

DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEK KATLI ÇOK AÇIKLIKLI ÇERÇEVELERİN
YATAY RİJİTLİKLERİNİN MATRİS-
DEPLASMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK
HESAPLANMASI**

Yunus Emre KOÇ

Eylül, 2016

İZMİR

**TEK KATLI ÇOK AÇIKLIKLI ÇERÇEVELERİN
YATAY RİJİTLİKLERİNİN MATRİS-
DEPLASMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK
HESAPLANMASI**

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı

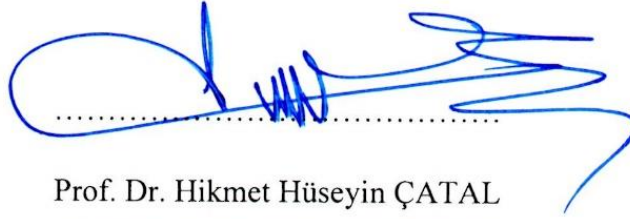
Yunus Emre KOÇ

Eylül, 2016

İZMİR

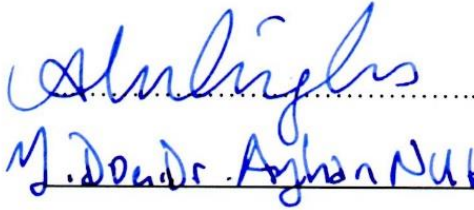
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

YUNUS EMRE KOÇ, tarafından PROF. DR. HİKMET HÜSEYİN ÇATAL yönetiminde hazırlanan “TEK KATLI ÇOK AÇIKLIKLI ÇERÇEVELERİN YATAY RİJİTLİKLERİNİN MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK HESAPLANMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

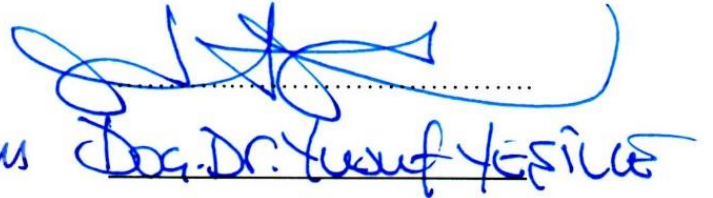


Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL

Yönetici



Jüri Üyesi



Jüri Üyesi



Prof. Dr. Emine İlkur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve deneyimleri ile her zaman yoluma ışık tutan değerli hocam ve tez danışmanım sayın Prof. Dr. Hikmet Hüseyin ÇATAL'a gösterdiği ilgi ve sabır için teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında fikir alışverişı yaptığım, bilgi ve becerilerini benimle paylaşan sayın Araş. Gör. Barış TANRIVERDİ'ye, değerli görüş ve önerileri için sayın Doç. Dr. Yusuf YEŐİLCE ve sayın Yrd. Doç. Dr. Taner UÇAR'a teşekkür ederim.

Hayatım boyunca yanımda olan, desteklerini benden esirgemeyen annem Hülya KOÇ ve babam Hüseyin KOÇ'a, varlıklarından güç bulduğum kardeşlerim Ceren KOÇ ve Cemre KOÇ'a, her koşulda beni motive eden, destekleriyle mutlu ve başarılı olduğum sevgili İmge YURTSEVEN'e en içten dileklerle teşekkür ederim.

Yunus Emre KOÇ

TEK KATLI ÇOK AÇIKLIKLI ÇERÇEVELERİN YATAY RİJİTLİKLERİNİN MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ KULLANILARAK HESAPLANMASI

ÖZ

Çerçeve sistemi oluşturan kolon ve kiriş elemanların, malzeme ve geometri özelliklerine bağlı olarak farklı yatay deplasmanlar yaparlar. Bu deplasmanların hesaplanmasında ise çerçeve sistemin özelliklerine bağlı olarak değişen yatay rijitlik katsayılarına ihtiyaç vardır.

Çalışmada matris-deplasman yöntemi kullanılarak çerçeve sistemlere ait yatay rijitlik katsayılarının hesapları yapılmıştır. Malzeme özelliklerine ve eleman enkesitlerine göre hesaplanan yatay rijitlik katsayıları, çerçeve sistemin açıklık ve yüksekliğine bağlı olarak çizelgeler halinde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Matris-deplasman, yatay rijitlik katsayısı

LATERAL STIFNESS OF MULTI BAY – ONE STORY FRAMES OBTAINED BY USING MATRIX – DISPLACEMENT METHOD

ABSTRACT

Column and beam elements composing the frame system forms some different lateral displacements depending on material and geometrical properties. As for calculating these displacements, lateral stiffness coefficients depending on different frame systems' properties are needed to be known.

In this study, as using matrix-dispalacement method, lateral stiffness coefficients dependent on frame system are calculated. Lateral stiffness coefficients that are calculated in terms of material properties and elements' cross-section are displayed on charts consisting of span and height of the frame system.

Keywords: Matrix - Displacement, lateral stiffness coefficient

İÇİNDEKİLER

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZ	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xiv

BÖLÜM BİR – GİRİŞ

1

1.1 Giriş	1
1.2 Amaç ve Kapsam	2
1.3 Tez Kapsamında Kullanılan Varsayımlar	2

BÖLÜM İKİ – MATRİS DEPLASMAN YÖNTEMİ

3

2.1 Düzlem Çerçeve Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemi İle Çözümü.....	3
2.2 Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Kuvvetleri ve Temel Deplasmanları	3
2.3 Düzlem Çerçeve Elemanın Lokal Kuvvetleri ve Lokal Deplasmanları	5
2.4 Düzlem Çerçeve Elemanın Global Kuvvetleri ve Global Deplasmanları	6
2.5 Temel Kuvvetler ile Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki	7
2.6 Temel Deplasmanlar ile Lokal Deplasmanlar Arasındaki İlişki	7
2.7 Lokal Kuvvetler ile Global Kuvvetler Arasındaki İlişki	8
2.8 Lokal Deplasmanlar ile Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki	9
2.9 Temel Kuvvetler ile Global Kuvvetler Arasındaki İlişki	9
2.10 Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi	10
2.11 Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı	16

BÖLÜM ÜÇ – ÇERÇEVELERİN YATAY RİJİTLİKLERİNİN HESABI 18

3.1 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı	18
3.2 Tek Katlı İki Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı	25
3.3 Tek Katlı Üç Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı	35
3.4 Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı	46
3.5 Çizelge Halinde Sunulan α_k Değerlerinin Grafik Gösterimleri	60
3.5.1 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve Sistem İçin Sunulan Çizelge-1'in Grafik Gösterimleri	60
3.5.2 Tek Katlı İki Açıklıklı Çerçeve Sistem İçin Sunulan Çizelge-2'nin Grafik Gösterimleri	67
3.5.3 Tek Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve Sistem İçin Sunulan Çizelge-3'ün Grafik Gösterimleri	74
3.5.4 Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve Sistem İçin Sunulan Çizelge-4'ün Grafik Gösterimleri	81

BÖLÜM DÖRT – SAYISAL UYGULAMALAR 88

4.1 Uygulama-1 (Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve Sistem)	91
4.2 Uygulama-2 (Tek Katlı İki Açıklıklı Çerçeve Sistem)	95
4.3 Uygulama-3 (Tek Katlı İki Açıklıklı Çerçeve Sistem)	99
4.4 Uygulama-4 (Tek Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve Sistem)	104
4.5 Uygulama-5 (Tek Katlı Üç Açıklıklı Çerçeve Sistem)	109
4.6 Uygulama-6 (Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve Sistem)	114
4.7 Uygulama-7 (Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve Sistem)	119
4.8 Uygulama-8 (Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçeve Sistem)	125

