

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ETÜTLERİNDE GEOTEKNİK VE JEOFİZİK
YÖNTEMLERİN KULLANILMASI VE DİKKAT
EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KOCAMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hasan ARMAN

Ocak 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ZEMİN ETÜTLERİNDE GEOTEKNİK VE JEOFİZİK
YÖNTEMLERİN KULLANILMASI VE DİKKAT
EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KOCAMAN

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 29/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Hasan ARMAN
Jüri Başkanı

Prof.Dr.Zeki GÜNDÜZ
Üye

Yrd.Doç.Dr.Can KARAVUL
Üye

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamda bana çalışma imkanı sağlayan, tezimin hazırlanması aşamasında bana konu seçiminden başlayarak, çalışmanın sonlandırılmasına kadar bilgi birikimi ve tecrübesi ile her aşamada desteğini esirgemeyen değerli hocam Prof. Dr. Hasan ARMAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışmam için gerekli olan kaynaklar ve incelemem gereken zemin etüt raporlarını kullanma imkanı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen Metmar Mühendislik, Akçin Mühendislik, Çam Mühendislik ve Mekan Mühendislik çalışanlarına teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLolar LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xi
SUMMARY.....	xii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ÜLKEMİZ VE DEPREMLER.....	3
2.1. Deprem Dalgalarının Genel Özellikleri.....	3
2.2. Ülkemizde Afet Çalışmaları.....	5
BÖLÜM 3.	
ZEMİN ETÜTLERİNİN PLANLANMASI VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ..	7
3.1. Giriş.....	7
3.2. Ön Zemin İncelemesi ve Büro Çalışması.....	8
3.3. Arazi Çalışma Yöntemleri.....	9
3.3.1. Araştırma çukuru açılması.....	9
3.3.2. Sondaj çalışmaları.....	9
3.3.3. Jeofizik yöntemler.....	10
3.3.3.1. Sismik kırılma yöntemi.....	10
3.3.3.2. Sismik yansıma yöntemi.....	11

3.3.3.3. Karşıt kuyu dalga yayılma deneyi.....	12
3.3.3.4. Kuyu üstü (up hole) ve kuyu içi (down hole) dalga yayılma deneyi	13
3.3.3.5. Mikrotremor yöntemi.....	13
3.4. Arazide Yerde Yapılan Deneyler.....	14
3.4.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT).....	14
3.4.2. Koni penetrasyon deneyi (CPT).....	16
3.4.3. Sismik koni penetrasyon deneyi (SCPT).....	17
3.4.4. Plaka yükleme deneyi.....	18
3.5. Laboratuvar Deneyleri.....	19
3.5.1. Sınıflandırma deneyleri.....	19
3.5.1.1. Elek analizi.....	20
3.5.1.2. Hidrometre deneyi.....	20
3.5.1.3. Kıvam limitleri deneyleri.....	20
3.5.2. Zeminin kayma direnci karakteristiklerini ölçen deneyler.....	21
3.5.2.1. Kesme kutusu deneyi.....	21
3.5.2.2. Serbest basınç deneyi.....	22
3.5.2.3. Üç eksenli basınç deneyi.....	23
3.5.3. Zeminin oturma ve sıkışma karakteristiklerini belirleyen deneyler.....	25
3.5.3.1. Konsolidasyon deneyi.....	26
3.5.4. Diğer laboratuvar deneyleri.....	26
3.5.4.1. Laboratuvar veyn deneyi.....	26
3.5.4.2. Düşen koni deneyi.....	27

BÖLÜM 4.

ZEMİN ETÜT ÇALIŞMALARI SONUCUNDA GEOTEKNİK RAPOR HAZIRLANMASI VE SUNULMASI.....	28
4.1. Giriş.....	28
4.2. Geoteknik Etüt Raporunun İçeriği.....	28
4.3. Parametreler ve Analizler.....	29
4.3.1. Taşıma gücü.....	29

4.3.1.1 Sığ temellerde taşıma gücünün hesaplanması.....	30
4.3.1.1.1. Taşıma gücünün Terzaghi formülü ile belirlenmesi.....	30
4.3.1.1.2. Standart penetrasyon deneyleri ile taşıma gücü tayini.....	32
4.3.1.1.3. Sismik hızlar yardımıyla taşıma gücü tayini.....	33
4.3.1.2 Kayaçlara oturan temellerde taşıma gücü.....	34
4.3.2. Yatak katsayısı.....	35
4.3.3. Zemin grubu ve yerel zemin sınıfı kavramları.....	36
BÖLÜM 5.	
REGRESYON ANALİZİ.....	39
5.1. Basit Regresyon ve Korelasyon Analizi.....	39
5.2. Non-Linear Regresyon Analizi.....	40
BÖLÜM 6.	
GEOTEKNİK VE JEOFİZİK PARAMETRELER ARASINDA YAPILAN KORELASYON ÇALIŞMALARI.....	42
6.1. Giriş.....	42
6.2. Daha Önce Yapılan Korelasyon Çalışmaları.....	43
BÖLÜM 7.	
GEOTEKNİK VE JEOFİZİK PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI:	
ÜMRANİYE VE TUZLA-KARTAL-KADIKÖY-BEŞİKTAŞ İLÇELERİ.....	47
7.1. Giriş.....	47
7.2. Ümraniye Çalışmasına Ait Değerlendirmeler.....	47
7.3. Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş İlçeleri Genelinde Gerçekleştirilen Zemin Etüt Çalışmalarına Ait Değerlendirmeler.....	53
BÖLÜM 8.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	57

KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ASTM	: Amerikan standartları
CD	: Konsolidasyonlu-drenajlı deney
CPT	: Koni penetrasyon deneyi
CPTU	: Piyezokoni penetrasyon deneyi
CU	: Konsolidasyonlu-drenajsız deney
DAF	: Doğu Anadolu Fayı
DMT	: Dilatometre deneyi
FVT	: Veyn deneyi
G	: Kayma Modülü
IP	: Plastisite İndisi
Is ₅₀	: Nokta yük dayanım indeksi
JICA	: Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
k _s	: Yatak katsayısı
N _c , N _q , N _γ	: Taşıma gücü katsayıları
q _a	: Emniyetli taşıma gücü
q _u	: Serbest basınç mukavemeti
q _c	: Koni penetrasyon uç direnci
PMT	: Pressiyometre deneyi
RQD	: Kaya kalitesi
r	: Korelasyon katsayısı
SCPT	: Sismik koni penetrasyon deneyi
SPT	: Standart penetrasyon deneyi
m _v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
UBC	: University of British Columbia
UU	: Konsolidasyonsuz-drenajsız deney

V_p	: Boyuna dalga
V_s	: Kayma dalgası hızı
WL	: Likit Limit
WP	: Plastik Limit
ρ	: Zeminin yoğunluğu
ϕ	: Kayma mukavemeti açısı
τ_f	: Drenajsız kayma mukavemeti
γ	: Zeminin birim hacim ağırlığı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Depremlerden oluşan sismik dalgaların türleri ve yer içinde yayılma özellikleri.....	4
Şekil 2.	Yatay katmanlı ortamda kırılarak gelen sismik dalganın izlediği yol ve oluşturacağı zaman uzaklık (t-x) grafiği.....	11
Şekil 3.	Serbest basınç deney sonuçlarını gösteren mohr dairesi ve mukavemet zarfı.....	23
Şekil 4.	Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması.....	31
Şekil 5.	SPT-N sayıları ile kayma dalgası hızları (V_s) korelasyonu (Ümraniye ilçesi verileri).....	52
Şekil 6.	Kohezyon (c) değerleri ile kayma dalgası hızları (V_s) korelasyonu (Ümraniye ilçesi verileri).....	52
Şekil 7.	Kayma dalgası hızları (V_s) ile nokta yük dayanım indeksi korelasyonu (Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş verileri).....	55
Şekil 8.	Çalışma alanlarının (Ümraniye, Tuzla, Kartal, Kadıköy, Beşiktaş) İstanbul ilindeki konumu.....	56

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.	Taşıma gücü katsayıları.....	32
Tablo 2.	RQD'ye göre izin verilebilir taşıma gücü.....	35
Tablo 3.	Zemin grupları.....	37
Tablo 4.	Yerel Zemin sınıfları.....	38
Tablo 5.	Değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen korelasyon bağıntıları.....	46
Tablo 6.	Analizlerde kullanılan veriler (Ümraniye ilçesi).....	49
Tablo 7.	Analizlerde kullanılan veriler (Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş verileri).....	54
Tablo 8.	Arazi çalışmaları neticesinde geliştirilen korelasyon bağıntıları...	55

ÖZET

Anahtar kelimeler : geoteknik, jeofizik, kayma dalgası hızı, zemin etüdü

Mühendislik yapılarının inşa edileceği zeminlere ait zemin parametrelerinin belirlenmesi ancak zemin etüt çalışmaları ile gerçekleştirilebilmektedir. Türkiye’de gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları birçok sebeplerden ötürü yetersiz kalmakta yada yanlış sonuçlar elde edilmesine sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, zemin etüt çalışmalarında dikkat edilmesi gereken hususların neler olduğu üzerinde durulmuş; zemin etüt çalışmalarında belirlenen geoteknik ve jeofizik parametreler arasındaki ilişki araştırılmıştır. Bu amaçla arazi verileri elde edilerek farklı parametreler arasında korelasyonlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu verilerin zemin etüt çalışmalarını gerçekleştiren mühendislere ne gibi katkılar sağlayabileceği ve zemin etüt çalışmalarında doğru sonuçlara ulaşabilmek için sağlayacağı faydalar irdelenmiştir.

GEOTECHNICAL AND GEOPHYSICAL METHODS USED IN SOIL INVESTIGATIONS AND MATTERS NEED TO BE CONCERNED

SUMMARY

Keywords : geotechnic, geophysic, shear wave velocity, soil investigation

Soil parameters can be determined by soil investigations. The soil investigations in Turkey may be insufficient or give wrong results because of many reasons. In this study; the relationship between geotechnical and geophysical parameters determined in soil investigations are examined. For this reason; the correlations are developed using field data. What kind of support will the results of this study provide to engineers who perform soil investigations are questioned. Also, the advantages of these results to reach the correct values in soil investigations are examined.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliğinde zeminler, yapı malzemesi olarak kullanılmasının yanında tüm mühendislik yapılarının temellerini taşıyan malzemeler olarak bilinmektedir. Bina yüklerinin altında statik ve dinamik etkiye maruz kalan zeminlerde birçok problem ile karşılaşılmaktadır. Zemin problemlerinin belirlenebilmesi için zemin parametrelerinin gerekli derinliğe kadar tespit edilmesi gerekmektedir. Zemin parametrelerinin tespiti ise arazide doğru teknikler kullanılarak gerçekleştirilecek zemin etüt çalışmaları ile mümkün olabilir [1].

Zemin etüt çalışmaları; bina, baraj, tünel, köprü, boru hattı, dayanma yapıları ve yol türü mühendislik yapı alanlarının tamamı için gerçekleştirilmektedir. Bu çalışma kapsamında bina türü mühendislik yapıları için gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları ve içeriği dikkate alınmıştır.

Zemin etüt çalışmaları; yapıların inşa edileceği alanda, zeminin tabakalarının, bunların kalınlıklarının, yeraltı su durumunun, oturma ve sıvılaşma potansiyelinin, zemin-temel etkileşiminin irdelenmesinde ve temellerin tasarlanmasında gerekli statik ve dinamik parametrelerin araştırılması amacıyla gerçekleştirilirler. Zemin parametreleri çeşitli arazi ve laboratuvar deneyleri sonucunda belirlenebilmektedir. Tüm bu çalışmaların sonucuna göre zemin etüt çalışması gerçekleştirilen alanda inşa edilecek yapının temel tasarımı ve projesi belirlenir.

Geoteknik mühendisliğinde, arazide çeşitli yöntemler kullanılarak örselenmiş ve örselenmemiş numune alımı gerçekleştirilmektedir. Arazide alınan örselenmemiş numuneler, laboratuvar ortamında çeşitli deneylere tabi tutularak zemin özellikleri hakkında bilgi elde edilir. Kohezyonlu zeminlerde numune alma işlemi daha kolay

bir şekilde gerçekleştirilebilirken; kohezyonsuz zeminlerde ise bazı özel tekniklerle numune alımı gerçekleştirilebilmekle birlikte, bu teknikler oldukça zor ve pahalıdır.

Ayrıca numune alımı sırasında, çeşitli fiziksel etkiler sebebiyle az yada kısmen çok örselenme meydana gelebilmektedir. Bu sebeple arazide de laboratuvar imkanı oluşturulmaya çalışılmış ve arazide standart penetrasyon (SPT), koni penetrasyon (CPT), dilatometre (DMT), presiyometre (PMT) ve veyn (FVT) gibi arazi deneyleri geliştirilmiştir [1].

Bu arazi deneylerinin yanında, zeminlerin dinamik özelliklerinin belirlenmesinde fiziksel ölçümlerden yararlanan jeofizik yöntemlerden de faydalanılmaktadır. Jeofizik yöntemler özellikle geniş saha incelemelerine imkan sağlayan hızlı ve pratik yöntemlerdir. Jeofizik yöntemler ile zemine ait sismik dalga hızları, elektriksel geçirgenlik, yoğunluk, manyetizma gibi fiziksel özelliklerin belirlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak jeofizik dataların yorumlanması, arazide gerçekleştirilen yeterli sondaj verilerine göre yapılmalıdır.

Ülkemizde bina türü mühendislik yapıları için gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarında, özellikle yeterli miktarda ve kalitede numune alınamaması, deneylerin yapılamaması ve maliyet sıkıntıları sebebiyle elde edilen bilgiler sınırlı kalabilmektedir. Bu çalışmada; zemin etüt çalışmalarında karşılaşılan sorunların irdelenmesi, çözüm önerileri ve özellikle elde edilen jeofizik ve geoteknik parametreler arasındaki ilişkilerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bu amaçla; İstanbul ili, Ümraniye ilçesi için gerçekleştirilen “Ümraniye İlçesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışması” kapsamında elde edilen geoteknik ve jeofizik veriler ile Tuzla, Kartal, Kadıköy ve Beşiktaş ilçeleri genelinde gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarından elde edilen verilerden yararlanılarak, geoteknik ve jeofizik parametreler arasındaki ilişkiler araştırılmış ve elde edilen sonuçlar tartışılmıştır.

BÖLÜM 2. ÜLKEMİZ VE DEPREMLER

Ülkemiz; yerküre üzerinde oluşan depremlerin büyüklüğü ve neden oldukları zararlar göz önüne alındığında iki ana deprem kuşağından biri olan Akdeniz-Himalaya deprem kuşağı içerisinde yer almaktadır. Oldukça büyük depremlerin meydana geldiği bu kuşak içerisinde Türkiye, üç büyük levhanın etkisi altındadır. Bunlar Avrasya, Afrika ve Arap levhalarıdır. Bu levhalardan Anadolu levhasının kuzey sınırı Kuzey Anadolu Fayını (KAF), güney sınırı ise Helenik-Kıbrıs Yayı ile Doğu Anadolu Fayını (DAF) oluşturmaktadır.

