İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CEVHER KIRICIYA AİT KAZIKLI TEMELİN DİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hüsnü UYSAL

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : GEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

CEVHER KIRICIYA AİT KAZIKLI TEMELİN DİNAMİK ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Hüsnü UYSAL
(501021251)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 6 Ocak 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 10 Ocak 2005

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER
Prof. Dr. Mete İNCECİK
Prof. Dr. Sönmez YILDIRIM (Y.T.Ü.)

OCAK 2005

ÖNSÖZ

Bu tez önsözünde bulduğum teşekkür etme fırsatı ile bu yıllara gelmemde bana her zaman madden ve manen destek olan, iyi ve ileri ufuklarda hedef gösteren annem Fizik Öğr. Dürdane UYSAL'a, babam İnş. Müh. Veli UYSAL'a ve de İstanbul'a geldiğim ilk günden itibaren bana ikinci bir anne ve babalık yapan ablam Dr. Pınar UYSAL'a,

Bu tez çalışmasının hazırlanması esnasında danışman hocalığımı yapan, değerli bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Kemal ÖZÜDOĞRU'ya,

Ayrıca, sağladığı döküman ve imkanlardan dolayı Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Hammadde ve Manipulasyon İşletme Başmühendisi Abbas KARAMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ocak 2005 Hüsnü UYSAL

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vi
SEMBOL LİSTESİ vii
ÖZET xii
SUMMARY xiii

1. GİRİŞ 1
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1

2. NOVAK DİNAMİK ANALİZİ 2
2.1. Dinamik Yükler Altında Tekil Kazığın Davranışı 2
2.1.1. Tekil kazık için düşey vibrasyon 2
2.1.2. Tekil kazık için yanal vibrasyon 12
2.1.3. Tekil kazık için dönmenin etkisi 13
2.1.4. Tekil kazık için yatay bileşik hareket etkisi 14
2.2. Dinamik Yükler Altındaki Kazıklarda Grup Etkisi 15
2.2.1. Düşey vibrasyon durumunda grup etkisi 15
2.2.2. Yanal vibrasyon durumunda grup etkisi 17
2.2.3. x-y eksenleri doğrultusunda dönme durumunda grup etkisi 18
2.3. Dinamik Yükler Altında Kazık Başlığının Etkisi 20
2.3.1. Düşey vibrasyon durumunda kazık başlığının etkisi 20
2.3.2. Yanal vibrasyon durumunda kazık başlığının etkisi 21
2.3.3. x-y eksenleri doğrultusunda dönme durumunda kazık başlığının etkisi 22
2.4. Dinamik Denge Denklemleri Yardımıyla Temel Sisteminin x-y-z Eksenleri Doğrultusundaki Genliği ve Dönmesi 23
2.4.1. x ekseni doğrultusunda genlik ve dönme 23
2.4.2. y ekseni doğrultusunda genlik ve dönme 26
2.4.3. z ekseni doğrultusunda genlik, sistemin doğal frekansı ve doğal dönme frekansı 29

3. EREĞLİ DEMİR ve ÇELİK FABRİKALARI'NA AİT 1 NOLU CEVHER KIRICININ KAZIKLI TEMELİNE AİT DİNAMİK ANALİZ 31
3.1. Kırıcı ve Temeli Hakkında Bilgiler 31
3.2. Temel Sistemine Ait Tekil Kazıkların Dinamik Yükler Altında Davranışları 37
3.2.1. Tekil kazıklar için düşey rijitlik ve sönüm hesabı 38
3.2.2. Tekil kazıklar için yanal rijitlik ve sönüm hesabı 77

3.2.3. Tekil kazıklar için dönme rijitlik ve sönüm hesabı 79
3.2.4. Tekil kazıklar için yatay bileşik harekete ait rijitlik ve sönüm hesabı 80
3.3. Kazıklarda Grup Etkisi Hesabı 82
3.3.1. Düşey vibrasyon durumunda grup etkisi hesabı 82
3.3.2. Yanal vibrasyon durumunda grup etkisi hesabı 140
3.3.3. x-y eksenleri doğrultusunda dönme durumunda grup etkisi hesabı 142
3.4. Kazık Başlığının Zeminle Sürtünmesinden Doğan Rijitlik ve Sönüm Hesabı 150
3.4.1. Düşey vibrasyon durumunda kazık başlığına ait rijitlik ve sönüm hesabı 150
3.4.2. Yanal vibrasyon durumunda kazık başlığına ait rijitlik ve sönüm hesabı 152
3.4.3. x-y eksenleri doğrultusunda dönme durumunda kazık başlığına ait rijitlik ve sönüm hesabı 153
3.5. Dinamik Denge Denklemleri Yardımıyla Eksenler Doğrultusundaki Genlik ve Dönme Hesapları 155
3.5.1. x ekseni doğrultusunda genlik ve dönme hesabı 174
3.5.2. y ekseni doğrultusunda genlik ve dönme hesabı 175
3.5.3. z ekseni doğrultusunda genlik, sistemin doğal ve dönme frekansları hesabı 176

4. SONUÇLAR 179

KAYNAKLAR 181

EKLER 183

ÖZGEÇMİŞ 200

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1. Kazıkların yanal davranışları için rijitlik ve sönüm parametreleri (Novak ve El-Sharnouby, 1983) 15
Tablo 2.2. Bağımsız frekans parametreleri (Beredugo ve Novak, 1972) 21
Tablo 2.3. x yönündeki kuvvet ve dönme değerlerinin karmaşık sayı formunda ifadeleri (Bowles, 1996) 25
Tablo 2.4. y yönündeki kuvvet ve dönme değerlerinin karmaşık sayı formunda ifadeleri (Bowles, 1996) 28
Tablo 3.1. Kazıkların birim hacim ağırlıkları hesabı 37
Tablo 3.2. Kazıklara ait çap ve uzunluk değerleri 39
Tablo 3.3. Kazıklara ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri 76
Tablo 3.4. 1. gruba ait toplam etkileşim faktörleri 103
Tablo 3.5. 2. gruba ait toplam etkileşim faktörleri 125
Tablo 3.6. 3. gruba ait toplam etkileşim faktörleri 138
Tablo 3.7. Kazık gruplarına ait yanal ötelenme yerdeğiştirme faktörü 141
Tablo 3.8. Temel sistemine ait kütle ağırlık merkezinin gerçek x-y-z koordinatları 144
Tablo 3.9. Kazık gruplarının x yönündeki toplam dönme rijitlik değeri hesabı 146
Tablo 3.10. Kazık gruplarının x yönündeki toplam dönme sönüm değeri hesabı 147
Tablo 3.11. Kazık gruplarının y yönündeki toplam dönme rijitlik değeri hesabı 148
Tablo 3.12. Kazık gruplarının y yönündeki toplam dönme sönüm değeri hesabı 149
Tablo 3.13. Temel sisteminin düşey yöndeki toplam rijitlik ve sönüm değerleri 151
Tablo 3.14. Klasik yolla ve AutoCad ile hesaplanan kütle atalet momentleri . 173
Tablo 3.15. Temel sistemine ait doğal dönme frekansı için bulunan değerler . 178
Tablo 4.1. Dinamik analiz sonucu bulunan değerler 179

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	**:** Düşey kazık ve notasyonlar (Novak, 1977)	3
Şekil 2.2	**:** $S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2,}$ $C_{\omega 1 \text{ ve}}$ $C_{\omega 2}$ fonksiyonları (Novak, 1977)	4
Şekil 2.3	**:** Tekil kazığa ait düşey rijitlik ve sönüm parametreleri (Novak ve El-Sharnouby, 1983)	12
Şekil 2.4	**:** Kazıklar arası etkileşim faktörü (Poulos, 1968)	16
Şekil 2.5	**:** Yanal ötelenme için yerdeğiştirme faktörü (Poulos, 1972)	18
Şekil 2.6	**:** x eksenindeki ötelenme ve dönmenin temel sistemine etkisi (Bowles, 1996)	23
Şekil 2.7	**:** y eksenindeki ötelenme ve dönmenin temel sistemine etkisi (Bowles, 1996)	26
Şekil 3.1	**:** Cevher kırıcının bulunduğu binanın genel görünüşü	31
Şekil 3.2	**:** Cevher kırıcıya gelen ve kırıcıdan giden konveynörler	32
Şekil 3.3	**:** Cevher toplama haznesi	32
Şekil 3.4	**:** Cevher kırıcı kesiti	33
Şekil 3.5	**:** Cevher kırıcının üstten görünüşü	34
Şekil 3.6	**:** Kırıcının iç kısmı	34
Şekil 3.7	**:** Kırıcının temel ile birleşim yerindeki ankraj civatası ve konsol ..	35
Şekil 3.8	**:** Kırıcıya ait genişletilmiş temel sistemi (soldan görünüş)	36
Şekil 3.9	**:** Kırıcıya ait genişletilmiş temel sistemi (sağdan görünüş)	36
Şekil 3.10	**:** Rastgele seçilen x-y ve x-z eksenlerinin konumu	143
Şekil 3.11	**:** Temel sistemi elemanları ve sistemin kütle ağırlık merkezi	145
Şekil 3.12a	**:** 9 ve 10 nolu elemanların y-z düzlemi	162
Şekil 3.12b	**:** 9 ve 10 nolu elemanların y-z düzlemi	163
Şekil 3.13a	**:** 13 ve 14 nolu elemanların x-y düzlemi	166
Şekil 3.13b	**:** 13 ve 14 nolu elemanların x-y düzlemi	167
Şekil 4.1	**:** Titreşim genlik ve frekansına bağlı olarak verilen genel sınırlar (Celep ve Kumbasar, 2001)	179
Şekil A.1	**:** Vaziyet planı	185
Şekil A.2	**:** Vaziyet planına ait A-A ve B-B kesitleri	186
Şekil A.3	**:** Vaziyet planına ait C-C ve D-D kesitleri	187
Şekil A.4	**:** Kazık aplikasyon planı	188
Şekil A.5	**:** Kazık aplikasyon planına ait A-A kesiti	189
Şekil C.1	**:** Sondaj yeri ve zemin profili	199

SEMBOL LİSTESİ

A_c : Kazık başlığının taban alanı
A_p : Kazık kesit alanı
a, b, c, d : Yardımcı katsayılar [1], b [2] taban kenar uzunluğu
a_o : Boyutsuz frekans faktörü
B, C : İntegrasyon sabitleri
$C_{\omega 1}, C_{\omega 2}$: Boyutsuz frekans fonksiyonları
c : Kazığın içsel sönüm katsayısı
c_w^1 : Tekil kazığa ait düşey sönüm
c_w^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan düşey sönüm
c_w^g : Kazık grubuna ait düşey sönüm
c_x^1 : Tekil kazığa ait yatay sönüm
c_x^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan yatay sönüm
c_x^g : Kazık grubuna ait yatay sönüm
$c_{x\phi}^1$: Tekil kazığa ait yatay bileşik hareket sönümü
c_ϕ^1 : Tekil kazığa ait dönme sönümü
c_ϕ^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan dönme sönümü
c_ϕ^{xg} : Kazık grubunun x yönündeki dönme sönümü
c_ϕ^{yg} : Kazık grubunun y yönündeki dönme sönümü
D_e : Kazık kesitine ait dış çap
D_i : Kazık kesitine ait iç çap
dm : dr kalınlığındaki elemanın kütlesi
dr : Elemanın kalınlığı
E_p : Kazığın elastisite modülü
F_x, F_y : Makinadan dolayı temel sistemine etkiyen açısal kuvvetin x ve y bileşenleri
f_c : Kırıcının çalışma frekansı
f_f : Düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin doğal frekansı
f_w : Tekil kazığa ait düşey parametre
f_{w1}, f_{w2} : Tekil kazığa ait düşey rijitlik ve sönüm parametreleri
f_{x1}, f_{x2} : Tekil kazığa ait yatay rijitlik ve sönüm parametreleri
$f_{x\phi 1}, f_{x\phi 2}$: Tekil kazığa ait yatay bileşik hareket rijitlik ve sönüm parametreleri
$f_{\phi 1}, f_{\phi 2}$: Tekil kazığa ait dönme rijitlik ve sönüm parametreleri
f_ϕ^f : Temel sisteminin doğal dönme frekansı
G_s : Zeminin kayma modülü

$(G_s)_c$: Kazık başlığı çervesindeki zeminin kayma modülü
$(G_s)_p$: Kazık çervesindeki zeminin kayma modülü (gerçek değerin %75'i)
$(G_s)_t$: Kazık ucundaki zeminin kayma modülü
g : Yerçekimi ivmesi
h_c : Kazık başlığının zemin içinde kalan kısmının yüksekliği
h_k : Kırıcının yüksekliği
h_o : Temel sisteminin kütle ağırlık merkezi ile tabanı arasındaki düşey mesafe
I_p : Kazık kesitine ait atalet momenti
I_{p1} : 273mm'lik kazık kesitine ait atalet momenti
I_{p2} : 325mm'lik kazık kesitine ait atalet momenti
I_x, I_y, I_z : Elemanın temel sisteminin kütle ağırlık merkezinden geçen x, y ve z eksenine göre kütle atalet momentleri
I_{xg}, I_{yg}, I_{zg} : Elemanın, kendi kütle ağırlık merkezinden geçen x, y ve z eksenine göre kütle atalet momentleri
I_{xsis}, I_{ysis} : Temel sisteminin kütle ağırlık merkezinden geçen x ve y eksenlerine göre kütle atalet momentleri
i : Karmaşık sayı ($i^2=-1$)
$J_o(a_o), J_1(a_o)$: Birinci çeşit Bessel Fonksiyonları
K : Boyutsuz sabit
K_R : Relatif rijitlik
K_{R1} : 1-28 nolu kazıklara ait relatif rijitlik
K_{R2} : 29-36 nolu kazıklara ait relatif rijitlik
k_w^1 : Tekil kazığa ait düşey rijitlik
k_w^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan düşey rijitlik
k_w^g : Kazık grubuna ait düşey rijitlik
k_x^1 : Tekil kazığa ait düşey rijitik
k_x^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan yatay rijitlik
k_x^g : Kazık grubuna ait yatay rijitlik
$k_{x\phi}^1$: Tekil kazığa ait yatay bileşik hareket rijitliği
k_ϕ^1 : Tekil kazığa ait dönme rijitliği
k_ϕ^f : Kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan dönme rijitliği
k_ϕ^{xg} : Kazık grubunun x yönündeki dönme rijitliği
k_ϕ^{yg} : Kazık grubunun y yönündeki dönme rijitliği
L_p : Kazık uzunluğu
$(L_p)_{ort}$: Kazıkların ortalama boyu
$(L_p^1)_{ort}$: 1-28 nolu kazıkların ortalama boyu
$(L_p^2)_{ort}$: 29-36 nolu kazıkların ortalama boyu
l_x, l_y, l_z : Elemanın x,y ve z eksenlerindeki boyutları
M_x, M_y : Açısal kuvvetin temel sisteminin kütle ağırlık merkezinde meydana getirdiği x ve y yönündeki momentler
m : Elemanın kütlesi
m^g : Vibrasyona maruz kalan efektif kütle (üstyapı kütlesinin %80'i)
m_1 : Kazığın birim uzunluğunun kütlesi

$N(Z)$: Kazıktaki eksenel kuvvet

n : Kazık sayısı

P_x, P_y : Temel sisteminin net ötelenmesinden meydana gelen x ve y yönlerindeki kayma dirençleri

P_z : Düşey yöndeki maksimum dengelenmemiş kuvvet

$p(z,t)$: z derinliğindeki zemin direnci

R : Kazık ucundaki genlik

$R_{\theta x}$, $R_{\theta y}$: Temel sisteminin dönmesinden meydana gelen x ve y yönlerindeki dönme dirençleri

r : Frekans oranı[1], dr kalınlığındaki elemanın, tabanından geçen eksene uzaklığı[2]

r_k : Kırıcının yarıçapı

r_o : Atalet yarıçapı

r_p : Kazık yarıçapı

$(r_o)_c$: Kazık başlığı için eşdeğer yarıçap

S : Kazık eksenleri arası mesafe

$\bar{S}_1$, $\bar{S}_2$: Düşey vibrasyon için bağımsız frekans parametreleri

$\bar{S}_{x1}$, $\bar{S}_{x2}$: Yatay vibrasyon için bağımsız frekans parametreleri

$\bar{S}_{\phi 1}$, $\bar{S}_{\phi 2}$: Dönme için bağımsız frekans parametreleri

$S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2}$: Boyutsuz frekans fonksiyonları

t : Zaman[1], elemanın uzunluğu[2]

V_c : Kazık uzunluğu boyunca dalga yayılma hızı

V_R : Zemine ait Rayleigh dalgasının yayılma hızı

V_s : Zemine ait kayma dalgasının yayılma hızı

$(V_s)_p$: Kazık çervesindeki zeminin kayma dalgası hızı

$(V_s)_t$: Kazık ucundaki zeminin kayma dalgası hızı

w_1 : Düşey yöndeki genliğin reel kısmı

w_2 : Düşey yöndeki genliğin sanal kısmı

$w(z)$: Karmaşık formda z derinliğindeki genlik

$w(L_p)$: Kazık ucundaki karmaşık formda genlik

X_1, X_2, X_3, X_4 : Dinamik denge denklem takımı bilinmeyenleri (x yönü için)

x_b, y_b : Temel sisteminin x ve y yönlerindeki net ötelenmeleri

x_g, y_g : Temel sisteminin x ve y yönlerindeki ötelenmeleri

x_i, y_i, z_i : Elemanın ağırlık merkezinin x,y ve z koordinatları

$x_{i\,sis}$, $y_{i\,sis}$, $z_{i\,sis}$: Sistemin ağırlık merkezinin rastgele seçilen eksen takımına göre konumunun x,y ve z koordinatları

x_r : Kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığının x bileşeni

Y_1, Y_2, Y_3, Y_4 : Dinamik denge denklem takımı bilinmeyenleri (y yönü için)

$Y_o(a_o), Y_1(a_o)$: İkinci çeşit Bessel Fonksiyonları

y_r : Kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığının y bileşeni

$(Z_o)_{max}$: Düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin maksimum genliği

z : Derinlik

z_c : Temel sistemi kütle ağırlık merkezinin, kazık başlığının tabanına olan mesafesi

z_o : Açısal kuvvetin tatbik noktası ile temelin tabanı arasındaki düşey mesafe

z_r : Kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığı

α_A : Kazıklar arası etkileşim faktörü

α_L : Yatay ötelenme için yerdeğiştirme faktörü

β : Kazık eksenlerinin düşey ile yaptığı açı

δ : Başlık yüksekliği ile eşdeğer yarıçap arasındaki oran

$\emptyset$: Faz açısı

γ_p : Kazığın birim hacim ağırlığı

γ_s : Zeminin birim hacim ağırlığı

γ_{beton} : Betonun birim hacim ağırlığı

Λ : Karmaşık formda frekans parametresi

Λ_o : Reel formda frekans parametresi

$\wedge_1$: Frekans parametresinin reel kısmı

$\wedge_2$: Frekans parametresinin sanal kısmı

υ_s : Zeminin Poisson Oranı

ω : Açısal frekans

ω_c : Kırıcının açısal frekansı

ω_{nz}^{f} : Düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin doğal açısal frekansı

ω_{ϕ}^{f} : Temel sisteminin doğal dönme açısal frekansı

ρ : Birim hacimdeki kütle miktarı

ρ_p : Kazığın kütle birim hacim ağırlığı

ρ_s : Zeminin kütle birim hacim ağırlığı

$(\rho_s)_t$: Kazık ucundaki zeminin kütle birim hacim ağırlığı

Σc_w : Temel sisteminin toplam düşey sönümü

Σc_w^1 : Tekil kazıkların düşey sönümleri toplamı

Σc_w^g : Kazık gruplarının düşey sönümleri toplamı

Σc_x : Temel sisteminin toplam yatay sönümü

Σc_x^1 : Tekil kazıkların yatay sönümleri toplamı

Σc_x^g : Kazık gruplarının yatay sönümleri toplamı

Σc_{ϕ}^{x} : Temel sisteminin x yönündeki toplam dönme sönümü

Σc_{ϕ}^{y} : Temel sisteminin y yönündeki toplam dönme sönümü

Σc_{ϕ}^{xg} : Kazık gruplarının x yönündeki toplam sönümü

Σc_{ϕ}^{yg} : Kazık gruplarının y yönündeki toplam sönümü

Σk_w : Temel sisteminin toplam düşey rijitliği

Σk_w^1 : Tekil kazıkların düşey rijitlikleri toplamı

Σk_w^g : Kazık gruplarının düşey rijitlikleri toplamı

Σk_x : Temel sisteminin toplam yatay rijitliği

Σk_x^1 : Tekil kazıkların yatay rijitlikleri toplamı

Σk_x^g : Kazık gruplarının yatay rijitlikleri toplamı

Σk_{ϕ}^{x} : Temel sisteminin x yönündeki toplam dönme rijitliği

Σk_{ϕ}^{y} : Temel sisteminin y yönündeki toplam dönme rijitliği

$\Sigma \mathbf{k}_{\phi}^{\mathbf{xg}}$: Kazık gruplarının x yönündeki toplam rijitliği

$\Sigma \mathbf{k}_{\phi}^{\mathbf{yg}}$: Kazık gruplarının y yönündeki toplam rijitliği

$\mathbf{\Sigma m}$: Temel sisteminin toplam kütlesi

$\mathbf{\Sigma \alpha_A}$: Grubun toplam etkileşim faktörü

$\mathbf{\Sigma \alpha_L}$: Grubun toplam yanal ötelenme yerdeğiştirme faktörü

$\mathbf{\theta_x, \theta_y}$: Temel sisteminin x ve y yönlerindeki dönmeleri

CEVHER KIRICIYA AİT KAZIKLI TEMELİN DİNAMİK ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada kazıkların dinamik yükler altındaki davranışları teorik ve uygulamalı olarak incelenmiştir. Çalışmayı üç bölümde ele almak mümkündür. Bunlardan ilki Novak Dinamik Analizi'nin anlatıldığı kısım, ikinci bölüm bu dinamik analizle Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'na ait 1 Nolu cevher kırıcı kazıklı temelinin analizinin sunulduğu bölüm ve son olarak bulunan sonuçların değerlendirildiği bölümdür.

İlk kısımda anlatılan Novak Dinamik Analizi ile dinamik yükler altındaki tekil kazıkların davranışından, kazıklarda grup etkisinden, kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan etkiden ve rijitlik-sönüm değerleri ile dinamik denge denklemlerinin kullanılmasına ilişkin teoriden bahsedilmiştir.

İkinci kısımda Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'na ait 1 nolu cevher kırıcı hakkında temel bilgiler verilip; temele ait kazıkların tekil kazık olarak davranışları, kazıkların grup oluşturması halinde grup etkileri, kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan etkiler ve makina-temel için dinamik denge denklemleri kullanılarak sisteminin x-y-z eksenleri doğrultusundaki genlik ve frekans değerleri belirlenmiştir.

Son kısımda ise cevher kırıcının dinamik analizi sonucunda bulunan değerler özetlenmiş; bu değerlerin istenen sınırlar içinde olup olmadıkları kontrol edilmiş ve temel sisteminin güvenilirliği araştırılmıştır.

DYNAMIC ANALYSIS FOR PILE FOUNDATION OF ORE CRUSHER

SUMMARY

In this study, the behaviour of piles under dynamic loads are examined by means of theoretical and practical approaches. The study can be divided into three parts.

In the first part of the study in which Novak Dynamic Analysis is investigated, single pile response under dynamic loads, the group effect of the pile groups, the effect caused by friction between soil and pile cap and the theory of dynamic balance equations by considering the effects of stiffness and damping are investigated.

In the second part, general information about the first ore crusher at Ereğli Iron and Steel Factories and the analysis made for pile foundation of the first ore crusher are given. In the analysis, the behaviour of the single piles of foundation, the group effect of the pile groups and the effect which is caused by friction between soil and pile cap are investigated. For machine-foundation system, values of amplitude and frequency were determined in the direction of x-y-z axises by using the dynamic balance equations.

In the last part of the study, the results of dynamic analysis of ore crusher are summarized. The results of the dynamic analysis is checked to see if they are within the tolerable limits and the stability of the pile foundation is assessed.

1. GİRİŞ

1.1 Giriş ve Çalışmanın Amacı

Ülkemizin ekonomik, endüstriyel gelişmesine ve teknolojinin hızla ilerlemesine paralel olarak büyük kentlerde, sanayi bölgelerinde yüksek ve ağır yapıların temellerinin projelendirilmesi, üzerinde titizlikle çalışılması gereken bir konudur. İnşaat mühendisliğinde her geçen gün daha fazla önem kazanmakta olan başka bir konu da dinamik yükler altında temel zeminin davranışı ve yapı-zemin sisteminin karşılıklı davranışlarıdır. Dinamik yüklere maruz olan temeller, sadece statik yükler taşıyan temellerin davranışına nazaran oldukça farklı bir davranışa sahiptir. Dinamik etkilerin gözönüne alınabilmesi için temel-zemin sisteminin dinamik davranışının bilinmesi gerekmektedir.

Bilhassa makina temellerinde, makinanın çalışma esnasında oluşturduğu vibrasyon ve yapıdan zemine aktarılacak yüklerin çok büyük değerlere sahip oluşu nedeniyle çoğu zaman yüzeysel temellerle temel sisteminin çözümü mümkün olmamaktadır. Temellerin aynı anda sağlaması gereken taşıma gücü ve oturma koşulları sağlanamamaktadır. Bu gibi durumlarda derin temellere ihtiyaç duyulur. En sık kullanılan derin temel şekli ise kazıklı temellerdir ve genelde kazıklar grup kazık olarak inşa edilirler.

Bu çalışmada, dinamik yükler altındaki kazıkların davranışı Novak Dinamik Analizi ile incelenmiş, Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları'na ait 1 Nolu cevher kırıcının kazıklı temeli bu yöntem ile analiz edilerek bulunan sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. NOVAK DİNAMİK ANALİZİ

2.1 Dinamik Yükler Altında Tekil Kazığın Davranışı

Novak (1974, 1977a) tarafından geliştirilen yöntem ile tekil kazık veya kazık gruplarının düşey vibrasyon, yanal ötelenme ve dönme hareketlerine bağlı olarak rijitlik ve sönüm değerleri belirlenebilmektedir. Yöntem, zemin ile kazık etkileşimini gözönüne alarak, bulunan değerlerle kazıklı temel sisteminin analizini içermektedir.

2.1.1 Tekil Kazık İçin Düşey Vibrasyon

Novak analizinin çözüm yöntemi için yapılmış olan kabuller aşağıda sıralanmıştır:

- Kazığın düşey kazık ve dairesel kesitli olması
- Kazık malzemesinin lineer elastik olması
- Kazık ile içinde bulunduğu zemin arasında vibrasyon altında herhangi bir ayrımın gerçekleşmemesi
- Zemin-kazık siteminin yapısal analizinde eşdeğer rijitlik ve sönüm değerlerinin kullanılabilmesi için hareketin küçük ve harmonik hareket olması

Şekil 2.1'de karmaşık formda düşey vibrasyona maruz elastik tekil kazık ve notasyonları görülmektedir. Kazığın gerçekleştireceği harmonik hareket

$$w(z,t) = w(z)e^{it\omega} \tag{2.1}$$

şeklinde ifade edilebilir.

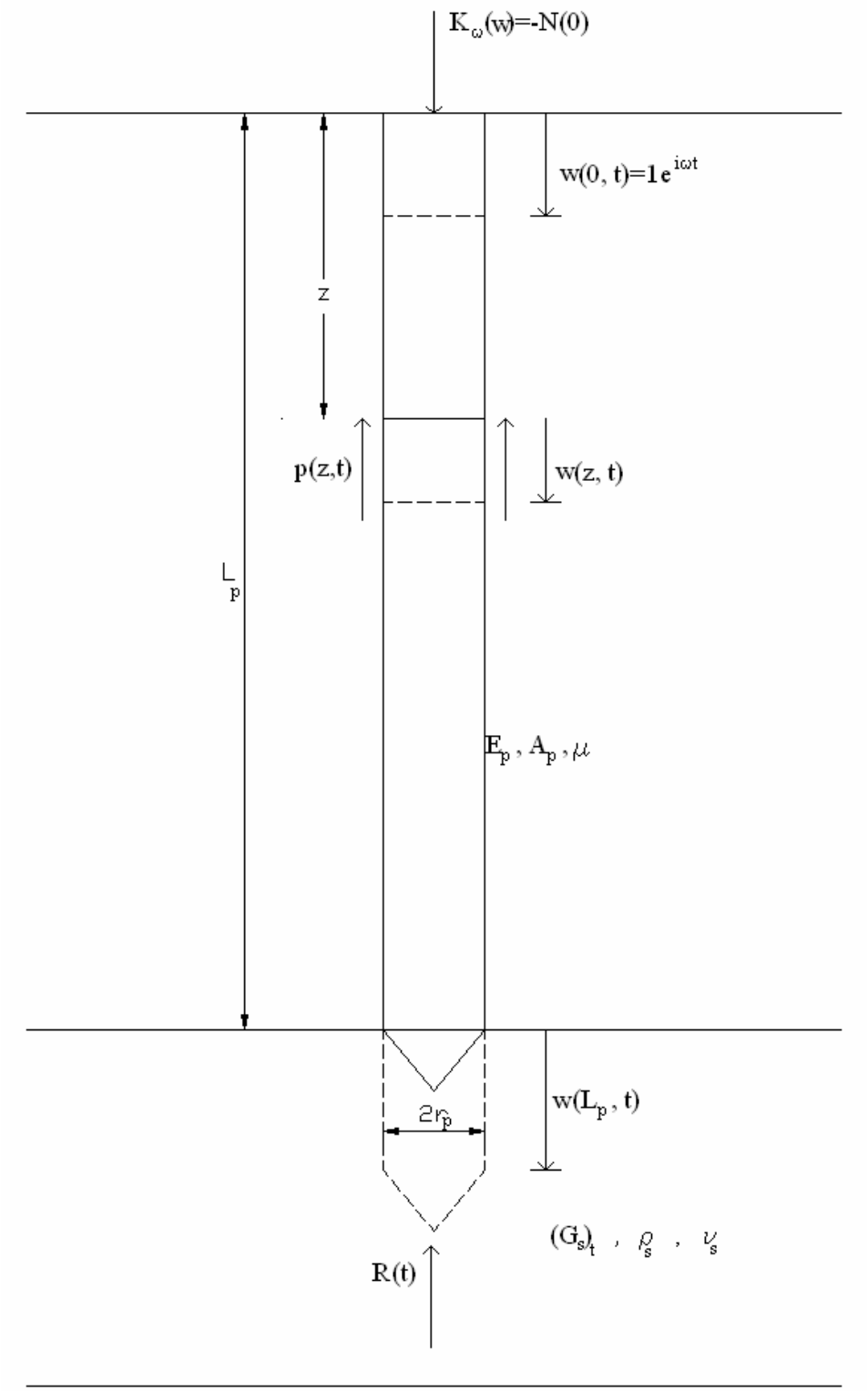
z: derinlik

$w(z)$: karmaşık formda z derinliğindeki genlik

i: karmaşık sayı ($i^2 = -1$)

ω: açısal frekans

t: zaman



Şekil 2.1 Düşey kazık ve notasyonlar (Novak, 1977).

Kazık, düşey hareketinden dolayı zemin tarafından kazık boyunca ve uç kısımda dirençle karşılaşmaktadır. Kazığın z derinliğindeki herhangi dz elemanının hareketinden dolayı, zeminin göstermiş olduğu direnç

$$p(z,t)dz = (G_s)\,(S_{\omega 1} + iS_{\omega 2})\,w(z,t)dz \tag{2.2}$$

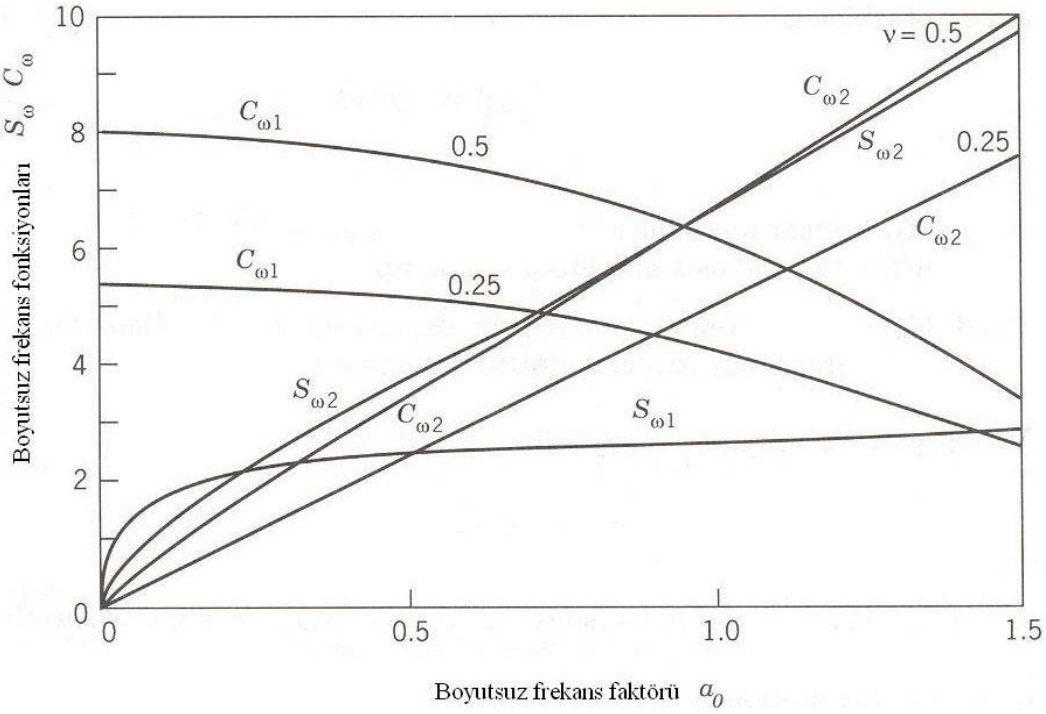
olarak tanımlanır.