BÖLÜM BEŞ – SONUÇLAR..... 130

KAYNAKLAR 131

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 a) Temel kuvvetler	4
b) Temel deplasmanlar	4
Şekil 2.2 a) Lokal kuvvetler	5
b) Lokal deplasmanlar	5
Şekil 2.3 a) Global kuvvetler	6
b) Global deplasmanlar	6
Şekil 3.1 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı tek açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli	18
Şekil 3.2 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı iki açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli	25
Şekil 3.3 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı üç açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli	35
Şekil 3.4 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı dört açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli	46
Şekil 3.5 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=0,50$ değeri için α_k değerleri	60
Şekil 3.6 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=0,75$ değeri için α_k değerleri	60
Şekil 3.7 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=1,00$ değeri için α_k değerleri	61
Şekil 3.8 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=1,25$ değeri için α_k değerleri	61
Şekil 3.9 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=1,50$ değeri için α_k değerleri	62
Şekil 3.10 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=1,75$ değeri için α_k değerleri	62
Şekil 3.11 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=2,00$ değeri için α_k değerleri	63
Şekil 3.12 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=2,25$ değeri için α_k değerleri	63
Şekil 3.13 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=2,50$ değeri için α_k değerleri	64
Şekil 3.14 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=2,75$ değeri için α_k değerleri	64
Şekil 3.15 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=3,00$ değeri için α_k değerleri	65
Şekil 3.16 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=3,25$ değeri için α_k değerleri	65

Şekil 3.17 Tek kat tek açıklık $\alpha_L=3,50$ değeri için α_k değerleri.....	66
Şekil 3.18 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=0,50$ değeri için α_k değerleri.....	67
Şekil 3.19 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=0,75$ değeri için α_k değerleri.....	67
Şekil 3.20 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=1,00$ değeri için α_k değerleri.....	68
Şekil 3.21 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=1,25$ değeri için α_k değerleri.....	68
Şekil 3.22 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=1,50$ değeri için α_k değerleri.....	69
Şekil 3.23 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=1,75$ değeri için α_k değerleri.....	69
Şekil 3.24 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=2,00$ değeri için α_k değerleri.....	70
Şekil 3.25 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=2,25$ değeri için α_k değerleri.....	70
Şekil 3.26 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=2,50$ değeri için α_k değerleri.....	71
Şekil 3.27 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=2,75$ değeri için α_k değerleri.....	71
Şekil 3.28 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=3,00$ değeri için α_k değerleri.....	72
Şekil 3.29 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=3,25$ değeri için α_k değerleri.....	72
Şekil 3.30 Tek kat iki açıklık $\alpha_L=3,50$ değeri için α_k değerleri.....	73
Şekil 3.31 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=0,50$ değeri için α_k değerleri.....	74
Şekil 3.32 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=0,75$ değeri için α_k değerleri.....	74
Şekil 3.33 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=1,00$ değeri için α_k değerleri.....	75
Şekil 3.34 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=1,25$ değeri için α_k değerleri.....	75
Şekil 3.35 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=1,50$ değeri için α_k değerleri.....	76
Şekil 3.36 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=1,75$ değeri için α_k değerleri.....	76
Şekil 3.37 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=2,00$ değeri için α_k değerleri.....	77
Şekil 3.38 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=2,25$ değeri için α_k değerleri.....	77
Şekil 3.39 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=2,50$ değeri için α_k değerleri.....	78
Şekil 3.40 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=2,75$ değeri için α_k değerleri.....	78
Şekil 3.41 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=3,00$ değeri için α_k değerleri.....	79
Şekil 3.42 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=3,25$ değeri için α_k değerleri.....	79
Şekil 3.43 Tek kat üç açıklık $\alpha_L=3,50$ değeri için α_k değerleri.....	80
Şekil 3.44 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=0,50$ değeri için α_k değerleri.....	81
Şekil 3.45 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=0,75$ değeri için α_k değerleri.....	81
Şekil 3.46 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=1,00$ değeri için α_k değerleri.....	82
Şekil 3.47 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=1,25$ değeri için α_k değerleri.....	82
Şekil 3.48 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=1,50$ değeri için α_k değerleri.....	83

Şekil 3.49 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=1,75$ değeri için α_k değerleri	83
Şekil 3.50 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=2,00$ değeri için α_k değerleri	84
Şekil 3.51 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=2,25$ değeri için α_k değerleri	84
Şekil 3.52 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=2,50$ değeri için α_k değerleri	85
Şekil 3.53 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=2,75$ değeri için α_k değerleri	85
Şekil 3.54 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=3,00$ değeri için α_k değerleri	86
Şekil 3.55 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=3,25$ değeri için α_k değerleri	86
Şekil 3.56 Tek kat dört açıklık $\alpha_L=3,50$ değeri için α_k değerleri	87
Şekil 4.1 Kolon elemanın malzeme özelliği	88
Şekil 4.2 Kiriş elemanın malzeme özelliği	89
Şekil 4.3 Kolonlar için kullanılan analiz katsayıları	89
Şekil 4.4 Kirişler için kullanılan analiz katsayıları	90
Şekil 4.5 Uygulama-1 için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	91
Şekil 4.6 Uygulama-1 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	91
Şekil 4.7 Uygulama-1 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	92
Şekil 4.8 Uygulama-1 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	93
Şekil 4.9 Uygulama-1'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	93
Şekil 4.10 Uygulama-1'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	94
Şekil 4.11 Uygulama-2 için tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	95
Şekil 4.12 Uygulama-2 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	95
Şekil 4.13 Uygulama-2 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	96
Şekil 4.14 Uygulama-2 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	97
Şekil 4.15 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	97
Şekil 4.16 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	98

Şekil 4.17 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	98
Şekil 4.18 Uygulama-3 için tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	100
Şekil 4.19 Uygulama-3 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	100
Şekil 4.20 Uygulama-3 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	101
Şekil 4.21 Uygulama-3 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	101
Şekil 4.22 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	102
Şekil 4.23 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	102
Şekil 4.24 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	103
Şekil 4.25 Uygulama-4 için tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	104
Şekil 4.26 Uygulama-4 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	104
Şekil 4.27 Uygulama-4 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	105
Şekil 4.28 Uygulama-4 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	106
Şekil 4.29 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	106
Şekil 4.30 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	107
Şekil 4.31 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	107
Şekil 4.32 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	108
Şekil 4.33 Uygulama-5 için tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	109

Şekil 4.34 Uygulama-5 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	109
Şekil 4.35 Uygulama-5 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	110
Şekil 4.36 Uygulama-5 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	111
Şekil 4.37 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	111
Şekil 4.38 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	112
Şekil 4.39 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	112
Şekil 4.40 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	113
Şekil 4.41 Uygulama-6 için tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	114
Şekil 4.42 Uygulama-6 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	114
Şekil 4.43 Uygulama-6 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	115
Şekil 4.44 Uygulama-6 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	116
Şekil 4.45 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	116
Şekil 4.46 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	117
Şekil 4.47 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	117
Şekil 4.48 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	118
Şekil 4.49 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (10) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	118
Şekil 4.50 Uygulama-7 için tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması.....	120

Şekil 4.51 Uygulama-7 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri.....	120
Şekil 4.52 Uygulama-7 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi	121
Şekil 4.53 Uygulama-7 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük	121
Şekil 4.54 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	122
Şekil 4.55 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	122
Şekil 4.56 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	123
Şekil 4.57 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	123
Şekil 4.58 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (10) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri	124
Şekil 4.59 Uygulama-8a için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistem	125
Şekil 4.60 Uygulama-8b için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistem	127

TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1 Tek katlı tek açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları	24
Tablo 2.2 Tek katlı iki açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları	34
Tablo 2.3 Tek katlı üç açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları	45
Tablo 2.4 Tek katlı dört açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları	59

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1 Giriş

Ülkemiz aktif bir deprem kuşağında yer almaktadır. Yakın tarihimizde yaşadığımız büyük depremleri göz önünde bulundurduğumuzda deprem mühendisliğinin ve depreme dayanıklı yapı tasarımının önemi anlaşılmaktadır.

Deprem yükü altındaki bir yapının davranışının belirlenmesi ve bu davranışa uygun tasarım geliştirilmesi oldukça önemlidir. Bu tasarımın belirlenmesinde dinamik analiz önem kazanmaktadır.

Çerçeve taşıyıcı sistemler kullanılarak tasarımı yapılan mühendislik yapılarında, yapı kütlelerinin kat seviyelerinde topraklandığı varsayılarak matris-deplasman yöntemiyle dinamik analiz yapılabilir. Bu analizde dinamik yükler altındaki çerçeve sistemlerin, elemanlarının malzeme ve geometri özelliklerine bağlı olarak yaptığı yatay deplasmanlar elde edilir. Bu deplasmanların hesabında çerçeve sisteme ait yatay rijitlik katsayıları kullanılır.

Bu tez kapsamında çerçeve sistemlerin yatay rijitlik katsayılarının belirlenmesinde, çerçeve sistemlerin kat seviyelerinde topraklandığı kütle modeli uygulanarak, matris deplasman yöntemi kullanılmıştır.

