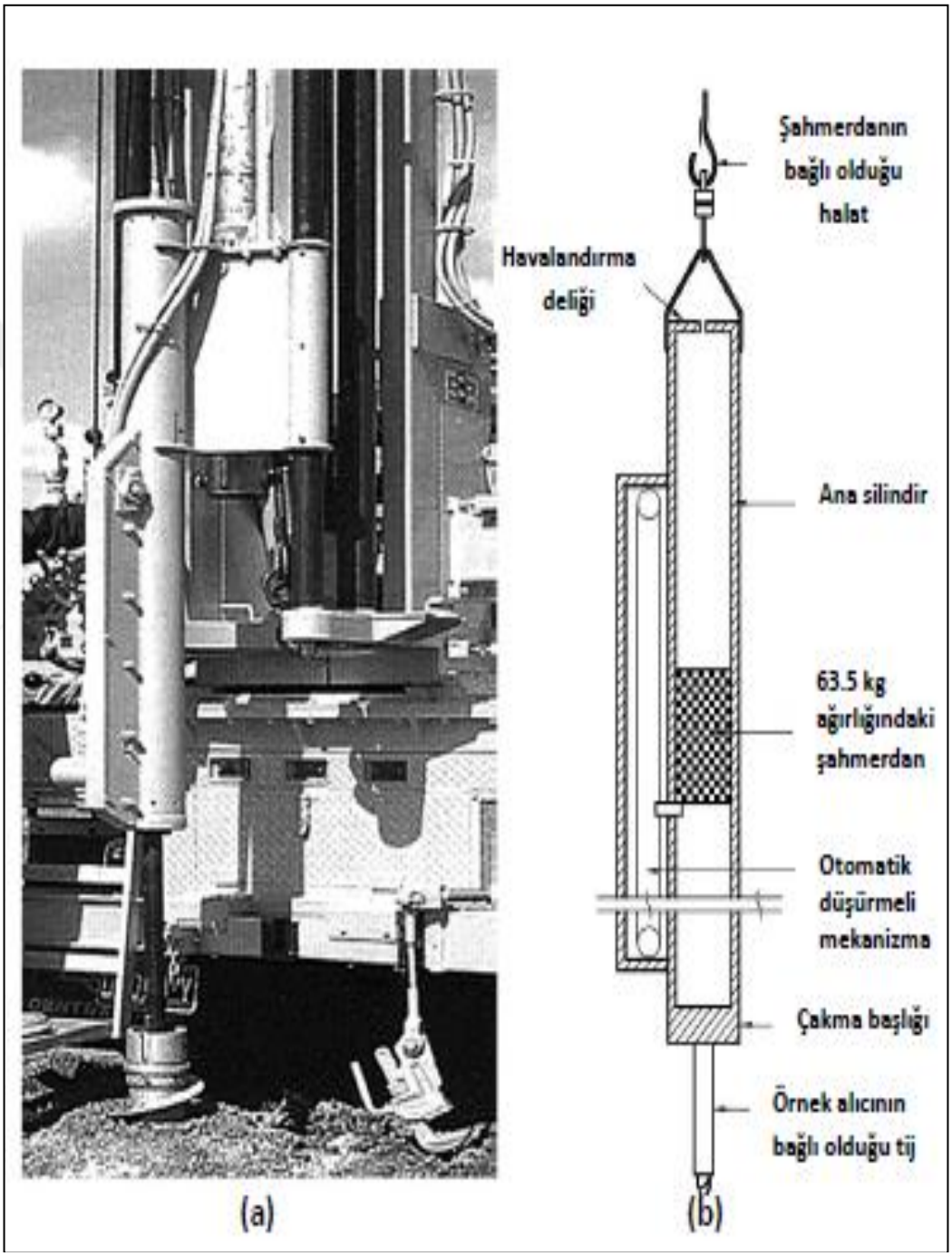
SPT Deney seti genel olarak aşağıdakı birimlerden oluşmaktadır.

- Şahmerdan ve serbest düşürme sistemi
- Tijler
- Boyuna yarık tüp numune alıcı.
- Sürme pabucu.

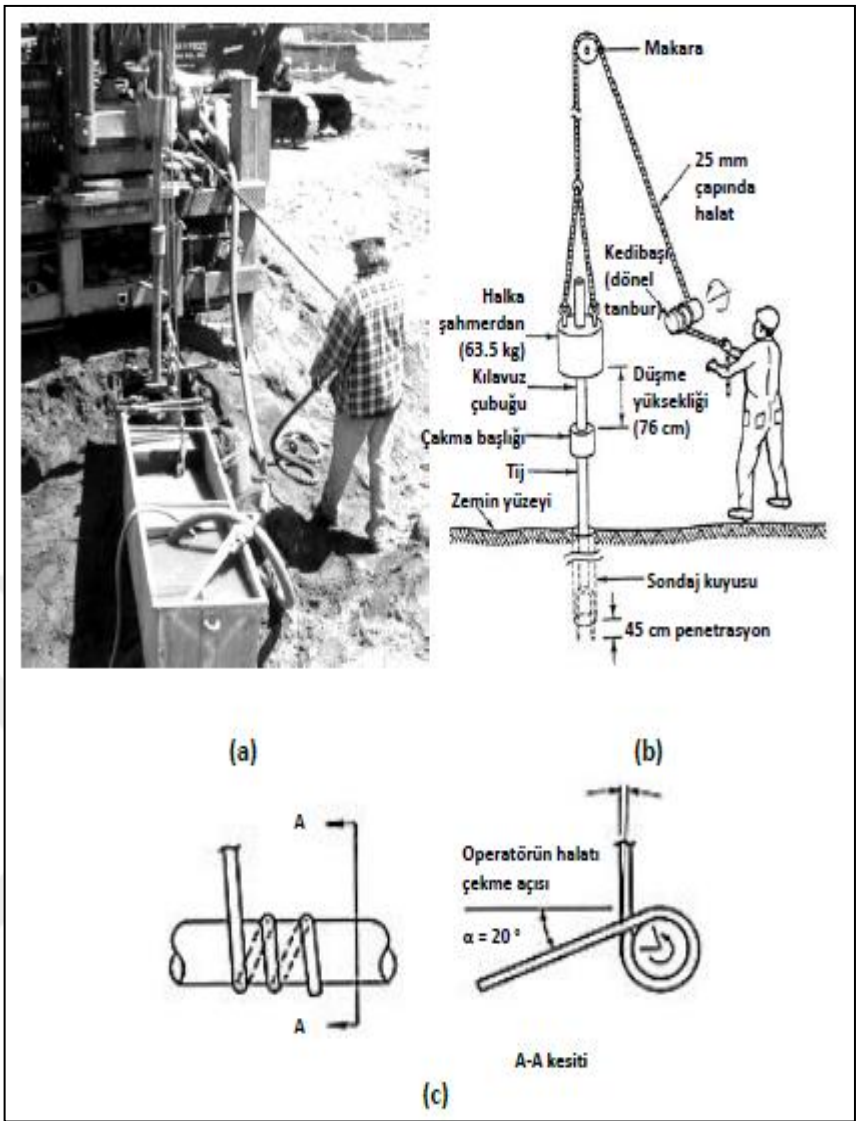
Şahmerdan Mekanizması:Şahmerdan düşürme sistemi incelendiğinde üç farklı yöntem sıralanabilir:

- Otomatik düşürme sistemli Şahmerdanlar**:** Otomatik düşürmeli şahmerdanlar, operatörden kaynaklanan hatayı minimize eden bir düzenektir. Düşüşte enerjinin tijlere iletilmesindeki enerji sapmasını en düşük değere indirir (şekil.1.1). Otomatik düşürmeli şahmerdanlarla, başlangıçta testin enerjisinin %73'ü zemine aktarılabilmekte ve standart sapma yaklaşık %2.8 civarında olmaktadır (Clayton;1990,1995).
- Manuel Düşürme sistemli Şahmerdanlar: Elle düşürmeli şahmerdan standart yüksekliğe vinç yardımıyla kaldırılıp serbest düşmeye bırakılır. Nitekim rakımı yüksek olan bölgelerle deniz seviyeli sahalardaki düşme enerjisi farklı olacağından hata payı yüksektir. Çok kullanılan bir yöntem değildir.
- Halatlı mekanizmalı Şahmerdanlar: Halatla kaldırmalı uygulamada, şahmerdan halatı sondaj kulesinin tepesindeki makaradan geçer ve kedibaşı ile çekilir (Şekil.1.2.). ASTM D1586'ya göre kedibaşı en az 100 devir/dak.lık dönme

hızına sahip olmalıdır. Operatör halata hereket vermesiyle şahmerdan yükselir ve halat serbest düşmeye bırakılır. Bu uygulama sırasında mekanik sistemde sürtünme etkisiyle bazı kayıplar olmaktadır. Halat mekanizmalı şahmerdanlar; zemin mühendisliği gelişen ülkelerde çok kullanılan sistemdir. (Şek. 1.3).



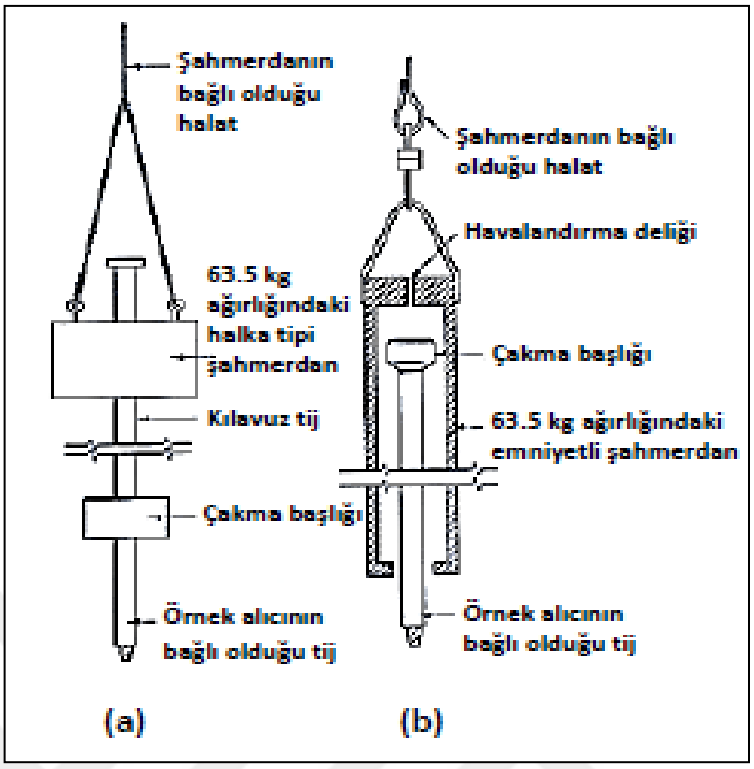
Şekil 1.2. Otomatik düşürmeli şahmerdan mekanizması (a) (FHWA, 1997) ve (b) (Coduto, 2000)



Şekil 1.3. (a) ve (b) halatla kaldırmalı sistemin uygulaması (Coduto,2000), (c) kedibaşı detayı (saatin ters yönünde 1.81 tur attığındaki şekli ile gösterilmiştir, ASTM D1586-11)

Tijler: Şahmerdan düşürme aşamasında enerjiyi düşey kuvvetlere aktaran elemanlardır. Tijler de uygulamadaki enerji kayıplarında önemli rol oynar. Bu kapsamda İngiliz standartlarında tijlerin belirli bir ağırlık ve rijitliğe sahip olması şartı özetlenmiştir. Tijlerin iyi kalite çelikten yapılması gerektiği ile ilgili standartlar konulmuştur (Clayton vd., 1995).

- IRTP ve BS 1377 tarafından önerilen tij türleri, boyutları, kesit modülü ve ağırlığı Tablo 1.1'de verilmiştir.

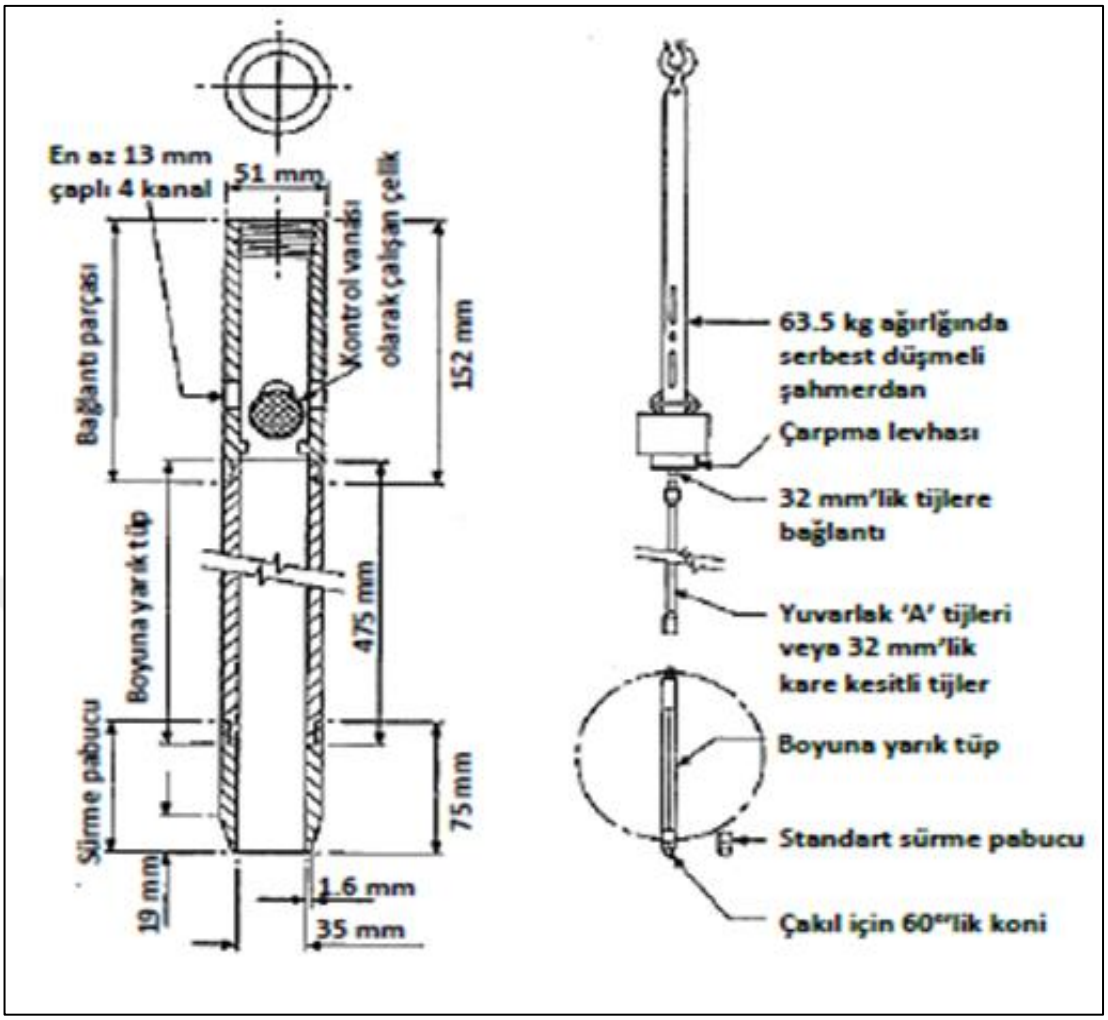


Şekil 1.4. Halatlı uygulamada kullanılan Şahmerdan tiplerinden bazıları. (a) halka tipli şahmerdan ve (b) emniyetli şahmerdan (Coduto, 2000)

Tablo 1.1. IRTP ve BS 1377 Standartlarında yer alan tij özellikleri

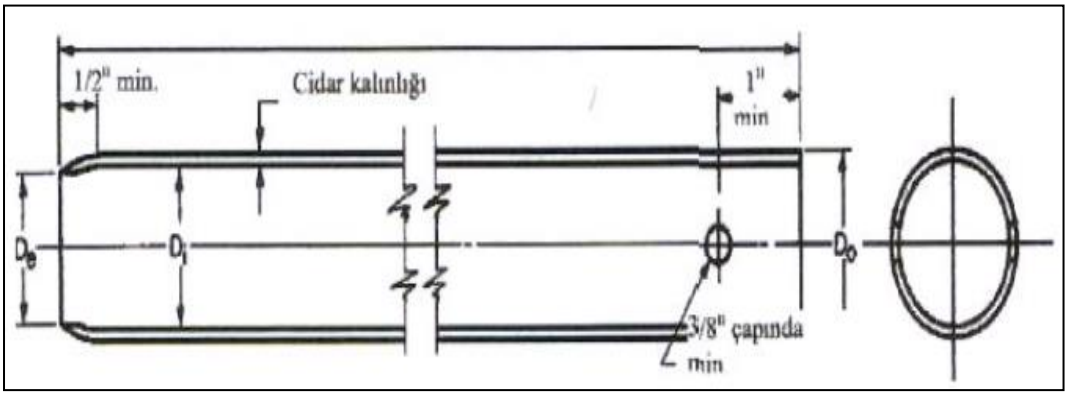
Standart	**Türü**	**Çapı (mm)**	**Kesit Modülü, *Ze*** **(m3 x 106)**	**Ağırlığı (kg/m)**
IRTP	-	40.5	4.28	4.33
	-	50.0	8.59	7.23
	-	60.0	12.95	10.03
BS1377	AW	43.6	5.10	4.57
	BW	54.0	8.34	7.86

Boyuna Yarık Tüp: Tüpün boyutları Şek. 1.5'te gösterilmiştir. Bazı uygulamalarda boyuna yarık tüpün örneği bırakmasını engelleyen astarlı örnek alıcılar da kullanılmaktadır.