$p(z,t)$: z derinliğindeki zemin direnci

G_s: zeminin kayma modülü

$S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2}$: boyutsuz frekans fonksiyonları

Boyutsuz frekans fonksiyonlarının, frekans faktörüne ve zeminin Poisson Oranı'na bağlı grafiği Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 $S_{\omega 1}$, $S_{\omega 2}$, $C_{\omega 1}$ ve $C_{\omega 2}$ fonksiyonları (Novak, 1977).

Boyutsuz frekans fonksiyonları Bessel Fonksiyonları cinsinden

$$S_{\omega 1} = 2a_o\pi \frac{J_1(a_o)J_o(a_o) + Y_1(a_o) + Y_o(a_o)}{J_o^{\,2}(a_o) + Y_o^{\,2}(a_o)} \tag{2.3}$$

$$S_{\omega 2} = \frac{4}{J_o^{\,2}(a_o) + Y_o^{\,2}(a_o)} \tag{2.4}$$

olarak yazılır.

a_o: boyutsuz frekans faktörü

$J_o(a_o), J_1(a_o)$: birinci çeşit Bessel Fonksiyonları

$Y_o(a_o), Y_1(a_o)$: ikinci çeşit Bessel Fonksiyonları

Boyutsuz frekans fonksiyonlarında kullanılan frekans faktörüne ait bağıntı

$$a_o = \frac{r_p \omega}{V_s} \tag{2.5}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

r_p: kazık yarıçapı

V_s: zemine ait kayma dalgasının yayılma hızı

Kayma dalgası yayılma hızı zeminin kayma modülüne bağlı olarak

$$V_s = \sqrt{\frac{G_s}{\rho_s}} \tag{2.6}$$

şeklinde ifade edilir.

ρ_s: zeminin kütle birim hacim ağırlığı

Eşitlik (2.2)'de belirtilen zemin reaksiyonu denklemi yardımıyla kazığın düşey vibrasyonuna bağlı diferansiyel eşitliği yazılırsa

$$m_1 \frac{\partial^2 w(z,t)}{\partial t^2} + c \frac{\partial w(z,t)}{\partial t} - E_p A_p \frac{\partial^2 w(z,t)}{\partial z^2} + (G_s)(S_{\omega 1} + iS_{\omega 2})\, w(z,t) = 0 \tag{2.7}$$

m_1: kazığın birim uzunluğunun kütlesi

c: kazığın içsel sönüm katsayısı

E_p: kazığın elastisite modülü

A_p: kazık kesit alanı

Eşitlik (2.7), eşitlik (2.1)'de ifade edilen harmonik hareket tanımından yararlanılarak basit diferansiyel denkleme

$$w(z)\left[-m_1\omega^2 + ic\omega + (G_s)(S_{\omega 1} + iS_{\omega 2})\right] - E_pA_p\frac{d^2w(z)}{dz^2} = 0 \qquad (2.8)$$

şeklinde dönüştürülür.

Bu diferansiyel denklemin çözülmesi halinde

$$w(z) = B\cos\wedge\frac{z}{L_p} + C\sin\wedge\frac{z}{L_p} \qquad (2.9)$$

olarak bulunur.

L_p: kazık uzunluğu

B, C: integrasyon sabitleri

Λ: karmaşık formda frekans parametresi

Karmaşık formda frekans parametresi

$$\wedge = L_p\sqrt{\frac{1}{E_pA_p}\left(m_1\omega^2 - (G_s)\,S_{\omega 1} - i\left(c\omega + (G_s)\,S_{\omega 2}\right)\right)} \qquad (2.10)$$

olarak tanımlanırsa reel formda dairesel kesitli kazık için frekans parametresi

$$\wedge_o = \frac{L_p}{r_p}\sqrt{\frac{\rho_p}{\rho_s}\frac{(G_s)}{E_p}}a_o = \frac{L_p}{r_p}\frac{V_s}{V_c}a_o \qquad (2.11)$$

olarak belirir.

Λ_o: reel formda frekans parametresi

ρ_p: kazığın kütle birim hacim ağırlığı

V_c: kazık uzunluğu boyunca dalga yayılma hızı

Daire kesitli kazık için boyutsuz sabit

$$K = \frac{1}{\pi}\frac{(G_s)}{E_p}\left(\frac{L_p}{r_p}\right)^2 = \frac{1}{\pi}\frac{\rho_s}{\rho_p}\left(\frac{V_s}{V_c}\frac{L_p}{r_p}\right)^2 \tag{2.12}$$

olarak belirtilmiştir.

K: boyutsuz sabit

Yardımcı katsayılar kullanılarak ifade basitleştirilirse

$$a = \wedge_o{}^2 - KS_{\omega 1} \tag{2.13}$$

$$b = -K\left(c\,\omega\frac{1}{(G_s)} + S_{\omega 2}\right) \tag{2.14}$$

şeklini alır.

a, b: yardımcı katsayılar

Frekans oranı ise yardımcı katsayılarla ifade edilirse

$$r = \sqrt{a^2 + b^2} \tag{2.15}$$

olur.

r: frekans oranı

$$\tan\phi = \frac{a}{b} \tag{2.16}$$

ϕ : faz açısı

Bu durumda frekans parametresi karmaşık sayı formunda

$$\wedge = \wedge_1 + i \wedge_2 \tag{2.17}$$

şeklini alır ve karmaşık sayının gerçel ve sanal kısımları

$$\wedge_1 = \sqrt{r}\cos\frac{\phi}{2} \tag{2.18}$$

$$\wedge_2 = \sqrt{r}\sin\frac{\phi}{2} \tag{2.19}$$

şeklinde ifade edilir.

$\wedge_1$: frekans parametresinin reel kısmı

$\wedge_2$: frekans parametresinin sanal kısmı

Eşitlik (2.9)'da tanımlanan B ve C integrasyon sabitleri sınır koşulları yardımıyla belirlenebilir. Kazık başındaki harmonik hareketin genliği

$$w(0,t) = 1e^{it\omega} \tag{2.20}$$

olarak belirtildiği üzere ilk sınır koşulu $w(0) = 1$ olarak oluşturulursa, kazık hareketinden dolayı kazığın uç kısmında oluşan $R(t)$ direnci

$$R(t) = Re^{it\omega} \tag{2.21}$$

ve kazık ucundaki genlik ise

$$R = -(G_s)_t r_p (C_{\omega 1} + iC_{\omega 2}) w(L_p) \tag{2.22}$$

olarak tanımlanabilir.

R: kazık ucundaki genlik

$(G_s)_t$: kazık ucundaki zeminin kayma modülü

$w(L_p)$: kazık ucundaki karmaşık formda genlik

$C_{\omega 1}, C_{\omega 2}$: boyutsuz frekans fonksiyonları

Boyutsuz frekans fonksiyonlarının, frekans faktörüne ve zeminin Poisson Oranı'na bağlı grafiği Şekil 2.2'de gösterilmiştir.

Kazık ucundaki zeminin kayma dalgası hızı eşitlik (2.6)'ya benzer şekilde

$$(V_s)_t = \sqrt{\frac{(G_s)_t}{(\rho_s)_t}} \tag{2.23}$$

olarak yazılabilir.

$(V_s)_t$: kazık ucundaki zeminin kayma dalgası hızı

$(\rho_s)_t$: kazık ucundaki zeminin kütle birim hacim ağırlığı

$(G_s)_t \to \infty$ olması durumunda kazık uç kazığı olarak davranır.

Bycroft'un Çözüm Metodu C_ω 'nin polinom ifadesi için kullanılırsa

$\upsilon_s = 0.25$ için

$$C_{\omega 1} = 5.33 + 0.364a_o - 1.41a_o^{\,2} \tag{2.24a}$$

$$C_{\omega 2} = 5.06a_o \tag{2.25a}$$

υ_s : zeminin Poisson Oranı

$\upsilon_s = 0.5$ için

$$C_{\omega 1} = 8.00 + 2.18a_o - 12.63a_o^{\,2} + 20.73a_o^{\,3} - 16.47a_o^{\,4} + 4.458a_o^{\,5} \tag{2.24b}$$

$$C_{\omega 2} = 7.414a_o - 2.98a_o^{\,2} + 4.324a_o^{\,3} - 1.782a_o^{\,4} \tag{2.25b}$$

olarak hesaplanır.

Kazıktaki eksenel kuvvet

$$N(Z) = E_p A_p \frac{\partial w(z)}{\partial z} = E_p A_p \frac{\wedge}{L_p}\left(- B\sin \wedge \frac{z}{L_p} + C\cos \wedge \frac{z}{L_p} \right) \tag{2.26}$$

olarak belirtilirse ve eşitlik (2.22)'deki zemin direncine eşit olması gerektiğinden yola çıkarak, $z=L_p$ sınır koşulu için eşitlik (2.22) ve (2.26) denklemlerinin eşitliği yazılırsa

$$E_p A_p \frac{\wedge}{L_p}\left(- B\sin \wedge + C\cos \wedge\right) = -\left(G_s\right)_t r_p \left(C_{\omega 1} + iC_{\omega 2}\right)\left(B\cos \wedge + C\sin \wedge\right) \tag{2.27}$$

olur.

N(Z): kazıktaki eksenel kuvvet

İlk sınır koşulu $w(0) = 1$ değeri eşitlik (2.9) yerine konursa ilk integrasyon sabiti

$$B=1 \tag{2.28}$$

olarak bulunur.

İkinci integrasyon sabiti ise (2.26)'daki eşitlikten

$$C(\wedge) = \frac{K' \wedge \sin \wedge - \left(C_{\omega 1} + iC_{\omega 2}\right)\cos \wedge}{K' \wedge \cos \wedge + \left(C_{\omega 1} + iC_{\omega 2}\right)\sin \wedge} x1 \tag{2.29}$$

olarak bulunur.

Bulunan integrasyon sabitleri eşitlik (2.9)'da yerine konursa kazık hareketinin genliği

$$w(z) = B\cos \wedge \frac{z}{L_p} + C(\wedge)\sin \wedge \frac{z}{L_p} = w_1 + iw_2 \tag{2.30}$$

olarak elde edilir.

w_1: düşey yöndeki genliğin reel kısmı

w_2: düşey yöndeki genliğin sanal kısmı

Hareketin gerçek genliği ise

$$w(z) = \sqrt{w_1{}^2 + w_2{}^2} \tag{2.31}$$

olacaktır.

Karmaşık formdaki rijitlik, belirli frekansta kazık başlığında birim dinamik yerdeğiştirme meydana getiren kuvvete eşittir. Bu yüzden z=0 için:

❖ Tekil kazık için düşey rijitlik

$$k_w^1 = \left(\frac{E_p . A_p}{r_p} \right) . f_{w1} \tag{2.32}$$

k_w^1 : tekil kazığa ait düşey rijitlik

f_{w1}: tekil kazığa ait düşey rijitlik parametresi

❖ Tekil kazık için düşey sönüm

$$c_w^1 = \left(\frac{E_p . A_p}{V_s} \right) . f_{w2} \tag{2.33}$$

c_w^1 : tekil kazığa ait düşey sönüm

f_{w2}: tekil kazığa ait düşey sönüm parametresi

olarak elde edilir.

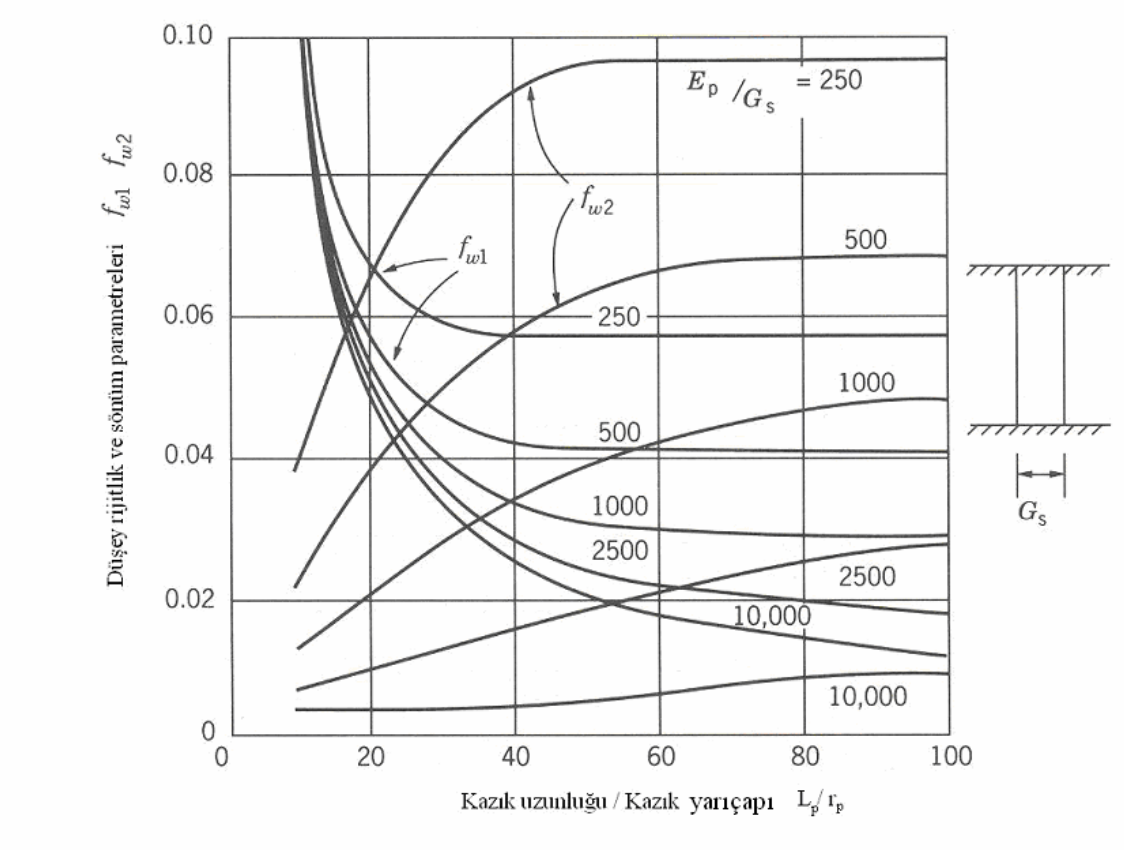
Tekil kazığa ait düşey parametre denklemi karışık formda

$$f_w = - \wedge C(\wedge) = f_{w1} + i f_{w2} \tag{2.34}$$

şeklinde ifade edilmiştir.

f_w: tekil kazığa ait düşey parametre

f_{w1} ve f_{w2} değerleri kazık için $\frac{E_p}{G_s}$ ve $\frac{L_p}{r_p}$ değerlerine bağlı olarak Şekil 2.3'den belirlenmektedir.



Şekil 2.3 Tekil kazığa ait düşey rijitlik ve sönüm parametreleri (Novak ve El-Sharnouby, 1983).

2.1.2 Tekil Kazık İçin Yanal Vibrasyon

❖ Tekil kazık için yanal rijitlik

$$k_x^1 = \frac{E_p I_p}{r_p^3} f_{x1} \tag{2.35}$$

k_x^1 : tekil kazığa ait yatay rijitlik

f_{x1}: tekil kazığa ait yatay rijitlik parametresi

❖ Tekil kazık için yanal sönüm

$$c_x^1 = \frac{E_p I_p}{r_p{}^3 (V_s)_p} f_{x2} \tag{2.36}$$

c_x^1 : tekil kazığa ait yatay sönüm

f_{x2}: tekil kazığa ait yatay sönüm parametresi

$(V_s)_p$: kazık çevresindeki zeminin kayma dalgası hızı

f_{x1} ve f_{x2} değerleri, zemine ait farklı Poisson Oranları için Tablo 2.1.'de gösterilmiştir.

2.1.3 Tekil Kazık İçin Dönmenin Etkisi

❖ Tekil kazık için dönme rijitliği

$$k_\phi^1 = \frac{E_p I_p}{r_p} f_{\phi 1} \tag{2.37}$$

k_ϕ^1 : tekil kazığa ait dönme rijitliği

$f_{\phi 1}$: tekil kazığa ait dönme rijitlik parametresi

❖ Tekil kazık için dönme sönümü

$$c_\phi^1 = \frac{E_p I_p}{(V_s)_p} f_{\phi 2} \tag{2.38}$$

c_ϕ^1 : tekil kazığa ait dönme sönümü

$f_{\phi 2}$: tekil kazığa ait dönme sönüm parametresi

$f_{\phi 1}$ ve $f_{\phi 2}$ değerleri, zemine ait farklı Poisson Oranları için Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

2.1.4 Tekil Kazık İçin Yatay Bileşik Hareket Etkisi

❖ Tekil kazık için yatay bileşik hareket rijitliği

$$k_{x\phi}^{1} = \frac{E_p I_p}{r_p^{\,2}} f_{x\phi 1} \tag{2.39}$$

$k_{x\phi}^{1}$: tekil kazığa ait yatay bileşik hareket rijitliği

$f_{x\phi 1}$: tekil kazığa ait yatay bileşik hareket rijitlik parametresi

❖ Tekil kazığa ait yatay bileşik hareket sönümü

$$c_{x\phi}^{1} = \frac{E_p I_p}{r_p (V_s)_p} f_{x\phi 2} \tag{2.40}$$

$c_{x\phi}^{1}$: tekil kazığa ait yatay bileşik hareket sönümü

$f_{x\phi 2}$: tekil kazığa ait yatay bileşik hareket sönüm parametresi

$f_{x\phi 1}$ ve $f_{x\phi 2}$ değerleri zemine ait farklı Poisson Oranları için Tablo 2.1.'de gösterilmiştir. $\frac{E_p}{(G_s)_p}$ değerinin tabloda belirtilen değerlerin dışında olması durumunda interpolasyonla sonuca gidilir.

$(G_s)_p$: kazık çevresindeki zeminin kayma modülü (gerçek değerin %75'i)

Tablo 2.1. Kazıkların yanal davranışları için rijitlik ve sönüm parametreleri (Novak ve El-Sharnouby, 1983).

		Rijitlik Parametreleri			Sönüm Parametreleri		
υ_s	$E_p/(G_s)_p$	$f_{Ø1}$	$f_{xØ1}$	f_{x1}	$f_{Ø2}$	$f_{xØ2}$	f_{x2}
Zeminin Kayma Modülü Sabit							
0,25	10000	0,2135	-0,0217	0,0042	0,1577	-0,0333	0,0107
	2500	0,2998	-0,0429	0,0119	0,2152	-0,0646	0,0297
	1000	0,3741	-0,0668	0,0236	0,2598	-0,0985	0,0579
	500	0,4411	-0,0929	0,0395	0,2953	-0,1337	0,0953
	250	0,5186	-0,1281	0,0659	0,3299	-0,1786	0,1556
0,40	10000	0,2207	-0,0232	0,0047	0,1634	-0,0358	0,0119
	2500	0,3097	-0,0459	0,0132	0,2224	-0,0692	0,0329
	1000	0,3860	-0,0714	0,0261	0,2677	-0,1052	0,0641
	500	0,4547	-0,0991	0,0436	0,3034	-0,1425	0,1054
	250	0,5336	-0,1365	0,0726	0,3377	-0,1896	0,1717
Zeminin Kayma Modülü Değişken							
0,25	10000	0,1800	-0,0144	0,0019	0,1450	-0,0252	0,0060
	2500	0,2452	-0,0267	0,0047	0,2025	-0,0484	0,0159
	1000	0,3000	-0,0400	0,0086	0,2499	-0,0737	0,0303
	500	0,3489	-0,0543	0,0136	0,2910	-0,1008	0,0491
	250	0,4049	-0,0734	0,0215	0,3361	-0,1370	0,0793
0,40	10000	0,1857	-0,0153	0,0020	0,1508	-0,0271	0,0067
	2500	0,2529	-0,0284	0,0051	0,2101	-0,0519	0,0177
	1000	0,3094	-0,0426	0,0094	0,2589	-0,0790	0,0336
	500	0,3596	-0,0577	0,0149	0,3009	-0,1079	0,0544
	250	0,4170	-0,0780	0,0236	0,3468	-0,1461	0,0880

2.2 Dinamik Yükler Altındaki Kazıklarda Grup Etkisi

Kazıklar genel olarak grup şeklinde bulunurlar. Bu yüzden kazık gruplarının rijitlik ve sönüm değerleri hesaplanırken grup etkisi gözönüne alınmalıdır. Kazık grubunun rijitlik ve sönüm değerinin, grubu oluşturan tekil kazıkların değerleri toplamına eşit olmadığı aşikardır. Grup etkisi kazıkların çapına ve eksenleri arası mesafeye bağladır.

2.2.1 Düşey Vibrasyon Durumunda Grup Etkisi

❖ Düşey vibrasyon durumunda kazık grubu için rijitlik

$$k_w^g = \frac{\Sigma k_w^1}{\Sigma \alpha_A} \tag{2.41}$$

k_w^g : kazık grubuna ait düşey rijitlik

Σk_w^1 : tekil kazıkların düşey rijitlikleri toplamı

α_A : kazıklar arası etkileşim faktörü

❖ Düşey vibrasyon durumunda kazık grubu için sönüm

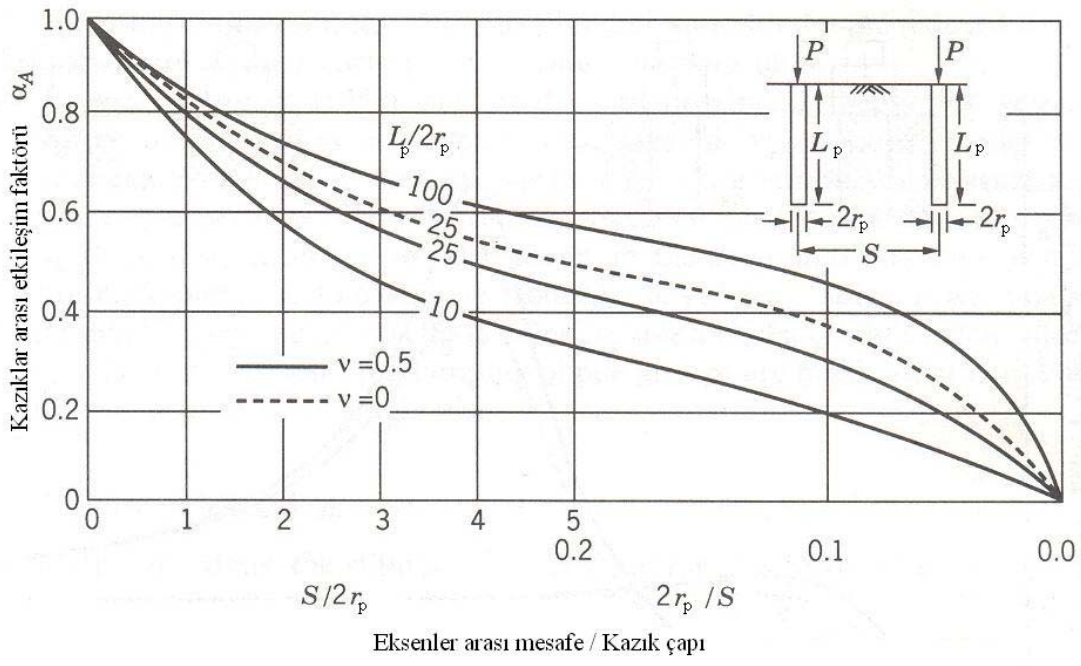
$$c_w^g = \frac{\Sigma c_w^1}{\Sigma \alpha_A} \tag{2.42}$$

c_w^g : kazık grubuna ait düşey sönüm

Σc_w^1 : tekil kazıkların düşey sönümleri toplamı

Kazıklar arası etkileşim faktörü $\frac{L_p}{2r_p}$ ve $\frac{S}{2r_p}$ değerlerine bağlı olarak Şekil 2.4'den belirlenmektedir.

S: kazık eksenleri arası mesafe



Şekil 2.4 Kazıklar arası etkileşim faktörü (Poulos, 1968).

2.2.2 Yanal Vibrasyon Durumunda Grup Etkisi

❖ Yanal vibrasyon durumunda kazık grubu için rijitlik

$$k_x^g = \frac{\Sigma k_x^1}{\Sigma \alpha_L} \tag{2.43}$$

k_x^g **:** kazık grubuna ait yatay rijitlik
Σk_x^1 : tekil kazıkların yatay rijitlikleri toplamı
α_L : yatay ötelenme için yerdeğiştirme faktörü

❖ Yanal vibrasyon durumunda kazık grubu için sönüm

$$c_x^g = \frac{\Sigma c_x^1}{\Sigma \alpha_L} \tag{2.44}$$

c_x^g **:** kazık grubuna ait yatay sönüm
Σc_x^1 : tekil kazıkların yatay sönümleri toplamı

Yatay ötelenme için yerdeğiştirme faktörü kazık eksenlerinin düşey ile yaptıkları açıya, relatif rijitliğe ve $\frac{S}{2r_p}$ 'ye bağlı olarak Şekil 2.5'den belirlenmektedir.

Relatif rijitlik Poulos tarafından

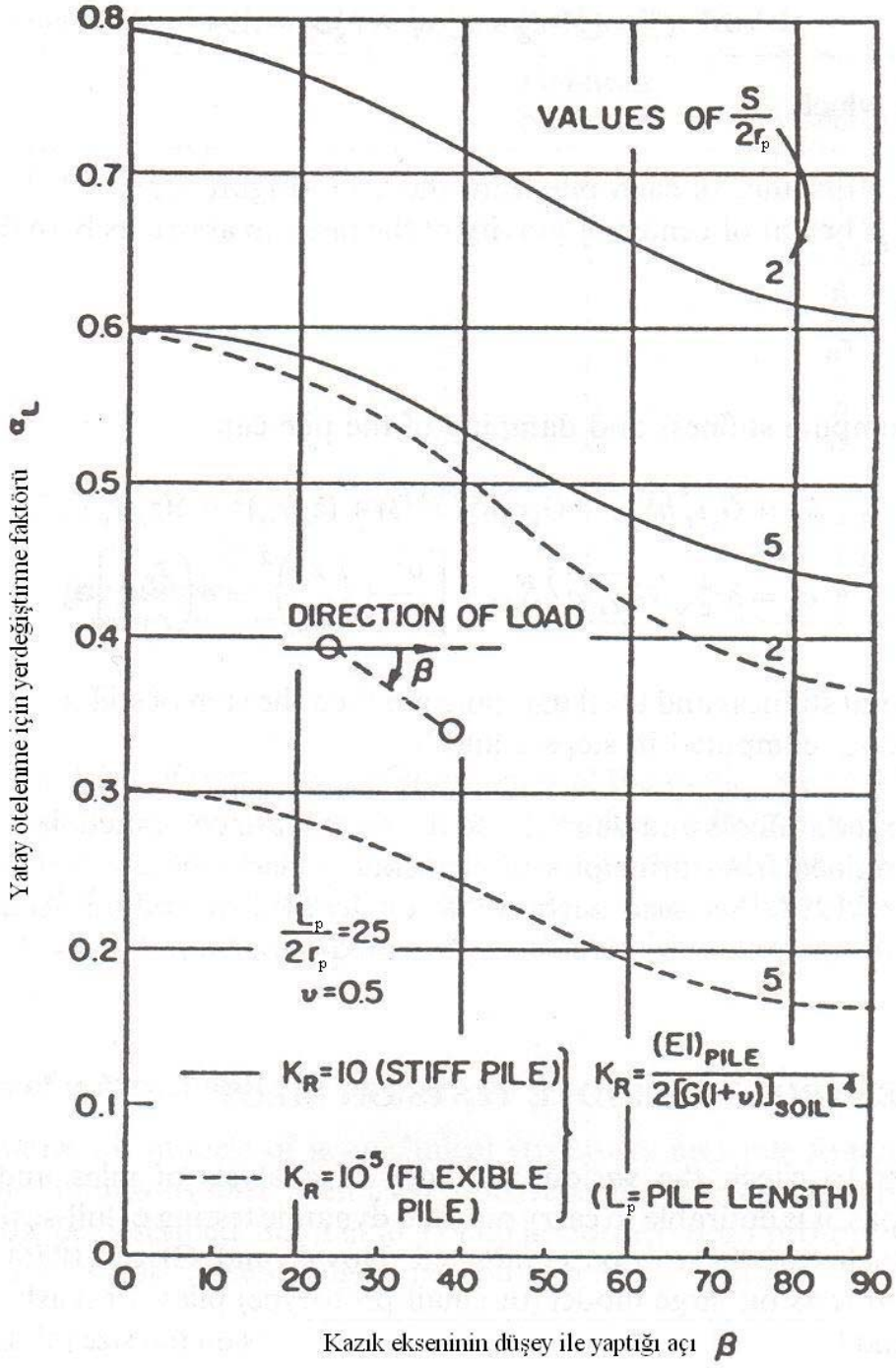
$$K_R = \frac{E_p I_p}{2(G_s)_p (1+\upsilon_s) \left((L_p)_{ort}\right)^4} \tag{2.45}$$

şeklinde tanımlanmıştır.

K_R: relatif rijitlik

$(L_p)_{ort}$ **:** kazıkların ortalama boyu

β: kazık eksenlerinin düşey ile yaptığı açı



Şekil 2.5 Yanal ötelenme için yerdeğiştirme faktörü (Poulos, 1972).

2.2.3 x-y Eksenleri Doğrultusunda Dönme Durumunda Grup Etkisi

❖ x yönündeki dönmeye karşı kazık grubunun rijitliği

$$\Sigma k_{\phi}^{xg} = \sum_{n=1}^{n}\left[k_{\phi}^{1} + k_{w}^{1}.x_{r}^{2} + k_{x}^{1}.z_{c}^{2} - 2z_{c}.k_{x\phi}^{1}\right] \tag{2.46}$$

k_{ϕ}^{xg} : kazık grubunun x yönündeki dönme rijitliği

n: kazık sayısı

x_r: kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığının x bileşeni

z_c: temel sistemi kütle ağırlık merkezinin, kazık başlığının tabanına olan mesafesi

❖ x yönündeki dönmeye karşı kazık grubunun sönümü

$$\Sigma c_{\phi}^{xg} = \sum_{n=1}^{n} \left[c_{\phi}^{1} + c_{w}^{1} . x_{r}^{\ 2} + c_{x}^{1} . z_{c}^{\ 2} - 2 z_{c} . c_{x\phi}^{1} \right] \tag{2.47}$$

c_{ϕ}^{xg} : kazık grubunun x yönündeki dönme sönümü

❖ y yönündeki dönmeye karşı kazık grubunun rijitliği

$$\Sigma k_{\phi}^{yg} = \sum_{n=1}^{n} \left[k_{\phi}^{1} + k_{w}^{1} . y_{r}^{\ 2} + k_{x}^{1} . z_{c}^{\ 2} - 2 z_{c} . k_{x\phi}^{1} \right] \tag{2.48}$$

k_{ϕ}^{yg} : kazık grubunun y yönündeki dönme rijitliği

y_r: kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığının y bileşeni

❖ y yönündeki dönmeye karşı kazık grubunun sönümü

$$\Sigma c_{\phi}^{yg} = \sum_{n=1}^{n} \left[c_{\phi}^{1} + c_{w}^{1} . y_{r}^{\ 2} + c_{x}^{1} . z_{c}^{\ 2} - 2 z_{c} . c_{x\phi}^{1} \right] \tag{2.49}$$

c_{ϕ}^{yg} : kazık grubunun y yönündeki dönme sönümü

2.3 Dinamik Yükler Altında Kazık Başlığının Etkisi

2.3.1 Düşey Vibrasyon Durumunda Kazık Başlığının Etkisi

- Düşey vibrasyon durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan düşey rijitlik

$$k_w^f = G_s.h_c.\bar{S}_1 \tag{2.50}$$

k_w^f : kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan düşey rijitlik

h_c: kazık başlığının zemin içinde kalan kısmının yüksekliği

$\bar{S}_1$ **:** düşey vibrasyon için bağımsız frekans parametresi

- Düşey vibrasyon durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan düşey sönüm

$$c_w^f = h_c.(r_o)_c.\bar{S}_2.\sqrt{(G_s.\rho_s)} \tag{2.51}$$

c_w^f **:** kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan düşey sönüm

$(r_o)_c$: kazık başlığı için eşdeğer yarıçap

$\bar{S}_2$ **:** düşey vibrasyon için bağımsız frekans parametresi

$\bar{S}_1$ ve $\bar{S}_2$ parametreleri Novak tarafından 2.7 ve 6.7 olarak belirlenmiştir.

- Temel sisteminin toplam düşey rijitliği

$$\Sigma k_w = \Sigma k_w^g + k_w^f \tag{2.52}$$

- Temel sisteminin toplam düşey sönümü

$$\Sigma c_w = \Sigma c_w^g + c_w^f \tag{2.53}$$

2.3.2 Yanal Vibrasyon Durumunda Kazık Başlığının Etkisi

❖ Yanal vibrasyon durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan yatay rijitlik

$$k_x^f = (G_s)_c . h_c . \bar{S}_{x1} \tag{2.54}$$

k_x^f : kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan yatay rijitlik

$\bar{S}_{x1}$ **:** yatay vibrasyon için bağımsız frekans parametresi

$(G_s)_c$: kazık başlığı çervesindeki zeminin kayma modülü

❖ Yanal vibrasyon durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan yatay sönüm

$$c_x^f = h_c . (r_o)_c . \bar{S}_{x2} . \sqrt{((G_s)_c . \rho_s)} \tag{2.55}$$

c_x^f **:** kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan yatay sönüm

$\bar{S}_{x2}$ **:** yatay vibrasyon için bağımsız frekans parametresi

$\bar{S}_{x1}$ ve $\bar{S}_{x2}$ değerleri zeminin Poisson Oranı'na bağlı olarak Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Bağımsız frekans parametreleri (Beredugo ve Novak, 1972).