1.2 Amaç ve Kapsam

Çalışmada inşaat mühendisliği, deprem mühendisliği ve depreme dayanıklı yapı tasarımı gibi alanlar için önemli olan çerçeve sistemlerin yatay rijitliklerinin ve kesme çerçevelerinin serbest titreşim analizinde ve zorlanmış titreşimlerinde kullanılacak olan rijitlik katsayılarının, elemanların malzeme ve geometrisine göre elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çerçeve taşıyıcı sistemler kullanılarak oluşturulan mühendislik yapılarında, yapı kütlelerinin kat seviyelerinde topraklandığı varsayılarak matris-deplasman yöntemi kullanılarak çözümler yapılmıştır.

Bu tez beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın konusu, amacı ve kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde matris-deplasman yönteminden bahsedilmiş olup yatay rijitlik hesapları için işlemler sunulmuştur. Üçüncü bölümde tek katlı tek açıklıklı, tek katlı iki açıklıklı, tek katlı üç açıklıklı ve tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemlerin yatay rijitlik hesapları yapılarak malzemelerine ve geometrilerine bağlı olarak bulunan yatay rijitlik katsayıları (α_k) çizelgeler halinde sunulmuştur. Ayrıca bu bölümde çizelgeler grafikler halinde görselleştirilmiştir. Dördüncü bölümde ise, yatay rijitlik katsayıları sunulan çerçeveler için sayısal uygulamalar çözümlenip SAP2000 V.15 bilgisayar paket programıyla yapılan çözümler karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Beşinci bölümde bulunan yatay rijitlik katsayıları (α_k) kullanılarak elde edilen sonuçlar ve SAP2000 V.15 paket programına ait sonuçlar karşılaştırılıp yorumlanmıştır.

1.3 Tez Kapsamında Kullanılan Varsayımlar

- 1-) Çerçevenin imal edildiği malzeme doğrusal elastiktir.
- 2-) Çubukların aksenal deformasyonları ihmal edilmiştir.
- 3-) Çubuklar doğru eksenslidir.

BÖLÜM İKİ

MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ

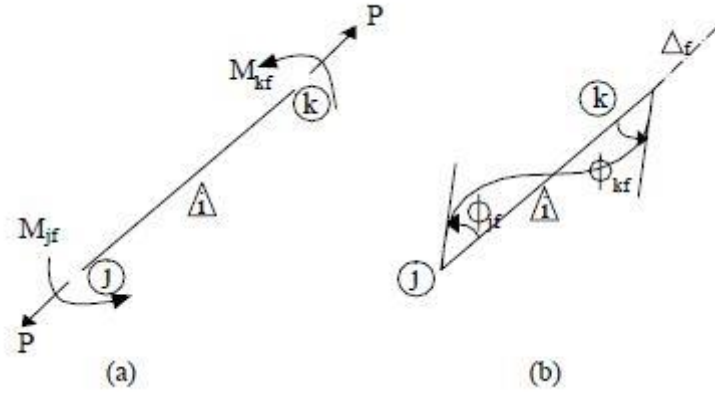
Matris Deplasman yöntemi çubuk sistemlerde önce elemanların uç deplasmanlarının hesaplandığı, bu deplasmanların kullanılarak uç kuvvetlerinin elde edildiği bir yöntemdir. Söz konusu yöntemde taşıyıcı sistemin izostatik veya hiperstatik olmasının çözüm yöntemini değiştirmemesi nedeniyle yöntemin bilgisayar algoritmaları kolayca yazılabilir. Günümüzde kullanılan birçok yapısal analize yönelik paket bilgisayar programı bu yöntemle algoritma oluşturularak geliştirilmiştir.

2.1 Düzlem Çerçeve Sistemlerin Matris Deplasman Yöntemi İle Çözümü

Düzlem çerçevenin her düğüm noktasında iki adet yer değiştirme, bir adet kesit dönmesi olmak üzere toplam üç adet serbestlik derecesi bulunur. Düzlem çerçevenin bu yöntemle çözümünde sistemin denge denkleminde sistem rijitlik matrisi oluşturularak, düğüm noktasının bilinmeyen deplasmanlarının (iki adet yer değiştirme, bir adet kesit dönmesi) bulunması ve bu değerlerin esas alındığı eleman uç kuvvetlerinin hesabına geçilmesi prensibine dayanmaktadır.

2.2 Düzlem Çerçeve Elemanın Temel Kuvvetleri ve Temel Deplasmanları

Bir düzlem çerçeve elemanının iki ucunda eğilme momentleri, eleman eksenli boyunca çubuk kuvveti olmak üzere Şekil 2.1a' da gösterildiği gibi üç adet temel kuvveti bulunmaktadır. Elemanın iki ucunda kesit dönmeleri ve eleman eksenli doğrultusunda çubuk uzaması olmak üzere Şekil 2.1b' de gösterildiği gibi toplam üç adet temel deplasmanı bulunmaktadır (Meyers, 1983; Çatal, 2005).



Şekil 2.1 a) Temel kuvvetler b) Temel deplasmanlar

i. elemanın global doğrultudaki temel kuvvetler vektörü aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{P_{if}^t\} = \begin{Bmatrix} M_{jf} \\ M_{kf} \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.1)$$

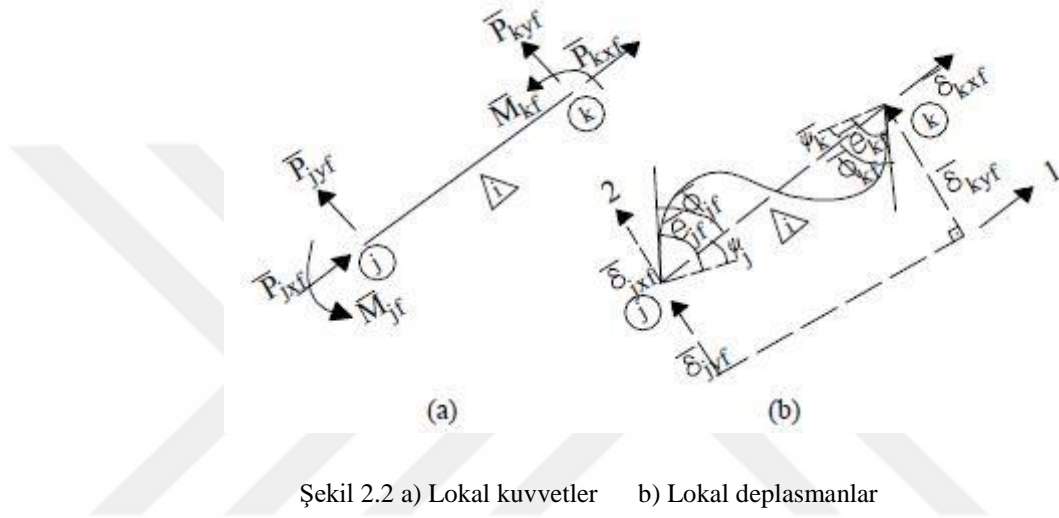
Aynı elemanın temel deplasmanlar vektörü ise aşağıdaki gibidir.

$$\{\delta_{if}^t\} = \begin{Bmatrix} \Phi_{jf} \\ \Phi_{kf} \\ \Delta_f \end{Bmatrix} \quad (2.2)$$

Burada M_{jf} , M_{kf} , ve P sırası ile j ve k uçlarındaki eğilme momentlerini ve çubuk aksenal kuvvetini; ϕ_{jf} , ϕ_{kf} , ve Δ_f sırası ile j ve k uçlarındaki kesit dönmelerini ve çubuk eksenini boyunca yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

2.3 Düzlem Çerçeve Elemanın Lokal Kuvvet ve Lokal Deplasmanları

Düzlem çerçeve elemanının doğrultusuna x yönü, bu doğrultuya dik olan yöne ise y yönü olarak tanımlandığında eleman için lokal eksen takımı elde edilmektedir. Elde edilen lokal eksen takımı ve lokal eksen takımı üzerindeki lokal kuvvet ve lokal deplasmanlar sırasıyla Şekil 2.2a ve Şekil 2.2b' de gösterilmiştir.