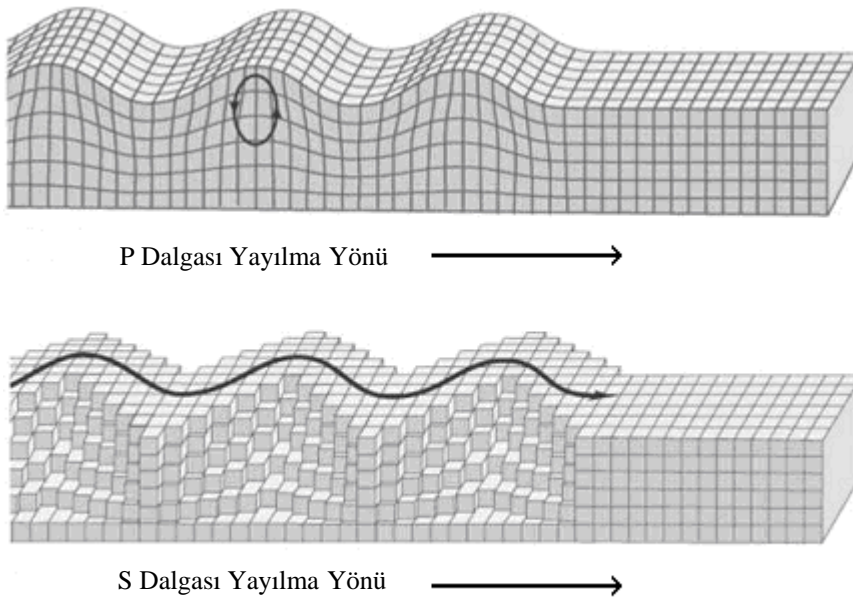
Ülkemizde bulunan bu iki önemli fay üzerinde tarihsel süreçte birçok büyük ve yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Bu depremlerin büyüklük ve meydana geldikleri bölge açısından en önemli iki tanesi ise 17 Ağustos 1999 tarihinde Kocaeli-Gölcük'te meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki deprem ile 12 Kasım 1999 tarihinde Düzce'de meydana gelen 7.2 büyüklüğündeki deprem olarak gösterilebilir. Bilindiği gibi bu depremlerde ülkemiz büyük maddi zararların yanında 20.000 den fazla insanını da kaybetmiştir.

2.1. Deprem Dalgalarının Genel Özellikleri

Deprem; yerküre içerisindeki kırık (fay) düzlemleri üzerinde biriken biçim değiştirme enerjisinin aniden boşalması sonucunda meydana gelen yer değiştirme hareketlerine verilen isimdir.

Depremi oluşturan bu faylanma sonucunda deprem kaynağından çeşitli sismik dalgalar yer içerisinde yayılır. Yer içinde yayılan bu sismik dalgalar yüzey ve cisim dalgaları olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Cisim dalgaları yer kabuğu içerisinde yayılan dalgalardır. Cisim dalgaları da kendi içerisinde P dalgaları (boyuna dalga) ve S dalgaları (enine dalga) olarak ikiye ayrılmaktadır. P dalgaları, en hızlı yayılan bu yüzden deprem kayıt aletlerinde (sismograf) en önce görülen dalgalardır. P dalgalarında, titreşim hareketi yayılma doğrultusu ile aynıdır. Daha yavaş yayılan S dalgaları, kayıt aletlerinde ikincil olarak görülen ve titreşim hareketi yayılma doğrultusuna dik olan dalgalardır. S dalgaları sıvı içinde yayılamazlar.



Şekil 1. Depremlerden oluşan sismik dalgaların türleri ve yer içinde yayılma özellikleri. (P dalgaları yayıldıkları ortamda hacim değişikliği yaratırlarken, S dalgaları hacim değişikliğine yol açmazlar) [2]

Yüzey dalgaları ise cisim dalgalarına göre daha yavaş yayılırlar ancak genlikleri daha büyüktür. Hızı daha fazla olan Love ve genliği daha büyük olan Rayleigh dalgaları olarak ikiye ayrılırlar.

Hızları düşük, periyotları büyük yüzey dalgaları; kayıt aletlerinde en şiddetli hareketleri yansıtırlar. Bu dalgalar yerin serbest yüzeyi boyunca yayılan dalgalardır. Rayleigh dalgaları yerin serbest yüzeyinin oluşturduğu dalgalar olup; titreşim hareketi yayılma doğrultusunun tersi yönündedir. Love dalgaları ise yatay yönde polarize olmuş S dalgalarıdır ve kanal dalgaları olarak da adlandırılırlar. Yapılarda yıkıma yol açan dalgalar S dalgaları ile yüzey dalgalarıdır.

2.2. Ülkemizde Afet Çalışmaları

Mühendislik yapıları modern toplumlarda yaşamın ayrılmaz bir parçasıdır. Özellikle büyük şehirlerde bu tür yapılar iş hayatının ve günlük hayatın tamamen devam ettiği yapılar olarak karşımıza çıkmaktadır. Deprem bölgelerinde inşa edilecek bu tür mühendislik yapıları hem sismik hem de statik yüklere dayanacak şekilde tasarlanmalıdır. Buna rağmen ülkemizde yakın geçmişte olmuş depremlere bakıldığında, yapılarda bir çok hasarlar ve can kaybının olduğu görülmektedir.

Ayrıca ülkemiz depremler dışında, heyelanlar, su baskınları, çığ ve kaya düşmeleri gibi afetlerle çok yoğun olarak karşı karşıya kalmaktadır. Bu afetlerin zararları ancak alınacak bazı önlemlerle azaltılabilir. Bu önlemlerden bir tanesi de imar planlarının ve bu planlama çerçevesinde inşa edilecek yapıların, doğal afet tehlikeleri ve zemin koşullarını da göz önüne alınarak yapılmasıdır.

Bu amaç doğrultusunda 1999'da meydana gelen Marmara ve Düzce depremleri sonrasında zemin etüt çalışmaları zorunlu hale getirilmiştir. Diğer taraftan, afet riski bulunan illerde, ilçeler bazında zemin özelliklerinin ve zemin parametrelerinin ortaya çıkarılması ve zemin etüt çalışmalarına altyapı oluşturulması amacıyla "İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt" çalışmaları gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Özellikle deprem riski altında bulunan İstanbul'da hemen hemen bütün ilçe ve beldelerin imar planına esas jeolojik-jeoteknik etüt çalışmaları gerçekleştirilmiş durumdadır. Türkiye genelinde ise özellikle afet riski bulunan il ve ilçelerde bu çalışmalar sürdürülmektedir.

Bu çalışmalar ek olarak özellikle İstanbul başta olmak üzere büyük metropoller için "deprem master plan" çalışmaları başlatılmıştır. Bu çalışmaların ana amacı; mevcut durumun tespiti yanında teknik çalışmaların, idari çalışmaların, hukuki altyapının, sosyal faaliyetlerin, mali kaynakların, eğitim çalışmalarının, risk yönetimi ve afet yönetiminin temel ilke ve esaslarının belirlenmesidir [3].

İstanbul için hazırlanan master plan; İstanbul'da olası bir deprem tehlikesine karşı mevcut yapıların deprem güvenliklerinin incelenmesi ve yeterli güvenliğe sahip

olmayan yapılar için gerekli güçlendirme ilkelerinin belirlenmesi yanında diğer teknik, sosyal, idari, hukuki ve mali önlemlerin belirlenmesini de içermektedir. Master Plan bu amaçlara ulaşılması için yapılması gerekli işlemleri ve çalışmalarını da tanımlamaktadır. İstanbul'da deprem güvenliğinin artırılması amacıyla yapılacak girişimlerin geniş vizyona sahip, çok yönlü, çok disiplinli çalışmalar olması gerekmektedir. İstanbul için Deprem Master Planı'nın pilot uygulaması; Zeytinburnu ilçesinde, master planla eş zamanlı olarak başlatılmış ve başarı sağlandığı ölçüde çalışmanın İstanbul geneline yayılması hedeflenmektedir [3].

İstanbul'da ayrıca 17 Ağustos depreminin ardından deprem riskinin belirlenmesi için mikro bölgeleme çalışması yapılması gereksinimi ortaya çıkmıştır. Türkiye'nin başvurusu üzerine, Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı'nın (JICA) desteği ile "İstanbul İçin Mikro Bölgeleme Dahil Afet Önleme/Zarar Azaltma Ana Planı" hazırlanmasını amaçlayan bir çalışma başlatılmıştır. Çalışmanın ana hedefleri arasında, İstanbul ve civarı için deprem zararlarını önleme/azaltma planlarına esas teşkil edecek nitelikte, sismik mikro bölgeleme haritalarının yapılması, depreme dayanıklı inşaatlar yapılabilmesi için teknik önerilerde bulunulması ve bu konularla ilgili planlama tekniklerinin etkin bir şekilde Türkiye'ye aktarılması bulunmaktadır [4]. İstanbul'un ardından ülkemizin diğer büyük kentlerinde de mikro bölgeleme çalışmalarına başlanmıştır.

Tüm bu çalışmalar il ve ilçeler bazında imar planlamasına bir altyapı oluşturmakla birlikte; depreme dayanıklı inşa edilecek her yapı için zemin özellikleri ve zemin parametreleri, inşa edilecek yapı alanında gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları sonucunda ortaya çıkarılmaktadır. Dolayısıyla parsel bazında gerçekleştirilecek zemin etüt çalışmalarının doğruluğu ve güvenilirliği deprem güvenliği açısından birinci derecede önemlidir.

BÖLÜM 3. ZEMİN ETÜTLERİNİN PLANLANMASI VE ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ

3.1. Giriş

Zemin etüt çalışmalarının amacı; zeminin tabakalarının, bunların kalınlıklarının, yeraltı su durumunun, zemin-temel etkileşiminin irdelenmesi ve yapı temellerinin tasarlanmasında gerekli zemin özelliklerinin belirlenmesidir. Zemin etüt çalışmasının boyutu, çalışılacak alanın büyüklüğü, arazi yapısı ve tasarlanan işin büyüklüğüne bağlıdır. Bir zemin etüt çalışması; büro çalışması, arazinin tanınması ve hidrolojik-topografik ve jeolojik araştırmaları ayrıntılı incelemeyi içerir [5].

Zemin etüt çalışmasını gerçekleştirecek geoteknik mühendisi; araştırmada kazı, sondaj, sondalama, örselenmiş ve örselenmemiş numune alma, arazi ve laboratuvar deney çalışmaları ve jeofizik ölçümlerden faydalanır. Bu çalışmaların gerçekleştirilmesi ve yorumlanması ile çalışılan sahanın zemin özellikleri belirlenmiş olur. Böylece çalışılan sahada olası mühendislik problemleri açığa çıkartılarak, ekonomik ve güvenli bir yapı tasarımı için gerekli zemin parametreleri elde edilmiş olacaktır.

Zemin ve kayaya oturtulacak yapı temellerinin boyutlandırma ve analizinde başarı, ortam özelliklerinin doğru ve amaca yönelik olarak ölçümünden geçer. Gelişen teknolojilere bağlı olarak günümüzde mühendisin elinde çok çeşitli ölçüm olanakları bulunmaktadır. Amaç, bu olanakları gereğince kullanmak ve zemin incelemelerini etkin biçimde gerçekleştirmektir [6].

Bu bölümde zemin etüt çalışmalarında izlenen çalışma planı ve çalışma yöntemlerine kısaca değinilmiş; çalışmalarda karşılaşılan eksiklikler ve dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir.

3.2. Ön Zemin İncelemesi ve Büro Çalışması

Birçok çalışmada olduğu gibi zemin etüt çalışmalarında da en önemli husus çalışmanın planlamasıdır. Araştırma maliyeti ve zaman, iyi bir planlama ile en aza düşürülebilir. Bu sebeple arazi çalışmalarının başlaması öncesinde, ön zemin incelemesi ve büro çalışmasının yapılması, asıl araştırmanın boyutunun ve çalışma yöntemlerinin belirlenmesi için gereklidir [5].

Çalışılacak alan ile ilgili jeolojik haritalar, yerel yönetim tarafından çalışılan alan ve çevresinde gerçekleştirmiş olduğu geoteknik etütlere ait veriler, planlama ile ilgili bilgiler ve topografik haritalar bu aşamada belirlenir. Bu bilgilerin elde edilmesinin ardından çalışılan saha için gözlemsel olarak detaylı bir inceleme gerçekleştirilmelidir. Bu amaçla tüm alan gezilmeli, arazi sınırları ile tasarlanan yapı sınırları haritalara işlenmelidir. Alanda çalışmayı etkileyebilecek yol, enerji hatları, alt yapı tesisleri (doğalgaz, su, elektrik, telefon vb.), ağaçlar ve mevcut yapılar gibi her türlü engeller belirlenmelidir. Çalışılacak alan içerisinde ya da yakınında bulunan dere, nehir ya da kanallarda su seviyesi, debisi ve yönü, taşkın alanı tespit edilmelidir. Alana yakın çevrede bulunan kazı ya da yarmalarda gözlemler gerçekleştirilerek zemin koşulları hakkında bilgi edinilmesi yine bu aşamada yapılmalıdır. Bu bilgiler arazide gerçekleştirilecek çalışma yöntemlerini ve adetini belirlemede yardımcı olacaktır.

Elde edilen bu veriler yardımıyla, alanın zemin koşulları hakkında bir ön analiz gerçekleştirilerek, olası mühendislik sorunları tahmin edilmeye çalışılmalıdır. Bunun neticesinde, alanın genel jeolojik yapısını ortaya çıkarmaya yeterli sondaj, sonda ve araştırma çukurlarının yerleri ve koordinatları belirlenmelidir. Böylece çalışılan alanın jeolojik özellikleri, yer altı suyu durumu ve olası mühendislik problemleri hakkında detaylı bilgi edinilmesi sağlanmış olacaktır. Unutulmamalıdır ki; zemin etüt çalışmalarında en doğru sonuç, yeterli denetim ile deneyimli bir ekip tarafından doğru teknikler kullanılarak elde edilebilir.

3.3. Arazi Çalışma Yöntemleri

Zemin etüt çalışması için gerekli ön etüt ve planlamanın gerçekleştirilmesinin ardından, arazi çalışmaları için uygulamaya geçilir. Zemin etüt çalışmalarında arazi uygulamalarında sıklıkla kullanılan yöntemler sondajlar, sondalamalar, araştırma çukurları ve jeofizik yöntemlerdir. Bu yöntemler ve arazide uygulanmaları konusu aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

3.3.1. Araştırma çukuru açılması

Kohezyonsuz yada bloklu ve iri çakıllı kohezyonlu zeminlerde en iyi metot kepçe veya benzeri bir ekipmanla yapılan araştırma çukuru kazısıdır. Bu tip zeminlerde sondaj çalışmalarının oldukça zor olması, örselenmemiş numune almanın ise oldukça zor, bazı durumlarda ise imkansız olması sebebiyle araştırma çukuru açılması tercih edilir. Bu teknik, sınırlı derinliklerde zemin yapısının gözlenebilmesine imkan sağlayan oldukça pratik ve düşük maliyetli bir yöntemdir.

3.3.2. Sondaj çalışmaları

Ülkemizde zemin etüt çalışmalarında özellikle dönel (rotary) sondaj uygulanmaktadır. Bunun ana nedeni hızlı oluşu ve tüm kurum ve kuruluşlarca yaygın olarak kabul görmesidir. Sürekli burgularla delgi de kohezyonlu zeminlerde uygulanmaktadır. Hafif vurmali (darbeli) sondaj tekniği ise kum kovası (kohezyonsuz zeminlerde) veya kil kovası (kohezyonlu zeminlerde) kullanılarak bütün zeminlerde uygulanmaktadır. Bu teknikte zemin profili daha detaylı bir şekilde takip edilebilmektedir. Ancak darbeli sondaj tekniği zemin etüt çalışmalarında nadiren tercih edilmektedir.

Sondaj çalışmalarının başlamasının ardından zemin koşulları dikkate alınarak çalışma programını gözden geçirmek faydalı sonuçlara ulaşmayı sağlayacaktır. Başlangıçta sondaj kuyularının aralıklarının 10 m – 25 m olması uygundur. Büyük parsellerde (>1000 m²) yapı oturma alanının dört köşesi ve ortasında sondaj kuyularını açmak doğru olacaktır. Daha küçük parsellerde, çok değişken zemin

koşullarının bulunduğu haller dışında, her 300 m² için en az bir adet sondaj yapılır [6].

Sondaj kuyularının derinlikleri, yapının zeminde ve yer altı suyunda yapacağı etki derinliğine kadar olmalıdır. Yapının inşa edileceği alanda, temeller için uygun olmayan tüm formasyonların (dolgu, zayıf ve sıkışabilen zeminler) altına kadar sondaj sürdürülmelidir.

