



**ENSTRÜMANLI VE KLASİK KAZIK YÜKLEME DENEY
SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU
PROJESİ ÖRNEĞİ**

Cevat KANDEMİR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2019

Cevat KANDEMİR tarafından hazırlanan “ENSTRÜMANLI VE KLASİK KAZIK YÜKLEME DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Doç. Dr. Nejan Huvaj SARIHAN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 26/07/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Cevat KANDEMİR

26/07/2019

ENSTRÜMANLI VE KLASİK KAZIK YÜKLEME DENEY SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI: ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ ÖRNEĞİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Cevat KANDEMİR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2019

ÖZET

Bu çalışmada üç adet kayaya soketli fore kazık üzerinde uygulanan yükleme deneyine ait veriler kullanılarak enstrümanlı ve klasik testler sundukları sonuçlar açısından karşılaştırılmış ve kazık yük taşıma mekanizması incelenmiştir. Her üç deneyde de kazıklar tasarım yükleri altında düşük deformasyonlar (0,4-3,1 mm arasında) göstermiştir. Bu sebeple kazık nihai taşıma güçleri on bir farklı grafiksel yöntem ile belirlenmeye çalışılmış fakat yöntemler güvenilir veya tutarlı bir sonuca ulaşılmasını sağlayamamıştır. Tasarımda dayanımın sadece soket sürtünme direnci kaynaklı olacağı kabulü yapılmış, söz konusu değer oldukça güvenli tarafta kalacak şekilde, literatürde önerilen değerlerin 2,1 ile 4,8’de biri arasında kalacak oranda seçilmiştir. Klasik yükleme deneylerinin sunduklarına ek olarak, enstrümanlı deney ile derinlik boyunca yük dağılımı ve zemin katmanlarının sürtünme dirençleri, kazık uç direnci ile kazığın elastisite modülü ve yüklemedeki mevcut eksantrisite elde edilmiştir. Söz konusu veriler kazığın yük taşıma mekanizması hakkında önemli bilgiler sunmuştur. 51 ton/m² olarak güvenli seçildiği düşünülen soket birim sürtünme direnci 20,95 ton/m² mertebesinde belirlenmiş olup, söz konusu değer literatürde kaya tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak belirlenenlere kıyasla son derece düşüktür. Ayrıca tasarım kabulünün aksine, maksimum deney yükü altında yükün sadece %37’si soket sürtünme direnci ile taşınmakta olup, zemin sürtünme ve kazık uç dayanımları oldukça önemli katkı sunmaktadır. Enstrümanlı kazık yükleme deneyi, yük-deplasman ilişkisi açısından başarılı olduğu düşünülen bir tasarımın kabullerinin büyük oranda yanlış olduğunu göstermiştir.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Enstrümanlı yükleme deneyi, kayaya soketli kazık, birim sürtünme direnci, nihai taşıma kapasitesi

Sayfa Adedi : 173

Danışman : Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

A COMPARISON OF INSTRUMENTAL AND CLASSICAL PILE LOAD RESULTS:
EXAMPLE FROM ANKARA-SİVAS RAILWAY PROJECT

(M. Sc. Thesis)

Cevat KANDEMİR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2019

ABSTRACT

Instrumented and classical pile load tests were compared using the results obtained from three rock-socketed drilled shafts, and the pile load carrying mechanism was examined. All tests resulted in small deformations (0.4-3.1 mm) under the design loads. Thus, the ultimate capacities were tried to be estimated using eleven different graphical methods. These methods were unable to provide reliable or consistent results. The socket friction resistance, on which the design was solely based, has been selected as a quiet conservative value, which is between 2.1 and 4.8 times lower than those recommended in the literature. In addition to data provided by classical pile load tests, the load distribution along the pile, the unit friction resistances of the soil strata, the end resistance, the modulus of elasticity of the pile and the eccentricity of the loading could be obtained with the instrumented test. These data provided important information about the load-carrying mechanism of the rock-socketed drilled shaft. The conservatively predicted socket friction resistance of 51 tons/m² was indeed realized to be 20.95 tons/m², which is significantly lower than those in the literature that are determined as a function of the rock uniaxial compressive strength. Furthermore, contrary to the design assumptions, only 37% of the load was carried with socket friction resistance under the maximum test load, and both the soil friction and pile end resistance made a significant contribution to the capacity. The instrumented pile load test demonstrated the invalidity of assumptions in a design, which was considered to be successful otherwise.

Science Code : 91105

Key Words : Instrumental load test, rock-socketed pile, unit friction resistance, ultimate bearing capacity

Page Number : 173

Supervisor : Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ

TEŞEKKÜR

Çalışmamda desteğini esirgemeyen ve sabırla yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Sami Oğuzhan AKBAŞ'a,

Onlara ayırmam gereken zamanı kısıtlamama göz yuman ve her zaman beni destekleyen sevgili eşim Aysel'e ve kızlarımız İpek ile Ebru'ya,

Üzerimde sonsuz emekleri olan, başarılı olabilmemiz için beni ve kardeşlerimi sürekli teşvik eden annem Şükran'a ve babam Cevat'a,

Bir parçası olmaktan gurur duyduğum TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü'nün manevi kişiliğine ve kurum için özveriyle çalışan personellerine,

Saha deneylerinin yapımında katkı sağlayan Doğuş İnşaat ve Ticaret Anonim Şirketi yetkililerine teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
RESİMLERİN LİSTESİ	xv
HARİTALARIN LİSTESİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYAYA SOKETLİ KAZIKLAR.....	5
2.1. Kayaya Soketli Kazıklarda Sürtünme Direnci	7
2.2. Kazık Yükleme Deneyleri	13
2.3. Deney Sonuçlarının Yorumlanmasıyla Nihai Taşıma Gücünün Elde Edilmesi .	16
2.3.1. Van der Veen (1953) yöntemi.....	17
2.3.2. Brinch Hansen %80 (1963) yöntemi.....	18
2.3.3. Brinch Hansen %90 (1963) yöntemi.....	19
2.3.4. De Beer (1967) yöntemi.....	20
2.3.5. Chin-Kondner (1970) yöntemi	21
2.3.6. Davisson (1972) yöntemi	22
2.3.7. Mazurkiewicz (1972) yöntemi	24
2.3.8. Butler-Hoy (1976) yöntemi.....	25
2.3.9. Decourt (1999) yöntemi	26

	Sayfa
2.3.10. Paikowsky-Tolosko (1999) yöntemi	27
2.3.11. Hirany-Kulhawy (2002) yöntemi	28
3. PROJENİN TANITIMI VE KAZIK TASARIMI	31
3.1. Proje Hakkında Genel Bilgiler	31
3.2. Deney Kazıkları	36
3.2.1. Jeolojik-geoteknik özellikler	36
3.2.2. Kazık tasarımı	43
3.3. Tasarım Birim Sürtünme Dirençlerinin Literatürle Karşılaştırılması	48
4. YÜKLEME DENEYLERİ	51
4.1. Proje Hakkında Genel Bilgiler	51
4.2. Yükleme Deneylerinin Yapılışı	52
4.3. Yükleme Deneylerinin Sonuçları	53
4.4. Deney Sonuçlarından Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi	60
4.4.1. Elde edilen nihai taşıma güçlerinin değerlendirilmesi	62
5. ESTRÜMANTASYON VE KAZIK TAŞIMA MEKANİZMASININ İNCELENMESİ	71
5.1. Tanımlar ve Enstrümantasyon Verilerinin Değerlendirilmesi	77
5.2. Deney Kazığının Enstrümantasyonu	79
5.3. Enstrümanlı Yükleme Deneyinin Sonuçları ve Hesaplamalar	81
5.3.1. Kazığın elastisite modülünün belirlenmesi	89
5.3.2. Eksantrisitenin yorumlanması	92
5.3.3. Sürtünme direnci ve uç direncinin hesaplanması	101
5.3.4. Kazık yük taşıma mekanizmasının değerlendirilmesi	111
5.4. Klasik Deney ile Enstrümanlı Deneyin Karşılaştırılması	122

Sayfa

6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	125
KAYNAKLAR	129
EKLER.....	134
EK-1. Sondaj logları	135
EK-2. Karot fotoğrafları.....	143
EK-3. Van der Veen yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	152
EK-4. Brinch Hansen %80 yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	154
EK-5. De Beer yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	156
EK-6. Chin-Kondner yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	158
EK-7. Davisson yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi.....	160
EK-8. Mazurkiewicz yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi.....	162
EK-9. Butler-Hoy yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	164
EK-10. Decourt yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi.....	166
EK-11. Paikowsky-Tolosko yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi	168
ÖZGEÇMİŞ	171
DİZİN.....	172

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kulhawy ve diğerleri (2005) tarafından incelenen yöntemler	9
Çizelge 3.1. Viyadük bilgileri.....	31
Çizelge 3.2. SPT verileri	38
Çizelge 3.3. PMT verileri.....	38
Çizelge 3.4. V9-P6 temeli laboratuvar deney verileri	39
Çizelge 3.5. V15-P5 temeli laboratuvar deney verileri	39
Çizelge 3.6. V10-P12 temeli laboratuvar deney verileri.....	40
Çizelge 3.7. α_e değerleri	45
Çizelge 3.8. Deney kazıklarının soket bölümü sürtünme dirençleri	46
Çizelge 3.9. Deney kazıkları ve soketlendikleri kaya birimleri	47
Çizelge 3.10. Minimum q_u ile hesaplanan soket bölümü sürtünme dirençleri	48
Çizelge 3.11. Tasarımdaki birim sürtünme dirençleri	48
Çizelge 3.12. V9-P6 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması	49
Çizelge 3.13. V10-P12 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması	49
Çizelge 3.14. V15-P5 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması	50
Çizelge 4.1. Yükleme deneyinde elde edilen düşey deplasman değerleri.....	54
Çizelge 4.2. Yük kademelerine denk gelen deplasman/çap oranları	60
Çizelge 4.3. İdealize edilmiş düşey deplasman değerleri	61
Çizelge 4.4. Nihai taşıma gücü belirleme yöntemleri özet bilgileri	63
Çizelge 4.5. Elde edilen nihai taşıma güçleri	64
Çizelge 4.6. Nihai taşıma gücü değerlerinin istatistiksel dağılım ölçüleri	68
Çizelge 4.7. Hesaplanan taşıma kapasiteleri	69
Çizelge 5.1. Ara değerler ve ana değerlerin hesaplanması	79

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. Yük kademelerinde okunan ham değerler.....	82
Çizelge 5.3. Hesaplanan ara değerler.....	85
Çizelge 5.4. Hesaplanan ana değerler.....	88
Çizelge 5.5. Referans BDÖ seviyesinde eksenel gerilme ve birim deformasyonlar	90
Çizelge 5.6. a ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler	93
Çizelge 5.7. b ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler.....	93
Çizelge 5.8. c ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler	94
Çizelge 5.9. 667,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	103
Çizelge 5.10. 890,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	104
Çizelge 5.11. 1112,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	105
Çizelge 5.12. 1335,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	105
Çizelge 5.13. 1557,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	106
Çizelge 5.14. 1600,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler	107
Çizelge 5.15. Hesaplanan sürtünme ve uç dayanımları.....	108
Çizelge 5.16. Hesaplanan birim sürtünme dirençleri	109
Çizelge 5.17. Soket ve zemin bölümü sürtünme dayanımları	111
Çizelge 5.18. Uç ve sürtünme dayanımlarının uygulanan yüke oranı	113
Çizelge 5.19. Killerde kıvam, N_{60} ve q_u ilişkisi.....	115
Çizelge 5.20. PMT verileri.....	119
Çizelge 5.21. Maksimum birim sürtünme dirençleri.....	121

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kayaya soketli kazıklar.....	6
Şekil 2.2. Elastik modül oranı ve soket boyuna bağlı olarak sürtünme direncinin dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Nihai birim sürtünme direncinin değişimi a) Elastisite modülüne bağlı değişim b) Kaya kütle indeksine bağlı değişim.....	12
Şekil 2.4. Dinamik kazık yükleme deneyinde tipik düzenek.....	13
Şekil 2.5. Hidrolik krikolar kullanılarak reaksiyon kazıklarından alınan etki ile kazığın yüklenmesi.....	15
Şekil 2.6. Kazık yükleme deneyi yük-deplasman grafiği	17
Şekil 2.7. Van der Veen yöntemi ile nihai taşıma gücünün elde edilmesi.....	18
Şekil 2.8. Brinch Hansen %80 yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi.....	19
Şekil 2.9. Brinch Hansen %90 yöntemi ile taşıma gücünün belirlenmesi	20
Şekil 2.10. De Beer yöntemi ile nihai taşıma gücünün elde edilmesi.....	21
Şekil 2.11. Chin-Kondner yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi	22
Şekil 2.12. Davisson yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi	23
Şekil 2.13. Mazurkiewicz yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi	25
Şekil 2.14. Butler-Hoy yöntemine göre taşıma gücünün belirlenmesi	26
Şekil 2.15. Decourt yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi	27
Şekil 2.16. Paikowsky-Tolosko yönteminde tipik (Δ/Q)- Δ grafiği	28
Şekil 2.17. Hirany-Kulhawy yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi	29
Şekil 3.1. Tabliye kesiti	33
Şekil 3.2. Hareketli kalıp sisteminde ardgerme uygulaması a) Yüke maruz kalmamış sistem b) Yükleme uygulanması c) Sınır düzeyi aşan sehimin algılanması d) Ardgerme yapılması e) Aşırı sehimin bertaraf edilmesi	35
Şekil 3.3. Kazık profilleri.....	37

Şekil	Sayfa
Şekil 3.4. V9 viyadüğü P6 temel bölgesinin jeolojik profili.....	41
Şekil 3.5. V10 viyadüğü P12 temel bölgesinin jeolojik profili.....	42
Şekil 3.6. V15 viyadüğü P5 temel bölgesinin jeolojik profili.....	43
Şekil 3.7. Basınç yükü altındaki kayaya soketli fore kazıklarda uç direnci ve soket direncinin değişimi	44
Şekil 4.1. V9-P6 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 35 m).....	55
Şekil 4.2. V10-P12 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 31 m).....	55
Şekil 4.3. V15-P5 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 13 m).....	55
Şekil 4.4. Kazıklarda genel yük-deplasman davranışı	56
Şekil 4.5. V10-P12 kazığı yük-deplasman grafiğine çizilen teğetler.....	59
Şekil 4.6. V9-P6 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği	61
Şekil 4.7. V10-P12 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği	62
Şekil 4.8. V15-P5 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği	62
Şekil 4.9. Yöntemlere göre belirlenen nihai taşıma güçlerinin karşılaştırılması	67
Şekil 5.1. Enstrümantasyonla yük aktarımının ve çevre direncinin belirlenmesi.....	71
Şekil 5.2. Enstrümantasyonla kazık boyunca yük değişiminin belirlenmesi.....	72
Şekil 5.3. BDÖ'lerin yerleştirildiği derinlikler	80
Şekil 5.4. Referans BDÖ'lerin seviyesinde σ - $\mu\epsilon$ grafiği	90
Şekil 5.5. V10-P12 kazığının kesiti	91
Şekil 5.6. 222,50 ton yük altında eksantrisite	94
Şekil 5.7. 445,00 ton yük altında eksantrisite	95
Şekil 5.8. 667,50 ton yük altında eksantrisite	95
Şekil 5.9. 890,00 ton yük altında eksantrisite	96
Şekil 5.10. 1112,50 ton yük altında eksantrisite	96
Şekil 5.11. 1335,00 ton yük altında eksantrisite	97

Şekil	Sayfa
Şekil 5.12. 1557,50 ton yük altında eksantrisite	97
Şekil 5.13. 1600,00 ton yük altında eksantrisite	98
Şekil 5.14. Eksantrisite olmaması durumunda oluşması beklenen grafik	99
Şekil 5.15. 667,50 ton ve 890,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri.....	104
Şekil 5.16. 1112,50 ton ve 1335,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri....	106
Şekil 5.17. 1557,50 ton ve 1600,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri....	107
Şekil 5.18. Derinlik boyunca hesaplanan yük miktarları	108
Şekil 5.19. Kazık bölümlerinin birim sürtünme dirençleri	109
Şekil 5.20. Deneyde belirlenen ve tasarımda kullanılan birim sürtünme dirençleri.....	111
Şekil 5.21. 667,50; 890,00 ve 1112,50 ton yük altında sürtünme ve uç dayanımları.....	112
Şekil 5.22. 1335,50; 1557,50 ve 1112,50 ton yük altında sürtünme ve uç dayanımları.	113
Şekil 5.23. Yük taşıma oranları grafiği.....	114
Şekil 5.24. V10-P12 kazığı idealize zemin profili	116
Şekil 5.25. Nihai birim sürtünme direnci değerleri.....	119
Şekil 5.26. Eksenel yüklü kazıklar için nihai birim sürtünme direnci	120

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Viyadüklerde hareketli kalıp sistemi ile tabliye inşası	33
Resim 3.2. İlk aşamada donatıların ve kılıf borularının montajı	34
Resim 3.3. İlk aşaması tamamlanmış bir tabliye	34
Resim 4.1. Delgi makinesi ile kuyu açılması	51
Resim 4.2. Kazık donatısının kuyuya indirilmesi.....	51
Resim 4.3. Kazık kuyusunun betonlanması	52
Resim 4.4. Betonarme kazık başlığı donatıları.....	53
Resim 4.5. Kazık yükleme deneyi düzeneği	53
Resim 5.1. BDÖ kablolarının donatı kafesine sabitlenmesi	73
Resim 5.2. Kazık donatısına monte edilmiş BDÖ.....	73
Resim 5.3. Aynı seviyede monte edilmiş üç adet BDÖ	73
Resim 5.4. BDÖ montajı yapılan donatı kafesinin kuyuya indirilmesi.....	74
Resim 5.5. BDÖ kabloları ile okuma ünitesi irtibatının yapılması	74
Resim 5.6. Roctest MB-3T okuma ünitesi.....	75
Resim 5.7. Roctest SM-2W titreşen telli BDÖ	75
Resim 5.8. Roctest MB-3T taşınabilir okuma ünitesi teknik özellikleri	76
Resim 5.9. Roctest SM-2W BDÖ teknik özellikleri	76

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Yer gösterim haritası	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
MPa	Mega paskal
MN/m²	Mega newton/metrekare
kN/m²	Kilo newton/metrekare
kN	Kilo newton
psi	Libre/inç kare
f	Soket yüzeyi sürtünme direnci
P_a	Atmosferik basınç
C	Katsayı
n	Üs
D, B	Kazık çapı
q_u	Kayanın tek eksenli basınç dayanımı
atm	Atmosfer (Basınç birimi)
f_c	Betonun tek eksenli basınç dayanımı
f_{max}	Soket yüzeyi maksimum birim sürtünme direnci
f_s	Birim sürtünme direnci
E, E_M	Elastisite modülü
E_c	Betonun elastisite modülü
E_y	Donatının elastisite modülü
E_d	Kayanın elastisite modülü
RMR	Kaya kütle indeksi
mm	Milimetre
f_{Szemin}	Zemin içindeki kazığın birim sürtünme direnci
f_{Skaya}	Kaya içindeki kazığın birim sürtünme direnci
P, Q	Kazığa uygulanan yük
Q_p	Kazık uç dayanımı
Q_s	Kazığın sürtünme dayanımı
Q_{sk}	Soket bölümü sürtünme dayanımı

Simgeler**Açıklamalar**

Q_{sz}	Kazığın zemin içindeki sürtünme dayanımı
Q_u	Kazık uç direnci
Q_{ult}	Kazık nihai taşıma gücü
Δ, δ	Oturma
ν	Poisson oranı
L	Kazık boyu
L_s	Soket boyu
L_z	Zemin bölümündeki kazık uzunluğu
α, C_1	Doğrunun eğimi
β, C_2	Doğrunun y eksenini kestiği değer
δ_e	Kazık boyundaki elastik kısalma
δ_p	Kazık ucundaki zeminin plastik sıkışması
δ_s	Kazık ucundaki zeminin elastik sıkışması
A	Kazık kesitinin alanı
A_c	Betonun kesit alanı
A_y	Donatının kesit alanı
I_s	Nokta yükü dayanım indeksi
P_L	Limit basınç
LL	Likit limit
PL	Plastik limit
PI	Plastisite indisi
c	Kohezyon
Φ	İçsel sürtünme açısı
UU	Konsolidasyonsuz drenajsız üç eksenli basınç dayanımı
α_e	Kaya eklem durumuna göre azaltma faktörü
RQD	Kaya kalite göstergesi
$\mu\epsilon$	Micro strain
σ	Eksenel gerilme
ϵ	Birim deformasyon
P_K	Kazık çevresi
S_u	Drenajsız kayma dayanımı
α	Adezyon faktörü

Simgeler**q_p****Açıklamalar**

Birim uç direnci

Kısaltmalar**AASHTO****ASTM****BDÖ****CPT****FHWA****LRFD****OAS****PMT****SPT****TS****TS EN****USCS****Açıklamalar**

Amerika devlet karayolları ve ulaştırma ofisleri birliği

Amerika test ve malzeme kurumu

Birim deformasyon ölçer

Konik penetrasyon testi

Amerika federal karayolu idaresi

Yük ve dayanım faktörü dizaynı

Organik ardgerme sistemi

Presiyometre testi

Standart penetrasyon testi

Türk Standardı

Türk standardı olarak onanmış Avrupa normu

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi

1. GİRİŞ

Köprü ve viyadük gibi ulaştırma yapıları söz konusu olduğunda derin temel yapma gereksinimi çoğu zaman kaçınılmaz olmaktadır. Derin temel yapımında ülkemizde genellikle yerinde dökme betonarme kazıklar (fore kazık) tercih edilmektedir. Kazıklar ayrıca dik derin kazılarda kazı şevlerinin desteklenmesi, heyelan bölgelerinde potansiyel heyelan kütlelerinin tutulması veya zemin iyileştirme yapılması amacıyla da imal edilmektedir.

Kazıkların tasarımında kabul görmüş pek çok hesap yöntemi vardır. Bu yöntemler genel olarak şu şekilde sınıflandırılabilir:

- 1) Zeminin kayma dayanımı ve diğer mühendislik özelliklerine bağlı olarak statik eşitlikler yardımıyla tasarım yapılması,
- 2) SPT, CPT, PMT gibi saha deneylerinin sonuçlarına bağlı olarak ampirik eşitlikler yardımıyla tasarım yapılması,
- 3) Sahada oluşturulan deney kazığı yükleme sonuçlarına bağlı olarak taşıma gücünün bulunması.

Kazık yükleme deneyleri tam ölçekli saha deneyleridir. Diğer pek çok saha deneyine nazaran daha yüksek maliyetlidir. Çok büyük miktarlarda yük uygulanmasını gerektirebilir. Yük uygulaması ya büyük kapasiteli hidrolik krikolarla ya da doğrudan ağırlık yüklenmesi şeklinde yapılır. Deneyin yapılış amacına göre kazıklara uygulanan yük miktarı değişir. Tasarımın doğrulanması için yapılan deneylerde genellikle tasarım yükünün iki katına kadar yükleme yapılır. Deney sonuçlarına göre tasarım yapılması durumunda ise genellikle kazıkta göçme gerçekleşene kadar yük uygulanır.

Klasik kazık yükleme deneyleri kazığa yük uygulanması ve yük altında ölçülen deplasman miktarlarının kayıt altına alınması esasına dayanır. Kazık boyunca yük dağılımı, kazık ucuna aktarılan yük oranı gibi konularda doğrudan veri elde edilemez. Farklı mühendislik özelliklerine sahip zemin tabakalarının bulunduğu ortamlarda veya yanal yükleme koşullarının etkin olduğu durumlarda kazık boyunca yük dağılımı oldukça önem kazanmaktadır. Kazık boyunca yerleştirilen yük hücresi, birim deformasyon ölçer, telltale

gibi enstrümanlar kullanılarak bu hususlarda veri elde etmek mümkün hale gelmiştir. Yöntem genel olarak enstrümanlı kazık yükleme deneyi şeklinde isimlendirilmektedir.

Bu çalışmada kayaya soketli kazıklarda yapılan enstrümanlı ve klasik kazık yükleme deneyleri kullanılarak yöntemler arasında karşılaştırma yapılması amaçlanmıştır. Enstrümanlı yöntemin sağladığı verilerden ve bu verilerin değerlendirilmesinden ayrıntılı olarak bahsedilmiştir.

İkinci bölümde literatür araştırmasına yer verilmiştir. Araştırmacılar tarafından kayaya soketli kazıklarda soket yüzeyi birim sürtünme direnci, sürtünme direncini etkileyen koşullar, uç direncinin mobilize olma koşulları gibi konularda pek çok öneri ve sonuç ortaya konulmuştur. Ayrıca kayaya soketli kazıklarla ilgili tanımlar, kazık yükleme deneyleri ve nihai taşıma gücü belirleme yöntemlerine yer verilmiştir. Deney kazıklarında uygulanan yöntem, statik yükleme yöntemlerinden kademeli yükleme deneyidir. Dolayısıyla bu deney tipi ayrıntılı olarak irdelenmiştir. Literatürde kabul görmüş nihai taşıma gücü belirlenme yöntemlerinin bazılarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde çalışma konusu proje ve bu proje kapsamında inşa edilen kazıkların tasarımı hakkında bilgi verilmiştir. Deney kazıkları Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Projesinin Kayaş-Kırıkkale kesiminde yer alan üç farklı viyadüğün temellerinde yapılan kazıklardır. Bu viyadükler ülkemizde hareketli kalıp sistemiyle tabliye inşa edilen ilk demiryolu viyadükleridir. Ayrıca viyadük ayakları arasındaki 90 metrelik açıklık bu sistemle tabliye inşa edilen dünyadaki en büyük açıklıktır. Kazıkların tasarımı AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012) kullanılarak yapılmıştır. Bu bölümde ayrıca projede öngörülen tasarım kapasiteleri ve kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak literatürde kabul gören eşitliklerle hesaplanan teorik taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır.

Dördüncü bölümde kazıkların imalatı ve yapılan kazık yükleme deneyleri hakkında bilgi verilmiştir. Deney kazıkları yerinde dökme betonarme (fore) kazıklardır. Literatürde kabul görmüş yöntemler kullanılarak deney sonuçlarından nihai taşıma güçleri elde edilmiş, bulunan sonuçlar arasında karşılaştırma yapılmıştır.

Beşinci bölümde kazıklardaki enstrümantasyondan bahsedilmiştir. Deney kazıklarından birinde titreşen telli birim deformasyon ölçerler kullanılarak enstrümantasyon yapılmıştır. Enstrümanlı kazıkta derinlik boyunca yük dağılımı, sürtünme dayanımı, uç dayanımı, elastisite modülü ve eksantrisitenin elde edilmesi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, kayaya soketli fore kazık tasarım kabulleri çerçevesinde irdelenmiştir.

Son bölümde ise sonuç ve önerilere yer verilmiştir.

2. KAYAYA SOKETLİ KAZIKLAR

Mühendislik ve yapım tekniklerinin zaman içinde gelişmesiyle beraber, yapıların çeşitliliği ve yapıdan zemine aktarılan yük miktarı artmıştır. Büyük yüklerin emniyetli bir şekilde nasıl taşınabileceğini araştıran mühendislerin ortaya koyduğu yöntemlerden biri kayaya soketlenen kazıklardır.

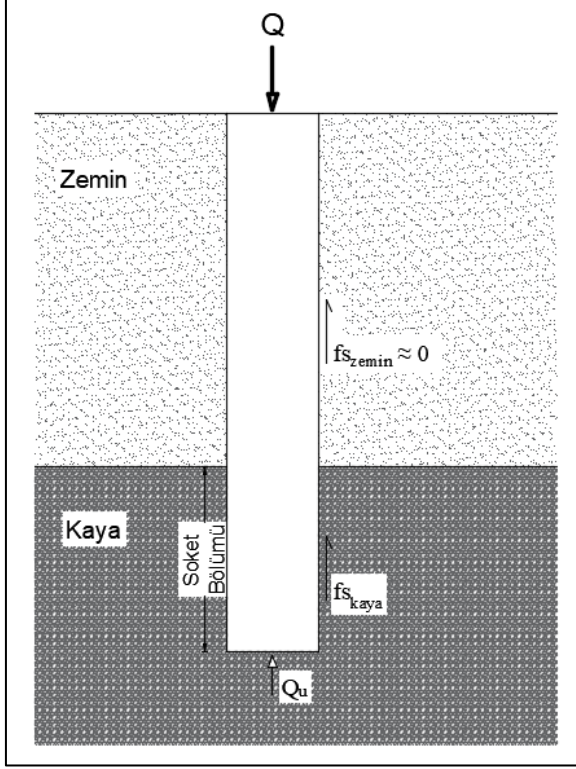
Kayaya soketli kazıklar, kaya ve bu kayanın üzerinde yüzeyleyen zeminlerin bulunduğu ortamlarda yapılır. Uygulamada kayada çakma kazık yapılması çok zor olduğundan, kayaya soketli kazıklar büyük çoğunlukla deplasmana sebep olmayan ön delgili kazıklardır. Şekil 2.1’de sıkıştırılabilir bir zemin altındaki kayaya soketlenmiş kazık şematik olarak gösterilmektedir. Kayaya soketli kazıklarda, kayanın üzerindeki zemin tabakasının sürtünme direnci ($f_{s_{zemin}}$) genellikle ihmal edilmektedir. Soket bölümü sürtünme direnci ($f_{s_{kaya}}$) ve uç direncine (Q_u) bağlı olarak tasarım yapılmaktadır.

Ön delgili olarak yapılan kayaya soketli kazıkların taşıma kapasitesini ve oturmasını etkileyen faktörlerin en önemlileri aşağıdaki gibidir (Tomlinson ve Woodward, 2008):

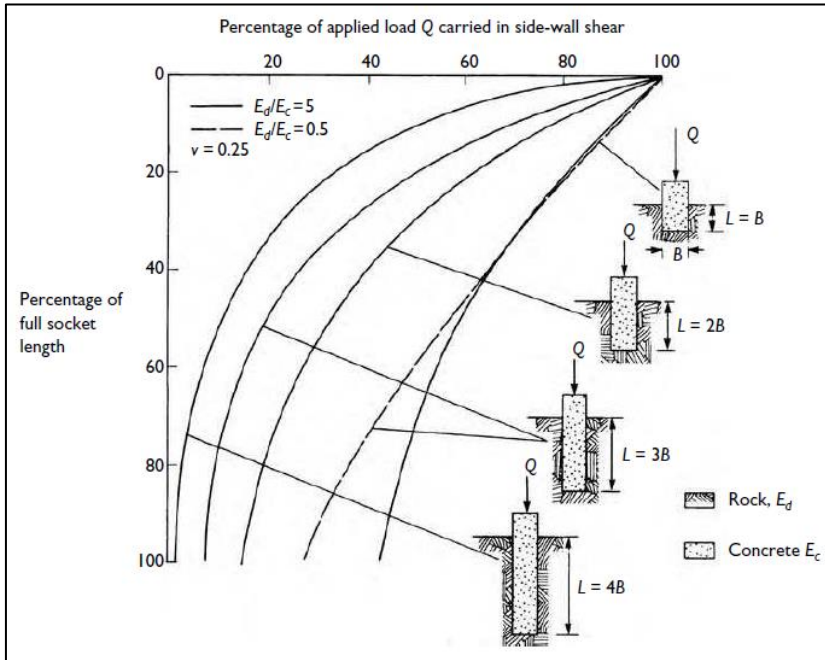
- Soket boyu/çap oranı,
- Soketlenen kayanın elastik modülü ve dayanımı,
- Soket çeperinin özellikleri (pürüzlülük, sürtünme direncini düşüren bentonit ve benzerinin kullanımı),
- Delgi işlemleri sebebiyle kuyu dibinde döküntü malzemenin birikimi,
- Farklı dayanım ve elastik modüle sahip tabakalı kaya yapısı,
- Kazığın, soketlenen kayanın elastik limitiyle ilişkili olan oturması,
- Beton/kaya ara yüzündeki malzemenin sünmesine bağlı olarak zamanla artan oturmalar.

Kazıkla zemin (veya kaya) arasındaki direncin mobilize olması ve zemine yük aktarımı yapılabilmesi için, yük uygulandığında kazıkta bir miktar deplasman olması gerekir. Uç direnci için gerekli deplasman sürtünme direnci için gerekli deplasmana nazaran daha büyüktür (Tomlinson ve Woodward, 2008). Diğer yandan ister zemin isterse kaya olsun, birimin sürtünmeyle taşıyabileceği yükün büyüklüğü kayma direncine bağlıdır. Kayaların

kayma direnci, zeminlerin kayma direncine göre genellikle daha büyüktür. Dolayısıyla kayalarda sürtünme ile karşılanabilecek yük miktarı zemine kıyasla daha yüksek olur.



Şekil 2.1. Kayaya soketli kazıklar



Şekil 2.2. Elastik modül oranı ve soket boyuna bağlı olarak sürtünme direncinin dağılımı (Osterberg ve Gill, 1973)

Yeterli soket boyuna sahip olan kazıkta, yük öncelikle soket bölümünde sürtünme marifetiyle karşılanır. Kayada sürtünme direnciyle karşılanabilecek yük aşılmadıkça düşey deplasman çok sınırlı seviyede kalır, buna bağlı olarak uç direncinin ve soket kısmının yukarısında kazıkla zemin arasında sürtünme direncinin mobilize olma oranı ihmal edilecek seviyede kalır.

Kayaya soketli kazıklarda soket uzunluğu tasarım üzerinde etkilidir. Şekil 2.2'deki grafikte kazığa uygulanan yükün sürtünme direnci ile karşılanma yüzdesinin, soket boyu/kazık çapı (L_s/B) oranıyla ilişkisi ortaya koyulmuştur. Buna göre soket boyunun çapın dört katı olduğu durumlarda yükün hemen hemen tamamı çevre sürtünmesi ile karşılanmaktadır. Daha kısa soket boylarında ise yükün bir kısmı uç direnci ile karşılanmaktadır (Tomlinson ve Woodward, 2008).

2.1. Kayaya Soketli Kazıklarda Sürtünme Direnci

Kayaya soketli betonarme fore kazıklarda yükün soket yüzeyi sürtünme direnci, uç direnci veya bu iki direncin kombinasyonu vasıtasıyla taşındığı kabul edilmektedir. Delgi sırasında kuyu tabanına dökülen malzemelerin temizlenemediği veya uç direncinin mobilize olması için yüksek miktarda deplasman olmasına ihtiyaç duyulduğu durumlarda uç direnci ihmal edilebilmektedir (Brown, Turner ve Castelli, 2010). Mevcut çalışmaya konu olan kazıklar yükün sadece soket yüzeyi sürtünme direnci ile karşılanacağı prensibine göre tasarlanmıştır. Bu nedenle daha fazla soket yüzeyi sürtünme direnci üzerinde durulacaktır. Soket yüzeyi birim sürtünme direncinin elde edilmesi için literatürde birçok yöntem önerilmiştir. Bu yöntemler genellikle bir dizi kazık yükleme deneyi sonuçlarını içeren veri tabanları kullanılarak oluşturulan ampirik eşitliklere dayanmaktadır.

Chellis (1961) yaptığı çalışmada soket yüzeyindeki aderans gerilmesi için 200 psi (1,38 MN/m²) değerini vermiştir. Bu değer muhtemelen inceleme konusu kazıkta kullanılan 4000 psi (27,6 MN/m²) basınç dayanımına sahip betonun basınç dayanımı 0,05 ile çarpılarak verilmiş bir değerdir (Kulhawy, Prakoso ve Akbaş, 2005).

Teng (1962), soket yüzeyi direncinin sağlam kayalarda kazık betonu ile donatı arasındaki aderans değerine eşit olarak alınmasını, zayıf kayalarda ise kayanın kayma dayanımına bağlı olarak tayin edilmesini önermiştir (Kulhawy ve diğerleri, 2005).

Woodward, Gardner ve Greer (1972), soket yüzeyi sürtünme direncinin ancak yükleme deneyi yapılarak belirlenebileceğini ve genellikle uç direncinin 1/5'i ile 1/10'u arasında bir değere sahip olacağını bildirmişlerdir (Kulhawy ve diğerleri, 2005).

Kayaya soketli kazıkların davranışıyla ilgili 1970'lerin ortalarından itibaren daha kullanışlı ve kapsamlı yöntemler sunulmuştur.

Horvath, Kenney ve Kozicki (1983), O'Neill, Townsend, Hanssan, Buller ve Chan (1996), Seidel ve Collinwood (2001) tarafından farklı zamanlarda yapılan araştırmalara göre, kayaya soketli kazıkların sürtünme davranışları, kayanın dayanımından, kuyu pürüzlülüğünden, kaya kütle modülü ve Poisson oranından, kayanın süreksizlik yapısı ve yüzey koşullarından, kazık çapından, yükleme öncesi kazık ve kaya arasındaki başlangıç gerilmelerinden ve genel yapım koşullarından yüksek oranda etkilenmektedir (Seol ve Jeong, 2007).

Kulhawy ve diğerleri (2005) tarafından yapılan çalışmada soket yüzeyi sürtünme direncinin belirlenmesi için literatürde yer alan ve nispeten daha güncel olan bazı yöntemler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapılabilmesi için her yöntemde verilen eşitlikler Eş. 2.1 formatında yeniden yazılmıştır. Çizelge 2.1'de incelenen yöntemler özet halinde verilmektedir.

$$\frac{f}{P_a} = C \left(\frac{q_u}{P_a} \right)^n \quad (2.1)$$

f: Soket yüzeyi sürtünme direnci,

q_u : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,

P_a : Atmosferik basınç ($P_a = 1 \text{ atm}$ veya $P_a = 101,3 \text{ kN/m}^2$),

C: Katsayı,

n: Üs.

Çizelge 2.1 incelendiğinde C katsayısının 0,55-1,84 arasında, n değerinin ise 0,37-0,60 arasında belirlendiği görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kulhawy ve diğerleri (2005) tarafından incelenen yöntemler

Yöntem	C	n	Açıklama
Rosenberg ve Journeux (1976)	1,09	0,52	6 adet yükleme testi yapıldı ve sonuçları kullanıldı
Horvath ve Kenny (1979)	D<400 mm ise 1,04 D>400 mm ise 0,65	0,50	87 adet yükleme testi yapıldı ve sonuçları kullanıldı. f'_c ve q_u dan hangisi küçük ise formülde o değerin kullanılması önerildi.
Meigh ve Wolski (1979)	0,55	0,60	13 adet yükleme testi yapıldı ve sonuçları önceki iki yöntem ile karşılaştırıldı. $4 < q_u/P_a < 7$ ise $f = 0,25 \cdot q_u$ alınması önerildi.
Williams, Johnston ve Donald (1980)	1,84	0,37	18 adet yükleme testi yapıldı ve başkaları tarafından yapılan 18 adet daha yükleme testinin sonuçları ile beraber kullanıldı. q_u değeri yeraltı su seviyesi ve drenajlı dayanım parametreleri kullanılarak belirlendi.
Rowe ve Armitage (1984)	1,42	0,50	80'den fazla yükleme testi yapıldı ve sonuçları kullanıldı.
Carter ve Kulhawy (1988)	0,63	0,50	Rowe ve Armitage tarafından yapılan çalışma incelendi ve 12 adet daha yükleme testi yapılarak sonuçları kullanıldı. Bulunan f değerinin bir güvenlik sayısı ile azaltılması, sonra 0,05 f_c ile mukayese edilmesi ve hangisi küçük ise o değerin kullanılması önerildi. Ayrıca bulunan f değeri; $0,15 \cdot q_u$ dan büyük ise bu değerin yükleme deneyi veya saha deneyleri ile uyumlu olması halinde kullanılması önerildi.

Çizelge 2.1. (devam) Kulhawy ve diğerleri (2005) tarafından incelenen yöntemler

Yöntem	C	n	Açıklama
Reese ve O'Neill (1988 ve 1999)	$17 < q_u/P_a < 19$ ise 0,63 $q_u/P_a > 19$ ise 0,65	0,50	Daha önce önerilen eşitlikler incelendi. $17 < q_u/P_a < 19$ ise Carter ve Kulhawy'nin f değeri ile ilgili tavsiyelerinin uygulanması önerildi.
Kulhawy ve Phoon (1993)	1,42	0,50	Rowe ve Armitage'in veri tabanı kullanılarak inceleme yapıldı. Sonuçta Rowe ve Armitage'in eşitliğinin kullanılması önerildi.
Zhang ve Einstein (1998 ve 1999)	0,63	0,50	Mevcut veri tabanı ve daha önce önerilen eşitlikler incelendi. Sonuçta Carter ve Kulhawy'nin eşitliğinin kullanılması önerildi.
Prakoso (2002)	1,00	0,50	Mevcut veri tabanı incelendi. Veri tabanındaki kaya ankrajlarına ait veriler elendikten sonra değerler elde edildi.

Carrubba (1996) tarafından İtalya'nın Toskana bölgesinde viyadük temellerinin tasarımında kullanılmak üzere yapılan beş adet kayaya soketli kazığın yükleme deneyi sonuçları incelenmiştir. Çapları 1200 mm olan kazıkların soket uzunlukları ve toplam boyları birbirinden farklıdır. Kazıkların soketlendiği kayaların tek eksenli basınç değerleri 0,9 - 40,0 MPa arasında değişmektedir. İncelemede kazığın zemindeki bölümünün ve soket bölümünün uzunluğuna bağlı olarak, kazık-zemin arasındaki nihai sürtünme direncinin kazık-kaya arasındaki (soket bölümü) nihai sürtünme direncinden daha önce veya daha sonra ya da her iki direncin eş zamanlı olarak gerçekleşebileceği bildirilmiştir. Ayrıca, bulunan sürtünme dirençlerinin literatürde verilen ampirik eşitlikler kullanılarak hesaplanan sürtünme dirençlerinden küçük olduğu, büyük çaplı kazıklarda düşük limit sürtünme direnci beklenmesinin gerektiği belirtilmiştir.

Erol, Horoz ve Sağlamer (2003) tarafından Anadolu Otoyolu'nun Gümüşova-Gerede bölümünde daha önce inşa edilen ve sismik olarak halen çok faal olan Kuzey Anadolu Fay Hattı üzerinde yer alan viyadüklere ait kazıklı temellerin gözden geçirilmesi için bir

çalışma yapılmıştır. Kapasiteleri gözden geçirilecek olan kazıklı temeller kayaya soketli kazıklar olarak tasarlandığı için benzer kaya koşullarında farklı soket boyları olan 1200 mm çapında üç adet deney kazığı imal edilmiş, kazıklara imalat sırasında Osterberg yük hücresi yerleştirilmiş ve yükleme deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda tamamen ayrıışmış, parçalanmış kayaların zemin gibi davrandığı, bu tip kayalarda elde edilen soket yüzeyi direncinin literatürde tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak verilen ampirik eşitliklerle hesaplanan değerlere oranla çok daha düşük olduğu, deplasman miktarı kazık çapının %1'inden daha düşük bir değer olan 10 mm'ye ulaştığında sürtünme direncinin çok büyük oranda mobilize olduğu ve yüke bağlı deplasman miktarının elastik sınırlar içinde kalması sebebiyle uç direncinin mobilize olmadığı bildirilmiştir.

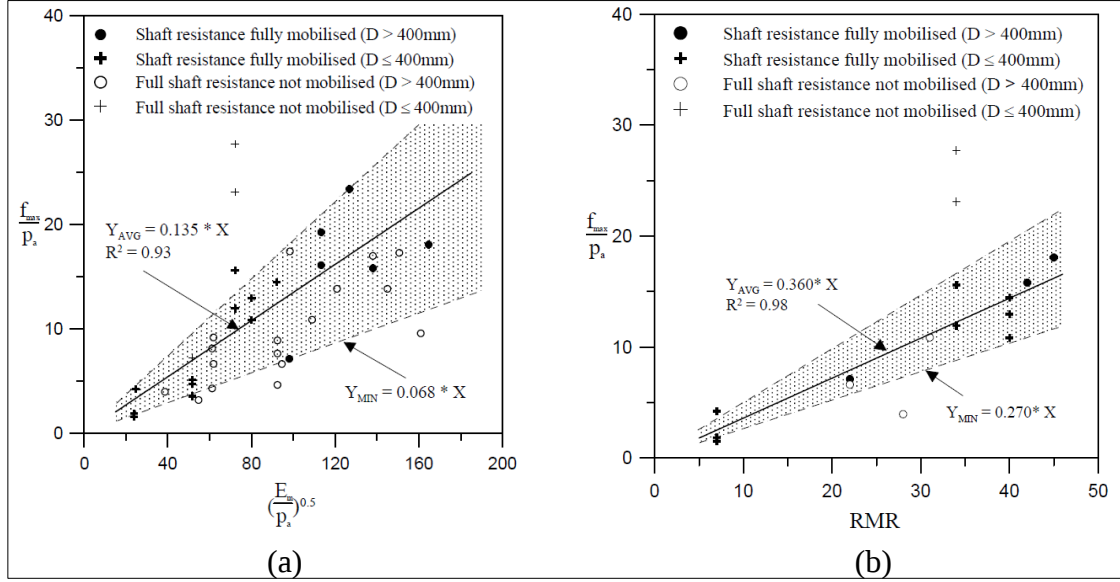
Seol ve Jeong (2007) tarafından yapılan çalışmada kazığın soketlendiği kaya özellikleri, soket pürüzlülüğü, kazık çapı ve yükleme yönü açısından farklılıklar gösteren dokuz adet kayaya soketli delme kazıkta yükleme deneyi yapılmış ve deney sonuçları literatürden alınan veri tabanındaki bilgilerle beraber değerlendirilmiştir. Yükleme testlerinin sonuçları değerlendirilerek soket pürüzlülüğü arttığında ve kazık çapı düştüğünde, soket yüzeyi sürtünme direncinin ortalama %36-37 oranında arttığı belirtilmiştir. Kayanın tek eksenli basınç dayanımının (q_u) kullanılması yoluyla elde edilen soket yüzeyi maksimum birim sürtünme direncinin (f_{max}) gerçek duruma göre önemli derecede fazla olduğu bildirilmiştir. Bu durum kaliteli ve bozuşmamış kaya söz konusu olmasına rağmen, Kore yarımadasındaki kayaların çok fazla süreksizlik içermesi ve yüksek oranda ayrıışmış olması ile ilişkilendirilmiştir. Kore yarımadasında yapılacak olan kayaya soketli kazıklarda, soket yüzeyi maksimum birim sürtünme direncinin kaya kütle indeksi (RMR) ve kayanın elastisite modülü (E_M) kullanılarak gerçek duruma daha yakın tahmin edilebileceği belirtilerek aşağıdaki eşitlikler verilmiştir:

$$f_{max} = 0,135 P_a \left(\frac{E_M}{P_a} \right)^{0,5} \geq 0,068 P_a \left(\frac{E_M}{P_a} \right)^{0,5} \quad (2.2)$$

$$f_{max} = 0,36 P_a \cdot RMR \geq 0,27 P_a \cdot RMR \quad (2.3)$$

P_a simgesi atmosferik basıncı ifade etmektedir ve elastisite modülü ile aynı birimdedir.

Şekil 2.3'te nihai birim sürtünme direncinin elastisite modülüne ve kaya kütle indeksine bağlı değişimi gösterilmektedir. Yukarıdaki eşitliklerin sağındaki ilk bölüm veri aralığının ortalama değerlerini temsil eden regresyon doğrularından, ikinci bölüm ise veri aralığının minimum değerlerini temsil eden sınır doğrularından faydalanılarak ortaya konulmuştur.



Şekil 2.3. Nihai birim sürtünme direncinin değişimi a) Elastisite modülüne bağlı değişim b) Kaya kütle indeksine bağlı değişim (Seol ve Jeong, 2007)

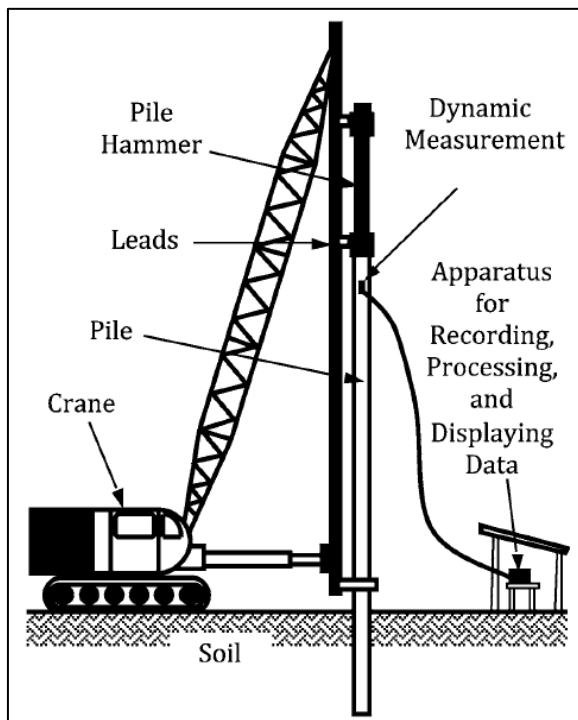
Seo, Prezzi ve Salgado (2013) tarafından kayaya soketli bir mini kazıkta enstrümanlı kazık yükleme testi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. 197 mm çapında ve 8,2 metre boyundaki mini kazığın 4,2 metrelik bölümü kireç taşı tabakasına soketlenmiştir. Kireç taşının üstteki 2,7 metrelik bölümü ayrışmış ve zayıf, alttaki 1,5 metrelik bölümü ise sert olarak tanımlanmıştır. Deney sonucunda %77'lik kısmı daha ince tabaka olan sert kireç tabakası tarafından olmak üzere yükün tamamının soket direnciyle karşılandığı belirtilmiştir. Ayrıca literatürde önerilen yöntemlerle (kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak verilen yöntemler) hesaplanan ve deney sonucunda bulunan birim sürtünme dirençleri karşılaştırılmıştır. Özellikle ayrışmış kireç taşında deney sonucunda bulunan değerler literatürdeki yöntemlerden hesaplanan değere göre çok düşük olduğu belirtilmiş ve birim sürtünme direncinin kaya kütle kalitesine bağlı olarak hesaplanması önerilmiştir.

2.2. Kazık Yükleme Deneyleri

Kazık yükleme deneyleri iki amaçla yapılır:

- 1) Kazığın tasarımda öngörülen yükü emniyetle karşılayabildiğinin doğrulanması: Tasarım yükünü karşılayacak kazıklar ampirik yöntemlerle hesap edilerek yerinde imal edilir ve daha sonra yükleme deneyi yapılarak yükün karşılanıp karşılanmadığı kontrol edilir.
- 2) Tasarım yükünü karşılayabilecek en ekonomik çözümün ortaya konulması: Tasarım yükünü karşılayacak kazıklar ampirik yöntemlerle tasarlanır. Ön tasarım sonuçlarına göre yerinde yapılan kazıkta yükleme deneyi gerçekleştirilir. Deney sonuçlarına göre tasarım yükünü en ekonomik koşullarda karşılayacak şekilde kazık tasarımı revize edilir.

Kazık yükleme deneyleri statik yükleme deneyleri ve dinamik yükleme deneyleri olarak ikiye ayrılır. İki deney tipinin arasındaki temel fark yükün uygulanış şeklidir. Statik yükleme deneyinde yük belli bir süre boyunca devamlı olarak kazığa etki eder. Dinamik yükleme deneyinde ise yük çakma işlemine benzer şekilde anlık olarak yüklenip kaldırılır. Şekil 2.4'te dinamik yükleme deneyinde kullanılan tipik bir düzenek gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Dinamik kazık yükleme deneyinde tipik düzenek (ASTM D4945-17)

Kazıklar basınç yüklerinin, çekme yüklerinin ve yanal yüklerin karşılanması için yapılmaktadır. Statik yükleme deneyleri bu yük tipleri için tasarlanan kazıkların hepsinde uygulanabilir. Dinamik yükleme deneyleri ise basınç yükleri ve yanal yükler için tasarlanan kazıklarda uygulanabilir. Ülkemizde yapılan kazık yükleme deneylerinde genellikle ASTM (American Society for Testing and Materials) standartları kullanılmaktadır. ASTM standartlarında kazık yükleme deneyleri için dört ayrı standart bulunmaktadır. Bunlara aşağıda yer verilmiştir. İlk üç standart statik yükleme deneyi, dördüncü standart ise dinamik yükleme deneyi tipindedir.

- ASTM D1143/D1143M-07: Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load,
- ASTM D3689/D3689M-07: Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load,
- ASTM D3966/D3966M-07: Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load,
- ASTM D4945-17: Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations.

Öte yandan ülkemizde kazık yükleme deneyleri ile ilgili kriterlere ilk kez Türk Standardları Enstitüsü tarafından 1978 yılında yayınlanan “TS 3167: Kazık Temellerin Hesap ve Düzenlenmesinde Genel Kurallar” standardında yer verilmiştir. Daha sonra 2005 yılında bu standart yürürlükten kaldırılmış ve kazık yükleme deneyleri ile ilgili kriterler “TS EN 1997-1: Eurocode 7: Jeoteknik Tasarım-Bölüm 2: Genel Kurallar” standardında yer almıştır.

Çalışma konusu olan kazıklardaki yükleme deneyleri ASTM D1143/D1143M-07 standardına göre yapılmıştır. Bu standartta yükleme kriterlerine bağlı olarak değişen yedi farklı deney yöntemi verilmektedir. Bu yöntemler şu şekildedir:

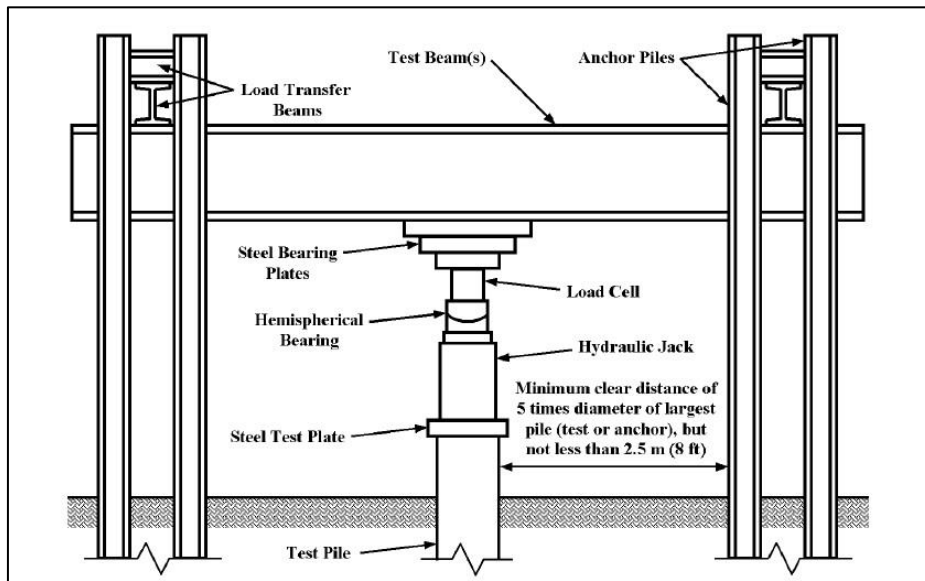
- A: Hızlı Deney (Quick Test)
- B: Kademeli Yükleme Deneyi (Maintained Test)
- C: Kademeli Aşırı Yükleme Deneyi (Loading in Excess of Maintained Test)
- D: Sabit Zamanlı Yükleme Deneyi (Constant Time Interval Test)

- E: Sabit Penetrasyonlu Yükleme Deneyi (Constant Rate of Penetration Test)
- F: Sabit Deplasmanlı Yükleme Deneyi (Constant Movement Increment Test)
- G: Çevrimli Yükleme Deneyi (Cyclic Loading Test)

ASTM D1143/D1143M-07 standardında yüklemenin dört farklı şekilde yapılabileceği belirtilmiştir. Bunlar aşağıda belirtilmiştir.

- Reaksiyon kazıklarından alınacak etkinin hidrolik kriko vasıtasıyla deney kazığına aktarılması,
- Önceden oluşturulan ağırlık platformundan alınacak etkinin hidrolik kriko vasıtasıyla deney kazığına aktarılması,
- Ağırlığı bilinen yüklerin doğrudan deney kazığı üzerine yüklenmesi,
- Sorumlu mühendisin belirleyeceği ve temel prensipleri test prosedürüne uygun olan bir düzenek ile yükün deney kazığına yüklenmesi.