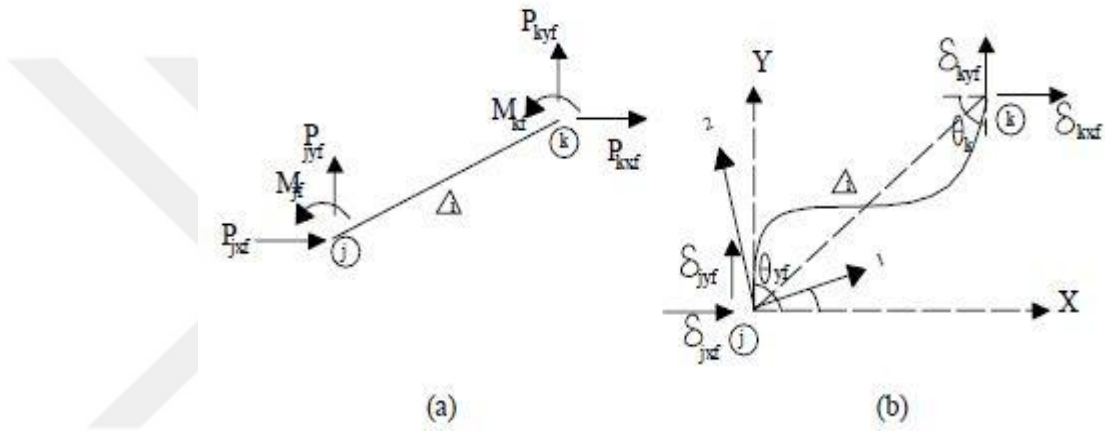
Şekil 2.2 a) Lokal kuvvetler b) Lokal deplasmanlar

i. elemanın lokal kuvvetler vektörü $\{\bar{P}_{if}\}$ ve lokal deplasmanlar vektörü $\{\bar{\delta}_{if}\}$ olmak üzere aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{\bar{P}_{if}\} = \begin{Bmatrix} \bar{P}_{jxf} \\ \bar{P}_{jyf} \\ \bar{M}_{jf} \\ \bar{P}_{kxf} \\ \bar{P}_{kyf} \\ \bar{M}_{kf} \end{Bmatrix} \quad \{\bar{\delta}_{if}\} = \begin{Bmatrix} \bar{\delta}_{jxf} \\ \bar{\delta}_{jyf} \\ \bar{\theta}_{jf} \\ \bar{\delta}_{kxf} \\ \bar{\delta}_{kyf} \\ \bar{\theta}_{kf} \end{Bmatrix} \quad (2.3)$$

2.4 Düzlem Çerçeve Elemanın Global Kuvvet ve Global Deplasmanları

Global eksen takımında x yönü yatay ve sağa doğru, y yönü ise x eksenine dik ve yukarı doğru seçilerek oluşturulur. Düzlem çerçeve elemanının global kuvvet ve global deplasmanları oluşturulan global eksen takımı üzerindeki kuvvet ve deplasmanlardır. Şekil 2.3a ve Şekil 2.3b'de düzlem çerçeve elemanın global kuvvet ve global deplasmanları gösterilmiştir.



Şekil 2.3 a) Global kuvvetler

b) Global deplasmanlar

i. elemanın global kuvvetler vektörü $\{P_{if}\}$ ve global deplasmanlar vektörü $\{\delta_{if}\}$ olmak üzere aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{P_{if}\} = \begin{Bmatrix} P_{jxf} \\ P_{jyf} \\ M_{jf} \\ P_{kxf} \\ P_{kyf} \\ M_{kf} \end{Bmatrix} \quad \{\delta_{if}\} = \begin{Bmatrix} \delta_{jxf} \\ \delta_{jyf} \\ \theta_{jf} \\ \delta_{kxf} \\ \delta_{kyf} \\ \theta_{kf} \end{Bmatrix} \quad (2.4)$$

2.5 Temel Kuvvetler ile Lokal Kuvvetler Arasındaki İlişki

Düzlem çerçevenin (i) inci elemanının temel kuvvetleri ile lokal kuvvetleri arasındaki bağıntı (Şekil 2.1a) ve (Şekil 2.2a) dikkate alındığında aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{\bar{P}_{if}\} = [L_{if}] \{P_{if}^l\} \quad (2.5)$$

Bu bağıntıda $[L_{if}]$ matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[L_{if}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ \frac{1}{L_i} & \frac{1}{L_i} & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -\frac{1}{L_i} & -\frac{1}{L_i} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

2.6 Temel Deplasmanlar İle Lokal Deplasmanlar Arasındaki İlişki

Düzlem çerçevenin (i). elemanının temel deplasmanları ile lokal deplasmanları arasındaki bağıntı (Şekil 2.1b) ve (Şekil 2.2b) dikkate alındığında aşağıdaki gibi yazılır.

$$\Phi_{if} = \bar{\theta}_{if} - \frac{\bar{\delta}_{kyf} - \bar{\delta}_{jyf}}{L_i} \quad (2.7)$$

$$\Phi_{kf} = \bar{\theta}_{kf} - \frac{\bar{\delta}_{kyf} - \bar{\delta}_{jyf}}{L_i} \quad (2.8)$$

$$\Delta_f = \bar{\delta}_{kyf} - \bar{\delta}_{jyf} \quad (2.9)$$

Bu bağıntılarda L_i çerçeve elemanın uzunluğunu göstermektedir. Yukarıda sunulan bağıntılar matris formda düzenlenirse aşağıdaki matris denklem elde edilir.

$$\{\delta_{if}^t\} = [L_{if}]^T \{\bar{\delta}_{if}\} \quad (2.10)$$

2.7 Lokal Kuvvetler İle Global Kuvvetler Arasındaki İlişki

Düzlem çerçevenin (i) inci elemanının lokal (l) ekseni ile global (X) ekseni arasındaki açı (α_i) olarak tanımlanırsa, lokal uç kuvvetlerden global uç kuvvetlerine aşağıdaki bağıntı kullanılarak geçilebilir.

$$\{P_{if}\} = [\alpha_i] \{\bar{P}_{if}\} \quad (2.11)$$

2.8 Lokal Deplasmanlar İle Global Deplasmanlar Arasındaki İlişki

Lokal uç kuvvetler ile global uç kuvvetler arasındaki ilişkiyi sağlayan $[\alpha_i]$ matrisi kullanılarak lokal deplasmanlardan global deplasmanlara aşağıdaki bağıntı kullanılarak geçilebilir.

$$\{\delta_{if}\} = [\alpha_i] \{\bar{\delta}_{if}\} \quad (2.12)$$

(2.11) ve (2.12) denklemlerinde kullanılan $[\alpha_i]$, (i) inci düzlem çerçeve elemanının transformasyon matrisi olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[\alpha_i] = \begin{bmatrix} \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha_i & -\sin \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

2.9 Temel Kuvvetler İle Global Kuvvetler Arasındaki İlişki

Global uç kuvvetler ile lokal uç kuvvetler arasındaki (2.11) numaralı bağıntı ve lokal uç kuvvetler ile temel uç kuvvetler arasındaki (2.5) numaralı bağıntılardan aşağıdaki matris bağıntıya geçilir.

$$\{P_{if}\} = [T_{if}] \{P_{if}^t\} \quad (2.14)$$

Burada $[T_{if}] = [\alpha_i][L_{if}]$ olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[T_{if}] = \begin{bmatrix} -\frac{\sin \alpha_i}{L_i} & -\frac{\sin \alpha_i}{L_i} & -\cos \alpha_i \\ \frac{\cos \alpha_i}{L_i} & \frac{\cos \alpha_i}{L_i} & -\sin \alpha_i \\ 1 & 0 & 0 \\ \frac{\sin \alpha_i}{L_i} & \frac{\sin \alpha_i}{L_i} & \cos \alpha_i \\ -\frac{\cos \alpha_i}{L_i} & -\frac{\cos \alpha_i}{L_i} & \sin \alpha_i \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

2.10 Düzlem Çerçeve Elemanın Global Rijitlik Matrisi

Doğrusal-elastik malzemeden yapılmış düzlem çerçeve elemanın eğilme momenti tesiri dikkate alındığında, 'U' enerjisi ifadesi aşağıdaki (2.16) numaralı bağıntı ile elde edilmektedir.

$$U = \int_0^{L_i} \left[\left(\frac{M_{if} + M_{kf}}{L_i} \right) x - M_{if} \right]^2 \frac{1}{2EI_x} dx \quad (2.16)$$

Burada EI_x , düzlem çerçeve elemanın eğilme rijitliğini, M_{if} ve M_{kf} sırası ile (j) ve (k) uçlarındaki eğilme momentlerini göstermektedir.