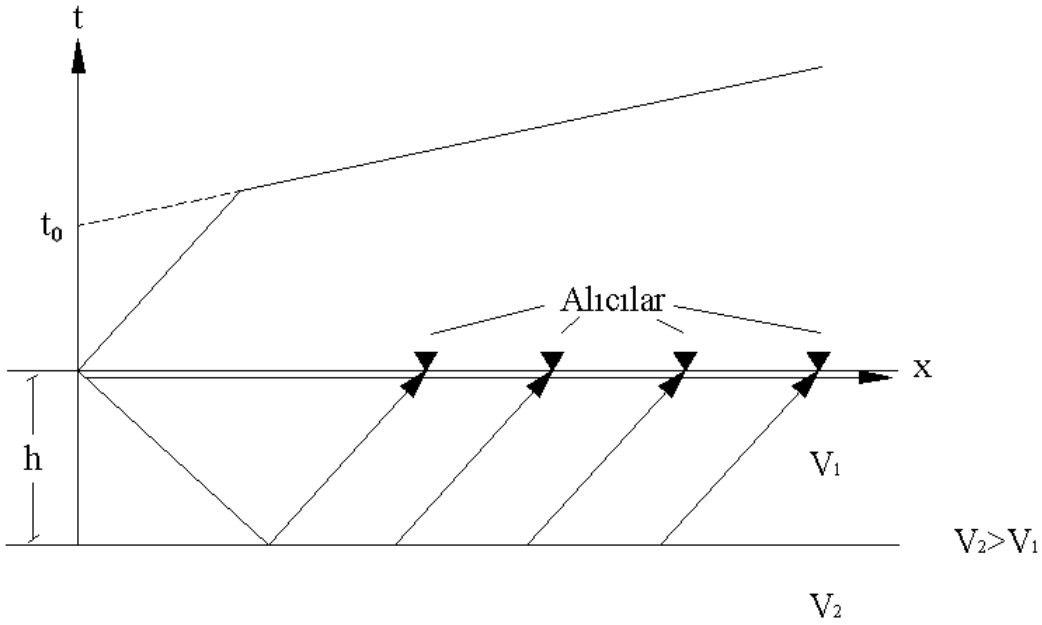
3.3.3. Jeofizik yöntemler

Jeofizik yöntemler; deprem hareketi altında mühendislik yapılarının dinamik analizlerinin yapılabilmesi için elastik dalga hızlarının (V_p , V_s) ve dinamik elastik parametrelerinin tayini için kullanılır. Geoteknik yöntemlerin desteklenmesi ve elde edilen verilerin teyid edilmesi amacı ile zaman ve maliyet açısından ekonomik bu yöntemler sıklıkla kullanılmaktadır.

3.3.3.1. Sismik kırılma yöntemi

Zemin etüt çalışmalarında sıklıkla kullanılan jeofizik yöntemlerden biridir. Zemin üzerinde çeşitli enerji kaynakları ile yapay olarak oluşturulan ve yapay deprem olarak nitelendirilen küçük sarsıntuların yani elastik dalgalar ile yeraltı yapısının incelenmesinde kullanılır.

Bu yöntemde, öncelikle yeryüzünde ya da yeryüzüne yakın bir derinlikte yapay bir kaynak vasıtası ile elastik dalgalar üretilir. Bu dalgaların yer içerisinde yayılırken kırılarak veya yansiyarak geçtikleri ortamların fiziksel (mekanik) özelliklerini taşıyarak sismik sinyal olarak yeryüzüne gelişleri alıcı aletler ile kaydedilir (Şekil 2). Burada kaydedilen parametre, bir dalganın kaynaktan çıkıp alıcıya gelmesi için geçen zamandır. Böylece kendine özgü değerlendirme metotları vasıtasıyla incelenen kayıtlardan, yeraltı yapısı, dalganın her tabaka içindeki yayılma hızı ve tabaka kalınlığı ile hesaplanır.



Şekil 2. Yatay katmanlı ortamda kırılarak gelen sismik dalganın izlediği yol ve oluşturacağı zaman-uzaklık (t-x) grafiği.

Sismik ölçümler yer içinde yayılan boyuna veya sıkışma, V_p , ayrıca enine ve kayma, V_s , dalgası hızlarının ölçülebilmesi amacıyla yapılır. V_p dalga hızları vasıtasıyla, yer altı yapısal konumunun düşey ve yanal olarak (derinlik, kalınlık, eğim, kırık, fay, gözeneklilik, boşluk, sökülebilirlik) tespit edilir. V_s dalga hızları ise zeminin elastik özelliklerinin (zemin hakim periyodu, dinamik elastisite, young modülü, kayma modülü, bulk modülü) tanımlanmasını sağlamaktadır.

3.3.3.2. Sismik yansıma yöntemi

Sismik yansıma yöntemi yeraltının iki veya üç boyutlu, ayrıntılı yapısal ve stratigrafik kesitinin elde edilmesinde kullanılır.

Sismik Yansıma Yöntemi çalışmalarını üç aşamada toplamak mümkündür:

- 1- Arazide sismik verilerin toplanması
- 2- Verilerin ofiste bilgisayarlarla işleme tabi tutulması (Veri-İşlem)
- 3- Verilerin değerlendirilmesi

Sismik yansıma yöntemi ekonomik olarak petrol ve doğal gaz araştırmalarında, kömür yatağı araştırmalarında, mühendislik amaçlı olarak kıyı tesislerinin denizaltı zemin ve çökel istif şartlarının belirlenmesinde, liman, karayolu, baraj ve büyük yapıların inşası ile ilgili temel kaya problemlerinin çözümünde, kültürel olarak arkeojeolojik çalışmalarda bilimsel amaçlı olarak kara ve denizde yerkaşu araştırmalarında kullanılmaktadır.

3.3.3.3. Karşıt kuyu dalga yayılma deneyi

Kayma dalgası hızlarının belirlenmesi amacıyla kullanılan diğeri bir yöntem de karşıt kuyu dalga yayılma deneyidir. Karşıt kuyu deneylerinde kayma modülü ile kayma dalgası hızı V_s ve zemin yoğunluğu arasında;

$$G = \rho V_s^2 \quad (1)$$

bağıntısı verilmektedir. Burada;

ρ : Zeminin yoğunluğu

V_s : Kayma dalgası hızı

dır.

Karşıt kuyu dalga yayılma deneylerinde arazide iki yada daha fazla sondaj kuyusu açılması gerekmektedir. Bu yöntemde kuyuların birinde yapay bir kaynak vasıtası ile oluşturulan elastik dalgalar diğeri kuyuya yerleştirilen alıcılar vasıtasıyla kaydedilir. Kuyular arası mesafenin bilinmesi yani sismik dalgaların geçtiğı mesafe yardımıyla dalgaların yayılma hızları tespit edilir.

Sismik dalga hızlarının tespit edilebilmesi için oldukça başarılı yöntemlerden biri olan karşıt kuyu dalga yayılma deneyleri; ekonomik olmamaları sebebiyle günümüzde zemin etüt çalışmalarında nadiren kullanılmaktadır. Bu yöntem yerine daha ekonomik olan aşuğı kuyu yöntemi daha sıklıkla tercih edilmektedir.

3.3.3.4. Kuyu üstü (up hole) ve kuyu içi (down hole) dalga yayılma deneyi

Kuyu üstü ve kuyu içi dalga yayılma deneyleri, arazide açılan tek bir sondaj kuyusunda gerçekleştirilebilir. Kuyu üstü (Up Hole) yönteminde kuyu içerisinde oluşturulan elastik dalgalar, zemin yüzeyine yerleştirilen alıcılar vasıtasıyla kaydedilir. Kuyu içi (Down Hole) tekniğinde ise alıcılar kuyu içerisine yerleştirilerek, zemin yüzeyinde elastik dalgalar üretilir. Her iki metotta da dalgaların katettiği mesafeler ile bu mesafeyi katettikleri süreler ölçüldüğünden sismik dalga hızları tespit edilebilmektedir. Karşıt kuyu dalga yayılma deneylerine nazaran daha ekonomik olması sebebiyle zemin etüt çalışmalarında daha fazla tercih edilen bir yöntemdir.

Kuyu içi çalışmalarında Stokoe ve Woods (1972)'nin teklif ettiği şekilde de çalışmalar yapılabilir [7]. Bu durumda kuyu içine plastik bir boru indirilir. Kuyu cidarı ile boru arasındaki boşluk ince taneli çakıl ve kum ile tamamen doldurulur. Kuyu üstüne veya yakınına ahşap bir döşeme yerleştirilir. Enine dalgalan kaydetmek için yere paralel yönde, boyuna dalgaları kaydetmek için yere dik olacak tarzda döşemeye vurularak sismik enerji oluşturulur. Eğer sismik cihaz, sinyal kuvvetlendirici özelliğe sahip ise, çok derin kuyularda da çalışma yapmak mümkün olabilir.

3.3.3.5. Mikrotremor yöntemi

Mikrotremor yöntemi; yeryüzündeki sismik gürültüleri periyot ve genlik kökenlerine göre değerlendiren bir jeofizik yöntemdir. Mikrotremor çalışmalarının mühendislik sismolojisi kapsamında değerlendirilmesi yönünde ilk çalışmalar Kanai tarafından 1960'larda yapılmıştır. Kanai'nin mikrotremor verilerine dayanarak yaptığı zemin sınıflaması ile ilgili olarak iki yaklaşımı bulunmaktadır. Birinci yaklaşımda, mikrotremorların en büyük ve ortalama periyotları arasındaki ilişki, ikinci yaklaşımda ise en büyük genlikle hakim periyot arasındaki ilişki incelenmektedir. Nakamura'nın geliştirdiği spektral oran tekniği günümüzde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan bir değerlendirme yöntemidir. Mikrotremor çalışmaları ile

depremin farklı zeminlerde neden olacağı yer hareketlerinin zaman ve frekans ortamında tanımlanması amaçlanmaktadır.

3.4. Arazide Yerde Yapılan Deneyler

Geoteknik problemlerin doğru olarak tespit edilmesi, geoteknik özelliklerin doğru olarak tespit edilmesine bağlıdır. Son yıllarda bu amaçla arazi deney tekniklerini laboratuvar tekniklerine göre geliştirme çabaları vardır. Ancak bu alandaki tüm gelişmele karşın laboratuvar tekniklerinin yerine geçmesi beklenmemelidir. Ülkemizde zemin etüt çalışmalarında sıklıkla kullanılan arazi deneylerine aşağıda kısaca değinilmiştir.

3.4.1. Standart penetrasyon deneyi (SPT)

Bazı arazi deneyleri 40-50 yıldan beri kullanıla gelmektedir. Bazıları ise teknolojik gelişmeler ile birlikte ortaya çıkmıştır. SPT, geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan arazi deneylerinden biridir [1].

SPT, ASTM (D 1586) da tanımlandığı şekilde, sondaj tijlerine takılmış, ortasından ikiye ayrılabilen ve içinde pirinçten yapılmış bir iç tüpün bulunduğu bir örnekleyicinin, 63.5 kg ağırlığında bir şahmerdanın 760 mm yükseklikten tijlerin üzerine düşürülerek zemine sokulması ilkesine dayanır. Kullanılan şahmerdan türleri çeşitli ülkelere göre farklılık göstermekle birlikte, ülkemizde yaygın olarak Donut tipi şahmerdan kullanılmaktadır [8].

Uygulamada öncelikle sondaj kuyusu deneyin yapılacağı derinliğe kadar temizlenerek, deney derinliğinde örselenmiş sedimandan mümkün olduğunca arındırılır. Tijlerin ucuna yerleştirilen örnekleyici kuyu tabanına kadar indirilir. Şahmerdanın tijlerin üzerine düşürülmesi ilkesiyle üç kez 15 cm ilerleyen örnekleyici için her bir 15 cm ilerlemeyi sağlayan vuruş sayısı kaydedilir. Son iki aşamadaki toplam vuruş sayısı SPT değeri (N değeri) olarak adlandırılır.

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

SPT deneyinin örselenmemiş bir zemin üzerine uygulanması esastır. Deneyden önce sondaj kuyusu dikkatlice temizlenmelidir. Sondaj suyu seviyesi daima yer altı suyu seviyesinde ya da daha yüksek tutulmalıdır. Delgi aleti ve tijler kuyu içerisindeki zeminin gevşemesini önlemek için yavaş bir şekilde çekilmelidir. Zeminin kendini tutamadığı durumlarda kuyu içerisinde muhafaza borusu ya da sondaj çamuru kullanılmalıdır. Muhafaza borusu kullanıldığı durumlarda, muhafaza borusu deneyin yapılacağı seviyenin daha altına çakılmamalıdır.

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

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

SPT deneylerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için öncelikle deneyi yapan kişi ya da kişilerin deneyin nasıl yapıldığını tamamen bilmesi gerekmektedir. Ülkemizde

zemin etütlerinde gerçekleştirilen SPT deneylerinin doğruluğu açısından en büyük sorun deneyin doğru olarak bilinmemesinden kaynaklanmaktadır.

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

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

3.4.2. Koni penetrasyon deneyi (CPT)

Penetrometre; belli bir ortama itilen sert bir cismin gördüğü direnci ölçen alet için kullanılmaktadır. 1940'larda geliştirildiği Hollanda'da 60 derecelik konik uçlu ve 10 cm² kesitli çelik penetrometre bu ülkenin adı ile anılmıştır. Konik sonda hidrolik olarak sürekli itilirken, okunan uç direnci q_c ile kumun taşıma gücünü ölçmekte buradan da kayma direnci açısından geçilebilmektedir [9].

Geliştirilen ikinci modelde, penetrometre zemine itilirken uç direnci yanında artırılmış gövde yüzey alanı boyunca sürtünme de toplam direnç olarak ölçülmektedir. Daha sonra uç itilerek aradaki farktan çevre sürtünmesi bulunmaktadır. Bu penetrometrede numune alınamadığından direnci ölçülen zeminin türü, uç direnci/çevre sürtünmesi oranından tahmin edilmektedir. Elektronik teknolojisindeki gelişmeler 1970'lerde penetrometre ölçümlerinin de bu yapılması kolaylığını getirmiştir [9].

Penetrometre ölçümlerinde çok önemli bir gelişme 1980'lerde konik ucun hemen arkasına bir piyezometrenin yerleştirilmesiyle olmuştur. Piyezokoni ismi verilen bu aletde (CPTU), zeminin kayma direnci yanında aşırı konsolidasyon oranı, sıvılaşma potansiyeli, hatta sükunette toprak basıncı katsayısı da ölçülebilmektedir. Bu aletin

uygulamasıyla ilgili araştırmalar sürmekte olup, ölçmelerin sismik olarak da yapılması gündemde bulunmaktadır. Bu deneyin zemin parametrelerini en iyi yansıtan deney olduğu konusunda fikir birliği belirmiştir. Ayrıca bu yöntemde deney sonuçları operatör faktöründen daha az etkilenmektedir.

3.4.3. Sismik koni penetrasyon deneyi (SCPT)

Bu deney zeminin dinamik parametrelerini bulmak amacıyla yapılır. SCPT, CPT uygulaması esnasında belirli derinliklerde deney durdurularak gerçekleştirilir. Konik penetrometreye takılı bulunan ivme ölçerler ile zeminin kayma dalgası hızı bu esnada ölçülür. Elastik teori kayma dalgası hızı (V_s), zemin yoğunluğu, (ρ) ve kayma modülü (G) arasındaki ilişkiyi (1) numaralı bağıntı ile vermektedir.

Böylelikle kayma modülü, yerinde kayma dalgası hızlarının ölçülmesi aracılığı ile ölçülebilmektedir. Yerinde sismik deneylerde elde edilen kayma birim deformasyonunun genelde 10^{-4} mertebesinde küçük genliklere sahip olması nedeniyle, düşük deformasyon seviyelerinde dinamik kayma modülü, G_{max} 'in ölçülebilmesine olanak tanımaktadır. Bu tür bir deneyin alışıl gelmiş sondaj teknikleri ve kuyu içi yöntemleri ile gerçekleştirilmesi birden fazla sondaj kuyusu gerektirmesi nedeniyle oldukça yüksek maliyetli ve uzun süre gerektirmektedir [10].

