KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HELİSEL KAZIKLARDA TORK KORELASYON KATSAYISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

TAYFUN GÜL

KOCAELİ 2017

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HELİSEL KAZIKLARDA TORK KORELASYON KATSAYISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

TAYFUN GÜL

Prof. Dr. Sami ARSOY Danışman,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Doç. Dr. Utkan MUTMAN Jüri Üyesi,	Kocaeli Üniversitesi	.....
Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT Jüri Üyesi,	Sakarya Üniversitesi	.....

Tezin Savunulduğu Tarih: 28.12.2017

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Yapılaşma sürecinin hızla arttığı günümüzde temel uygulamalarının hızlı ve ekonomik bir şekilde yapılması istenmektedir. Özellikle kazık sistemleri kullanılarak yapılan uygulamalarda bu amaçla uygun kazık tipinin seçimi çok önemlidir. Bu açıdan tez çalışması kapsamında uygulamaların hızlı ve ekonomik bir şekilde yapılabilmesine olanak sağlayan bir kazık türü olan helisel kazıklar incelenmiştir. Bu kazıklarda eksenel kapasite metotlarından tork korelasyon metodu üzerinde durulmuştur. Bu metot ile kapasite hesaplarının yapılabilmesi için gerekli bir parametre olan tork korelasyon katsayısı ve bu katsayıya etki eden faktörler detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bu çalışma, Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tez çalışması olarak Prof. Dr. Sami ARSOY danışmanlığında hazırlanmıştır.

Beni Yüksek Lisans öğrencisi olarak kabul eden, yüksek lisans ve tez çalışmam boyunca bilgisi ile her türlü desteği sağlayan, değerli öneri ve eleştirileriyle beni yönlendiren değerli hocam Sayın Prof. Dr. Sami ARSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez jüri üyeleri Sayın Doç. Dr. Utkan MUTMAN'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Sedat SERT'e, tez çalışmam sırasında beni destekleyen annem Hatice GÜL'e ve kardeşim Ertürk GÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Aralık - 2017 Tayfun GÜL

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
ŞEKİLLER DİZİNİ v
TABLOLAR DİZİNİ xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xv
ÖZET xviii
ABSTRACT xv
GİRİŞ 1
1. HELİSEL KAZIKLAR 6
1.1. Giriş 6
1.2. Helisel Kazıkların Tarihsel Süreci 6
1.3. Helisel Kazığın Yapısı 9
1.3.1. Kazık şaftı 10
1.3.2. Helisel plakalar 10
1.3.3. İlave kazık bölümleri 10
1.4. Helisel Kazıkların Sınıflandırılması 11
1.5. Helisel Kazıkların Tasarımını Etkileyen Faktörler 12
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI 15
3. HELİSEL KAZIKLARDA EKSENEL KAPASİTENİN İNCELENMESİ 20
3.1. Genel Kazık Kapasitesi 20
3.2. Helisel Kazıklarda Yenilme Mekanizmaları 23
3.3. Helisel Kazıklarda Eksenel Kapasite 24
3.3.1. Helisel plakalarda taban basınçları 26
3.3.2. Helisel kazıklarda eksenel basınç kapasitesi 27
3.3.3. Helisel kazıklarda eksenel çekme kapasitesi 29
3.4. Teorik Kapasite Metotları 36
3.4.1. Bireysel taşıma metodu 37
3.4.2. Silindirik kesme metodu 43
4. KAZIKLARIN YERLEŞİMİ VE TORK KORELASYON METODU 47
4.1. Kazık Yerleşim Torku 49
4.2. Kazık Yerleşiminde Kullanılan Ekipmanlar 58
4.3. Tork Korelasyon Metodu ve K_T Katsayısı 59
5. K_T KATSAYILARININ İNCELENMESİ 64
5.1. Malzeme ve Yöntem 64
5.2. Arazi Kapasite Metotları 67
5.2.1. %5 limit deplasman metodu 67
5.2.2. %10 limit deplasman metodu 68
5.2.3. Davisson limit deplasman metodu 68
5.3. Merkezi Eğilim ve Yayılım Ölçüleri 70
5.3.1. Frekans 70
5.3.2. Aritmetik ortalama 70

5.3.3. Medyan 71
5.3.4. Varyans 71
5.3.5. Standart sapma 71
5.3.6. Frekans histogramı 72
6. BASINÇ YÜKLEMESİ YAPILAN KAZIKLAR 73
6.1. Basınç Yüklemesi Yapılan Tüm Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 73
6.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme 74
6.3. A Özellliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 79
7. ÇEKME YÜKLEMESİ YAPILAN KAZIKLAR 83
7.1. Çekme Yüklemesi Yapılan Tüm Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 83
7.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme 84
7.3. B Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 89
7.4. C Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 91
8. TÜM KAZIKLAR 94
8.1. Tüm Kazıklara Ait K_T Katsayılarının Birlikte İncelenmesi 94
8.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme 95
8.3. K_T Katsayılarının Zemin Grubuna Göre İncelenmesi 100
8.3.1. Kohezyonlu zeminlerde K_T katsayılarının plaka sayısına göre incelemesi 101
8.3.2. Kohezyonsuz zeminlerde K_T katsayılarının plaka sayısına göre incelemesi 105
9. KAZIK KAPASİTE METODUNA GÖRE İNCELEME 110
9.1. Kapasitesi %5 Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 112
9.1.1. Plaka sayısına göre inceleme 113
9.1.2. Zemin grubuna göre inceleme 117
9.1.2.1. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen kazıklar 118
9.1.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklar 121
9.1.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme 122
9.1.3.1. Çekme testi yapılan kazıklar 123
9.1.3.2. Basınç testi yapılan kazıklar 126
9.2. Kapasitesi %10 Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 128
9.2.1. Plaka sayısına göre inceleme 129
9.2.2. Zemin grubuna göre inceleme 133
9.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde inceleme 135
9.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde inceleme 138
9.2.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme 139
9.2.3.1. Eksenel çekme testi yapılan kazıklar 140
9.2.3.2. Eksenel basınç testi yapılan kazıklar 143
9.3. F Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 143
9.4. G Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 145
9.5. Kapasitesi Davisson Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi 148

9.5.1. Plaka sayısına göre inceleme.....150
9.5.2. Kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre inceleme.....154
9.5.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme.....157
10. BULGULAR.....159
10.1. K_T Denklemleri 160
10.2. Eksenel Kapasite Denklemleri 167
11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....171
KAYNAKLAR.....173
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....177
ÖZGEÇMİŞ.....178

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Kazık uç bölümü 8
Şekil 1.2. Helisel kazığın yapısı 9
Şekil 1.3. İlave kazık bölümleri 10
Şekil 3.1. Kazıkların sınıflandırılması 21
Şekil 3.2. Uç kazığı ve sürtünme kazığı 22
Şekil 3.3. Uç kapasitesinin değişimi 22
Şekil 3.4. Kazık yenilme davranışları 22
Şekil 3.5. Sığ ve derin yenilme mekanizmaları 23
Şekil 3.6. Helisel kazıklarda eksenel kapasite metotları 24
Şekil 3.7. Plaka tabanındaki basınç dağılımı 26
Şekil 3.8. Güçlü ve zayıf helisel plakalar 27
Şekil 3.9. Kohezyonlu zeminlerde plaka çapı ve kayma mukavemetinin basınç kapasitesine etkisi 28
Şekil 3.10. Etki konisi 31
Şekil 3.11. Derinliğe bağlı yenilme mekanizmaları 32
Şekil 3.12. Plaka gömülme derinliğine bağlı yenilme geometrisi 33
Şekil 3.13. Derinlik oranı - toprak basıncı katsayısı ilişkisi 35
Şekil 3.14. Yenilme mekanizmaları 35
Şekil 3.15. Helisel plakanın çekme kapasitesine etkisi 36
Şekil 3.16. Bireysel taşıma metodu 38
Şekil 3.17. Terzaghi taşıma gücü modeli 39
Şekil 3.18. Silindirik kesme metodu 43
Şekil 3.19. Plakalar arası mesafe ve zemin silindiri ilişkisi 45
Şekil 4.1. Tork motorları 48
Şekil 4.2. Plaka sayısı ve örselenme ilişkisi 53
Şekil 4.3. Direnç torku bileşenleri 54
Şekil 4.4. Kare şafta sürtünme 56
Şekil 4.5. Daire şafta sürtünme 56
Şekil 4.6. Plaka etrafından zemin hareketi 57
Şekil 4.7. Kazık şaftı etrafından zemin hareketi 57
Şekil 4.8. Bir kenarı keskinleştirilmiş plaka 57
Şekil 5.1. Davisson limit deplasman metodu 69
Şekil 5.2. Örnek frekans histogram grafiği 72
Şekil 6.1. Örnek frekans histogram grafiği 73
Şekil 6.2. Basınç yüklemesi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 74
Şekil 6.3. Basınç yüklemesi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 74
Şekil 6.4. Basınç yüklemesi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 75
Şekil 6.5. Basınç yüklemesi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 76

Şekil 6.6. Basınç yüklemesi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 76
Şekil 6.7. Basınç yüklemesi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 77
Şekil 6.8. Basınç yüklemesi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 78
Şekil 6.9. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 79
Şekil 6.10. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 79
Şekil 6.11. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısına karşı dağılımı 80
Şekil 6.12. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısı ve gövde çapına karşı dağılımı 80
Şekil 6.13. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin tipi ve yerleşim torkuna karşı dağılımı 81
Şekil 6.14. CL zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 81
Şekil 7.1. Çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 83
Şekil 7.2. Çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 84
Şekil 7.3. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 84
Şekil 7.4. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 86
Şekil 7.5. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 86
Şekil 7.6. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 86
Şekil 7.7. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 87
Şekil 7.8. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 88
Şekil 7.9. B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 89
Şekil 7.10. B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 89
Şekil 7.11. SP zeminlerde K_T katsayılarının ortalama plaka çapına karşı dağılımı 90
Şekil 7.12. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 91
Şekil 7.13. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 92
Şekil 7.14. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin tipine ve yerleşim torkuna karşı dağılımı 93
Şekil 7.15. SP zeminlere yerleştirilen sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 93
Şekil 8.1. K_T katsayılarının frekans histogramı 94
Şekil 8.2. K_T katsayılarının dağılımı 95

Şekil 8.3. Tek plakalı kazıklara ait K_T katsayısı frekans histogramı 96
Şekil 8.4. Tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 96
Şekil 8.5. İki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı 97
Şekil 8.6. İki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı 98
Şekil 8.7. Üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 99
Şekil 8.8. Üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 99
Şekil 8.9. K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı 100
Şekil 8.10. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı 101
Şekil 8.11. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı 102
Şekil 8.12. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı 102
Şekil 8.13. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı 103
Şekil 8.14. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı 104
Şekil 8.15. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı 104
Şekil 8.16. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 105
Şekil 8.17. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 106
Şekil 8.18. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 107
Şekil 8.19. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 107
Şekil 8.20. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 108
Şekil 8.21. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 109
Şekil 8.22. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 109
Şekil 9.1. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklara ait K_T katsayısı frekans histogramlarının karşılaştırılması 110
Şekil 9.2. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklara ait K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 111
Şekil 9.3. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 112
Şekil 9.4. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 112
Şekil 9.5. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 113
Şekil 9.6. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 114
Şekil 9.7. D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 115
Şekil 9.8. D özelliğine sahip, iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 115

Şekil 9.9. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T kasayılarının frekans histogramı 116
Şekil 9.10. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 117
Şekil 9.11. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı 118
Şekil 9.12. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 119
Şekil 9.13. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 119
Şekil 9.14. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 120
Şekil 9.15. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 120
Şekil 9.16. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 121
Şekil 9.17. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 121
Şekil 9.18. K_T katsayılarının yükleme tipine bağlı frekans histogramlarının karşılaştırılması 122
Şekil 9.19. K_T katsayılarının kazık yükleme tipine bağlı yerleşim torkuna karşı dağılımları 123
Şekil 9.20. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 123
Şekil 9.21. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 124
Şekil 9.22. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 124
Şekil 9.23. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 125
Şekil 9.24. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 125
Şekil 9.25. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 126
Şekil 9.26. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 127
Şekil 9.27. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 128
Şekil 9.28. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 129
Şekil 9.29. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 129
Şekil 9.30. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 130

Şekil 9.31. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 131
Şekil 9.32. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 132
Şekil 9.33. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 132
Şekil 9.34. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı 134
Şekil 9.35. E özelliğine sahip kohezyonlu zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 134
Şekil 9.36. E özelliğine sahip kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 135
Şekil 9.37. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 135
Şekil 9.38. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 136
Şekil 9.39. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 136
Şekil 9.40. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 137
Şekil 9.41. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 137
Şekil 9.42. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 138
Şekil 9.43. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının kazık yükleme tipine göre yerleşim torkuna karşı dağılımı 139
Şekil 9.44. E özelliğine sahip eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 140
Şekil 9.45. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 140
Şekil 9.46. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 141
Şekil 9.47. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 141
Şekil 9.48. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı 142
Şekil 9.49. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 142
Şekil 9.50. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramlarının karşılaştırılması 144
Şekil 9.51. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 144
Şekil 9.52. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısına göre dağılımı 145

Şekil 9.53. G özelliklerine sahip kazıklarda kapasitenin belirlendiği yönteme göre K_T katsayılarının frekans histogramlarının karşılaştırması 146
Şekil 9.54. % 5 metodu kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 146
Şekil 9.55. G özelliklerine sahip % 10 metodu kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısına göre dağılımı 147
Şekil 9.56. CL zeminlere yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 148
Şekil 9.57. CL zeminlere yerleştirilen çoklu plakaya sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 148
Şekil 9.58. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 149
Şekil 9.59. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 149
Şekil 9.60. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 150
Şekil 9.61. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 151
Şekil 9.62. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı 153
Şekil 9.63. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı yerleşim torkuna karşı dağılımı 155
Şekil 9.64. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 156
Şekil 9.65. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı 157
Şekil 9.66. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı 157

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Helisel kazıkların sınıflandırılması 12
Tablo 3.1. Drenajsız kayma mukavemeti azaltma faktörleri....29
Tablo 4.1. Hoyt ve Clemence'in çalışmalarında elde ettiği sonuçlar 60
Tablo 4.2. Hoyt ve Clemence tarafından önerilen K_T katsayıları....62
Tablo 4.3. AC358 (2007) tarafından önerilen K_T katsayıları....62
Tablo 4.4. IBC (2009) tarafından önerilen K_T katsayıları....62
Tablo 4.5. Chance (2014) tarafından önerilen K_T katsayıları....62
Tablo 5.1. Analizlerde kullanılan sembollerin açıklamaları 66
Tablo 5.2. Arazi yükleme testlerinde helisel kazık kapasitesinin belirlenebildiği metotlar....67
Tablo 5.3. Çalışma kapsamında kullanılan verilerin elde edildiği referanslar ve özellikleri 69
Tablo 6.1. Basınç yüklemesi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....74
Tablo 6.2. Basınç yüklemesi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....75
Tablo 6.3. Basınç yüklemesi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....76
Tablo 6.4. Basınç yüklemesi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....77
Tablo 6.5. A özelliklerine sahip kazıklar için K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....79
Tablo 7.1. Çekme testi yapılan kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....83
Tablo 7.2. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....84
Tablo 7.3. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....86
Tablo 7.4. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....88
Tablo 7.5. B özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....89
Tablo 7.6. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....91
Tablo 8.1. Tüm kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 94
Tablo 8.2. Tek plakalı tüm kazıklarda katsayılarının M.E.Y.Ö. 96
Tablo 8.3. İki plakalı tüm kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....97
Tablo 8.4. Üç plakalı tüm kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....99
Tablo 8.5. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....101

Tablo 8.6. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 102
Tablo 8.7. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 104
Tablo 8.8. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 105
Tablo 8.9. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 106
Tablo 8.10. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 107
Tablo 8.11. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 109
Tablo 9.1. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 111
Tablo 9.2. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 113
Tablo 9.3. D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 115
Tablo 9.4. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 117
Tablo 9.5. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 119
Tablo 9.6. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 120
Tablo 9.7. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 121
Tablo 9.8. Kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi 122
Tablo 9.9. Kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 122
Tablo 9.10. Kazık yükleme tipine bağlı K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 123
Tablo 9.11. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 124
Tablo 9.12. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 125
Tablo 9.13. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 126
Tablo 9.14. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi 126
Tablo 9.15. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 127
Tablo 9.16. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi 127
Tablo 9.17. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 128
Tablo 9.18. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 128

Tablo 9.19. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 129
Tablo 9.20. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 130
Tablo 9.21. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 132
Tablo 9.22. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö. 134
Tablo 9.23. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 136
Tablo 9.24. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 137
Tablo 9.25. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 138
Tablo 9.26. E özelliğine sahip, kohezyonsuz zemine yerleştirilen iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi 138
Tablo 9.27. E özelliğine sahip, kohezyonsuz zemine yerleştirilen iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 139
Tablo 9.28. E özelliklerine sahip kazıklarda yükleme tipine bağlı K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 139
Tablo 9.29. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 140
Tablo 9.30. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 141
Tablo 9.31. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T faktörlerinin M.E.Y.Ö. 142
Tablo 9.32. E özelliğine sahip, eksenel basınç testi yapılan iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi 143
Tablo 9.33. E özelliğine sahip, eksenel basınç testi yapılan iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 143
Tablo 9.34. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının farklı kapasite metotlarına göre M.E.Y.Ö. 144
Tablo 9.35. G özelliklerine sahip kazıklarda farklı kapasite metotlarına göre K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 146
Tablo 9.36. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö. 149
Tablo 9.37. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi 151
Tablo 9.38. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö. 151
Tablo 9.39. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi 152
Tablo 9.40. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö. 152
Tablo 9.41. H özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi 154
Tablo 9.42. H özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö. 154
Tablo 9.43. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö. 154

Tablo 9.44. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi....155
Tablo 9.45. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.....155
Tablo 9.46. H özelliğine sahip kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi....156
Tablo 9.47. H özelliğine sahip kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.....156
Tablo 9.48. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....157
Tablo 9.49. H özelliğine sahip çekme testi yapılan kazıklarda K_T faktörlerinin frekans analizi....158
Tablo 9.50. H özelliğine sahip çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö....158
Tablo 10.1. Tüm kazıklar arasında eksenel basınç testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri....160
Tablo 10.2. Tüm kazıklar arasında eksenel çekme testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri....161
Tablo 10.3. Tüm kazıkların birlikte değerlendirildiği durumda geliştirilen K_T denklemleri....162
Tablo 10.4. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)....163
Tablo 10.5. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)....164
Tablo 10.6. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (Davisson limit deplasman metodu)....165
Tablo 10.7. Tüm kazıklar arasında eksenel basınç testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri....167
Tablo 10.8. Tüm kazıklar arasında eksenel çekme testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri....168
Tablo 10.9. Tüm kazıkların birlikte değerlendirildiği durumda geliştirilen K_T denklemleri....168
Tablo 10.10. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)....168
Tablo 10.11. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)....169
Tablo 10.12. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (Davisson limit deplasman metodu)....170

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A_p : Helisel plaka toplam alanı, (m^2)
$A_{p,i}$: i. helisel plakanın toplam alanı, (m^2)
A_1 : En üstteki helisel plakanın toplam alanı, (m^2)
B : Temel genişliği, (m)
c : Zemin kohezyonu, (kN/m^2)
d : Kazık gövde çapı, (m)
D : Helisel plaka çapı, (m)
D_{ort} : Ortalama helisel plaka çapı, (m)
D_1 : En üstteki helisel plakanın çapı, (m)
D_i : Zemin yüzeyinden derine doğru i. helisel plakanın çapı, (m)
E : Elastisite modülü, (MPa)
f : Frekans
H_i : Zemin yüzeyinden derine doğru i. plakanın bulunduğu derinlik, (m)
h_o : Varsayılan kesik ters koninin yüksekliği, (m)
H_1 : Zemin yüzeyine en yakın plakanın gömülme derinliği, (m)
H_1/D : Derinlik oranı
K_o : Sükunetteki toprak basıncı katsayısı
K_p' : Modifiye yatay toprak basıncı katsayısı
K_T : Kapasite tork oranı, (m^{-1})
L : Kazık uzunluğu, (m)
L_c : En üst ve en alt plakalar arasındaki mesafe, (m)
LL : Likit limit, (%)
P : Düşey yük, (kN)
PL : Plastik limit, (%)
PI : Plastisite indisi, (%)
M : Sürtünmeden gelen kapasite, (kN)
n : Kazık üzerinde yer alan helisel plaka sayısı ve toplam veri sayısı
N_c, N_q, N_γ : Taşıma gücü katsayıları
p : Helisel adım, (m)
P_p : Pasif toprak basıncından dolayı yenilme yüzeyine etkiyen kuvvet (kN)
r : Kazık merkezinden plastik mafsal noktasına olan mesafe, (m)
r_k : Plaka üzerinde oluşan ters kesik koninin taban yarıçapı, (m)
S : Plakalar arası mesafe, (m)
S_D : Kazıkta meydana gelen oturma, (mm)
s : Standart sapma
s^2 : Varyans
s_u : Zeminin drenajsız kayma mukavemeti, (kPa)
S/D : Boşluk oranı
T : Kazık yerleşim torku, (kNm)

$T_{plaka,i}$: Helisel plakalarda oluşan direnç torku, (kNm)
$T_{şaft}$: Şaftta oluşan direnç torku, (kNm)
t_p : Helisel plaka et kalınlığı, (mm)
$t_ş$: Kazık gövde et kalınlığı, (mm)
T_z : Zeminin kayma mukavemeti, (kN/m^2)
Q_{ult} : Kazığın nihai taşıma kapasitesi, (kN)
$Q_{silindir}$: Plakalar arasında kalan zemin silindirinin kapasitesi, (kN)
Q_M : Çelik elemanının taşıma kapasitesi, (kN)
Q_{plaka} : Helisel plakanın nihai kapasitesi, (kN)
$Q_{p,i}$: i. helisel plakanın nihai kapasitesi, (kN)
$Q_{uç}$: Kazık uç direnci, (kN)
$Q_{şaft}$: Kazık çevre direnci, (kN)
Q_{allow} : İzin verilen taşıma gücü, (kN)
q_{ult} : Zeminin nihai taşıma gücü, (kN)
q' : Helisel plaka seviyesindeki efektif düşey gerilme, (kN/m^2)
q : Toplam gerilme, (kN/m^2)
q'_1 : En üstteki helisel plaka seviyesindeki efektif düşey gerilme, (kN/m^2)
q'_i : Yüzeyden zemine doğru i. plaka seviyesindeki efektif gerilme, (kN/m^2)
q_u : Zeminin serbest basınç mukavemeti, (kPa)
W : Zemin konisinin ağırlığı, (kN)
w : Su muhtevası, (%)
w_{opt} : Optimum su muhtevası, (%)
X_i : Veri setindeki i.veri değeri
$\overline{X}$: Aritmetik ortalama
z : Derinlik, (m)
α : Adhezyon katsayısı
γ_k : Zeminin kuru birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ_{kmax} : Zeminin maksimum kuru birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ : Zeminin toplam birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ_n : Zeminin doğal birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ_w : Suyun birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ_{doy} : Zeminin doygun haldeki birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
γ' : Zeminin efektif birim hacim ağırlığı, (kN/m^3)
Θ : Etki konisinin yatay ile yaptığı açı, (°)
Φ : Zeminin içsel sürtünme açısı, (°)
(n-1)s : Helisel plakalar arasındaki toplam mesafe, (m)
σ : Normal gerilme, (kN/m^2)
$\sigma'_{vuç}$: Kazık ucu seviyesindeki efektif gerilme, (kN/m^2)
τ : Kayma gerilmesi, (kN/m^2)
δ : Yenilme düzlemindeki ortalama modifiye kayma direnci açısı, (°)
ν : Poisson oranı,
ψ : Dilatasyon açısı, (°)

Kısaltmalar

CFEM	: Canadian Foundation Engineering Manual (Kanada Temel Mühendisliği Kılavuzu)
CL	: Low Plasticity Clay (Düşük Plastisiteli Kil)
CPT	: Cone Penetration Test (Koni Penetrasyon Testi)
CVVC	: Connecticut Valley Varved Clay (Killi Zemin Birimine Verilen Özel İsim)
IBC	: International Building Code (Uluslararası Yapı Kodu)
ISHF	: International Society For Helical Foundations (Uluslararası Helisel Temel Topluluğu)
LCPC	: Le Laboratoire Central Des Ponts Et Chaussées (Yollar Ve Köprüler Merkezi Laboratuvarı)
SP	: Poorly Graded Sands (Kötü Derecelenmiş Kum)
YASS	: Yeraltı Su Seviyesi
M.E.Y.Ö.	: Merkezi Eğilim Ve Yayılım Ölçüleri

HELİSEL KAZIKLARDA TORK KORELASYON KATSAYISINI ETKİLEYEN FAKTÖRLERİN İNCELENMESİ

ÖZET

Helisel kazıklar çelikten imal edilmekte olup günümüzde geniş uygulama sahasına sahiptir. Tez çalışmasının da konusu olan bu kazıklar diğer kazık türlerine göre uygulamaların hızlı ve ekonomik bir şekilde yapılabilmesine imkan sağladığı için birçok avantaja da sahiptir. Çalışma kapsamında helisel kazıklarda kullanılan eksenel kapasite yöntemleri üzerinde durulmuştur. Metotlar arasında doğrudan kazık yerleşim torku verilerinden kapasite hesaplarının yapılabildiği tork korelasyon metodu ve bu metotta kullanılan parametrelerden birisi olan tork korelasyon katsayısı incelenmiştir. Bu amaçla araştırmacılar tarafından literatürde yayımlanmış kazık verileri bir araya getirilerek her bir kazık için tork korelasyon katsayısı değeri hesaplanmıştır. Daha sonra hesaplanan katsayılar kazığın yerleştirildiği zemin grubu, kazık yükleme tipi, arazi yükleme testlerinde kazık kapasitesinin belirlendiği metoda göre sınıflandırılmış ve analizler yapılarak bu katsayının değişimi üzerinde etkili faktörler incelenmiştir. İncelemelerden kazık üzerinde bulunan plakaların ortalama çapı, kazık gövde çapı ve kazık yerleşim tokuna bağlı olarak tork korelasyon katsayısının hesaplanabildiği denklemler geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Helisel Kazık, Tork Korelasyon Katsayısı, Tork Korelasyon Metodu.

EVALUATION OF FACTORS AFFECTING TORQUE CORRELATION COEFFICIENT IN HELICAL PILES

ABSTRACT

Helical piles are manufactured from steel, and nowadays they have a wide area of applications. These piles have many advantages as they allow installation to be done quickly and economically, compared to other pile types. This thesis focuses on axial capacity methods used in helical piles, specifically the torque correlation method, in which capacity calculations can be made directly from the pile installation torque. In the thesis, the torque correlation coefficient is examined. xixort hexix purpose, pile data available in the xixort hexixre were obtained and the torque correlation coefficient value for each pile was calculated. Then, variations of these factors were classified according to a variety of fundamental parameters, namely the soil group, pile geometry, load type and the method xixort he axial capacity. From the analysis conducted, equations have been developed in which the torque correlation coefficient can be calculated based on the fundamental parameters considered.

Key words: Helical Pile, Torque Correlation Coefficient, Torque Correlation Method.

GİRİŞ

Yapının ömrü boyunca emniyetli bir şekilde hizmet verebilmesi için yapısal bütünlüğünün sağlanması gerekir. Temel altındaki kayaç ve zemin birimleri içerisinde meydana gelen fiziksel, kimyasal ve mekanik değişimler farklı gerilme durumlarının oluşmasına neden olmakta ve yapısal bütünlük üzerinde olumsuz etkiler meydana getirmektedir. Bu durum yapının emniyetli bir şekilde hizmet verebilmesinde uygun temel tipi seçimini önemli bir aşama hale getirmektedir.

Temel, yapı yüklerini emniyetli bir şekilde taşıma gücü yüksek tabakalara aktaran yapı elemanıdır. Temeller mühendislikte sığ ve derin temel olarak ikiye ayrılmaktadır. Sığ temeller, yapı yüklerini sığ derinliklerdeki kayaç ve zemin tabakalarına aktaran temel sistemleri olup tekil, sürekli ve radye temel olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır. Derin temeller ise yapı yüklerinin daha derinlerde yer alan taşıma gücü yüksek zemin tabakalarına aktaran temel sistemleridir ve kazıklı, keson ve ayak temeller olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır.

Günümüzde kazıklı temel sistemlerinde farklı türlerde kazıklar kullanılmaktadır. Bu kazıklardan birisi de helisel kazıklardır. Helisel kazıklar, temel inşa çalışmalarının hızlı, ekonomik ve emniyetli bir şekilde yapılabilmesine imkan sağlayan ideal bir kazık türüdür. Kazıkların tasarımı 1836 yılında Alexander Mitchell (1780-1868) tarafından yapılmış ve ilk defa 1836 yılında yapımına başlanılan Maplin Sands deniz feneri inşaatında temelin desteklenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Helisel kazıklar, çelikten kazıklar olup bir ya da birden fazla helisel formdaki plakanın daire ya da kare kesitli kazık şaftı üzerinde belirli mesafelerde yerleştirilmesiyle imal edilmektedirler. Bu kazıklarda kazık üzerinde yer alan her bir helisel plaka tekil temeli görmektedir. Bundan dolayı kazıklar, aynı kazık şaftı üzerinde belirli mesafelerde üst üste yerleştirilmiş tekil temellerin yer aldığı yapı olarak tarif edilebilir.

Helisel kazıklar, eksenel basınç, eksenel çekme, yatay yükleme, çevrimsel yükleme ve döndürme momentleriyle bu yüklerin birkaçının birlikte etkimesine karşın yapıyı desteklemek ve yapı yüklerini daha sağlam tabakalara aktarmak amacıyla kullanılırlar. Mühendislik uygulamalarında hafif ve ağır yapı yüklerinin sağlam birimlere aktarılması için çok geniş bir uygulama sahasına sahiptir. Uygulama alanları ile ilgili örnekler vermek gerekirse her türlü yeni yapının temel inşasında (bina, köprü, silo, depolama tankı, güneş panelleri, trafo, makine temelleri vb.) ve mevcut temellerin onarımında, rıhtım yapılarında, boru hatlarının yüzeyden ve derinden desteklenmesinde, yüksek gerilim hatlarının kule temellerinde ve kablo elemanlarının zemine bağlanmasında, rüzgar türbinlerinde, yapı içerisinden tabandan veya duvardan yapılan iyileştirme çalışmalarında, şev stabilizasyonunda, dayanma duvarlarında ve kazı yüzeylerinin desteklenmesinde, karayolu ve demiryolu dolgularının iyileştirmesinde, sismik iyileştirmelerde, petrol sahalarında ve küçük uygulamalarda (otobüs durakları, trafik ışıkları vb.) kullanılabilmektedir.

Helisel kazıklar düşük zemin deplasman kazıklarıdır ve sadece kazık elemanı olarak kullanılabilmelerinin yanı sıra ankraj ve mikro kazık elemanı olarak da kullanılabilmektedirler. Helisel kazıklar literatürde genellikle screw pile veya helical pile olarak ifade edilmektedir. Ancak Perko (2009) bu kazıkların helical anchor, helical pier, helix pier, helical foundation, torque anchor, augered steel pile olarak da isimlendirilebildiğini ifade etmiştir. Helical pile olarak tanımlanan kazıklar genelde basınç ve çekme yüklerinin karşılanmasında kullanılırken helical anchor olarak tanımlanan kazıklar, ankraj elemanı olarak çekme yüklerinin karşılanmasında kullanılmaktadır.

Helisel kazıklar diğer kazık türlerine kıyasla bazı önemli avantajlara sahiptir. Genel anlamda helisel kazıkların sahip olduğu avantajlar kısaca açıklanmak istenirse beş ana başlık atlında toplamak mümkündür.

Bunlar;

1. Kazıkların zemine kısa sürede yerleştirilebilmeleri,

2.Kazıkların yerlerinden yapısal bütünlüğünün bozulmadan çıkarılabilmesi ve tekrar kullanılabilmeleri,

3.Uygulama sırasında istenildiğinde kazık boyunun arttırılabilmesi,

4. Kazık yerleşimi için zeminde delme işleminin olmaması ve yükleme testleri ile temel betonunun kazık yerleşiminden hemen sonra uygulanabilmesi,

5. Kazık yerleşimi sırasında gürültü ve titreşim oluşmaması,

şeklindedir.

Helisel kazıklar, yüksek kapasitelere ulaşabilen kazıklar olup kazıklarda eksenel kapasitenin belirlenmesi amacıyla kullanılan 5 metot bulunmaktadır. Bu metotlar arazi kazık yükleme testleri, teorik, yarı ampirik ve ampirik yöntemler olmak üzere dört ana gruba ayrılmaktadır. Kazıklarda kapasite hesaplarında kullanılan teorik metotlar silindirik kesme (cylindrical shear method) ve bireysel taşıma metodu (individual bearing method), ampirik metot olarak tork korelasyon metodu (torque correlation method), yarı ampirik metot ise LCPC (le laboratoire central des ponts et chaussées) metodudur. Bu metotlardan bireysel taşıma metodu ve silindirik kesme metodu helisel plakaların kazık şaftı üzerinde birbirlerine göre konumları dikkate alınarak geliştirilmiştir. LCPC metodu ise CPT (koni penetrasyon testi) sonuçlarının kullanılarak kapasite hesapları yapıldığı bir metottur. Ancak bu metot helisel kazıklarda yaygın olarak kullanılan bir metot değildir.

Ampirik bir metot olan ve bu çalışma kapsamında da detaylıca irdelenecek olan tork korelasyon metodu, yerel zemin şartlarında gerçekçi kazık kapasitelerinin belirlenebildiği hızlı ve ekonomik bir metottur. Bu metot Hoyt ve Clemence (1989) tarafından helisel kazıkların çekme kapasite davranışları üzerine yaptıkları çalışma sonucu geliştirilerek kapasite hesaplarında kullanılabilir hale getirilmiştir. Bu metotta kazık kapasitesi, kazık yerleşimi sırasında kazığa uygulanan yerleşim torku değeri K_T olarak ifade edilen bir katsayı ile arttırılarak belirlenmektedir. Bu metot, yerel zemin şartlarında özellikle geçici yapılarda kullanılacak kazıklarda hızlı ve ekonomik bir şekilde kapasite hesaplarının yapılabilmesine imkan sağlayan bir metottur.

Tork korelasyon metodunda kullanılan parametre olan ampirik kapasite tork oranı, yerleşim torku ve kapasite arasındaki ilişkiyi temsil eden bir parametredir. Bu parametre kazık kapasitesinin kazık yerleşim torkuna oranından elde edilmekte ve K_T (K_T katsayısı) ile gösterilmektedir.

Tez çalışması kapsamında helisel kazıklarla ilgili literatürde yayımlanmış kazık verileri bir araya getirilerek K_T katsayısının değişimi üzerinde etkili faktörler incelenmiş ve denklemler geliştirilmiştir. Bu kapsamda araştırmacılar tarafından yayımlanmış kazık verilerinden kazık yükleme test sonuçları ve yerleşim torku verileri kullanılarak her bir kazık için ayrı ayrı K_T katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan K_T katsayıları daha sonra kazığın geometrik özelliklerine, kazığın yerleştirildiği zemin grubuna, kazık yükleme tipine ve arazi testleriyle kazık kapasitesinin belirlendiği kapasite metotlarına göre sınıflandırılmış daha sonra her bir sınıf için K_T katsayıları üzerinde analizler yapılmıştır. Yapılan analizlerden K_T katsayısının ortalama plaka çapı, kazık gövde çapı gibi parametrelere bağlı olarak hesaplanabildiği denklemler geliştirilmiştir. Ayrıca çalışmada literatüre yenilik katmak amacıyla hem kazık geometrisinin hem de zemin özelliklerinin birlikte temsil edildiği bir parametre olan kazık yerleşim torku değeri kullanılarak K_T katsayısının hesaplanabildiği denklemler geliştirilmiştir. Sonraki aşamada ise geliştirilen K_T denklemlerinden yararlanılarak ilgili özelliklere sahip kazıklar için kapasite hesaplarında kullanılabilecek kapasite denklemleri geliştirilmiştir.

Bu tez çalışması on bir bölümden oluşmaktadır. Her bölümde yapılan incelemeler ve değerlendirmeler özet halinde aşağıda ifade edilmiştir.

Tezin birinci bölümünde, helisel kazıkların tarihsel gelişim süreciyle birlikte kazıkların yapısı ve genel özellikleri kısaca açıklanarak kazık tasarımını etkileyen faktörler üzerinde durulmuştur. Tezin ikinci bölümünde, kazıkların eksenel kapasitesi ve K_T katsayısı hakkında son dönemde yapılmış literatür çalışmaları irdelenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, kazıklarda görülen yenilme mekanizmaları irdelenerek günümüzde mevcut eksenel kapasite hesap yöntemleri üzerinde durulmuştur. Tezin dördüncü bölümünde, kazıkların zemine yerleştirilme süreci ve bu süreci etkileyen faktörler, tork korelasyon metodu ve konuyla ilgili literatür çalışmaları incelenmiştir. Tezin beşinci bölümünde, analizlerde kullanılan bazı

istatistik terimleri açıklanarak kullanılan denklemler tanıtılmıştır. Ayrıca bu bölümde çalışma kapsamında kullanılan kazık verilerinin temin edildiği literatür kaynakları ve verilerin özellikleri sunulmuştur. Bu bölümde tez çalışmasının yapılış aşamalarını içeren malzeme ve yöntem bölümü de yer almaktadır. Altıncı bölümde üzerinde basınç testi yapılan kazıklara ait K_T katsayıları incelenmiştir. Tezin yedinci bölümünde, çekme testi yapılan kazıklara ait K_T katsayıları incelenmiştir. Tezin sekizinci bölümünde, tüm kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde ayrım yapmadan bir arada değerlendirilerek incelenmiştir. Tezin dokuzuncu bölümünde, kazık yükleme testlerinden eksenel kapasitenin belirlendiği metotlar dikkate alınarak K_T katsayıları incelenmiştir. Tezin onuncu bölümünde, tez çalışmasında elde edilen bulgular değerlendirilerek geliştirilen K_T denklemleri geçerli oldukları koşullarla birlikte derlenip tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca K_T denklemlerinden yola çıkarak doğrudan kapasite hesaplarına gidilebilecek kapasite denklemleri geliştirilmiş ve bu denklemler de tablolar halinde bu bölümde verilmiştir. Tezin on birinci bölümünde, çalışma kapsamında elde edilen bulgular ışığında sonuçlar değerlendirilip öneride bulunulmuştur.

1. HELİSEL KAZIKLAR

1.1.Giriş

Helisel kazıklar, en az bir adet olmak üzerde birden fazla helisel formdaki plakanın şaftına birleştirilmesiyle oluşturulan çelik kazıklardır. Bu kazıklar zemine tork motorları kullanılarak kısa süre içerisinde yerleştirilebilmektedir.

Helisel kazıklar, 180 yılı aşkın süredir inşaat mühendisliği alanında kullanılmakta olup kazıkların mühendislik hayatına girmesi geoteknik mühendisliğinde önemli gelişmelere yol açmış ve bazı kavramları geoteknik mühendisliğine kazandırmıştır. Bu nedenle tez kapsamında helisel kazıkların tarihsel gelişim sürecine de kısaca değinilecektir.

1.2. Helisel Kazıkların Tarihsel Süreci

Helisel kazıkların tarihsel gelişim süreci üç aşamaya ayrılmaktadır. Bunlar 1836 - 1875 yılları arasında helisel kazıkların ilk ortaya çıkışı ile birlikte performansını kanıtladığı dönem, 1875 – 1950 yılları arasında kazıklarda yeni tasarımlarla birlikte çoklu plaka geometrisine geçilerek kazıkların daha büyük mühendislik uygulamalarında kullanılmaya başlandığı dönem, 1950 yılından itibaren günümüzü de kapsayan dönem ise gelişen teknolojiyle birlikte kazık yerleşim süreçlerinin değişerek hızlı ve ekonomik uygulamaların yapılmaya başlandığı dönem olarak üçe ayrılmaktadır.

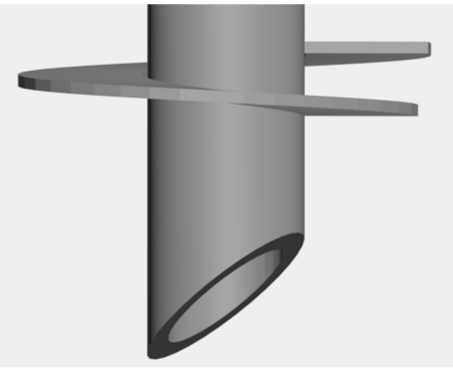
Helisel kazıkların ilk ortaya çıkış amacı gemilerin kıyıya yanaşmalarında meydana gelen sorunlardan doğmuştur. Bu kazıkların mühendislik hayatına girmesi 1836 yılında inşaatçı ve tuğla üreticisi olan İrlandalı Alexander Mitchell'in bu konudaki mevcut problemler hakkında yaptığı incelemelerin sonucunda olmuştur. Mitchell problemlerden yola çıkarak helisel kazıkların tasarımını deniz feneri temelleri üzerinden gerçekleştirmiştir. Tasarımında sığ sularda ve yumuşak zeminlerde iyi bir temel sisteminin yapıyı daha stabil hale getireceği fikrini ortaya koymuştur. Bunun da çekme yüklerine daha iyi dayanabilecek ve zeminden kolay kolay çıkmayacak bir

elemanı ile sağlanabileceğini söylemiş ve helisel kazıkları tasarlamıştır. Tasarlanan kazıklar, o dönemdeki kazıklara göre basınç ve çekme yüklerine daha fazla direnecek bir yapıda olduğu için birçok uygulamada kullanılmıştır (Lutenegger, 2011).

Helisel kazıkların tasarlaması, geoteknik mühendisliğine bazı kavramların girmesine neden olmuştur. Zemin mekaniği disiplini henüz inşaat mühendisliği alanında resmi olarak girişini yapmamışken Mitchell yaptığı çalışmalarda kazık tasarımını ve taşıma gücünü etkileyen önemli faktörleri ortaya atmıştır(kazık gömülme derinliği, kazık geometrisi, helisel plaka geometrisi, yerel zemin koşullarında zeminlerin mühendislik özellikleri ve zeminin gücü vb.). Ayrıca günümüz modern geoteknik çalışmaların bir bütününü (zeminin ön incelemesi, zemin özelliğine göre kazık kesitlerinin belirlenmesi) yaptığı uygulamalarında kullanılmıştır. Yaptığı en ilginç uygulamalardan birisi de günümüzde kazık yükleme testi olarak ifade edilen kazık performans testini çalışmalarında uygulamış olmasıdır (Lutenegger, 2011).

Helisel kazıkların tarihsel süreci uygulamada basit bir problemi çözmek amacıyla başlamış ancak gösterdiği performans sayesinde kazıklar çok büyük projelerde tasarımcılar tarafından önerilen elemanlar haline gelmiştir. Tarihsel süreçte ilk dönemde kullanılan kazıklar, günümüzde kullanılan kazıklara göre daha büyük kesitli olup üzerinde tek plaka bulunmaktaydı ve plakanın yapısında tasarım olarak bazı farklılıklar mevcuttu. Ancak günümüzde kullanılan tek plakalı kazıklara benzer bir şekilde taşıma plakası kazık uç bölgesinde yer almaktaydı (Şekil 1.1).

Kazıkların yerleştirilmesi aşamasında ise ilk zamanlarda yeterli teknoloji bulunmamasından dolayı kazıklar yalnızca sığ derinliklere ve yumuşak zeminlere yerleştirilebilmiştir. Yerleşim işlemi çark sistemi gibi mekanik sitemlerden yararlanılarak yapılmıştır. Günümüzde ise tork motorları kullanılarak kazıklar daha sağlam zeminlerin daha derinlerine yerleştirilebilmektedir.



Şekil 1.1. Kazık uç bölümü

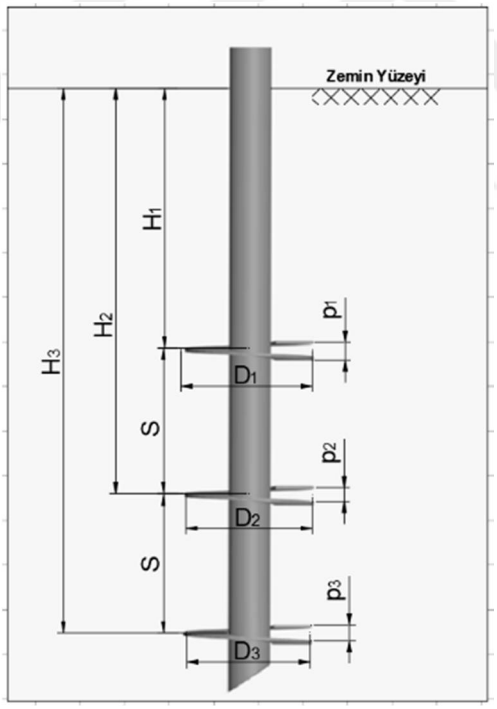
Helisel kazıklar kullanılarak yapılan ilk uygulama su altı temeli inşasıdır. Lutenegger (2013)'de ifade edildiği gibi ilk uygulama İngiltere'de yapılan Maplin Sands deniz feneri temel inşasıdır. Ancak bu kazıklar kullanılarak yapılan ve inşası tamamlanan ilk uygulama yine İngiltere'de yapılan Wyre deniz feneri inşaatıdır. Kazıkların iki deniz feneri uygulamasında da gösterdiği performans sayesinde sonraki süreçlerde başta ABD olmak üzere dünyanın farklı yerlerinde bu kazıkların çok sayıda deniz feneri inşa çalışmasında kullanılmasının önünü açmıştır. İleriki yıllarda bu kazıkların göstermiş olduğu başarılı performans sayesinde kazıklar sadece deniz feneri temel uygulamalarıyla sınırlı kalmayıp iskele, köprü ve demiryolu inşaatlarında da yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Günümüzde ise gelişen teknoloji ile birlikte mühendislikte bu tür kazıkların kullanım alanları gitgide genişleyerek diğer kazık ve ankraj türlerinin kullanıldığı hemen hemen tüm uygulamalarda kullanılabilmektedir.

Kazıkların tasarımı ve uygulamalarında kullanılmaya başlanmasını Lutenegger (2011) geoteknik temel mühendisliğindeki gelişmeler dikkate alındığında bu alanda 19. Yüzyılın ortalarına kadar meydana gelen en önemli gelişme olarak nitelendirmektedir. Bu durumun nedenini kazıkların kullanılmaya başlanmasıyla o dönemlerde inşası mümkün olmayan yapıların inşasını mümkün hale getirmesi ve bazı kavramların geoteknik mühendisliğine kazandırması gösterilebilir.

1.3. Helisel Kazığın Yapısı

Helisel kazıklar, kare ve daire kesitli kazık gövdesi üzerinde belirli aralıklarla helisel formdaki taşıma plakalarının yerleştirilmesiyle oluşturulan çelikten imal edilen kazıkladır. Kazık elemanları boyut ve geometrisine bağlı olarak kazık, ankraj ve mikro kazık olarak kullanılabilmektedir. Kazıklar, hem düşey hem de açılı bir biçimde yerleştirilerek yatay ve düşey yüklerin karşılanabilmesinde kullanılmaktadır. Delme ve çakma kazıkların kullanıldığı hemen hemen tüm uygulamalarda bu kazıklar kullanılabilmektedir.

Helisel kazığın yapısı altı bölümden oluşmaktadır. Bunlar; kazık şaftı, helisel plaka(lar), ilave kazık bölümleri, bağlantı elemanları, kazık ucu ve yapı – kazık bağlantısının sağlandığı kazık başlığı bölümleridir. Ancak kazığın genel yapısını kazık şaftı ve helisel plakalar oluşturmaktadır (Şekil 1.2).



Şekil 1.2. Helisel kazığın yapısı

Burada H_1 en üstteki helisel plakanın zemin yüzeyinden itibaren gömülme derinliği, ilk plakanın helisel adımı, d kazık gövde çapını ve S plakalar arasındaki mesafeyi ifade etmektedir.

1.3.1. Kazık şaftı

Kazık şaftı, helisel plakaların üzerine belirli mesafelerle yerleştirildiği kazık bölümdür. Yerleşim sırasında uygulanan enerji doğrudan bu bölüme aktarılmaktadır. Kazık şaftı, kazık yerleşimi sırasında hidrolik tork motorundan kendisine aktarılan burulma momentiyle kazığı hareket geçirmek, yapıdan yükleri alarak plakalara aktarmak ve yatay yüklere karşı direnç gösterme görevlerine sahiptir.

1.3.2. Helisel plakalar

Helisel plakalar, kazığa ismini veren kazık elemanıdır. Plakalar, kazığın taşıma kapasitesini oluşturan esas elemandır ve kazık gövdesi üzerinde belirli aralıklarla kaynaklı birleşim tekniği kullanılarak yerleştirilmektedir. Kazık şaftına uygulanan burulma momenti ve aşağı yönlü kuvvet ile kazığın zemine gömülmesini sağlayan esas eleman olup kazık şaftından başlık vasıtasıyla aktarılan yapı yüklerini kazık şaftından alarak zemine aktarma görevine sahiptir.

1.3.3. İlave kazık bölümleri

Helisel kazıklar, hızlı bir şekilde zemine yerleştirilebilmelerinin yanı sıra bu kazıkların diğer bir önemli özelliği de istenildiğinde kazık boyunun uygulama sırasında ilave kazık bölümleri kullanılarak arttırılabilmesidir. Helisel kazıkların bu özelliği, bu kazıkları diğer kazık türlerine göre avantajlı hale getirmektedir. İlave kazık bölümleri, tasarımda istenilen kapasitenin sağlanmasında önemli bir özelliktir (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. İlave kazık bölümleri (URL -1)

1.4. Helisel Kazıkların Sınıflandırılması

Literatürde helisel kazıklar için çeşitli parametreler göz önüne alınarak yapılmış sınıflandırmalar mevcuttur. Sınıflandırmalar, kazık yerleşim torku – kazık gövde çapı, kazık üzerinde yer alan plaka sayısı ve H_1/D(en üstteki plakanın gömülme derinliği/plaka çapı) oranına bağlı olarak yapılmıştır. Tez kapsamında kazıklarla ilgili literatür çalışmalarında ifade edilmiş sınıflandırmalar incelenmiş ve kısaca açıklanarak Tablo 1.1'de sunulmuştur.

Helisel kazıklarda yapılmış en basit sınıflama, kazık üzerinde yer alan plaka sayısı dikkate alınarak yapılan sınıflamadır. Bu sınıflamada kapsamında, kazık üzerinde bir ya da birden fazla taşıma plakasının yer alması durumunda kazıklar tek veya çoklu plakaya sahip kazıklar olarak iki sınıfa ayrılmaktadır.

Mitsch ve Clemence (1985) ve Zhang (1999) tarafından H_1/D oranlarına göre yapılan sınıflamada ise kazıklar H_1/D oranı 5,00'den büyük olduğu durumda derin yerleşim koşuluna sahip kazıklar, H_1/D oranı 5,00'den küçük olduğunda ise sığ yerleşim koşuluna sahip kazıklar olarak iki sınıfa ayrılmıştır.

Rao (2007) tarafından yapılan sınıflamaya göre kazıklar sığ, geçiş ve derin yerleşim koşuluna sahip kazıklar olarak 3 sınıfa ayrılmaktadır. Bu sınıflandırmada $H/D_1 \leq 2{,}00$ olan kazıklar sığ, H/D_1 oranı 2 ile 4 arasında olan kazıklar geçiş, $H/D_1 > 4{,}00$ olan kazıklar ise derin yerleşim koşuluna sahip kazıklar olarak tanımlanmıştır.

Sakr (2011) kazıkları kazık gövde çapı ve yerleşim torkuna göre düşük kapasiteli ve yüksek kapasiteli kazıklar olarak sınıflandırılabileceği belirtilmiştir. Kazık gövde çapı 178 mm'ye kadar ve yerleşim torku değeri de 67,8 kNm'den küçük olan kazıkları düşük kapasiteli kazıklar, kazık gövde çapının 178 mm'den ve kazık yerleşim torku 67,8 kNm'den büyük olan kazıkları ise yüksek kapasiteli kazıklar olarak sınıflandırmıştır.

Tablo 1.1. Helisel kazıkların sınıflandırılması

<table>
<tr><th colspan="3">Plaka Sayısına Göre Sınıflama</th></tr>
<tr><td colspan="2">Tek helisel plakaya sahip kazık</td><td>Çoklu helisel plakaya sahip kazık</td></tr>
<tr><th colspan="3">Mitsch ve Clemence (1985), Zhang (1999)</th></tr>
<tr><td colspan="2">$H/D_1 < 5,00$
Sığ</td><td>$H/D_1 > 5,00$
Derin</td></tr>
<tr><th colspan="3">Rao (2007)</th></tr>
<tr><td>$H/D_1 \leq 2,00$
Sığ</td><td>$H/D_1 = 2$ ile 4
Geçiş</td><td>$H/D_1 > 4,00$
Derin</td></tr>
<tr><th colspan="3">Sakr (2011)</th></tr>
<tr><td colspan="2">Kazık gövde çapı ≤ 178 mm
Yerleşim torku ≤ 67,8 kNm
Düşük Kapasiteli Helisel Kazıklar</td><td>Kazık gövde çapı > 178 mm
Yerleşim torku > 67,8 kNm
Yüksek Kapasiteli Helisel Kazıklar</td></tr>
</table>

1.5. Helisel Kazıkların Tasarımını Etkileyen Faktörler

Kazıkların yapı yüklerini emniyetli bir şekilde hizmet süresi içinde sağlam zemin birimlerine aktarabilmesi kazığı oluşturan elemanlarının tasarımını önemli bir aşama haline getirir. Tez kapsamında yeni ve mevcut temellerde kullanılacak helisel kazıkların tasarım aşamasında önemli olan hususlar kısaca irdelenmiştir.

Helisel kazık tasarımında ana kriter şudur: kazıklar yerleşim sırasında uygulanan burulma momentine direnecek yapı ve mukavemete sahip olmalıdır. Ayrıca yapı yüklerini güvenli bir şekilde tasarım ömrü süresi boyunca zemine aktarabilmesi istenmektedir.

Tez çalışması kapsamında helisel kazıkların tasarımında kullanılan standartlar AC358 (2007), AISC (2001), IBC (2009) ve bazı inşaat firmalarının, mühendislik örgütlerinin hazırlamış olduğu kılavuzlarda (Change Civil Construction Helical Piles for Structural Support - Manual, International Society for Helical Foundations

(ISHF, 2015), FSI Technical Manual (2014), IPENZ Screw Piles: Guidelines for Design, Construction and Installation (2015)) ifade edilen huşular incelenerek kazık tasarımını etkileyen faktörler belirlenmiştir. Helisel kazıkların tasarımı sırasında dikkate alınması gereken faktörler tez kapsamında basitçe maddeler halinde aşağıda verilmiştir.

Helisel kazıklarda tasarımı etkileyen faktörler;

1. Zeminin geoteknik özellikleri,

2. Yeraltı su seviyesinin konumu (YASS),

3. Kazık geometrisi,

+ Kazık gövde kesit tipi (kare, daire, kare ve daire)

+ Kazık gövde boyutları

+ Helisel plaka sayısı

+ Helisel plaka çapı

+ Kazığın üretildiği çeliğin mukavemeti

4. Tasarım ömrü,

5. Kaynak kalitesi,

6. İşçilik,

7. Kazığın yerleştirilme açısı,

+ Düşey

+ Yatay

+ Eğimli

8. Kazık gömülme derinliği,

9. Kazıklar arası mesafe,

10. Kazık yerleşim torku,

11. Tasarım yükü,

12. Kazık yükleme tipi,

+ Eksenel (basınç, çekme)

+ Yatay

+ Çevrimsel

+ Kombine

13. Sismik hususlar,

14. Sıcaklık,

15. Güvenlik sayısı,

16. Korozyon,

17. Maliyettir.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Tezin bu bölümünde helisel kazıklarla ilgili eksenel kapasite ve K_T katsayısı üzerine son dönemde yapılmış literatür çalışmalar kronolojik sıralamaya göre irdelenmiştir.

Hoyt ve Clemence (1989)'in yaptığı çalışmada helisel kazıklarda kullanılan kapasite yöntemlerine ilave olarak yeni bir metodu literatüre kazandırmışlardır. Çalışmada kumlu, killi ve siltli zeminleri temsil edecek şekilde 24 farklı çalışma bölgesinde kazıkları derin yenilme durumunun gerçekleşeceği şartlarda 0° ile 50° arasında değişen açılarda yerleştirmişlerdir. Kazıklarda 5,1 - 134 arasında değişen H_l/D oranları kullanılmıştır. Kazık üzerinde 2 ile 14 arasında değişen sayıda ve plakalar arasındaki mesafe 1,55D ile 4,55D olacak şekilde plakalar kazık üzerinde yerleştirmiştir. Çalışmada kapasitenin yerleşim torku ile ilişkisinden yola çıkarak tork korelasyon metodunu geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri metodun bireysel taşıma ve silindirik kesme metotlarına göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Ayrıca çalışmalarında bu metot ile kapasite hesaplarının yapılabilmesi için gerekli K_T katsayılarını kazık gövde çapına bağlı olarak önermişlerdir.

Rao ve diğ. (1991) kohezyonlu zeminlerde helisel kazık davranışının laboratuvarda modellenmesi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmada kazık uzunluğu 640 mm ve 1000 mm, kazık gövde çapları 25 mm, 44 mm, 60 mm olan kazık şaft modelleri kullanılmıştır. Kazık şaftları üzerinde 2 ile 4 arasında değişen sayıda ve çapları 75 mm, 100 mm ve 150 mm olan plakalar kullanılmıştır. Kazık üzerinde plakalar aynı çapta olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çalışmada zemin olarak yumuşak – orta sert kil kullanılmıştır. Deneyler 3 farklı özellikte zemin kullanılarak hazırlanmıştır. Çalışmada artan su muhtevasının helisel kazık taşıma kapasitesinde önemli artışlara neden olduğu belirlenmiştir. Plakalar arasındaki boşluk miktarı (S) ile plaka çapı (D) arasındaki oran (S/D) 1,0-1,5 arasında optimum taşıma kapasitelerinin elde edildiği ifade edilmiştir. Kazık üzerinde yer alan plaka sayısının artmasıyla kazığın basınç ve çekme kapasitesinde artışa görüldüğünü belirlemişlerdir. Ayrıca aynı kazık üzerinde

kullanılan plaka sayısının artmasının kazığın yapacağı deplasmanda küçülme yönünde etki yarattığı belirlenmiştir. Çalışmada basınç yüklemesinde artan su muhtevasının daha küçük zemin oturmalarına, çekmede ise daha küçük zemin yükselmelerine neden olduğu belirlenmiştir. S/D oranı 1,0 ile 1,5 arasında plakalar arasında kalan zeminde oluşan yenilme yapısının hemen hemen silindirik olduğu ve S/D oranı arttıkça silindirik yapının bozulduğu belirlenmiştir.

Abedin ve diğ. (1991) yaptıkları çalışmada alüvyal zeminlerde helisel kazık davranışını incelemişlerdir. Çalışmada kazık uzunluğu 3,2 m, kazık gövde çapı 219 mm, plakaların çapları ise 254 mm ile 384 mm arasında değişen kazık elemanları seçilmiştir. Yerleşim torku ile zemin mukavemeti arasında, çekme yükü ile zemin deplasmanı arasındaki korelasyonlardan yararlanılarak basit varsayımlarla matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Modelden alüvyal zeminlerde yerleşim torku ve çekme yükü etkisi altında deneysel çalışmalardan elde edilen parametreler kullanılarak lineer ve log-lineer korelasyonlar ile tork-mukavemet ve çekme yükü-deplasman denklemlerini geliştirmişlerdir.

Yttrup ve Abramsson (2003) tarafından yapılan çalışmada helisel kazıklarda yükleme sırasında oluşan plaka taban basınçları incelenmiştir. Çalışmada 8 adet kazık yükleme testi yapılmıştır. Kazık yükleme deneylerinde plaka çapı sabit tutularak plakanın et kalınlığı arttırılmıştır. Plaka kalınlığı arttıkça kazığın yük altında yaptığı deplasman değerinin küçüldüğü ve kazığın aynı yükü daha küçük deplasmanlar yaparak taşıdığı belirlenmiştir. Elde edilen taşıma kapasitelerinde plaka kalınlığının artmasıyla birlikte kapasitede %13 - %17 arasında değişen artışlar görüldüğü belirlenmiştir. Çalışmada kazık kapasitesinin plaka taban basınçlarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Plaka çapı, plakanın et kalınlığı ve imalatta kullanılan çeliğin mukavemetinin kapasite üzerinde önemli faktörler olduğu ifade edilmiştir.