I. Castigliano teoremi kullanılarak elemanın, (j) ve (k) uçlarındaki kesit dönmeleri aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\phi_j = \frac{\partial U}{\partial M_{jf}} = M_{jf} \frac{L_i}{3EI_x} - M_{kf} \frac{L_i}{6EI_x} \quad (2.17)$$

$$\phi_k = \frac{\partial U}{\partial M_{kf}} = -M_{jf} \frac{L_i}{6EI_x} + M_{kf} \frac{L_i}{3EI_x} \quad (2.18)$$

Eksenel kuvvet etkisindeki elemanın enerji ifadesi aşağıdaki gibi yazılır.

$$U = \int_0^{L_i} \frac{P^2(x)}{2AE} dx \quad (2.19)$$

Bu bağıntıda E, elemanın elastisite modülünü; A, elemanın en kesit alanını göstermektedir. P(x), eksenel kuvvet fonksiyonu sabit olması durumunda P temel eksenel kuvvetine eşittir. I. Castigliano teoremine göre düzlem çerçeve elemanın eksenel yer değiştirmesi aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\Delta_f = \frac{\partial U}{\partial P} = P \frac{L_i}{AE} \quad (2.20)$$

Temel kesit dönmeleri ve eksenel yer değiştirme bağıntıları matris formda düzenlenir ise aşağıdaki matris denklem elde edilir.

$$\begin{Bmatrix} \phi_{jf} \\ \phi_{kf} \\ \Delta_f \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{L_i}{3EI_x} & -\frac{L_i}{6EI_x} & 0 \\ -\frac{L_i}{6EI_x} & \frac{L_i}{3EI_x} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{L_i}{AE} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} M_{jf} \\ M_{kf} \\ P \end{Bmatrix} \quad (2.21)$$

(2.21) numaralı bağıntı kapalı formda düzenlenirse, aşağıdaki gibi yazılır.

$$\{\delta_{if}^t\} = [F_f^t] \{P_{if}^t\} \quad (2.22)$$

Burada $[F_f^t]$, (i) inci düzlem çerçeve elemanın temel fleksibilite matrisini göstermektedir. Fleksibilite matrisinin tersi, düzlem çerçeve elemanının temel rijitlik matrisi olan $[K_f^t]$ ' yi vermekte olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[K_f^t] = \begin{bmatrix} \frac{4EI_x}{L_i} & \frac{2EI_x}{L_i} & 0 \\ \frac{2EI_x}{L_i} & \frac{4EI_x}{L_i} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{AE}{L_i} \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

(2.22) numaralı bağıntıda, (2.1) numaralı bağıntı kullanılarak temel kuvvetler aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{P_{if}^t\} = [K_f^t] \{\delta_{if}^t\} \quad (2.24)$$

(2.14) numaralı bağıntıda $\{P_{if}^t\}$, temel kuvvetler vektörü yerine (2.24) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise aşağıdaki matris bağıntı elde edilir.

$$\{P_{if}\} = [T_{if}][K_f^t]\{\delta_{if}^t\} \quad (2.25)$$

(2.25) numaralı bağıntıda $\{\delta_{if}^t\}$, temel deplasmanlar vektörü yerine (2.10) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise aşağıdaki matris bağıntı elde edilir.

$$\{P_{if}\} = [T_{if}][K_f^t][L_{if}^T]\{\bar{\delta}_{if}\} \quad (2.26)$$

(2.12) numaralı bağıntı kullanılarak $\{\bar{\delta}_{if}\}$, lokal deplasmanlar vektörü aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\{\bar{\delta}_{if}\} = [\alpha_i]^{-1}\{\delta_{if}\} \quad (2.27)$$

$[\alpha_i]$ transformasyon matrisinin özelliği nedeni ile aşağıdaki bağıntı yazılır.

$$[\alpha_i]^{-1} = [\alpha_i]^T \quad (2.28)$$

(2.26) numaralı bağıntıda $\{\bar{\delta}_{if}\}$, lokal deplasmanlar vektörü yerine (2.27) numaralı bağıntıdaki değeri yazılarak aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\{P_{if}\} = [T_{if}][K_f^t][L_{if}]^T [\alpha_i]^{-1} \{\delta_{if}\} \quad (2.29)$$

(2.29) numaralı bağıntıda $[\alpha_i]^{-1}$, matrisi yerine (2.28) numaralı bağıntıdaki değeri yazılır ise aşağıdaki matris bağıntı elde edilir.

$$\{P_{if}\} = [T_{if}][K_f^t][L_{if}]^T [\alpha_i]^T \{\delta_{if}\} = [T_{if}][K_f^t][T_{if}]^T \{\delta_{if}\} \quad (2.30)$$

(2.30) numaralı bağıntıdaki $[T_{if}][K_f^t][T_{if}]^T$ çarpımı düzlem çerçeve sistemin (i) inci elemanın global doğrultulardaki $[K_{if}]$ rijitlik matrisini vermekte olup aşağıdaki gibi yazılır.

$$[K_{if}] = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} & k_{16} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} & k_{26} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} & k_{36} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} & k_{46} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} & k_{56} \\ k_{61} & k_{62} & k_{63} & k_{64} & k_{65} & k_{66} \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Burada,

$$k_{11} = -k_{14} = -k_{41} = k_{44} = \frac{AE}{L_i} C^2 + \frac{12EI_x}{L_i^3} S^2$$

$$k_{12} = -k_{15} = -k_{42} = k_{45} = \frac{AE}{L_i} SC - \frac{12EI_x}{L_i^3} SC$$

$$k_{13} = k_{16} = -k_{31} = -k_{34} = -k_{43} = -k_{46} = k_{61} = -k_{64} = -\frac{6EI_x}{L_i^2} S$$

$$k_{21} = -k_{24} = -k_{51} = k_{54} = \frac{AE}{L_i} SC - \frac{12EI_x}{L_i^3} SC$$

$$k_{22} = -k_{25} = -k_{52} = k_{55} = \frac{AE}{L_i} S^2 + \frac{12EI_x}{L_i^3} C^2$$

$$k_{23} = k_{26} = k_{32} = -k_{35} = -k_{53} = -k_{56} = k_{62} = -k_{65} = \frac{6EI_x}{L_i^2} C$$

$$k_{33} = k_{66} = 2k_{36} = 2k_{63} = \frac{4EI_x}{L_i}$$

$C = \cos\alpha_i$, $S = \sin\alpha_i$, $SC = \sin\alpha_i \cdot \cos\alpha_i$ göstermektedir.

Elde edilen (2.31) numaralı global rijitlik matrisini kullanarak düzlem çerçeve elemanın global uç deplasmanlarından global uç kuvvetlerine aşağıdaki matris bağıntı ile geçilir.

$$\{P_{if}\} = [K_{if}] \{\delta_{if}\} \quad (2.32)$$

Çerçeve elemanın açıklığının üzerinde herhangi bir dış yük bulunması halinde, bu elemanın uçlarında oluşacak ankastrelik uç kuvvet ve momentleri dikkate alınmalıdır. Eleman uçlarında bulunan global doğrultudaki ankastrelik uç moment ve kuvvet vektörlerinin $\{P_{if}^A\}$, (2.32) numaralı bağıntıya eklenmesi ile kiriş elemanın global uç kuvvetleri aşağıdaki matris bağıntı kullanılarak hesaplanır.

$$\{P_{if}\} = [K_{if}] \{\delta_{if}\} + \{P_{if}^A\} \quad (2.33)$$

Düzlem çerçeve sistemin düğüm noktalarında iki adet deplasman, bir adet kesit dönmesi olmak üzere toplam üç adet serbestlik derecesi bulunmaktadır. (n) düğüm nokta sayısına sahip bir çerçeve sistemin global rijitlik matrisi (3n*3n) boyutundadır.