Sismik koni, University of British Columbia'da (UBC) geliştirilmiştir. Sismik koni, piyezokoni ile beraber oluşturulabilir. Sismik koninin kullanımı esnasında, tetik kaynağı, dalgayı algılayıcı ve kaydedici cihazlar gereklidir. Kayma dalgası genellikle yüzeyde tekrarlanan tek yönde oluşturulan darbeler ile meydana getirilir. Böylece kaynaktan alıcıya gelerek kaydedilen sismik dalgalardan kayma dalgası hızları elde edilmiş olur.

Yerinde kayma dalgası hızlarının hassas bir şekilde ölçülmesine imkan tanıyan yeni bir deney yöntemi olarak sismik koni penetrasyon deneyi (SCPT) maliyetleri önemli oranda düşürdüğu gibi, zemin profilinin geoteknik ve geodinamik parametrelerinin aynı zamanda ve süratli bir şekilde ölçülmesine olanak tanımaktadır [10].

3.4.4. Plaka yükleme deneyi

İri daneli zeminlerde ya da küçük taşlar ve iri çakıllar içeren zeminlerde oldukça iyi sonuçlar veren bir yöntemdir. Bina türü mühendislik yapıları için gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarında plaka yükleme deneyleri, yüzeysel temeller altındaki zeminin taşıma gücünün bulunması amacıyla kullanılmaktadır. Bunun için belirli bir yük alanı ile zemine artan basınçlar uygulanır ve bu basınçlar altında yükleme plakasının zemine batma (oturma) miktarlarına dayanılarak saptanan yük-oturma bağıntısından zeminin güvenle taşıyabileceği yük bulunur.

Plaka yükleme deneyinin yüzeysel temellerdeki kullanılma alanı ilgili standartlarla sınırlandırılmıştır. Buna göre genel olarak zeminin yapı genişliğinin 2 ila 3 katı derinliğe kadar değişmediği (homojen olduğu), örselenmemiş zemin örneği alınmadığı veya çok güç alınabildiği durumlarda plaka basınç deneyine izin verilir. Kohezyonlu zeminlerde örselenmemiş örnek güvenilir bir biçimde alınabildiğinden, bu zeminlerde deneme yüklemesi yapmaya gerek yoktur. Ayrıca kohezyonlu zeminlerde boşluk suyu basıncından dolayı oturmaların sona ermesi çok uzun zaman beklemeyi gerektirdiğinden, bu zeminler için yükleme deneyi ile sonuç alınması da oldukça güçtür.

DIN 18 134'e göre deney için rijit yükleme plakasının 30, 60 veya 76,2 cm standart çaplarında (D) olması öngörülmüştür. Büyük çaplı plakalar kullanıldığında, rijitliği artıracak biçimde küçük plakalar daha büyüğü üzerine yerleştirilir. Normal durumlarda 30 cm çapındaki plakalardan yararlanır. Daha büyük plakalar, en büyük dane çapı plaka çapının 1/5 inden (D/5) büyük olmamak üzere, zeminde iri daneler bulunduğunda gereklidir. Fakat burada plaka etkisinin aşağı yukarı 1,5 D derinliğine kadar uzanabileceği varsayım ile denenen tabaka kalınlığının göz önüne alınması gerekir. Hatta yumuşak zeminlerde bile büyük çaplı plakaların kullanılmasının yararlı olacağı söylenebilir.

3.5. Laboratuvar Deneyleri

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

Zemin etüt çalışmalarında, zeminlerin mühendislik özelliklerinin tanımlanması ve deneysel olarak saptanması amacıyla kullanılan deneyler üç ana başlık altında sınıflandırılabilirler. Bunlar:

1. Sınıflandırma Deneyleri
 - a. Elek Analizi Deneyi
 - b. Hidrometre Deneyi
 - c. Kıvam Limitleri Deneyleri
 - i. Casagrande Deneyi
 - ii. Düşen Koni Deneyi
 - iii. Plastik Limit Deneyi
 - iv. Rötire Limit Deneyi
2. Zeminin Gerilme-Şekil Değiştirme Karakteristiklerini Belirleyen Deneyler
 - a. Kesme Kutusu Deneyi
 - b. Serbest Basınç Deneyi
 - c. Üç Eksenli Basınç Deneyi
3. Zeminin Oturma Karakteristiklerini Belirleyen Deneyler
 - a. Konsolidasyon Deneyi
 dir.

3.5.1. Sınıflandırma deneyleri

Zeminler, farklı mühendislik özelliklerine sahip birçok malzemenin birleşiminden oluşmaktadırlar. Bu sebeple, yüklemeler altında zeminlerin davranışlarını analiz edebilmek ve mühendislik tasarımlar için gerekli parametreleri belirleyebilmek için,

zeminleri öncelikle basit özelliklerine göre sınıflandırmak, daha sonra ise zeminlerin mühendislik özelliklerini saptamaya çalışmak yararlı olmaktadır. Zemin etüt çalışmalarında zeminleri sınıflandırmak için gerçekleştirilen başlıca laboratuvar deneyleri aşağıda kısaca açıklanmıştır.

3.5.1.1. Elek analizi

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

3.5.1.2. Hidrometre deneyi

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

3.5.1.3. Kıvam limitleri deneyleri

İnce daneli zeminlerin mühendislik özellikleri boşluklarında bulunan su miktarına bağlı olarak değişmektedir. İnce daneli zeminlerin su muhtevası değiştikçe kıvamı da değişmektedir. Belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar katı kıvamda bulunan zeminler, bu sınır su muhtevası değerinden belirli bir sınır su muhtevası değerine kadar plastik davranış sergilemektedir. Bu sınır su muhtevalarının hepsine birden kıvam limitleri denilmektedir. Kıvam limitleri ilk olarak Atterberg (1911) tarafından önerildiğinden Atterberg Limitleri olarak da adlandırılmaktadır [11]. Kıvam

limitlerinin küçükten büyüğe doğru aldıkları isim ise sırası ile rötre limiti, plastik limit ve likit limit'dir. Kıvam limitleri, aşağıda verilen deneyler yardımıyla laboratuvar ortamında tespit edilebilmektedir.

- a. Casagrande Deneyi
- b. Düşen Koni Deneyi
- c. Plastik Limit Deneyi
- d. Rötre Limit Deneyi

3.5.2. Zeminin kayma direnci karakteristiklerini ölçen deneyler

Zemin tabakaları içinde, gerek kendi ağırlıklarından gerekse zemin üzerine uygulanan yüklerden dolayı gerilmeler oluşmaktadır. Uygulanan yükler altında zeminlerde ortaya çıkan gerilmeler ise zeminin şekil değiştirmesine yol açmaktadır. Diğer birçok inşaat malzemesine göre zeminlerin gerilme-şekil değiştirme davranışı genellikle çok daha karmaşık olmaktadır. Zeminler üzerine uygulanan yüklerin yol açtığı gerilmeler belirli sınır değerlerini aştığında, zeminde göçme meydana gelmektedir. Zeminlerde göçme meydana gelmesi için, olası bir kayma düzlemi boyunca kayma direncinin aşılması gerekmektedir. Zeminin kayma mukavemeti ise, göçmeye meydan vermeden karşı koyabileceği en büyük kayma gerilmesi olarak ifade edilebilir.

Diğer zemin problemlerinde olduğu gibi zemin etüt çalışmalarında da zeminlerin gerilme ve şekil değiştirme davranışının incelenmesi amacıyla kullanılan deneysel yöntemler aşağıda açıklanacaktır.

3.5.2.1. Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir. Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun alt parçası sabit tutulurken üst parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır.

Numune üzerine normal gerilme uygulamak, ve böylece kesmeden önce zeminin konsolide olması ve kesme sırasında normal gerilmelerin kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Bu deneyde, zemin önceden belirlenmiş (numunenin ortasından geçen) yatay bir düzlem boyunca kırılmaya (göçmeye) zorlanmaktadır. Belirli bir normal gerilme altında, uygulanan kesme kuvveti ile meydana gelen yatay yer değiştirmelerdir. Deney sırasında ulaşılan en büyük kayma gerilmesi veya göçme, kabul edilebilecek şekil değiştirmelere yol açan kayma gerilmesi zeminin belirli bir normal gerilme altında tekrarlanarak mukavemet zarfını elde etmek mümkün olmaktadır.

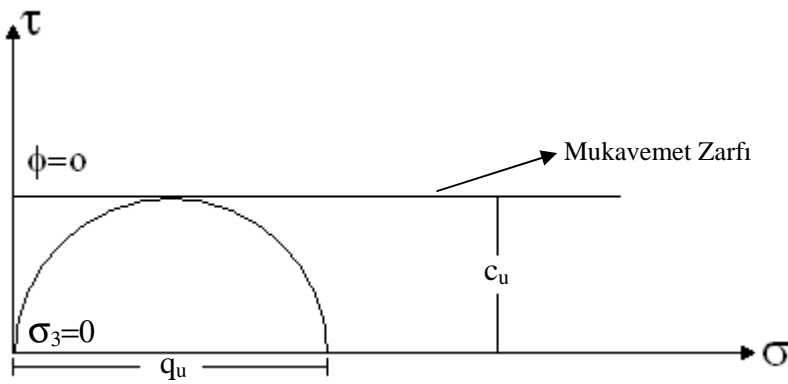
Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı artışlarını ölçmenin mümkün olmaması, göçmeye ulaşılmadan önceki gerilme seviyelerinde asal gerilme doğrultularının belirsiz olması ve kurulma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmaması bu deneyin kısıtlayıcı yönlerini oluşturmaktadır. Uygulamada, kesme kutusu deneyi daha çok kumların kayma mukavemetini saptamak için kullanılmaktadır. Kum zeminler için elde edilen kayma mukavemeti açısı ϕ drenajlı yükleme durumları için olup, arazi koşulları ile uyumlu olduğu kabul edilebilir. Deney numunesinin arazi boşluk oranına sahip olacak şekilde hazırlanmasına dikkat etmek gerekmektedir.

3.5.2.2. Serbest basınç deneyi

Serbest basınç deneyinde silindirik bir zemin numunesi yalnızca eksenel doğrultuda yüklemeye tabi tutulmaktadır. Eksenel yük artışları altında meydana gelen numunenin boy kısılması (eksenel şekil değiştirmesi) ölçülmekte gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmektedir. Eksenel gerilmenin en büyük değeri (veya göçme kabul edilebilecek şekil değiştirme seviyesine karşılık gelen değeri) zeminin serbest basınç mukavemeti (q_u) değerini vermektedir. Numunede oluşan kayma düzleminin alt ve üst yükleme başlıkları ile kesişmemesi için, boy uzunluğu/çap oranının, $h/d > 2$ olarak seçilmesi uygun olmaktadır.

Serbest basınç deneyi ancak herhangi bir yanal destek olmaksızın kendi kendini dik olarak ayakta tutabilecek özelliklere sahip zeminler üzerinde uygulanması mümkün değildir, yalnızca killi zeminler için kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Deney

sırasında numunenin drenaj koşulları kontrol edilmediği için, hızlı yükleme yapılarak zeminin drenajsız kayma mukavemetinin elde edildiği kabul edilmektedir. Eksenel yüklemeye önce zemini konsolide etmek ve eksenel yüklemeye sırasında oluşan boşluk suyu basınçlarını ölçmek mümkün olmamaktadır. Bu kısıtlayıcı yönlerine karşın, serbest basınç deneyi kullanan drenajsız kayma mukavemetini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir deney yöntemi olmaktadır. Bir serbest basınç deneyinde göçme anındaki gerilme durumunu gösteren mohr dairesi ve drenajsız kayma mukavemeti zarfı Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Serbest Basınç Deney Sonuçlarını Gösteren Mohr Dairesi ve Mukavemet Zarfı

Drenajsız kayma mukavemetinin $\tau_f = c_u = (1/2)q_u$ olarak elde edilebileceği bu şekilden açık olarak görülmektedir. Fakat bu şekilde elde edilen kayma mukavemetinin, ancak özel arazi yükleme ve drenaj koşullarında geçerli olacağını hatırdan çıkarmamız gerekmektedir.

3.5.2.3. Üç eksenli basınç deneyi

Zeminlerin kayma mukavemetini saptamak için kullanılan laboratuvar deney yöntemleri arasında üç eksenli basınç deneyi en gelişmişlerinden biri olmaktadır. Bu deney düzeni ile, zeminin arazi koşullarında sahip olacağı kayma mukavemetini gerçeğe yakın olarak belirlemek mümkün olmaktadır. Üç eksenli basınç deneyinde kontrol edilebilen ve ölçülebilen parametreler şu şekilde sıralanabilir:

- a. Zemin numunesi arazi gerilmeleri altında konsolide edilebilmekte ve doyunluk derecesi kontrol edilebilmektedir.
- b. Yanal ve eksenel gerilmeler uygulamak sureti ile arazi yükleme izlerine yakın yüklemeler yapılabilmektedir.
- c. Eksenel yükleme sırasında drenajsız veya drenajlı koşullar geçerli kılınabilmektedir.
- d. Drenajsız yüklemelerde numunede oluşan boşluk suyu basıncı artışları, drenajlı deneylerde ise meydana gelen hacim değişimleri ölçülebilmektedir.

Üç eksenli basınç deneyinde, silindirik bir zemin numunesi bir hücre içine yerleştirilmekte ve hücreye uygulanan basınç (hava veya su basıncı) vasıtası ile zemin numunesi üzerinde hidrostatik bir basınç uygulanabilmektedir. Numune etrafına geçirilen bir lastik kılıf zeminin hücreyi dolduran su ile temas etmesini önlemekte ve numune içine ve dışına ayrı ayrı basınçlar uygulanmasını mümkün kılmaktadır. Numune üst başlığına temas eden bir piston vasıtası ile eksenel gerilme uygulanmakta, numune alt ve üst başlıklarına bağlı ince kanallar vasıtası ile de deney sırasında drenaj durumu (zemin suyunun dışarı çıkıp çıkmaması) kontrol edilebilmektedir.

Üç eksenli basınç deneyi iki aşamadan oluşmaktadır;

1. Aşama: Zemin numunesi üzerine arazide yüklenmeden önce etkiyen gerilmelerin hücre basıncı vasıtası ile uygulanması. Bu aşamada drenaja izin verilirse numune konsolide edilebilmektedir.
2. Aşama: Eksenel basınç uygulanması. Bu aşama drenajlı ve drenajsız olarak gerçekleştirilebilmektedir. Drenajlı deney yapılması durumunda, yükleme hızının zeminin permeabilitesine göre seçilerek, zemin içindeki suyun rahatlıkla dışarı çıkmasına, dolayısıyla boşluk suyu basıncı artışları oluşmamasına dikkat etmek gerekmektedir.

Yukarıdaki aşamaların her ikisinde de drenaj durumu kontrol edilerek, üç değişik türde üç eksenli basınç deneyi yürütmek mümkün olmaktadır.

a) Konsolidasyonsuz-Drenajsız Deneyler (UU-deneyleri): Bu tür deneyde, zemin suyunun gerek hücre basıncı uygulanmasında gerekse eksenel yükleme sırasında numuneden dışları çıkmasına izin verilmemektedir.

b) Konsolidasyonlu-Drenajsız Deneyler (CU-deneyleri): Birinci aşamada hidrostatik basınç altında zemin suyunun dışarı çıkmasına (numunenin konsolide olmasına) izin verdikten sonra, ikinci aşamada drenajsız durumda eksenel yükleme yapılan deneyler.

c) Konsolidasyonlu-Drenajlı Deneyler (CD-deneyleri): Her iki aşamada da (hidrostatik hücre basıncı uygulanması ve eksenel yükleme) drenaja izin verilen tür deneylerdir.

Değişik türde üç eksenli basınç deneyleri uygulanarak, arazideki zemin tabakalarının farklı yükleme ve drenaj koşulları altında gösterecekleri gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve kayma mukavemetlerini belirlemek mümkün olmaktadır.