Şekil 1.5. Boyuna yarık tüpün boyutları (Clayton vd., 1995)

Deney sırasında alınan örselenmiş numunelerden zemin tipi ve sınıfı belirlenir. Şekil.1.6



Şekil 1.6. Standart nümune alma kaşığı (ASTM D 1587, 1992)

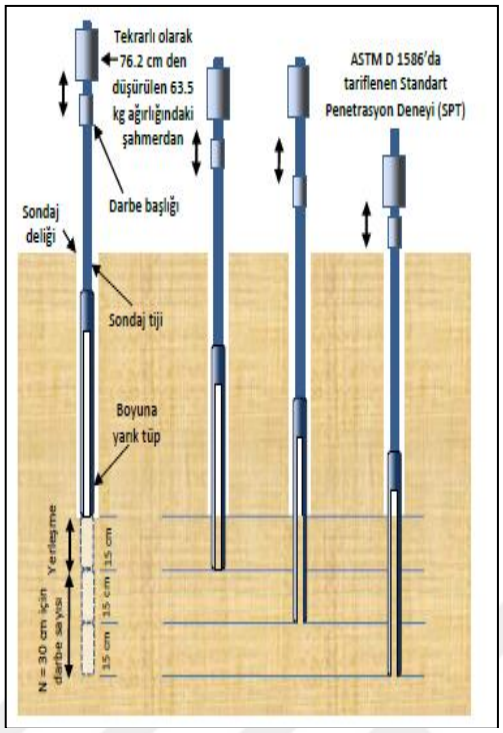
Sürme Pabucu:Uygulamada örnek alıcının ucunda standart açık kesitli pabuç kullanılmaktadır. Pabuç yerine, çakıllı-bloklu granüler zeminlerdeki uygulamalarda 60° açılı deliksiz konik pabuç kullanılmaktadır. Bununla birlikte konik pabucun penetrasyon direncini artırdığı nedeniyle kullanılmaması önerilmiştir (Clayton,1993). Standart konik pabuçlar Şek.1.4'te gösterilmiştir.

1.2.3. SPT yapım yöntemi

Standart boyutlara sahip boyuna yarık tüpün (split spoon sampler) 63.5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 76.2 cm'den serbestçe düşürülmesi sonucu tatbik edilen dinamik enerji ile zemine çakılması esasına dayanmaktadır.

Sondaj delgisinin tabanı iyice temizlendikten sonra deney derinliği 0.030 m hassasiyet ile kaydedilir. Sondaj tijlerine SPT tüpü sabitlendikten sonra tüp tabana yumuşak bir şekilde düşürülmeden indirilir. Tij üzerinde üç adet 15 cm'lik ilerleme adımı işaretlenir. Her 15 cm'lik penetrasyon aşaması için şahmerdanın darbe (serbest düşü) sayısı belirlenir. Sert zeminlerde, artarda üç 15 cm ilerleme aşamasından bir tanesinde, 50 darbede 15 cm penetrasyon gerçekleşmez ise deney durdurulur ve refü değerine ulaşıldığı şeklinde yorumlanır. Bu durum 50 darbe/penetrasyon miktarı olarak not edilir. Bazı uygulamalarda 100 darbeye ulaşıldığında 300 mm'den daha az ilerleme kaydedilmiş ise deney sonlandırılır. Eğer 10 darbe sonrasında hiç ilerleme kaydedilmemiş ise yine deneye son verilir.

15 cm'lik penetrasyon yerleşme aşaması olarak tanımlanmakta ve bu penetrasyon için gerekli darbe sayısı delgi tabanında oluşabilecek örselenmeler nedeniyle dikkate alınmamaktadır. İkinci ve üçüncü 15 cm'lik penetrasyon için gerekli darbe sayıları toplanarak; bu değer Standart Penetrasyon Sayısı, N, değeri olarak kaydedilir. Deney sondaj içerisinde genellikle 1.5 m'de bir adet olmak üzere tekrarlanır. Deneyin, maksimum dane boyunun örnek alıcının yarıçapından daha büyük olan zeminler için uygulanması tavsiye edilmemektedir. Standart penetrasyon deney aşamaları Şek.1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.7. SPT aşamaları (FHWA, 2002b)

1.2.4. SPT-N vuruş sayısını etkileyen unsurlar

Uygulama sırasında genelde operatörden ya da standartlara aykırı olan düzeneklerden kaynaklanan hatalar oluşmaktadır. NAVFAC DM-7.1 (1982)'de, deney esnasında yapılan olası hatalar ve bu hataların SPT-N değeri üzerindeki etkileri aşağıda verilmektedir:

1) Sondaj yerinin iyi temizlenmemesi; orjinal zemine sondaj çamurunun karışmasından dolayı çamur numune alıcıyı tıkayabilir ve SPT-*N* değerleri artabilir.
2) Boyuna yarık tüpün örselenmemiş zemine tam olarak oturmaması; SPT-N değerlerinde hata oranını artırabilir.
3) Boyuna yarık tüpün muhafaza borusu tabanının üzerinden sürülmesi; Kumlu zeminlerde SPT-*N* vuruş sayısı artarken, kohezyonlu zeminlerde bu değer azalır.
4) Kuyu içinde gerekli hidrostatik seviyenin sağlanamaması: Kum biriminde açılan kuyu piyezometrik seviyesi ile akifer seviyesi aynı olmalıdır. Aksi taktirde, sondaj kuyusu tabanındaki kum gevşer ve kaynama olabilir. Sonuç olarak ölçülen SPT-*N* değerleri daha düşüktür.

5) Numune ağzının alüvyal bir zeminle tıkanması; SPT-N değerleri gerekenden yüksek çıkacaktır.
6) Koruyucu borunun tıkanması; hidrostatik basınç kumun muhafaza borusu içinde yükselmesine sebep olarak boruyu tıkayabilir. Su tablasının altındaki gevşek kumlarda kaydedilen SPT-N değerleri yanıltıcı olarak artar.
7) Sondaj yönteminde kullanılan materyallerin farklıkları (örn. Bentonit bulamacı) ile SPT-N vuruş sayısı etkilemektedir.
8) Şahmerdanın eksantrik olarak çakma başlığına çarpması; bu eksantrik düşme, vuruş enerjisini de düşüreceğinden, ölçülen SPT-N değerleri hatalı olacaktır.

1.2.5. SPT-N düzeltmelerinin standartlaştırılması

a) Yealtısuyu düzeltmesi

Deneyin, yeraltısu seviyesi altında bulunan ince kum veya siltli kumlarda yapıldığı N>15 durumunda , aşağıdaki düzeltme uygulanmaktaydı (Meyerhof ,1956). Ancak bu düzeltme 1960'lı yıllardan sonra kullanılmamaktadır Bowles (1988).

Narazi>15 için, Zemin türü: ince kum ve siltli kum ise yeraltısuyu düzeltmesi,

$N' = 15 + [0.5\ (\text{Narazi} - 15)]$ olacaktır.

b) Tij enerji düzeltmesi (E_R)

Farklılıkların nedeni; öncelikle şahmerdanın tipi ve serbest bırakılış yönteminden kaynaklıdır. Ayrıca; sondaj tijlerinin uzunluğu ile tijin üzerindeki vuruş uygulandığı metal bloğun tipi de N vuruş sayısını etkilemektedir. Bunun standart duruma getirilmesi amacıyla enerji oranı (E_R) kavramı geliştirilmiştir. Enerji oranı dikkate alınarak, N vuruş değerleri aşağıdaki eşitlik kullanılarak normalize edilir ve normalize edilmiş vuruş sayıları (N_{60}) hesaplanır.

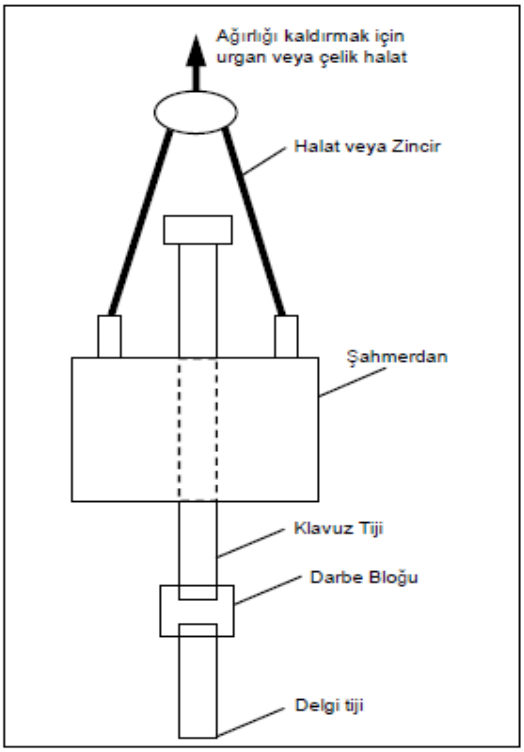
$$N60 = \text{Narazi} * CE = \text{Narazi} * (ER/60)$$

Burada;
N_{60} = Tij enerji düzeltmesi yapılmış SPT-N değerleri
N_{arazi} = Arazide ölçülen SPT-N değerleri (darbe sayısı/30 cm)
E_R = Enerji oranı düzeltme faktörü Tablo 1.2'te gösterilmiştir.

Tablo 1.2. Seed ve diğerleri (1984) tarafından önerilen düzeltme katsayıları

Şahmerdan Tipi	Şahmerdan Düzeltme Faktörü ($C_E=E_R/60$)	Enerji Oranı (E_R) %
Otomatik tip	1.3	78
Güvenlikli tip	1.0	60
Donut tip	0.75	45

Türkiye'de genellikle "Donut tipi şahmerdan" (Şekil 1.8.) kullanılır.



Şekil 1.8. Donut tip Şahmerdan

c) Tij uzunluğu (C_L), içi tüp (C_S) ve kuyu çapı (C_D) ile düzeltmeler

Bu düzeltmeler için Tablo 1.3'de verilen katsayılar kullanılır.

Tablo 1.3. N_{60} için düzeltme faktörleri

Düzeltme Türü	Tanımlama	Düzeltme Faktörü	
DARBE BLOĞU altındakı tij uzunluğu (m)	>10	1.0	C_L
	6 ile 10 arasında	0.95	
	4 ile 6 arasında	0.85	
	3 ile 4 arasında	0.75	
SPT örnekleyicisi	Standart (iç tüpü olan) örnekleyici kullanılmış ise	1.0	C_S
	İç tüpü olmayan örnekleyici kullanılmış ise	1.2	
DELGİ çapı (mm^2)	65-115 mm	1.0	C_D
	150 mm	1.05	
	200 mm	1.15	

Bu durumda düzeltilmiş SPT-N (N_{60}) değerini veren eşitlik

$N60 = Narazi * (ER/60) * CS * CL * CD$ şeklinde olacaktır.

d) Örtü yükü düzeltmesi (C_N)

N darbe sayıları, zeminin bağıl (rölatif) yoğunluğunun yanı sıra, deneyin yapıldığı derinlikteki efektif gerilime bağlıdır. Efektif gerilim, efektif örtü gerilimi ile temsil edilir.

Aynı göreceli yoğunluğa sahip bir zemin, farklı derinliklerde farklı N değerleri verir. Bu nedenle ayrıca bir düzeltmeye gerek duyulur. Örtü yük düzeltmesi ile ilgili önerilen eşitlikler Tablo 1.5'de verilmiştir.

Örtü yükü düzeltme katsayısı C_N'in hesaplanmasında (EK-5), Tablo 1.5'de verilen eşitliklerden, çok sık kullanılan Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından geliştirilen eşitlik dikkate alınabilir.

Örtü yükü düzeltme katsayısı C_N'in hesaplanmasında, Tablo 1.6'da verileneşitliklerden, çok sık kullanılan Tokimatsu ve Yoshimi (1983) tarafından geliştirileneşitlik dikkate alınabilir.

$CN = (170/70 + \sigma v')$ (σ_v', kP_a olarak) veya$CN = (1.7/0.7 + \sigma v')$ (σ_v', kgf/cm^2 olarak)

Efektif Normal (düşey) Gerilim(Efektif Örtü Yükü Basıncı)

Yeraltısuyu üstünde ise $\sigma v' = \gamma * h$

Yeraltısuyu altında ise $\sigma v' = \gamma * h - \gamma whw$formülleri kullanılarak efektif düşey gerilimhesaplanarak örtü yükü düzeltmesi için kullanılır. Burada;

σ_v' = Efektif normal gerilim (kPa), γ= Malzemenin birim ağırlığı (kN/m3), γ_w= Suyun birim ağırlığı (10 kN/m3), h = SPT'nin yapıldığı aralığın orta noktasından yüzeye kadar olan derinlik (m), h_w = SPT'nin orta noktası ile yeraltı suyu derinliği arasındaki derinlik (m)Tüm bu düzeltmelerden sonra düzeltilmiş SPT-N darbe sayısını veren son eşitlik aşağıdaki gibi olacaktır.

$(N1)60 = N60 * CN$ $(N1)60 = Narazi * (ER/60) * CL * CS * CD * C$

2. BÖLGENİN JEOLOJİSİ VE YAPISAL ÖZELLİKLERİ

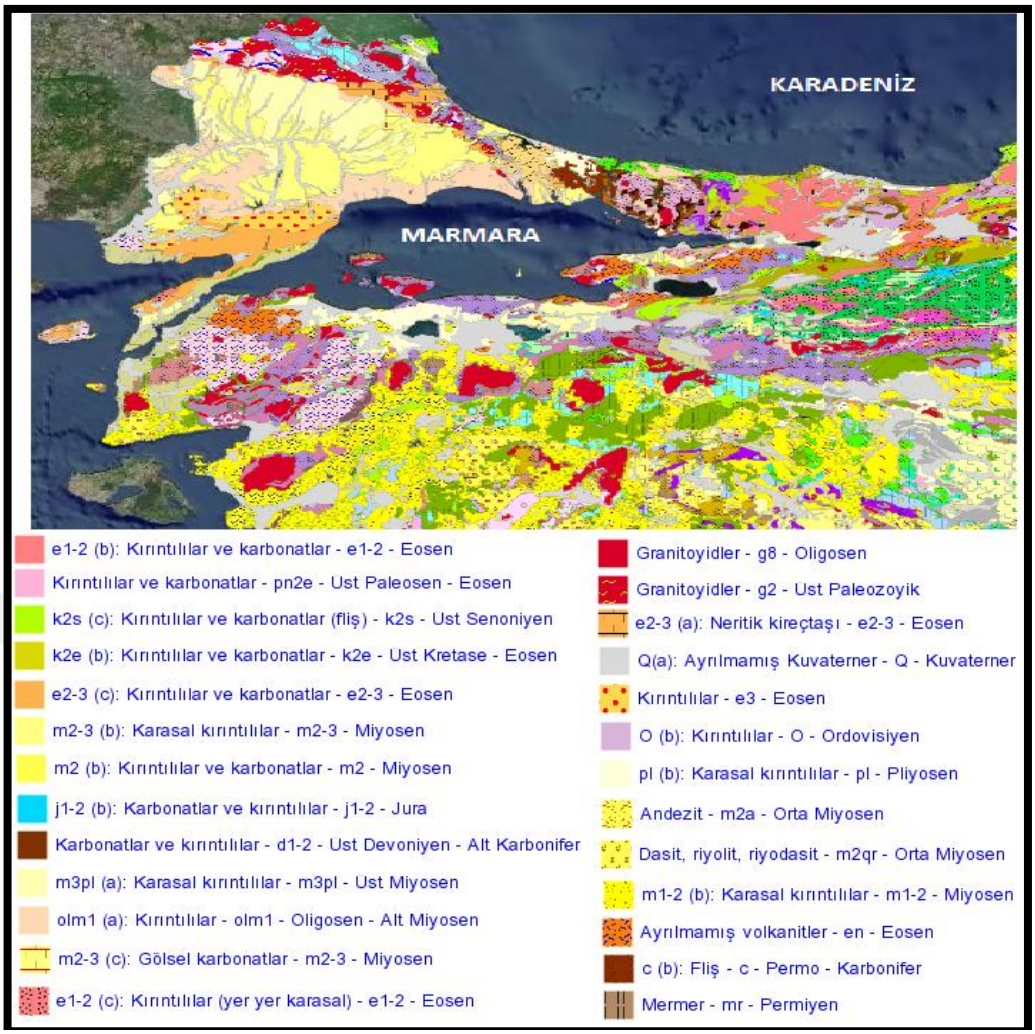
2.1. Genel Jeoloji

Kocaeli bolgesi jeolojik açıdan iki önemli tektonik ve yapısal birliği bir arada bulundurmaktadır. Bunlardan biri, İzmit Körfezi`nin kuzeyinde yer almaktadir. Bu yapısal birim, ağırlıklı olarak İstanbul Paleozoyiki ile Kocaeli Triyasını içeren Kocaeli Yarımadası 'dır. Diğeri ise, İzmit Körfezinin güneyinde yer alan ve Sakarya zonunun bir bölümü olan Armutlu Yarımadasıdır (Şengör ve Görür,1983).