2.11 Düğüm Noktalarının Global Deplasmanlarının Hesabı

Çerçeve sistemin düğüm noktalarında bu düğüm noktalarının serbestlik dereceleri doğrultusunda etkiyen dış kuvvetler mevcut ise, düğüm noktalarının global deplasmanları aşağıdaki (2.34) numaralı matris bağıntı ile hesaplanır.

$$\{\delta_f\} = [K_f^S]^{-1} \{P_f\} \quad (2.34)$$

Çerçeve sistemin düğüm noktalarına serbestlik dereceleri doğrultusunda etkiyen dış yüklerin yanı sıra elemanlarının açıklıkları üzerinde dış yük veya moment olması durumunda ise düğüm noktalarının global deplasmanları aşağıdaki (2.35) numaralı matris bağıntı ile hesaplanır.

$$\{\delta_f\} = [K_f^S]^{-1} \{ \{P_f\} - \{P_f^A\} \} \quad (2.35)$$

Burada,

$\{\delta_f\}$, Düğüm noktalarının global doğrultulardaki deplasman vektörünü;

$\{P_f\}$, Düğüm noktalarına global doğrultularda etkiyen dış kuvvetler vektörünü;

$[K_f^S]$, Düzlem çerçevenin global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisini;

$\{P_f^A\}$, Eleman açıklıkları üzerine etki eden dış yükler nedeni ile oluşan eleman ankastrelik uç kuvvet ve momentleri düğüm noktalarında dengeleyen global doğrultulardaki fiktif kuvvetler ve momentler vektörünü göstermektedir.

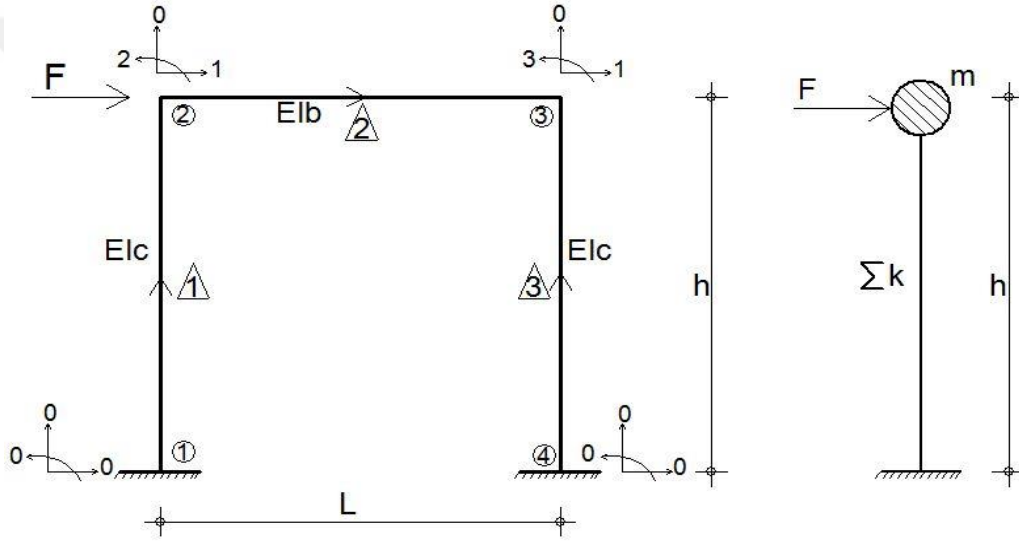


BÖLÜM ÜÇ

ÇERÇEVELERİN YATAY RİJİTLİKLERİNİN HESABI

3.1 Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı

Tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli aşağıdaki Şekil 3.1' de sunulmuştur.



Şekil 3.1 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı tek açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli

Tek serbestlik dereceli eksenel deformasyonları ihmal edilen, kiriş eğilme rijitliği sonsuz olan hesap modelinde, konsol çubuğun yatay rijitlik değeri aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\Sigma k = \frac{24EI_c}{h^3} \alpha_k \quad (3.1)$$

(2) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_2=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{2f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.3)$$

(3) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_3=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{3f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.4)$$

eleman global rijitlik matrisleri elde edilmiştir.

Elde edilen eleman global rijitlik matrislerinde sıfırdan farklı serbestlik dereceleri dikkate alındığında, aynı serbestlik derecelerine sahip olan rijitlik matrisi değerlerinin toplanması ile (3*3) boyutlu global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} \left[K_f^S \right] = \end{matrix} & \begin{bmatrix} \frac{24EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{matrix}
 \end{matrix} \quad (3.5)$$

Serbestlik dereceleri doğrultusunda kuvvet etkimesi halinde (2.34) numaralı matris bağıntı kullanılarak, düğüm noktalarına global doğrultularda etkiyen dış kuvvetler ile, düğüm noktalarının global doğrultulardaki deplasmanları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{matrix} \left\{ \begin{matrix} F \\ 0 \\ 0 \end{matrix} \right\} = \end{matrix} \begin{matrix} \begin{bmatrix} \frac{24EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} \end{matrix} \begin{matrix} \left\{ \begin{matrix} \delta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{matrix} \right\} \end{matrix} \quad (3.6)$$

(3.6) numaralı matris bağıntıda, çerçevenin yatay elemanının atalet momentinin, düşey elemanın atalet momentine oranı α_1 ve çerçevenin açıklığının yüksekliğine oranı olan α_L işlemlere dahil edilirse ifade aşağıdaki matris bağıntı biçimine dönüşür.

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{24EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c(\alpha_L + \alpha_I)}{\alpha_L h} & \frac{2EI_c \alpha_I}{\alpha_L h} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_c \alpha_I}{\alpha_L h} & \frac{4EI_c(\alpha_L + \alpha_I)}{\alpha_L h} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \end{Bmatrix} \quad (3.7)$$

(3.7) numaralı matris gösterim açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_2 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_3 \quad (3.8)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \left(\frac{4EI_c(\alpha_L + \alpha_I)}{\alpha_L h} \theta_2 \right) + \frac{2EI_c \alpha_I}{\alpha_L h} \theta_3 \quad (3.9)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_c \alpha_I}{\alpha_L h} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c(\alpha_L + \alpha_I)}{\alpha_L h} \theta_3 \right) \quad (3.10)$$

Burada $\alpha_L = L/h$ oranını, $\alpha_I = I_b / I_c$ oranını göstermektedir.

(3.9) ve (3.10) numaralı denklemlerde gerekli kısaltmalar yapıldığında $\theta_2 = \theta_3$ olduğu görülür. Bu değerler kullanılarak θ_2 ve θ_3 dönme değerleri δ_1 yatay deplasmanına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\theta_2 = \theta_3 = - \frac{3\alpha_L(2\alpha_L + \alpha_I)}{[4(\alpha_L + \alpha_I)^2 - \alpha_I^2]} \delta_1 \quad (3.11)$$

(3.11) numaralı bağıntıda elde edilen θ_2 ve θ_3 dönmeleri (3.8) numaralı bağıntıda yerlerine yazılır ise F kuvveti aşağıdaki gibi elde edilir.

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 \left(1 - \frac{12}{8} \left(\frac{\alpha_I^2 \alpha_L + 2\alpha_L^3 + 3\alpha_I \alpha_L^2}{(\alpha_L + \alpha_I) [4(\alpha_I + \alpha_L)^2 - \alpha_I^2]} \right) \right) \quad (3.12)$$

$$\alpha_k = \left(1 - \frac{12}{8} \left(\frac{\alpha_I^2 \alpha_L + 2\alpha_L^3 + 3\alpha_I \alpha_L^2}{(\alpha_L + \alpha_I) [4(\alpha_I + \alpha_L)^2 - \alpha_I^2]} \right) \right) \quad (3.13)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 * \alpha_k \quad (3.14)$$

Burada α_k çarpanı, tek katlı tek açıklıklı doğrusal elastik malzemeden imal edilmiş çerçevenin, yapısal analiz için tek serbestlik dereceli olarak modellenmesi halinde, hesap modelindeki konsol çubuğun yatay rijitlik değerini, çerçeve kirişinin eğilme rijitliğine, çerçevenin açıklık ve yüksekliğine göre değiştiren bir katsayı olarak tanımlanır.