Poisson Oranı	**Frekans Parametreleri**	
υ_s	$\bar{S}_{x1}$	$\bar{S}_{x2}$
0,00	3,60	8,20
0,25	4,00	9,10
0,40	4,10	10,60

- Temel sisteminin toplam yatay rijitliği

$$\Sigma k_x = \Sigma k_x^g + k_x^f \tag{2.56}$$

- Temel sisteminin toplam yatay sönümü

$$\Sigma c_x = \Sigma c_x^g + c_x^f \tag{2.57}$$

2.3.3 x-y Eksenleri Doğrultusunda Dönme Durumunda Kazık Başlığının Etkisi

❖ Dönme durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan rijitlik

$$k_{\phi}^{f} = (G_s)_c.((r_o)_c)^2.h_c.\bar{S}_{\phi 1} + (G_s)_c.((r_o)_c)^2.h_c.\left[\left(\frac{\delta^2}{3}\right) + \left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)^2 - \delta\left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)\right]\bar{S}_{x1} \qquad (2.58)$$

k_{ϕ}^{f} : kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan dönme rijitliği

$\bar{S}_{\phi 1}, \bar{S}_{\phi 2}$: dönme için bağımsız frekans parametreleri

$$\delta = \frac{h_c}{(r_o)_c} \qquad (2.59)$$

δ : başlık yüksekliği ile eşdeğer yarıçap arasındaki oran

❖ Dönme durumunda kazık başlığının zeminle sürtünmesinden doğan sönüm

$$c_{\phi}^{f} = \delta.(r_o)_c^{4}.\sqrt{((G_s)_c.\rho_s)}.\left[\bar{S}_{\phi 2} + \left[\left(\frac{\delta^2}{3}\right) + \left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)^2 - \delta\left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)\right].\bar{S}_{x2}\right] \qquad (2.60)$$

c_{ϕ}^{f} : kazık başlığının zemin ile sürtünmesinden doğan dönme sönümü

- Temel sisteminin x yönündeki toplam dönme rijitliği ve sönümü

$$\Sigma k_{\phi}^{x} = \Sigma k_{\phi}^{xg} + k_{\phi}^{f} \qquad (2.61)$$

$$\Sigma c_{\phi}^{x} = \Sigma c_{\phi}^{xg} + c_{\phi}^{f} \qquad (2.62)$$

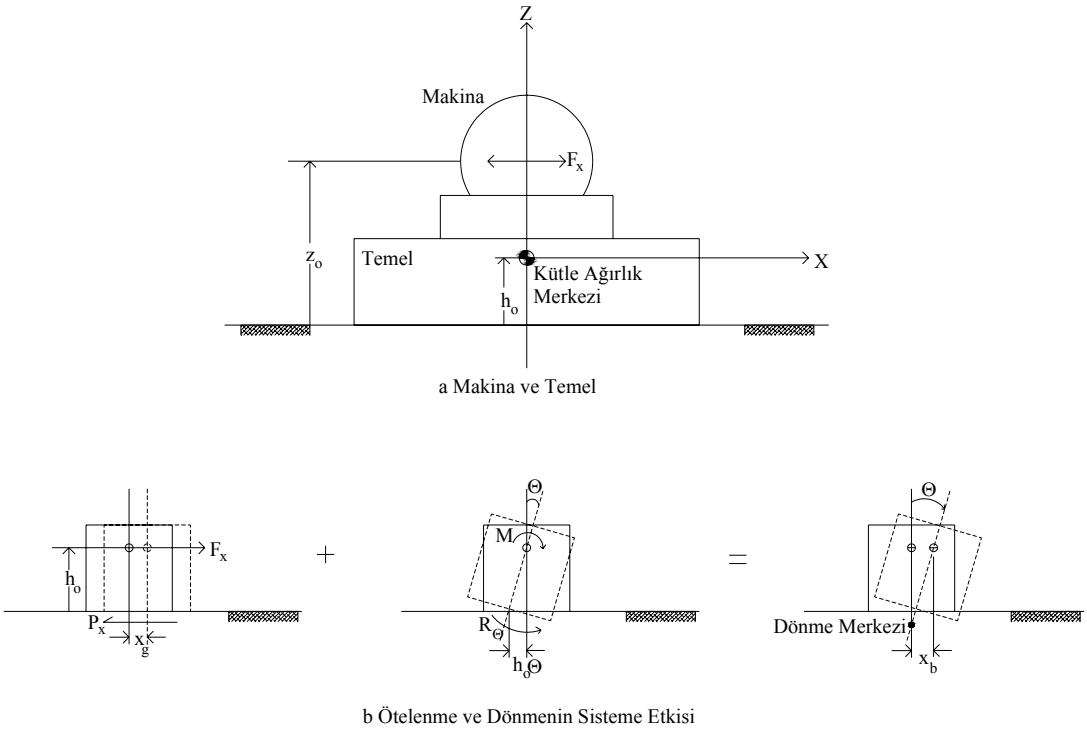
- Temel sisteminin y yönündeki toplam dönme rijitliği ve sönümü

$$\Sigma k_{\phi}^{y} = \Sigma k_{\phi}^{yg} + k_{\phi}^{f} \qquad (2.63)$$

$$\Sigma c_{\phi}^{y} = \Sigma c_{\phi}^{yg} + c_{\phi}^{f} \qquad (2.64)$$

2.4 Dinamik Denge Denklemleri Yardımıyla Temel Sisteminin x-y-z Eksenleri Doğrultusundaki Genliği ve Dönmesi

2.4.1 x Ekseni Doğrultusunda Genlik ve Dönme



Şekil 2.6 x eksenindeki ötelenme ve dönmenin temel sistemine etkisi (Bowles, 1996).

Makinanın çalışma esnasında oluşturduğu kuvvetten dolayı sistemin kütle ağırlık merkezinde meydana gelen moment

$$M_x = (z_o - h_o) F_x \tag{2.65}$$

M_x: açısal kuvvetin temel sisteminin kütle ağırlık merkezinde meydana getirdiği x yönündeki moment

z_o: açısal kuvvetin tatbik noktası ile temelin tabanı arasındaki düşey mesafe

h_o: temel sisteminin kütle ağırlık merkezi ile temel tabanı ile arasındaki düşey mesafe

F_x: makinadan dolayı temel sistemine etkiyen açısal kuvvetin x bileşeni

Şekil 2.6'dan görülebileceği gibi temel sisteminin x ekseni doğrultusunda yapacağı net ötelenme

$$x_b = x_g - h_o\theta_x \tag{2.66a}$$

$$\dot{x}_b = \dot{x}_g - h_o\dot{\theta}_x \tag{2.66b}$$

x_b: temel sisteminin x yönündeki net ötelenmesi

x_g: temel sisteminin x yönündeki ötelenmesi

θ_x: temel sisteminin x yönündeki dönmesi

Temel sisteminin x yönündeki kayma direnci

$$P_x = \Sigma c_x \dot{x}_b + \Sigma k_x x_b \tag{2.67}$$

P_x: temel sisteminin net ötelenmesinden meydana gelen x yönündeki kayma direnci

Temel sisteminin x yönündeki dönme direnci

$$R_{\theta x} = \Sigma c_{\phi}^{x}\dot{\theta}_x + \Sigma k_{\phi}^{x}\theta_x \tag{2.68}$$

$R_{\theta x}$: temel sisteminin dönmesinden dolayı meydana gelen x yönündeki dönme direnci

Yatay kuvvetlerin dengesinden

$$\Sigma m\ \ddot{x}_g + P_x = F_x \tag{2.69}$$

Temel sisteminin kütle ağırlık merkezine etkiyen momentlerin dengesinden

$$I_{xsis}\theta_x + R_{\theta x}\theta_x - h_o P_x = M_x \tag{2.70}$$

I_{xsis}: temel sisteminin kütle ağırlık merkezinden geçen x eksenine göre kütle atalet momenti

P_x, $R_{\theta x}$, x_b ve $\dot{x}_b$ değerleri kuvvet denge denkleminde yerine yazılırsa

$$\Sigma m\ddot{x}_g + \Sigma c_x \dot{x}_g + \Sigma k_x x_g - h_o\left(\Sigma k_x\theta_x + \Sigma c_x\dot{\theta}_x\right) = F_x \tag{2.71}$$

P_x, $R_{\theta x}$, x_b ve $\dot{x}_b$ değerleri moment denge denkleminde yerine yazılırsa

$$I_{xsis}\theta_x + \left(\Sigma c_\phi^x + h_o{}^2\Sigma c_x.\right)\dot{\theta}_x + \left(\Sigma k_\phi^x + h_o{}^2\Sigma k_x\right)\theta_x - h_o\left(\Sigma c_x\dot{x}_g + \Sigma k_x + x_g\right) = M_x \qquad (2.72)$$

Denge denklemlerinde bulunan terimlerin h_o'a bağlı oldukları görülmektedir. h_o=0 olması durumunda düşey yöndeki denge denklemlerine ulaşılmaktadır. Yerdeğiştirmeler karmaşık sayı formunda yazılırsa

Tablo 2.3. x yönündeki kuvvet ve dönme değerlerinin karmaşık sayı formunda ifadeleri (Bowles, 1996).

Kuvvet	**Dönme**
$x_g = \left(X_1 + iX_2\right)e^{it\omega_c}$	$\theta_x = \left(X_3 + iX_4\right)e^{it\omega_c}$
$\dot{x}_g = \omega_c\left(iX_1 - X_2\right)e^{it\omega_c}$	$\dot{\theta}_x = \omega_c\left(iX_3 - X_4\right)e^{it\omega_c}$
$\ddot{x}_g = -\omega_c{}^2\left(X_1 + iX_2\right)e^{it\omega_c}$	$\ddot{\theta}_x = -\omega_c{}^2\left(X_3 + iX_4\right)e^{it\omega_c}$

ω_c: kırıcının açısal frekansı

Karmaşık sayı formları denge denklemlerinde yerine konursa denklemlerin reel ve sanal kısımlarına ait 4 adet 4 bilinmeyenli denklem elde edilir.

$$\left(\Sigma k_x - \Sigma m\omega_c{}^2\right)X_1 - \left(\Sigma c_x\omega_c\right)X_2 - \left(\Sigma k_x h_o\right)X_3 + \left(\Sigma c_x h_o\omega_c\right)X_4 = F_x \qquad (2.73)$$

$$\left(\Sigma c_x\omega_c\right)X_1 + \left(\Sigma k_x - \Sigma m\omega_c{}^2\right)X_2 - \left(\Sigma c_x h_o\omega_c\right)X_3 - \left(\Sigma k_x h_o\right)X_4 = 0 \qquad (2.74)$$

$$-\left(\Sigma k_x h_o\right)X_1 + \left(\Sigma c_x h_o\omega_c\right)X_2 + \left(\Sigma k_x h_o{}^2 + \Sigma k_\phi^x - I_{xsis}\omega_c{}^2\right)X_3 - \left(\Sigma c_x h_o{}^2\omega_c + \Sigma c_\phi^x\omega\right)X_4 = M_x$$

$$-\left(\Sigma c_x h_o\omega_c\right)X_1 - \left(\Sigma k_x h_o\right)X_2 + \left(\Sigma c_x h_o{}^2\omega_c + \Sigma c_\phi^x\omega_c\right)X_3 + \left(\Sigma k_x h_o{}^2 + \Sigma k_\phi^x - I_{xsis}\omega_c{}^2\right)X_4 = 0$$

Denklem sistemi çözülerek X_1, X_2, X_3 ve X_4 bilinmeyenleri hesaplanır.

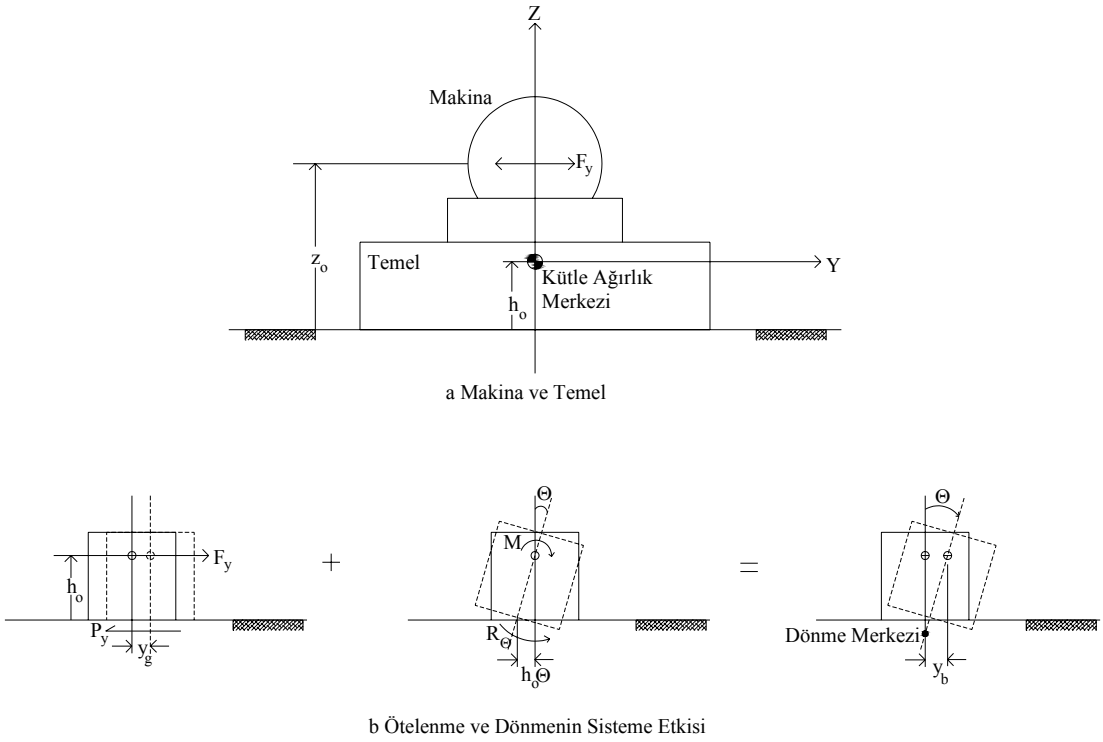
Temel sisteminin x yönündeki ötelenmesi

$$x_g = \sqrt{X_1{}^2 + X_2{}^2} \qquad (2.77)$$

Temel sisteminin x yönündeki dönmesi

$$\theta_x = \sqrt{X_3{}^2 + X_4{}^2} \qquad (2.78)$$

2.4.2 y Ekseni Doğrultusunda Genlik ve Dönme



Şekil 2.7 y eksenindeki ötelenme ve dönmenin temel sistemine etkisi (Bowles, 1996).

Makinanın çalışma esnasında oluşturduğu kuvvetten dolayı sistemin kütle ağırlık merkezinde meydana gelen moment

$$M_y = (z_o - h_o)F_y \tag{2.79}$$

M_y: açısal kuvvetin temel sisteminin kütle ağırlık merkezinde meydana getirdiği y yönündeki moment

F_y: makinadan dolayı temel sistemine etkiyen açısal kuvvetin y bileşeni

Şekil 2.7'den görülebileceği gibi temel sisteminin y ekseni doğrultusunda yapacağı net ötelenme

$$y_b = y_g - h_o\theta_y \tag{2.80a}$$

$$\dot{y}_b = \dot{y}_g - h_o\dot{\theta}_y \tag{2.80b}$$

y_b: temel sisteminin y yönündeki net ötelenmesi

y_g: temel sisteminin y yönündeki ötelenmesi

θ_y: temel sisteminin y yönündeki dönmesi

Temel sisteminin y yönündeki kayma direnci

$$P_y = \Sigma c_x \dot{y}_b + \Sigma k_x y_b \tag{2.81}$$

P_y: temel sisteminin net ötelenmesinden meydana gelen y yönündeki kayma direnci

Temel sisteminin y yönündeki dönme direnci

$$R_{\theta y} = \Sigma c_{\phi}^{y} \dot{\theta}_y + \Sigma k_{\phi}^{y} \theta_y \tag{2.82}$$

$R_{\theta y}$: temel sisteminin dönmesinden dolayı meydana gelen y yönündeki dönme direnci

Yatay kuvvetlerin dengesinden

$$\Sigma m \ddot{y}_g + P_y = F_y \tag{2.83}$$

Temel sisteminin kütle ağırlık merkezine etkiyen momentlerin dengesinden

$$I_{ysis} \theta_y + R_{\theta y} \theta_y - h_o P_y = M_y \tag{2.84}$$

I_{ysis}: temel sisteminin kütle ağırlık merkezinden geçen y eksenine göre kütle atalet momenti

P_y, $R_{\theta y}$, y_b ve $\dot{y}_b$ değerleri kuvvet denge denkleminde yerine yazılırsa

$$\Sigma m \ddot{y}_g + \Sigma c_x \dot{y}_g + \Sigma k_x y_g - h_o \left(\Sigma k_x \theta_y + \Sigma c_x \dot{\theta}_y \right) = F_y \tag{2.85}$$

P_y, $R_{\theta y}$, y_b ve $\dot{y}_b$ değerleri moment denge denkleminde yerine yazılırsa

$$I_{ysis} \theta_y + \left(\Sigma c_{\phi}^{y} + h_o{}^2 \Sigma c_x . \right) \dot{\theta}_y + \left(\Sigma k_{\phi}^{y} + h_o{}^2 \Sigma k_x \right) \theta_y - h_o \left(\Sigma c_x \dot{y}_g + \Sigma k_x + y_g \right) = M_y \tag{2.86}$$

Yerdeğiştirmeler karmaşık sayı formunda yazılırsa

Tablo 2.4. y yönündeki kuvvet ve dönme değerlerinin karmaşık sayı formunda ifadeleri (Bowles, 1996).

Kuvvet	**Dönme**
$y_g = (Y_1 + iY_2)e^{it\omega_c}$	$\theta_y = (Y_3 + iY_4)e^{it\omega_c}$
$\dot{y}_g = \omega_c(iY_1 - Y_2)e^{it\omega_c}$	$\dot{\theta}_y = \omega_c(iY_3 - Y_4)e^{it\omega_c}$
$\ddot{y}_g = -\omega_c^2(Y_1 + iY_2)e^{it\omega_c}$	$\ddot{\theta}_y = -\omega_c^2(Y_3 + iY_4)e^{it\omega_c}$

Karmaşık sayı formları denge denklemlerinde yerine konursa denklemlerin reel ve sanal kısımlarına ait 4 adet 4 bilinmeyenli denklem elde edilir.

$$(\Sigma k_x - \Sigma m\omega_c^2)Y_1 - (\Sigma c_x\omega_c)Y_2 - (\Sigma k_x h_o)Y_3 + (\Sigma c_x h_o\omega_c)Y_4 = F_y \quad (2.87)$$

$$(\Sigma c_x\omega_c)Y_1 + (\Sigma k_x - \Sigma m\omega_c^2)Y_2 - (\Sigma c_x h_o\omega_c)Y_3 - (\Sigma k_x h_o)Y_4 = 0 \quad (2.88)$$

$$-(\Sigma k_x h_o)Y_1 + (\Sigma c_x h_o\omega_c)Y_2 + (\Sigma k_x h_o^2 + \Sigma k_\phi^y - I_{ysis}\omega_c^2)Y_3 - (\Sigma c_x h_o^2\omega_c + \Sigma c_\phi^y\omega_c)Y_4 = M_y$$

$$-(\Sigma c_x h_o\omega_c)Y_1 - (\Sigma k_x h_o)Y_2 + (\Sigma c_x h_o^2\omega_c + \Sigma c_\phi^y\omega_c)Y_3 + (\Sigma k_x h_o^2 + \Sigma k_\phi^y - I_{ysis}\omega_c^2)Y_4 = 0$$

Denklem sistemi çözülerek Y_1, Y_2, Y_3 ve Y_4 bilinmeyenleri hesaplanır.

Temel sisteminin y yönündeki ötelenmesi

$$y_g = \sqrt{Y_1^2 + Y_2^2} \quad (2.91)$$

Temel sisteminin y yönündeki dönmesi

$$\theta_y = \sqrt{Y_3^2 + Y_4^2} \quad (2.92)$$

2.4.3 z Ekseni Doğrultusunda Genlik, Sistemin Doğal Frekansı ve Doğal Dönme Frekansı

❖ Temel sisteminin z ekseni doğrultusunda yapacağı genlik

$$(Z_o)_{max} = \frac{P_z}{\sqrt{\left(\Sigma k_w - \omega_c{}^2 m^g\right)^2 + \left(\Sigma c_w \omega_c\right)^2}} \tag{2.93}$$

ifadesi ile belirlenebilir.

$(Z_o)_{max}$: düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin maksimum genliği

P_z: düşey yöndeki maksimum dengelenmemiş kuvvet

m^g: vibrasyona maruz kalan efektif kütle (üstyapı kütlesinin %80'i)

❖ Temel sisteminin doğal frekansı

$$f_f = \frac{\omega_{nz}^f}{2\pi} \tag{2.94}$$

olarak verilmiştir.

f_f: düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin doğal frekansı

ω_{nz}^f: düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin doğal açısal frekansı

Doğal frekansın belirlenebilmesi için gerekli olan doğal açısal frekans ise

$$\omega_{nz}^f = \sqrt{\frac{\Sigma k_w}{m^g}} \tag{2.95}$$

ile bulunur.

❖ Temel sisteminin doğal dönme frekansı

$$\frac{\omega_{\phi}^{f}}{\omega_{nz}^{f}} = \sqrt{\frac{\Sigma k_{x}^{1}}{\Sigma k_{w}^{1}}\left(\frac{y_r}{z_r}\right)^2 + \frac{\Sigma k_{x}^{1}}{\Sigma k_{w}^{1}}\left(\frac{x_r}{z_r}\right)^2} \qquad 2.96)$$

ifadesi ile belirlenir.

z_r **:** kazık ekseninin, temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığı

ω_{ϕ}^{f} : temel sisteminin doğal dönme açısal frekansı

Temel sisteminin doğal dönme frekansı

$$f_{\phi}^{f} = \frac{\sqrt{\omega_{\phi}^{f}}}{2\pi} \qquad (2.97)$$

eşitliği ile belirtilebilir.

f_{ϕ}^{f} : temel sisteminin doğal dönme frekansı

3. EREĞLİ DEMİR ve ÇELİK FABRİKALARI'NA AİT 1 NOLU CEVHER KIRICININ KAZIKLI TEMELİNE AİT DİNAMİK ANALİZ

3.1 Kırıcı ve Temeli Hakkında Bilgiler

Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları sahasındaki, Hammadde Manipulasyon Cevher Ebatlandırma Sistemi bünyesinde bulunan kırıcı, ön stok sahalarından konveynörlerle getirilen parça cevherin harman sahalarında bulunan 2 ve 3 Nolu kırıcılar için ön kırma işlemini gerçekleştirmektedir. Kırma aralıkları 2 Nolu kırıcı ile aynıdır. Şu an için kırıcının kırma aralığı 50mm'ye ayarlanmıştır. İstenildiği takdirde daha küçük malzeme boyutu için bu miktar azaltılabilmektedir.



Şekil 3.1 Cevher kırıcının bulunduğu binanın genel görünüşü



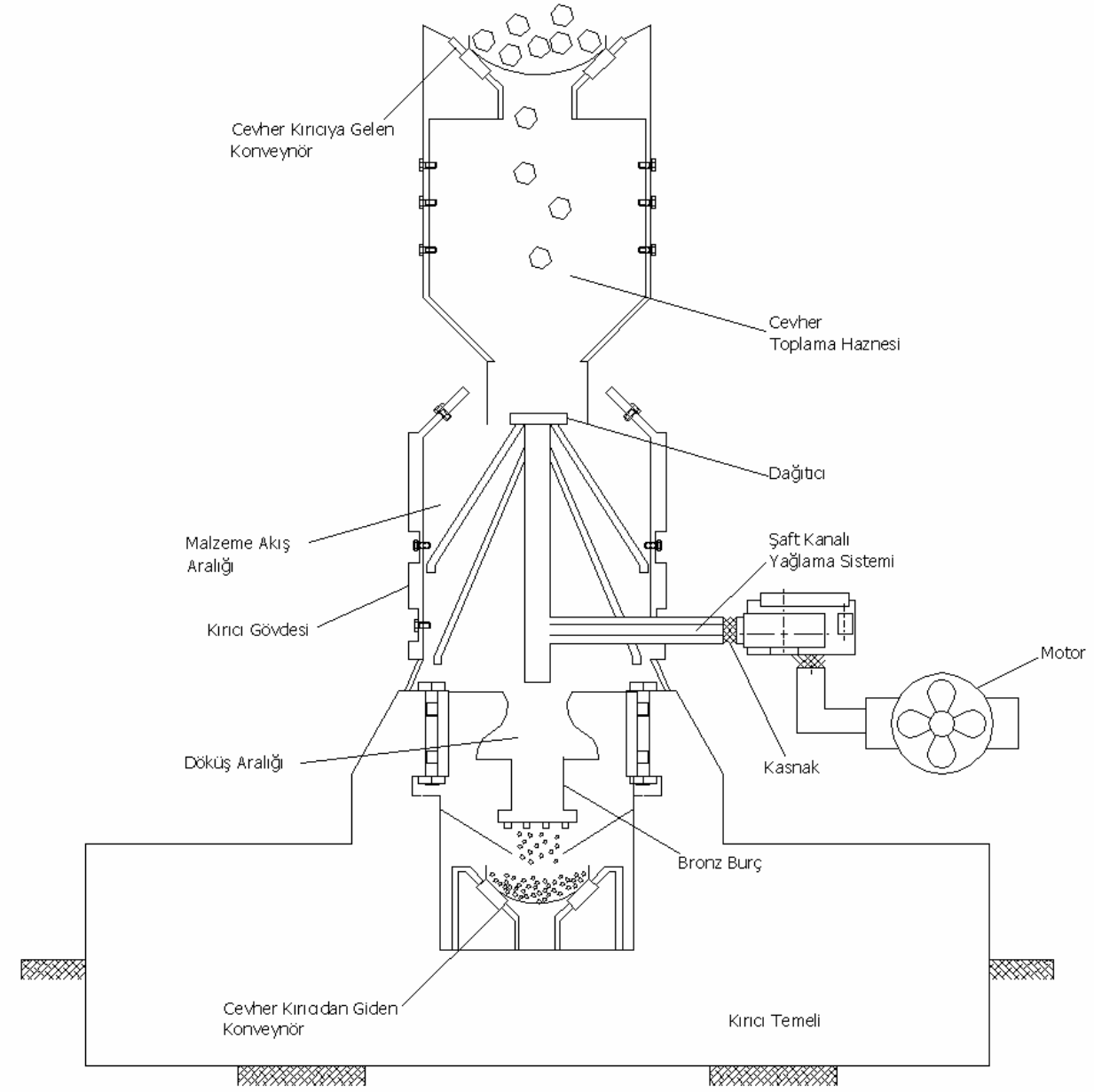
Şekil 3.2 Cevher kırıcıya gelen ve kırıcıdan giden konveynörler

Şekil 3.1'de kırıcı binasının genel görünüşü ile Şekil 3.2'de kırıcıya gelen ve kırılan cevheri 2 ile 3 Nolu kırıcıya götüren konveynörler görülmektedir. Stok sahasından cevheri getiren konveynör, kırıcının üst kısmında bulunan toplama haznesine boşalır.



Şekil 3.3 Cevher toplama haznesi

2300 Volt yüksek gerilimle çalışan büyükçe bir elektirik motoru şaftına bağlı kanallı kasnak üzerine yerleştirilen V kayışlar sayesinde motorun hareketi kırıcıya aktarılır. Toplama haznesindeki malzeme, dağıtıcı ile saçılarak 50mm'ye ayarlı akış aralığından geçecek şekilde giden konveynörde toplanır. Konik çenelerin meyilli ve uzun olması sebebiyle kırılması istenen cevherin bir defada sıkıştırılması ile gerekli boyuta gelmesi sağlanmaktadır.



Şekil 3.4 Cevher kırıcı kesiti



Şekil 3.5 Cevher kırıcının üstten görünüşü



Şekil 3.6 Kırıcının iç kısmı

Kırıcı, kazıklı temelin zemin üstünde bulunan konsollara uzunlukları 1.702m olan 4 adet ankraj civatası (AB 601 M60) ile bağlıdır.



Şekil 3.7 Kırıcının temel ile birleşim yerindeki ankraj civatası ve konsol

Cevher kırıcının temel sistemi ilk olarak 15.01.1982 yılında NKK IRON and STEEL ENGINEERING ŞİRKETİ tarafından 273mm'lik 8 adet çelik boru kazık kullanılarak tasarlanmıştı. Zaman içinde mevcut temelde kırıcı çalıştığı vakit rezonansa yakın bir durum söz konusu olmakta ve titreşim genlikleri kabul edilebilen değerlerin 9 ~10 katına varmaktaydı. Ayrıca cevher kırıcıyı taşıyan iki adet betonarme konsolun orta kısımlarında çatlaklar görülmekteydi. Bu nedenlerle 21.11.1985 tarihinde İstanbul Teknik Üniversitesi tarafından takviye gerekli görülerek temel sistemi genişletilmiş ve kırıcı temelinin her iki tarafına 14'er adet 325mm çapında çelik boru kazıklar ilave edilmiştir. Temel sisteminin vaziyet, kazık aplikasyon planları ve kesitleri Ek A'da verilmiştir.



Şekil 3.8 Kırıcıya ait genişletilmiş temel sistemi (soldan görünüş)



Şekil 3.9 Kırıcıya ait genişletilmiş temel sistemi (sağdan görünüş)

3.2 Temel Sistemine Ait Tekil Kazıkların Dinamik Yükler Altında Davranışları

Tekil kazıklara ait rijitlik ve sönüm değerlerinin belirlenebilmesi için zemine ve kazıklara ait bazı değerlerin hesaplanması gerekmektedir. Koppers Şirketi tarafından yapılan 191 nolu sondajdan (bkz. EK C) elde edilen zemin profiliyle yapılan arazi deneyleri sonucunda zemine ait bazı parametreler bulunarak hesaplarda kullanılmıştır. Bu veriler ışığında gerekli değerler belirlenmiştir.

❖ Kazığın Elastisite Modülü (E_p)

$$E_p = 2{,}04.10^7\ t/m^2$$

❖ Kazıkların Birim Hacim Ağırlıkları (γ_p)

Tablo 3.1. Kazıkların birim hacim ağırlıkları hesabı

Kazık Çapı (m)	Et Kalınlığı (mm)	Ağırlık (kg/m)	Dolu Kesit Alanı (m^2)	Hacim (m^3)	γ_p (t/m^3)
0,273	7,79	51	0,0065	0,0065	7,85
0,325	7,92	61,8	0,00786	0,00786	7,85

❖ Kazıkların Kesitlerine Ait Atalet Momentleri (I_p)

$$I_p = \frac{\pi}{64}\left(D_e{}^4 - D_i{}^4\right) \tag{3.1}$$

D_e: kazık kesitine ait dış çap

D_i: kazık kesitine ait iç çap

273mm'lik kazık için

$$I_{p1} = \frac{3.14}{64}\left(0.273^4 - 0.257^4\right) = 5{,}849.10^{-5}\,m^4$$

325mm'lik kazık için

$$I_{p2} = \frac{3.14}{64}\left(0.325^4 - 0.309^4\right) = 1{,}001.10^{-4}\,m^4$$

❖ Kazıkların Eğilme Rijitlikleri (E_pI_p)

273mm'lik kazık için $E_pI_{p_1} = 2{,}04.10^7.5{,}849.10^{-5} = 1193.196\,tm^2$

325mm'lik kazık için $E_pI_{p_2} = 2{,}04.10^7.1{,}001.10^{-4} = 2042.040\,tm^2$

❖ Zeminin Birim Hacim Ağırlığı (γ_s)

γ_s= 1.7 t/m^3

❖ Zeminin Kayma Modülü (G_s)

Steven Kramer'e göre zemine ait Poisson Oranı'nın (υ_s) 0.5'e eşit olması durumunda kayma dalgasının yayılma hızı, Rayleigh dalgasının yayılma hızına eşittir.