Deney kazıklarında kademeli yükleme deneyi (B) uygulanmıştır. Kazıklara yük aktarımı ise hidrolik kriko vasıtasıyla reaksiyon kazıkları kullanılarak yapılmıştır. Reaksiyon kazıkları kullanılarak yapılan yükleme Şekil 2.5'te şematik olarak gösterilmektedir. Deney kazıklarının her biri viyadük temellerindeki kazık gruplarında yer alan kazıklar olduğundan, deney kazığına komşu olan kazıklar reaksiyon kazığı olarak kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Hidrolik kriko kullanılarak reaksiyon kazıklarından alınan etki ile kazığın yüklenmesi (ASTM D1143/D1143M-07)

Kademeli yükleme deneyi uygulama prosedürü aşağıdaki gibidir (ASTM D1143/D1143M-07):

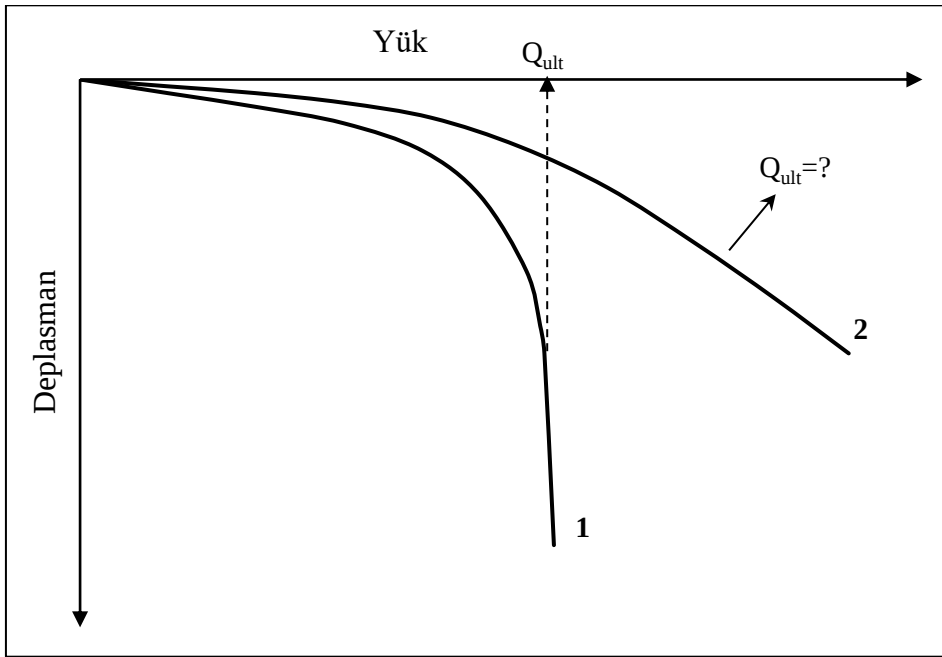
- Eğer göçme gözlenene kadar yükleme yapılmayacaksa, deney yüküne kadar yükleme yapılır. Deney yükü tekil kazıklarda kazık tasarım yükünün %200'ü, grup kazıklarda ise kazık tasarım yükünün %150'si kadardır.
- Yükleme adımlar halinde yapılır. İlk adımda tasarım yükünün %25'i kadar yükleme yapılır ve devam eden her adımda tasarım yükünün %25'i kadar yük artırılır.
- Her adımda kazıktaki eksenel hareket 0,25 mm/saat mertebesine düşene kadar beklenilir. Bekleme süresi en fazla 2 saattir. 2 saatlik süre sonunda, kazıktaki eksenel hareket 0,25 mm/saat mertebesine düşmemiş olsa bile bir sonraki yükleme adımına geçilir. Deney yüküne (tekil kazıklarda tasarım yükünün %200'ü, grup kazıklarda tasarım yükünün %150'si) ulaşılan kadar yükleme işlemi adımlar halinde devam ettirilir.
- Deney yükü altında, kazıktaki eksenel hareket 0,25 mm/saat mertebesine düştükten sonra adımlar halinde boşaltma işlemine başlanılır. Boşaltma işlemine başlanmadan önce mutlaka test başlangıcından bu yana 12 saat geçmiş olması gerekir. Eğer 12 saatlik süre henüz tamamlanmamış ise süre tamamlanıncaya kadar deney yükü altında beklenilir. Eksenel hareketin istenilen seviyeye düşmemesi durumunda deney yükü altında 24 saat beklenilir.
- Yükleme sırasında göçme gözlemlenirse, göçmeyi gerçekleştiren veya mümkün olan azami yük, kazık çapının %15'i oranında oturma gerçekleşene kadar sabit tutulur.
- Yükleme adımları tamamlandıktan sonra, uygulanan azami yük %25 oranında azaltılarak boşaltılır. Her boşaltma adımında 1 saat beklenir.

2.3. Deney Sonuçlarının Yorumlanmasıyla Nihai Taşıma Gücünün Elde Edilmesi

Kazık yükleme deneyi sahada yapılan tam ölçekli bir deneydir. Genellikle çok yüksek yükleme kapasitesine ihtiyaç duyulur. Buna rağmen göçme yükü her zaman deney sonuçlarından net olarak belirlenemeyebilir. Örneğin iri daneli zeminlerde ya da kaya ortamında göçmeye sebep olacak yükün uygulanması pratikte mümkün olmayabilir.

Şekil 2.6'daki yük-deplasman grafiklerinden bir numaralı grafikte göçmeye sebep olan yük belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır. Ancak iki numaralı grafikte göçme yükü belirgin

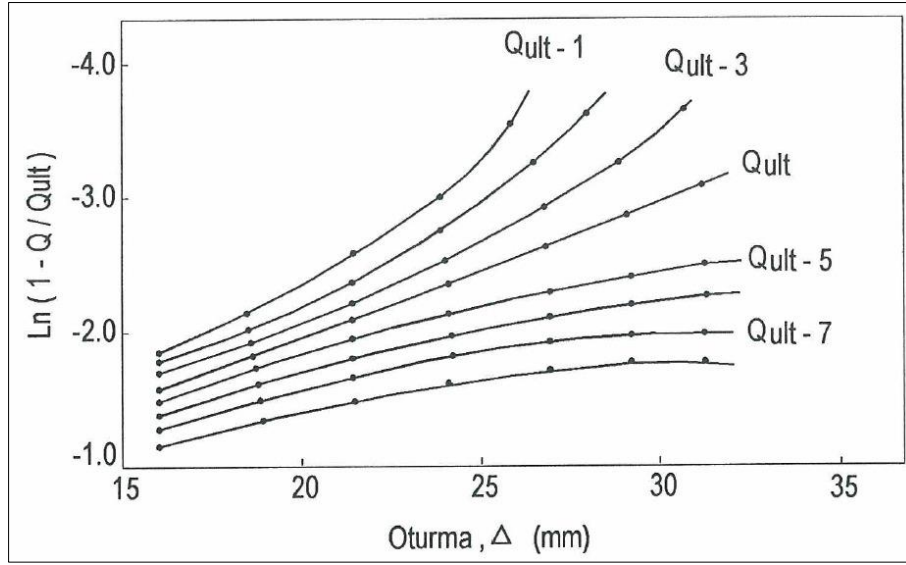
değildir. Göçme yükünün net olarak belirlenemediği durumlarda yükleme deney sonuçlarının yorumlanması gerekir. Araştırmacılar tarafından deney sonuçlarının yorumlanmasıyla nihai taşıma gücünün elde edilmesine yönelik birçok yöntem ortaya konulmuştur. Bu yöntemler bir grup yükleme deneyinin incelenmesi yoluyla oluşturulmuştur. Bu bölümde literatürde kabul görmüş olan on bir adet yöntem hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 2.6. Kazık yükleme deneyi yük-deplasman grafiği

2.3.1. Van der Veen (1953) yöntemi

Van der Veen yönteminde önce bir nihai taşıma gücü (Q_{ult}) belirlenir ve Eş. 2.3'ten yararlanılarak her yük kademesi için $-\alpha\delta$ değeri hesaplanır. Daha sonra bu değerler ile yük kademelerinde tespit edilen oturma değerlerinin grafiği çizilir (Şekil 2.7). Çizilen grafiği doğrusal yapan yük kazığının nihai taşıma gücünü verir.



Şekil 2.7. Van der Veen yöntemi ile nihai taşıma gücünün elde edilmesi (Dinç, 2010)

$$-\alpha\delta = \ln \left(1 - \frac{Q}{Q_{ult}} \right) \quad (2.3)$$

Q: Kazığa uygulanan deney yükü,

Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma gücü,

δ : Düşey deplasman,

α : Katsayı.

2.3.2. Brinch Hansen %80 (1963) yöntemi

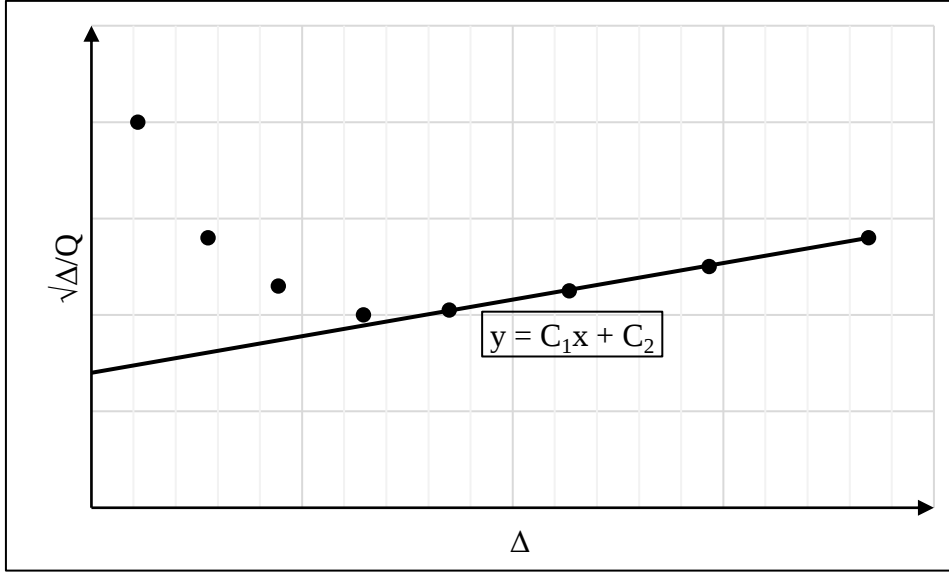
Bu yöntemde öncelikle her yük kademesi (Q) ve bu yüke denk gelen deplasman miktarı (Δ) kullanılarak $\sqrt{\Delta/Q}$ değerleri bulunur. Daha sonra $\sqrt{\Delta/Q}$ ile Δ ilişkisini gösteren grafik oluşturulur (Şekil 2.8). Bir yerden sonra grafikteki noktalar yaklaşık bir doğru üzerinde toplanacaktır. Bu doğrunun eğimi ve doğrunun $\sqrt{\Delta/Q}$ eksenini kestiği değer kullanılarak Eş. 2.4 yardımıyla kazığın nihai taşıma gücü elde edilir.

$$Q_{ult} = \frac{1}{2 \cdot \sqrt{C_1 \cdot C_2}} \quad (2.4)$$

Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma gücü,

C_1 : Doğrunun eğimi,

C_2 : $\Delta=0$ iken doğrunun $\sqrt{\Delta/Q}$ eksenini kestiği nokta.



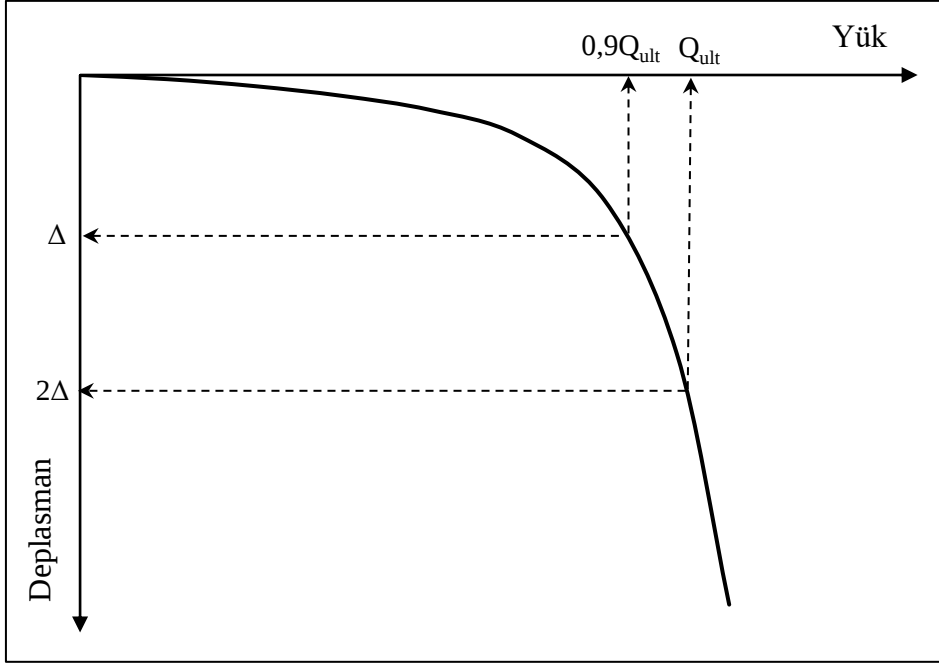
Şekil 2.8. Brinch Hansen %80 yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

Yöntemde yük-deplasman grafiğinin parabolik olduğu kabul edilir. Yöntemin hızlı deney (Quick Test) ve kademeli yükleme deneyi (Maintained Test) sonuçlarının yorumlanmasında kullanılması önerilmektedir (Yıldırım, 2004).

2.3.3. Brinch Hansen %90 (1963) yöntemi

Bu yöntemde nihai taşıma gücünün yük-deplasman grafiğinde deneme-yanılma yapılarak elde edilmesi önerilmiştir. Yönteme göre nihai taşıma gücüne denk gelen deplasman miktarı, nihai taşıma gücünün %90'ı oranındaki yüke gelen deplasman miktarının iki katı olmalıdır (Şekil 2.9). Deneme-yanılma yöntemiyle bu şartı sağlayan yük değeri belirlenerek nihai taşıma gücü elde edilir.

Yöntemde yük-deplasman grafiğinin hiperbolik olduğu kabul edilir. Yöntemin sabit penetrasyonlu yükleme deneyi (Constant Rate of Penetration Test) sonuçlarının yorumlanmasında kullanılması önerilmektedir (Yıldırım, 2004).

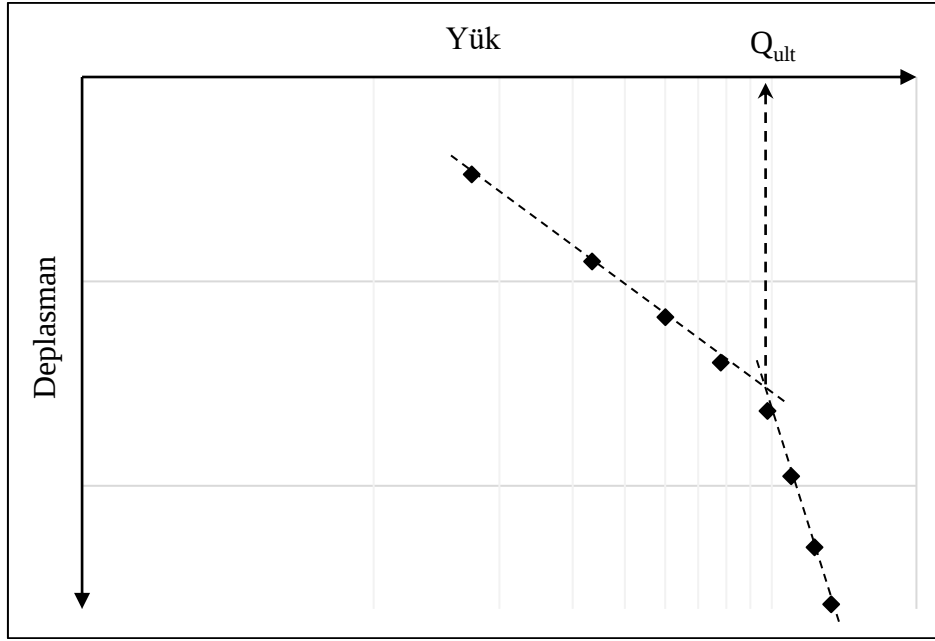


Şekil 2.9. Brinch Hansen %90 yöntemi ile taşıma gücünün belirlenmesi

2.3.4. De Beer (1967) yöntemi

De Beer yönteminde yük-deplasman grafiği logaritmik ölçekle çizilir (Şekil 2.10). Grafikteki noktaların başlangıç ve bitiş bölümünde ayrı ayrı olmak üzere iki doğrusal hat üzerinde toplanacağı kabul edilir. Bu hatların kesişim yerine denk gelen yük miktarı kazığın nihai taşıma gücünü verir. Doğrusal hattın oluşturulması için yeterli verinin olmasına dikkat edilmelidir.

Yöntemin kademeli yükleme deneyi (Maintained Test) sonuçlarıyla nihai taşıma gücünün belirlenmesinde kullanılması önerilmektedir (Kyfor ve diğerleri, 1992).



Şekil 2.10. De Beer yöntemi ile nihai taşıma gücünün elde edilmesi

2.3.5. Chin-Kondner (1970) yöntemi

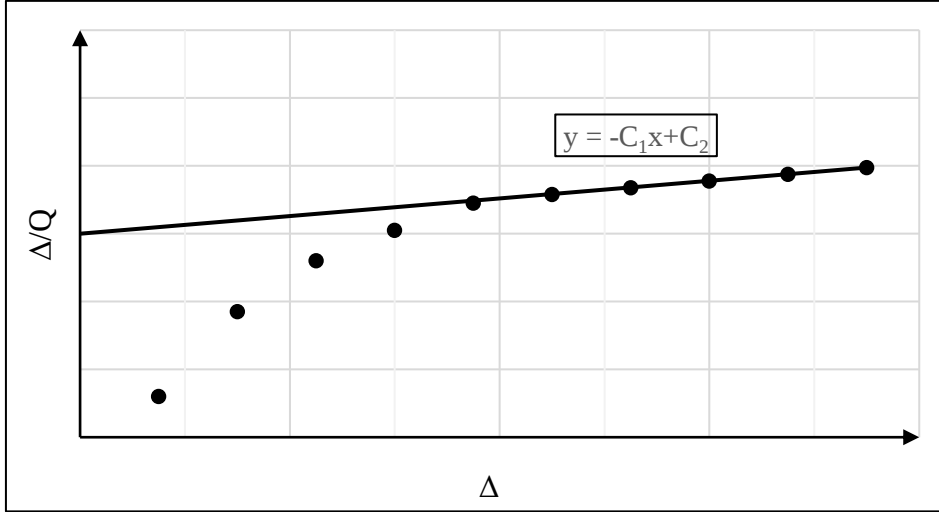
Bu yöntemde her yük kademesinde (Q) elde edilen deplasman miktarı (Δ), o yük değerine bölünerek Δ/Q değerleri tespit edilir. Daha sonra Δ/Q ile Δ ilişkisini gösteren grafik oluşturulur (Şekil 2.11). Bir yerden sonra noktalar yaklaşık bir doğru üzerinde toplanır. Bu doğruyu temsil eden eşitlik, kazığın nihai taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılır. Nihai taşıma gücü Eş. 2.5 yardımıyla bulunur.

$$Q_{ult} = \frac{1}{C_1} \quad (2.5)$$

Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma gücü,

C_1 : Doğrunun eğimi,

Yöntemin hızlı deney (Quick Test) ve kademeli yükleme deneyi (Maintained Test) sonuçlarının yorumlanmasında kullanılması önerilmektedir (Fellenius, 2018).



Şekil 2.11. Chin-Kondner yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

2.3.6. Davisson (1972) yöntemi

Davisson yönteminde, yükleme sırasında kazıkta üç farklı deplasman olacağı belirtilmiştir. Bunlar kazık boyundaki elastik kısalma, kazık ucundaki zeminin elastik sıkışması ve kazık ucundaki zeminin plastik sıkışmasıdır. Kazık ucundaki zeminin plastik sıkışması için sınır değer önerilmiş ve bu oturma değerine denk gelen yükün kazığın nihai taşıma gücü olduğu kabul edilmiştir. Kazıktaki toplam deplasman Eş. 2.6'da görülmektedir. Kazık boyundaki elastik kısalma Eş. 2.7 ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta = \delta_e + \delta_s + \delta_p \quad (2.6)$$

$$\delta_e = \frac{Q \times L}{A \times E} \quad (2.7)$$

Δ : Toplam deplasman (mm),

δ_e : Kazık boyundaki elastik kısalma (mm),

δ_s : Kazık ucundaki zeminin elastik sıkışması (mm),

δ_p : Kazık ucundaki zeminin plastik sıkışması (mm),

Q: Uygulanan yük (N),

L: Kazık boyu (mm),

A: Kazık kesitinin alanı (mm²),

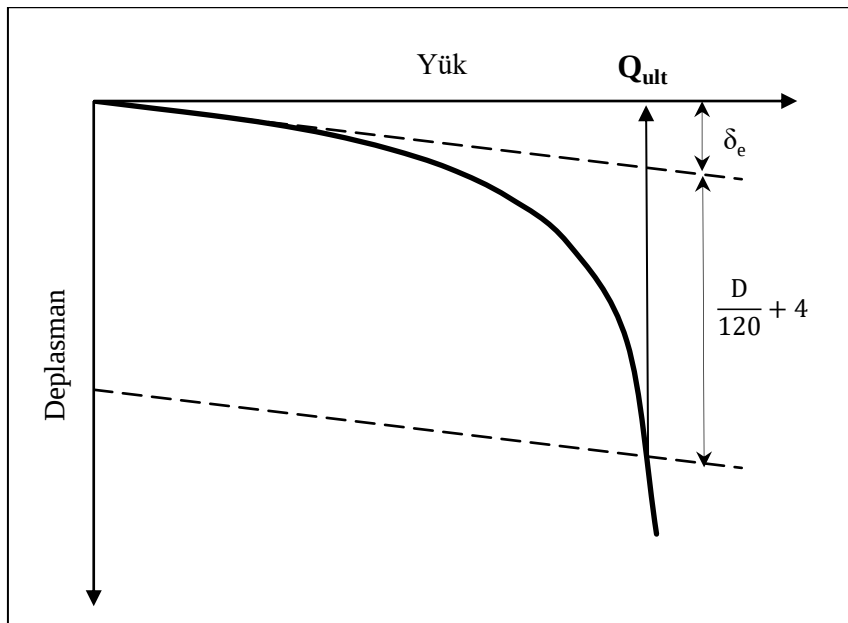
E: Kazığın elastik modülü (N/mm²).

Davisson (1972) kazık ucundaki zeminin elastik sıkışmasının, kazık çapının 1/120'si kadar olacağını kabul etmiştir. Kazık ucundaki zeminin plastik sıkışması için ise 0,15 inch ($\cong 4$ mm) sınır değerini vermiştir. Dolayısıyla kazık ucundaki zeminde 4 mm kalıcı deplasmana sebep olacak yük nihai taşıma gücü olacaktır. Bu durumda Eş. 2.6 aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\Delta = \delta_e + \frac{D}{120} + 4 \quad (2.8)$$

Şekil 2.12'deki gibi grafik çizilerek Q_{ult} değeri belirlenir. Uygulama için işlem adımları aşağıda verilmektedir:

- Kazığın yük altında elastik davranış gösterdiği başlangıç bölgesinde (geçici deformasyon bölgesinde) yük-deplasman grafiğine teğet çizilir. Bu teğet elastik kısalma hattıdır.
- Elastik kısalma hattına paralel durumda ofset hattı çizilir. Ofset hattı elastik kısalma hattına $(D/120)+4$ mm uzaklıktadır.
- Ofset hattının yük-deplasman grafiğini kestiği yere denk gelen yük değeri, nihai taşıma gücünü verir.



Şekil 2.12. Davisson yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

Yöntemde δ_e değerleri ile elastik kısalma hattının çizilmesi önerilmiştir. δ_e değerinin hesaplandığı Eş. 2.7’de kazık boyu (L), kazık kesit alanı (A) ve elastisite modülü (E) sabittir. Yük (Q) ise her yükleme adımında değişmektedir. Hesaplanan δ_e değerleri kullanılarak çizilen elastik kısalma hattının yük-deplasman grafiğine paralel olmadığı deney sonuçları görülmektedir. Böyle durumlarda yük-deplasman eğrisi esas alınarak çizilen elastik kısalma hattı esas alınmalıdır. Çünkü nihai taşıma gücü belirlenirken referans alınan parametre, yük-deplasman eğrisine paralel çizilen elastik kısalma hattıdır.

Bazı durumlarda δ_e değerleri kullanılarak çizilen elastik kısalma hattının yük-deplasman grafiğine paralel olmaması, muhtemelen yöntem oluşturulurken kullanılan verilerle ilgilidir. Davisson yöntemi çelik çakma kazıklarda uygulanan yükleme deneyi sonuçları kullanılarak ortaya konulmuştur. Malzeme ve yapım yöntemi açısından kazıklar birbirine göre çok fazla farklılık göstermektedir. Bu çalışmaya konu edilen kazıklar betonarme fore kazıklardır. Dolayısıyla δ_e değerleri kullanılarak çizilen elastik kısalma hattının yük-deplasman grafiğine paralel olmaması olağan karşılanmaktadır.

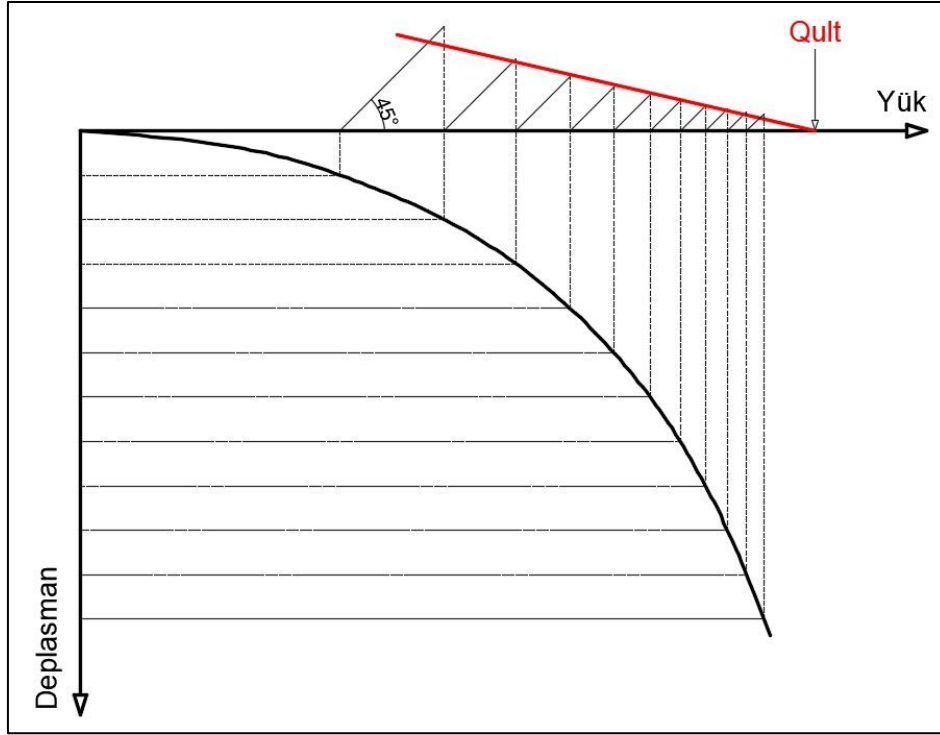
Yöntemin küçük çaplı çakma kazıklarda hızlı deney (Quick Test) sonuçlarının yorumlanmasında kullanılması önerilmektedir (Fellenius, 2017).

2.3.7. Mazurkiewicz (1972) yöntemi

Yöntem yük-deplasman eğrisinin parabolik olduğu kabulüne dayanır. Şekil 2.13’te Mazurkiewicz yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi için tipik bir yük-deplasman grafiği verilmiştir. Uygulamada sırasıyla şu işlemler yapılır:

- Deplasman ekseninden itibaren eşit aralıklarla yük eksenine paralel doğrular çizilir.
- Doğruların yük-deplasman eğrisini kestiği yerden başlayarak yük eksenine dik doğrular çizilir.
- Yük eksenine dik olarak çizilen doğruların yük eksenini kestiği yerden başlayarak, 45° açı yapacak şekilde doğrular çizilir.
- 45° açı yapan her doğruyla, kendi başlangıç noktasında yük eksenine dik gelen doğrudan bir sonraki dik doğrunun kesişim yerleri belirlenir.

- Belirlenen kesişim yerlerinden yaklaşık olarak geçecek şekilde bir doğru çizilir ve doğru yük eksenini kesecek kadar uzatılır. Bu doğrunun yük eksenini kestiği yere denk gelen yük değeri, kazığın nihai taşıma gücünü verir.



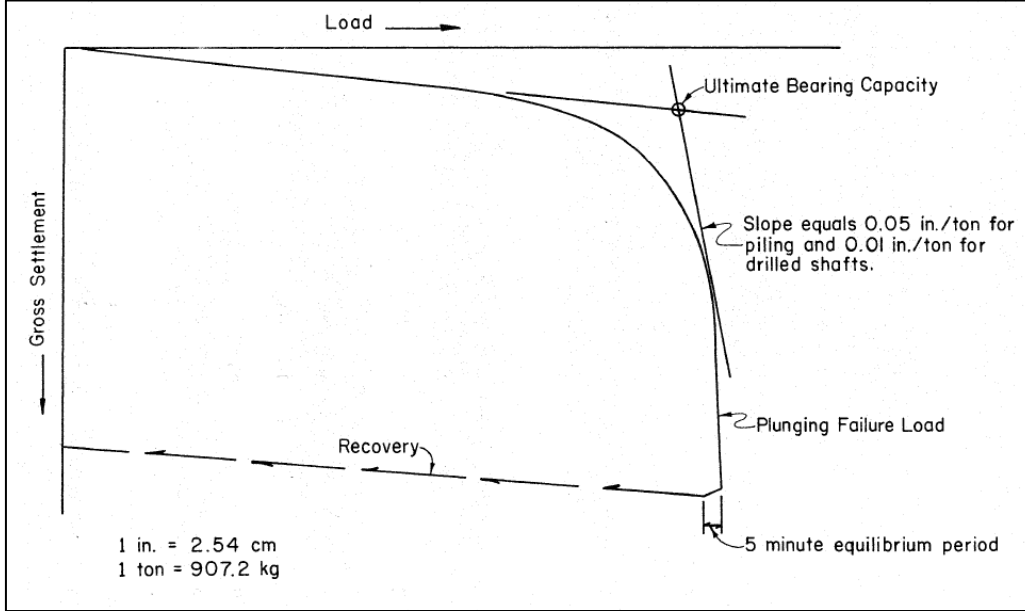
Şekil 2.13. Mazurkiewicz yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

2.3.8. Butler-Hoy (1976) yöntemi

Butler-Hoy yönteminde önce uygun ölçekte yük-deplasman grafiği çizilir. Daha sonra yük-deplasman eğrisine teğet olan iki doğru çizilir. Doğrulardan biri eğrinin başlangıç bölümüne, diğeri yüke bağlı deplasman miktarının giderek arttığı bölüme teğet olacak şekilde çizilir. Çizilen doğruların kesiştiği noktaya denk gelen yük miktarı kazığının nihai taşıma gücünü verir. Şekil 2.14’de Butler-Hoy yönteminde nihai taşıma gücünün elde edilmesi için tipik bir yük-deplasman grafiği verilmiştir.

İkinci doğrunun eğimi fore kazıklarda 0,01 inch/ton, diğer kazıklarda 0,05 inch/ton’dur. Şekil 2.14’deki birim eşitlikleri kullanıldığında, yük-deplasman grafiğine çizilecek teğet doğrunun eğimi delme kazıklarda 0,28 mm/ton, diğer kazıklarda 1,40 mm/ton olarak hesaplanır.

Butler-Hoy yöntemi, hızlı deney (Quick Test) yöntemine göre yüklenen kazıklarda elde edilen deney sonuçlarının yorumlanması için ortaya konulmuştur (Butler and Hoy, 1976).



Şekil 2.14. Butler-Hoy yöntemine göre taşıma gücünün belirlenmesi (Butler and Hoy, 1976)

2.3.9. Decourt (1999) yöntemi

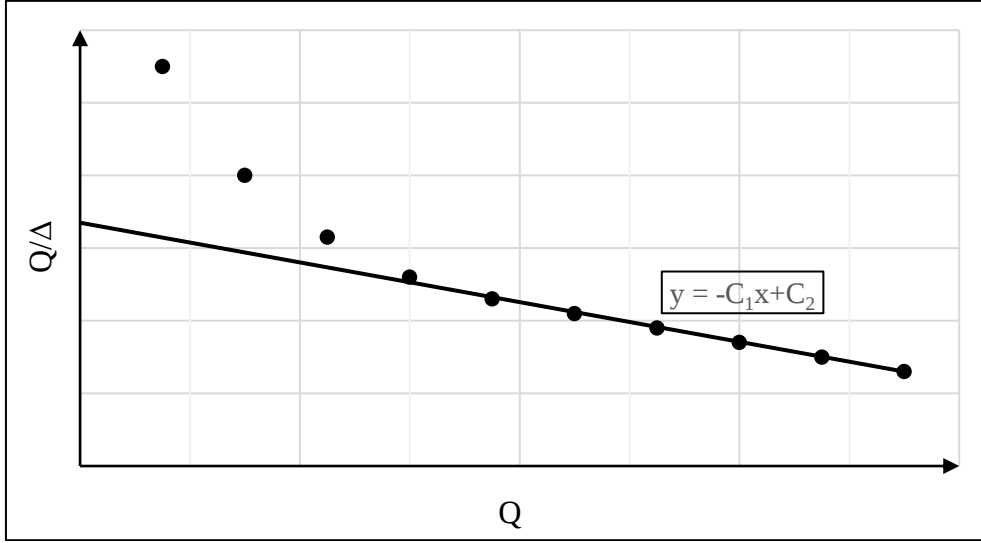
Decourt yönteminde her yük kademesi (Q), o yük kademesinde elde edilen deplasman miktarına (Δ) bölünerek Q/Δ değerleri tespit edilir. Daha sonra Q/Δ ile Q ilişkisini gösteren grafik oluşturulur (Şekil 2.15). Belli bir yerden sonra noktalar yaklaşık bir doğru üzerinde toplanır. Bu doğruyu temsil eden eşitlik, kazığın nihai taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılır. Nihai taşıma gücü Eş. 2.9 yardımıyla elde edilir.

$$Q_{ult} = \frac{C_2}{C_1} \quad (2.9)$$

Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma gücü,

C_1 : Doğrunun eğimi,

C_2 : Doğrunun Q/Δ eksenini kestiği değer.



Şekil 2.15. Decourt yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

2.3.10. Paikowsky-Tolosko (1999) yöntemi

Paikowsky ve Tolosko (1999) göçmeye uğramamış kazıkların nihai taşıma gücünün belirlenmesi için, Chin-Konder yöntemi ve Davisson yöntemini beraber değerlendirerek Eş. 2.10'u önermişlerdir. Bu yöntemde her yük kademesinde (Q) elde edilen deplasman miktarı (Δ), o yük değerine bölünerek Δ/Q değerleri tespit edilir. Daha sonra Δ/Q ile Δ ilişkisinin gösteren grafik oluşturulur (Şekil 2.16). Belli bir yerden sonra noktalar yaklaşık bir doğru üzerinde toplanır. Bu doğruyu temsil eden birinci dereceden denklem ($y=ax+b$) kazığın nihai taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılır.

$$Q_{ult} = \frac{-[(a \cdot X) + b - S] \mp \sqrt{[(a \cdot X) + b - S]^2 + 4 \cdot (a \cdot S) \cdot X}}{2 \cdot (a \cdot S)} \quad (2.10)$$

Burada,

$$C_1 = a \cdot S \quad (2.11)$$

$$C_2 = [(a \cdot X) + b - S] \quad (2.12)$$

S ve X değerleri Eş. 2.13 ve Eş. 2.14 kullanılarak hesaplanır.

$$S = \frac{L}{E \cdot A} \quad (2.13)$$

$$X = 4 + \frac{D}{120} \quad (2.14)$$

Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma gücü,

a: Doğrunun eğimi,

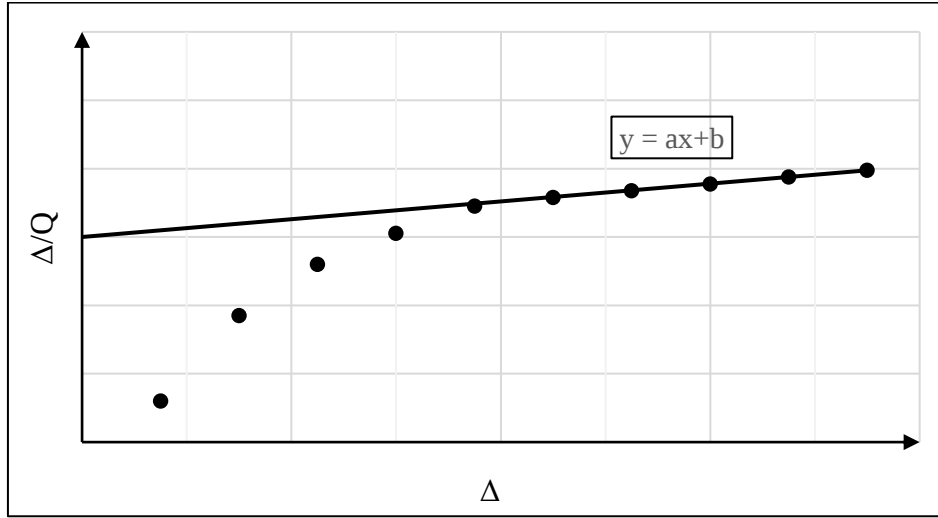
b: Doğrunun Δ/Q eksenini kestiği değer,

L: Kazığın boyu,

E: Kazığın elastik modülü (Betonarme fore kazıklar için yaklaşık 40.000 N/mm²),

A: Kazık kesit alanı,

D: Kazık çapı.



Şekil 2.16. Paikowsky-Tolosko yönteminde tipik (Δ/Q) - Δ grafiği

Eş. 2.11 ve Eş. 2.12'yle hesaplanan C_1 ve C_2 ifadeleri kullanılarak Eş. 2.10 daha sade yazılabilir:

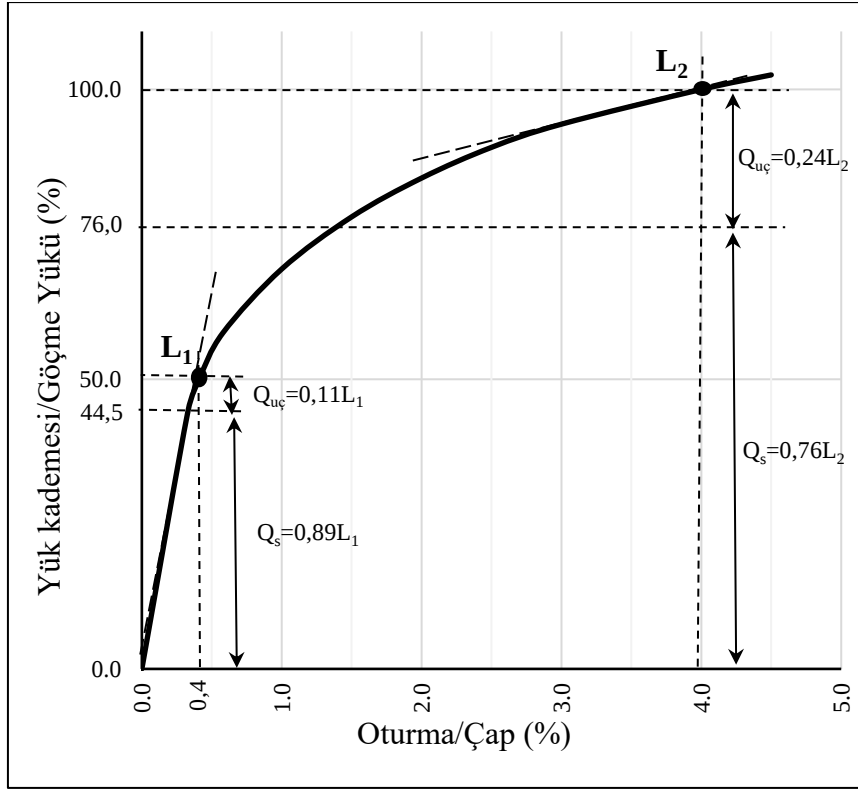
$$Q_{ult} = \frac{-C_2 \mp \sqrt{(C_2)^2 + 4 \cdot C_1 \cdot X}}{2 \cdot C_1} \quad (2.15)$$

Yöntemin sabit penetrasyonlu yükleme deneyi (Constant Rate of Penetration Test), kademeli yükleme deneyi (Maintained Test) ve hızlı deney (Quick Test) metotlarıyla yapılan yükleme deneylerinin yorumlanmasında kullanılması önerilmektedir.

2.3.11. Hirany-Kulhawy (2002) yöntemi

Hirany ve Kulhawy literatürdeki yöntemleri değerlendirerek kazıkların nihai taşıma gücünün belirlenmesi için ayrı bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntemle göre kazığın nihai

taşıma gücü kazık çapının %4'ü kadar oturmaya sebep olan yüke eşittir. Yöntemde nihai taşıma gücü seviyesinde ve nihai taşıma gücünün %50'sinde çevre sürtünmesi ve uç dayanımı tarafından karşılanan yük oranları verilmiştir. Şekil 2.17'deki gibi bir eksenli oturma/çap oranı, diğer eksenli yük kademesi/göçme yükü oranı olan grafik hazırlanarak nihai taşıma gücü elde edilmektedir.



Şekil 2.17. Hirany-Kulhawy yöntemi ile nihai taşıma gücünün belirlenmesi

Buraya kadar bilgi verilen yöntemlerin hepsi zemin içerisinde yer alan kazıklar için oluşturulmuş yöntemlerdir. Kayaya soketli kazıklar için literatürde verilen ayrı bir yöntem bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu çalışmada zorunlu olarak mevcut yöntemler kullanılmıştır.

3. PROJENİN TANITIMI VE KAZIK TASARIMI

Bu çalışmada Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Projesinin Kayaş-Kırıkkale kesiminde yer alan viyadüklerden üç adedinin temellerinde yapılan kazık yükleme deneyleri ele alınmıştır. Deneyler sundukları sonuçlar açısından değerlendirilmiş, kayaya soketli kazıklarda soket yüzeyi birim sürtünme direnci, zemin bölümü sürtünme direnci ve kazık uç direnci için literatürde yer verilen bilgilerle deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney yapılan kazıkların ikisinde klasik yöntemle, birinde enstrümanlı yöntemle statik yükleme deneyi yapılmıştır.

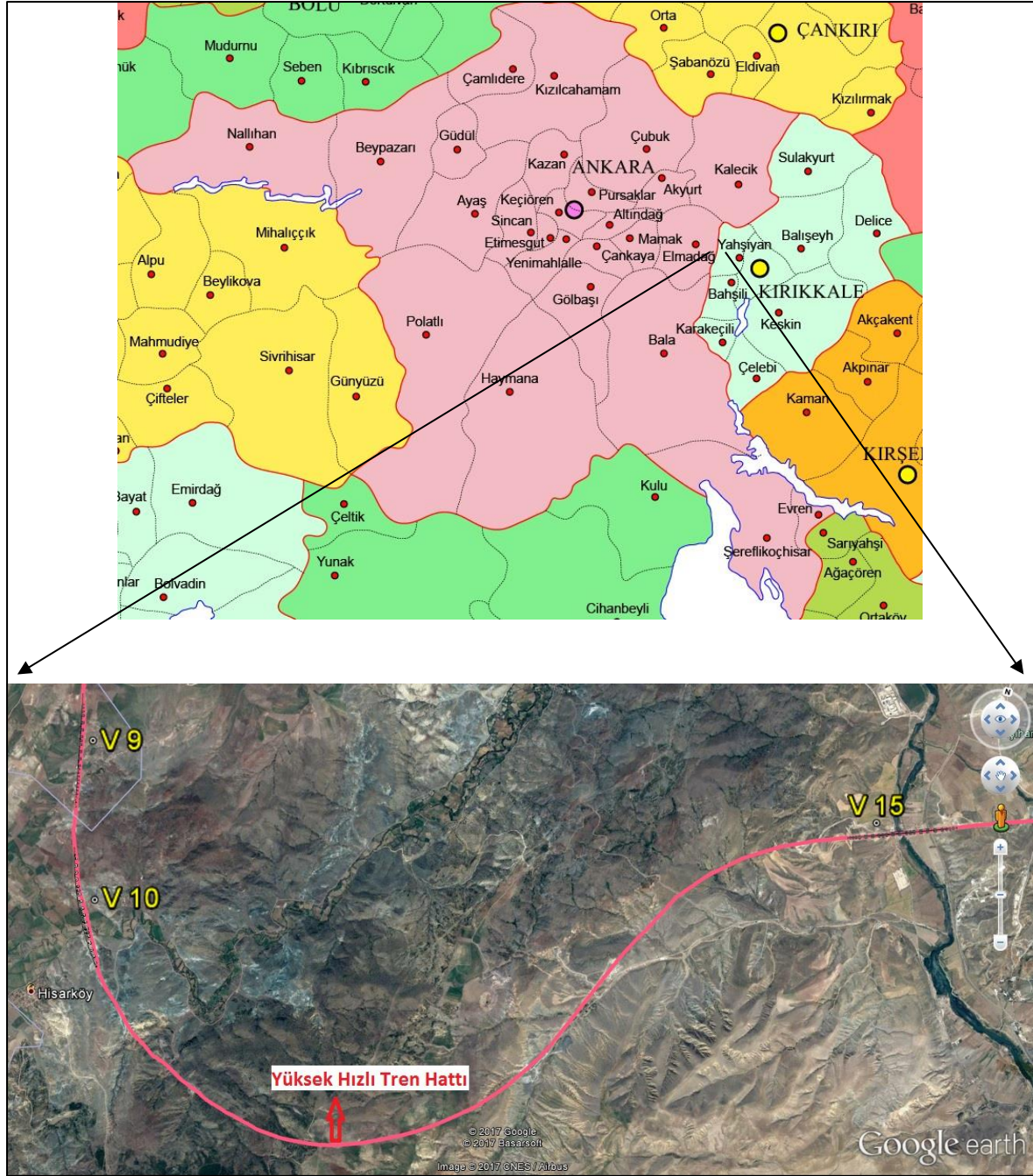
3.1. Proje Hakkında Genel Bilgiler

Çalışma konusu olan kazık yükleme deneyleri, Ankara-Sivas Yüksek Hızlı Tren Projesinin Kayaş-Kırıkkale kesiminde yer alan V9, V10 ve V15 viyadüklerine ait temellerde yapılmıştır. Bu viyadükler uzunluk ve ayak yüksekliği açısından, proje güzergâhında yer alan en büyük viyadükler arasında yer almaktadır. Viyadüklerin ayakları arasındaki en büyük açıklık 90 metredir. Bu açıklık hareketli kalıp sistemiyle tabliye inşa edilen dünyadaki en büyük açıklıktır. Viyadüklerin uzunluk ve en büyük ayak yüksekliği bilgileri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Viyadük bilgileri

Viyadük No	Uzunluk (m)	En Büyük Ayak Yüksekliği (m)
V9	1323,00	48,80
V10	1541,00	93,60
V15	1437,00	69,55

V9 viyadüğü Ankara ili Elmadağ ilçesi Edige köyü sınırlarında, V10 viyadüğü Kırıkkale ili Yahşıhan ilçesi Hisarköy köyü sınırlarında, V15 viyadüğü ise Kırıkkale ili Yahşıhan ilçesi Doğanlık mahallesi sınırlarında bulunmaktadır (Harita 3.1).



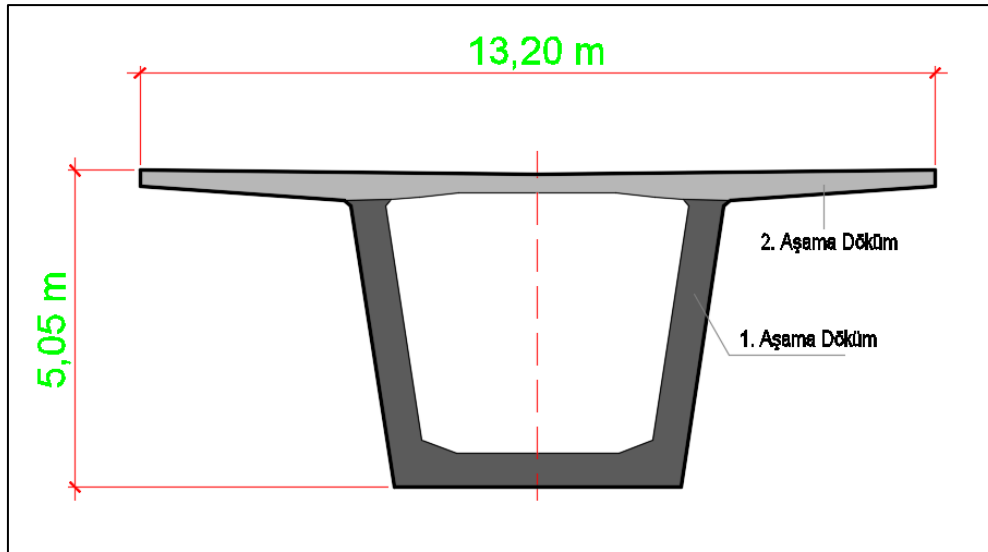
Harita 3.1. Yer gösterim haritası

Bu viyadükler ülkemizde tabliyesi hareketli kalıp sistemi (moveable scaffolding system) ile inşa edilen ilk viyadüklerdir. Hareketli kalıp sistemi çelik profillerin viyadük kenar ayağının gerisinde birleştirilmesiyle oluşturulan kafes kiriş şeklinde bir sistemdir. Montajı tamamlanan kalıp sistemi ilk açıklığa itilerek tablie inşaatına başlanır, tabliyenin tamamlanmasının ardından kalıp sistemi bir sonraki açıklığa itilir. Resim 3.1’de tablie inşasında kullanılan hareketli kalıp sistemi görülmektedir.

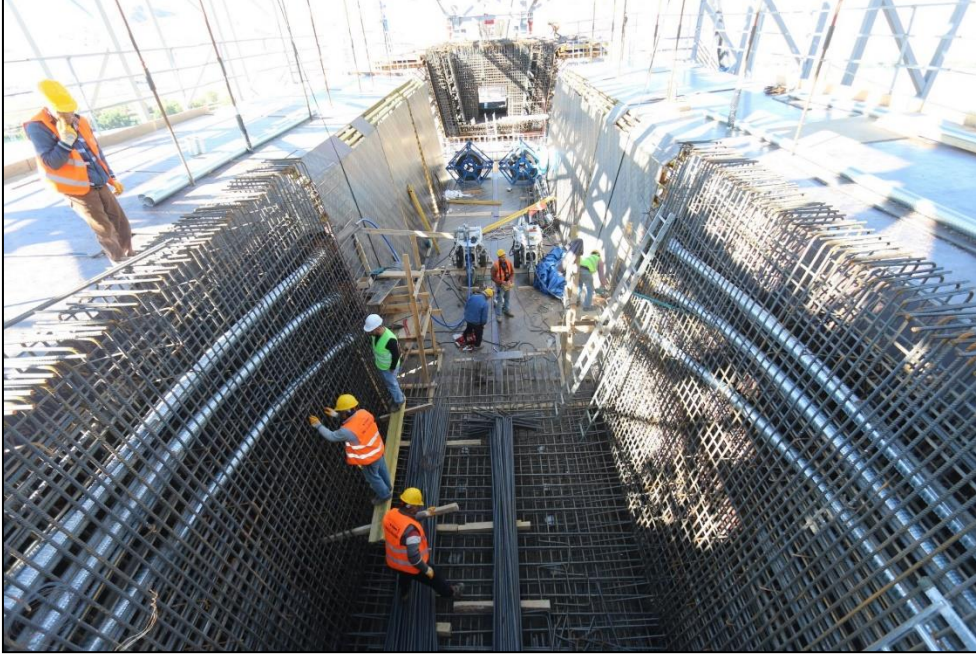


Resim 3.1. Viyadüklerde hareketli kalıp sistemi ile tabliye inşası

Omega kesitli viyadük tabliyeleri iki aşamalı olarak inşa edilmektedir. İlk aşamada kesitin tabanı ve yan perdeleri, ikinci aşamada ise üst kısım yapılmaktadır. Şekil 3.1’de viyadüklerin tabliye kesiti görülmektedir. Resim 3.2’de ilk aşamanın tabliye donatılarının ve ardgerme tendonları kılıf borularının montajı görülmektedir. Resim 3.3’te ise ilk aşaması tamamlanmış, ikinci aşamaya henüz başlanmamış bir tabliye görülmektedir.



Şekil 3.1. Tabliye kesiti

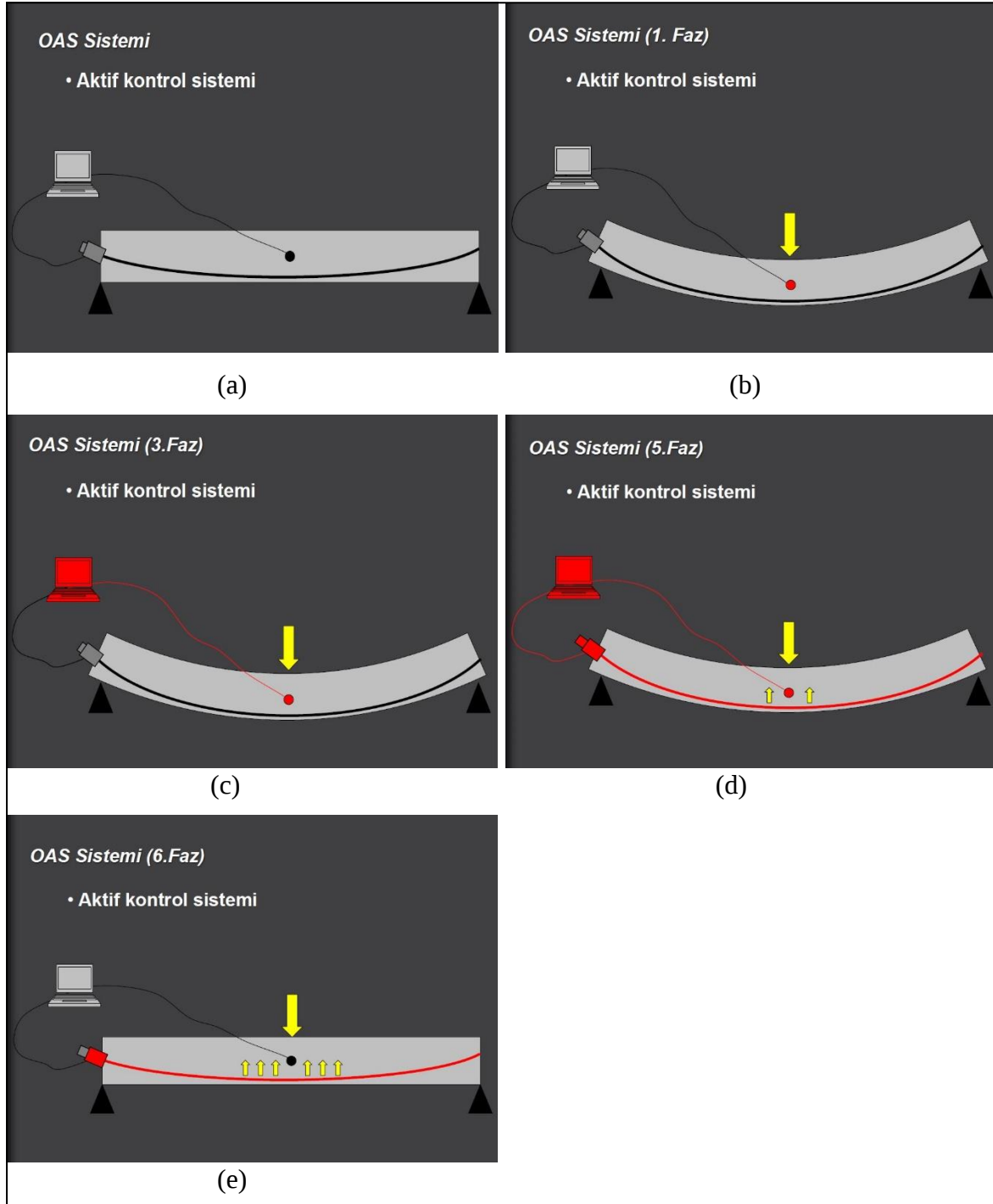


Resim 3.2. İlk aşamada donatıların ve kılıf borularının montajı



Resim 3.3. İlk aşaması tamamlanmış bir tabliye

Yöntemin en belirgin özelliği tabliye inşaatı sırasında kalıp sisteminin kendisinde ardgerme işlemi yapılmasıdır. Bu işlem Organik Ardgerme Sistemi (OAS) olarak isimlendirilen sistem yardımıyla yapılır. Şekil 3.2’de hareketli kalıp sisteminde OAS yardımıyla ardgerme uygulaması şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Hareketli kalıp sisteminde ardgerme uygulaması a) Yüke maruz kalmamış sistem b) Yükenin uygulanması c) Sınır düzeyi aşan sehimin algılanması d) Ardgerme yapılması e) Aşırı sehimin bertaraf edilmesi

Kalıp sisteminde boyuna yönde ardgerme halatları bulunmaktadır. Halatların bir yöndeki ucu sabit durumda, diğer ucu ise OAS tarafından kontrol edilen hidrolik krikoya bağlıdır. Tabliye inşaatı sırasında kalıp sisteminin orta noktasında devamlı suretle düşey sehim ölçülür ve anlık olarak OAS'ye iletilir. Özellikle beton dökümü sırasında toplam ağırlık

hızla artar ve bunun sonucunda sehim oluşur. OAS'nin uygulayacağı ardgerme işlemi kalıp sistemini sehimin tersi yönünde hareket ettirecektir. Sehim miktarı öngörülen limit değeri geçtiğinde OAS tarafından yeterli germe gücü hesaplanır ve kalıp sistemindeki ardgerme halatlarına germe uygulanır. Böylece sehim miktarının limit değerin altında kalması sağlanır.