Bu iki birlik Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ayrılmakta olup bu iki birlik arasında geçiş uyum ve korelasyon imkanı bulunmaktadır.

İnceleme alanını da içine alan Kocaeli-İstanbul yükselimi Paleozoyik Mesozoyik ve Senozoyik yaşlı birimlerle kaplıdır. İnceleme alanın jeoloji haritası Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Paleozoyik istif yakın bölgede ve özellikle İstanbul dolayında geniş alanlarda yayılım gösterir. Genelde kumtaşı kireçtaşı ve çamurtaşı ardalanmaları veya merceklerinden oluşan istif birçok formasyon üyeye ayırtlanarak incelenmiştir.Formasyon adlamaları İstanbul ve Kocaeli dolayında yer yer farklılıklar sunmaktadır. İstifin en alt düzeyini oluşturan ve bölgedeki en yaşlı kaya birimi olan arkozik kumtaşı konglomera ve şeyller Ordovisiyen dönemine aittir. Paleozoyik istif Karbonifere kadar kumtaşı ve kireçtaşı ardalanmaları ile devam eder. Gebze Hereke ve İzmit dolayında Paleozoyik istif üzerinde Mesozoyik yaşlı sedimanter birimler izlenir.

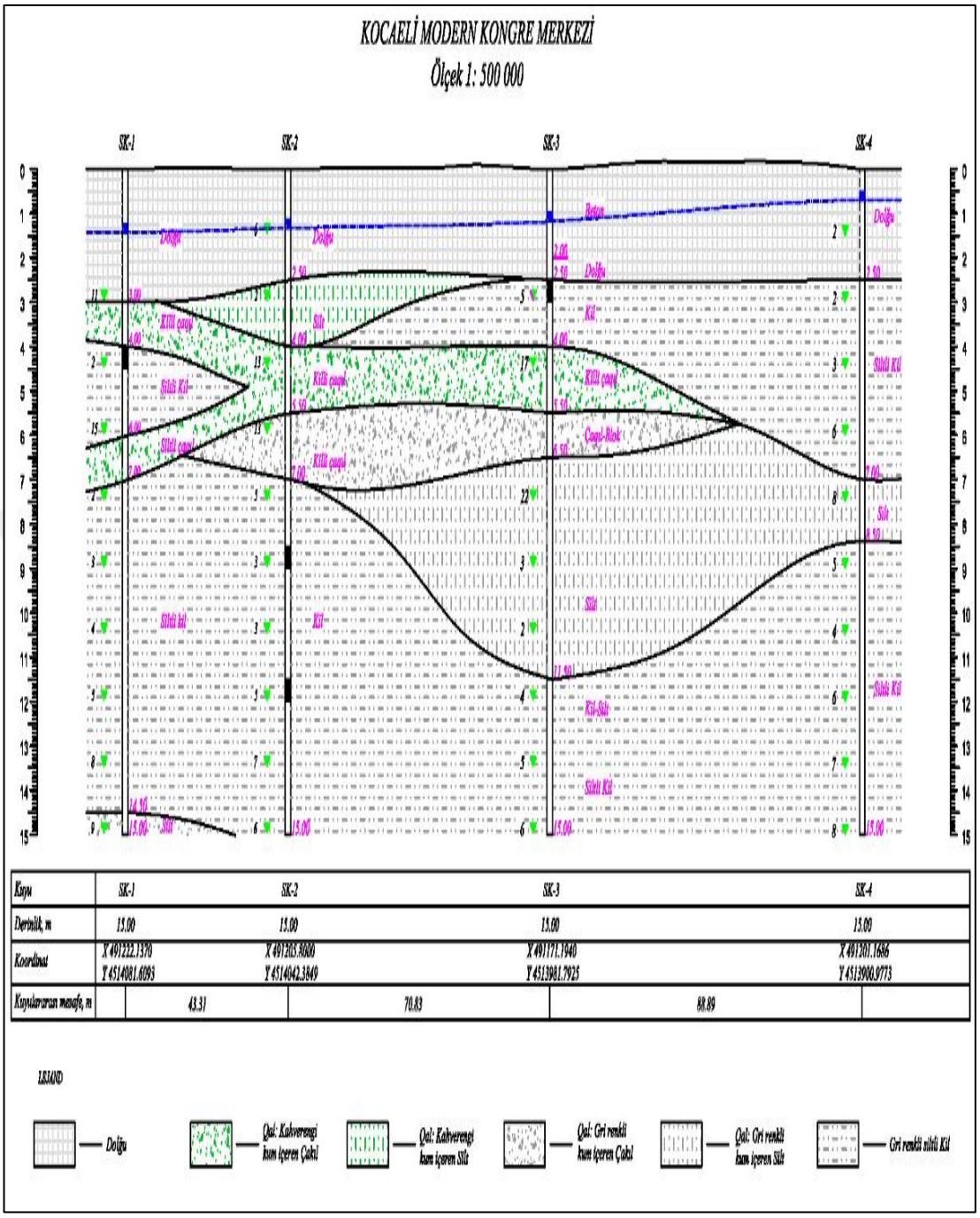
Mesozoyik Triyas yaşlı konglomera ve kumtaşları ile başlar üste doğru kalın dolomitik kireçtaşlarına geçer. Bölgede Jura çökelimi yoktur. Üst Kretase birimleri altta karbonat çimentolu çakıltaşları üste doğru killi kireçtaşı düzeyleri ile temsil edilir. Üst Kretasenin en üst düzeyini oluşturan fliş özelliğindeki çamurtaşı-kireçtaşı ve killi kireçtaşı ardalanmasından oluşan istif Paleosen döneminde de devam eder. Bu çökeller üzerinde vadi tabanlarında ve kıyı düzlüklerinde genç alüvyon birimler ve moloz birikintileri topografyanın kontrolünde değişik kalınlıklarda izlenir.



Şekil 2.1. İnceleme alanının jeoloji haritası

Çalışma alanı ve civarında yapılan araştırmalara göre, zeminin Kuvaterner yaşlı Alüvyondan oluştuğu belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar değerlendirildiğinde, zeminin üst-kısımlarında yaklaşık 200, 300 cm, kalınlıkta dolgu tabakası tesbit edilmiştir. Bu tabakanın altında 4,0 – 7,0 metre seviyyesine kadar kahvarengi renkli gevşek-orta yoğunlukta killi çakıl ve yumuşak-orta katı kıvamlı kum içeren silt-killi birim, daha derinde ise gri renkli orta yoğunlukta killi çakıl ve orta katı-katı kıvamlı kum içeren silt-killerden oluşan birimlerden bulunmaktadır.

Açılan sondaj kuyularında 0,52-1,40 metre seviyesinde yeraltı suyuna rastlanmışdır. İnceleme alanında 5 adet sondaj kuyusu açılmışdır.



Şekil 2.2. İnceleme alanındaki sondaj kuyularının jeolojik enine kesiti

3. DEĞERLENDİRMELER

3.1. SPT Vuruş Sayıları Üzerinde Yapılan Düzeltmeler

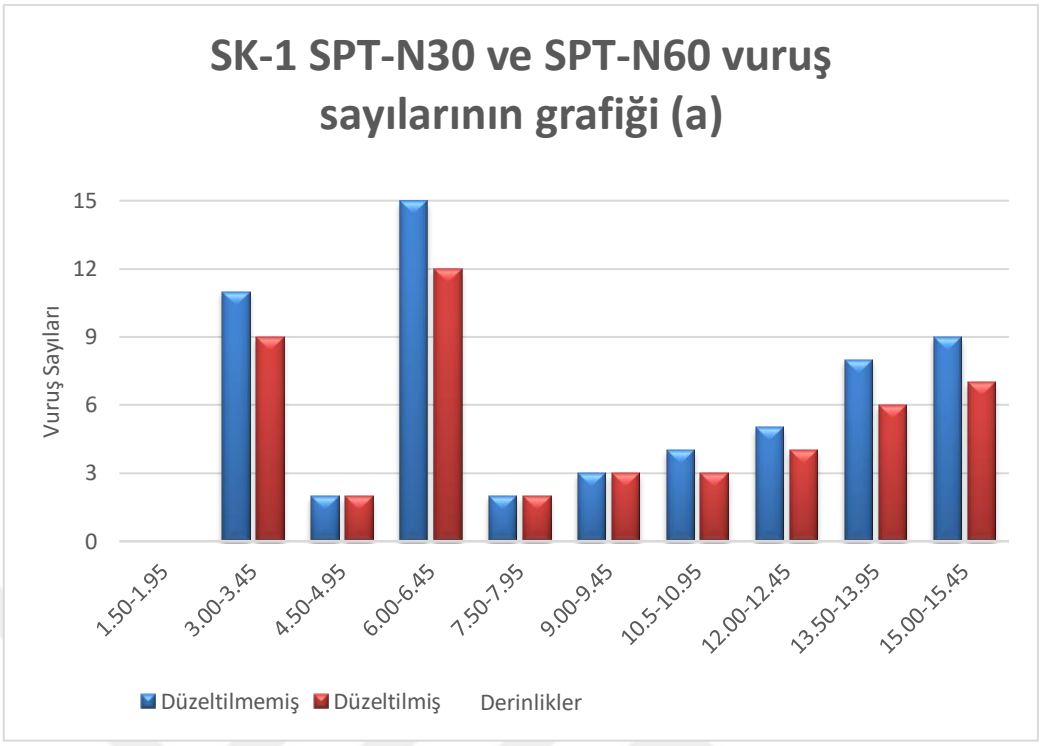
İnceleme alanından yapılmış ölçümlerden alınmış SPT vuruş sayıları üzerinde bazı düzeltmelere gerek duyulmuştur. Bu yönde bir çok çalışmalar yapılmıştır. R.Ulusay N.Hasancebi (2006) ve Pitilaksis (1999) yapmış oldukları çalışmalarda Alüvyon terkibli zeminlerde enerji düzeltmeli SPT vuruş sayıları ile düzeltilmemiş V_s verileri arasında korrelasyon ilişki belirlemişler. İnceleme alanımız aynı zemin birimi yani Alüvyon terkibli olduğu için yaptığımız çalışmada SPT vuruş sayıları üzerinde enerji düzeltilmeleri yapılmıştır. 5 noktada sondaj çalışması yapılmıştır. Her 1.5 m-den SPT-N_{30} vuruş sayıları alınmıştır. Kuyu dibi ise 15 m-den oluşmaktadır. Enerji düzeltilmesi bu formülle yapılmıştır.

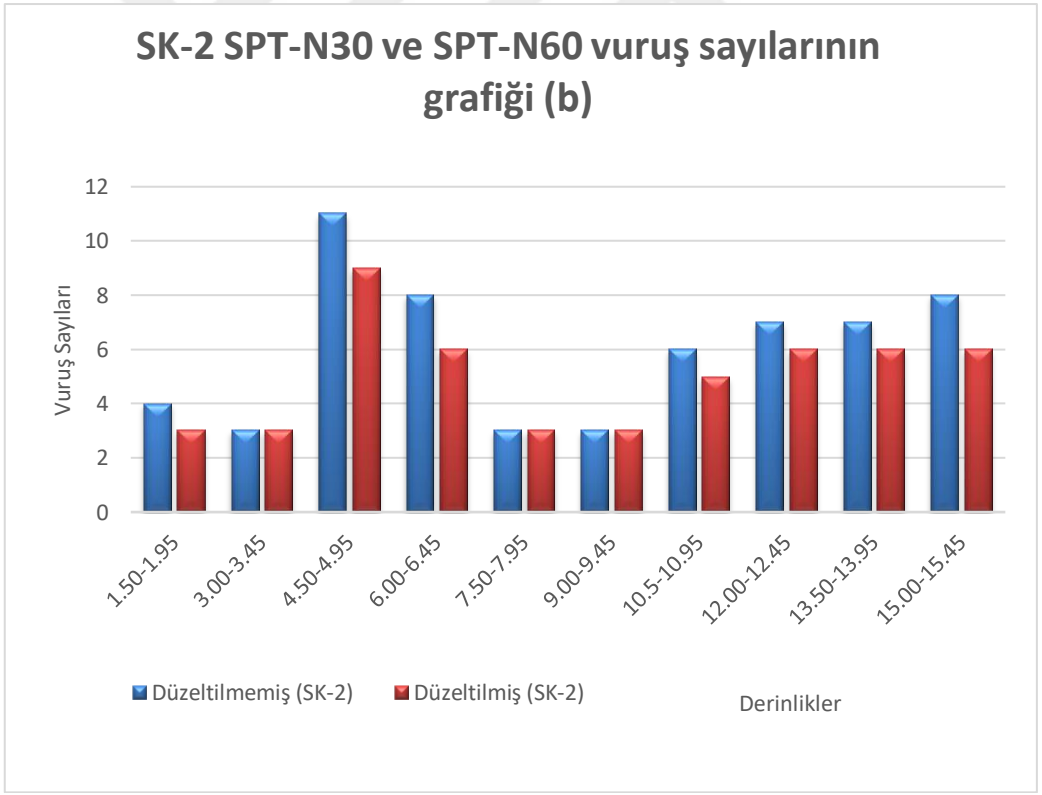
$$N60 = \text{Narazi} * CE = \text{Narazi} * (ER/60) \quad (3.1)$$

Seed (1984) tarafından önerilen düzeltme katsayılarına göre bu şekilde düzeltilmemiş SPT vuruş sayılarına enerji düzeltilmesi yapılmıştır. Genellikde, Türkiye için donut tip şahmerdan kullanıldığı için $ER = 45\%$ ile $CE = 45/60$ ile düzeltmeleri yapılmıştır.