$\upsilon_s = 0.5 \Rightarrow V_s = V_R = 150\,m/sn$ g= 9.807 m/sn^2

$$V_s = \sqrt{\left(\frac{G_s.g}{\gamma_s}\right)} \qquad (3.2a)$$

$$150 = \sqrt{\left(\frac{G_s.9{,}807}{1.7}\right)} \Rightarrow G_s = 3900\,t/m^2 \text{ (derinlikle sabit)}$$

3.2.1 Tekil Kazıklar İçin Düşey Rijitlik ve Sönüm Hesabı

Temel sistemine ait 36 kazık için Bölüm 2.1.1.'de ifade edildiği üzere kazıklara ait rijitlik ve sönüm değerleri Şekil 2.3 yardımıyla belirlenmiştir. $\frac{E_p}{G_s}$ değerinin grafikte verilmiş değerler arasında olması durumunda interpolasyon yapılarak sonuca gidilmiştir. Ayrıca rijitlik ve sönüm hesabı için gerekli olan kazık boyları Tablo 3.2.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Kazıklara ait çap ve uzunluk değerleri

Kazık No	Kazık Çapı (cm)	Çakılan Kazık Uzunluğu (m)	Kazık Üst Kotu	Kazık Alt Kotu
1	32,5	13,20	+3,324	-9,876
2	32,5	13,30	+3,324	-9,976
3	32,5	13,40	+3,324	-10,076
4	32,5	13,10	+3,324	-9,776
5	32,5	11,00	+3,324	-7,676
6	32,5	12,30	+3,324	-8,976
7	32,5	13,00	+3,324	-9,676
8	32,5	12,90	+3,324	-9,576
9	32,5	11,40	+3,324	-8,076
10	32,5	11,00	+3,324	-7,676
11	32,5	13,00	+3,324	-9,676
12	32,5	13,30	+3,324	-9,976
13	32,5	13,00	+3,324	-9,676
14	32,5	13,40	+3,324	-10,076
15	32,5	12,90	+3,324	-9,576
16	32,5	12,75	+3,324	-9,426
17	32,5	10,10	+3,324	-6,776
18	32,5	13,30	+3,324	-9,976
19	32,5	12,60	+3,324	-9,276
20	32,5	12,70	+3,324	-9,376
21	32,5	12,90	+3,324	-9,576
22	32,5	12,70	+3,324	-9,376
23	32,5	12,40	+3,324	-9,076
24	32,5	12,60	+3,324	-9,276
25	32,5	13,10	+3,324	-9,776
26	32,5	12,70	+3,324	-9,376
27	32,5	13,00	+3,324	-9,676
28	32,5	13,20	+3,324	-9,876
		L^{1}_{port}=12,65m		
29	27,3	13,20	+3,324	-9,876
30	27,3	13,50	+3,324	-10,176
31	27,3	13,60	+3,324	-10,276
32	27,3	13,20	+3,324	-9,876
33	27,3	13,80	+3,324	-10,476
34	27,3	13,70	+3,324	-10,376
35	27,3	13,30	+3,324	-9,976
36	27,3	13,50	+3,324	-10,176
		L^{2}_{port}=13,48m		

Çapları ve boyları eşit olan kazıklar için $\frac{E_p}{G_s}$ ve $\frac{L_p}{r_p}$ değerleri aynı olacağından hesaplar sadece tek kazık için yapılmıştır.

❖ 1 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.2}{0.1625} = 81$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.02 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0148$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.02 - \left(\frac{0.02 - 0.0148}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.025 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00774$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 81\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.025 - \left(\frac{0.025 - 0.00774}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0187$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0181 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0187 = 211.086 \text{ tsn/m}$$

❖ 2 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.3}{0.1625} = 82$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0194 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.014$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0194 - \left(\frac{0.0194 - 0.014}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0174$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0257 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00829$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0257 - \left(\frac{0.0257 - 0.00829}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0174 = 1{,}813.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0194 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 3 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.4}{0.1625} = 82.5$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0193 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0133$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0193 - \left(\frac{0.0193 - 0.0133}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0171$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0258 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0083$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 82.5\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0258 - \left(\frac{0.0258 - 0.0083}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0171 = 1{,}782.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0194 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 4 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.1}{0.1625} = 81$$

Değerler 1 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w2} = 0.0187$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 211.086 \text{ tsn/m}$$

❖ 5 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{11.0}{0.1625} = 67.7$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0219 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0163$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0219 - \left(\frac{0.0219 - 0.0163}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0199$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.023 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00686$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 67.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.023 - \left(\frac{0.023 - 0.00686}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0171$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0199 = 2{,}074.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0171 = 193.025 \text{ tsn/m}$$

❖ 6 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.3}{0.1625} = 75.7$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0208 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0154$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0208 - \left(\frac{0.0208 - 0.0154}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0188$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0238 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00743$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 75.7\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0238 - \left(\frac{0.0238 - 0.00743}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0178$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0188 = 1{,}959.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0178 = 200.926 \text{ tsn/m}$$

❖ 7 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.0}{0.1625} = 80$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.02 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0149$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.02 - \left(\frac{0.02 - 0.0149}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0257 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00829$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 80\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0257 - \left(\frac{0.0257 - 0.00829}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0181 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0194 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 8 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.90}{0.1625} = 79$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0205 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.01495$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_7} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0205 - \left(\frac{0.0205 - 0.01495}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0185$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0249 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00714$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 79\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0249 - \left(\frac{0.0249 - 0.00714}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0184$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0185 = 1{,}928.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0184 = 207.699 \text{ tsn/m}$$

❖ 9 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{11.40}{0.1625} = 70$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0214 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.016$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0214 - \left(\frac{0.0214 - 0.016}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0194$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0235 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00686$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 70\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0235 - \left(\frac{0.0235 - 0.00686}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0174$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0194 = 2{,}021.10^5\ \text{t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0174 = 196.411\ \text{tsn/m}$$

❖ 10 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{11.0}{0.1625} = 67.7$$

Değerler 5 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w1} = 0.0199$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w2} = 0.0171$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 2{,}074.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 193.025 \text{ tsn/m}$$

❖ 11 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.0}{0.1625} = 80$$

Değerler 7 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w2} = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 12 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.3}{0.1625} = 82$$

Değerler 2 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$f_{w_1} = 0.0174$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$f_{w_2} = 0.0194$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$k_w^1 = 1{,}813.10^5$ t/m

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$c_w^1 = 218.987$ tsn/m

❖ 13 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.0}{0.1625} = 80$$

Değerler 7 ve 11 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 14 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.4}{0.1625} = 82.5$$

Değerler 3 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$f_{w_1} = 0.0171$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$f_{w\,2} = 0.0194$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$k_w^1 = 1{,}782.10^5$ t/m

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$c_w^1 = 218.987$ tsn/m

❖ 15 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.90}{0.1625} = 79$$

Değerler 8 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$f_{w_1} = 0.0185$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$f_{w\,2} = 0.0184$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$k_w^1 = 1{,}928.10^5\,\text{t/m}$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$c_w^1 = 207.699\,\text{tsn/m}$

❖ 16 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.75}{0.1625} = 78.5$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0208 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0146$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0208 - \left(\frac{0.0208 - 0.0146}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0185$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0246 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00743$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0246 - \left(\frac{0.0246 - 0.00743}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0183$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0185 = 1{,}928.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0183 = 206.570 \text{ tsn/m}$$

❖ 17 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{10.1}{0.1625} = 62.2$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0222 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0171$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0222 - \left(\frac{0.0222 - 0.0171}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0203$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0222 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00571$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 62.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0222 - \left(\frac{0.0222 - 0.00571}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0162$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0203 = 2{,}115.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0162 = 182.866 \text{ tsn/m}$$

❖ 18 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.3}{0.1625} = 82$$

Değerler 2 ve 12 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0174$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}813.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 19 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.6}{0.1625} = 77.5$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0205 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0151$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0205 - \left(\frac{0.0205 - 0.0151}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0185$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0243 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00457$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 77.5\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0243 - \left(\frac{0.0243 - 0.00457}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0171$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0185 = 1{,}928.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0171 = 193.025 \text{ tsn/m}$$

❖ 20 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.7}{0.1625} = 78.2$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0209 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0147$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0209 - \left(\frac{0.0209 - 0.0147}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0186$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0245 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00742$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 78.2\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0245 - \left(\frac{0.0245 - 0.00742}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0183$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0186 = 1{,}967.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0183 = 206.570 \text{ tsn/m}$$

❖ 21 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.90}{0.1625} = 79$$

Değerler 8 ve 15 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0185$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0184$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}928.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 207.699 \text{ tsn/m}$$

❖ 22 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.7}{0.1625} = 78.2$$

Değerler 20 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0186$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0183$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}967.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 206.570 \text{ tsn/m}$$

❖ 23 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.4}{0.1625} = 76.3$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.021 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0151$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.021 - \left(\frac{0.021 - 0.0151}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0189$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0246 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00514$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 76.3\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0246 - \left(\frac{0.0246 - 0.00514}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0175$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{0.1625}\right).0{,}0189 = 1{,}969.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}083}{150}\right).0{,}0175 = 197.540 \text{ tsn/m}$$

❖ 24 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.6}{0.1625} = 77.5$$

Değerler 19 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0185$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0171$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}928.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 193.025 \text{ tsn/m}$$

❖ 25 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.1}{0.1625} = 81$$

Değerler 1 ve 4 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0187$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 211.086 \text{ tsn/m}$$

❖ 26 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{12.7}{0.1625} = 78.2$$

Değerler 20 ve 22 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$f_{w_1} = 0.0186$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$f_{w_2} = 0.0183$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$k_w^1 = 1{,}967.10^5$ t/m

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$c_w^1 = 206.570$ tsn/m

❖ 27 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.0}{0.1625} = 80$$

Değerler 7, 11 ve 13 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0194$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 218.987 \text{ tsn/m}$$

❖ 28 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.2}{0.1625} = 81$$

Değerler 1, 4 ve 25 nolu kazıklar ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0181$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w\,2} = 0.0187$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}886.10^5\,\text{t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 211.086\,\text{tsn/m}$$

❖ 29 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.2}{0.1365} = 96.7$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0183 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0117$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0183 - \left(\frac{0.0183 - 0.0117}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0159$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0278 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00886$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 96.7\end{matrix}\right] \rightarrow {}_{f_{w2}} = \left[0.0278 - \left(\frac{0.0278 - 0.00886}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0209$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}0159 = 1{,}390.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}0209 = 166.280 \text{ tsn/m}$$

❖ 30 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.5}{0.1365} = 98.9$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0183 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0114$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0183 - \left(\frac{0.0183 - 0.0114}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0158$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0286 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00914$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 98.9\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0286 - \left(\frac{0.0286 - 0.00914}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0215$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}0158 = 1{,}381.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}0215 = 171.054 \text{ tsn/m}$$

❖ 31 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.6}{0.1365} = 99.6$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0180 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0115$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0180 - \left(\frac{0.0180 - 0.0115}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0156$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0289 \qquad \left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00969$$

$$\left[\begin{matrix}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 99.6\end{matrix}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0289 - \left(\frac{0.0289 - 0.00969}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0219$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}0156 = 1{,}364.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}0219 = 174.236 \text{ tsn/m}$$

❖ 32 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.2}{0.1365} = 96.7$$

Değerler 29 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w_1} = 0.0159$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w_2} = 0.0209$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}390.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 166.280 \text{ tsn/m}$$

❖ 33 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.8}{0.1365} = 101.1 \rangle 100$ olduğundan değerler $\frac{L_p}{r_p} = 100$ için hesaplanmıştır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0180 \qquad \left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0115$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0180 - \left(\frac{0.0180 - 0.0115}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0156$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0289 \qquad \left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00969$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0289 - \left(\frac{0.0289 - 0.00969}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0219$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}0156 = 1{,}364.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}0219 = 174.236 \text{ tsn/m}$$

❖ 34 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.7}{0.1365} = 100.4 \rangle 100$ olduğundan değerler $\frac{L_p}{r_p} = 100$ için hesaplanmıştır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0180 \qquad \left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0115$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0180 - \left(\frac{0.0180 - 0.0115}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0156$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0289 \qquad \left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00969$$

$$\left[\begin{array}{l} \frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 100 \end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = \left[0.0289 - \left(\frac{0.0289 - 0.00969}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.0219$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}0156 = 1{,}364.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}0219 = 174.236 \text{ tsn/m}$$

❖ 35 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.3}{0.1365} = 97.4$$

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0183 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = 0.0114$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow f_{w1} = \left[0.0183 - \left(\frac{0.0183 - 0.0114}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.01584$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 2500 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.0280 \qquad \left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 10000 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow f_{w2} = 0.00888$$

$$\left[\begin{array}{l}\frac{E_p}{G_s} = 5231 \\ \frac{L_p}{r_p} = 97.4\end{array}\right] \rightarrow {}_{f_{w2}} = \left[0.0280 - \left(\frac{0.0280 - 0.00888}{10000 - 2500}\right).(5231 - 2500)\right] = 0.021$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{0.1365}\right).0{,}01584 = 1{,}385.10^5\ \text{t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = \left(\frac{2{,}04.10^7.0{,}0585}{150}\right).0{,}021 = 167.076\ \text{tsn/m}$$

❖ 36 Nolu Kazık

$$\frac{E_p}{G_s} = \frac{2{,}04.10^7}{3900} = 5231$$

$$\frac{L_p}{r_p} = \frac{13.5}{0.1365} = 98.9$$

Değerler 30 nolu kazık ile aynıdır.

- Düşey rijitlik parametresi (f_{w1})

$$f_{w1} = 0.0160$$

- Düşey sönüm parametresi (f_{w2})

$$f_{w2} = 0.0215$$

- Düşey rijitlik değeri (k_w^1)

$$k_w^1 = 1{,}355.10^5 \text{ t/m}$$

- Düşey sönüm değeri (c_w^1)

$$c_w^1 = 171.054 \text{ tsn/m}$$

Temel sistemine ait 36 kazık için hesaplanan düşey rijitlik ve sönüm değerleri Tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.3. Kazıklara ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri

	Kazık No	E_p/G_s	L_p/r_p	E_p/G_s=2500 için f_{w1}	E_p/G_s=10000 için f_{w1}	f_{w1}	E_p/G_s=2500 için f_{w2}	E_p/G_s=10000 için f_{w2}	f_{w2}	k_w^1 (t/m)	c_w^1 (tsn/m)
1-14 Nolu Kazıklar	1	5231	81,0	0,0200	0,0148	0,0181	0,0250	0,00774	0,0187	1,886E+05	211,086
	2	5231	82,0	0,0194	0,0140	0,0174	0,0257	0,00829	0,0194	1,813E+05	218,987
	3	5231	82,5	0,0193	0,0133	0,0171	0,0258	0,00830	0,0194	1,782E+05	218,987
	4	5231	81,0	0,0200	0,0148	0,0181	0,0250	0,00774	0,0187	1,886E+05	211,086
	5	5231	67,7	0,0219	0,0163	0,0199	0,0230	0,00686	0,0171	2,074E+05	193,025
	6	5231	75,7	0,0208	0,0154	0,0188	0,0238	0,00743	0,0178	1,959E+05	200,926
	7	5231	80,0	0,0200	0,0149	0,0181	0,0257	0,00829	0,0194	1,886E+05	218,987
	8	5231	79,0	0,0205	0,0150	0,0185	0,0249	0,00714	0,0184	1,928E+05	207,699
	9	5231	70,0	0,0214	0,0160	0,0194	0,0235	0,00686	0,0174	2,021E+05	196,411
	10	5231	67,7	0,0219	0,0163	0,0199	0,0230	0,00686	0,0171	2,074E+05	193,025
	11	5231	80,0	0,0200	0,0149	0,0181	0,0257	0,00829	0,0194	1,886E+05	218,987
	12	5231	82,0	0,0194	0,0140	0,0174	0,0257	0,00829	0,0194	1,813E+05	218,987
	13	5231	80,0	0,0200	0,0149	0,0181	0,0257	0,00829	0,0194	1,886E+05	218,987
	14	5231	82,5	0,0193	0,0133	0,0171	0,0258	0,00830	0,0194	1,782E+05	218,987
										Σk_w^1=2667600	Σc_w^1=2946,167
15-29 Nolu Kazıklar	15	5231	79,0	0,0205	0,0150	0,0185	0,0249	0,00714	0,0184	1,928E+05	207,699
	16	5231	78,5	0,0208	0,0146	0,0185	0,0246	0,00743	0,0183	1,928E+05	206,570
	17	5231	62,2	0,0222	0,0171	0,0203	0,0222	0,00571	0,0162	2,115E+05	182,866
	18	5231	82,0	0,0194	0,0140	0,0174	0,0257	0,00829	0,0194	1,813E+05	218,987
	19	5231	77,5	0,0205	0,0151	0,0185	0,0243	0,00457	0,0171	1,928E+05	193,025
	20	5231	78,2	0,0209	0,0147	0,0186	0,0245	0,00742	0,0183	1,967E+05	206,570
	21	5231	79,0	0,0205	0,0150	0,0185	0,0249	0,00714	0,0184	1,928E+05	207,699
	22	5231	78,2	0,0209	0,0147	0,0186	0,0245	0,00742	0,0183	1,967E+05	206,570
	23	5231	76,3	0,0210	0,0151	0,0189	0,0246	0,00514	0,0175	1,969E+05	197,540
	24	5231	77,5	0,0205	0,0151	0,0185	0,0243	0,00457	0,0171	1,928E+05	193,025
	25	5231	81,0	0,0200	0,0148	0,0181	0,0250	0,00774	0,0187	1,886E+05	211,086
	26	5231	78,2	0,0209	0,0147	0,0186	0,0245	0,00742	0,0183	1,967E+05	206,570
	27	5231	80,0	0,0200	0,0149	0,0181	0,0257	0,00829	0,0194	1,886E+05	218,987
	28	5231	81,0	0,0200	0,0148	0,0181	0,0250	0,00774	0,0187	1,886E+05	211,086
										Σk_w^1=2709600	Σc_w^1=2868,280
29-36 Nolu Kazıklar	29	5231	96,7	0,0183	0,0117	0,0159	0,0278	0,00886	0,0209	1,390E+05	166,280
	30	5231	98,9	0,0183	0,0114	0,0158	0,0286	0,00914	0,0215	1,381E+05	171,054
	31	5231	99,6	0,0180	0,0115	0,0156	0,0289	0,00969	0,0219	1,364E+05	174,236
	32	5231	96,7	0,0183	0,0117	0,0159	0,0278	0,00886	0,0209	1,390E+05	166,280
	33	5231	100,0	0,0180	0,0115	0,0156	0,0289	0,00969	0,0219	1,364E+05	174,236
	34	5231	100,0	0,0180	0,0115	0,0156	0,0289	0,00969	0,0219	1,364E+05	174,236
	35	5231	97,4	0,0183	0,0114	0,0158	0,0280	0,00888	0,0210	1,385E+05	167,076
	36	5231	98,9	0,0183	0,0114	0,0158	0,0286	0,00914	0,0215	1,381E+05	171,054
										Σk_w^1=1101900	Σc_w^1=1364,452

3.2.2 Tekil Kazıklar İçin Yanal Rijitlik ve Sönüm Hesabı

Yanal rijitlik ve sönüm hesabında kazık çevresindeki zeminin kayma dalgası hızı hesaplanırken zemine ait kayma modülü gerçek değerin %75'i olarak alınmalıdır (Novak, 1977).

$$(G_s)_p = 0.75 G_s \tag{3.3}$$

$$(G_s)_p = 0{,}75.3900 = 2925\ \text{t/m}^2$$

$$(V_s)_p = \sqrt{\left(\frac{(G_s)_p.g}{\gamma_s}\right)} \tag{3.2b}$$

$$(V_s)_p = \sqrt{\left(\frac{2925.9{,}807}{1.7}\right)} = 129.90\ \text{m/sn}$$

$\upsilon_s = 0.4$ ve zeminin kayma modülünün derinlikle değişmediği varsayılmıştır.

$$E_p = 2{,}04.10^7\ \text{t/m}^2$$

$$\frac{E_p}{(G_s)_p} = \frac{2{,}04.10^7}{2925} = 6974$$

Temel sistemindeki tüm kazıklar için $\frac{L_p}{r_p} \rangle 25$ olduğundan; homojen zemin profili kabulu ile yatay rijitlik ve sönüm parametreleri Tablo 2.1.'den interpolasyon yapılarak belirlenmiştir.

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=10000\right]\Rightarrow f_{x1}=0.0047 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=2500\right]\Rightarrow f_{x1}=0.0132$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=6974\right]\Rightarrow f_{x1}=0.0047+\left(\frac{0.0132-0.0047}{7500}\right).(6974-2500)=0.0098$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=10000\right]\Rightarrow f_{x2}=0.0119 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=2500\right]\Rightarrow f_{x2}=0.0329$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=6974\right]\Rightarrow f_{x2}=0.0119+\left(\frac{0.0329-0.0119}{7500}\right).(6974-2500)=0.0244$$

- 273mm'lik kazık için yatay rijitlik değeri

$$E_pI_{p_1}=1193.196\,tm^2$$

$$k_x^1=\frac{1193.196}{0.1365^3}0.0098=4597.69\,t/m$$

- 325mm'lik kazık için yatay rijitlik değeri

$$E_pI_{p_2}=2042.040\,tm^2$$

$$k_x^1=\frac{2042.040}{0.1625^3}0.0098=4663.70\,t/m$$

- 273mm'lik kazık için yatay sönüm değeri

$$c_x^1 = \frac{1193.196}{0{,}1365^2.129{,}90}0.0244 = 12.03\,\text{tsn/m}$$

- 325mm'lik kazık için yatay sönüm değeri

$$c_x^1 = \frac{2042.040}{0{,}1625^2.129{,}90}0.0244 = 14.53\,\text{tsn/m}$$

3.2.3 Tekil Kazıklar İçin Dönme Rijitlik ve Sönüm Hesabı

Yatay rijitlik ve sönüm hesabında olduğu gibi tüm kazıklar için $\frac{L_p}{r_p} \rangle 25$ olduğundan; homojen zemin profili kabulu ile $\frac{E_p}{(G_s)_p} = 6974$ ve $\upsilon_s = 0.4$ alınarak dönme rijitlik ve sönüm parametreleri Tablo 2.1.'den interpolasyon yapılarak belirlenmiştir.

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 10000\right] \Rightarrow f_{\phi 1} = 0.2207 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 2500\right] \Rightarrow f_{\phi 1} = 0.3097$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 6974\right] \Rightarrow f_{\phi 1} = 0.2207 + \left(\frac{0.3097 - 0.2207}{7500}\right).(6974 - 2500) = 0.2738$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 10000\right] \Rightarrow f_{\phi 2} = 0.1634 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 2500\right] \Rightarrow f_{\phi 2} = 0.2224$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 6974\right] \Rightarrow f_{\phi 2} = 0.1634 + \left(\frac{0.2224 - 0.1634}{7500}\right).(6974 - 2500) = 0.1986$$

- 273mm'lik kazık için dönme rijitlik değeri

$$k_{\phi}^{1} = \frac{1193.196}{0.1365} 0.2738 = 2393.39\,\text{tm}$$

- 325mm'lik kazık için dönme rijitlik değeri

$$k_{\phi}^{1} = \frac{2042.040}{0.1625} 0.2738 = 3440.68\,\text{tm}$$

- 273mm'lik kazık için dönme sönüm değeri

$$c_{\phi}^{1} = \frac{1193.196}{129,90} 0.1986 = 1.82\,\text{tmsn}$$

- 325mm'lik kazık için dönme sönüm değeri

$$c_{\phi}^{1} = \frac{2042.040}{129,90} 0.1986 = 3.12\,\text{tmsn}$$

3.2.4 Tekil Kazıklar İçin Yatay Bileşik Harekete Ait Rijitlik ve Sönüm Hesabı

Yanal ve dönme rijitlik-sönüm hesaplarında olduğu gibi tüm kazıklar için $\frac{L_p}{r_p} \rangle 25$ olduğundan; homojen zemin profili kabulu ile $\frac{E_p}{(G_s)_p} = 6974$ ve $\upsilon_s = 0.4$ alınarak yatay bileşik harekete ait rijitlik ve sönüm parametreleri Tablo 2.1.'den interpolasyon yapılarak belirlenmiştir.

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 10000\right] \Rightarrow f_{x\phi 1} = -0.0232 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 2500\right] \Rightarrow f_{x\phi 1} = -0.0459$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p} = 6974\right] \Rightarrow f_{x\phi 1} = -0.0459 + \left(\frac{-0.0232 - (-0.0459)}{7500}\right).(6974 - 2500) = -0.0324$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=10000\right]\Rightarrow f_{x\phi 2}=-0.0358 \qquad \left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=2500\right]\Rightarrow f_{x\phi 2}=-0.0692$$

$$\left[\frac{E_p}{(G_s)_p}=6974\right]\Rightarrow f_{x\phi 2}=-0.0692+\left(\frac{-0.0358-(-0.0692)}{7500}\right).(6974-2500)=-0.0493$$

- 273mm'lik kazık için yatay bileşik hareket rijitlik değeri

$$k^1_{x\phi}=\frac{1193.196}{(0.1365)^2}(-0.0324)=-2074.87\,t$$

- 325mm'lik kazık için yatay bileşik hareket rijitlik değeri

$$k^1_{x\phi}=\frac{2042.040}{(0.1625)^2}(-0.0324)=-2505.55\,t$$

- 273mm'lik kazık için yatay bileşik hareket sönüm değeri

$$c^1_{x\phi}=\frac{1193.196}{(0,1365.129,90)}(-0.0493)=-3.32\,tsn$$

- 325mm'lik kazık için yatay bileşik hareket sönüm değeri

$$c^1_{x\phi}=\frac{2042.040}{(0,1625.129,90)}(-0.0493)=-4.77\,tsn$$

3.3 Kazıklarda Grup Etkisi Hesabı

Temel sistemi için, 1-14 nolu kazıklar 1. grup, 15-28 nolu kazıklar 2. grup ve 29-36 nolu kazıklar 3. grup olarak düşünülerek her grubun etkisi kendi içinde hesaba katılmıştır. Novak Dinamik Analizi, gruplara ait referans kazıklarının seçimi için herhangi bir koşul belirtmediği için her gruba ait 3 faklı referans kazığı seçilerek hesaplar yapılmıştır.

3.3.1 Düşey Vibrasyon Durumunda Grup Etkisi Hesabı

1. grup için 1,7 ve 14, 2. grup için 15,21 ve 28, 3. grup için 29, 30 ve 36 nolu kazıklar referans kazığı olarak seçilerek kazıklar arası etkileşim faktörleri hesaplanmıştır.

- 1. gruba ait etkileşim faktörleri

- 1 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 1 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 1 ve 2 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 1.30m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.30m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75} \right) \cdot (40.92 - 25) = 0.524$$

- 1 ve 3 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.40}{0.325} = 41.23$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 41.23 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(41.23 - 25) = 0.524$$

- 1 ve 4 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.437$$

- 1 ve 5 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.362$$

- 1 ve 6 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.30}{0.325} = 37.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 37.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(37.85 - 25) = 0.351$$

- 1 ve 7 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.90m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(40 - 25) = 0.300$$

- 1 ve 8 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 4.11m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.90m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(39.69 - 25) = 0.297$$

- 1 ve 9 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.20}{0.325} = 16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.40}{0.325} = 35.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.386$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 35.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 + \left(\frac{0.386 - 0.242}{75}\right).(35.08 - 25) = 0.261$$

- 1 ve 10 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.36\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.36}{0.325} = 16.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.240$$

- 1 ve 11 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 6.50m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.50}{0.325} = 20 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.00m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.200 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.335$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.200 + \left(\frac{0.335 - 0.200}{75} \right).(40 - 25) = 0.227$$

- 1 ve 12 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 6.63m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.63}{0.325} = 20.4 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.30m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.195 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.334$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.195 + \left(\frac{0.334 - 0.195}{75} \right).(40.92 - 25) = 0.225$$

- 1 ve 13 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 7.80\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.80}{0.325} = 24 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.156 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.316$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.156 + \left(\frac{0.316 - 0.156}{75}\right).(40 - 25) = 0.188$$

- 1 ve 14 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 7.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.91}{0.325} = 24.33 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.40}{0.325} = 41.23$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.154 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.314$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 41.23 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.154 + \left(\frac{0.314 - 0.154}{75}\right).(41.23 - 25) = 0.189$$

➢ 7 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 7 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 7 ve 1 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.325} = 40.62$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.62 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(40.62 - 25) = 0.302$$

- 7 ve 2 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(40.92 - 25) = 0.300$$

- 7 ve 3 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.40}{0.325} = 41.23$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 41.23 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(41.23 - 25) = 0.377$$

- 7 ve 4 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.356$$

- 7 ve 5 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.512$$

- 7 ve 6 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.30}{0.325} = 37.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 37.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(37.85 - 25) = 0.432$$

- 7 ve 8 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(39.69 - 25) = 0.522$$

- 7 ve 9 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.40}{0.325} = 35.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 35.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(35.08 - 25) = 0.514$$

- 7 ve 10 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.425$$

- 7 ve 11 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(40 - 25) = 0.375$$

- 7 ve 12 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(40.92 - 25) = 0.357$$

- 7 ve 13 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(40 - 25) = 0.300$$

- 7 ve 14 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.40}{0.325} = 41.23$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 41.23 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(41.23 - 25) = 0.300$$

➢ 14 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 14 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 14 ve 1 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 7.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.91}{0.325} = 24.33 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.325} = 40.62$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.314$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.62 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 + \left(\frac{0.314 - 0.154}{75} \right).(40.62 - 25) = 0.187$$

- 14 ve 2 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 7.80\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.80}{0.325} = 24 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.156 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.316$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.156 + \left(\frac{0.316 - 0.156}{75} \right).(40.92 - 25) = 0.190$$

- 14 ve 3 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.63m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.63}{0.325} = 20.4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.40m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.40}{0.325} = 41.23$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.334$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 41.23 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 + \left(\frac{0.334 - 0.195}{75}\right).(41.23 - 25) = 0.225$$

- 14 ve 4 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.50m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.50}{0.325} = 20 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.335$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 + \left(\frac{0.335 - 0.200}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.228$$

- 14 ve 5 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.36\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.36}{0.325} = 16.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.240$$

- 14 ve 6 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.20}{0.325} = 16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.30}{0.325} = 37.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.386$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 37.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 + \left(\frac{0.386 - 0.242}{75}\right).(37.85 - 25) = 0.267$$

- 14 ve 7 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(40 - 25) = 0.298$$

- 14 ve 8 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(40 - 25) = 0.300$$

- 14 ve 9 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.40}{0.325} = 35.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 35.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(35.08 - 25) = 0.346$$

- 14 ve 10 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 11.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{11.00}{0.325} = 33.85$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 33.85 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(33.85 - 25) = 0.362$$

- 14 ve 11 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(40 - 25) = 0.436$$

- 14 ve 12 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(40.92 - 25) = 0.524$$

- 14 ve 13 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(40 - 25) = 0.522$$

1. gruba ait 3 farklı referans kazığı için toplam etkileşim faktörleri Tablo 3.4.'de verilmiştir.

Tablo 3.4. 1. gruba ait toplam etkileşim faktörleri

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
1-14 Nolu Kazıklar	**1**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	2	1,30	0,1625	0,325	4,00	13,30	40,92	0,524
	3	1,30	0,1625	0,325	4,00	13,40	41,23	0,524
	4	1,84	0,1625	0,325	5,66	13,10	40,31	0,437
	5	2,60	0,1625	0,325	8,00	11,00	33,85	0,362
	6	2,91	0,1625	0,325	8,95	12,30	37,85	0,351
	7	3,90	0,1625	0,325	12,00	13,00	40,00	0,300
	8	4,11	0,1625	0,325	12,65	12,90	39,69	0,297
	9	5,20	0,1625	0,325	16,00	11,40	35,08	0,261
	10	5,36	0,1625	0,325	16,49	11,00	33,85	0,240
	11	6,50	0,1625	0,325	20,00	13,00	40,00	0,227
	12	6,63	0,1625	0,325	20,40	13,30	40,92	0,225
	13	7,80	0,1625	0,325	24,00	13,00	40,00	0,188
	14	7,91	0,1625	0,325	24,33	13,40	41,23	0,189
								$\Sigma\alpha_A$=5,125

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
1-14 Nolu Kazıklar	**7**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	1	3,90	0,16	0,33	12,00	13,20	40,62	0,302
	2	4,11	0,16	0,33	12,65	13,30	40,92	0,300
	3	2,60	0,16	0,33	8,00	13,40	41,23	0,377
	4	2,91	0,16	0,33	8,95	13,10	40,31	0,356
	5	1,30	0,16	0,33	4,00	11,00	33,85	0,512
	6	1,84	0,16	0,33	5,66	12,30	37,85	0,432
	8	1,30	0,16	0,33	4,00	12,90	39,69	0,522
	9	1,30	0,16	0,33	4,00	11,40	35,08	0,514
	10	1,84	0,16	0,33	5,66	11,00	33,85	0,425
	11	2,60	0,16	0,33	8,00	13,00	40,00	0,375
	12	2,91	0,16	0,33	8,95	13,30	40,92	0,357
	13	3,90	0,16	0,33	12,00	13,00	40,00	0,300
	14	4,11	0,16	0,33	12,65	13,40	41,23	0,300
								$\Sigma\alpha_A$=6,072

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
1-14 Nolu Kazıklar	**14**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	1	7,91	0,1625	0,325	24,33	13,20	40,62	0,187
	2	7,80	0,1625	0,325	24,00	13,30	40,92	0,190
	3	6,63	0,1625	0,325	20,40	13,40	41,23	0,225
	4	6,50	0,1625	0,325	20,00	13,10	40,31	0,228
	5	5,36	0,1625	0,325	16,49	11,00	33,85	0,240
	6	5,20	0,1625	0,325	16,00	12,30	37,85	0,267
	7	4,11	0,1625	0,325	12,65	13,00	40,00	0,298
	8	3,90	0,1625	0,325	12,00	12,90	39,69	0,300
	9	2,91	0,1625	0,325	8,95	11,40	35,08	0,346
	10	2,60	0,1625	0,325	8,00	11,00	33,85	0,362
	11	1,84	0,1625	0,325	5,66	13,00	40,00	0,436
	12	1,30	0,1625	0,325	4,00	13,30	40,92	0,524
	13	1,30	0,1625	0,325	4,00	13,00	40,00	0,522
								$\Sigma\alpha_A$=5,125

❖ 2. gruba ait etkileşim faktörleri

➢ 15 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

▪ 15 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü “1” alınacaktır.