3.5.3. Zeminin oturma ve sıkışma karakteristiklerini belirleyen deneyler

Üzerine yük uygulanan her malzemenin şekil değiştirme göstermesi gibi zeminler de yük altında şekil değiştirmeye maruz kalmaktadırlar. Uygulanan yükler zemin içerisinde gerek kayma gerilmelerine gerekse düşey ve yatay düzlemlere etkiyen normal gerilmelerde artışlara sebep olmaktadır. Uygulanan yüklerin yol açtığı düşey normal gerilme artışları ise zeminin kayma mukavemetini etkilemekle birlikte, zeminde düşey şekil değiştirmelere de yol açmaktadır. Yük altında kalan zemin tabakalarının düşey şekil değiştirmeleri toplamı zemin yüzeyinde yada temel altında oturmalar meydana gelmesi sonucunu doğurur. Temeller altında meydana gelen bu tür zemin deformasyonları sonucunda; yapının güvenliği açısından tehlike oluşturacak durumlar meydana gelebilmektedir.

Yük altında zeminde meydana gelecek şekil değiştirmelerini deneysel yöntemler ile belirlemek amacıyla çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Zemin etüt çalışmalarında da yararlanılan bu laboratuvar deneylerine aşağıda kısaca değinilmiştir.

3.5.3.1. Konsolidasyon deneyi

Arazideki zemin tabakalarının düşey yüklemeler altında sıkışması esas olarak tek boyutlu bir sıkışma problemi oluşturduğu için, laboratuvar deney düzeneğinde zeminin yanal genişlemesine izin verilmemekte ve belirli düşey yükler altında zeminin boy kısılması ölçülmektedir. Ödometre cihazında rijit bir çelik halka içerisine yerleştirilen zemin numunesinin alt ve üst yüzeylerine konan geçirimli taşlardan zemin içerisindeki suyun düşey doğrultuda hareketle dışarı çıkmasına izin verilir. Uygulanan sabit bir yük altında meydana gelen düşey şekil değiştirmeler hassas bir okuma saati yardımıyla sürekli ölçülerek kaydedilir. Zemin numunesinin alanı sabit olduğundan, boy kısılması ölçümlerinden hacim değişiklikleri kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

3.5.4. Diğer laboratuvar deneyleri

Zeminlerin özellikle kayma mukavemetlerinin laboratuvar deney yöntemleri yardımıyla belirlenmesi için yukarıda kısaca açıklanan deney çalışmaları yanında birçok farklı deney yöntemi de geliştirilmiştir. Burada, bu deney yöntemlerinden özellikle killerin drenajsız kayma mukavemetinin belirlenmesi amacıyla zemin etüt çalışmalarında kullanılan iki yöntem kısaca açıklanacaktır.

3.5.4.1. Laboratuvar veyn deneyi

Bu deneyde fırıldak (veyn) zemin içine batırıldıktan sonra, zemin içinde dönmeye zorlanmakta, zeminin direncinin aşılmasına karşılık gelen burulma momentinden zeminin kayma mukavemeti

$$\tau = (3 T_{\max}) / (2\pi D^3) \quad (H/D=1 \text{ için}) \quad (2)$$

$$\tau = (6 T_{\max}) / (7\pi D^3) \quad (H/D=2 \text{ için}) \quad (3)$$

bağıntılarından hesaplanabilmektedir. Burada, T_{\max} zemine göçmeye (fırıldığın zemin içinde rahatça dönmesine) yol açan burulma momentini, H ve D ise fırıldığın

boyutlarını göstermektedir. Veyn deneyinin arazideki zemin tabakalarının yerinde kayma mukavemetini ölçmek için geliştirilmiş modelleri de mevcuttur.

Deney ancak yumuşak killerde güvenilir sonuç vermektedir. Yalnız yükleme hızı, arazide uygulanan yükleme hızlarından oldukça daha yüksek olduğu için, bir düzeltme yapılmasının uygun olacağı tavsiye edilmektedir. Bjerrum (1972) bu düzeltmenin

$$(\tau_f)_{arazi} = \mu (\tau_f)_{veyn} \quad (4)$$

şeklinde yapılabileceğini ve μ düzeltme faktörünün zeminin plastisite indisi değerine bağlı olarak

$$\mu = 1.7 - 0.54 \log I_p < 1.0 \quad (5)$$

şeklinde elde edilebileceğini önermiştir.

3.5.4.2. Düşen koni deneyi

Bu deneyde, standart boyutlarda ve ağırlıkta metal bir koni, sabit bir yükseklikten zemin numunesi üzerine düşürülmekte, zeminin drenajsız kayma mukavemetinin koninin ağırlığı ile doğrudan, koninin zemin içine batma miktarının karesi ile tersten orantılı olduğu kabul edilmektedir. Aletin kalibrasyon tablolarından, zemin içine batma miktarından zeminin drenajsız kayma mukavemeti elde edilebilmektedir. Bu deneyin de yalnızca yumuşak normal konsolide killerde güvenilir sonuç verdiği kabul edilmektedir.

BÖLÜM 4. ZEMİN ETÜT ÇALIŞMALARI SONUCUNDA GEOTEKNİK RAPOR HAZIRLANMASI VE SUNULMASI

4.1. Giriş

Zemin etüt çalışması kapsamında ön etüt, arazi çalışmaları ve laboratuvar deney çalışmaları sonucunda elde edilen verileri yorumlanması ile bir “geoteknik zemin etüt raporu” hazırlanır. Geoteknik mühendisinin hazırladığı bu rapor genel olarak, çalışılan alan ile genel bilgiler, alanın genel zemin özellikleri ve tasarlanan yapı için zeminde alınması önerilen tedbirleri içerir.

Bu bölümde, geoteknik etüt çalışmaları sonucunda hazırlanan raporların içeriği ve bu çalışmalar sonucunda elde edilen zemin parametrelerine kısaca değinilmiştir.

4.2. Geoteknik Etüt Raporunun İçeriği

Bir geoteknik etüt raporunda öncelikle çalışılan alan ile ilgili parsel bilgileri belirtilmelidir. Parselin imar bilgileri ve alanda yapılması planlanan yapı ile ilgili tüm bilgiler detaylı bir şekilde açıklanmalıdır.

Çalışılan alan ile ilgili bu bilgilerin verilmesinin ardından parselin jeolojisi, jeomorfolojik ve topografik özellikleri açıklanmalı; alanın bulunduğu bölgenin depremselliği hakkında bilgiler sunulmalıdır. Bölgedeki tarihsel depremler, alanın sismotektonik özellikleri, alanın içerisinde yer aldığı deprem bölgesi, etkin yer ivme katsayısı ve alanda deprem etkisi sonucunda oluşabilecek zemin problemleri belirlenmelidir.

Alanda gerçekleştirilen tüm arazi çalışmaları, arazi deneyleri ve laboratuvar deney çalışmaları detaylı olarak açıklanmalı; elde edilen veriler grafikler ve tablolar halinde sunulmalıdır.

Arazi alışmaları sonucunda elde edilen verilerden yararlanılarak, tasarlanan yapının jeolojik açıdan uygunluğu, varsa olası afet etkilerinin değerlendirilmesi gerekir. Alanın jeolojik özelliklerine bağlı olarak alanda yapılacak kazıların parsel ve çevresinde oluşturabileceği etkiler belirlenmelidir. Mühendislik jeolojisi haritası ve jeolojik kesitler çıkartılmalı; bölgesel jeoloji ve tektonik özellikler hakkında bilgiler sunulmalıdır. Yer altı suyu seviyesi ve rejimi hakkında bilgiler verilerek; bunun oluşturacağı zemin gerilmeleri ve yapıya etkisi hakkında bilgiler sunularak öneriler geliştirmelidir.

Tüm arazi ve laboratuvar çalışmaları neticesinde elde edilen veriler, alanda tasarlanan yapı özellikleri ve yüklerine bağlı olarak değerlendirilerek, temel sisteminin seçimine ve modellenmesine ışık tutacak zemin parametreleri hesaplanmalı ve hesaplanma yöntemleriyle birlikte sunulmalıdır. Alanda olası sıvılaşma, oturma, heyelan, akma, kayma, okme, kaya düşmesi vb. zemin problemleri belirlenmeli; bu mühendislik problemlerinin iyileştirilmesi için öneriler geliştirilmelidir.

4.3. Parametreler ve Analizler

Geoteknik etüt raporunda, tasarlanan yapı özelliklerine bağlı olarak temel sisteminin belirlenmesi için gerekli olan zemin parametreleri hesaplanarak sunulur. Burada zemin etüt çalışmaları neticesinde elde edilen bu zemin parametrelerine kısaca değinilmiştir.

4.3.1. Taşıma gücü

Bir yapı sistemi genel olarak iki kısımda tanımlanır. st kısım st yapı olarak adlandırılır. Zeminle st yapı arasındaki ara bölge de temel adıyla tanımlanır. Bir yapı sistemi st yapı, temel ve zemin bileşiminden oluşur. Temel, zeminle doğrudan temas halinde olan ve st yapı yüklerini zemine aktaran aracı yapı kısmıdır. Bir

başka deyişle, temel; yapı yüklerini ve yükün dağılımını altta bu yükü taşıyacak zeminin taşıyabileceği şekle dönüştürerek aktaran bir sistemdir. Bu niteliği ile de hem yapıdan hem de zeminden etkilenir. Buna göre, temel tasarımı bir yapı-zemin etkileşimi problemdir [12].

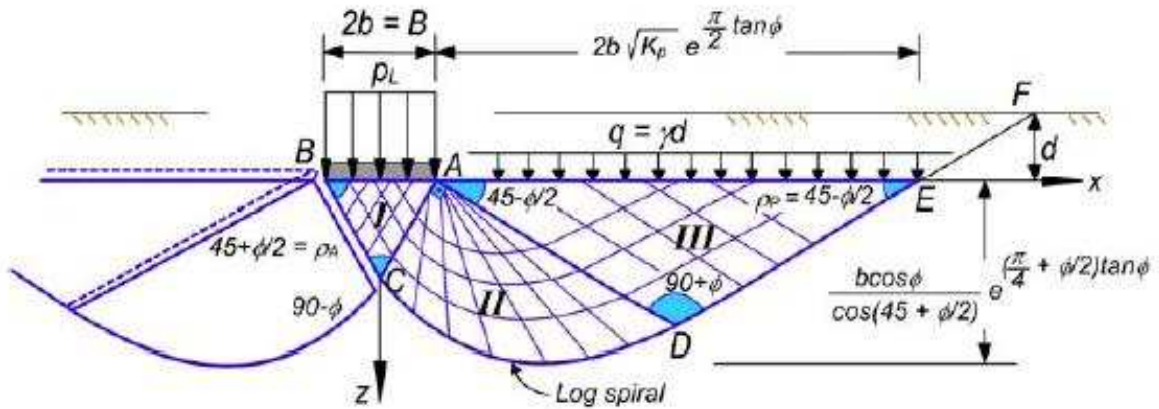
Taşıma gücü ise, temel yapısının göçme olmadan zemine aktarabileceği maksimum taban basıncıdır [11]. Taşıma gücü bakımından temeller “sığ temeller” ve “derin temeller” olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bina türü yapılar genel olarak sığ temellere sahip olduklarından bu çalışmada sığ temellere ait taşıma gücü üzerinde durulacaktır.

4.3.1.1. Sığ temellerde taşıma gücünün hesaplanması

Taşıma gücünün belirlenebilmesi için çeşitli araştırmacılar tarafından birçok hesap yöntemi geliştirilmiştir. Bu çalışmada, zemin etüt çalışmalarında sıklıkla kullanılan yöntemler ele alınacaktır.

4.3.1.1.1. Taşıma gücünün Terzaghi formülü ile belirlenmesi

Yüzeysel temeller altında göçme mekanizmasının Şekil 4’de görüldüğü gibi gelişeceği düşünülür ve kaydıran kuvvetlerle karşı koyan kuvvetler dengelenerek limit durum için çözüm yapılır [12].



Şekil 4. Yüzeysel temel altındaki göçme mekanizması [12].

Sığ temellerin taşıma gücünün hesaplanmasında sıklıkla kullanılan Terzaghi (1943) formülü olup, sürekli bir temel için:

$$q_u = \frac{Q_u}{B.L} = c.N_c + \frac{1}{2} \cdot \gamma.B.N_\gamma + \gamma.D_f.N_q \quad (6)$$

Q_u : Alttaki zeminde kayma göçmesine sebep olan düşey yük (kN, ton)

B : Temelin genişliği (m)

L : Temelin uzunluğu (m)

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı (kN/m^3 , t/m^3)

D_f : Temel çevresindeki zemin yüzeyinden temelin alt taban kotuna düşey uzaklık

c : Temel altındaki zeminin kohezyonu (kN/m^2 , t/m^2)

N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları (boyutsuz)

olarak verilmektedir. Temel tabanı altındaki zeminle temel tabanı üzerindeki zeminin γ değerleri farklı olabilir. Böyle bir durumda (6) numaralı bağıntının ikinci ve üçüncü terimlerde farklı γ değerleri kullanılacaktır. Taşıma gücü katsayıları Tablo 1'de tanımlanmaktadır [12].

Tablo 1. Taşıma gücü katsayıları

ϕ	N_c	N_q	N_γ
0	5.14	1.0	0.0
5	6.50	1.6	0.5
10	8.30	2.5	1.2
15	11.0	3.9	2.6
20	14.8	6.4	5.4
25	20.7	10.7	10.8
30	30.1	18.4	22.4
32	35.5	23.2	30.2
34	42.2	29.4	41.1
36	50.6	37.7	56.3
38	61.4	48.9	78.0
40	75.3	64.2	109.4
42	93.7	85.4	155.6
44	118.4	115.3	224.6
46	152.1	158.5	330.4
48	199.3	222.3	496.0
50	266.9	319.1	762.9

Terzaghi (1943) taşıma gücü denklemi kare ve daire şeklindeki temeller için ise aşağıdaki gibidir.

$$q_u = 1.3.c.N_c + \gamma.D_f.N_q + 0.4.\gamma.B. N_\gamma \quad (\text{Kare temel}) \quad (7)$$

$$q_u = 1.3.c.N_c + \gamma.D_f.N_q + 0.3.\gamma.B. N_\gamma \quad (\text{Dairesel temel}) \quad (8)$$

4.3.1.1.2. Standart penetrasyon deneyleri ile taşıma gücü tayini

İri daneli zeminlerde örselenmemiş numune almak oldukça zor olduğundan, arazide gerçekleştirilen SPT deneylerine bağlı olarak taşıma gücü hesaplamaları araştırılmıştır. Kumlu zeminler için SPT deneylerine bağlı olarak emniyetli taşıma gücünün hesabı için en uygun denklemler Meyerhof (1974) tarafından verilmiştir. Meyerhof denklemleri ile temelin en fazla 25 mm (2.5 cm) oturmasına karşılık gelen emniyetli taşıma gücü değerleri bulunur. Meyerhof tarafından tekil temeller için emniyetli taşıma gücünü hesaplamaya yönelik olarak kumlu zeminler için önerilen denklemler aşağıda verilmektedir [12].

$$q_a = 12 \cdot N \cdot K_d \quad B \leq 1.22 \text{ m. için} \quad (9)$$

$$q_a = 8 \cdot N \cdot \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 \cdot K_d \quad B > 1.22 \text{ m. için} \quad (10)$$

$$K_d = 1 + 0.33 \cdot \frac{D}{B} \leq 1.33 \quad (11)$$

q_a : 25 mm. oturma için emniyetli taşıma gücü (kN/m²)

N : Düzeltilmiş SPT darbe sayısı

D : Temel derinliği (m)

B : Temel genişliği (m)

Bowles, Meyerhof'un formüllerini muhafazakar bulmuştur. Bowles bu denklemleri çok daha büyük emniyetli taşıma gücü elde edecek şekilde değiştirmiştir [12]:

$$q_a = 20 \cdot N \cdot K_d \quad B \leq 1.22 \text{ m. için} \quad (12)$$

$$q_a = 12.5 \cdot N \cdot \left(\frac{B + 0.305}{B} \right)^2 \cdot K_d \quad B > 1.22 \text{ m. için} \quad (13)$$

Bu denklemlerden Meyerhof'u tercih etmek güvenli tarafta kalmak bakımından yararlıdır. Bowles'un önerdiği denklemler tercih edildiği takdirde kullanılan SPT sayısının zemini yeterli seviyede temsil ettiğinden emin olunmalıdır [12].