Sakr (2010) tarafından helisel kazıkların küçük ve orta açıklıklı köprü temellerinde kullanılabilirliğinin araştırılması üzerine Kanada'nın Alberta bölgesinde çalışmalar yapılmıştır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zemin birimlerini içeren iki bölgede yapılan çalışmada 9 eksenel basınç ve 4 eksenel çekme testi yapılarak kazıkların sıkı kum, sert ve çok sert killi zeminlerdeki davranışı incelenmiştir. Kullanılan kazıklarda plakalar kazık üzerine S/D oranı 3 olacak şekilde yerleştirilmiştir. Kazıkta yer alan

plaka sayısının ve çapının artmasıyla kazığın basınç ve çekme kapasitesinin arttığını ve daha küçük deplasmanların görüldüğü belirlenmiştir. İkinci helisel plakanın deplasman kontrolünü sağladığı ifade edilmiştir. Plaka sayısının artmasının kazığın hem daha yüksek kapasiteye ulaşmasını sağladığı hem de kazığın yükleme altında yapacağı deplasman miktarını küçülttüğü belirlenmiştir. Çalışmada kazık üzerinde büyük çaplı tek plaka ve büyük kazık şaft kesiti kullanmak yerine daha küçük çaplı ve daha fazla sayıda helisel plaka kullanılarak kazığın kapasitesinin arttırılabileceği ve oluşan deplasman miktarının azaltılabileceği belirlenmiştir. Kazıkların kapasitesi % 5 limit deplasman metodu uygulanarak, basınçta 1500-2500 kN, çekmede ise 1500-2000 kN kapasite değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca çalışmada kazığın çekme kapasitesinin basınç kapasitesinden daha küçük olduğu, çekme kapasitesinin basınç kapasitesinin %60-70'i arasında değiştiği ifade edilmiştir.

Sprince ve Pakrastinsh (2010) tarafından yapılan çalışmada farklı zeminlerde helisel kazıkların basınç yükü altındaki davranışı toplam plaka çapı, plaka sayısı ve plaka gömülme derinliklerine bağlı olarak incelenmiştir. Dört farklı zeminde (ince kum, kumlu killi lem, kumlu lem, sert lem), plaka sayısı 1-6 arasında ve plaka çapları 150 mm, 200 mm, 250 mm, 300 mm, 350 mm ve 400 mm olan kazıklar kullanılmıştır. Dört zemin türü içerisinde de plaka çapı arttıkça kazığın basınç kapasitesinde artış elde edildiği görülmüştür. En yüksek kapasite artışının kumlu lemde en düşük kapasite artışının ise ince kumda meydana geldiği belirlenmiştir. Kazık üzerinde yer alan helisel plaka toplam yüzey alanının kazığın basınç kapasitesine etkisi incelenmiş ve en yüksek kapasite artışının kumlu lemde, en küçük artışın ise kumlu killi lemde meydana geldiği görülmüştür. Ancak toplam plaka yüzey alanının artışının tüm kazıklar için kapasitede artışa neden olduğu görülmüştür. Plaka gömülme derinliği arttıkça dört zemin türünde de kapasitede artışlar meydana geldiği belirlenmiştir. Çalışmada farklı zeminlerde aynı geometrik özelliklere sahip kazıkların farklı davranış gösterdiği ve farklı zeminlerde aynı kazıklar için 6,5 kata kadar kapasite farklarının elde edildiği gözlenmiştir. Bu çalışma kazık kapasitesinin kazık ve zemin özelliklerinin bir fonksiyonu olduğunu ve zemin özelliklerinin kazığın kapasite davranışını belirleyen önemli faktör olduğunu vurgulayan bir çalışmadır.

Sakr (2011) tarafından yapılan çalışmada yüksek kapasiteli helisel kazıkların kohezyonsuz zeminlerdeki performansı arazi deneyleri ile incelenmiştir. Çalışma

Kanada'nın Kuzey Alberta bölgesinde 4 farklı test bölgesinde yapılmıştır. Çapları 324 – 508 mm ve et kalınlıkları 9,5 – 25,4 mm arasında değişen, üzerinde tek ve çift plaka bulunan kazıklar kullanılmıştır. Kazık yerleştirilmesi sırasında kademeli derinlikler boyunca yerleşim torku kayıtları alınmıştır. Tork kayıtlarından zeminin mukavemetinin artmasına paralel olarak yerleşim torkunun da arttığı gözlenmiştir. Kazıkların sıkı ve aşırı sıkı kumlarda eksenel çekme kapasitelerinin 1500-2900 kN arasında değiştiği belirlenirken çekme kapasitesinin basınç kapasitesinin yaklaşık %80'i olduğu tespit edilmiştir. Kazıkta çekme davranışının en üstteki plaka tarafından kontrol edildiği ifade edilmiştir. Kazıklarda basınçta 2920 kN ve çekmede ise 2900 kN yükler altında önemli düzeyde direncin geliştiği belirlenmiştir. Bu çalışma, helisel kazıkların yüksek kazık kapasitesi gereken uygulamalarda da kullanılabilir olduğunu göstermiştir.

Filho ve diğ. (2014) tarafından yapılan çalışmada helisel kazıklarda kazık elemanlarının kapasite, yerleşim torku ve K_T katsayısı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Kazıklar kumlu silt birimlerine yerleştirilmiştir. Çalışmada kazıklar A_1, A_2 ve B_1 olarak üç gruba ayrılmıştır. A_1 ve A_2 kazıklarında, ana kazık bölümüne göre daha büyük çaplı ilave kazık bölümleri kullanılmıştır. Kazıklar yerleştirilirken düzenli bir şekilde tork ölçümleri yapılmıştır. Kazık gömülme derinliği arttıkça kazık şaftı tarafından direnilen tork değerinin toplam tork değeri içerisindeki yüzdesinin arttığı belirlenmiştir. Plakaların toplam tork içerisindeki payının derinlik arttıkça düştüğü gözlenmiştir. Tork ve kapasiteye bağlı olarak toplam K_T katsayısı ve toplam kapasite içerisindeki kazık elemanlarının payı incelenmiştir. A_1 kazığı için toplam çekme kapasitesi içerisinde şafttan gelen pay %49 iken plakaların payının %51 olduğu belirlenmiştir. A_2 kazığında ise kazık şaftının katkısının %10, helisel plakaların katkısının ise %90 olduğu belirlenmiştir. Bu çalışma kazık şaftından gelen kapasite değerlerinin ihmal edilmemesi gerektiğini göstermiştir. K_T katsayısı açısından incelendiğinde ise ilave kazık şaftının daha büyük çaplı olmasının ilave kazık bölümü aynı olan kazıklara ait K_T katsayılarına göre elde edilen K_T değerinin daha düşük değerlere ulaşmasına neden olduğu belirlenmiştir.

Lutenegger (2014) tarafından yapılan çalışmada killi zeminlerde helisel kazık yerleşimi sırasında meydana gelen zemin örselenmesinin kapasite üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi için çalışma yapılmıştır. Çalışma, killi zeminde kazık

yerleşimi sırasında plakalardan kaynaklı zemin örselenme etkisinin değerlendirildiği ilk çalışmadır. Çalışma University of Massachussets – Amherst alanında kalın Connecticut Valley Varved Clay (CVVC) birimi yer alan zemin şartlarında yapılmıştır. Örselenmenin derecesini belirlenmesi amacıyla killi zemine yerleştirilen tek plakaya sahip ve çoklu plakaya sahip kazıklar üzerinde kazık yükleme testlerinden hemen sonra arazi vane shear testi yapılmıştır. Zeminde kazığın yerleşimi sırasında meydana gelen örselenmenin zeminin mukavemetinde düşüşe ve bu durumun da doğrudan kazık kapasitesinde azalmalara neden olduğu belirlenmiştir. Kazık yerleşimi için gerekli dönüş sayısının artmasının örselenmeyi arttırdığı bunun da yerleşim torkunu düşürdüğü ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada örselenme faktörü değeri tanımlanarak kazık yerleşiminin değerlendirilmesinde önemli parametrelerden biri ortaya konulmuştur. Örselenme faktörünün bire yakın olmasının örselenmenin daha az olduğunu anlamına geldiği ve iyi kazık yerleşimi yapıldığının göstergesi olduğu ifade edilmiştir.

Likhitha ve Ramesh (2016) tarafından model kazıkların siltli zemindeki davranışı laboratuvar çalışması ile incelenmiştir. Çalışmada 600 mm yüksekliğinde ve 330 mm çapında test kalıbı, 20 mm çapında ve 80 mm uzunluğunda test kazığı, helisel kazık modeli olarak da 20 mm çaplı şaft üzerine yerleştirilmiş 25 mm, 45 mm ve 65 mm'lik plakalara sahip kazıklar kullanılmıştır. Siltli zemin maksimum kuru birim hacim ağırlığında test kalıbına 200 mm'lik tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Deneyler değişen çaplarda helisel kazık modelleri üzerinde uygulanmış ve 5-30 arasında değişen H_1/D oranları için bu deneyler tekrarlanmıştır. Deney sonuçlarına göre kazık gömülme derinliği arttıkça kazıkların nihai çekme kapasitelerinde artışlar görüldüğü tespit edilmiştir. Artışın plaka içermeyen kazıklara göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca helisel plakaların deformasyona etkileri incelendiğinde plakaya sahip kazıklarda çekme yükleri altında plakasız kazıklara göre daha küçük deformasyonlar oluştuğu belirlenmiştir. Çalışmada plakaya sahip kazıkların çekme direncinin plakaya sahip olmayan kazıklara göre daha fazla olduğu ve çekme direncinin plakanın çapına bağlı olarak arttığı ifade edilmiştir. Çekme yükleri altında S/D oranı 1.0-1.5 arasında plakalar arasında kalan zemin bölümündeki yenilme yüzeylerinin hemen hemen silindirik yapıda olduğu belirlenmiştir.

3. HELİSEL KAZIKLARDA EKSENEL KAPASİTENİN İNCELENMESİ

Kazık, üst yapı yüklerini taşıma gücü yüksek zemin birimlerine aktaran derin temel elemanlarıdır. Kazıklar üzerinde bugüne kadar literatürde yapılmış birçok sınıflama mevcuttur. Tez çalışması kapsamında da kazıklar üzerinde yapılan sınıflamalar incelenmiş ve Şekil 3.1'de ifade edildiği şekilde kazıklar sınıflandırılmıştır.

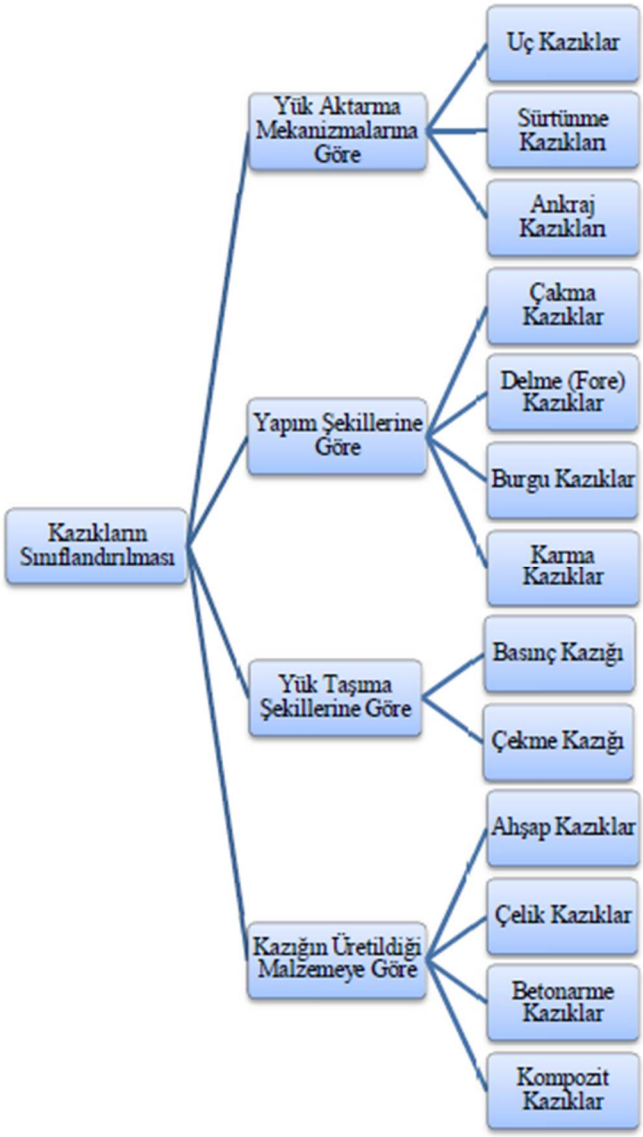
Tezin bu bölümünde ilk olarak kazıklarda genel kapasite hesabı ve yenilme mekanizmaları üzerinde kısaca durulacaktır. Daha sonra helisel kazıklarda yenilme mekanizmaları incelenerek kapasite hesaplarında kullanılan mevcut yöntemler irdelenerektir.

3.1. Genel Kazık Kapasitesi

Kazıklar, gelen yükleri uç direnci, sürtünme direnci veya bu iki bileşenin birlikte hareket etmesi ile karşılamaktadır (Şekil 3.2). Uç kazıklarda kazığa etkiyen yük kazık ucu tarafından karşılanırken sürtünme kazıklarında yük, kazık ile zemin arasında meydana gelen sürtünme kuvvetleri tarafından karşılanmaktadır. Uç ve sürtünme bileşenlerinin bir arada olduğu durumda ise kazık yapı yüklerini hem uç hem de çevre direnci ile karşılamaktadır. Genel anlamda kazık kapasitesi Denklem (3.1)'de ifade edildiği gibi;

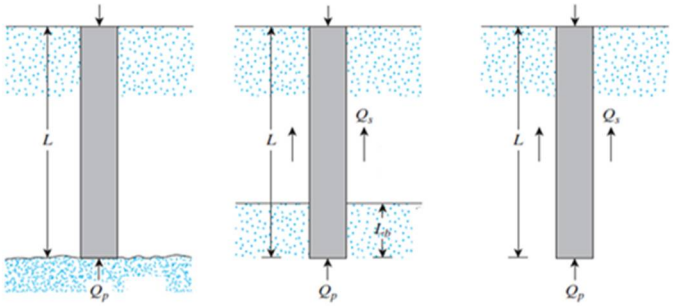
$$Q_{ult} = Q_{uç} + Q_{şaft} \tag{3.1}$$

hesaplanmaktadır. Burada $Q_{uç}$ kazığın uç taşıma kapasitesi, $Q_{şaft}$ ise kazık ile zemin arasında oluşan sürtünmeden dolayı gelen kapasitedir.

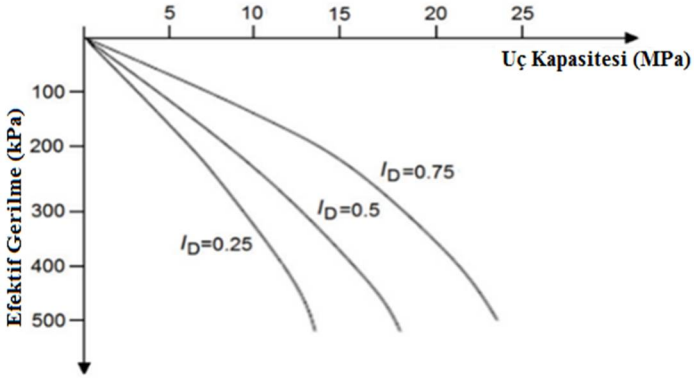


Şekil 3.1. Kazıkların sınıflandırılması

Kazık uç taşıma kapasitesi; zeminin kayma modülü (G), poisson oranı (ν), kazık ucu seviyesindeki efektif gerilme ($\sigma'_{vuç}$), kazığın uç kısmının içinde bulunduğu zeminin içsel sürtünme açısı (Φ) ve zeminin dilatasyon açısı (ψ)'na bağlıdır. Çevre sürtünmesi ise zeminin drenajsız kayma mukavemeti (s_u) ve zeminin efektif gerilme (σ_v') değerine bağlı olarak değişmektedir (Wrana, 2015). Şekil 3.3'de örnek olarak uç taşıma kapasitesinin rölatif yoğunluk ve efektif gerilmeye bağlı değişimi örnek olarak gösterilmiştir.

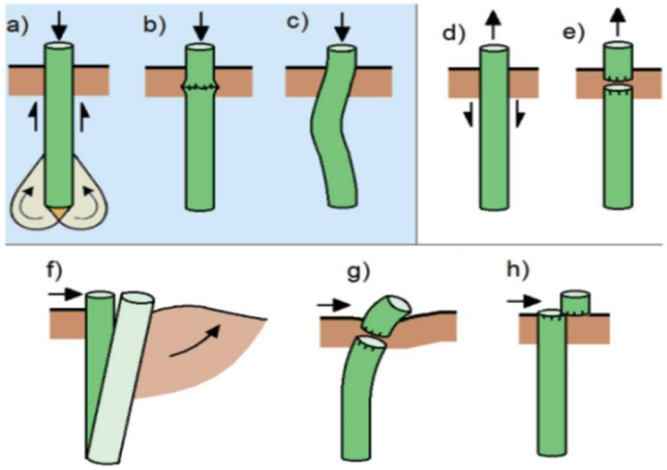


Şekil 3.2. Uç kazığı ve sürtünme kazığı (Das, 2014)



Şekil 3.3. Uç kapasitesinin değişimi (Wrana, 2015)

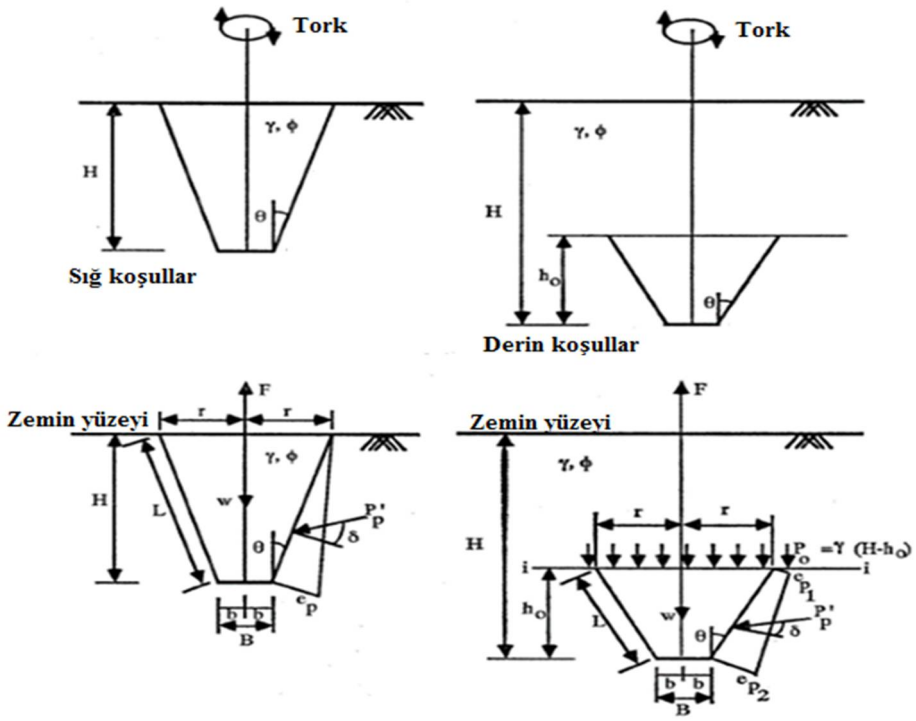
Kazıklara basınç, çekme, yatay yükler ve eğilme momentleri tek başına veya birlikte etkiyebilir. Bundan dolayı farklı yükleme tiplerine göre kazıklarda farklı yenilme durumlarının gözlenmesi söz konusudur. Şekil 3.4'de kazığa gelen yükün tipine göre meydana gelen yenilme durumları gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Kazık yenilme davranışları (Wrana, 2015)

3.2. Helisel Kazıklarda Yenilme Mekanizmaları

Helisel kazıklarda iki çeşit yenilme mekanizması bulunmaktadır. Bunlar; sığ ve derin yenilme mekanizmalarıdır (Şekil 3.5). Bu mekanizmalar helisel plakaların gömülme derinliğine bağlı olarak gelişmektedir. Sığ ve derin yenilme mekanizmalarını birbirinden ayıran faktör ise kazık kapasitesinde meydana gelen performans kayıplarının hızıdır. Sığ yenilme mekanizması istenilmeyen bir durum olup bu mekanizmada kazık kapasitesi aniden düşerek kazıkta hızlı stabilite kayıplarına neden olmaktadır. Bu yenilme mekanizması plakaların sığ derinliklerde yer aldığında meydana gelmektedir. Bu tür yenilmede, yenilme anında özellikle de çekme etkisinde zemin yüzeyinde kabarma sonucunda oluşan deformasyonların etkileri görülebilir. Derin yenilme mekanizması ise sığ yenilme mekanizmasına göre daha yavaş performans kayıplarının gözlendiği ve kazık tasarımlarında esas istenilen yenilme durumudur. Bu mekanizmaya göre kazık yenilme anında ani performans kaybına uğramaz ancak performansında azalan bir davranış görülür. Bu mekanizmaya göre yenilme gerçekleşse bile kazık daha düşük kapasitede de olsa taşımaya devam etmektedir. Bu nedenle özellikle çekme yüklerine maruz kalacak kablolu yapılarda derin yenilme durumu istenilen bir durumdur.

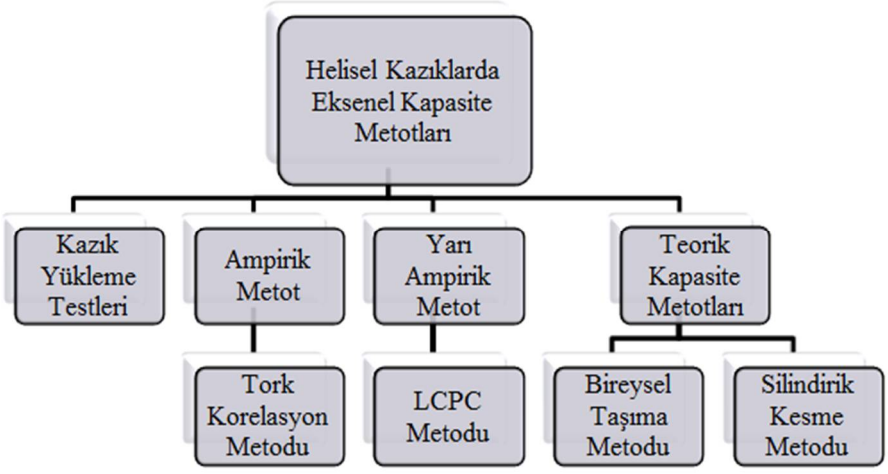


Şekil 3.5. Sığ ve derin yenilme mekanizmaları (Ghaly ve diğ., 1991)

Literatürde derin ve sığ yenilme mekanizmalarının H_1/D oranı ile ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Mitsch ve Clemence (1985), Zhang (1999) H_1/D oranının 5'den büyük olduğu durumlarda derin, 5'den küçük olduğunda ise sığ yenilmenin gerçekleşeceğini, Rao (2007) ise H_1/D oranın 4'den büyük olduğu durumda derin, 2'den küçük veya 2'ye eşit olduğunda ise sığ yenilmenin mekanizmasının gerçekleşeceği ifade edilmiştir.

3.3. Helisel Kazıklarda Eksenel Kapasite

Eksenel yüklenmiş helisel kazıkların kapasite hesaplarında kullanılan beş temel metot bulunmaktadır. Bunlar; bireysel taşıma metodu, silindirik kesme metodu, tork korelasyon metodu, LCPC metodu ve arazi kazık yükleme testleridir (Şekil 3.6). Literatürde bireysel taşıma ve silindirik kesme metotları teorik kapasite metotları grubunda yer alırken, tork korelasyon metodu ampirik, LCPC metodu ise yarı ampirik yöntem olarak ifade edilmektedir.



Şekil 3.6. Helisel kazıklarda eksenel kapasite metotları

Helisel kazıkların tasarlandığı yıllardan itibaren gelişen teknoloji ve üretim teknikleri sayesinde kazıklar yüksek kapasite gerektiren yerlerde kullanılabilir hale gelmiştir. Özellikle gelişen teknoloji ile birlikte kullanılmaya başlayan tork motorları ile daha büyük kesitli kazıklar zeminin daha derinlerinde yer alan tabakalara yerleştirilebilmektedir. Bu durum kazıklarda daha yüksek kapasitelerin elde edilebilmesini sağlamıştır. Helisel kazıklar kullanılarak yapılan çalışmalarda eksenel kapasitenin 2900 kN'un üzerine çıkabildiği ve her türlü yapı yükünün desteklenmesinde kullanılabildiği IPENZ (2015)'de ifade edilmiştir. Sakr (2011)

tarafından yapılan çalışmada ise çekmede 2900 kN, basınçta ise 2920 kN'a ulaşan kapasiteler elde edilmiştir. Bu durum hidrolik tork motorlarının kullanılması ile kapasitelerin yüksek seviyelere ulaşabildiğini göstermektedir.

Kazık kapasitesinde üzerinde en önemli faktör kazığın üretildiği çeliğin mukavemet özellikleridir. Diğer faktörleri de zemin ve kazık geometrisine bağlı olarak iki gruba ayırmak mümkündür. Zeminin ile ilgili parametreler; zemin birim hacim ağırlıkları, içsel sürtünme açısı, kohezyon, adhezyon, drenajsız kayma mukavemetidir. Kazık kapasitesi için kohezyonlu zeminde zeminin drenajsız kayma mukavemeti çok önemliyken, kohezyonsuz zeminde zeminin efektif birim hacim ağırlığı kapasite üzerinde önemli bir zemin parametredir. Kapasitede üzerinde belirleyici geometrik özellikler ise helisel plaka(lar) ve kazık şaftının sahip olduğu kesit özelliklerini ifade etmektedir. Bu özelliklere bağlı olarak kazık elemanları gelen yükleri zemine aktarmaktadır.

Helisel kazıklarda yük aktarılma mekanizması şöyledir. Yapıdan gelen yükler önce kazık başlığı vasıtasıyla kazık şaftına oradan da helisel plakalara aktarılmaktadır. En son olarak da helisel plakalara aktarılan kuvvetler plakaların içerisinde bulunduğu zemin tabakalarına aktarılmaktadır.

Helisel kazıklarda genel olarak taşıma kapasitesi kazık şaftından gelen sürtünme kapasitesi ve plakalardan gelen kapasitelerin toplamından oluşmaktadır (Denklem 3.2). Ancak bu kazıklarda kapasitenin çok önemli bir bölümü plakalar tarafından karşılanmaktadır. Bunun nedeni kazıkların küçük gövde çapına sahip olmasıdır. Bu nedenle kazıklarda, kazık ve zemin arasında gelişen sürtünme etkisiyle kazanılan kapasite toplam kapasite içerisinde çok küçük paya sahiptir. Ancak kazık gövde kesiti arttıkça kazık ve zemin arasındaki sürtünmeden gelen taşıma kapasitesinin toplam kapasite içindeki payının arttığı söylenmesi gereken bir husustur. Helisel kazıklarda kapasite kazık şaftı ve plakalardan gelen kapasitenin toplamından oluşur ve;

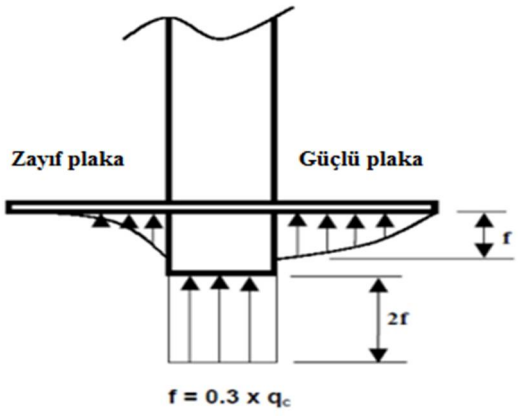
$$Q_{ult} = Q_{plaka} + Q_{şaft} \tag{3.2}$$

denklemi ile hesaplanmaktadır. Burada Q_{plaka} taşıma plakalarından gelen kapasite, $Q_{şaft}$ kazık çevre sürtünmesi ile gelen kapasitedir.

3.3.1. Helisel plakalarda taban basınçları

Helisel kazıklarda kapasite yöntemlerine geçilmeden önce kazık yükleme durumunda plakalara ait gerilme durumlarını ifade eden taban basınçları üzerinde kısaca durulacaktır.

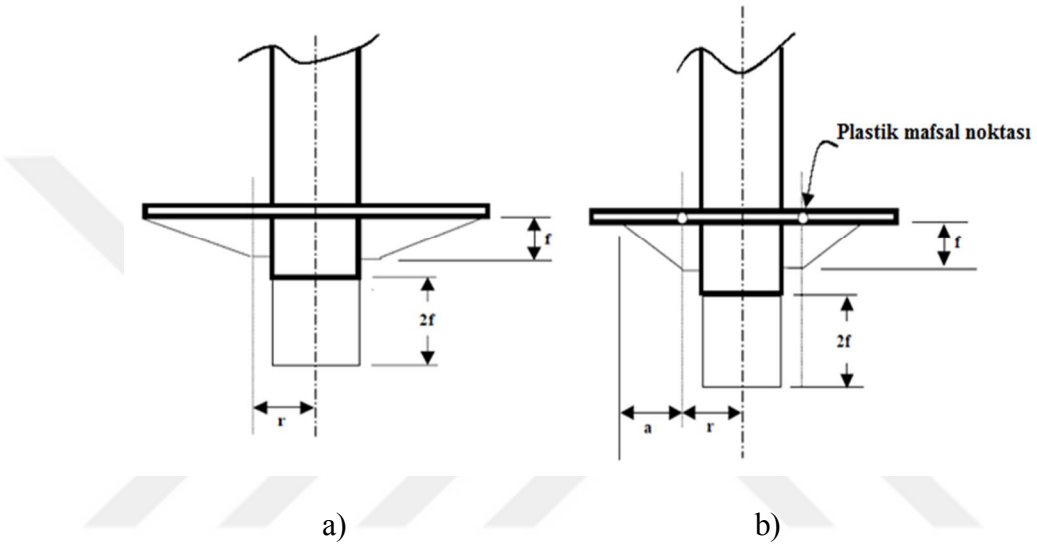
Kazık üzerinde bulunan taşıma plakalarında yükleme anında taban basınçları yani gerilme zonları oluşmaktadır. Yttrup ve Abramsson (2003) tarafından helisel kazıklar üzerinde yapılan çalışmada yükleme anında plakalarda oluşan taban basınçları incelenmiştir. Plaka taban basıncının zeminin ve plaka imalatında kullanılan çeliğin mukavemetine bağlı olarak değiştiği, sağlam zeminlerde veya ince plakalarda plakaların nihai taban basıncına ulaşamadan eğilme nedeniyle plaka üzerinde plastik deformasyonların oluştuğu belirtilmiştir. Oluşan plastik deformasyonlar sırasında plakaların davranışının da değiştiği ifade edilmiştir. Çalışmada kazıklarda yükleme sırasında oluşan nihai taban dirençleri incelenmiş ve oluşan taban basınçları modellenmiştir. Plakanın dış kenarlarına doğru yükleme anında taban basınçlarının azaldığı ve sıfıra düştüğü ancak kaynak bölgesine yaklaşıldıkça da taban basınçlarının arttığı ifade edilmiştir. Kazık şaftı altındaki ise plakaya ait basınç dağılımının yaklaşık iki katı olduğu büyüklükte taban basınçlarının oluştuğu söylenmiştir(Şekil 3.7). f ile ifade edilen basınç bağılımı CPT koni uç direncinin 0,3 katıdır.



Şekil 3.7. Plaka tabanındaki basınç dağılımı (Yttrup ve Abramsson, 2003)

Ayrıca çalışmada plakalar için güçlü ve zayıf plaka tanımı yapılmıştır. Güçlü helisel plakada akma meydana gelmezken zayıf helisel plakada plastik akma mekanizması

görüldüğü ifade edilmiştir (Şekil 3.8 ve 3.9). Plakalarda akma mekanizması sonucu oluşan plastik mafsal noktasının ise plaka tabanında oluşan basınç dağılımının yüksekliği kadar kazık şaft yüzeyinden uzakta bir mesafede oluştuğu ancak oluşan plastik mafsalın plaka üzerinde hangi noktalarda oluştuğunun bilinmesi zor olduğu belirtilmiştir. Ancak oluşan noktanın kazık şaft yüzeyinden itibaren plaka kalınlığının iki ya da üç katı kadar mesafeyi kapsayacak bir aralıkta oluşabileceği ifade edilmiştir.



a) b)

Şekil 3.8. Güçlü ve zayıf helisel plakalar: a) Güçlü, b) Zayıf (Yttrup ve Abramsson, 2003)

r = Kazık merkezinden plastik mafsal noktasına olan mesafe

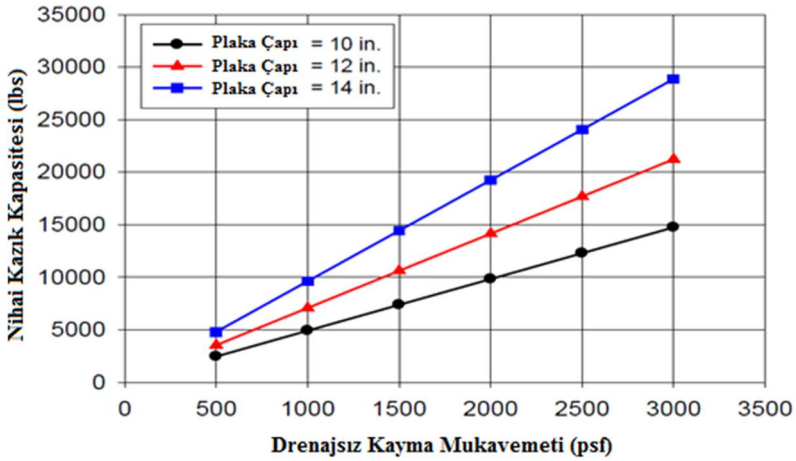
3.3.2. Helisel kazıklarda eksenel basınç kapasitesi

Helisel kazıklarda kazığa etkiyen eksenel basınç yükü kazık şaftı ve plakalar tarafından karşılanır. Basınç yükleri, plakalar altındaki zeminin sıkışması yönünde etki oluşturmaktadır. EPC (2005)'de kohezyonsuz zeminlerde zemini oluşturan danelerin bireysel olarak hareket ettiği ancak basınç yükleri etkisi altında zemini oluşturan danelerin tekrar birlikte hareket etmeye başlayarak danelerin daha kompakt hale geldiği ifade edilmiştir.

Kazığın basınç kapasitesi üzerinde plaka çapı ve zeminin mukavemet özelliklerinin önemli rolü bulunmaktadır. Kazığa etkiyen basınç yükleri sonucunda her bir plaka tabanında yukarı yönlü zemin dirençleri gelişmektedir. Gelişen zemin dirençleri

plaka kapasitesini oluşturmaktadır. Bu nedenle plaka çapının artması ile plaka yüzeyinde oluşacak zemin direncinin büyüklüğü artmakta ve taşıma plakası daha yüksek kapasiteye ulaşmaktadır. Bu durum kazığın yerleştirildiği zeminin mukavemet özelliklerinin ve plaka çapının gelişen zemin dirençlerinin büyüklüğünü belirleyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir.

Lutenegger (2015) kohezyonlu zeminlerde yaptığı çalışmada plaka çapı ve zeminin drenajsız kayma mukavemetindeki artışın kazığın basınç kapasitesinde oluşturduğu etkiyi incelemiştir. Plaka çapının ve mukavemet değerinin artmasıyla birlikte kazık kapasitesinin de arttığını belirlemiştir (Şekil 3.10). Aynı mukavemete sahip zeminlere yerleştirilen kazıklar üzerinde yapılan incelemede plaka çapının artmasıyla kazığın basınç kapasitesinde artışların gözlendiği belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Kohezyonlu zeminlerde plaka çapı ve kayma mukavemetinin basınç kapasitesine etkisi (Lutenegger, 2015)

Kohezyonlu zeminlerde kazığın yerleşimi sırasında oluşan zemin örselenmesi zeminin drenajsız kayma mukavemetinde düşüşe neden olmaktadır. Bu nedenle Lutenegger (2015) killi zeminlerde örselenme etkisini de göz önünde bulundurarak kapasite hesaplarının yapılabilmesini için kilin hassaslık derecesine göre zemin mukavemet azaltma faktörlerinin kullanılmasını önermiştir. Önerilen değerler Tablo 3.1'de gösterilmektedir.

Tablo 3.1. Drenajsız kayma mukavemeti azaltma faktörleri (Lutenegger, 2015)

Kilin Hassasiyeti	Hassaslık derecesi	Azaltma faktörü
Hassas olmayan killer	1	0
Düşük hassasiyette killer	2-4	0,15
Orta hassasiyette killer	5-10	0,25
Hassas killer	>10	0,50

Lutenegger (2015) içsel sürtünme açısı ve zeminin doygunluğunun kazığın basınç kapasitesine olan etkisini de incelemiştir. Kazık kapasitesinin, zeminin doygunluğu ve içsel sürtünme açısının artışına bağlı olarak arttığını belirlemiştir. Üzerinde 12" tek taşıma plakası bulunan, doygun ve nemli kumda 3,05 m (10 ft) derine gömülen kazıkların basınç kapasitelerini karşılaştırmıştır. Yüksek içsel sürtünme açısına sahip zeminlere yerleştirilen kazıklarda, içsel sürtünme açısı düşük zeminlere göre daha yüksek basınç kapasitelerinin elde edildiği belirlenmiştir. Ayrıca zeminin su muhtevasının da kazık davranışı üzerinde önemli bir faktör olduğu, suya doygun zemin içerisinde yerleştirilen kazıkların doygun olmayan zeminde yerleştirilen kazıklara göre daha düşük basınç kapasitesine ulaştığı belirlemiştir.

3.3.3. Helisel kazıklarda eksenel çekme kapasitesi

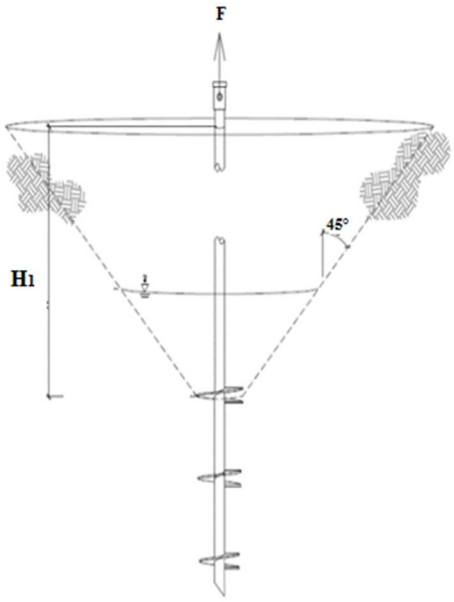
Helisel kazıklar, üzerinde bulunan helisel formdaki taşıma plakaları sayesinde plakasız kazıklara göre daha yüksek çekme direncine sahiptir. Kazığın çekme kapasitesine etki eden faktörler daha önce ifade edilen kazığın basınç kapasitesi üzerindeki etkili faktörlerle benzerlik göstermektedir. Ancak çekme kapasitesinde ilave olarak konik çekme kapasitesi kavramı karşımıza çıkmaktadır. Kazık, çekme yükü etkisindeyken en üstteki plaka üzerinde kalan zemin konisinin ağırlığı önem kazanmaktadır. Zemin konisinin ağırlığı, plaka üzerinde zemin tepkisi oluşturarak çekme etkisinde kazığın yukarı yönlü hareketini engelleyecek aşağı yönlü zemin dirençleri oluşturmakta ve kazığın yerinden çıkmasını önlemektedir. Yani çekme yükü altındaki helisel kazıklarda kazık kapasitesi ve kazığın stabilitesi taşıma plakalarının üst yüzeylerinde aşağı yönlü gelişen zemin dirençleri tarafından karşılanmaktadır.

Helisel kazıklarda çekme direnci üzerinde etkili olan diğer parametrelerden de bahsetmek gerekir. Bu parametreler kazık gömülme derinliği oranı (H_1/D), zeminin birim hacim ağırlığı, zeminin içsel sürünme açısı, çekme yükünün kazığa etkime açısı, zeminin rölatif yoğunluğu, kazık şaft geometrisi, en üstteki plakanın gömülme derinliğidir. Ancak literatürde plakaların çekme kapasitesini belirleyici hususlar içinde en önemlisinin yeryüzeyine en yakın konumdaki plakanın gömülme derinliği olduğu ifade edilmektedir.

Çekme etkisinde gelişen yenilme yüzeyinin yapısı konik bir şekle sahiptir. Konik çekme yenilmesi, yenilme düzlemi üzerinde kesme kuvvetlerinin sıfıra düştüğünde oluşur. Bu kritik noktada üstteki plakanın üzerindeki ve çevredeki bazı zemin bölümü bir kesik ters koni şeklinde dışarı çekilir. Kazık ne kadar derine gömülürse plaka üzerinde yer alan zemin konisinin boyutları dolayısıyla da kazığa destek sağlayacak zeminin ağırlığı artmaktadır. Kazık gömülme derinliği arttıkça helisel kazıklarda çekme kapasitesinde daha hızlı artışlar meydana gelmesinin nedeni budur.

Zemin konisinin geometrisi gömülme derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Ghally ve diğ., (1991) tarafından yapılan çalışmada, sığ derinlikte yerleştirilen kazıklarda zemin konisi yenilme yüzeyinin düşeyle yaptığı açı değerinin zeminin içsel sürtünme açısının 2/3'üne eşit olduğu ifade edilmiştir. Meyerhof ve Adams (1968) tarafından yapılan çalışmada kumda yerleştirilen kazıklarda, yenilme yüzeyi açısının zeminin içsel sürtünme açısı değerinin 0,25 ile 0,50 katı arasında değiştiği ifade edilmiştir. Mitsch ve Clemence (1985) yaptıkları çalışmada yenilme düzlemi açısının zemin içsel sürtünme açısı değerinin yaklaşık yarısı kadar olduğunu ifade etmiştir. IPENZ (2015)'de ise yenilme düzleminin düşeyle yaptığı açının zeminin içsel sürtünme açısının 0,45 ile 0,55 katı arasında olduğu belirtilmiştir.

Çekmede kazık üzerinde en üstte yer alan taşıma plakası üzerinde kalan zemin konisinin ağırlığı kazıkta çekme kapasitesinin düşük ve yüksek olmasını belirleyen önemli bir faktör olduğu ifade edilmişti. Perko (2009) zemin konisi ağırlığının hesaplanmasında kullanılacak denklemi kitabında ifade etmiştir (Şekil 3.10, Denklem (3.3) ve (3.4)).



Şekil 3.10. Etki konisi (Perko, 2009)

$$W = 0{,}25\ \pi\ \gamma'\ \int_0^{H1} (D_1 + 2\ H_1\ \tan\Theta)^2\ dz \tag{3.3}$$

Burada H_1 yüzeye en yakın helisel plakanın yüzeyden itibaren gömülme derinliği, z en sığ helisel plakanın zemin yüzeyine olan mesafesi, D_1 en üstteki plakanın çapı, Θ etki konisinin yatay ile yaptığı açıyı ifade etmektedir.

İntegral sonucunda elde edilen denklemde yeryüzüne en yakın plakanın üzerinde kalan zemin ağırlığı;

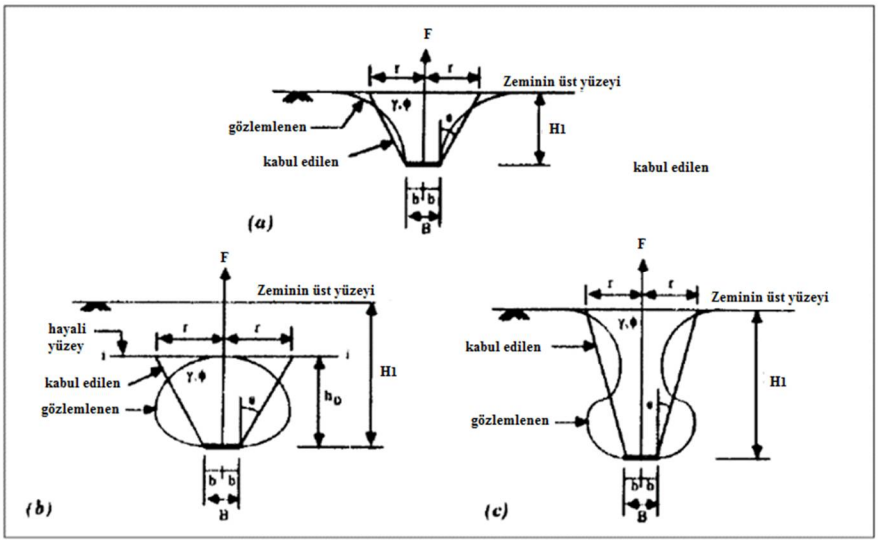
$$W = 0{,}25\ \gamma'\ D_1{}^3 \left(\frac{H_1}{D_1} + 2 \left(\frac{H_1}{D_1} \right)^2 \tan\Theta + \frac{4}{3} \left(\frac{H_1}{D_1} \right)^3 \tan^2\Theta \right) \tag{3.4}$$

denklemiyle hesaplanabilmektedir.

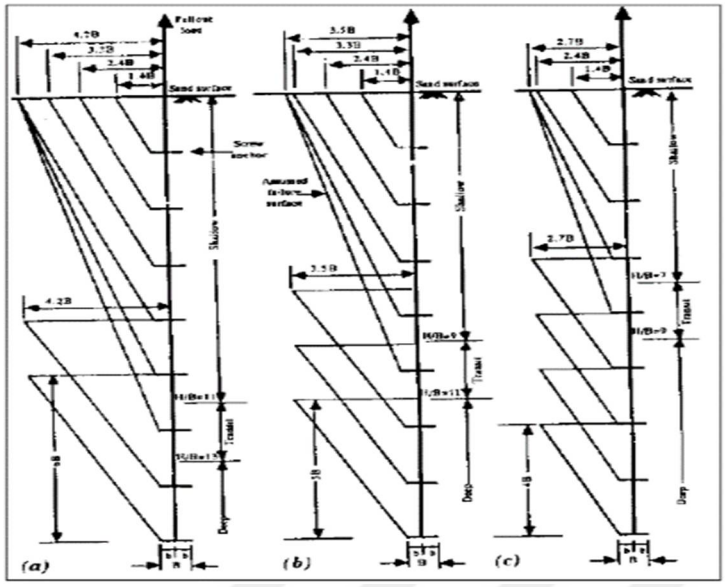
Helisel kazıkların çekme kapasitesinin zemin özellikleri ve kazık parametrelerine bağlı değişiminin belirlenmesi için araştırmacılar tarafında birçok çalışma yapılmıştır. Özellikle kohezyonsuz zeminlerde Ghally ve diğ. (1991) ve Mitsch ve Clemence (1985)'nin yapmış olduğu çalışmalar helisel kazığın çekme davranışının anlaşılmasında önemli çalışmalardır.

Ghally ve diğ. (1991) tarafından helisel kazıkların kohezyonsuz zeminlerdeki çekme yüklemesi altındaki davranışı zemin ve kazık parametrelerine bağlı olarak incelemiştir. Farklı geometrilere sahip kazıklar için oluşturulan beş model üzerinden

çalışmalar yürütülmüştür. Çalışma kapsamında ölçülen değerlerle çok iyi sonuçlar veren yerleşim torku teorik modeli oluşturulmuştur. Araştırmacılar çalışmalarını laboratuvarda ve kumlu zemin içerisinde yapmıştır. Çalışma için 1,00 × 0,70 × 1,25 m boyutlarında test tankı kullanılmıştır. Çalışmada kötü derecelenmiş kum (SP) test tankına 150 mm'lik tabakalar halinde yerleştirilmiştir. Çalışma gevşek, orta ve sıkı kumlarda olmak üzere üç farklı zemin tipinde gerçekleştirilmiştir. Orta ve gevşek kumlarda plaka gömülme derinliği ve H_1/D oranının artması ile birlikte kazık yerleşim torkunda ve kazığın çekme kapasitesinde artışlar gözlendiği belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan plaka geometrisinin yerleşim torku ve kapasite üzerinde önemli değişimlere neden olabileceği belirlenmiştir. Çalışmada plaka gömülme derinliği ve zeminin içsel sürtünme açısının, kazık yerleşim torkuna olan etkisi üç zemin tipinde de incelendiğinde, plaka gömülme derinliği ve zeminin içsel sürtünme açısında meydana gelen artışın doğrudan yerleşim tokunda artış yönünde etki oluşturduğu belirlenmiştir. Çalışmada yeryüzüne en yakın taşıma plakası üzerinde kalan zemin konisini kullanarak kapasite hesapları için teorik model geliştirilmiştir. Geliştirilen modelde sığ ve derin koşullar ayrı ayrı dikkate alınmıştır. Ayrıca çalışmada plaka gömülme derinliğine bağlı yenilme düzlemlerinin yapısını da belirlenerek (Şekil 3.11 ve 3.12) sığ, geçiş ve derine gömülen kazıklarda çekme altında yeryüzüne en yakın plakanın üzerinde kalan zeminin konisinin farklı formlarda yenilme davranışı gösterdiği ifade edilmiştir.



Şekil 3.11. Derinliğe bağlı yenilme mekanizmaları: a) Sığ, b) Geçiş, c) Derin (Ghally, 1991)



Şekil 3.12. Plaka gömülme derinliğine bağlı yenilme geometrisi: a)Yoğun, b) Orta, c) Sıkı kum (Ghally, 1991)

Sığ yerleşim koşulları için;

Sığ derinliğe yerleştirilen kazıklarda çekme kapasitesi, yenilme düzlemi boyunca oluşan sürtünme direnci ve koniyi oluşturan zemin ağırlığının toplamından oluşmaktadır.

Sığ derinlik için geliştirilen denklemler Denklem (3.5a) – (3.5e) 'de verilmiştir.

$$Q_{ult} = P_p + W \tag{3.5a}$$

$$P_p = 0{,}5\ \pi\ \gamma\ H_1^2\ K_p^{'}\ \left[\frac{D + H_1\ \tan\theta}{\cos\theta}\right]\ \tan\delta \tag{3.5b}$$

$$W = \frac{\pi}{3}\ \gamma\ H_1\ \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 + r_k^2 + \left(\frac{D}{2}\right) r_k\right) \tag{3.5c}$$

$$K_p^{'} = \frac{(1 + \sin\delta)}{(1 - \sin\delta)} \tag{3.5d}$$

$$\theta° = \tan^{-1}\left(\frac{r_k - (0{,}5D)}{H}\right) \leq \frac{2}{3}\Phi \tag{3.5e}$$

Gevşek ve sıkı kumlarda;

$\delta = 0{,}6\ \Phi - 0{,}7\ \Phi$

aralığında kullanılması önerilmiştir.

Derin yerleşim koşulları için;

Derin yerleşim koşullarında çekme kapasitesi, yenilme düzlemi boyunca gelişen sürtünme, zemin konisinin ağırlığı ve toprak basınçlarından kaynaklı düşey yükün toplamı olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır.

Derin yerleşim koşullarında çekme kapasite hesaplarında kullanılması önerilen denklemler Denklem (3.6a) - (3.6e)'de verilmiştir.

$$Q_{ult} = P_p + W + M \tag{3.6a}$$

$$P_p = \frac{\pi}{2}\ \gamma\ K_p^{'}\ h_0\ (2H_1 - h_0) \left[\frac{(0{,}5D) + h_o\ \tan\theta}{\cos\theta}\right] \tan\delta \tag{3.6b}$$

$$W = \frac{\pi}{3} \gamma\ h_o \left(\left(\frac{D}{2}\right)^2 + r_k^2 + \left(\frac{D}{2}\right)\ r_k\right) \tag{3.6c}$$

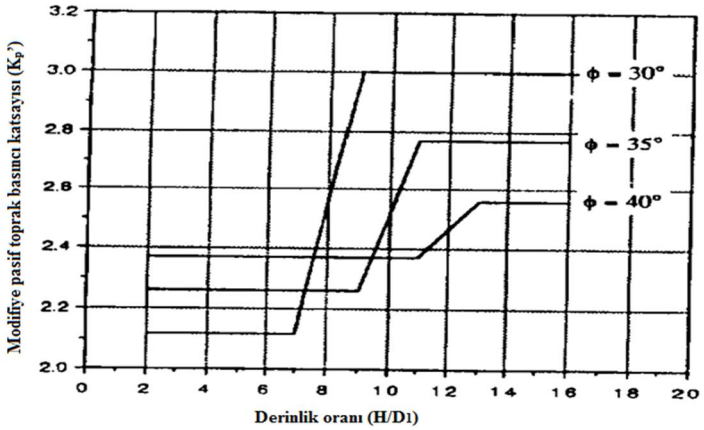
$$M = \gamma\ \pi\ r_k^2\ (H_1 - h_o) \tag{3.6d}$$

$$\theta° = \tan^{-1}\left(\frac{r_k^2 - (0{,}5D)}{h_0}\right) \leq \frac{2}{3}\Phi \tag{3.6e}$$

$\delta = 0{,}65\Phi$ (gevşek kumlardan sıkı kumlara bu aralıkta kullanılması önerilmiştir)

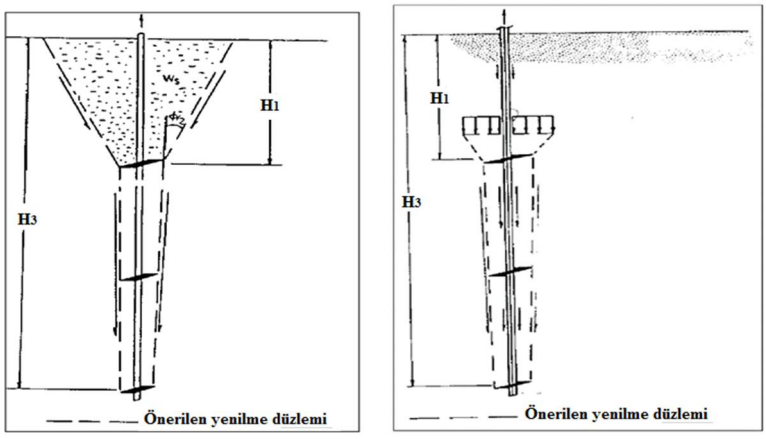
Burada W yenilme düzlemi içindeki zemin kamasının ağırlığı, Φ kumun içsel sürtünme açısı, B helisel plakanın çapı, r_k koni taban yarıçapı, h_0 kesik koninin yüksekliği, P_p toplam pasif toprak basıncının düşey bileşeni, Θ yenilme düzleminin düşeyle yaptığı açı, δ varsayılan kesilme düzleminde makaslama direncinin ortalama modifiye açısını ifade etmektedir.

Sığ ve derin yerleşim koşullarında kullanılan denklemlerde yer alan K_P' modifiye toprak basıncı katsayısı Denklem (3.5d) kullanılarak hesaplanabildiği gibi Şekil 3.13'de verilen içsel sürtünme açısı ve H/D_1 oranına bağlı olarak hazırlanmış abak kullanılarak da belirlenebilmektedir.



Şekil 3.13. Derinlik oranı - toprak basıncı katsayısı ilişkisi (Ghally ve diğ., 1991)

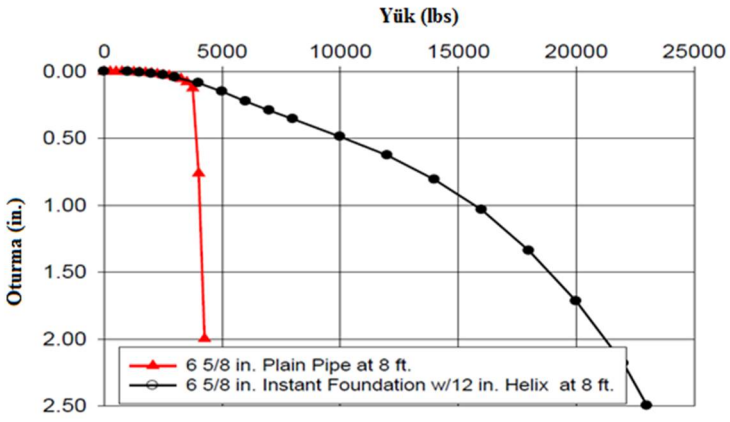
Mitsch ve Clemence (1985) tarafından yapılan çalışmada ise homojen, izotropik ve lineer olmayan davranış gösterdiği kabul edilen kum zeminde kazığın çekme davranışı incelenmiştir. Kazık şaftından gelen kapasite değerinin katkısı ve kazığın kendi ağırlığı ihmal edilmiş, plakaların deforme olmadığı kabul edilmiştir. Yapılan çalışmada sığ ve derine yerleştirilen helisel kazıkların çekme yükleri altında farklı davranışlar gösterdiği belirlenmiştir (Şekil 3.14).



a) b)

Şekil 3.14. Yenilme mekanizmaları: a) Sığ, b) Derin (Mitsch ve Clemence, 1985)

Lutenegger (2014) helisel plakanın kazığın çekme kapasitesine etkisini arazi kazık yükleme testleriyle incelenmiş, üzerinde plaka bulunan ve bulunmayan kazıkların çekme davranışlarını karşılaştırmıştır. Aynı gömülme derinliğine sahip tek plaka kullanılan ve plakasız çekme yüklemesine maruz kalan kazıklar arasında önemli kapasite farklarının görüldüğünü belirlemiştir. Üzerinde plaka bulunmayan düz kazıkta yükleme sırasında belli bir andan sonra deformasyonların çok hızlı arttığı belirlenmiştir. Plakalı kazıkta ise meydana gelen deformasyonları uygulanan yükle birlikte yavaş yavaş arttığı ve ani deformasyonların gözlenmediği belirlenmiştir. Bu çalışma helisel plakaların kazığın çekme kapasitesini arttırıcı ve meydana gelen deplasmanı düşürücü görev yaptığını göstermektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Helisel plakanın çekme kapasitesine etkisi (Lutenegger, 2014)

3.4. Teorik Kapasite Metotları

Teorik kapasite metotları kapsamında bireysel taşıma ve silindirik kesme metodu olmak üzere iki metot bulunmaktadır. Teorik metotlar helisel plakaların kazık şaftı üzerinde birbirlerine göre konumları göz önüne alınarak geliştirilmiş metotlardır. Bu metotlarının kullanılabilmesi için bazı zemin parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Teorik metotlarda efektif tabanlı kapasite denklemleri kullanılmakta ve hesaplarla elde edilen kapasite değerleri limit durumu ifade etmektedir. Perko (2009) kazığın teorik kapasitesinin her iki metoda göre de hesaplanarak küçük olanının kabul edilmesini önermiştir.

Teorik metotlar kapsamında kazık üzerinde sadece bir plaka bulunuyorsa bireysel taşıma metodu kullanılırken kazık üzerinde iki veya daha fazla taşıma plakası varsa iki metottan uygun olanı seçilerek kapasite hesapları yapılabilmektedir.

Kazık üzerinde yer alan taşıma plakaları arasındaki mesafe arttıkça kazıkta bireysel taşıma metodundaki davranışa yakın bir davranış elde edilirken bu mesafe azaldıkça silindirik kesme metodundaki davranışa yaklaşılmaktadır. Plakalar arasında bir S mesafesinde bu iki metotta da yaklaşık aynı kapasite değerleri elde edilmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde buradaki S aralığının plaka çapının 3 katı olduğu durumu ifade ettiği söylenebilir. Çünkü plakalar arası mesafe plaka çapının 3 katı olacak şekilde konumlandırıldığında kazığın optimum performans gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca bu mesafe dikkate alınarak taşıma plakaları konumlandırıldığında yükleme anında oluşan her bir plakaya ait gerilme zonlarının birbirlerini etkilemesinin de önüne geçilmektedir.

3.4.1. Bireysel taşıma metodu

Kazık üzerinde bulunan taşıyıcı plakalar arasındaki mesafe büyük olduğunda plakalara ait gerilme zonlarının birbirlerini etkilemesi mümkün olmaz. Bunun sonucunda grup etkisi ortadan kalkar ve kazık üzerinde bulunan her bir plaka kendi başına bağımsız bir biçimde davranarak taşıma görevini üstlenir (Şekil 3.16). Bu metot kazık üzerinde tek taşıma plakasının bulunduğu durumda her zaman, birden fazla helisel plaka bulunduğu durumda ise genellikle plakalar arasında kalan mesafe $\geq 3{,}00D$ olduğu durumda kullanılan bir metodudur. Tappender (2006)'da ise bireysel taşıma metodu, tek helisel plaka içeren kazıklar ve $S/D > 2{,}00$ olan kazıklarda geçerli olan bir yöntem olarak ifade edilmiştir.

Adams ve Klym (1972), Hoyt ve Clemence (1989), Zhang (1999) Perko (2009) bireysel taşıma metodunda nihai kazık taşıma gücünün her bir plakanın taşıma kapasitelerinin toplamıdır şeklinde ifade etmişlerdir. Bireysel taşıma metoduna göre toplam kazık kapasitesi kazık üzerinde bulunan her bir plakanın taşıma kapasitesi ve kazık şaftından sürtünmeyle gelen kapasitelerin toplamından oluşmaktadır (Denklem 3.7 ve 3.8). Ancak bu metotta genellikle kazık şaftından gelen kapasite küçük gövde çaplı kazıklar kullanıldığı için ihmal edilmektedir. Lutenegger (2015) bireysel taşıma metoduna göre yapılan kapasite hesaplarında en üstte yer alan plaka üzerinde kalan

şaft bölümünün tamamen zeminle temas halinde olmasından dolayı kapasite hesaplarında kullanılmasını önermişlerdir.

Kazık şaftının da etkisi hesaplarda kullanılmak istenildiğinde tekli ve çoklu plakaya sahip kazıklarda Denklem (3.7) ve (3.8) kullanılmaktadır.