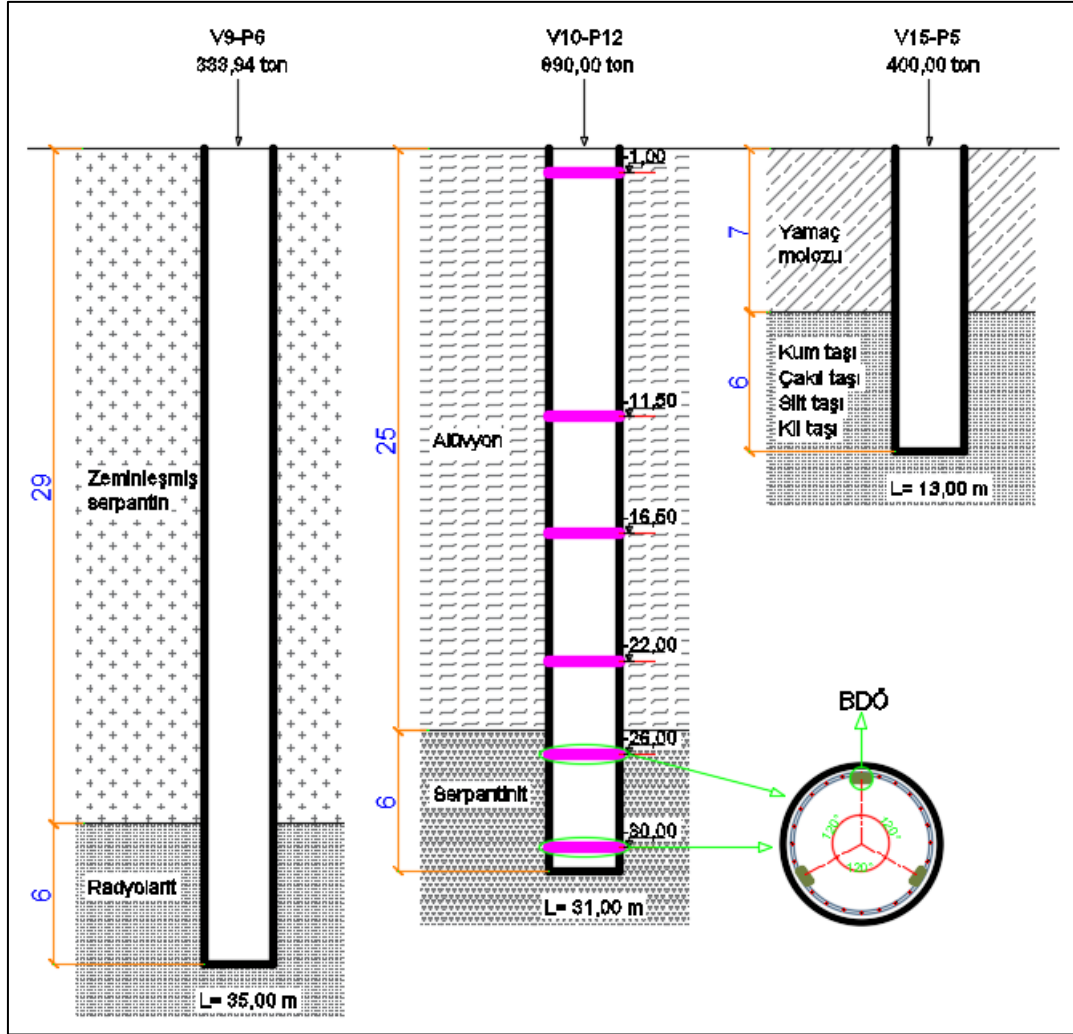
3.2. Deney Kazıkları

Deney kazıkları V9 viyadüğünün P6 temelinde, V10 viyadüğünün P12 temelinde ve V15 viyadüğünün P5 temelinde yer almaktadır. Bu çalışmada deney kazıkları V9-P6, V10-P12 ve V15-P5 olarak isimlendirilmiştir. Kayaya soketli kazık olarak tasarlanan deney kazıklarının hepsi 1500 mm çapındadır. Boyları ise değişkendir. V9-P6 kazığı 35 metre, V10-P12 kazığı 31 metre, V15-P5 kazığı ise 13 metre boyundadır. Kazık profilleri Şekil 3.3'te gösterilmektedir.

3.2.1. Jeolojik-geoteknik özellikler

Viyadüklerin temel tasarımı için arazi gözlemleri, sondaj kuyuları, saha deneyleri ve laboratuvar deneyleri yapılmış, buna bağlı olarak mühendislik parametreleri belirlenmiş ve geoteknik raporlar hazırlanmıştır. Yapılan saha deneyleri standart penetrasyon testi (SPT) ve presiyometre deneyi (PMT) dir. Zemin numunelerinde doğal su içeriği, Atterberg limitleri (likit limit, plastik limit, plastisite indeksi), dane boyutu dağılımı, serbest basınç dayanımı, konsolidasyonsuz drenajsız kayma dayanımı ve zemin sınıfı özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Ayrıca kaya numuneleri üzerinde deneyler yapılarak tek eksenli basınç dayanımı, elastisite modülü ve doğal birim hacim ağırlık belirlenmiştir (Gedik, 2015a, 2015b, 2015c).

Viyadüklerin tüm temellerinde sondaj kuyusu açılmıştır. V9-P6 ve V10-P12 temellerindeki sondaj kuyuları 45,0 metre, V15-P5 temelindeki sondaj kuyusu 25,5 metre derinliğe sahiptir. V9-P6 kuyusunda hem SPT hem PMT, V10-P12 ve V15-P5 kuyularında ise sadece SPT yapılmıştır. Sondaj lojlarına ve karot sandığı görüntülerine Ek-1 ve Ek-2'de yer verilmiştir. Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3'te SPT ve PMT sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Kazık profilleri

V9-P6 temelinin sondaj kuyusundan alınan örselenmiş numunelerde doğal su içeriği, dane boyutu dağılımı ve Atterberg limitleri belirlenmiş ve Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre zemin sınıfı tespit edilmiştir. Numuneler üzerinde herhangi bir dayanım testi yapılmamıştır. V10-P12 ve V15-P5 temellerinde ise örselenmiş numunelerde yapılan deneylere ilave olarak örselenmemiş numunelerde tek eksenli basınç dayanımı (q_u), nokta yükü dayanım indeksi (I_s) ve konsolidasyonsuz drenajsız kayma dayanımının belirlenmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları Çizelge 3.4, Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.2. SPT verileri (Gedik, 2015a, 2015b, 2015c)

Derinlik (m)	V9-P6	V10-P12	V15-P5	Derinlik (m)	V9-P6	V10-P12	V15-P5
1,5	7	7	13	24,0	28	18	-
3,0	14	9	18	25,5	37	22	Kuyu sonu
4,5	10	10	36	27,0	28	73	
6,0	17	6	40	28,5	29	72	
7,5	25	8	-	30,0	45	41	
9,0	27	11	-	31,5	47	-	
10,5	17	30	-	33,0	41	-	
12,0	31	19	-	34,5	45	R	
13,5	21	24	-	36,0	45	-	
15,0	19	25	-	37,5	R	-	
16,5	20	21	-	39,0	R	-	
18,0	19	25	-	40,5	R	-	
19,5	45	22	-	42,0	-	-	
21,0	56	22	-	43,5	-	-	
22,5	29	10	-	45,0	Kuyu sonu	Kuyu sonu	

Çizelge 3.3. PMT verileri (Gedik, 2015a)

Derinlik (m)	V9-P6		Derinlik (m)	V9-P6	
	P _L (kgf/cm ²)	E _M (kgf/cm ²)		P _L (kgf/cm ²)	E _M (kgf/cm ²)
3,0	9	91	27,0	27	710
6,0	10	71	30,0	30	555
9,0	12	130	33,0	-	-
12,0	13	83	36,0	-	-
15,0	18	255	39,0	-	-
18,0	22	174	42,0	-	-
21,0	28	236	45,0	Kuyu sonu	
24,0	33	562			

Çizelge 3.4. V9-P6 temeli laboratuvar deney verileri (Gedik, 2015a)

Derinlik (m)	Atterberg Limitleri (%)			Zemin Sınıfı (USCS)
	LL	PL	PI	
1,5	29,0	18,2	10,8	SC
4,5	54,6	24,6	30,0	CH
7,5	48,8	23,6	25,2	CL
10,5	34,4	17,0	17,4	CL
13,5	62,2	26,4	35,8	CH
16,5	34,8	17,0	17,8	SC
19,5	67,9	26,0	41,9	CH
22,5	64,9	25,5	39,4	CH
25,5	61,3	25,0	36,3	CH
28,5	65,0	25,5	39,5	CH
31,5	48,8	23,3	25,5	CL
34,5	39,5	22,1	17,4	CL
39,0	36,0	18,6	17,4	SC

Çizelge 3.5. V15-P5 temeli laboratuvar deney verileri (Gedik, 2015c)

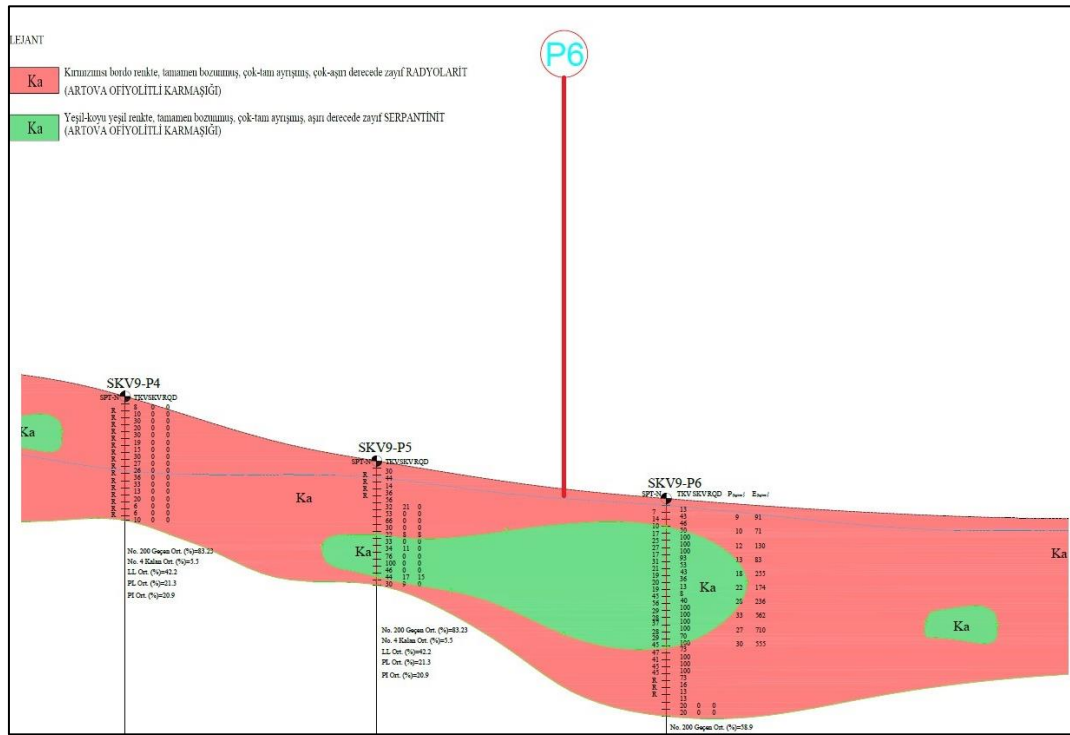
Derinlik (m)	Atterberg Limitleri (%)			Zemin Sınıfı (USCS)	q _u (kgf/cm ²)	I _s (kgf/cm ²)	UU	
	LL	PL	PI				c (kgf/cm ²)	Φ (°)
1,5	36,5	18,6	17,9	CL	-	-	-	-
2,5	35,8	19,7	16,1	CL	2	-	-	-
3,0	52,0	25,6	26,4	CH	-	-	-	-
5,5	53,7	24,7	29,0	CH	-	-	-	-
9,0	-	-	-	-	-	20,1	-	-
10,0	-	-	-	-	-	31,6	-	-
10,15	-	-	-	-	-	29,2	-	-
11,0	-	-	-	-	80	-	-	-
13,0	-	-	-	-	58	-	-	-
14,4	-	-	-	-	87	-	-	-
16,0	-	-	-	-	-	6,9	-	-
16,4	-	-	-	-	76	-	-	-
22,0	-	-	-	-	106	-	-	-
25,0	-	-	-	-	-	8,4	-	-

Çizelge 3.6. V10-P12 temeli laboratuvar deney verileri (Gedik, 2015b)

Derinlik (m)	Atterberg Limitleri (%)			Zemin Sınıfı (USCS)	q _u (kgf/cm ²)	I _s (kgf/cm ²)	UU	
	LL	PL	PI				c (kgf/cm ²)	Φ (°)
1,5	54,3	24,2	30,1	CH	-	-	-	-
2,5		NP		SM	-	-	-	-
4,5	62,0	25,2	36,8	CH	-	-	-	-
5,5	78,6	27,5	51,1	CH	-	-	0,71	8
7,5	36,0	19,3	16,7	CL	-	-	-	-
8,5	78,7	27,4	51,3	CH	3,01	-	-	-
10,5		NP		SM	-	-	-	-
13,5	40,7	22,8	17,9	CL	-	-	-	-
16,5	28,0	16,1	11,9	SC	-	-	-	-
19,5	33,5	18,5	15,0	SC	-	-	-	-
22,5	35,7	16,3	19,4	SC	-	-	-	-
25,5	46,7	19,4	27,3	CL	-	-	-	-
27,0	36,7	17,6	19,1	SC	-	-	-	-
28,5		NP		GP-GM	-	-	-	-
30,0		NP		GW	-	-	-	-
30,0	-	-	-	-	-	35,9	-	-
31,5	-	-	-	-	566	-	-	-
32,5	-	-	-	-	-	30,6	-	-
33,0	-	-	-	-	-	18,1	-	-
34,5	-	-	-	-	-	29,8	-	-
36,0	-	-	-	-	-	27,2	-	-
37,5	-	-	-	-	-	31,3	-	-
39,0	-	-	-	-	-	32,6	-	-
39,5	-	-	-	-	237	-	-	-
40,5	-	-	-	-	613	-	-	-
42,0	-	-	-	-	317	-	-	-
43,5	-	-	-	-	183	-	-	-
43,0	-	-	-	-	350	-	-	-
45,0	-	-	-	-	367	-	-	-

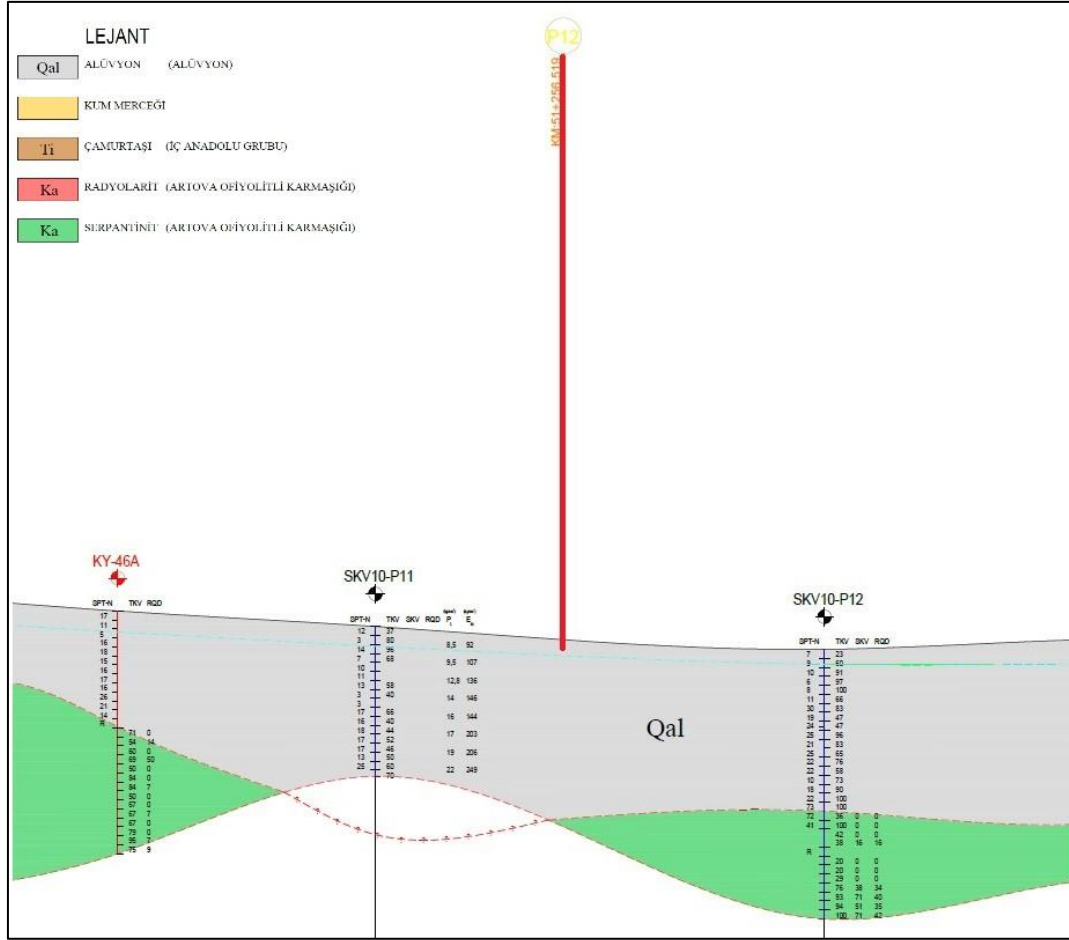
V9-P6 kazığının inşa edildiği bölgede Artova Ofiyolitli Karmaşığı olarak isimlendirilen birim yer almaktadır. Artova Ofiyolitli Karmaşığı serpantinit ve radyolarit birimlerinden oluşmaktadır. Bu karmaşığa ait radyolarit birimi genel olarak kırmızı-bordo renkte,

tamamen bozunmuş, yer yer artık zemin niteliğinde, çok-tam ayrıışmış, parçalanmış, çok-aşırı derecede zayıftır. Serpantinit ise yeşil-koyu yeşil renkte, tamamen bozunmuş-artık zemin, çok-tam ayrıışmış, çok çatlaklı yer yer parçalanmış, aşırı derecede zayıf birim özelliğindedir (Gedik, 2015a). V9-P6 kazığı radyolarite 6 metre soketlenmiştir. Yeraltı su seviyesi 2 metre olarak belirlenmiştir. İlgili bölgenin jeolojik profili Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



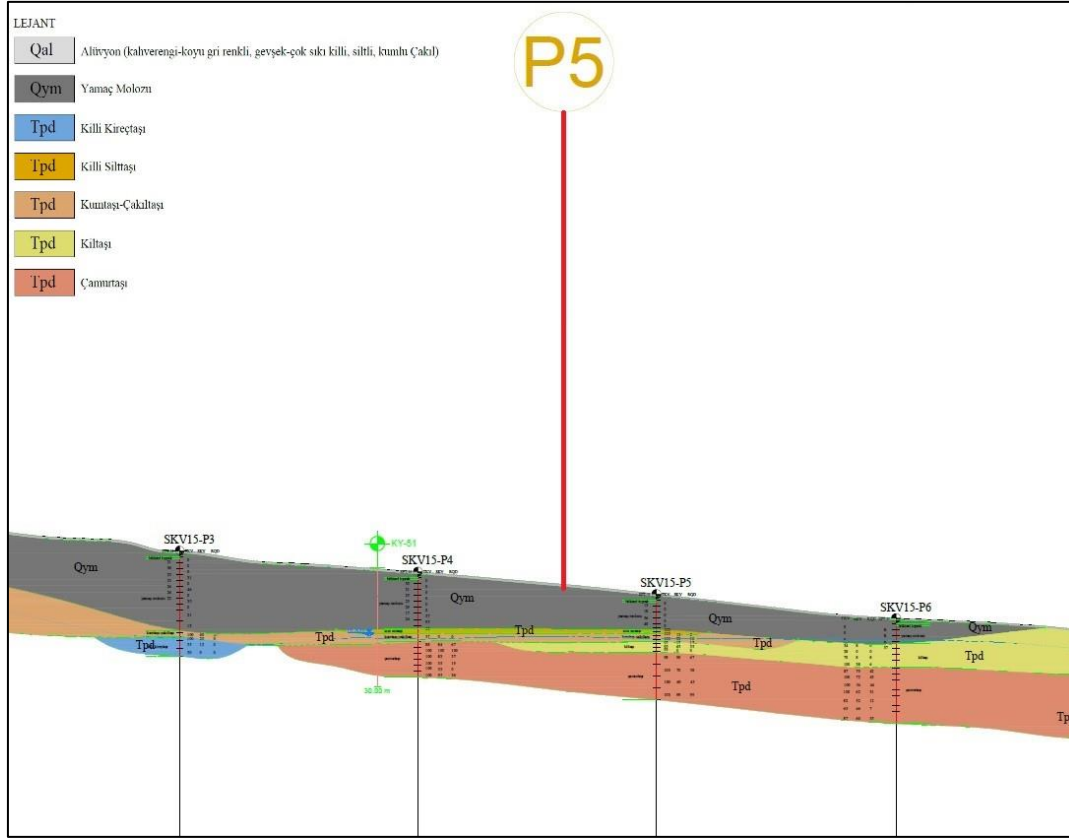
Şekil 3.4. V9 viyadüğü P6 temel bölgesinin jeolojik profili

V10-P12 kazığının inşa edildiği bölgede Artova Ofiyolitli Karmaşığı ve üzerinde alüvyon birim yer almaktadır. Alüvyon birim bölgedeki dere yatağında gözlenen pekişmemiş kayaç parçaları, kum ve kil karışımından oluşmaktadır. Birim içerisinde koyu gri-kahverengi ve sarımsı-krem renkte, gevşek-sıkı siltli kum; yumuşak-katı kumlu siltli kil ve yer yer ince-iri taneli köşeli çakıl bulunmaktadır. Bu bölgedeki Artova ofiyolitli karmaşığı serpantinit içermektedir. Serpantinit birimi açık yeşil-bej ve yeşil-koyu yeşil renkte, yer yer mat, yer yer parlak ve pürüzsüz, tam ayrıışmış parçalanmış, parçalı kırıklı, çatlaklı yapıdadır. Çatlaklarda yer yer kalsit dolgular gözlenmiştir (Gedik, 2015b). V10-P12 kazığı serpantinite 6 metre soketlenmiştir. Yeraltı su seviyesi 2,5 metre olarak belirlenmiştir. İlgili bölgenin jeolojik profili Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5. V10 viyadüğü P12 temel bölgesinin jeolojik profili

V15-P5 kazığının inşa edildiği bölgede Dizilitaş Formasyonu olarak isimlendirilen birim ve üzerindeki yamaç molozu yer almaktadır. Yamaç molozu kahverengi, yer yer bloklu, genellikle orta sıkı, yer yer çok sıkı, bol miktarda çakıl içeren, siltli, killi kumdan oluşmaktadır. Viyadük bölgesinde ana kayayı oluşturan Dizilitaş formasyonu silttaş - çamurtaş, kumtaş - çakıltaş birimlerinden oluşmaktadır. Bu birimler genel olarak açık kahverengi sarımsı bej renkli, zayıf - çok zayıf dayanımlı, orta derecede - çok ayrılmış yer yer tamamen bozuşmuştur. Yamaç molozu ise kahverengi renkli, yer yer bloklu, genellikle orta sıkı, yer yer çok sıkı, bol miktarda çakıl içeren, siltli, killi, kumdan oluşmaktadır (Gedik, 2015c). V15-P5 kazığı çamurtaşına 6 metre soketlenmiştir. Yeraltı su seviyesi 9,7 metre olarak belirlenmiştir. İlgili bölgenin jeolojik profili Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. V15 viyadüğü P5 temel bölgesinin jeolojik profili

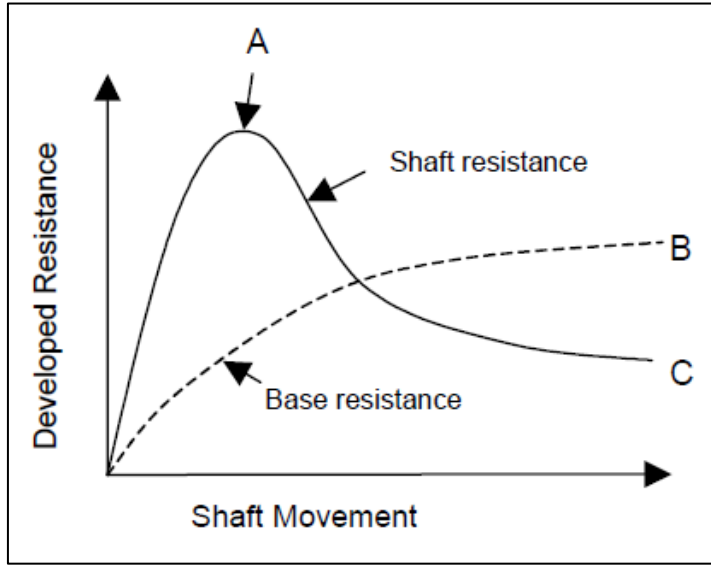
3.2.2. Kazık tasarımı

Deney kazıklarının tasarımında AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2012) kriterleri esas alınmıştır (Gedik, 2015a, 2015b, 2015c). Bu şartnamede basınç yükü altında oluşturulacak kayaya soketli fore kazıkların üç farklı şekilde tasarlanabileceği belirtilmiştir. Bunlar şu şekildedir:

- 1) Sadece soket bölümü sürtünme direncine bağlı olarak tasarım yapılması,
- 2) Sadece uç direncine bağlı olarak tasarım yapılması,
- 3) Hem uç direnci hem de soket bölümü sürtünme direnci hesaba katılarak tasarım yapılması.

Kayada eksenel basınç yükü altında oluşturulacak fore kazıklarda, zemin bölümünde ve kaya bölümünde sürtünme direncini mobilize edecek deplasman miktarının, uç direncini mobilize edecek deplasman miktarından farklı olduğu dikkate alınmalıdır. Tasarımda uç direncinin hesaba katıldığı durumlarda, sürtünme direnci azaltılmalıdır. Çünkü uç

direncinin mobilize olması için gerekli deplasman miktarı oluştuğunda, pik seviyedeki sürtünme direncini sağlayan deplasman miktarı geçilmiş olacak ve sürtünme direncinde azalma olacaktır. Kuyu tabanının temizlenemediği ve kontrol edilemediği veya uç direncinin mobilize olması için yüksek miktarda deplasman olmasının gerektiği durumlarda, sadece soket bölümü sürtünme direncine bağlı olarak tasarım yapılmalıdır (AASHTO, 2012). Şekil 3.7’de basınç yükü altındaki fore kazıklarda uç direnci ve soket direncinin değişimine yer verilmiştir.



Şekil 3.7. Basınç yükü altındaki kayaya soketli fore kazıklarda uç direnci ve soket direncinin değişimi (AASHTO, 2012).

Deney kazıklarının emniyetli taşıma gücü sadece soket yüzeyi sürtünme direnci esas alınarak hesaplanmıştır. Zemin sürtünme direnci ve kazık uç direnci hesaba katılmamıştır. Sürtünmeyle ve uç direnciyle zemine yük aktarımı yapılabilmesi için yük uygulandığında kazıkta farklı miktarda deplasman olması gerekir. Uç direnci için gerekli deplasman sürtünme direnci için gerekli deplasmana nazaran daha büyüktür. Diğer yandan kayaların kayma direnci, zeminlerin kayma direncine göre çok daha büyüktür. Yeterli soket boyuna sahip olan kazıkta, yük öncelikle soket bölümünde sürtünme marifetiyle karşılanır. Dolayısıyla uç direncinin ve soket bölümünün yukarısında kazık/zemin arasındaki sürtünme direncinin kazık taşıma kapasitesine katkısı sınırlı düzeyde kalır. Bu nedenle kayaya soketli kazıklarda yükün soket bölümünde kazık ile kaya arasındaki sürtünme direnci tarafından karşılanacağı prensibine göre hesap yapılabilir.

Deney kazıklarının soket yüzeyi birim sürtünme dirençleri AASHTO'da (2012) verilen eşitlik esas alınarak hesaplanmıştır (Eş. 3.1). α_e değeri Çizelge 3.7'de verilen tablodan elde edilmiştir. Kazıkların soketlendiği kayaların hepsi parçalanmış, ayrıışmış kayaçlar olarak tanımlanmıştır. Bu nedenle hesaplamalardaki α_e değeri 0,45 olarak alınmıştır.

$$f_s = 0,65 \cdot \alpha_e \cdot P_a \cdot \left(\frac{q_u}{P_a} \right)^{0,5} \quad (3.1)$$

f_s : Birim sürtünme direnci,

α_e : Kaya eklem durumuna göre azaltma faktörü,

q_u : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,

P_a : Atmosferik basınç (≈ 100 kPa).

Çizelge 3.7. α_e değerleri (O'Neill ve Reese, 1999)

RQD (%)	α_e	
	Aralıksız eklemeler	Aralıklı veya ara dolgulu eklemeler
100	1,00	0,85
70	0,85	0,55
50	0,60	0,55
30	0,50	0,50
20	0,45	0,45

V9-P6 kazığının soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımı 15 MPa olarak alınmıştır. Fakat bu değer V9-P6 temelinde elde edilen numuneler üzerindeki tek eksenli basınç deneylerinden elde edilmemiştir. V9 viyadüğünün tüm temellerindeki tam-çok, orta-çok ayrıışmış kayaçların numunelerinden elde edilen dayanımların ortalaması alınarak 15 MPa değeri bulunmuş ve kazık imal edilen temellerin tümünde aynı dayanım değeri kullanılmıştır (Gedik, 2015a). V9-P6 temelindeki geoteknik incelemelerde Bölüm 3.2.1'de özetlendiği şekilde dayanım deneyi yapılmamıştır.

V10-P12 kazığının soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımı 30 MPa olarak alınmıştır. Bu değer V10-P12 temelinde elde edilen numuneler üzerindeki tek eksenli basınç deneylerinden elde edilmemiştir. V10 viyadüğünün tüm temellerindeki tam-çok ayrıışmış kayaçların numunelerinden elde edilen dayanımların ortalaması alınarak 35 MPa

değeri bulunmuş ve kazık imal edilen temellerin tümünde bu değere yakın bir değer olan 30 MPa değeri kullanılmıştır (Gedik, 2015b). Diğer yandan V10-P12 temelinde 39-45 metre arasındaki numuneler üzerinde yapılan 6 adet tek eksenli basınç dayanımı deneyinin ortalaması 34 MPa civarındadır (Bkz. Çizelge 3.6). Dolayısıyla geoteknik raporda seçilen değerle yaklaşık olarak uyumlu görünmektedir.

V15-P5 kazığının soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımı 8,5 MPa olarak alınmıştır. Bu değer diğer viyadüklerdekine benzer şekilde V15-P5 temelinde elde edilen numuneler üzerindeki tek eksenli basınç deneylerinden elde edilmemiştir. V15 viyadüğünün tüm temellerindeki tam-çok, orta-çok, az-orta ayrıışmış kayaçların numunelerinden elde edilen dayanımların ortalaması alınarak 8,5 MPa değeri bulunmuş ve kazık imal edilen temellerin tümünde aynı dayanım değeri kullanılmıştır (Gedik, 2015c). Diğer yandan V15-P5 temelinde 10-22 metre arasındaki numunelerde yapılan 5 adet tek eksenli basınç dayanımı deneyinin ortalaması 8 MPa civarındadır (Bkz. Çizelge 3.5). Dolayısıyla geoteknik raporda seçilen değerle yaklaşık olarak uyumlu görünmektedir.

Soket bölümü sürtünme dayanımı (Q_{sk}) Eş. 3.2'den hesaplanmıştır. Soket boyu deney kazıklarının tümünde 6 metredir. Çizelge 3.8'de deney kazıklarının hesaplanan kapasiteleri gösterilmektedir. Güvenlik sayısı geoteknik raporlarda 2 alınmıştır.

$$Q_{sk} = f_s \cdot \pi \cdot D \cdot L_s \quad (3.2)$$

Q_{sk} : Soket bölümü sürtünme dayanımı,

D: Kazık çapı,

L_s : Soket boyu.

Çizelge 3.8. Deney kazıklarının soket bölümü sürtünme dirençleri

Kazık No	q_u (MPa)	f_s (MPa)	f_s (ton/m ²)	L_s (m)	D (m)	Güvenlik Sayısı	Q_{sk} (ton)
V9-P6	15,0	0,36	36	6,0	1,5	2	510
V10-P12	30,0	0,51	51				720
V15-P5	8,5	0,27	27				380

Öte yandan kazıklara gelen yükler proje firması tarafından bilgisayar ortamında hesaplanmış ve aynı temeldeki her kazık için ayrı ayrı yükler belirlenmiştir. Çizelge 3.9'da kazıklar için hesaplanan yükler, deney yükleri ve kazığın soketlendiği kayanın özellikleri gösterilmektedir. Deney yükleri hesaplanan yüklerin iki katı olacak şekilde planlanmıştır. Ancak V10-P12 kazığında yükleme krikosunun kapasitesinin sınırlı olması sebebiyle kazık hesaplanan yükün ancak 1,8 katına kadar yüklenebilmiştir.

Çizelge 3.9. Deney kazıkları ve soketlendikleri kaya birimleri

Kazık No	Kazık Çapı (m)	Kazık Boyu (m)	Soket Boyu (m)	Tasarım Yüğü (ton)	Maksimum Deney Yüğü (ton)	Soketlenen Kaya Özellikleri
V9-P6	1,50	35,00	6,00	333,94	668,00	Radyolarit. Kahverengi, bordo renkte. Mat, pürüzlü. Tamamen bozunmuş - artık zemin, çok - tamamen ayrılmış, çok çatlaklı - parçalanmış, aşırı derecede zayıf. Süreksizlikler, çatlaklar kalsit dolgulu. Ayrışma Derecesi: W5, RQD = 0, $q_u \cong 15$ MPa
V10-P12	1,50	31,00	6,00	890,00	1 600,00	Serpantinit. Açık yeşil - bej ve yeşil - koyu yeşil renklerde. Yer yer mat, yer yer parlak ve pürüssüz görünümlü. Tam ayrılmış, parçalanmış, parçalı kırıklı, çatlaklı, çatlaklar arasında yer yer kalsit dolgulu. Birim içerisinde yer yer killeşmiş birimler mevcut. Aşırı zayıf - orta derecede sağlam aralığında dayanıma sahip. Ayrışma Derecesi: W4-W5, RQD = 0, $q_u \cong 30$ MPa
V15-P5	1,50	13,00	6,00	400,00	800,00	Kum taşı, çakıl taşı, kil taşı, silt taşı. Açık kahverengi sarımsı bej renkli, zayıf - çok zayıf dayanımlı, orta derecede - çok ayrılmış, yer yer tamamen bozunmuş. Ayrışma Derecesi: W3-W4, RQD = 15, $q_u \cong 8,5$ MPa

Kazıkların soketlendiği kayaların RQD değerleri 0 – 15 arasında değişmektedir. RQD değerinin bu kadar düşük olduğu durumlarda ortalama q_u değeri yerine minimum q_u değerine bağlı tasarım yapılması daha güvenilir olur. Tek eksenli basınç deneyi V9-P6'dan alınan numunelerde yapılmamıştır. V10-P12 ve V15-P5'te soket seviyesinde alınan numunelerde ise minimum tek eksenli basınç dayanımı sırasıyla $183 \text{ kgf/cm}^2 (\cong 18 \text{ MPa})$ ve $58 \text{ kgf/cm}^2 (\cong 6 \text{ MPa})$ olarak elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 3.5 ve Çizelge 3.6). Bu değerlere bağlı olarak hesaplanan kapasiteler Çizelge 3.10'da gösterilmektedir.

Çizelge 3.10. Minimum q_u ile hesaplanan soket bölümü sürtünme dirençleri

Kazık No	q_u (MPa)	f_s (MPa)	f_s (ton/m ²)	L_s (m)	D (m)	Güvenlik Sayısı	Q_{sk} (ton)	Tasarım kapasitesine oranı
V10-P12	18,0	0,39	39	6,0	1,5	2	551	%76
V15-P5	6,0	0,23	23				325	%85

3.3. Tasarım Birim Sürtünme Dirençlerinin Literatürle Karşılaştırılması

İkinci bölümde Kulhawy ve diğerlerinin (2005) kazığın soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak kazık taşıma kapasitesinin hesaplanması için literatürde verilen on farklı yöntemi karşılaştırdığı bir araştırmadan bahsedilmiştir (Bkz. Çizelge 2.1). Bu araştırmada ele alınan yöntemlere göre deney kazıklarının soket bölümü birim sürtünme dirençleri hesaplanarak tasarımdaki birim sürtünme dirençleri ile karşılaştırılmıştır. Tasarımdaki birim sürtünme dirençleri Çizelge 3.11'de gösterilmektedir. Karşılaştırma sonuçları ise Çizelge 3.12, Çizelge 3.13 ve Çizelge 3.14'te gösterilmektedir.

Çizelge 3.11. Tasarımdaki birim sürtünme dirençleri

Kazık No	f_s (MPa)
V9-P6	0,36
V10-P12	0,51
V15-P5	0,27

Çizelge 3.12. V9-P6 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması

Hesap Yöntemi	C	n	q_u (MPa)	f_s (MPa)	Tasarımda hesaplanan f_s 'ye oranı
Rosenberg ve Journeux	1,09	0,52	15,00	1,48	4,1
Horvath ve Kenny	0,65	0,50		0,80	2,2
Meigh ve Wolski	0,55	0,60		1,11	3,1
Williams ve diğerleri	1,84	0,37		1,18	3,3
Rowe ve Armitage	1,42	0,50		1,74	4,8
Carter ve Kulhawy	0,63	0,50		0,77	2,1
Reese ve O'Neill	0,65	0,50		0,80	2,2
Kulhawy ve Phoon	1,42	0,50		1,74	4,8
Zhang ve Einstein	0,63	0,50		0,77	2,1
Prakoso	1,00	0,50		1,23	3,4

Çizelge 3.13. V10-P12 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması

Hesap Yöntemi	C	n	q_u (MPa)	f_s (MPa)	Tasarımda hesaplanan f_s 'ye oranı
Rosenberg ve Journeux	1,09	0,52	30,00	2,12	4,2
Horvath ve Kenny	0,65	0,50		1,13	2,2
Meigh ve Wolski	0,55	0,60		1,69	3,3
Williams ve diğerleri	1,84	0,37		1,52	3,0
Rowe ve Armitage	1,42	0,50		2,46	4,8
Carter ve Kulhawy	0,63	0,50		1,09	2,1
Reese ve O'Neill	0,65	0,50		1,13	2,2
Kulhawy ve Phoon	1,42	0,50		2,46	4,8
Zhang ve Einstein	0,63	0,50		1,09	2,1
Prakoso	1,00	0,50		1,73	3,4

Çizelge 3.14. V15-P5 kazığında birim sürtünme dirençlerinin karşılaştırması

Hesap Yöntemi	C	n	q_u (MPa)	f_s (MPa)	Tasarımda hesaplanan f_s 'ye oranı
Rosenberg ve Journeux	1,09	0,52	8,50	1,10	4,1
Horvath ve Kenny	0,65	0,50		0,60	2,2
Meigh ve Wolski	0,55	0,60		0,79	2,9
Williams ve diğerleri	1,84	0,37		0,95	3,5
Rowe ve Armitage	1,42	0,50		1,31	4,8
Carter ve Kulhawy	0,63	0,50		0,58	2,1
Reese ve O'Neill	0,65	0,50		0,60	2,2
Kulhawy ve Phoon	1,42	0,50		1,31	4,8
Zhang ve Einstein	0,63	0,50		0,58	2,1
Prakoso	1,00	0,50		0,92	3,4

Hesaplanan birim sürtünme dirençleri tasarımdaki birim sürtünme dirençlerinin oldukça üzerinde geniş bir aralığa yayılmıştır. Hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 2,1 ile 4,8 arasında değişmektedir. Her bir kazıkta aynı yöntemle hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı hemen hemen eşit olmuştur.

Tasarımda kullanılan ve AASHTO LRFD Bridge Design Specifications'da (2012) verilen eşitlik Reese ve O'Neill tarafından önerilen eşitliktir (Bkz. Eş. 3.1). Fakat tasarım değerinin literatürde sunulanlara kıyasla oldukça küçük olarak ortaya çıkmasının sebebi, tasarımlarda kazığın soketlendiği kayanın süreksizlik durumuna bağlı olarak verilen azaltma faktörünün (α_e) kullanılmış olmasıdır (Bkz. Çizelge 3.7). Seçilen azaltma faktörü $\alpha_e = 0,45$ 'dir. Bu faktör göz önüne alınmadığında hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 1,0 ile 2,2 arasında değişecektir. Karşılaştırma yapılan on farklı yöntem arasında en düşük birim sürtünme direncini veren dört yöntem Horvath ve Kenny, Carter ve Kulhawy, Zhang ve Einstein, Reese ve O'Neill yöntemleridir. Buna göre diğer pek çok yöntemle nazaran tasarımda Reese ve O'Neill yöntemi kullanılarak daha güvenli tarafta kalınmıştır.

Elde edilen birim sürtünme dirençlerinin yayıldığı aralık genişliği, kazık kapasitesi belirlenirken deneysel yöntemler kullanılmasının önemini göstermektedir. Ampirik eşitliklere nazaran daha güvenilir veri sağlayan deneysel yöntemlerden biri enstrümanlı kazık yükleme deneyidir.

4. YÜKLEME DENEYLERİ

4.1. Deney Kazıklarının İmalatı

Bu çalışmada konu edilen deneyler kayaya soketli betonarme fore kazıklarda uygulanmıştır. Kazıklar oluşturulurken C30/37 sınıfında beton ve S420a sınıfında donatı çeliği kullanılmıştır. Betonarme fore kazıklar oluşturulurken sırasıyla delgi yapılarak kuyu açılmakta, donatı kafesi kuyuya indirilmekte ve beton dökülerek imalat tamamlanmaktadır. Genellikle donatı kafesi kuyu delgisinden önce hazırlanır. Resim 4.1, Resim 4.2 ve Resim 4.3'te imalat aşamalarına ait fotoğraflar yer almaktadır.



Resim 4.1. Delgi makinesi ile kuyu açılması



Resim 4.2. Kazık donatısının kuyuya indirilmesi



Resim 4.3. Kazık kuyusunun betonlanması

4.2. Yükleme Deneylerinin Yapılışı

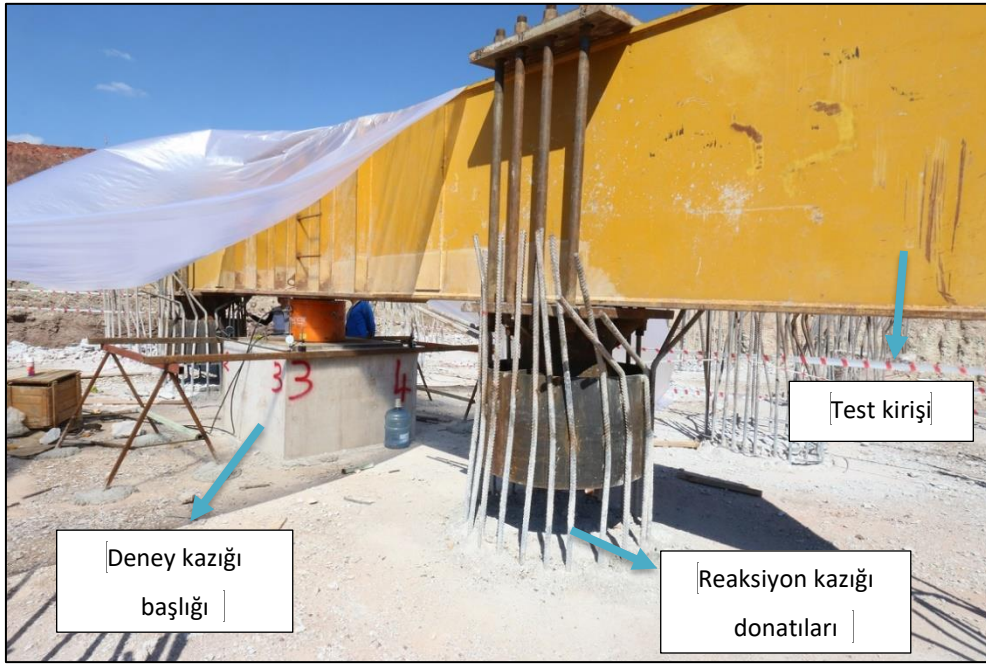
Kazık yükleme deneyleri ASTM D1143/D1143M-07 (2013) standardı esas alınarak yapılmıştır. Yükleme programı kademeler halinde iki döngülü yükleme şeklinde planlanmıştır. Birinci döngüde kazık tasarım yüküne kadar yükleme yapılması ve yükün boşaltılması, buna müteakiben ikinci döngüde kazık tasarım yükünün iki katına kadar yükleme yapılması ve yükün boşaltılması tasarlanmıştır, yük artış ve azalış kademeleri tasarım yükünün 1/4'ü şeklinde uygulanmıştır.

Yükleme deneyine başlanmadan önce yükün kazığa düzgün dağılımla uygulanabilmesi için dikdörtgen prizma şeklinde bir betonarme kazık başlığı yapılmıştır. Yük altında betonarme başlığın ezilmemesi için yoğun şekilde donatı kullanılmıştır. Başlık kirişi donatıları Resim 4.4'te gösterilmektedir.

Reaksiyon kazığı olarak deney kazığının yakınındaki diğer kazıklar kullanılmıştır. Reaksiyon kazıklarının donatılarına çelik başlıklar kaynaklanmıştır. Çelik başlıklar yardımıyla reaksiyon kazıklarına sabitlenen test kirişinden faydalanılarak hidrolik krikodan deney kazığına yük aktarımı sağlanmıştır. Kazık başlığının köşelerine yerleştirilen 0,01 mm ölçüm hassasiyetine sahip dört adet komparatörle yükleme sırasında oluşan düşey deplasman tespit edilmiştir. Her yük kademesinde tespit edilen deplasman değerlerinin ortalaması o yük kademesine ait deplasman değeri olarak kaydedilmiştir. Deney düzeneği Resim 4.5'te gösterilmektedir.



Resim 4.4. Betonarme kazık başlığı donatıları



Resim 4.5. Kazık yükleme deneyi düzeneği

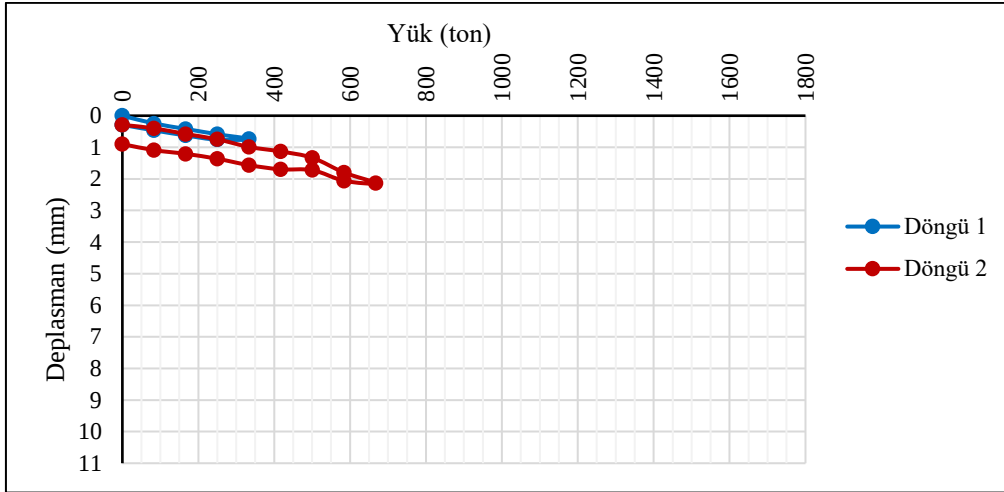
4.3. Yükleme Deneylerinin Sonuçları

Yükleme deneylerinde her yük kademesinde elde edilen deplasman değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir.

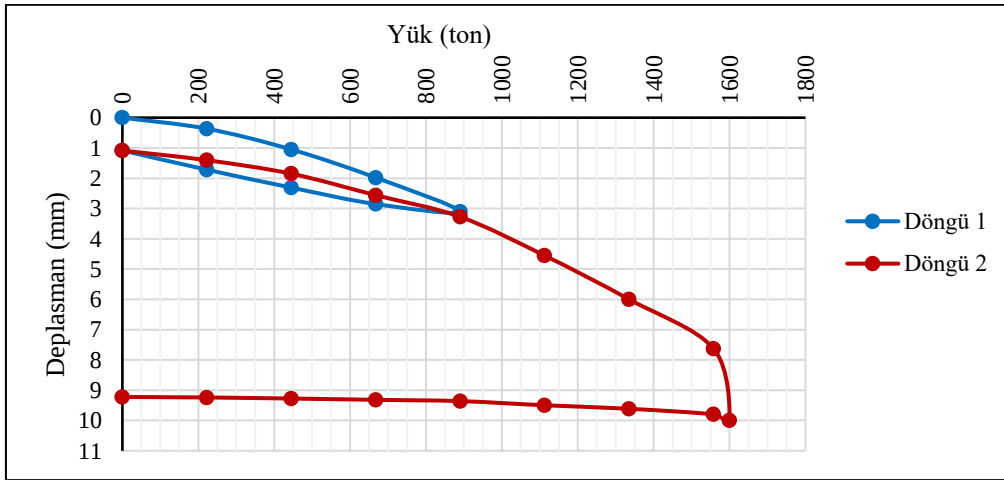
Çizelge 4.1. Yükleme deneyinde elde edilen düşey deplasman değerleri

V9-P6 Kazığı		V10-P12 Kazığı		V15-P5 Kazığı	
Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)	Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)	Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)
0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
83,49	0,245	222,50	0,365	100,00	0,175
166,97	0,418	445,00	1,050	200,00	0,225
250,46	0,587	667,50	1,980	300,00	0,265
333,94	0,740	890,00	3,105	400,00	0,380
250,46	0,760	667,50	2,853	300,00	0,345
166,97	0,625	445,00	2,310	200,00	0,295
83,49	0,465	222,50	1,718	100,00	0,225
0,00	0,290	0,00	1,085	0,00	0,130
83,49	0,400	222,50	1,405	100,00	0,215
166,97	0,580	445,00	1,850	200,00	0,278
250,46	0,748	667,50	2,560	300,00	0,335
333,94	0,988	890,00	3,275	400,00	0,415
417,40	1,133	1112,50	4,553	500,00	0,458
501,00	1,333	1335,00	5,998	600,00	0,525
584,00	1,800	1557,50	7,623	700,00	0,613
668,00	2,135	1600,00	9,998	800,00	0,868
584,00	2,060	1557,50	9,798	700,00	0,760
501,00	1723	1335,00	9,613	600,00	0,712
417,40	1,698	1112,50	9,498	500,00	0,658
333,94	1,565	890,00	9,360	400,00	0,543
250,46	1,363	667,50	9,317	300,00	0,440
166,97	1,208	445,00	9,275	200,00	0,382
83,49	1,090	222,50	9,240		
0,00	0,898	0,00	9,223		

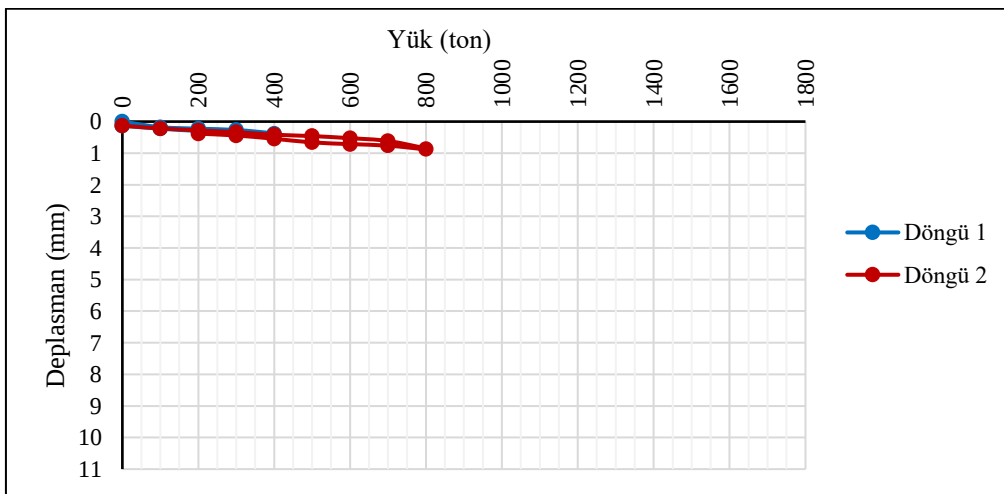
Deney sonuçları ile oluşturulan yük-deplasman grafikleri Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.1. V9-P6 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 35 m)



Şekil 4.2. V10-P12 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 31 m)

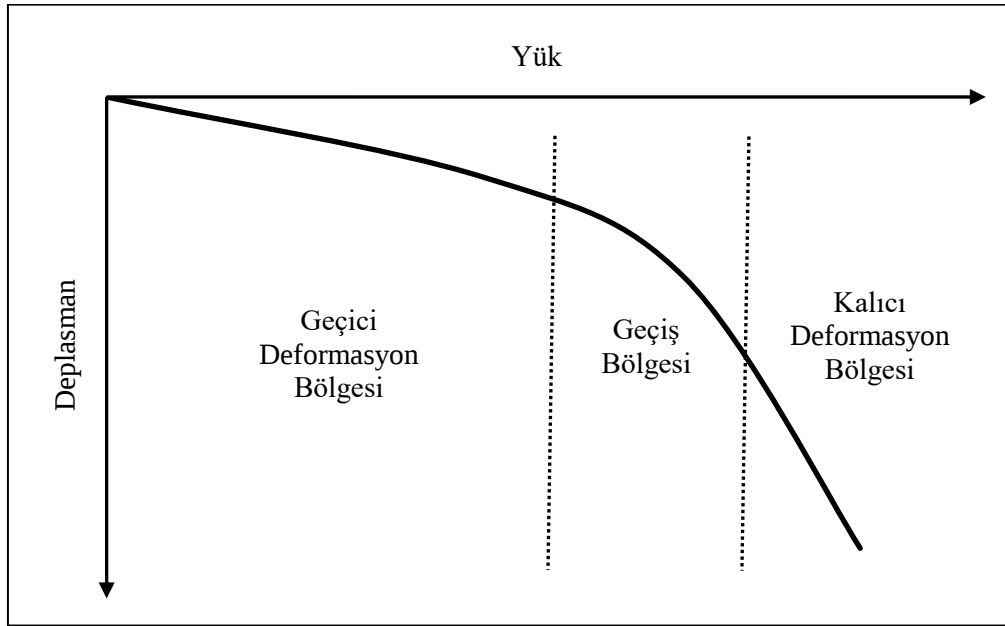


Şekil 4.3. V15-P5 deneyine ait yük-deplasman grafiği (L= 13 m)

En büyük deplasman miktarı tasarım yükünün iki katında V9-P6 ve V15-P5 kazıklarında sırası ile 2,135 mm ve 0,868 mm; V10-P12 kazığında ise tasarım yükünün 1,8 katında 9,998 mm olarak ölçülmüştür. Kalıcı deplasman miktarı ise V9-P6 kazığında 0,898 mm; V10-P12 kazığında 9,223 mm; V15-P5 kazığında 0,382 mm olarak ölçülmüştür.

V15-P5 deneyinde ikinci döngü yük boşaltma aşamasında deney düzeneğinde ve ekipmanlarında herhangi bir sorun olmamasına rağmen son yük kademesi uygulanmamıştır.

İdeal durumda kazıkların genel yük-deplasman davranışı Şekil 4.4'teki gibidir. Grafikte yük-deplasman eğrisine bağlı olarak sınırlandırılmış olan geçici deformasyon bölgesi, geçiş bölgesi ve kalıcı deformasyon bölgesi gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Kazıklarda genel yük-deplasman davranışı

Geçici deformasyon bölgesinde yaklaşık olarak deplasmanın yük ile doğru orantılı arttığı gözlenir. Eğer uygulanan yük miktarı bu sınırlar dâhilinde kalırsa kazıkta yenilme olmaz. Bu bölgedeki deformasyon elastik bir harekettir, yani geçicidir.

Geçiş bölgesinde yüke bağlı deformasyon miktarı artan bir eğilim gösterir. Yük-deplasman eğrisi doğrusal değildir. Yüke bağlı deplasman artışı gittikçe daha fazla olmaya başlar.

Kalıcı deformasyon bölgesinde yük-deplasman eğrisinin eğimi geçici deformasyon bölgesine benzer şekildedir, ancak eğim çok daha büyüktür. Yüke bağlı deplasman artışı geçici deformasyon bölgesine oranla çok daha fazladır. Kazık yük taşıma kapasitesini kaybetmeye başlar. Yük kaldırılrsa bile deformasyon miktarı hemen hemen hiç azalmaz. Bu bölgedeki deformasyon plastik bir harekettir, yani kalıcıdır.

Çalışma konusu deneylere ait yük-deplasman grafikleri incelendiğinde her üç deneyin birinci döngüsünde yük-deplasman eğrilerinin benzer davranış gösterdiği görülmektedir. Yükün kademeli olarak artırılmasıyla ölçülen deplasman miktarı artmış, yükün kademeli olarak azaltılmasıyla da ölçülen deplasman miktarı azalmıştır. Hem yükleme hem de boşaltma süresi boyunca yük-deplasman davranışı doğrusala yakın bir artış ve azalış göstermiştir.

İkinci döngüde ise V9-P6 ve V15-P5 deneylerinde birinci döngüdekine benzer bir yük-deplasman davranışı gözlenmesine rağmen, V10-P12 deneyinde durum farklılık göstermiştir. İkinci döngüde yükün kaldırılmasına rağmen deformasyon miktarı azalış göstermemiş, neredeyse sabit kalmıştır.

V9-P6 ve V15-P5 kazıklarında hem birinci döngüde hem de ikinci döngüde uygulanan maksimum yükler büyük oranda geçici deformasyon bölgesi sınırlarında kalmıştır. Bu deneylerde birinci ve ikinci döngülerin yükleme ve boşaltma grafiklerinin hepsi yaklaşık olarak birer doğru ile temsil edilebilir. Her iki kazıkta da deneyin sonunda deplasman miktarı çok düşük miktarda gerçekleşmiştir. İkinci döngü sonunda V9-P6 kazığında 0,898 mm, V15-P5 kazığında ise 0,382 mm kalıcı deplasman ölçülmüştür.