▪ 15 ve 16 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.75\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.75}{0.325} = 39.23$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.23 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(39.23 - 25) = 0.521$$

▪ 15 ve 17 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 10.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{10.10}{0.325} = 31.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 31.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(31.08 - 25) = 0.508$$

- 15 ve 18 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 1.84m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.30m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75} \right).(40.92 - 25) = 0.438$$

- 15 ve 19 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 2.60m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.60m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.77$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.77 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75} \right).(38.77 - 25) = 0.372$$

- 15 ve 20 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.354$$

- 15 ve 21 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(39.69 - 25) = 0.300$$

- 15 ve 22 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.296$$

- 15 ve 23 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.20}{0.325} = 16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.40}{0.325} = 38.15$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.386$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.15 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 + \left(\frac{0.386 - 0.242}{75}\right).(38.15 - 25) = 0.267$$

- 15 ve 24 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.36m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.36}{0.325} = 16.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.60m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.78$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.78 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75}\right).(38.78 - 25) = 0.249$$

- 15 ve 25 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.50m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.50}{0.325} = 20 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.335$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 + \left(\frac{0.335 - 0.200}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.228$$

- 15 ve 26 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.63m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.63}{0.325} = 20.4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.334$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 + \left(\frac{0.334 - 0.195}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.221$$

- 15 ve 27 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 7.80m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.80}{0.325} = 24 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.156 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.316$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.156 + \left(\frac{0.316 - 0.156}{75}\right).(40 - 25) = 0.188$$

- 15 ve 28 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 7.91m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.91}{0.325} = 24.33 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.325} = 40.62$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.314$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.62 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 + \left(\frac{0.314 - 0.154}{75} \right).(40.62 - 25) = 0.187$$

➢ 21 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 21 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 21 ve 15 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75} \right).(39.69 - 25) = 0.300$$

- 21 ve 16 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.75\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.75}{0.325} = 39.23$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.23 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75} \right).(39.23 - 25) = 0.296$$

- 21 ve 17 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 10.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{10.10}{0.325} = 31.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 31.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(31.08 - 25) = 0.356$$

- 21 ve 18 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(40.92 - 25) = 0.357$$

- 21 ve 19 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.77$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.77 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(38.77 - 25) = 0.520$$

- 21 ve 20 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.434$$

- 21 ve 22 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.521$$

- 21 ve 23 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.40\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.40}{0.325} = 38.15$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.15 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(38.15 - 25) = 0.519$$

- 21 ve 24 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.77$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.77 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(38.77 - 25) = 0.434$$

- 21 ve 25 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.375$$

- 21 ve 26 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 2.91m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.70m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.354$$

- 21 ve 27 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 3.90m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.00m \\ r_p = 0.1625m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{bmatrix} \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(40 - 25) = 0.300$$

- 21 ve 28 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.325} = 40.62$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.62 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75} \right).(40.62 - 25) = 0.299$$

- 28 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

  - 28 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

  - 28 ve 15 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 7.91\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.91}{0.325} = 24.33 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.314$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.154 + \left(\frac{0.314 - 0.154}{75}\right).(39.69 - 25) = 0.185$$

  - 28 ve 16 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 7.80\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{7.80}{0.325} = 24 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 12.75\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.75}{0.325} = 39.23$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.156 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.316$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 24 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.23 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.156 + \left(\frac{0.316 - 0.156}{75}\right).(39.23 - 25) = 0.186$$

- 28 ve 17 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.63m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.63}{0.325} = 20.4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 10.10m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{10.10}{0.325} = 31.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.334$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20.4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 31.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.195 + \left(\frac{0.334 - 0.195}{75}\right).(31.08 - 25) = 0.206$$

- 28 ve 18 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 6.50m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{6.50}{0.325} = 20 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.325} = 40.92$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.335$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 20 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.92 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.200 + \left(\frac{0.335 - 0.200}{75}\right).(40.92 - 25) = 0.229$$

- 28 ve 19 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.36m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.36}{0.325} = 16.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.60m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.77$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.77 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75}\right).(38.77 - 25) = 0.249$$

- 28 ve 20 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 5.20m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{5.20}{0.325} = 16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.386$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.242 + \left(\frac{0.386 - 0.242}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.269$$

- 28 ve 21 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 4.11\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.11}{0.325} = 12.65 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.90}{0.325} = 39.69$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12.65 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.69 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.428 - 0.265}{75}\right).(39.69 - 25) = 0.297$$

- 28 ve 22 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.90\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.90}{0.325} = 12 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.442$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 12 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.265 + \left(\frac{0.442 - 0.265}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.298$$

- 28 ve 23 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.91m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.91}{0.325} = 8.95 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.40m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.40}{0.325} = 38.15$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.474$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8.95 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.15 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.326 + \left(\frac{0.474 - 0.326}{75}\right).(38.15 - 25) = 0.352$$

- 28 ve 24 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.60m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.60}{0.325} = 8 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.60m \\ r_p = 0.1625m \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.60}{0.325} = 38.77$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 8 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 38.77 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.344 + \left(\frac{0.498 - 0.344}{75}\right).(38.77 - 25) = 0.372$$

- 28 ve 25 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.84\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.84}{0.325} = 5.66 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.10\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.10}{0.325} = 40.31$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.544$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.66 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40.31 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.409 + \left(\frac{0.544 - 0.409}{75}\right).(40.31 - 25) = 0.437$$

- 28 ve 26 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 12.70\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{12.70}{0.325} = 39.08$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 39.08 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(39.08 - 25) = 0.521$$

- 28 ve 27 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.30\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.30}{0.325} = 4 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.00\text{m} \\ r_p = 0.1625\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.00}{0.325} = 40$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.619$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 4 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 40 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.498 + \left(\frac{0.619 - 0.498}{75}\right).(40 - 25) = 0.522$$

2. gruba ait 3 farklı referans kazığı için toplam etkileşim faktörleri Tablo 3.5.'de verilmiştir.

Tablo 3.5. 2. gruba ait toplam etkileşim faktörleri

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
15-28 Nolu Kazıklar	**15**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	16	1,30	0,1625	0,325	4,00	12,75	39,23	0,521
	17	1,30	0,1625	0,325	4,00	10,10	31,08	0,508
	18	1,84	0,1625	0,325	5,66	13,30	40,92	0,438
	19	2,60	0,1625	0,325	8,00	12,60	38,77	0,372
	20	2,91	0,1625	0,325	8,95	12,70	39,08	0,354
	21	3,90	0,1625	0,325	12,00	12,90	39,69	0,300
	22	4,11	0,1625	0,325	12,65	12,70	39,08	0,296
	23	5,20	0,1625	0,325	16,00	12,40	38,15	0,267
	24	5,36	0,1625	0,325	16,49	12,60	38,78	0,249
	25	6,50	0,1625	0,325	20,00	13,10	40,31	0,228
	26	6,63	0,1625	0,325	20,40	12,70	39,08	0,221
	27	7,80	0,1625	0,325	24,00	13,00	40,00	0,188
	28	7,91	0,1625	0,325	24,33	13,20	40,62	0,187
								$\Sigma\alpha_A$=5,129

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
15-28 Nolu Kazıklar	**21**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	15	3,90	0,16	0,33	12,00	12,90	39,69	0,300
	16	4,11	0,16	0,33	12,65	12,75	39,23	0,296
	17	2,60	0,16	0,33	8,00	10,10	31,08	0,356
	18	2,91	0,16	0,33	8,95	13,30	40,92	0,357
	19	1,30	0,16	0,33	4,00	12,60	38,77	0,520
	20	1,84	0,16	0,33	5,66	12,70	39,08	0,434
	22	1,30	0,16	0,33	4,00	12,70	39,08	0,521
	23	1,30	0,16	0,33	4,00	12,40	38,15	0,519
	24	1,84	0,16	0,33	5,66	12,60	38,77	0,434
	25	2,60	0,16	0,33	8,00	13,10	40,31	0,375
	26	2,91	0,16	0,33	8,95	12,70	39,08	0,354
	27	3,90	0,16	0,33	12,00	13,00	40,00	0,300
	28	4,11	0,16	0,33	12,65	13,20	40,62	0,299
								$\Sigma\alpha_A$=6,065

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
15-28 Nolu Kazıklar	**28**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	15	7,91	0,1625	0,325	24,33	12,90	39,69	0,185
	16	7,80	0,1625	0,325	24,00	12,75	39,23	0,186
	17	6,63	0,1625	0,325	20,40	10,10	31,08	0,206
	18	6,50	0,1625	0,325	20,00	13,30	40,92	0,229
	19	5,36	0,1625	0,325	16,49	12,60	38,77	0,249
	20	5,20	0,1625	0,325	16,00	12,70	39,08	0,269
	21	4,11	0,1625	0,325	12,65	12,90	39,69	0,297
	22	3,90	0,1625	0,325	12,00	12,70	39,08	0,298
	23	2,91	0,1625	0,325	8,95	12,40	38,15	0,352
	24	2,60	0,1625	0,325	8,00	12,60	38,77	0,372
	25	1,84	0,1625	0,325	5,66	13,10	40,31	0,437
	26	1,30	0,1625	0,325	4,00	12,70	39,08	0,521
	27	1,30	0,1625	0,325	4,00	13,00	40,00	0,522
								$\Sigma\alpha_A$=5,123

❖ 3. gruba ait etkileşim faktörleri

➢ 30 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

▪ 30 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü “1” alınacaktır.

▪ 30 ve 29 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.00\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.00}{0.273} = 7.33 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.507$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 + \left(\frac{0.507 - 0.349}{75}\right).(48.35 - 25) = 0.398$$

▪ 30 ve 31 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.50}{0.273} = 9.16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.60\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.60}{0.273} = 49.82$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.460$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.82 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 + \left(\frac{0.460 - 0.312}{75}\right).(49.82 - 25) = 0.361$$

- 30 ve 32 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.50}{0.273} = 5.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.549$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 + \left(\frac{0.549 - 0.414}{75}\right).(48.35 - 25) = 0.456$$

- 30 ve 33 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.56\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.56}{0.273} = 13.04 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.80\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.80}{0.273} = 50.55$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.256 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.419$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 50.55 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.256 + \left(\frac{0.419 - 0.256}{75}\right).(50.55 - 25) = 0.312$$

- 30 ve 34 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.94\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.94}{0.273} = 10.77 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.70\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.70}{0.273} = 50.18$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.288 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.447$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 50.18 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.288 + \left(\frac{0.447 - 0.288}{75}\right).(50.18 - 25) = 0.341$$

- 30 ve 35 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 4.87\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.87}{0.273} = 17.84 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.273} = 48.72$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.214 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.353$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.72 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.214 + \left(\frac{0.353 - 0.214}{75}\right).(48.72 - 25) = 0.258$$

- 30 ve 36 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.44m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.44}{0.273} = 16.26 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.50m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.50}{0.273} = 49.45$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.45 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75} \right).(49.45 - 25) = 0.270$$

➢ 34 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 34 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 34 ve 29 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 3.56m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.56}{0.273} = 13.04 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.256 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.419$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.256 + \left(\frac{0.419 - 0.256}{75} \right).(48.35 - 25) = 0.307$$

- 34 ve 30 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 2.94m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.94}{0.273} = 10.77 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.50m \\ r_p = 0.1365m \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.50}{0.273} = 49.45$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.288 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.447$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.45 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.288 + \left(\frac{0.447 - 0.288}{75} \right).(49.45 - 25) = 0.340$$

- 34 ve 31 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.47\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.47}{0.273} = 9.05 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.60\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.60}{0.273} = 49.82$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.05 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.330 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.05 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.470$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.05 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.82 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.330 + \left(\frac{0.470 - 0.330}{75}\right).(49.82 - 25) = 0.376$$

- 34 ve 32 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.44\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.44}{0.273} = 5.29 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.29 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.29 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.558$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.29 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.428 + \left(\frac{0.558 - 0.428}{75}\right).(48.35 - 25) = 0.468$$

- 34 ve 33 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.00\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.00}{0.273} = 7.33 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.80\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.80}{0.273} = 50.55$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.507$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 50.55 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 + \left(\frac{0.507 - 0.349}{75}\right).(50.55 - 25) = 0.403$$

- 34 ve 35 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.50}{0.273} = 9.16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.30\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.30}{0.273} = 48.72$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.460$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.72 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 + \left(\frac{0.460 - 0.312}{75}\right).(48.72 - 25) = 0.359$$

- 34 ve 36 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.50}{0.273} = 5.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.50}{0.273} = 49.45$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.549$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.45 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 + \left(\frac{0.549 - 0.414}{75}\right).(49.45 - 25) = 0.458$$

➢ 35 nolu referans kazığı için etkileşim faktörleri

- 35 nolu referans kazığı için etkileşim faktörü "1" alınacaktır.

- 35 ve 29 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.44\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.44}{0.273} = 16.26 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.223 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.367$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 16.26 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.223 + \left(\frac{0.367 - 0.223}{75}\right).(48.35 - 25) = 0.268$$

- 35 ve 30 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\begin{bmatrix} S = 4.87\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{4.87}{0.273} = 17.84 \qquad \begin{bmatrix} L_p = 13.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{bmatrix} \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.50}{0.273} = 49.45$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.214 \qquad \begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.353$$

$$\begin{bmatrix} \frac{S}{2r_p} = 17.84 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.45 \end{bmatrix} \Rightarrow \alpha_A = 0.214 + \left(\frac{0.353 - 0.214}{75}\right).(49.45 - 25) = 0.259$$

- 35 ve 31 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.94\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.94}{0.273} = 10.77 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.60\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.60}{0.273} = 49.82$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.288 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.447$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 10.77 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.82 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.288 + \left(\frac{0.447 - 0.288}{75}\right).(49.82 - 25) = 0.341$$

- 35 ve 32 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 3.56\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{3.56}{0.273} = 13.04 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.20\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.20}{0.273} = 48.35$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.256 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.419$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 13.04 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 48.35 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.256 + \left(\frac{0.419 - 0.256}{75}\right).(48.35 - 25) = 0.307$$

- 35 ve 33 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 1.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{1.50}{0.273} = 5.49 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.80\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.80}{0.273} = 50.55$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.549$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 5.49 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 50.55 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.414 + \left(\frac{0.549 - 0.414}{75}\right).(50.55 - 25) = 0.460$$

- 35 ve 34 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.50}{0.273} = 9.16 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.70\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.70}{0.273} = 50.18$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.460$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 9.16 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 50.18 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.312 + \left(\frac{0.460 - 0.312}{75}\right).(50.18 - 25) = 0.362$$

- 35 ve 36 nolu kazıklar arası etkileşim faktörü

$$\left[\begin{matrix} S = 2.00\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{S}{2r_p} = \frac{2.00}{0.273} = 7.33 \qquad \left[\begin{matrix} L_p = 13.50\text{m} \\ r_p = 0.1365\text{m} \end{matrix}\right] \Rightarrow \frac{L_p}{2r_p} = \frac{13.50}{0.273} = 49.45$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 25 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 \qquad \left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 100 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.507$$

$$\left[\begin{matrix} \frac{S}{2r_p} = 7.33 \\ \frac{L_p}{2r_p} = 49.45 \end{matrix}\right] \Rightarrow \alpha_A = 0.349 + \left(\frac{0.507 - 0.349}{75}\right).(49.45 - 25) = 0.401$$

3. gruba ait 3 farklı referans kazığı için toplam etkileşim faktörleri Tablo 3.6.'de verilmiştir.

Tablo 3.6. 3. gruba ait toplam etkileşim faktörleri

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
29-36 Nolu Kazıklar	**30**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	29	2,00	0,1365	0,273	7,33	13,20	48,35	0,398
	31	2,50	0,1365	0,273	9,16	13,60	49,82	0,361
	32	1,50	0,1365	0,273	5,49	13,20	48,35	0,456
	33	3,56	0,1365	0,273	13,04	13,80	50,55	0,312
	34	2,94	0,1365	0,273	10,77	13,70	50,18	0,341
	35	4,87	0,1365	0,273	17,84	13,30	48,72	0,258
	36	4,44	0,1365	0,273	16,26	13,50	49,45	0,270
								$\Sigma\alpha_A$=3,396

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
29-36 Nolu Kazıklar	**34**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	29	3,56	0,14	0,27	13,04	13,20	48,35	0,307
	30	2,94	0,14	0,27	10,77	13,50	49,45	0,340
	31	2,47	0,14	0,27	9,05	13,60	49,82	0,376
	32	1,44	0,14	0,27	5,29	13,20	48,35	0,468
	33	2,00	0,14	0,27	7,33	13,80	50,55	0,403
	35	2,50	0,14	0,27	9,16	13,30	48,72	0,359
	36	1,50	0,14	0,27	5,49	13,50	49,45	0,458
								$\Sigma\alpha_A$=3,711

	Kazık No	S (m)	r_p (m)	$2r_p$ (m)	$S/2r_p$	L_p (m)	$L_p/2r_p$	α_A
29-36 Nolu Kazıklar	**35**	-	-		Referans Kazığı	-	-	1
	29	4,44	0,1365	0,273	16,26	13,20	48,35	0,268
	30	4,87	0,1365	0,273	17,84	13,50	49,45	0,259
	31	2,94	0,1365	0,273	10,77	13,60	49,82	0,341
	32	3,56	0,1365	0,273	13,04	13,20	48,35	0,307
	33	1,50	0,1365	0,273	5,49	13,80	50,55	0,460
	34	2,50	0,1365	0,273	9,16	13,70	50,18	0,362
	36	2,00	0,1365	0,273	7,33	13,50	49,45	0,401
								$\Sigma\alpha_A$=3,398

Her grup için bulunan etkileşim faktörlerinden, hesaplarda güvenli tarafta kalmak amacıyla büyük olan değerler gözönüne alınmıştır.

❖ Kazık gruplarına ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri

Eşitlik 2.41 ve 2.42 kullanılarak

- 1. gruba ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri

$$k_w^g = \frac{2667600}{6.072} = 439328.06\,\text{t/m}$$

$$c_w^g = \frac{2946.167}{6.072} = 485.21\,\text{tsn/m}$$

- 2. gruba ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri

$$k_w^g = \frac{2709600}{6.065} = 446760.10\,\text{t/m}$$

$$c_w^g = \frac{2868.280}{6.065} = 472.92\,\text{tsn/m}$$

- 3. gruba ait düşey rijitlik ve sönüm değerleri

$$k_w^g = \frac{1101900}{3.711} = 296928.05\,\text{t/m}$$

$$c_w^g = \frac{1364.452}{3.711} = 367.68\,\text{tsn/m}$$

olarak bulunur.

❖ Kazık gruplarının toplam düşey rijitlik ve sönüm değerleri

$$\Sigma k_w^g = 439328.06 + 446760.10 + 296928.05 = 1183016.21\,\text{t/m}$$

$$\Sigma c_w^g = 485.21 + 472.92 + 367.68 = 1325.81\,\text{tsn/m}$$

3.3.2 Yanal Vibrasyon Durumunda Grup Etkisi Hesabı

Düşey vibrasyon durumunda grup etkisi hesaplanırken referans kazığı olarak seçilen kazıklar, yanal vibrasyon durumu için de geçerlidir. Farklı kazık çapları için relatif rijitlik ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$K_{R1} = \frac{E_p I_{p1}}{2(G_s)_p (1+\upsilon_s)\left((L_p^1)_{ort}\right)^4} \tag{3.4}$$

K_{R1}: 1-28 nolu kazıklara ait relatif rijitlik

$\beta = 0$

$(L^1{}_p)_{ort}$: 1-28 nolu kazıkların ortalama boyu

$$K_{R1} = \frac{1193.196}{2.29{,}25.(1+0.4)(12.65)^4} = 5{,}69.10^{-4}$$

$$K_{R2} = \frac{E_p I_{p2}}{2(G_s)_p (1+\upsilon_s)\left((L_p^2)_{ort}\right)^4} \tag{3.5}$$

K_{R2}: 29-36 nolu kazıklara ait relatif rijitlik

$(L^2{}_p)_{ort}$: 29-36 nolu kazıkların ortalama boyu

$$K_{R2} = \frac{2042.040}{2.29{,}25.(1+0.4)(13.48)^4} = 7{,}55.10^{-4}$$

$(L^1{}_p)_{ort}$ ve $(L^2{}_p)_{ort}$ değerleri Tablo 3.2.'de hesaplanmıştır. Belirlenen K_{R1} ve K_{R2} değerleri Şekil 2.5'te belirtilen $K_R=10^{-5}$ değerine daha yakın olduğundan tüm kazıklar için esnek kazık kabulu yapılmıştır. Buna bağlı olarak 3 grup için belirlenen yanal ötelenme için yerdeğiştirme faktörleri Tablo 3.7.'de verilmiştir.

Tablo 3.7. Kazık gruplarına ait yanal ötelenme yerdeğiştirme faktörleri

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
1-14 Nolu Kazıklar	1	Referans Kazığı	1
	2	4,00	0,4
	3	4,00	0,4
	4	5,66	0,234
	5	8,00	0
	6	8,95	0
	7	12,00	0
	8	12,65	0
	9	16,00	0
	10	16,49	0
	11	20,00	0
	12	20,40	0
	13	24,00	0
	14	24,33	0
			$\Sigma\alpha_L$=2,034

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
1-14 Nolu Kazıklar	7	Referans Kazığı	1
	1	12,00	0
	2	12,65	0
	3	8,00	0
	4	8,95	0
	5	4,00	0,4
	6	5,66	0,234
	8	4,00	0,4
	9	4,00	0,4
	10	5,66	0,234
	11	8,00	0
	12	8,95	0
	13	12,00	0
	14	12,65	0
			$\Sigma\alpha_L$=2,668

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
1-14 Nolu Kazıklar	14	Referans Kazığı	1
	1	24,33	0
	2	24,00	0
	3	20,40	0
	4	20,00	0
	5	16,49	0
	6	16,00	0
	7	12,65	0
	8	12,00	0
	9	8,95	0
	10	8,00	0
	11	5,66	0,234
	12	4,00	0,4
	13	4,00	0,4
			$\Sigma\alpha_L$=2,034

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
15-28 Nolu Kazıklar	15	Referans Kazığı	1
	16	4,00	0,4
	17	4,00	0,4
	18	5,66	0,234
	19	8,00	0
	20	8,95	0
	21	12,00	0
	22	12,65	0
	23	16,00	0
	24	16,49	0
	25	20,00	0
	26	20,40	0
	27	24,00	0
	28	24,33	0
			$\Sigma\alpha_L$=2,034

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
15-28 Nolu Kazıklar	21	Referans Kazığı	1
	15	12,00	0
	16	12,65	0
	17	8,00	0
	18	8,95	0
	19	4,00	0,4
	20	5,66	0,234
	22	4,00	0,4
	23	4,00	0,4
	24	5,66	0,234
	25	8,00	0
	26	8,95	0
	27	12,00	0
	28	12,65	0
			$\Sigma\alpha_L$=2,668

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
15-28 Nolu Kazıklar	28	Referans Kazığı	1
	15	24,33	0
	16	24,00	0
	17	20,40	0
	18	20,00	0
	19	16,49	0
	20	16,00	0
	21	12,65	0
	22	12,00	0
	23	8,95	0
	24	8,00	0
	25	5,66	0,234
	26	4,00	0,4
	27	4,00	0,4
			$\Sigma\alpha_L$=2,034

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
29-36 Nolu Kazıklar	35	Referans Kazığı	1
	29	16,26	0
	30	17,84	0
	31	10,77	0
	32	13,04	0
	33	5,49	0
	34	9,16	0
	36	7,33	0,08
			$\Sigma\alpha_L$=1,08

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
29-36 Nolu Kazıklar	34	Referans Kazığı	1
	29	13,04	0
	30	10,77	0
	31	9,05	0
	32	5,29	0,271
	33	7,33	0,08
	35	9,16	0
	36	5,49	0,251
			$\Sigma\alpha_L$=1,602

	Kazık No	$S/2r_p$	α_L
29-36 Nolu Kazıklar	30	Referans Kazığı	1
	29	7,33	0,08
	31	9,16	0
	32	5,49	0,251
	33	13,04	0
	34	10,77	0
	35	17,84	0
	36	16,26	0
			$\Sigma\alpha_L$=1,331

Her grup için bulunan yanal ötelenme yerdeğiştirme faktörünün, hesaplarda güvenli tarafta kalmak amacıyla büyük olan değerleri gözönüne alınmıştır. Tablo 3.7.'den görüldüğü gibi 1. ve 2. grup için en büyük değer 2.668, 3. grup için 1.602 olarak belirlenmiştir.

❖ Kazık gruplarının toplam yatay rijitlik ve sönüm değerleri

Eşitlik 2.43 ve 2.44 kullanılarak

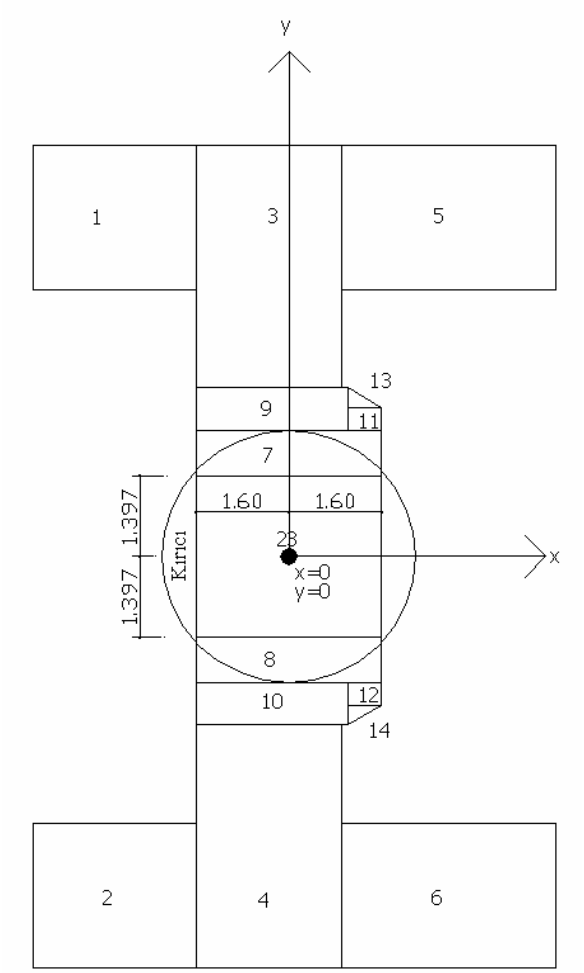
$$k_x^g = 28\left(\frac{4663.70}{2.668}\right) + 8\left(\frac{4597.69}{1.602}\right) = 71904.13\,\text{t/m}$$

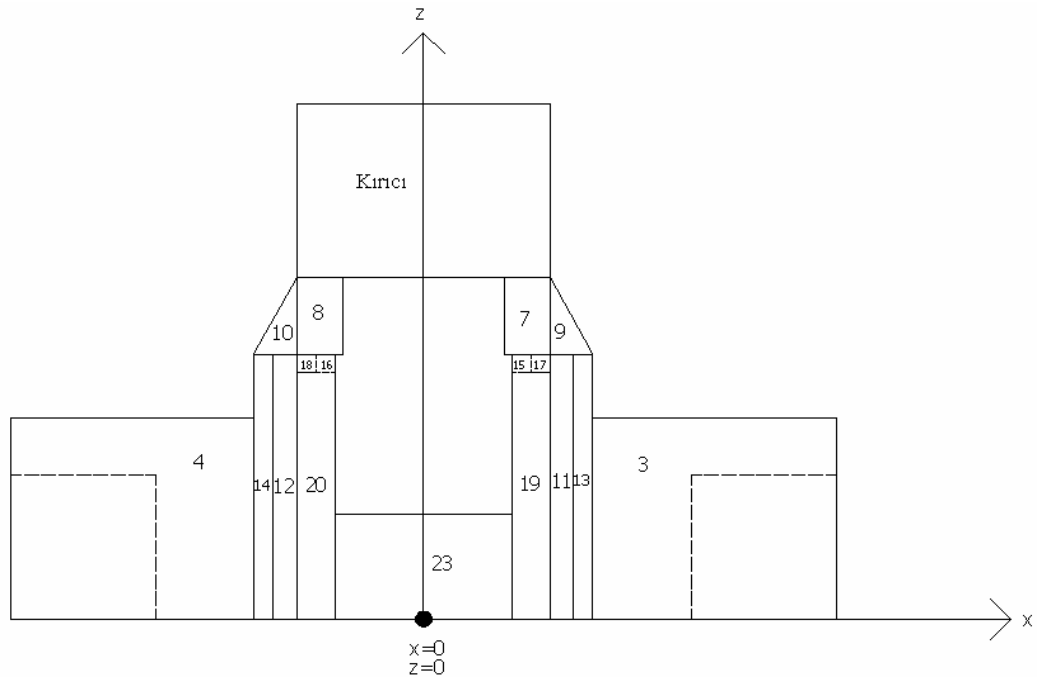
$$c_x^g = 28\left(\frac{14.53}{2.668}\right) + 8\left(\frac{12.03}{1.602}\right) = 212.56\,\text{tsn/m}$$

olarak hesaplanır.

3.3.3 x-y Eksenleri Doğrultusunda Dönme Durumunda Grup Etkisi Hesabı

Dönme durumunda grup etkisi hesabı için temel sistemine ait kütle ağırlık merkezinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu işlem için temel sistemi 23 parçaya bölünerek her parçanın ağırlık merkezinin rastgele seçilen x-y-z eksen takımına olan uzaklıklarından yararlanılmış; temel sistemi ve kırıcının ağırlık merkezinden geçen eksen takımları belirlenmiştir.