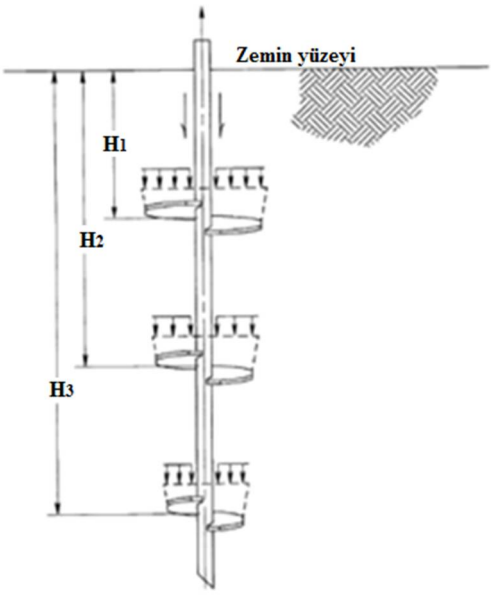
Tek plakaya sahip kazıklarda kapasite;

$$Q_{ult} = Q_{plaka} + Q_{şaft} \tag{3.7}$$

Çoklu plakaya sahip kazıklarda kapasite;

$$Q_{ult} = \sum_{i=1}^{n} Q_{plaka,i} + Q_{şaft} \tag{3.8}$$

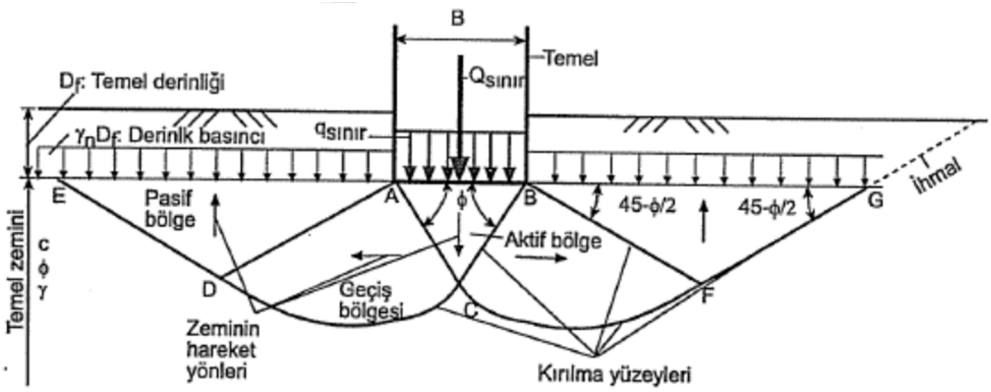
denklemleri kullanılarak hesaplanmaktadır.



Şekil 3.16. Bireysel taşıma metodu
(Hoyt ve Clemence, 1989)

Bireysel taşıma metodu modeline göre çekme etkisinde her bir taşıma plakasının üst yüzeyinde ve kazık şaftı üzerinde aşağı yönlü dirençler gelişirken basınç etkisinde her bir taşıma plakasının alt yüzeyinde ve kazık şaftında yukarı yönlü zemin dirençleri gelişmektedir.

Bireysel taşıma metodunda helisel kazığın taşıma kapasitesi Terzaghi'nin taşıma gücü teorisi kullanılarak hesaplanabilmektedir (Şekil 3.17). Kazık üzerinde yer alan her bir plaka temel kabul edilip plakalar için ayrı ayrı taşıma kapasiteleri hesaplanmaktadır.



Şekil 3.17. Terzaghi taşıma gücü modeli

Modelde temel altında yer alan üçgensel bölge kullanılarak aşağıdaki denklem;

$$q_{ult} = c\,N_c + q'\,N_q + 0.5\,\gamma'\,B\,N_\gamma \qquad (3.9)$$

elde edilmektedir.

Burada ifade edilen denklemde denklemin birinci bölümü kohezyon ile ilgili olan kısmı, ikinci bölümü derinlikle ilgili olan kısım, son bölümü ise temel genişliği ve zemin ağırlığı ile ilgili olan kısımdır. Denklem (3.9)'da her bir plaka için hesaplanan değer ilgili plakaya ait alanla çarpılmasıyla o plakanın taşıma kapasitesi elde edilmektedir. Bu yönteme göre kazık şaftından gelen kapasite ihmal edildiğinde kapasiteyi ifade eden denklem;

$$Q_{ult} = \sum_{i=1}^{n} Q_{p,i} \qquad (3.10a)$$

haline dönüşmektedir.

$$Q_{p,i} = q_{ult,i}\,A_{p,i} \qquad (3.10b)$$

Denklem (3.9) ve (3.10b) kullanılarak;

$$Q_{ult} = \sum_{i=1}^{n} A_{p,i} \left(c\, N_c + q' N_q + 0.5\, \gamma' B N_{\gamma}\right)_i \tag{3.10c}$$

ifadesi elde edilmektedir. Bu denklem helisel kazıklarda bireysel taşıma metoduna göre kazık şaftının kapasite içindeki etkisinin ihmal edildiği genelleştirilmiş denklemdir.

Kazık şaftından gelen kapasite değeri de kapasite hesabında kullanılmak istenildiği durumda;

$$Q_{ult} = \sum_{i=1}^{n} A_{p,i}\, q_{ult,i} + \alpha\, \pi\, d\, H_1 \tag{3.11}$$

$$Q_{ult} = \sum_{i=1}^{n} A_{p,i} \left(c\, N_c + q' N_q + 0.5\, \gamma' B N_{\gamma}\right)_i + \alpha\, \pi\, d\, H_1 \tag{3.12}$$

eşitlikleri kullanılmaktadır. Plakaların küçük çaplı olmasından dolayı Denklem (3.10c) ve (3.12)'de yer alan B parametresinin yani temel genişliğinin kullanıldığı parametreyi içeren denklemin son kısmı ihmal edilerek küçük bir hata ile kapasite hesaplanabilmektedir.

Burada c zemin kohezyonu, N_c, N_q, N_γ taşıma gücü faktörleri, γ' efektif birim hacim ağırlığı, α adhezyon faktörü, d kazık gövde çapı ve H_1 yüzeye en yakın plakanın gömülme derinliğidir. Denklemde yer alan q' parametresi her bir taşıma plakası hizasındaki gerilmeyi ifade etmektedir. YASS üzerinde bu değer toplam gerilme değeri olarak ifade edilirken YASS altında efektif gerilme cinsinden belirlenir (Denklem 3.13a - 1.13b).

$$q = \gamma_n z \tag{3.13a}$$

$$\gamma' = \gamma_{doy} - \gamma_w \tag{3.13b}$$

$$q' = \gamma_{doy} z - \gamma_w z \tag{3.13c}$$

$$q' = (\gamma_{doy} - \gamma_w) z \tag{3.13d}$$

$$q' = \gamma' z \tag{3.13e}$$

Burada z derinlik, γ_n zeminin doğal birim hacim ağırlığı, γ_{doy} doygun birim hacim ağırlığı, γ_w suyun birim hacim ağırlığı, γ' efektif birim hacim ağırlığını ifade etmektedir.

Taşıma gücü faktörleri zeminin içsel sürtünme açısına bağlı olarak elde edilmektedir. Bunun için araştırmacılar tarafından hazırlanmış tablo ve abaklardan yararlanılmaktadır. Ayrıca N_c ve N_q değerleri Denklem (3.14) ve (3.15) kullanılarak da hesaplanabilmektedir.

$$N_c = (N_q - 1) \cot \Phi \geq 9 \tag{3.14}$$

$$N_q = 0.50\,(12\,\Phi)^{\Phi/54} \tag{3.15}$$

Denklem(3.10c) c - Φ zeminlerde eksenel kapasite hesaplarında kullanılmaktadır. Kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde denklemde yer alan bazı parametreler sıfıra eşit olacağından dolayı denklem daha basit hale indirgenebilmektedir.

Kohezyonlu zeminlerde daneler kohezyonsuz zeminlerde olduğu gibi birbirinden bağımsız hareket etmemektedir. Kohezyonlu zeminlerde içsel sürtünme açısı Φ=0° ve $c = s_u$ (doygun killer) için N_c ve N_q değerleri $N_c \approx 9$ and $N_q = 1$ olarak elde edilir. Denklemde kohezyon parametresi yerine killi zeminin drenajsız kayma mukavemeti ve belirlenen N_c ve N_q taşıma gücü katsayıları yerlerine konulup denklemin temel genişliğini içeren son kısmı da ihmal edilirse Denklem (3.10c);

$$Q_{ult} = \sum_{i=0}^{n} A_{p,i}\,(9\,s_u + q')_i \tag{3.16}$$

haline gelir.

Kohezyonsuz zeminlerde kazık taşıma kapasitesi, efektif düşey gerilme değeri, zeminin birim hacim ağırlığı ve derinliğin bir fonksiyonudur. Bu nedenle kazık taşıma kapasitesinin artan efektif gerilme ve kazık gömülme derinliğine bağlı olarak artması beklenir. Bu durum kazığın daha derine gömüldüğünde neden daha yüksek kapasite değerlerine ulaştığının göstergesidir. İri daneli zeminlerde kohezyon c = 0 olduğu için Denklem (3.10c)'de kohezyon parametresini içeren birinci kısmı sıfıra

eşit olur. Kalan denklem denklemin temel genişliğini içerek son kısmı ihmal edilerek tekrar yazılırsa mevcut denklem;

$$Q_{ult} = \sum_{i=0}^{n} A_{p,i} \ (q' \ N_q)_i \tag{3.17}$$

haline dönüşür. Yukarıdaki denklemler çoklu helisel plaka kullanıldığında geçerlidir. Kazık üzerinde tek taşıma plakası bulunduğunda hesaplar yalnızca tek plaka üzerinden yapılır.

Helisel plakanın taşıma kapasitesi hesaplanırken plakaların imal edildiği çeliğin mukavemet özelliklerinin dikkate alınması gerekmektedir. Yani kapasite malzeme mukavemeti ile sınırlandırılmaktadır. Hesaplanan plaka kapasitelerinin malzemenin mukavemetinin elverdiği kapasite değerinden yüksek olmaması, hesaplanan kapasitenin malzemenin kapasitesinden küçük veya en fazla malzeme kapasitesine eşit olması gerekmektedir.

$Q_H \leq Q_M$

Lutenegger (2015) kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıkların kapasite hesaplarında çoklu plakaya sahip kazıklar için tüm plakalardan istenilen verimde taşıma kapasitelerinin elde edilemediğini bundan dolayı kapasite azaltma faktörlerinin kullanılmasını önermiştir. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen kazıklarda en derinde yer alan taşıma plakasının kapasitesinin %100'ü, ikinci plakanın kapasitesinin %80'i ve üçüncü plakanın kapasitesinin %60'ı alınarak toplam kazık kapasitesinin hesaplanmasını önermiştir. Önerilen azaltma faktörleri doğrultusunda verilen eşitlikler;

Basınçta;

$$Q_{ult} = [1{,}00 \ (A_{p,3} \ q'_3 \ N_q)] + [0{,}80(A_{p,2} \ q'_2 \ N_q)] + [0{,}60 \ (A_{p,3} \ q'_3 \ N_q)] \tag{3.18}$$

Çekmede;

$$Q_{ult} = [1{,}00 \ (A_{p,n3} \ q'_3 \ N_q)] + [0{,}80(A_{p,n2} \ q'_2 \ N_q)] + [0{,}60 \ (A_{p,n3} \ q'_3 \ N_q)] \tag{3.19}$$

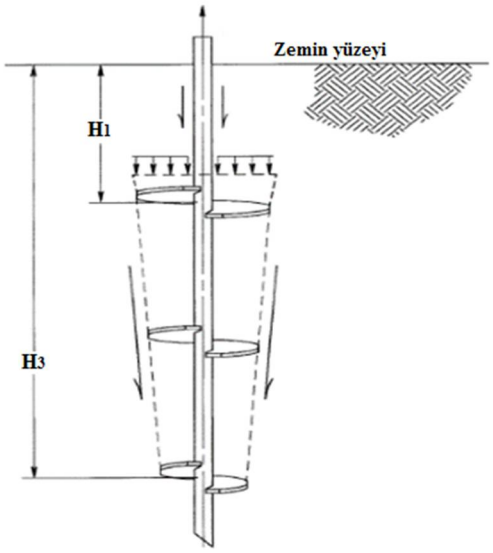
kullanılmaktadır.

3.4.2. Silindirik kesme metodu

Kazık üzerinde bulunan plakaların aralarındaki mesafe küçük tutulduğunda plakalara ait gerilme zonları birbirlerini etkilemeye başlar. Bunun sonucunda plakalar, arasındaki zeminle birlikte grup davranışı gösterir. Bu metoda göre plakaların arasında kalan zemin bölümü silindirik bir yapıda aradaki mesafeye bağlı olarak bütün halinde hareket etmektedir. Bu yöntemle kapasite hesaplarının yapılabilmesi için kazık üzerinde birden fazla plaka bulunmalıdır. Tek helisel plakaya sahip kazıklarda bu metot kullanılmamaktadır. Bu metot genellikle S/D oranı < 3,00 olan durumda kullanılan bir metottur.

Silindirik kesme yöntemi yükleme yönüne bağlı olarak, en üst ve en alt alt plakalar arasında yer alan zeminde sürtünme kolonunun gelişimini varsayar (Hoyt ve Clemence, (1989); Zhang, (1999)) (Şekil 3.18).

Silindirik kesme metoduna göre kazık kapasitesi, basınçta en alttaki çekmede ise en üstteki taşıma plakasının kapasitesine ilave olarak kazık şaftından gelen kapasite ve plakalar arasında sıkışmış zemin silindirinin sürtünme kapasitelerinin toplamından elde edilmektedir (Denklem 3.20).



Şekil 3.18. Silindirik kesme metodu
(Hoyt ve Clemence, 1989)

Silindirik kesme metodunda kazık kapasitesi Denklem (3.20) kullanılarak;

$$Q_{ult} = Q_{plaka} + Q_{şaft} + Q_{silindir} \quad (3.20)$$

hesaplanmaktadır. Denklemde $Q_{silindir}$ parametresi plakalar arasında kalan zemin silindirinin kapasitesini ifade etmektedir.

Silindirik kesme metoduna göre kazığın çalışma prensibi şöyledir; kazığa etkiyen basınç yükleri etkisinde plakalar arasında kalan zemin silindirinde, en alttaki taşıma plakasında ve kazık şaftı çevresinde yukarı yönlü zemin dirençleri oluşmaktadır. Çekme yükleri etkisinde ise oluşan dirençler aşağı yönlüdür.

Silindirik kesme metodunda S/D oranına bağlı olarak plakalar arasında kalan zemin silindirinin yapısı değişmektedir. S/D oranının artmasıyla plakaların arasındaki zemin bir bütün halinde değil bağımsız hareket etmeye başlar. Rao ve diğ. (1989) tarafından yapılan çalışmada zemin plakalar arasında kalan zemin silindirinin farklı plaka aralıklarında kazandıkları yapı incelenmiştir. Plakalar arasındaki mesafe kısaldıkça aradaki zemin bölümü silindirik bir form kazanırken bu mesafe arttığında silindirik yapıda bozulmalar oluştuğu belirlenmiştir. Bu mesafe çok arttığında ise bu zemin yapısı hiç oluşmamakta bireysel taşıma metodundaki davranış görülmektedir. Çalışmada kazık üzerindeki plakalar S/D oranı 1,0-1,5 arasında konumlandırıldığında plakalar arasındaki zeminin hemen hemen silindirik formda olduğu ve bu oranın arttıkça da silindirik formun bozulduğu belirlenmiştir. Şekil 3.19'da S/D oranı 1,5 olduğunda (solda) tam silindire yakın yenilme yüzeyi elde edilirken S/D oranı 2,3 olduğunda (ortada) silindirik yapıda düzensizlikler oluşmaya başlamış, S/D oranı 4,6 olduğunda (sağda) ise silindirik yenilme yüzey yapısının kaybolduğu görülmektedir. Son durum plakalar arasındaki zemin danelerinin grup davranışından bireysel davranışa geçtiğini göstermektedir.



Şekil 3.19. Plakalar arası mesafe ve zemin silindiri ilişkisi (Perko, 2009)

Silindirik kesme metodunda günümüze kadar birçok araştırmacı yapıkları çalışmalarda bu metotta kapasite hesaplarında kullanılabilecek denklemler geliştirilmiştir. Örnek olarak kullanılan denklemlerden iki tanesi seçilerek verilmiştir (Denklem 3.21 ve 3.22).

FSI (2014)'de silindirik kesme metoduna göre kazık kapasitesi;

$$Q_{ult} = \pi\, D_{ort}\, L_c\, (c + K_o\, q' \tan\Phi) + A_H\, (c\, N_c + q'\, N_q) \qquad (3.21)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır. Burada D_{ort} ortalama plaka çapı, L_c plakalara arasındaki toplam mesafe, c plaka derinliğindeki zeminin kohezyon değeri, K_o boyutsuz sükunetteki toprak basıncı katsayısını ifade etmektedir.

Silindirik kesme metodunda kapasite hesapları için Perko (2009) tarafından önerilen eşitlik ise Denklem (3.22a) - (3.22e)'de verilmiştir. Silindirik kesme metoduna göre kapasite;

$$Q_{ult} = q_{ult}\, A_1 + T_z\, (n\text{-}1)s\, \pi\, D_{ort} + \alpha\, \pi\, d\, H_1 \qquad (3.22a)$$

ile hesaplanmaktadır.

$$T_z = (0{,}09\, e^{0{,}08\Phi})\, q' \tan\Phi \text{ (kohezyonlu zeminlerde)} \qquad (3.22b)$$

$$T_z = s_u \text{ (kohezyonsuz zeminlerde)} \qquad (3.22c)$$

$$\alpha = \frac{2}{3} T_z \qquad (3.22d)$$

$$Q_{ult} = (c\ N_c + q'\ N_q + 0.5\ \gamma'\ B\ N_\gamma)\ A_1 + T_Z\ (n\text{-}1)s\ \pi\ D_{ort} + \alpha\ \pi\ d\ H_1 \qquad (3.22e)$$

Denklem (3.22a - 3.22e)'de yer alan parametrelerden A_1 helisel plaka alanı, T_z zeminin kayma mukavemeti, (n-1)s plakalar arasında kalan uzunluğun ifadesi, H_1 en üsteki taşıma plakası üzerinde kalan kazık gövde uzunluğunu ifade etmektedir.

Denklem (3.22e) hem basınç ve hemde çekme kapasitesi hesaplarında kullanılabilmektedir. Çekme kapasitesi hesaplarında denklem doğrudan kullanılmakta basınç kapasitesi hesaplarında ise denklemde yer alan A_1 parametresi yerine en derinde yer alan plakanın alanı olan A_n kullanılmaktadır.

4. KAZIKLARIN YERLEŞİMİ VE TORK KORELASYON METODU

Helisel kazıkların zemine yerleştirilme işlemi son derece basittir. Kazıkların yerleştirilebilmesi için zeminde ön delgi işlemi gerekmemektedir. Kazıklar belirlenen uygulama noktasında doğrudan yerleştirilebilmektedir. Kazıklar, plakaların yapısından dolayı yerleşim sırasında zemin örselenmesini en aza indirgeyecek şekilde tasarlanmıştır.

Helisel kazıklar, zayıf ve yumuşak zeminlerden donmuş zeminlere kadar çakıl içeriği çok fazla olan zeminler hariç tüm kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde sorunsuz bir şekilde yerleştirilebilmektedir. Kazıkların yerleştirilme aşaması YASS'nin düşük veya yüksek olmasından etkilenmemekte yerleşim sırasında suyun çalışma bölgesinden drenajı gerekmemektedir. Ayrıca hassas zeminlerin bulunduğu durumlarda yerleşim sırasında minimum seviyede titreşim oluştuğu için dinamik etkilerden dolayı zeminin yapısında bozulmalara da izin vermemektedir.

Kazıkların mühendislik hayatına girdiği ilk yıllarda kazık yerleştirme işlemi çark sistemi gibi mekanizmalardan yararlanılarak yapılmıştır. Daha sonraki yıllarda buhar gücü ile çalışan ekipmanlara geçilmiştir. Günümüzde ise gelişen teknolojiyle birlikte tork motorları kullanılmaya başlanmıştır. Tork motorlarının geliştirilmesi, kazıkların çok kısa sürede ve daha az ekipman kullanılarak yerleştirilebilmesine olanak sağlamıştır. Ayrıca daha büyük kesitli kazıkların zeminin daha derinlerine yerleştirilebilmelerine olanak sağlayarak daha yüksek kazık kapasitelerinin de elde edilebilmesini mümkün hale getirerek yüksek kazık kapasitesi gerektiren mühendislik uygulamalarında bu kazıkların daha fazla kullanılmasına imkan sağlamıştır.

Kazıklar, kazık şaftına uygulanan düşey yük ve burulma momentiyle yerleştirilmektedir. Uygulanan burulma momenti etkisiyle kazık dönerek plakalar yardımıyla zemine gömülmekte, düşey yük ise kazığın aşağıya doğru bastırılmasını sağlamaktadır. Kazık yerleşimi sırasında uygulanan burulma enerjisi tork motorlarından sağlanırken düşey yük aracın kolu vasıtasıyla sağlanmaktadır.

Kazık yerleşimi sırasında uygulanan tork ve düşey yükün büyüklüğü zeminin mukavemetine göre değişmektedir. Yüksek mukavemetli zeminlerde yerleştirilen kazıklarda, yerleşim için daha yüksek tork ve eksenel yük gerekirken, yumuşak zeminlerde bu işlem daha küçük tork ve eksenel yük ile yapılabilmektedir.

Helisel kazıkların yerleştirilmesinde iki tip hidrolik tork motoru kullanılmaktadır. Bunlar; büyük kesitli kazıkların yerleştirilmesinde araçlara takılarak kullanılan tork motorları (Şekil 4.1a) ve küçük kesitli ve az sayıdaki kazıkların yerleştirilmesinde elle kontrol edilebilen mini tork motorlarıdır (Şekil 4.1b).



a) b)

Şekil 4.1. Tork motorları: a) Büyük, b) Mini tork motoru (URL - 2, URL - 3)

Helisel kazıkların yerleşimi işlemi diğer kazıklara (delme kazıklar, çakma kazıklar vb.) göre çok daha kısa sürede tamamlanabilmektedir. Yüksek kapasiteli kazıklarda bile kazık yerleşimi 30 dakikadan daha kısa bir sürede gerçekleştirilebilmekte olup kullanılan ekipmana, kazık gömülme derinliğine, kazık geometrisine, tork gereksinimine, zemin yapısına ve işçiliğe bağlı olarak bu süre değişebilmektedir.

4.1. Kazık Yerleşim Torku

Kazık yerleşimi sırasında hidrolik tork motorlarından kazık şaftına aktarılan burulma momentleri kazık gömülme derinlikleri boyunca belirli aralıklarla göstergeçlerden okunarak kayıt altına alınmaktadır. Alınan kayıtlar kullanılarak kazık tasarımlarında kazığın tamamının yerleşmesi için kazığa uygulanması gereken minimum tork değerinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Minimum yerleşim torku, kazığın tamamının gömülmesi sırasında kazık şaftına uygulanması gereken minimum burulma momentini ifade eden bir kavramdır ve kazık yerleşiminde istenilen kapasitenin yakalanabilmesi için tasarımda belirlenen minimum tork ve gömülme derinliğinin elde edilmesi gerekmektedir. Çünkü kazık yerleşimi sırasında uygulanan tork kazık kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir.

Kazığın gömülmesi sırasında elde edilen tork değeri kazık yerleşim torku olarak ifade edilmektedir. Kazığın minimum yerleşim torkunun genellikle tasarımda belirlenen minimum torkun üzerinde olması istenmektedir. Kazık yerleşiminde kazık yerleşim torkunun belirlenmesi için izlenen yol şöyledir. İlk olarak derinliğe bağlı tork değişimleri grafiklenir. Elde edilen grafik üzerinden son gömülme derinliklerine karşılık gelen torku değerleri belirlenir. Son yerleşim derinlikleri için elde edilen tork değerlerinin ortalaması alınarak elde edilen tork değeri, kazık yerleşim torkudur.

Kazık tasarımlarına belirlenen gerekli minimum tork değeri çeliğin mukavemet özellikleri ve yapıdan kazıklara gelecek yükler dikkate alınarak belirlenir. Ayrıca kazıkların uygulama sırasında boyları arttırılabildiği için istenilen gömülme derinliğinde gerekli tork değeri elde edilemediğinde ilave kazık bölümleri kullanılarak yerleşim torku arttırılabilmektedir. Yerleşim sırasında tasarımda belirlenen torka eşit veya daha büyük tork elde edildiğinde ise çalışma tamamlanmaktadır.

Kazığın yerleşimi sırasında yapılan tork ölçümleri birkaç amaca birlikte hizmet etmektedir. Ancak ölçümlerin esas amacı kazık yerleşimi sırasında kazıktan beklenen kapasitenin doğrulanıp doğrulanmadığını tork ölçümleri yoluyla belirlemektir. Çünkü kazık yerleşim torku ile kapasite arasındaki doğru orantılı bir ilişki

bulunmaktadır. Tork ölçümlerinden elde edilen yerleşim torku verileri aynı zamanda zeminin mukavemet özelliklerinin de derinlere doğru değişiminin incelenebilmesine imkan verebilmektedir. Elde edilen kazık yerleşim torku verileri kullanılarak kapasite hesapları hızlı bir şekilde yapılabilmekte ve elde edilen kapasiteler diğer metotlarla elde edilen kapasitelerle karşılaştırılabilmektedir. Ayrıca ölçülen torklar zeminin farklı noktalarda mukavemet özelliklerinin karşılaştırılabilmesine de imkan sağlamaktadır.

Yüksek yerleşim torku değeri ve yüksek taşıma kapasitesi kazık üzerinde daha büyük çaplı ve daha fazla sayıda helisel plaka kullanılarak ve büyük kazık kesiti seçilerek daha sığ derinliklerde elde edilebilir. Daha derinlere gömülen kazıklarda ise zeminin derinlerine doğru tok değeri doğal olarak arttığından ve daha derinlere doğru sağlam zemin birimleri yer aldığı için kazık üzerinde daha az sayıda ve daha küçük çaplı plakalar kullanılarak istenen kazık taşıma kapasitesi ve tork değeri elde edilebilmektedir.

Kazık yerleşim torku, kazık geometrisi, yerleşim sırasında kullanılan ekipmanlar ve zemin ile ilgili birçok faktörden etkilenmektedir. Kazık geometrisi ve kullanılan ekipmana bağlı yerleşim torkunu etkileyen faktörler;

+ Tork ölçüm metodu,
+ Ortalama torku verecek kazık gömülme derinliği,
+ Aşağı yönlü uygulanan kuvvet,
+ Kazığın doğru konumda olması (düşey,15° eğimli vb.),
+ Bağlantı elemanlarının geometrisi ve yapıldığı malzeme özellikleri,
+ Seçilen kazık şaftının kesit özellikleri,
+ Kullanılan helisel plaka sayısı ve plakalar arası mesafe,
+ Helisel plaka adımı,

olarak Chance (2014)'de ifade edilmiştir.

Kazıkların sağlam zeminlerde daha yüksek taşıma gücüne ulaşabildiği tüm kazıklar için bilinen bir durumdur. Yerleşim torku açısından incelendiğinde ise sağlam zeminlerde kazıklar daha yüksek torklarda yerleştirilmektedir. Ayrıca elde edilen tork değerleri kazığın çekme ve batma direncini göstermektedir. Bu sayede zeminin

sağlamlığı veya zayıflığının hakkında yorum yapılabilir. Yerleşim torku ile kazık kapasitesi arasında doğrudan ilişki bulunduğundan dolayı ölçülen yerleşim torku büyüdükçe kazık daha büyük kapasiteye ulaşmaktadır. Dolayısı ölçülen tork değerlerinden kazığın yüksek kapasiteli mi düşük kapasiteli mi olacağı hakkında daha kazık yerleşimi sırasında fikir sahibi olunabilir. Pack (2009) yüksek torklarda yerleştirilen kazıkların kapasitelerinin de yüksek olduğunu, daha sağlam zeminlerde daha yüksek tork değerlerinin ölçüldüğünü ifade etmiştir.

Kazığa uygulanan tork malzeme mukavemeti ile sınırlıdır. Bu nedenle özellikle tasarım aşamasında kazık yerleşim torku belirlenirken kazığın imal edildiği çeliğin mukavemeti dikkate alınmaktadır. Chance şirketinin yayınladığı kılavuzda, kazık tasarımı yapılırken kullanılan kazık elemanlarının seçiminde malzemenin taşıyabileceği torkla ilgili mukavemet özelliklerinin üreticinin belirlediği tablolardan yararlanılarak yapılması gerektiğini belirtmiştir. Yerleşim torkunun belirlenen tork değerini en fazla %10 aşacak şekilde olmasına dikkat edilmesi ve tahmini yerleşim torku değerinin en az %30 daha fazlasını sağlayacak kazık boyutlarının seçilmesi önerilmiştir.

Kazık için gerekli yerleşim torku kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlerde farklı zemin parametrelerinde etkilenmektedir. Şunu da belirtmek gerekir ki kazık yerleşim torku, kazık kapasitesinde olduğu gibi kazık ve zemin parametrelerinin toplamının bir fonksiyonudur. Kohezyonlu zeminlerde yerleşim torku üzerinde en önemli faktör zeminin drenajsız kayma mukavemeti (s_u)'dir. Kohezyonsuz zeminlerde ise yerleşim torkuna etkili zemin parametreleri zemini içsel sürtünme açısı (**Φ**) ve birim hacim ağırlığı (γ)'dır. YASS konumu da uygulamada kazık yerleşimini etkilememesine rağmen kohezyonlu ve kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklar için tork üzerinde önemli bir parametredir.

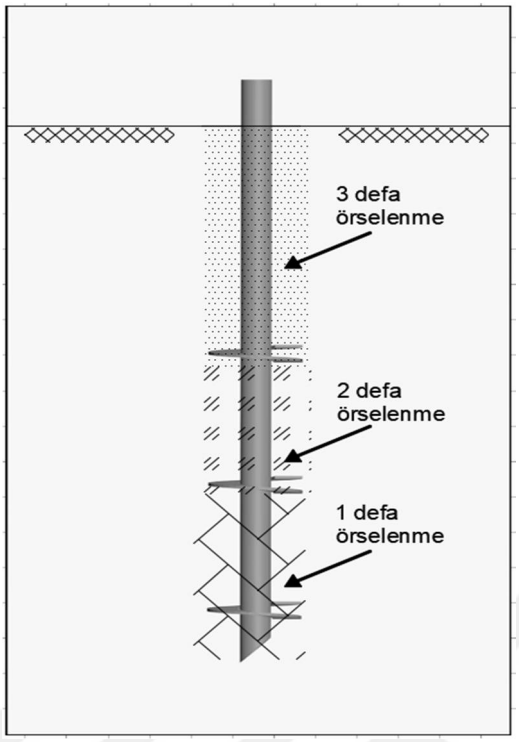
Yerleşim torku üzerinde kazık elemanlarının geometrik özellikleri yerleşim torkunu etkileyen diğer önemli faktördür. Kazığın yerleştirildiği zemin grubu farketmeksizin kazık geometrisi ne kadar büyükse gerekli yerleşim torku da o derece artmaktadır. Çünkü kazık geometrisinin artması kazığın zeminle temas haline geçen toplam yüzey alanını arttırmakta bu durum kazığın gömülmesi sırasında karşılaşılan zemin direncinin artmasına neden olmaktadır. Artan direncin aşılabilmesi için kazığa daha

yüksek yerleşim torku uygulanarak yerleştirilmektedir. Yerleşim torku üzerinde kazık geometrisiyle ilgili belirleyici kazık parametreleri; kazık gömülme derinliği (z), kazık gövde çapı (d), helisel plaka çapı (D), helisel adım (p), plaka sayısı (n) ve helisel plakaların gömülme derinliği (H_i)'dir. Kazık elemanlarının büyük kesitlerde olması yerleşim sırasında gerekli torku arttırırken doğrudan kazık kapasitesinin de artmasına neden olmaktadır. Bu durum ekonomik yönden maliyeti arttırmasına rağmen kapasite açısından daha güvenilir tarafta kalınmasını sağladığı için aslında istenilen de bir durumdur.

$$T = f(\text{zeminin özellikleri}) + f(\text{kazığın geometrik özellikleri})$$

$$T = f(\Phi, \gamma,\ c, s_u, YASS) + f(L, d, D, n, p, H_i)$$

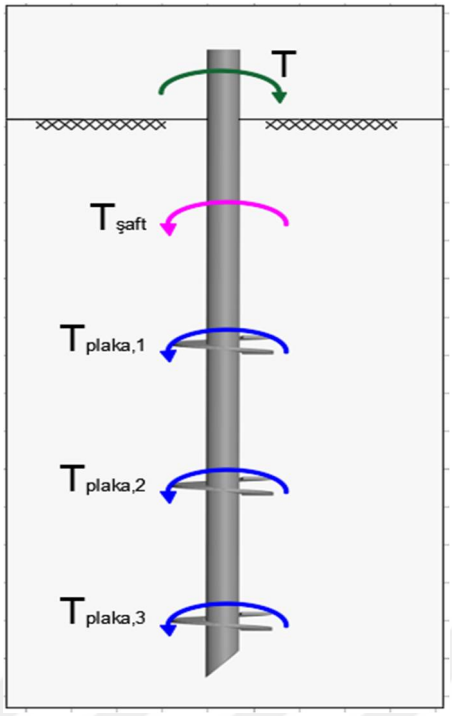
Kazık yerleşimi sırasında meydana gelen örselenme kazık kapasitesini önemli ölçüde etkilemektedir. Örselenmenin derecesi arttıkça zeminin mukavemeti yüksekten düşüğe doğru geçiş yapmaktadır. Bunun sonucunda da kazıktan istenen taşıma kapasitesi elde edilememektedir. Kazığın yapısı yerleşim sırasında örselenmeyi minimal seviyede tutacak bir yapıya sahiptir. Ancak yerleşim sırasında bir miktarda olsa örselenme oluşmaktadır. Oluşan örselenme miktarı kazık üzerinde bulunan plakaların sayısına bağlı olarak değişmektedir. Kazık yerleşiminde zeminin örselenme miktarı yüzeyden derine doğru azalırken, zemin yüzeyine doğru artmaktadır. Örneğin üç helisel plakalı sahip kazıklarda kazığın yerleşimi tamamlandığında zeminin yüzeye yakın bölümünden üç plaka geçecektir. Dolayısıyla zemin 3 defa örselenecektir. Orta bölümdeki zemin kısmından ise iki plaka penetrasyonu gerçekleşecektir. En alttaki zemin kısımda ise sadece en alttaki plakadan dolayı zemin 1 defa örselenmeye uğrayacaktır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2. Plaka sayısı ve örselenme ilişkisi

Kazık yerleşimi sırasında tork motorlarından kazık şaftına aktarılan enerjinin küçük bir kısmı kazık ve zemin arasında yerleşim sırasında gelişen sürtünme nedeniyle kayba uğrar. Kalan kısım ise kazığın gömülmesi için gereken enerjiyi karşılamaktadır. Oluşan enerji kayıplarının nedeni iki mekanizmaya bağlıdır. Bunlar sürtünme ve penetrasyon direncidir. Chance (2006)'de kazıkların yerleşiminde kazığa uygulanan burulma momenti etkisiyle kazık elemanlarında oluşan burulma direncinin üzerinde sürtünme ve penetrasyon direnci olmak üzere ikiye ayrıldığı ifade edilmiştir. Watson (2011)'de ise yerleşim sırasında oluşan sürtünme direncinin penetrasyon direncinden önemli derecede büyük olduğu ifade edilmiştir.

Kazığın sürtünme ve penetrasyon direnci zeminin mukavemeti ve kazığın geometrik özelliklerine bağlı olarak değişmektedir. Kazık yerleşimi sırasında oluşan direnç aslında kazık şaftı ve helisel plakaların zemine karşı gösterdiği dirençlerin toplamıdır(Şekil 4.3.). Yani başka bir deyişle uygulanan yerleşim torku ile gelişen direnç torkları, kazık şaftı ve helisel plakalarda oluşan direnç torklarının toplamı şeklindedir (Denklem 4.1).



Şekil 4.3. Direnç torku bileşenleri

$$T = T_{şaft} + \sum_{i=1}^{n} T_{plaka,i} \tag{4.1}$$

Burada T toplam kazık yerleşim torku, $T_{plaka,i}$ helisel plakalara ait direnç torku, $T_{şaft}$ kazık şaftında gelişen direnç torkudur.

Yerleşim sırasında oluşan direnç torku içerisindeki kazık şaftından gelen pay, helisel plakaların toplam tork içerisindeki payından daha yüksektir ve bu oran derinlik arttıkça artmaktadır. Derinlik artıkça uygulanan toplam tork değeri içerisinde kazık şaftında oluşan direnç torkunun payı artmakta plakalardan gelen pay ise düşmektedir.

Kazık yerleşimi için uygulanan enerji, kazığın istenilen derinliğe ulaşabilmesi için gerekli enerji ve kazık ile zemin arasındaki sürtünmelerden kaynaklanan enerji kayıplarının toplamına eşittir. Kazığa uygulanan enerji sürtünme ve penetrasyon dirençlerinin aşılmasını sağlamaktadır ve bu iki kavram birbirleri ile ilişkilidir.

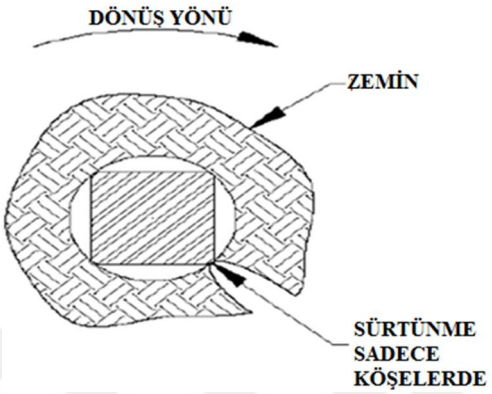
Yerleşim sırasında gelişen sürtünme direnci, şaft direnci ve plakaların sürtünme direncinden oluşmaktadır. Plaka çapı ve şaftın kesiti büyüdükçe zemin ile kazık elemanları arasında temas yüzey alanı artmakta dolayısıyla sürtünme direnci daha yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Kazık gövde kesit tipi, sürtünme direnci üzerinde

önemli bir faktördür. Dairesel kesitli kazıklarda yerleşim sırasında şaftın tüm dış yüzeyi zeminle temas halindeyken kare kesitli kazık şaftlarında sadece kare şaftın köşe noktaları zeminle temas(yerleşimde başlangıç aşaması hariç) halindedir(Şekil 4.4 ve 4.5). Bu nedenle dairesel kesitli kazık şaftı ile zemin arasında kare kesitli şafta göre temas eden yüzey alanı daha büyük olduğu için daha büyük sürtünme dirençleri gelişmektedir. Dolayısıyla dairesel kazık şaftlı kazıklarda kare kesitli kazıklara göre oluşan bu yüksek zemin direncinin aşılması ve kazığın yerleştirilebilmesi için gerekli yerleşim torku daire gövde kesitli kazıklarda daha yüksektir. Bu durum kare kesitli kazıkların dairesel kesitli kazıklara göre daha küçük torklarda yerleştirilmelerinin nedenini açıklamaktadır. Watson (2011) dairesel kesitli kazık şaftlarının kazık yerleşim sırasında uygulanan burulma momentlerinin transferi açısından avantajlı olmasına rağmen kazık şaftında meydana gelen sürtünme direncinin dairesel şaftın dezavantajı olduğunu belirtmiştir.

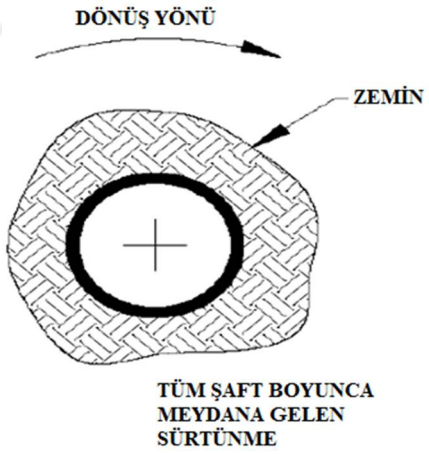
Penetrasyon direnci, kazığın zemine gömülmesi sırasında zeminin kazığın gömülmesine karşı gösterdiği direnci ifade eden bir kavramdır. Penetrasyon direnci üzerinde kazığı oluşturan eleman kesitlerinin ve zemin mukavemetinin artmasıyla birlikte artmaktadır. Kazık yerleşimi sırasında gelişen penetrasyon direnci aynı sürtünme direncinde olduğu gibi plakalardan ve kazık şaftından kaynaklı olmak üzere iki aşamaya ayrılmaktadır. Helisel kazıklar yerleştirilirken kazık şaftına uygulanan burulma enerjisiyle plakalar zemini keserek derinlere doğru ilerler. Helisel plakanın zeminle ilk temas eden kısmı kayma direnci açısından önemlidir. Kazıkta kullanılan plakanın et kalınlığı ve plaka çapı arttıkça penetrasyon direnci de buna paralel olarak artmaktadır. İnce helisel plakalar ise yerleşim sırasında daha küçük kalınlıktaki zemini keserek ilerlerken kalın plakalar daha kalın zemin bölümünü keserek ilerler. Bu durum büyük çaplı ve et kalınlığı daha fazla olan plakaların neden daha büyük zemin direnciyle karşılaştığını açıklamaktadır. Helisel plakalar zemini keserek ilerlerken zeminde bir miktar örselenmeye neden olmaktadır. Chance (2006)'de plaka ilerlerken plaka çevresinde meydana gelen zemin deplasman miktarının plaka kalınlığının yarısı kadar olduğu ifade edilmiştir (Şekil 4.6).

Kazık şaftının penetrasyon direncine etkisi incelendiğinde büyük gövde kesitli kazıkların zemine gömülebilmesi için daha büyük düşey yük ve daha büyük burulma momenti uygulanması gerekmektedir. Çünkü daha büyük kesitli kazık şaftları daha

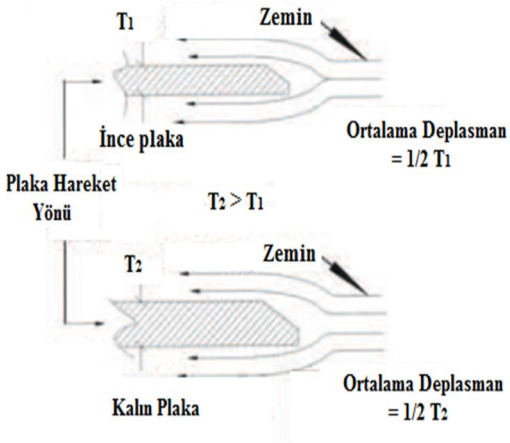
fazla zemini etkileyerek derine doğru ilerlemektedir. Chance (2006)'de kazık şaftından kaynaklı zeminde oluşan deplasman miktarının ortalama kazık gövde yarıçapına eşit olduğu ifade edilmiştir (Şekil 4.7). Çünkü kazık yerleşimi sırasında gereken penetrasyon enerjisi yer değiştiren zeminin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. ve zemin penetrasyon direncinin aşılabilmesi için fazla enerji uygulandığında daha büyük zemin kütlesi harekete geçmektedir.



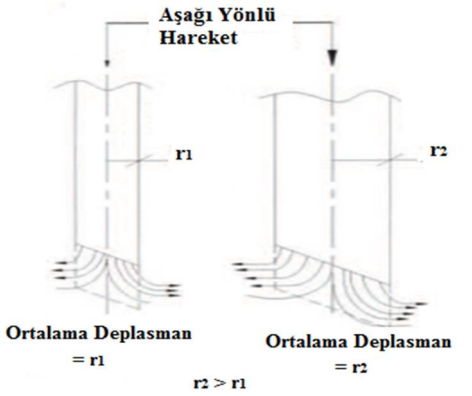
Şekil 4.4. Kare şaftta sürtünme (URL - 4)



Şekil 4.5. Daire şaftta sürtünme (URL - 4)

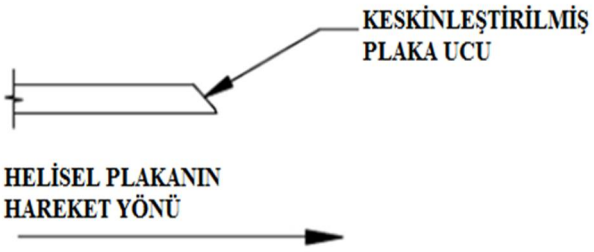


Şekil 4.6. Plaka etrafından zemin hareketi (Chance, 2006)



Şekil 4.7. Kazık şaftı etrafından zemin hareketi (Chance, 2006)

Helisel plakaların bir ucu zemini kesmesi amacıyla keskinleştirilmiştir. Sivri uç yerleşim sırasında bıçak görevi görmektedir (Şekil 4.8). Kazık yerleşimi sırasında plakanın keskin ucu penetrasyon direncini azaltıcı yönde etki oluşturmaktadır.



Şekil 4.8. Bir kenarı keskinleştirilmiş plaka (URL - 4)

Helisel plaka sayısının artması ile zeminde örselenmenin derecesinin arttığı daha önce ifade edilmişti. Lutenegger (2014) yaptığı çalışmada örselenme faktörü değeri tanımlamıştır.

$$\text{Örselenme faktörü} = \frac{\text{Birim ilerleme başına düşen dönüş sayısı}}{\text{İlerleme/Helisel adım}} \qquad (4.2)$$

En ideal örselenme faktörü değerinin 3 inç (76, 2 mm) helisel adıma sahip kazıklarda 1 olduğunu ifade etmiştir.

4.2. Kazık Yerleşiminde Kullanılan Ekipmanlar

Helisel kazıkların yerleşimi az sayıda ve nakliyesi kolay ekipmanlar kullanılarak yapılmaktadır. Kazık yerleşiminde yerleşim için kazığa gerekli enerjiyi aktaracak tork motoru, tork motorunun takılacağı mobil araç ve tork ölçüm cihazı ile kazıklar yerleştirilebilmektedir.

Helisel kazıkların yerleştirilmesinde kullanılan tork motorları tasarımda belirlenen minimum yerleşim torkuna eşit ya da daha büyük kapasitede olmalıdır. Perko (2009) yerleşimde kazıkların zemin örselenmesini minimal seviyede tutabilmek için düşük hızlı tork motorları kullanılarak kazıkların yüksek torklarda yerleştirilmelerini önermiştir. Perko, kullanılan tork motorlarının burulma momenti kapasitelerinin 6000 - 10000 Nm ve üzeri, devir yapma sayılarının ise 10-30 tur (rpm) olması gerektiğini ifade etmiştir.

Kazık yerleşimi sırasında uygulanan tork değerleri çeşitli göstergeçler tarafında doğrudan ölçülebilmektedir. Helisel kazıklarda dört tipte tork ölçüm cihazı kullanılmaktadır. Bunlar; mekanik tork göstergeci, kayma pimi tork sınırlayıcı, dijital tork göstergeci ve diferansiyel basınçlı tork göstergeçleridir. Günümüzde en çok sonuçların doğrudan okunabildiği dijital tork göstergeçleri kullanılmaktadır.

4.3. Tork Korelasyon Metodu ve K_T Katsayısı

Helisel kazıklarda eksenel kapasitenin belirlenmesinde kullanılan metotlardan birisi de tork korelasyon metodudur. Bu metot, ampirik bir metot olup kazık kapasitesi ve tork arasındaki ilişkiden yola çıkarak geliştirilmiştir. Tork korelasyon metodu, kazık yerleşimi sırasında kazığa uygulanan tork verilerinin kullanılarak kazık kapasitesinin yerel zemin şartlarında belirlenebildiği, kazık yükleme deneyine gerek kalmadan özellikle detaylı zemin özelliklerinin bilinmediği ve uygulamaların hızlı yapılması gerektiği durumlarda gerçekçi kapasite değerlerinin hızlı ve ekonomik bir şekilde elde edilmesini sağlayan bir metottur. Tork motorlarının ve tork ölçüm cihazlarının kullanılmaya başlaması bu metodun geliştirilmesine olanak sağlamıştır.

Tork korelasyon metoduyla ilgili çalışmalar ilk defa Chance şirketi tarafından yapılmış fakat literatüre Hoyt ve Clemence (1989)'in kazıkların çekme kapasiteleri üzerine yaptığı çalışmayla kapasite hesaplarında kullanılabilir hale getirilmiştir. Hoyt ve Clemence yaptıkları çalışmada farklı zemin tiplerinde ve farklı kazık geometrilerine sahip kazıklar için elde ettikleri kapasite ve tork verilerini incelemiş, kapasite ve yerleşim torku arasında ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Buradan yola çıkarak da bu metodu geliştirmişlerdir.

Hoyt ve Clemence'in yaptığı çalışmada 91 adet kazık yükleme testi 24 farklı çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar kum, kil ve silt birimlerini temsil edecek zemin birimlerinde yapılmış, farklı çap ve uzunluklarda kazıklar kullanılarak yükleme testleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda da eksenel kapasite hesaplarının yapılabildiği tork korelasyon metodu denklemini geliştirmişlerdir (Denklem 4.3). Bu denklemde kazığın nihai kapasitesi kazık yerleşimi için uygulanan tork değerinin K_T ile ifade edilen bir katsayı ile çarpılmasıyla elde edilmektedir. Yani bu metotta kazık kapasitesi, yerleşim sırasında uygulanan torkun birkaç kat arttırılmış haline eşittir.

Kazığın nihai kapasitesi;

$$Q_{ult} = K_T \, T \tag{4.3}$$

ile hesaplanabilmektedir. Burada, T kazık yerleşim torku, K_T ise kapasite tork oranını ifade eden bir parametredir ve birimi m^{-1}'dir.

Bu metotta kazığın yerleşimi sırasında son gömülme derinliklerinde uygulanan yerleşim torku değerinin belirlenmesi gerekmektedir. Yerleşim torku, tork ölçüm cihazları tarafında kolayca belirlenebilirken esas önemli olan K_T katsayısının seçimidir. Tez çalışması kapsamında da detaylıca incelenecek olan bu parametre literatürde kazık gövde çapına bağlı olarak önerilmektedir.

Tork korelasyon metoduyla elde edilen sonuçların güvenilirliği karşılaştırılmak istenirse Hoyt ve Clemence'in çalışmasından elde edilen sonuçlar örnek olarak gösterilebilir. Hoyt ve Clemence yeni geliştirdikleri metodu kullanarak hesapladıkları kapasiteleri diğer teorik metotlarla karşılaştırmışlar ve tork korelasyon metodunun diğer teorik metotlara göre daha güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Çalışmada elde edilen sonuçların birbirlerine göre kıyaslamaları Tablo 4.1'de verilmiştir. Tablodan görülebileceği gibi üç yönteme göre hesaplanan kapasite değerleri ve veri analizlerinde elde edilen sonuçlara göre karşılaştırıldığında elde edilen arazi değerleri ile hesaplanan maksimum ve minimum kapasite değerleri arasındaki fark tork korelasyon metodunda en düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bu metoda göre standart sapma değerinin diğer iki yönteme göre daha düşük olduğu belirlenmiştir. Standart sapmanın diğer iki metoda göre daha küçük olması tork korelasyon metodunun diğer metotlar arasında gerçeğe daha yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bunun nedeni tork korelasyon metodunun zeminin heterojen bir yapıda olmasından kaynaklı yerel zemin şartlarını diğer teorik metotlara göre daha iyi temsil etmesi ve kazığın yerleşimi sırasında oluşan zemin örselenme etkisinin de kazık yerleşim torku içerisinde yer almasıdır.

Tablo 4.1. Hoyt ve Clemence (1989)'in çalışmalarında elde ettiği sonuçlar

Çekme Kapasitesi Oranları $\left(\frac{Q_{gerçek}}{Q_{hesaplanan}}\right)$					
Kullanılan Metot	**Minimum**	**Maksimum**	**Ortalama**	**Standart Sapma**	**Medyan**
Silindirik Kesme	0,07	7,29	1,50	1,18	1,15
Bireysel Taşıma	0,03	7,04	1,56	1,28	1,26
Tork Korelasyon	0,30	4,67	1,49	0,88	1,30

Tork korelasyon metodunda ilgili kazığa ait yerleşim torkunun ölçülmesi kadar kullanılacak K_T katsayısının seçimi de önemli bir husustur. Denklem (4.1)'de ifade edilen K_T katsayısı kazığın eksenel kapasitesinin yerleşim torkuna oranlanması ile elde edilen bir sayıdır. Zeminin heterojen yapıda olması, kullanılan ekipmanlar, kazık geometrisi ve işçilik gibi faktörlerden dolayı bu sayı sabit bir değer değildir. Chance (2006)'de ifade edildiği gibi kazığın yerleştirildiği zemine göre K_T katsayıları incelendiğinde normal konsolide killerde bu değerin ortalama, aşırı konsolide killerde yüksek, hassas killerde ortalamanın altında, kumlarda ise yüksek değerlere ulaştığı ifade edilmektedir. FSI Technical Manual (2014)'de K_T katsayısının çakıllarda, kumlarda ve aşırı konsolide killerde yüksek, normal konsolide killerde, siltlerde ve konsolide olmamış killerde ise bu değerlerin ortalamadan daha düşük olduğu ifade edilmiştir. K_T katsayısı, kazığın çok yumuşak, gevşek ve hassas zemin birimlerinde yerleştirilmesi durumunda normalden daha küçük değerde elde edilmektedir. Bunun nedeni olası zemin örselenmesinde zeminin kayma direncini kaybetmesinden dolayı daha düşük yerleşim torklarının elde edilmesidir.

Tork korelasyon katsayısı, kazık geometrisi ve kazığın yerleştirildiği zemin ile ilgili birçok faktörden etkilemektedir. Bunlar; zemin türü, helisel plaka kalınlığı, plaka sayısı, şaft boyunca helisel plakalar arasındaki mesafe, plakaların çapı, kazık gömülme derinliği, helisel eğim miktarları, kazık yerleştirilmesi sırasında uygulanan kuvvet, kazık yükleme doğrultusu olarak ifade edilmektedir. Ayrıca kullanılan ekipmanların yanlış kullanımı veya standartlara uymayan ekipmanlarla çalışılması K_T değerlerinin olması gereken değerden farklı bulunmasına neden olmaktadır(FSI, 2014).

Literatürde K_T katsayıları kazık gövde çapına bağlı ifade edilmiştir. Literatürde başta Hoyt ve Clemence (1989) tarafından önerilenler olmak üzere CFEM (2006), AC358 (2007), IBC (2009), Chance (2014)'de K_T değerleri kazık gövde çapına bağlı olarak önerilmiştir. Önerilen değerler Tablo 4.2 - 4.6'da ifade edilmiştir.

Tablo 4.2. Hoyt ve Clemence (1989) tarafından önerilen K_T faktörleri

Şaft Kesiti	**Boyut mm(inç)**	**K_T m^{-1} (ft^{-1})**
Kare	-	33 (10)
Daire	<89 mm (< 3,5)	33(10)
Daire	89 mm (3,5)	23(7)
Daire	219 (8,63)	9,8(3)

Tablo 4.3. AC358 (2007) tarafından önerilen K_T faktörleri

Şaft Kesiti	**Boyut mm (inç)**	**K_T m^{-1} (ft^{-1})**
Kare	38,1 × 38,1 (1,5 × 1,5)	33 (10)
Kare	44,45 × 44,45 (1,75 × 1,75)	33 (10)
Daire	73,0 (2,875)	29,67 (9)
Daire	76,2 (3,0)	26,34 (8)
Daire	88,9 (3,5)	23 (7)

Tablo 4.4. IBC (2009) tarafından önerilen K_T faktörleri

Şaft Kesiti	**Boyut mm (inç)**	**K_T m^{-1} (ft^{-1})**
Daire	60,32 (2,375)	33 (10)
Daire	73,0 (2,875)	29,67 (9)
Daire	88,9 (3,5)	26,34 (8)
Daire	114,3 (4,5)	23 (7)

Tablo 4.5. Chance (2014) tarafından önerilen K_T faktörleri

Şaftı Kesiti	**Boyut mm (inç)**	**K_T m^{-1} (ft^{-1})**
Kare	≤ 57,15 × 57,15 (≤ 2,25 × 2,25)	33 (10)
Daire	73,0 (2,875)	29,67 (9)
Daire	88,9 (3,5)	23 (7)
Daire	114,3 (4,5)	19,67 (6)

Günümüzde tork korelasyon metodunda kullanılan K_T katsayıları kazık gövde çapına bağlı seçilmekte, kazık ve zeminle ilgili diğer özellikler dikkate alınmamaktadır. Bu nedenle tez çalışması kapsamında tork korelasyon metodunda kapasite hesaplarında kullanılacak K_T katsayılarının daha fazla parametre dikkate alınarak seçilebilmesi için incelemeler yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar BÖLÜM 6, 7, 8 ve 9 'da yer almaktadır.

5. K_T FAKTÖRLERİNİN İNCELENMESİ

5.1. Malzeme ve Yöntem

Tez çalışması kapsamında helisel kazıklarda tork korelasyon metodu yönteminde kapasite hesapları için gerekli iki parametreden birisi olan K_T katsayısının detaylı bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez çalışmasında kullanılan kazık verileri literatür çalışmaları incelenerek yayımlanmış helisel kazık yükleme testleri ve yerleşim torku verileri bir araya getirilerek elde edilmiştir. Çalışmada toplam 366 adet kazık yükleme test sonucu ve yerleşim torku verisi kullanılmıştır. Bu kazıklardan 3 tanesi 4 plakaya sahiptir. Kullanılan verilerin referansları ve özellikleri Tablo 5.3'de yer almaktadır. Her bir kazığa ait kazık kapasite ve yerleşim torku değerleri birbirlerine oranlanarak her bir kazık için ayrı ayrı K_T katsayısı hesaplanmıştır. Araştırmacıların çalışmalarında doğrudan yayımlanmış olduğu K_T değerleri ise tekrardan bir hesaplama yapılmadan doğrudan kullanılmıştır. Daha sonra K_T katsayıları ilgili özelliklerine göre analizlerde kullanılabilmesi için ayrı ayrı sınıflandırılarak K_T katsayıları kazığın yerleştirildiği zemin özelliklerine, kazık geometrisine, kazık yükleme tipine ve kazık kapasitesinin belirlendiği metotlara göre incelenmiştir.

Çalışmada K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerde izlenen yol şu şekildedir. ilk aşamada tüm kazık verilerinden elde edilen K_T katsayıları bir araya getirilmiş ve yükleme tipine göre iki ana gruba ayrılmıştır. Yükleme tipinin K_T katsayısı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. İkinci aşamada, tüm kazık verileri birlikte değerlendirilerek analizler yapılmıştır. Daha sonra tüm K_T değerleri kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre, kazık üzerindeki plaka sayısına göre alt sınıflara ayrılarak incelemeler yapılmıştır. Üçüncü aşamada ise kazık kapasitesinin

arazi testlerinde belirlendiği metotlara göre K_T katsayıları sınıflandırılarak incelenmiştir. Her aşama içerisinde K_T katsayıları daha spesifik özelliklerine göre alt gruplara ayrılarak (örneğin plaka sayısına göre) analiz edilmiştir. Analizler bazen bir parametre dikkate alınarak bazen de birkaç parametre birlikte dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan analizlerde K_T katsayılarının ait olduğu sınıfa ait frekans dağılımları belirlenmiş ve frekans histogram grafikleri oluşturulmuştur. Ayrıca her grup için K_T değerlerinin aritmetik ortalama, medyan, varyans ve standart sapma değerlerini içeren M.E.Y.Ö. hesaplanarak veri setlerinin daha iyi anlaşılması amacıyla tablolar halinde ifade edilmiştir. Yapılan analizlerde her bir sınıfa ait K_T katsayıları üzerinde kazık üzerinde bulunan ortalama plaka çapı (D_{ort}, kazık üzerinde bulunan plakaların ortalama çapı), plaka sayısı gibi özellikleri dikkate alınarak dağılım grafikleri elde edilmiş ve eğri denklemleri geliştirilmiştir. Tek plakaya sahip kazıklar için plaka çapına göre K_T dağılım grafiklerinde kazık üzerindeki plakanın çapı ortalama plaka çapı şeklinde ifade edilmiştir. Bu çalışmada literatüre katkı sağlaması amacıyla hem kazık hem de zemin özelliklerinin birlikte temsil edildiği yerleşim torku verilerine göre K_T katsayılarının seçilmesi önerilmiş ve denklemler geliştirilmiştir. Yapılan çalışma kapsamında ayrıca geliştirilen K_T denklemleri kullanılarak ilgili şartlarda kapasite hesaplarına gidilebilecek eksenel kapasite denklemleri de geliştirilmiştir.

Tez kapsamında geliştirilen denklemler ($R^2 > 0, 600$) geçerli olduğu koşullarla birlikte BÖLÜM 10'da topluca tablolar halinde sunulmuştur. Ayrıca tezin BÖLÜM 10 kısmında da sadece tork, tork - kazık çapı, tork - ortalama plaka çapı parametreleri kullanılarak kapasite hesapları için geliştirilen kapasite denklemleri de tablolar halinde sunulmuştur.

Tez çalışması kapsamında analizlerde kullanılan bazı istatistik parametreleri ve kullanılan kazık kapasite yöntemleri hakkında kısa açıklamalar bu bölümün 5.2 ve 5.3 kısımlarında açıklanacaktır.

Tez çalışması kapsamında K_T faktörleri üzerinde yapılan incelemeler ve elde edilen sonuçlara BÖLÜM 6, 7, 8 ve 9'da yer verilmiştir.

BÖLÜM 6 ve 7'de K_T katsayıları kazık yükleme tipine göre iki ana başlık altında toplanarak iki bölüm kapsamında incelenmiştir. İki bölümde de K_T katsayıları kazık

üzerinde bulunan plaka sayısı ve zemin grupları dikkate alınarak alt gruplara ayrılarak analiz edilmiştir.

BÖLÜM 8 ise iki alt başlıktan oluşmaktadır. İlk kısımda tüm kazıklara ait K_T katsayıları birlikte bir grup olarak analiz edilmiştir. Daha sonra K_T katsayıları kazık üzerinde bulunan plaka sayılarına göre üç alt gruba ayrılarak incelenmiştir. İkinci kısımda ise kazıkların yerleştirildiği zemin grubuna (kohezyonlu ve kohezyonsuz) göre kazık üzerinde bulunan plaka sayıları dikkate alınarak incelenmiştir.