Teorik olarak geçici deformasyon bölgesinde kalan yüklemenin kazıkta kalıcı deformasyona sebep olmaması sebebiyle deney sonunda deformasyonun sıfıra eşit olması beklenir. Ancak her ne kadar 1 mm'nin altında olsa bile, her iki kazıkta da bir miktar kalıcı deplasman ölçülmüştür. İhmal edilebilir düzeydeki bu deformasyonun muhtemel sebepleri şunlardır:

- Deneyin başlangıç aşamasında, yük uygulanmaya başlandıktan sonra düzeneğin yerleşerek sıkışmasından kaynaklanan deplasman,

- Fore kazığının kuyu delgisi sırasında kuyu çevresindeki gevşeyen zeminin uygulanan yük sebebiyle sıkışmasından kaynaklanan deplasman.

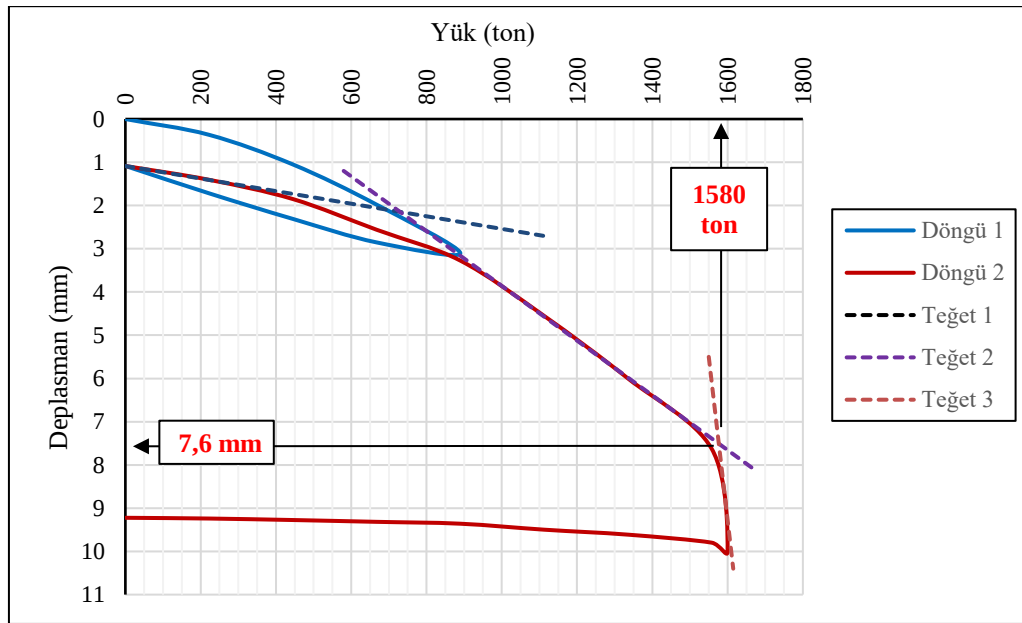
V9-P6 ve V15-P5 kazıklarının taşıyabileceği maksimum yükün (göçme yükünün), deney yükünden (ikinci döngüde uygulanan en büyük yükten) daha fazla olduğu açıktır. Tasarım yükünün ikinci döngüde uygulanan en büyük yükün yarısına eşit olduğu hatırlanırsa, kazıkların tekil taşıma kapasitelerinin tasarım kapasitelerinin iki katından daha fazla olduğu söylenebilir.

V10-P12 kazığında birinci döngüde uygulanan maksimum yük geçici deformasyon bölgesi sınırlarında kalmıştır. İkinci döngüde ise yük-deplasman grafiğinin eğilimi farklılık göstermiştir. 890,00 ton mertebesine kadar grafik yaklaşık doğrusal ilerlemiştir. Daha sonra eğimi bir miktar artmakla beraber yaklaşık 1480,00 tona kadar grafik yine yaklaşık doğrusal ilerlemiştir. 1480,00 tondan sonra grafiğin eğilimi sert bir şekilde yön değiştirmiş ve yüke bağlı deplasman miktarı çok daha hızlı artış göstermiştir. Her ne kadar 890,00 ton yük mertebesinde grafiğin eğimi bir miktar değişmiş olsa bile 1480,00 tona kadar olan bölümün geçici deformasyon bölgesi olduğu söylenebilir. Grafiğin 1580,00 tondan sonra tekrar doğrusala yakın bir eğime sahip olduğu görülmektedir. Ancak eğim çok daha fazladır. Dolayısıyla 1580,00 tondan sonra kalıcı deformasyon bölgesinin başladığı söylenebilir.

V10-P12 kazığındaki yükleme deneyinde 1557,50 tonluk yük kademesinden sonra yükleme krikosunun kapasitesinin sınırlı olması sebebiyle tasarım yükünün 1/4'ü (222,50 ton) oranında yük artırılmamıştır. Son yük kademesi 1600,00 ton olarak uygulanmıştır. Yük-deplasman eğrisinin çok küçük bir bölümü (yaklaşık %8'i) geçici deformasyon bölgesinin ilerisinde yer almıştır. Eğimin sert bir şekilde değişim gösterdiği 1480,00 tondan sonra düzgün dağılımlı birden fazla yük mertebesi olması halinde geçiş bölgesi ve kalıcı deformasyon bölgesinin daha belirgin bir şekilde gösterilmesi mümkün olabilirdi. Ancak mevcut durumda da kazığın kalıcı deformasyona uğradığı söylenebilir. Maksimum deney yükünde (1600,00 ton) kazıktaki deformasyon miktarı 9,998 mm iken, yük tamamen kaldırıldığında kalıcı deformasyon miktarı 9,223 mm olarak ölçülmüştür. Yük kaldırıldığında deformasyon miktarının neredeyse hiç azalmamış olması, kazıkta yenilmenin başladığını göstermektedir.

Kalıcı deformasyona uğramış kazıkların taşıma gücünü belirlenmesi için literatürde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri Teğet Yöntemidir (Mansur ve Kaufman, 1956). Bu yöntemde yük-deplasman eğrisinin geçici ve kalıcı deformasyon bölgelerindeki kısımlarına teğetler çizilir. Bu teğetlerin kesiştiği yere denk gelen yük miktarı kazığın taşıma gücünü verir.

Şekil 4.5'te V10-P12 kazığı yük-deplasman eğrisinin farklı bölgelerini temsil edecek şekilde çizilen teğetler görülmektedir. Geçici deformasyon bölgesinde grafiğe birden fazla teğet çizilmiştir. Bu durum fore kazıklarının ve kazık ortamının homojen bir yapıda olmamasından kaynaklanmaktadır. Benzer teğetler birinci döngünün yükleme aşamasında da çizilebilir. Ancak birinci döngüdeki yükleme geçici deformasyon sınırlarında kalmaktadır. Birinci ve ikinci teğet geçici deformasyon bölgesinde iken, üçüncü teğet kalıcı deformasyon bölgesinde yer almaktadır. Geçici ve kalıcı deformasyon bölgelerini temsil eden ikinci ve üçüncü teğet yaklaşık olarak 1580,00 ton değerinde kesişmektedir. Bu değer kazığın taşıma gücü olarak kabul edilebilir.



Şekil 4.5. V10-P12 kazığı yük-deplasman grafiğine çizilen teğetler

Çizelge 4.2'de ikinci döngünün yükleme aşamasındaki yük kademelerine denk gelen deplasman/çap (δ/D) oranları gösterilmektedir. Maksimum yük altında δ/D oranı V9-P6 kazığında %0,14; V10-P12 kazığında %0,67; V15-P5 kazığında %0,06 olarak gerçekleşmiştir. Kalıcı deformasyona uğrayan V10-P12 kazığında teğet yöntemiyle

belirlenen taşıma gücüne denk gelen 1580 ton yük civarında deplasman miktarı 7,6 mm ve δ/D oranı %0,51'dir. Zeminde oluşturulan kazıklar için önerilen Hirahy-Kulhawy yöntemine göre nihai taşıma gücü, kazık çapının %4'üne denk gelen oturmaya sebep olan yüke eşittir (Bkz. Şekil 2.17). V10-P12 kazığının nihai taşıma gücüne denk gelen δ/D oranı %4'ün oldukça altında gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.2. Yük kademelerine denk gelen deplasman/çap oranları

V9-P6 Kazığı		V10-P12 Kazığı		V15-P5 Kazığı	
Yük Kademesi (ton)	δ/D (%)	Yük Kademesi (ton)	δ/D (%)	Yük Kademesi (ton)	δ/D (%)
0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,01
83,49	0,03	222,50	0,09	100,00	0,01
166,97	0,04	445,00	0,12	200,00	0,02
250,46	0,05	667,50	0,17	300,00	0,02
333,94	0,07	890,00	0,22	400,00	0,03
417,40	0,08	1112,50	0,30	500,00	0,03
501,00	0,09	1335,00	0,40	600,00	0,04
584,00	0,12	1557,50	0,51	700,00	0,04
668,00	0,14	1600,00	0,67	800,00	0,06

4.4. Deney Sonuçlarından Nihai Taşıma Gücünün Belirlenmesi

Deney kazıklarında yükleme iki döngü halinde yapılmıştır. İlk döngüde kazık tasarım yüküne kadar yükleme yapılmış, sonra yük boşaltılmış, daha sonra tasarım yükünün iki katına kadar yükleme yapılmış ve yük tekrar boşaltılmıştır. V9-P6 ve V15-P5 deneylerinden farklı olarak V10-P12 deneyinde, yüklemede kullanılan hidrolik krikonun kapasitesinin sınırlı olması sebebiyle tasarım yükünün 1,8 katına kadar yükleme yapılabilmektedir. Kazıkların nihai taşıma güçlerinin elde edilmesinde ikinci döngünün yükleme aşamasındaki veriler kullanılmıştır.

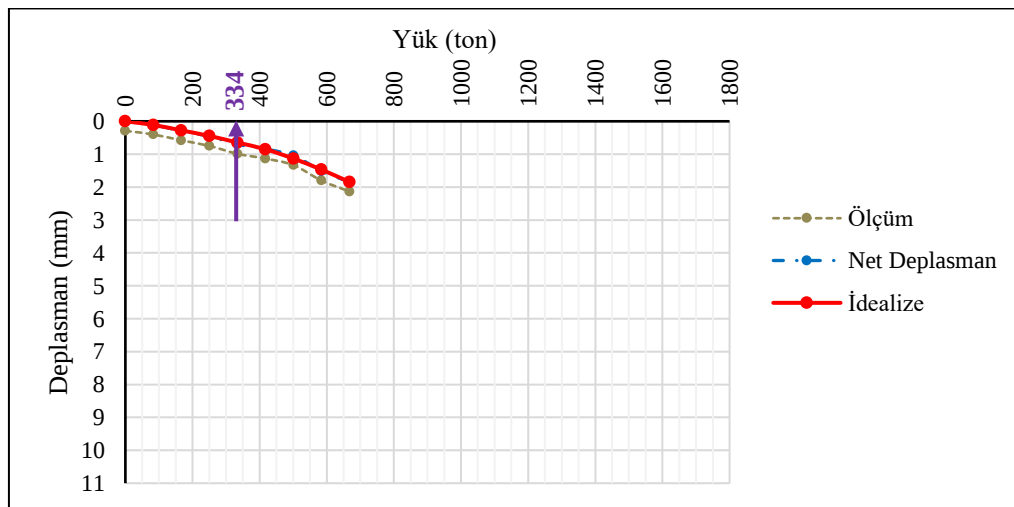
Birinci döngü sonunda çok az da olsa bir miktar oturma bulunmaktadır. Belirlenecek nihai taşıma gücüne etki etmemesi için, birinci döngü sonunda kalan oturma miktarı ikinci döngünün başlangıç aşamasındaki oturma miktarlarından çıkarılmış ve yük-deplasman

eğrisinin orijinden başlaması sağlanmıştır. Ayrıca yük-deplasman eğrisi idealize edilerek, nihai taşıma güçlerinin belirlenmesinde daha verimli sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Çizelge 4.3’de idealize edilmiş düşey deplasman değerlerine yer verilmektedir.

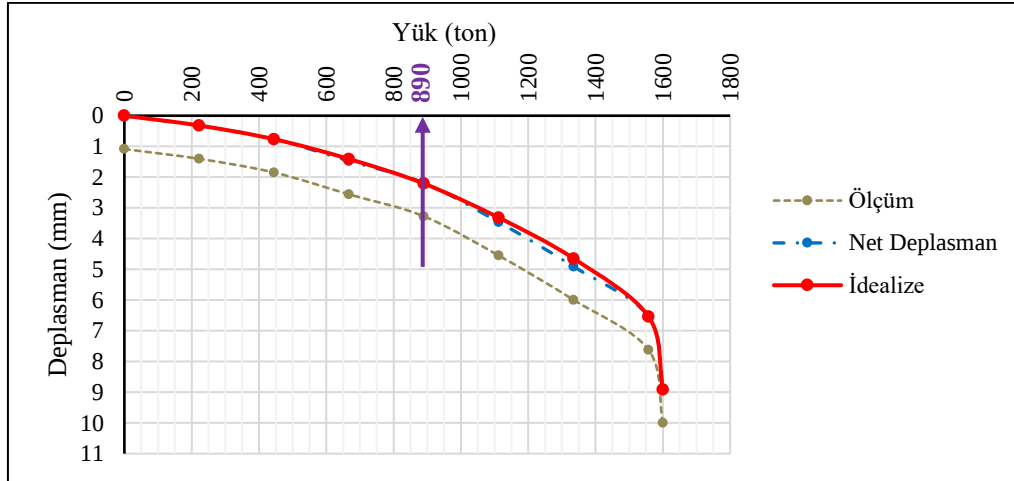
Çizelge 4.3. İdealize edilmiş düşey deplasman değerleri

V9-P6 Kazığı		V10-P12 Kazığı		V15-P5 Kazığı	
Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)	Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)	Yük Kademesi (ton)	Deplasman (mm)
0,00	0,000	0,00	0,000	0,00	0,000
83,49	0,110	222,50	0,320	100,00	0,065
166,97	0,277	445,00	0,765	200,00	0,130
250,46	0,444	667,50	1,410	300,00	0,195
333,94	0,646	890,00	2,210	400,00	0,260
417,40	0,850	1112,50	3,320	500,00	0,325
501,00	1,135	1335,00	4,650	600,00	0,390
584,00	1,467	1557,50	6,538	700,00	0,490
668,00	1,845	1600,00	8,913	800,00	0,738

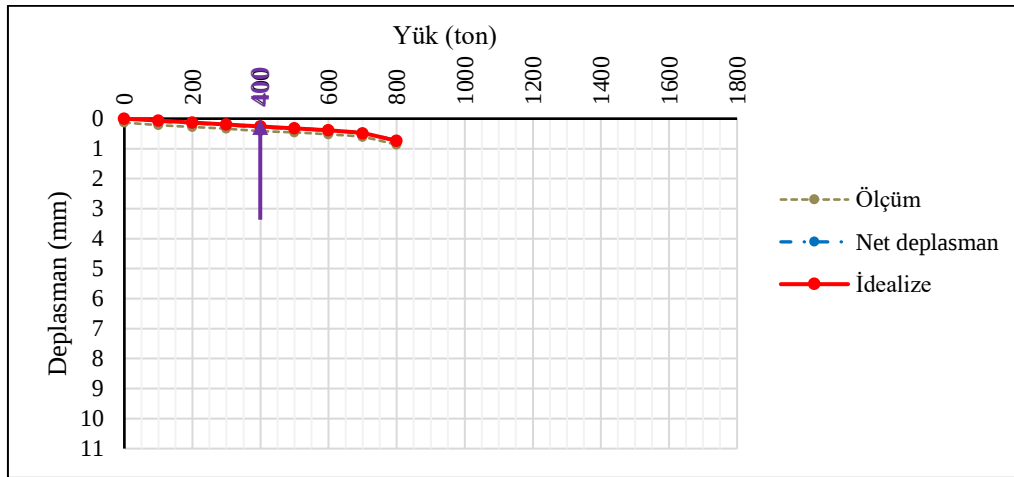
Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de deney kazıklarına ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiklerine yer verilmektedir. Grafiklerde kazıkların tasarım yükleri de gösterilmektedir.



Şekil 4.6. V9-P6 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği



Şekil 4.7. V10-P12 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği



Şekil 4.8. V15-P5 deneyine ait idealize edilmiş yük-deplasman grafiği

4.4.1. Elde edilen nihai taşıma güçlerinin değerlendirilmesi

İdealize edilen yük-deplasman grafikleri kullanılarak deney kazıklarının nihai taşıma güçleri Bölüm 2.4'te verilen on bir farklı yöntemle belirlenmeye çalışılmıştır. Brinch Hansen %80, Chin-Kondner, Mazurkiewicz, Decourt ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle tüm kazıkların nihai taşıma gücü belirlenebilmiştir. Brinch Hansen %90, De Beer, Davisson ve Hirany-Kulhawy yöntemleriyle ise kazıkların nihai taşıma gücü belirlenememiştir. Van der Veen yöntemi ile sadece V9-P6 kazığının, Butler-Hoy yöntemi ile de sadece V10-P12 kazığının nihai taşıma gücü belirlenebilmiştir.

Ek-3'ten Ek-11'e kadar nihai taşıma gücü belirleme grafiklerine ve hesaplamalara yer verilmiştir. Çizelge 4.4'te tüm yöntemlerin özet bilgilerinin yer aldığı tabloya yer verilmektedir. Belirlenen nihai taşıma güçleri ve güvenlik sayısına bölünmemiş haliyle tasarım yükleri Çizelge 4.5'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Nihai taşıma gücü belirleme yöntemleri özet bilgileri

Yöntem	Grafik Eksenleri		Nihai Taşıma Gücünün Bulunması	Açıklama
	Düşey Eksen	Yatay Eksen		
Brinch Hansen %90	Δ	Q	Deneme-yanılma yoluyla " $\Delta \Rightarrow 0,9.Q_{ult}$ ve $2.\Delta \Rightarrow Q_{ult}$ " şartlarını sağlayan yük grafikten bulunur.	Kazıklarda nihai taşıma gücü hesaplanamadı.
De Beer	Δ	Q	Logaritmik ölçekli grafikte doğruların kesiştiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.	
Davisson	Δ	Q	Üç adımda çizilen ofset hattının yük-deplasman eğrisini kestiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.	
Hirany-Kulhawey	Q/Q_{ult}	Δ/D	Kazık çapının %4'ü kadar oturmaya sebep olan yük grafikten bulunur	
Van der Veen	$\ln(1 - (Q/Q_{ult}))$	Δ	Deneme-yanılma yoluyla grafiği doğrusal yapan yük bulunur.	Sadece V9-P6 kazığında nihai taşıma gücü hesaplandı.
Butler-Hoy	Δ	Q	Yük-deplasman eğrisi eğiminin 0,28 mm/ton olduğu yere denk gelen yük grafikten bulunur.	Sadece V10-P12 kazığında nihai taşıma gücü hesaplandı.
Brinch Hansen %80	$\sqrt{\Delta/Q}$	Δ	$Q_{ult} = 1/(2.\sqrt{(C_1.C_2)})$ eşitliği ile yük bulunur.	Kazıkların hepsinde nihai taşıma gücü hesaplandı.
Chin-Kondner	Δ/Q	Δ	$Q_{ult} = 1/C_1$ eşitliği ile yük bulunur.	
Mazurkiewicz	Δ	Q	Beş adımda çizilen doğrunun yük eksenini kestiği yere denk gelen yük grafikten bulunur.	
Decourt	Q/Δ	Q	$Q_{ult} = C_2/C_1$ eşitliği ile yük bulunur.	
Paikowsky-Tolosko	Δ/Q	Δ	$Q_{ult} = (-C_2 \mp \sqrt{(C_2)^2 + (4.C_1.X)}) / (2.C_1)$ eşitliği ile yük bulunur.	

Çizelge 4.5. Elde edilen nihai taşıma güçleri

Yöntem	V9-P6		V10-P12		V15-P5	
	Nihai Taşıma Gücü (ton)	Tasarım Kapasitesi (ton)	Nihai Taşıma Gücü (ton)	Tasarım Kapasitesi (ton)	Nihai Taşıma Gücü (ton)	Tasarım Kapasitesi (ton)
Van der Veen	900	1020	-	1440	-	760
Brinch Hansen %80	722		1725		962	
Brinch Hansen %90	-		-		-	
De Beer	-		-		-	
Chin-Kondner	1250		2500		1250	
Davisson	-		-		-	
Mazurkiewicz	908		1795		1152	
Butler-Hoy	-		1590		-	
Decourt	1429		2651		1108	
Paikowsky-Tolosko	1200		2318		1235	
Hirany-Kulhawy	-		-		-	
Ortalama	1206		2096		1141	

Nihai taşıma gücü belirlenemeyen yöntemler

Brinch Hansen %90 (1963) yönteminde nihai taşıma gücü iteratif yöntemle bulunmaktadır. Nihai taşıma gücüne denk gelen deplasman miktarı, nihai taşıma gücünün %90'ı oranındaki yüke denk gelen deplasman miktarının iki katı olmalıdır. Böyle bir yükün belirlenmesi için yüke bağlı deplasman artışının yüksek olması gereklidir. Başka bir ifadeyle kazıkta yenilmenin gerçekleşmesi ve sonrasında yük artışının yeteri kadar devam etmesi gerekir. V9-P6 ve V15-P5 kazıklarında yüke bağlı deplasman miktarı büyük oranda elastik sınırlar içinde kalmış, kazıklarda göçme gerçekleşmemiştir. V10-P12 kazığında ise yüke bağlı deplasman miktarı artmaya başladıktan kısa bir süre sonra yük boşaltılmaya başlanmıştır. Bu sebeplere bağlı olarak gerekli koşulları sağlayan bir yük miktarı gerçekleşmemiştir. Dolayısıyla Brinch Hansen %90 yöntemiyle deney kazıklarında nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

De Beer (1967) yöntemiyle nihai taşıma gücünün belirlenmesi için yük-deplasman grafiği logaritmik olarak çizilmektedir. Nihai taşıma gücünün belirlenmesi için, grafikte noktasal olarak gösterilen yüke bağlı deplasmanların birbiri ile kesişen iki doğru üzerinde toplanması gerekir. Bunun sağlanabilmesi için de yüklenen kazıkta yenilmenin gerçekleşmesi ve sonrasında yeteri kadar yük artışına devam edilmesi gerekir. Dolayısıyla Brinch Hansen %90 yöntemine benzer şekilde De Beer yöntemiyle de nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

Davisson (1972) yönteminde yük-deplasman grafiği doğrudan kullanılmakta, nihai taşıma gücü belirlenirken elastik kısılma hattına paralel olacak şekilde ofset hattı çizilmektedir. Çapı 1500 mm olan bir kazıkta deplasman miktarı 0,0 mm iken ofset hattı 16,5 mm değerinden geçmektedir (Bkz. Eş 2.6). Deplasman miktarı arttıkça ofset hattına denk gelen deplasman değeri daha da artar. Bu yöntemin kullanılabilmesi için ofset hattının yük-deplasman grafiği ile kesişmesi gerekir. İdealize edilen yük deplasman grafiklerine göre deney kazıklarındaki en büyük deplasman değeri V9-P6 kazığında 1,8 mm, V10-P12 kazığında 8,9 mm ve V15-P5 kazığında 0,7 mm oluşmuştur. Dolayısıyla deney kazıklarında ofset hattı yük-deplasman grafiği ile kesişmemektedir. Bu nedenle de Davisson yöntemiyle nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

Hirany-Kulhawy (2002) yönteminde nihai taşıma gücünün elde edilmesi için hazırlanan grafiğin bir eksenini oturma/çap oranı, diğer eksenini yük kademesi/göçme yükü oranı oluşturmaktadır (Bkz. Şekil 2.17). Bu grafiğin oluşturulabilmesi için kazık çapının %4'ü oranında oturma gerçekleşene kadar yüklemeye devam edilmesi gerekir. 1500 mm çapındaki bir kazığın nihai taşıma gücünün belirlenebilmesi için en az 60 mm (1500 mm x 0,04) deplasman değeri gereklidir. İdealize edilen yük deplasman grafiklerine göre deney kazıklarındaki en büyük deplasman değerleri 60 mm değerinin çok altında kalmıştır. Bu nedenle nihai taşıma gücünün belirlenmesi için gerekli grafikler çizilememiştir. Dolayısıyla deney kazıklarında Hirany-Kulhawy yöntemi ile nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

Nihai taşıma gücü belirlenemeyen Brinch Hansen %90, De Beer, Davisson ve Hirany-Kulhawy yöntemlerinin kullanılabilmesi için yüke bağlı deplasman miktarında belirgin bir artış olması, başka bir ifadeyle kazıkta yenilmenin gözlenmesi gerekmektedir. Deney yeterince sürdürülmediği için bu yöntemlerle nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

Sadece bir kazıkta nihai taşıma gücü belirlenebilen yöntemler

Sadece V9-P6 kazığında nihai taşıma gücü belirlenebilen Van der Veen (1953) yöntemi literatürde kabul gören ilk yöntemlerden biridir. Çizilen grafiği doğrusal yapan yük değeri (Q_{ult}) iteratif yöntemle belirlenmektedir. En büyük deplasman değeri V9-P6 kazığında 1,8 mm iken yöntem kullanılabilmiş, ancak V10-P12 kazığında 8,9 mm iken kullanılamamıştır. Dolayısıyla yöntemin kullanılabilirliği deplasman miktarına bağlı değildir. V9-P6 kazığının yük-deplasman grafiği yaklaşık olarak ikinci dereceden bir eğri ile temsil edilebilmektedir. V10-P12 ve V15-P5 kazıklarının yük-deplasman grafiklerinin eğimi ise bölümler halinde değişkenlik göstermekte ve ikinci dereceden bir eğri ile temsil edilememektedir. Bundan hareketle Van der Veen yönteminin kullanılabilmesi için yük-deplasman grafiğinin yaklaşık olarak ikinci dereceden bir eğri olmasının gerektiği söylenebilir.

Sadece V10-P12 kazığında nihai taşıma gücü belirlenebilen Butler-Hoy (1976) yönteminde nihai taşıma gücünün belirlenebilmesi için yük-deplasman grafiğine 0,28 mm/ton eğime sahip bir teğet çizilebilmelidir. Böyle bir teğetin çizilebilmesi ise yüke bağlı deplasman miktarı artışının yüksek olması şartına bağlıdır. Başka bir ifadeyle yüklenen kazıktaki deformasyon elastik sınırların dışına çıkmalı ve kazıkta kalıcı deformasyon gerçekleşmelidir. V10-P12 kazığında anılan şekilde hareket olduğu için Butler-Hoy yöntemi kullanılabılmıştır. V9-P6 ve V15-P5 kazıklarında ise yüke bağlı deplasman miktarı elastik sınırlar içinde kalmıştır. Bu nedenle nihai taşıma gücü elde edilememiştir.

Tüm kazıklarda nihai taşıma gücü belirlenebilen yöntemler

Brinch Hansen %80 (1963), Chin-Kondner (1970), Mazurkiewicz (1972), Decourt (1999) ve Paikowsky-Tolosko (1999) yöntemlerinde tüm kazıkların nihai taşıma gücü elde edilmiştir. Brinch Hansen %80, Chin-Kondner, Decourt ve Paikowsky-Tolosko yöntemlerinde nihai taşıma gücü belirlenirken yük-deplasman eğrisi doğrudan kullanılmamaktadır. Yöntemlerde çizilen doğrunun eğimi (C_1) ve sabit değeri (C_2) kullanılarak matematiksel işlemle nihai taşıma gücü elde edilmektedir. Bunların haricinde Mazurkiewicz yönteminde de tüm kazıklarda nihai taşıma gücü belirlenebilmiştir. Mazurkiewicz yönteminde yük-deplasman eğrisi dolaylı olarak kullanılmakta ve nihai

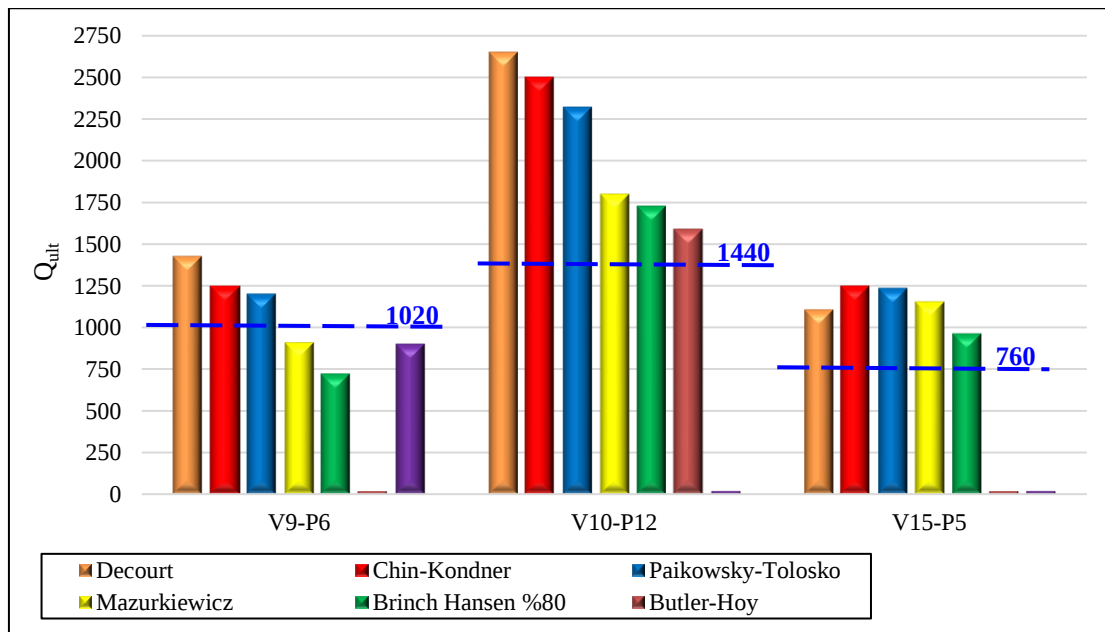
taşıma gücü grafik üzerinden elde edilmektedir. Bu yöntemlerde kazıkta yenilme gerçekleşmese dahi nihai taşıma gücü belirlenebildiği görülmüştür.

Elde edilen nihai taşıma gücü değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 4.9'daki grafikte deney kazıklarında elde edilen nihai taşıma güçleri karşılaştırılmıştır. Chin-Kondner ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle belirlenen nihai taşıma güçleri diğer yöntemlerde belirlenen nihai taşıma güçlerine oranla birbirine daha yakın değerlerdedir.

Kalıcı deformasyon gözlenmeyen kazıklarda (V9-P6 ve V15-P5) en küçük nihai taşıma güçleri Brinch Hansen %80 yöntemiyle elde edilmiştir. Kalıcı deformasyon gözlenen kazıkta ise (V10-P12) Butler-Hoy yöntemiyle elde edilen nihai taşıma gücü bu yöntemlerle elde edilenlerden daha küçüktür.

Tüm kazıklarda nihai taşıma gücü elde edilebilen yöntemler değerlendirildiğinde; V9-P6 ve V10-P12 kazıklarında nihai taşıma güçleri en büyükten en küçüğe doğru sırasıyla Decourt, Chin-Kondner, Paikowsky-Tolosko, Mazurkiewicz, Brinch Hansen %80 yöntemleriyle elde edilmiştir. V15-P5 kazığında ise Chin-Kondner, Paikowsky-Tolosko, Mazurkiewicz, Decourt, Brinch Hansen %80 yöntemleriyle elde edilmiştir.



Şekil 4.9. Yöntemlere göre belirlenen nihai taşıma güçlerinin karşılaştırılması

Deney sırasında kalıcı deformasyon gözlenen V10-P12 kazığında yük-deplasman grafiğine geçici ve kalıcı deformasyon bölgelerinde çizilen teğetlerin kesiştirilmesiyle belirlenen göçme yükü 1580 tondur (Bkz. Şekil 4.5). Butler-Hoy yönteminde V10-P12 kazığının nihai taşıma gücü 1590 ton olarak belirlenmiştir. Doğrudan yük-deplasman grafiği kullanılan Butler-Hoy yöntemiyle elde edilen nihai taşıma gücü, teğet yöntemiyle belirlenen taşıma gücü ile uyumludur.

V9-P6 kazığında elde edilen nihai taşıma güçleri 722-1429 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değer %50'si kadardır. V10-P12 kazığında elde edilen nihai taşıma güçleri 1725-2651 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değer %65'i kadardır. V15-P5 kazığında elde edilen nihai taşıma güçleri 962-1250 ton arasında değişmektedir. En küçük değer en büyük değer %77'si kadardır. Oransal olarak en geniş aralık V9-P6 kazığında, en dar aralık ise V15-P5 kazığında olmuştur.

Çizelge 4.6'da tüm kazıklarda kullanılabilen yöntemlerle (Decourt, Chin-Kondner, Paikowsky-Tolosko, Mazurkiewicz ve Brinch Hansen %80) elde edilen nihai taşıma gücü değerlerinin istatistiksel dağılım ölçüleri gösterilmektedir. Varyasyon katsayısı küçükten büyüğe doğru sırasıyla V15-P5, V10-P12, V19-P6 kazıklarında belirlenmiştir.

Çizelge 4.6. Nihai taşıma gücü değerlerinin istatistiksel dağılım ölçüleri

Dağılım Ölçüleri	V9-P6 Kazığı	V10-P12 Kazığı	V15-P5 Kazığı
Aralık Genişliği	707	926	288
Aritmetik Ortalama	1102	2198	1141
Standart Sapma	253	373	104
Varyasyon Katsayısı (%)	23	17	9

Aralık genişliğinin kazıkta kalıcı deformasyon gerçekleşmesiyle bir ilişkisi olmamalıdır. Çünkü nispeten dar aralığa sahip V15-P5 kazığında yenilme gözlenmezken, daha geniş

aralığa sahip kazıklardan V10-P12 kazığında göçme gerçekleşmiş, V9-P6 kazığında gerçekleşmemiştir.

V10-P12 kazığında Decourt, Chin-Kondner, Paikowsky-Tolosko, Mazurkiewicz ve Brinch Hansen %80 yöntemleriyle elde edilen nihai taşıma güçleri 2651 tona kadar çıkmaktadır. Bu değerler gözlemlendiği düşünülen göçme yüküne göre yüksek miktarda sapma göstermektedir. Yöntemlerin göçmeye ulaşmış kazıklarda kullanılması halinde dahi yanıltıcı sonuç alınmasının mümkün olacağı görülmüştür.

Nihai taşıma güçlerinin hesaplanan taşıma kapasiteleri ile karşılaştırılması

Deney kazıklarının tasarımı hakkında Bölüm 3.2.2’de bilgi verilmiş ve kazıkların hesaplanan taşıma kapasiteleri Çizelge 3.8’de gösterilmişti. Hesaplanan taşıma kapasiteleri güvenlik sayısına bölünmemiş haliyle Çizelge 4.7’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.7. Hesaplanan taşıma kapasiteleri

Kazık No	Q (ton)
V9-P6	1020
V10-P12	1440
V15-P5	760

Grafikte elde edilen nihai taşıma güçleri ile tasarımda hesaplanan taşıma kapasiteleri karşılaştırılmıştır (Bkz. Şekil 4.9). V10-P12 ve V15-P5 kazıklarında elde edilen nihai taşıma güçlerinin hepsi hesaplanan taşıma kapasitelerinden büyüktür. V9-P6 kazığında ise durum farklıdır. Decourt, Chin-Kondner ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle elde edilen nihai taşıma güçleri hesaplanan tasarım kapasitesinden büyük iken, Van der Veen, Mazurkiewicz ve Brinch Hansen %80 yöntemleriyle elde edilen nihai taşıma güçleri ise hesaplanan tasarım kapasitesinden küçüktür.

Hesaplanan taşıma kapasitesine en yakın nihai taşıma gücü V9-P6 kazığında Van der Veen yöntemiyle, V10-P12 kazığında Butler-Hoy yöntemiyle, V15-P5 kazığında Brinch Hansen %80 yöntemiyle elde edilmiştir. Hesaplanan taşıma kapasitesinin, elde edilen en yakın

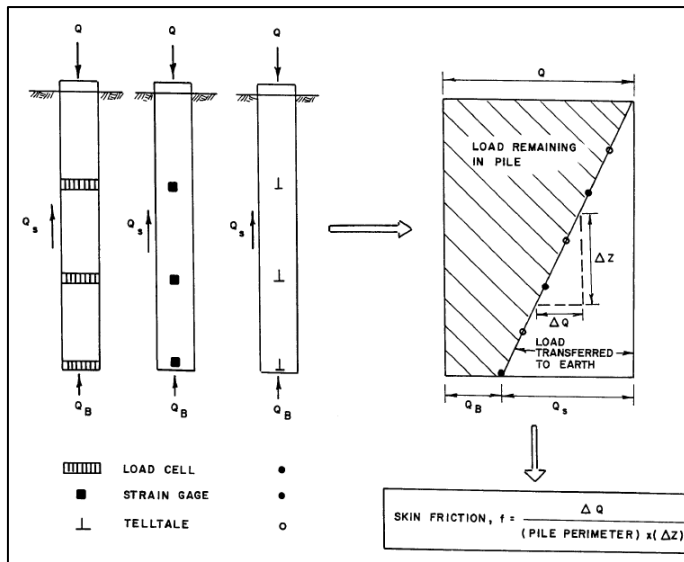
nihai taşıma gücüne oranı V9-P6 kazığında %88, V10-P12 kazığında %110, V15-P5 kazığında %127'dir.

5. ENSTRÜMANTASYON VE KAZIK TAŞIMA MEKANİZMASININ İNCELENMESİ

Enstrümanlı kazık yükleme deneyinde kazığın önceden belirlenen seviyelerine ölçüm aletleri yerleştirilerek kazık uzunluğu boyunca yük aktarımının değişimi, farklı seviyelerdeki çevre sürtünme direnci ve uç dayanımının belirlenmesi hedeflenmektedir. Enstrümantasyonda yük hücresi, birim deformasyon ölçer, telltale gibi çeşitli ekipmanlar kullanılmaktadır.

Enstrümante edilerek oluşturulan kazık, gerekli koşullar sağlandıktan sonra (betonun dayanımını kazanması vb.) klasik kazık yükleme deneyindeki gibi yüklenir.

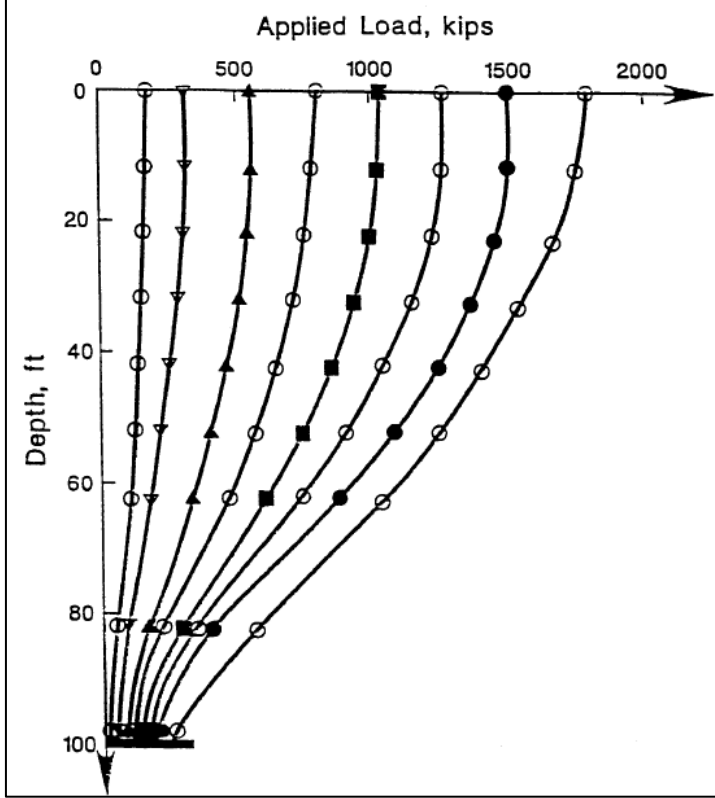
Bu çalışmada enstrümantasyon V10-P12 kazığında yapılmıştır. Ölçüm aleti olarak birim deformasyon ölçer (BDÖ) kullanılmıştır. BDÖ kazığın betonarme fore kazık olması durumunda kazık donatılarına, çelik kazık olması durumunda ise kazık yüzeyine monte edilebilir. Şekil 5.1’de enstrümantasyonla yük aktarımının ve çevre direncinin belirlenmesi gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Enstrümantasyonla yük aktarımının ve çevre direncinin belirlenmesi (Kyfor ve diğerleri, 1992)

Şekil 5.2’de kazık boyunca yük değişiminin enstrümantasyonla belirlenmesinin bir örneği gösterilmektedir. Bu grafiğin ait olduğu deneyde sekiz farklı yük kademesinde yük

uygulanmış ve derinlik boyunca zeminden kazık ucuna kadar dokuz farklı seviyede birim deformasyon okuması yapılmıştır.



Şekil 5.2. Enstrümantasyonla kazık boyunca yük değişiminin belirlenmesi (Kyfor ve diğerleri, 1992)

BDÖ'ler deney yapılacak kazıkta donatı kafesine monte edilmiş ve yükleme testi sırasında okuma ünitesine irtibat sağlanması için her BDÖ'ye kablo bağlanmıştır. Beton dökümünde zarar görmemesi amacıyla kablolar donatı kafesi boyunca 100-150 mm'de bir donatılara sabitlenmiştir (Resim 5.1).

Donatı kafesine kolay monte edilebilmesi amacıyla BDÖ'ler önce çelik çubuklar üzerine kaynak ile tutturulmuş ve dökülen betondan zarar görmemeleri için membran benzeri plastik bir malzeme ile sarılmıştır. Çelik çubuklar kazık donatılarına kolay bağlantı yapılmasını sağlayacak şekilde bükülmüş ve bağlama telleri ile kazık donatılarına bağlanmıştır. Resim 5.2 ve Resim 5.3'te donatı kafesine monte edilen BDÖ'ler gösterilmektedir.



Resim 5.1. BDÖ kablolarının donatı kafesine sabitlenmesi



Resim 5.2. Kazık donatısına monte edilmiş BDÖ



Resim 5.3. Aynı seviyede monte edilmiş üç adet BDÖ

Resim 5.4'te BDÖ montajı tamamlanmış donatı kafesinin kuyuya indirilmesi gösterilmektedir. Resim 5.5'te ise BDÖ kablolarının okuma ünitesi ile bağlantısının yapılması gösterilmektedir.



Resim 5.4. BDÖ montajı yapılan donatı kafesinin kuyuya indirilmesi



Resim 5.5. BDÖ kabloları ile okuma ünitesi irtibatının yapılması

Bu çalışmada Roctest MB-3T tipinde taşınabilir okuma ünitesi ve Roctest SM-2W tipinde BDÖ'ler kullanılmıştır. Resim 5.6'da okuma ünitesi, Resim 5.7'de BDÖ gösterilmektedir. Okuma ünitesinin ve BDÖ'lerin teknik özellikleri ise Resim 5.8 ve Resim 5.9'da gösterilmektedir.



Resim 5.6. RocTest MB-3T okuma ünitesi



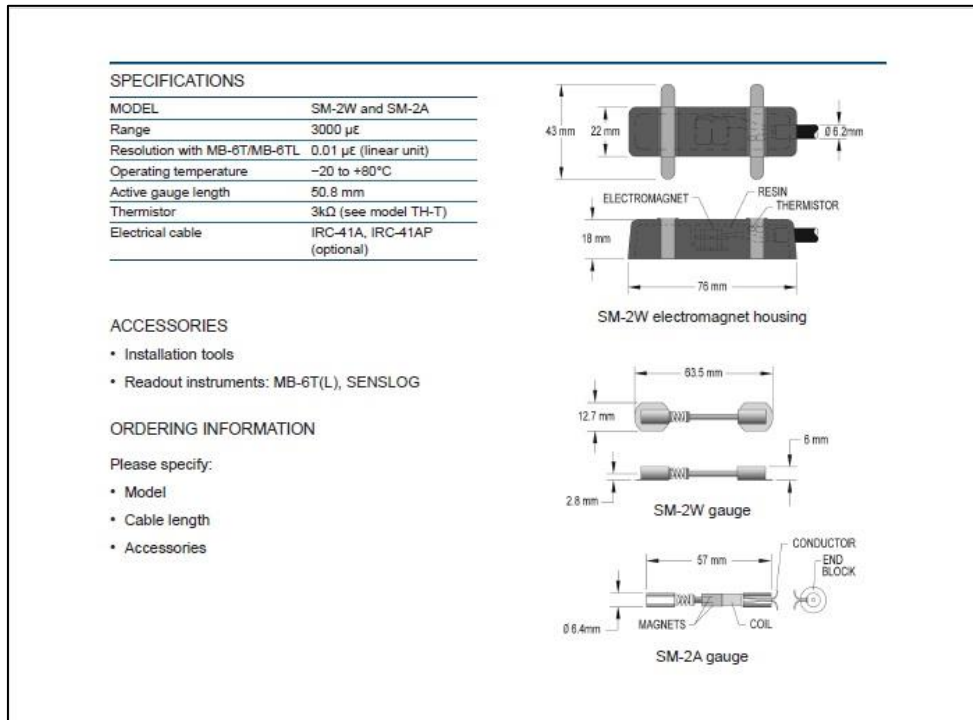
Resim 5.7. RocTest SM-2W titreşen telli BDÖ

Esasında yükleme deneyinde okuma ünitesi yardımıyla titreşim telli BDÖ frekansları okunmaktadır. Birim deformasyon değiştiğinde kablo titreşim sıklığı değişmektedir. MB-3T okuma ünitesi okunan titreşim frekansını birim deformasyona dönüştürerek ekrana yansıtır.

TECHNICAL SPECIFICATIONS

Display	Liquid crystal, 2 lines, 20 characters
Memory	8,000 data sets
Communication	RS-232
Accuracy	$\pm 0.02\%$ of Hz reading
Range	Vibrating wire: 450 to 6,000 Hz
Temperature measurement	-20 to 120°C (3k Ω thermistor)
Excitation mode	Square wave
Displayed resolution	0.01% of F.S.
Battery	2 x type "D" cells
Battery life (typical)	60 hours at 20°C
Dimensions	23.5 x 19 x 10.8 cm
Weight	1.8 kg

Resim 5.8. Roctest MB-3T taşınabilir okuma ünitesi teknik özellikleri



Resim 5.9. Roctest SM-2W BDÖ teknik özellikleri

Betonarme kazıktaki donatı çeliğinin modülünde genellikle önemli bir değişkenlik olmaz. Ancak aynı şey betonun modülü için söylenemeyebilir. Çimento tipi, agrega tipi, karışım oranları, karıştırma kalitesi vb. sebeplerle betonun modülünde değişkenlik meydana gelebilir. Ayrıca delgi metoduna bağlı olarak kazığın gerçek çapı ile teorik çap kısmen

değişkenlik gösterebilir. Bu sebeplerle betonarme kazık modülü teorik olarak hesaplanan modülden bir miktar farklı olabilir.

Enstrümanlı kazık yükleme deneyi ile gerilmeler bulunurken kazık modülünün bilinmesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Bunun yanında, kazık modülünün kazığın her seviyesinde sabit olduğu kabulü yapılmıştır. Bu kabul aşağıdaki şartlarla geçerli olacaktır:

- Kazık çapı derinlik boyunca sabittir.
- Beton kalitesi derinlik boyunca aynıdır.
- Donatı bindirme bölgesi ihmal edilmiştir.
- En üstteki BDÖ grubunun üzerindeki kazık bölümünün çevre sürtünme direnci ihmal edilmiştir.

Deney sırasında okuma ünitesinden birim deformasyon değerleri alınır. Birim deformasyon, malzemenin yük altındaki şekil değiştirmesinin (yükün uygulanış yönüne göre kısalma ya da uzama şeklinde olabilir) malzemenin toplam boyuna olan oranını ifade eder. Dolayısıyla birimsizdir. Fore kazıkta yük altında gerçekleşen birim deformasyonlar genellikle çok küçük olduğundan, çalışma kolaylığı amacıyla okuma ünitesinde microstrain ($\mu\epsilon$) değerleri gösterilir. Bu değerler gerçekte belirlenen birim deformasyon değerlerinin 10^6 katıdır.

5.1. Tanımlar ve Enstrümantasyon Verilerinin Değerlendirilmesi

Yükleme deneyi yapılacak kazıkta BDÖ'lerle enstrümantasyon yapılmasının amacı kazık uç dayanımının ve kazık bölümlerindeki birim sürtünme dirençlerinin bulunmasıdır. Ayrıca kazığın elastisite modülü bulunabilir ve eksantrisite olup olmadığı tespit edilebilir. Bu işlemlerin yapılabilmesi için kazık başında, kazık ucunda ve istenen ara seviyelerde BDÖ'ler yerleştirilir. Zemin tabakalanmasına da bağlı olarak ne kadar çok seviyede BDÖ yerleştirilmişse, veri hassasiyeti o kadar fazla olur.

Uygulamada fore kazıklarda kazık başına ve kazık ucuna BDÖ yerleştirilmesi ve deney sırasında sağlıklı veri alınması genellikle mümkün olmaz. Bu nedenle mümkün olduğunca bu seviyelerin yakınına BDÖ yerleştirilmelidir.

Aynı seviyede birden fazla BDÖ yerleştirilebilir. Bunun faydaları şunlardır:

- 1) Bir BDÖ'den herhangi bir sebeple veri alınamazsa aynı seviyedeki diğer BDÖ'lerden veri alınmaya devam edilebilir,
- 2) Aynı seviyedeki BDÖ'lerden alınan veriler karşılaştırılarak, verilerin anlamlı olup olmadığı kontrol edilebilir. Bir BDÖ'den herhangi bir sebeple beklenenden çok farklı bir veri alınması durumunda bu veri kullanılmadan elenebilir,
- 3) Eksantrisenin varlığı aynı seviyede birden fazla BDÖ olması durumunda kontrol edilebilir. Her seviyede bir BDÖ var ise eksantrisine değerlendirilemez.

Enstrümantasyon verilerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan tanımlara aşağıda yer verilmiştir:

Referans ölçer: Kazık başına yerleştirilen BDÖ'lerdir. Fore kazıklarda sağlıklı veri alınabilmesi için referans ölçerler kazık başından bir miktar aşağıya yerleştirilir. Kazık başına uygulanan yükün tamamının referans ölçerlerin olduğu seviyede kazık tarafından karşılandığı, bu seviye ile kazık başı arasında kazıkla zemin arasında sürtünme direnci olmadığı kabul edilir.

Ham değer: Okuma ünitesi aracılığıyla yük kademelerinde BDÖ'lerden okunan birim deformasyon miktarlarıdır.

Referans ham değer: Okuma ünitesi aracılığıyla yükleme başlamadan önce (0,00 ton yük durumunda) BDÖ'lerden okunan birim deformasyon miktarlarıdır.

Ara değer: Referans ham değerden yük kademelerine ait ham değerlerin çıkarılmasıyla elde edilen birim deformasyon miktarlarıdır. Ara değerler eksantrisenin yorumlanmasında kullanılır.

Ana değer: Her yük kademesinde ara değerlerin aritmetik ortalamasının hesaplanmasıyla elde edilen birim deformasyon miktarlarıdır. Ana değerler uç dayanımı, sürtünme dayanımı ve elastisite modülünün bulunmasında kullanılır.

Bir seviyede bir adet BDÖ olması durumunda ara değerden bahsedilmez. Bu durumda referans ham değerden yük kademelerine ait ham değerler çıkarılarak doğrudan ana değerler elde edilir. Ham değerlerden ara değerlerin ve ana değerlerin elde edildiği örnek bir hesaplama Çizelge 5.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1. Ara değerler ve ana değerlerin hesaplanması

Uygulanan Yük (ton)	Ham Değerler ($\mu\epsilon$)			Ara Değerler ($\mu\epsilon$)			Ana Değer ($\mu\epsilon$)
	1-a	1-b	1-c	1-a	1-b	1-c	1-ort
0,00	1800	1840	1860	0	0	0	0
100,00	1720	1753	1763	80	87	97	88

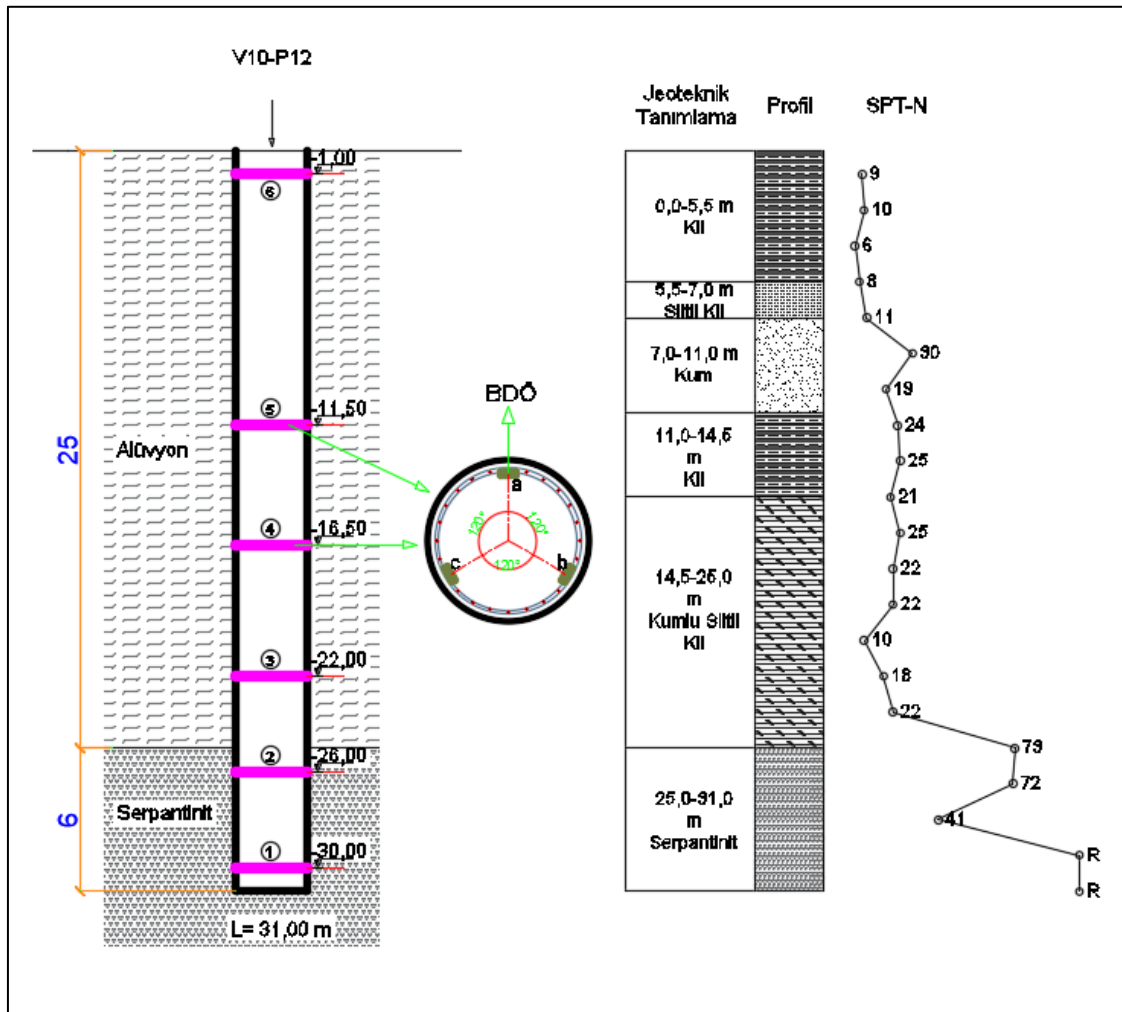
Ana değerler ile kazık tarafından zemine/kayaya aktarılan yük arasında doğrusal ilişki vardır. Eksenel basınç yükü altındaki kazıklarda derinlik arttıkça kazık bölümünün karşıladığı yükte düşüş olmalıdır. Çünkü kazık çevresinde sürtünme ile yük zemine/kayaya aktarılır. Eğer kazık bölümünde birim sürtünme direnci yüksek ise ve zeminde yenilme gerçekleşmemişse, derinliğe bağlı yükteki düşüş miktarının fazla olduğu gözlenir. Öte yandan birim sürtünme direncinin düşük olduğu veya zeminde yenilmenin gerçekleştiği durumlarda, derinliğe bağlı yükteki düşüş miktarı daha az olur. Ancak basınç şeklindeki bir yüklemede derinlik arttıkça hesaplanan yükte artış gerçekleşmemelidir. Buna bağlı olarak kazık başından kazık ucuna doğru gidildikçe elde edilen ana değerlerin de azalması gerekir.

5.2. Deney Kazığının Enstrümantasyonu

Bu çalışmada 31 metre boyundaki V10-P12 kazığında enstrümanlı kazık yükleme deneyi yapılmıştır. Her bir seviyede üç adet olmak üzere altı farklı seviyede toplam on sekiz adet BDÖ yerleştirilmiştir. Aynı seviyedeki BDÖ’ler a, b, c harfleriyle kodlanmış ve birbirleri arasında 120°’lik açı yapacak şekilde daire kesitli kazık çevresine dağıtılmıştır. Ayrıca farklı seviyede olup aynı harf ile kodlanmış BDÖ’ler düşey olarak aynı ekseninde olacak şekilde yerleştirilmiştir. Örneğin 6-a, 5-a, 4-a, 3-a, 2-a ve 1-a şeklinde isimlendirilen BDÖ’lerin hepsi aynı düşey eksendedir.

Referans BDÖ'ler zemin yüzeyine yakın konuma, 1,0 metre seviyesine yerleştirilmiştir. Diğer bir grup BDÖ kazık ucuna mümkün olduğunca yakın olacak şekilde 30,0 metre derinliğe yerleştirilmiştir. Kalan dört grup BDÖ 11,5; 16,5; 22,0 ve 26,0 metre seviyesine yerleştirilmiştir. BDÖ'nün donatı kafesi bindirme bölgesine denk gelmemesine dikkat edilmiştir. Böylece tüm BDÖ'lerin aynı modüle sahip kazık bölümlerine yerleştirilmesi sağlanmıştır.