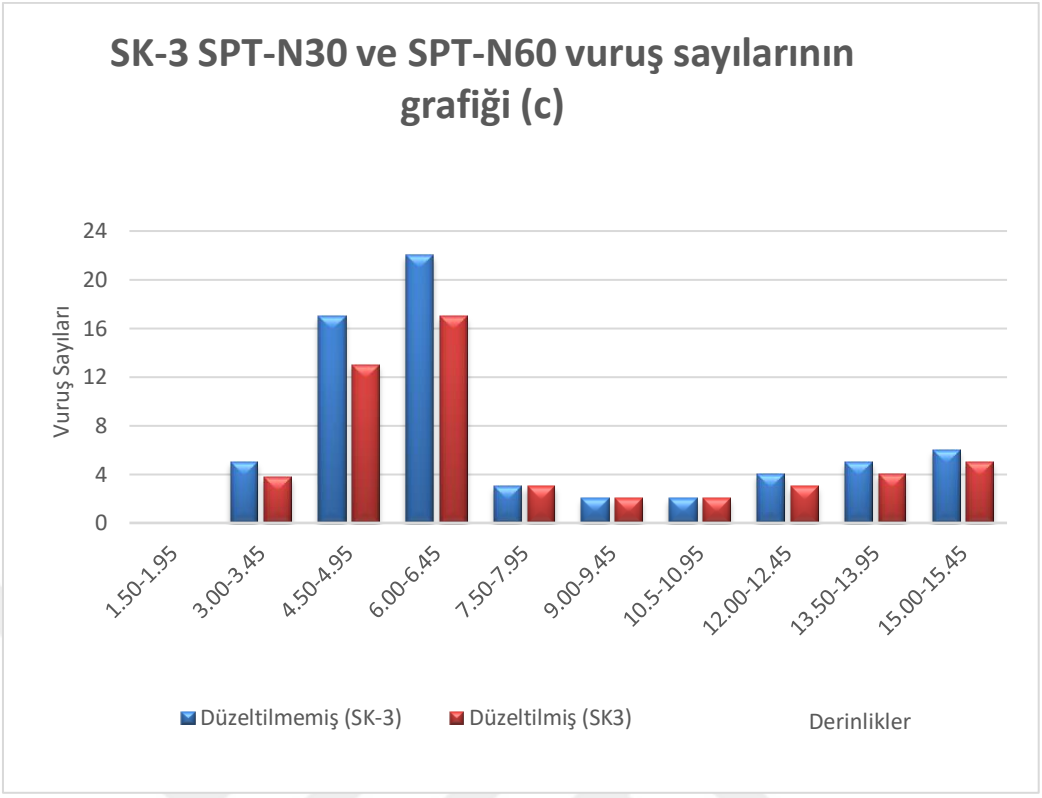
Tablo 3.1. Düzeltilmemiş SPT vuruş sayıları.

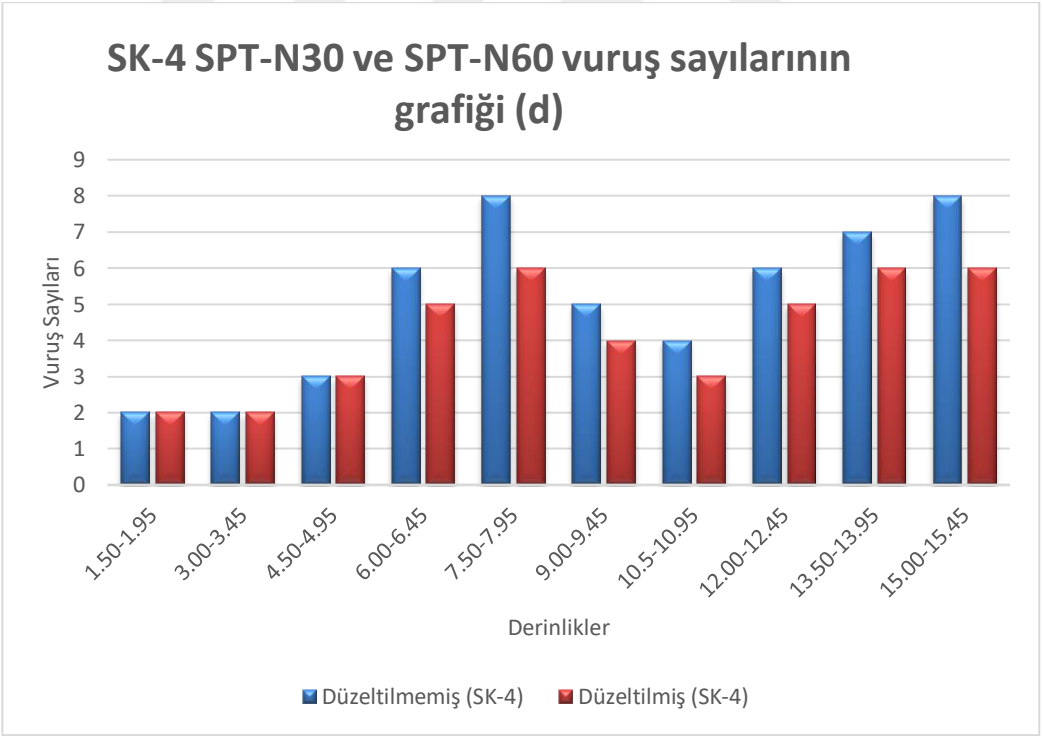
SPT-Derinlik	SK1-N_{30}	SK2-N_{30}	SK3-N_{30}	SK4-N_{30}	SK5-N_{30}
1.50-1.95		6		2	4
3.0-3.45	11	2	5	2	3
4.50-4.95	2	13	17	3	11
6.0-6.45	15	13	22	6	8
7.50-7.95	2	5	3	8	3
9.0-9.45	3	3	2	5	3
10.5-10.95	4	3	2	4	6
12.0-12.45	5	5	4	6	7
13.50-13.95	8	7	5	7	7



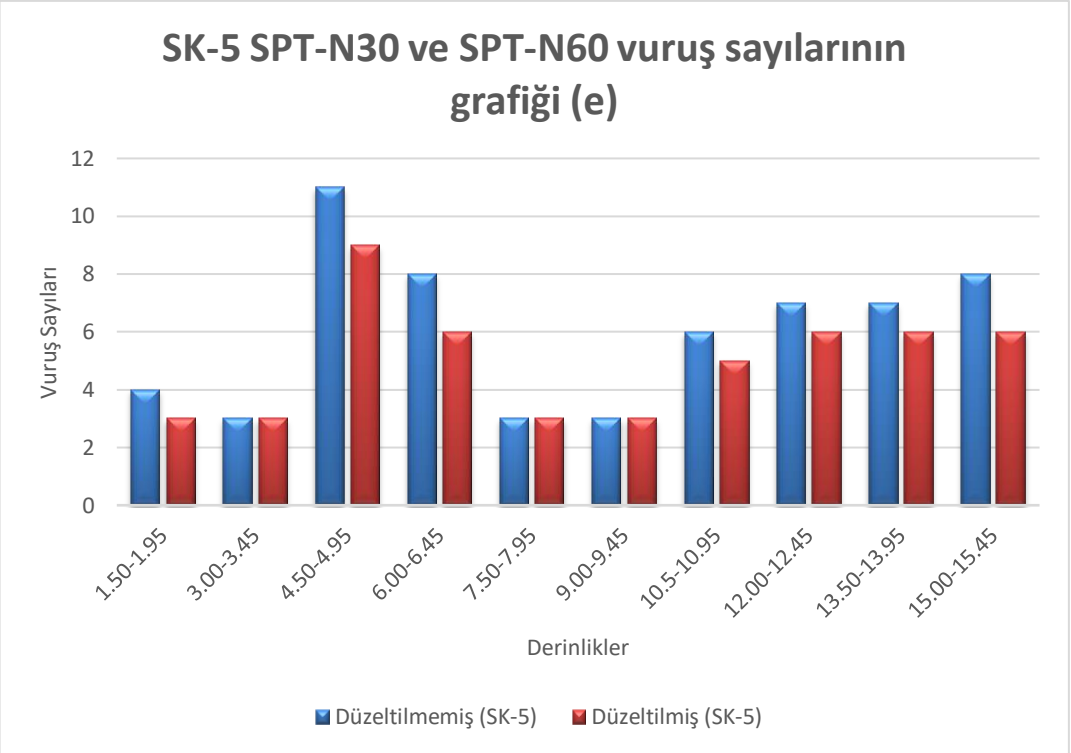


Şekil 3.1. Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği





Şekil 3.1. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği

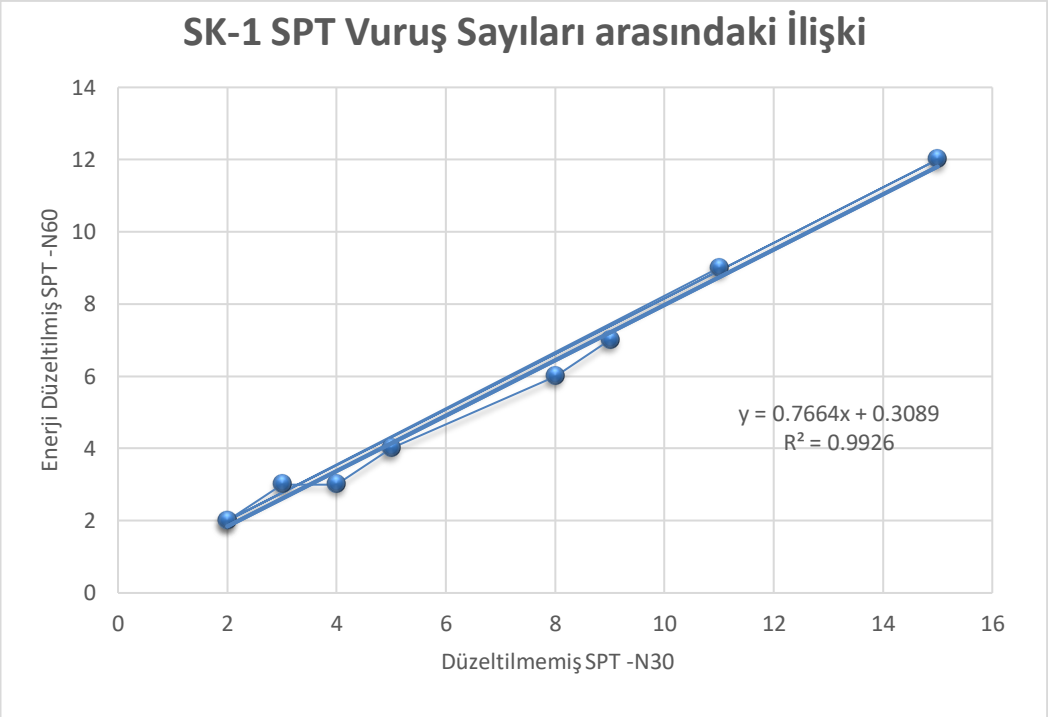


Şekil 3.1. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayılarının derinlik göstergesi: (a) SK-1-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (b) SK-2-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (c) SK-3-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (d) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği, (e) SK-4-N30 ve SPT-N60 vuruş saylarının grafiği

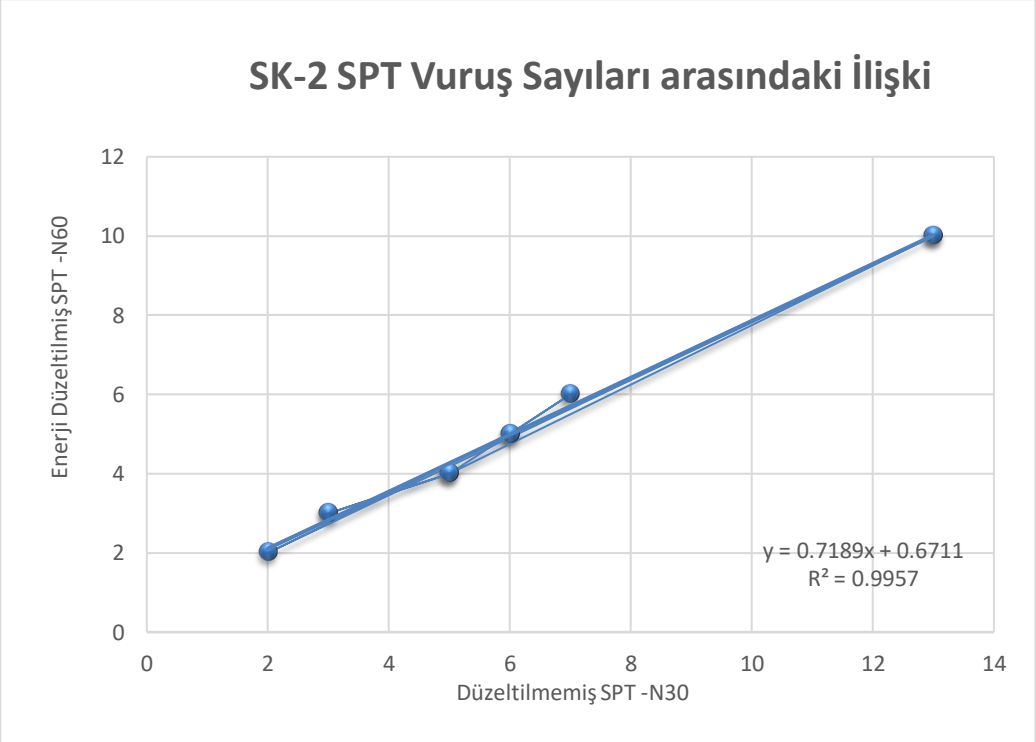
Tablo 3.2. Düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları

SPT-Derinlik	SK1-N_{60}	SK2-N_{60}	SK3-N_{60}	SK4-N_{60}	SK5-N_{60}
1.50-1.95		5		2	3
3.0-3.45	9	2	4	2	3
4.50-4.95	2	10	13	3	9
6.0-6.45	12	10	17	5	6
7.50-7.95	2	4	3	6	3
9.0-9.45	3	3	2	4	3
10.5-10.95	3	3	2	3	5
12.0-12.45	4	4	3	5	6
13.50-13.95	6	6	4	6	6
15.0-15.45	7	5	5	6	6

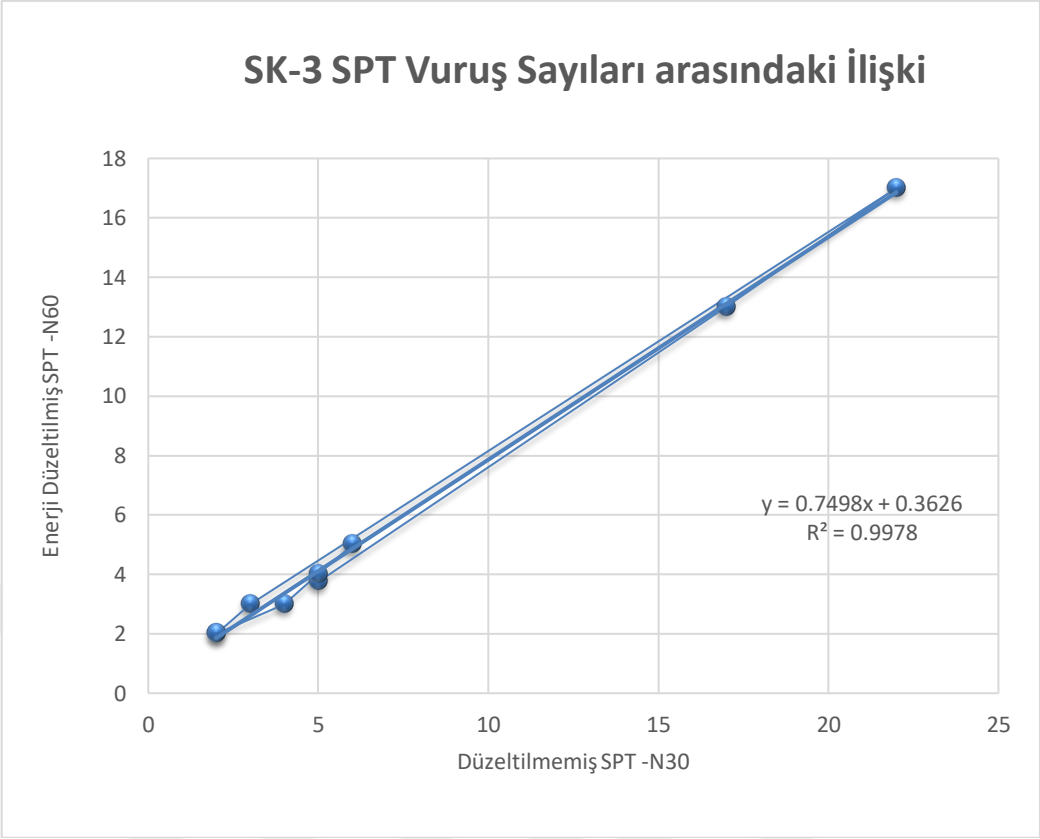
Kuyular için düzeltilmiş ve düzeltilmemiş SPT vuruş sayıları arasındaki ilişkiler.