4.3.1.1.3. Sismik hızlar yardımıyla taşıma gücü tayini

Zeminin serbest basınç direnci q_u ile kayma dalgası hızı V_s arasındaki ilişkiden, Imai ve Yoshimura (1975) tarafından aşağıdaki bağıntılar geliştirilmiştir [13].

$$V_s = 92.1 \cdot N^{0.329} \quad (\text{m/sn}) \quad (14)$$

$$V_s = 147.6 \cdot q_u^{0.417} \quad (\text{m/sn}) \quad (15)$$

Bu bağıntılardan hareketle kayma dalgası hızlarından temel taşıma gücü aşağıdaki şekilde hesaplanabilir [13];

$$q_u = \frac{V_s \cdot \gamma \cdot T_o}{40} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (16)$$

V_s : Kayma dalgası hızı (m/sn)

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı (gr/cm^3)

T_o : Zemin hakim titreşim periyodu (sn)

4.3.1.2. Kayaçlara oturan temelerde taşıma gücü

Kayaçlar genel olarak çok iyi temel birimi olarak düşünülmektedir. Oysa kayaçlarda da aşırı yüklenmeden dolayı büyük oranda oturmalar veya ani yenilmeler meydana gelebilmektedir. Bu nedenle kayaç üzerine inşa edilecek temelin tasarımında da en az herhangi bir zemin üzerinde düşünülen temel tasarımında gösterilen dikkat gösterilmelidir.

Temel tasarımındaki hesaplamalarda kayaçlar genel olarak ayrışmış ve ayrışmamış (sağlam) olmak üzere iki başlık altında sınıflandırılmakta ve kayaçların mekanik özellikleri dikkate alınmaktadır. Oysa en az ayrışma kadar yapısal süreksizliklerin özellikleri (kırık, çatlak, fay, eklem, doğrultu, eğim vb.) de önemlidir.

Bu çalışmada değerlendirilen zemin etüt çalışmaları daha çok bina türü ve sığ temellere sahip yapılar için gerçekleştirildiğinden; bu tip sığ temellerin genelde çatlaklı ve kırıklı yapılar gösteren ve ayrışmış süreksizlikler içeren kayaçlar üzerine oturtulduğu görülmektedir. Bu tür çatlaklı ve parçalı kayaçlar için, kayaç parçaları arasındaki göreceli hareket fazla olabileceğinden yerinde dayanım deneyleri yapmak gerekebilir [5].

Stagg ve Zienkiewicz (1968) taşıma gücü eşitliklerinde taşıma gücü faktörlerinin;

$$N_q = \text{tg}^6 \cdot \left(45 + \frac{\varphi}{2}\right), \quad N_c = 5 \cdot \text{tg}^4 \cdot \left(45 + \frac{\varphi}{2}\right), \quad N_\gamma = N_q - 1 \quad (17)$$

alınmasını önermektedir. RQD=0 değerindeki kayaçlar için zemin mekaniği kurallarına göre taşıma gücü hesapları yapılmalıdır.

Çatlak aralığı $< \frac{1}{8}$ (inç) olan kayaçlarda Peck (1974) RQD'ye bağlı olarak Tablo 2'de sunulan izin verilebilir taşıma gücü değerlerini önermiştir.

Tablo 2. RQD'ye Göre İzin Verilebilir Taşıma Gücü

RQD (%)	q _a (kPa)
0	500
20	1250
40	2500
60	4000
80	9000
100	15000

4.3.2. Yatak katsayısı

Yatak katsayısı (k_s); yük altında zeminin birim alanının birim deplasmana karşı olan direncidir. Yatak katsayısı, zeminin elastiğe yakın özelliklerinden, mümkün olan en büyük plaka çapı kullanılarak basınç-oturma eğrisinin doğruya yakın olan kısmından hesaplanır.

Yatak katsayısı değişik deney sonuçlarına göre değişik araştırmacılar tarafından aşağıdaki şekilde formüle edilmiştir [11].

SPT Deneilerine göre:

$$k_s = 1800 \cdot N_{30} \text{ (kN/m}^3\text{)} = 180 \cdot N_{30} \text{ (t/m}^3\text{)} \quad (\text{Scott, 1981}) \quad (18)$$

Pressiyometre Deneilerine göre:

$$k_s = 1.6 \cdot \frac{E_m}{d} \quad (\text{Kanada Temel Mühendisliği El Kitabı}) \quad (19)$$

Burada;

k_s : Yatak katsayısı

N_{30} : Düzeltilmiş SPT darbe sayısı

olarak verilmektedir.

4.3.3. Zemin grubu ve yerel zemin sınıfı kavramları

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik, zeminleri dört farklı grup altında sınıflandırmıştır. Ayrıca bu sınıflandırma doğrultusunda zemin tabakalarının kalınlıklarına bağlı olarak yine zeminleri dört farklı yerel zemin sınıfı ile tanımlamıştır. Bu sınıflandırma Tablo 3 ve Tablo 4’de sunulmuştur [14]. Zemin etüt çalışmasını gerçekleştiren mühendis; elde ettiği verileri bu tablolar yardımıyla değerlendirerek, çalışılan alana ait zemin grubu ve yerel zemin sınıfı özelliklerini geoteknik etüt raporu içerisinde sunmalıdır.

Tablo 3. Zemin Grupları [14]

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

Tablo 4. Yerel Zemin Sınıfları [14]

Yerel Zemin Sınıfı	Tablo 3'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 \text{ m} < h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

BÖLÜM 5. REGRESYON ANALİZİ

Genellikle mühendisliğin birçok dalında yapılan araştırmalar için, bir değişkenin farklı değişkenler vasıtasıyla bulunması yada tahmin edilmesi istenir. Değişkenler arasındaki ilişkinin araştırılması için ise regresyon ve korelasyon analiz yöntemleri kullanılır. Değişkenler arasında bir ilişki bulunabiliyorsa, bu ilişki en doğru şekilde ancak matematiksel fonksiyon olarak tanımlanabilir. Bu fonksiyon, ilişkinin şekline göre lineer bir doğru yada lineer olmayan bir eğri denklemi ile ifade edilir [1].

5.1. Basit Regresyon ve Korelasyon Analizi

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

Basit regresyonda, iki değişken arasında varolan ilişki $y=ax+b$ şeklinde ifade edilir. Burada elde edilen “a” ve “b” değerleri regresyon katsayıları olarak isimlendirilmektedir. Burada değişkenler arasındaki ilişkiyi en iyi şekilde ifade eden denklemi tespit etmek için en küçük kareler yöntemi kullanılır. Bu metoda göre, çizilen eğriden serpilme diyagramındaki noktalara olan dikey uzaklıkların kareleri toplamı minimum olacaktır [1]. y_i gözlenen değerler, y_x ise hesaplanan değerler olmak üzere;

$$\sum (y_i - y_x)^2 = \sum \Delta y_i^2 = \text{minimum} \quad (20)$$

olacak a ve b değerleri alınır ve bu katsayılar şu şekilde hesaplanır [1]:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}), SS_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, SS_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 \quad (21)$$

$$b = \frac{S_{xy}}{SS_x}, a = \bar{Y} - b\bar{X} \quad (22)$$

Regresyon analizi iki değişken arasındaki ilişkinin yalnızca şeklini (en uygun doğru yada eğri denklemini) belirlerken; kuvveti, yönü ve doğrunun veya eğrinin verilere uyumluluğunun derecesi hakkında bilgi vermez. İlişkinin yönünün, derecesinin ve istatistiksel olarak anlamlılığının tayini korelasyon yoluyla yapılmakta ve korelasyon katsayısı (r) ile ifade edilmektedir [1].

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

$$r_p = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(X_i - \bar{X})^2 (Y_i - \bar{Y})^2}{SS_x SS_y} \quad (23)$$

Bu çalışmada r_p yerine r olarak gösterimde bulunulmuştur. Genellikle, $0.9 < r \leq 1$ ise, değişkenler arasında “güçlü ilişki” bulunduğu kabul edilmektedir. Eğer $0.5 < r \leq 0.9$ ise, “orta derecede”, $0 < r \leq 0.5$ ise “zayıf bir ilişki” olduğu söylenir [15].

5.2. Non-Linear Regresyon Analizi

Basit doğrusal regresyon yanında, doğrusal olmayan (non-linear) basit regresyon analizleri de mevcuttur. Doğrusal olmayan basit regresyon analizleri daha çok

bilgisayar paket programları vasıtasıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada $y=ax+b$ şeklindeki doğrusal regresyonun yanında $y=ax^b$, $y=ab^x$ şeklinde lineer olmayan regresyon analizleri “Curve Expert 1.3” programı vasıtasıyla yapılmış ve en uygun şekli $y=ax^b$ olarak bulunmuştur. Bu regresyon analizi sonuçları Bölüm 7’de sunulmuştur.

BÖLÜM 6. GEOTEKNİK VE JEOFİZİK PARAMETRELER ARASINDA YAPILAN KORELASYON ÇALIŞMALARI

6.1. Giriş

Geoteknik etüt çalışmaları kapsamında yukarıda da belirtildiği gibi çeşitli arazi çalışmaları gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmaların bir bölümünü de jeofizik yöntemler oluşturmaktadır.

Geoteknik etüt çalışmaları neticesinde elde edilen arazi ve laboratuvar verileri ile jeofizik yöntemlerin uygulanması neticesinde elde edilen parametreler arasında ilişkiler olup olmadığı birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir. Birçok araştırmacı bu parametreler arasındaki ilişkileri inceleyerek, çeşitli bağıntılar geliştirmiştir. Bu çalışmalar öncelikle mikrotremor verileri kullanılarak elde edilen V_s kayma dalgası hızları ile SPT-N arasındaki ilişkilerin incelenmesi şeklinde başlamıştır. Daha sonra gelişen teknoloji ile birlikte karşıt kuyu, kuyu üstü ve kuyu içi sismik ölçümlerden elde edilen sonuçlar ile geoteknik veriler arasındaki ilişkiler geliştirilmiştir.

Ülkemizde gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları incelendiğinde; zemin davranışlarının tahmin edilebilmesi için ilgili deney çalışmalarının ya çok az yapıldığı yada hiç yapılmadığı görülmektedir. Bunun başlıca sebebi, denetim mekanizmasının sınırlı olması, zaman ve ekonomik sebepler olarak düşünülmektedir. Bu sebeplerle, araziden elde edilen geoteknik ve jeofizik verilerin, ihtiyaç duyulan zemin özelliklerine göre korele edilmesinin getireceği yararların tartışılması amaçlanmaktadır. Ancak burada unutulmamalıdır ki, zemin özelliklerini belirlemede korelasyonların kullanımı ucuz ve kolay olmakla birlikte, bazen de hatalı sonuçlara ulaşılmasına sebep olabilir. Bu sebeple doğru olan arazide yerinde tüm çalışmaların gerçekleştirilmesidir. Bu tür korelasyon bağıntuları ise, zemin özelliklerine göre en

uygun korelasyon bağıntısının seçilerek, gerekmesi durumunda parametreler arasındaki ilişkiler hakkında fikir sağlanması amacıyla kullanılmalıdır.

6.2. Daha Önce Yapılan Korelasyon Çalışmaları

Kanai ve diğerleri (1966), genelde kumlarda yapılan yaklaşık 70 mikrotremor ölçüm sonuçlarını kullanarak kayma dalgası hızı V_s ile SPT darbe sayıları arasında aşağıdaki ilişkiyi önermişlerdir [9].

$$V_s = 19N^{0.6} \quad (\text{m/sn}) \quad (24)$$

Ohsaki ve Iwasaki (1973), genelde kuyu içi ölçümlerinden elde edilen veriler yardımıyla, jeolojik yaşın ve zemin tipinin etkisini de dikkate alarak $V_s - N$ ilişkisini basit istatistik analizle incelemişlerdir. Analizde; Ohsaki ve Sakaguchi tarafından önerilen basitleştirilmiş zemin profili içinde her zemin tipi için ortalama 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'nin verilerini kullanarak kum ve killer için kayma modülleri arasında tipik arazi yoğunlukları belirleyerek karşılaştırma yapmışlardır. Bu çalışmalardan aynı N değerlerinde kilin daha büyük kayma modülüne sahip olduğu sonucuna varılmış ve Japonya'da kumlar için birim hacim ağırlığı 1.80 t/m^3 kabul edilerek kayma dalgası hızı V_s ile SPT darbe sayıları arasında;

$$V_s = 81.4N^{0.39} \quad (\text{m/sn}) \quad (25)$$

bağıntısı önerilmiştir. Zemin tipi ve jeolojik yaşa göre sınıflandırma yapılarak $G=aN^b$ eşitliğinin elde edilebilmesi için istatistik analiz sonucunda çeşitli korelasyon katsayılarına sahip bağıntılar elde edilmiştir. Bu analizler sonucunda, korelasyon katsayıları bakımından en iyi ilişki sadece kohezyonlu zeminlerde elde edilen verilerden bulunmuştur. İkinci en iyi ilişki ise tüm verilerin kullanılması ile gerçekleştirilen analizden elde edilmiştir [9].

Hamilton (1976) deniz sedimanlarında Rayleigh dalgası ölçümleri ve kuyu içi yöntemler ile elde edilen 29 veriden kayma dalgası hızı V_s 'in derinlik ile değişimini inceleyerek H (m) derinlik olmak üzere aşağıdaki bağıntıyı geliştirmiştir [16].

$$V_s = 128H^{0.280} \quad (\text{m/sn}) \quad (26)$$

Ayrıca Hamilton (1976), kaba kumlar üzerinde gerçekleştirdiği deney çalışmaları ile efektif düşey gerilme ve kayma dalgası hızı arasındaki ilişkiyi incelemiştir; σ_v (kg/cm^2) olmak üzere aşağıdaki bağıntıyı önermiştir [16].

$$V_s = 257.9\sigma_v^{0.31} \quad (\text{m/sn}) \quad (27)$$

Imai ve Yoshimura (1975), kayma dalgası hızları ile zemin tipi ve jeolojisi arasındaki ilişkileri inceleyerek; kayma dalgası hızları ile zeminlerin diğer mühendislik özellikleri arasında iyi sayılabilecek bir korelasyon olduğunu savunmuşlardır. Bu araştırmaları neticesinde kayma dalgası hızları ile SPT darbe sayıları arasında aşağıdaki deneysel bağıntıları geliştirmişlerdir [9].

$$V_s = 92.1N^{0.329} \quad (\text{m/sn}) \quad (28)$$

Ohda ve Goto (1978), Japonya'da 18 sahadan toplanan 100 adet veri için birim hacim ağırlığı 1.80 t/m^3 kabul ederek regresyon analizleri yapmış ve kayma dalgası hızı ile SPT darbe sayıları arasında aşağıdaki bağıntıyı geliştirmişlerdir [17].

$$V_s = 87.2N^{0.36} \quad (\text{m/sn}) \quad (29)$$

Seed ve Idriss (1981), tüm zeminler için düzeltilmiş SPT darbe sayıları ile kayma dalgası hızları arasında aşağıdaki ilişkiyi geliştirmişlerdir [18].

$$V_s = 61N_1^{0.5} \quad (\text{m/sn}) \quad (30)$$

Syroka ve Stokoe (1983), CPT uç direnci (q_c) ile kayma dalgası arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kohezyonsuz zeminlerde yer altı suyu dikkate alınmadan yapılan

deneylemlerden elde edilen 256 veri kullanılarak yapılan lineer ve lineer olmayan regresyon analizleri sonucunda;

$$V_s = 1.7q_c + 134 \quad (\text{m/sn}) \quad (31)$$

$$V_s = 109.7q_c^{0.29} \quad (\text{m/sn}) \quad (32)$$

bağıntılarını geliştirmişlerdir. Bu bağıntılarda q_c , CPT uç direnci olup birimi kg/cm^2 'dir [9].