V10-P12 kazığı 0-25 metre arasında alüvyon, 25 metreden itibaren daha derine doğru serpantinolit olan bir ortamda imal edilmiştir. Alüvyon tabakası; yer yer kaba-ince tane oranı değişmekle beraber çakıl, kum, kil ve silt karışımından oluşmaktadır. 6, 5, 4 ve 3 numaralı BDÖ'ler zemin tabakasının olduğu seviyede kalmaktadır. 2 ve 1 numaralı BDÖ'ler ise kaya tabakasının olduğu seviyede kalmaktadır. Şekil 5.3'te BDÖ'lerin yerleştirildiği derinlikler gösterilmiştir.



Şekil 5.3. BDÖ'lerin yerleştirildiği derinlikler

BDÖ'lerin sağlıklı olarak çalışıp çalışmadığı veya okuma ünitesiyle BDÖ'ler arasındaki kablolarda sorun olup olmadığı birçok kez kontrol edilmiştir. Donatı kafesi üzerine yerleştirildikten sonra, donatı kafesi kuyuya indirildikten sonra, beton dökümü yapıldıktan sonra, kazık yükleme deneyi başlamadan hemen önce BDÖ'ler kontrol edilmiş ve herhangi bir sorun olmadığı tespit edilmiştir.

5.3. Enstrümanlı Yükleme Deneyinin Sonuçları ve Hesaplamalar

V10-P12 kazığında enstrümanlı kazık yükleme deneyi iki döngü halinde yapılmıştır. Kazık ilk döngüde tasarım yüküne kadar, ikinci döngüde tasarım yükünün 1,8 katına kadar yüklenmiştir. Okuma üniteleri yardımıyla yük kademelerinde okunan ham değerler Çizelge 5.2'de, ham değerler kullanılarak elde edilen ara değerler Çizelge 5.3'te, ara değerler kullanılarak elde edilen ana değerler ise Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

İki döngü halinde uygulanan yükleme deneyi toplam 25 adımdan oluşmaktadır. Yükleme adımlarının beşinde derinlik arttıkça ana değerler düzenli olarak azalmadığı, verilerin kendi içinde anlamlı olmadığı görülmüştür. Bu adımlar Çizelge 5.4'te koyu karakterlerle gösterilmiştir.

Sekizinci yükleme adımında (ilk döngünün boşaltma aşamasındaki 222,5 tonluk yük kademesi) 4'üncü ve 5'inci BDÖ gruplarının ana değerleri, kendinden üst seviyedeki BDÖ grubunun ana değerlerinden daha büyüktür.

Dokuzuncu yükleme adımında (ilk döngüde yükün tamamen kaldırıldığı adım) 3'üncü, 4'üncü ve 5'inci BDÖ gruplarının ana değerleri, kendinden üst seviyedeki BDÖ grubunun ana değerlerinden daha büyüktür.

Onuncu ve on birinci yükleme adımlarında (ikinci döngünün yükleme aşamasındaki 222,5 ve 445,0 tonluk yük kademeleri) 5'inci BDÖ grubunun ana değeri, kendinden üst seviyedeki BDÖ grubunun ana değerinden daha büyüktür.

Yirmi beşinci yükleme adımında (ikinci döngüde yükün tamamen kaldırıldığı adım) onuncu ve on birinci yükleme adımlarına benzer şekilde, 5'inci BDÖ grubunun ana değeri, kendinden üst seviyedeki BDÖ grubunun ana değerinden daha büyüktür.

Çizelge 5.2. Yük kademelerinde okunan ham değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ham Değer (µε)					
		6-a	6-b	6-c	5-a	5-b	5-c
1	0,0	2425	2690	2578	2269	2230	2644
2	222,5	2369	2668	2567	2249	2214	2625
3	445,0	2341	2640	2546	2218	2188	2597
4	667,5	2299	2605	2521	2181	2158	2564
5	890,0	2261	2579	2498	2149	2133	2537
6	667,5	2288	2597	2515	2167	2148	2555
7	445,0	2331	2628	2543	2198	2173	2581
8	222,5	2370	2655	2561	2223	2195	2606
9	0,0	2412	2681	2573	2248	2215	2629
10	222,5	2386	2662	2566	2230	2199	2610
11	445,0	2337	2633	2543	2201	2176	2584
12	667,5	2290	2601	2519	2169	2148	2554
13	890,0	2252	2574	2494	2139	2124	2528
14	1112,5	2208	2542	2465	2102	2092	2495
15	1335,0	2175	2517	2443	2072	2069	2471
16	1557,5	2140	2489	2419	2039	2042	2444
17	1600,0	2127	2488	2410	2024	2033	2439
18	1557,5	2134	2494	2415	2030	2037	2444
19	1335,0	2142	2500	2421	2035	2042	2450
20	1112,5	2157	2510	2431	2046	2050	2459
21	890,0	2164	2516	2436	2052	2051	2464
22	667,5	2169	2520	2440	2056	2058	2468
23	445,0	2173	2523	2443	2059	2060	2470
24	222,5	2176	2525	2445	2061	2063	2473
25	0,0	2178	2526	2446	2062	2063	2473

Çizelge 5.2. (devam) Yük kademelerinde okunan ham değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ham Değer (µε)					
		4-a	4-b	4-c	3-a	3-b	3-c
1	0,0	2404	2526	2275	2573	2760	2688
2	222,5	2391	2518	2261	2568	2756	2686
3	445,0	2365	2495	2232	2546	2746	2682
4	667,5	2335	2466	2197	2521	2727	2673
5	890,0	2307	2446	2166	2495	2703	2649
6	667,5	2321	2454	2179	2500	2707	2651
7	445,0	2344	2474	2204	2518	2716	2654
8	222,5	2364	2490	2226	2532	2728	2658
9	0,0	2384	2508	2249	2547	2740	2665
10	222,5	2371	2500	2236	2542	2736	2663
11	445,0	2348	2483	2211	2527	2729	2660
12	667,5	2323	2461	2184	2507	2714	2655
13	890,0	2298	2440	2156	2486	2695	2641
14	1112,5	2266	2414	2120	2456	2668	2615
15	1335,0	2239	2393	2091	2431	2645	2592
16	1557,5	2210	2370	2059	2404	2619	2567
17	1600,0	2193	2355	2035	2381	2590	2533
18	1557,5	2197	2358	2039	2383	2591	2533
19	1335,0	2200	2362	2044	2387	2593	2535
20	1112,5	2210	2369	2053	2393	2598	2536
21	890,0	2215	2373	2057	2396	2601	2537
22	667,5	2217	2375	2060	2399	2603	2538
23	445,0	2220	2377	2063	2400	2604	2539
24	222,5	2222	2379	2066	2402	2606	2539
25	0,0	2222	2380	2066	2402	2606	2540

Çizelge 5.2. (devam) Yük kademelerinde okunan ham değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ham Değer (µε)					
		2-a	2-b	2-c	1-a	1-b	1-c
1	0,0	2366	2178	2171	2348	2801	2772
2	222,5	2364	2175	2167	2344	2798	2770
3	445,0	2356	2168	2156	2339	2790	2766
4	667,5	2345	2161	2146	2338	2790	2764
5	890,0	2328	2150	2129	2330	2773	2758
6	667,5	2330	2153	2133	2333	2775	2759
7	445,0	2335	2158	2142	2337	2781	2761
8	222,5	2434	2163	2150	2340	2788	2763
9	0,0	2349	2167	2155	2340	2790	2764
10	222,5	2347	2164	2152	2340	2790	2763
11	445,0	2344	2160	2147	2338	2786	2761
12	667,5	2334	2153	2135	2333	2771	2759
13	890,0	2321	2145	2122	2327	2766	2755
14	1112,5	2300	2123	2103	2320	2744	2750
15	1335,0	2283	2102	2088	2316	2724	2747
16	1557,5	2266	2079	2073	2312	2704	2744
17	1600,0	2246	2052	2061	2309	2679	2741
18	1557,5	2247	2053	2063	2309	2680	2741
19	1335,0	2248	2054	2064	2310	2681	2742
20	1112,5	2251	2056	2063	2311	2683	2742
21	890,0	2253	2057	2070	2311	2684	2743
22	667,5	2255	2058	2071	2312	2685	2743
23	445,0	2256	2058	2072	2312	2686	2743
24	222,5	2257	2059	2073	2312	2686	2743
25	0,0	2257	2059	2073	2312	2686	2743

Çizelge 5.3. Hesaplanan ara değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ara Değer (µε)					
		6-a	6-b	6-c	5-a	5-b	5-c
1	0,0	0	0	0	0	0	0
2	222,5	56	22	11	20	16	19
3	445,0	84	50	32	51	42	47
4	667,5	126	85	57	88	72	80
5	890,0	164	111	80	120	97	107
6	667,5	137	93	63	102	82	89
7	445,0	94	62	35	71	57	63
8	222,5	55	35	17	46	35	38
9	0,0	13	9	5	21	15	15
10	222,5	39	28	12	39	31	34
11	445,0	88	57	35	68	54	60
12	667,5	135	89	59	100	82	90
13	890,0	173	116	84	130	106	116
14	1112,5	217	148	113	167	138	149
15	1335,0	250	173	135	197	161	173
16	1557,5	285	201	159	230	188	200
17	1600,0	298	202	168	245	197	205
18	1557,5	291	196	163	239	193	200
19	1335,0	283	190	157	234	188	194
20	1112,5	268	180	147	223	180	185
21	890,0	261	174	142	217	179	180
22	667,5	256	170	138	213	172	176
23	445,0	252	167	135	210	170	174
24	222,5	249	165	133	208	167	171
25	0,0	247	164	132	207	167	171

Çizelge 5.3. (devam) Hesaplanan ara değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ara Değer (µε)					
		4-a	4-b	4-c	3-a	3-b	3-c
1	0,0	0	0	0	0	0	0
2	222,5	13	8	14	5	4	2
3	445,0	39	31	43	27	14	6
4	667,5	69	60	78	52	33	15
5	890,0	97	80	109	78	57	39
6	667,5	83	72	96	73	53	37
7	445,0	60	52	71	55	44	34
8	222,5	40	36	49	41	32	30
9	0,0	20	18	26	26	20	23
10	222,5	33	26	39	31	24	25
11	445,0	56	43	64	46	31	28
12	667,5	81	65	91	66	46	33
13	890,0	106	86	119	87	65	47
14	1112,5	138	112	155	117	92	73
15	1335,0	165	133	184	142	115	96
16	1557,5	194	156	216	169	141	121
17	1600,0	211	171	240	192	170	155
18	1557,5	207	168	236	190	169	155
19	1335,0	204	164	231	186	167	153
20	1112,5	194	157	222	180	162	152
21	890,0	189	153	218	177	159	151
22	667,5	187	151	215	174	157	150
23	445,0	184	149	212	173	156	149
24	222,5	182	147	209	171	154	149
25	0,0	182	146	209	171	154	148

Çizelge 5.3. (devam) Hesaplanan ara değerler

Yükleme Adımı	Uygulanan Yük (ton)	Ara Değer (με)					
		2-a	2-b	2-c	1-a	1-b	1-c
1	0,0	0	0	0	0	0	0
2	222,5	2	3	4	4	3	2
3	445,0	10	10	15	9	11	6
4	667,5	21	17	25	10	11	8
5	890,0	38	28	42	18	28	14
6	667,5	36	25	38	15	26	13
7	445,0	31	20	29	11	20	11
8	222,5	23	15	21	8	13	9
9	0,0	17	11	16	8	11	8
10	222,5	19	14	19	8	11	9
11	445,0	22	18	24	10	15	11
12	667,5	32	25	36	15	30	13
13	890,0	45	33	49	21	35	17
14	1112,5	66	55	68	28	57	22
15	1335,0	83	76	83	32	77	25
16	1557,5	100	99	98	36	97	28
17	1600,0	120	126	110	39	122	31
18	1557,5	119	125	108	39	121	31
19	1335,0	118	124	107	38	120	30
20	1112,5	115	122	108	37	118	30
21	890,0	113	121	101	37	117	29
22	667,5	111	120	100	36	116	29
23	445,0	110	120	99	36	115	29
24	222,5	109	119	98	36	115	29
25	0,0	109	119	98	36	115	29

Çizelge 5.4. Hesaplanan ana değerler

Yükleme Adımı No	Uygulanan Yük (ton)	Ana Değer ($\mu\epsilon$)					
		6-ort	5-ort	4-ort	3-ort	2-ort	1-ort
1	0,00	0	0	0	0	0	0
2	222,50	30	18	12	4	3	3
3	445,00	55	47	38	16	12	9
4	667,50	89	80	69	33	21	10
5	890,00	118	108	95	58	36	20
6	667,50	98	91	84	54	33	18
7	445,00	64	64	61	44	27	14
8	222,50	36	40	42	34	20	10
9	0,00	9	17	21	23	15	9
10	222,50	26	35	33	27	17	9
11	445,00	60	61	54	35	21	12
12	667,50	94	91	79	48	31	19
13	890,00	124	117	104	66	42	24
14	1 112,50	159	151	135	94	63	36
15	1 335,00	186	177	161	118	81	45
16	1 557,50	215	206	189	144	99	54
17	1 600,00	223	216	207	172	119	64
18	1 557,50	217	211	204	171	117	64
19	1 335,00	210	205	200	169	116	63
20	1 112,50	198	196	191	165	115	62
21	890,00	192	192	187	162	112	61
22	667,50	188	187	184	160	110	60
23	445,00	185	185	182	159	110	60
24	222,50	182	182	179	158	109	60
25	0,00	181	182	179	158	109	60

Anlamalı olmayan ana değerler ikinci döngünün boşaltma aşamasında yükün tamamen kaldırıldığı yük kademesinde ve ilk döngünün boşaltma aşamasıyla ikinci döngünün yükleme aşamasında birbirini takip eden dört yük kademesinde görülmüştür.

İkinci döngünün sonunda yükün tamamen kaldırıldığı durumda 5'inci BDÖ grubunun ana değeri ile 6'ıncı BDÖ grubunun ana değeri arasında sadece 1 $\mu\epsilon$ fark vardır. Bu ihmal edilebilir düzeydedir. Benzer bir durum ikinci döngünün yükleme aşamasındaki 445,0 tonluk yük kademesi için de geçerlidir.

İlk döngünün boşaltma aşamasıyla ikinci döngünün yükleme aşamasında birbirini takip eden üç yük kademesi (sekizinci, dokuzuncu ve onuncu yükleme adımı) deney yüküne oranla çok düşük mertebedeki yüklerdir. Tekrarlı yükleme sırasında kazık çevresindeki zeminin denge durumuna ulaşması için yeterli zamanın olmadığı, buna bağlı olarak söz konusu yük kademelerinde anlamlı olmayan ana değerlerin görüldüğü söylenebilir.

Elastisite modülü, eksantrisite, sürtünme direnci ve uç direncinin analizinde enstrümanlı yükleme deneyinin ikinci döngüsünün yükleme aşamasındaki veriler kullanılır.

5.3.1. Kazığın elastisite modülünün belirlenmesi

Eş. 5.1'deki gibi eksenel gerilmenin (σ) birim deformasyona (ϵ) oranlanması ile elastisite modülü (E) bulunur.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (5.1)$$

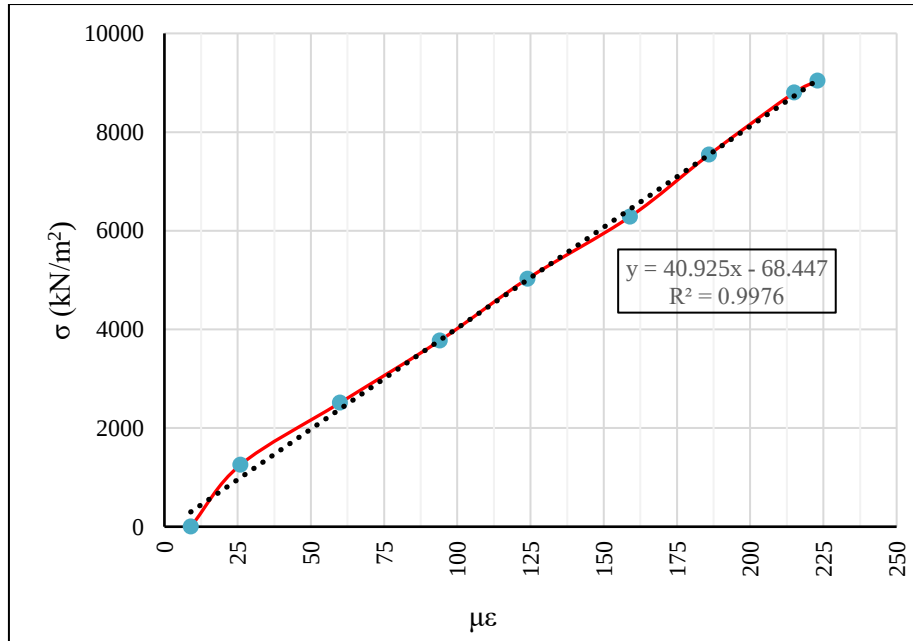
Elastisite modülünün hesaplanmasında ana değerler kullanılır. Referans BDÖ'lerin olduğu seviyede (1 metre seviyesinde) uygulanan yükün tamamının kazık tarafından karşılandığı ve 0-1 metre arasında kazık-zemin arasında çevre sürtünme direnci olmadığı kabul edilmektedir. Dolayısıyla bu seviyede σ - ϵ ilişkisi incelenerek kazığın elastisite modülü belirlenebilir.

Her yük kademesinde uygulanan yükün kazık alanına bölünmesiyle eksenel gerilmeler hesaplanır. Çizelge 5.5'te yükleme deneyinin ikinci döngüsünün yükleme aşamasında,

referans BDÖ'lerin olduğu seviyede hesaplanan gerilmeler ve birim deformasyonlar gösterilmektedir. Şekil 5.4'te ise σ - $\mu\epsilon$ ilişkisi grafiksel olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.5. Referans BDÖ seviyesinde eksenel gerilme ve birim deformasyonlar

Q (kN)	D (m)	A (m ²)	σ (kN/m ²)	$\mu\epsilon$	ϵ
0,00	1,50	1,77	0,00	9	9×10^{-6}
2225,00			1257,06	26	26×10^{-6}
4450,00			2514,12	60	60×10^{-6}
6675,00			3771,19	94	94×10^{-6}
8900,00			5028,25	124	124×10^{-6}
11 125,00			6285,31	159	159×10^{-6}
13 350,00			7542,37	186	186×10^{-6}
15 575,00			8799,44	215	215×10^{-6}
16 000,00			9039,55	223	223×10^{-6}



Şekil 5.4. Referans BDÖ'lerin seviyesinde σ - $\mu\epsilon$ grafiği

σ - $\mu\epsilon$ grafiğinde yük kademelerindeki gerilmelere denk gelen birim deformasyonlar yaklaşık olarak bir doğru üzerinde toplanmıştır. Bu doğrunun eğimi $\sigma/\mu\epsilon$ oranını verir. $\sigma/\mu\epsilon$ oranının 10^6 katı σ/ϵ oranına, dolayısıyla elastisite modülüne eşittir. Buna göre kazığın elastisite modülü yaklaşık olarak;

$E \approx 40 \times 10^6 \text{ kPa} = 40\,000 \text{ MPa}$ 'dır.

σ - $\mu\epsilon$ grafiğinin regresyon doğrusundan en fazla saptığı yük kademelerinin anlamlı ana değerlerin olmadığı 222,5 ve 445,0 tonluk yük kademelerinin olduğu görülmektedir. Ancak bu sapmalar elastisite modülünün tespitinde kayda değer bir değişikliğe sebep olmamıştır.

Şekil 5.5'te V10-P12 kazığının kesiti görülmektedir. Standartlarda verilen elastisite modülü değerleri kullanılarak betonarme kazığın elastisite modülü Eş. 5.2 yardımıyla analitik olarak hesaplanabilmektedir. "TS500: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları" standardında C30/37 sınıfındaki betonun elastisite modülü $32 \times 10^3 \text{ MPa}$, betonarme donatı çeliklerinin elastisite modülü de $2 \times 10^5 \text{ MPa}$ olarak verilmiştir.

$$E = \frac{(E_c \times A_c) + (E_y \times A_y)}{A} \quad (5.2)$$

E: Kazığın elastisite modülü,

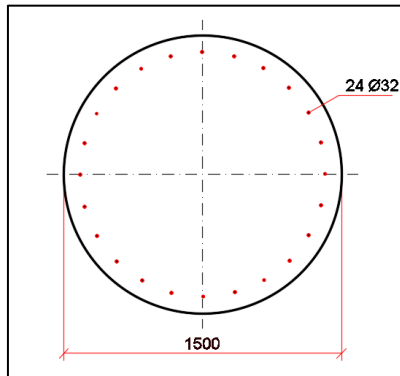
E_c : Betonun elastisite modülü,

E_y : Donatının elastisite modülü,

A: Kazık kesitinin alanı,

A_c : Betonun kesit alanı,

A_y : Donatının kesit alanı.



Şekil 5.5. V10-P12 kazığının kesiti

$$E = \frac{32000 \times \left(\frac{(\pi \times 1500^2) - (24 \times \pi \times 32^2)}{4} \right) + [200000 \times \left(\frac{24 \times \pi \times 32^2}{4} \right)]}{\frac{(\pi \times 1500^2)}{4}} = 33\,835 \text{ MPa}$$

V10-P12 kazığının elastisite modülü analitik hesapla 33 835 MPa olarak hesaplanmış, enstrümanlı yöntemle ise 40 000 MPa olarak belirlenmiştir. Deneysel olarak elde edilmesi sebebiyle enstrümanlı yöntemle belirlenen değerin daha güvenilir olduğu söylenebilir.

5.3.2. Eksantrisitenin yorumlanması

Eksantrisite herhangi bir sebepten dolayı yük eksenini ile kütle merkezinin çakışmadığı durumlarda oluşur. Betonarme fore kazıklar teorik olarak homojen formda tasarlanmış olsalar bile, yapım koşulları gereği bunun gerçekleşmesi neredeyse mümkün değildir. Birçok nedenden dolayı eksantrisite oluşabilir. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

- Delginin tam düşey ekseninde yapılmaması halinde, kazık düşey eksenle açı yapar ve eksantrisite oluşur.
- Beton dökümü sırasında kuyu duvarında göçme oluşması halinde, o kesimde kazık kesiti tam olarak oluşturulamaz ve eksantrisite oluşur.
- Kazık başlığında yapısal kusur olması halinde, yük düzgün uygulanamaz ve eksantrisite oluşur.
- Yüklemede kullanılan krikonun orta eksenini ile kazık ekseninin çakıştırılmaması halinde eksantrisite oluşur.
- Yükleme ekseninin düşey eksenle açı yapması halinde eksantrisite oluşur.

Eksantrisitenin incelenmesinde ara değerler kullanılır. Bunun için aynı düşey eksenindeki BDÖ'lere ait ara değerlerin derinlik ile ilişkisini gösteren grafikler oluşturulmuştur. Deney kazığında eş seviyeye yerleştirilen BDÖ'ler a, b, c harfleriyle kodlanmış ve aynı harfle kodlanan farklı seviyelerdeki BDÖ'ler aynı düşey ekseninde konumlandırılmıştır.

Ara değerler Çizelge 5.6, Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de gösterilmektedir. İkinci döngünün yükleme aşamasındaki yük kademeleri için eksantrisite değerlendirmesi yapılmıştır.

Çizelge 5.6. a ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler

Yük Kademesi (ton)	Ara değer ($\mu\epsilon$)					
	6-a (1,0 m)	5-a (11,5 m)	4-a (16,5 m)	3-a (22,0 m)	2-a (26,0 m)	1-a (30,0 m)
222,50	39	39	33	31	19	8
445,00	88	68	56	46	22	10
667,50	135	100	81	66	32	15
890,00	173	130	106	87	45	21
1112,50	217	167	138	117	66	28
1335,00	250	197	165	142	83	32
1557,50	285	230	194	169	100	36
1600,00	298	245	211	192	120	39

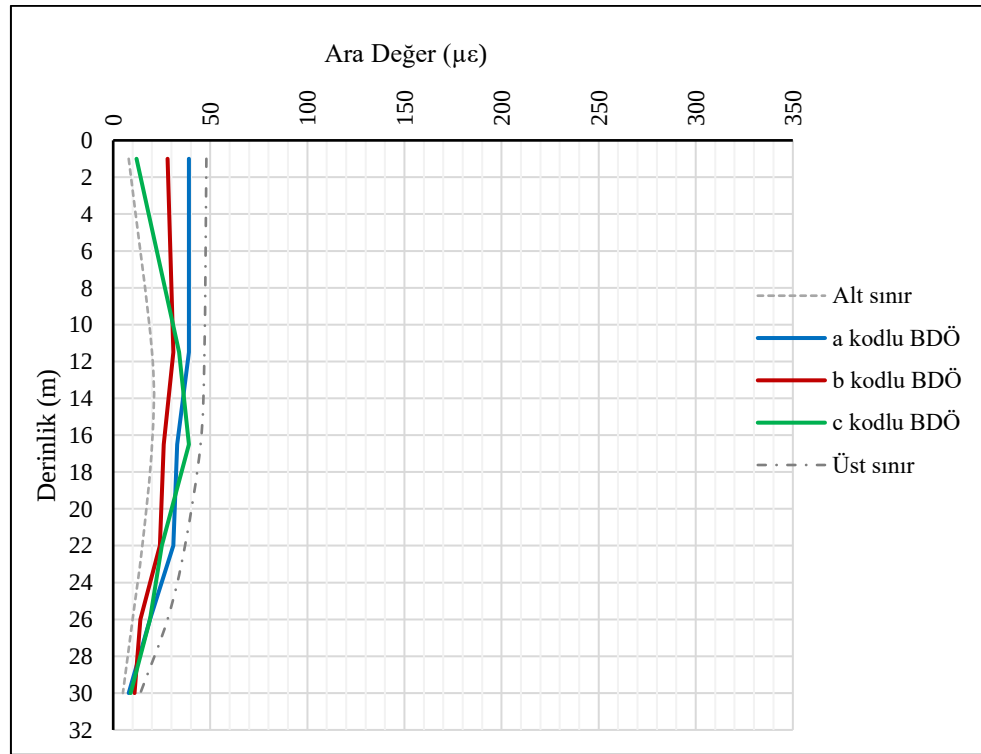
Çizelge 5.7. b ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler

Yük Kademesi (ton)	Ara değer ($\mu\epsilon$)					
	6-b (1,0 m)	5-b (11,5 m)	4-b (16,5 m)	3-b (22,0 m)	2-b (26,0 m)	1-b (30,0 m)
222,50	28	31	26	24	14	11
445,00	57	54	43	31	18	15
667,50	89	82	65	46	25	30
890,00	116	106	86	65	33	35
1112,50	148	138	112	92	55	57
1335,00	173	161	133	115	76	77
1557,50	201	188	156	141	99	97
1600,00	202	197	171	170	126	122

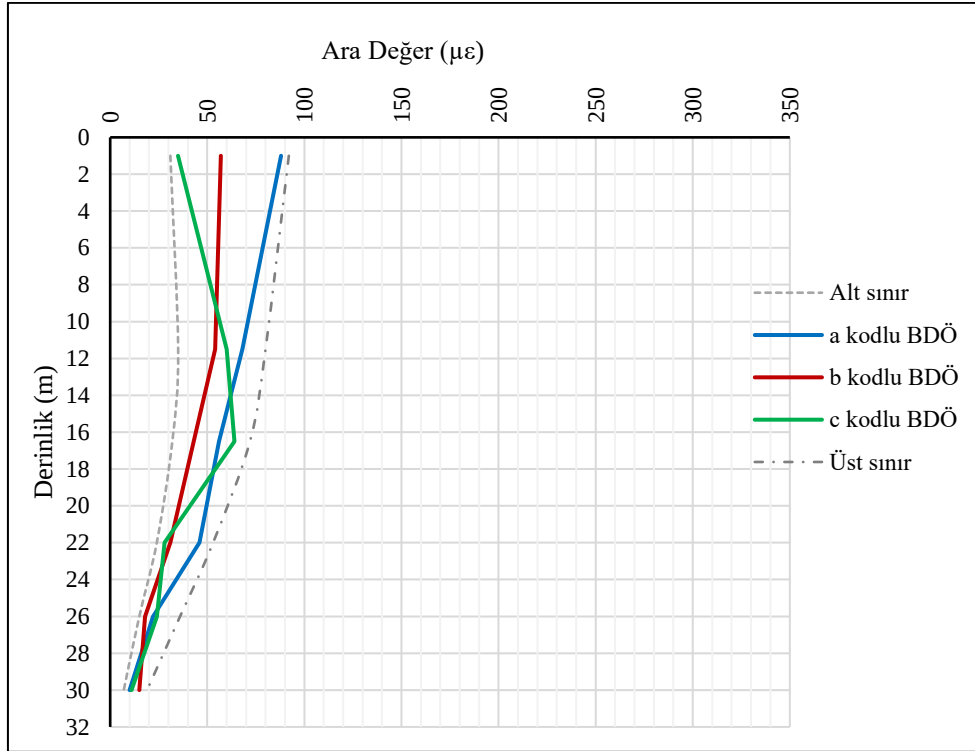
Şekil 5.6'dan Şekil 5.13'e kadar olan grafiklerde ara değerlerin derinlik ile ilişkisine yer verilmiştir. Grafiklerde BDÖ serileri farklı renklerde gösterilmiş, her yük kademesinde alt ve üst sınırlar belirlenmiştir. Grafikler birbirleri ile karşılaştırıldığında yük arttıkça BDÖ'lerden elde edilen ara değerlerin arttığı ve sınırlar arası bant genişliğinin büyüdüğü görülmektedir. Ayrıca serilerin birbirlerine göre konumlarının benzer eğilim gösterdikleri görülmektedir.

Çizelge 5.8. c ile kodlanmış BDÖ'lere ait ara değerler

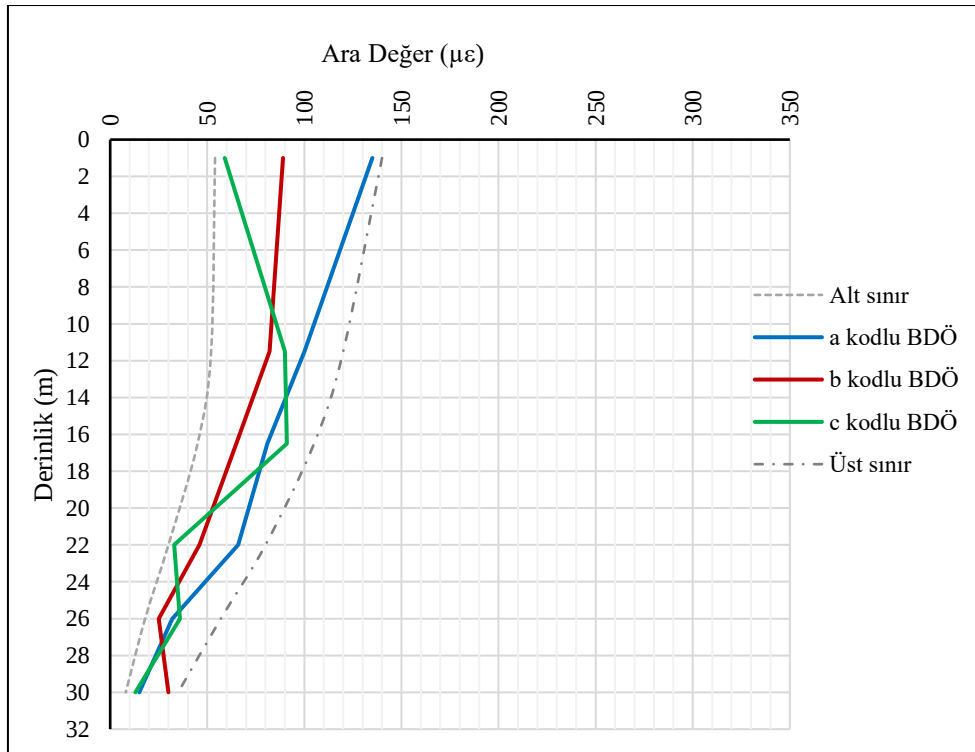
Yük Kademesi (ton)	Ara değer ($\mu\epsilon$)					
	6-c (1,0 m)	5-c (11,5 m)	4-c (16,5 m)	3-c (22,0 m)	2-c (26,0 m)	1-c (30,0 m)
222,50	12	34	39	25	19	9
445,00	35	60	64	28	24	11
667,50	59	90	91	33	36	13
890,00	84	116	119	47	49	17
1112,50	113	149	155	73	68	22
1335,00	135	173	184	96	83	25
1557,50	159	200	216	121	98	28
1600,00	168	205	240	155	110	31



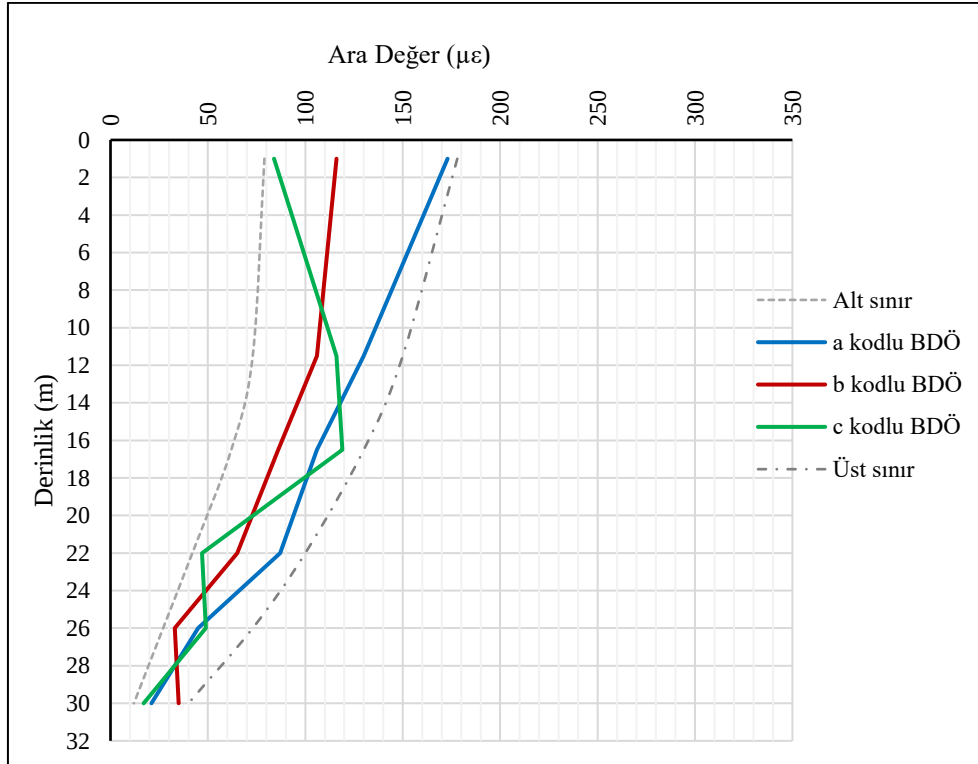
Şekil 5.6. 222,50 ton yük altında eksantrisite



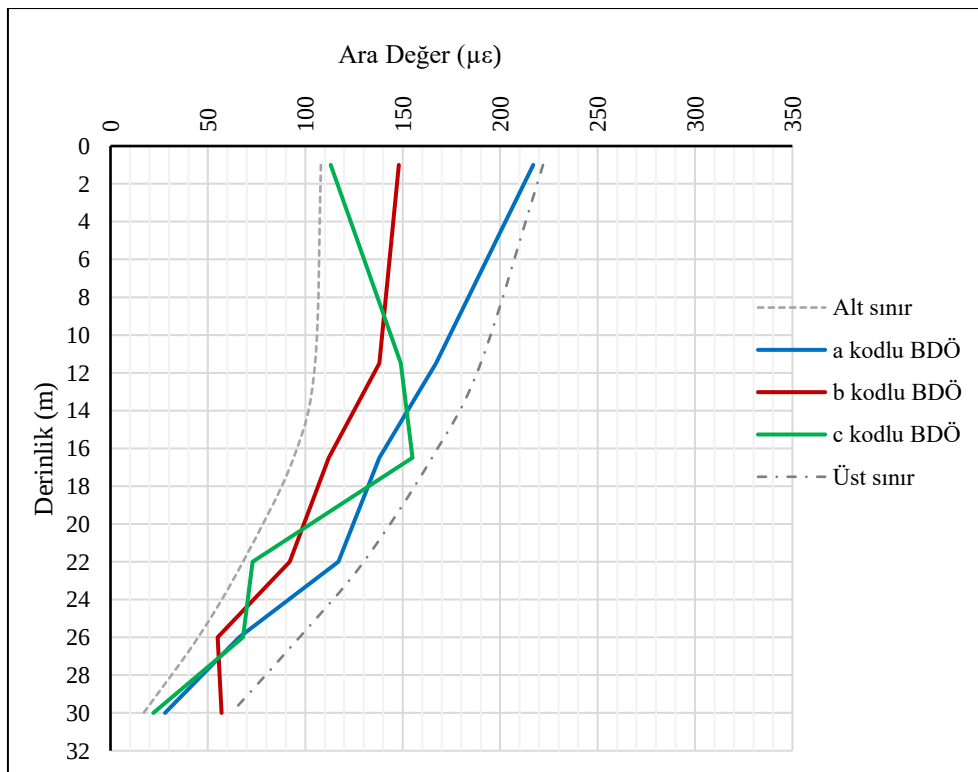
Şekil 5.7. 445,00 ton yük altında eksantrisite



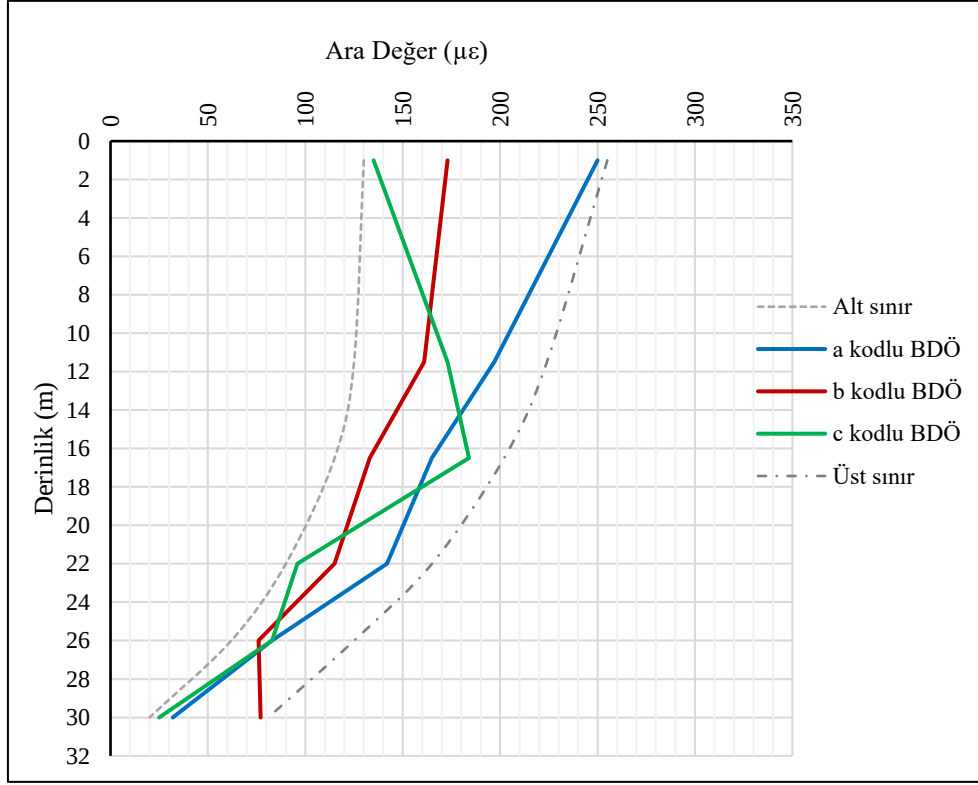
Şekil 5.8. 667,50 ton yük altında eksantrisite



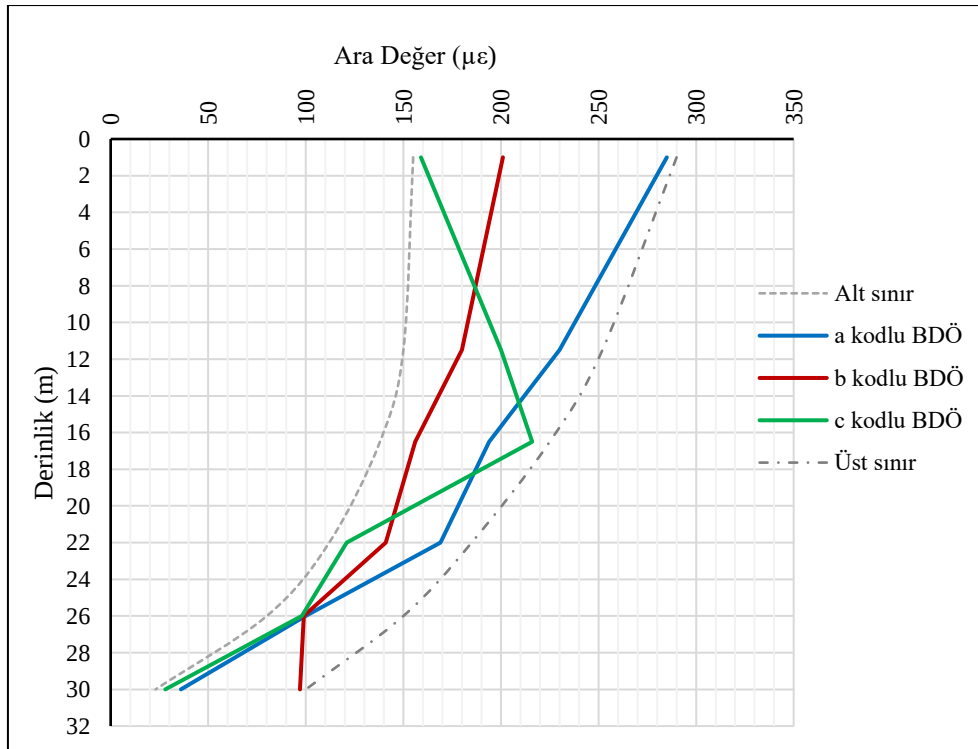
Şekil 5.9. 890,00 ton yük altında eksantrisite



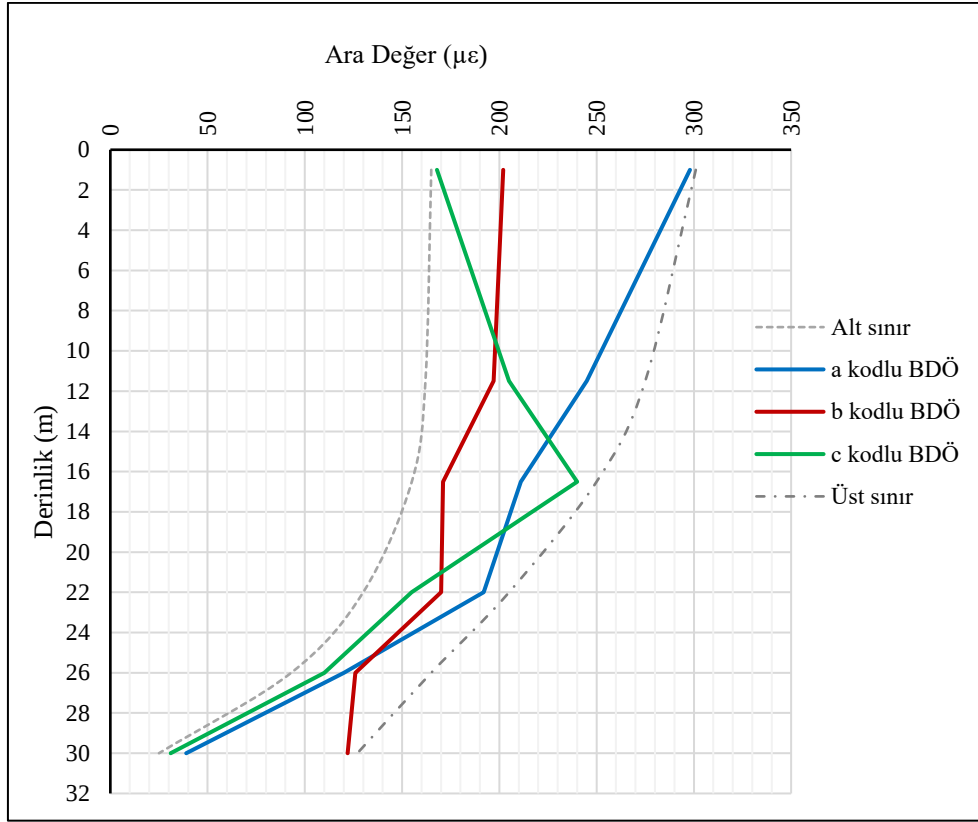
Şekil 5.10. 1112,50 ton yük altında eksantrisite



Şekil 5.11. 1335,00 ton yük altında eksantrisite



Şekil 5.12. 1557,50 ton yük altında eksantrisite



Şekil 5.13. 1600,00 ton yük altında eksantrisite

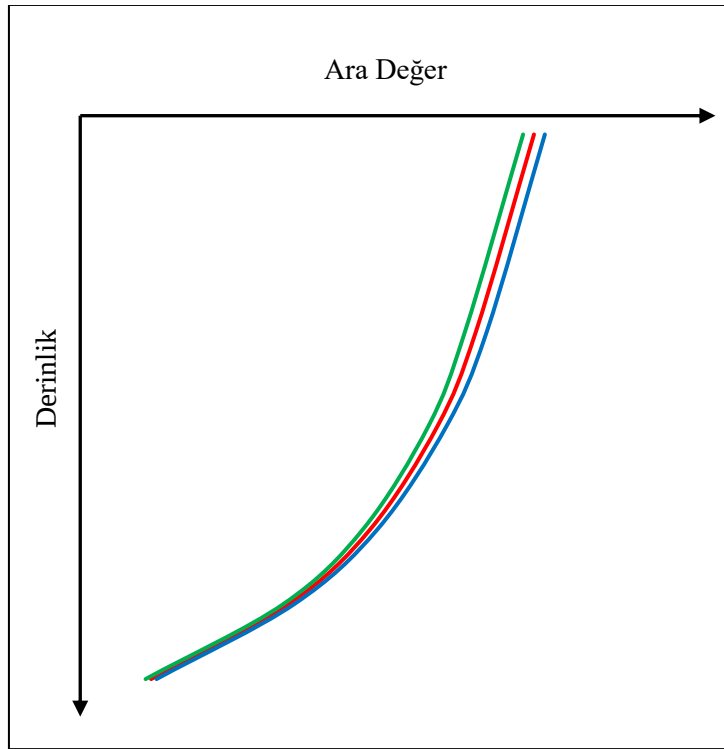
a serisine ait değerler tüm yük kademelerinde derinlik boyunca azalış eğilimindedir.

b serisine ait değerler 222,50 tonluk yük kademesinde 11,5 metre derinliğe kadar artış göstermiş, daha sonra derinlik boyunca azalmıştır. 445,0 tonluk yük kademesinde kazık başından kazık ucuna kadar derinlik boyunca azalmıştır. 667,50; 890,00; 1112,50 ve 1335,00 tonluk yük kademelerinde 26,0 metre derinliğe kadar azalmış, daha derinde artış göstermiştir. 1557,50 ve 1600,00 tonluk yük kademelerinde 445,0 tonluk yük kademesine benzer şekilde kazık başından kazık ucuna kadar derinlik boyunca azalmıştır.

c serisine ait değerler 222,50 ve 445,00 tonluk yük kademelerinde 16,5 metre derinliğe kadar artış göstermiş, daha sonra derinlik boyunca azalmıştır. 667,50 ve 890,00 tonluk yük kademelerinde 16,5 metre derinliğe kadar artış; 22,0 metre seviyesine kadar azalış; 26,0 metre seviyesine kadar artış ve bu seviyeden sonra kazık ucuna kadar azalış eğilimi göstermiştir. 1112,50; 135,00; 1557,50 ve 1600,00 tonluk yük kademelerinde 16,5 metre derinliğe kadar artış göstermiş, daha sonra derinlik boyunca azalmıştır.

Tüm yük kademelerinde 26,0 metre seviyesine kadar a ve b serilerine ait grafikler benzer eğilim göstermektedir. Bu seviyeden sonra ise a ve c serilerine ait grafikler benzer eğilim gösterirken, b serisine ait grafiklerin eğilimi farklılaşmaktadır.

Grafiklerde görülen bu farklılıklar, belli bir eksantrisitenin varlığını göstermektedir. Aynı seriye ait BDÖ'lerin aynı düşey eksende konumlandırıldığı ve eksantrisitenin olmadığı durumda (ideal durumda), her üç seriye ait grafiklerin yaklaşık olarak üst üste çakışması ve Şekil 5.14'tekine benzer bir grafik oluşturması beklenir. Sınırlar arası bant genişliği ne kadar küçülürse ideal duruma o kadar yaklaşmış olacaktır.



Şekil 5.14. Eksantrisite olmaması durumunda oluşması beklenen grafik

Yükleme ekseninin kazık ekseninden farklı olmasından kaynaklanacak eksantrisite hakkında en iyi yorum, yüzeye en yakın seviyedeki birim deformasyonlardan elde edilen ara değerlere bakılarak yapılabilir. Grafikler incelendiğinde 1,0 metre seviyesindeki serilere ait ara değerler arasında farklar vardır. Muhtemelen yükleme ekseni, diğer ölçerlere oranla a ile kodlanmış ölçerlere biraz daha yakın konumdadır.

26,0 metre seviyesine kadar a ve b serilerine ait ara değerler arasında farklar olmasına rağmen, serilere ait grafiklerin genel davranışları benzer eğilimdedir. c serisine ait grafik

ise 11,5 metre ve 16,5 metre seviyesinde düzensiz bir davranış göstermiştir. Bu durum iki farklı sebepten kaynaklanabilir. Kazık imalatı sırasında kuyu çeperlerinde göçme gerçekleşmiş olabilir. Ya da seriye ait BDÖ'ler aynı düşey eksen üzerinde konumlandırılmamış olabilir. Diğer serilere ait grafiklerle beraber değerlendirme yapıldığında kuyu çeperlerinde göçme meydana gelmediği değerlendirilmektedir. Göçme olması halinde, diğer serilere ait grafiklerde de düzensizlik gözlenmesi gerekirdi. Çünkü hem göçmenin olduğu bölgede hem de kuyu tabanı seviyesinde kazık modülü ciddi oranda değişiklik gösterecekti. Dolayısıyla c serisine ait grafikteki düzensiz davranışın, c serisindeki BDÖ'lerin aynı düşey ekseninde konumlandırılmamasından kaynaklandığı söylenebilir.

26,0 metre seviyesinden sonra a ve c serilerine ait grafikler benzer davranış gösterirken, b serisine ait grafik farklı davranış göstermiştir. c serisindeki BDÖ'lere benzer şekilde, bu farklılığın b serisinde 30,0 metre seviyesine konumlandırılan BDÖ'nün daha yukarıdaki BDÖ'lerle aynı düşey ekseninde olmamasından kaynaklandığı düşünülebilir. Ancak zemin seviyesinde kazığa yüklenen yükün derinlik boyunca azalarak etkidiği göz önünde bulundurulduğunda, konum sapmasının BDÖ'lerden elde edilen ara değerler arasında ciddi bir farka sebep olması beklenmemelidir. Muhtemelen kazık uç direncinden kaynaklanan bir durum söz konusudur. Uç direncinin kazık ucuna düzgün dağılımla etkimemesi sebebiyle 30,0 metre seviyesindeki b serisine ait BDÖ'nün diğerlerine oranla daha fazla yüke maruz kaldığı söylenebilir.

Özet olarak; yükleme merkezinin diğer serilerdeki ölçerlere oranla a serisindeki BDÖ'lere daha yakın konumda olduğu, c serisindeki BDÖ'lerin tam olarak aynı düşey ekseninde konumlandırılmadığı ve kazık uç seviyesinde b serisindeki BDÖ'nün daha fazla yüke maruz kaldığı değerlendirilmektedir. Ancak bunların kazık sürtünme direnci ve kazık uç direncinin hesaplandığı analiz sonuçlarına dikkate değer bir etkisi olmayacaktır. Çünkü BDÖ'lerden okunan ham değerler 2024 – 2801 $\mu\epsilon$ arasında değişmekte iken, eksantrisite grafiklerinde serilerin arasındaki en büyük fark ham değerlerin yaklaşık %5'i civarında, 130 $\mu\epsilon$ 'dir. Ayrıca eksantrisite grafiklerinde BDÖ ham değerlerinden elde edilen ara değerler kullanılırken, sürtünme direnci ve uç direnci analizlerinde her seviyedeki ara değerlerin ortalaması alınarak elde edilen ana değerler kullanılmaktadır.

Eksantrisite göz önünde bulundurulduğunda, her seviyede birden fazla BDÖ bulunması önemlidir. Hatta çalışma konusu fore kazıklar gibi daire kesitli kazıklarda, kesite düzgün dağılan en az üç adet BDÖ'nün bulunması faydalı olacaktır. Eş seviyedeki BDÖ sayısı arttıkça veri sayısı ve hassasiyet artacaktır.

5.3.3. Sürtünme direnci ve uç direncinin hesaplanması

Kazık sürtünme ve uç direncinin hesaplanmasında ana değerler kullanılmıştır. En büyük deney yüküne ulaşılan ikinci döngünün yükleme aşamasındaki yük kademeleri için hesap yapılmıştır. Ana değerler hesaplanırken 222,50 ve 445,00 tonluk yük kademelerinde ana değerlerin kendi içinde anlamlı olmadığı görülmüştü. Bu iki yük kademesi deney yüküne oranla çok küçük mertebede ve kazık kapasitesinin kontrolünde belirleyici olmayan yük kademeleridir. Bu nedenle anlamlı verilerin elde edildiği 667,50 tonluk yük kademesinden itibaren hesap yapılmaya başlanmıştır. Zaten ana değerlerin anlamlı olmaması sebebiyle 222,50 ve 445,00 tonluk yük kademelerinde bulunacak dirençler sağlıklı olmayacaktır.

Sürtünme dirençleri ve uç direnci hesaplanırken yapılacak ilk iş kazık seviyelerindeki yük miktarlarının hesaplanmasıdır. BDÖ'lerin olduğu her seviye için yük hesaplanabilir. Yüklerin hesaplanmasından sonra ise kazık bölümünün yüzey alanı kullanılarak birim sürtünme direnci bulunabilir.

Referans ölçerlere (1,0 metre seviyesindeki BDÖ grubu) ait birim deformasyon miktarının, alt seviyelerdeki birim deformasyon miktarına oranı, söz konusu seviyelerde kazığın taşıdığı yüklerin oranına eşittir. Başka bir ifadeyle, farklı seviyedeki BDÖ'lerden elde edilen değerlerle, kazığın o seviyelerde taşıdığı yükler arasında doğrusal ilişki vardır.

Daha önce de belirtildiği gibi, uygulanan yükün tamamının referans ölçerlerin bulunduğu seviyede kazık tarafından taşındığı kabul edilmiştir. BDÖ'lerden okunan değerler kullanılarak sürtünme ve uç direncinin hesaplanması, ikinci döngünün yükleme aşamasındaki 667,50 tonluk yük seviyesi için aşağıda detaylı olarak verilmektedir.

667,50 tonluk yük kademesinde referans ölçerlere ait birim deformasyon miktarı 94 $\mu\epsilon$; 11,5 metre seviyesindeki birim deformasyon miktarı 91 $\mu\epsilon$ 'dir. Buna göre 667,50 tonluk yük kademesinde 11,50 metre seviyesinde kazığın karşıladığı yük şu şekilde bulunur:

$$\frac{91}{94} \times 667,50 = 646,20 \text{ ton}$$

Daha sonra seviyeler arasındaki yük farkları bulunur. Bu yük farkları kazık bölümlerinin çevre sürtünmesiyle karşıladığı yüke karşılık gelmektedir. Karşılanan yükün kazık bölümünün yüzey alanına bölünmesi halinde, kazık bölümünün birim sürtünme direnci bulunabilir. Örneğin çapı 1,5 metre olan deney kazığının 1,0 – 11,5 metre arasındaki bölümünün birim sürtünme direnci aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{667,50 - 646,20}{(11,5 - 1,0) \times \pi \times 1,5} = 0,43 \text{ ton/m}^2$$

Bu şekilde kazığın her seviyesinde karşılanan yük ve kazık bölümlerinin birim sürtünme direnci hesaplanır. En alt seviyedeki BDÖ grubunun aşağısında kazık 1 metre daha devam etmektedir. Kazığın bu bölümünün (30 – 31 metre arası), bir üstteki bölümle aynı birim sürtünme direncine sahip olduğu kabul edilmiştir. İstisnai durumlar haricinde kazık tabanına yakın seviyelerde jeolojik yapı genellikle çok benzer özelliklerde olmaktadır. Daha önce yapılan sondaj verilerine dayanılarak, kazığın taban seviyelerindeki birim serpantin olarak tanımlanmış ve kazık tasarımı kayaya 6 metre soketli olarak yapılmıştır. Kazık delgisi sırasında karşılaşılan zemin sondaj verilerini destekler niteliktedir. Dolayısıyla bu kabulün gerçek durumla örtüştüğü söylenebilir. Çizelge 5.9’da 667,50 tonluk yük kademesi için hesaplanan yükler ve birim sürtünme dirençleri gösterilmektedir.