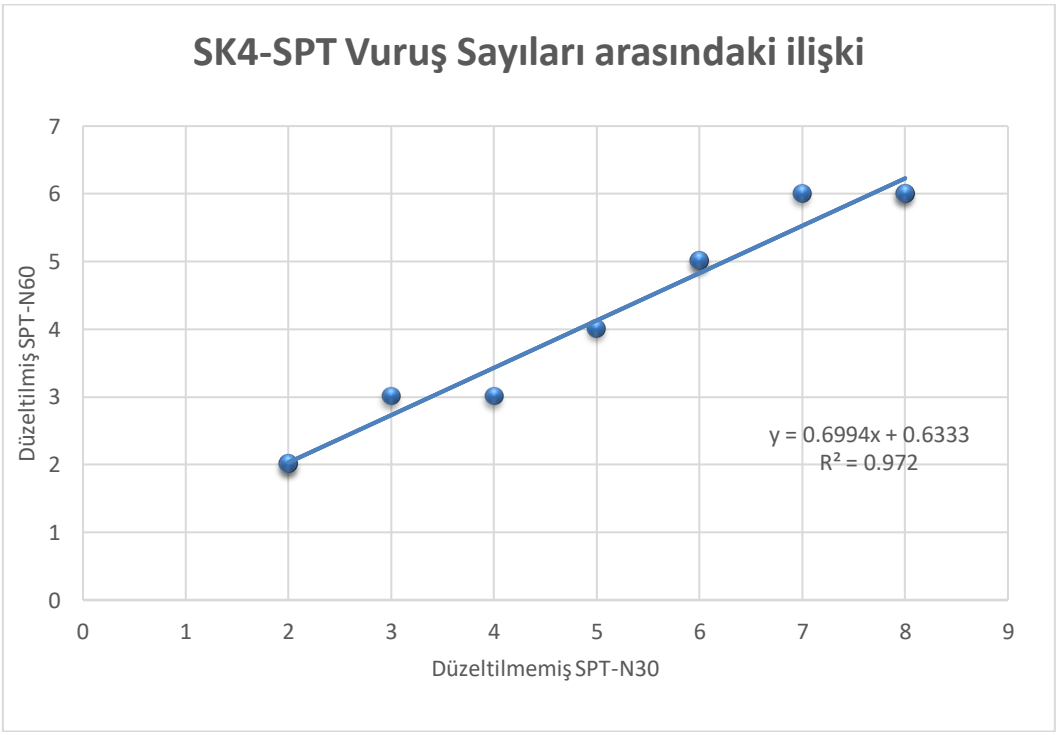
Şekil 3.2. SK-1 Düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT -N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi



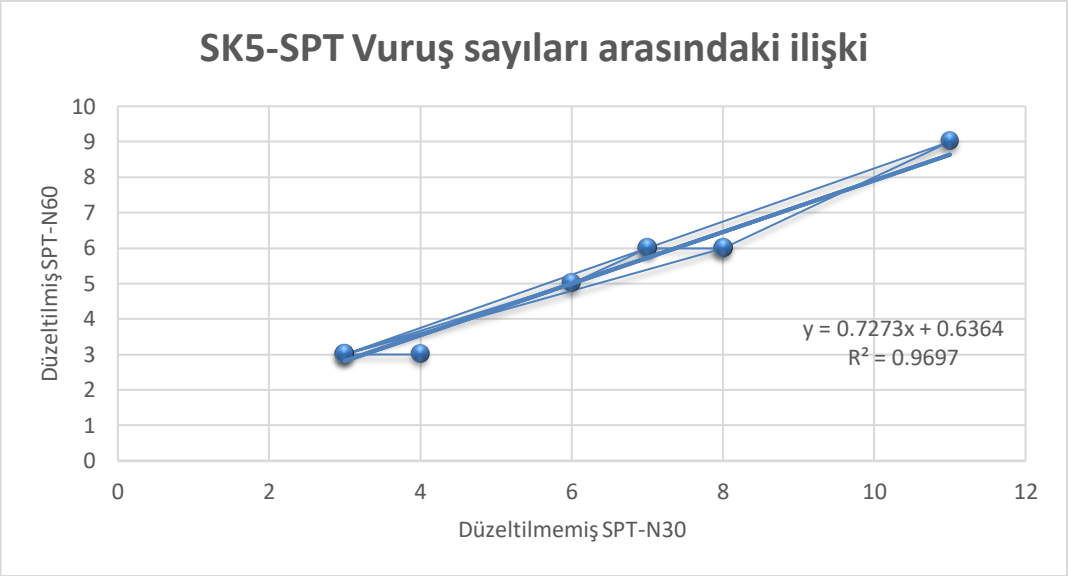
Şekil 3.3. SK-2 düzeltilmemiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasında ilişki grafik göstergesi



Şekil 3.4. SK-3 düzeltilmiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi



Şekil 3.5. SK-4 düzeltilmiş SPT-N_{30} və düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi



Şekil 3.6. SK-5 düzeltilmiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT-N_{60} vuruş sayıları arasındaki ilişki grafik göstergesi

Yapılan 47 adet SPT N_{30} deneyinden darbe sayılarının (N_{30}) 2-22 arasında olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3.3.Yapılan sondajlardan elde edilen SPT darbe sayıları (N_{30}) – Zemin Sınıf

Son.No	Seviye-(m)	SPT N30	Zemin Tipi	Litolojik Birim
SK-1	3.00-3.45	11	GC	Killi Çakıl
SK-1	4.50-4.95	2	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	6.00-6.45	15	GM	Siltli çakıl
SK-1	7.50-7.95	2	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	9.00-9.45	3	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	10.50-10.95	4	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	12.00-12.45	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	13.50-13.95	8	CL	Plasitesi düşük kil
SK-1	15.00-15.45	9	ML	Plasitesi düşük silt
SK-2	1.50-1.95	6		Dolgu
SK-2	3.00-3.45	2	ML	Plasitesi düşük silt
SK-2	4.50-4.95	13	GC	Killi Çakıl
SK-2	6.00-6.45	13	GC	Killi Çakıl
SK-2	7.50-7.95	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-2	9.00-9.45	3	CL	Plasitesi düşük kil
SK-2	10.50-10.95	3	CL	Plasitesi düşük kil
SK-2	12.00-12.45	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-2	13.50-13.95	7	CL	Plasitesi düşük kil
SK-2	15.00-15.45	6	CL	Plasitesi düşük kil

Tablo 3.3.(Devam) Yapılan sondajlardan elde edilen SPT darbe sayıları (N_{30}) – Zemin Sınıf

Son.No	Seviye-(m)	SPT N30	Zemin Tipi	Litolojik Birim
SK-3	3.00-3.45	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-3	4.50-4.95	17	GC	Killi Çakıl
SK-3	7.50-7.95	22	SM	Siltli kum
SK-3	9.00-9.45	3	ML	Plasitesi düşük silt
SK-3	10.50-10.95	2	ML	Plasitesi düşük silt
SK-3	12.00-12.45	4	CL	Plasitesi düşük kil
SK-3	13.50-13.95	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-3	15.00-15.45	6	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	1.50-1.95	2		Dolgu
SK-4	3.00-3.45	2	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	4.50-4.95	3	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	6.00-6.45	6	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	7.50-7.95	8	ML	Plasitesi düşük silt
SK-4	9.00-9.45	5	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	10.50-10.95	4	ML	Plasitesi düşük silt
SK-4	12.00-12.45	6	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	13.50-13.95	7	CL	Plasitesi düşük kil
SK-4	15.00-15.45	8	CL	Plasitesi düşük kil
SK-5	1.50-1.95	4	GC	Killi Çakıl
SK-5	3.00-3.45	3	GC	Killi Çakıl
SK-5	4.50-4.95	11	GC	Killi Çakıl
SK-5	6.00-6.45	8	ML	Plasitesi düşük silt
SK-5	7.50-7.95	3	ML	Plasitesi düşük silt
SK-5	9.00-9.45	3	CL	Plasitesi düşük kil
SK-5	10.50-10.95	6	CL	Plasitesi düşük kil
SK-5	12.00-12.45	7	CL	Plasitesi düşük kil
SK-5	13.50-13.95	7	CL	Plasitesi düşük kil
SK-5	15.00-15.45	8	CL	Plasitesi düşük kil

Tablo 3.4. NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003)

Zemin Sınıfı	Stratigrafik Tanımlama	Parametreler		
		Vs_{30} (m/sn)	N_{SPT} 30cm	C_u(kPa)
A	Sert Kaya	>1500	-	-
B	Kaya	760-1500		
C	Çok yoğun zemin ya da yumuşak kaya	360-760	>50	>100
D	Sert zemin	180-360	15-50	50-100

Tablo 3.4. (Devam) NEHRP'te tanımlanan zemin grupları (BSSC, 2003)

Zemin Sınıfı	Stratigrafik Tanımlama	Parametreler		
		Vs_{30} (m/sn)	N_{SPT} 30cm	C_u(kPa)
E	Zemin veya kalınlığı 3m'den fazla, PI>20, w>40% ve S_u<25kPa olan yumuşak kil birimleri	<180	<15	<50
F	Ayrıntılı değerlendirme gerektiren zeminler			
	1. Sıvılaşabilir zeminler, hızlı ve yüksek duyarlılıklı killer, zayıf çimentolu zemin birimleri,			
	2. Turba ve/veya kalınlığı 3m'den büyük yüksek organik içeren kil birimleri			
	3. Kalınlığı 8m'den büyük ve PI>75 olan çok yüksek plastisiteli kil birimleri			
	4. Kalınlığı 36 m'den büyük, Su>50kPa olan çok kalın, yumuşak/orta-yumuşak sıkı kil birimleri			

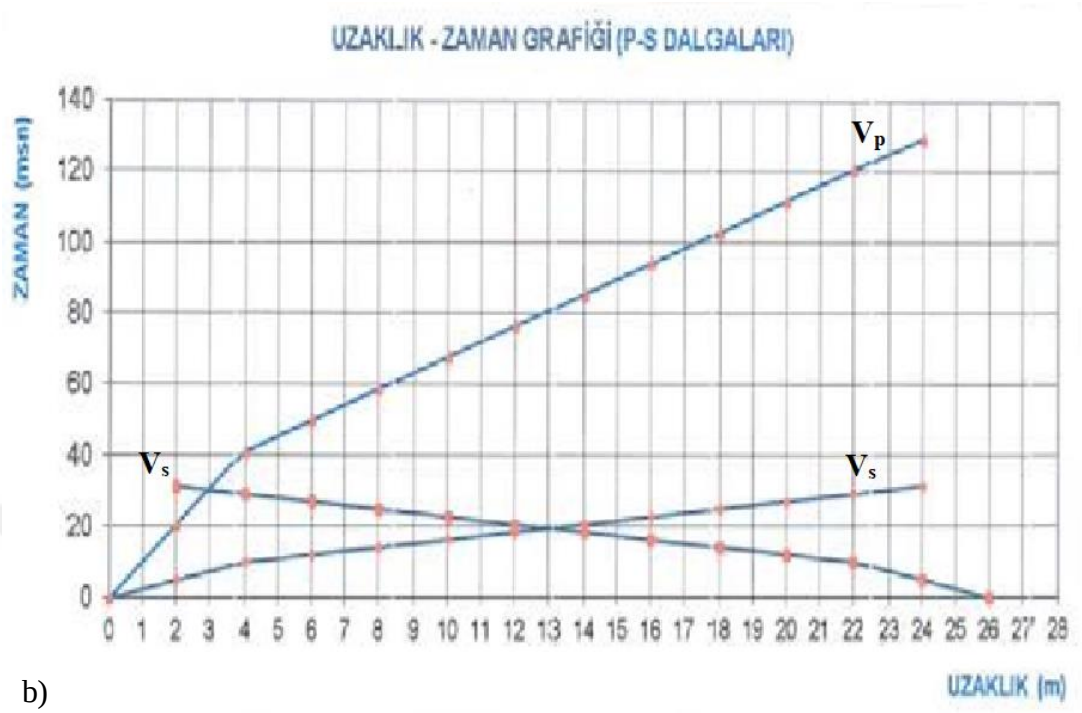
3.2. Arazide Yapılmış MASW Çalışmaları

Jeofizik etüt ve değerlendirmeler sonucu hazırlanan jeofizik sismik kırılma kesitinden de görüleceği üzere üstte ortalama kalınlığı 1,28-1,30 metre olan ve düşük hız veren dolgu tabakasının varlığı belirlenmiştir. Bu tabakanın altında ise hızın daha yüksek olduğu bir tabakaya rastlanmaktadır. Sismik ölçüler sonucun da hesaplanan zemin parametreleri aşağıdakı tablo'da verilmişdir.

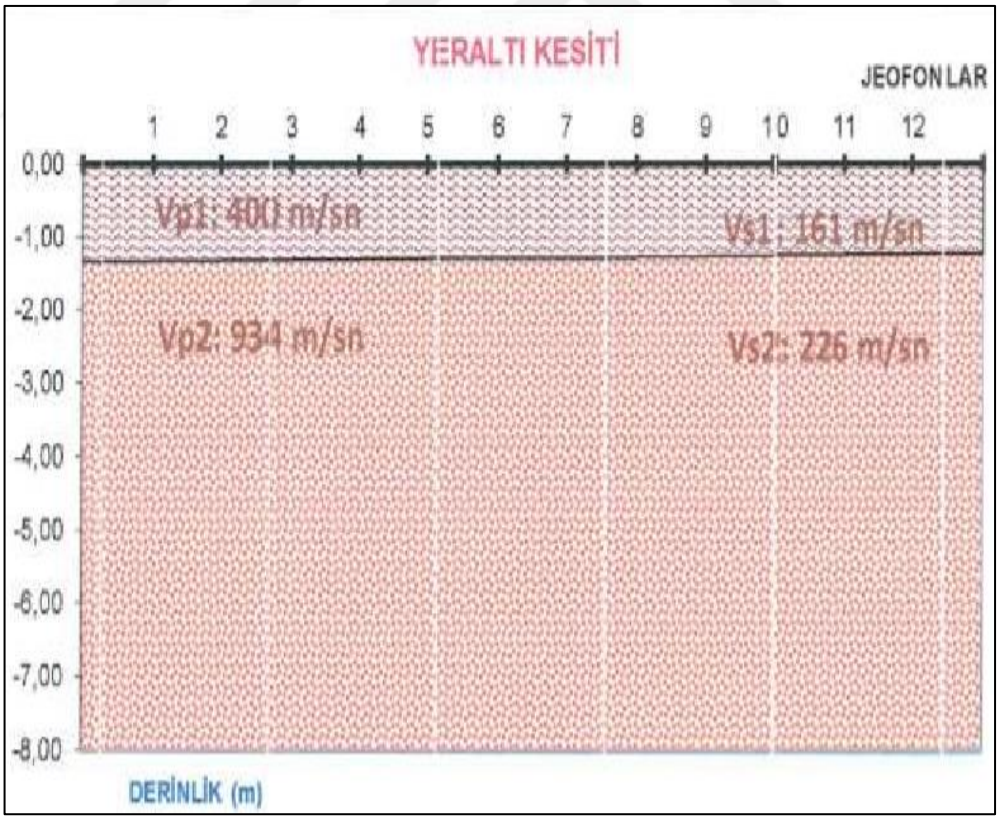
Tablo 3.5. Sismik kırılma ve MASW ölçüleri ile hesaplanan parametreler

Sismik No	Vp/Vs		Poisson Oranı		Elastisite Modülü (E)		Kayma Modülü (G)		Bulk Modülü (K)		Yoğunluk (d) (gr/cm3)		Vs30 (m/san)
Tabakalar	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
SS-1	2,5	4,13	0,4	0,47	1012	2578	361	877	1737	13797	1,39	1,71	202,1
SS-2	2,4	4,1	0,39	0,47	1064	2660	381	906	1685	13799	1,38	1,72	210,9

a)