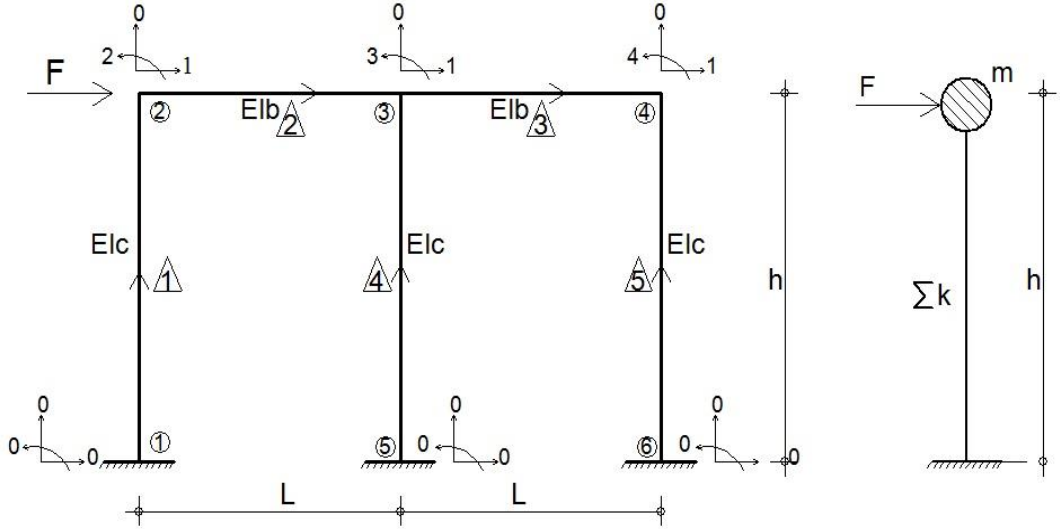
α_k katsayısı, farklı kiriş, kolon atalet momentleri oranları ve çerçeve açıklığının, çerçeve yüksekliğine oranlarına göre hesaplanmış ve aşağıdaki Tablo-3.1'de sunulmuştur.

Tablo 3.1 Tek katlı tek açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları

	Ib/Ic																	
L/h	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,50	0,42	0,53	0,61	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,81	0,84	0,86	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93
0,75	0,38	0,46	0,53	0,58	0,63	0,66	0,69	0,71	0,73	0,75	0,79	0,81	0,83	0,85	0,86	0,88	0,88	0,89
1,00	0,35	0,42	0,48	0,53	0,57	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,74	0,77	0,79	0,81	0,83	0,84	0,85	0,86
1,25	0,33	0,40	0,45	0,49	0,53	0,56	0,59	0,62	0,64	0,66	0,70	0,73	0,76	0,78	0,80	0,81	0,83	0,84
1,50	0,32	0,38	0,42	0,46	0,50	0,53	0,56	0,58	0,61	0,63	0,67	0,70	0,73	0,75	0,77	0,79	0,80	0,81
1,75	0,31	0,36	0,40	0,44	0,48	0,50	0,53	0,56	0,58	0,60	0,64	0,67	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78	0,79
2,00	0,30	0,35	0,39	0,42	0,45	0,48	0,51	0,53	0,55	0,57	0,61	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,77
2,25	0,30	0,34	0,38	0,41	0,44	0,46	0,49	0,51	0,53	0,55	0,59	0,63	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74	0,75
2,50	0,29	0,33	0,36	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,57	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,72	0,73
2,75	0,29	0,32	0,36	0,38	0,41	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,55	0,59	0,62	0,64	0,66	0,68	0,70	0,72
3,00	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,54	0,57	0,60	0,63	0,65	0,67	0,68	0,70
3,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,52	0,56	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69
3,50	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,67

3.2 Tek Katlı İki Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı

Tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli aşağıdaki Şekil 3.2' de sunulmuştur.



Şekil 3.2 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı iki açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli

Tek serbestlik dereceli eksenel deformasyonları ihmal edilen, kiriş eğilme rijitliği sonsuz olan hesap modelinde, konsol çubuğun yatay rijitlik değeri daha önce de sunulan (3.1) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

Şekil 3.2' de verilen çerçevenin kat seviyesinde bulunan (2) numaralı düğüm noktasına yatay doğrultuda (F) kuvveti etkimesi halinde (2), (3) ve (4) numaralı düğüm noktaları yatay doğrultuda aynı miktarda (δ_{1x}) deplasman yapacaktır. Ayrıca çerçevenin (2), (3) ve (4) numaralı düğüm noktalarında θ_2 , θ_3 ve θ_4 dönmeleri oluşacaktır. Bu nedenle çerçevenin serbestlik derecesi 4'dür. Bu serbestlik dereceleri ve çerçeve elemanın lokal doğrultuları Şekil 3.2' de sunulmuştur.

(2.31) numaralı bağıntı kullanılarak, çerçeve elemanlarının global rijitlik matrisleri aşağıda sunulmuştur. Rijitlik matrislerinin satır ve sütunlarına elemanların başlangıç (j) ucu ve bitiş (k) uçlarının serbestlik dereceleri yazılmıştır.

(1) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_1=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & & & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\
 [k_{1f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 2
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.15)$$

(2) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_2=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{2f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.16)$$

(3) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_3=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 3 & 1 & 0 & 4 \\
 [k_{3f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \\ 4 \end{array}
 \end{array} \quad (3.17)$$

(4) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_4=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\
 \\
 [k_{4f}] = & \begin{bmatrix} \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\ -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} \end{bmatrix} & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.18)$$

(5) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_5=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 4 \\
 \\
 [k_{5f}] = & \begin{bmatrix} \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\ -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} \end{bmatrix} & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 4 \end{array}
 \end{array} \quad (3.19)$$

Elde edilen eleman global rijitlik matrislerinde sıfırdan farklı serbestlik dereceleri dikkate alındığında, aynı serbestlik derecelerine sahip olan rijitlik matrisi değerlerinin toplanması ile (4*4) boyutlu global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[K_f^S] = \begin{bmatrix} \frac{36EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} \quad (3.20)$$

Serbestlik dereceleri doğrultusunda kuvvet etkimesi halinde (2.34) numaralı matris bağıntı kullanılarak, düğüm noktalarına global doğrultularda etkiyen dış kuvvetler ile, düğüm noktalarının global doğrultulardaki deplasmanları arasındaki bağıntı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{36EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \end{Bmatrix} \quad (3.21)$$

(3.21) numaralı matris gösterim açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$F = \frac{36EI_c}{h^3} \delta_1 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_2 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_3 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_4 \quad (3.22)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.23)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_3 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 \quad (3.24)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_4 \quad (3.25)$$

denklemleri elde edilir. Bu denklemler kullanılarak aşağıdaki işlemler ile α_k katsayısı elde edilmiştir.

(3.23) ve (3.25) denklemleri birbirlerine eşitlenirse $\theta_2 = \theta_4$ olduğu görülür.

(3.24) denkleminde gerekli işlemler aşağıda yapılmıştır;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \frac{4EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_3 \quad (3.26)$$

$$-\delta_1 = \frac{2h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_2 + \left(\frac{4h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_3 \quad (3.27)$$

(3.25) denkleminde gerekli işlemler aşağıda yapılmıştır;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \frac{2EI_b}{L} \theta_3 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_4 \quad (3.28)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 + \left(\frac{2h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_4 \quad (3.29)$$

(3.24) ve (3.25) denklemleri kullanılarak elde edilen (3.27) ve (3.29) denklemleri birbirlerine eşitlenerek aşağıdaki ifade elde edilmiştir.

$$\frac{2h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \left(\frac{4h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_3 = \frac{h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 + \left(\frac{2h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_4 \quad (3.30)$$

(3.30) numaralı denklemde $\theta_2 = \theta_4$ eşitliği kullanılarak (3.31) numaralı denklem elde edilmiştir.

$$\frac{2h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \left(\frac{4h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_3 = \frac{h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 + \left(\frac{2h}{3} \frac{\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_2 \quad (3.31)$$

Gerekli işlemler ve kısaltmalar yapıldığında aşağıdaki (3.32) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$\left(\frac{2\alpha_I}{3\alpha_L} - \frac{2\alpha_I}{3\alpha_L} - \frac{2\alpha_L}{3\alpha_L} \right) \theta_2 = \left(\frac{\alpha_I}{3\alpha_L} - \frac{4\alpha_I}{3\alpha_L} - \frac{2\alpha_L}{3\alpha_L} \right) \theta_3$$

$$\theta_3 = \frac{6\alpha_L}{9\alpha_I + 6\alpha_L} \theta_2 \quad (3.32)$$

(3.32) numaralı bağıntı için, $\frac{6\alpha_L}{9\alpha_I + 6\alpha_L} = B$ eşitliğini oluşturursak aşağıdaki (3.33) bağıntısı elde edilir.

$$\theta_3 = B \cdot \theta_2 \quad (3.33)$$

(3.23) denkleminde sadeleştirme yapıldıktan sonra (3.33) eşitliğinden faydalanılarak δ_1 ve θ_2 birbiri cinsinden elde edilmiş olur. Bu işlemler aşağıda sırasıyla sunulmuştur.