26,0 – 30,0 metre arasındaki birim sürtünme direnci olan 4,52 ton/m²’nin 30,0 – 31,0 metre arasında da geçerli olması durumunda, bu bölümde kazık çevresi tarafından karşılanacak olan yük;

$$4,52 \times (\pi \times 1,50 \times 1,00) = 21,29 \text{ ton}$$

olur. Bu durumda uç dayanımı (Q_p) Eş. 5.3 yardımıyla, uygulanan yükten (P) çevre sürtünmesiyle (Q_s) karşılanan toplam yükün çıkarılması yoluyla bulunabilir.

$$Q_p = P - Q_s \quad (5.3)$$

$$Q_s = 21,30 + 85,22 + 220,13 + 120,72 + 85,21 + 21,29 = 553,87 \text{ ton}$$

$$Q_p = 667,50 - 553,87 = 113,63 \text{ ton}$$

Çizelge 5.9. 667,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

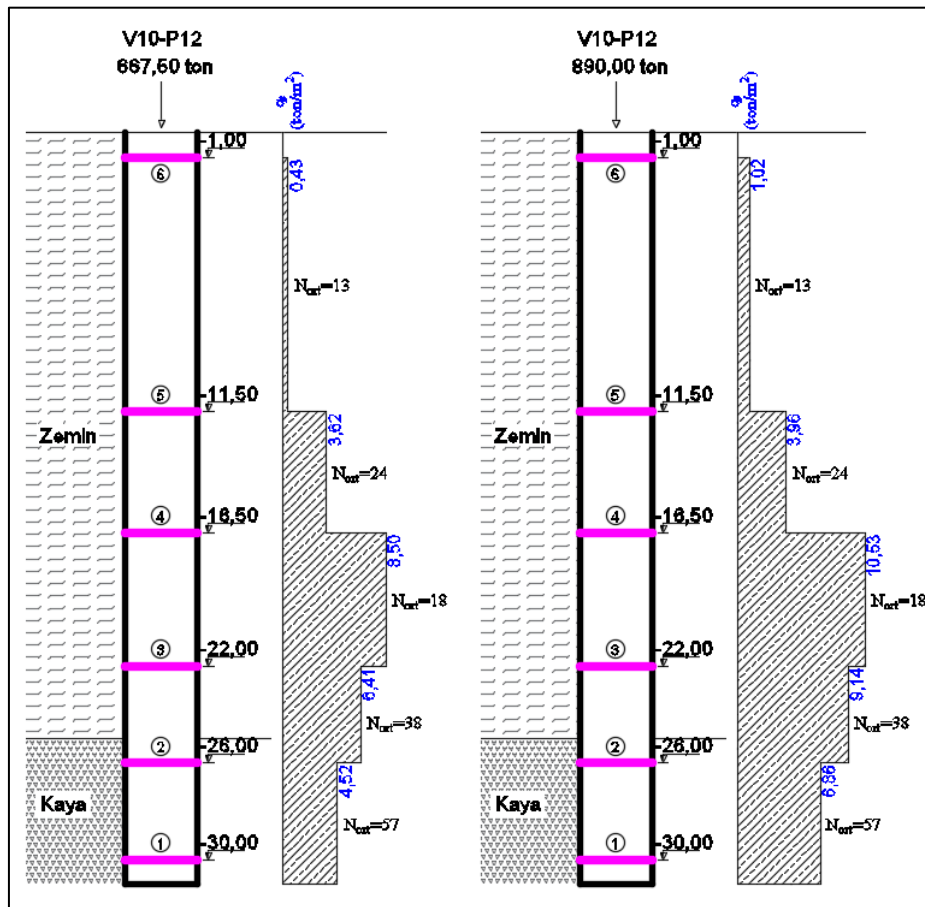
BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (με)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşılanan Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	94	667,50		
				21,30	0,43
5	11,5	91	646,20		
				85,22	3,62
4	16,5	79	560,98		
				220,13	8,50
3	22,0	48	340,85		
				120,72	6,41
2	26,0	31	220,13		
				85,21	4,52
1	30,0	19	134,92		
				21,29	4,52

Bu şekilde her yük kademesi için birim sürtünme dirençleri ve kazık uç dayanımları hesaplanabilir. Çizelge 5.10'dan Çizelge 5.14'e kadar olan tablolarda ikinci döngünün yükleme aşamasındaki 890,00 ton ve daha büyük yük kademeleri için hesaplanan birim sürtünme dirençleri ve kazık boyunca aktarılan yükler tablolar halinde gösterilmektedir.

Şekil 5.15, Şekil 5.16 ve Şekil 5.17'de birim sürtünme dirençleri kazık profili ile beraber gösterilmektedir.

Çizelge 5.10. 890,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (με)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşıl原因an Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	124	890,00		
				50,24	1,02
5	11,5	117	839,76		
				93,31	3,96
4	16,5	104	746,45		
				272,74	10,53
3	22,0	66	473,71		
				172,24	9,14
2	26,0	42	301,45		
				129,19	6,86
1	30,0	24	172,26		
				32,31	6,86



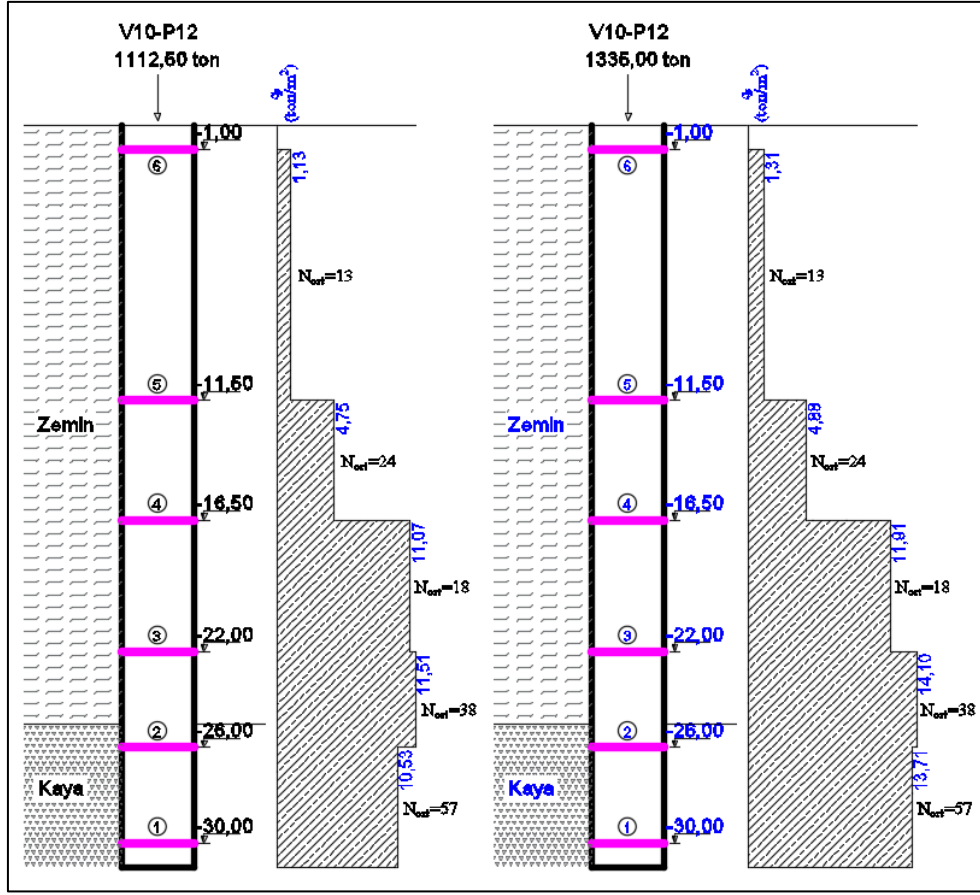
Şekil 5.15. 667,50 ton ve 890,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri

Çizelge 5.11. 1112,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (µε)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşıl原因an Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	159	1112,50		
				55,97	1,13
5	11,5	151	1056,53		
				111,95	4,75
4	16,5	135	944,58		
				286,88	11,07
3	22,0	94	657,70		
				216,90	11,51
2	26,0	63	440,80		
				188,91	10,03
1	30,0	36	251,89		
				47,24	10,03

Çizelge 5.12. 1335,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (µε)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşıl原因an Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	186	1335,00		
				64,60	1,31
5	11,5	177	1270,40		
				114,84	4,88
4	16,5	161	1155,56		
				308,62	11,91
3	22,0	118	846,94		
				265,57	14,10
2	26,0	81	581,37		
				258,39	13,71
1	30,0	45	322,98		
				64,57	13,71



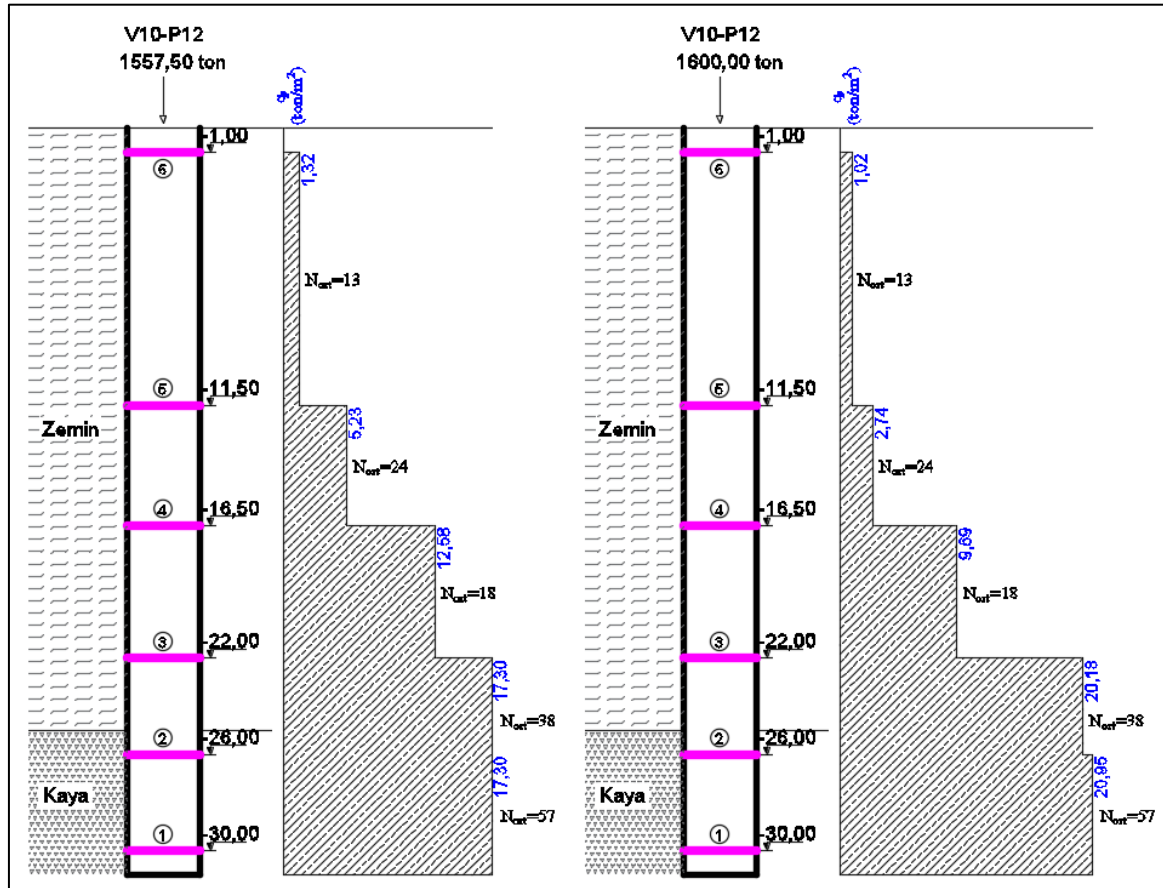
Şekil 5.16. 1112,50 ton ve 1335,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri

Çizelge 5.13. 1557,50 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (με)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşıl原因an Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	215	1557,50	65,20	1,32
5	11,5	206	1492,30	123,15	5,23
4	16,5	189	1369,15	325,99	12,58
3	22,0	144	1043,16	325,99	17,30
2	26,0	99	717,17	325,98	17,30
1	30,0	54	391,19	81,48	17,30

Çizelge 5.14. 1600,00 tonluk yükte hesaplanan sürtünme dirençleri ve yükler

BDÖ Grubu	Derinlik (m)	Ana Değer (με)	Hesaplanan Yük (ton)	Çevre Sürtünmesi ile Karşılanaan Yük (ton)	Birim sürtünme direnci (ton/m ²)
6	1,0	223	1600,00		
				50,22	1,02
5	11,5	216	1 549,78		
				64,58	2,74
4	16,5	207	1485,20		
				251,12	9,69
3	22,0	172	1234,08		
				380,27	20,18
2	26,0	119	853,81		
				394,62	20,95
1	30,0	64	459,19		
				98,67	20,95

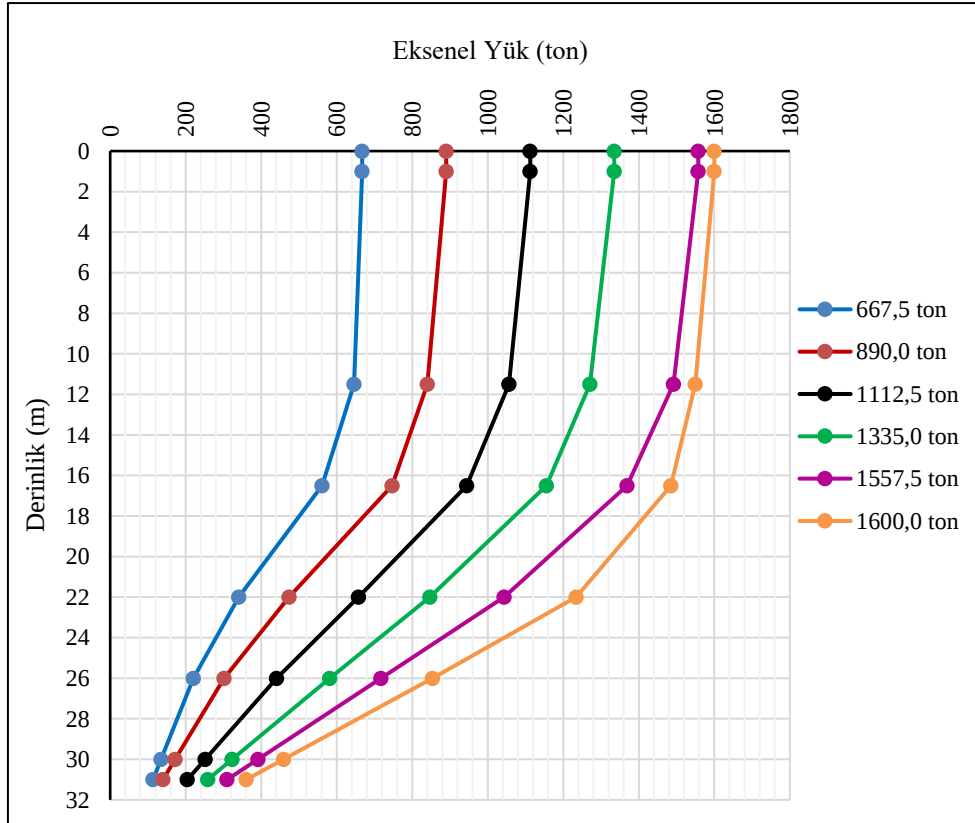


Şekil 5.17. 1557,50 ton ve 1600,00 ton altında belirlenen birim sürtünme dirençleri

Çevre sürtünmesiyle karşılanan yüke bağlı olarak hesaplanan uç dayanımları Çizelge 5.15’de gösterilmektedir. Şekil 5.18’de ise derinlik boyunca sürtünme ile karşılanan yük miktarları gösterilmektedir.

Çizelge 5.15. Hesaplanan sürtünme ve uç dayanımları

Uygulanan Yük (ton)	Q_s (ton)	Q_p (ton)	Q_s/P (%)	Q_p/P (%)
667,50	553,87	113,63	83	17
890,00	750,05	139,95	84	16
1112,50	907,85	204,65	82	18
1335,00	1076,59	258,41	81	19
1557,50	1247,79	309,71	80	20
1600,00	1239,48	360,52	77	23



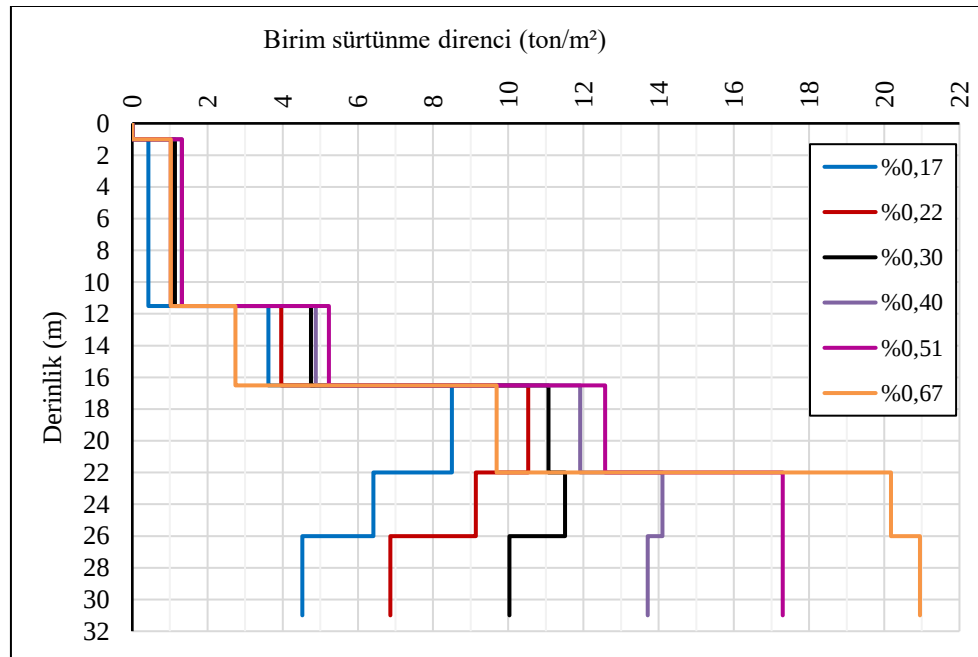
Şekil 5.18. Derinlik boyunca hesaplanan yük miktarları

Dördüncü bölümde yük kademelerine denk gelen kazık/çap oranları (δ/D) verilmişti (Bkz. Çizelge 4.2). Kazık bölümlerinin yük kademelerinde belirlenen birim sürtünme dirençleri

ise yukarıda hesaplanmıştır (Bkz. Çizelge 5.9-5.14). Kazık bölümlerinin birim sürtünme dirençlerine denk gelen δ/D oranları Çizelge 5.16’da verilmekte ve Şekil 5.19’da grafiksel olarak gösterilmektedir.

Çizelge 5.16. Hesaplanan birim sürtünme dirençleri

Kazık Bölümü	δ/D Oranı					
	(%)					
	0,17	0,22	0,30	0,40	0,51	0,67
Birim Sürtünme Direnci (ton/m ²)						
0,0 – 11,5 m arası	0,43	1,02	1,13	1,31	1,32	1,02
11,5 – 16,5 m arası	3,62	3,96	4,75	4,88	5,23	2,74
16,5 – 22,0 m arası	8,50	10,53	11,07	11,91	12,58	9,69
22,0 – 26,0 m arası	6,41	9,14	11,51	14,10	17,30	20,18
26,0 – 31,0 m arası	4,52	6,86	10,03	13,71	17,30	20,95



Şekil 5.19. Kazık bölümlerinin birim sürtünme dirençleri

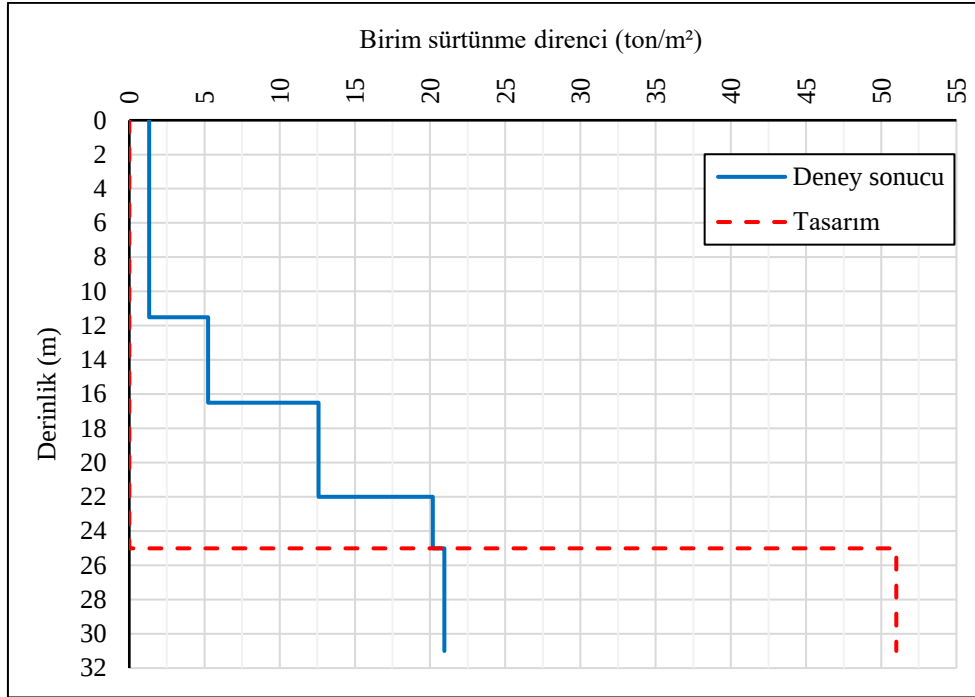
Birim sürtünme direncinin δ/D oranına bağlı değişimi incelendiğinde şunlar gözlemlenmiştir:

- δ/D oranı %0,17 ve %0,22 iken kazık bölümlerinde hesaplanan birim sürtünme direnci 22,0 metre derinliğe kadar artmış, bu derinlikten sonra azalmıştır.
- δ/D oranı %0,30 ve %0,40 iken kazık bölümlerinde hesaplanan birim sürtünme direnci 26,0 metre derinliğe kadar artmış, bu derinlikten sonra azalmıştır.
- δ/D oranı %0,51 iken kazık bölümlerinde hesaplanan birim sürtünme direnci 22,0 metre derinliğe kadar artmış, bu derinlikten sonra sabit kalmıştır.
- δ/D oranı %0,67 iken kazık bölümlerinde hesaplanan birim sürtünme direnci derinlik boyunca artmıştır.

Zemin bölümünde en büyük birim sürtünme dirençleri δ/D oranı %0,51 iken elde edilmiştir. Kayada ise δ/D oranı arttıkça daha büyük birim sürtünme dirençleri elde edilmiştir. AASHTO'da (2012), kohezyonlu zeminlerde imal edilen fore kazıklarda sürtünme dayanımının, tipik olarak δ/D oranı %0,2 – %0,8 arasında iken tamamen mobilize olduğu belirtilmektedir. Enstrümanlı yöntemle elde edilen %0,51 değeri AASHTO'da verilen değerle uyumludur.

Kazığın 0,0 – 25,0 metre arasındaki bölümü zeminde, 25,0 – 31,0 metre arasındaki bölümü kayada yer almaktadır. 6, 5, 4 ve 3 numaralı BDÖ'ler zemin tabakasının olduğu seviyede kalmaktadır. 2 ve 1 numaralı BDÖ'ler soket bölümündedir. 2 numaralı BDÖ'ler soketin başlangıç seviyesinin çok yakınında (26'ıncı metrede), 1 numaralı BDÖ'ler ise kazık tabanının yakınında (30'uncu metrede) yer almaktadır. Dolayısıyla bu bölüm için belirlenen birim sürtünme direnci soket bölümünün tamamının birim sürtünme direncidir.

Maksimum deney yükü altında soket bölümünün birim sürtünme direnci 20,95 ton/m² olarak belirlenmiştir. Tasarımda V10-P12 kazığının soket bölümünün nihai birim sürtünme direnci 51 ton/m² olarak hesaplanmış ve soket bölümüne kadar olan kazık bölümünün sürtünme direnci ihmal edilmiştir. Ancak enstrümanlı yöntemde zemin içindeki kazık bölümünde de önemli miktarda sürtünme direncinin var olduğu görülmüştür. Şekil 5.20'de tasarımdaki birim sürtünme dirençleri ve enstrümanlı yöntemle kazık bölümlerinde belirlenen maksimum birim sürtünme dirençleri karşılaştırılmaktadır.



Şekil 5.20. Deneyde belirlenen ve tasarımda kullanılan birim sürtünme dirençleri

5.3.4. Kazık yük taşıma mekanizmasının değerlendirilmesi

Toplam çevre sürtünme dayanımından soket bölümü sürtünme dayanımı çıkarılarak kazığın zemin içindeki bölümünün sürtünme dayanımı bulunabilir. Çizelge 5.17’de farklı yük kademelerinde soket bölümünün sürtünme dayanımına ve zemin içindeki kazık bölümünün sürtünme dayanımına yer verilmiştir. Çizelgedeki simgelerin açıklaması çizelgeden sonra verilmiştir.

Çizelge 5.17. Soket ve zemin bölümü sürtünme dayanımları

δ/D (%)	Q_s (ton)	f_{skaya} (ton/m ²)	P_K (m)	L_s (m)	Q_{sk} (ton)	Q_{sz} (ton)
0,17	553,87	4,52	4,71	6,00	127,73	426,14
0,22	750,05	6,86			193,87	556,18
0,30	907,85	10,03			283,45	624,40
0,40	1076,59	13,71			387,45	689,14
0,51	1247,79	17,30			488,90	758,89
0,67	1239,48	20,95			592,05	647,43

δ/D : Kazık/çap oranı,

f_{skaya} : Soket bölümü birim sürtünme direnci,

P_K : Kazık çevresi,

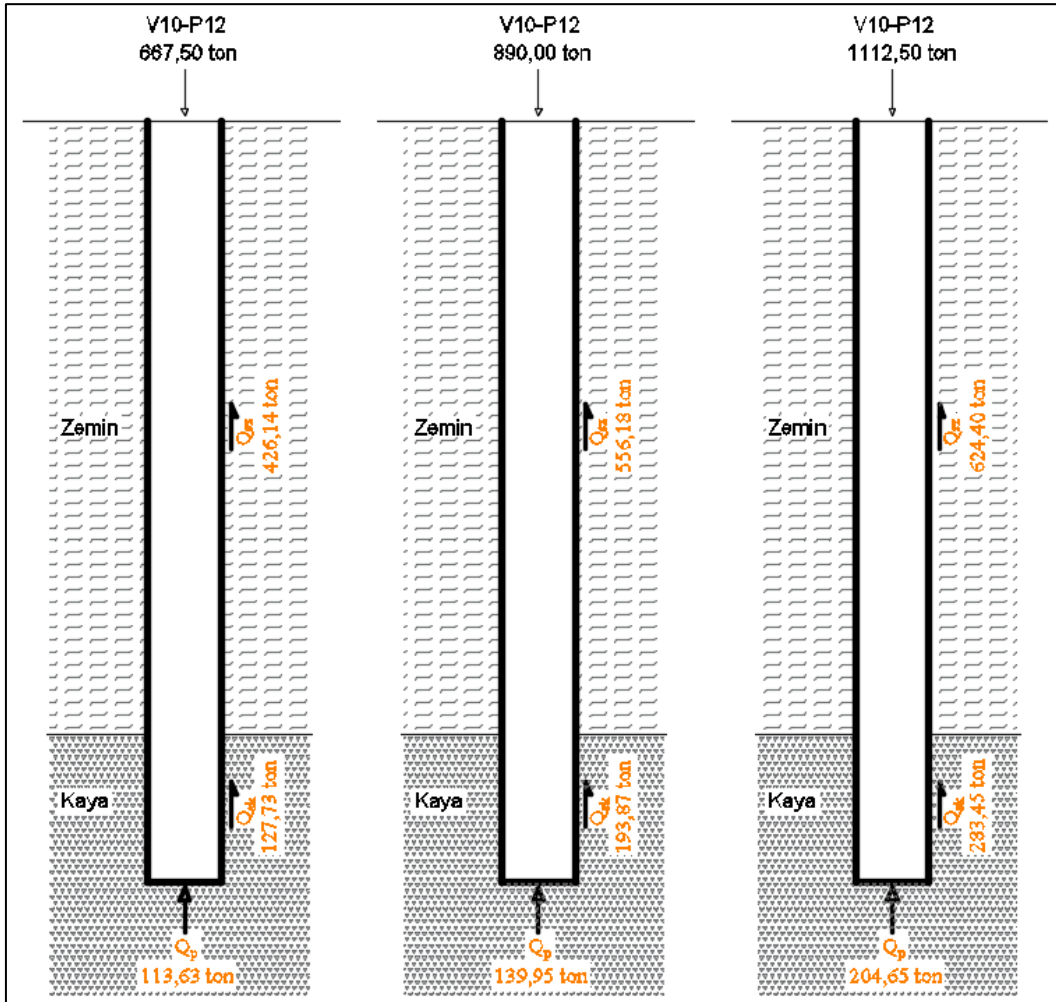
L_s : Soket uzunluğu,

Q_{sk} : Soket bölümü sürtünme dayanımı,

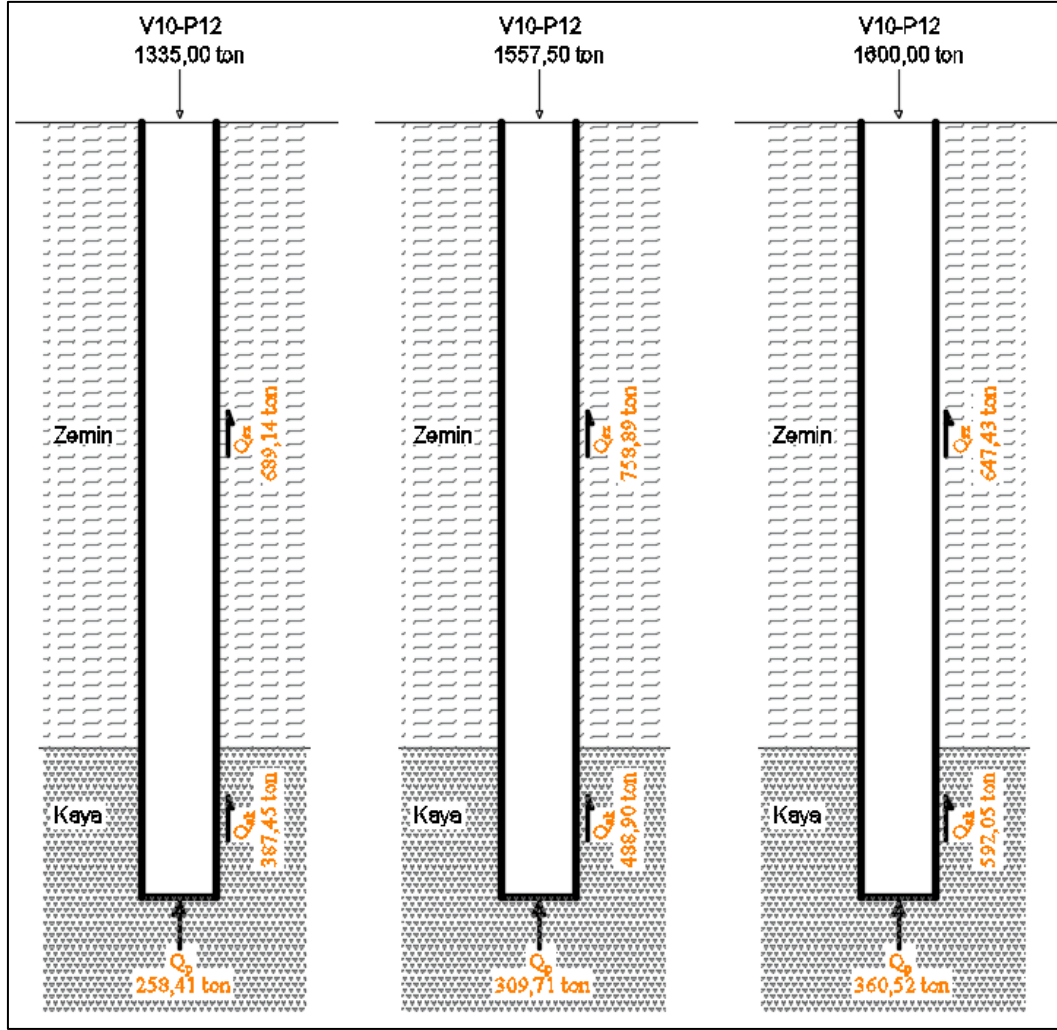
Q_s : Kazığın sürtünme dayanımı,

Q_{sz} : Kazığın zemin içindeki sürtünme dayanımı.

Şekil 5.21 ve Şekil 5.22’de yük kademelerindeki sürtünme dayanımları ve uç dayanımları kazık profillerinde gösterilmektedir.



Şekil 5.21. 667,50; 890,00 ve 1112,50 ton yük altında sürtünme ve uç dayanımları



Şekil 5.22. 1335,50; 1557,50 ve 1112,50 ton yük altında sürtünme ve uç dayanımları

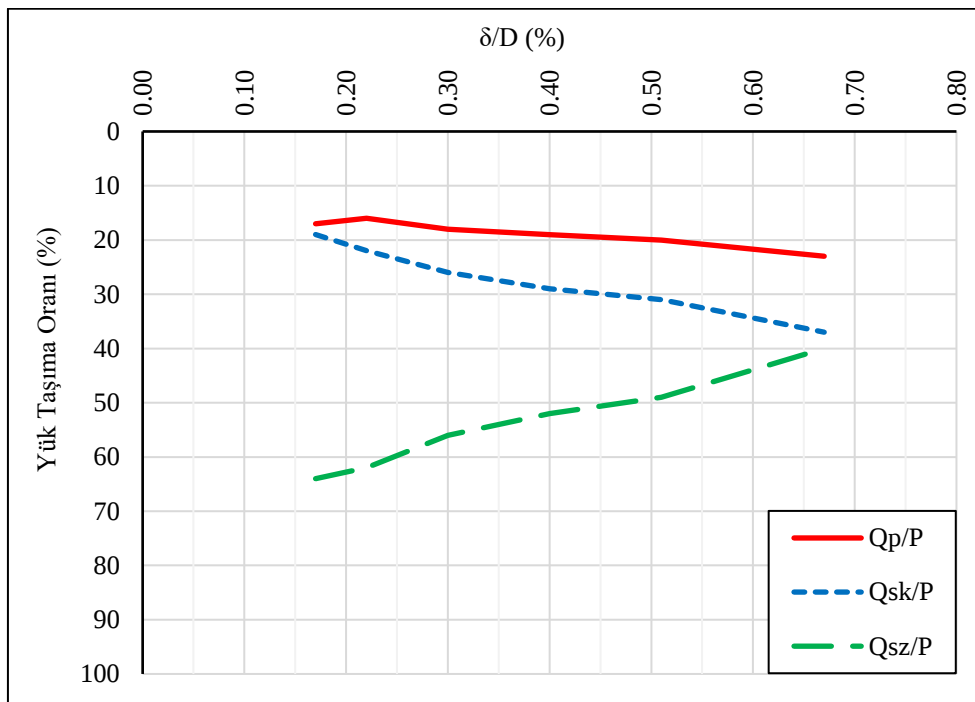
Yük kademelerindeki uç dayanımları daha önce hesaplanmıştı (Bkz. Çizelge 5.15). δ/D oranına bağlı olarak değişen uç dayanımları ve sürtünme dayanımlarının uygulanan yüke oranı Çizelge 5.18’de gösterilmektedir.

Çizelge 5.18. Uç ve sürtünme dayanımlarının uygulanan yüke oranı

δ/D (%)	P (ton)	Q_{sk} (ton)	Q_{sz} (ton)	Q_p (ton)	Q_{sk}/P	Q_{sz}/P	Q_p/P
0,17	667,50	127,73	426,14	113,63	%19	%64	%17
0,22	890,00	193,87	556,18	139,95	%22	%62	%16
0,30	1112,50	283,45	624,40	204,65	%26	%56	%18
0,40	1335,00	387,45	689,14	258,41	%29	%52	%19
0,51	1557,50	488,90	758,89	309,71	%31	%49	%20
0,67	1600,00	592,05	647,43	360,52	%37	%40	%23

Soket bölümü sürtünme dayanımının yüke oranı %19-37 aralığında, zemin bölümü sürtünme dayanımının yüke oranı %40-64 aralığında, kazık uç dayanımının yüke oranı da %17-23 aralığında kalmaktadır. Yük arttıkça Q_{sk}/P ve Q_p/P oranı artmakta, Q_{sz}/P oranı ise azalmaktadır. Q_p/P oranı sınırlı düzeyde artmış ve deney boyunca yaklaşık %20 civarında gerçekleşmiştir.

Şekil 5.23'te δ/D oranına bağlı olarak değişen uç dayanımları ve sürtünme dayanımlarının uygulanan yüke oranı gösterilmektedir.



Şekil 5.23. Yük taşıma oranları grafiği

V10-P12 kazığında 667,50 tonluk yük kademesinden maksimum deney yükü olan 1600,00 tona kadar deplasman miktarı 1,085 mm'den 9,998 mm'ye, δ/D oranı %0,17'den %0,67'ye yükselmiş ve %0,51'lik δ/D oranından sonra kazıkta kalıcı deformasyon gözlenmiştir. Uç dayanımının yüke oranı (Q_p/P) ise deney sonuna kadar çok dar bir aralıkta değişkenlik göstermiş, yaklaşık %20 civarında gerçekleşmiştir. Buna göre Q_p/P oranının δ/D oranından ve deplasmanın tipinden (geçici veya kalıcı olup olmaması) bağımsız olduğu görülmüştür.

V10-P12 kazığının 0,0 – 25,0 metre arasındaki bölümünün içinde kaldığı zemin katmanı, laboratuvar ve saha deneylerine göre genel olarak kohezyonlu, ortalama SPT-N değeri 9-

30 aralığında, tek eksenli basınç dayanımı 300 kPa olan bir birimdir (Bkz. Bölüm 3.2.1). Çizelge 5.19’da Terzaghi, Peck ve Mesri (1996) tarafından killerdeki kıvam, SPT-N ve tek eksenli basınç dayanımı ilişkisi için verilen tablo gösterilmektedir. Bu tablodaki sınıflandırmaya göre 0,0 – 25,0 metre arasındaki zemin çok katı sınıfındadır. Dolayısıyla böyle bir zemin içerisindeki kazık bölümünün kayda değer bir sürtünme dayanımı göstermesi beklenir.

Çizelge 5.19. Killerde kıvam, N_{60} ve q_u ilişkisi (Terzaghi ve diğerleri, 1996)

Kıvam	Çok gevşek	Gevşek	Orta katı	Katı	Çok katı	Sert
N_{60}	<2	2-4	4-8	8-15	15-30	>30
q_u	<25	25-50	50-100	100-200	200-400	>400

AASHTO (2012) kohezyonlu zeminlerde oluşturulan ön delgili kazıkların birim sürtünme direncinin (f_s) hesaplanması için Eş. 5.4’ü önermiştir. Eşitlikteki adezyon faktörü (α), drenajsız kayma dayanımının (S_u) atmosferik basınca (P_a) oranına bağlı olarak değişmektedir. Eş. 5.5 ve Eş. 5.6’da α değeri için koşullar gösterilmektedir.

$$f_s = \alpha \cdot S_u \quad (5.4)$$

$$\frac{S_u}{P_a} \leq 1,5 \Rightarrow \alpha = 0,55 \quad (5.5)$$

$$1,5 \leq \frac{S_u}{P_a} \leq 2,5 \Rightarrow \alpha = 0,55 - 0,1 \cdot \left(\frac{S_u}{P_a} - 1,5 \right) \quad (5.6)$$

$$Q_{sz} = f_s \cdot P_K \cdot L_z \quad (5.7)$$

S_u : Drenajsız kayma dayanımı,

P_a : Atmosferik basınç (101,3 kPa),

α : Adezyon faktörü,

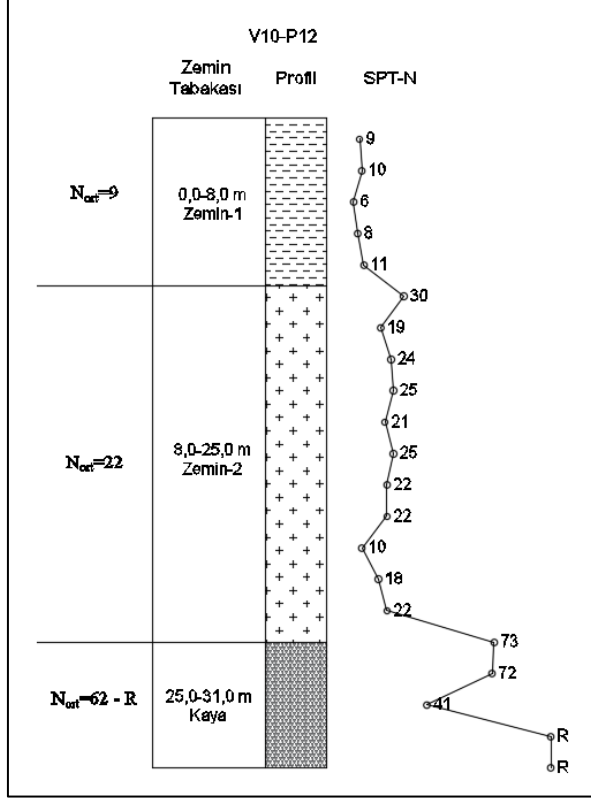
f_s : Birim sürtünme direnci,

P_K : Kazık çevresi,

L_z : Zemin bölümündeki kazık uzunluğu,

Q_{sz} : Kazığın zemin içindeki sürtünme dayanımı.

SPT-N değerleri kullanılarak 0,0-25,0 metre arasındaki zemin Şekil 5.24 deki gibi iki tabaka halinde idealize edilebilir.



Şekil 5.24. V10-P12 kazığı idealize zemin profili

Zemin numunelerinde uygulanan tek eksenli basınç dayanımı deneyinin sonuçlarına bağlı olarak Eş. 5.8 yardımıyla zeminin drenajsız kayma dayanımı bulunabilir.

$$S_u = \frac{1}{2} q_u \quad (5.8)$$

Zemin katmanlarının ortalama SPT-N değerlerine bağlı olarak Çizelge 5.19'dan Zemin-1 için $q_u=150$ kPa, Zemin-2 için $q_u=300$ kPa değeri seçilmiştir. Buna göre drenajsız kayma dayanımı Zemin-1 için $S_{u1}=75$ kPa, Zemin-2 için $S_{u2}=150$ kPa bulunur. Bu değerler için Eş. 5.7 yardımıyla V10-P12 kazığının zemin bölümü sürtünme dayanımı aşağıda hesaplanmıştır.

$$Q_{sz1} = 0,55 \cdot 75 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 8 = 1\,555 \text{ kN}$$

$$Q_{sz2} = 0,55 \cdot 150 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 17 = 6\,609 \text{ kN}$$

$$Q_{sz} = Q_{sz1} + Q_{sz2} = 1\,555 + 6\,609 = 8\,164 \text{ kN} \cong 816 \text{ ton}$$

0,0-25,0 metre arasındaki zemin bölümünde kazığın sürtünme dayanımı yük kademelerinde 426,14 ton ile 758,89 ton arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 5.18). Eş. 5.7 yardımıyla bulunan değer ise 816,00 tondur. Kazığın zemin içindeki sürtünme dayanımı için AASHTO'da (2012) önerilen ampirik eşitlikle bulunan değer, enstrümanlı yöntemle bulunan değer üzerinde gerçekleşmiştir.

Yük arttıkça yükün soket bölümü sürtünme dayanımı ile karşılanma oranı %19'dan %37'ye yükselmiştir. Zemin bölümü sürtünme dayanımı ile karşılanma oranı ise %64'den %40'a düşmüştür. En büyük yükleme durumunda soket bölümünün ve zemin bölümünün yükü karşılama oranı yaklaşık aynı seviyededir. Yükün tamamının soket bölümü tarafından karşılanmasının beklenmesine rağmen, en büyük yükleme durumunda yaklaşık %60'lık bölümü diğer kısımlar tarafından karşılanmıştır. Muhtemelen zeminin tabaka kalınlığının soket uzunluğuna oranla çok büyük olması ($L_z/L_s > 4$) ve önemli ölçüde sürtünme dayanımı gösterebilecek mekanik özelliklere sahip olması sebebiyle bu durum gerçekleşmiştir.

AASHTO (2012) kayaya soketlenen ön delgili kazıkların birim uç direncinin (q_p) hesaplanması için Eş. 5.9'u önermiştir. Eşitlikteki 2,5 değeri aslında taşıma kapasitesi faktörü (N_{cr}^*) olarak isimlendirilen katsayıdır. Literatürdeki bazı kaynaklardaki eşitlikte N_{cr}^* katsayısı gösterilmiş ve bu katsayının 2,5 olarak alınması önerilmiştir. Eş. 5.10 yardımıyla V10-P12 kazığının uç dayanımı aşağıda hesaplanmıştır. Kazığın soketlendiği kayanın tek eksenli basınç dayanımı 30 MPa'dır (Bkz. Bölüm 3.2.2).

$$q_p = 2,5 \cdot q_u \quad (5.9)$$

$$Q_p = q_p \cdot A \quad (5.10)$$

q_u : Kayanın tek eksenli basınç dayanımı,

q_p : Birim uç direnci,

A: Kazık kesitinin alanı,

Q_p : Kazık uç dayanımı.

$$Q_P = 2,5 \cdot 30\,000 \cdot \frac{\pi \cdot 1,5^2}{4} = 132\,536 \text{ kN} \cong 13\,254 \text{ ton}$$

Enstrümanlı yöntem verilerine göre kazığın uç dayanımı yük kademelerinde 113,63 ton ile 360,52 ton arasında değişmektedir (Bkz. Çizelge 5.18). Eş. 5.10 yardımıyla bulunan değer ise 13 254,00 tondur. Kazık uç dayanımı için AASHTO'da (2012) önerilen ampirik eşitlikle bulunan değer, enstrümanlı yöntemle bulunan değer çok üzerindedir.

V10-P12 kazığının soketlendiği serpantinit kayacı suya maruz kaldığında önemli oranda dayanım kaybeden kayalar arasındadır. Ayrıca kazığın olduğu bölgede yeraltı su seviyesi 2,5 metrededir. Yeraltı su seviyesi altındaki serpantinitin dayanım kaybederek zemin gibi davranması durumu için aşağıda hesap yapılmış ve enstrümanlı yöntemle bulunan soket sürtünme dayanımı ile karşılaştırılmıştır.

Terzaghi ve diğerleri (1996) tarafından sert sınıfta tanımlanan kohezyonlu zeminler için 400 kPa'dan daha büyük tek eksenli basınç dayanımı değerleri verilmiştir (Bkz. Çizelge 5.19). Buna göre $q_u=500$ kPa değeri seçilmiştir. Bu durumda $S_u= 250$ kPa değeri elde edilir.

$$\frac{S_u}{P_a} = \frac{250}{100} = 2,5 \Rightarrow \alpha = 0,55 - 0,1 \cdot \left(\frac{2,5}{1,5} - 1,5 \right) = 0,53$$

$$Q_{sz} = 0,53 \cdot 250 \cdot \pi \cdot 1,5 \cdot 6 = 3\,746 \text{ kN} \cong 375 \text{ ton}$$

Enstrümanlı yöntemle soket sürtünme dayanımı yük kademelerinde 127,73 ton ile 592,05 ton arasında elde edilmiştir (Bkz. Çizelge 5.18). Yeraltı su seviyesi altındaki serpantinitin zemin gibi davranması ve tek eksenli basınç dayanımının 500 kPa olması durumu için hesap yapıldığında soket bölümü sürtünme dayanımı 375 ton olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değer enstrümanlı yöntemle elde edilen değer aralığında kalmaktadır.

Erol ve Çekinmez (2014), Şekil 5.25 ve Şekil 5.26'da gösterilen tablo ile grafik kullanılarak presiyometre deneyi sonuçlarından kazıkların nihai birim sürtünme direncinin elde edilmesini önermişlerdir. V10-P12 sondaj kuyusunda presiyometre deneyi yapılmamıştır. Benzer zemin özellikleri gösteren V10-P11 sondaj kuyusunda ise 0 – 24 metre arasında presiyometre deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.20'de gösterilmektedir. 0 – 24 metre arasındaki ortalama P_L değeri 15 kgf/cm^2 'dir.

Çizelge 5.20. PMT verileri (Gedik, 2015b)

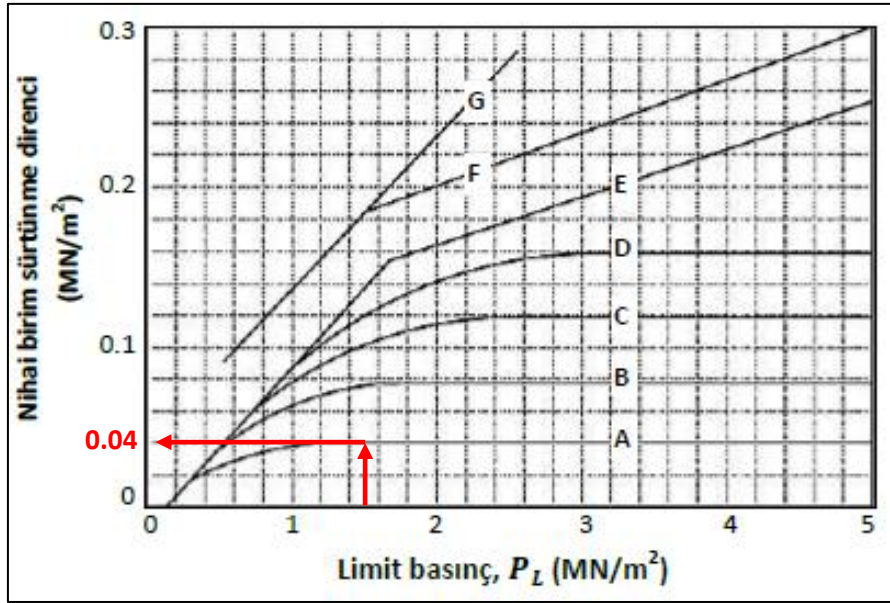
Derinlik (m)	V10-P11	
	P_L (kgf/cm ²)	E_M (kgf/cm ²)
3,0	8,7	92
6,0	9,5	107
9,0	12,8	136
12,0	14	146
15,0	16	144
18,0	17	203
21,0	19	206
24,0	22	249

Şekil 5.25'teki tabloya göre kohezyonlu zeminde oluşturulan fore kazıkta 15 kgf/cm² ($\cong 1,5$ MN/m²) limit basıncı değeri için Şekil 5.26'daki grafikte A eğrisi kullanılmalıdır. Sonuç olarak presiyometre deney sonuçlarına göre nihai birim sürtünme direnci 0,04 MN/m² ($\cong 4$ ton/m²) olarak elde edilmiştir.

Zemin Tipi	P_L (MN/m ²)	Fore kazık	Dökme ve muhafazalı		Çakma		Enjeksiyonlu	
			Beton	Çelik	Beton	Çelik	Düşük basınç	Yüksek basınç
Yumuşak kil	0 – 0.7	A	A	A	A	A	B	
Sert kil	1.2 – 2	A, (B)	A, (B)	A	A, (B)	A	B	E*
Çoksert kil	> 2	A, (B)	A, (B)	A	A, (B)	A, B	E*	
Gevşek kum	0 – 0.7	A	A	A	A	A	B	
Orta sıkı kum	1 – 2	B, (C)	A, (B)	A	B, (C)	B	C	E
Çok sıkı kum	> 2.5	C, (D)	B, (C)	B	C, (D)	C	D	E
Tamamen ayrılmış tebeşir	0 – 0.7	A	A	A	A	A	B	
Kısmen ayrılmış tebeşir	> 1	C, (D)	B, (C)	B	C, (D)	C	E	E
Marn	1.5 – 4	D, (F)	C, (D)	C	F	F	F	G
Sert marn	> 4.5	F					G	G
Ayrılmış kaya	2.5 – 4	G	G		G	G	G	G
Çatlaklı kaya	> 4.5	G					G	G

Not: Parantez içindeki değerler yüksek kalitedeki imalatlar için geçerlidir.
 * $P_L < 1.5$ MN/m² ise

Şekil 5.25. Nihai birim sürtünme direnci değerleri (Bustamante ve Doix, 1985)



Şekil 5.26. Eksenel yüklü kazıklar için nihai birim sürtünme direnci (Bustamante ve Doix, 1985)

V10-P12 kazığının 0 – 22 metre arasındaki nihai birim sürtünme direnci enstrümanlı yöntemle en büyük deney yükü altında 1,02 – 9,69 ton/m² arasında elde edilmiştir. V10-P12 kazığının oluşturulduğu bölge ile benzer zemin özellikleri gösteren V10-P11 sondaj kuyusuna ait presiometre deney verileri kullanılarak aynı tabakanın birim sürtünme direnci 4 ton/m² olarak elde edilmiştir.

Tomlinson ve Woodward (2008) tarafından soket boyu/kazık çapı (L_s/D) oranının yükün karşılanma oranında etkili olduğu belirtilerek, L_s/D oranının 4'e eşit olduğu durumlarda yükün tamamının sürtünme direnci ile karşılandığı bildirilmiştir. Deney kazığında L_s/D oranı 4'e eşit olduğu halde uygulanan yükün yaklaşık %20'lik bölümü uç direnci tarafından karşılanmıştır.

Carrubba (1996), Erol ve diğerleri (2003), Seol ve Jeong (2007), Seo ve diğerleri (2013) tarafından yapılan araştırmalarda, kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak hesaplanan soket yüzeyi birim sürtünme direncinin ölçülene göre çok yüksek olduğu, yıpranmış ve ayrılmış kayalarda bu durumun daha da belirgin hale geldiği belirtilmiştir. V10-P12 kazığı soket bölümünün tasarımdaki birim sürtünme direnci 51 ton/m² iken, enstrümanlı yöntemle 20,95 ton/m² olarak belirlenmiştir. Kazığın soketlendiği kaya tam ayrılmış, parçalanmış, parçalı kırıklı, çatlaklı, çatlaklar arasında yer yer kalsit dolgulu,

ayırışma derecesi W4-W5 olan serpantinit olarak tanımlanmıştır. Deney sonucunda elde edilen veriler, araştırmacıların ortaya koyduğu sonuçlarla örtüşmektedir. 20,95 ton/m² değeri özellikle Erol ve diğerlerinin (2003) bulduğu 210 kPa (≈ 21 ton/m²) değeri ile büyük oranda benzerlik göstermektedir. Soket yüzeyi birim sürtünme direnci hesaplanırken kaya kütle kalitesini gösteren parametreler dikkate alınmalıdır.

Carrubba (1996) araştırmasında kazığın zemindeki bölümünün ve soket bölümünün uzunluğuna bağlı olarak, kazık-zemin arasındaki nihai sürtünme direncinin soket bölümü nihai sürtünme direncinden daha önce veya daha sonra ya da eş zamanlı olarak gerçekleşebileceğini belirtmiştir. V10-P12 kazığında kazık-zemin arasındaki ve soket bölümündeki sürtünme dirençlerinin hemen hemen eş zamanlı mobilize olduğu görülmüştür.

Seol ve Jeong (2007) tarafından soket bölümü maksimum birim sürtünme direncini hesaplamak için kullanılması önerilen parametrelerden biri RMR değeridir. (Bkz. Eş. 2.3). Tasarım öncesindeki jeolojik-geoteknik çalışmalarda V10-P12 kazığının soketlendiği kayanın RMR değeri belirlenmemiştir. Kayanın ayırışma derecesini temsil edecek şekilde seçilen RMR değerleri kullanılarak Eş. 2.3 yardımıyla hesaplanan soket bölümü maksimum birim sürtünme dirençleri Çizelge 5.21’de gösterilmektedir. RMR değeri 5 iken bulunan $f_{\max}$ değeri enstrümanlı yöntemle belirlenen birim sürtünme direncine yakın seviyededir. RMR değeri 15 iken bulunan $f_{\max}$ değeri ise tasarımdaki birim sürtünme direncine yakındır.

Çizelge 5.21. Maksimum birim sürtünme dirençleri

RMR	$f_{\max}$ (ton/m ²)
5	18
10	36
15	54
20	72
25	90
30	108

Erol ve diğerkleri (2003) tarafından yapılan çalışmada deplasman miktarı 10 mm'ye ulaştığında (δ/D oranı: %0,83) soket bölümü sürtünme direncinin çok büyük oranda mobilize olduğu, uç direncinin ise yüke bağlı deplasman miktarının elastik sınırlar içinde kalması sebebiyle mobilize olmadığı belirtilmiştir. V10-P12 kazığında 667,50 ton yük altında δ/D oranı %0,17 iken soket bölümünde sürtünme direnci gözlemlendiği, maksimum deney yüküne kadar da artış gösterdiği görülmüştür. Ayrıca uç direnci de hem elastik sınırlar içinde hem de plastik sınırlar içinde gözlenmiş, yük kademelerinde Q_p/P oranı fazla bir değişkenlik göstermeyerek %20 civarında gerçekleşmiştir.

5.4. Klasik Deney ile Enstrümanlı Deneyin Karşılaştırılması

Klasik kazık yükleme deneyinde her yük kademesinde kazık başındaki deplasman miktarı belirlenerek yük-deplasman grafiği oluşturulmaktadır. Bu grafik kazığın tasarım yükünü karşılayıp karşılamadığının kontrol edilmesinde veya kazık tasarım yükünün belirlenmesinde kullanılır. Deney sırasında elde edilen veri, yük kademelerindeki deplasman miktarından ibarettir. Başka veri elde edilmez. Derinlik boyunca kazığın davranışı hakkında analiz yapılamaz.