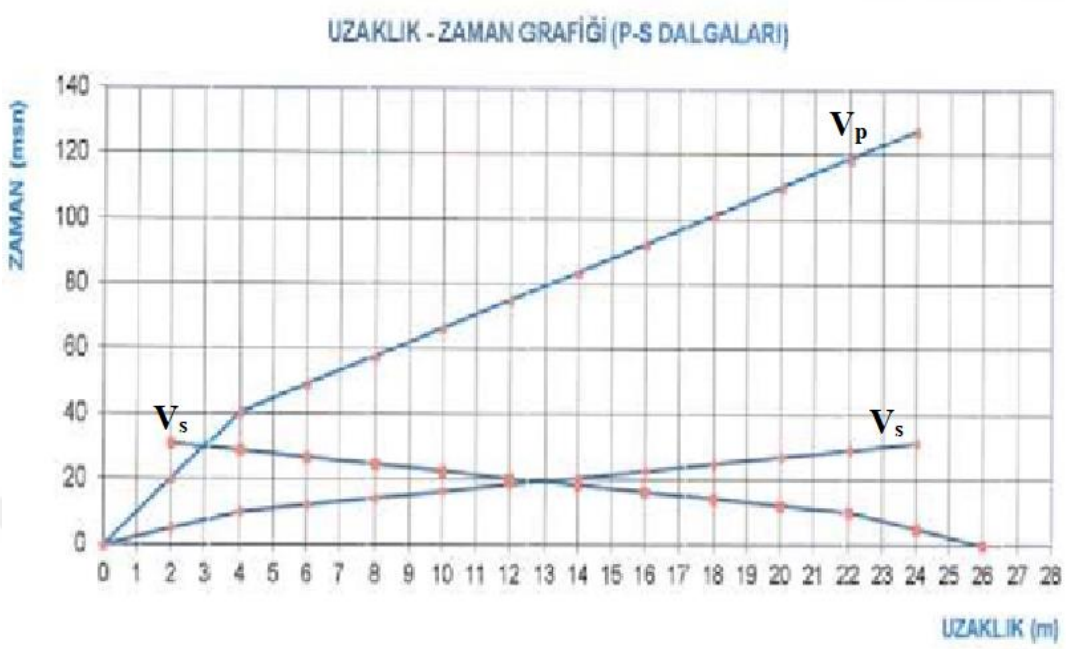


b)

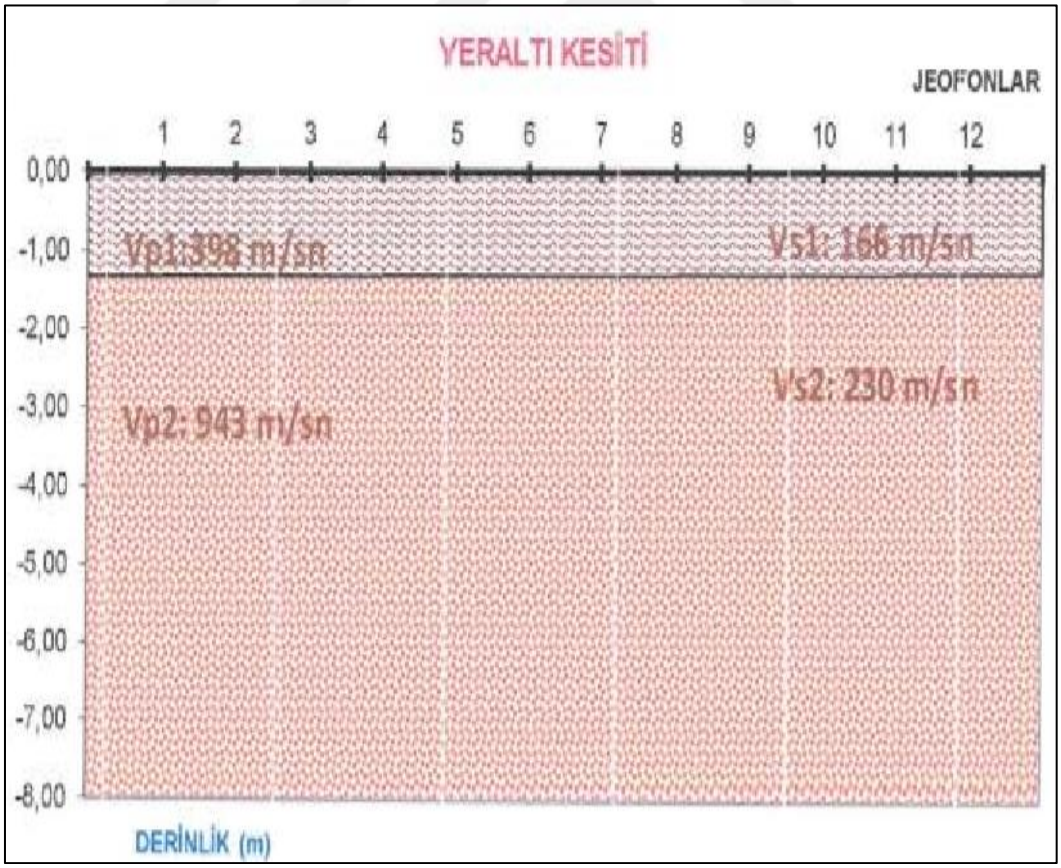


Şekil 3.7. SİS-1 nolu Sismik kırılma Analizi. (a) - V_P-V_S dalgasının zaman-uzaklık grafiği. (b) - Yer altı kesiti ve sismik kırılma Analizi sonucunda elde edilen V_P-V_S dalga hızları.

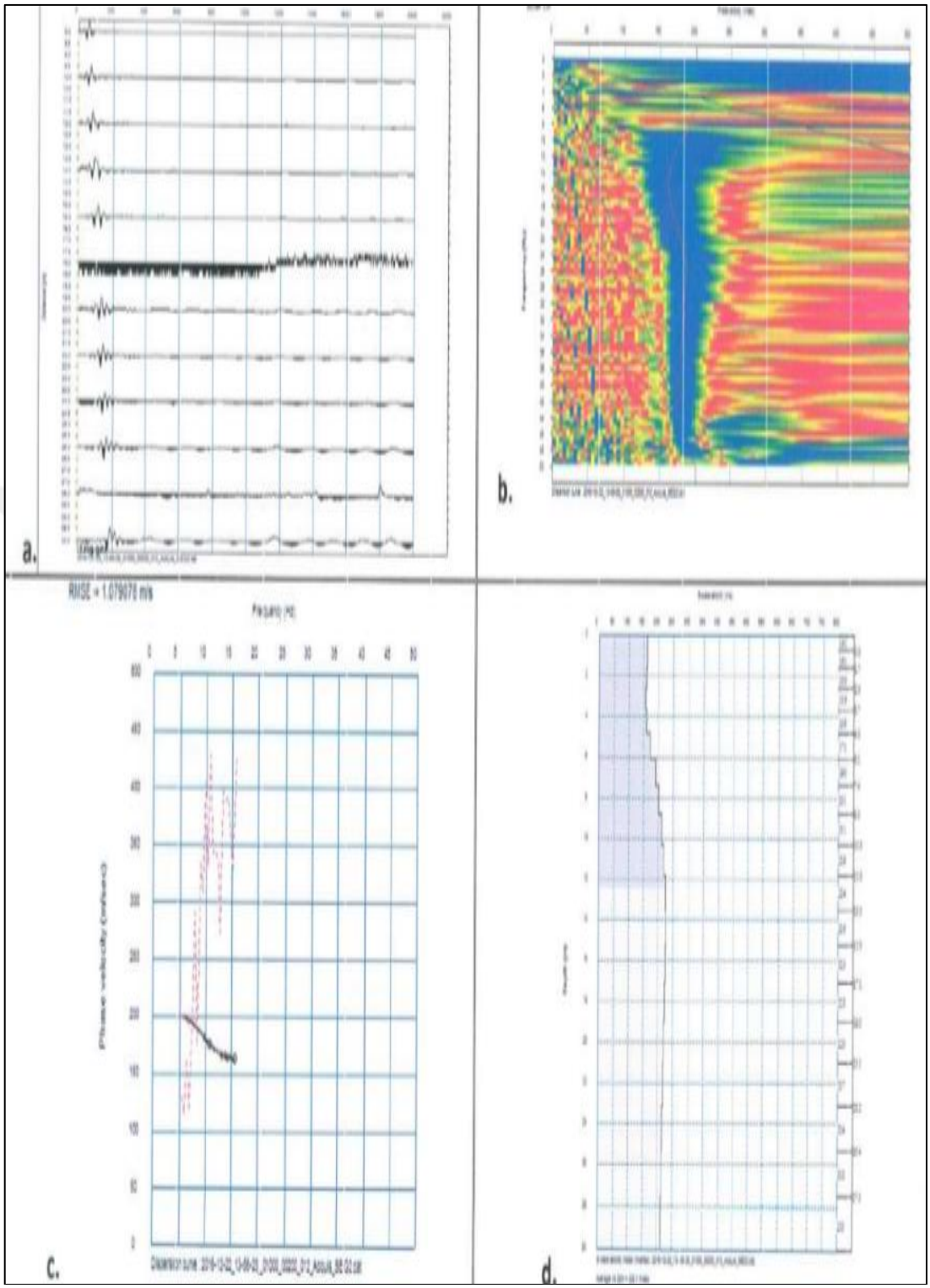
a)



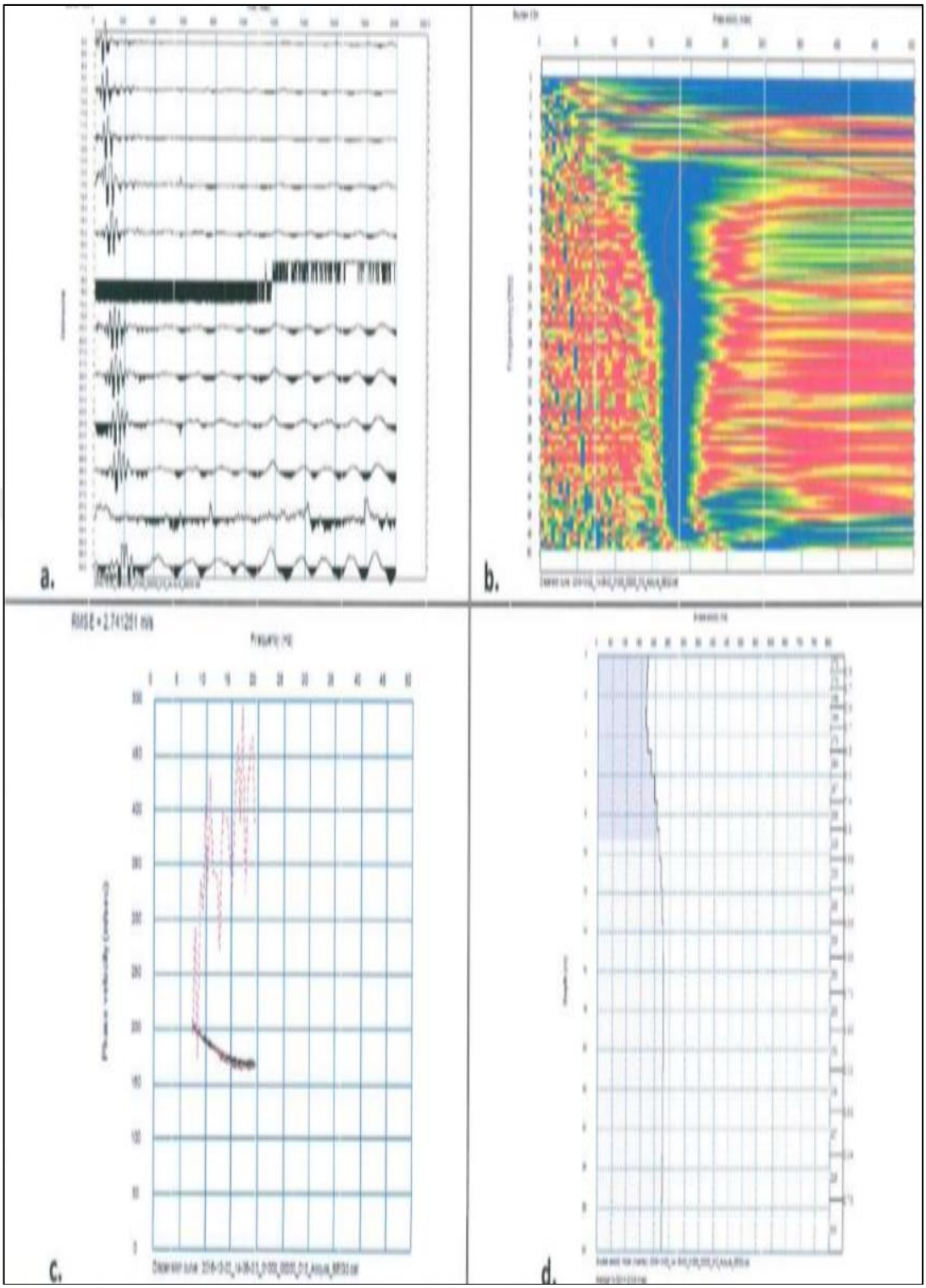
b)



Şekil 3.8. SİS-2 nolu Sismik kırılma Analizi. (a) - V_P-V_S dalgasının zaman-uzaklık grafiği. (b) - Yer altı kesiti ve sismik kırılma Analizi sonucunda elde edilen V_P-V_S dalga hızları.

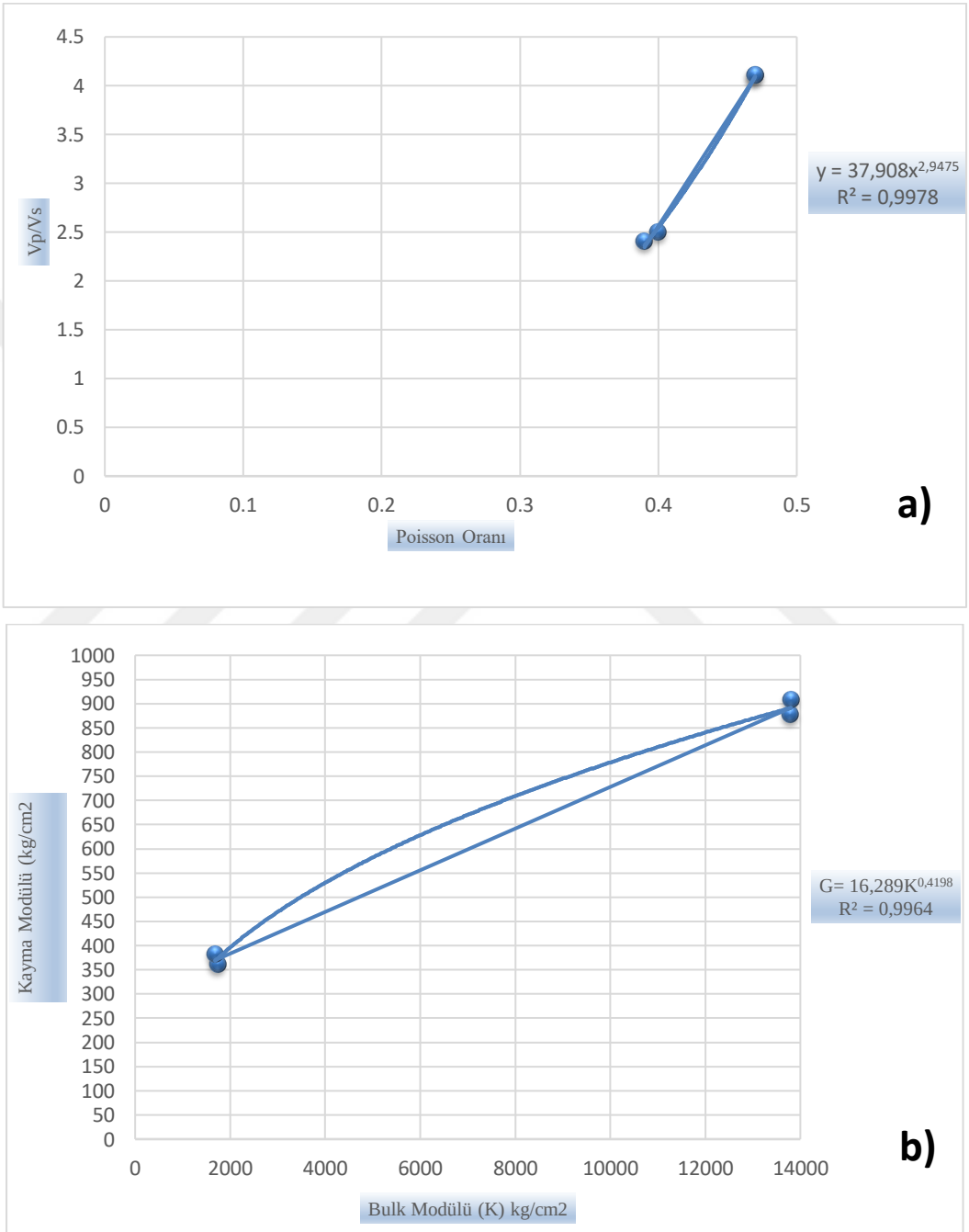


Şekil 3.9. MASW-1 analizi: **(**a) 4-40 Hz band-Passfiltreli 12 kanallı MASW sinyali, (b) sismik kayıtta mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının faz-hızı-frekans dönüşümünü gösteren dispersiyon spektrumu. (c) Dispersion eğirisi. (d) V_{s30} tabaka modeli S-dalgası yer altı kesiti.