BÖLÜM 9'da ise arazi yükleme testlerinde kazık kapasitesinin belirlendiği yönteme dikkate alınarak K_T verileri incelenmiştir. Yapılan sınıflamada K_T katsayıları arazi yükleme testlerinde en çok kullanılan metotlar olan %5 limit deplasman metodu, %10 limit deplasman metodu ve Davisson limit deplasman metodu olmak üzere üç alt grupta incelenmiştir. Bu metotların özellikleri kısım 5.3'de açıklanmıştır.

Çalışmalarda tablo ve şekil açıklamalarını daha sade hale getirebilmek için birkaç özellik birlikte tek sembol altında toplanmıştır. Kullanılan sembollerin açıklamaları Tablo 5.1'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Analizlerde kullanılan sembollerin açıklamaları

Simge	Açıklama
A	Üzerinde basınç testi yapılan kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş daire gövde kesitli kazıklar
B	Üzerinde çekme testi yapılan kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş daire gövde kesitli kazıklar
C	Üzerinde çekme testi yapılan kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş kare gövde kesitli kazıklar
D	%5 limit deplasman metoduna göre belirlenmiş kapasite ve yerleşim torku oranlanarak K_T katsayısı hesaplanan kazıklar
E	%10 limit deplasman metoduna göre belirlenmiş kapasite ve yerleşim torku oranlanarak K_T katsayısı hesaplanan kazıklar
F	Üzerinde çekme testi yapılan kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kare gövde kesitli kazıklar
G	Üzerinde çekme testi yapılan kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş daire gövde kesitli kazıklar
H	Davisson limit deplasman metoduna göre belirlenmiş kapasite ve yerleşim torku oranlanarak K_T katsayısı hesaplanan kazıklar

5.2. Arazi Kapasite Metotları

Helisel kazıklarda arazi kazık yükleme testleri ile kazığın nihai eksenel kapasitesinin belirlenmesi amacıyla kullanılan birçok metot bulunmaktadır. Bu metotlar Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Tez kapsamında helisel kazıklarda günümüzde en çok kullanılan kapasite metotları (%5 limit deplasman metodu, %10 limit deplasman metodu ve Davisson limit deplasman metodu) ile belirlenen kapasite değerleri kullanılmıştır. Bu metotlar arazi kazık yükleme testlerinden kazığın yaptığı oturmalar ve oturmalara karşılık gelen deformasyonlardan yola çıkılarak kapasitenin belirlendiği metotlardır.

Tablo 5.2. Arazi yükleme testlerinde helisel kazık kapasitesinin belirlenebildiği metotlar

Brinch Hansen %80 Yöntemi (1961)
Brinch Hansen %90 Yöntemi (1963)
L1 - L2 Metodu (1989)
Davisson Limit Deplasman Metodu (1972)
De Beer Yenilme Metodu
Decourt's Extrapolation Metodu
%5 Limit Deplasman Metodu
%10 Limit Deplasman Metodu
Chin Yenilme Kriteri
Butler - Hoy Yöntemi (1976)
Mazurkiewicz Metodu

5.2.1. %5 limit deplasman metodu

%5 metodu helisel kazıklarda arazi kazık yükleme testlerinden nihai eksenel kapasitenin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir metottur. Bu metoda göre kazığın nihai taşıma gücü, kazık üzerindeki plaka çapının %5'i kadar oturmaya karşılık gelen karşılık gelen yük değeri olarak belirlenmektedir. Aynı kazık üzerinde değişken çaplarda helisel plakaların olması durumunda ise helisel plakaların ortalama çapının %5'ine karşılık gelen yük kazığın nihai kapasitesi olarak belirlenmektedir. Bu metotta plaka çapının artması ile belirlenen nihai yük doğru orantılı olarak artmaktadır.

5.2.2. %10 limit deplasman metodu

Helisel kazıklarda arazi yükleme testlerinden kapasite değerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan ikinci metottur. Bu metotta kazık üzerinde bulunan plaka çapının %10'u kadar oturma değerine karşılık gelen yük değeri kazığın nihai kapasitesi olarak belirlenir. Bu metotta %5 metodunda olduğu gibi kazık üzerinde yer alan plaka çapının artması ile plaka çapının %10'una karşılık gelen deplasman değerinde daha büyük yenilme yüklerinin elde edilmesine neden olmaktadır.

5.2.3. Davisson limit deplasman metodu

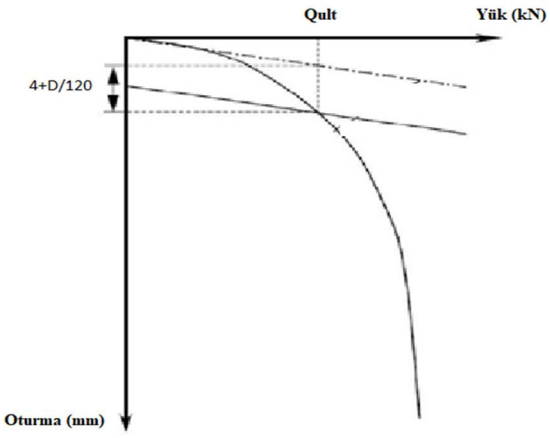
Davisson yöntemi (1972)'ne göre kazığın yenilme yükü bir S oturma değerine karşılık gelen yükü ifade etmektedir. Meydana gelen oturma değeri üç bileşenin toplamından oluşmaktadır ve Denklem (5.1)'deki gibi;

$$S_D = 4 + \frac{P\,L}{A\,E} + \frac{D}{120} \tag{5.1}$$

ile hesaplanır.

Burada P kazığa etkiyen eksenel yük, D kazık çapı, A kazık kesit alanı, L kazık uzunluğu, E ise kazığın eleatisite modülüdür.

Davisson yenilme kriterine göre yük - deplasman eğrisi üzerinden ilk aşamada kazığın elastik davranış gösterdiği kısım belirlenir. Elastik davranışın belirlendiği eğri üzerinde teğet bir doğru çizilir. Çizilen bu doğru yatay ile 20° açı yapacak şekilde yerleştirilmesi önerilmektedir (Khan, 2016). Çizilen bu doğruya paralel oturma ekseninin başlangıç noktasından 4 + D/120 mesafede bir doğru daha çizilir. Yeni çizilen doğrunun yük deplasman eğrisini kestiği nokta yenilme yükü olarak belirlenir. Şekil 5.1'de Davisson metoduna göre yenilme yükünün belirlendiği örnek çizim yer almaktadır.



Şekil 5.1. Davisson limit deplasman metodu (Kirkit, 2009)

Tablo 5.3. Çalışma kapsamında kullanılan verilerin elde edildiği referanslar ve özellikleri

Araştırmacı(lar)	**Q_{ult} Değerinin Belirlendiği Yöntemler**	**Yükleme Tipi**		**Zemin Grubu**	
		Basınç (Adet)	**Çekme (Adet)**	**Kohezyonlu (Adet)**	**Kohezyonsuz (Adet)**
Zhang (1999)	%10	8	4	6	6
Tappenden (2007)	%10	8	9	9	8
Perko (2009)	-*	68	62	61	69
Sakr (2010)	%5	4	2	6	-
Sakr (2011)	%5	8	5	2	11
Sakr (2011)	Davisson	7	4	-	11
Beim ve Luna (2012)	Davisson	8	-	8	-
Ruberti (2015)	% 5	-	78	78	-
Ruberti (2015)	% 10	-	77	77	-
Filho ve diğ., (2015)	% 10	-	2	2	-
Elkasabgy ve diğ., (2015)	Davisson	6	-	6	-
Elkasabgy ve diğ., (2015)	% 5	6	-	6	-

Not : Çalışmaların bazılarında farklı yöntemlere göre de belirlenmiş kapasite değerleri bulunmakta olup bu çalışmada sadece üç metot ile belirlenen kapasiteler kullanılmıştır. 3 tane kazık 4 plakaya sahiptir.

*Hangi metoda göre kazık kapasitesinin belirlendiği belirtilmemiştir.

5.3. Merkezi Eğilim ve Yayılım Ölçüleri

Çalışma kapsamında K_T katsayılarının incelenmesinde M.E.Y.Ö'ni oluşturan parametreler hesaplanmış ve tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca K_T katsayılarının ilgili özelliklere bağlı frekans dağılımları belirlenerek histogram grafikleri çizilmiştir. Bu nedenle bu kısımda ifade edilen terimlerle ilgili açıklamalara yer verilmiştir.

Merkezi eğilim ve yayılım ölçülerinde kapsamında, aritmetik ortalama ve medyan merkezi eğilim ölçüleri kapsamında değerlendirilirken standart sapma ve varyans merkezi yayılım ölçüleri kapsamında değerlendirilmektedir.

5.3.1. Frekans

Frekans, veri setine ait yapılan gözlemlerden elde edilen bir sınıf aralığındaki gözlem sayısını ifade eder. Frekans f simgesi ile gösterilmektedir. Veri setinde her bir sınıf aralığı için elde edilen frekans değerlerinin toplamı toplam veri sayısına eşit olmalıdır (Denklem 5.2).

$$\sum_{i=1}^{n} f_i = n \tag{5.2}$$

Burada f_i, i. sınıf aralığına ait frekans değeri, n ise toplam gözlem sayısıdır.

5.3.2. Aritmetik Ortalama

Aritmetik ortalama, veri setindeki tüm elemanların toplanarak elde edilen değerin toplam eleman sayısına bölünmesiyle hesaplanan bir parametredir ve Denklem (5.3) ve (5.4)'de ifade edildiği gibi;

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \ldots + X_n}{n} \tag{5.3}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} X_i}{n} \tag{5.4}$$

hesaplanır. Burada $\bar{X}$ aritmetik ortalama değeri, X_i ise veri setindeki i.veri değeridir.

5.3.3. Medyan

Medyan, incelenen veri setindeki veriler küçükten büyüğe doğru sıralandığında veri setini iki eşit parçaya ayıran orta noktadaki değerdir. Veri setindeki eleman sayısı çift olduğu zaman iki değerin aritmetik ortalaması medyan değerini ifade etmektedir.

Veri setindeki veri sayısı tek olduğunda Denklem (5.5)'deki gibi;

$$\text{Medyan} = \frac{n+1}{2} \tag{5.5}$$

ile hesaplanır.

Veri setindeki veri sayısı çift sayı olduğunda medyan;

$\frac{n}{2}$ ve $\frac{n}{2}+1$'e karşılık gelen verilerin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanır.

5.3.4. Varyans

Varyans, veri setindeki her bir verinin ortalamadan olan sapmalarının kareleri toplamının veri sayısına bölünmesi ile elde edilmektedir. s^2 ile gösterilir ve Denklem (5.6)'deki gibi;

$$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \tag{5.6}$$

hesaplanır.

5.3.5. Standart Sapma

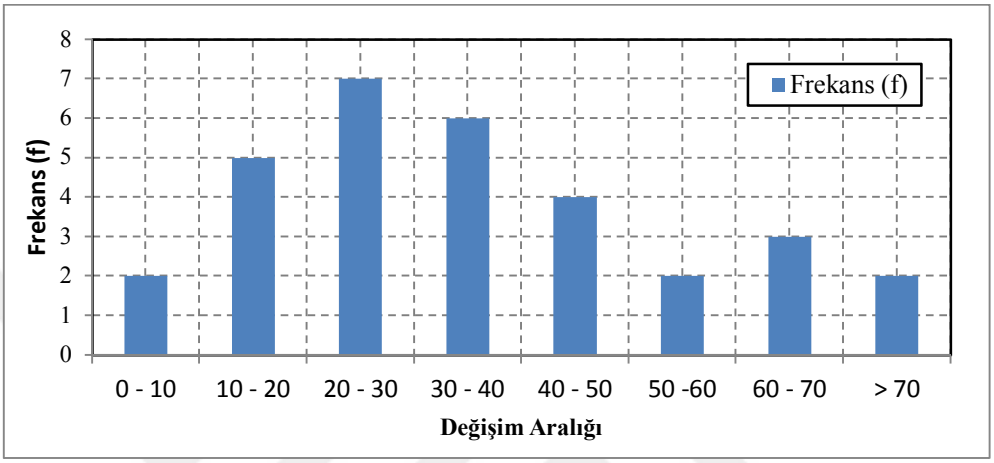
Standart sapma, veri setindeki verilerin aritmetik ortalamaya göre nasıl bir dağılım gösterdiğini belirlemek için kullanılan bir parametredir. Her bir verinin aritmetik ortalamadan olan sapmalarının karelerinin toplamının veri sayısına bölünerek karekökünün alınması ile hesaplanır. s ile gösterilir ve Denklem (5.7)'deki gibi;

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{5.7}$$

hesaplanır.

5.3.6. Frekans Histogramı

Veri setinde her bir sınıf aralığına ait frekans değerleri belirlendikten sonra yatay eksen veri setine ait sınıf aralığını düşey eksen ise frekans değerini ifade eden yan yana çizilmiş dikdörtgenlerden oluşan grafikten yararlanılır. Çizilen grafik histogram grafiği olarak adlandırılır ve Şekil 5.2'deki gibi gösterilmektedir.



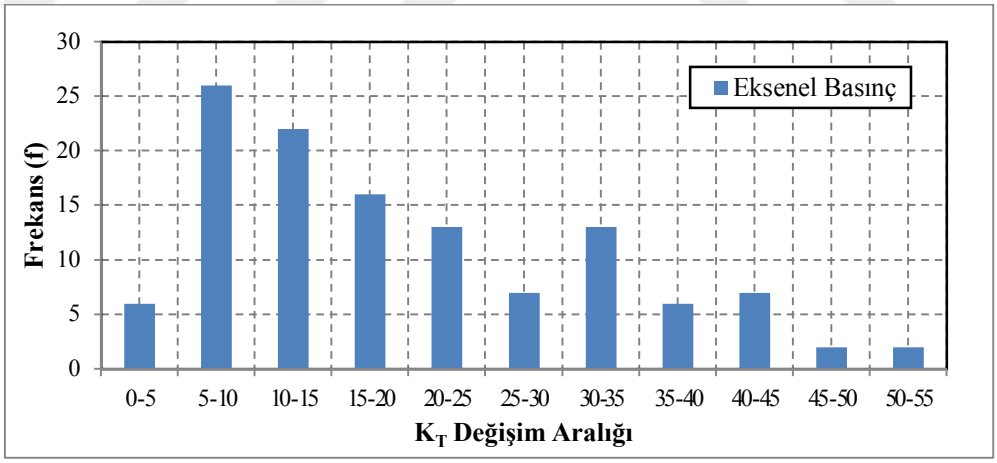
Şekil 5.2. Örnek frekans histogram grafiği

6. BASINÇ YÜKLEMESİ YAPILAN KAZIKLAR

6.1. Basınç Yüklemesi Yapılan Kazıklarda K_T Katsayılarının İncelenmesi

Bu bölümde üzerinde basınç testi yapılan kazıklara ait K_T katsayıları kazık üzerinde bulunan plaka sayısı ve zemin grubuna göre incelenerek denklemler geliştirilmiştir. Ayrıca bu bölümden itibaren K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerde, kullanılan veri setlerinin özelliklerini gösteren frekans histogram grafikleri ve hesaplanan M.E.Y.Ö. değerleri de tablo ve grafik halinde verilecektir.

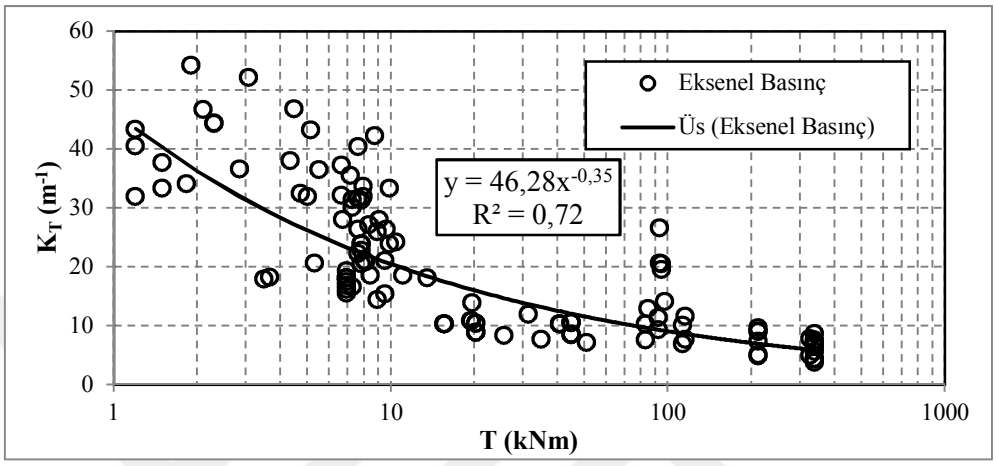
Tez çalışması kapsamında kullanılan plaka sayıları 1 ile 3 arasında değişen 363 tane kazıktan 120 tanesi üzerinde eksenel basınç testi yapılmıştır. Şekil 6.2'de bu kazıklara ait K_T katsayılarının kazık yerleşim torkuna karşı dağılımları gösterilmektedir. K_T katsayılarının frekans histogramı ve M.E.Y.Ö. Şekil 6.1 ve Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Basınç yüklemesi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 6.1. Basınç yüklemesi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	19,8
Medyan	17,6
Varyans	154,1
Standart Sapma	12,4

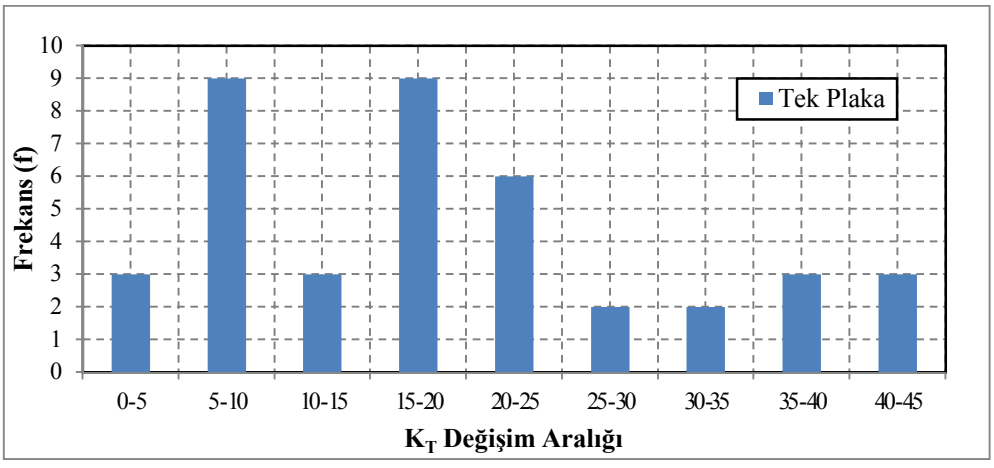


Şekil 6.2. Basınç yüklemesi yapılan kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı

6.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

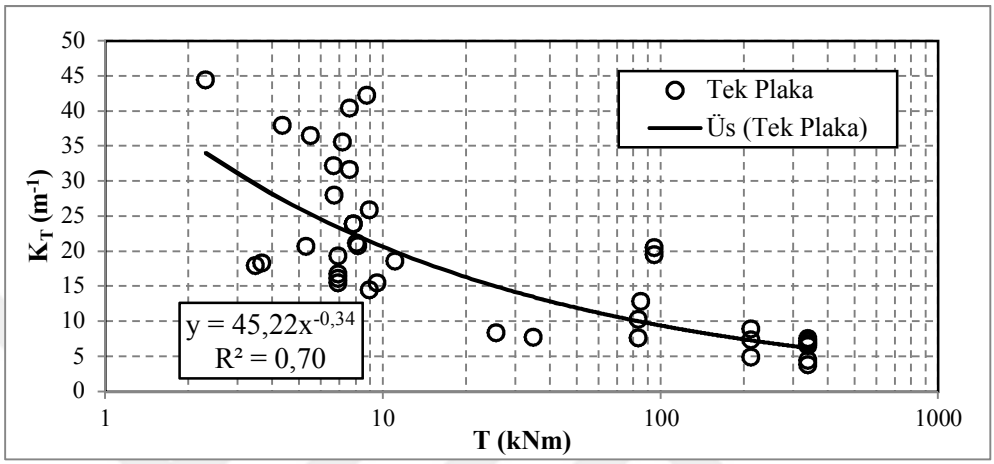
Üzerinde eksenel basınç testi yapılan 120 kazıktan 40 tanesi tek plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.3, 6.4 ve Tablo 6.2'de verilmiştir.



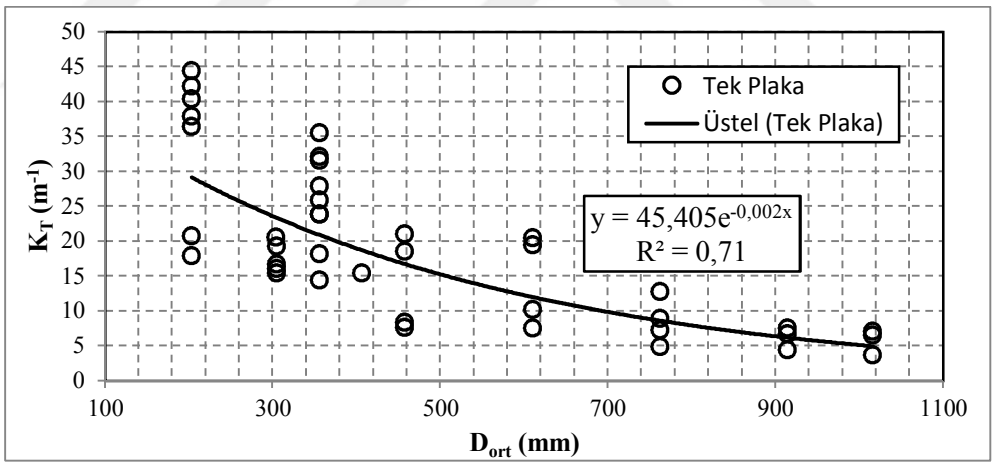
Şekil 6.3. Basınç yükleme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 6.2. Basınç yükleme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	19,0
Medyan	18,0
Varyans	130,9
Standart Sapma	11,4



a)

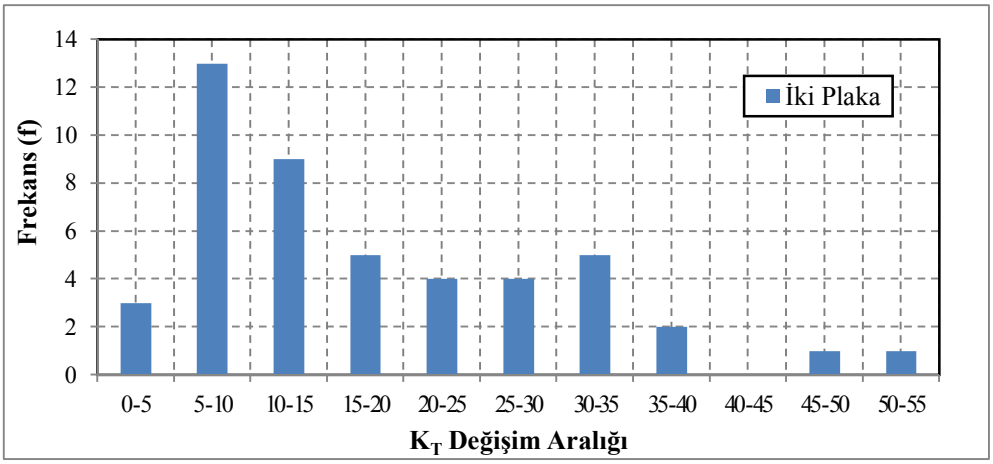


b)

Şekil 6.4. Basınç yükleme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

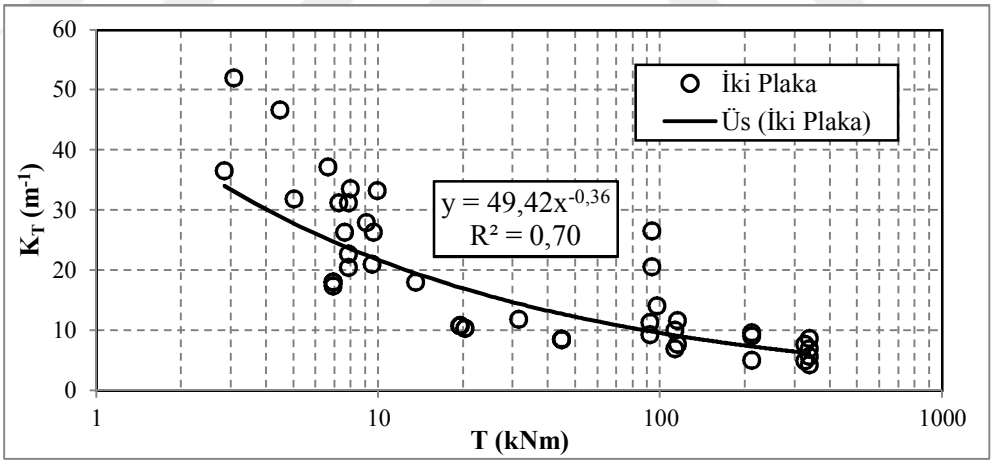
Kazıklardan 47 tanesi iki plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.5, 6.6 ve Tablo 6.3'de yer almaktadır.



Şekil 6.5. Basınç yükleme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

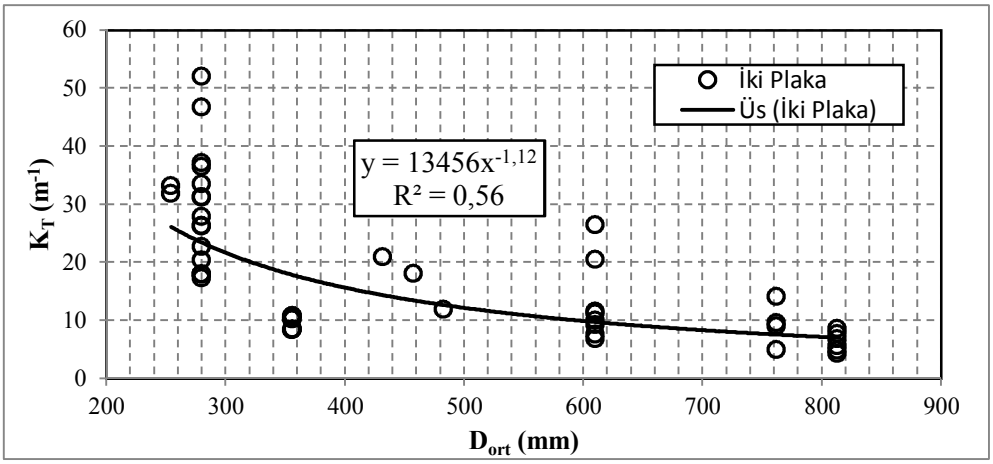
Tablo 6.3. Basınç yükleme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	17,8
Medyan	11,9
Varyans	136,3
Standart Sapma	11,7



a)

Şekil 6.6. Basınç yükleme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

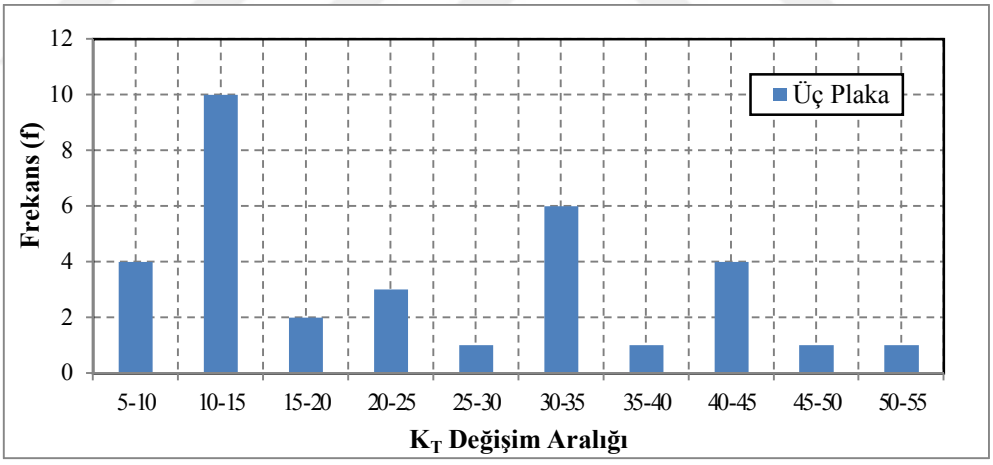


b)

Şekil 6.6.(Devam) Basınç yükleme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

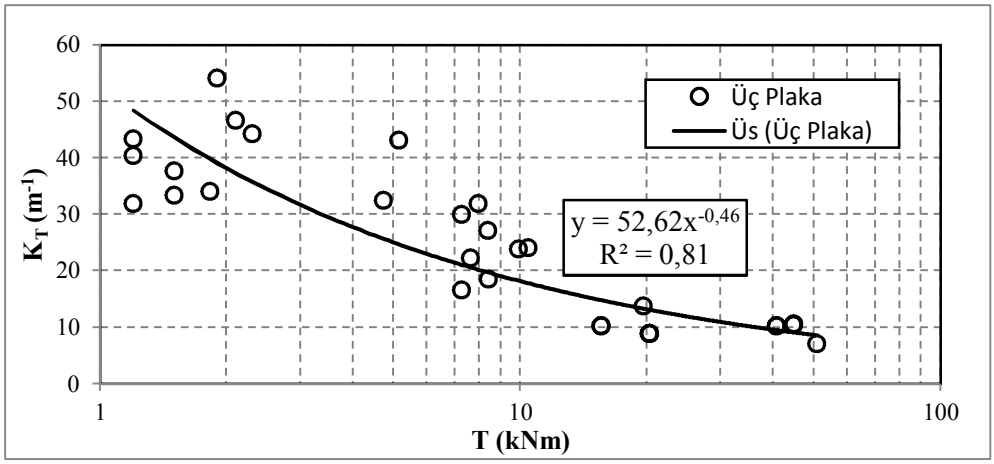
33 tane kazık üç plakaya sahiptir. Bu kazıklara K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.7, 6.8 ve Tablo 6.4'de yer almaktadır.



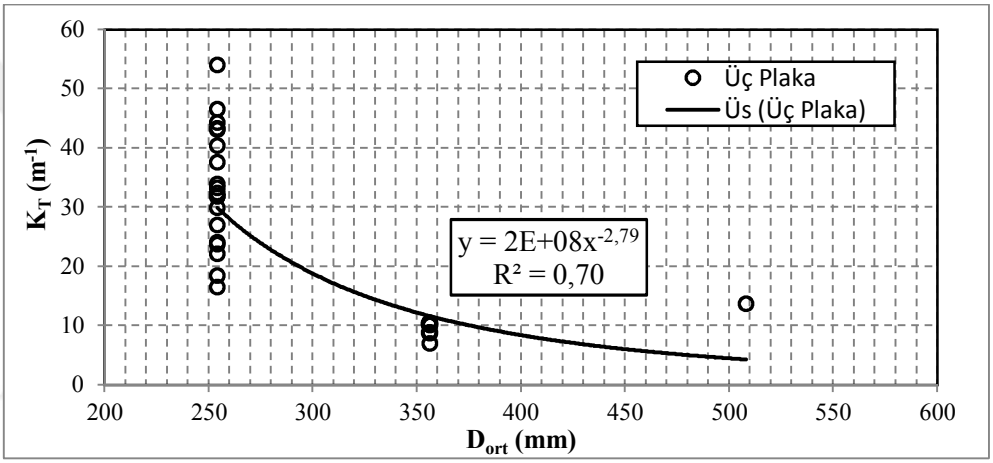
Şekil 6.7. Basınç yükleme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 6.4. Basınç yükleme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,5
Medyan	22,2
Varyans	196,6
Standart Sapma	14,0



a)

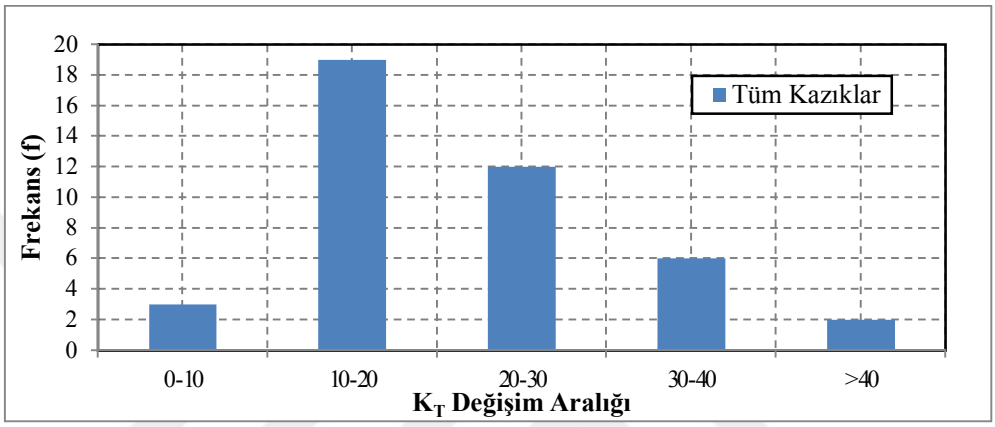


b)

Şekil 6.8. Basınç yükleme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

6.3. A Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi

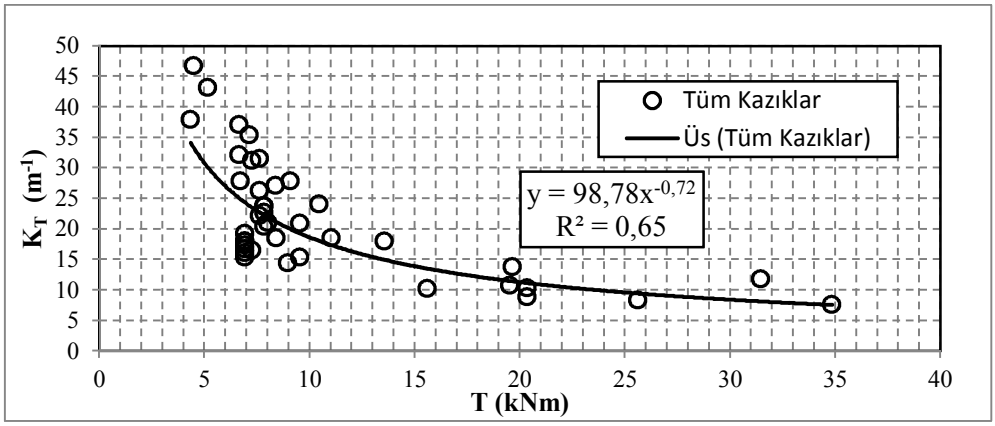
Bu kısımda daire şaftlı, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen ve üzerinde basınç yükleme testi yapılan kazıklara ait K_T katsayıları incelenmiştir. Bu özelliklere sahip kazıklar tablo ve şekil açıklamalarının daha anlaşılabilir hale gelmesi için A ile sembolize edilmiştir. Toplam 42 adet kazık bulunmaktadır. Yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 6.9 - 6.14 ve Tablo 6.5'de sunulmuştur.



Şekil 6.9. A özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

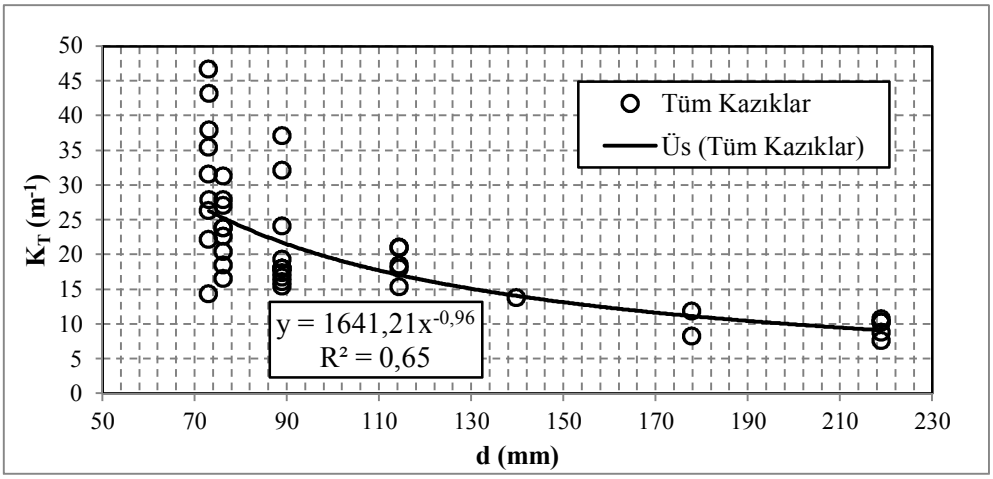
Tablo 6.5. A özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	21,58
Medyan	18,93
Varyans	88,21
Standart Sapma	9,39



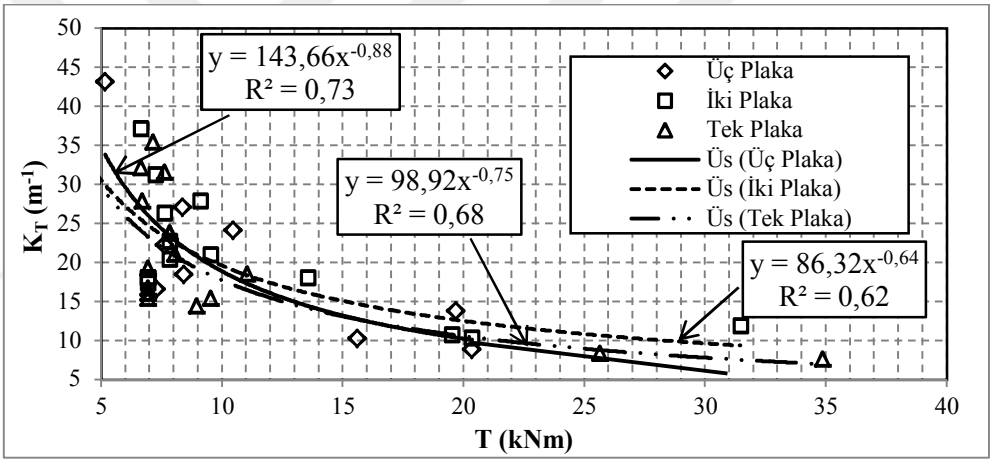
a)

Şekil 6.10. A özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Kazık gövde çapına karşı

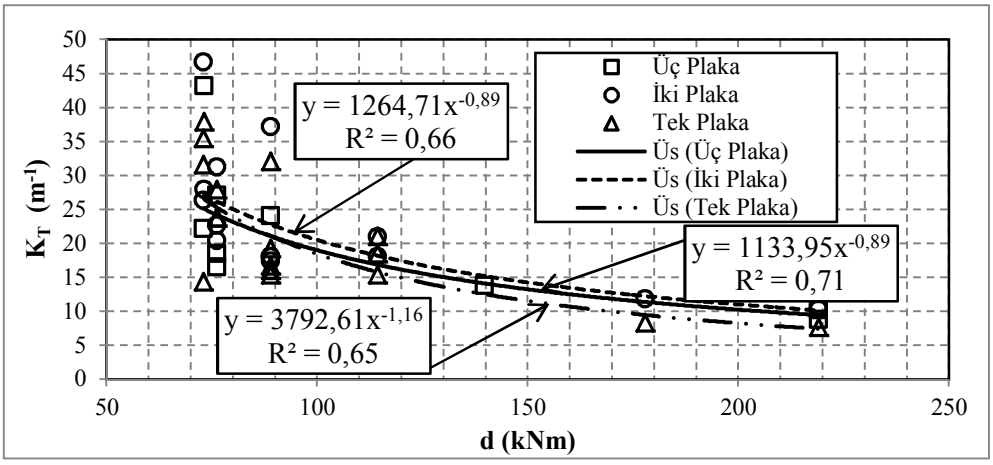


b)

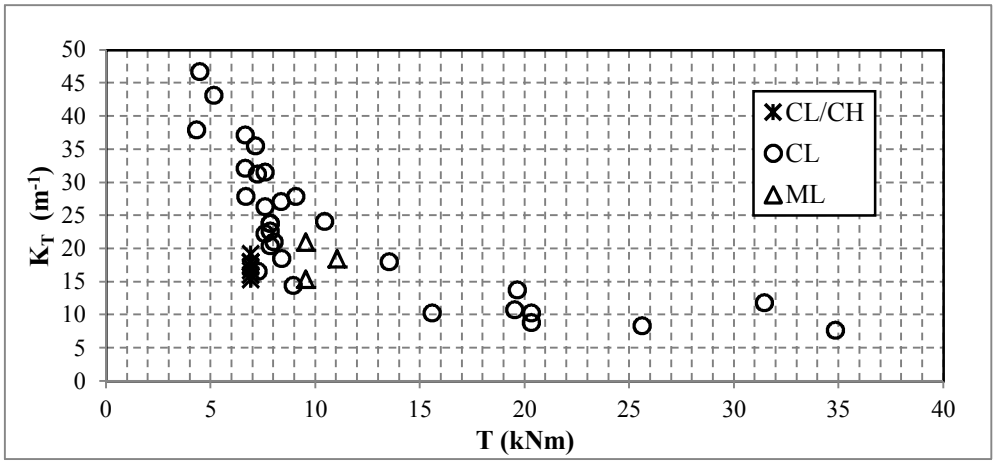
Şekil 6.10.(Devam) A özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Kazık gövde çapına karşı



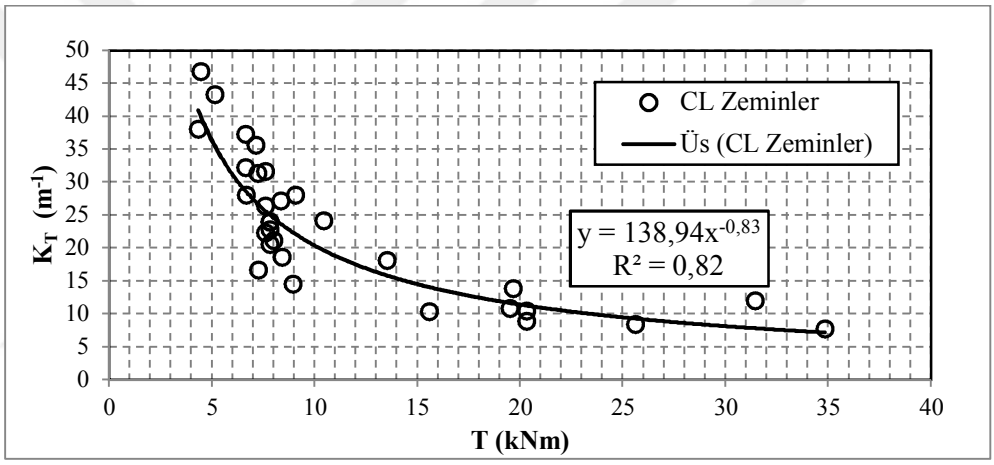
Şekil 6.11. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısına karşı dağılımı



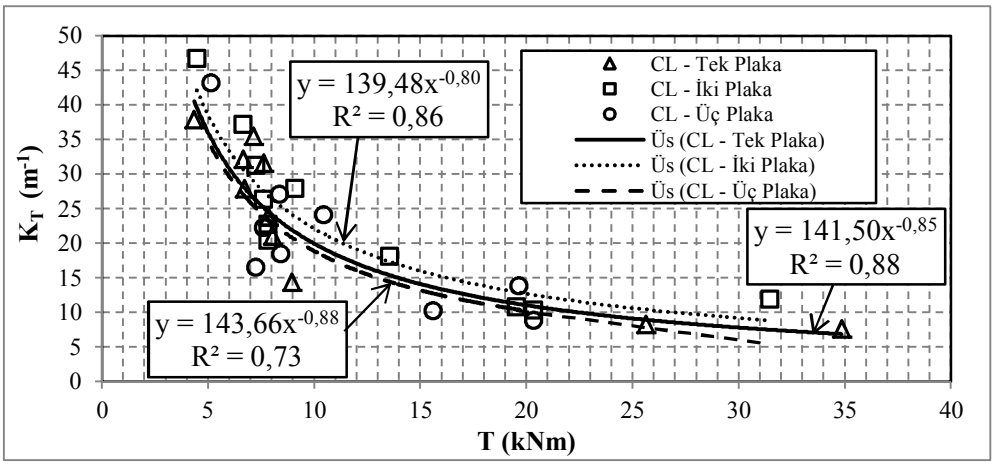
Şekil 6.12. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısı ve kazık gövde çapına karşı dağılımı



Şekil 6.13. A özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin tipi ve yerleşim torkuna karşı dağılımı

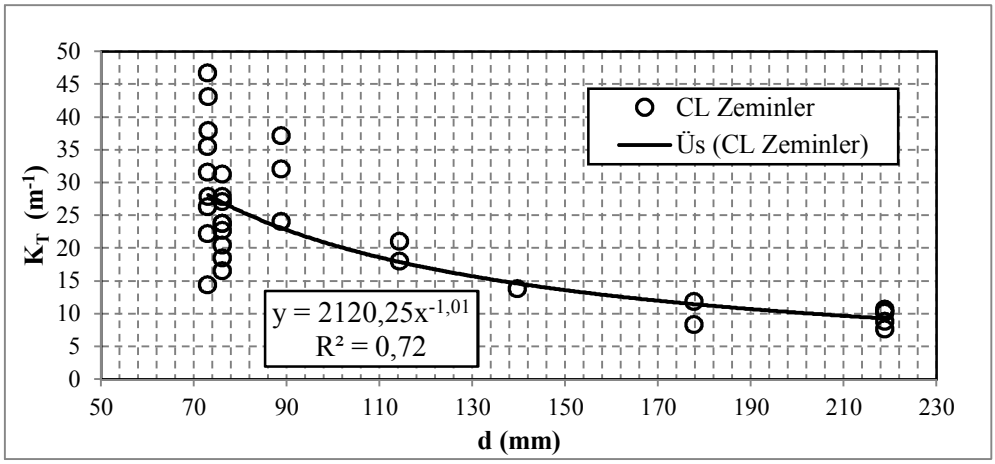


a)



b)

Şekil 6.14. CL zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Yerleşim torku ve plaka sayısı, c) Kazık gövde çapına karşı



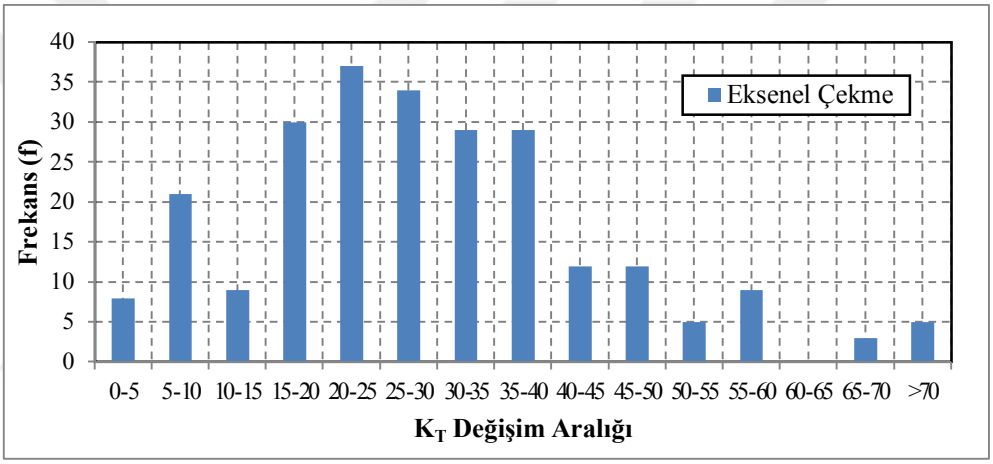
c)

Şekil 6.14.(Devam) CL zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Yerleşim torku ve plaka sayısı, c) Kazık gövde çapına karşı

7. ÇEKME YÜKLEMESİ YAPILAN KAZIKLAR

7.1.Çekme Yüklemesi Yapılan Kazıklara K_T Katsayılarının İncelenmesi

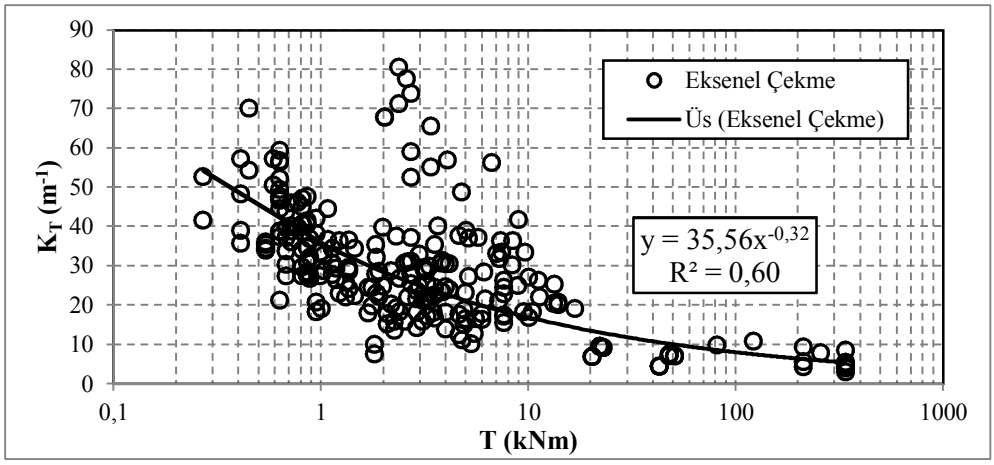
Bu bölümde üzerinde çekme testi yapılan kazıklara ait K_T katsayıları incelenmiştir. Plaka sayıları 1 ile 3 arasında değişen 363 farklı kazıktan 243 tanesi üzerinde eksenel çekme testi yapılmıştır. Şekil 7.1, 7.2 ve Tablo 7.1'de çekme testi yapılan kazıklara ait K_T katsayılarının analiz sonuçları gösterilmektedir.



Şekil 7.1. Çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

Tablo 7.1. Çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	29,0
Medyan	27,7
Varyans	231,9
Standart Sapma	15,2

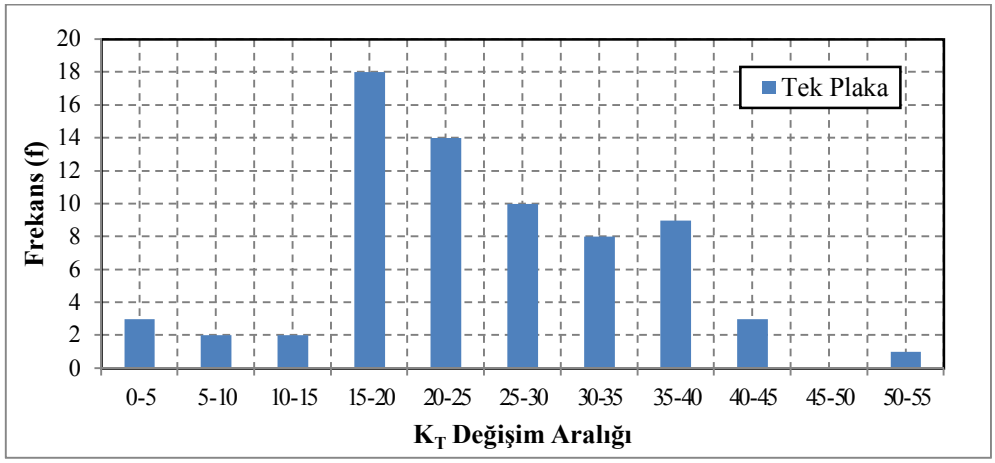


Şekil 7.2. Çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

7.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

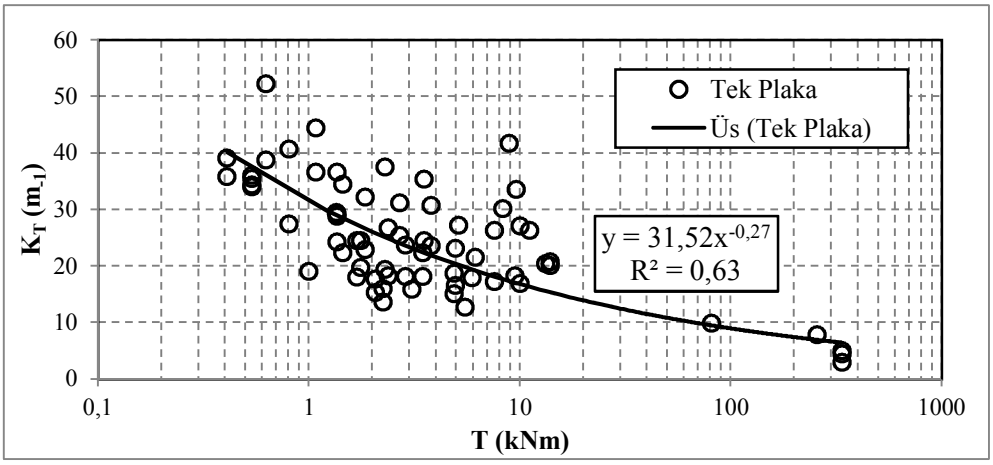
Üzerinde eksenel çekme testi yapılan 243 kazıktan 70 tanesi tek plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 7.3, 7.4 ve Tablo 7.2'de gösterilmiştir.



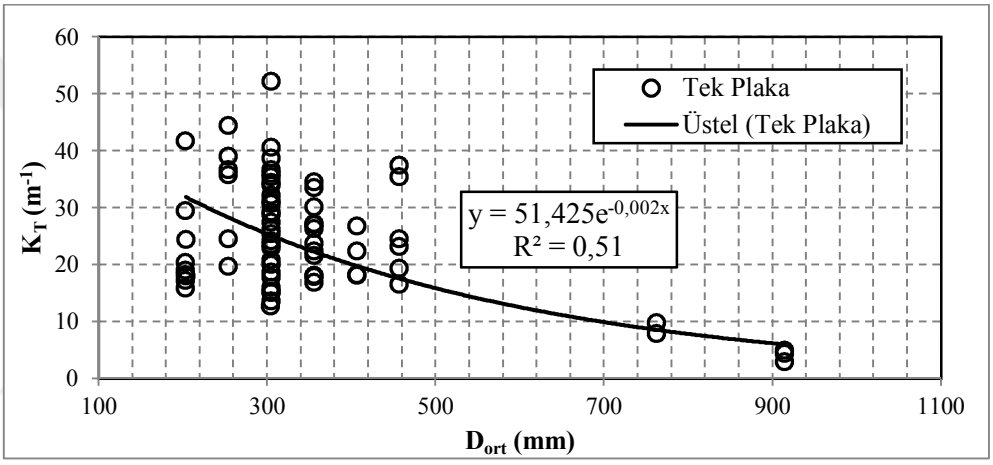
Şekil 7.3. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 7.2. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	24,8
Medyan	24,0
Varyans	97,3
Standart Sapma	9,9



a)

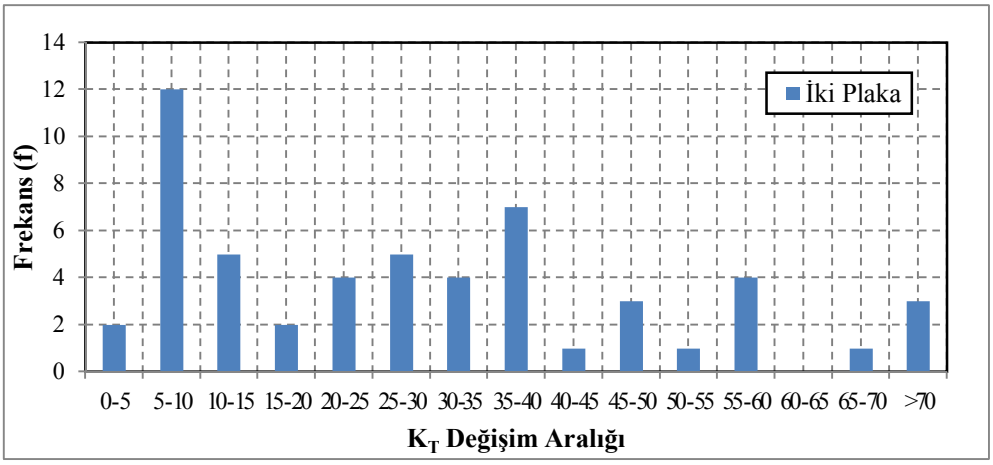


b)

Şekil 7.4. Çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

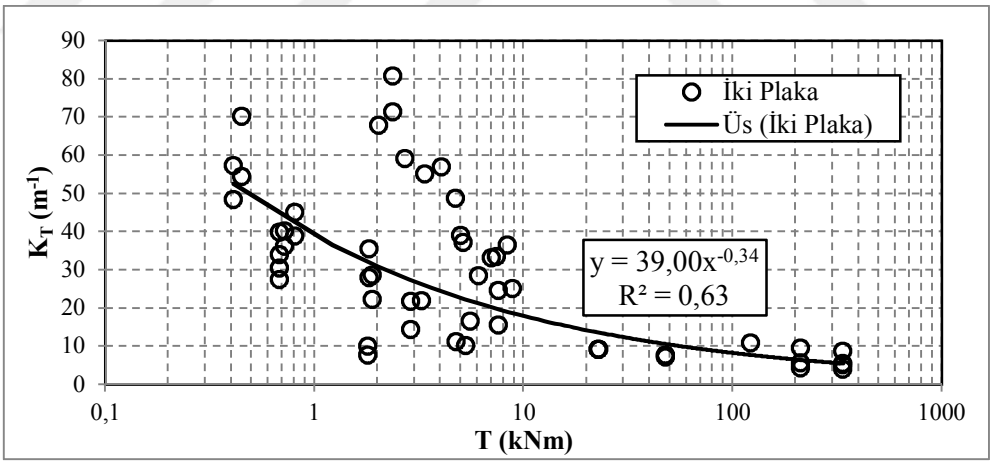
54 tane kazık iki helisel plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T faktörleri üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 7.5, 7.6 ve Tablo 7.3'de yer almaktadır.



Şekil 7.5. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

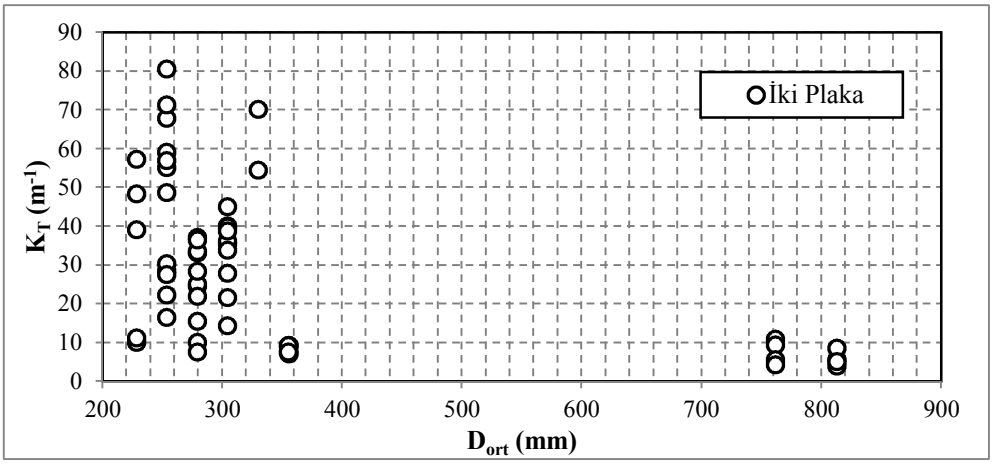
Tablo 7.3. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	29,0
Medyan	27,7
Varyans	415,8
Standart Sapma	20,4



a)

Şekil 7.6. Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

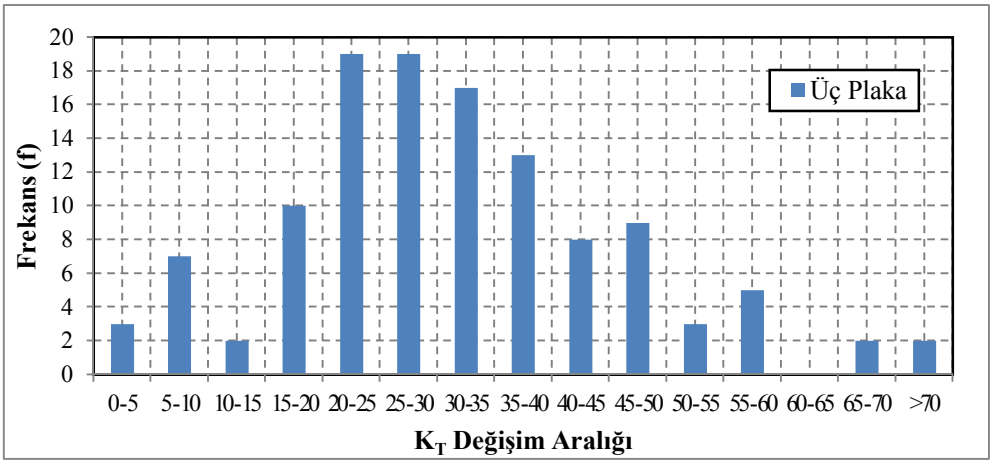


b)

Şekil 7.6.(Devam) Çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

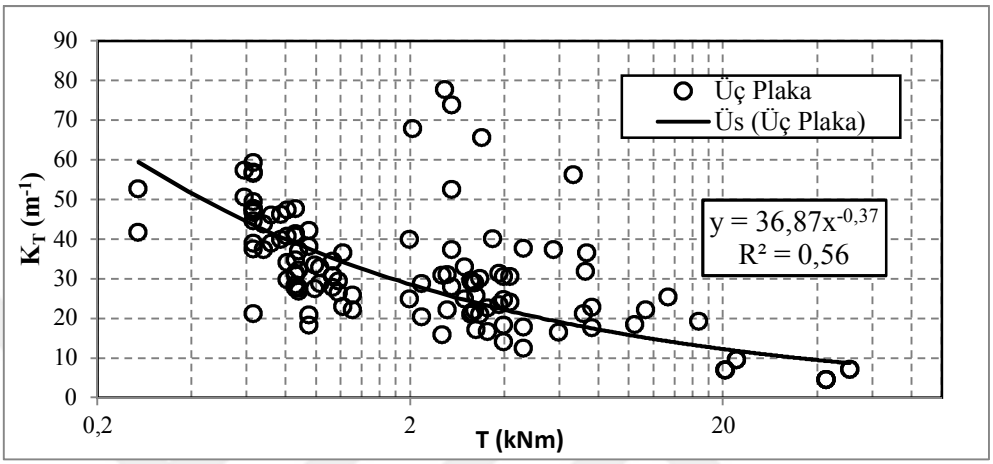
119 kazık üç helisel plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Şekil 7.7, 7.8 ve Tablo 7.4'de verilmiştir. Ortalama plaka çapına göre K_T katsayılarının dağılımında K_T katsayıları belli boyutlarda yoğunlaştığı için eğri denklemi geliştirilememiştir.