İyisan (1994), Erzincan ovasındaki alüvyonlarda gerçekleştirdiği çalışmalar sonucunda kayma dalgası hızı ile SPT darbe sayıları arasında $R=\%81$ uyumlulukla izleyen bağıntıyı geliştirmiştir [19].

$$V_s = 51.5N^{0.516} \quad (\text{m/sn}) \quad (33)$$

Keçeli (2000) sismik sınır taşıma basıncı q_{us} ve müsaade edilebilir taşıma basıncı q_s parametrelerini, tanımlanan zeminin boyuna (V_p), enine dalgaları (V_s) ve yoğunluğuna (ρ , gr/cm^3) bağlı olmak üzere aşağıdaki gibi genelleştirmiştir [20].

$$q_{us} = \frac{\rho V_s}{100} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (34)$$

$$q_s = \left(\frac{\rho V_s^2}{V_p} \right) / 100 \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (35)$$

Değişik araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalara ait korelasyon bağıntıları Tablo 5'de sunulmuştur.

Tablo 5. Değişik araştırmacılar tarafından geliştirilen korelasyon bağıntıları

Araştırmacı İsmi	Korelasyon Bağıntısı
Kanai ve diğerleri (1966)	$V_s = 19N^{0.6}$
Ohsaki ve Iwasaki (1973)	$V_s = 81.4N^{0.39}$
Hamilton (1976)	$V_s = 128H^{0.280}$
Hamilton (1976)	$V_s = 257.9\sigma_v^{0.31}$
Imai ve Yoshimura (1975)	$V_s = 92.1N^{0.329}$
Ohda ve Goto (1978)	$V_s = 87.2N^{0.36}$
Seed ve Idriss (1981)	$V_s = 61N_1^{0.5}$
Syroka ve Stokoe (1983)	$V_s = 1.7q_c + 134$
Syroka ve Stokoe (1983)	$V_s = 109.7q_c^{0.29}$
İyisan (1994)	$V_s = 51.5N^{0.516}$
Keçeli (2000)	$q_{us} = \frac{\rho V_s}{100}$
Keçeli (2000)	$q_s = \left(\frac{\rho V_s^2}{V_p} \right) / 100$

BÖLÜM 7. GEOTEKNİK VE JEOFİZİK PARAMETRELER ARASINDAKİ İLİŞKİLERİN ARAŞTIRILMASI: ÜMRANIYE VE TUZLA – KARTAL – KADIKÖY – BEŞİKTAŞ İLÇELERİ

7.1. Giriş

Geoteknik parametreler ile jeofizik parametreler arasındaki ilişkilerin araştırılması bir çok araştırmacının ilgisini çekmiştir. Bu araştırmalar ile ilgili geniş bilgiler bir önceki bölümde sunulmuştur. Bu çalışma kapsamında da, bu parametreler arasındaki ilişkiler araştırılmak istenmiş; bu amaçla İstanbul ili, Ümraniye İlçesinde gerçekleştirilen “Ümraniye İlçesi İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Çalışması” kapsamında elde edilen geoteknik ve jeofizik veriler ile Tuzla, Kartal, Kadıköy ve Beşiktaş ilçeleri genelinde gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarından elde edilen verilerden yararlanılmıştır. Bu veriler değerlendirilerek kayma dalgası hızları ile SPT darbe sayıları, kayma dalgası hızları ile kohezyon ve kayma dalgası hızları ile nokta yük dayanımı indeksi arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Bu çalışma ile amaçlanan; bu parametreler arasındaki ilişkilerin zemin etüt çalışmalarına sağlayacağı katkıların belirlenmesidir. Çalışmalara ait değerlendirmeler aşağıda sunulmuştur.

7.2. Ümraniye Çalışmasına Ait Değerlendirmeler

Bu çalışmada, ilçe genelinde 58 noktada toplam 1109 m mekanik sondaj çalışması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca 80 profil boyunca sismik kırılma etütleri, 80 profil boyunca elektrik özdirenç etütleri ve 55 noktada mikrotremor ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu çalışmalar neticesinde ilçenin yerleşime uygunluk ve jeoloji haritaları hazırlanmıştır. Hazırlanan jeoloji haritasında Ümraniye ilçesi

genelinde dokuz (9) farklı birimin varlığı belirlenmiştir. Bu birimler güncel dolgular, genç alüvyon birimler, yamaç molozları, volkanik sokulumlar, Kartal Formasyonu, Dolayoba Formasyonu, Gözdağ Formasyonu, Aydos Formasyonu ve Kurtköy Formasyonu olarak isimlendirilmişlerdir.

Bu çalışmada ilçe genelinde gerçekleştirilen sondaj çalışmaları, laboratuvar deney sonuçları ve sismik kırılma etütleri irdelenmiştir. Toplam 51 adet sondaj çalışması dikkate alınmış; bu çalışmalarda elde edilen SPT-N değerleri ve laboratuvar deney sonuçları ile sondaj kuyuları çevresinde gerçekleştirilen sismik etütler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Öncelikle sondaj çalışmalarına ait SPT-N değerleri belirlenmiş ve bu değerlerin elde edildiği derinliklere karşılık gelen laboratuvar verileri ile sismik hızlar listelenmiştir. Çalışma 0-6 m arasında bulunan birimler için gerçekleştirilmiş olup; veri yetersizliği sebebiyle dolgu ve volkanik sokulumlar dışında jeolojik formasyon özellikleri ihmal edilmiştir. Dolgu ve volkanik sokulumlar üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar ise dikkate alınmamıştır.

Arazi verileri incelendiğinde 0-6 m arasında değişen derinlikler için SPT-N değerleri 11-46 arasında elde edilmiştir. Bu derinliklerde elde edilen sismik hızlar ise V_p hızları 384-2480 m/sn ve V_s hızları 276-1167 m/sn arasındadır. Analizlerde kullanılan SPT değerleri, laboratuvar deney sonuçları ve sismik hızlar Tablo 6'da sunulmuştur.

Tablo 6. Analizlerde kullanılan veriler (Ümraniye ilçesi)

Veri No	Derinlik (m)	WL %	WP %	IP %	qu kg/cm ²	c kg/cm ²	ϕ	SPT	Vp (m/sn)	Vs (m/sn)	Nc	N γ	Nq
SK-1	4,0	41	21	20		1,63	13	18	928	585	12	1,2	3,5
SK-6	5,0	41	21	20		1,28	19	37	1431	975	18	3,8	6,5
SK-7	3,5	48	19	29	5.7			24	485	329			
SK-8	5,5	41	31	10		1,19	11	46	2088	1167	11	0,7	2,7
SK-9	2,5	30	13	17				29	1552	691			
SK-10	2,5	31	15	16				30	640	422			
SK-11	3,5	19	11	8				28	1202	678			
SK-12	6,5	41	17	24				39	1202	678			
SK-13	3							22	473	303			
SK-14	2,5	38	15	23	2.19			35	1000	500			
SK-15	2	39	14	25				21	545	326			
SK-16	6,5	31	12	19				33	1458	819			
SK-17	2,5	35	16	19				11	384	265			
SK-18	4	39	15	24				21	729	410			
SK-19	4	33	12	21				35	1605	1050			
SK-20	2	41	15	28	2.06			17	755	432			
SK-22	4	40	18	22	4.8			28	1578	776			
SK-23	5	41	15	26		0,79	22	22	985	608	19	5	8
SK-24	3							14	474	319			
SK-25	3,5	32	14	18				28	537	378			
SK-26	4	34	13	21				26	497	334			
SK-27	3							17	817	370			
SK-28	3							20	817	370			
SK-29	2	44	22	22	6.68			16	560	321			
SK-30	2	37	16	21		1,57	24	11	423	276	22	9	11,5
SK-30	4	43	8	35	4.48			33	1259	758			
SK-31	2	43	18	25		2,3	17	21	423	276	15	2,2	4,8
SK-32	4				3.27			33	729	439			
SK-33	4	42	15	27	2.62	1,02	14	21	1705	821	13	1,6	3,9
SK-34	4	37	12	25	3.05	1,12	17	18	471	308	15	2,2	4,8
SK-36	4	32	13	19		0,61	24	26	728	508	22	9	11,5
SK-37	4	76	27	49	1.74	0,73	10	28	1725	623	10	0,6	2,5
SK-38	4	40	13	27	3.31	1,43	8	30	1725	623	9	0,5	2,1
SK-39	4	78	23	55		2,03	2	18	754	454	6	0	1,2
SK-40	4	50	16	34	2.17			16	754	454			
SK-41	4	84	25	59		0,87	25	28	2480	967	25	10	13
SK-42	4	84	24	60	4.33			24	471	308			
SK-43	3							18	471	308			
SK-44	5	45	13	32				31	632	385			
SK-45	5	44	19	25				25	498	351			
SK-46	3							27	701	418			
SK-47	3							20	953	429			
SK-48	3							28	953	429			

Tablo 6 devamı. Analizlerde kullanılan veriler (Ümraniye ilçesi)

SK-50	3							22	1611	624			
SK-51	4				1.92			31	1552	691			
SK-52	4				1.25			29	1838	762			
SK-53	4				4.14			24	508	345			
SK-54	4	54	18	36	1.32			24	508	345			
SK-55	4				2.92			25	755	432			
SK-56	3,5				1.37	0,67	1	26	755	432	5,9	0	1,1
SK-57	4	58	19	39	2.19			25	755	432			
SK-58	4				1.09	0,44	12	23	724	391	12	0,7	2,8

Alanda gerçekleştirilen çalışmalara ait verilerin tasnif edilmelerinin ardından, öncelikle SPT değerleri ile V_s kayma dalgası hızları arasında lineer olmayan regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Regresyon analizleri “Curve Expert 1.3” bilgisayar programından yararlanılarak gerçekleştirilmiş olup; datalardan geçecek en uygun eğriler ve bunlara ait bağıntılar ile korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda

$$V_s = 14.753N^{1.099} \quad (\text{m/sn}) \quad (36)$$

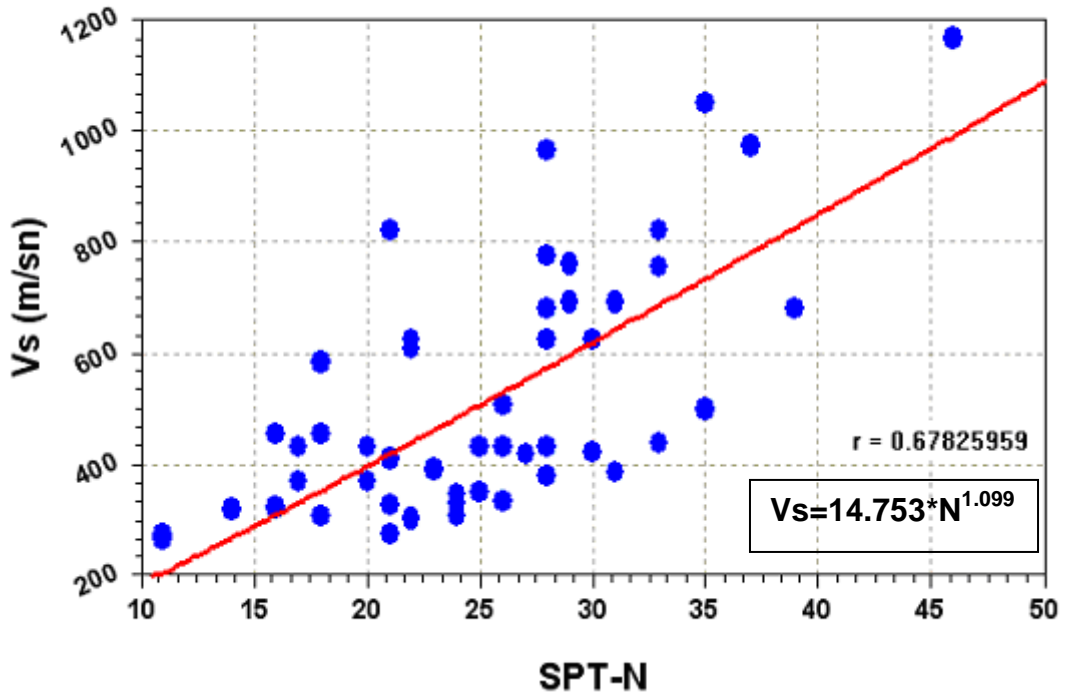
bağıntısı elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye ait grafik Şekil 5’te sunulmuştur. Elde edilen r değerine göre SPT-N ve V_s değerleri arasında aynı yönde ve “orta” düzeyde bir etkileşim söz konusudur.

Benzer şekilde 13 adet laboratuvar verisi dikkate alınarak, birimlerin kohezyonları (c) ve kayma dalgası hızları arasındaki ilişkiler regresyon analizleri ile araştırılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda

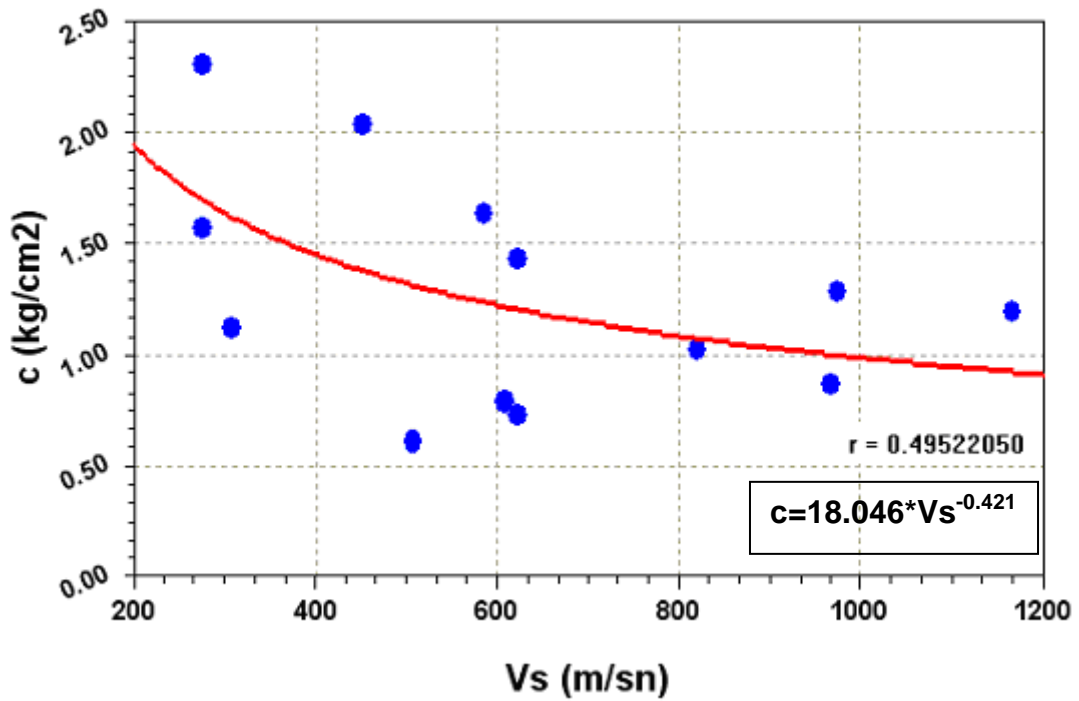
$$c = 18.046V_s^{-0.421} \quad (\text{kg/cm}^2) \quad (37)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye ait grafik Şekil 6’da sunulmuştur. Veri sayısının oldukça yetersiz olması sebebiyle 0.495 olarak elde edilen “ r ” değeri, iki parametre arasında aynı yönde fakat “düşük” düzeyde bir etkileşim olduğunu göstermektedir.

Veri sayılarının yeterli miktarlara ulaşması durumunda, geoteknik ve jeofizik parametreler arasındaki ilişkilerin daha sağlıklı olarak geliştirilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 5. SPT-N sayıları ile kayma dalgası hızları (V_s) korelasyonu (Ümraniye ilçesi verileri)



Şekil 6. Kohezyon (c) değerleri ile kayma dalgası hızları (V_s) korelasyonu (Ümraniye ilçesi verileri)

7.3. Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş İlçeleri Genelinde Gerçekleştirilen Zemin Etüt Çalışmalarına Ait Değerlendirmeler

Bu çalışmada 32 adet zemin etüt raporu dikkate alınmıştır. Çalışmada nokta yük dayanımı indeksi (I_{s50}) ile kayma dalgası hızları (V_s) arasındaki ilişki araştırılmak istendiğinden; genel olarak benzer karakterli, Kartal ve Trakya Formasyonlarının gözlemlendiği alanlar için gerçekleştirilen çalışmalar değerlendirilmiştir. Kartal ve Trakya Formasyonları kalsitürbidit ve türbidit ara tabakalı şeyl ve grovak ardalanmalarından oluşmaktadır.