Enstrümanlı kazık yükleme deneyiyle klasik kazık yükleme deneyi arasındaki fark, enstrümanlı deneyde kazığın belirli seviyelerine yerleştirilen BDÖ'lerdir. Klasik deneyde elde edilen verilere ek olarak kazık seviyelerindeki birim deformasyon miktarları elde edilir. Birim deformasyonlar kullanılarak şunlar belirlenebilir:

- Derinlik boyunca yük dağılımı.
- Zemin katmanlarının birim sürtünme direnci.
- Kazığın uç direnci.
- Kazığın elastisite modülü.
- Yüklemedeki eksantrisite durumu.

Klasik deneyde yukarıdakilerin hiçbiri doğrudan elde edilemez. Tasarım yapılırken enstrümanlı deneyle elde edilen nihai birim sürtünme dirençlerinin kullanılması durumunda, ampirik yöntemlerle elde edilen birim sürtünme dirençlerinin kullanılmasına oranla daha güvenilir ve daha ekonomik sonuçlar elde edilebilir. Bu yöntemle elde edilen

değerlerin tasarımıda verimli bir şekilde kullanılması için nihai değerlerin elde edilmesi gerekir. Ancak yöntemin prensipleri gereği, sahada deneyin uygulanması sırasında nihai birim sürtünme direncinin ne kadar yük altında elde edildiği bilinemez.

İnceleme konusu klasik kazık yükleme deneylerinde, kazıkların her ikisinin de tasarım yükünün iki katını çok düşük deformasyonlar altında taşıyabildiği görülmüş, tasarımıdaki kaya sürtünme direncinin güvende kalacak biçimde seçildiği işaret edilmiştir. Enstrümanlı deney ise kazık yük taşıma mekanizmasının tasarımıda öngörülenden farklı olduğunu, zemin sürtünmesi ve uç dayanımlarının kapasitenin önemli bir kısmını oluşturduğunu ve soket sürtünme direncinin tasarım nihai değerinin ancak yarısı mertebesinde olduğunu ortaya koymuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada kayaya soketli üç adet betonarme fore kazıkta uygulanan yükleme deneyleri incelenerek sundukları sonuçlar değerlendirilmiştir. Soket yüzeyi birim sürtünme direnci, zemin sürtünme direnci ve kazık uç direnci literatürde verilen bilgilerle karşılaştırılmıştır.

Ankara-Sivas Demiryolu Projesindeki viyadüklerin temellerinde imal edilen söz konusu deney kazıklarının boyları 35 m, 31 m ve 13 m, çapları ise 1500 mm'dir. Soket uzunluğu 6 metre olan kazıklar ayrılmış kayalara soketlenmiştir. 35 metre boyundaki V9-P6 kazığı radyolarit birime, 31 metre boyundaki V10-P12 serpantinit birime, 13 metre boyundaki V15-P5 kazığı kum taşı, çakıl taşı, kil taşı, silt taşı birime soketlenmiştir. Tasarımda alışlageldiği üzere, kazıklara gelen yükün tamamının soket bölümündeki sürtünme direnci ile karşılanacağı, kazık/zemin arasındaki sürtünmeyle ve kazık uç direnciyle yük taşınmayacağı kabul edilmiştir. Bu kabullerin geçerlilikleri incelenmiştir.

V10-P12 kazığında 6 farklı seviyede 3'er adet olmak üzere toplam 18 adet BDÖ ile enstrümantasyon yapılmıştır. Diğer kazıklarda enstrümantasyon yapılmamıştır. Yükleme deneylerinde ASTM D1143/D1143M-07 standardında tanımlanan kademeli yükleme deneyi kriterleri esas alınmıştır. Deneylerin sonucunda kazıklarda gerçekleşen en büyük ve kalıcı deplasmanlar sırasıyla; V9-P6 kazığında 2,135 mm ve 0,898 mm, V10-P12 kazığında 9,998 mm ve 9,223 mm, V15-P5 kazığında 0,868 mm ve 0,382 mm'dir.

Tasarımın yaklaşık iki katı olan en büyük deney yükü altında deplasmanlar V9-P6 ve V15-P5 kazıklarında büyük oranda geçici deformasyon bölgesinde kalırken, V10-P12 kazığında kalıcı deformasyon gözlenmiştir. V10-P12 kazığının kalıcı deformasyona uğradığı yük miktarı teğet yöntemiyle 1580 ton olarak belirlenmiştir. Bu yüke denk gelen deplasman miktarı 7,6 mm, δ/D oranı %0,51'dir.

Kulhawy ve diğerlerinin (2005) çalışmasında ele alınan yöntemlerle deney kazıklarının soket bölümü birim sürtünme dirençleri hesaplanmış ve tasarımda öngörülen birim sürtünme dirençleriyle karşılaştırılmıştır. Hesaplanan değerlerin tasarım değerlerine oranı 2,1 ile 4,8 arasında değişmektedir. Reese ve O'Neill yöntemi ile belirlenen tasarım değerinin literatürde sunulanlara oranla oldukça küçük olmasının en önemli sebebi ek

olarak kayanın süreksizlik durumuna bağlı olarak değişen azaltma faktörünün (α_e) kullanılmasıdır. Tasarım birim sürtünme direnci, literatüre kıyasla önemli derecede güvenli taraftadır.

Deneylerde elde edilen deplasmanlar sınırlı olduğundan, literatürde kabul gören on bir farklı yöntemle deney kazıklarının nihai taşıma gücü belirlenmeye çalışılmıştır. Brinch Hansen %90, De Beer, Davisson ve Hirany-Kulhawy yöntemleriyle kazıkların nihai taşıma gücü belirlenememiştir. Van der Veen ve Butler-Hoy yöntemleriyle sadece birer kazığın nihai taşıma gücü elde edilebilmiştir. Brinch Hansen %80, Chin-Kondner, Mazurkiewicz, Decourt ve Paikowsky-Tolosko yöntemleriyle tüm kazıkların nihai taşıma gücü belirlenmiştir. Bu yöntemlerle kazıkta yenilme gözlenmese dahi nihai taşıma gücü elde edilebilmektedir. Deney kazıkları için elde edilen nihai taşıma gücü değerleri geniş bir aralığa saçılmaktadır. Ayrıca yöntemlerin yenilmeye yakın davranış gösteren kazıkta dahi güvenilir sonuçlar vermediği gözlenmiştir. Yöntemlerin kayaya soketli kazıklarda kullanılması önerilmemektedir.

Enstrümanlı yöntemle 40 000 MPa olarak belirlenen V10-P12 kazığının elastisite modülü analitik hesapla 33 835 MPa olarak bulunmuştur. Deneysel olarak elde edilmesi sebebiyle enstrümanlı yöntemle elde edilen elastisite modülü değeri daha güvenilirdir.

V10-P12 kazığındaki yüklemede bir miktar eksantrisitenin ortaya çıktığı görülmüştür. Ancak bu durumun sürtünme direnci ve uç direnci hesabına dikkate değer bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır.

V10-P12 kazığının tasarımında, yükün tamamının soket bölümü sürtünme dayanımıyla karşılanacağı kabulüne rağmen, deney boyunca uç dayanımı ve zemin bölümü sürtünme dayanımı ile de önemli miktarda yük taşınmıştır. Q_{sk}/P oranı %19-37, Q_{sz}/P oranı %40-64, Q_p/P oranı %17-23 aralığında değişmiştir. Yük arttıkça Q_{sk}/P oranı artmış, Q_{sz}/P oranı azalmıştır. Q_p/P oranı dar bir aralıkta değişkenlik göstermiş, tüm yük kademelerinde yaklaşık %20 civarında gerçekleşmiştir. Tasarımda 51 ton/m² olarak hesaplanan soket bölümü birim sürtünme direnci, enstrümanlı yöntemde maksimum deney yükü altında 20,95 ton/m² olarak elde edilmiştir. Kazığın içinde olduğu zemin önemli ölçüde sürtünme dayanımı gösterebilecek mekanik özelliklere sahip çok katı sınıfta kohezyonlu bir zemindir. Muhtemelen zemin tabaka kalınlığının soket boyuna oranla çok büyük olması

($L_z/L_s > 4$) sebebiyle yükün önemli bölümü zemin bölümü sürtünme dayanımıyla taşınmıştır. Çok katı kıvamdaki kohezyonlu bir zeminde, zemin tabaka kalınlığının soket uzunluğuna oranla çok büyük olduğu durumlarda, soket yüzeyi üzerindeki zeminin sürtünme dayanımının ihmal edilmesinin uygun olmadığı anlaşılmaktadır.

Tomlinson ve Woodward (2008) tarafından kayaya soketli kazıklarda L_s/D oranının 4'e eşit olduğu durumda yükün tamamının sürtünme direnci ile karşılandığı bildirilmiştir. Deney kazığında L_s/D oranı 4'e eşit olmasına rağmen uygulanan yükün yaklaşık %20'lik bölümü uç direnci tarafından karşılanmıştır.

Literatürde önerilen yöntemler tasarımda kullanılandan 2,1 – 4,8 kat kadar yüksek değerler vermektedir. Enstrümanlı yöntemle bulunan değer ise tasarım değerinin yaklaşık yarısı kadardır. V10-P12 kazığında elde edilen veriler Carrubba (1996), Erol ve diğerleri (2003), Seol ve Jeong (2007) ve Seo ve diğerlerinin (2013) zayıf kayalar için soket sürtünme direnci hakkında ortaya koyduğu sonuçlarla örtüşmektedir. Soket yüzeyi birim sürtünme direnci hesaplanırken sadece kayanın tek eksenli basınç dayanımına bağlı olarak tasarım yapılmamalı, özellikle zayıf kayalarda, kaya kütle kalitesini gösteren parametreler dikkate alınmalıdır.

Erol ve diğerleri (2003) δ/D oranı %0,83 iken sürtünme dayanımının çok büyük oranda mobilize olduğunu, ancak deplasman miktarının elastik sınırlar içinde kalması sebebiyle uç dayanımının hemen hemen hiç mobilize olmadığını belirtmiştir. V10-P12 kazığında durum farklıdır. δ/D oranı henüz %0,17 iken soket bölümünde sürtünme dayanımı ve uç dayanımı gözlenmiş, maksimum deney yüküne kadar her iki dayanım da artış göstermiştir.

Enstrümanlı kazık yükleme deneyinde kazığın farklı seviyelerine yerleştirilen BDÖ'ler kullanılarak şunlar hakkında veri elde edilmiştir: i) Derinlik boyunca yük dağılımı, ii) Zemin katmanlarının birim sürtünme direnci, iii) Kazığın uç direnci, iv) Kazığın elastisite modülü, v) Yüklemedeki eksantrisite durumu. Bu verilerin klasik kazık yükleme deneyiyle elde edilebilmesi mümkün değildir.

Klasik kazık yükleme deneyi yapılan kazıklarda tasarım yükünün iki katı mertebesindeki deney yükü altında çok düşük deformasyonlar gözlenmiştir. Bu sonuçlar, tasarımdaki kaya sürtünme direncinin güvende kalacak biçimde seçilmiş olduğunu işaret etmektedir. Fakat,

enstrümanlı deney yapılan kazık yük taşıma mekanizmasının aslında tasarımda öngörülenden farklı şekilde gerçekleşmekte olduğunu ortaya koymaktadır. Zemin sürtünmesi ve kazık uç dayanımı kapasitenin önemli bir kısmını oluşturmuş, soket birim sürtünme direnci tasarım nihai değerinin yarısı mertebesinde gerçekleşmiştir.

Enstrümanlı deneyden elde edilen verilerle kayaya soketli kazıkların yük taşıma mekanizması daha iyi anlaşılabilir. Ayrıca, ampirik eşitliklerin kullanılmasına nazaran daha güvenilir ve daha ekonomik tasarımlar yapılabilir. Özellikle nihai birim sürtünme direncinin elde edilebilmesi önemli bir husustur.

Yapılan çalışmada sonucu elde edilen veriler, kayaya soketli fore kazıklar için yük taşıma mekanizmasına dair elimizdeki verilerin ve kabullerimizin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Soket ve zemin sürtünmesi ile uç dayanımının deplasmana, kaya kalitesine ve soket boyu/kazık boyu oranına bağlı olarak değişimleri deneysel ve nümerik olarak incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- AASHTO. (2012). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications*, Washington DC: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Akgüner, C. ve Kirkit, M. (2011). Kayaya Soketli Kazıkların Yükleme Deneyi ve Ampirik Yöntemlerle Belirlenen Kapasitelerinin Karşılaştırılması. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 366, 5713-5723.
- Alku, Y. (2006). *Kazık Yükleme Deneylerinin Değerlendirilmesi ile İlgili Bir İnceleme*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- ASTM D1143/D1143M-07. (2013). *Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load*. West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- ASTM D4945-17. (2017). *Standard Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations*. West Conshohocken, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- Birand, A. A. (2001). *Kazıklı Temeller*. Ankara: Teknik Yayınevi, 394-398.
- Brown, D. A., Turner, J. P. and Castelli, R. J. (2010). Drilled Shafts: Construction Procedures and LRFD Design Methods, FHWA-NHI-10-016. *Federal Highway Administration*.
- Butler, H. D. and Hoy, H. E. (1976). The Texas Quick-Load Method for Foundation Load Testing - User Manual. FHWA-IP-77-8. *Federal Highway Administration*.
- Bustamante, M. and Doix, B. (1985). Une methode pour le calcul des tirants et des micropieux injectes. *Bull. de Liaison de LCPC*, Paris 140, 75-92.
- Chellis, R. D. (1961). *Pile Foundations* (Second Edition). Newyork: McGraw Hill, 72-74.
- Chin, F. K. (1970). *Estimation of The Ultimate Load of Pile Not Carried to Failure*. Proceeding 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Singapore, 81-90.
- Carrubba, P. (1996). Skin Friction of Large-Diameter Piles Socketed into Rock. *Canadian Geotechnical Journal*, Ottawa, Canada, 34, 230-240.
- Carter, J. P. and Kulhawy, F. H. (1988). Analysis and Design of Drilled Shaft Foundations Socketed Into Rock. EPRI EL-5918. *Electric Power Research Institute*.
- Dass, R. N. and Puri, V. K. (1998). *Load Tests on Drilled Shafts for Highway Bridges*. Proceedings Forth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St. Louis, Missouri, 9-12, 373-378

- Davisson, M. T. (1972). *High Capacity Piles*. Proceedings in Soil Mechanics Lecture Seies on Innovations in Foundation Construction, Soil Mechanics Division, American Society of Civil Engineers, Illinois, Chicago, 81-122.
- De Beer, E. E. (1967). Proefondervindelijke bijdrage tot de studie van het grensdragvermogen van zand onder funderingen op staal. *Tijdschrift der openbare werken van Belgie*, 6.
- Decourt, L. (1999). *Behaviour of Foundations Under Working Load Conditions*. Proceedings of the 11th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Foz Do Iguacu, Parana, Brasil, 4, 453-488.
- Dinç, H. (2010). *Osterberg Hücresi ile Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Düzceer, R. (2002). *Kazık Yükleme Deneyleri ile Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erol, O. ve Çekinmez, Z. (2014). *Geoteknik Mühendisliğinde Saha Deneyleri*. Ankara: Yüksel Proje Yayınları, 197-200.
- Erol, O., Horoz, A. and Sağlamer, A. (2005). *Socket Friction Capacity of Large Diameter Drilled Shafts in Highly Weathered Rock*. Proceeding of the 16th Intrenational Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Osaka, Japan, 2111-2114.
- İnternet: Fellenius, B. H. (2018). *Basic of Foundation Design* (Electronic Edition). Web: <http://www.fellenius.net/papers/391%20Red%20Book.pdf> adresinden 7 Haziran 2018 tarihinde alınmıştır.
- Gedik, G. (2015a). *Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşİ Viyadük V9 (Km: 48+446 - 49+769) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu*, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
- Gedik, G. (2015b). *Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşİ Viyadük V10 (Km: 50+400 - 51+942) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu*, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
- Gedik, G. (2015c). *Ankara-Sivas Demiryolu Projesi Kayaş-Kırıkkale Arası (Kesim-1) V7-V9-V10-V15 No'lu Viyadükler Yapım İşİ Viyadük V15 (Km: 63+939 - 65+376) Jeolojik Etüdü Geoteknik Raporu*, KMG Proje Mühendislik Müşavirlik Bilişim Teknolojileri Limited Şirketi, Ankara.
- Hansen, J. B. (1963). Discussion on Hyperbolic Stress-Strain Response. Cohesive Soils. *Journal for Soil Mechanics and Foundations Engineering*, 89(4), 241-242.

- Hirany, A. and Kulhawy, F. H. (2002). *On the Interpretation of Drilled Foundation Load Test Results*. Proceeding of the International Deep Foundations Congress, Orlando, USA, 1018-1028.
- Horvath, R. G. and Kenney, T. C. (1979). *Shaft Resistance of Rock-Socketed Drilled Piers*. Proceedings Symposium on Deep Foundation, American Society of Civil Engineers. Atalanta, USA, 182-214
- Horvath, R. G., Kenney, T. C. and Kozicki, P. (1983). Method of Improving The Performance of Drilled Piers in Weak Rock. *Canadian Geotechnical Journal*, 20(4), 758-772
- Kirkit, M. (2009). *Türkiye’de Yapılmış Kazık Yükleme Deneylerinden Veri Tabanı Oluşturulması ve Veri Tabanında Bulunan Kayaya Soketli Fore Kazıkların Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Kulhawy, F. H., Prakoso, W. A. and Akbaş, S. O. (2005). Evaluation of Capacity of Rock Foundation Sockets. ARMA/USRMS 05-767. *American Rock Mechanics Association*.
- Kulhawy, F. H. and Phoon K. K. (1993). *Drilled Shaft Side Resistance in Clay Soil to Rock*. Proceeding Conference on Design and Performance of Deep Foundations: Piles and Piers in Soil and Soft Rock, Dallas, Texas, 172-183
- Kulkarni, R. U. and Dewaikar, D. M. (2017). Prediction of Interpreted Failure Loads of Rock-Socketed Piles in Mumbai Region using Hybrid Artificial Neural Networks with Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering Research & Technology*, 6(06), 365-372.
- Kyfor, Z. G., Schnore, A. R., Carlo, T. A. and Baily, P. F. (1992). Static Testing of Deep Foundations. FHWA-SA-91-042. *Federal Highway Administration*.
- Mansur, C. I. and Kaufman, J. M. (1956). Pile Tests, Low-Sill Structure, Old River, Louisiana. *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 82, SM5, 1079, 1-33.
- Mazurkiewicz, B. K. (1972). Test Loading of Piles According to Polish Regulations. Report No.35, 20. *Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, Commission on Pile Research*, Stocholm, Sweden.
- Meigh, A. C. and Wolski, W. (1979). *Design Parameters for Weak Rock*. Proceeding 7th European Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Brighton, England, 5, 59-79.
- Mert, M. (2012). *Statik ve Dinamik Kazık Yükleme Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- O’Neill, M. W., Townsend, F. C., Hanssan, K. M., Buller, A. and Chan, P. S. (1996). Load Transfer for Drilled Shafts in Intermediate Geometricals. FHWA-RD-95-172. *Federal Highway Administration*.

- O'Neill, M. W. and Reese, L. C. (1999). Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-IF-99-025. *Federal Highway Administration*.
- Osterberg, J. O. and Gill, S. A. (1973). *Load Transfer Mechanisms for Piers Socketted in Hard Soils or Rock*. Proceedings of the 9th Canadian Symposium on Rock Mechanics, Montreal, 235–62.
- Paikowsky, S. G. and Tolosko, T. A. (1999). Extrapolation of Pile Capacity from Non-failed Load Tests. FHWA-RD-99-170. *Federal Highway Administration*.
- Prakoso, W. A. (2002). *Reliability-based Design of Foundations in Rock Masses*, PhD Dissertation, Cornell University, Ithaca, New York.
- Reese, L. C. (1988). Handbook on Design and Construction of Piles and Drilled Shafts Under Lateral Load. FHWA-IP-84-11. *Federal Highway Administration*.
- Reese, L. C. and O'Neill, M. W. (1988). Drilled Shaft: Construction Procedures and Design Methods. FHWA-HI-88-042. *Federal Highway Administration*.
- Rosenberg, P. and Journeaux, N. L. (1976). Friction and End Bearing Tests on Bedrock For High Capacity Socket Design. *Canadian Geotechnical Journal*, 13(3), 323-333.
- Rowe, R. K. and Armitage H. H. (1984). *The Design of Piles Socketed into Weak Rock. Faculty of Engineering Science*. The University of Western Ontario, Research Report GEOT-11-84, London.
- Seidel, J. P. and Collingwood, B. (2001). A New Socket Roughness Factor for Prediction of Socket Shaft Resistance. *Canadian Geotechnical Journal*, 38(1), 138-153.
- Seo, H., Prezzi, M. and Salgado, R. (2013). Instrumented Static Load Test on Rock-Socketed Micropile. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 139, 2037-2047.
- Seol, H. and Jeong, S. (2007). Shaft Resistance Characteristics of Rock-Socketed Drilled Shafts Based on Pile Load Tests. *Journal of the Korean Geotechnical Society*, vol. 23(9), 51-63
- Teng, W. C. (1962). *Foundation Design* (Fifth Edition). New Jersey: Prentice Hall, 212-216.
- Terzaghi, K., Peck, R. B. and Mesri, G. (1996). *Soil Mechanics in Engineering Practice* (Third Edition). New York, USA: John Wiley&Sons Inc, 62-65.
- Tomlinson, M. and Woodward, J. (2008). *Pile Design and Construction Practice* (Fifth Edition). Abingdon, England: Taylor&Francis, 204-211.
- Üzeler, V. ve Bayram, A. (2011). *Kayaş-Yerköy Demiryolu Kesim-1 (Km: 12+263 - 74+100) Jeolojik-Jeoteknik Araştırma Raporu (Cilt-1)*, Yüksel Proje Uluslararası Anonim Şirketi, Ankara

- Van der Veen, C. (1953). *The Bearing Capacity of a Pile*. Proceedings of the third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Zurich, Switzerland, 84-90.
- Williams, A. F., Johnston, I. W. and Donald, I. B. (1980). *Design of Socketed Piles in Weak Rock*. Proceeding of International Conference on Structural Foundations on Rock, Sydney, Australia, 327-347
- Woodward, R. J., Gardner, W. S. and Greer D. M. (1972). *Drilled Pier Foundations*. Newyork: McGraw-Hill, 178.
- Yıldırım, S. (2004). *Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 122-127.
- Zhang, L. and Einstein, H. H. (1998). End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, American Society of Civil Engineering, 124(7), 574-584.
- Zhang, L. and Einstein, H. H. (1999). Closure to End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, American Society of Civil Engineering, 125(12), 1109-1110.

EKLER

EK-1. Sondaj logları

AKADEMİ		SONDAJ LOGU - BORING LOG																			
JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		PROJE ADI - Project Name																			
		ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI(KESİM-1) V9																			
Sondaj No - Boring No		SKV9-P6		Sayfa - Page		1															
Sondaj Yeri/Mevkii - Boring Location		Yellice Kuzeydoğusu		Başlama Tarihi - Date of Start		26.08.2014															
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		45,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		30.08.2014															
Yeraltısuyu (m) - Groundwater		0,00		Sondaj Keti(m) - Elevation		885,198															
Sondajcı - Driller		İsa DEVECİ		Koordinat - Coordinate		X:	524907,969														
						Y:	4413790,816														
Sondaj Derinliği (m)	Numune Üstü Sample Type	Manevra Boyu (cm) Maneuver Length	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	Dinamiklik Strength	Ayrışma Weathering	Bozunma Decomposition	Eklem Sıklığı(m) Fracture Frequency	Korot (%) Core Recovery	Sağlam Karet (%) Solid Core	Kaya Kalitesi RQD (%)
			DARBE SAYISI Number of Blows				GRAFİK Graphic														
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30	40	50	60									
1		150											0,00-4,00m; Koyu kahverengi, bordomlu, orta katı-sert KUMLU SİLTİLİ KİL (Tamamen ayrılmış, artık zemin niteliğinde Radyolarit)						13		
2	SPT-1	150	2	3	4	7														43	
3	UD-1																				
4	SPT-2	150	5	7	7	14														46	
5	SPT-3	150	3	4	6	10														50	
6	UD-2																				
7	SPT-4	150	6	6	11	17														100	
8	SPT-5	150	8	13	12	25														100	
9	SPT-6	150	11	12	15	27														100	
10	SPT-7	150	8	7	10	17														93	
11	SPT-8	150	9	13	18	31														53	
12	SPT-9	150	8	11	10	21														43	
13	SPT-10	150	7	9	12	19															
DAYANIMLIK - Strength			AYRIŞMA - Weathering			İNCE TAŞLI - Fine Grained			BİTİT - Coarse Grained												
R0 ASİRİ DERECEDE ZATIF KAYA - Extremely Fresh Rock			I TAZE - Fresh			N-0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft			N-0-4 ÇOK GEVŞEK - Very Loose												
R1 ÇOK ZAYIF KAYA - Very Fresh Rock			II AZ AYRIŞMIŞ - Slightly			N-2-4 YUMUŞAK - Soft			N-4-10 GEVŞEK - Loose												
R2 ZAYIF KAYA - Weak Rock			III ORTA DER. AYR. - Med R.			N-6-8 ORTA KATI - Moder. Stiff			N-10-30 ORTA SBT - Mobile Dense												
R3 ORTA DERECEDE SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock			IV ÇOK AYRIŞMIŞ - Highly R.			N-8-15 KATI - Stiff			N-30-50 SBT - Dense												
R4 SAĞLAM KAYA - Strong Rock			V TAM AYRIŞMIŞ - Comp. R.			N-15-30 ÇOK KATI - Very Stiff			N-50 ÇOK SBT - Very Dense												
R5 ÇOK SAĞLAM KAYA - Very Strong Rock						N-30 SERT - Hard															
R6 ASİRİ DERECEDE SAĞLAM KAYA - Extremely Strong Rock																					
KAYA KALİTESİ - RQD			EKLEM SIKLIĞI - Fracture Frequency			BOZUNMA - Decomposition			ÖRANLAR - Properties												
% 0 - 25 ÇOK ZAYIF - V. Poor			(I) < 1 MASİF - Massive			W1 BOZUNMAMIŞ(TAZE) - Non Degraded			% 5 < PK AZ - Slight												
% 25 - 50 ZAYIF - Poor			(II) 1-3 AZ ÇATLAKLI - Less Fractured			W2 AZ BOZUNMUŞ			% 5-15 AZ - Little												
% 50 - 75 ORTA - Fair			(III) 3-10 KIRIKLI - Fractured			W3 ORTA DER. BOZ.			% 15-35 ÇOK - Frey												
% 75 - 90 İYİ - Good			(IV) 10-50 ÇOK ÇATLAKLI - Highly Fr.			W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ			% 35-55 VE - Bad												
% 90 - 100 ÇOK İYİ - Excellent			(V) > 50 PARÇALANMIŞ - Crumbled			W5 ARTIK ZEMİN															
SPT STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test						SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer			TARİHİ Date			İMZA Sign									
P PRESİYOMETRE DENEYİ - Pressuremeter Test						MEHMET GÜLTEKİN			30.08.2014												
VST VANE DENEYİ - Vane Shear Test																					
K KAROT NUMUNESİ - Core Sample																					
D ÖRSELENMİŞ NUMUNE - Disturbed Sample																					
UD ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE - Undisturbed Sample																					

Şekil 1.1. V9-P6 sondaj logu (1/3)

EK-1. (devam) Sondaj logları

 AKADEMİ JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU - BORING LOG																										
		PROJE ADI - Project Name ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI(KESİM-1) V10																										
Sondaj No - Boring No		SKV10-P12		Sayfa - Page		1																						
Sondaj Yeri/Mevkii - Boring Location		Hisarköy Kuzeydoğusu		Başlama Tarihi - Date of Start		05.08.2014																						
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		45,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		09.08.2014																						
Yeraltısuyu (m) - Groundwater		2,50		Sondaj Kotu(m) - Elevation		795,750																						
Sondör - Driller		Osman BAZAN		Koordinat - Coordinate		X: 525517,8184 Y: 4411332,466																						
Sondaj Derinliği (Boring Depth (m))	Numune Cinsi (Sample Type)	Manevra Boyu (cm) (Maneuver Length)	STANDART PENETRASYON DENEYİ (Standard Penetration)										JEOTEKNİK TANIMLAMA (Geotechnical Description)	Profil (Profile)	Dayanıklılık (Strength)	Ayrışma (Weathering)	Bozunma (Decomposition)	Eklem Sıklığı(m) (Fracture Frequency)	Korot (%) (Core Recovery)	Sağlam Korot (%) (Solid Core)	Kaya Kalitesi (RQD) (%)							
			DARBE SAYISI (Number of Blows)					GRAFİK (Graphic)																				
			3-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30	40	50	60																
1		150											0,00-7,50m KİL; Kahverengi-gri renkte, orta katı-katı, KİL.															
2	SPT-1	150	3	3	4	7																						
3	UD-1	150																										
4	SPT-2	150	3	4	5	9																						
5	SPT-3	150	3	4	6	10																						
6	UD-2	150																										
7	SPT-4	150	2	3	3	6																						
8	SPT-5	150	3	4	4	8							7,50-9,00m SİTLİ KİL; Gri renkte, iri çakıl içerikli, orta katı, SİTLİ KİL.															
9	UD-3	150																										
10	SPT-6	150	3	4	7	11							9,00-13,00m KUM; Koyu gri renkte, iri çakıl içerikli, orta siki-siki, KUM															
11	SPT-7	150	11	14	16	30																						
12	SPT-8	150	4	9	10	19																						
13		150																										
14	SPT-9	150	9	10	14	24							13,00-16,50m KİL; Kahverengi renkte, çok katı, KİL.															
15	SPT-10	150	10	12	13	25																						
DAYANIMLIK - Strength			AYRIŞMA - Weathering										İNCE TANELİ - Fine Grained			BİT TANELİ - Coarse Grained												
R1 AŞIRI DERİNCİDE ZAYIF KAYA - Excessively Weak Rock			I TAZE - Fresh										N-0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft			N-0-4 ÇOK GEYŞEK - Very Loose												
R2 ZAYIF KAYA - Weak Rock			II AZ AYRIŞMIŞ - Slightly										N-2-4 YUMUŞAK - Soft			N-4-20 GEYŞEK - Loose												
R3 ORTA DERİNCİDE SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock			III ORTA DER. AYR. - Med. R.										N-4-8 ORTA KATI - Middle Stiff			N-10-30 ORTA SIKI - Middle Dense												
R4 SAĞLAM KAYA - Strong Rock			IV ÇOK AYRIŞMIŞ - Highly R.										N-8-15 KATI - Stiff			N-30-50 SIKI - Dense												
R5 ÇOK SAĞLAM KAYA - Very Strong Rock			V TAM AYRIŞMIŞ - Comp. R.										N-15-20 ÇOK KATI - Very Stiff			N-50 ÇOK SIKI - Very Dense												
R6 AŞIRI DERİNCİDE SAĞLAM KAYA - Excessively Strong Rock													N-20 SERT - Hard															
KAYA KALİTESİ - RQD			EKLEM SIKLIĞI - Fracture Frequency										BOZUNMA - Decomposition			ORANLAR - Proportions												
%0-35 ÇOK ZAYIF - F, Poor			(0) < 1 HABİF - Hazine										W1 BOZUNMAMIS(TAZE) - Non-Degraded			%5-10 FİK AZ - Slightly												
%35-50 ZAYIF - P, Fair			(1) 1-3 AZ ÇATLAKLI - Low Fractured										W2 AZ BOZUNMUŞ			%10-15 AZ - Little												
%50-75 ORTA - F, Fair			(2) 3-10 KIRIKLI - Fractured										W3 ORTA DER. BOZ.			%15-30 ÇOK - Fair												
%75-90 İYİ - G, Good			(3) 10-50 ÇOK ÇATLAKLI - Highly Fr.										W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ			%35-50 VE - Bad												
%90-100 ÇOK İYİ - E, Excellent			(4) > 50 PARÇALANMIŞ - Crushed										W5 ARTIK ZEMİN															
SPT	STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test												SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer		TARİH Date		İMZA Sign											
P	PRESİYOMETRE DENEYİ - Pressuremeter Test												MEHMET GÜLTEKİN		09.08.2014													
VST	VİSKÖZİTE DENEYİ - Viscosity Test																											
C	KAROT NÜMUNESİ - Core Sample																											
D	ÖRSELENMİŞ NÜMUNE - Disturbed Sample																											
UD	ÖRSELENMİŞ NÜMUNE - Undisturbed Sample																											

Şekil 1.4. V10-P12 sondaj logu (1/3)

EK-1. (devam) Sondaj logları

AKADEMİ JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU - BORING LOG																			
PROJE ADI - Project Name																					
ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI(KESİM-1) V10																					
Sondaj No - Boring No		SKV10-P12		Sayfa - Page		2															
Sondaj Veri/Mevkii - Boring Location		Hisarköy Kuzeydoğusu		Başlama Tarihi - Date of Start		05.08.2014															
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		45,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		09.08.2014															
Yeraltısu (m) - Groundwater		2,50		Sondaj Kotu(m) - Elevation		795,750															
Sondajcı - Driller		Osman BAZAN		Koordinat - Coordinate		X: 525517,8184 Y: 4411332,466															
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manevra Boyu (cm) Maneuver Length	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration										JEOTEKNIK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	Dayanıklılık Strength	Ayrışma Weathering	Bozunma Decomposition	Eklemlilik Sıklığı(m) Fracture Frequency	Korut (%) Core Recovery	Sağlam Karot (%) Solid Core	Kaya Kalitesi Rock Quality
			DARBE SAYISI Number of Blows				GRAFİK Graphic														
			10-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	N	10	20	30	40	50	60								
16		150												13.00-13.05m Kil, kumlu, gri, kum, kil.						83	
17	SPT-11	150	7	10	11	21														65	
18	SPT-12	150	10	12	13	25														76	
19	SPT-13	150	9	10	12	22														58	
20	SPT-14	150	8	11	11	22														73	
21	SPT-15	150	8	4	6	10														90	
22	SPT-16	150	7	8	10	18														100	
23	SPT-17	150	8	10	12	22														100	
24	SPT-18	150	25	40	33	73															
25	SPT-19	150	25	48	24	72															
26	SPT-20	150	17	19	22	41															
27																					
28																					
29																					
30																					
DAYANIMLILIK - Strength			AYRIŞMA - Weathering										İNCİ TANEİLİ - Fine Grained			BİTİ TANEİLİ - Coarse Grained					
R1: AŞIRI DERECEDE ZAYIF KAYA - Extremely Weak Rock			I: TAZE - Fresh										N=0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft			N=0-4 ÇOK GEVŞEK - Very Loose					
R2: ZAYIF KAYA - Weak Rock			II: AZ AYRIŞMIŞ - Slightly										N=2-4 YUMUŞAK - Soft			N=4-10 GEVŞEK - Loose					
R3: ORTA DERECEDE SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock			III: ORTA DER. AYR. - Mod. B.										N=4-8 ORTA KATI - Middle Stiff			N=10-30 ORTA SIKI - Middle Dense					
R4: SAĞLAM KAYA - Strong Rock			IV: ÇOK AYRIŞMIŞ - Highly B.										N=8-15 KATI - Stiff			N=30-50 SIKI - Dense					
R5: ÇOK SAĞLAM KAYA - Very Strong Rock			V: TAM AYRIŞMIŞ - Comp. B.										N=15-30 ÇOK KATI - Very Stiff			N=50 ÇOK SIKI - Very Dense					
R6: AŞIRI DERECEDE SAĞLAM KAYA - Extremely Strong Rock													N=30 SERT - Hard								
KAYA KALİTESİ - RQD			EKLEMLİ SIKLIĞI - Fracture Frequency										BOZUNMA - Decomposition			ORANLAR - Proportions					
%0-25 ÇOK ZAYIF - I - Poor			(I) < 1 MASIF - Massive										W1 BOZUNMAMIS(TAZE) - Non-Degraded			%5 < FİNE AZ - Slight					
%25-50 ZAYIF - Poor			(II) 1-3 AZ ÇATLAKLI - Less Fractured										W2 AZ BOZUNMUŞ			%5-15 AZ - Little					
%50-75 ORTA - Fair			(III) 3-10 KIRIKLI - Fractured										W3 ORTA DER. BOZ.			%15-35 ÇOK - Fair					
%75-90 İYİ - Good			(IV) 10-50 ÇOK ÇATLAKLI - Highly Fr.										W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ			%35-50 VL - Bad					
%90-100 ÇOK İYİ - Excellent			(V) > 50 PARÇALANMIŞ - Crushed										W5 ARTIÇ ZEMİN								
SPT	STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test												SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer			TARİH Date		İZA Sign			
P	PRESİYOMETRE DENEYİ - Pressuremeter Test												MEHMET GÜLTEKİN			09.08.2014					
VST	VANE DENEYİ - Vane Shear Test																				
K	KAROT NUMUNESİ - Core Sample																				
D	ÖRNEKLEME NUMUNESİ - Undisturbed Sample																				
UD	ÖRNEKLEME NUMUNESİ - Undisturbed Sample																				

Şekil 1.5. V10-P12 sondaj logu (2/3)

EK-1. (devam) Sondaj logları

AKADEMİ JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU - BORING LOG																			
PROJE ADI - Project Name																					
ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI(KESİM-1) V10																					
Sondaj No - Boring No		SKV10-P12		Sayfa - Page		2															
Sondaj Yeri/Mevkii - Boring Location		Hisarköy Kuzeydoğusu		Başlama Tarihi - Date of Start		05.08.2014															
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		45,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		09.08.2014															
Yeraltısuyu (m) - Groundwater		2,50		Sondaj Kotu(m) - Elevation		795,750															
Sondör - Driller		Osman BAZAN		Koordinat - Coordinate		X:		525517,8184													
						Y:		4411332,466													
Sondaj Derinliği (m)	Numune Çeşni Sample Type	Manevra Boyu (cm) Maneuver Length	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	Dayanıklılık Strength	Ayrışma Weathering	Bozunma Decomposition	Eklem Sıklığı(m) Fracture Frequency	Korut (%) Core Recovery	Sağlam Korut (%) Solid Core	Kaya Kalitesi RQD (%)
			DARBE SAYISI Number of Blows					GRAFİK Graphic													
			10-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	N	10	20	30	40	50	60								
31		150												27,00-31,50m SERPANTİNİT; Yeşil-Koyu yeşil	R0	IV	W4- W5	V	42	0	0
32	K	150													R0- R1	V	W4- W5	IV-V	38	16	16
33	K	150																			
34		150																			
35	SPT-21	50/11					R							31,50-45,00m SERPANTİNİT; Yeşil-Koyu yeşil renkte, yer yer kireçtaşı blokları içeren, tamamen bozunmuş-artık zemin, çok ayrılmış, parçalanmış, aşırı derecede-çok zayıf, SERPANTİNİT Süreksizlikler: 0°, 30°, 45°, 60°, mat, pürüzlü.	R0	V	W4- W5	V	20	0	0
36	K	150													R0	V	W4- W5	V	20	0	0
37		150													R0	V	W4- W5	V	29	0	0
38	K	150													R0- R1	IV-V	W4	IV-V	76	38	24
39	K	150													R1	IV-V	W4	IV-V	93	71	40
40		150													R1	IV-V	W4- W5	IV-V	94	51	35
41	K	150													R1	IV-V	W4- W5	IV-V	100	71	42
42	K	150																			
43		150																			
44	K	150																			
45	K	150																			
KUYU SONU																					
DAYANIMLIK - Strength			AYRISMA - Fracturing			İNCE TANELİ - Fine Grained			BİT TANELİ - Coarse Grained												
R0 AŞIRI DERECEDE ZATIF KAYA - Extremely Hard Rock			I TAZE - Fresh			N-0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft			N-0-4 ÇOK GEVŞEK - Very Loose												
R1 ÇOK ZATIF KAYA - Very Hard Rock			II AZ AYRISMIŞ - Slightly			N-2-4 YUMUŞAK - Soft			N-4-10 GEVŞEK - Loose												
R2 ZATIF KAYA - Hard Rock			III ORTA DER. AYR. - Mod. R.			N-4-8 ORTA KATI - Middle Stiff			N-10-20 ORTA SIKI - Middle Dense												
R3 ORTA DERECEDE SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock			IV ÇOK AYRISMIŞ - Highly F.			N-8-15 KATI - Stiff			N-20-40 SIKI - Dense												
R4 SAĞLAM KAYA - Strong Rock			V TAM AYRISMIŞ - Comp. F.			N-15-30 ÇOK KATI - Very Stiff			N-40-60 ÇOK SIKI - Very Dense												
R5 ÇOK SAĞLAM KAYA - Very Strong Rock																					
R6 AŞIRI DERECEDE SAĞLAM KAYA - Extremely Strong Rock																					
KAYA KALİTESİ - RQD			EKLEM SIKLIĞI(m) - Fracture Frequency			BOZUNMA - Decomposition			GRANÜLER - Porosity												
*0-25 ÇOK ZATIF - F. - Poor			(I) < 1 MASIF - Massive			W1 BOZUNMAMIS(TAZE) - Non-Degraded			*0-5 < FEN. AZ - Slight												
*25-50 ZATIF - Fair			(II) 1-5 AZ ÇATLAĞLI - Less Fractured			W2 AZ BOZUNMUŞ			*5-15 AZ - Little												
*50-75 ORTA - Fair			(III) 5-10 KIRIKLI - Fractured			W3 ORTA DER. BOZ.			*15-35 ÇOK - Fair												
*75-90 İYİ - Good			(IV) 10-20 ÇOK ÇATLAĞLI - Highly Fr.			W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ			*35-50 VE - Bad												
*90-100 ÇOK İYİ - Excellent			(V) > 20 PARÇALANMIŞ - Crashed			W5 ARTIK ZEMİN															
SPT STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test			SONDAJ MÜHENDİSİ - Drilling Engineer			TARİH - Date			İMZA - Sign												
F FRIKİYOMETRE DENEYİ - Penetration Test			MEHMET GÖLTEKİN			09.08.2014															
VST VANE DENEYİ - Vane Shear Test																					
K KAROT NUMUNESİ - Core Sample																					
D ÖRSELENİŞ NUMUNE - Disturbed Sample																					
LTD ÖRSELENMEMİŞ NUMUNE - Undisturbed Sample																					

Şekil 1.6. V10-P12 sondaj logu (3/3)

EK-1. (devam) Sondaj logları

AKADEMİ JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU - BORING LOG																		
PROJE ADI - Project Name																				
ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI KESİM 1 (V15)																				
Sondaj No - Boring No		SKV15-P5		Sayfa - Page		1 / 2														
Sondaj Yeri/Mevkii - Boring Location		Yahşihan Güneybatısı		Başlama Tarihi - Date of Start		09.07.2014														
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		25,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		11.07.2014														
Yeraltısuyu (m) / Tarih - Groundwater / Date		9,70		Sondaj Kotu(m) - Elevation		696,538 (WGS84)														
Sondajcı - Driller		Doğan UĞUR		Koordinat - Coordinate		X: 535099,08 (WGS84) Y: 4414999,751 (WGS84)														
Sondaj Derinliği (m)	Numune Cinsi (m)	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration										JEOTEKNIK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	Durumlilik Strength	Ayrışma Weathering	Bozunma Decomposition	Eklemlilik Fracture Frequency	Korot (%) Core Recovery	Sağlam Karot (%) Solid Core	Kaya Kalitesi RQD (%)
		DARBE SAYISI Number of Blows					GRAFİK Graphic													
		15-30 cm	30-45 cm	45-60 cm	N	10	20	30	40	50	60									
1	150											0,00 - 0,50m BİTKİSEL TOPRAK						0		
2	SPT-1 45	6	6	7	13							0,50 - 7,40m Kahverengi-Bej Renkli, Kırı-Sen, Yer Yer Max Tane Boyu 3 cm Olan Çakıl, Kumlu, Siltli KİL YAMAÇ MOLOZU						0		
3	UD-1 50																			
4	SPT-2 45	7	8	10	18														0	
5	SPT-3 45	7	17	19	36														0	
6	UD-2 50																		0	
7	SPT-4 45	10	18	22	40														0	
8	K 100											7,40 - 8,35m Bej Renkli, Parçalı, Kili SİLİTİ						100		
9	K 100											8,35 - 10,50m Gri, Radyolarit, Serpantin, Kırı-Sen Çakıl, Zayıf Dayanıklı, Tasamalı Bozunmuş, Orta Derecede Çök Ayrışmış, KUMTAŞI-ÇAKILTAŞI	R1 R2	IV V	W3 W4	V	100	13	0	
10	K 100												R2	IV	W3	V	100	22	10	
11	K 100											10,50 - 13,00m Açık Kahverengi-Bej Renkli, Çok Zayıf Dayanıklı, Orta Derecede Çök Ayrışmış, Orta Derecede Bozunmuş, KİLTAŞI	R2 R3	III IV	W3 W4	III	95	17	17	
12	K 100												R2	III	W3	III	95	65	55	
13	K 100											12,00 - 12,30m İri Çakıl, Siltli, KİL	R1	IV	W4	V	93	0	0	
14	K 300											13,00 - 25,00m Gri Renkli, Zayıf Dayanıklı, Yer Yer Çok Zayıf Dayanıklı, Orta Derecede Ayrışmış, Orta Derecede Bozunmuş, Yer Yer Parçalı, ÇAMURTAŞI	R1 R2	II III	W2 W3	V	98	90	67	
DAYANIMLIK - Strength		AYRIŞMA - Weathering					İNCE TANELİ - Fine Grained					İRİ TANELİ - Coarse Grained								
R1 - AŞİRE DER. ZATIF KAYA - Extremely Weak Rock		I - TAZE - Fresh					N=0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft					N=0-4 ÇOK GÜÇSİZ - Very Loose								
R2 - ÇOK ZAYIF KAYA - Very Weak Rock		II - AZ AYRIŞMIŞ - Slightly					N=2-4 YUMUŞAK - Soft					N=4-10 GÜÇSİZ - Loose								
R3 - ZAYIF KAYA - Weak Rock		III - ORTA DER. AYR. - Mod. II					N=4-8 ORTA KATI - Middle Stiff					N=10-30 ORTA SIKI - Middle Dense								
R4 - ORTA DER. SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock		IV - ÇOK AYRIŞMIŞ - Highly F.					N=8-15 KATI - Stiff					N=30-50 SIKI - Dense								
R5 - SAĞLAM KAYA - Strong Rock		V - TAM AYRIŞMIŞ - Comp. R.					N=15-30 ÇOK KATI - Very Stiff					N=50 ÇOK SIKI - Very Dense								
R6 - ÇOK SAĞLAM KAYA - Extremely Strong Rock							N=30 SERT - Hard													
KAYA KALİTESİ - RQD		EKLİM SIKLIĞI - Fracture Frequency					BOZUNMA - Decomposition					ORANLAR - Proportions								
% 0 - 25 ÇOK ZAYIF - F. Poor		I < 1 MASIF - Intact					W1 BOZUNMAMIS/TAZE - Non-Degraded					% 5 < PEK AZ - Slightly								
% 25 - 50 ZAYIF - Fair		II 1-3 AZ ÇATLAĞLI - Less Fractured					W2 AZ BOZUNMUŞ					% 5-15 AZ - Little								
% 50 - 75 ORTA - Fair		III 3-10 KRİKİLİ - Fractured					W3 ORTA DER. DOĞ.					% 15-35 ÇOK - Fair								
% 75 - 90 İYİ - Good		IV 10-50 ÇOK ÇATLAĞLI - Highly Fr.					W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ					% 35-50 VE - And								
% 90 - 100 ÇOK İYİ - Excellent		V > 50 PARÇALANMIŞ - Crumbled					W5 ARTIK ZEMİN													
SPT STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test		SONDAJ MÜHENDİSİ - Drilling Engineer					TARİH - Date					İMZA - Sign								
P PRESİVOMETRE DENEYİ - Pressuremeter Test		Emre YILDIRIM					11.07.2014													
VST VANE DENEYİ - Vane Shear Test																				
K KAROT NÜMUNESİ - Core Sample																				
D ÖRNEKLENMİŞ NÜMUNE - Disturbed Sample																				
UD ÖRNEKLENMİŞ NÜMUNE - Undisturbed Sample																				

Şekil 1.7. V15-P5 sondaj logu (1/2)

EK-1. (devam) Sondaj logları

AKADEMİ JEO. JEOT. ETÜD PROJE MÜH. MÜŞ. İNŞ. SAN. TİC. LTD. ŞTİ.		SONDAJ LOGU - BORING LOG																			
PROJE ADI - Project Name																					
ANKARA-SİVAS DEMİRYOLU PROJESİ KAYAŞ-KIRIKKALE ARASI KESİM 1 (V15)																					
Sondaj No - Boring No		SKV15-P5		Sayfa - Page		2 / 2															
Sondaj Veri/Mevki - Boring Location		Yahşihan Güneybatısı		Başlama Tarihi - Date of Start		09.07.2014															
Sondaj Derinliği (m) - Boring Depth		25,00		Bitiş Tarihi - Date of Finish		11.07.2014															
Yeraltısu (m) / Tarih - Groundwater / Date		9,70		Sondaj Kotu(m) - Elevation		696,538 (WGS84)															
Sondaj - Driller		Doğan UĞUR		Koordinat - Coordinate		X: 535099,08 (WGS84) Y: 4414999,751 (WGS84)															
Sondaj Derinliği Boring Depth (m)	Numune Cinsi Sample Type	Manivela Boyu (cm) Manometer Length	STANDART PENETRASYON DENEYİ Standard Penetration										JEOTEKNİK TANIMLAMA Geotechnical Description	Profil Profile	Dayanıklılık Strength	Ayrışma Weathering	Bozunma Decomposition	Eklem Sıklığı Fracture Frequency	Korot (%) Core Recovery	Sağlam Korot (%) Solid Core	Kaya Kalitesi RQD (%)
			DARBE SAYISI Number of Blows					GRAFİK Graphic													
			1-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N	10	20	30	40	50	60									
16																					
17	K	300													R1 R2	II III	W2 W3	V	100	70	58
18																					
19																					
20	K	300													R1 R2	II III	W2 W3	V	100	60	43
21																					
22																					
23	K	360													R2	I II	W1 W2	III	100	99	99
24																					
25																					
26																					
27																					
28																					
29																					
30																					
DAYANIMLILIK - Strength			AYRIŞMA - Weathering			İNCE TANELİ - Fine Grained			İRİ TANELİ - Coarse Grained												
R1 ASBİ DER. ZAYIF KAYA - Extremely Weak Rock R2 ÇOK ZAYIF KAYA - Very Weak Rock R3 ZAYIF KAYA - Weak Rock R4 ORTA DER. SAĞLAM KAYA - Moderately Strong Rock R5 SAĞLAM KAYA - Strong Rock R6 ÇOK SAĞLAM KAYA - Very Strong Rock R7 ASBİ DER. SAĞLAM KAYA - Extremely Strong Rock			I TAZE - Fresh II AZ AYRIŞMIŞ - Slightly III ORTA DER. AYR. - Mod. H. IV ÇOK AYRIŞMIŞ - Highly H. V TAM AYRIŞMIŞ - Comp. H.			N=0-2 ÇOK YUMUŞAK - Very Soft N=3-4 YUMUŞAK - Soft N=5-8 ORTA KATI - Medium Stiff N=9-15 KATI - Stiff N=16-30 ÇOK KATI - Very Stiff N>30 SERT - Hard			N=0-4 ÇOK GEVŞEK - Very Loose N=5-10 GEVŞEK - Loose N=11-30 ORTA SIKI - Moderately Dense N=31-50 SIKI - Dense N>50 ÇOK SIKI - Very Dense												
KAYA KALİTESİ - RQD			EKLEM SIKLIĞI - Fracture Frequency			BOZUNMA - Decomposition			ORANLAR - Proportions												
% 0 - 25 ÇOK ZAYIF - V. Poor % 25 - 50 ZAYIF - Poor % 50 - 75 ORTA - Fair % 75 - 90 İYİ - Good % 90 - 100 ÇOK İYİ - Excellent			I < 1 MAFİT - Massive II 1-3 AZ ÇATLAĞLI - Less Fractured III 3-10 SIKI - Fractured IV 10-30 ÇOK ÇATLAĞLI - Highly Fr. V > 30 PARÇALANMIŞ - Cracked			W1 BOZUNMAMIŞ (TAZE) - Not Degraded W2 AZ BOZUNMUŞ W3 ORTA DER. BOZ. W4 TAMAMEN BOZUNMUŞ W5 ARTIK ZEMİN			% 5 - TEK. AZ - Single % 5-15 AZ - Little % 15-35 ÇOK - Many % 35-100 Yİ - All												
SPT P VST K D ED			STANDART PENETRASYON DENEYİ - Standard Penetration Test PRESİVOMETRE DENEYİ - Pressuremeter Test VANE DENEYİ - Vane Shear Test KAROT NÜMUNESİ - Core Sample ÖRSELENMİŞ NÜMUNE - Disturbed Sample ÖRSELENMEMİŞ NÜMUNE - Undisturbed Sample			SONDAJ MÜHENDİSİ Drilling Engineer Emre YILDIRIM			TARİH Date 11.07.2014			İMZA Signature 									

Şekil 1.8. V15-P5 sondaj logu (2/2)

EK-2. Karot fotoğrafları



Şekil 2.1. V9-P6 karot fotoğrafı (1/3)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



Şekil 2.2. V9-P6 karot fotoğrafı (2/3)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



Şekil 2.3. V9-P6 karot fotoğrafı (3/3)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



Şekil 2.4. V10-P12 karot fotoğrafı (1/2)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



Şekil 2.5. V10-P12 karot fotoğrafı (2/2)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



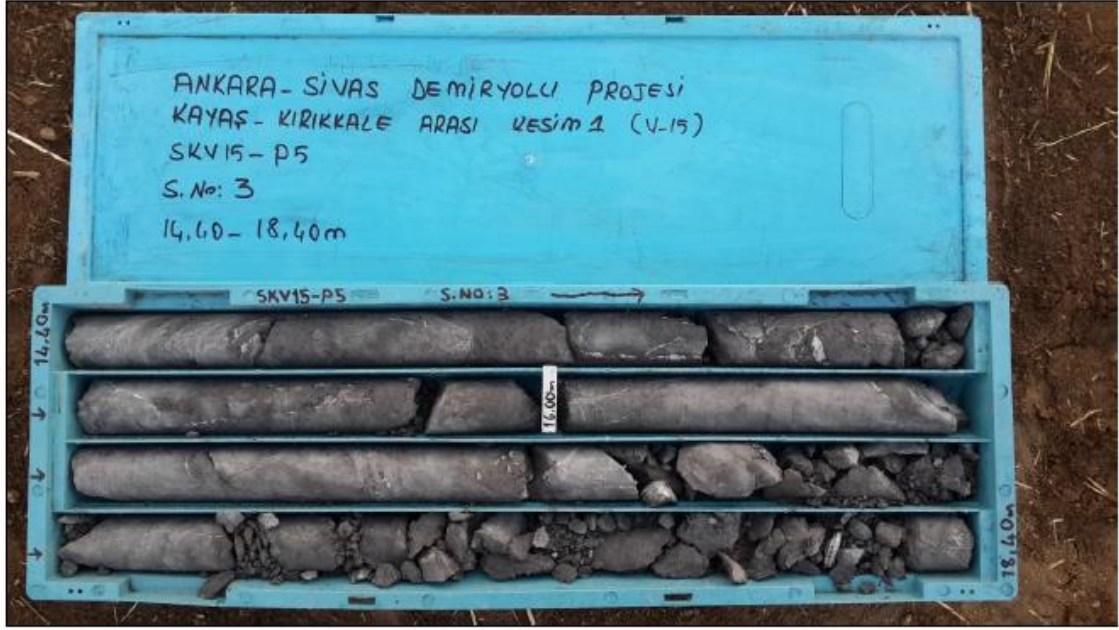
Şekil 2.5. V10-P12 karot fotoğrafı (2/2)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



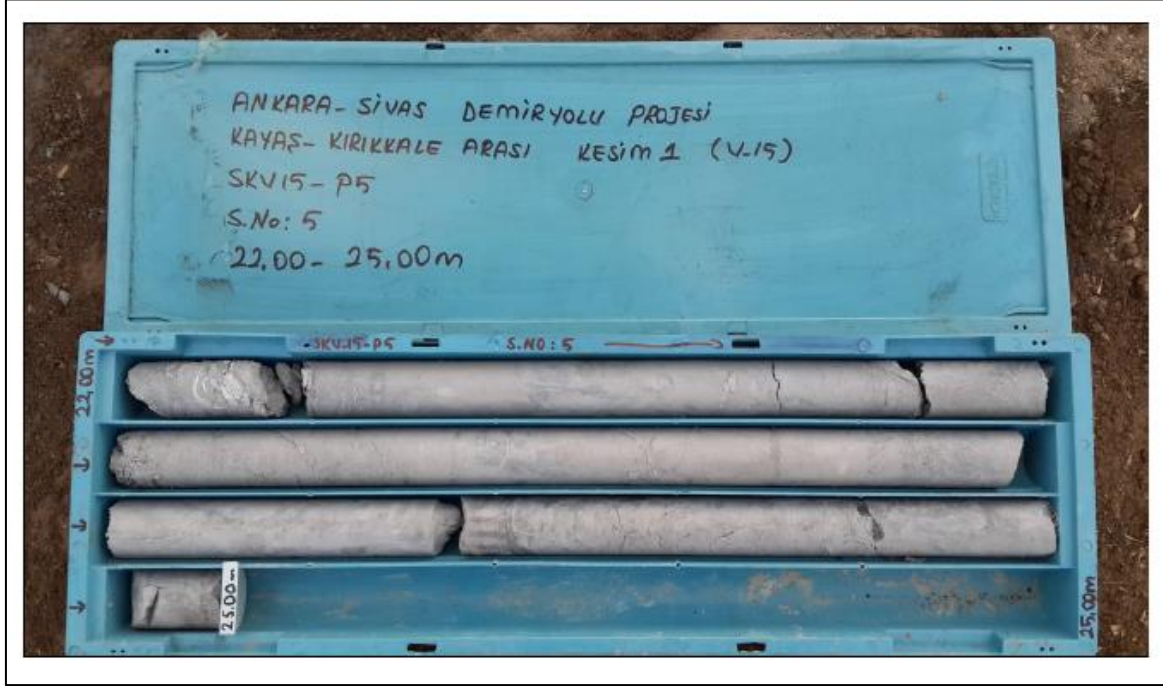
Şekil 2.6. V15-P5 karot fotoğrafı (1/3)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