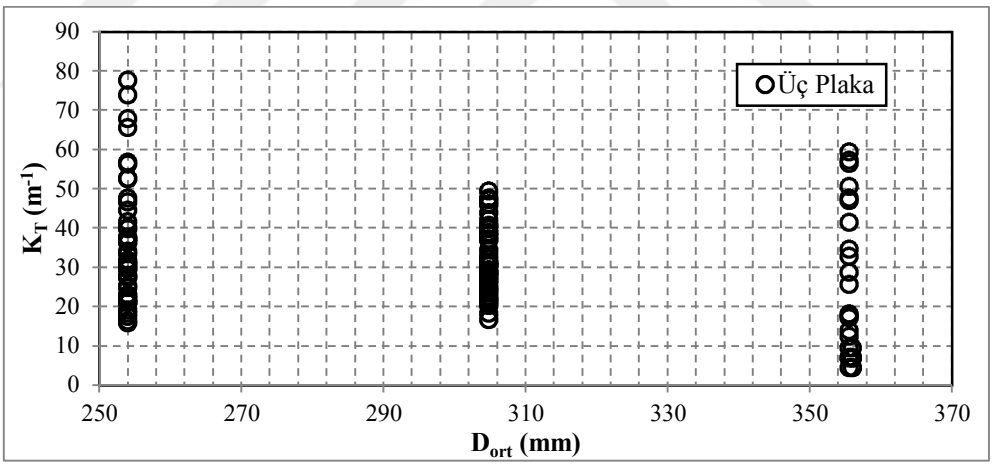
Şekil 7.7. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 7.4. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	31,5
Medyan	30,0
Varyans	215,1
Standart Sapma	14,7



a)

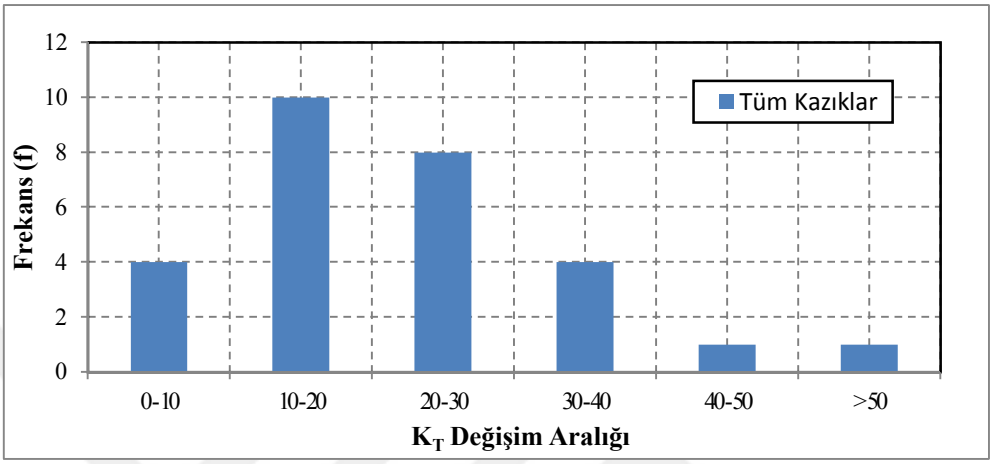


b)

Şekil 7.8. Çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

7.3. B Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Faktörlerinin İncelenmesi

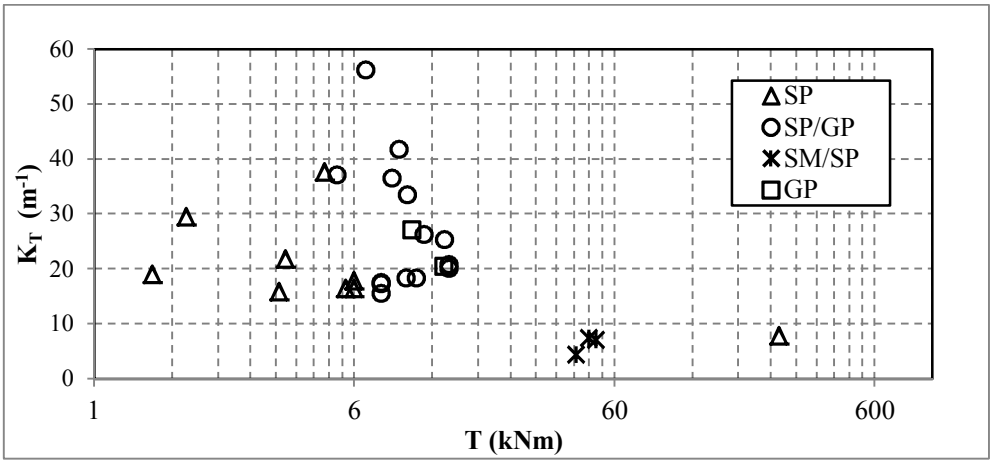
Daire şafta sahip, eksenel çekme testi yapılan ve kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen 28 kazık bulunmaktadır. Bu özelliklerdeki kazıklar B ile sembolize edilmiştir. Analiz sonuçları Şekil 7.9 - 7.11 ile Tablo 7.5'de verilmiştir.



Şekil 7.9. B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

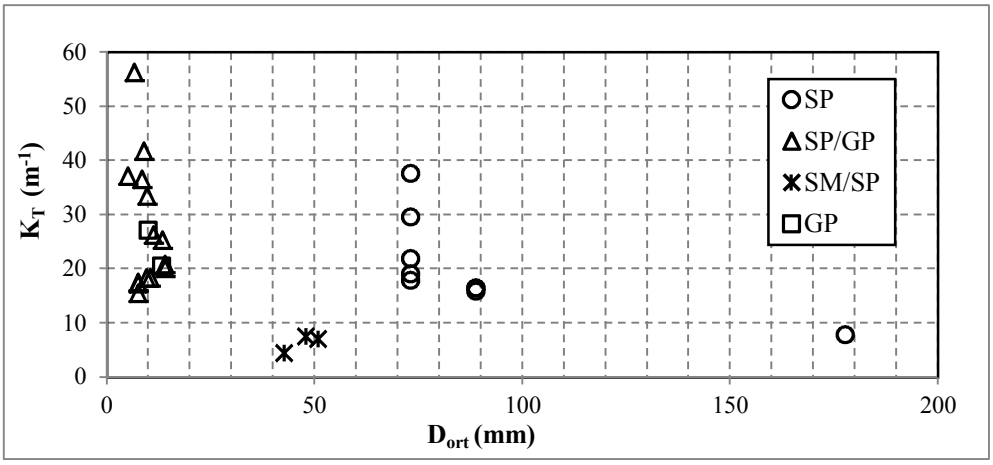
Tablo 7.5. B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	22,63
Medyan	19,58
Varyans	135,59
Standart Sapma	11,64



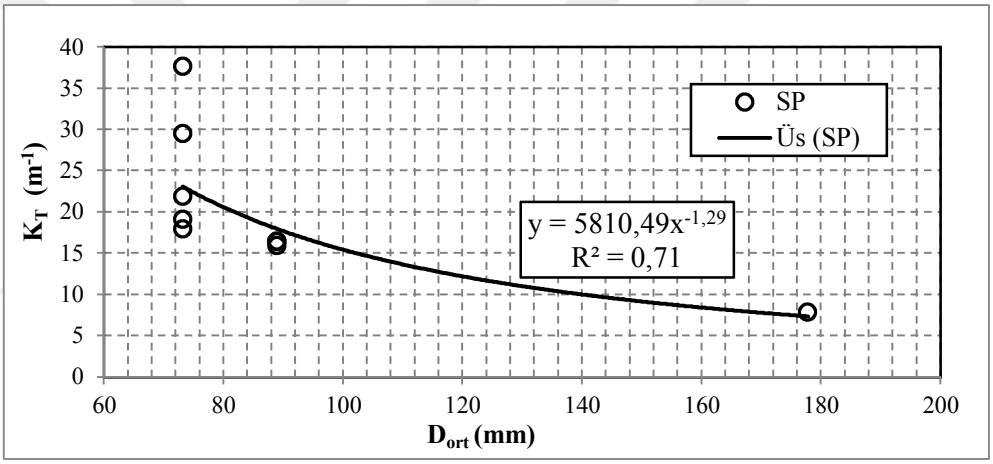
a)

Şekil 7.10. B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Zemin tipine ve ortalama plaka çapına karşı



b)

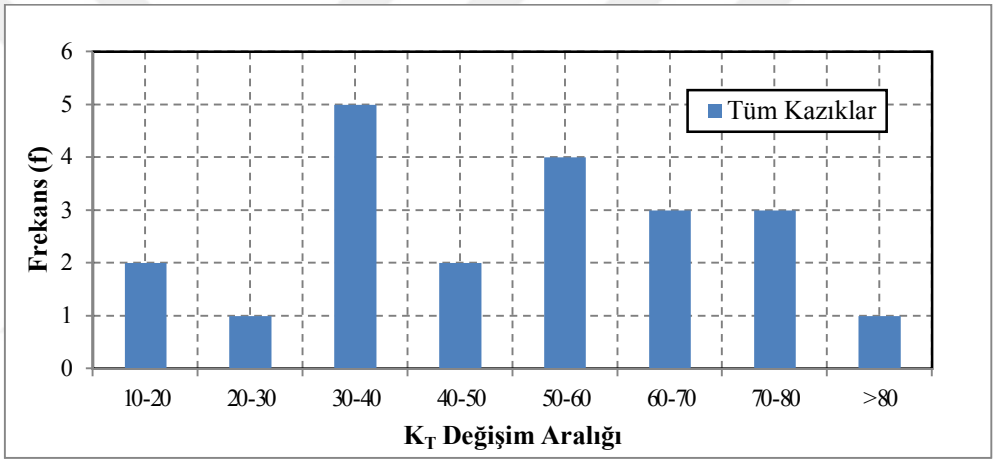
Şekil 7.10.(Devam) B özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Zemin tipine ve ortalama plaka çapına karşı



Şekil 7.11. SP zeminlerde K_T katsayılarının ortalama plaka çapına karşı dağılımı

7.4. C Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi

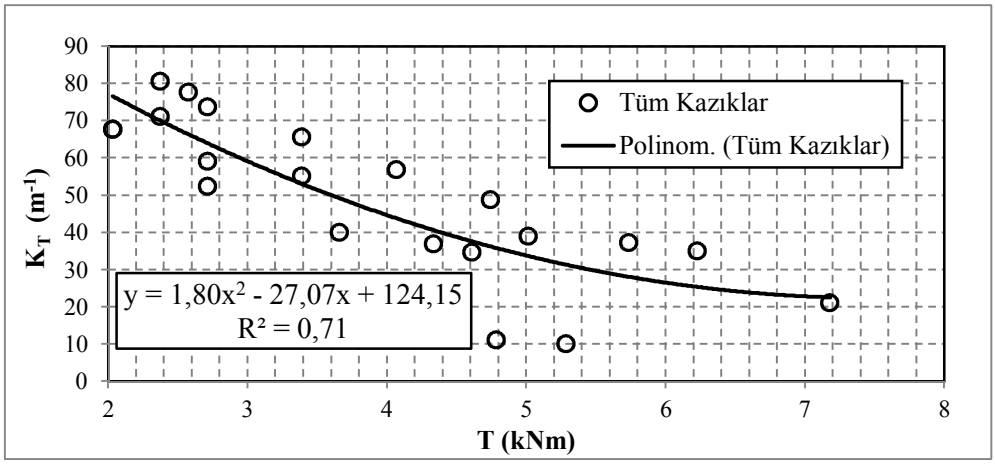
Bu kısımda kare şafta sahip, eksenel çekme testi yapılan ve kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklara ait K_T katsayıları incelenmiştir. Bu kazıklar C ile sembolize edilmiştir. Bu özelliklerde 21 kazık bulunmaktadır. İncelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 7.12 - 7.15 ve Tablo 7.6'da verilmiştir. Bu kısımda plaka sayısına göre elde edilen dağılım grafiklerinde, tek plakalı kazıklar için anlamlı eğri denklemleri elde edilememiştir. Bu nedenle sadece iki ve üç plakalı kazıklara ait dağılım grafiklerine yer verilmiştir. Ayrıca zemin tipine göre K_T katsayılarının dağılımında sadece SP zeminlere yerleştirilen kazıklara ait K_T katsayıları için anlamlı eğri denklemi geliştirilebilmiştir.



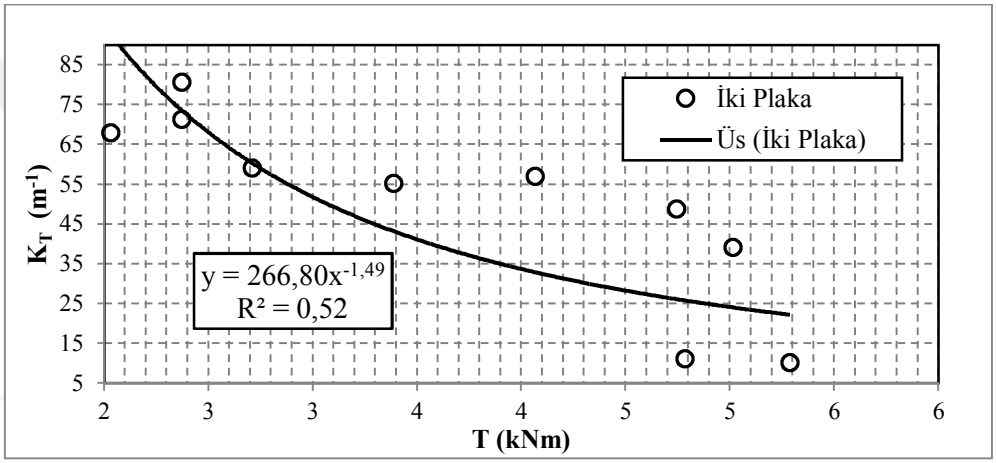
Şekil 7.12. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

Tablo 7.6. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

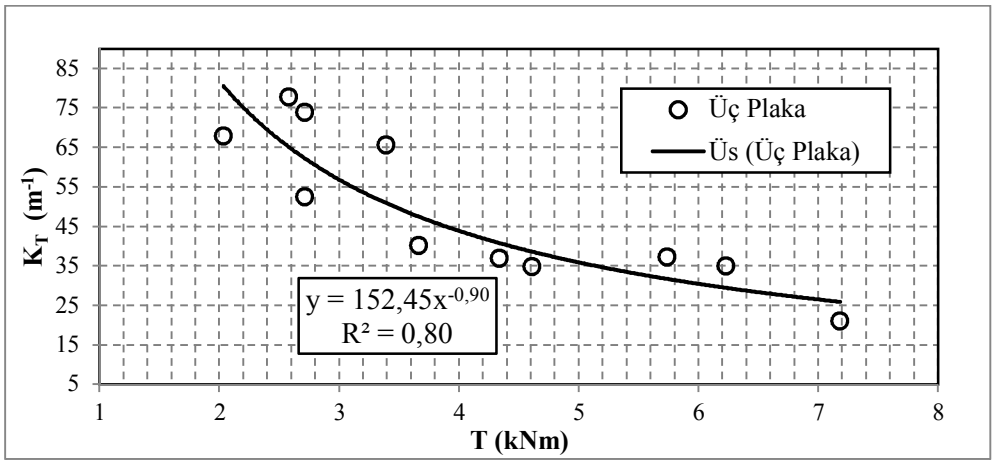
Aritmetik Ortalama	49,63
Medyan	52,49
Varyans	435,52
Standart Sapma	20,87



a)

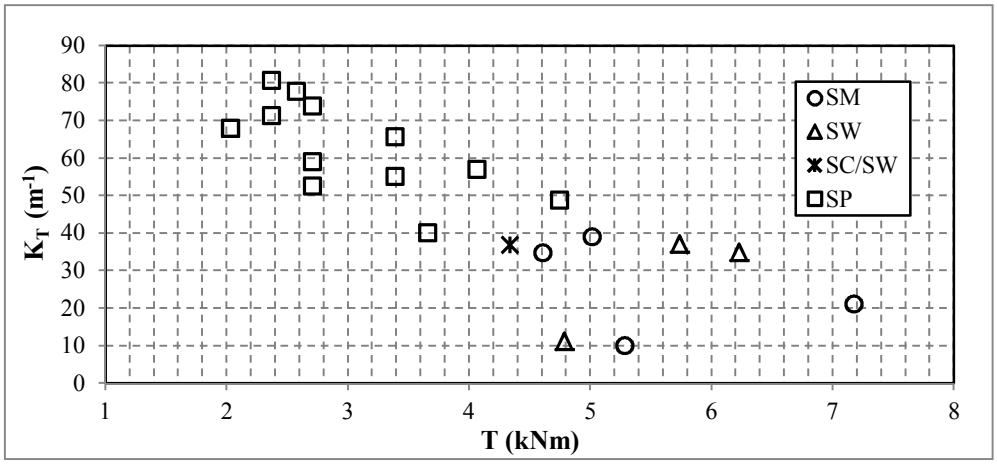


b)

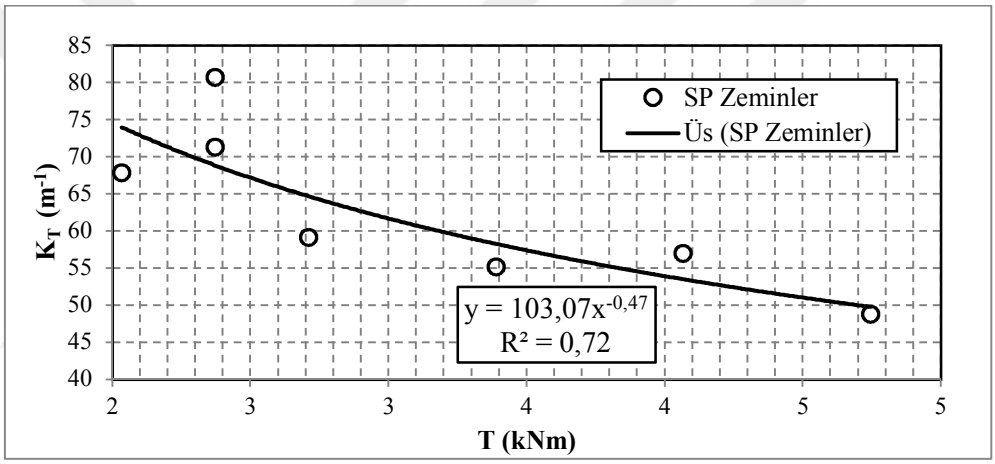


c)

Şekil 7.13. C özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı: a) Tüm kazıklar, b) İki plakalı, c) Üç plakalı kazıklar



Şekil 7.14. C özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin tipine göre yerleşim torkuna karşı dağılımı



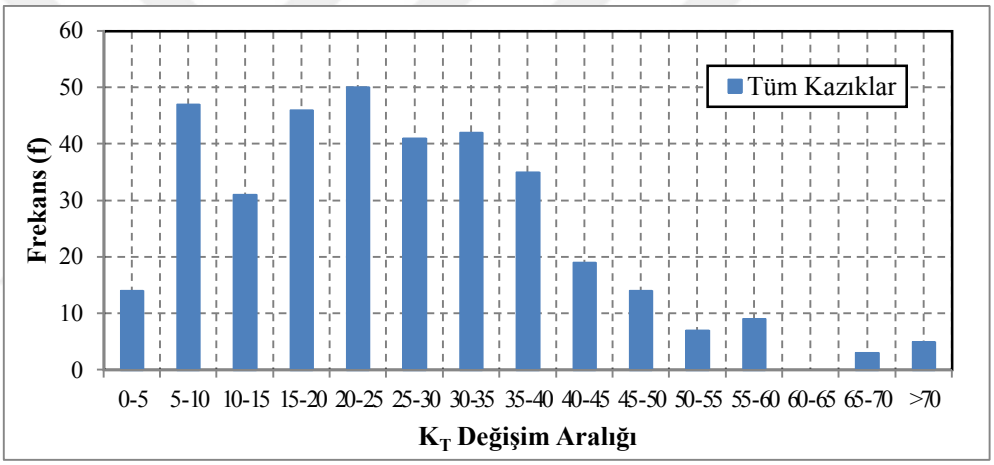
Şekil 7.15. SP zeminlere yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

8. TÜM KAZIKLAR

Bu bölümde BÖLÜM 8 ve 9'da incelenen kazıklara ait tüm K_T katsayıları bir arada incelenmiştir.

8.1. Tüm K_T Katsayılarının Birlikte İncelenmesi

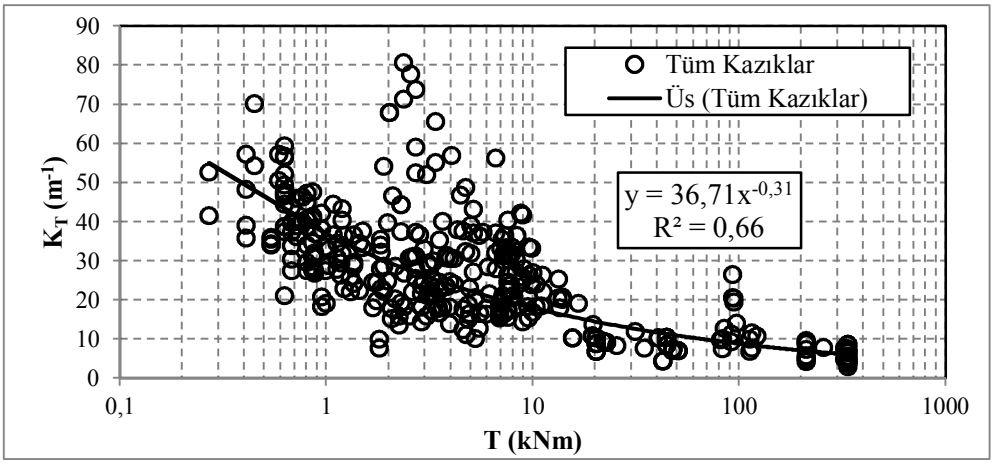
Plaka sayısı 1-3 arasında değişen 363 kazık bulunmaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.1, 8.2 ve Tablo 8.1'de sunulmuştur.



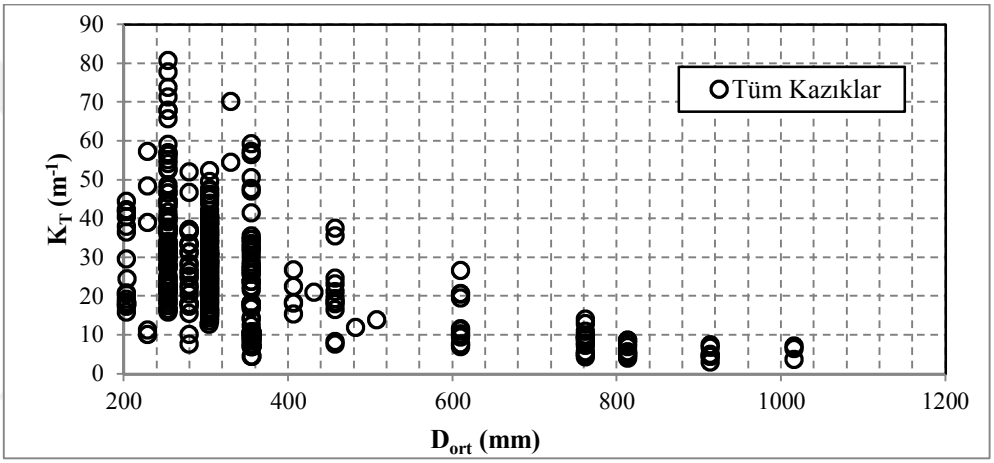
Şekil 8.1. K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 8.1. K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	26,0
Medyan	24,5
Varyans	224,5
Standart Sapma	15,0



a)



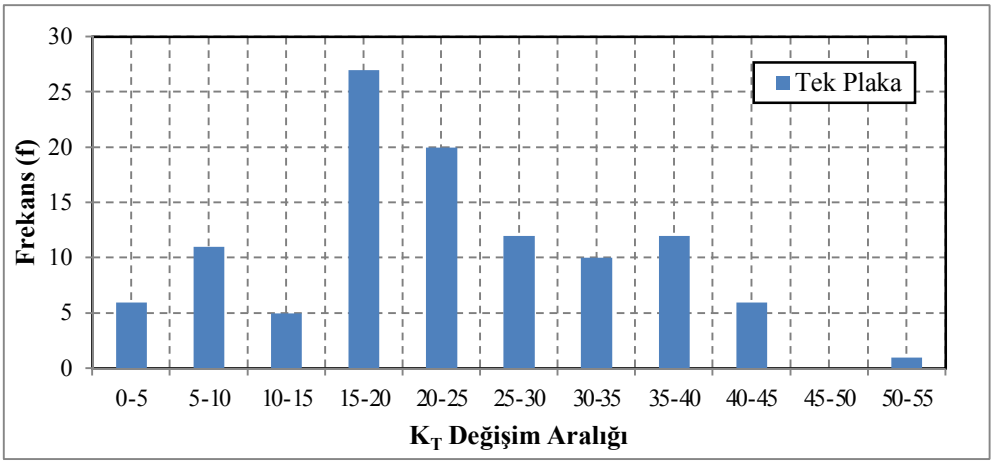
b)

Şekil 8.2. K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

8.2. Plaka Sayısına Göre İnceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

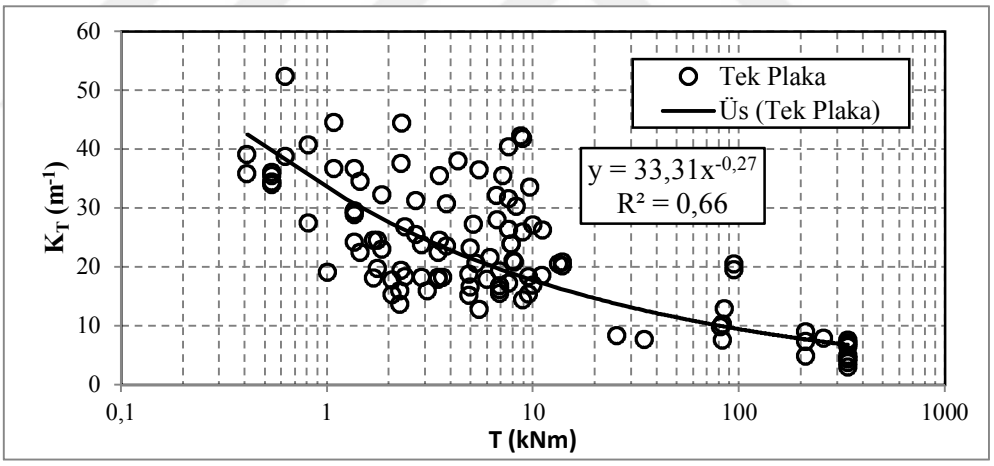
110 tane kazık üzerinde tek helisel plaka yer almaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.3, 8.4 ve Tablo 8.2'de sunulmuştur.



Şekil 8.3. Tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

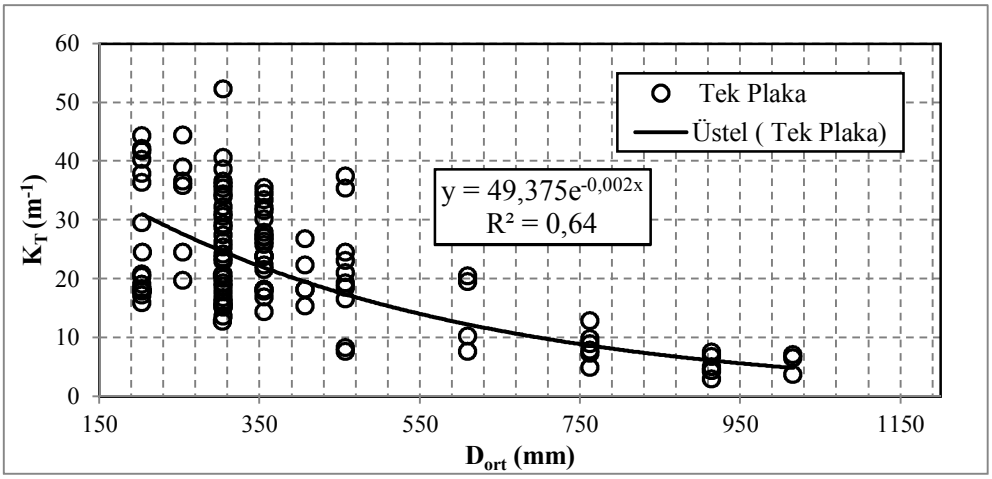
Tablo 8.2. Tek plakalı kazıklarda katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	22,7
Medyan	20,9
Varyans	116,3
Standart Sapma	10,8



a)

Şekil 8.4. Tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

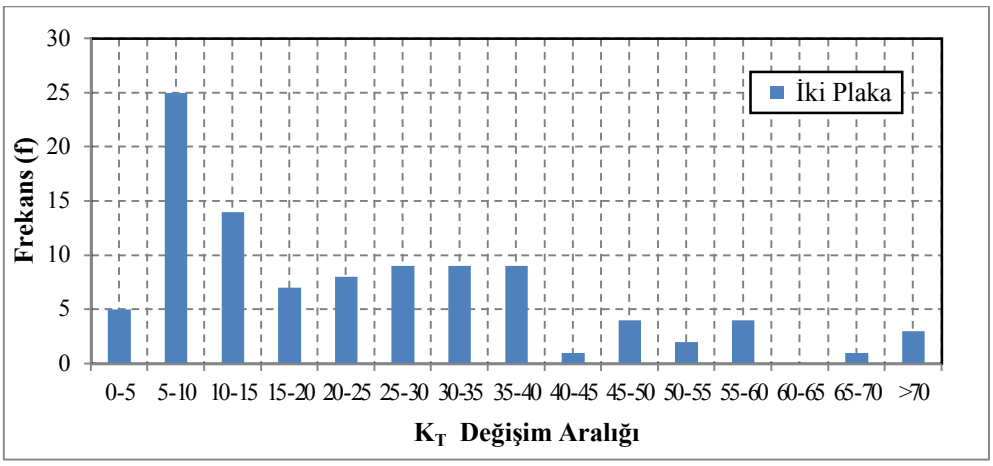


b)

Şekil 8.4.(Devam) Tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

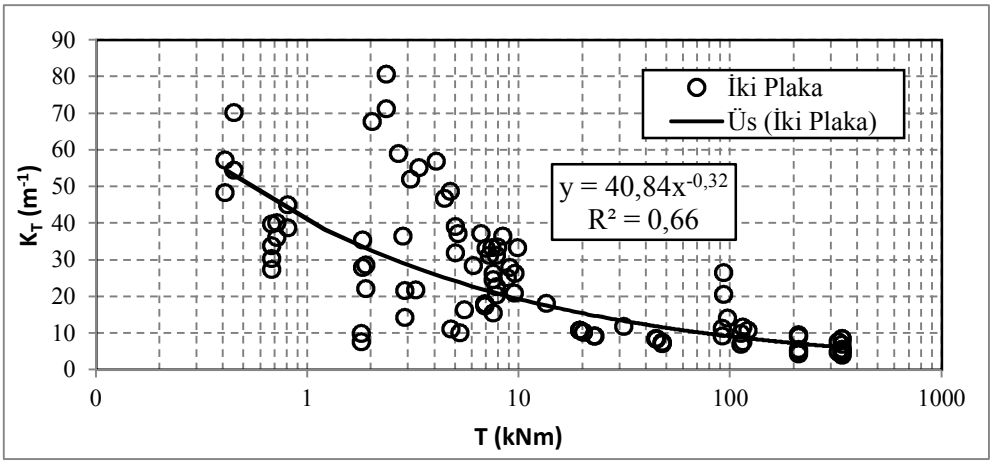
101 tane kazık üzerinde iki helisel plaka yer almaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Şekil 8.5, 8.6 ve Tablo 8.3'de sunulmuştur.



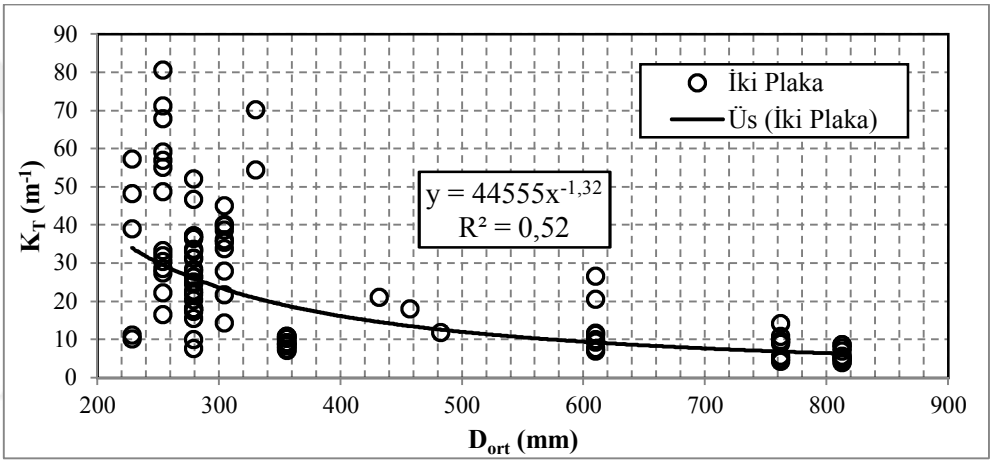
Şekil 8.5. İki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 8.3.İki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,8
Medyan	18,1
Varyans	314,3
Standart Sapma	17,7



a)

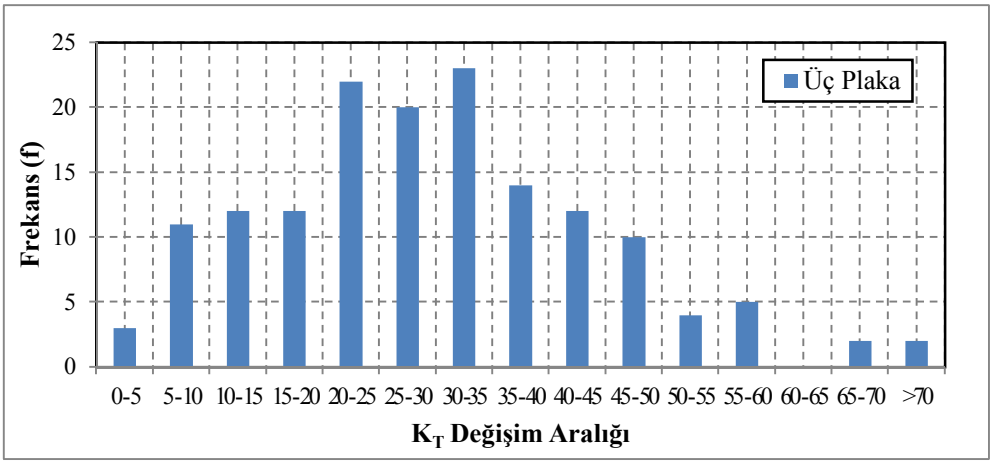


b)

Şekil 8.6. İki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

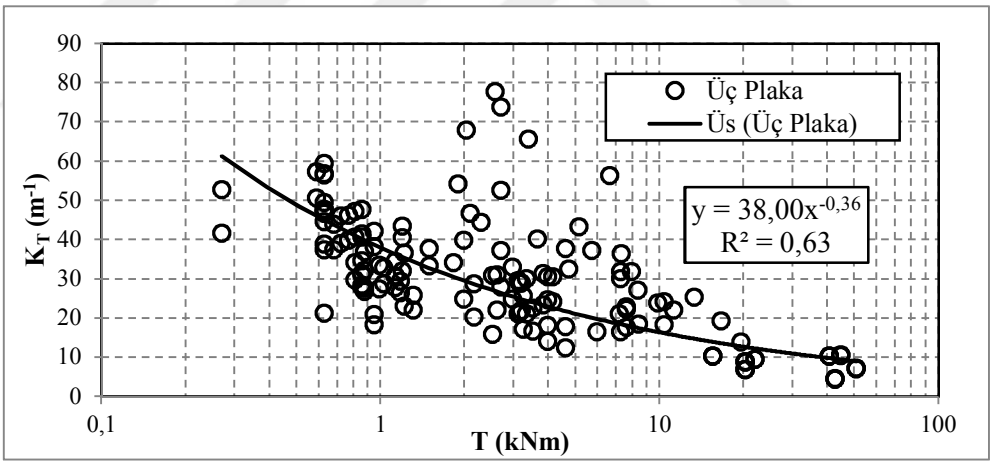
Tüm kazıklar arasında 152 tane kazık üç plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.7 - 8.8 ve Tablo 8.4'de sunulmuştur. Yerleşim torkuna karşı dağılım grafiğinden anlamlı eğri denklemi elde edilebilmişken ortalama plaka çapına göre dağılımda veriler belli plaka çapında yoğunlaştığı için anlamlı eğri denklemi elde edilememiştir.



Şekil 8.7. Üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

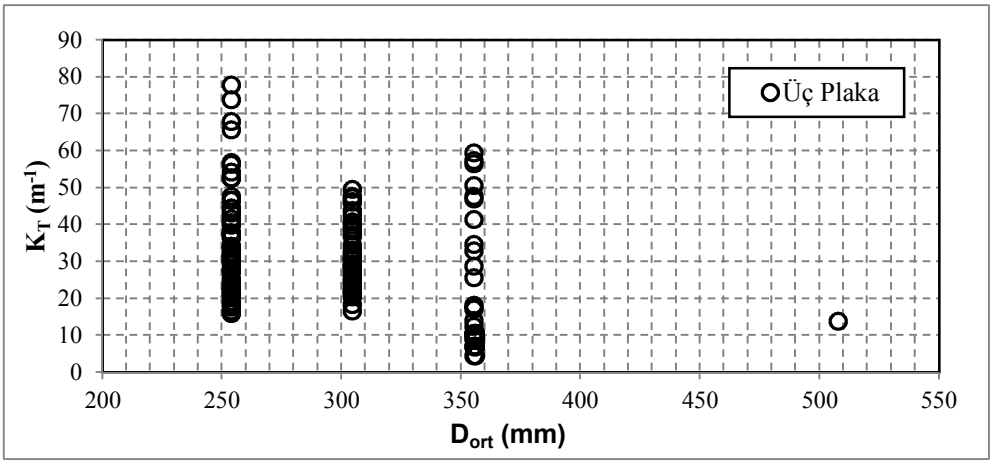
Tablo 8.4. Üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	29,8
Medyan	29,1
Varyans	220,6
Standart Sapma	14,9



a)

Şekil 8.8. Üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

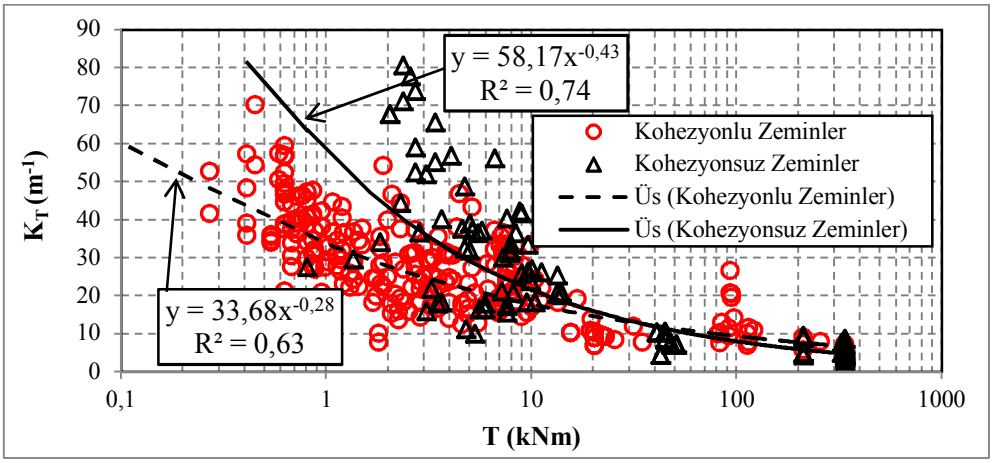


b)

Şekil 8.8.(Devam) Üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

8.3. K_T Katsayılarının Zemin Grubuna Göre İncelenmesi

Bu kısımda K_T katsayıları kazığın yerleştirildiği zemin grubuna bağlı incelenmiştir. Yapılan analizlerde 4 plakalı kazıklara ait K_T katsayıları da kullanılmıştır. Analizi yapılan toplamda 366 kazıktan 261 tanesi kohezyonlu, 105 tanesi kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilmiştir. Şekil 8.9'da K_T katsayılarının kazığın yerleştirildiği zemin grubuna bağlı yerleşim torkuna karşı dağılım grafiği yer almaktadır.

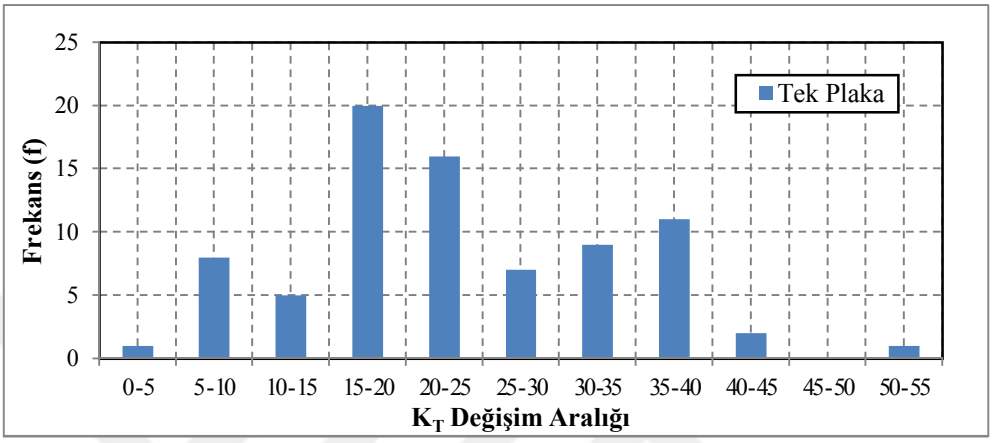


Şekil 8.9. K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı

8.3.1. Kohezyonlu zeminlerde K_T katsayılarının plaka sayısına göre incelemesi

a) Tek plakaya sahip kazıklar

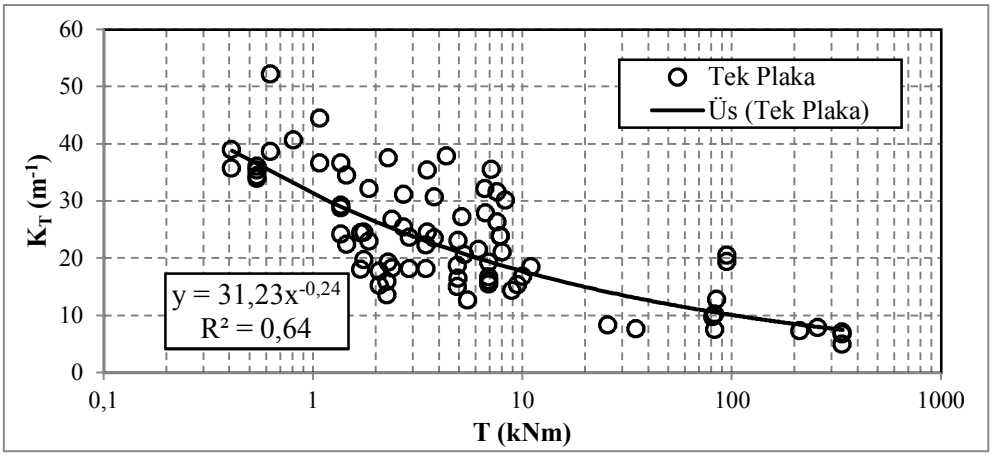
80 tane kazık tek plakaya sahiptir. Kazıklara ait K_T katsayıları için incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.10, 8.11 ve Tablo 8.5'de gösterilmektedir.



Şekil 8.10. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

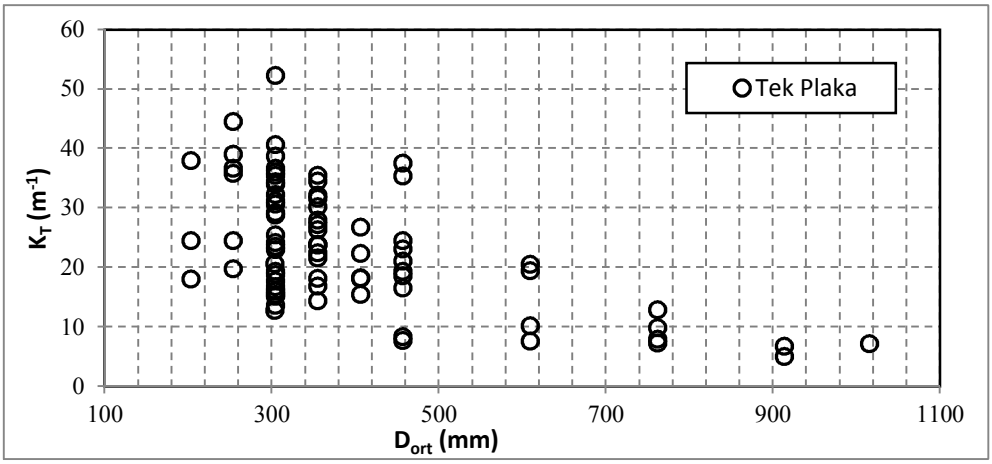
Tablo 8.5. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,4
Medyan	22,7
Varyans	102,3
Standart Sapma	10,1



a)

Şekil 8.11. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim toku, b) Ortalama plaka çapına karşı

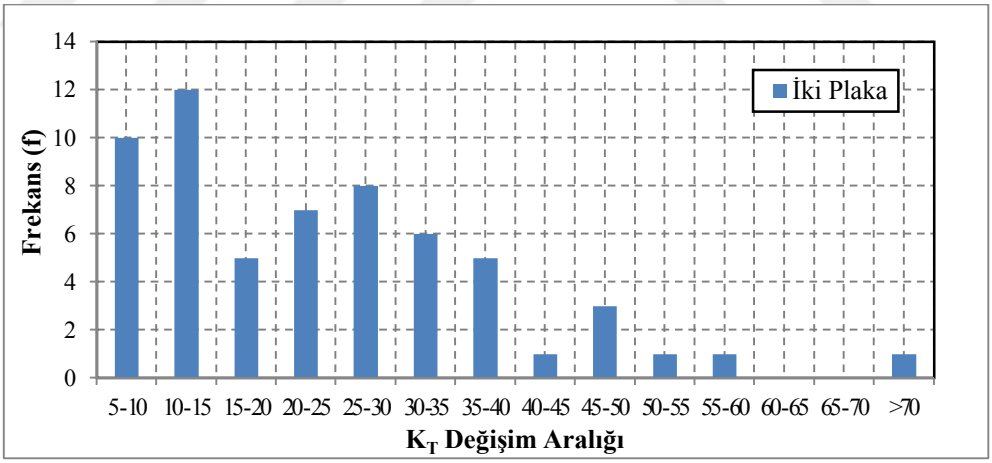


b)

Şekil 8.11.(Devam)Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim toku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

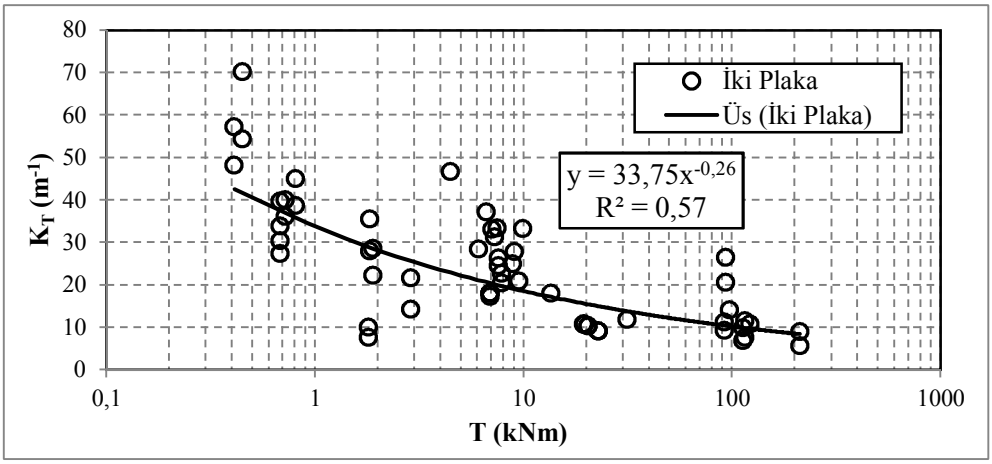
60 tane kazık iki plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayılarının analiz sonuçları Şekil 8.12, 8.13 ve Tablo 8.6'da sunulmuştur.



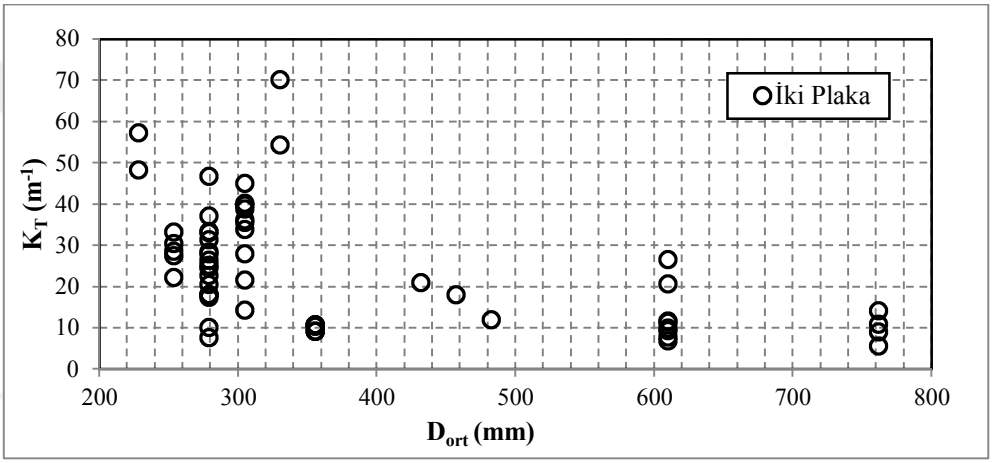
Şekil 8.12. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 8.6. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,8
Medyan	21,3
Varyans	204,0
Standart Sapma	14,3



a)

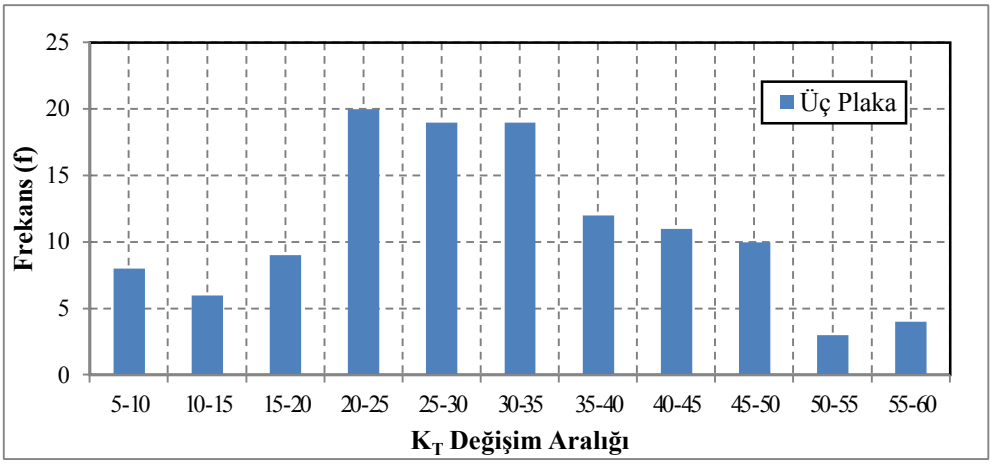


b)

Şekil 8.13. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

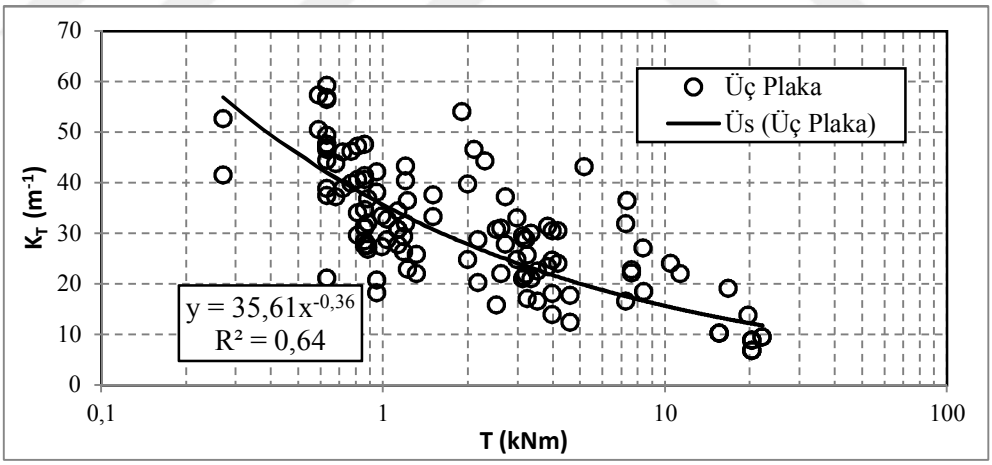
121 tane kazık üç plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.14, 8.15 ve Tablo 8.7'de sunulmuştur. Yerleşim torkuna karşı elde edilen dağılımdan eğri denklemi elde edilmiş ancak ortalama plaka çapına karşı elde edilen dağılımdan anlamlı eğri denklemi K_T değerleri belli çapta yoğunlaştığı için elde edilememiştir.



Şekil 8.14. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının frekans histogramı

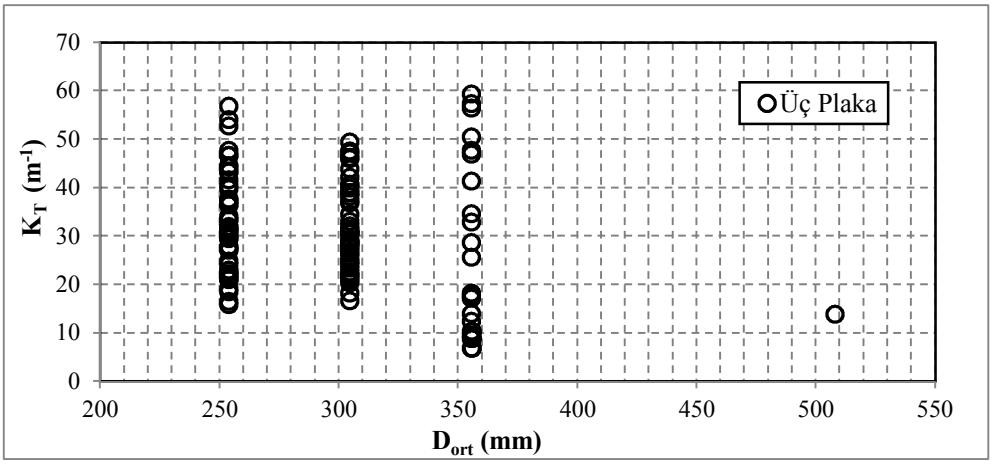
Tablo 8.7. Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	30,3
Medyan	29,7
Varyans	154,5
Standart Sapma	12,4



a)

Şekil 8.15.Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

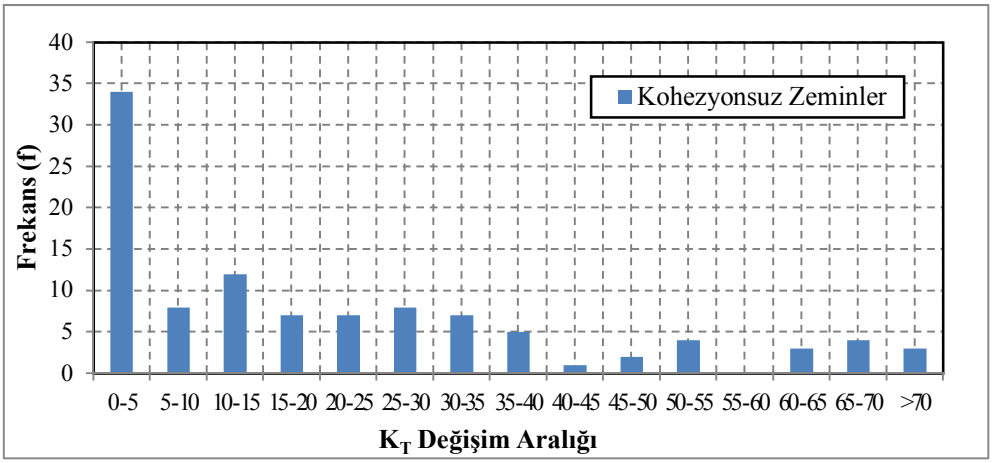


b)

Şekil 8.15.(Devam)Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

8.3.2. Kohezyonsuz zeminlerde K_T katsayılarının plaka sayısına göre incelemesi

Tüm kazıklar arasında 105 tane kazık kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiştir. Bu kazıklardan 3 tanesi 4 plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayılarının inceleme sonuçları Şekil 8.16 ve Tablo 8.8'de verilmiştir.



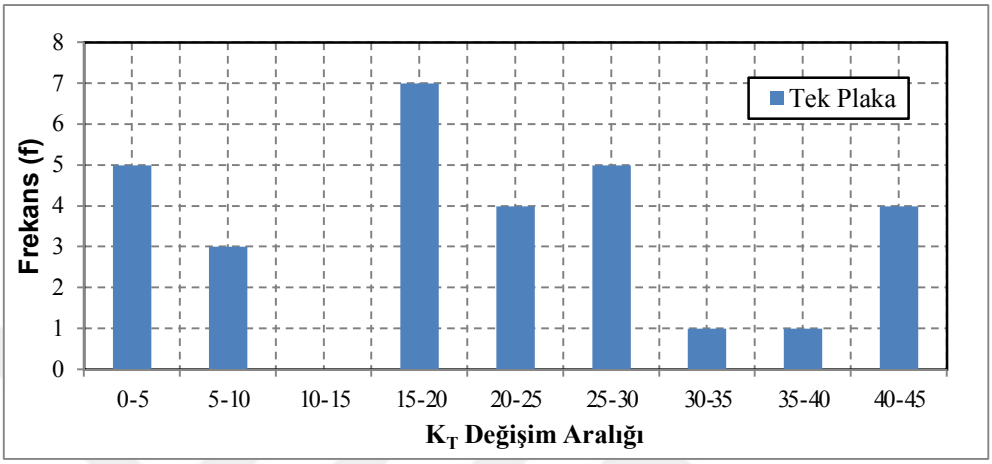
Şekil 8.16. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

Tablo 8.8. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	24,1
Medyan	18,3
Varyans	387,7
Standart Sapma	19,7

a) Tek plakaya sahip kazıklar

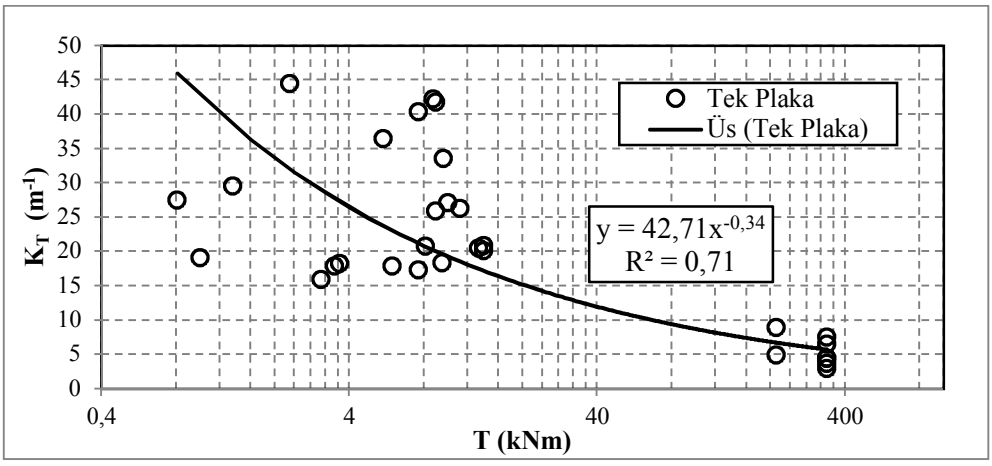
Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklardan 30 tanesi üzerinde tek plaka bulunmaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 8.17, 8.18 ve Tablo 8.9'da sunulmuştur.