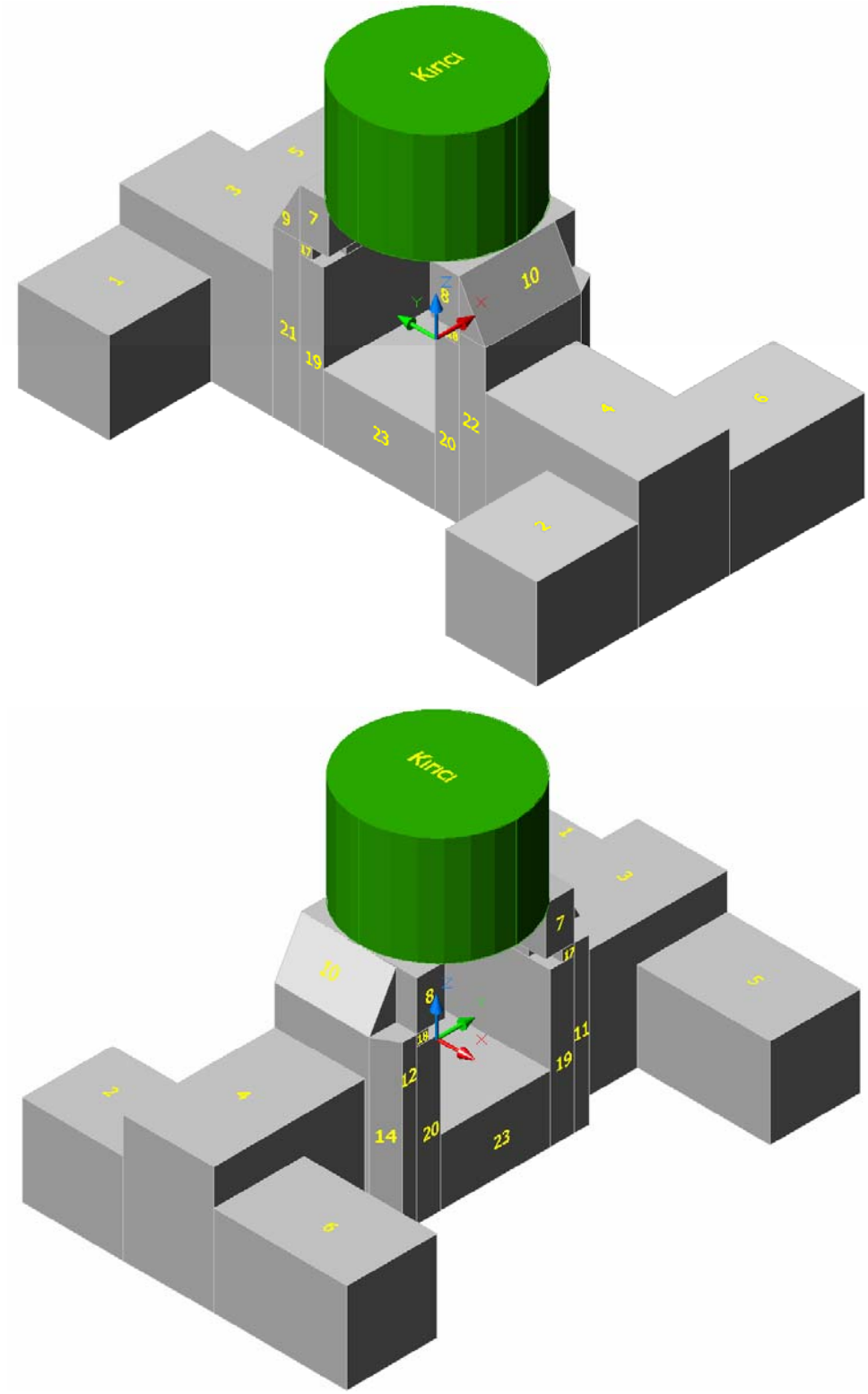
Şekil 3.10 Rastgele seçilen x-y ve x-z eksenlerinin konum

Tablo 3.8. Temel sistemine ait kütle ağırlık merkezinin gerçek x-y-z koordinatları

Sistemin Elemanları (Kırıcı+Temel)	Geometrik Şekil	l_x (m)	l_y (m)	l_z (m)	Hacim (m^3)	γ_{beton} (t/m^3)	Ağırlık (ton)	Kütle m ($t.sn^2/m$)	Ağırlık Merk. Koor. (m)			Statik Kütle Momenti		
									x_i	y_i	z_i	$m.x_i$	$m.y_i$	$m.z_i$
Kırıcı	Silindir	4,370	4,370	3,010	45,146	-	90,000	9,177	0,000	0,000	7,430	0,000	0,000	68,186
1	Dik.Priz.	2,800	2,500	2,500	17,500	2,400	42,000	4,283	-3,000	5,872	1,250	-12,848	25,148	5,353
2	Dik.Priz.	2,800	2,500	2,500	17,500	2,400	42,000	4,283	-3,000	-5,872	1,250	-12,848	-25,148	5,353
3	Dik.Priz.	2,500	4,200	3,500	36,750	2,400	88,200	8,994	-0,350	5,022	1,750	-3,148	45,166	15,739
4	Dik.Priz.	2,500	4,200	3,500	36,750	2,400	88,200	8,994	-0,350	-5,022	1,750	-3,148	-45,166	15,739
5	Dik.Priz.	3,700	2,500	2,500	23,125	2,400	55,500	5,659	2,750	5,872	1,250	15,563	33,231	7,074
6	Dik.Priz.	3,700	2,500	2,500	23,125	2,400	55,500	5,659	2,750	-5,872	1,250	15,563	-33,231	7,074
7	Dik.Priz.	3,200	0,788	1,346	3,394	2,400	8,146	0,831	0,000	1,791	5,252	0,000	1,488	4,362
8	Dik.Priz.	3,200	0,788	1,346	3,394	2,400	8,146	0,831	0,000	-1,791	5,252	0,000	-1,488	4,362
9	Üçg.Priz.	2,628	0,737	1,346	1,303	2,400	3,128	0,319	-0,286	2,431	5,028	-0,091	0,775	1,604
10	Üçg.Priz.	2,628	0,737	1,346	1,303	2,400	3,128	0,319	-0,286	-2,431	5,028	-0,091	-0,775	1,604
11	Dik.Priz.	0,572	0,407	4,579	1,066	2,400	2,558	0,261	1,314	2,389	2,290	0,343	0,623	0,597
12	Dik.Priz.	0,572	0,407	4,579	1,066	2,400	2,558	0,261	1,314	-2,389	2,290	0,343	-0,623	0,597
13	Üçg.Priz.	0,572	0,330	4,579	0,432	2,400	1,037	0,106	1,219	2,702	2,290	0,129	0,286	0,242
14	Üçg.Priz.	0,572	0,330	4,579	0,432	2,400	1,037	0,106	1,219	-2,702	2,290	0,129	-0,286	0,242
15	Dik.Priz.	1,980	0,330	0,305	0,199	2,400	0,478	0,049	0,000	1,689	4,427	0,000	0,082	0,216
16	Dik.Priz.	1,980	0,330	0,305	0,199	2,400	0,478	0,049	0,000	-1,689	4,427	0,000	-0,082	0,216
17	Dik.Priz.	3,200	0,331	0,305	0,323	2,400	0,775	0,079	0,000	2,020	4,427	0,000	0,160	0,350
18	Dik.Priz.	3,200	0,331	0,305	0,323	2,400	0,775	0,079	0,000	-2,020	4,427	0,000	-0,160	0,350
19	Dik.Priz.	3,200	0,661	4,274	9,040	2,400	21,697	2,212	0,000	1,855	2,137	0,000	4,103	4,728
20	Dik.Priz.	3,200	0,661	4,274	9,040	2,400	21,697	2,212	0,000	-1,855	2,137	0,000	-4,103	4,728
21	Dik.Priz.	2,628	0,737	4,579	8,869	2,400	21,285	2,170	-0,286	2,554	2,290	-0,621	5,542	4,969
22	Dik.Priz.	2,628	0,737	4,579	8,869	2,400	21,285	2,170	-0,286	-2,554	2,290	-0,621	-5,542	4,969
23	Dik.Priz.	3,200	3,048	1,829	17,839	2,400	42,814	4,366	0,000	0,000	0,915	0,000	0,000	3,992
					ΣV=266,990		ΣW=622,425	Σm=63,467				$\Sigma m.x_i$=-1,346	$\Sigma m.y_i$=0,000	$\Sigma m.z_i$=162,647

$$x_{i\,sis} = \frac{\Sigma\, m.x_i}{\Sigma\, m} = \frac{-1.346}{63.467} = -0.021\text{m} \qquad y_{i\,sis} = \frac{\Sigma\, m.y_i}{\Sigma\, m} = \frac{0}{63.467} = 0\text{m} \qquad z_{i\,sis} = \frac{\Sigma\, m.z_i}{\Sigma\, m} = \frac{162.647}{63.467} = 2.563\text{ m}$$

Tablo 3.8.'de gösterilen $x_{i\ sis}$, $y_{i\ sis}$ ve $z_{i\ sis}$ değerleri temel sisteminin kütle ağırlık merkezinin, rastgele seçilen eksen takımına göre konumunu göstermektedir. Hesaplanan ağırlık merkezi ve numaralandırılmış sistem elemanları Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Temel sistemi elemanları ve sistemin kütle ağırlık merkezi

❖ x ekseni doğrultusunda kazık grubunun dönme rijitlik hesabı

Rijitlik hesabı için

$$\Sigma k_{\phi}^{xg} = \sum_{n=1}^{n=36}\left[k_{\phi}^{1} + k_{w}^{1}.x_{r}^{\ 2} + k_{x}^{1}.z_{c}^{\ 2} - 2z_{c}.k_{x\phi}^{1}\right] \qquad (2.46)$$

eşitliği kullanılarak dönme rijitliği hesaplanmıştır. Denkleme ait değerler Tablo 3.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 3.9. Kazık gruplarının x yönündeki toplam dönme rijitlik değeri hesabı

Kazık No	$k_{Ø}^{1}$	k_{w}^{1}	x_r	$(x_r)^2$	k_{x}^{1}	z_c	$(z_c)^2$	$2z_c$	$k_{xØ}^{1}$	$k_{Ø}^{xg}$
1	3440,68	188600	3,379	11,418	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	2,19E+06
2	3440,68	181300	3,379	11,418	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	2,11E+06
3	3440,68	178200	2,479	6,145	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,13E+06
4	3440,68	188600	2,479	6,145	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,20E+06
5	3440,68	207400	1,179	1,390	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,27E+05
6	3440,68	195900	1,179	1,390	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,11E+05
7	3440,68	188600	0,121	0,015	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,18E+04
8	3440,68	192800	0,121	0,015	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,19E+04
9	3440,68	202100	1,421	2,019	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,47E+05
10	3440,68	207400	1,421	2,019	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,58E+05
11	3440,68	188600	2,721	7,404	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,44E+06
12	3440,68	181300	2,721	7,404	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,38E+06
13	3440,68	188600	4,021	16,168	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,09E+06
14	3440,68	178200	4,021	16,168	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	2,92E+06
15	3440,68	192800	3,379	11,418	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	2,24E+06
16	3440,68	192800	3,379	11,418	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	2,24E+06
17	3440,68	211500	2,479	6,145	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,34E+06
18	3440,68	181300	2,479	6,145	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,15E+06
19	3440,68	192800	1,179	1,390	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,07E+05
20	3440,68	196700	1,179	1,390	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,13E+05
21	3440,68	192800	0,121	0,015	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,19E+04
22	3440,68	196700	0,121	0,015	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,20E+04
23	3440,68	196900	1,421	2,019	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,37E+05
24	3440,68	192800	1,421	2,019	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,28E+05
25	3440,68	188600	2,721	7,404	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,44E+06
26	3440,68	196700	2,721	7,404	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	1,50E+06
27	3440,68	188600	4,021	16,168	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,09E+06
28	3440,68	188600	4,021	16,168	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	3,09E+06
29	2393,39	139000	0,979	0,958	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,70E+05
30	2393,39	138100	1,021	1,042	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,81E+05
31	2393,39	136400	0,979	0,958	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,67E+05
32	2393,39	139000	1,021	1,042	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,82E+05
33	2393,39	136400	0,979	0,958	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,67E+05
34	2393,39	136400	1,021	1,042	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,79E+05
35	2393,39	138500	0,979	0,958	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,69E+05
36	2393,39	138100	1,021	1,042	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,81E+05
										$\Sigma k_{Ø}^{xg}$=36132745,95

❖ x ekseni doğrultusunda kazık grubunun dönme sönüm hesabı

Sönüm hesabı için

$$\Sigma c_{\phi}^{xg} = \sum_{n=1}^{n=36}\left[c_{\phi}^{1} + c_{w}^{1}.x_{r}^{\ 2} + c_{x}^{1}.z_{c}^{\ 2} - 2z_{c}.c_{x\phi}^{1}\right] \qquad (2.47)$$

eşitliği kullanılarak dönme sönümü hesaplanmıştır. Denkleme ait değerler Tablo 3.101'da gösterilmiştir.

Tablo 3.10. Kazık gruplarının x yönündeki toplam dönme sönüm değeri hesabı

Kazık No	$c_{ø}^{1}$	c_{w}^{1}	x_r	$(x_r)^2$	c_{x}^{1}	z_c	$(z_c)^2$	$2z_c$	$c_{xø}^{1}$	$c_{ø}^{xg}$
1	3,12	211,086	3,379	11,418	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	2,52E+03
2	3,12	218,987	3,379	11,418	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	2,61E+03
3	3,12	218,987	2,479	6,145	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,45E+03
4	3,12	211,086	2,479	6,145	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,41E+03
5	3,12	193,025	1,179	1,390	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,76E+02
6	3,12	200,926	1,179	1,390	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,87E+02
7	3,12	218,987	0,121	0,015	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,11E+02
8	3,12	207,699	0,121	0,015	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,11E+02
9	3,12	196,411	1,421	2,019	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,05E+02
10	3,12	193,025	1,421	2,019	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	4,98E+02
11	3,12	218,987	2,721	7,404	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,73E+03
12	3,12	218,987	2,721	7,404	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,73E+03
13	3,12	218,987	4,021	16,168	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,65E+03
14	3,12	218,987	4,021	16,168	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,65E+03
15	3,12	207,699	3,379	11,418	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	2,48E+03
16	3,12	206,570	3,379	11,418	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	2,47E+03
17	3,12	182,866	2,479	6,145	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,23E+03
18	3,12	218,987	2,479	6,145	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,45E+03
19	3,12	193,025	1,179	1,390	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,76E+02
20	3,12	206,570	1,179	1,390	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,95E+02
21	3,12	207,699	0,121	0,015	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,11E+02
22	3,12	206,570	0,121	0,015	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,11E+02
23	3,12	197,540	1,421	2,019	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,07E+02
24	3,12	193,025	1,421	2,019	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	4,98E+02
25	3,12	211,086	2,721	7,404	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,67E+03
26	3,12	206,570	2,721	7,404	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	1,64E+03
27	3,12	218,987	4,021	16,168	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,65E+03
28	3,12	211,086	4,021	16,168	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	3,52E+03
29	1,82	166,280	0,979	0,958	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,47E+02
30	1,82	171,054	1,021	1,042	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,66E+02
31	1,82	174,236	0,979	0,958	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,54E+02
32	1,82	166,280	1,021	1,042	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,61E+02
33	1,82	174,236	0,979	0,958	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,54E+02
34	1,82	174,236	1,021	1,042	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,69E+02
35	1,82	167,076	0,979	0,958	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,48E+02
36	1,82	171,054	1,021	1,042	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	2,66E+02
										$\Sigma c_{ø}^{xg}$=42905,21

x ekseni doğrultusundaki toplam dönme rijitlik ve sönüm değerleri

$$\Sigma k_{\phi}^{xg} = 36132745.95\,\text{tm}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{xg} = 42905.21\,\text{tmsn}$$

olarak hesaplanmıştır.

❖ y ekseni doğrultusunda kazık grubunun dönme rijitlik hesabı

Rijitlik hesabı için

$$\Sigma k_{\phi}^{yg} = \sum_{n=1}^{n=36}\left[k_{\phi}^{1} + k_{w}^{1}.y_{r}^{\ 2} + k_{x}^{1}.z_{c}^{\ 2} - 2z_{c}.k_{x\phi}^{1}\right] \qquad (2.48)$$

eşitliği kullanılarak dönme rijitliği hesaplanmıştır. Denkleme ait değerler Tablo 3.11.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.11. Kazık gruplarının y yönündeki toplam dönme rijitlik değeri hesabı

Kazık No	$k_{Ø}^{1}$	k_{w}^{1}	y_r	$(y_r)^2$	k_{x}^{1}	z_c	$(z_c)^2$	$2z_c$	$k_{xØ}^{1}$	$k_{Ø}^{yg}$
1	3440,68	188600	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,18E+06
2	3440,68	181300	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	7,75E+06
3	3440,68	178200	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,90E+06
4	3440,68	188600	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,06E+06
5	3440,68	207400	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,69E+06
6	3440,68	195900	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,37E+06
7	3440,68	188600	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,18E+06
8	3440,68	192800	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,24E+06
9	3440,68	202100	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,55E+06
10	3440,68	207400	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,86E+06
11	3440,68	188600	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,18E+06
12	3440,68	181300	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	7,75E+06
13	3440,68	188600	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,18E+06
14	3440,68	178200	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	7,62E+06
15	3440,68	192800	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,24E+06
16	3440,68	192800	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,30E+06
17	3440,68	211500	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	9,04E+06
18	3440,68	181300	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	4,98E+06
19	3440,68	192800	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,24E+06
20	3440,68	196700	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,40E+06
21	3440,68	192800	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,24E+06
22	3440,68	196700	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,40E+06
23	3440,68	196900	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,41E+06
24	3440,68	192800	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,30E+06
25	3440,68	188600	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,06E+06
26	3440,68	196700	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,40E+06
27	3440,68	188600	6,522	42,536	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	8,06E+06
28	3440,68	188600	5,222	27,269	4663,70	2,563	6,569	5,126	-2505,55	5,18E+06
29	2393,39	139000	2,222	4,937	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	7,23E+05
30	2393,39	138100	2,222	4,937	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	7,19E+05
31	2393,39	136400	0,722	0,521	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,08E+05
32	2393,39	139000	0,722	0,521	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,09E+05
33	2393,39	136400	0,722	0,521	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,08E+05
34	2393,39	136400	0,722	0,521	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	1,08E+05
35	2393,39	138500	2,222	4,937	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	7,21E+05
36	2393,39	138100	2,222	4,937	4597,69	2,563	6,569	5,126	-2074,87	7,19E+05
										$\Sigma k_{Ø}^{yg}$=192101481,53

❖ y ekseni doğrultusunda kazık grubunun dönme sönüm hesabı

Sönüm hesabı için

$$\Sigma c_{\phi}^{yg} = \sum_{n=1}^{n=36}\left[c_{\phi}^{1} + c_{w}^{1}.y_{r}^{\ 2} + c_{x}^{1}.z_{c}^{\ 2} - 2z_{c}.c_{x\phi}^{1}\right] \qquad (2.49)$$

eşitliği kullanılarak dönme sönümü hesaplanmıştır. Denkleme ait değerler Tablo 3.12'de gösterilmiştir.

Tablo 3.12. Kazık gruplarının y yönündeki toplam dönme sönüm değeri hesabı

Kazık No	$c_{ø}^{1}$	c_{w}^{1}	y_r	$(y_r)^2$	c_{x}^{1}	z_c	$(z_c)^2$	$2z_c$	$c_{xø}^{1}$	$c_{ø}^{yg}$
1	3,12	211,086	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,86E+03
2	3,12	218,987	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,42E+03
3	3,12	218,987	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	6,08E+03
4	3,12	211,086	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,09E+03
5	3,12	193,025	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,37E+03
6	3,12	200,926	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,65E+03
7	3,12	218,987	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	6,08E+03
8	3,12	207,699	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,94E+03
9	3,12	196,411	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,46E+03
10	3,12	193,025	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,32E+03
11	3,12	218,987	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	6,08E+03
12	3,12	218,987	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,42E+03
13	3,12	218,987	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	6,08E+03
14	3,12	218,987	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,42E+03
15	3,12	207,699	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,94E+03
16	3,12	206,570	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,74E+03
17	3,12	182,866	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	7,89E+03
18	3,12	218,987	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	6,08E+03
19	3,12	193,025	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,32E+03
20	3,12	206,570	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,74E+03
21	3,12	207,699	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,94E+03
22	3,12	206,570	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,74E+03
23	3,12	197,540	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	8,51E+03
24	3,12	193,025	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,37E+03
25	3,12	211,086	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,09E+03
26	3,12	206,570	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,74E+03
27	3,12	218,987	6,522	42,536	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	9,42E+03
28	3,12	211,086	5,222	27,269	14,53	2,563	6,569	5,126	-4,77	5,86E+03
29	1,82	166,280	2,222	4,937	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	9,08E+02
30	1,82	171,054	2,222	4,937	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	9,32E+02
31	1,82	174,236	0,722	0,521	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	1,78E+02
32	1,82	166,280	0,722	0,521	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	1,74E+02
33	1,82	174,236	0,722	0,521	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	1,78E+02
34	1,82	174,236	0,722	0,521	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	1,78E+02
35	1,82	167,076	2,222	4,937	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	9,12E+02
36	1,82	171,054	2,222	4,937	12,03	2,563	6,569	5,126	-3,32	9,32E+02
										$\Sigma c_{ø}^{yg}$=210077,62

y ekseni doğrultusundaki toplam dönme rijitlik ve sönüm değerleri

$$\Sigma k_{\phi}^{yg} = 192101481.53\,\text{tm}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{yg} = 210077.62\,\text{tmsn}$$

olarak hesaplanmıştır.

3.4 Kazık Başlığının Zeminle Sürtünmesinden Doğan Rijitlik ve Sönüm Hesabı

3.4.1 Düşey Vibrasyon Durumunda Kazık Başlığına Ait Rijitlik ve Sönüm Hesabı

❖ Rijitlik hesabı

$$k_w^f = G_s.h_c.\bar{S}_1 \qquad (2.50)$$

$h_c = 4.000 - 2.324 = 1.676\,m$
$G_s = 3900\,t/m^2$
$\bar{S}_1 = 2.7$

$k_w^f = 3900.1,676.2,7 = 17648.28\,t/m$

❖ Sönüm hesabı

$$c_w^f = h_c.(r_o)_c.\bar{S}_2.\sqrt{(G_s.\rho_s)} \qquad (2.51)$$

$$A_c = \pi.((r_o)_c)^2 \qquad (3.6)$$

A_c: kazık başlığının taban alanı

$A_c = 2.2,8.2,5 + 2.2,5.4,2 + 2.3,7.2,5 + 2.2,628.0,737 + 0,572.0,33 + 2.0,407.0,572 +$
$+ 2.3,2.0,788 + 2,794.3,2 = 72.01\,m^2$

$$(r_o)_c = \sqrt{\frac{A_c}{\pi}} = \sqrt{\frac{72.01}{3.14}} = 4.789\,m$$

$h_c = 1.676\,m$ $\qquad \rho_s = \frac{1.7}{9.807} = 0.173\,tsn^2/m^4$ $\qquad \bar{S}_2 = 6.7$

$c_w^f = 1,676.4,789.6,7.\sqrt{(3900.0,173)} = 1396.85\,tsn/m$

- Temel sisteminin toplam düşey rijitliği

$$\Sigma k_w = \Sigma k_w^g + k_w^f \tag{2.52}$$

Σk_w: temel sisteminin toplam düşey rijitliği

- Temel sisteminin toplam düşey sönümü

$$\Sigma c_w = \Sigma c_w^g + c_w^f \tag{2.53}$$

Σc_w: temel sisteminin toplam düşey sönümü

Tablo 3.13. Temel sisteminin düşey yöndeki toplam rijitlik ve sönüm değerleri

Referans Kazığı	Σk_w^1 (t/m)	Σc_w^1 (tsn/m)	α_A	k_w^g (t/m)	c_w^g (tsn/m)	k_w^f (t/m)	c_w^f (tsn/m)	Σk_w (t/m)	Σc_w (tsn/m)
1	2667600	2946,167	5,125	520507,32	574,86	17648,28	1396,85	538155,60	1971,71
7	2667600	2946,167	6,072	439328,06	485,21	17648,28	1396,85	456976,34	1882,06
14	2667600	2946,167	5,125	520507,32	574,86	17648,28	1396,85	538155,60	1971,71
15	2709600	2868,28	5,129	528290,12	559,23	17648,28	1396,85	545938,40	1956,08
21	2709600	2868,28	6,065	446760,10	472,92	17648,28	1396,85	464408,38	1869,77
28	2709600	2868,28	5,123	528908,84	559,88	17648,28	1396,85	546557,12	1956,73
30	1101900	1364,452	3,396	324469,96	401,78	17648,28	1396,85	342118,24	1798,63
34	1101900	1364,452	3,711	296928,05	367,68	17648,28	1396,85	314576,33	1764,53
35	1101900	1364,452	3,398	324278,99	401,55	17648,28	1396,85	341927,27	1798,40

Temel sisteminin toplam düşey rijitlik ve sönüm değerleri belirlenirken güvenli tarafta kalmak amacıyla en küçük değerler kullanılmıştır.

$$\Sigma k_w = 456976.34 + 464408.38 + 314576.33 = 1235961.05\,\text{t/m}$$

$$\Sigma c_w = 1882.06 + 1869.77 + 1764.53 = 5516.36\,\text{tsn/m}$$

3.4.2 Yanal Vibrasyon Durumunda Kazık Başlığına Ait Rijitlik ve Sönüm Hesabı

❖ Rijitlik hesabı

$$k_x^f = (G_s)_c . h_c . \bar{S}_{x1} \qquad (2.54)$$

$(G_s)_c$: kazık başlığı çevresindeki zeminin kayma modülü (gerçek değerin %60'ı)

$\bar{S}_{x1}$, $\bar{S}_{x2}$ değerleri Tablo 2.2.'de verilmiştir.

$$(G_s)_c = 0.6 G_s \qquad (3.7)$$

$$(G_s)_c = 0{,}6.3900 = 2340\ t/m^2$$

$$k_x^f = 2340.1{,}676.4{,}1 = 16079.54\ t/m$$

❖ Sönüm hesabı

$$c_x^f = h_c . (r_o)_c . \sqrt{(G_s)_c . \rho_s} . \bar{S}_{x2} \qquad (2.55)$$

$$c_x^f = 1{,}676.4{,}789 . \sqrt{(2340.0{,}173)} . 10{,}6 = 1711.81\ tsn/m$$

- Temel sisteminin toplam yatay rijitliği

$$\Sigma k_x = \Sigma k_x^g + k_x^f \qquad (2.56)$$

$$\Sigma k_x = 71904.13 + 16079.54 = 87983.67\ t/m$$

- Temel sisteminin toplam yatay sönümü

$$\Sigma c_x = \Sigma c_x^g + c_x^f \qquad (2.57)$$

$$\Sigma c_x = 212.56 + 1711.81 = 1924.37\ tsn/m$$

3.4.3 x-y Eksenleri Doğrultusunda Dönme Durumunda Kazık Başlığına Ait Rijitlik ve Sönüm Hesabı

❖ Rijitlik hesabı

$$k_{\phi}^{f} = (G_s)_c.((r_o)_c)^2.h_c.\bar{S}_{\phi 1} + (G_s)_c.((r_o)_c)^2.h_c.\left[\left(\frac{\delta^2}{3}\right) + \left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)^2 - \delta\left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)\right].\bar{S}_{x1} \qquad (2.58)$$

Dönme için bağımsız frekans parametreleri ($\bar{S}_{\phi 1}, \bar{S}_{\phi 2}$) Novak tarafından 2.5 ve 1.8 olarak verilmiştir.

$$\delta = \frac{h_c}{(r_o)_c} \qquad (2.59)$$

$$\delta = \frac{1.676}{4.789} = 0.35$$

$$k_{\phi}^{f} = 2340.4{,}789^2.1{,}676.2{,}5 + 2340.4{,}789^2.1{,}676.\left[\left(\frac{0.35^2}{3}\right) + \left(\frac{2.563}{4.789}\right)^2 - 0.35\left(\frac{2.563}{4.789}\right)\right].4{,}1$$

$$k_{\phi}^{f} = 276470.93\ \text{tm}$$

❖ Sönüm hesabı

$$c_{\phi}^{f} = \delta.(r_o)_c^{\,4}.\sqrt{((G_s)_c.\rho_s)}.\left[\bar{S}_{\varphi 2} + \left[\left(\frac{\delta^2}{3}\right) + \left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)^2 - \delta\left(\frac{z_c}{(r_o)_c}\right)\right].\bar{S}_{x2}\right]$$

(2.60)

$$c_{\phi}^{f} = 0{,}35.4{,}789^4.\sqrt{(2340.0{,}173)}\left[1.8 + \left[\left(\frac{0.35^2}{3}\right) + \left(\frac{2.563}{4.789}\right)^2 - 0.35\left(\frac{2.563}{4.789}\right)\right]10.6\right]$$

$$c_{\phi}^{f} = 12161.84\ \text{tmsn}$$

- Temel sisteminin x yönündeki toplam dönme rijitliği ve sönümü

$$\Sigma k_{\phi}^{x} = \Sigma k_{\phi}^{xg} + k_{\phi}^{f} \tag{2.61}$$

$$\Sigma k_{\phi}^{x} = 36132745.95 + 276470.93 = 36409216.88\,\text{tm}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{x} = \Sigma c_{\phi}^{xg} + c_{\phi}^{f} \tag{2.62}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{x} = 42905.21 + 12161.84 = 55067.05\,\text{tmsn}$$

- Temel sisteminin y yönündeki toplam dönme rijitliği ve sönümü

$$\Sigma k_{\phi}^{y} = \Sigma k_{\phi}^{yg} + k_{\phi}^{f} \tag{2.63}$$

$$\Sigma k_{\phi}^{y} = 192101481.53 + 276470.93 = 192377952.40\,\text{tm}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{y} = \Sigma c_{\phi}^{yg} + c_{\phi}^{f} \tag{2.64}$$

$$\Sigma c_{\phi}^{y} = 210077.62 + 12161.84 = 222239.46\,\text{tmsn}$$

3.5 Dinamik Denge Denklemleri Yardımıyla Eksenler Doğrultusundaki Genlik ve Dönme Hesapları

Dinamik denge denklemlerinin oluşturulabilmesi için bilinmesi gereken değerlerden biri de temel sisteminin x-y-z eksenlerine göre kütle atalet momentleridir. Sistemin kütle atalet momenti belirlenirken temeli oluşturan 23 elemanın ve kırıcının atalet momentleri, sistemin ağırlık merkezinden geçen eksen takımına göre ayrı ayrı hesaplanarak bulunana değerler toplanmıştır.

❖ Cevher kırıcının eksenlere göre kütle atalet momenti

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_x = I_{xg} + (r_o)^2 m \tag{3.8}$$

I_x: elemanın x eksenine göre kütle atalet momenti

I_{xg}: elemanın kendi ağırlık merkezinden geçen, x ekseni doğrultusundaki eksen takımına göre kütle atalet momenti

r_o: atalet yarıçapı

m: elemanın kütlesi (bkz. Tablo 3.8.)

$$I_{xg} = \frac{m(3r_k^2 + h_k^2)}{12} \tag{3.9}$$

r_k: kırıcının yarıçapı

h_k: kırıcının yüksekliği

$$m = 9.177\ \text{tsn}^2/\text{m}$$

$$r_k = 2.185\ \text{m}$$

$$h_k = 3.01\ \text{m}$$

$$I_{xg} = \frac{9.177\left(3(2.185)^2 + 3.01^2\right)}{12} = 17.882\ \text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0^2 + (7.430 - 2.563)^2\right)} = 4.867\,\text{m}$$

$$I_x = 17.882 + (4.867)^2 9.177 = 235.264\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_y = I_{yg} + (r_o)^2 m \tag{3.10}$$

I_y: elemanın y eksenine göre kütle atalet momenti
I_{yg}: elemanın kendi ağırlık merkezinden geçen, y ekseni doğrultusundaki eksen takımına göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{m(3r_k^2 + h_k^2)}{12} \tag{3.11}$$

$$I_{yg} = \frac{9.177\left(3(2.185)^2 + 3.01^2\right)}{12} = 17.882\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + (7.430 - 2.563)^2\right)} = 4.86705\,\text{m}$$

$$I_y = I_{yg} + (r_o)^2 m = 17.882 + (4.86705)^2 9.177 = 235.268\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_z = I_{zg} + (r_o)^2 m \tag{3.12}$$

I_z: elemanın z eksenine göre kütle atalet momenti

I_{zg}: elemanın kendi ağırlık merkezinden geçen, z ekseni doğrultusundaki eksen takımına göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{m r_k^2}{2} \tag{3.13}$$

$$I_{zg} = \frac{9.177(2.185)^2}{2} = 21.907\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 0^2\right)} = 0.021\,\text{m}$$

$$I_z = 21.907 + (0.021)^2 9.177 = 21.911\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 1 ve 2 nolu elemanların eksenlere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{m}{12}(l_y^2 + l_z^2) \tag{3.14}$$

l_y: elemanın y ekseni doğrultusundaki boyutu

l_z: elemanın z ekseni doğrultusundaki boyutu

$$I_{xg} = \frac{4.283}{12}(2.5^2 + 2.5^2) = 4.461\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(5.872^2 + \left(2.563 - 1.25\right)^2\right)} = 6.017\,\text{m}$$

$$I_x = 4.461 + (6.017)^2 4.283 = 159.524\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{m}{12}(l_x^2 + l_z^2) \tag{3.15}$$

l_x: elemanın x ekseni doğrultusundaki boyutu

$$I_{yg} = \frac{4.283}{12}(2.8^2 + 2.5^2) = 5.029\ \text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left((1.579+1.4)^2 + (2.563-1.25)^2\right)} = 3.256\ \text{m}$$

$$I_y = 5.029 + (3.256)^2\, 4.283 = 50.435\ \text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{m}{12}(l_x^2 + l_y^2) \tag{3.16}$$

$$I_{zg} = \frac{4.283}{12}(2.5^2 + 2.8^2) = 5.029\ \text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(5.872^2 + 2.979^2\right)} = 6.584\ \text{m}$$

$$I_z = I_{zg} + r_o^2 m = 5.029 + (6.584)^2\, 4.283 = 190.693\ \text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 3 ve 4 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{8.994}{12}(4.2^2 + 3.5^2) = 22.403\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(5.022^2 + \left(2.563 - \frac{3.5}{2}\right)^2\right)} = 5.087\,\text{m}$$

$$I_x = 22.403 + (5.087)^2 8.994 = 255.146\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{8.994}{12}(2.5^2 + 3.5^2) = 13.866\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.329^2 + \left(2.563 - \frac{3.5}{2}\right)^2\right)} = 0.877\,\text{m}$$

$$I_y = 13.866 + (0.877)^2 8.994 = 20.784\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{8.994}{12}(2.5^2 + 4.2^2) = 17.906\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(5.022^2 + 0.329^2\right)} = 5.033\,\text{m}$$

$$I_z = 17.906 + (5.033)^2 8.994 = 245.734\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 5 ve 6 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{5.659}{12}(2.5^2 + 2.5^2) = 5.895\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(5.872^2 + \left(2.563 - \frac{2.5}{2}\right)^2\right)} = 6.017\,\text{m}$$

$$I_x = 5.895 + (6.017)^2 5.659 = 210.775\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{5.659}{12}(3.7^2 + 2.5^2) = 9.403\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.771^2 + \left(2.563 - \frac{2.5}{2}\right)^2\right)} = 3.066\,\text{m}$$

$$I_y = 9.403 + (3.066)^2 5.659 = 62.600\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{5.659}{12}(3.7^2 + 2.5^2) = 9.403\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.771^2 + 5.872^2\right)} = 6.493\,\text{m}$$

$$I_z = 9.403 + (6.493)^2 5.659 = 247.981\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 7 ve 8 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{0.831}{12}(0.788^2 + 1.346^2) = 0.168\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(\left(\frac{2.794 + 0.788}{2}\right)^2 + (5.252 - 2.563)^2\right)} = 3.231\,\text{m}$$

$$I_x = 0.168 + (3.231)^2 0.831 = 8.843\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{0.831}{12}(3.2^2 + 1.346^2) = 0.835\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left((1.6 - 1.579)^2 + (5.252 - 2.563)^2\right)} = 2.689\,\text{m}$$

$$I_y = 0.835 + (2.689)^2 0.831 = 6.844\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

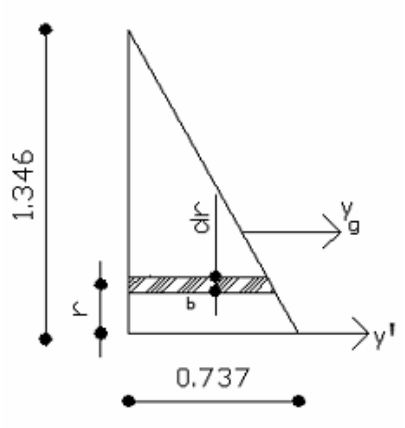
$$I_{zg} = \frac{0.831}{12}(3.2^2 + 0.788^2) = 0.752\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(\left(\frac{2.794 + 0.788}{2}\right) + (1.6 - 1.579)^2\right)} = 1.791\,\text{m}$$

$$I_z = 0.752 + (1.791)^2 0.831 = 3.418\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 9 ve 10 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- y eksenine göre kütle atalet momenti



Şekil 3.12a 9 ve 10 nolu elemanların y-z düzlemi

$$\begin{bmatrix} dm = \rho.b.t.dr \\ I_{y'} = \int_0^h r^2 dm = \int_0^h \rho.b.t.r^2 dr \\ \rho = \frac{m}{V} \end{bmatrix} \qquad (3.17)$$

dm: dr kalınlığındaki elemanın kütlesi

ρ **:** birim hacimdeki kütle miktarı

t: elemanın uzunluğu

dr: elemanın kalınlığı

b: taban kenar uzunluğu

$\rho = \frac{0.319}{1.303} = 0.245\,tsn^2/m^4$ Üçgenlerin benzerliğinden $b = \frac{0.737(1.346 - r)}{1.346}$

r: dr kalınlığındaki elemanın, tabanından geçen eksene uzaklığı

$$I_{y'} = \int_0^{1.346} \left[0.245 \left(\frac{0.737(1.346 - r)}{1.346} \right) 2.628 r^2 \right] dr = 0.353 \left(\frac{1.346^4}{3} - \frac{1.346^4}{4} \right) = 0.097 \, tsn^2 m$$