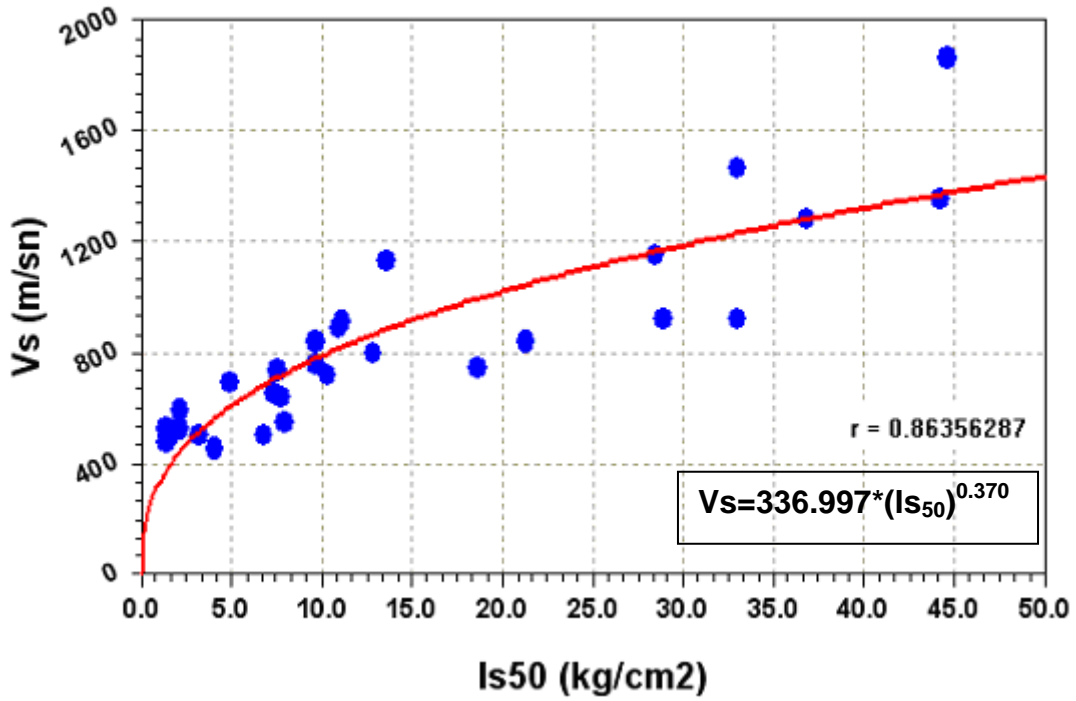
Öncelikle 32 farklı alanda yapılan mekanik sondaj çalışmalarından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen nokta yükleme testleri ile bu değerlere karşılık gelen ve 32 profil için gerçekleştirilen kayma dalgası hızları tasnif edilmiştir. Kayma dalgası hızları ile nokta yük dayanım indeksi arasında lineer olmayan regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan tüm veriler Tablo 7’de sunulmuştur. “Curve Expert 1.3” bilgisayar programı yardımıyla gerçekleştirilen regresyon analizleri ile korelasyon katsayıları belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler neticesinde

$$V_s = 336.997(I_{s50})^{0.370} \quad (\text{m/sn}) \quad (38)$$

bağıntısı elde edilmiştir. Bu değerlendirmeye ait grafik Şekil 7’de sunulmuştur. 32 adet laboratuvar ve 32 adet sismik veri ile edilen “r” değeri, iki parametre arasında aynı yönde ve “kuvvetli” düzeyde bir etkileşim olduğunu göstermektedir.

Tablo 7. Analizlerde kullanılan veriler (Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş verileri)

Sıra No	Kayma Dalgası Hızı (Vs-m/sn)	Nokta Yük dayanım İndisi (I_{s50} -kg/cm ²)
1	530	2,16
2	490	1,59
3	530	1,46
4	500	3,22
5	500	6,85
6	548	8
7	911	11,2
8	889	10,9
9	800	12,8
10	457	4,1
11	716	10,3
12	763	9,7
13	640	7,8
14	658	7,3
15	1860	44,7
16	763	9,7
17	1464	33
18	1278	36,8
19	1356	44,2
20	920	28,9
21	1130	13,6
22	1150	28,5
23	840	21,3
24	911	11,2
25	889	10,9
26	742	18,7
27	920	33,022
28	733	7,518
29	587	2,177
30	842	9,643
31	693	4,869
32	474	1,383



Şekil 7. Kayma dalgası hızları (V_s) ile nokta yük dayanım indeksi (I_{s50}) korelasyonu (Tuzla-Kartal-Kadıköy-Beşiktaş verileri)

Tablo 8. Arazi çalışmaları neticesinde geliştirilen korelasyon bağıntıları

Kocaman (2008)	$V_s = 14.753N^{1.099}$
Kocaman (2008)	$c = 18.046V_s^{-0.421}$
Kocaman (2008)	$V_s = 336.997(I_{s50})^{0.370}$



Şekil 8. Çalışma alanlarının (Ümraniye, Tuzla, Kartal, Kadıköy, Beşiktaş) İstanbul ilindeki konumları

BÖLÜM 8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, ülkemizde gerçekleştirilen zemin etüt çalışmaları üzerine araştırmalar yapmak, bu çalışmalarda gözlenen eksiklikleri ortaya çıkarmak ve daha sağlıklı sonuçlar elde edebilmek için dikkat edilmesi gereken hususları irdelemektir. Bu amaç doğrultusunda, zemin etüt çalışmaları ile uğraşan firmalar ile görüşmeler gerçekleştirilmiş ve karşılıklı görüş alış-verişinde bulunulmuştur. Ayrıca İstanbul Valiliği Bayındırlık İl Müdürlüğü ile İstanbul'da bulunan bazı ilçe belediyeleri ziyaret edilerek; denetim konusunda görevli teknik personel ile görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Bu görüşmelerde konunun hassasiyeti üzerinde durulmuş; hazırlanan zemin etüt raporlarındaki eksiklik ve yetersizlikler ile bu konuda yapılabilecekler irdelenmiştir.

Zemin etüt çalışmaları ile ilgili en büyük sıkıntının, arazi ve laboratuvar çalışmaları esnasında denetim mekanizması bulunmaması ya da kısıtlı imkanlar ile denetim gerçekleştirilebilmesi olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yapılan çalışmalarda kontrol mekanizmasının olmaması yada yeterli kontrol imkanının bulunmaması sebebiyle birçok çalışma yetersiz ya da düşük kaliteli olmaktadır.

Bu konudaki diğer bir sıkıntı ise özellikle İstanbul başta olmak üzere büyük kentlerde arazide çalışma imkanlarının kısıtlı olmasıdır. Örneğin bir çok parselde sondaj çalışmasına imkan bulunmaması sebebiyle, bu çalışmaların gerçekleştirilemediği yada benzer sebeplerle sismik çalışmaların yapılamadığı görülmüştür. Bu gibi durumlar için; geoteknik parametreler ile jeofizik veriler arasında kurulacak ilişkilere ışık tutması amacıyla arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İstanbul Ümraniye ilçesi ile Tuzla, Kartal, Kadıköy ve Beşiktaş'ta gerçekleştirilen zemin etüt çalışmalarında elde edilen veriler üzerinde regresyon analizleri ile geoteknik ve jeofizik parametreler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Gerçekleştirilen regresyon analizlerinde, kayma dalgası hızı V_s ile

SPT-N değerleri ve nokta yük dayanımı indeksi (I_{s50}) arasındaki ilişkiler incelenmiş ve bu parametreler arasında orta ve yüksek derecede ilişki olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde kayma dalgası hızı (V_s) ile kohezyon (c) arasındaki ilişkiler araştırılmış ve arazi örneklerine ait değerlendirmeler Bölüm 7’de ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Daha fazla veri kullanılarak geliştirilebilecek bu teknik ile özellikle kısıtlı çalışma imkanları bulunan araziler için; çalışmayı yapan mühendisin farklı parametreler arasındaki ilişkileri irdeleyebilmesine yönelik fikir edinmesi sağlanabileceği düşünülmektedir. Ancak unutulmamalıdır ki; bu değerler arazide yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler ampirik bir yaklaşımı ifade eder. Dolayısıyla doğru olan, çalışılan arazide ölçümler yaparak zemin parametrelerinin yerinde elde edilmesidir.

Birçok zemin etüt çalışması incelendiğinde, bu çalışmaların arazi yada laboratuvar deney çalışmaları gerçekleştirilmeden yapıldığı görülmektedir. Ayrıca ekonomik olması amacıyla sondaj çalışmasının birçok çalışmada yapılmaması, çalışma derinliğinin yetersiz olması yada daha ucuz tekniklerin tercih edilmesi de bu çalışmalardaki yetersizliklerin bir diğer sebebidir.

Ayrıca arazi ve laboratuvarda gerçekleştirilen çalışmaların yeterli bilgi ve deneyime sahip olmayan personelce gerçekleştirilmesi diğer bir husustur. Bu sebeple rneğin SPT testleri sondaj çalışmalarının bir çoğunda standartlara uygun olarak yapılamamaktadır. rnek alma konusundaki deneyim eksikliği sebebiyle de alınan örnekler rselenmelere maruz kalmakta; bu durumda zemin parametrelerini doğrudan etkilemektedir. Ayrıca arazide örselenmemiş numune alımı gerçekleştirilemediği bir durumda dahi, maddi çıkarlar sebebiyle bu numuneler üzerine deney çalışmaları gerçekleştirilebilmektedir. Gerek mühendis, gerek sondör ya da tekniker seviyesinde konuya hakim tecrübeli elemanların çalıştırılması sağlanmalıdır. Etütleri yürütecek mühendisin sondaj yapma, numune alma, çeşitli arazi deneylerini yapma ya da yaptırma, laboratuvar programını takip etme ve denetleme konularında tecrübesi gerekmektedir.

Ayrıca incelenen zemin etüt raporlarında özellikle ince daneli zeminlerde SPT testlerine bağlı olarak taşıma gücü hesaplamaları yapıldığı görülmektedir. Unutulmamalıdır ki, arazi deneylerine bağlı hesaplamalar, örselenmemiş numune alımının zor yada imkansız olduğu iri daneli zeminler için geliştirilmiştir. Bu sebeple geoteknik etüt raporunu hazırlayan mühendis, doğru teknikleri ve hesaplamaları kullanabilecek bilgi birikimi ve tecrübeye sahip olmalıdır.

Birçok mühendisin arazi çalışmalarına katılmayıp, araziye büroya getirilen sondaj loglarına ve zemin numunelerine göre değerlendirildiği görülmektedir. Zemin etüt çalışmasından sorumlu mühendislerin arazi çalışmaları esnasında çalışmaları yerinde kontrol etmemesi de yine bu çalışmalarda eksiklikler ve hatalara sebep olmaktadır.

Sonuç olarak; birçok konuda olduğu gibi zemin incelemelerin de çok disiplinli bir mühendislik konusu olduğu unutulmamalıdır. Zemin etüt çalışmaları kapsamında, etüt programının hazırlanması, çalışmanın planlanması ve yönlendirilmesi, arazi çalışmaları ve laboratuvar deneylerinin gerçekleştirilmeleri geoteknik mühendisi ile ilgili mühendislik dallarına mensup uzman mühendislerle birlikte yapılmalıdır. Zemin etüt çalışmalarının yapılmaması yada eksik, hatalı yapılmasının büyük can ve ekonomik kayıplara sebep olabileceği unutulmamalıdır. “Deprem ülkesi” olarak isimlendirilen ve bugüne kadar birçok büyük depremin gerçekleştiği ülkemizde; konunun hassasiyeti sebebiyle yapılan çalışmalarda “kalite” artışı sağlanması amacıyla gerekli tedbirler alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] SİVRİKAYA,O.,2003. Standart Penetrasyon Deneyi İle Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi ve Türkiye’deki Uygulaması, *Doktora Tezi*.
- [2] <http://img231.imageshack.us/img231/2151/resim7bv0.jpg>
- [3] İSTANBUL BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ PLANLAMA VE İMAR DAİRESİ ZEMİN VE DEPREM İNCELEME MÜDÜRLÜĞÜ, 2003. İstanbul Deprem Master Planı
- [4] JAPONYA ULUSLAR ARASI İŞBİRLİĞİ AJANSI (JICA), 2004. Türkiye’de Doğal Afetler Konulu Ülke Strateji Raporu
- [5] YILDIRIM, S.,2004. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı
- [6] ERGUN, U., ÖZKAN, Y., ÖNALP, A., KEÇELİ, A.,2005. Parsel Bazında Zemin – Temel Etüdüleri Ve Zemin İyileştirme Yöntemleri Hakkında Yönetmelik Taslağı Ön Raporu
- [7] STOKOE, K. H., AND WOODS, R. D. (1972). Insitu Shear Wave Velocity by Cross-Hole Method, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Divison, ASCE, Vol. 98, No. SM5, pp. 443-460.*
- [8] ULUSAY, R.,2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler.
- [9] YAZICI,F.,2004. Zeminlerde Kayma Dalgası Hızı İle Penetrasyon Deney Sonuçları Arasındaki Bağlılıkların İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*
- [10] DURGUNOĞLU,T., KARADAYILAR,T., BRAY,J.D., SANCIO,R.B., HACIALIOĞLU,E.,2000. Sismik Statik Penetrasyon Deneyi (SCPT) İle Geoteknik-Geodinamik Zemin Profili, *Zemin Mekanigi ve Temel Mühendisligi Sekizinci Ulusal Kongresi İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul*
- [11] ŞEKERCİOĞLU,E.,2002. Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi
- [12] ÇİNİCİOĞLU, F.S.,2005. Zeminlerde Statik ve Dinamik Yükler Altında Taşıma Gücü Anlayışı ve Hesabı, *Seminer İMO İstanbul*

- [13] TÜRKER, E.,2002. Zemin Araştırmaları Kurs Notları, *TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Ankara*
- [14] T.C BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkındaki Yönetmelik
- [15] YILMAZ, İ.,2006. Verilerin Çözümlemesi-İlişki-Korelasyon, *Yüksek Lisans Tezi*
- [16] HAMILTON, E.,1976. Shear Wave Velocity Versus Depth in Marina Sedimenter A Rewiew, *Geophysics Vol.41,No 5 985-996*
- [17] OHTA, Y.,GOTO, N.,1978. Empirical Shear Wave Velocity Equations in Terms of Characteristic Soil Indexes, *Earth Eng. And Struc. Dynamics, Vo.6,167-187*
- [18] SEED, H.B., IDRİSS, I.M., 1981. Evaluation of Liquefaction Potential of Sands Depoits Bread on Obearvailons of Performance in Previous Earthquake, *Proc. of the Conf. On in Sigth Testing to Evaluate Liquefaction Sneeptibility, ASCE, St.Loud, MO.*
- [19] İYİSAN, R.,1994. Geoteknik Özelliklerin Belirlenmesinde Sismik ve Penetrasyon Deneylelerinin Karşılaştırılması, *Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*
- [20] KEÇELİ, A., 2000, Sismik Yöntemle Kabul Edilebilir veya Güvenli Taşıma Kapasitesi Saptanması, *Jeofizik Cilt 14, Sayı 1-2/Mart-Eylül 2000*

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Kocaman, 18.08.1976 tarihinde İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul'da tamamladı. 1995 yılında başladığı İstanbul Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği bölümünden 1999 yılında mezun oldu. Ekşioğlu Mim. Müh. İnş. Tic. Ltd. Şti.'nde mühendis olarak çalıştıktan sonra 2003 yılında İstanbul'da kendi şirketini kurarak mühendislik hayatına devam etti. 2004 yılında Sakarya Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Geoteknik Bölümü Yüksek Lisans Programına girdi. Halen Metmar Mühendislik ve Madencilik'te çalışma hayatını devam ettirmektedir.