Şekil 8.17. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

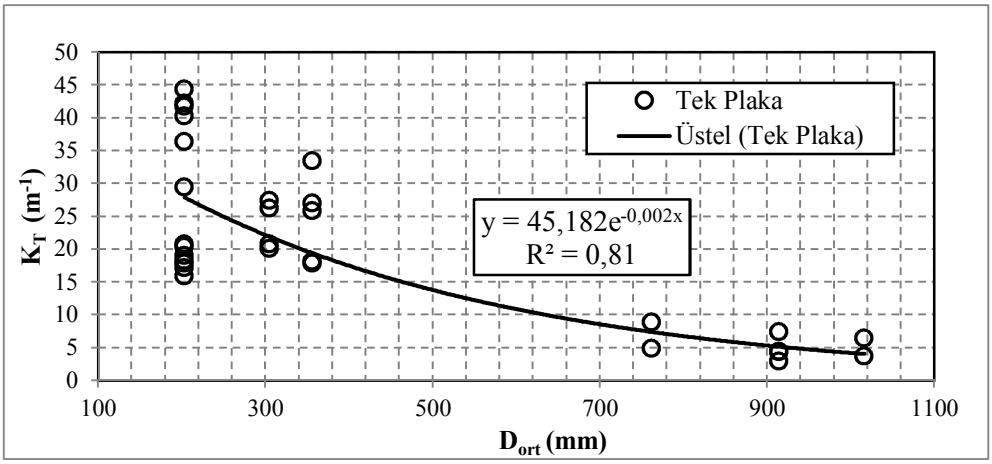
Tablo 8.9. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	20,8
Medyan	19,6
Varyans	153,5
Standart Sapma	12,4



a)

Şekil 8.18. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

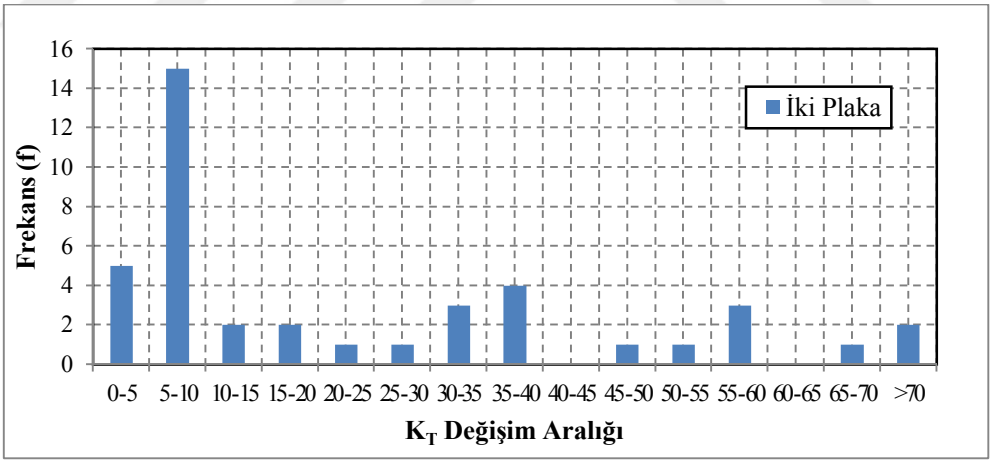


b)

Şekil 8.18.(Devam)Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

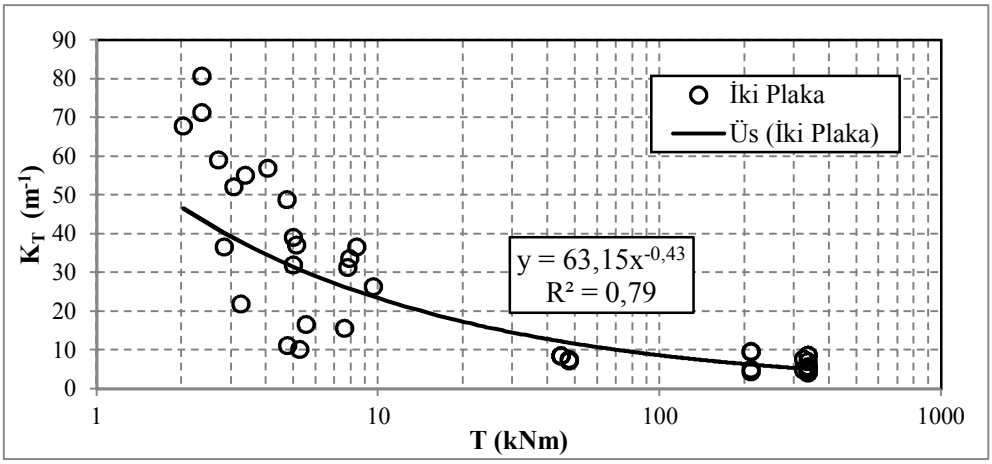
41 tane kazık iki plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Şekil 8.19, 8.20 ve Tablo 8.10'da sunulmuştur.



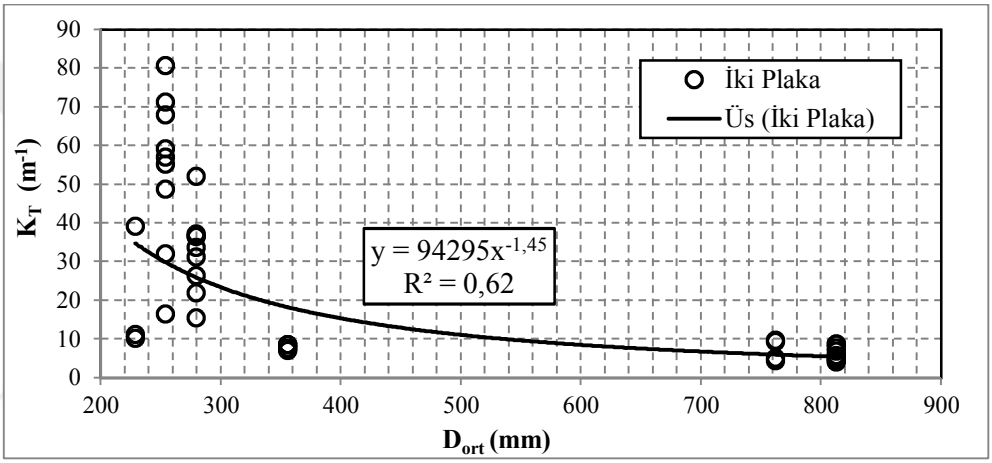
Şekil 8.19. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 8.10. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,8
Medyan	10,1
Varyans	484,7
Standart Sapma	22,0



a)

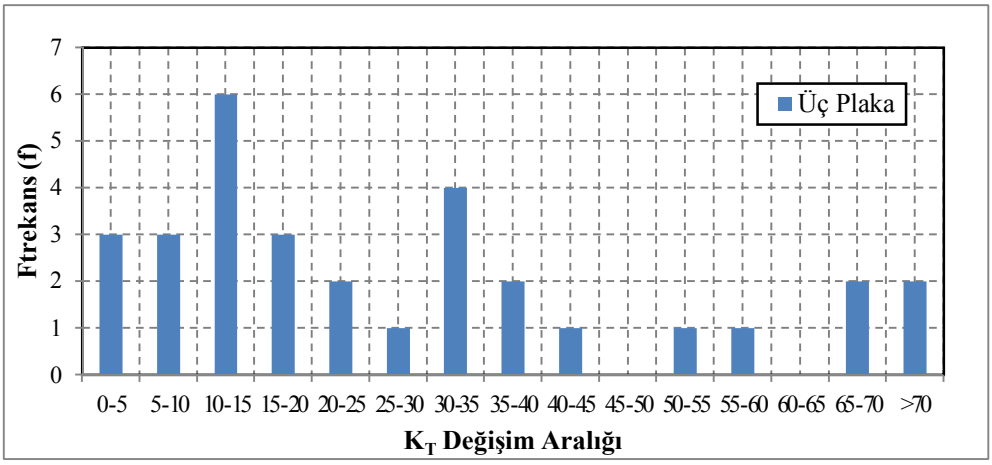


b)

Şekil 8.20. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

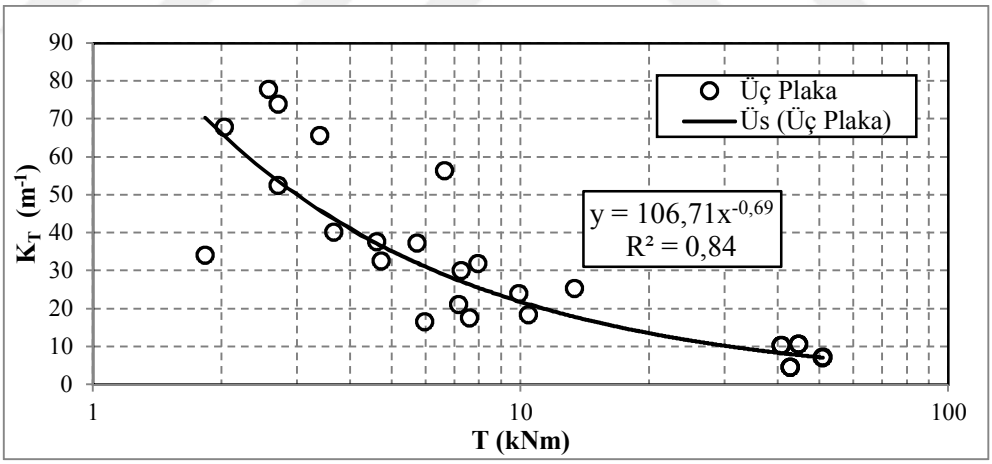
Üç plakaya sahip 31 tane kazık bulunmaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Şekil 8.21, 8.22 ve Tablo 8.11'de sunulmuştur.



Şekil 8.21. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 8.11. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

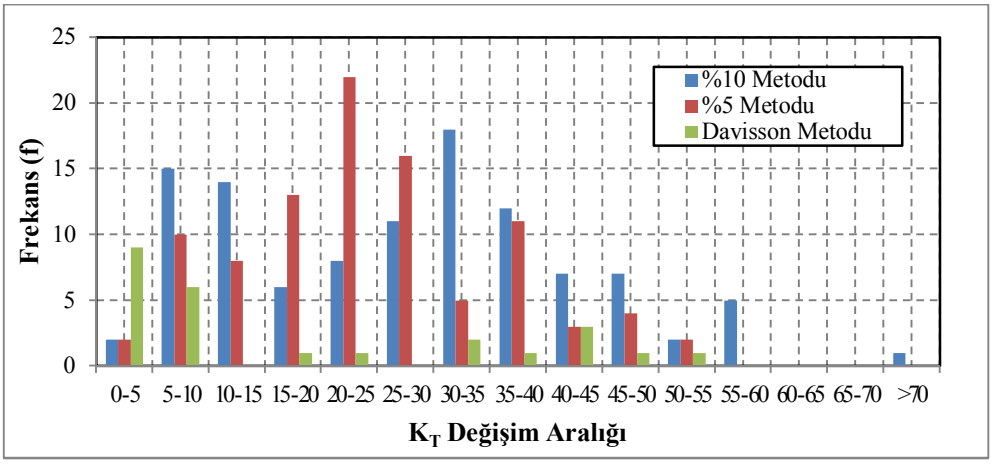
Aritmetik Ortalama	27,6
Medyan	21,1
Varyans	486,8
Standart Sapma	22,1



Şekil 8.22. Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

9. KAZIK KAPASİTE METODUNA GÖRE İNCELEME

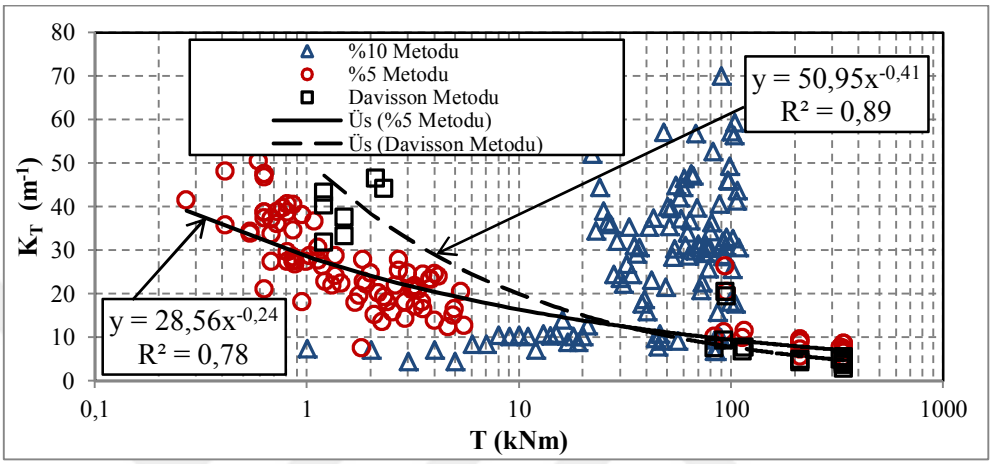
Tezin bu bölümünde K_T katsayıları kazık kapasitesinin belirlendiği kapasite metodu dikkate alınarak incelenmiştir. Yapılan analizlerde Perko tarafından yayımlanan kazık kapasite verilerinde, kapasitelerin hangi metoda göre belirlendiği ifade edilmediği için bu bölümde yer alan analizlerde kullanılmamıştır. Bu bölümde K_T katsayıları arazi testlerinde kazık kapasitelerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler olan %5 limit deplasman metodu, %10 limit deplasman metodu ve Davisson limit deplasman metoduna göre üç alt başlık altında incelenmiştir. Yukarıda belirtilen üç metodun kullanılarak kapasiteleri belirlenen helisel kazık sayısı 236'dır. Bu kazıklardan 103 tanesinde kapasite değeri %5, 108 tane kazıkta %10, 25 tane kazıkta da Davisson limit deplasman metodu kullanılarak belirlenmiştir. Kazıklara ait K_T katsayılarının aynı grafik üzerinde kapasite yöntemine göre dağılımları Şekil 9.2'de gösterilmektedir. K_T katsayılarının dağılımları üzerinden geliştirilen denklemlerde %10 metodunu temsil eden K_T katsayıları için anlamlı eğri oluşturulamadığından dolayı eğri üzerinde sadece %5 ve Davisson limit deplasman metotları için geliştirilen eğri denklemleri verilmiştir. Şekil 9.1 ve Tablo 9.1'de K_T katsayılarının frekans histogramı ve M.E.Y.Ö. değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 9.1. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramlarının karşılaştırılması

Tablo 9.1. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	%5 Metodu	%10 Metodu	Davisson Metodu
Aritmetik Ortalama	23,4	27,7	18,1
Medyan	22,4	29,5	7,6
Varyans	142,1	230,6	300,8
Standart Sapma	11,9	15,2	17,3

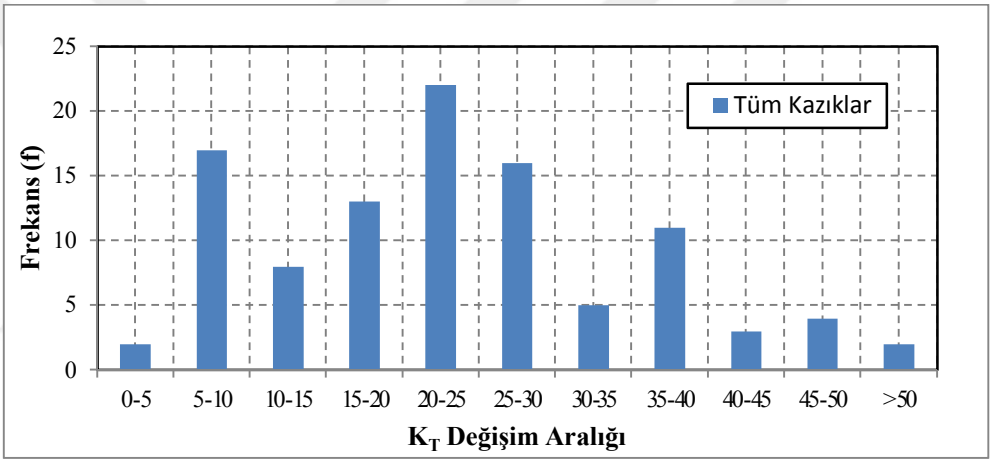


Şekil 9.2. Farklı kapasite metotları kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

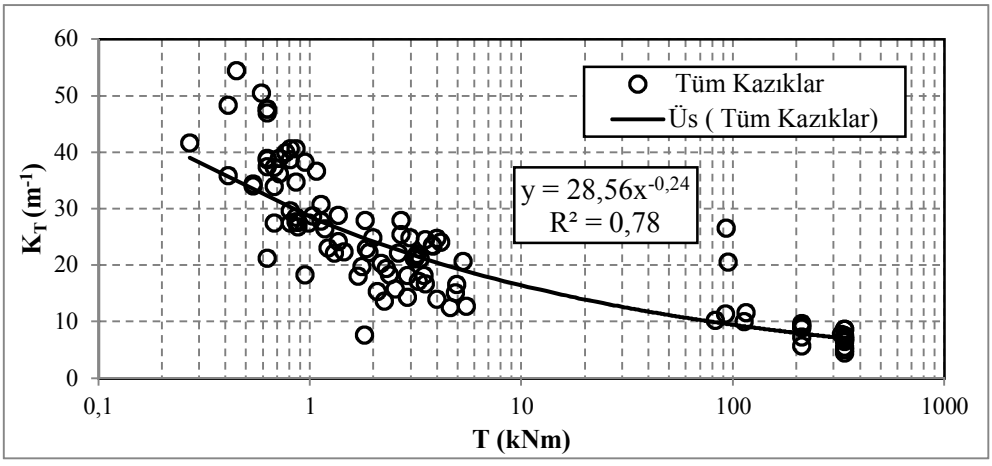
Bu bölümde geliştirilen K_T denklemlerinden yola çıkılarak kazık kapasitelerinin belirlenebildiği denklemler geliştirilmiş ve BÖLÜM 10'da tablolar halinde verilmiştir. Geliştirilen kapasite denklemlerinden doğrudan ilgili kapasite metoduna ait eksenel kapasitelerin tork korelasyon metodu ile belirlenebileceği denklemler geliştirilmiştir.

9.1. Kapasitesi %5 Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklarda K_T Katsayılarının İncelenmesi

103 adet kazığın kapasitesi %5 limit deplasman metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları plaka sayısı, kazığın yerleştirildiği zemin grubu - plaka sayısı ve kazık yükleme tipi dikkate alınıp alt gruplara ayrılarak incelenmiştir. Bu kısımda kapasitesi %5 limit deplasman metodu kullanılarak belirlenmiş ve belirlenen kapasiteler kazık yerleşim torkuna oranlanarak K_T katsayıları hesaplanmış kazıklar açıklamalarda kolaylık olması açısından D ile sembolize edilmiştir. 103 adet kazığa ait K_T katsayıları herhangi bir ayrım yapmadan incelendiğinde Şekil 9.3, 9.4'de verilen sonuçlar elde edilmiştir.

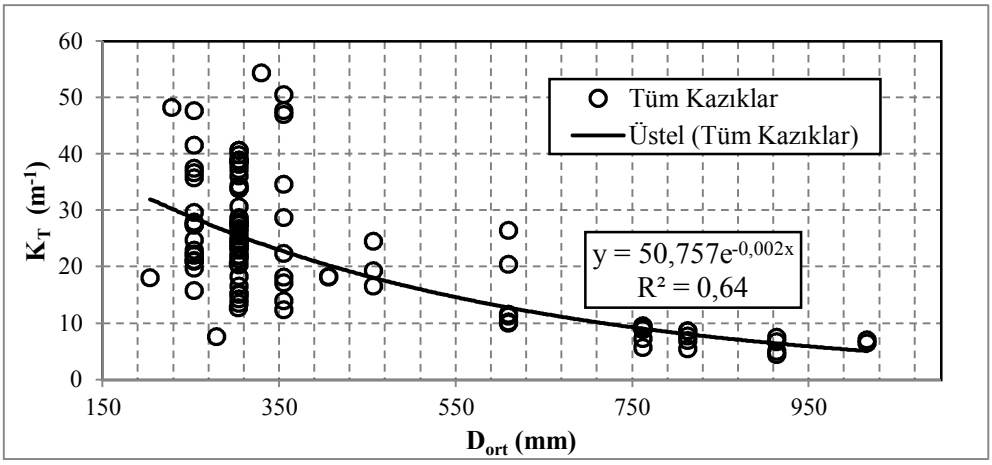


Şekil 9.3. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı



a)

Şekil 9.4. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı



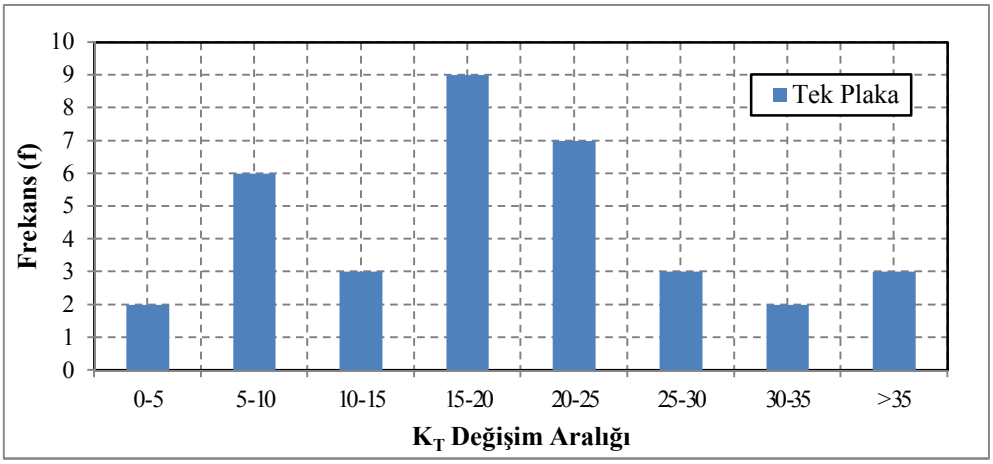
b)

Şekil 9.4.(Devam) D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

9.1.1. Plaka sayısına göre inceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

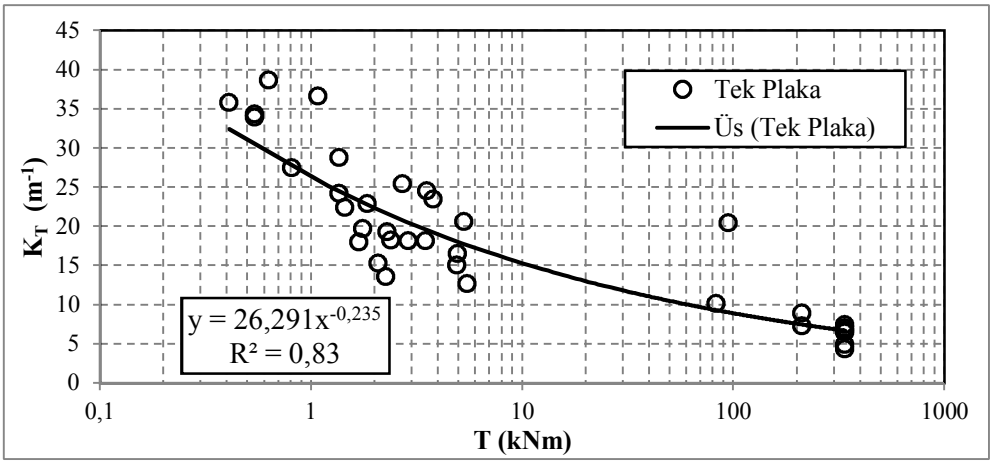
Üzerinde tek plaka bulunan kazıklara ait K_T katsayılarının inceleme sonuçları Şekil 9.5, 9.6 ve Tablo 9.2'de verilmiştir.



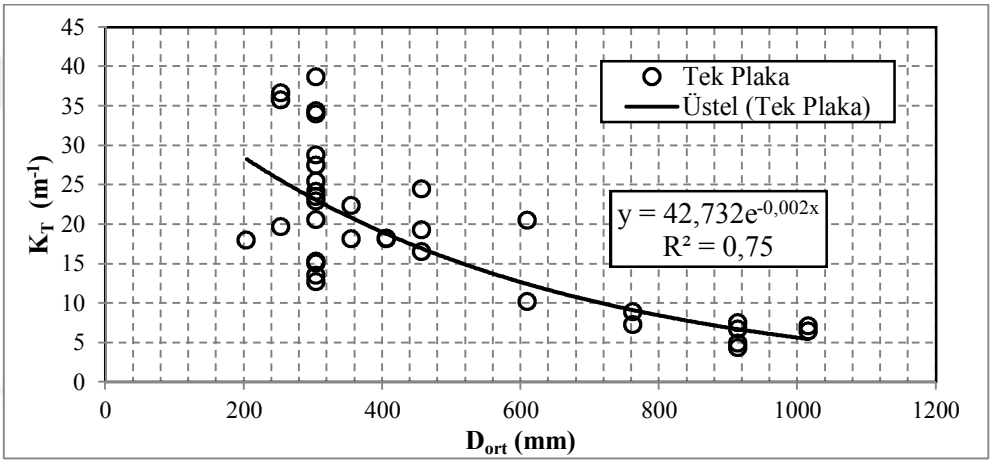
Şekil 9.5. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.2. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayısı M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	19,1
Medyan	18,2
Varyans	93,4
Standart Sapma	9,7



a)

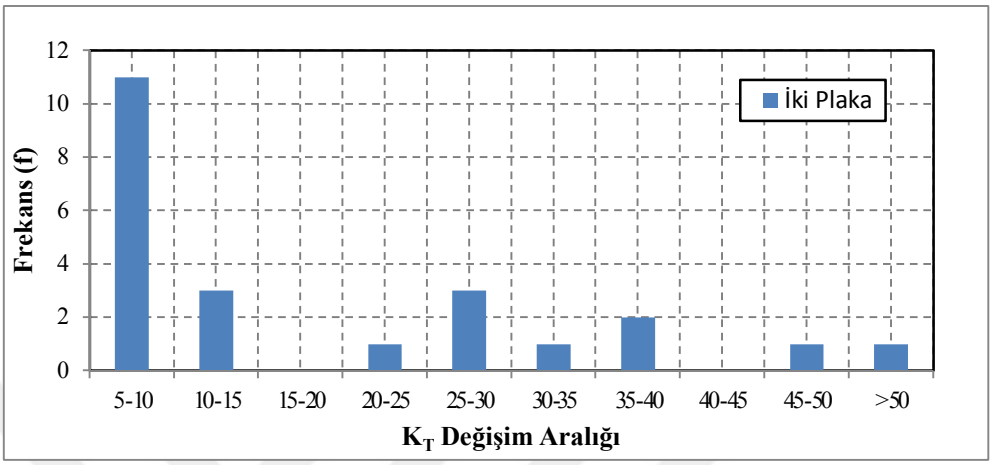


b)

Şekil 9.6. D özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

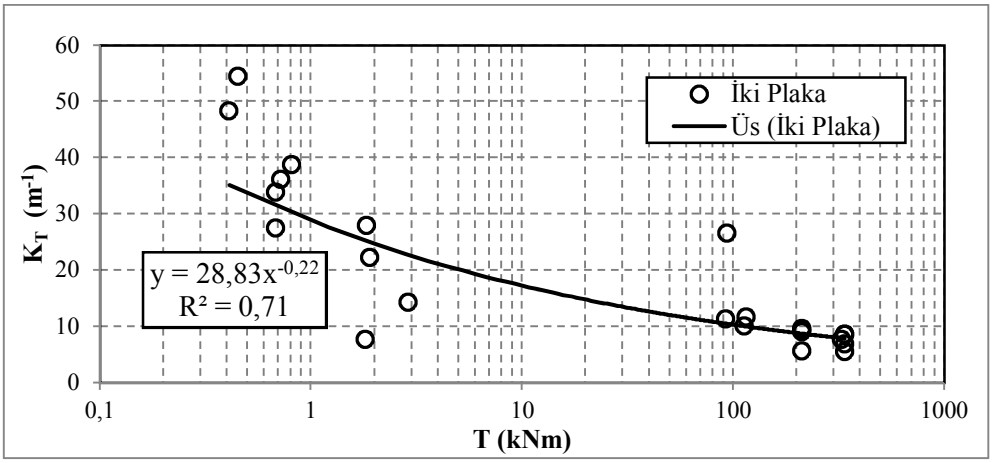
İki plakalı kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 9.7, 9.8 ve Tablo 9.3'de verilmiştir.



Şekil 9.7. D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

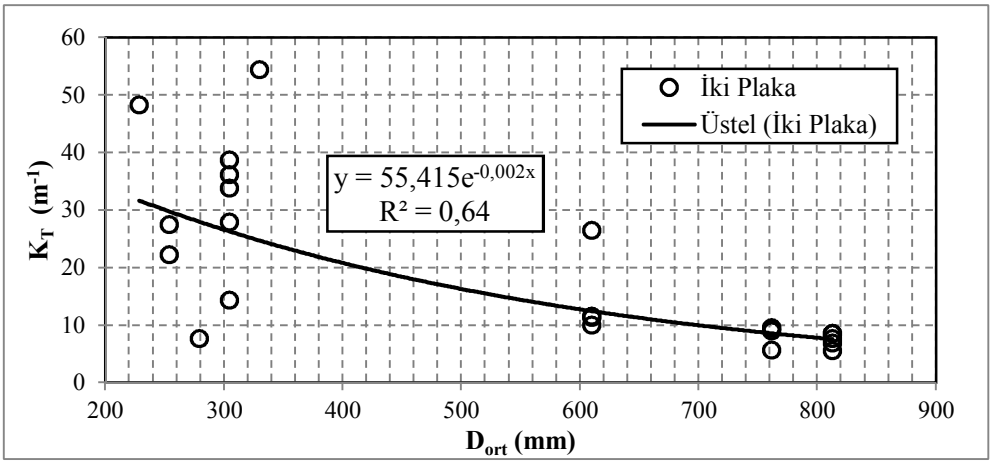
Tablo 9.3. D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	19,2
Medyan	11,3
Varyans	213,9
Standart Sapma	14,6



a)

Şekil 9.8. D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

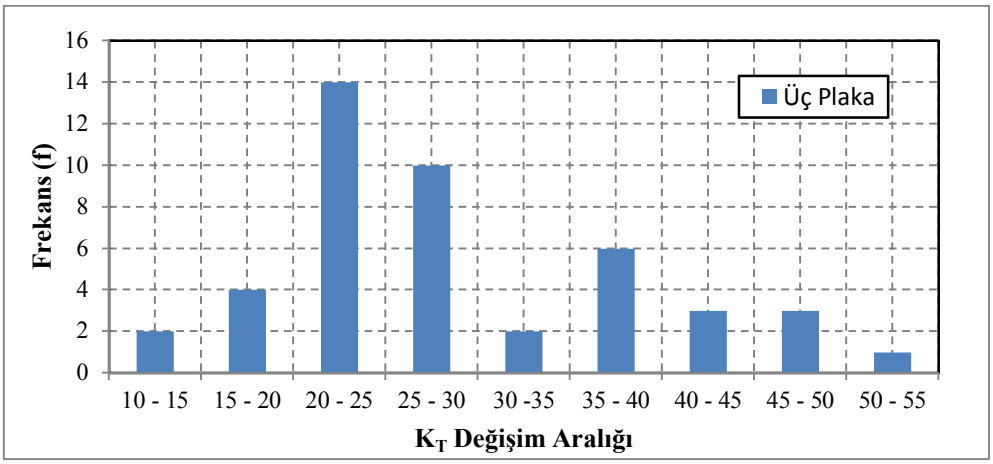


b)

Şekil 9.8.(Devam) D özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

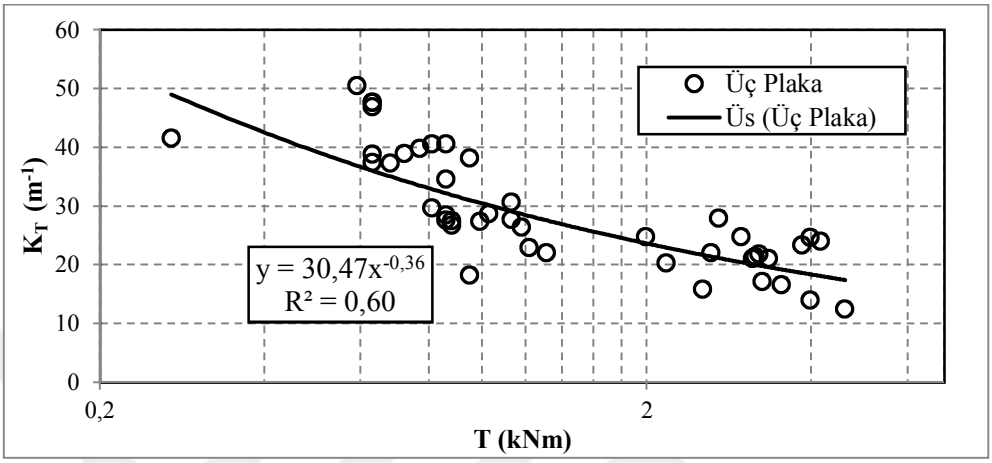
Üç plakalı kazıklara ait K_T katsayılarının inceleme sonuçları Şekil 9.9, 9.10 ve Tablo 9.4'de sunulmuştur. Bu kazıklarda K_T katsayısı dağılım grafiklerinde kazık yerleşim torkuna karşı eğri denklemi geliştirilirken ortalama plaka çapına karşı elde edilen dağılımda katsayılar belli çap değerlerinde yoğunlaşmış olduğu için anlamlı denklemler geliştirilememiştir.



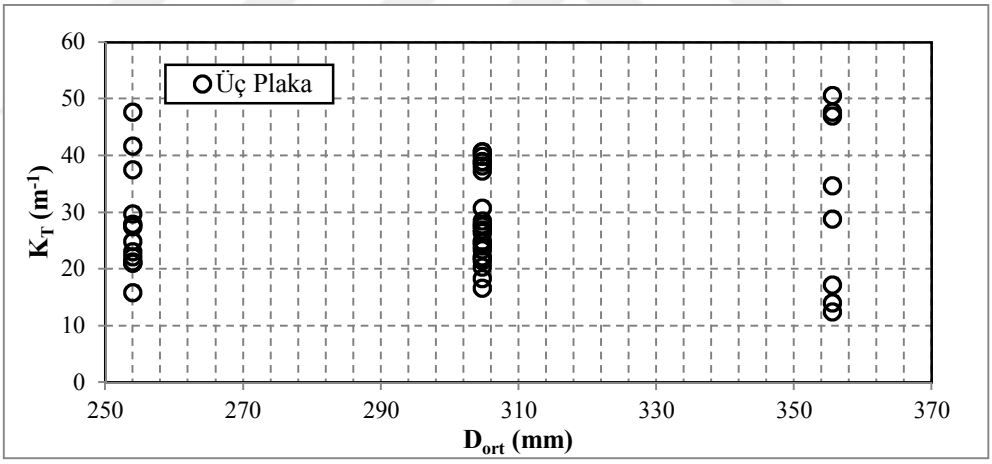
Şekil 9.9. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.4. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	28,9
Medyan	27,4
Varyans	95,5
Standart Sapma	9,8



a)



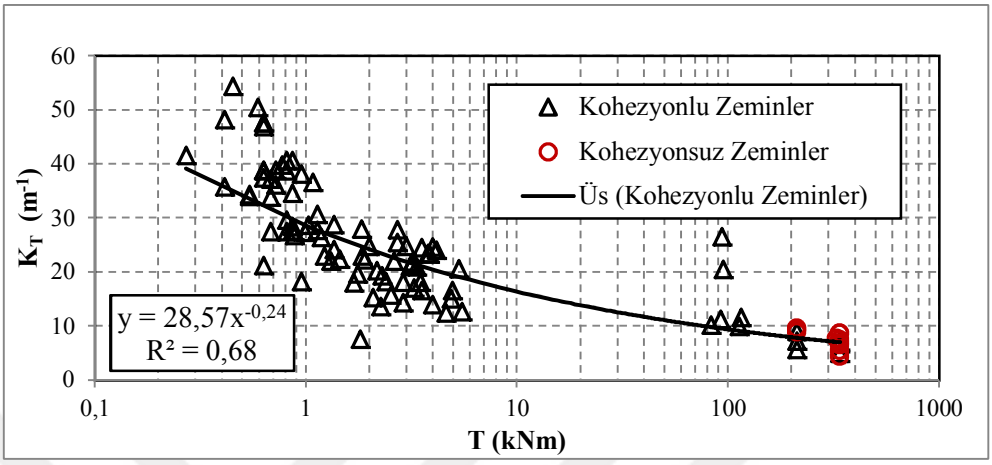
b)

Şekil 9.10. D özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

9.1.2. Zemin grubuna göre inceleme

Toplamda 103 K_T katsayısından 92 tanesi kohezyonlu, 11 tanesi de kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklara aittir. K_T katsayıları kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre dağılımları incelendiğinde Şekil 9.11'de de ifade dağılım grafiği elde edilmiştir. Her iki zemin grubuna yerleştirilen kazıklar için eğri denklemleri

geliştirilmeye çalışılmış ancak kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklar için az sayıda veri olduğu ve var olan verilerin de geniş yayılım gösterememesinden dolayı sadece kohezyonlu zeminler için eğri denklemi geliştirilebilmiştir.



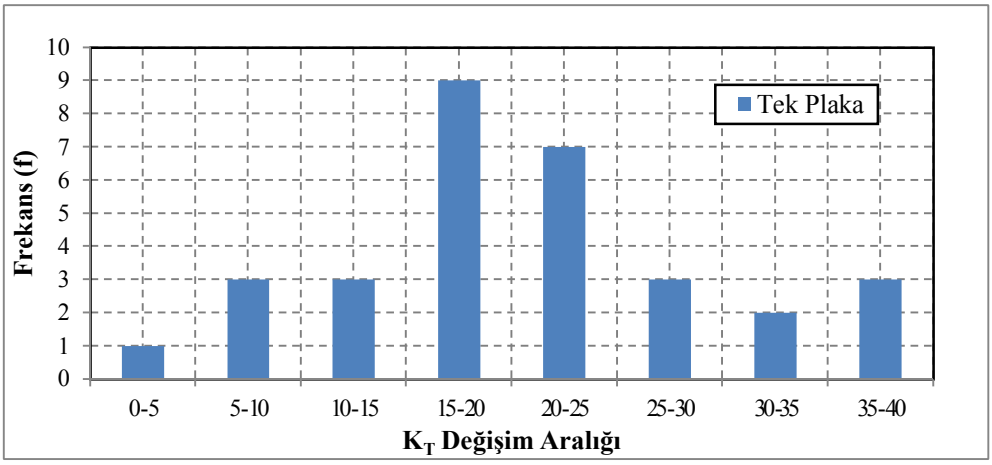
Şekil 9.11. D özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı

9.1.2.1.Kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen kazıklar

Kazığın yerleştirildiği zemin grubu ve kazık üzerindeki plaka sayısı aynı anda dikkate alınarak bu kısımda incelenmiştir. Burada K_T dağılım grafiği ortalama plaka çapına göre incelendiğinde değerler tek bir boyut üzerinde yoğunlaştığı için ifade edilmemiştir.

a) Tek plakaya sahip kazıklar

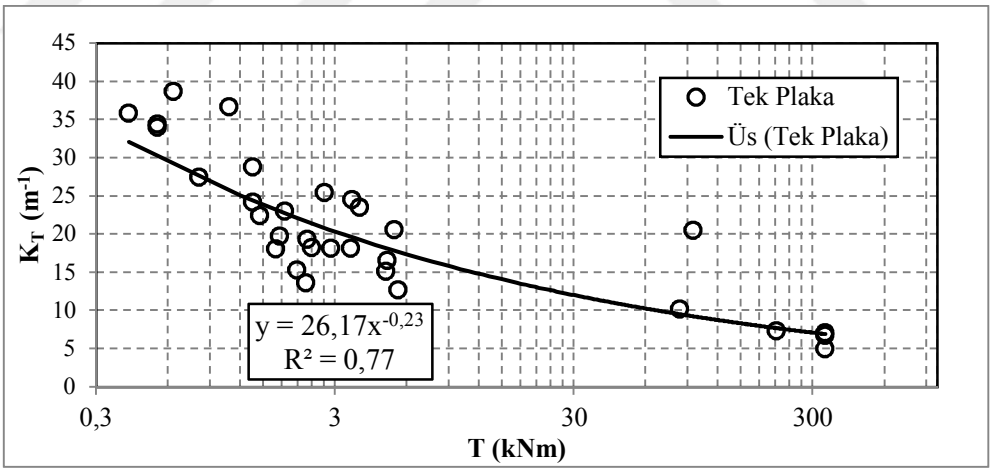
Toplamda 103 tane K_T katsayısından 31 tanesi kohezyonlu zeminlere yerleştirilen ve üzerinde tek plaka bulunan kazığa aittir. İncelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.5, Şekil 9.12 - 9.13'de gösterilmektedir.



Şekil 9.12. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.5. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

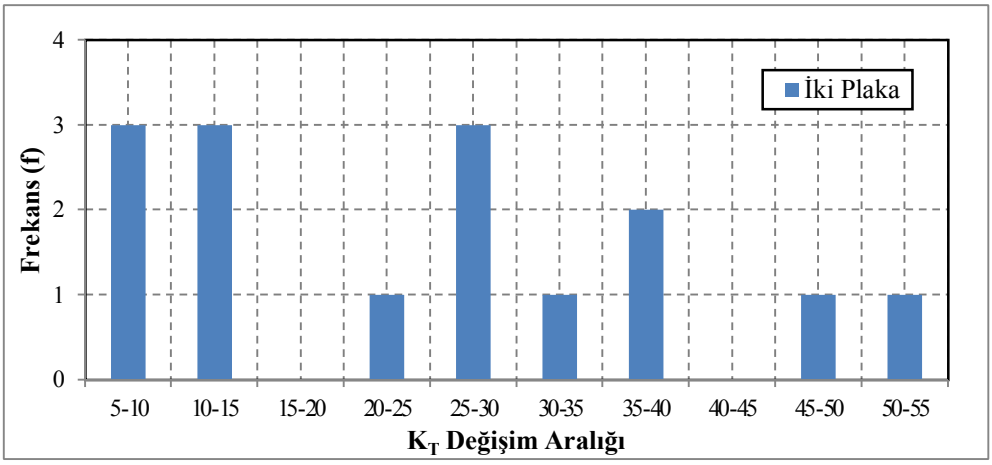
Aritmetik Ortalama	20,7
Medyan	19,7
Varyans	82,9
Standart Sapma	9,1



Şekil 9.13. Kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) İki plakaya sahip kazıklar

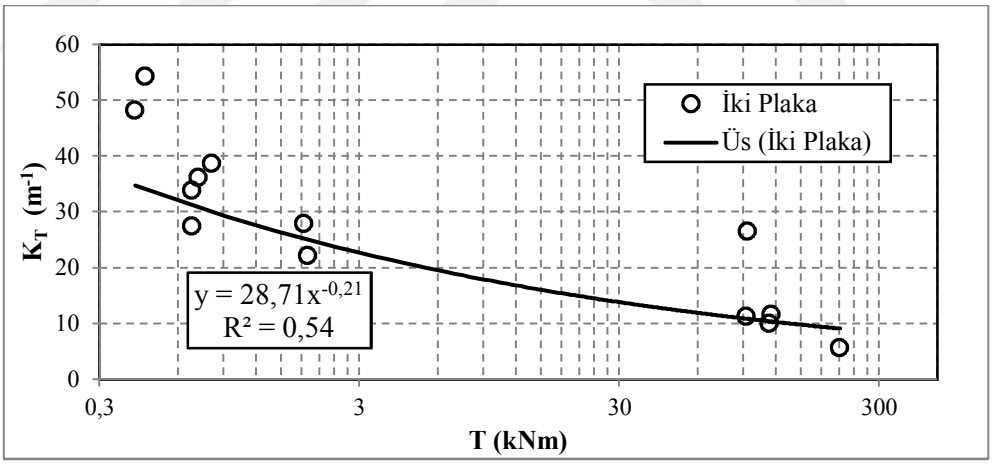
K_T verilerinden 15 tanesi iki plakalı kazıklara aittir. İncelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.6, Şekil 9.14, 9.15'de yer almaktadır.



Şekil 9.14. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.6. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

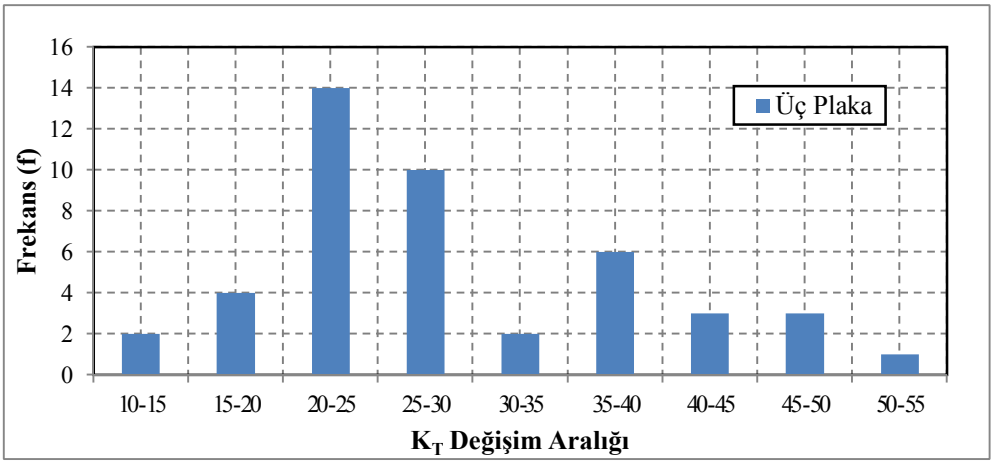
Aritmetik Ortalama	25,1
Medyan	26,5
Varyans	228,8
Standart Sapma	15,1



Şekil 9.15. Kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

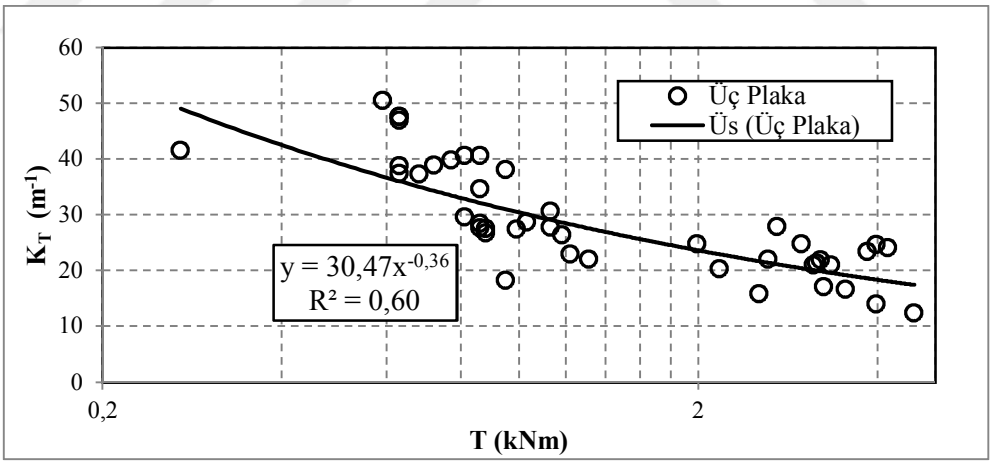
Üzerinde üç plaka bulunan kazıklara ait 46 tane K_T verisi bulunmaktadır. İnceleme sonuçları Tablo 9.7, Şekil 9.16, 9.17'de ifade edilmiştir.



Şekil 9.16. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.7. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	28,9
Medyan	27,4
Varyans	95,5
Standart Sapma	9,8



Şekil 9.17. Kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

9.1.2.2.Kohezyonsuz zeminlerde yerleştirilen kazıklar

Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklara ait hesaplanan K_T katsayıları az sayıda olduğu için anlamlı dağılım ilişkileri elde edilememiştir. Bu kazıklar bir ve iki plakaya sahiptir. Üç plakalı kazık bulunmamaktadır. Sonuçlar Tablo 9.8, 9.9'da yer almaktadır.

Tablo 9.8. Kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının frekans dağılımı

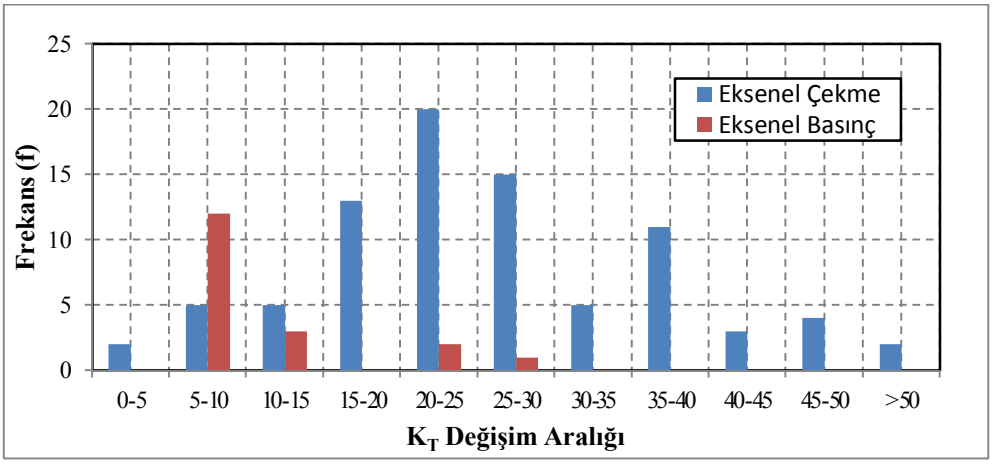
K_T Değişim Aralığı	Frekans (f) – Tek Plaka	Frekans (f) – İki Plaka
0 - 5	1	0
5 - 10	2	8
>10	0	0
Toplam	3	8

Tablo 9.9. Kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	Tek Plaka	İki Plaka
Aritmetik Ortalama	6,8	8,2
Medyan	7,0	8,6
Varyans	3,6	1,9
Standart Sapma	1,9	1,4

9.1.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme

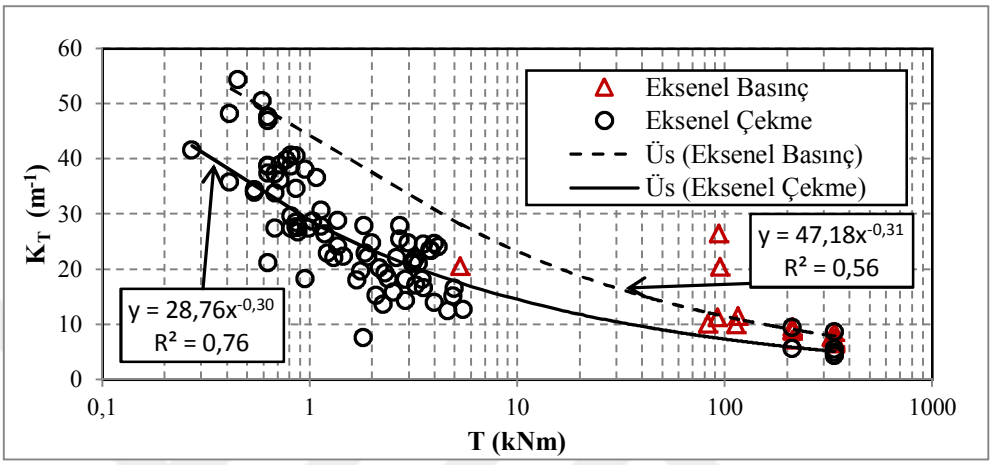
103 tane K_T katsayısından 85 tanesi eksenel çekme, 18 tanesi ise eksenel basınç testi yapılan kazıklara aittir. K_T katsayılarının yükleme tipine bağlı inceleme sonuçları Tablo 9.10 ve Şekil 9.18, 9.19'da sunulmuştur.



Şekil 9.18. K_T katsayılarının yükleme tipine bağlı frekans histogramlarının karşılaştırılması

Tablo 9.10. Kazık yükleme tipine bağlı K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	Eksenel Çekme	Eksenel Basınç
Aritmetik Ortalama	26,0	10,9
Medyan	24,7	9,0
Varyans	125,6	32,2
Standart Sapma	11,2	5,7

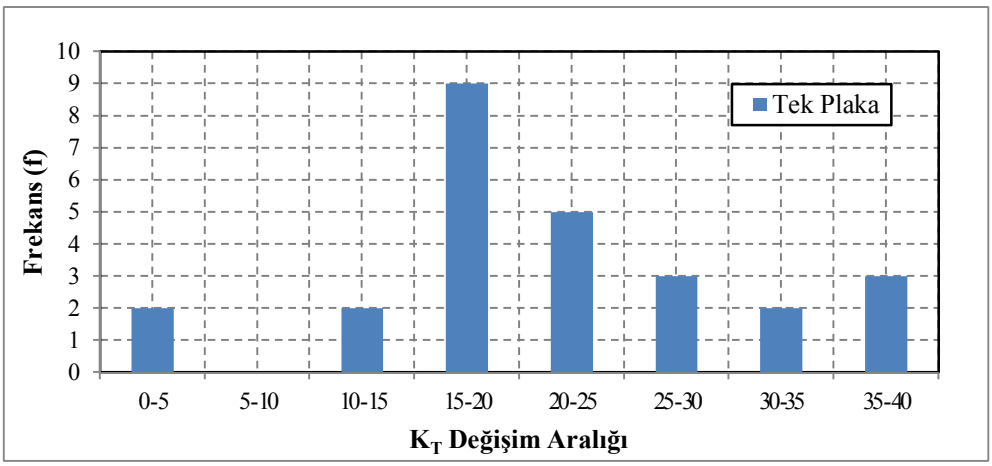


Şekil 9.19. K_T katsayılarının kazık yükleme tipine bağlı yerleşim torkuna karşı dağılımları

9.1.3.1.Çekme testi yapılan kazıklar

a) Tek plakaya sahip kazıklar

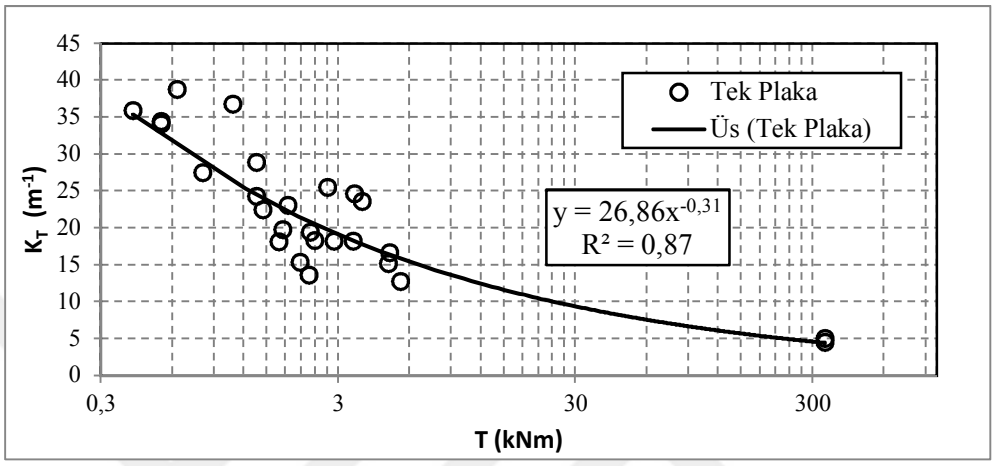
26 tane K_T katsayısı üzerinde tek plaka bulunan kazığa aittir. İnceleme sonuçları Tablo 9.11 ve Şekil 9.20, 9,21'de sunulmuştur.



Şekil 9.20. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.11. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

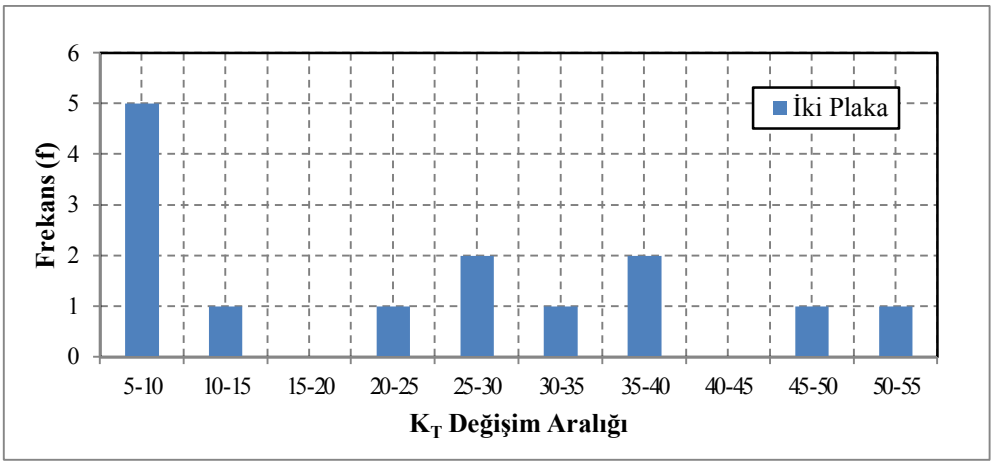
Aritmetik Ortalama	22,0
Medyan	21,1
Varyans	81,4
Standart Sapma	9,0



Şekil 9.21. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) İki plakaya sahip kazıklar

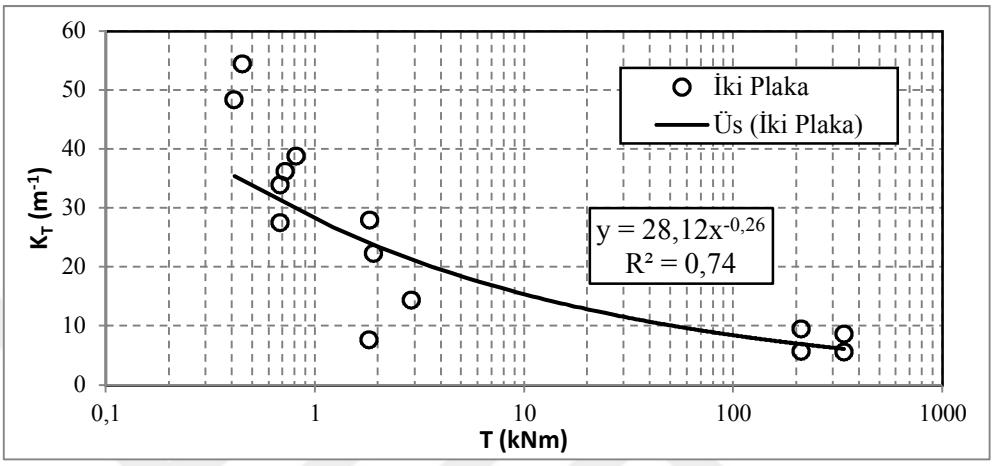
İki plakaya sahip 14 adet kazık bulunmaktadır. Bu kazıklar için hesaplanan K_T katsayıları üzerinde yapılan analizlerden elde edilen sonuçlar Şekil 9.22, 9.23 ve Tablo 9.12'de verilmiştir.



Şekil 9.22. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.12. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

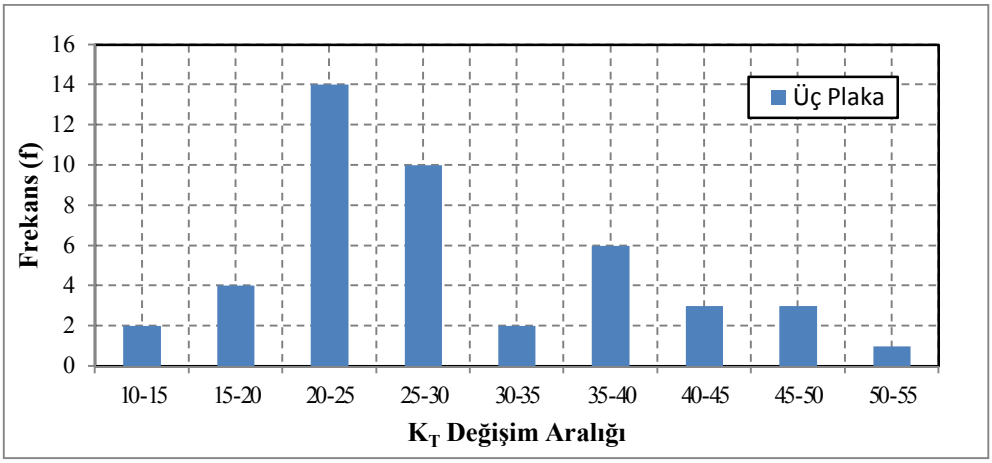
Aritmetik Ortalama	24,3
Medyan	24,9
Varyans	268,8
Standart Sapma	16,4



Şekil 9.23. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

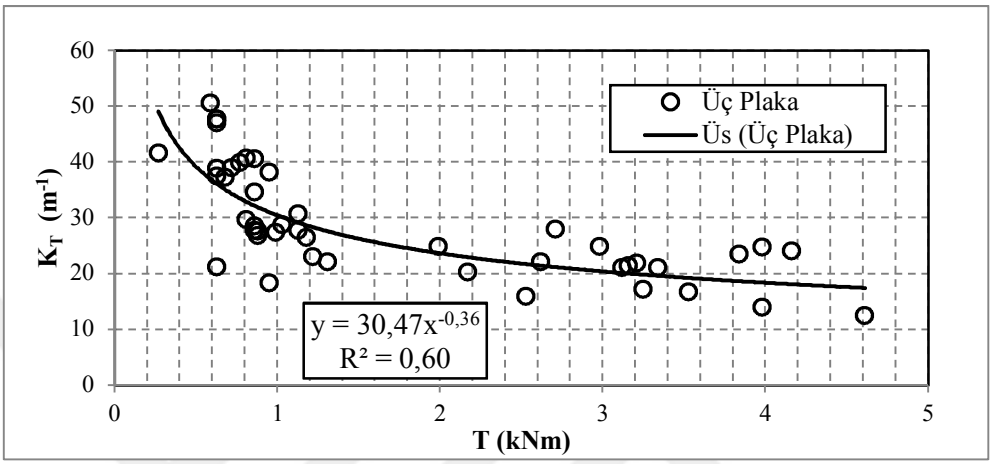
Üç plakaya sahip 45 tane kazık bulunmaktadır. Kazıklara ait K_T katsayılarının analiz sonuçları Tablo 9.13 ve Şekil 9.24, 9.25'de sunulmuştur.