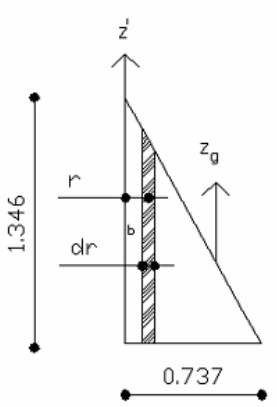
$$I_{y'} = I_{yg} + r_g^2 .m \Rightarrow I_{yg} = I_{y'} - r_g^2 .m = 0.097 - \left(\frac{1.346}{3} \right)^2 0.319 = 0.033 \, tsn^2 m$$

$$I_y = I_{yg} + r_o^2 .m$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.465^2 + 0.265^2 \right)} = 2.479 \, m$$

$$I_y = 0.033 + 2.479^2 .0.319 = 1.993 \, tsn^2 m$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti



Şekil 3.12b 9 ve 10 nolu elemanların y-z düzlemi

$$I_{z'} = \int_0^h r^2 dm = \int_0^h \rho.b.t.r^2 dr \qquad (3.18)$$

$$\rho = \frac{0.319}{1.303} = 0.245 \, tsn^2/m^4 \qquad \text{Üçgenlerin benzerliğinden } b = \frac{1.346(0.737 - r)}{0.737}$$

$$I_{z'} = \int_0^{0.737} \left[0.245 \left(\frac{1.346(0.737 - r)}{0.737} \right) 2.628 r^2 \right] dr = 0.867 \left(\frac{0.737^4}{3} - \frac{0.737^4}{4} \right) = 0.021 \, tsn^2 m$$

$$I_{z'} = I_{zg} + r_g^2 .m \Rightarrow I_{zg} = I_{z'} - r_g^2 .m = 0.021 - \left(\frac{0.737}{3} \right)^2 0.319 = 0.002 \, tsn^2 m$$

$$I_z = I_{zg} + r_o^2 .m$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.431^2 + 0.265^2 \right)} = 2.445 \, m$$

$$I_z = 0.002 + 2.445^2 .0.319 = 1.909 \, tsn^2 m$$

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_x = I_y + I_z$$

$$I_x = 1.993 + 1.909 = 3.902 \, tsn^2 m$$

❖ 11 ve 12 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{0.261}{12}(0.407^2 + 4.579^2) = 0.460\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.389^2 + 0.274^2\right)} = 2.405\,\text{m}$$

$$I_x = 0.460 + (2.405)^2\,0.261 = 1.970\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{0.261}{12}(0.572^2 + 4.579^2) = 0.463\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(\left(1.621 - \frac{0.572}{2}\right)^2 + (0.274)^2\right)} = 1.363\,\text{m}$$

$$I_y = 0.463 + (1.363)^2\,0.261 = 0.948\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

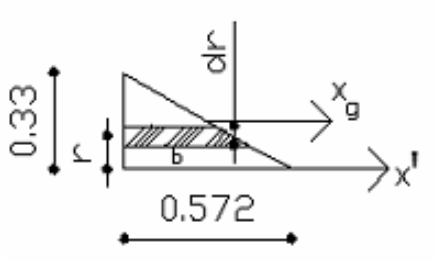
$$I_{zg} = \frac{0.261}{12}(0.572^2 + 0.407^2) = 0.011\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(\left(1.621 - \frac{0.572}{2}\right)^2 + (2.389)^2\right)} = 2.737\,\text{m}$$

$$I_z = 0.011 + (2.737)^2\,0.261 = 1.966\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 13 ve 14 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti



Şekil 3.13a 13 ve 14 nolu elemanların x-y düzlemi

$$I_{x'} = \int_0^h r^2 dm = \int_0^h \rho.b.t.r^2 dr \qquad (3.19)$$

$$\rho = \frac{0.106}{0.432} = 0.245\,tsn^2/m^4 \qquad \text{Üçgenlerin benzerliğinden } b = \frac{0.572(0.33-r)}{0.33}$$

$$I_{x'} = \int_0^{0.33} \left[0.245\left(\frac{0.572(0.33-r)}{0.33}\right) 4.579r^2 \right] dr = 1.945\left(\frac{0.33^4}{3} - \frac{0.33^4}{4}\right) = 0.002\,tsn^2m$$

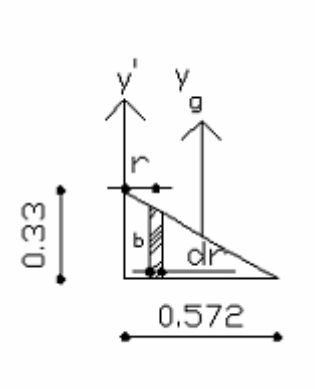
$$I_{x'} = I_{xg} + r_g^2.m \Rightarrow I_{xg} = I_{x'} - r_g^2.m = 0.002 - \left(\frac{0.33}{3}\right)^2 0.106 = 0.00072\,tsn^2m$$

$$I_x = I_{xg} + r_o^2.m$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.702^2 + 0.274^2\right)} = 2.716\,m$$

$$I_x = 0.00072 + 2.716^2.0.106 = 0.783\,tsn^2m$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti



Şekil 3.13b 13 ve 14 nolu elemanların x-y düzlemi

$$I_{y'} = \int_0^h r^2 dm = \int_0^h \rho.b.t.r^2 dr \qquad (3.17)$$

$$\rho = \frac{0.106}{0.432} = 0.245\,tsn^2/m^4 \qquad \text{Üçgenlerin benzerliğinden } b = \frac{0.33(0.572-r)}{0.33}$$

$$I_{y'} = \int_0^{0.572} \left[0.245\left(\frac{0.33(0.572-r)}{0.572}\right) 4.579r^2 \right] dr = 0.647\left(\frac{0.572^4}{3} - \frac{0.572^4}{4}\right) = 0.0058\,tsn^2m$$

$$I_{y'} = I_{yg} + r_g^2.m \Rightarrow I_{yg} = I_{y'} - r_g^2.m = 0.0058 - \left(\frac{0.572}{3}\right)^2 0.106 = 0.0019\,tsn^2m$$

$$I_y = I_{yg} + r_o^2.m$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.274^2 + 1.240^2\right)} = 1.270\,m$$

$$I_y = 0.0019 + 1.270^2.0.106 = 0.173\,tsn^2m$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_z = I_x + I_y$$

$$I_z = 0.783 + 0.173 = 0.956\,tsn^2m$$

❖ 15 ve 16 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{0.049}{12}(0.33^2 + 0.305^2) = 0.00082\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(1.689^2 + 1.864^2\right)} = 2.515\,\text{m}$$

$$I_x = I_{xg} + r_o^{\,2}\text{m} = 0.00082 + (2.515)^2\,0.049 = 0.311\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{0.049}{12}(1.98^2 + 0.305^2) = 0.016\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 1.864^2\right)} = 1.864\,\text{m}$$

$$I_y = 0.016 + (1.864)^2\,0.049 = 0.186\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{0.049}{12}(1.98^2 + 0.33^2) = 0.016\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 1.689^2\right)} = 1.689\,\text{m}$$

$$I_z = 0.016 + (1.689)^2\,0.049 = 0.156\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 17 ve 18 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{0.079}{12}(0.331^2 + 0.305^2) = 0.0013\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.02^2 + 1.864^2\right)} = 2.749\,\text{m}$$

$$I_x = 0.0013 + (2.749)^2\,0.079 = 0.598\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{0.079}{12}(3.2^2 + 0.305^2) = 0.068\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 1.864^2\right)} = 1.864\,\text{m}$$

$$I_y = 0.068 + (1.864)^2\,0.079 = 0.342\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{0.079}{12}(3.2^2 + 0.331^2) = 0.068\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 2.02^2\right)} = 2.02\,\text{m}$$

$$I_z = 0.068 + (2.02)^2\,0.079 = 0.390\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 19 ve 20 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{2.212}{12}(0.661^2 + 4.274^2) = 3.448\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{(1.855^2 + 0.426^2)} = 1.903\,\text{m}$$

$$I_x = 3.448 + (1.903)^2\,2.212 = 11.459\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{2.212}{12}(3.2^2 + 4.274^2) = 5.255\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{(0.021^2 + 0.426^2)} = 0.427\,\text{m}$$

$$I_y = 5.255 + (0.427)^2\,2.212 = 5.658\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{2.212}{12}(3.2^2 + 0.661^2) = 1.968\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{(0.021^2 + 1.855^2)} = 1.855\,\text{m}$$

$$I_z = 1.968 + (1.855)^2\,2.212 = 9.580\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 21 ve 22 nolu elemanların eksnelere göre kütle atalet momentleri

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{2.170}{12}(0.737^2 + 4.579^2) = 3.890\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(2.554^2 + 0.274^2\right)} = 2.569\,\text{m}$$

$$I_x = 3.890 + (2.569)^2\,2.170 = 18.211\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{2.170}{12}(2.628^2 + 4.579^2) = 5.040\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.265^2 + 0.274^2\right)} = 0.381\,\text{m}$$

$$I_y = 5.040 + (0.381)^2\,2.170 = 5.355\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{2.170}{12}(2.628^2 + 0.737^2) = 1.347\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.265^2 + 2.554^2\right)} = 2.568\,\text{m}$$

$$I_z = 1.347 + (2.568)^2\,2.17 = 15.657\,\text{tsn}^2\text{m}$$

❖ 23 nolu elemanın eksnelere göre kütle atalet momenti

- x eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{xg} = \frac{4.366}{12}(3.048^2 + 1.829^2) = 4.597\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0^2 + 1.649^2\right)} = 1.649\,\text{m}$$

$$I_x = 4.597 + (1.649)^2 4.366 = 16.469\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- y eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{yg} = \frac{4.366}{12}(3.2^2 + 1.829^2) = 4.943\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 1.649^2\right)} = 1.649\,\text{m}$$

$$I_y = 4.943 + (1.649)^2 4.366 = 16.815\,\text{tsn}^2\text{m}$$

- z eksenine göre kütle atalet momenti

$$I_{zg} = \frac{4.366}{12}(3.2^2 + 3.048^2) = 7.106\,\text{tsn}^2\text{m}$$

$$r_o = \sqrt{\left(0.021^2 + 0^2\right)} = 0.021\,\text{m}$$

$$I_z = 7.106 + (0.021)^2 4.366 = 7.108\,\text{tsn}^2\text{m}$$

Herbir elemanın, sistemin ağırlık merkezinden geçen eksen takımına göre kütle atalet momentleri hesaplandıktan sonra temel sistemi Şekil 3.11'de görüldüğü üzere AutoCad'de 3 boyutlu olarak çizilmiştir. AutoCad'de bulunan değerlerle kalsik yolla hesaplanan değerler tabloda gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, AutoCad'in hesaplarda elemanların birim hacimdeki kütle miktarını 1 tsn^2/m^4 alarak kütlenin hacme eşit olduğunu kabul etmesidir. Fakat esas temel sisteminde elemanların birim hacimdeki kütle miktarı 0.2447 tsn^2/m^4 'tür. Bu nedenle AutoCad'in hesapladığı değerler 0.2447 ile çarpılarak karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 3.14. Klasik yolla ve AutoCad ile hesaplanan kütle atalet momentleri

Sistemin Elemanları	**I_x**	**I_y**	**I_z**	**I_x**	**I_y**	**I_z**
(Kırıcı+Temel)	**Klasik Yolla Hesaplanan Değerler**			**AutoCad ile Bulunan Değerler**		
Kırıcı	235,264	235,268	21,911	235,2537	235,268	21,911
1	159,524	50,435	190,693	159,525	50,421	190,716
2	159,524	50,435	190,693	159,525	50,421	190,716
3	255,146	20,784	245,734	255,180	20,784	245,712
4	255,146	20,784	245,734	255,180	20,784	245,712
5	210,775	62,600	247,981	210,775	62,613	247,982
6	210,775	62,600	247,981	210,775	62,613	247,982
7	8,843	6,844	3,418	8,843	6,844	3,418
8	8,843	6,844	3,418	8,843	6,844	3,418
9	3,902	1,993	1,909	3,864	2,176	2,100
10	3,902	1,993	1,909	3,864	2,176	2,100
11	1,970	0,948	1,966	1,968	0,948	1,965
12	1,970	0,948	1,966	1,968	0,948	1,965
13	0,783	0,173	0,956	0,968	0,358	0,939
14	0,783	0,173	0,956	0,968	0,358	0,939
15	0,311	0,186	0,156	0,311	0,187	0,156
16	0,311	0,186	0,156	0,311	0,187	0,156
17	0,598	0,342	0,390	0,598	0,342	0,390
18	0,598	0,342	0,390	0,598	0,342	0,390
19	11,459	5,658	9,580	11,457	5,657	9,577
20	11,459	5,658	9,580	11,457	5,657	9,577
21	18,211	5,355	15,657	18,201	5,355	15,649
22	18,211	5,355	15,657	18,201	5,355	15,649
23	16,469	16,815	7,108	16,462	16,810	7,108
	ΣI_x=1594,777	ΣI_y=562,719	ΣI_z=1465.899	ΣI_x=1595,095	ΣI_y=563,466	ΣI_z=1466,227

3.5.1 x Ekseni Doğrultusunda Genlik ve Dönme Hesabı

$$\left(\Sigma k_x - \Sigma m_i \omega_c^{\,2}\right) X_1 - \left(\Sigma c_x \omega_c\right) X_2 - \left(\Sigma k_x h_o\right) X_3 + \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right) X_4 = F_x \qquad (2.73)$$

$$\left(\Sigma c_x \omega_c\right) X_1 + \left(\Sigma k_x - \Sigma m_i \omega_c^{\,2}\right) X_2 - \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right) X_3 - \left(\Sigma k_x h_o\right) X_4 = 0 \qquad (2.74)$$

$$-\left(\Sigma k_x h_o\right) X_1 + \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right) X_2 + \left(\Sigma k_x h_o^{\,2} + \Sigma k_\phi^x - I_{xsis} \omega_c^{\,2}\right) X_3 - \left(\Sigma c_x h_o^{\,2} \omega_c + \Sigma c_\phi^x \omega\right) X_4 = M_x$$

$$-\left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right) X_1 - \left(\Sigma k_x h_o\right) X_2 + \left(\Sigma c_x h_o^{\,2} \omega_c + \Sigma c_\phi^x \omega_c\right) X_3 + \left(\Sigma k_x h_o^{\,2} + \Sigma k_\phi^x - I_{xsis} \omega_c^{\,2}\right) X_4 = 0$$

Yukarıdaki denklem takımına ait değerler:

$\Sigma k_x = 87983.67\,\text{t/m}$

$\Sigma m_i = 63.467\,\text{tsn}^2/\text{m}$

$\omega_c = 20.91\,\text{rad/sn}$

$\Sigma c_x = 1924.37\,\text{tsn/m}$

$h_o = 2.563\,\text{m}$

$F_x = 23\,\text{t}$

$\Sigma k_\phi^x = 36409216.88\,\text{t/m}$

$\Sigma c_\phi^x = 1924.37\,\text{t/m}$

$M_x = (7.43 - 2.563)23 = 111.941\,\text{tm}$

$I_{xsis} = 1594.777\,\text{m}^4$

olarak belirlenmiştir.

Bu değerler ilgili denklemlerde yerine konarak X_1, X_2, X_3 ve X_4 dinamik denge denklem takımı bilinmeyenleri Mathematica 5.0 programı ile hesaplanmıştır.

```
In[1]:= NSolve [{60234.1142 a - 40238.5767 b - 225502.1462 c + 103131.4721 d == 23,
        40238.5767 a + 60234.1142 b - 103131.4721 c - 225502.1462 d == 0,
        -225502.1462 a + 103131.4721 b + 36289897.56 c - 1415777.978 d == 111.941,
        -103131.4721 a - 225502.1462 b + 1415777.978 c + 36289897.56 d == 0}, {a, b, c, d}]
Out[1]= {{a → 0.000281738, b → -0.00018108, c → 5.32916 × 10^-6, d → -5.32457 × 10^-7}}
```

$a=X_1=0.000281738\text{m}=0.281738$ mm

$b=X_2=0.00018108\text{m}=0.18108$ mm

$$x_g = \sqrt{\left(0.281738^2 + 0.18108^2\right)} = 0.335\,\text{mm}$$

$$c = X_3 = 5{,}32916.10^{-6}\,\text{rad}$$
$$d = X_4 = -5{,}32457.10^{-7}\,\text{rad}$$

$$\theta_x = \sqrt{\left(\left(5{,}32916.10^{-6}\right)^2 + \left(-5{,}32457.10^{-7}\right)^2\right)} = 5{,}356.10^{-6}\,\text{rad}$$

3.5.2 y Ekseni Doğrultusunda Genlik ve Dönme Hesabı

$$\left(\Sigma k_x - \Sigma m_i \omega_c^{\,2}\right)Y_1 - \left(\Sigma c_x \omega_c\right)Y_2 - \left(\Sigma k_x h_o\right)Y_3 + \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right)Y_4 = F_y \qquad (2.87)$$

$$\left(\Sigma c_x \omega_c\right)Y_1 + \left(\Sigma k_x - \Sigma m_i \omega_c^{\,2}\right)Y_2 - \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right)Y_3 - \left(\Sigma k_x h_o\right)Y_4 = 0 \qquad (2.88)$$

$$-\left(\Sigma k_x h_o\right)Y_1 + \left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right)Y_2 + \left(\Sigma k_x h_o^{\,2} + \Sigma k_\phi^y - I_{ysis}\omega_c^{\,2}\right)Y_3 - \left(\Sigma c_x h_o^{\,2}\omega_c + \Sigma c_\phi^y \omega_c\right)Y_4 = M_y$$

$$-\left(\Sigma c_x h_o \omega_c\right)Y_1 - \left(\Sigma k_x h_o\right)Y_2 + \left(\Sigma c_x h_o^{\,2}\omega_c + \Sigma c_\phi^y \omega_c\right)Y_3 + \left(\Sigma k_x h_o^{\,2} + \Sigma k_\phi^y - I_{ysis}\omega_c^{\,2}\right)Y_4 = 0$$

Yukarıdaki denklem takımına ait değerler:

$$\Sigma k_x = 87983.67\,\text{t/m}$$
$$\Sigma m_i = 63.467\,\text{tsn}^2/\text{m}$$
$$\omega_c = 20.91\,\text{rad/sn}$$
$$\Sigma c_x = 1924.37\,\text{tsn/m}$$
$$h_o = 2.563\,\text{m}$$
$$F_y = 23\,\text{t}$$
$$\Sigma k_\phi^y = 192377952.40\,\text{t/m}$$
$$I_{ysis} = 562.719\,\text{m}^4$$
$$\Sigma c_\phi^y = 222239.46\,\text{t/m}$$
$$M_y = (7.43 - 2.563)23 = 111.941\,\text{tm}$$

olarak belirlenmiştir.

Bu değerler ilgili denklemlerde yerine konarak Y_1, Y_2, Y_3 ve Y_4 dinamik denge denklem takımı bilinmeyenleri Mathematica 5.0 programı ile hesaplanmıştır.

```
In[1]:= NSolve [{60234.1142 a - 40238.5767 b - 225502.1462 c + 103131.4721 d == 23,
        40238.5767 a + 60234.1142 b - 103131.4721 c - 225502.1462 d == 0,
        -225502.1462 a + 103131.4721 b + 192709877.8 c - 4911353.072 d == 111.941,
        -103131.4721 a - 225502.1462 b + 4911353.072 c + 192709877.8 d == 0}, {a, b, c, d}]
Out[1]= {{a → 0.000267303, b → -0.000177214, c → 9.86226 × 10^-7, d → -8.94536 × 10^-8}}
```

$a=Y_1=0.000267303m=0.267303mm$

$b=Y_2=0.000177214m=0.177214mm$

$$y_g = \sqrt{\left(0.267303^2 + 0.177214^2\right)} = 0.321\,\text{mm}$$

$$c = Y_3 = 9{,}86226.10^{-7}\,\text{rad}$$
$$d = Y_4 = -8{,}94536.10^{-8}\,\text{rad}$$

$$\theta_y = \sqrt{\left(\left(9{,}86226.10^{-7}\right)^2 + \left(-8{,}94536.10^{-8}\right)^2\right)} = 9{,}903.10^{-7}\,\text{rad}$$

3.5.3 z Ekseni Doğrultusunda Genlik, Sistemin Doğal ve Dönme Frekansları Hesabı

- z ekseni doğrultusunda genlik

$$\left(Z_o\right)_{max} = \frac{P_z}{\sqrt{\left(\Sigma k_w - \omega_c{}^2 m^g\right)^2 + \left(\Sigma c_w \omega_c\right)^2}} \qquad (2.93)$$

$P_z=23t$

$$f_c = \frac{\omega_c}{2\pi} \qquad (3.20)$$

f_c: kırıcının çalışma frekansı

$$f_c = 200\text{rpm} = \frac{200}{60} = 3.33\,\text{sn}^{-1}$$

$$\omega_c = 2.3{,}14.3{,}33 = 20.91\,\text{rad/sn}$$

$$\left(Z_o\right)_{max} = \frac{23}{\sqrt{\left(1235961.05 - 20{,}91^2.50{,}77\right)^2 + \left(5516{,}36.20{,}91\right)^2}} = 0.02\,\text{mm}$$

- z ekseni doğrultusunda sistemin doğal frekansı

$$f_f = \frac{\omega_{nz}^f}{2\pi} \tag{2.94}$$

$$\omega_{nz}^f = \sqrt{\frac{\Sigma k_w}{m^g}} \tag{2.95}$$

m^g: vibrasyona maruz kalan efektif kütle (üstyapı kütlesinin %80'i)

$$\Sigma m_i = 1.25 m^g \tag{3.21}$$

$$63.467 = 1.25 m^g \Rightarrow m^g = 50.77\,\text{tsn}^2/\text{m}$$

$$\omega_{nz}^f = \sqrt{\frac{1235961.05}{50.77}} = 156.03\,\text{rad/sn}$$

$$f_f = \frac{156.03}{2.3{,}14} = 24.85\,\text{sn}^{-1}$$

- z ekseni doğrultusunda sistemin doğal dönme frekansı

Temel sisteminin doğal dönme frekansı değeri

$$\frac{\omega_\phi^f}{\omega_{nz}^f} = \sqrt{\frac{\Sigma k_x^1}{\Sigma k_w^1}\left(\frac{y_r}{z_r}\right)^2 + \frac{\Sigma k_x^1}{\Sigma k_w^1}\left(\frac{x_r}{z_r}\right)^2} \tag{2.96}$$

z_r **:** kazık ekseninin temel sisteminin kütle ağırlık merkezine olan uzaklığı

ω_ϕ^f : temel sisteminin doğal dönme açısal frekansı

ω_{nz}^f : düşey vibrasyon durumunda temel sisteminin doğal açısal frekansı

Doğal dönme frekansının hesabı için gerekli bazı değerler hesap kolaylığı açısından Tablo 3.15.'te verilmiştir.

Tablo 3.15. Temel sistemine ait doğal dönme frekansı hesabı için bulunan değerler

Kazık No	Σk_x^1	Σk_y^1	Σk_w^1	$(x_r)^2$	$(y_r)^2$	$(\rho_z)^2$	$\Sigma k_x^1/\Sigma k_w^1$	$\Sigma k_y^1/\Sigma k_w^1$	$(y_r)^2/(\rho_z)^2$	$(x_r)^2/(\rho_z)^2$	$(\omega^f_{\emptyset}/\omega^f_{nz})^2$
1	4663,70	4663,70	1,886E+05	11,42	27,27	41,55	2,473E-02	2,473E-02	0,66	0,27	2,302E-02
2	4663,70	4663,70	1,813E+05	11,42	42,54	56,72	2,572E-02	2,572E-02	0,75	0,20	2,447E-02
3	4663,70	4663,70	1,782E+05	6,15	27,27	33,42	2,617E-02	2,617E-02	0,82	0,18	2,617E-02
4	4663,70	4663,70	1,886E+05	6,15	42,54	48,68	2,473E-02	2,473E-02	0,87	0,13	2,473E-02
5	4663,70	4663,70	2,074E+05	1,39	27,27	28,65	2,249E-02	2,249E-02	0,95	0,05	2,249E-02
6	4663,70	4663,70	1,959E+05	1,39	42,54	43,93	2,381E-02	2,381E-02	0,97	0,03	2,380E-02
7	4663,70	4663,70	1,886E+05	0,01	27,27	27,28	2,473E-02	2,473E-02	1,00	0,00	2,473E-02
8	4663,70	4663,70	1,928E+05	0,01	42,54	42,55	2,419E-02	2,419E-02	1,00	0,00	2,419E-02
9	4663,70	4663,70	2,021E+05	2,02	27,27	29,29	2,308E-02	2,308E-02	0,93	0,07	2,308E-02
10	4663,70	4663,70	2,074E+05	2,02	42,54	44,56	2,249E-02	2,249E-02	0,95	0,05	2,249E-02
11	4663,70	4663,70	1,886E+05	7,40	27,27	34,67	2,473E-02	2,473E-02	0,79	0,21	2,473E-02
12	4663,70	4663,70	1,813E+05	7,40	42,54	49,94	2,572E-02	2,572E-02	0,85	0,15	2,572E-02
13	4663,70	4663,70	1,886E+05	16,17	27,27	43,44	2,473E-02	2,473E-02	0,63	0,37	2,473E-02
14	4663,70	4663,70	1,782E+05	16,17	42,54	58,71	2,617E-02	2,617E-02	0,72	0,28	2,617E-02
15	4663,70	4663,70	1,928E+05	11,42	42,54	56,72	2,419E-02	2,419E-02	0,75	0,20	2,301E-02
16	4663,70	4663,70	1,928E+05	11,42	27,27	41,55	2,419E-02	2,419E-02	0,66	0,27	2,252E-02
17	4663,70	4663,70	2,115E+05	6,15	42,54	48,68	2,205E-02	2,205E-02	0,87	0,13	2,205E-02
18	4663,70	4663,70	1,813E+05	6,15	27,27	33,42	2,572E-02	2,572E-02	0,82	0,18	2,572E-02
19	4663,70	4663,70	1,928E+05	1,39	42,54	43,93	2,419E-02	2,419E-02	0,97	0,03	2,419E-02
20	4663,70	4663,70	1,967E+05	1,39	27,27	28,65	2,371E-02	2,371E-02	0,95	0,05	2,371E-02
21	4663,70	4663,70	1,928E+05	0,01	42,54	42,55	2,419E-02	2,419E-02	1,00	0,00	2,419E-02
22	4663,70	4663,70	1,967E+05	0,01	27,27	27,28	2,371E-02	2,371E-02	1,00	0,00	2,371E-02
23	4663,70	4663,70	1,969E+05	2,02	42,54	44,56	2,369E-02	2,369E-02	0,95	0,05	2,369E-02
24	4663,70	4663,70	1,928E+05	2,02	27,27	29,29	2,419E-02	2,419E-02	0,93	0,07	2,419E-02
25	4663,70	4663,70	1,886E+05	7,40	42,54	49,94	2,473E-02	2,473E-02	0,85	0,15	2,473E-02
26	4663,70	4663,70	1,967E+05	7,40	27,27	34,67	2,371E-02	2,371E-02	0,79	0,21	2,371E-02
27	4663,70	4663,70	1,886E+05	16,17	42,54	58,71	2,473E-02	2,473E-02	0,72	0,28	2,473E-02
28	4663,70	4663,70	1,886E+05	16,17	27,27	43,44	2,473E-02	2,473E-02	0,63	0,37	2,473E-02
29	4597,69	4597,69	1,390E+05	0,96	4,94	5,90	3,308E-02	3,308E-02	0,84	0,16	3,308E-02
30	4597,69	4597,69	1,381E+05	1,04	4,94	5,98	3,329E-02	3,329E-02	0,83	0,17	3,330E-02
31	4597,69	4597,69	1,364E+05	0,96	0,52	1,48	3,371E-02	3,371E-02	0,35	0,65	3,373E-02
32	4597,69	4597,69	1,390E+05	1,04	0,52	1,56	3,308E-02	3,308E-02	0,33	0,67	3,310E-02
33	4597,69	4597,69	1,364E+05	0,96	0,52	1,48	3,371E-02	3,371E-02	0,35	0,65	3,373E-02
34	4597,69	4597,69	1,364E+05	1,04	0,52	1,56	3,371E-02	3,371E-02	0,33	0,67	3,373E-02
35	4597,69	4597,69	1,385E+05	0,96	4,94	5,90	3,320E-02	3,320E-02	0,84	0,16	3,320E-02
36	4597,69	4597,69	1,381E+05	1,04	4,94	5,98	3,329E-02	3,329E-02	0,83	0,17	3,330E-02
											Σ=0,943

$$\omega_{nz}^{f} = 156.03\,\text{rad/sn}$$

$$\frac{\omega_{\phi}^{f}}{\omega_{nz}^{f}} = \sqrt{0.943} \Rightarrow \omega_{\phi}^{f} = \sqrt{0,943}.156,03 = 151.52\,\text{rad/sn}$$

$$f_{\phi}^{f} = \frac{\sqrt{\omega_{\phi}^{f}}}{2\pi} = \frac{151.52}{2.3,14} = 24.12\,\text{sn}^{-1}$$

olarak hesaplanmıştır.

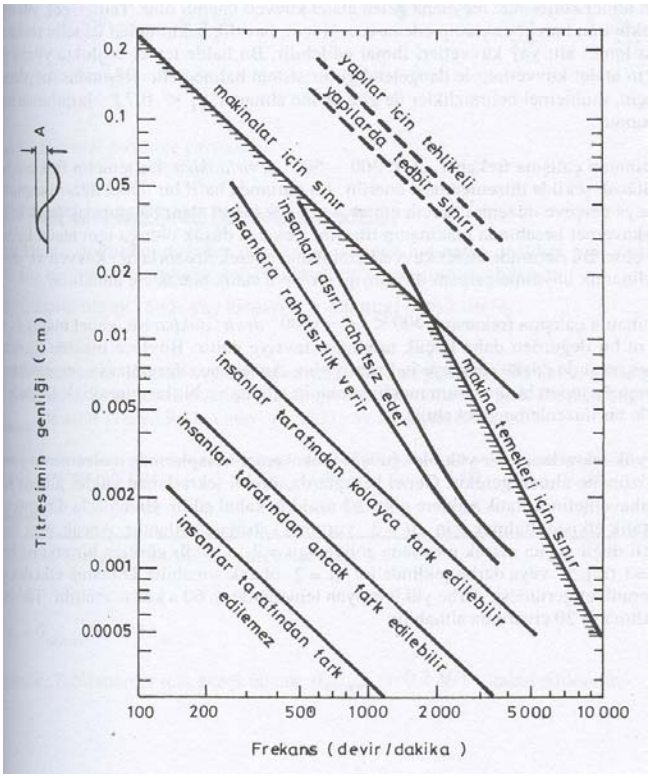
4. SONUÇLAR

Cevher kırıcının temeline ait dinamik analiz sonucunda bulunan değerler Tablo 4.1.'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1. Dinamik analiz sonucu bulunan değerler

	Genlik (mm)	Dönme (rad)	Temel sisteminin zorlanmış titresim frekansı (sn^{-1})	Temel sisteminin doğal dönme frekansı (sn^{-1})
x ekseni doğrultusu	0.335	$5{,}356.10^{-6}$	-	-
y ekseni doğrultusu	0.321	$9{,}903.10^{-7}$	-	-
z ekseni doğrultusu	0.02	-	24.85	24.12

Şekil 4.1'de ise insan, makina ve temellere zararlı olduğu genel olarak kabul edilen sınırlar gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Titreşim genlik ve frekansına bağlı olarak verilen genel sınırlar (Celep ve Kumbasar, 2001)

Kırıcının çalışma frekansı devir/dakika cinsinden yazılacak olursa;

$$f_c = 3.33\,sn^{-1} = \frac{200}{60} = 200\,\text{devir/dakika}$$

olur. Bu frekans için makinalara ait sınır genlik değeri 0.133 cm'ye eşdeğer gelmektedir. Bu değerin x,y ve z eksenleri doğrultusunda hesaplanan genlik değerlerinden büyük olduğu gözükmektedir. Böylelikle genlikler bakımından makina ve temel sistemi güvenlidir.

Temel sistemin zorlanmış frekansı, cevher kırıcının çalışma frekansının $\frac{24.85}{3.33} = 7.46$ katı, temel sisteminin doğal dönme frekansı ise $\frac{24.12}{3.33} = 7.24$ katı olup rezonans söz konusu olmaktan uzaktır.

KAYNAKLAR

Bowles, J.E., 1997. Foundation Analysis and Design, McGraw-Hill, New York.

Barkan, 1938. *Computation and Design of Foundations for Machines Under Dynamic Loads.* Gosstroyizdat, Moscow (I, III)

Barkan, 1957. Foundation Engineering and Drilling by the Vibration Method, in Proc. Forth. Intern. Conf. On Soil Mech. and Foundation Eng., London vol. II.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2001. Yapı Dinamiği, Rehber Matbaacılık, İstanbul.

Crouse C. B. and Cheang, L., 1987. Dynamic Testing and Analysis of Pile-Group Foundation, in *Dynamic Response of Pile Foundations,* Geotechnical Spec. Publ., ASCE., Vol. **11,** p. 79-99, Eds. Nogami T., New York.

Dobry, R. and Gazetas, G., 1988. Simple Method for Dynamic Stiffness and Damping of Floating Pile Groups, *Geotechnique,* Vol. **38,** 557-574.