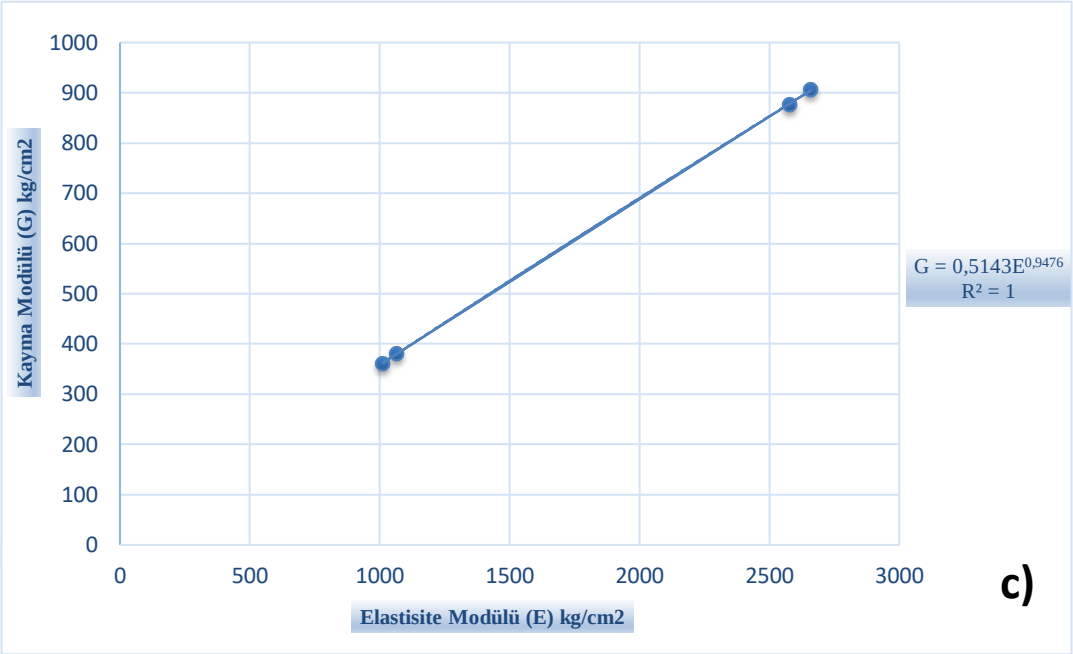


Şekil 3.10. MASW-2 analizi: (a) 4-40 Hz band-Passfiltreli 12 kanallı MASW sinyali, (b) sismik kayıtta mevcut Rayleigh tipi yüzey dalgalarının faz-hızı-frekans dönüşümünü gösteren dispersiyon spektrumu. (c) Dispersion eğrisi. (d) V_{s30} tabaka modeli S-dalgası yer altı kesiti.

İnceleme alanında, 2 adet sismik kırılma ölçüsü ve aynı hat boyunca 2 adet MASW ölçüsü alınmıştır. Alınan ölçüler için 12 kanallı DoReMi marka sismik ölçüm cihazı kullanılmıştır. Her serim için dinamik elastik parametreler hesaplanmıştır. Parametreler arasındakı ilişkilere bakılmıştır.

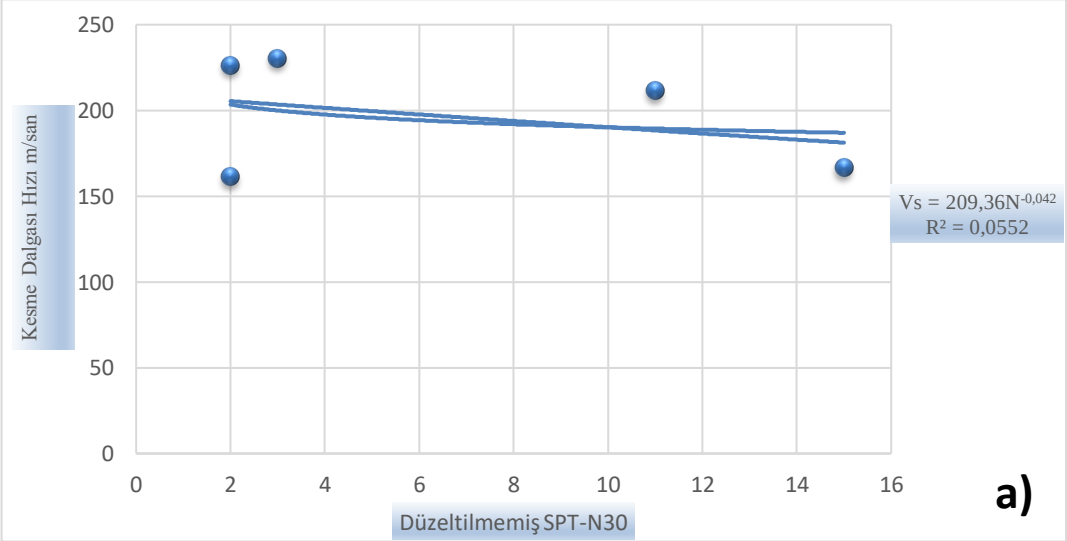


Şekil 3.11. Dinamik Elastik parametreler arasındaki ilişkiler. (a) Poisson oranı ve V_p/V_s oranı arasındaki ilişkiler, (b) Bulk modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler, (c) Elastisite modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler

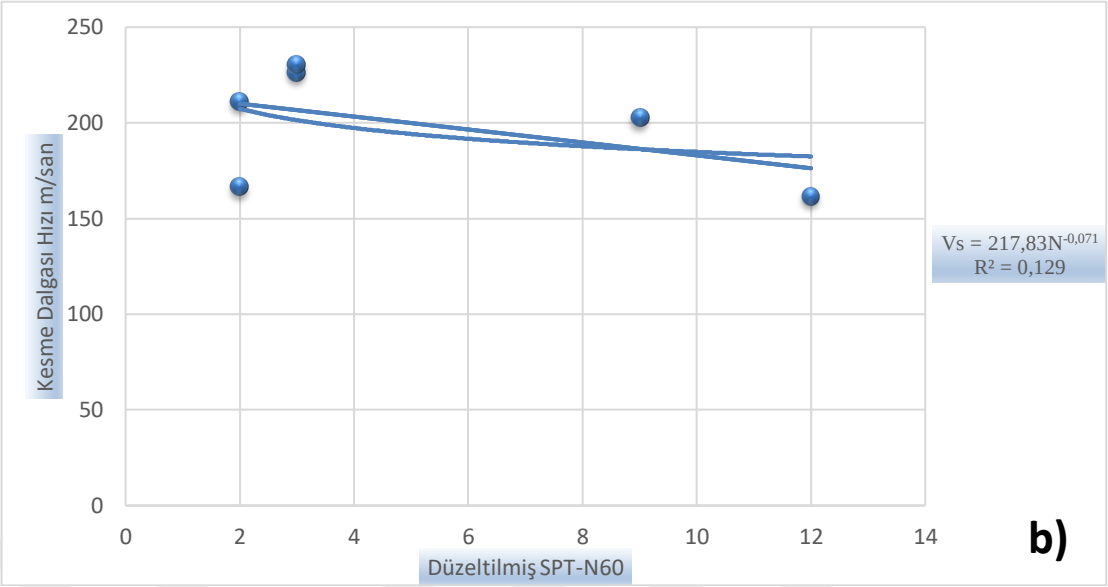


Şekil 3.11. (Devam) Dinamik Elastik parametreler arasındaki ilişkiler. (a) Poisson oranı ve Vp/Vs oranı arasındaki ilişkiler, (b) Bulk modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler, (c) Elastisite modülü ve Kayma modülü arasındaki ilişkiler

Araziden alınmış SPT-N_{30} verileri ile Kesme Dalgasının Hızı verileri arasındaki ilişkilere bakılmıştır. Düzeltilmiş veya düzeltilmemiş SPT-N_{30} verilerinin Kesme Dalgası Hızı ile arasındakı ilişki kat sayıları hesaplanmıştır.



Şekil 3.12. Düzeltilmemiş SPT-N30 ve SPT-N60 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler. (a) Düzeltilmemiş SPT-N30 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler, (b) SPT-N_{60} ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler



Şekil 3.12. (Devam) Düzeltilmemiş SPT-N30 ve SPT-N60 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler. (a) Düzeltilmemiş SPT-N30 ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler, (b) SPT-N_{60} ile Kesme Dalgası Hızı arasındakı ilişkiler

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

İzmit-Seka sahili -Kocaeli Kongre Merkezi sahasında yapılmış olan çalışma sahası; düşük plastisiteli, kil ve silt'ten ibaret, Kuvaterner alüvyon olmak üzere tek bir ana birim gözlenmiştir. Bu çalışmada, 5 adet mekanik sondaj lokasyonlarından alınmış MASW verileri ile SPT-N_{30} verileri incelenmiştir. Buna göre her iki sismik (MASW) ile mekanik esaslı (SPT-N) test verileri birlikte incelenerek elastik dinamik parametreler arasındaki ilişkiler belirlenmiştir. Belirlenen bu ilişkiler aşağıda verilmektedir:

1) SK-1,SK-2,...SK-5 için; düzeltilmemiş SPT-N_{30} ve düzeltilmiş SPT -N_{60} arasındaki korelasyon ikişkisinde oldukça iyi bir uyum gözlenmiştir (R^2=0,96-099).
2) Yapılan sondajlardan elde edilen SPT darbe sayıları (N_{30}) kullanılarak "Zemin Sınıflaması" yapılmıştır. Bu sınıflamaya göre; çalışma sahası hemen her seviyede düşük plastisiteli kil oluşumludur. Ancak; SK-1'in 5,0-6,5 seviyesi ile SK-3'ün 4,5-8,0 m seviyeleri killi çakıl, siltli kum içeriklidir. Bu seviyeler EK-1 ve EK-3'te de görülmektedir.
3) İnceleme alanında alınan verilerdeki SPT-N_{30} vuruş sayıları üzerinde enerji düzeltmeleri yapılmıştır. Bu düzeltmelerin düzeltilmemiş değerlere göre % oranlaması yapılmıştır. Bu oranlama değeri % 17-33 arasında değişmektedir.
4) Çalışma sahasında 2 sismik kırılma profili ve aynı hat boyunca 2 adet MASW ölçümü alınmıştır. Bu ölçümlere göre; her serim için dinamik elastik parametreler hesaplanarak parametreler arasındakı ilişkiler incelenmiştir.
5) Elastik dinamik parametreler arasındaki ilişkilerde; Elastisite-Kayma modülü, Kayma modülü-Bulk Modülü, Vp/Vs-Poisson oranı parametreleri arasındaki korelasyon katsayısı çok uyumlu ve 1'e yakındır Bununla birlikte; Vs kayma dalga hızı- düzeltilmemiş SPT-N_{30} korelasyon ilişkisi çok zayıftır (R^2=0,055). Aynı şekilde; düzeltilmiş Vs kayma dalga hızı ile SPT-N60 korelasyon ilişkisi de bölgenin zemini göz önüne alındığında uyumsuzdur (R^2=0,13).

6) Mekanik sondaj verilerine göre SK-1, SK-2,...,SK-5 değerlerine göre belirlenen düşey jeolojik birimlerin kesiti (Şekil.2.2.), SPT-N vuruş sayıları ile uyumludur.

Bu araştırmanın yapılacak daha kapsamlı dinamik zemin çalışmalarına katkı sunacağı beklenmektedir.

KAYNAKLAR

Akin M. K., Steven L., Kramer T. T. Empirical correlations of shear wave velocity (Vs) and penetration resistance (SPT-N) for different soils in an earthquake-prone area (Erbaa-Turkey) *Engineering Geology,* 2011, **119**, 1–17.

Anbazhagan P., Sitharam T. G. Evaluation of Dynamic Properties and Ground Profiles using MASW Correlation between V_s and N_{60} 13th Symposium on Earthquake Engineering. *Indial Institute of Technology Roorke*, December 18-20, 2006.

Arjun Sıl T., Sıtharam G., Dynamic Site Characterization and Correlation of Shear Wave Velocity with Standard Penetration Test 'N' Values for the City of Agartala, Tripura State, India Pure Appl. *Geophys,* 2014, **171**, 1859–1876.

ASTM D1586-11. Standard Test Method for Standard Penetration Test (SPT) and Split-Barrel Sampling of Soils, *ASTM International, West Conshohocken*, PA, 2011, www.astm.org

ASTM D1586-84. Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of oils, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, PA, 1997.

Aylin K. Dalga Gradiyometre Yöntemi ile Yüzey Dalgalarının Dispersiyon Analizi. Yüksek lisans tezi, 2011.

Bazaraa A.R.S. Use of Standard penetration testfor estimating settlements of shallow foundations on sand, PhD Thesis, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Illinois, 1967.

Bol E., Özocak A., Sert S., Arel E. Geyve İlçesi (Sakarya) Zemin İnceleme Raporu. *Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü*, 2004.

Bowles J.E. *Foundation analysis and design*, 4.th Edition. McGraw-Hill International Editions, Civil Engineering Series, Singapore, 1998.

Clayton C.R.I. SPT Energy Transmission:Theory, Measurement and Significance, *Ground Engineering*, 1990, **23**(10), 35-43.

Coduto D.P. Geoteknik Mühendisliği: İlkeler ve Uygulamalar. *California Eyaleti Politeknik Üniversitesi*, Prentice Hall, 1999-2000

Dikmen, U. Statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance for soils, *Journal of Geophysics and Engineering*, 2009, **6**, 61-72.

Dipova N., Cangir B. Antalya zeminlerinde CPT (Konik Penetrasyon Deneyi) Uygulamaları, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 2005.

Durgunoğlu H. T., Sancio R.B., Bray J.D., Karadayılar T., Önalp A. Sıvılaşmış Zeminlerde Zemin Davranışı Modellemesinde Kullanılan Zemin Araştırma Yöntemleri- Adapazarı Örneği*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, İTÜ*, İstanbul, 26-27 Ekim, 2000.

Erol A.O. Çekinmez Z., Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri, 9-21.

Evaluatin of intervening factors in the penetration resistance of the SPT (in Portuguese). Doctorate thesis University of Sao Paulo, Sao Carlo s. Brazil Clayton, C.R.I 1993. The Standard Penetration test (SPT) methods and use.

Farrar J. A. 1999. Bulletin Standard Penetration Test Driller's/Operator's Guide, U.S. Department of the interior Bureau of Reclamation Earth Sciences and Research Laboratory, *Dam Safety Office*, DSO-98-17, May 1999.

Farrar J. A., Nickell J., Alien M.G., Goble G., Berger J. Energy loss in long rod penetration testing: Terminus Dam Liquefaction Investigation, Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Geotechnical, August 1998, *ASCE Geotechnical Special Publication*, 1998, **75**, 554-567.

Fatehnia M., Hayden, M. M. Landschoot Correlation between Shear Wave Velocity and SPT-N Values for North Florida Soils, 2015, **20**, Bund. 22.

Gabriels P., Snieder R., Nolet G. In situ measurements of shear-wave velocity insediments with higher-mode Rayleigh waves, *GeophysicalProspecting*, 1987, **35**, 187-196.

Gautam D. Empirical correlation between uncorrected standard penetration resistance (N) and shear wave velocity (VS) for Kathmandu Valley, Nepal, Geomatics, *Natural Hazards and Risk*, 2017, **8**(2), 496-508.

Hasancebi N. U. Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments,*Bull Eng Geol Environ*, 2006, **66**, 203-213.

Karayolları Genel Müdürlüğü. Tekirdağ Çevreyolu Doğu Geçişi KM 5+570-5+980 arasında köprü yaklaşım dolguları geoteknik projesi, 81 s, *Karayolları 1. Blg. Md.* İstanbul, 2007.