Şekil 9.24. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.13. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	28,9
Medyan	27,4
Varyans	95,5
Standart Sapma	9,8



Şekil 9.25. D özelliğine sahip, çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

9.1.3.2.Basınç testi yapılan kazıklar

a) Tek plakaya sahip kazıklar

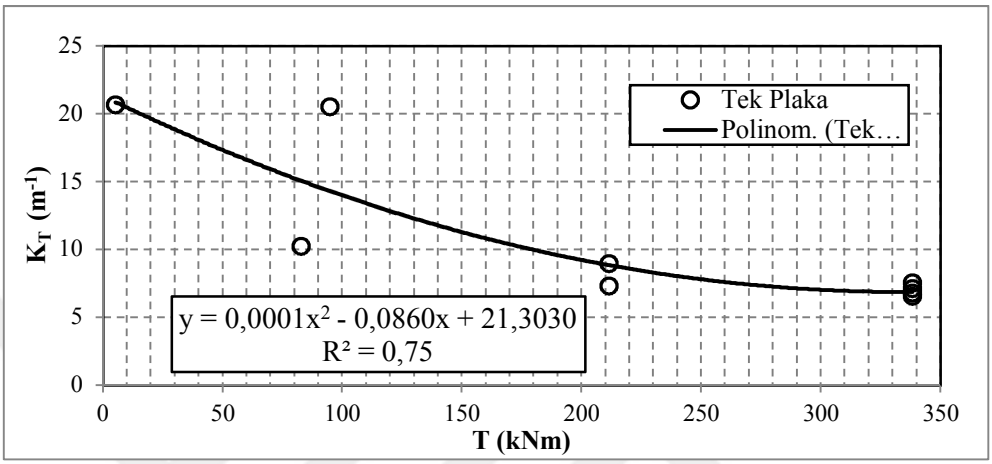
Tek plakaya sahip kazıklara ait K_T katsayılarının analizlerinden elde edilen inceleme sonuçları Tablo 9.14, 9.15 ve Şekil 9.26'da yer almaktadır.

Tablo 9.14. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	**Frekans(f)**
0 - 5	0
5 - 10	6
10 - 15	1
15 - 20	0
> 20	2
Toplam	9

Tablo 9.15. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	10,6
Medyan	7,5
Varyans	33,2
Standart Sapma	5,8



Şekil 9.26. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) İki plakaya sahip kazıklar

İki plakaya sahip kazıklara ait K_T verilerinin inceleme sonuçları Tablo 9.16, 9.17'de yer almaktadır.

Tablo 9.16. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi

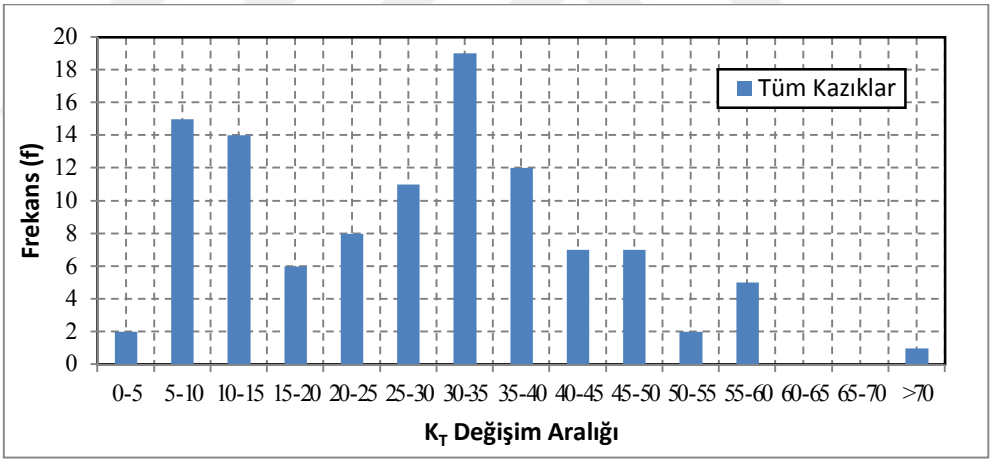
K_T Değişim Aralığı	**Frekans(f)**
0 - 5	0
5 - 10	6
10 - 15	2
15 - 20	0
20 - 25	0
> 25	1
Toplam	9

Tablo 9.17. D özelliğine sahip, basınç testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	11,2
Medyan	9,6
Varyans	35,1
Standart Sapma	5,9

9.2. Kapasitesi %10 Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklarda K_T Katsayılarının İncelenmesi

Kapasitesi %10 limit deplasman metodu ile belirlenmiş 108 adet kazık bulunmaktadır. %10 limit deplasman metodundan elde edilen eksenel kapasite değerleri yerleşim torkuna oranlanarak K_T değeri hesaplanan kazıklar E ile sembolize edilmiştir. Hesaplanan K_T katsayıları belirli özelliklerine göre ayrım yapmadan incelendiğinde elde edilen frekans histogramı ve M.E.Y.Ö. Şekil 9.27 ve Tablo 9.18'de gösterilmiştir.



Şekil 9.27. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

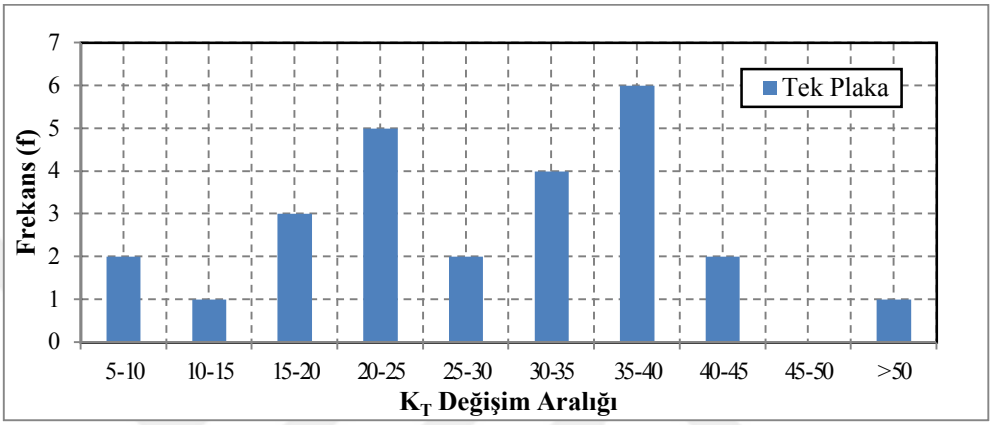
Tablo 9.18. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	27,7
Medyan	29,5
Varyans	228,7
Standart Sapma	15,1

9.2.1. Plaka sayısına göre inceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

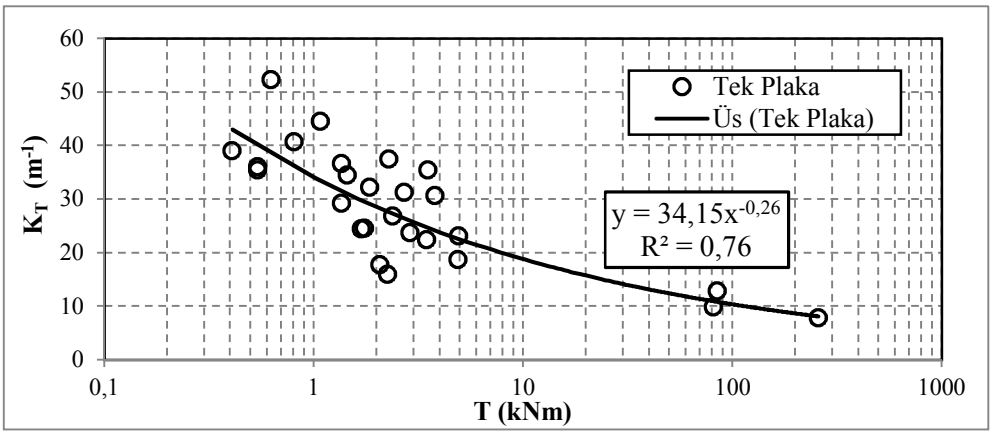
108 tane K_T verisinden 26 tanesi tek plakaya sahip kazıklara aittir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.19 ve Şekil 9.28, 9.29'da yer almaktadır.



Şekil 9.28. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

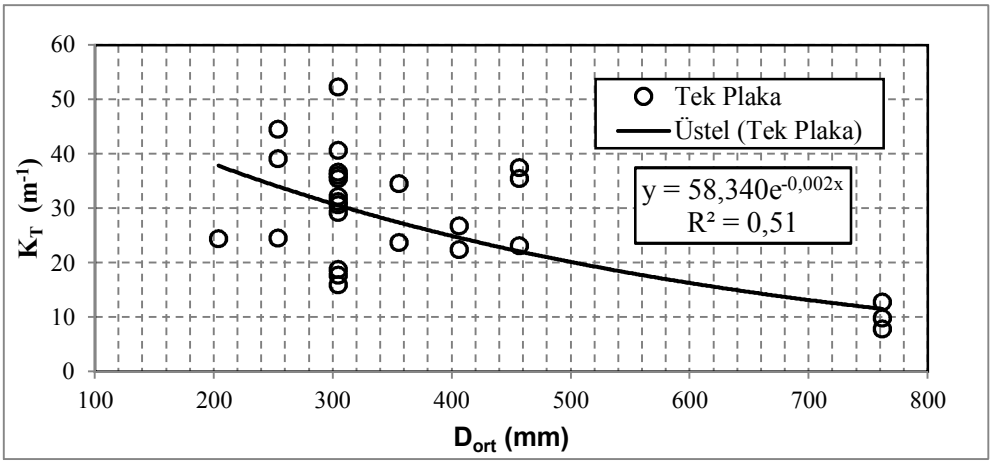
Tablo 9.19. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	28,6
Medyan	30,0
Varyans	118,1
Standart Sapma	10,9



a)

Şekil 9.29. E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

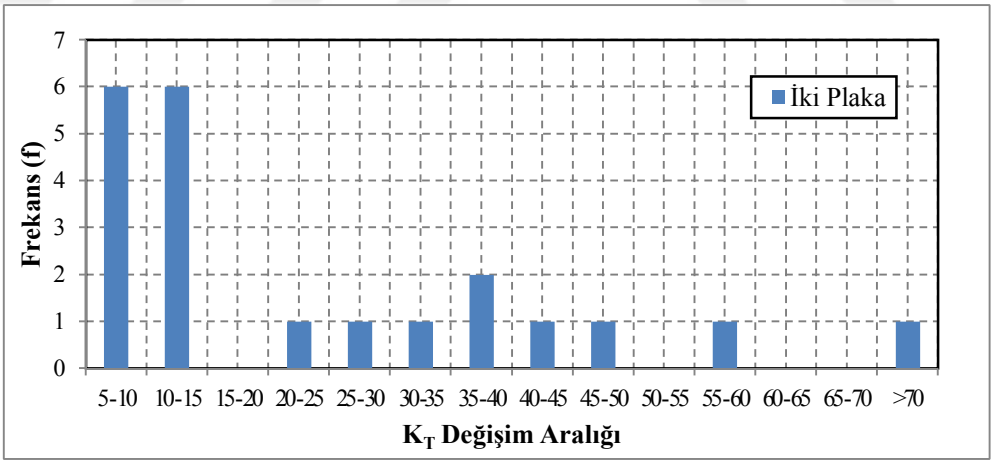


b)

Şekil 9.29.(Devam)E özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

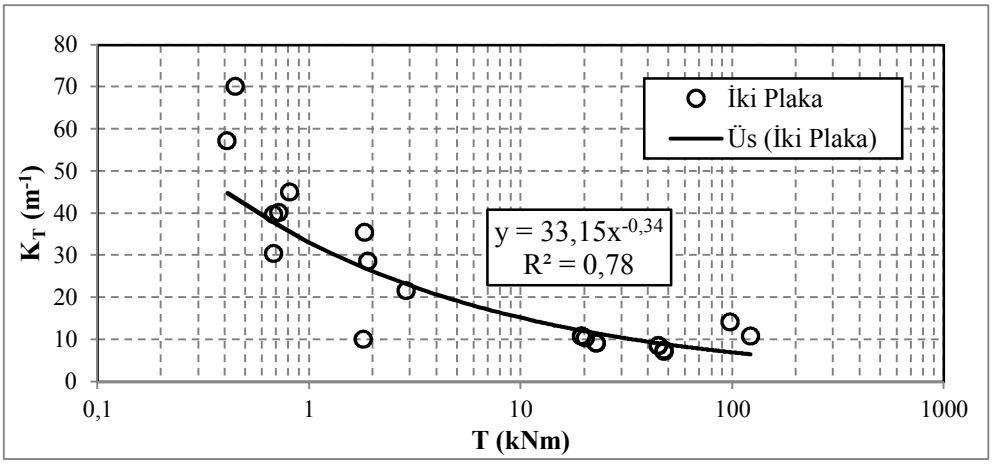
K_T katsayılarından 21 tanesi iki plakaya sahip kazıklara aittir. İnceleme sonuçları Tablo 9.20 ile Şekil 9.30, 9.31'de gösterilmiştir. Ortalama plaka çapına göre K_T katsayılarının dağılımında uygun eğri denklemi elde edilememiştir.



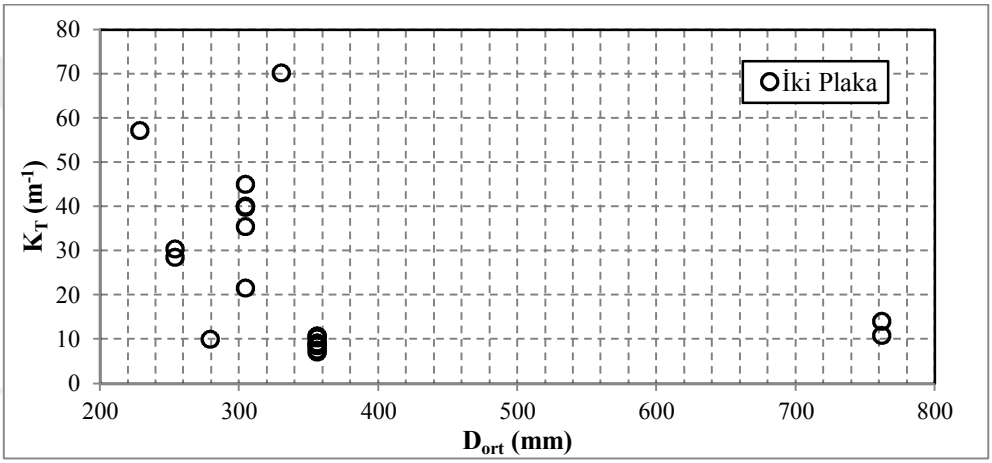
Şekil 9.30. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayısı frekans histogramı

Tablo 9.20. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	23,1
Medyan	10,9
Varyans	342,6
Standart Sapma	18,5



a)

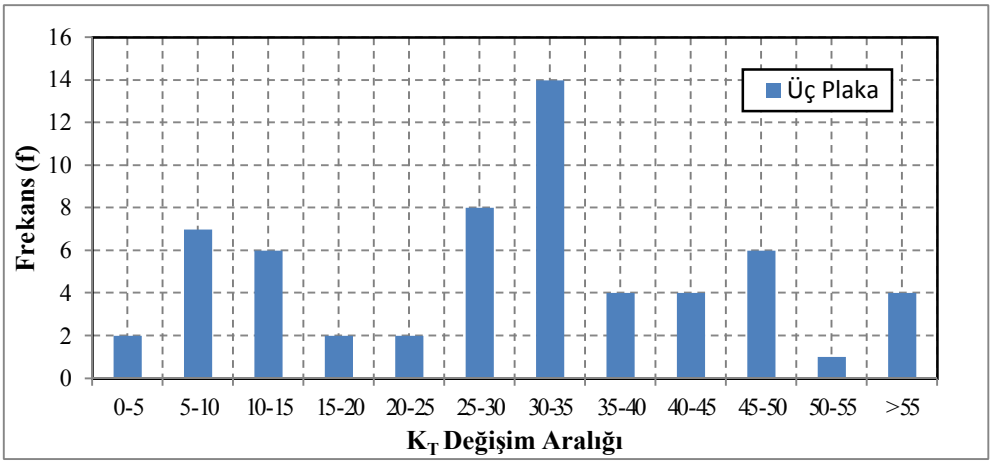


b)

Şekil 9.31. E özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

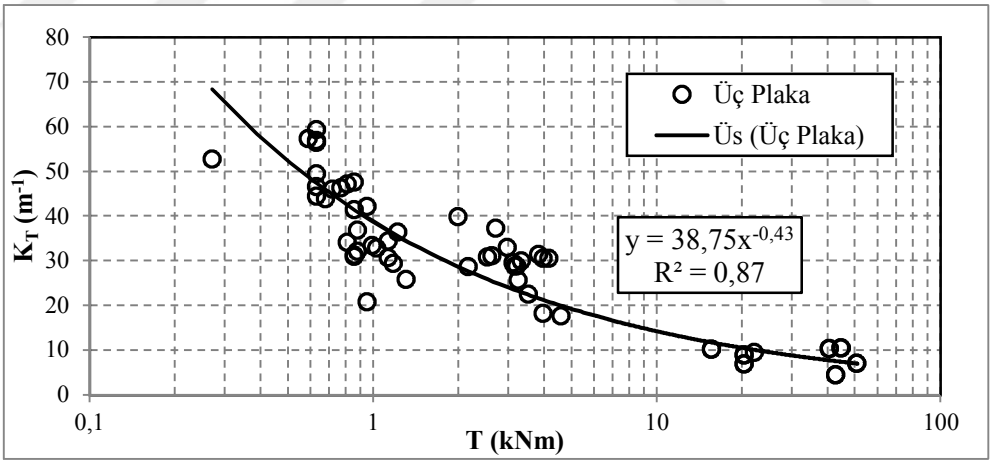
Üç plakaya sahip kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Tablo 9.21 ve Şekil 9.32, 9.33'de yer almaktadır. Ortalama plaka çapına göre K_T katsayılarının dağılımında uygun eğri denklemi elde edilememiştir.



Şekil 9.32. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

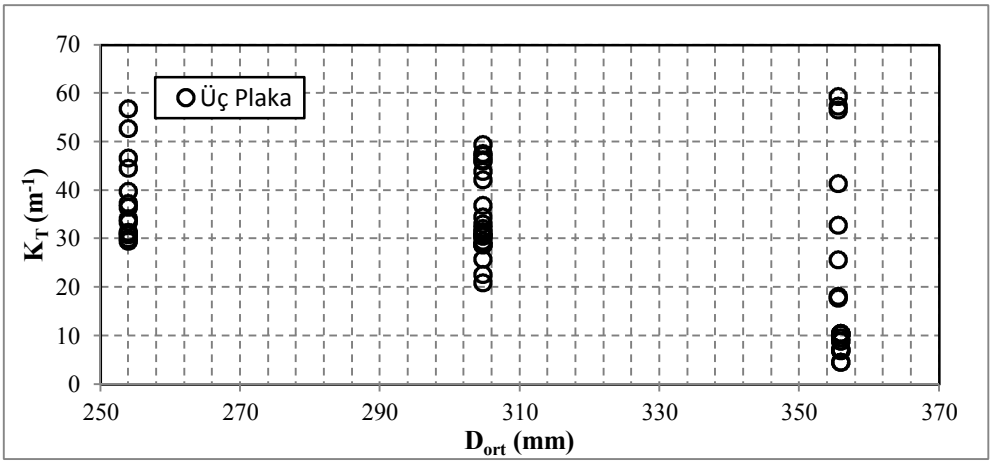
Tablo 9.21. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	29,5
Medyan	30,7
Varyans	234,3
Standart Sapma	15,3



a)

Şekil 9.33. E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

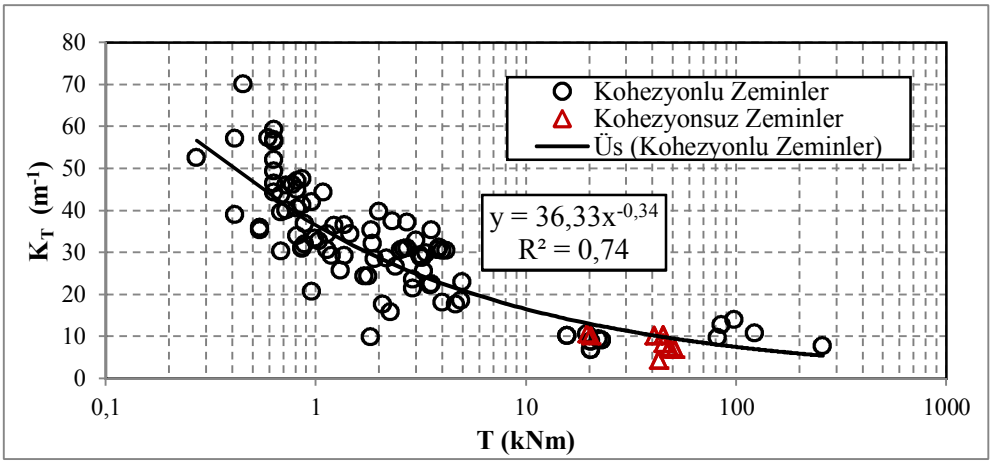


b)

Şekil 9.33.(Devam) E özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

9.2.2. Zemin grubuna göre inceleme

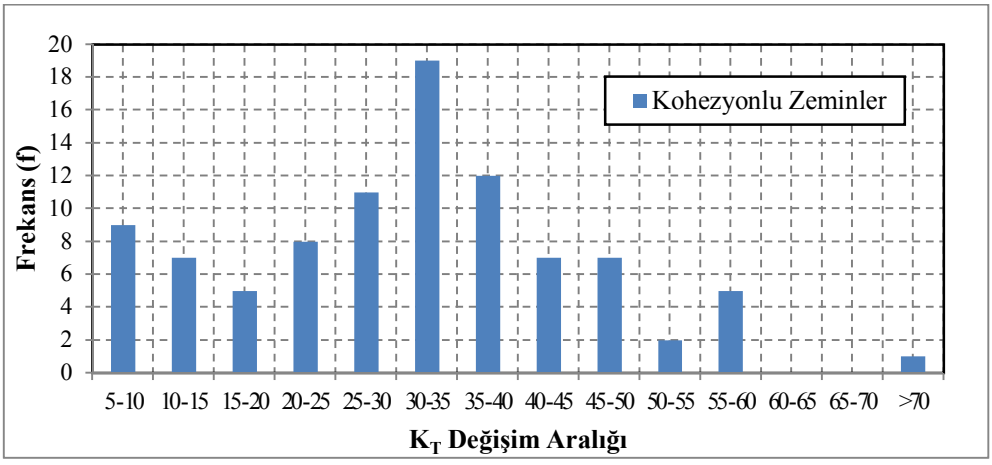
K_T katsayıları kazığın yerleştirildiği zemin grubuna bağlı incelendiğinde Şekil 9.34 - 9.36 ile Tablo 9.22 elde edilmiştir. Şekil 9.35 ve 9.36'dan da anlaşılacağı gibi kazıkların tamamına yakınının kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar olduğu görülmektedir. 108 adet K_T katsayısı kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre dağıtıldığında katsayılardan 94 tanesi kohezyonlu, 14 tanesi de kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen ve plaka sayıları 1-3 arasında değişen kazıklara ait olduğu belirlenmiştir. Şekil 9.46'da gösterilen K_T dağılımlarından kohezyonlu zeminler için uygun eğri ve denklemi elde edilebilmiştir. Kohezyonsuz zeminler için anlamlı eğri denklemi bu zemin grubunda az sayıda veri olduğu ve veriler geniş yayılım göstermediği için elde edilememiştir.



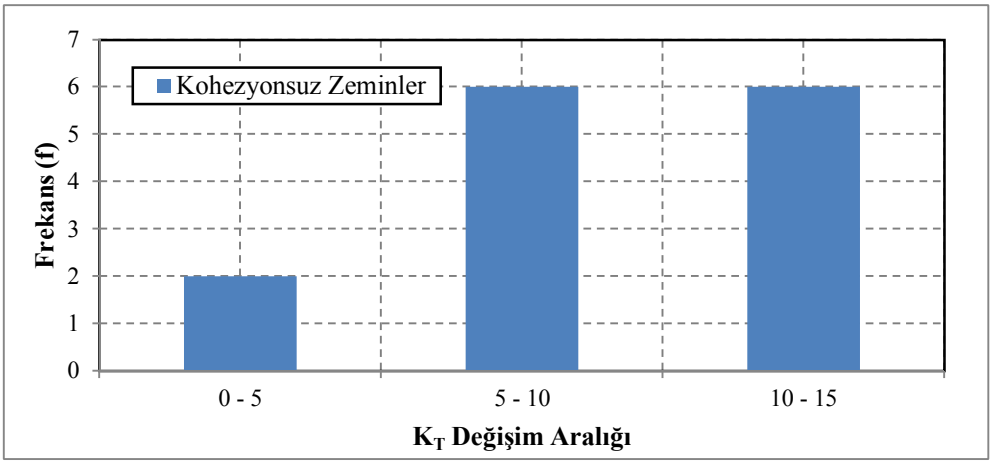
Şekil 9.34. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna göre dağılımı

Tablo 9.22. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

	Kohezyonlu Zeminler	**Kohezyonsuz Zeminler**
Aritmetik Ortalama	31,0	8,4
Medyan	31,0	8,5
Varyans	195,7	4,8
Standart Sapma	14,0	2,2



Şekil 9.35. E özelliğine sahip kohezyonlu zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

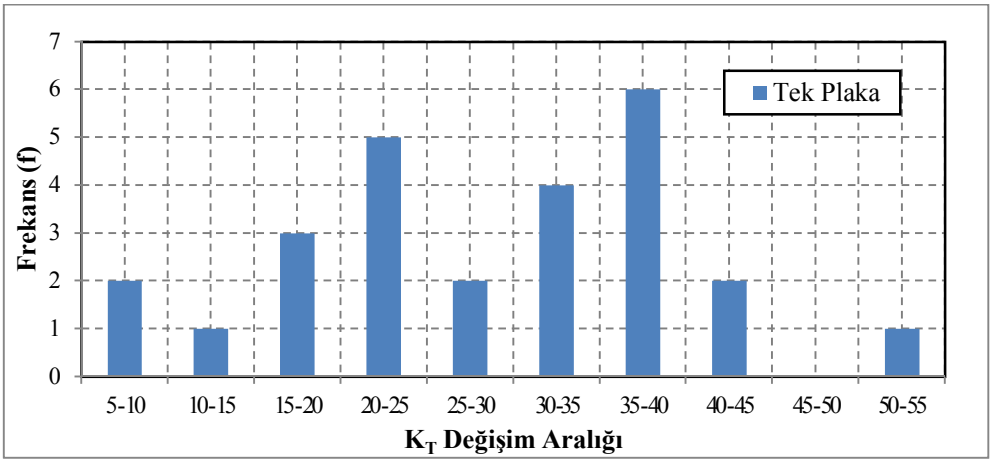


Şekil 9.36. E özelliğine sahip kohezyonsuz zemine yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

9.2.2.1. Kohezyonlu zeminlerde inceleme

a) Tek plakaya sahip kazıklar

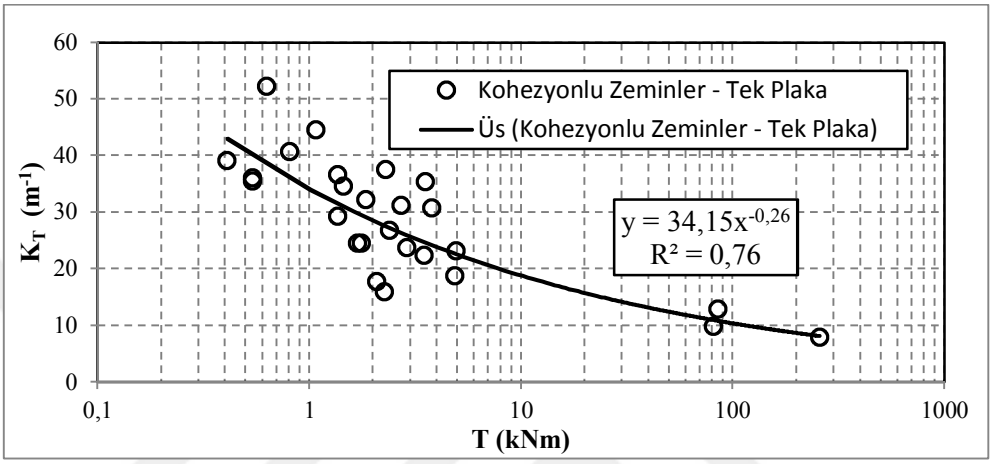
94 tanesi kohezyonlu zeminlerde yerleştirilen kazığa ait K_T katsayısı bulunmaktadır. Bunlardan 26 tanesi tek plakaya sahip kazıklara aittir. K_T faktörleri üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.23 ve Şekil 9.37, 9.38'de verilmiştir.



Şekil 9.37. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.23. E özelliğine sahip, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

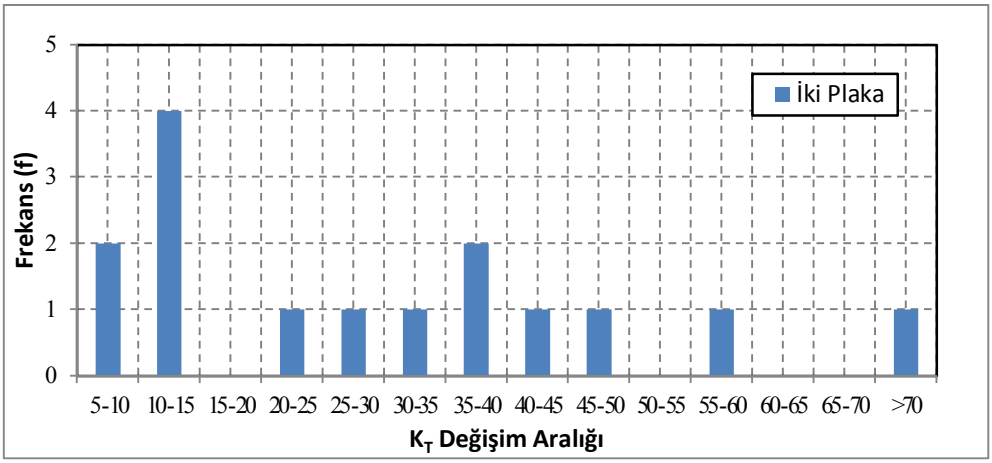
Aritmetik Ortalama	28,6
Medyan	30,0
Varyans	118,1
Standart Sapma	10,9



Şekil 9.38. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) İki plakaya sahip kazıklar

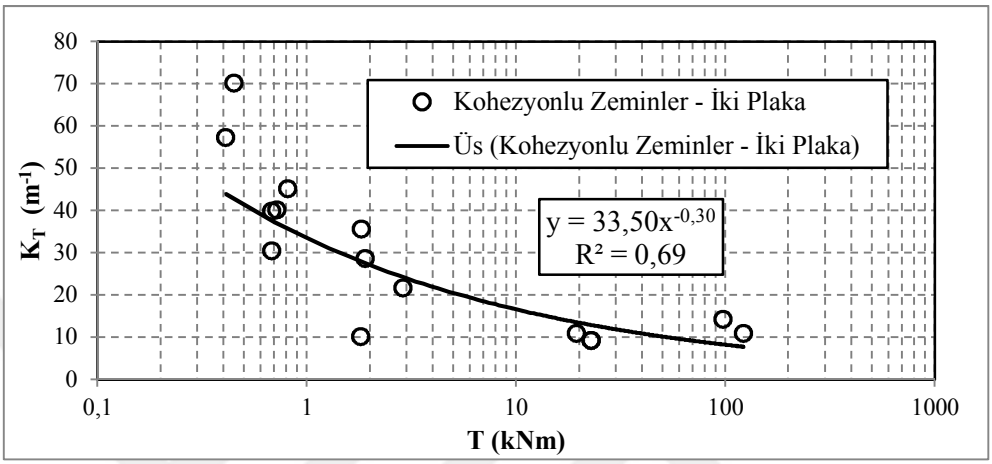
15 tane K_T verisi iki plakalı kazığa aittir. Bu K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.24 ve Şekil 9.39, 9.40'da ifade edilmiştir.



Şekil 9.39. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.24. E özelliğine sahip, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

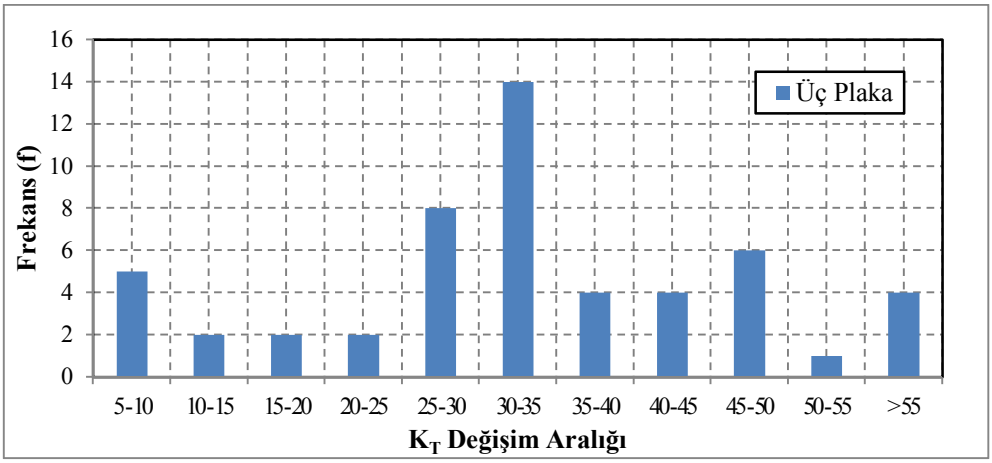
Aritmetik Ortalama	28,8
Medyan	28,6
Varyans	365,5
Standart Sapma	19,1



Şekil 9.40. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

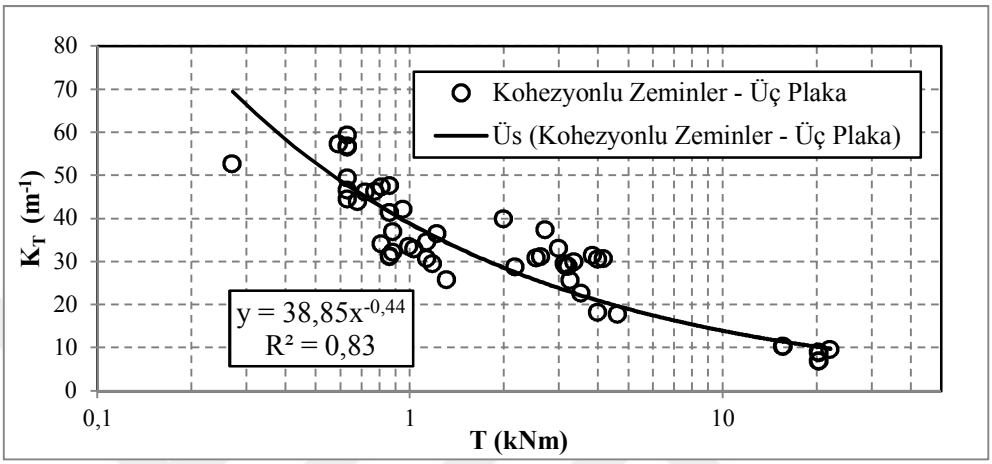
Üç plakaya sahip kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelenme sonuçları Tablo 9.25 ve Şekil 9.41, 9.42'de ifade edilmiştir.



Şekil 9.41. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.25. E özelliğine sahip, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayısı M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	32,7
Medyan	31,3
Varyans	187,4
Standart Sapma	13,7



Şekil 9.42. E özelliğine sahip, kohezyonlu zemine yerleştirilen üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

9.2.2.2. Kohezyonsuz zeminlerde inceleme

Kohezyonsuz zeminlerde tek plakaya sahip kazık bulunmamaktadır. İki ve üç plakaya sahip kazıklar için de az sayıda veri bulunmasından dolayı K_T katsayılarının dağılım grafiklerinden anlamlı ilişkiler elde edilememiştir. Bu kazıklarda elde edilen analiz sonuçları Tablo 9.26, 9.27'de ifade edilmiştir.

Tablo 9.26. E özelliğine sahip, kohezyonsuz zemine yerleştirilen iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans dağılımı

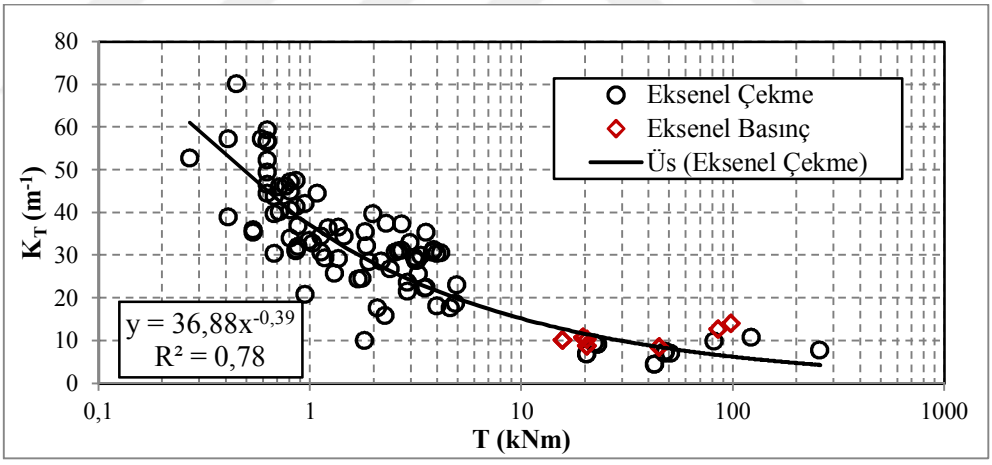
K_T Değişim Aralığı	Frekans(f) – İki Plaka	Frekans(f) – Üç Plaka
0 - 5	0	2
5 - 10	4	2
10 - 15	2	4
> 15	0	8
Toplam	6	8

Tablo 9.27. E özelliğine sahip, kohezyonsuz zemine yerleştirilen iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	İki Plaka	Üç Plaka
Aritmetik Ortalama	8,8	8,1
Medyan	8,5	8,7
Varyans	2,2	7,1
Standart Sapma	1,5	2,7

9.2.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme

%10 kapasite metoduna göre belirlenen kapasiteler ve yerleşim torku kullanılarak hesaplanan K_T katsayılarının kazık yükleme tipine bağlı dağılımları incelendiğinde 108 tane K_T verisinden 92 tanesi eksenel çekme, 16 tanesi de eksenel basınç testleri yapılan kazıklara aittir. Bu katsayılara ait dağılım grafiği ve M.E.Y.Ö. değerleri Şekil 9.43 ve Tablo 9.28'de ifade edilmiştir. Şekil 9.43 dağılım grafiği üzerinden çekme testlerine ait az sayıda veri olduğu için sadece basınç testi yapılan kazıklara ait eğri denklemi geliştirilebilmiştir.



Şekil 9.43. E özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının kazık yükleme tipine göre yerleşim torkuna karşı dağılımı

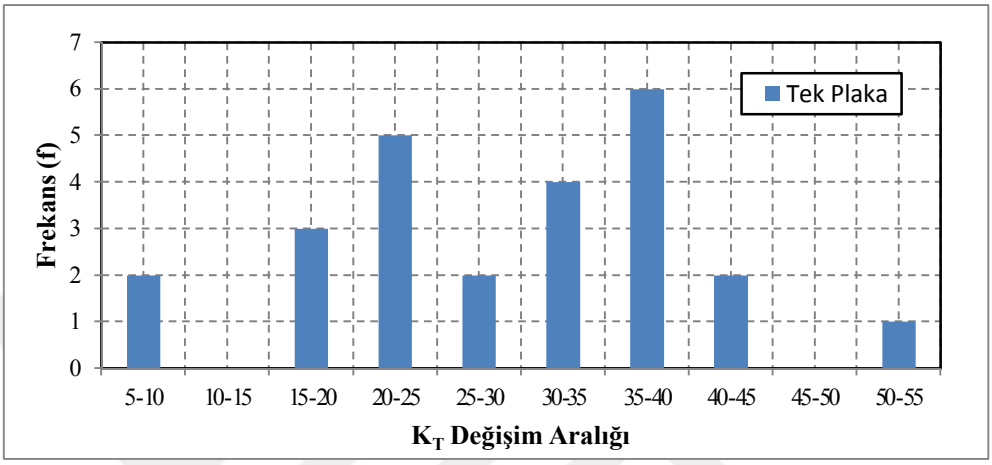
Tablo 9.28. E özelliklerine sahip kazıklarda yükleme tipine bağlı K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	Eksenel Çekme	Eksenel Basınç
Aritmetik Ortalama	31,1	10,2
Medyan	31,1	45,5
Varyans	202,7	2,8
Standart Sapma	14,2	1,7

9.2.3.1. Eksenel çekme testi yapılan kazıklar

a) Tek plakaya sahip kazıklar

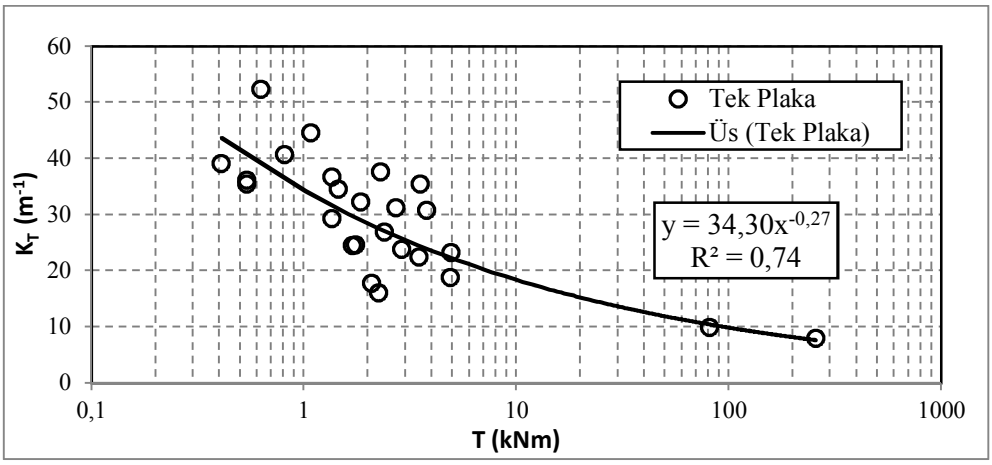
Kazıklardan 25 tanesi üzerinde tek plaka bulunmaktadır. Bu kazıklara ait K_T sayıları üzerinde yapılan analiz sonuçları Tablo 9.29 ve Şekil 9.44, 9.45'de verilmiştir.



Şekil 9.44. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.29. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

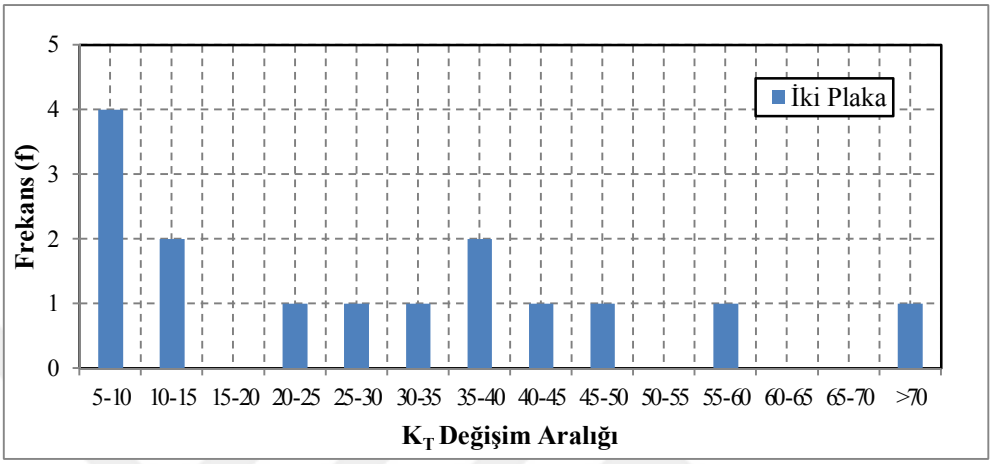
Aritmetik Ortalama	29,2
Medyan	30,7
Varyans	112,3
Standart Sapma	10,6



Şekil 9.45. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) İki plakaya sahip kazıklar

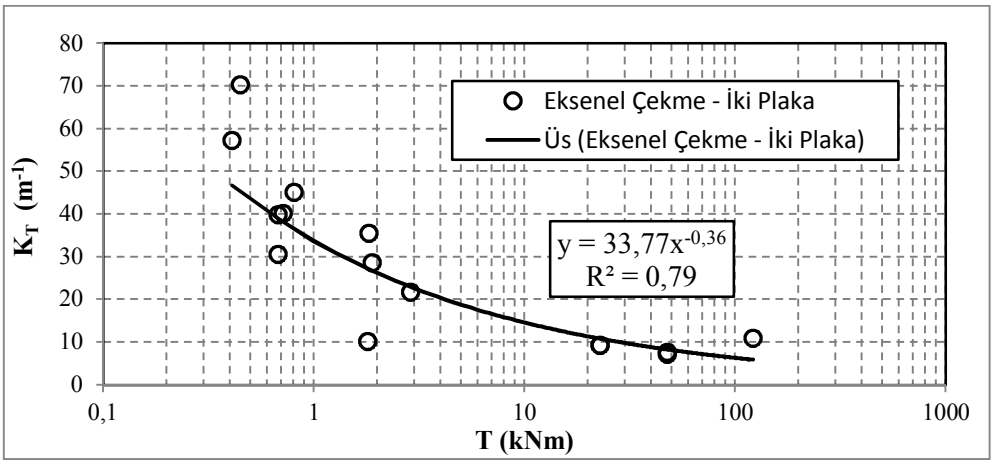
Üzerinde iki plaka bulunan 15 kazık bulunmaktadır. Tablo 9.30 ile Şekil 9.46 ve 9.47'de bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları verilmektedir.



Şekil 9.46. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.30. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

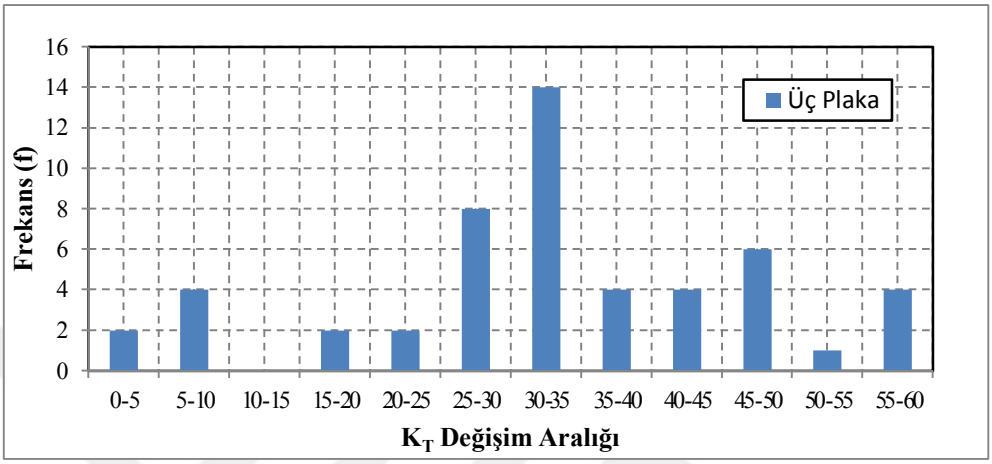
Aritmetik Ortalama	28,2
Medyan	28,6
Varyans	392,4
Standart Sapma	19,8



Şekil 9.47. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

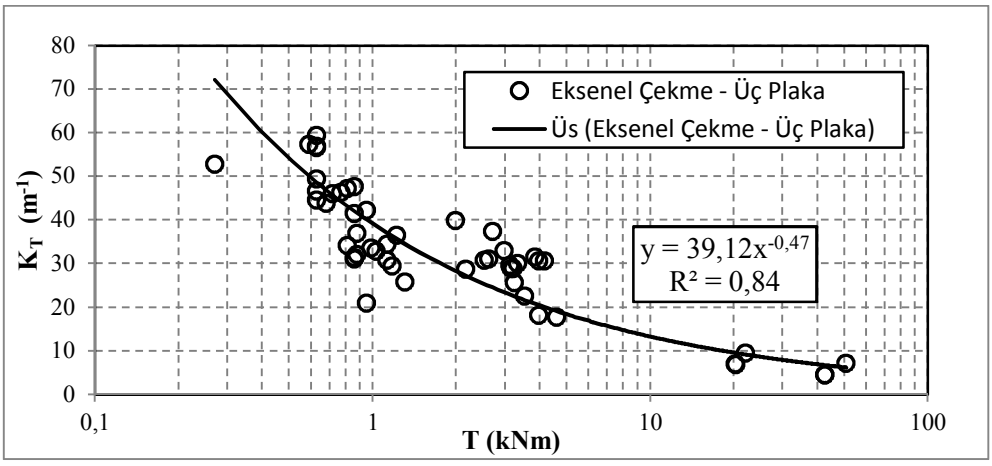
Üzerinde üç plaka bulunan 51 tane kazık bulunmaktadır. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.31 ve Şekil 9.48 ve 9.49'da verilmiştir.



Şekil 9.48. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.31. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	33,0
Medyan	31,4
Varyans	193,2
Standart Sapma	13,9



Şekil 9.49. E özelliğine sahip, eksenel çekme testi yapılan üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

9.2.3.2. Eksenel basınç testi yapılan kazıklar

Eksenel basınç testi yapılan ve üzerinde tek plaka bulunan sadece bir kazık bulunmaktadır. İki ve üç plakaya sahip kazıklar için hesaplanan K_T katsayılarına ait az sayıda veri olduğu için inceleme sonuçları tablolar halinde Tablo 9.32, 9.33'te verilmiştir.

Tablo 9.32. E özelliğine sahip, eksenel basınç testi yapılan iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi

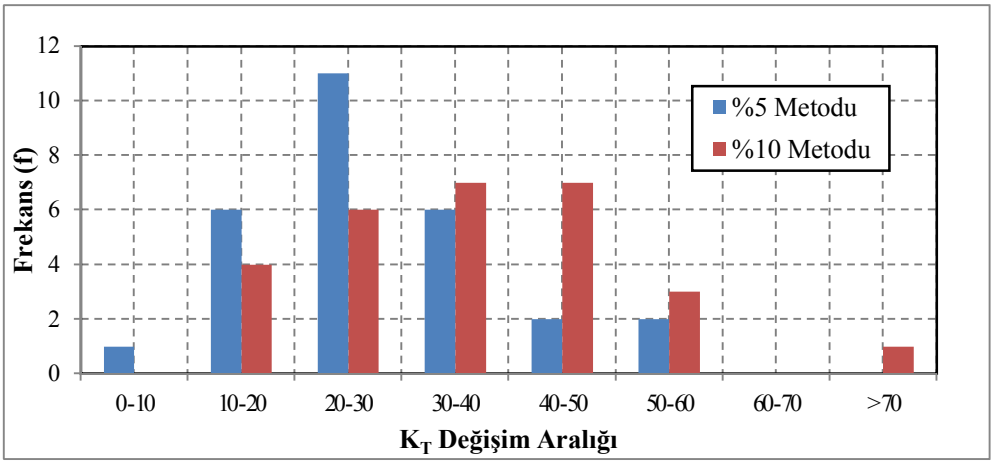
K_T Değişim Aralığı	Frekans(f) – İki Plaka	Frekans(f) – Üç Plaka
5 - 10	2	3
10 - 15	4	6
> 15	0	0
Toplam	6	9

Tablo 9.33. E özelliğine sahip, eksenel basınç testi yapılan iki ve üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

	İki Plaka	Üç Plaka
Aritmetik Ortalama	10,5	9,7
Medyan	10,5	10,3
Varyans	4,2	1,3
Standart Sapma	2,1	1,2

9.3. F Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi

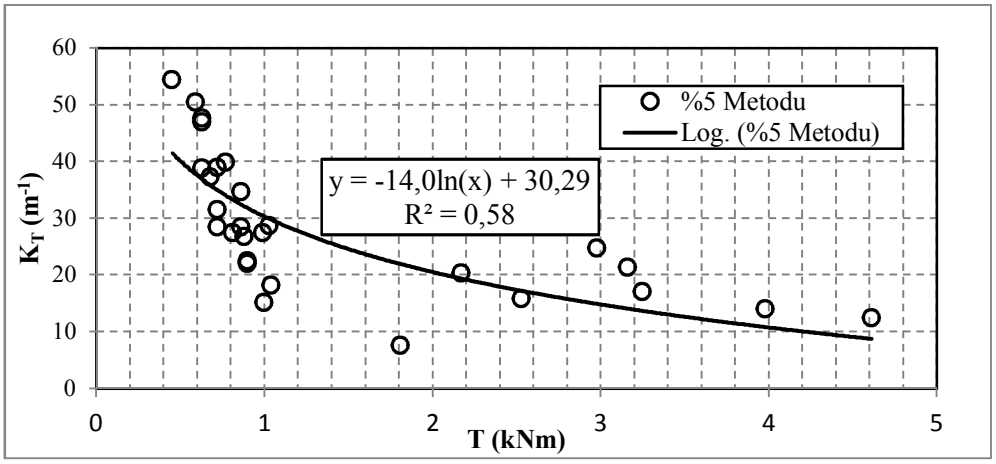
Çalışma kapsamında kullanılan kazıklar arasında kare şaftlı, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen ve üzerinde eksenel çekme testi yapılan 56 adet kazık bulunmaktadır. Bu özelliklere sahip kazıklar F ile sembolize edilmiştir. Kazıklara ait eksenel kapasite değerleri %5 ve %10 limit deplasman metotlarına göre belirlenmiştir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme ve karşılaştırma sonuçları Şekil 9.50 - 9.52 ile Tablo 9.34'de verilmiştir.



Şekil 9.50. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramlarının karşılaştırılması

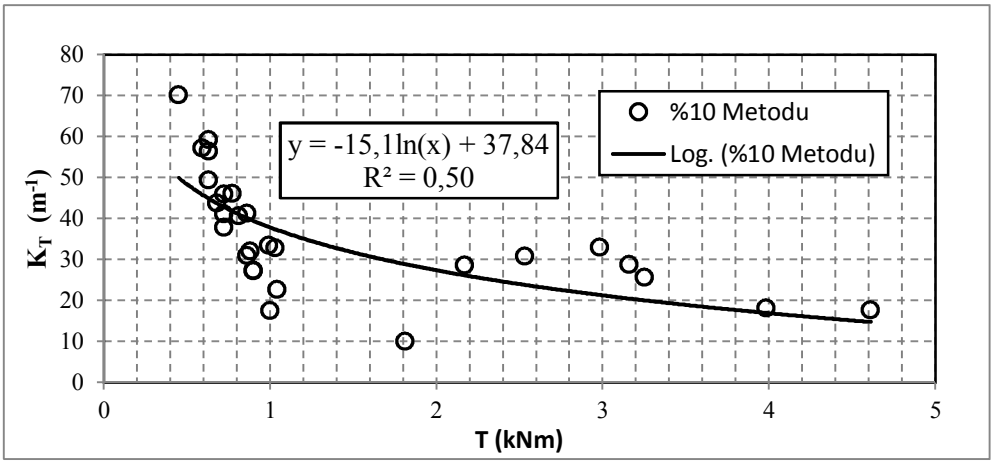
Tablo 9.34. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının farklı kapasite metotlarına göre M.E.Y.Ö.'lerinin karşılaştırılması

	%5 Metodu	**%10 Metodu**
Aritmetik Ortalama	28,54	35,96
Medyan	27,43	32,91
Varyans	149,15	200,47
Standart Sapma	12,21	14,16



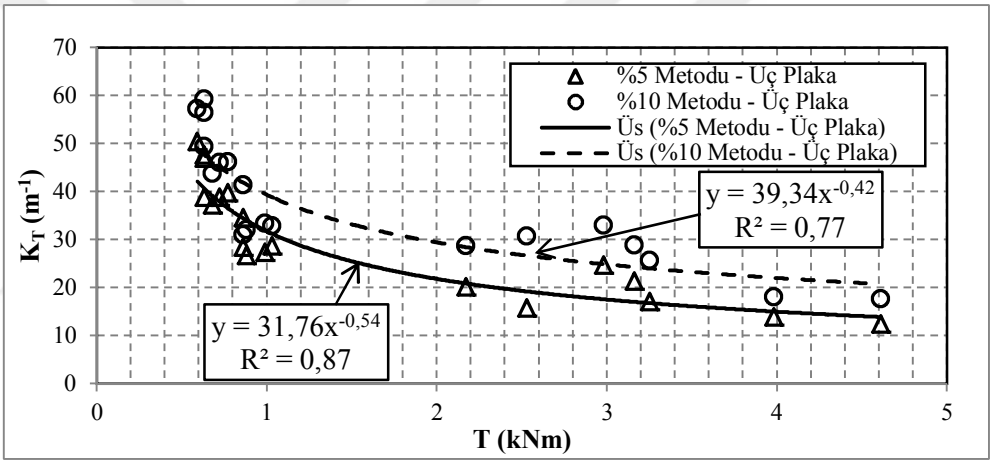
a)

Şekil 9.51. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı: a) %5 metodu, b) %10 metodu için



b)

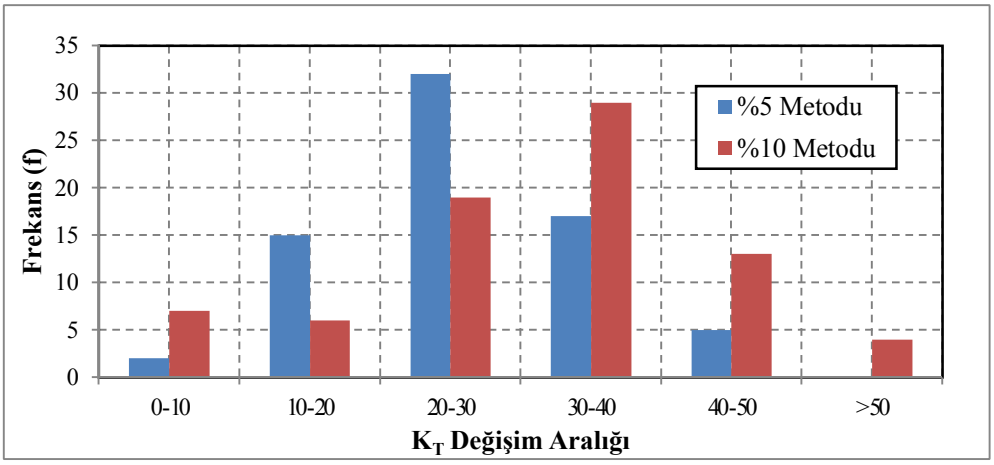
Şekil 9.51.(Devam) F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı: a) %5 metodu, b) %10 metodu için



Şekil 9.52. F özelliklerine sahip kazıklarda K_T katsayılarının kapasite metoduna göre dağılımı

9.4. G Özelliklerine Sahip Kazıklara Ait K_T Katsayılarının İncelenmesi

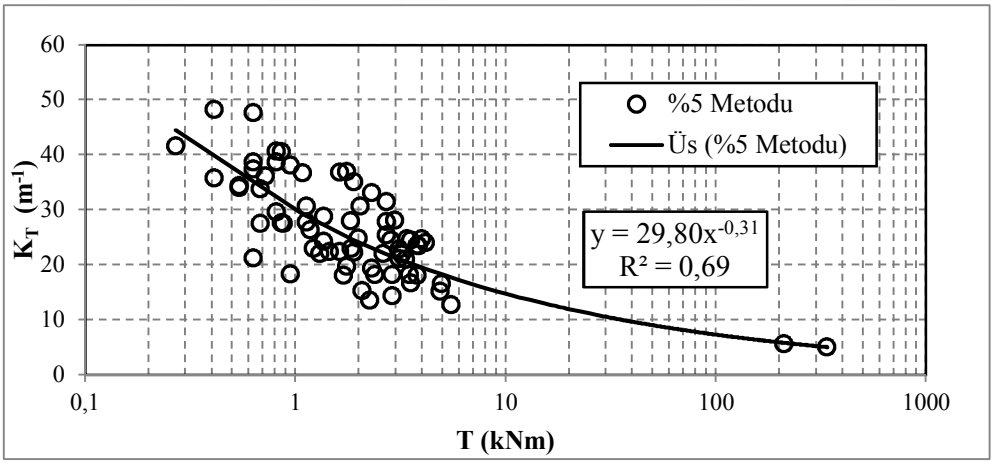
Daire gövde kesitli, kohezyonlu zeminlere yerleştirilen ve üzerinde çekme testi yapılan 149 adet kazık bulunmaktadır. Bu kazıklar G ise sembolize edilmiştir. Bu kazıklarda kapasiteler %5 ve %10 limit deplasman metotlarına göre belirlenmiştir. Kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 9.53 - 9.57 ve Tablo 9.35'de verilmiştir.