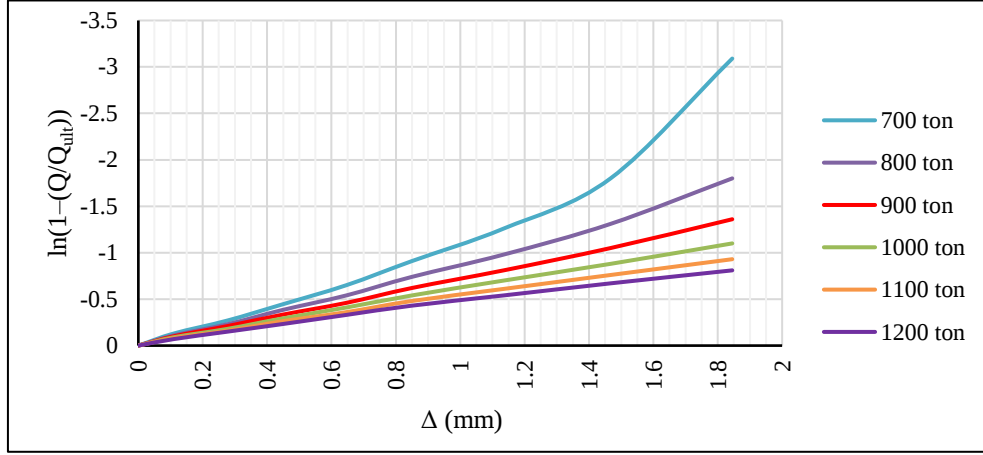
Şekil 2.7. V15-P5 karot fotoğrafı (2/3)

EK-2. (devam) Karot fotoğrafları



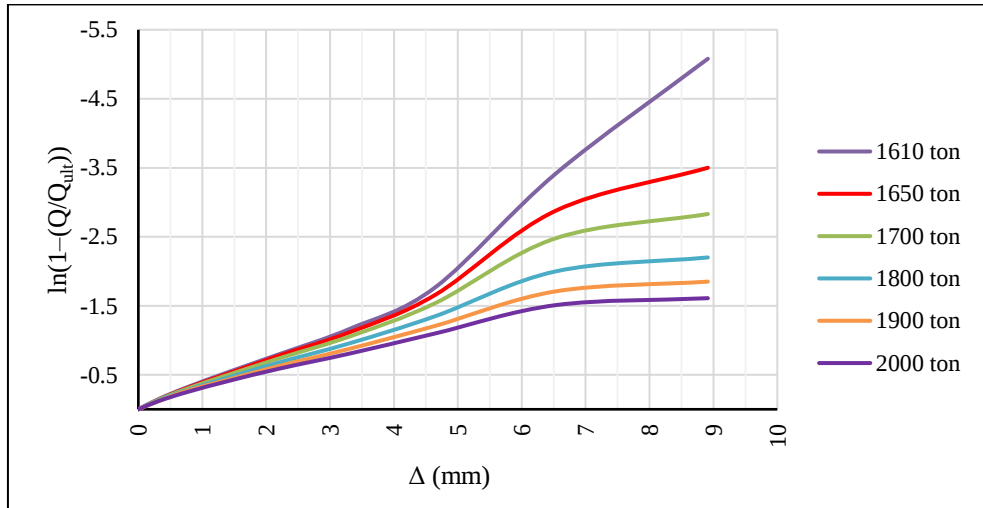
Şekil 2.8. V15-P5 karot fotoğrafı (3/3)

EK-3. Van der Veen yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 3.1. V9-P6 kazığı

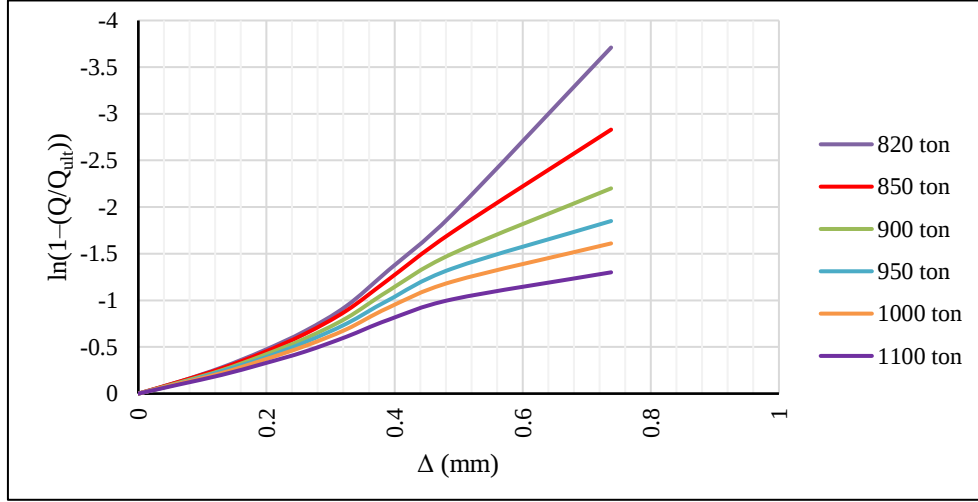
Q_{ult} : 900 ton



Şekil 3.2. V10-P12 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

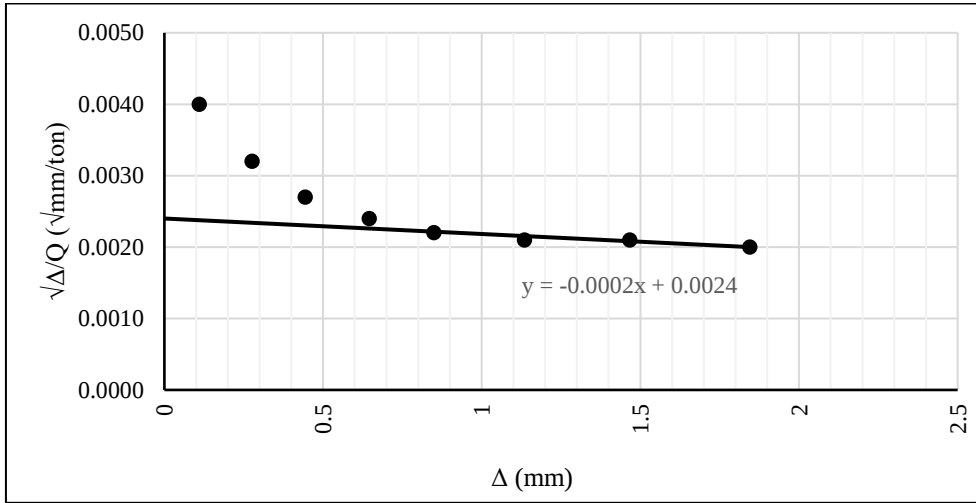
EK-3. (devam) Van der Veen yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 3.3. V15-P5 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

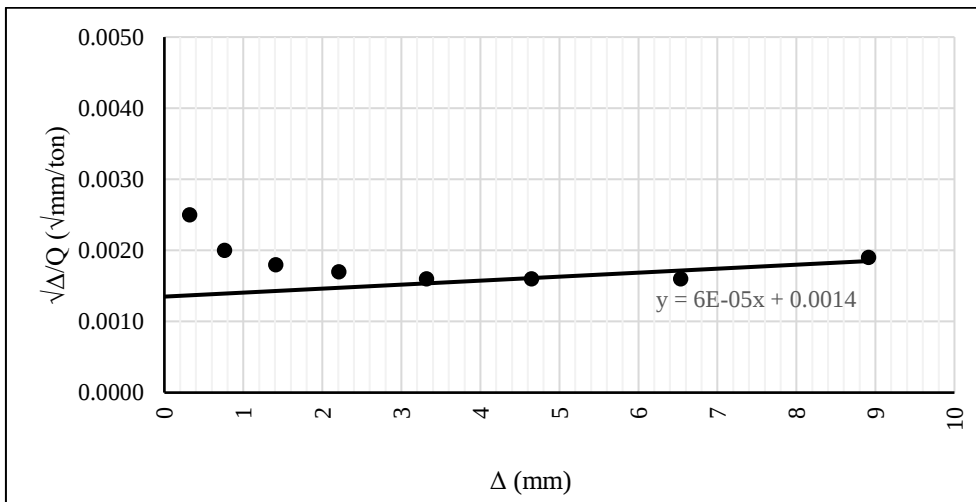
EK-4. Brinch Hansen %80 yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 4.1. V9-P6 kazığı

$$C_1 = 0,0002; C_2 = 0,0024$$

$$Q_{ult} = \frac{1}{2 \times \sqrt{0,0002 \times 0,0024}} = 722 \text{ ton}$$

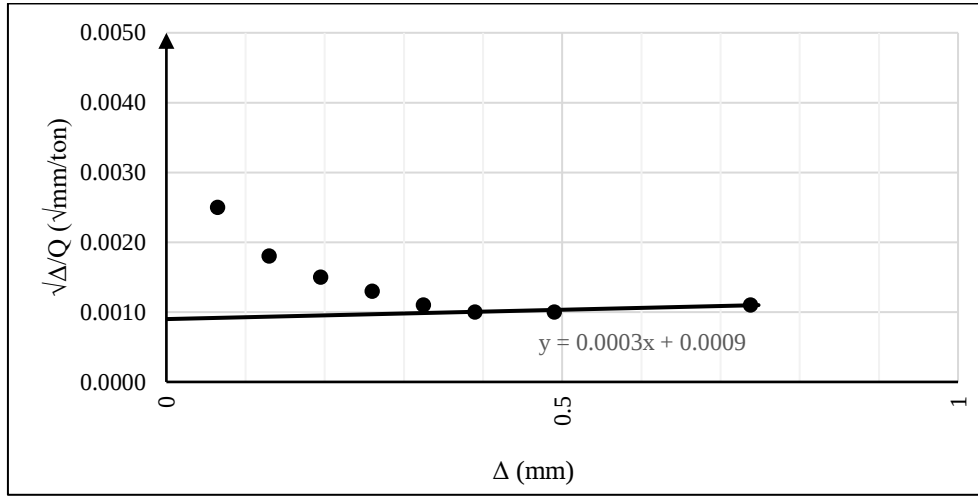


Şekil 4.2. V10-P12 kazığı

$$C_1 = 6 \times 10^{-5}, C_2 = 0,0014$$

$$Q_{ult} = \frac{1}{2 \times \sqrt{6 \times 10^{-5} \times 0,0014}} = 1725 \text{ ton}$$

EK-4. (devam) Brinch Hansen %80 yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi

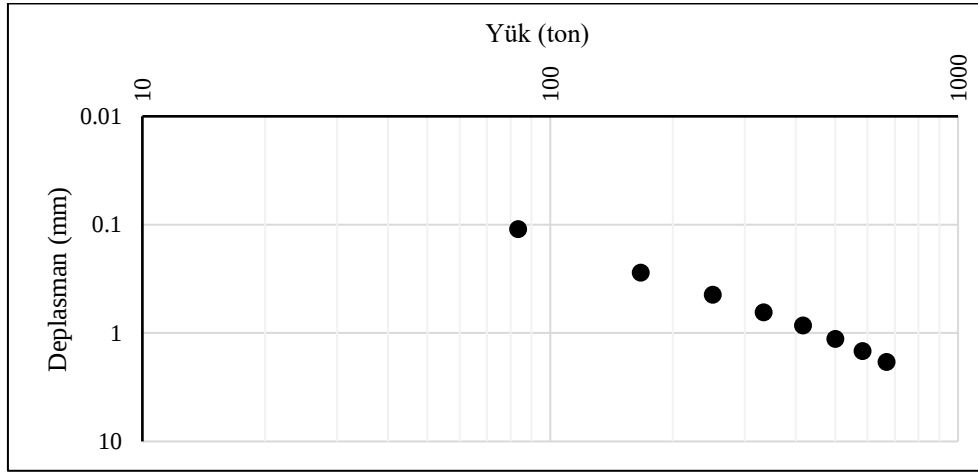


Şekil 4.3. V15-P5 kazığı

$$C_1 = 3 \times 10^{-4}, C_2 = 0,0008$$

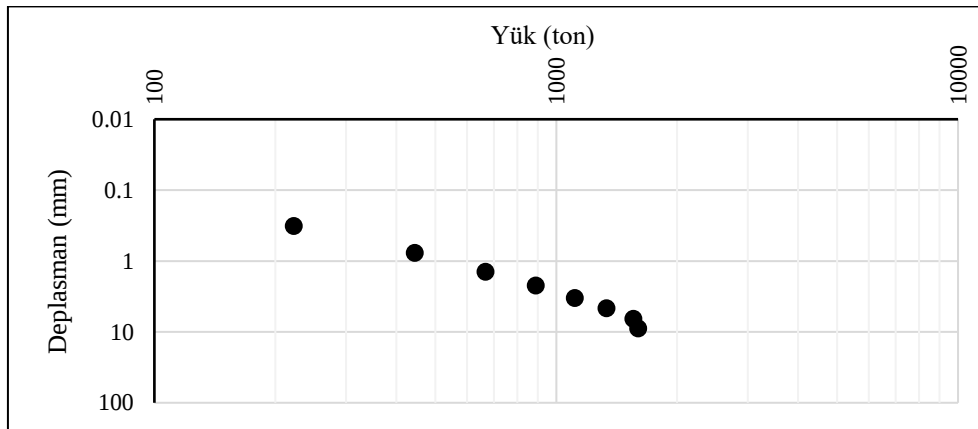
$$Q_{ult} = \frac{1}{2 \times \sqrt{0,0003 \times 0,0009}} = 962 \text{ ton}$$

EK-5. De Beer yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 5.1. V9-P6 kazığı

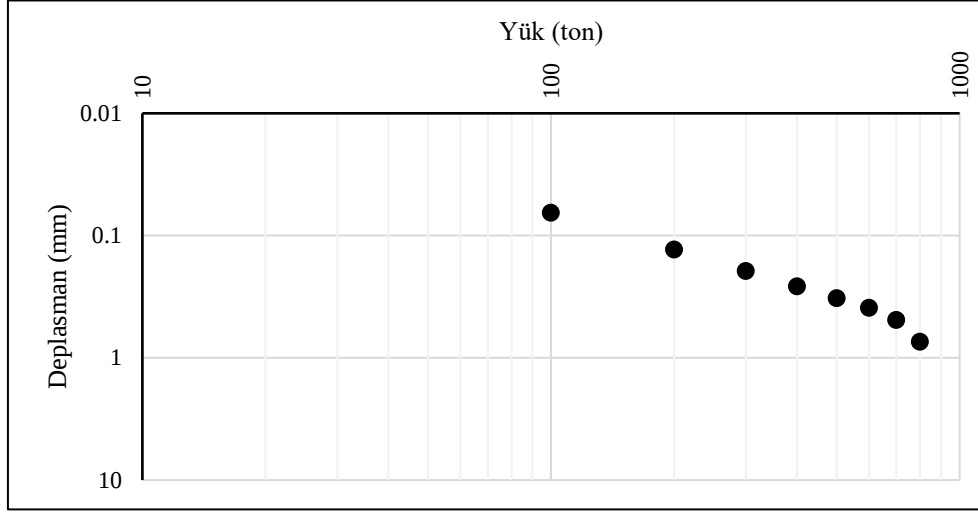
Q_{ult} : Belirlenemedi



Şekil 5.2. V10-P12 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

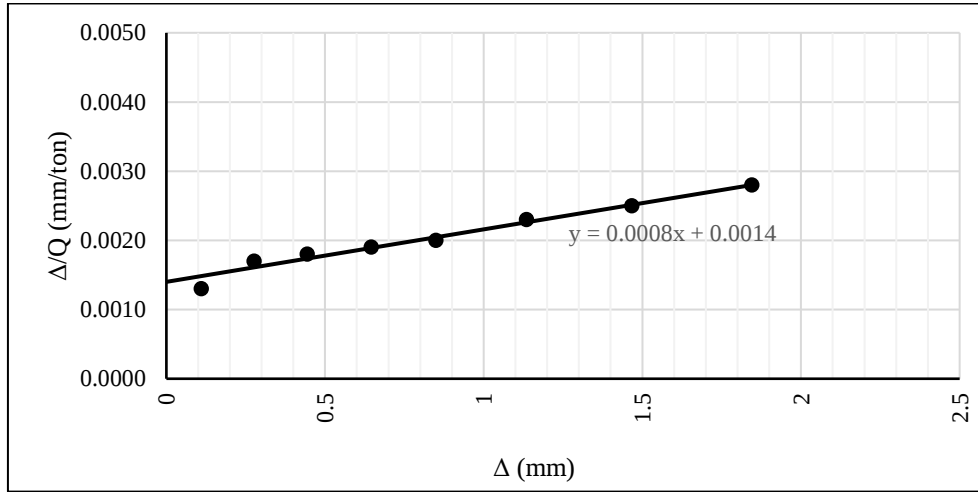
EK-5. (devam) De Beer yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 5.3. V15-P5 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

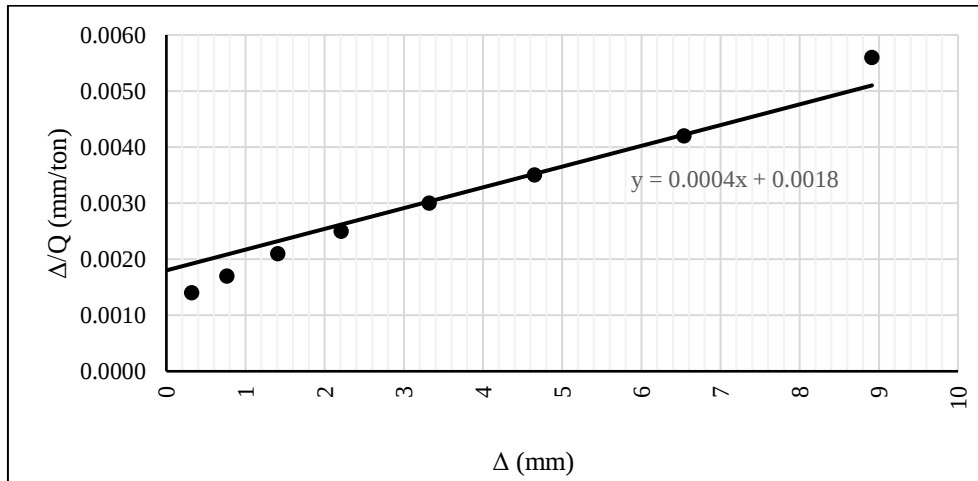
EK-6. Chin-Kondner yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 6.1. V9-P6 kazığı

$$C_1 = 0,0008; C_2 = 0,0014$$

$$Q_{ult} = \frac{1}{0,0008} = 1250 \text{ ton}$$

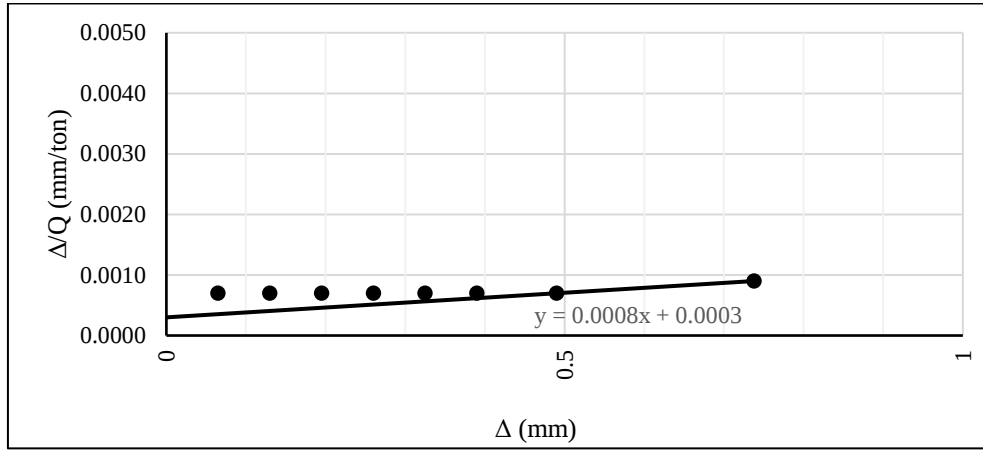


Şekil 6.2. V10-P12 kazığı

$$C_1 = 0,0004; C_2 = 0,0018$$

$$Q_{ult} = \frac{1}{0,0004} = 2500 \text{ ton}$$

EK-6. (devam) Chin-Kondner yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi

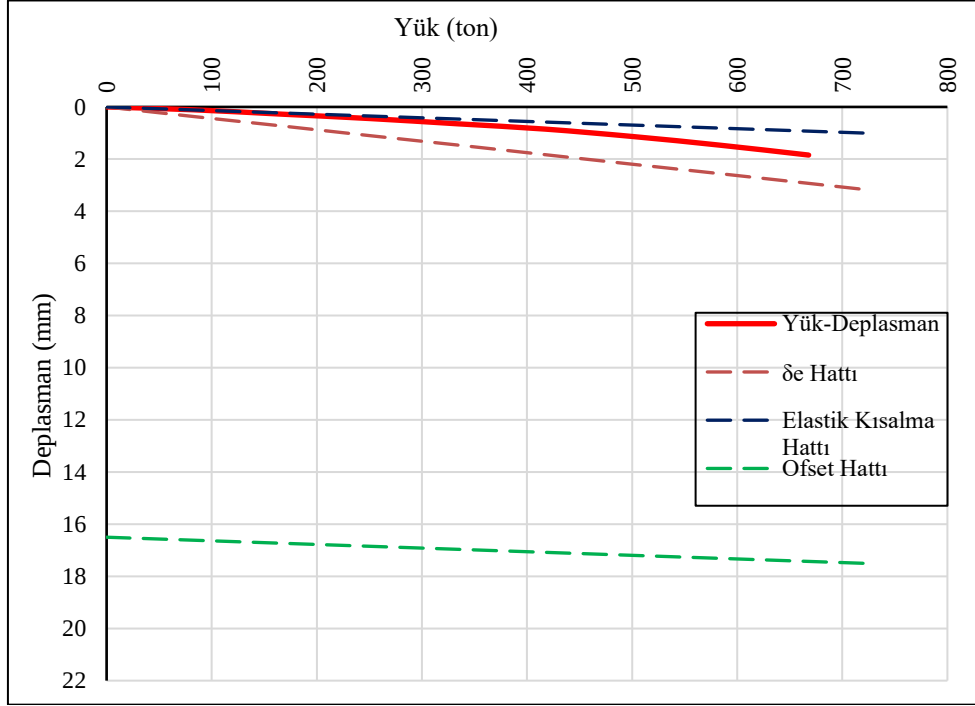


Şekil 6.3. V15-P5 kazığı

$$C_1 = 0,0008; C_2 = 0,0003$$

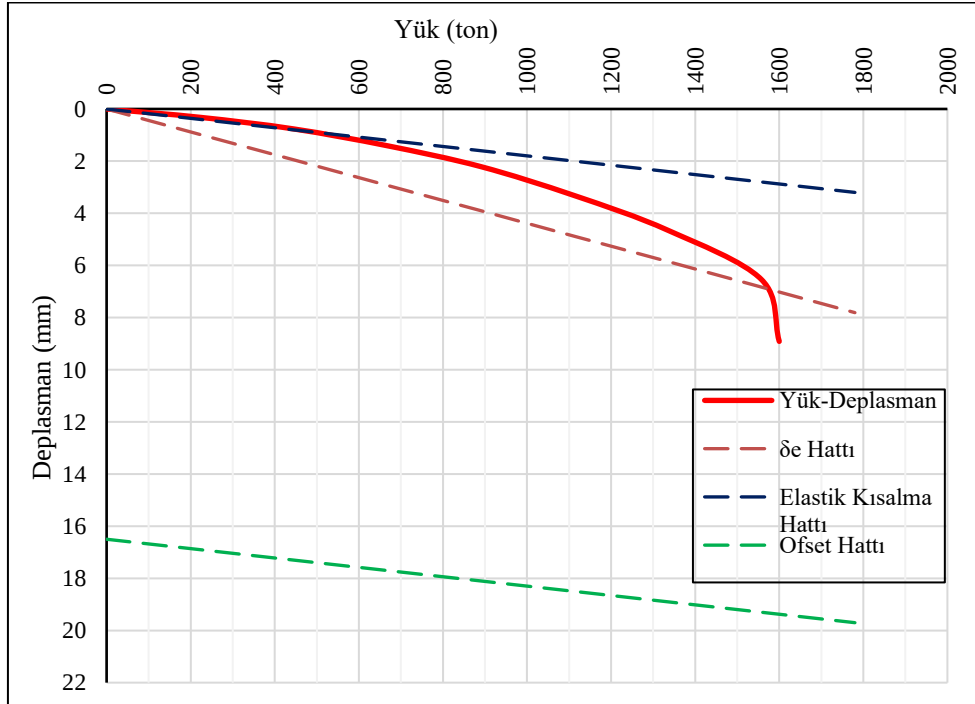
$$Q_{ult} = \frac{1}{0,0008} = 1250 \text{ ton}$$

EK-7. Davisson yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 7.1. V9-P6 kazığı

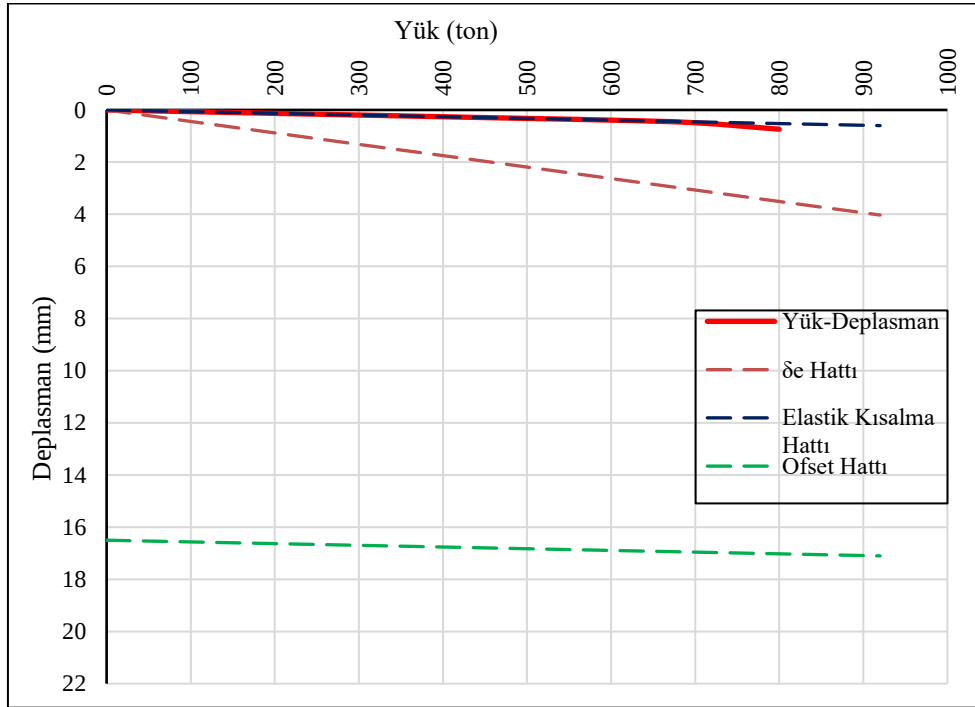
Q_{ult} : Belirlenemedi



Şekil 7.2. V10-P12 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

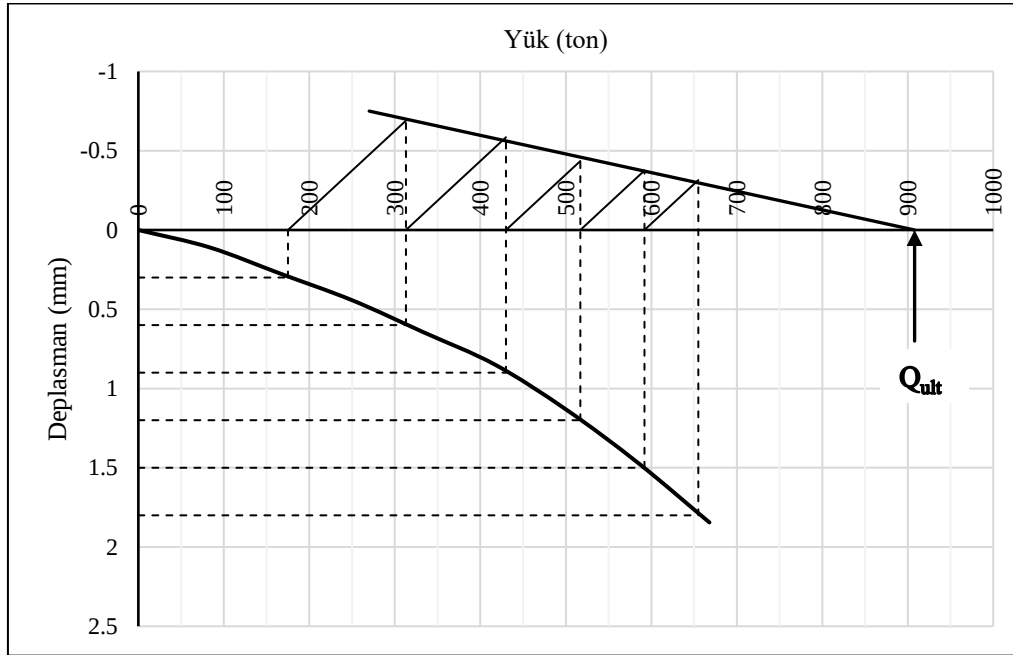
EK-7. (devam) Davisson yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 7.3. V15-P5 kazığı

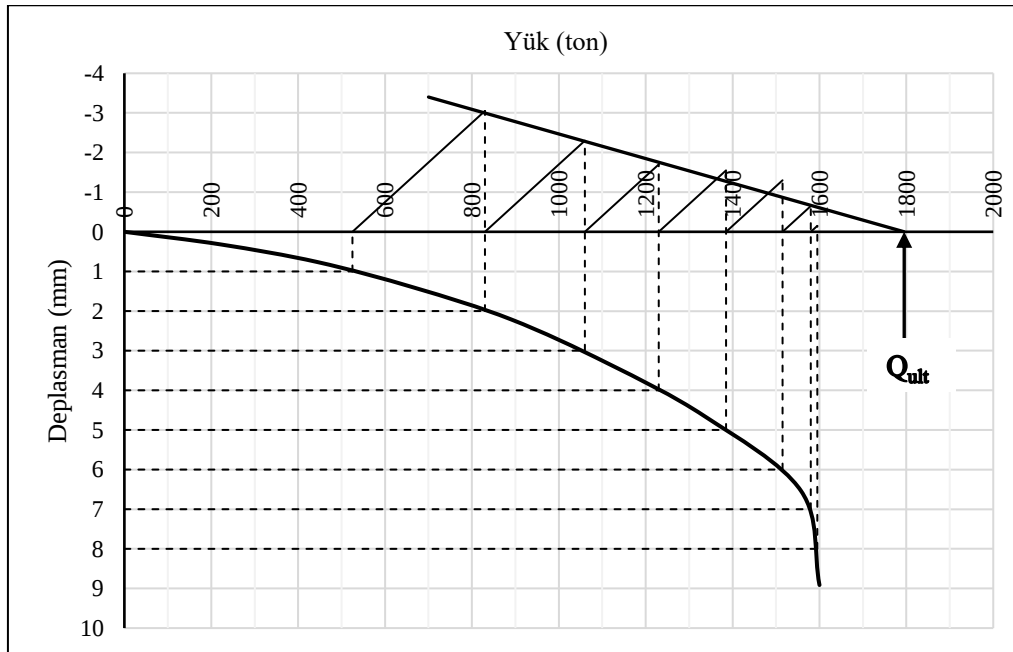
Q_{ult} : Belirlenemedi

EK-8. Mazurkiewicz yöntemi ile taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 8.1. V9-P6 kazığı

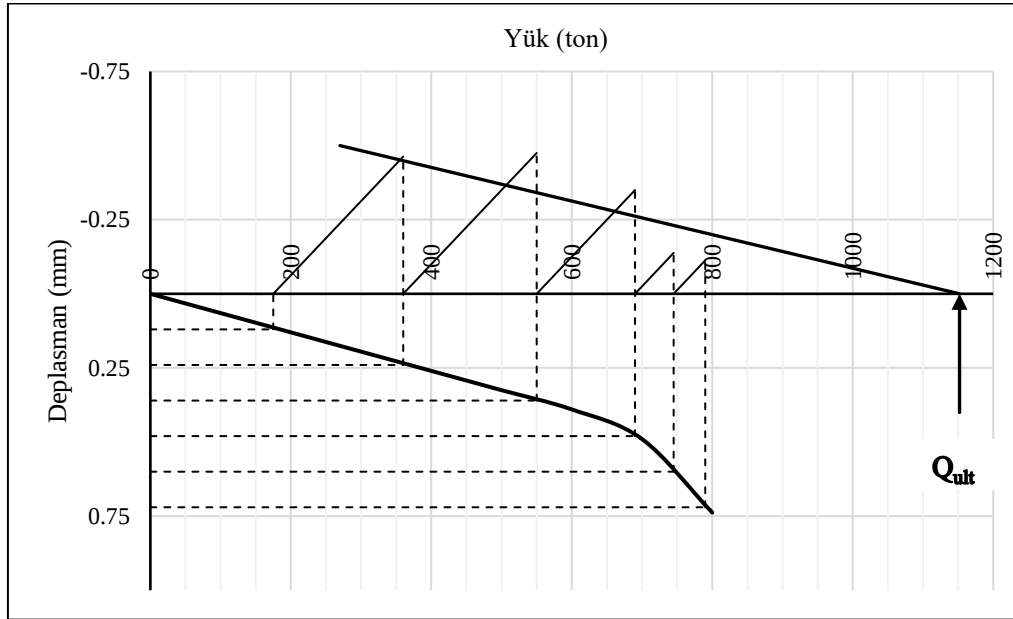
Q_{ult} : 908 ton



Şekil 8.2. V10-P12 kazığı

Q_{ult} : 1795 ton

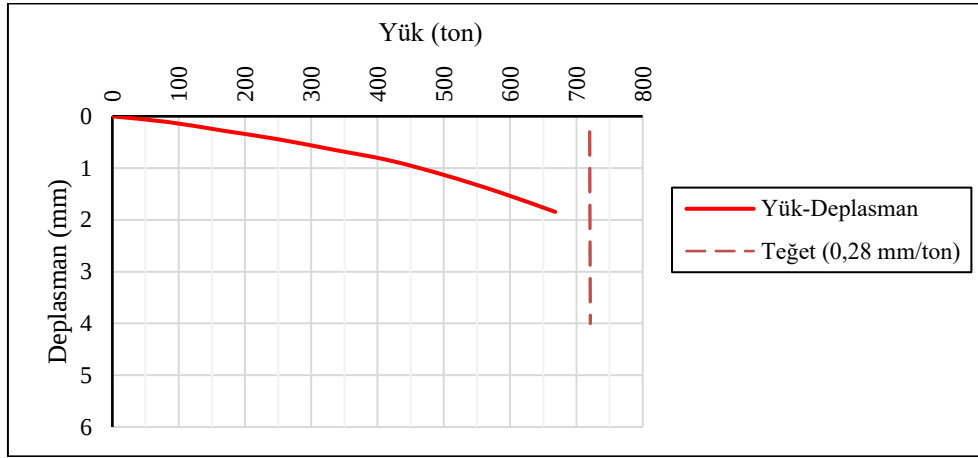
EK-8. (devam) Mazurkiewicz yöntemi ile taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 8.3. V15-P5 kazığı

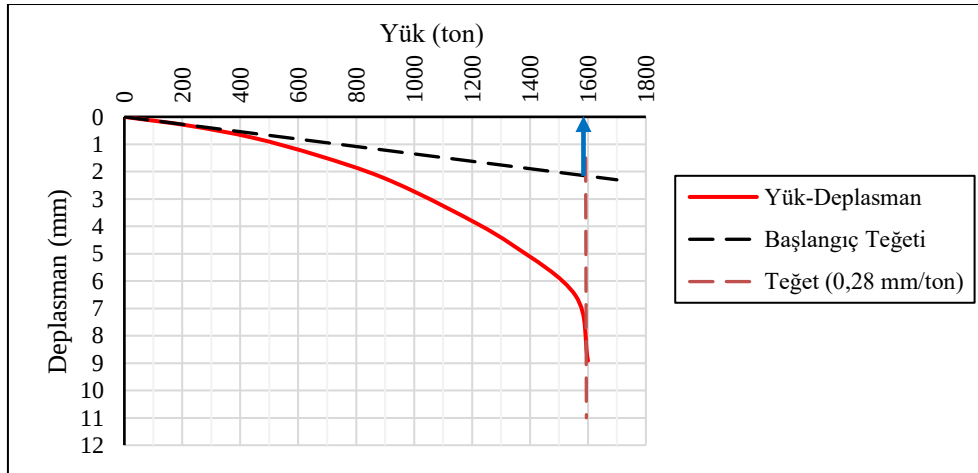
Q_{ult} : 1152 ton

EK-9. Butler-Hoy yöntemi ile taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 9.1. V9-P6 kazığı

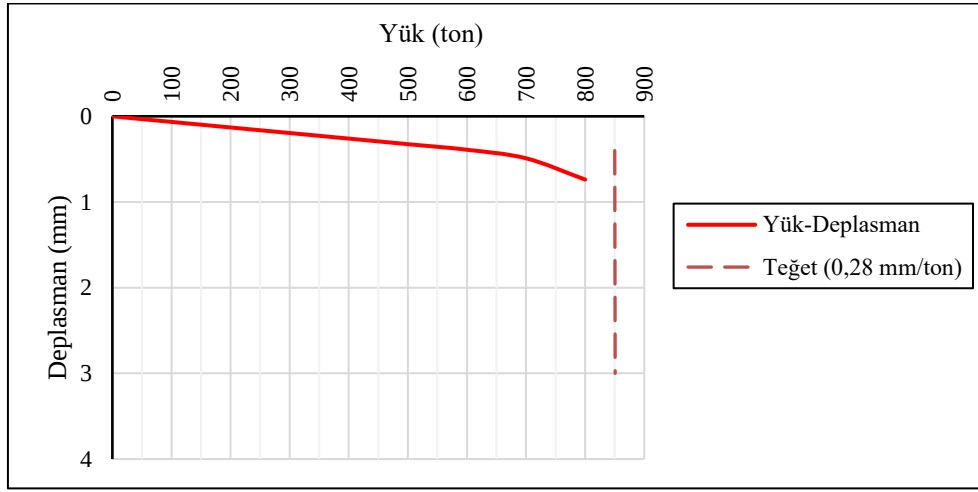
Q_{ult} : Belirlenemedi



Şekil 9.2. V10-P12 kazığı

Q_{ult} : 1590 ton

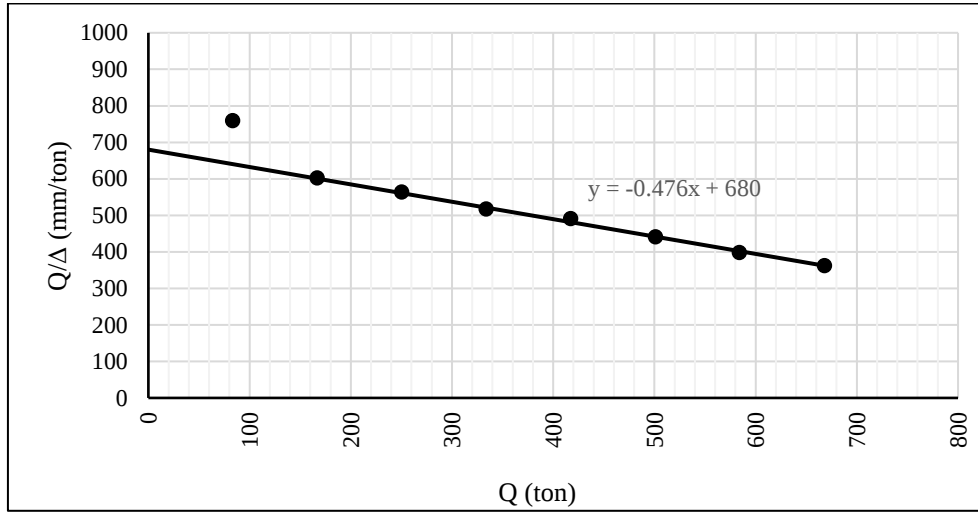
EK-9. (devam) Butler-Hoy yöntemi ile taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 9.3. V15-P5 kazığı

Q_{ult} : Belirlenemedi

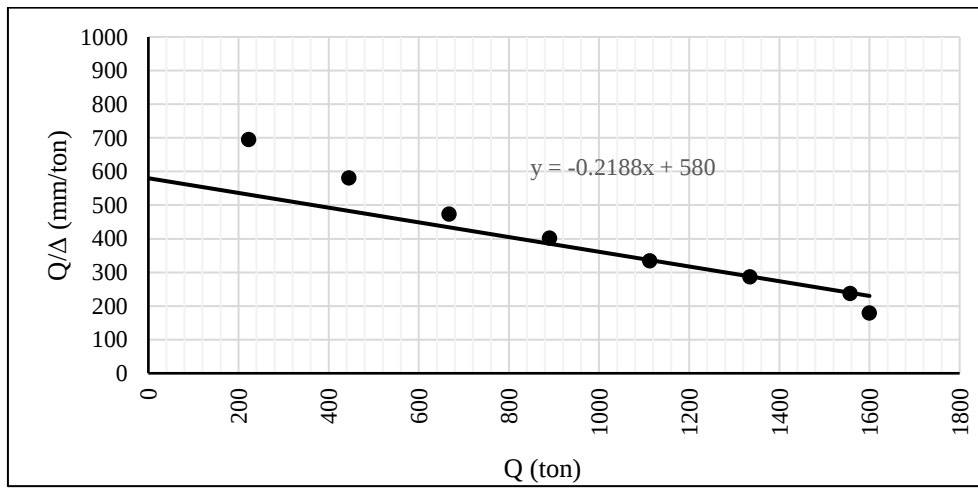
EK-10. Decourt yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 10.1. V9-P6 kazığı

$$C_1 = 0,476; C_2 = 680$$

$$Q_{ult} = \frac{680,00}{0,476} = 1429 \text{ ton}$$

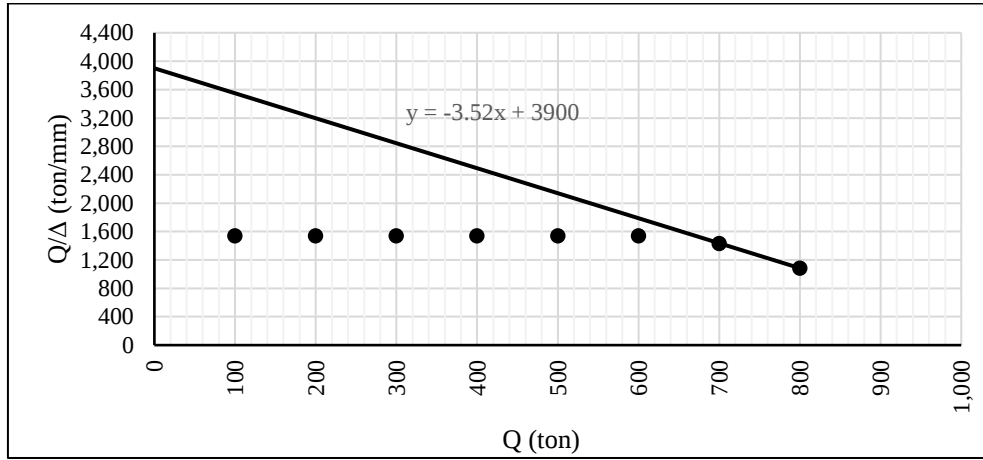


Şekil 10.2. V10-P12 kazığı

$$C_1 = 0,2188; C_2 = 580$$

$$Q_{ult} = \frac{580,00}{0,2188} = 2651 \text{ ton}$$

EK-10. (devam) Decourt yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi

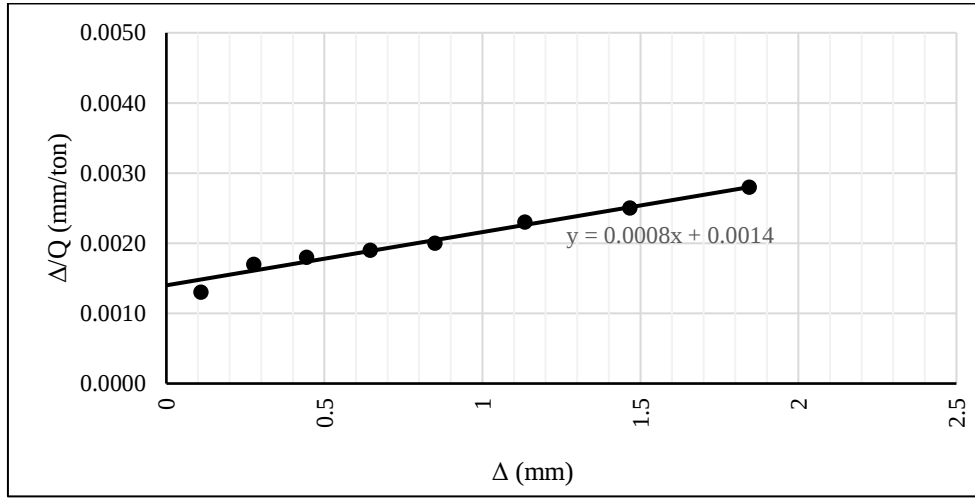


Şekil 10.3. V15-P5 kazığı

$$C_1 = 3,520; C_2 = 3900$$

$$Q_{ult} = \frac{3900}{3,520} = 1108 \text{ ton}$$

EK-11. Paikowsky-Tolosko yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 11.1. V9-P6 kazığı

$$a = 0,0008$$

$$b = 0,0014$$

$$S = \frac{L}{E \cdot A} = \frac{35000}{40000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1500^2}{4}\right)} = 0,0198$$

$$X = 4 + \frac{D}{120} = 4 + \frac{1500}{120} = 16,5 \text{ mm}$$

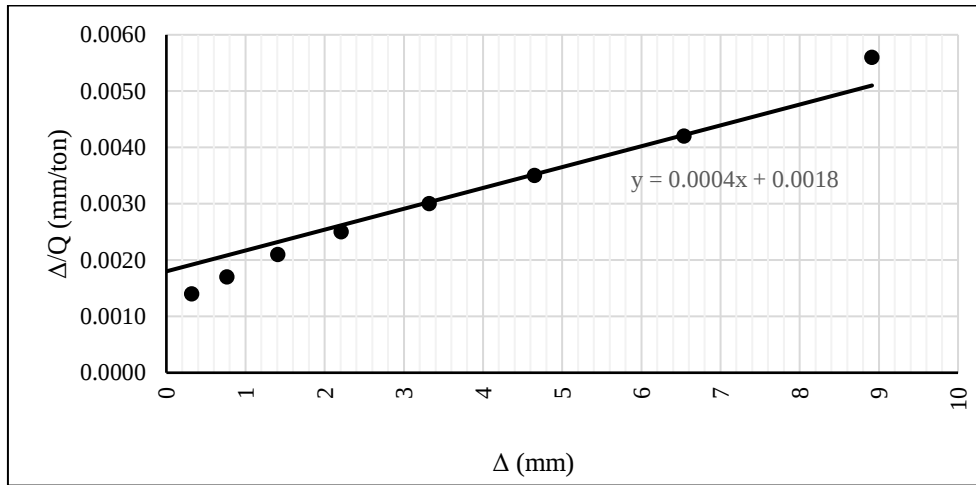
$$C_1 = a \cdot S = 0,0008 \cdot 0,0198 = 0,0000158$$

$$C_2 = [(a \cdot X) + b - S] = [(0,0008 \cdot 16,5) + 0,0014 - 0,0198] = -0,0052$$

$$Q_{ult} = \frac{-C_2 \mp \sqrt{(C_2)^2 + 4 \cdot C_1 \cdot X}}{2 \cdot C_1} = \frac{0,0052 \mp \sqrt{(-0,0052)^2 + 4 \cdot 0,0000158 \cdot 16,5}}{2 \cdot 0,0000158}$$

$$Q_{ult} \cong 1200 \text{ ton}$$

EK-11. (devam) Paikowsky-Tolosko yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 11.2. V10-P12 kazığı

$$a = 0,0004$$

$$b = 0,0018$$

$$S = \frac{L}{E \cdot A} = \frac{31000}{40000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1500^2}{4}\right)} = 0,0175$$

$$X = 4 + \frac{D}{120} = 4 + \frac{1500}{120} = 16,5 \text{ mm}$$

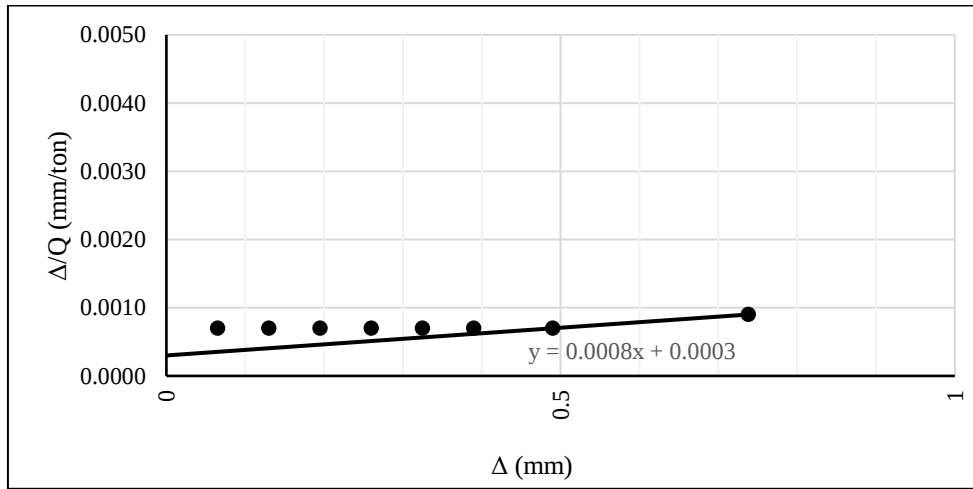
$$C_1 = a \cdot S = 0,0004 \cdot 0,0175 = 0,0000070$$

$$C_2 = [(a \cdot X) + b - S] = [(0,0004 \cdot 16,5) + 0,0018 - 0,0175] = -0,0091$$

$$Q_{ult} = \frac{-C_2 \mp \sqrt{C^2 + 4 \cdot C_1 \cdot X}}{2 \cdot C_1} = \frac{0,0091 \mp \sqrt{(-0,0091)^2 + 4 \cdot 0,0000070 \cdot 16,5}}{2 \cdot 0,0000070}$$

$$Q_{ult} \cong 2318 \text{ ton}$$

EK-11. (devam) Paikowsky-Tolosko yöntemiyle nihai taşıma gücünün elde edilmesi



Şekil 11.3. V15-P5 kazığı

$$a = 0,0008$$

$$b = 0,0003$$

$$S = \frac{L}{E \cdot A} = \frac{13000}{40000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 1500^2}{4}\right)} = 0,0073$$

$$X = 4 + \frac{D}{120} = 4 + \frac{1500}{120} = 16,5 \text{ mm}$$

$$C_1 = a \cdot S = 0,0008 \cdot 0,0073 = 0,0000058$$

$$C_2 = [(a \cdot X) + b - S] = [(0,0008 \cdot 16,5) + 0,0003 - 0,0073] = 0,0062$$

$$Q_{ult} = \frac{-C_2 \mp \sqrt{(C_2)^2 + 4 \cdot C_1 \cdot X}}{2 \cdot C_1} = \frac{-0,0062 \mp \sqrt{(0,0062)^2 + 4 \cdot 0,0000058 \cdot 16,5}}{2 \cdot 0,0000058}$$

$$Q_{ult} \cong 1235 \text{ ton}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KANDEMİR, Cevat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 20.06.1981, Trabzon
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (506) 156 92 15
 e-mail : cevatkandemir@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2014
Lisans	Karadeniz Teknik Üniversitesi / Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği	2001
Lise	Erzurum İbrahim Hakkı Fen Lisesi	1997

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2018-Halen	TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü	Mühendis
2014-2018	TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü	Grup Müdürü V.
2007-2014	TCDD İşletmesi Genel Müdürlüğü	Mühendis
2005-2007	TEİAŞ 14. İletim Tesis ve İşl. Grup Müd.	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kandemir, C. Ve Akbaş, S. O. (2019). *Kayaya Soketli Kazıklarda Yükleme Deneyi Sonuçlarının Karşılaştırılması*. Uluslararası 1. İnşaat Mühendisliğinde İnovasyon, Sürdürülebilirlik, Teknoloji ve Eğitim Konferansı, İskenderun, 383-397.

DİZİN

A

AASHTO · 2, 43, 50, 110, 115, 117
 Ana değer · 78, 81, 89, 91, 100
 Ara değer · 78, 79, 81, 92, 99
 Akbaş · 7
 Armitage · 9, 49
 Artova ofiyolitli karmaşığı · 40, 41
 ASTM · 13, 52, 125
 Atterberg limitleri · 36

B

Betonarme kazık · 1, 2, 7, 24, 51, 71, 76, 91, 125
 Birim sürtünme direnci · 2, 7, 11, 12, 31, 45, 50, 79, 101, 109, 115, 118, 120, 125
 Birim deformasyon ölçer · 1, 3, 71
 Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi · 37
 Brinch Hansen · 18, 62, 64, 126
 Butler-Hoy · 25, 62, 66, 126

C

Carrubba · 10, 120, 127
 Carter · 9, 50
 Chin-Kondner · 21, 62, 66, 126
 CPT · 1

Ç

Çevre sürtünmesi · 7, 29, 102, 108

D

Dağılım ölçüleri · 68
 Davisson · 22, 27, 62, 65, 126
 De Beer · 20, 62, 65, 126
 Decourt · 26, 62, 66, 126
 Deney kazıkları · 2, 15, 36, 43, 51, 60, 125
 Dinamik yükleme deneyi · 13
 Diziltaş formasyonu · 42
 Doğal birim hacim ağırlık · 36
 Drenajsız kayma dayanımı · 36, 115

E

Einstein · 10, 50

Eksantrisit · 3, 77, 89, 92, 122, 126
 Elastisite modülü · 3, 11, 24, 36, 77, 89, 122, 126
 Enstümanlı yöntem · 2, 31, 92, 110, 117, 126
 Enstrümantasyon · 3, 71, 77, 125
 Erol · 10, 118, 127

F

Fore kazık · 1, 7, 24, 43, 51, 59, 71, 77, 92, 101, 110, 119, 125, 128

G

Güvenlik sayısı · 48, 63, 69

H

Ham değer · 78, 81, 100
 Hareketli kalıp sistemi · 2, 31, 34
 Hirany-Kulhawy · 28, 62, 126
 Horvath · 8, 49
 Horoz · 10

J

Jeong · 8, 11, 121, 127
 Johnston · 9
 Journeux · 9, 49

K

Kademeli yükleme deneyi · 2, 14, 19, 28, 125
 Kalıcı deplasman · 23, 56, 125
 Kayaya soketli kazık · 2, 5, 31, 36, 44, 126
 Kazık yükleme deneyi · 2, 7, 16, 50, 71, 77, 122, 127
 Kenny · 9, 49
 Kulhawy · 7, 48, 125

M

Mazurkiewicz · 24, 62, 126
 Meigh · 9, 49
 Mesri · 125

N

Nihai taşıma gücü · 2, 16, 60, 126
 Nokta yükü dayanım indeksi · 37

O

O'Neill · 8, 45, 49, 3 125
 Organik ardgerme sistemi · 34

Ö

Ön delgili kazık · 5, 115

P

Paikowsky-Tolosko · 27, 62, 126
 Peck · 10, 49
 Phoon · 7, 56, 57
 PMT · 1, 36
 Prakoso · 7, 10, 49
 Presiyometre · 36, 118
 Prezzi · 12

R

Reese · 10, 45, 49, 125
 Referans ham değer · 78
 Referans ölçer · 78, 101
 RMR · 11, 121
 Roctest MB-3T · 74
 Roctest SM-2W · 74
 Rosenberg · 9, 49
 Rowe · 9, 49

S

Sağlamer · 10
 Salgado · 12
 Seo · 8, 11, 120, 127
 Seol · 8, 11, 120, 127
 Serbest basınç dayanımı · 36
 Soket · 5, 31, 43, 110, 120, 125
 Soket yüzeyi sürtünme direnci · 7, 11, 44
 SPT · 1, 36, 114
 Standart sapma · 68
 Statik yükleme deneyi · 13, 31
 Sürtünme direnci · 2, 5, 31, 43, 50, 71, 77, 89, 100, 120, 125

T

Teğet yöntemi · 59, 68, 125
Tek eksenli basınç dayanımı · 2,
8, 36, 45, 114, 127
Teng · 7
Terzaghi · 115, 118
Tomlinson · 5, 120, 127

U

Uç direnci · 2, 5, 31, 43, 89, 100,
101, 117, 120, 125

V

Van der Veen · 17, 62, 66, 69,
126
Varyasyon katsayısı · 68

W

Williams · 9, 49
Wolski · 9, 49
Woodvard · 5, 7, 120, 127

Z

Zhang · 9, 49



GAZİ GELECEKTİR...