Kayacı S., Silahtar A., Nuri M. D. Çok Kanallı Yüzey Dalgası Analiz Yöntemi (MASW) ile Zemin Özellikleri ve Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi: Arifiye-Sakarya Örneği 25.12.2007, 345461, 10.16984.

Kayen R.E., Mitchell, J. K. Seed, R.B., Lodge A., Nishio S., Countinho R. Evaluation of SPT-CPT and Shear Wave-Based Methods for Liquefaction, 1992.

Kramer S. L. *Geotechnical earthquake engineering*, Prentice Hall, 653 1996.

Kulhawy F. H., Trautmann C.H. Estimation of in-situ test uncertainty. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Uncertainty in the Geologic Environment, Madison, WI, August 1996, *ASCE Geotechnical Special Publication*, 1996, **58**, 269-286.

Lee S.H. Regression models of shear wave velocities, J. *Chin. Inst. Eng*. 1990, **13,** 519–32

Liao S. S., Whitman R. V. Overburden correction factors for SPT in sand, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 1986, **112**(3), 373-377.

Marr S. L. Offshore Applications of the Cone Penetrometer, (in Cone Penetration Testing and Experience, Edited by G.M. Norris and R.D. Holtz). Proc. Session Sponsored by Geotechnical Division at ASCE, *National Convention St Louis (Missouri),* 456476, 1981.

McGregor J. A., Duncan J. M. Performance and Use of the Standard Penetration Test in Geotechnical Engineering Practice, Center for Geotechnical Practice and Research, *Virginia Polytechnic Institute and State University*, USA, 1998.

Mehmet Z. K., Silahtar A., Can Ö. An Investigation of S hallow Structures by Shallow Seismic Reflection, MASW and ReMi Techniques: Example of Plio-Quaternery Sediments from Northern of Isparta Urban Area, 28.10.2011.

Ohba S, Toriumi I. Research on vibration characteristics of soil deposits in Osaka, part 2, on velocities of wave propagation and predominant periods of soil deposits. Abstract, Technical meeting of Architectural Institute of Japan; 1970 [in Japanese].

Öner E. Alüviyal Ortamlarda SPT ve CPT Deneylerinin Karşılaştırılması, *Sakarya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2003, **2.**

Pitilakis K., Raptakis D., Lontzetidis K. T., Vassilikou T., Jongmans D. Geotechnical and geophysical description of Euro-Seistests, using field and laboratory tests, and moderate strong ground motions, *J. Earthq. Eng*., 1999, **3**, 381–409.

Potential Assessment Using Loma Prieta Data. Proceedings, Fourth Japan-US. Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction. Technical Report NCEER-92-0019, M. Hamada and T.D. O'Rourke, (Eds.), Honolulu, NY, Vol.1 177-204. Hawaii, Buffalo,

Sağlamer A. Standart Penetrasyon Deneyi Nedir-Ne Değildir, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Türk Milli Komitesi Bülteni,* 1979, **1**(4), 267-271.

Sanglerat G. Sangterat T.R.A. Pitfalls of the SPT, Proceeding of the 2nd Europen Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, Netherlands, May 1982, **1,** 143-145.

Schmertmann J. H., Palacios A. Energy Dynamics of SPT, *Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 1979, **105**(GT8), 909-926.

Seed H. B., Tokimatsu K., Harder L., Chung R.M. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations, *ASCE Journal of Geotechnical Engineering*, 1985, **111**(12), 1425-1445.

Seed H. B. Evaluation of soil liquefaction effects on level ground during earthquakes, Liquefaction Problems in Geotechnical Engineering*: ASCE Special Session, Preprint 2752, ASCE National Convention,* September-October 1976, 1-105.

Sew G. S., Chin T. Y. Planning of Subsurface Investigation and Interpretation of Test Results for Geotechnical Design, *IEM Seminar on Geotechnical Engineering*, Penang, 2000.

Silahtar A., Kanbur M. Z. Senirkent Yerleşim Alanına ait Zemin Özelliklerinin ReMi Yöntemi ile İncelenmesi, *Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu*, 2015, 69-75.

Sivrikaya O. Standard Penetrasyon Deneyi ile Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türkiye'deki Uygulaması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2003.

Skempton A.W. Standard penetration test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative dencity, particle size, aging and overconsolidation, *Geotechnique*, 1986, **36**(3), 425-447.

Teng W. C. *Foundation design*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1962

Terzaghi K., Peck B.R. Soil Mechanics in Engineering Practice, 1948

Thaker T. P., Rao K. S. Development of statistical correlations between shear wave velocity and penetration resistance using MASW technique Department of Civil Engineering, *Indian Institute of TechnologyDelhi*, New Delhi-110016, Delhi, India.

Tomlinson M. J. *Pile design and construction practice*, Viewpoint Publication, London, 1981.

Ulusay R. *Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler* (Genişletilmiş Baskı), Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Ankara, 2001.

Uyanık O. Kayma Dalga Hızına Bağlı Potansiyel Sıvılaşma Analiz Yöntemi, Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2002.

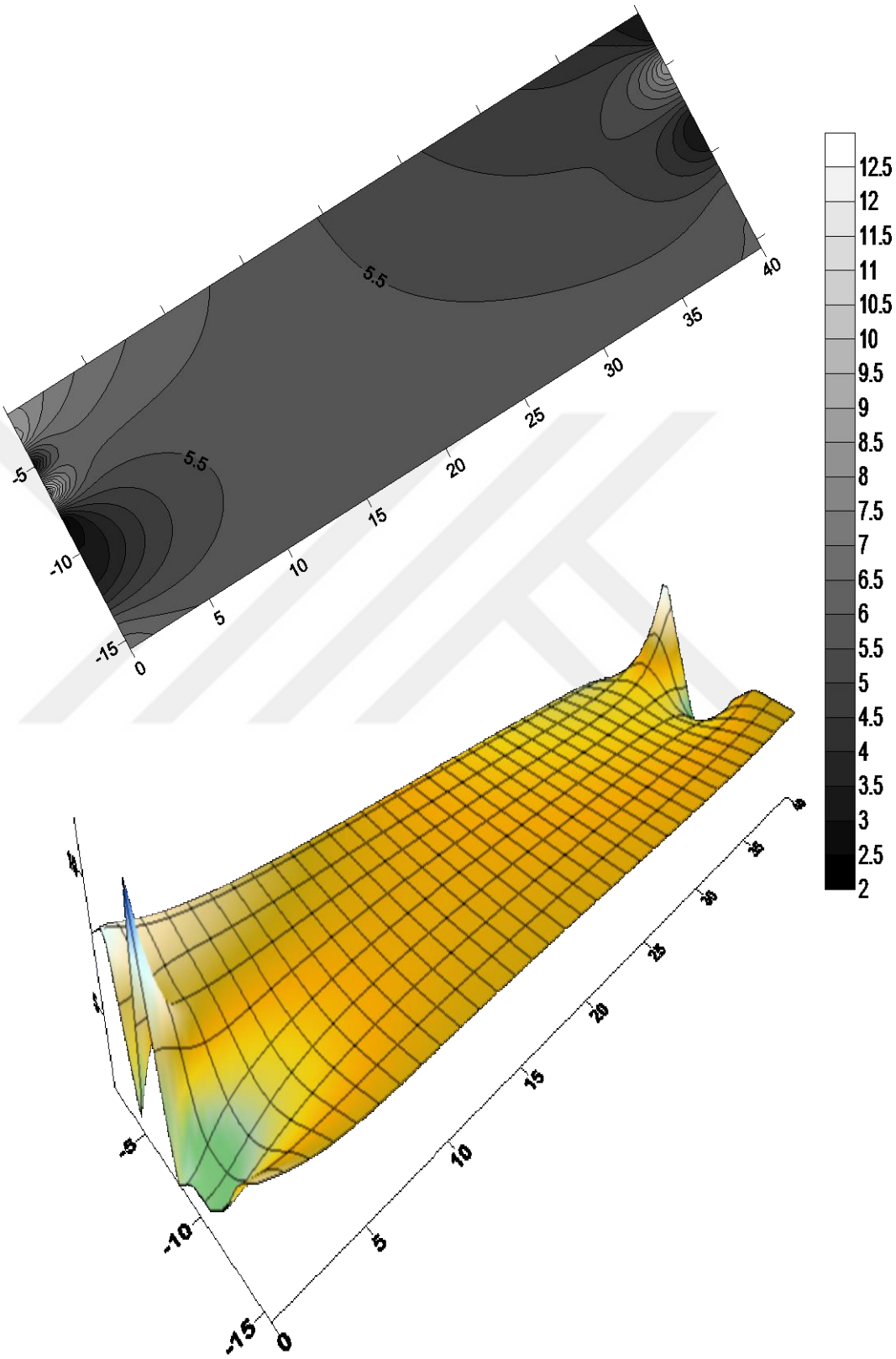
Yoshimi Y., Tokimatsu K. SPT practice survey and comparative tests, *Soils and Foundations*, **23**(3), 105-111.

EKLER

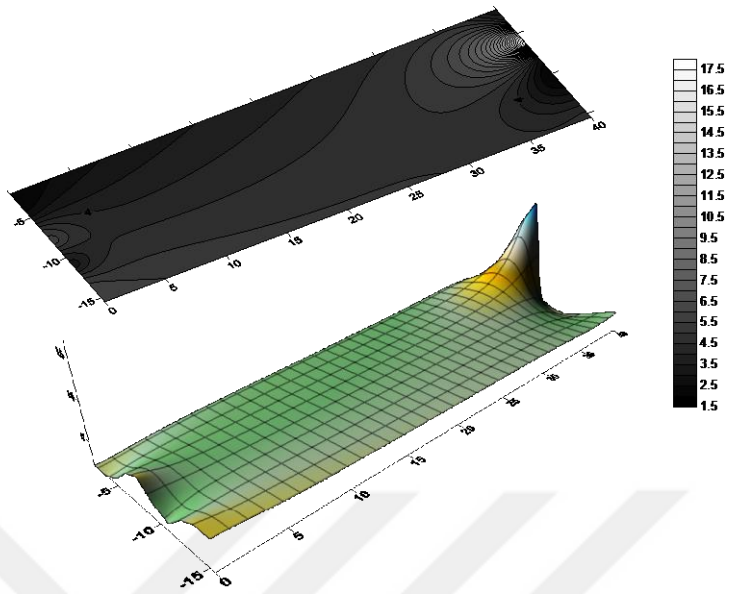
Ek-A. Zemin parametrelerinin hesaplanmasında kullanılan formüller

Parametre	**Formüller**	**Kaynaklar**
Sıkılık	V_P/V_S	Keçeli, D.Ali 1990
Kalınlık (h)	$h = T_i/2((\frac{V_{P1} * V_{P2}}{\sqrt{V_{P2}^2 - V_{P1}^2}}))$	Keçeli, D.Ali 1990
Poisson Oranı (μ)	$\mu = \frac{({V_P}^2 - 2{V_S}^2)}{2({V_P}^2 - {V_S}^2)}$	Keçeli, D.Ali 1990
Elastisite Modülü (E)	$E = \frac{G(3V_P^2 - 4V_S^2)}{V_P^2 - V_S^2} kg/cm^2$	Keçeli, D.Ali 1990
Kayma Modülü (G)	$\mathrm{G} = \frac{\mathrm{dx}V_S^2}{100} \mathrm{kg/cm^2}$	Keçeli, D.Ali 1990
Bulk Modülü (K)	$\mathrm{K} = \frac{\mathrm{d}(V_P^2 - \frac{4}{3V_S^2})}{100} \mathrm{kg/cm^2}$	Keçeli, D.Ali 1990
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T_0)	$\mathrm{T_0} = \frac{4\mathrm{x}h_1}{V_{s1}} + \frac{4(50 - h_1)}{V_{S2}} \mathrm{sn}$	Kanai, 1961

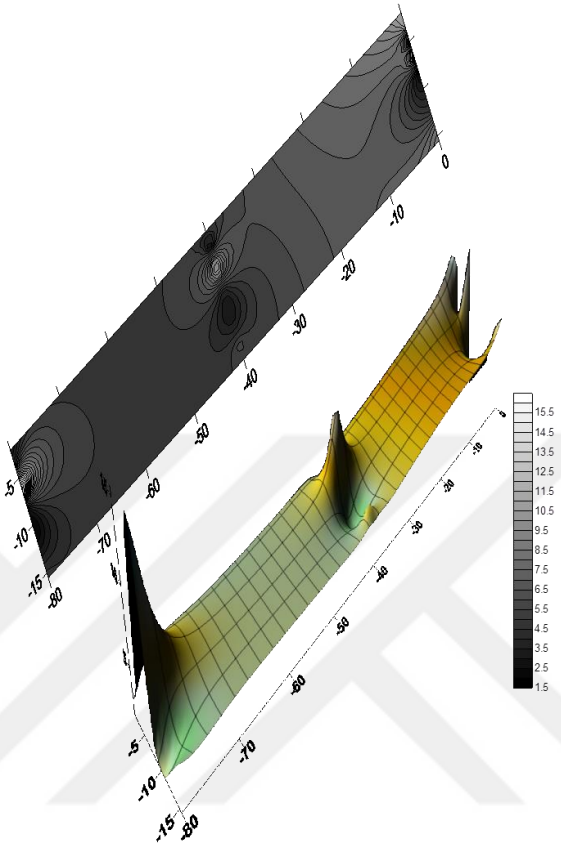
EK-B. Kongre Merkezi-Derinlikler ile SPT vuruş sayılarının kesiti - (SK1-Sk-5)



EK-C. Kongre Merkezi-Derinlikler ile SPT vuruş sayılarının kesiti- (SK4-Sk-3)



EK-D. Kongre Merkezi-Derinlikler ile SPT vuruş sayılarının kesiti-(SK-1, Sk-2, SK-3)



EK-E. Örtü yükü düzeltme faktörleri (C_N) (Carter ve Bentley, 1991)

<table>
<tr><th>Referans</th><th colspan="2">Düzeltme faktörü (CN)</th><th>Örtü yükü basıncının birimi (σ_v')</th></tr>
<tr><td>Peck ve diğerleri (1974)</td><td colspan="2">$CN = 0.77\log 1020/\ \sigma v'$</td><td>kg/cm^2 veya ton/ft^2</td></tr>
<tr><td>Tokimatsu ve Yoshimi (1983) (Aynı zamanda Skempton (1986)'ın "aşırı konsolide olmuş ince kumlar" için kullandığı eşitliktir.)</td><td colspan="2">$CN = 1.7/0.7 + \ \sigma v'$</td><td>kg/cm^2 veya ton/ft^2</td></tr>
<tr><td>Liao ve Whitman (1986)</td><td colspan="2">$CN = \sqrt{\frac{1}{\sigma v'}}$</td><td>kg/cm^2 veya ton/ft^2</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Skempton (1986) (Normal konsolide olmuş zeminler için)</td><td>$CN = 2/1 + \ \sigma v'$</td><td>Bağıl Yoğunluk (Dr) % 40 - 60 arasında</td><td rowspan="2">kg/cm^2 veya ton/ft^2</td></tr>
<tr><td>$CN = 3/2 + \ \sigma v'$</td><td>Bağıl Yoğunluk (Dr) % 60 - 80 arasında</td></tr>
</table>

NOT: 1 kg/cm2 = 98.0665 ≈ 100 kPa

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yusubov G., Yeken T., Irmak S. Source Mechanisms of the November 25.2000 Absheron Peninsula Earthquakes Azerbaijan. *Special Symposium for the 20th Anniversary of Kocaeli and Duzce Earthquakes*, IESCO, Koacaeli, Turkey, 25-27 September 2019

Yusubov G., Yeken T., Safarov İ., Öztürk E. İmamalili T., ANADOLU PLİTƏSİNİN SEYİSMOAKTİVLİYİ VƏ BİNALARDAKI MEMARİ DÜZƏNSİZLİKLƏR. *Second international scientific conference of young scientists and specialist on Multidisciplinary approaches in solving modern problems of fundamental and applied sciences.* (SOCAR, ANAS), Baku, Azerbaijan, 03-06 March 2020.

ÖZGEÇMİŞ

Gasım Yusubov 1996 yılında Bakü'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini 288 numaralı Okulu'nda, lise öğrenimini 106 numaralı lisesinde tamamladı. Lisans eğitimi için 2014 yılında girdiği Bakü Devlet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği bölümünden 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde, Doç. Dr. Tekin YEKEN danışmanlığında, yüksek lisans eğitimine başladı. 2020 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimini tamamlayarak mezun oldu.