Şekil 9.53. G özelliklerine sahip kazıklarda kapasitenin belirlendiği yönteme göre K_T katsayılarının frekans histogramlarının karşılaştırması

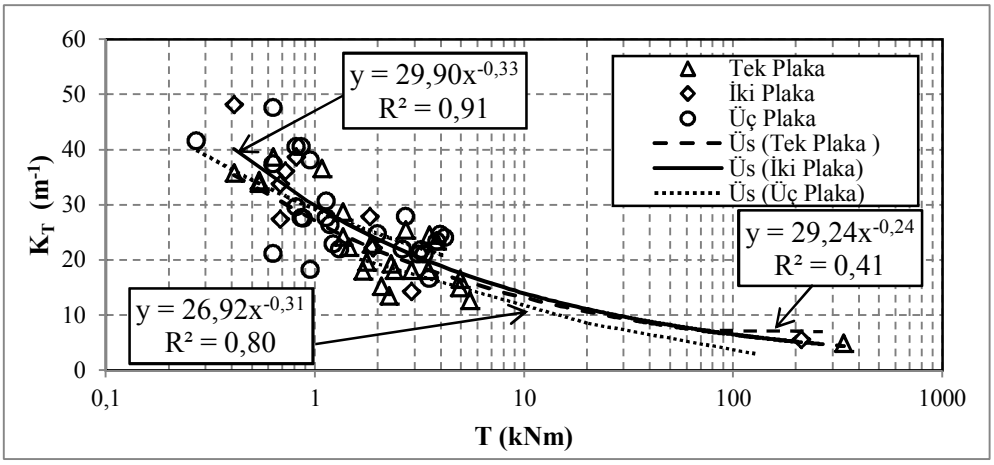
Tablo 9.35. G özelliklerine sahip kazıklarda farklı kapasite metotlarına göre K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.'lerinin karşılaştırılması

	% 5 Metodu	**% 10 Metodu**
Aritmetik Ortalama	26,31	31,26
Medyan	24,67	31,13
Varyans	80,49	148,69
Standart Sapma	8,97	12,19



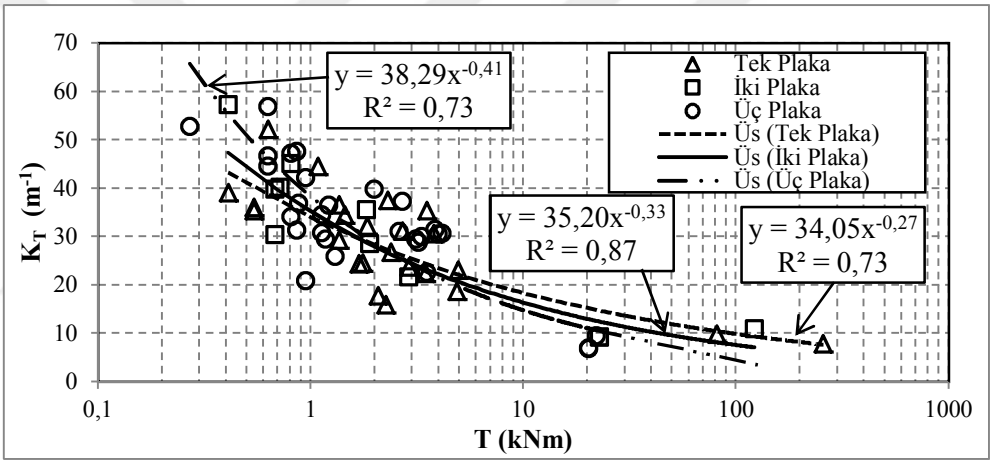
a)

Şekil 9.54. %5 metodu kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Yerleşim torku ve plaka sayısına göre



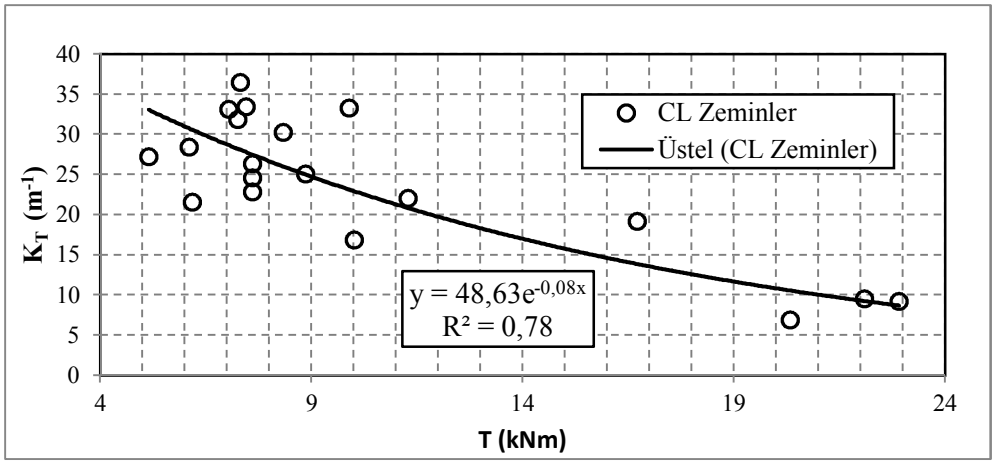
b)

Şekil 9.54.(Devam) %5 metodu kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Yerleşim torku ve plaka sayısına göre

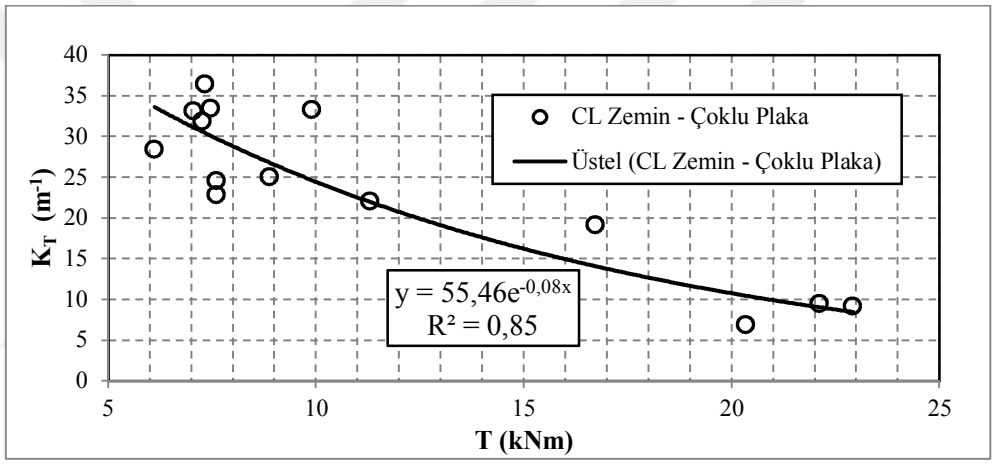


Şekil 9.55. G özelliklerine sahip %10 metodu kullanılan kazıklarda K_T katsayılarının plaka sayısına göre dağılımı

Kazıkların yerleştirildiği zemin tipi dikkate alındığında ise CL zeminlerde yerleştirilen kazıklarda K_T katsayıları üzerinde anlamlı dağılım ilişkileri elde edilmiştir (Şekil 9.56). Ayrıca CL zeminlerde kazık üzerinde yer alan plaka sayısına göre dağılımlar incelendiğinde ise çoklu plakaya sahip kazıklar için eğri denklemi geliştirilebilmiştir (Şekil 9.57).



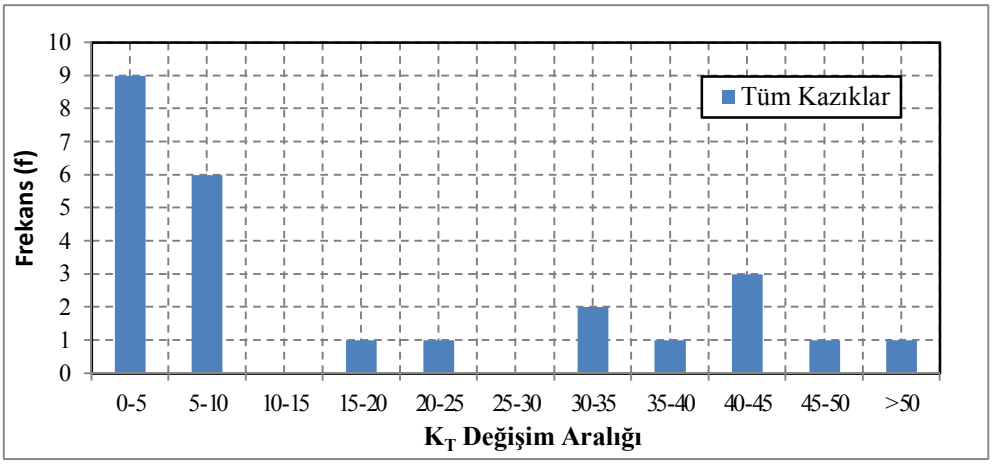
Şekil 9.56. CL zeminlere yerleştirilen kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı



Şekil 9.57. CL zeminlere yerleştirilen çoklu plakaya sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı

9.5. Kapasitesi Davisson Limit Deplasman Metoduyla Belirlenmiş Kazıklarda K_T Katsayılarının İncelenmesi

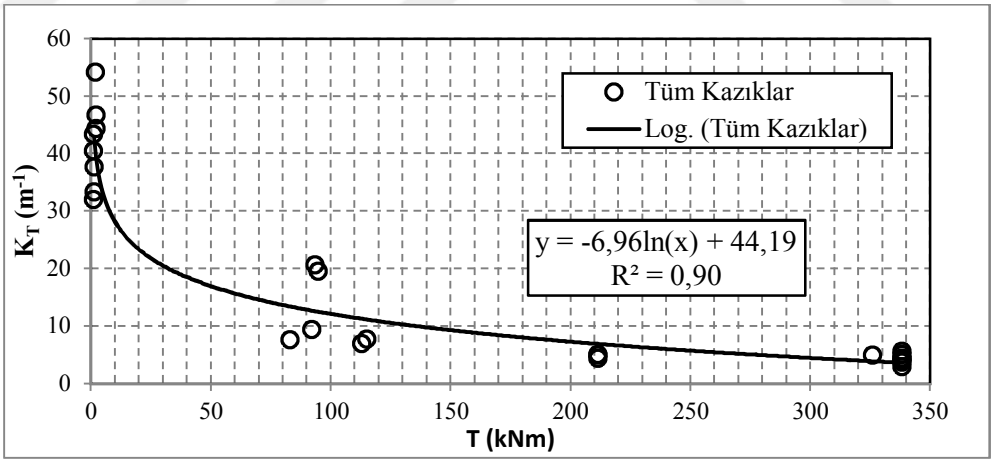
Tüm kazıklar arasında 25 tane kazığın eksenel kapasitesi Davisson limit deplasman metodu kullanılarak belirlenmiştir. Bu kazıklar H ile sembolize edilmiştir. H özelliklerine sahip kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan analizlerde kazık gövde çapı ve ortalama plaka çapı dikkate alınarak eğri denklemleri geliştirilmiştir. İnceleme sonuçları Şekil 9.58 - 9.60 ve Tablo 9.36'da sunulmuştur.



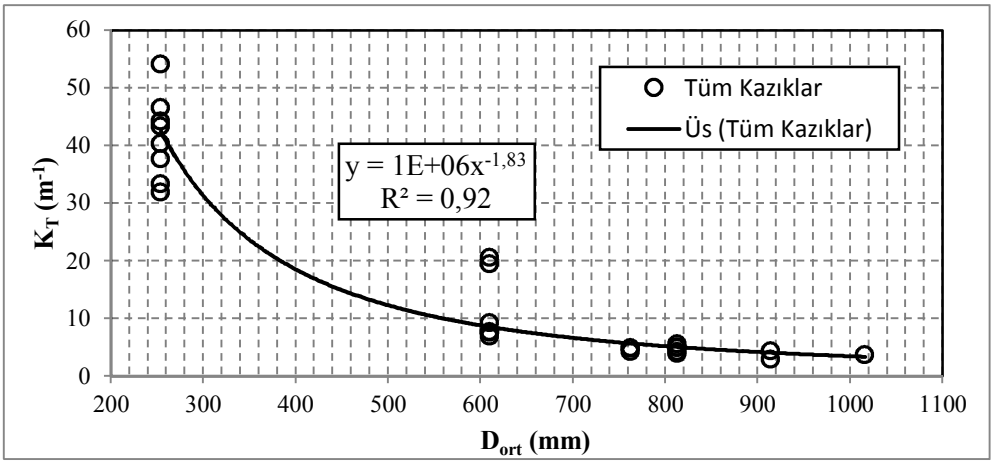
Şekil 9.58. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.36. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

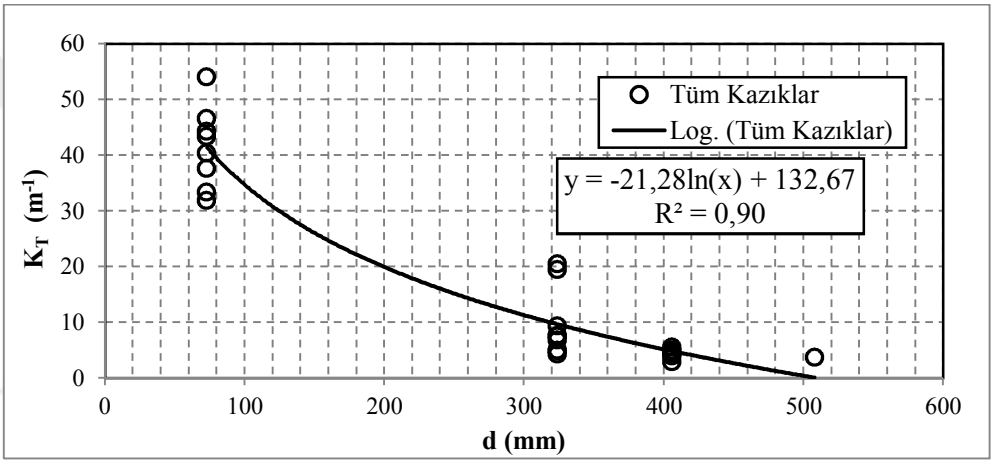
Aritmetik Ortalama	18,1
Medyan	7,6
Varyans	300,8
Standart Sapma	17,3



Şekil 9.59. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı



a)



b)

Şekil 9.60. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Ortalama plaka çapı, b) Kazık gövde çapına karşı

9.5.1. Plaka sayısına göre inceleme

25 kazıktan 6 tanesi tek plaka, 11 tanesi iki plaka, 8 tanesi de üç plakaya sahiptir. Bu kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçlarına bu kısımda yer verilmiştir.

a) Tek plakaya sahip kazıklar

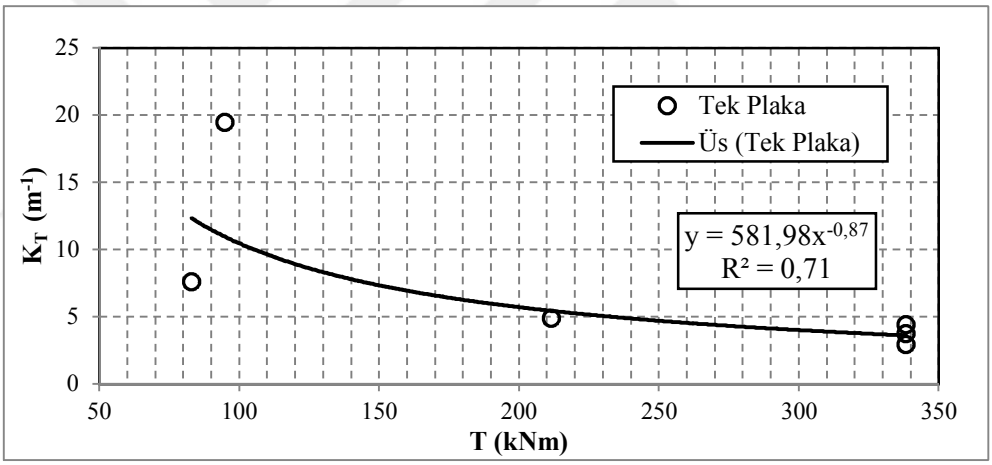
Tek plakalı kazıklara ait K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.37, 9.38 ve Şekil 9.61'de verilmiştir.

Tablo 9.37. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	**Frekans (f)**
0 - 5	4
5 - 10	1
10 - 15	0
15 - 20	1
> 25	0
Toplam	6

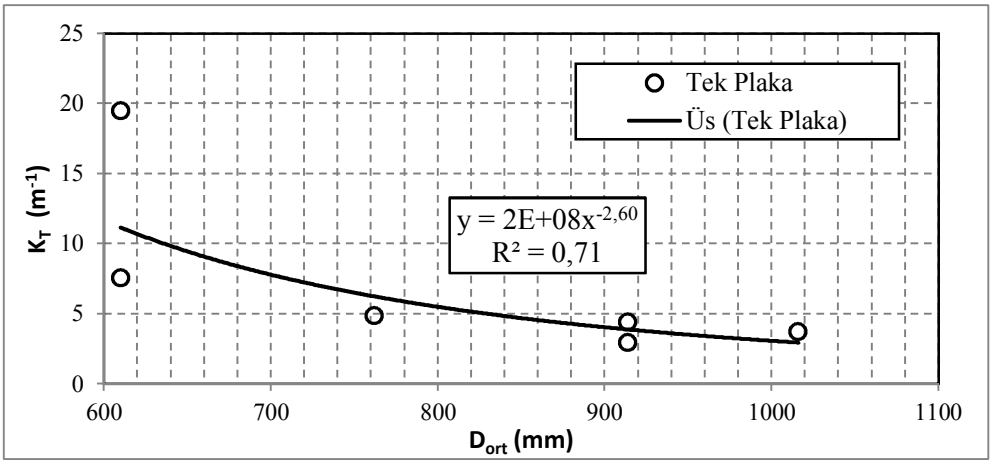
Tablo 9.38. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	7,2
Medyan	4,6
Varyans	38,8
Standart Sapma	6,2



a)

Şekil 9.61. H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı



b)

Şekil 9.61.(Devam) H özelliğine sahip tek plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

b) İki plakaya sahip kazıklar

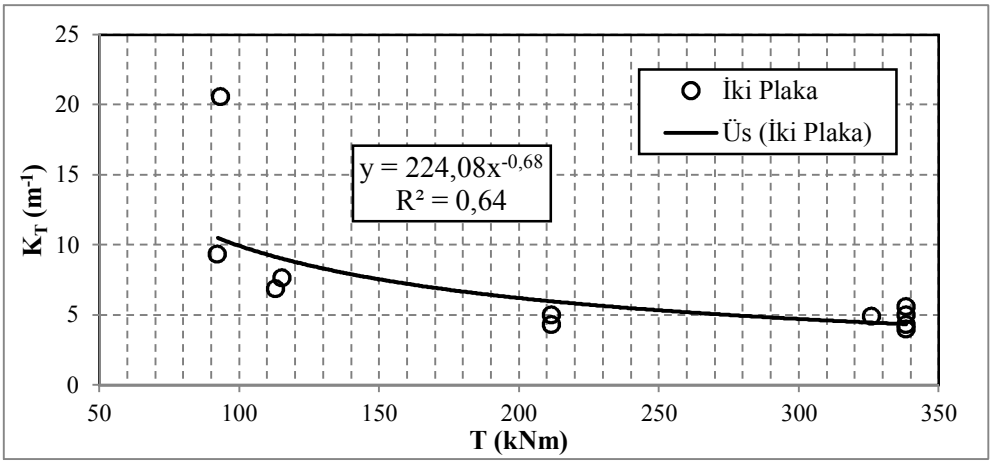
İki plakalı kazıklara ait katsayılar üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 9.62 ile Tablo 9.39, 9.40'da verilmiştir.

Tablo 9.39. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi

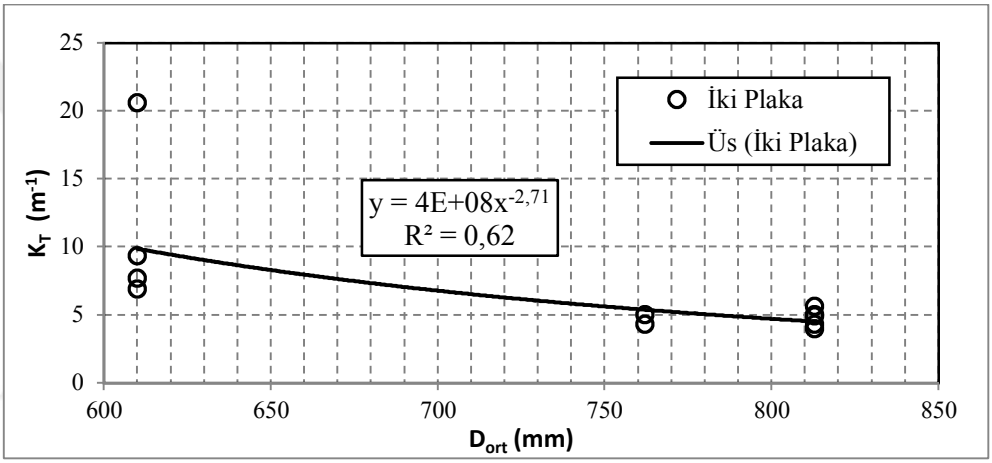
K_T Değişim Aralığı	**Frekans (f)**
0 - 5	5
5 - 10	5
10 - 15	0
15 - 20	0
20 - 25	1
> 25	0
Toplam	11

Tablo 9.40. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	7,1
Medyan	5,0
Varyans	22,8
Standart Sapma	4,8



a)



b)

Şekil 9.62. H özelliğine sahip iki plakalı kazıklarda K_T katsayılarının dağılımı: a) Yerleşim torku, b) Ortalama plaka çapına karşı

c) Üç plakaya sahip kazıklar

Üç plakalı kazıklara ait K_T değerleri üzerinde yapılan incelemeden elde edilen sonuçlar Tablo 9.41 ve 9.42'de verilmiştir. Bu kazıklara ait K_T dağılım grafiklerinden anlamlı ilişkiler elde edilememiştir.

Tablo 9.41. H özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	Frekans (f)
30 -35	2
35 - 40	1
40 - 45	3
45 - 50	1
50 - 55	1
> 55	0
Toplam	8

Tablo 9.42. H özelliğine sahip üç plakalı kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

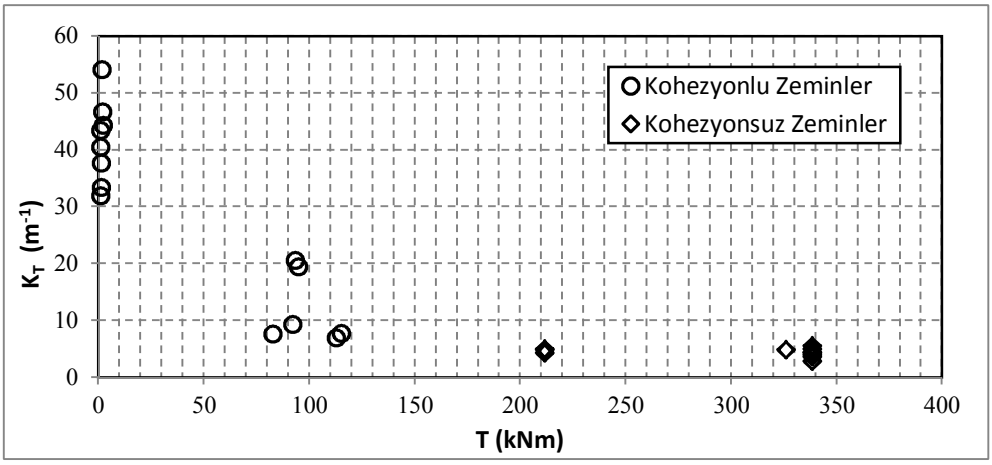
Aritmetik Ortalama	41,5
Medyan	41,9
Varyans	53,0
Standart Sapma	7,3

9.5.2. Kazığın yerleştirildiği zemin grubuna göre inceleme

25 adet kazıktan 14 tanesi kohezyonlu, 11 tanesi de kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklardır. Zemin grubuna bağlı K_T sayıları üzerinde yapılan inceleme sonuçları Tablo 9.43 ile Şekil 9.63'de verilmiştir.

Tablo 9.43. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

	Kohezyonlu Zeminler	Kohezyonsuz Zeminler
Aritmetik Ortalama	28,8	4,5
Medyan	32,6	4,4
Varyans	274,2	0,5
Standart Sapma	16,6	0,7



Şekil 9.63. H özelliğine sahip kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı yerleşim torkuna karşı dağılımı

a) Kohezyonlu zeminlerde

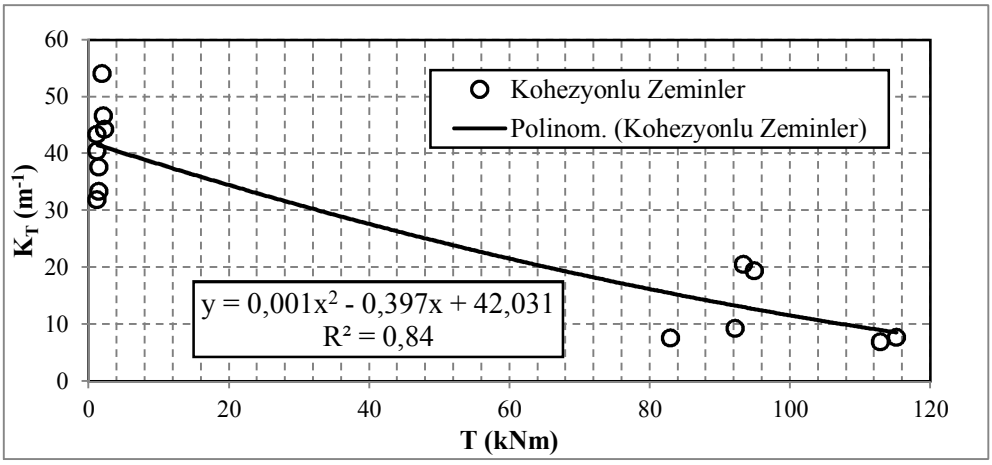
Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklara ait veriler üzerinde yapılan incelemeden elde edilen sonuçlar Şekil 9.88 ile Tablo 9.44 - 9.45'de verilmiştir.

Tablo 9.44. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	**Frekans (f) – Tek Plaka**	**Frekans (f) – İki Plaka**	**Frekans (f) – Üç Plaka**
0 - 5	0	0	0
5 - 10	1	3	0
10 - 15	0	0	0
15 - 20	1	0	0
20 - 25	0	1	0
25 - 30	0	0	0
30 - 35	0	0	2
35 - 40	0	0	1
40 - 45	0	0	3
45 - 50	0	0	1
50 -55	0	0	1
> 55	0	0	0
Toplam	2	4	8

Tablo 9.45. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

	Tek Plaka	**İki Plaka**	**Üç Plaka**
Aritmetik Ortalama	13,5	11,1	41,5
Medyan	13,5	8,5	41,9
Varyans	70,6	40,8	53,0
Standart Sapma	8,4	6,4	7,3



Şekil 9.64. H özelliğine sahip kohezyonlu zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) Kohezyonsuz zeminlerde

Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklara ait veriler üzerinde yapılan incelemeden elde edilen sonuçlar Tablo 9.46 ve 9.47'de verilmiştir.

Tablo 9.46. H özelliğine sahip kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	**Frekans (f) – Tek Plaka**	**Frekans (f) – İki Plaka**
0 - 5	4	5
5 -10	0	2
>10	0	0
Toplam	4	7

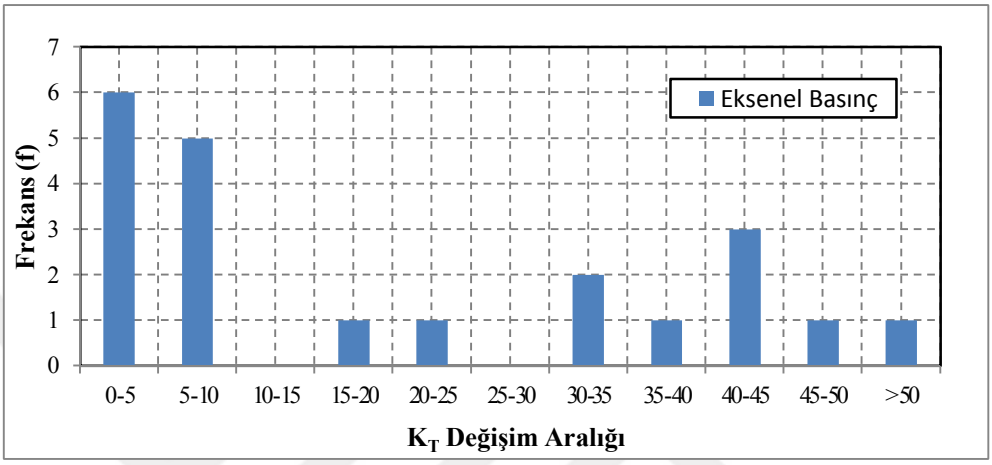
Tablo 9.47. H özelliğine sahip kohezyonsuz zeminlere yerleştirilmiş kazıklarda K_T katsayılarının zemin grubuna bağlı M.E.Y.Ö.

	Tek Plaka	**İki Plaka**
Aritmetik Ortalama	4,0	4,7
Medyan	4,1	4,9
Varyans	0,7	0,3
Standart Sapma	0,8	0,6

9.5.3. Kazık yükleme tipine bağlı inceleme

a) Eksenel basınç

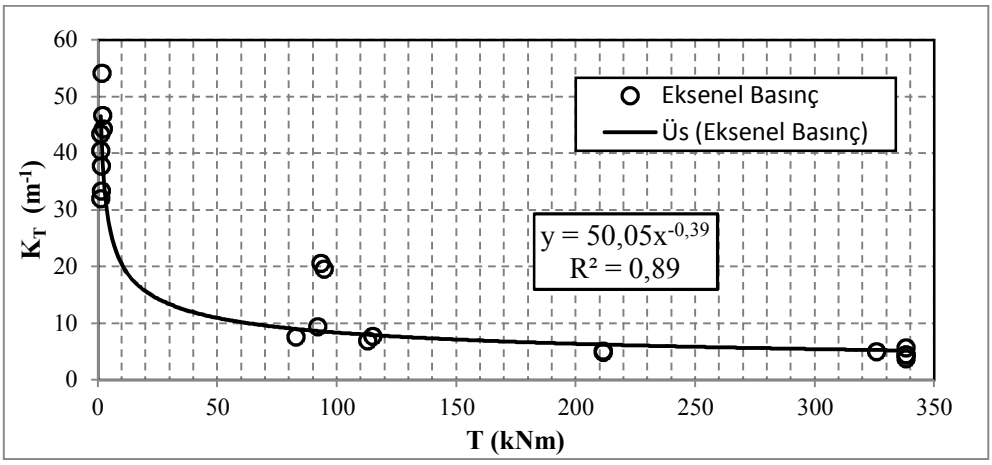
Basınç yüklemesi yapılan kazıklara ait veriler üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Şekil 9.65, 9.66 ve Tablo 9.48'de verilmiştir.



Şekil 9.65. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans histogramı

Tablo 9.48. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	20,8
Medyan	9,3
Varyans	314,0
Standart Sapma	17,7



Şekil 9.66. H özelliğine sahip basınç testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının yerleşim torkuna karşı dağılımı

b) Eksenel çekme

Basınç yüklemesi yapılan kazıklara ait K_T verileri üzerinde yapılan incelemelerden elde edilen sonuçlar Tablo 9.49, 9.50'de verilmiştir.

Tablo 9.49. H özelliğine sahip çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının frekans analizi

K_T Değişim Aralığı	**Frekans (f)**
0 - 5	3
5 - 10	1
> 10	0
Toplam	4

Tablo 9.50. H özelliğine sahip çekme testi yapılan kazıklarda K_T katsayılarının M.E.Y.Ö.

Aritmetik Ortalama	4,1
Medyan	4,2
Varyans	0,8
Standart Sapma	0,9

10. BULGULAR

Yapılan bu tez çalışması kapsamında helisel kazıklarda eksenel kapasitenin belirlenebilmesi amacıyla kullanılan pratik ve ekonomik bir metot olan tork korelasyon metodu ve bu metodun kullanılabilmesi için gerekli parametrelerden birisi olan K_T katsayısı irdelenmiştir. Çalışma kapsamında literatüre katkı sağlaması amacıyla birçok araştırmacı tarafından yayımlanmış farklı çalışma alanlarında yapılan uygulamalardan elde edilmiş kazık yükleme ve yerleşim torku verileri derlenmiştir. Kazıklara ait kapasite ve yerleşim torku verilerinden her bir kazık için ayrı ayrı hesaplanan K_T katsayıları ortak özelliklerine göre gruplandırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde kazık yükleme tipi, kazık geometrisi, kazığın yerleştirildiği zemin grubu, kapasite belirleme metodu ve kazık yerleşim torkuna bağlı olarak bu parametrelerden bir veya birkaçının beraber dikkate alınmasıyla elde edilen K_T dağılımları incelenmiştir. Belirlenen K_T dağılımları üzerinden anlamlı ilişkilerin elde edildiği durumlarda eğri denklemleri geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında elde edilen K_T katsayısı dağılım ilişkilerinden geliştirilen denklemler, denklemlerin geçerli olduğu koşullarla birlikte Tablo 10.1-10.6'da ifade edilmiştir. Ayrıca geliştirilen K_T denklemlerinden yararlanılarak yerleşim torku, yerleşim torku - kazık gövde çapı, yerleşim torku - ortalama plaka çapı parametreleri kullanılarak doğrudan kapasite hesaplarına gidilecek kapasite denklemleri de geliştirilmiş ve geliştirilen denklemler geçerli olduğu koşullarla birlikte Tablo 10.7 - 10.12'de sunulmuştur.

10.1. K_T Denklemleri

Çalışmada zemin ve kazık parametrelerine göre sınıflandırılan K_T katsayıları üzerinden yerleşim torku, helisel plaka sayısı, kazık gövde çapı, ortalama plaka çapı gibi faktörler dikkate alınarak katsayıların dağılımları incelenmiş ve bazı dağılımlarda anlamlı ilişkiler elde edilememesine rağmen dağılımların çoğunda anlamlı ilişkilerin tespit edildiği söylenebilir. Tezin bu kısmında dağılım grafiklerinde elde edilen K_T denklemleri topluca tablolar halinde ifade edilmiştir. Tablolarda sadece R^2 değeri 0,600'dan büyük ($R^2 > 0,600$) olan eğri denklemlerine yer verilmiştir.

Tablo 10.1. Tüm kazıklar arasında eksenel basınç testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$46,28 \times ^{-0,35}$	Tüm kazıklar	T	0,72
$45,22 \times ^{-0,34}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,70
$45,405\ e^{-0,002x}$	Tek plakalı kazıklar	D_{ort}	0,71
$49,42 \times ^{-0,36}$	İki plakalı kazıklar	T	0,70
$52,62 \times ^{-0,46}$	Üç plakalı kazıklar	T	0,81
$2E+08 \times ^{-2,79}$	Üç plakalı kazıklar	D_{ort}	0,70
$98,78 \times ^{-0,72}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,65
$1641,21 \times ^{-0,96}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli ve basınçta çalıştırılan kazıklar	d	0,65
$98,92 \times ^{-0,75}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T	0,68
$86,32 \times ^{-0,64}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T	0,62

Tablo 10.1.(Devam) Tüm kazıklar arasında eksenel basınç testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$143{,}66 \times ^{-0{,}88}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T	0,73
$3792{,}61 \times ^{-1{,}16}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan tek plakalı kazıklar	d	0,65
$1264{,}71 \times ^{-0{,}89}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	d	0,66
$1133{,}95 \times ^{-0{,}89}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan üç plakalı kazıklar	d	0,71
$138{,}94 \times ^{-0{,}83}$	CL zeminlere yerleştirilen daire kesitli ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,82
$2120{,}25 \times ^{-1{,}01}$	CL zeminlere yerleştirilen daire kesitli ve basınçta çalıştırılan kazıklar	d	0,72
$141{,}50 \times ^{-0{,}85}$	CL zeminlere yerleştirilen daire kesitli, basınçta çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T	0,88
$139{,}48 \times ^{-0{,}80}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T	0,86
$143{,}66 \times ^{-0{,}88}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, basınçta çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T	0,73

Tablo 10.2. Tüm kazıklar arasında eksenel çekme testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$35{,}56 \times ^{-0{,}32}$	Tüm kazıklar	T	0,60
$31{,}52 \times ^{-0{,}27}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,63
$39{,}00 \times ^{-0{,}34}$	İki plakalı kazıklar	T	0,63

Tablo 10.2.(Devam) Tüm kazıklar arasında eksenel çekme testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$5810{,}49\ x^{-1{,}29}$	SP zeminlere yerleştirilen, daire kesitli ve çekmede çalıştırılan kazıklar	D_{ort}	0,71
$1{,}80\ x^2 - 27{,}07\ x + 124{,}15$*	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen, kare kesitli ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,71
$152{,}45\ x^{-0{,}90}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen, kare kesitli, çekmede çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T	0,80
$103{,}07\ x^{-0{,}47}$	SP zeminlere yerleştirilen, kare kesitli ve çekme testi yapılan kazıklar	T	0,72
* Yerleşim torku değeri 14 kNm'den sonra dikkatli olunmalıdır.			

Tablo 10.3. Tüm kazıkların birlikte değerlendirildiği durumda geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$36{,}71\ x^{-0{,}31}$	Tüm kazıklar	T	0,66
$33{,}31\ x^{-0{,}27}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,66
$49{,}375\ e^{-0{,}002x}$	Tek plakalı kazıklar	D_{ort}	0,64
$40{,}84\ x^{-0{,}32}$	İki plakalı kazıklar	T	0,66
$38{,}00\ x^{-0{,}36}$	Üç plakalı kazıklar	T	0,63
$58{,}17\ x^{-0{,}43}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklar	T	0,74
$33{,}68\ x^{-0{,}28}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T	0,63
$31{,}23\ x^{-0{,}24}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T	0,64
$35{,}61\ x^{-0{,}36}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T	0,64
$42{,}71\ x^{-0{,}34}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T	0,71

Tablo 10.3.(Devam) Tüm kazıkların birlikte değerlendirildiği durumda geliştirilen K_T denklemleri

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$45{,}182\ e^{-0{,}002x}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	D_{ort}	0,81
$63{,}15\ x^{-0{,}43}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen iki plakalı kazıklar	T	0,79
$94295\ x^{-1{,}45}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen iki plakalı kazıklar	D_{ort}	0,62
$106{,}71\ x^{-0{,}69}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T	0,84

Tablo 10.4. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$28{,}56\ x^{-0{,}24}$	Tüm kazıklar	T	0,78
$50{,}757\ e^{-0{,}002x}$	Tüm kazıklar	D_{ort}	0,64
$26{,}29\ x^{-0{,}23}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,83
$42{,}732\ e^{-0{,}002x}$	Tek plakalı kazıklar	D_{ort}	0,75
$28{,}83\ x^{-0{,}22}$	İki plakalı kazıklar	T	0,71
$55{,}415\ e^{-0{,}002x}$	İki plakalı kazıklar	D_{ort}	0,64
$30{,}47\ x^{-0{,}36}$	Üç plakalı kazıklar	T	0,60
$28{,}57\ x^{-0{,}24}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T	0,68
$26{,}17\ x^{-0{,}23}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T	0,77
$30{,}47\ x^{-0{,}36}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T	0,60
$28{,}76\ x^{-0{,}30}$	Çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,76
$26{,}86\ x^{-0{,}31}$	Çekmede çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T	0,87
$28{,}12\ x^{-0{,}26}$	Çekmede çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T	0,74
$30{,}46\ x^{-0{,}36}$	Çekmede çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T	0,60

Tablo 10.4.(Devam) Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$0{,}0001\ x^2 - 0{,}086\ x + 21{,}303$	Basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T	0,76
$31{,}76\ x^{-0{,}54}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, kare şaftlı, üç plakalı basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,87
$29{,}80\ x^{-0{,}31}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,69
$26{,}92\ x^{-0{,}31}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, tek plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,80
$29{,}90\ x^{-0{,}33}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, iki plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,91

Tablo 10.5. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$34{,}15\ x^{-0{,}26}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,76
$33{,}15\ x^{-0{,}34}$	İki plakalı kazıklar	T	0,78
$38{,}75\ x^{-0{,}43}$	Üç plakalı kazıklar	T	0,87
$36{,}33\ x^{-0{,}34}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T	0,74
$34{,}15\ x^{-0{,}26}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T	0,76
$33{,}50\ x^{-0{,}30}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen iki plakalı kazıklar	T	0,69
$38{,}85\ x^{-0{,}44}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T	0,83
$36{,}88\ x^{-0{,}39}$	Çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,78
$34{,}30\ x^{-0{,}27}$	Çekmede çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T	0,74
$33{,}77\ x^{-0{,}36}$	Çekmede çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T	0,79

Tablo 10.5.(Devam) Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$39{,}12 \times ^{-0{,}47}$	Çekmede çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T	0,84
$39{,}34 \times ^{-0{,}42}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, kare kesitli, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,77
$34{,}05 \times ^{-0{,}27}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, tek plakalı çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,73
$35{,}20 \times ^{-0{,}33}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, iki plakalı çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,87
$38{,}29 \times ^{-0{,}41}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, üç plakalı çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,73
$48{,}62\ e^{-0{,}07x}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T	0,78
$55{,}46\ e^{-0{,}08x}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, çoklu plakaya sahip ve ve çekme yüklemesi yapılan kazıklar	T	0,85

Tablo 10.6. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (Davisson limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$-6{,}96\ \ln(x) + 44{,}19$	Tüm kazıklar	T	0,90
$1E\text{-}06 \times ^{-1{,}83}$	Tüm kazıklar	D_{ort}	0,92
$-21{,}28\ \ln(x) + 132{,}67$	Tüm kazıklar	d	0,90
$581{,}98 \times ^{-0{,}87}$	Tek plakalı kazıklar	T	0,71
$2E + 08 \times ^{-2{,}60}$	Tek plakalı kazıklar	D_{ort}	0,71
$224{,}08 \times ^{-0{,}68}$	İki plakalı kazıklar	T	0,64
$4E + 08 \times ^{-2{,}71}$	İki plakalı kazıklar	D_{ort}	0,62

Tablo 10.6.(Devam) Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (Davisson limit deplasman metodu)

K_T Denklemi	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**	**R^2**
$0{,}001\ x^2 - 0{,}397\ x + 42{,}031$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T	0,84
$50{,}05\ x^{-0{,}39}$	Basınçta çalıştırılan kazıklar	T	0,89

10.2. Eksenel Kapasite Denklemleri

Bu kısımda elde edilen K_T denklemlerinden doğrudan yerleşim torku, yerleşim torku - kazık gövde çapı ve yerleşim torku - ortalama plaka çapı kullanılarak kapasite hesaplarının yapılabileceği denklemler geliştirilmiştir. Denklemlerde sadece R^2 değeri 0,700'den büyük ($R^2 > 0,700$) olan K_T denklemlerinden faydalanılmıştır. Tablo 10.7-10.12 'de geliştirilen kapasite denklemleri ve denklemlerin geçerli olduğu koşullar sunulmuştur.

Tablo 10.7. Tüm kazıklar arasında eksenel basınç testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$46,28\ T^{0,65}$	Basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$45,22\ T^{0,66}$	Basınçta çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T
$T\ (45,405\ e^{-0,002 D_{ort}})$	Basınçta çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T ve D_{ort}
$49,42\ T^{0,64}$	Basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T
$52,62\ T^{0,54}$	Basınçta çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T
$T\ (2E+08\ (D_{ort})^{-2,79})$	Basınçta çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T ve D_{ort}
$143,66\ T^{0,12}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$T\ (1133,95\ d^{-0,89})$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire kesitli, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T ve d
$138,94\ T^{0,17}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$T(2120,25\ d^{-1,01})$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, basınçta çalıştırılan kazıklar	T ve d
$141,50\ T^{0,15}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, tek plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$139,48\ T^{0,20}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, iki plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$143,66\ T^{0,12}$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T

Tablo 10.8. Tüm kazıklar arasında eksenel çekme testi yapılan kazıklar için geliştirilen K_T denklemleri

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$T\,(5810{,}49\,(D_{ort})^{-1{,}29})$	SP zeminlere yerleştirilen daire kesitli ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T ve D_{ort}
$1{,}80\,T^{3} - 27{,}07\,T^{2} + 124{,}15\,T$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen, kare kesitli ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$152{,}45\,T^{0{,}10}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen, kare kesitli, üç plakalı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$103{,}07\,T^{0{,}53}$	SP zeminlere yerleştirilen, kare kesitli ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T

Tablo 10.9. Tüm kazıkların birlikte değerlendirildiği durumda geliştirilen K_T denklemleri

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$58{,}17\,T^{0{,}57}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen kazıklar	T
$42{,}71\,T^{0{,}66}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen tek plakayalı kazıklar	T
$T\,(45{,}182\,e^{-0{,}002Dort})$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T ve D_{ort}
$63{,}15\,T^{0{,}57}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen iki plakalı kazıklar	T
$106{,}71\,T^{0{,}31}$	Kohezyonsuz zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T

Tablo 10.10. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$28{,}56\,T^{0{,}76}$	Tüm kazıklar	T
$26{,}29\,T^{0{,}77}$	Tek plakalı kazıklar	T
$T\,(42{,}732\,e^{-0{,}002Dort})$	Tek plakalı kazıklar	T ve D_{ort}
$28{,}83\,T^{0{,}78}$	İki plakalı kazıklar	T

Tablo 10.10.(Devam) Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%5 limit deplasman metodu)

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$26{,}17\ T^{0{,}77}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T
$28{,}76\ T^{0{,}70}$	Çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$26{,}86\ T^{0{,}69}$	Çekmede çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T
$28{,}12\ T^{0{,}74}$	Çekmede çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T
$0{,}0001\ T^3 - 0{,}0860\ T^2 + 21{,}3030\ T$	Basınçta çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T
$31{,}76\ T^{0{,}46}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, kare şaftlı, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$26{,}92\ T^{0{,}69}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, tek plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$29{,}90\ T^{0{,}67}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, iki plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T

Tablo 10.11. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$34{,}15\ T^{0{,}74}$	Tek plakalı kazıklar	T
$33{,}15\ T^{0{,}66}$	İki plakalı kazıklar	T
$38{,}75\ T^{0{,}57}$	Üç plakalı kazıklar	T
$36{,}33\ T^{0{,}64}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T
$34{,}15\ T^{0{,}74}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen tek plakalı kazıklar	T
$38{,}85\ T^{0{,}56}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen üç plakalı kazıklar	T
$36{,}88\ T^{0{,}61}$	Çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$34{,}30\ T^{0{,}73}$	Çekmede çalıştırılan tek plakalı kazıklar	T
$33{,}77\ T^{0{,}64}$	Çekmede çalıştırılan iki plakalı kazıklar	T

Tablo 10.11.(Devam) Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (%10 limit deplasman metodu)

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$39,12\ T^{0,53}$	Çekmede çalıştırılan üç plakalı kazıklar	T
$39,34\ T^{0,58}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, kare şaftlı, üç plakalı ve basınçta çalıştırılan kazıklar	T
$34,05\ T^{0,73}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, tek plakalı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$35,20\ T^{0,67}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, iki plakalı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$38,29\ T^{0,59}$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, üç plakalı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$T\ (48,62\ e^{-0,07\ T})$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı ve çekmede çalıştırılan kazıklar	T
$T\ (55,46\ e^{-0,08T})$	CL zeminlere yerleştirilen, daire şaftlı, çoklu plakaya sahip çekmede çalıştırılan kazıklar	T

Tablo 10.12. Kazık kapasite metoduna göre K_T denklemleri (Davisson limit deplasman metodu)

Kapasite Denklemi (Q_{ult})	**Denklemin Geçerli Olduğu Koşullar**	**Gerekli Parametre**
$T\ (-6,96\ In(T) + 44,19)$	Tüm kazıklar	T
$T\ (1E-06\ (D_{ort})^{-1,83})$	Tüm kazıklar	T ve D_{ort}
$T\ (-21,28\ In(d) + 132,67)$	Tüm kazıklar	T ve d
$581,98\ T^{0,13}$	Tek plakalı kazıklar	T
$T\ (2E+08\ (D_{ort})^{-2,60})$	Tek plakalı kazıklar	T ve D_{ort}
$0,001\ T^{3} - 0,397\ T^{2} + 42,031\ T$	Kohezyonlu zeminlere yerleştirilen kazıklar	T
$50,05\ T^{0,61}$	Basınçta çalıştırılan kazıklar	T

11. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında helisel kazıklarda kazık yerleşim torku verilerinden kazığın eksenel kapasitesinin belirlendiği tork korelasyon metodu incelenmiştir. İncelenen bu metotta kapasite hesaplarının yapılabilmesi için gerekli olan K_T katsayısı kazık geometrisi, kazığın yerleştirildiği zemin özellikleri ve kazık yükleme tipi gibi birçok parametre dikkate alınarak kapsamlı bir şekilde irdelenmiştir. Çalışma kapsamında literatürde yayınlanmış helisel kazık yükleme sonuçları ve yerleşim torku verileri birlikte bir araya getirilerek derlenmiş ve her bir kazığa ait K_T katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplanan K_T katsayıları birçok parametre göz önünde bulundurularak sınıflandırılmış ve her bir sınıfa ait veri setinde analizler yapılmıştır.

Literatür çalışmalarını incelediğimizde K_T katsayısının sadece kazık gövde çapına bağlı olarak önerildiğini görmekteyiz. Bu çalışma kapsamında literatüre katkı sağlaması amacıyla K_T katsayısının sadece tek bir geometrik özelliğe bağlı değil hem kazık hem de zemin özelliklerinin birlikte temsil edildiği yerleşim tokuna bağlı seçilmesi önerilmiş ve kazık yerleşim torkuna bağlı K_T katsayısı değerinin ilgili özelliğe bağlı hesaplanabildiği denklemler geliştirilmiştir. Ayrıca kazık üzerindeki ortalama plaka çapı dikkate alınarak da K_T katsayılarının hesaplanabildiği denklemler geliştirilmiştir. Daha sonra geliştirilen K_T denklemleri kullanılarak doğrudan kapasite hesaplarına gidilebilecek eksenel kapasite denklemleri geliştirilmiştir. Özellikle kazık kapasitesinin belirlendiği yönteme göre K_T katsayıları üzerinde yapılan incelemeler sonucu geliştirilen kapasite denklemlerden yararlanılarak ilgili metoda göre doğrudan kazık kapasitesi tork korelasyon metoduyla hesaplanabilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında K_T katsayısı seçilirken birden fazla parametrenin dikkate alınması gerektiği ifade edilmektedir. Bu kapsamda K_T katsayısı üzerinde yapılan incelemelerde elde edilen sonuçlar genel olarak şöyle ifade edilebilir :

1. K_T katsayısı seçiminde kazık ve zemin özellikleri dikkate alınarak uygun K_T değeri seçilmelidir.

2. Kazık üzerinde bulunan helisel plaka sayısının ve kazık gövde çap boyutlarının artması doğrudan kazık yerleşim torkunu arttırıcı yönde etki oluşturmaktadır.

3. Kazık üzerinde bulunan helisel plaka sayısının ve kazık gövde çap boyutlarının artması kullanılacak K_T katsayısının daha küçük değerlerde seçilmesine neden olmaktadır.

4. Plaka sayısının artması kazık kapasitesi üzerinde de artış yönünde etki oluştururken, meydana gelen artış yerleşim torku üzerinde daha yüksek seviyelerde oluşmaktadır.

5. Kazığın eksenel kapasitesinin belirlendiği yöntemin hesaplanan K_T değerlerinde önemli farklılıklara neden olduğu belirlenmiştir.

6. Kazık yerleşim torku artıkça kapasite hesaplarında daha küçük K_T katsayısının kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

7. Kazık üzerinde yer alan plakaların ortalama plaka çapının büyümesi sonucunda kullanılması gereken K_T katsayısının değeri küçülmektedir.

Çalışmada tork korelasyon metoduyla gerçekçi kapasite hesaplarının yapılabilmesi için K_T katsayısının birden fazla parametreye dikkat edilerek seçilmesi önerilmektedir. İleriki çalışmalarda bu çalışmada kullanılan kazık verilerine yeni kazık verileri eklenerek hem kazık boyutlarının hem de zemin özelliklerinin birlikte kullanıldığı birden çok parametrenin aynı anda denklemlerden kullanılabileceği yeni K_T denklemleri geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

Abedin M. D. Z., Safiullah A. M. M., Prediction of Screw Pile Behaviour in Alluvial Soils, *Proceedings of the Ninth Asia Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Bangkok, Thailand, 9-13 December 1993.

Adams J. I., Klym T. W., A Study of Anchors for Transmission Tower Foundations, *Canadian Geotechnical Journal*, 1972, **9**(1), 89-104.

AC 358, Acceptance Criteria for Helical Foundation Systems and Devices, *ICC-Evaluation Services Inc.,* California, 2007.

AISC 360-16, Spesification for Structural Steel Buildings, *American Institute of Steel Construction Inc.*, Chicago, 2000.

Beim J., Luna, S. C., Results of Dynamic and Static Load Tests on Helical Piles in the Varved Clay of Massachusetts, *DFI Journal*, 2012, **6**(1), 58-67.

Chance A. B., Installation Methodology, Helical Pier, http:// www. helicalpier. com/ wp - content/uploads/2013/09/Atlas-Installation-Methodology-Design-Tech-Manual. pdf, (Ziyaret tarihi: 5 Aralık 2017)

Chance A. B., Technical Design Manual, Atlas Piers, https://atlaspiers.com/wp-content/uploads/2017/04/CHANCE-TDM-Edition-3.pdf, (Ziyaret tarihi: 5 Aralık 2017)

Das M. B., Pile Foundations, Editors: Gowans H., Cully E., *Pile Foundations, Principles of Foundation Engineering*, 8th ed., Cengage Learning, USA, 403, 2014.

Elkasabgy M., Naggar H. M., Axial Compressive Response of Large - Capacity Helical and Driven Steel Piles in Cohesive Soil, *NRC Research Press*, 2015, **52**(2), 224-243.

EPC 05, Basic Helical Screw Pile Desing, *Earth Contact Product*, Texas, 2005.

Filho J. M. S. M., Morais T. S. O., Tsua C. H. C., A New Experimental Procedure to Investigate the Torque Correlation Factor of Helical Anchors, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 2014, **19**(2014), 3851-3864.

FSI 14, Technical Manual, *Foundation Sportworks*, Nebraska, 2014.

Ghaly A., Hanna A. Hanna M., Installation Tork of Screw Anchors in Dry Sand, *Soils and Foundations*, 1991, **31**(2), 77-92.

Ghaly A., Hanna A., Stresses and Strains around Helical Screw Anchors in Sand, *Soils and Foundations*, 1992, **32**(4), 27 - 42.

Hambleton J. P., Stanier S. A., Gaudin C., Todeshkejoei K., Analysis of Installation Forces for Helical Piles in Clay, *Australian Geomechanics*, 2014, **49**(4), 73-79.

Hoyt R. M., Clemence S. P., Uplift Capacity of Helical Anchors in Soil, *12th International Conference on Soil Mechanics and Foundationl Engineering*, Rio De Jenerio, Brazil, 17 August 1989.

IBC 09, International Building Code, *International Code Council*, Illinois, 2009.

IPENZ 15, Screw Piles: Guidelines for Design Practice Note 28, *IPENZ Engineers.*, New Zealand, 2015.

Khan U. M. S., Estimation of Compressive Load Bearing Capacity of Helical Piles Using Torque Method and Induced Settlements, Master of Applied Science, The University of British Columbia, Canada, 2016.

Kirkit M., 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, 2009, 243595.

Likhitha H., Ramesh B. R., The Experimental Study on Uplift Bearing Capacity of Helical Piles in Silt Deposits, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, DOI:10.15680/IJIRSET.2016.0506097.

Lutenegger A. J., Behaviour of Grauted Shaft Helical Anchors in Clay, *DFI Journal*, 2011, **5**(1), 58 - 67.

Lutenegger A. J., Erikson J., Williams N., Evaluating Installation Disturbance of Helical Anchors in Clay from Field Vane Tests, *Proceedings of the 39th Annual Deep Foundations Institute Conference*, Atlanta, USA, 21-23 October 2014.

Lutenegger A. J., Historical Application of Screw - Piles and Screw - Cylinder Foundations for 19th Century Ocean Piers, *Seventh International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering*, Chicago, USA, 29 April - 4 May 2013.

Lutenegger A. J., Historical Development of Iron Screw - Pile Foundations : 1836–1900, *Int. J. for the History of Eng. and Tech.*, DOI: 10.1179 / 175812109X12547 332391989.

ISHF 15, Quick Design Guide For Screw - Piles And Helical Anchors in Soils, *International Society for Helical Foundations,* Massachusetts, 2015.

Meyerhof G. G., Adams J. I., The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, *Cananadian Geotechnical Journal*, 1968, **5**(4), 225 - 244.

Mitsch M. P., Clemence S. P., Uplift Behaviour of Anchor Foundations in Soil, *A Session of ASCE Convention*, Detroit, USA, 24 October 1985.

Pack P.E., Part 2 - Capacity Calculations, Editors: John S., Pack P. E, *Practical Design and Inspection Guide for Helical Piles and Helical Tension Anchors*, 4th ed., I.M.R. Inc., 1-5, USA, 2009.

Perko H. A., Appendix C - Load Test Results, Editors: Wiley J., *Helical piles : A Practical Guide to Design and Installation,* 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA, 465-476, 2009.

Perko H. A., Chapter 1 - Introduction, Editors: Wiley J., *Helical piles : A Practical Guide to Design and Installation*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA, 1, 2009.

Perko H. A., Chapter 2 - Installation, Editors: Wiley J., *Helical piles : A Practical Guide to Design and Installation* 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA, 42, 2009.

Perko H. A., Chapter 4 - Bearing Capacity, Editors: Wiley J., *Helical piles : A Practical Guide to Design and Installation*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA, 119, 2009.

Perko H. A., Chapter 5 - Pullout Capacity, Editors: Wiley J., *Helical piles : A Practical Guide to Design and Installation*, 1st ed., John Wiley & Sons Inc., USA, 158, 2009.

Rao S. N., Prasad Y.V.S.N., Shetty M. D., The Behaviour of Model Screw Piles in Cohesive Soils, *Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1991, **31**(2), 35-50.

Rao S. N., Pullout Behaviour of Screw and Suction Anchors in Soft Marine Clays, *Indian Geotechnical Journal*, 2007, **37**(1), 1-37.

Ruberti M. N., Investıgatıon of Installation Torque and Torque - to - Capacity Relationship of Screw - Piles and Helical Anchors, Master of Science,University of Massachusetts, Department of Civil and Environmental Engineering, Amherst, Massachusetts, 2015.

Sakr M., Helical Piles - An Effective Foundation System for Solar Plants, *64th Canadian Geotechnical Conference*, Toronto, Canada, 2-6 October 2011.

Sakr M., High Capacity Helical Piles - A New Dimension for Bridge Foundations, *Proceedings of 8th International Conference on Short and Medium Span Bridges*, Niagara Falls, Canada, 3-6 August 2010.

Sakr M., Installation and Performance Characteristics of High Capacity Helical Piles in Cohesionless Soils, *DFI Journal*, 2011, **5**(1), 39-57.

Sprince A., Pakrastinsh L., Helical Pile Behaviour and Load Transfer Mechanism in Different Soils, *The 10th International Conference*, Vilnius, Lithuania, 19-21 May 2010.

Tappenden M. K., Predicting the Axial Capacity of Screw Piles Installed in Western Canadian Soils, Master of Science, University of Alberta, Department of Civil and Environmental Engineering, Edmonton, Alberta, 2007.

URL-1 :https://www.macleandixie.com/products/item.asp?ITEM_ID=2441, (Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2017)

URL-2:http://avalonstructural.com/Liquefaction.html, (Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2017)

URL-3:http://www.azimuth-engineering.co.uk/helical-piles.php, (Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2017)

URL-4:http://s3.amazonaws.com/suncam/docs/132.pdf, (Ziyaret Tarihi: 5 Aralık 2017)

Wrana B., Pile Load Capacity - Calculation Methods, *Studia Geotechnica et Mechanica,* DOI: 10.1515/sgem-2015-0048.

Yttrup P. J. Abramsson G., Ultimate Strength of Steel Screw Piles in Sand, *Australian Geomechanics*, 2003, **38**(1), 17 - 27.

Zhang D. J. Y., Predicting Capacity of Helical Screw Piles in Alberta Soils, Master of Science, University of Alberta, Department of Civil and Environmental Engineering, Edmonton, Alberta, 1999.

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Gül, T.,** Arsoy, S., Helisel Kazıklarda Ampirik Tork Katsayısının Değişimini Etkileyen Faktörler, *3. Uluslararası Zemin-Yapı Etkileşimi Sempozyumu*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, 18-20 Ekim 2017.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Kocaeli'nde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kocaeli'nde tamamladı. 2007 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Asım Kocabıyık Meslek Yüksek Okulu Doğalgaz Isıtma ve Sıhhi Tesisat Teknolojisi Bölümü'nden 2009 yılında Doğalgaz Isıtma ve Sıhhi Tesisat Teknikeri olarak mezun oldu. 2009 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde bir yıl eğitim aldı. 2010 yılında girdiği Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nden 2014 yılında Jeoloji Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı zamanda 2012 yılında Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde çift ana dal programına başladı. 2015 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda bir dönem Yüksek Lisans eğitimi aldı. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2015 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. 2015 yılında Anadolu Üniversitesi(Açık Öğretim) İktisat Fakültesi, İktisat Lisans Programı'na başladı ve eğitimini sürdürmektedir. 2015 yılından itibaren Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi(Açık Öğretim) Sosyoloji Lisans Programına başladı ve eğitimini sürdürmektedir. 2017 yılında Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Batı Dilleri ve Edebiyatları Bölümü İngiliz Dili ve Edebiyatı Anabilim Dalı'na başladı ve eğitimini sürdürmektedir.