Gazetas, G. and Makris, N., 1991. Dynamic Pile-Soil Interaction, Part I: Analysis of Axial Vibration, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* ASCE Vol. **20,** 115-132.

Holtz, R.D. and Kovacs W.D., 1981. An İntroduction to Geotechnical Engineering, PTR Prentice Hall, New Jersey.

Karaman, A., 2004. Ereğli Demir Çelik Fabrikaları Hammadde ve Manipulasyon İşletme Başmühendisi. Kişisel görüşme.

Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, PTR Prentice Hall, New Jersey.

Major, A., 1962. Vibration Analysis and Design of Foundation for Machines and Turbines, Collet's, Budapest.

Makris, N. and Gazetas, G., 1992. Dynamic Pile-Soil Interaction, Part II: Lateral and Seismic Response, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics,* ASCE Vol. **21,** 145-162.

Özden, K. ve Özüdoğru, K., 1984. Ereğli Demir ve Çelik Fabrikaları Cevher Kırıcı İçin Temel Tadilatı ve Tasarımı Hakkında Teknik Rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, İstanbul.

Özkan, M. Y., 1983/1. Makina Temellerinin Projelendirme Esasları, İnşaat Mühendisleri Odası Ankara Şubesi Yayınları, Ankara.

Prakash, S. and Sharma H.D., 1989. Pile Foundations In Engineering Practice, John Wiley & Sons Inc., New York.

Tomlinson, M.J., 1994. Pile Design and Construction Practice, Chapman & Hall Press, London.

Tomlinson, M.J., 1987. Foundation Design and Construction, John Wiley & Sons Inc., New York.

Wolf, J.P., 1994. Foundation Vibration Analysis Using Simple Physical Models, PTR Prentice Hall, New Jersey.

Xiao M. Z., Niu H.P., Zhang S. X., 1992. Dynamic Parameters Analysis of Piles, in *Piles Under Dynamic Loads,* Geotechnical Spec. Publ., ASCE., **34,** p. 224-241, Eds. Prakash S., New York.

Yıldırım, S., 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.

EKLER

EK A CEVHER KIRICI TEMEL SİSTEMİNE AİT ÇİZİMLER

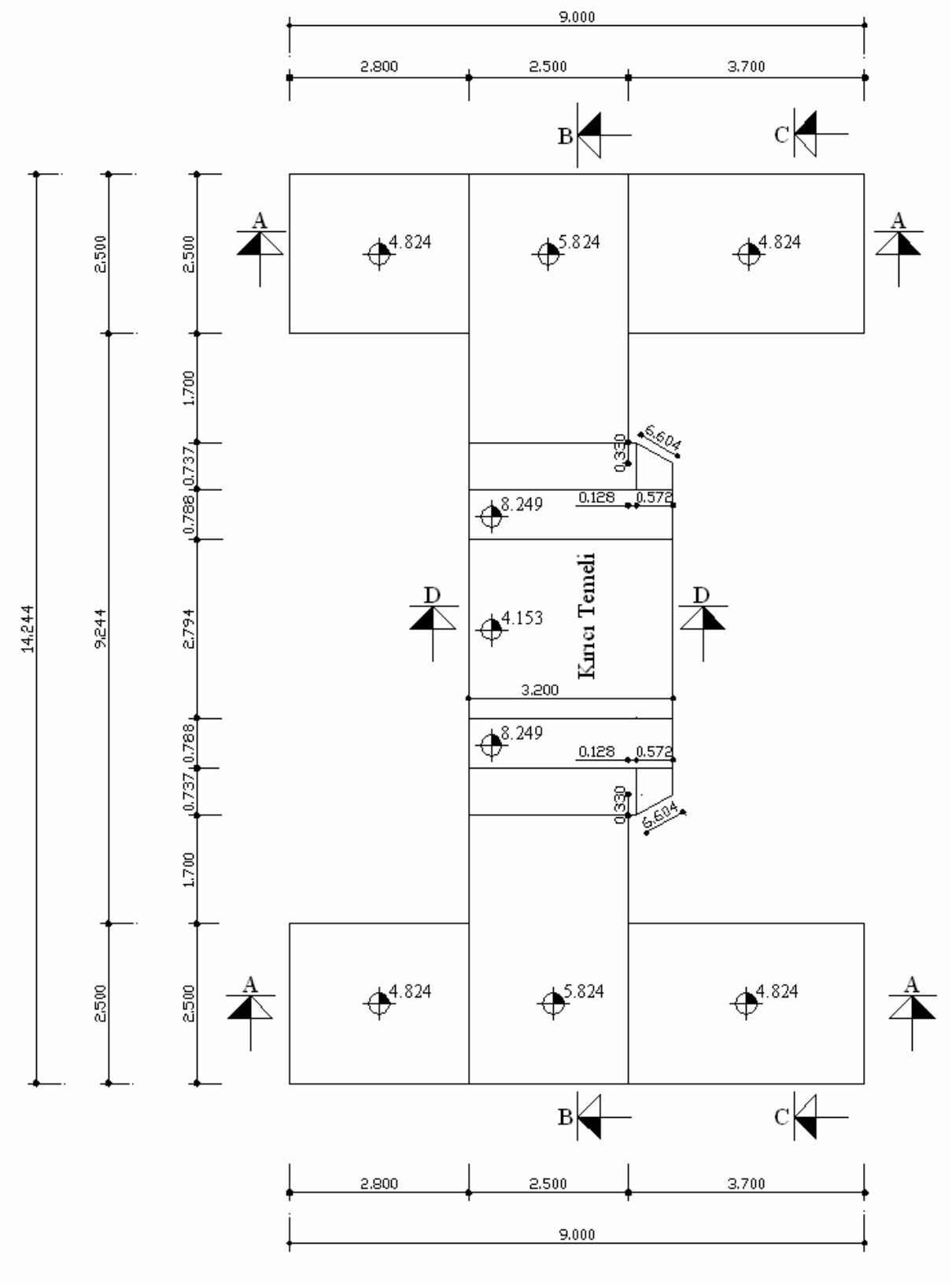
- **Vaziyet Planı**
- **Vaziyet Planına Ait A-A, B-B, C-C ve D-D Kesitleri**
- **Kazık Aplikasyon Planı**
- **Kazık Aplikasyon Planına Ait A-A Kesiti**

EK B KÜTLE ATALET MOMENTİNE AİT AUTOCAD HESAPLARI

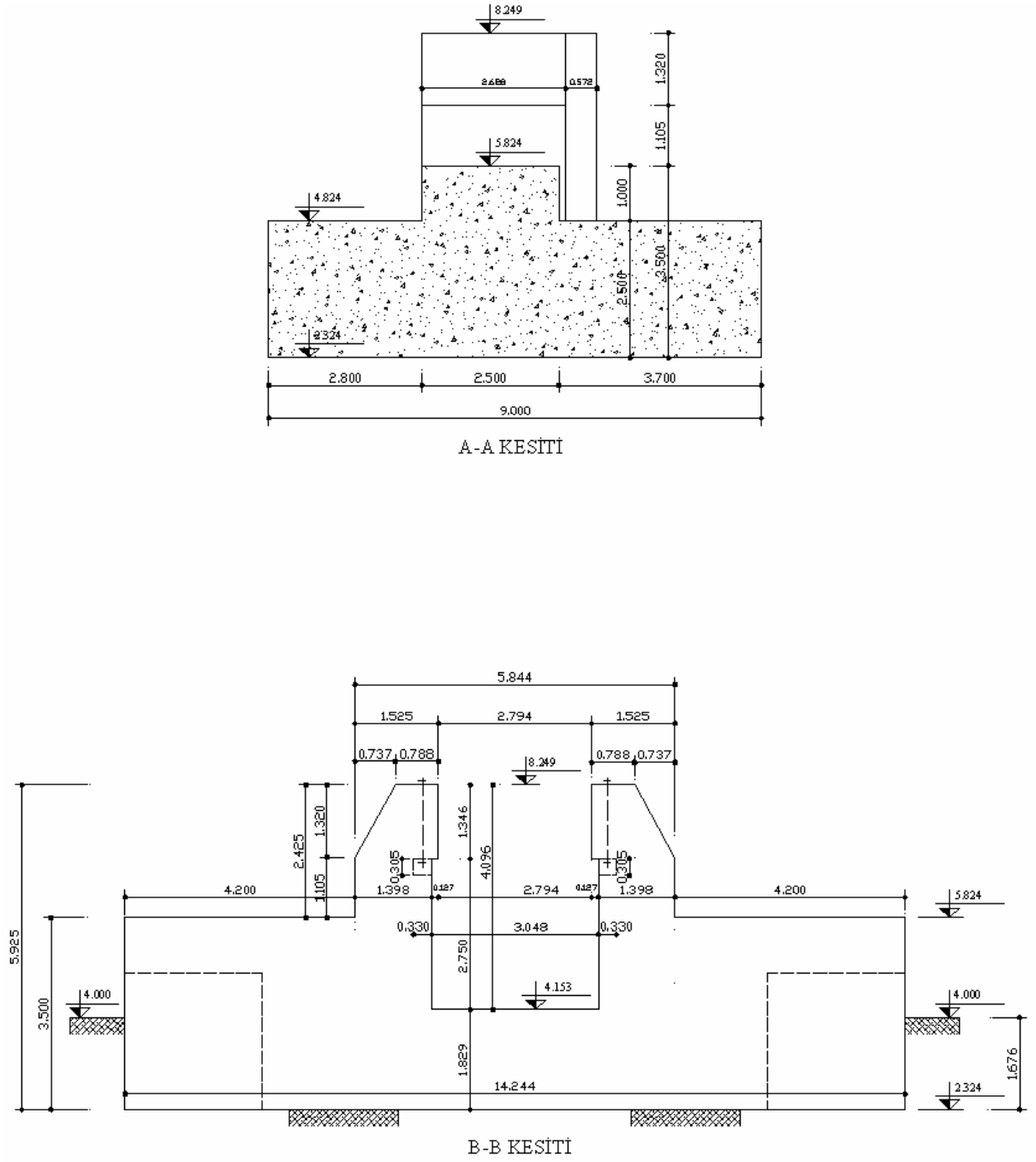
EK C SONDAJ YERİ ve ZEMİN PROFİLİ

EK A

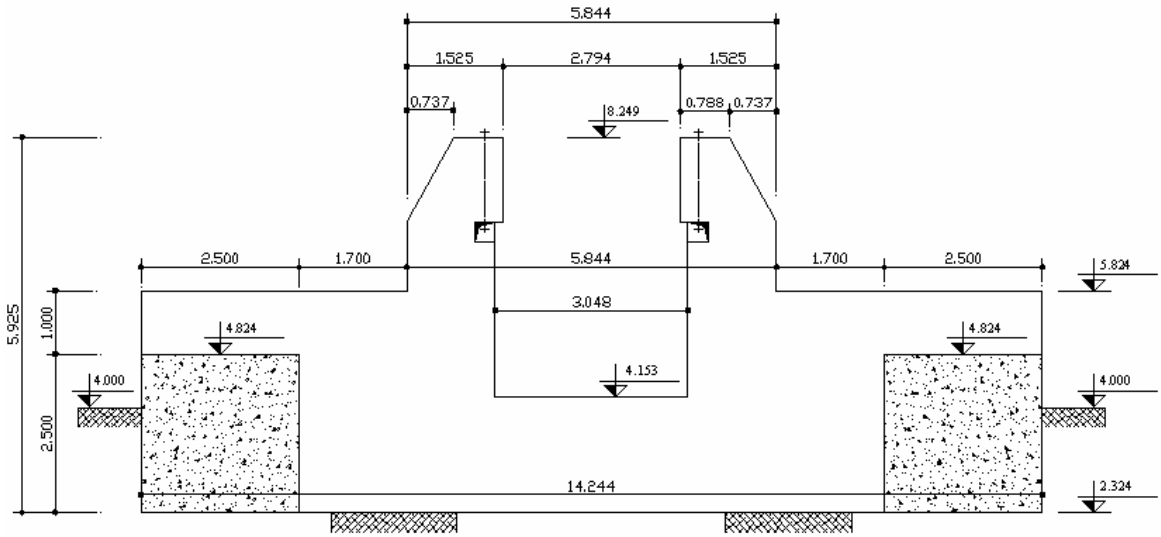
CEVHER KIRICI TEMEL SİSTEMİNE AİT ÇİZİMLER



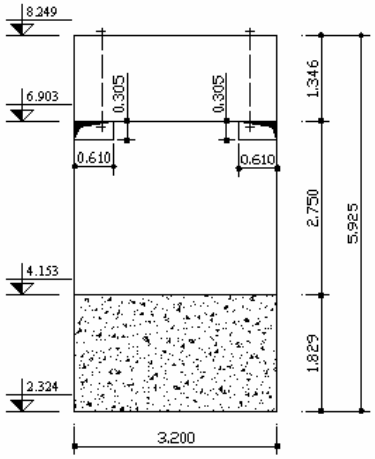
Şekil A.1 Vaziyet planı



Şekil A.2 Vaziyet planına ait A-A ve B-B kesitleri

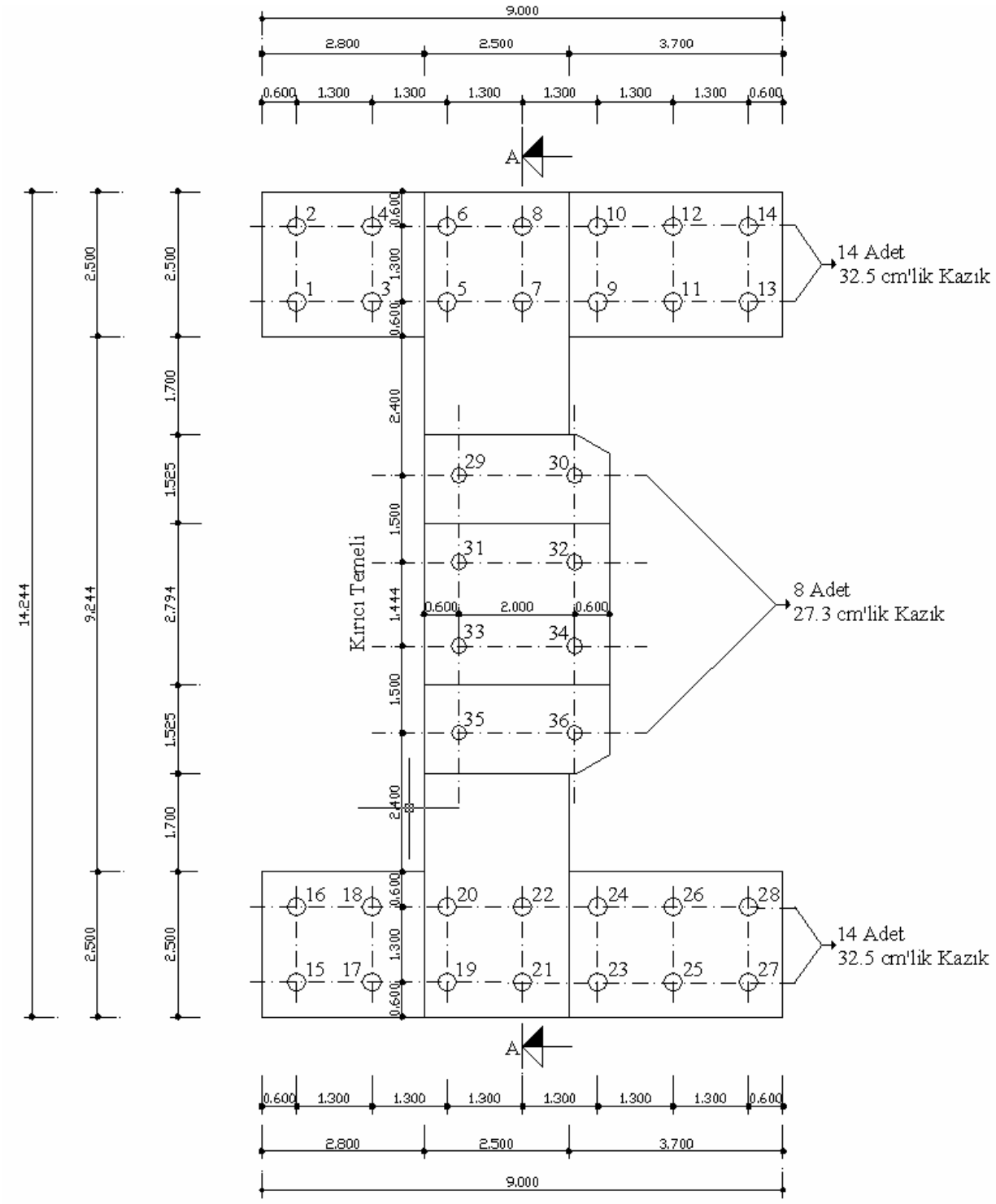


C-C KESİTİ

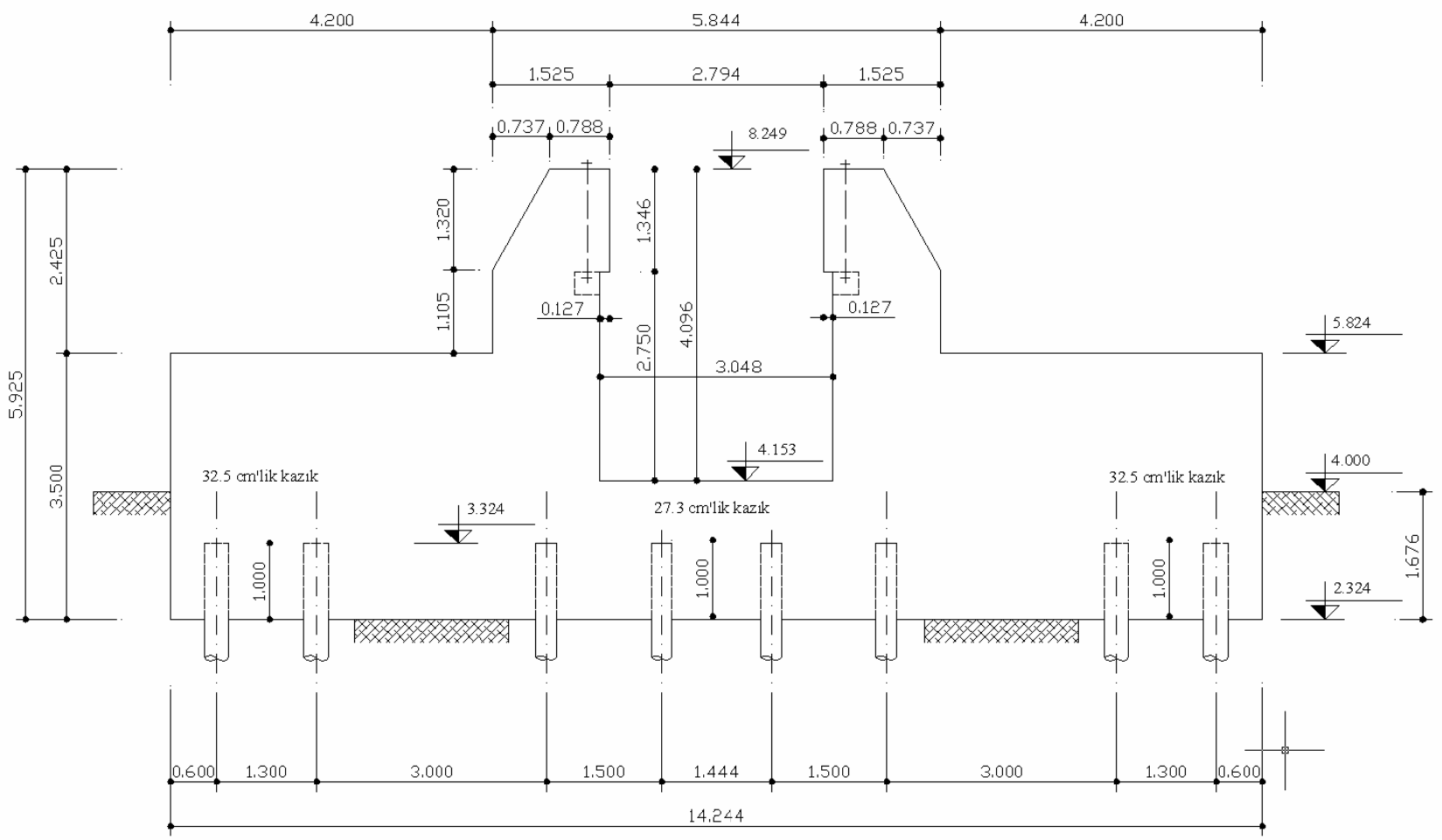


D-D KESİTİ

Şekil A.3 Vaziyet planına ait C-C ve D-D kesitleri



Şekil A.4 Kazık aplikasyon planı



Şekil A.5 Kazık aplikasyon planına ait A-A kesiti

EK B

KÜTLE ATALET MOMENTİNE AİT AUTOCAD HESAPLAR

---------- **SOLIDS CRUSHER** ----------

```
Mass:                    45.1460
Volume:                  45.1460
Bounding box:         X: -2.1640  --  2.2060
                      Y: -2.1850  --  2.1850
                      Z: 3.3620  --  6.3720
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 0.0000
                      Z: 4.8670
Moments of inertia:   X: 1157.3742
                      Y: 1157.3941
                      Z: 107.7885
Products of inertia: XY: 0.0000
                     YZ: 0.0000
                     ZX: 4.6142
Radii of gyration:    X: 5.0632
                      Y: 5.0633
                      Z: 1.5452
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 87.9699 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 87.9699 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 107.7686 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 1 and 2** ----------

```
Mass:                    17.5000
Volume:                  17.5000
Bounding box:         X: -4.3790  --  -1.5790
                      Y: 4.6220  --  7.1220
                      Z: -2.5630  --  -0.0630
Centroid:             X: -2.9790
                      Y: 5.8720
                      Z: -1.3130
Moments of inertia:   X: 651.8053
                      Y: 206.0150
                      Z: 779.2522
Products of inertia: XY: -306.1170
                     YZ: -134.9239
                     ZX: 68.4488
Radii of gyration:    X: 6.1030
                      Y: 3.4311
                      Z: 6.6730
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 18.2292 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 20.5479 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 20.5479 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 3 and 4** ----------

```
Mass:                    36.7500
Volume:                  36.7500
Bounding box:         X: -1.5790  --  0.9210
                      Y: 2.9220  --  7.1220
                      Z: -2.5630  --  0.9370
Centroid:             X: -0.3290
                      Y: 5.0220
                      Z: -0.8130
Moments of inertia:   X: 1042.6815
                      Y: 84.9235
                      Z: 1003.9926
Products of inertia: XY: -60.7107
                     YZ: -150.0461
                     ZX: 9.8283
Radii of gyration:    X: 5.3266
                      Y: 1.5201
                      Z: 5.2268
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 91.5381 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 56.6562 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 73.1631 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 5 and 6** ----------

```
Mass:                    23.1250
Volume:                  23.1250
Bounding box:         X: 0.9210  --  4.6210
                      Y: 4.6220  --  7.1220
                      Z: -2.5630  --  -0.0630
Centroid:             X: 2.7710
                      Y: 5.8720
                      Z: -1.3130
Moments of inertia:   X: 861.3142
                      Y: 255.8631
                      Z: 1013.3552
Products of inertia: XY: 376.2808
                     YZ: -178.2923
                     ZX: -84.1377
Radii of gyration:    X: 6.1030
                      Y: 3.3263
                      Z: 6.6197
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 24.0885 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 38.4260 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 38.4260 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 7 and 8** ----------

```
Mass:                    3.3941
Volume:                  3.3941
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.6210
                      Y: 1.3970  --  2.1850
                      Z: 2.0160  --  3.3620
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 1.7910
                      Z: 2.6890
Moments of inertia:   X: 36.1168
                      Y: 27.9518
                      Z: 13.9605
Products of inertia: XY: 0.1280
                     YZ: 16.3459
                     ZX: 0.1921
Radii of gyration:    X: 3.2621
                      Y: 2.8698
                      Z: 2.0281
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 0.6881 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 3.4087 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 3.0719 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 9 and 10** ----------

```
Mass:                    1.3035
Volume:                  1.3035
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.0490
                      Y: 2.1850  --  2.9220
                      Z: 2.0160  --  3.3620
Centroid:             X: -0.2650
                      Y: 2.4307
                      Z: 2.4647
Moments of inertia:   X: 15.7899
                      Y: 8.8911
                      Z: 8.5822
Products of inertia: XY: -0.8395
                     YZ: 7.7730
                     ZX: -0.8512
Radii of gyration:    X: 3.4805
                      Y: 2.6117
                      Z: 2.5659
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 0.1705 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 0.8938 along [0.0000 0.9454 0.3258]
                      K: 0.7772 along [0.0000 -0.3258 0.9454]
```

---------- **SOLIDS 11 and 12** ----------

```
Mass:                    1.0660
Volume:                  1.0660
Bounding box:         X: 1.0490  --  1.6210
                      Y: -2.5920  --  -2.1850
                      Z: -2.5630  --  2.0160
Centroid:             X: 1.3350
                      Y: -2.3885
                      Z: -0.2735
Moments of inertia:   X: 8.0386
                      Y: 3.8714
                      Z: 8.0253
Products of inertia: XY: -3.3993
                     YZ: 0.6964
                     ZX: -0.3892
Radii of gyration:    X: 2.7461
                      Y: 1.9057
                      Z: 2.7438
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 1.8773 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 1.8917 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 0.0438 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 13 and 14** ----------

```
Mass:                    0.4322
Volume:                  0.4322
Bounding box:         X: 1.0490  --  1.6210
                      Y: -2.9220  --  -2.5920
                      Z: -2.5630  --  2.0160
Centroid:             X: 1.2397
                      Y: -2.7020
                      Z: -0.2735
Moments of inertia:   X: 3.9452
                      Y: 1.4595
                      Z: 3.8298
Products of inertia: XY: -1.4454
                     YZ: 0.3194
                     ZX: -0.1465
Radii of gyration:    X: 3.0214
                      Y: 1.8377
                      Z: 2.9769
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 0.7569 along [0.9371 0.3490 0.0000]
                      J: 0.7638 along [-0.3490 0.9371 0.0000]
                      K: 0.0105 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 15 and 16** ----------

```
Mass:                    0.1993
Volume:                  0.1993
Bounding box:         X: -0.9690  --  1.0110
                      Y: 1.5240  --  1.8540
                      Z: 1.7110  --  2.0160
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 1.6890
                      Z: 1.8635
Moments of inertia:   X: 1.2639
                      Y: 0.7588
                      Z: 0.6355
Products of inertia: XY: 0.0071
                     YZ: 0.6272
                     ZX: 0.0078
Radii of gyration:    X: 2.5184
                      Y: 1.9513
                      Z: 1.7858
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 0.0034 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 0.0667 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 0.0669 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 17 and 18** ----------

```
Mass:                    0.3231
Volume:                  0.3231
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.6210
                      Y: 1.8540  --  2.1850
                      Z: 1.7110  --  2.0160
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 2.0195
                      Z: 1.8635
Moments of inertia:   X: 2.4449
                      Y: 1.4002
                      Z: 1.5963
Products of inertia: XY: 0.0137
                     YZ: 1.2158
                     ZX: 0.0127
Radii of gyration:    X: 2.7510
                      Y: 2.0819
                      Z: 2.2229
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 0.0055 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 0.2782 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 0.2786 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 19 and 20** ----------

```
Mass:                    9.0404
Volume:                  9.0404
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.6210
                      Y: 1.5240  --  2.1850
                      Z: -2.5630  --  1.7110
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 1.8545
                      Z: -0.4260
Moments of inertia:   X: 46.8229
                      Y: 23.1208
                      Z: 39.1390
Products of inertia: XY: 0.3529
                     YZ: -7.1420
                     ZX: -0.0811
Radii of gyration:    X: 2.2758
                      Y: 1.5992
                      Z: 2.0807
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 14.0909 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 21.4762 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 8.0436 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 21 and 22** ----------

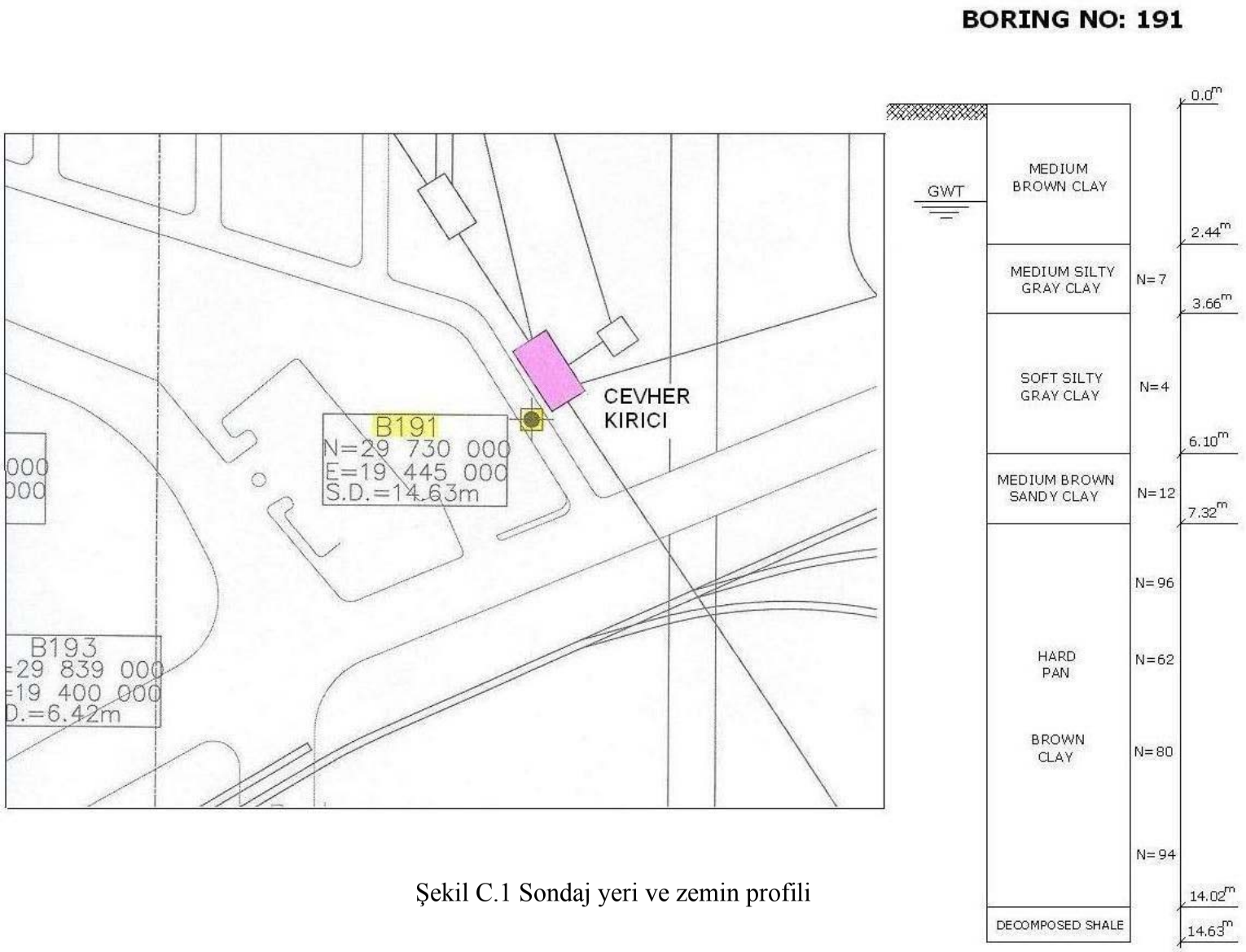
```
Mass:                    8.8688
Volume:                  8.8688
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.0490
                      Y: 2.1850  --  2.9220
                      Z: -2.5630  --  2.0160
Centroid:             X: -0.2650
                      Y: 2.5535
                      Z: -0.2735
Moments of inertia:   X: 74.3886
                      Y: 21.8864
                      Z: 63.9559
Products of inertia: XY: -6.0002
                     YZ: -6.1938
                     ZX: 0.6427
Radii of gyration:    X: 2.8962
                      Y: 1.5709
                      Z: 2.6854
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 15.8976 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 20.6004 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 5.5057 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

---------- **SOLIDS 23** ----------

```
Mass:                    17.8393
Volume:                  17.8393
Bounding box:         X: -1.5790  --  1.6210
                      Y: -1.5240  --  1.5240
                      Z: -2.5630  --  -0.7340
Centroid:             X: 0.0210
                      Y: 0.0000
                      Z: -1.6485
Moments of inertia:   X: 67.2635
                      Y: 68.6832
                      Z: 29.0419
Products of inertia: XY: 0.0000
                     YZ: 0.0000
                     ZX: -0.6190
Radii of gyration:    X: 1.9418
                      Y: 1.9622
                      Z: 1.2759
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
                      I: 18.7841 along [1.0000 0.0000 0.0000]
                      J: 20.1960 along [0.0000 1.0000 0.0000]
                      K: 29.0340 along [0.0000 0.0000 1.0000]
```

EK C

SONDAJ YERİ ve ZEMİN PROFİLİ



Şekil C.1 Sondaj yeri ve zemin profili

ÖZGEÇMİŞ

Hüsnü UYSAL, 23 Aralık 1979'da İzmit'te doğdu. Eğitim hayatına İzmit İnkılap İlkokulu'nda başladı. Orta ve lise öğrenimini Kocaeli Anadolu Lisesi'nde 1997 yılında tamamladı. Aynı yıl üniversite sınavında başarılı olarak Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümüne girmeye hak kazandı. 1998 yılında üniversitedeki ilk öğrenim yılına başlayarak 2002 senesinde bölüm 6.'sı olarak mezun oldu. Aynı sene İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başladı.