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.34)$$

$$-\delta_1 = \left(\frac{2h}{3} + \frac{2h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_2 + \left(\frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_3 \quad (3.35)$$

$$-\delta_1 = \frac{2h}{3} \left(1 + \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_2 + \frac{h}{3} \left(\frac{6\alpha_l \alpha_L}{9\alpha_l \alpha_L + 6\alpha_L^2} \right) \theta_3 \quad (3.36)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_l}{\alpha_L} + \frac{6\alpha_l \alpha_L}{9\alpha_l \alpha_L + 6\alpha_L^2} \right) \theta_3 \quad (3.37)$$

$$\left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_l}{\alpha_L} + \frac{6\alpha_l \alpha_L}{9\alpha_l \alpha_L + 6\alpha_L^2} \right) = A \quad (3.38)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} * A * \theta_3 \quad (3.39)$$

$$\theta_3 = -\delta_1 * \frac{3}{h * A} \quad (3.40)$$

$$\theta_2 = -\delta_1 * \frac{3 * B}{h * A} \quad (3.41)$$

Elde edilen (3.40) ve (3.41) numaralı denklemler (3.22) numaralı denklemde yerlerine yazılarak ' α_k ' katsayısının bağıntısı bulunur.

$$F = \frac{36EI_c}{h^3} \delta_1 - \frac{6EI_c}{h^2} \frac{3}{hA} \delta_1 - \frac{6EI_c}{h^2} \frac{3B}{hA} \delta_1 - \frac{6EI_c}{h^2} \frac{3}{hA} \delta_1 \quad (3.42)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 \left(\frac{6A - 3B - 6}{4A} \right) \quad (3.43)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 * \alpha_k \quad (3.44)$$

α_k katsayısı, farklı kiriş, kolon atalet momentleri oranları ve çerçeve açıklığının, çerçeve yüksekliğine oranlarına göre hesaplanmış ve aşağıdaki Tablo-3.2' de sunulmuştur.

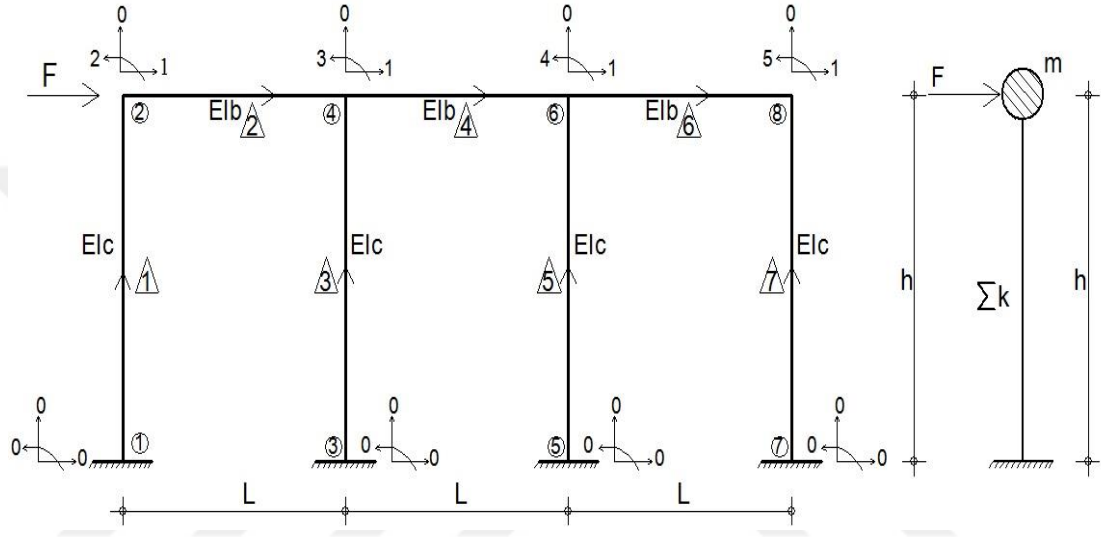


Tablo 3.2 Tek katlı iki açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları

L/h	Ib/Ic																	
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,50	0,69	0,85	0,96	1,04	1,09	1,13	1,17	1,20	1,22	1,24	1,28	1,31	1,33	1,35	1,36	1,37	1,38	1,39
0,75	0,61	0,75	0,85	0,93	0,99	1,04	1,07	1,11	1,13	1,16	1,20	1,24	1,27	1,29	1,31	1,32	1,34	1,35
1,00	0,56	0,69	0,78	0,85	0,91	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,14	1,18	1,21	1,24	1,26	1,28	1,30	1,31
1,25	0,53	0,64	0,73	0,80	0,85	0,90	0,94	0,98	1,01	1,04	1,09	1,13	1,17	1,20	1,22	1,24	1,26	1,27
1,50	0,51	0,61	0,69	0,75	0,81	0,85	0,89	0,93	0,96	0,99	1,05	1,09	1,13	1,16	1,18	1,20	1,22	1,24
1,75	0,49	0,58	0,65	0,72	0,77	0,81	0,85	0,89	0,92	0,95	1,01	1,05	1,09	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21
2,00	0,48	0,56	0,63	0,69	0,74	0,78	0,82	0,85	0,89	0,91	0,97	1,02	1,06	1,09	1,12	1,14	1,16	1,18
2,25	0,47	0,54	0,61	0,66	0,71	0,75	0,79	0,82	0,85	0,88	0,94	0,99	1,03	1,06	1,09	1,12	1,14	1,16
2,50	0,46	0,53	0,59	0,64	0,69	0,73	0,76	0,80	0,83	0,85	0,91	0,96	1,00	1,04	1,07	1,09	1,11	1,13
2,75	0,45	0,52	0,57	0,62	0,67	0,71	0,74	0,77	0,80	0,83	0,89	0,94	0,98	1,01	1,04	1,07	1,09	1,11
3,00	0,44	0,51	0,56	0,61	0,65	0,69	0,72	0,75	0,78	0,81	0,87	0,91	0,95	0,99	1,02	1,05	1,07	1,09
3,25	0,44	0,50	0,55	0,59	0,63	0,67	0,70	0,73	0,76	0,79	0,84	0,89	0,93	0,97	1,00	1,03	1,05	1,07
3,50	0,44	0,49	0,54	0,58	0,62	0,65	0,69	0,72	0,74	0,77	0,83	0,87	0,91	0,95	0,98	1,01	1,03	1,05

3.3 Tek Katlı Üç Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı

Tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli aşağıdaki Şekil 3.3' de sunulmuştur.



Şekil 3.3 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı üç açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli

Tek serbestlik dereceli eksenel deformasyonları ihmal edilen, kiriş eğilme rijitliği sonsuz olan hesap modelinde, konsol çubuğun yatay rijitlik değeri daha önce sunulan (3.1) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

Şekil 3.3' de verilen çerçevenin kat seviyesinde bulunan (2) numaralı düğüm noktasına yatay doğrultuda (F) kuvveti etkimesi halinde (2), (4), (6) ve (8) numaralı düğüm noktaları yatay doğrultuda aynı miktarda (δ_{1x}) deplasman yapacaktır. Ayrıca çerçevenin (2), (4), (6) ve (8) numaralı düğüm noktalarında θ_2 , θ_4 , θ_6 ve θ_8 dönmeleri oluşacaktır. Bu nedenle çerçevenin serbestlik derecesi 5'tir. Bu serbestlik dereceleri ve çerçeve elemanın lokal doğrultuları Şekil 3.3' de sunulmuştur.

(2.31) numaralı bağıntı kullanılarak, çerçeve elemanlarının global rijitlik matrisleri aşağıda sunulmuştur. Rijitlik matrislerinin satır ve sütunlarına elemanların başlangıç (j) ucu ve bitiş (k) uçlarının serbestlik dereceleri yazılmıştır.

(1) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_1=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\
 [k_{1f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \end{array}
 \end{array} \quad (3.45)$$

(2) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_2=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{2f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 1 \\
 0 \\
 2 \\
 1 \\
 0 \\
 3
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.46)$$

(3) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_3=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{3f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 3
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.47)$$

(4) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_4=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 3 & 1 & 0 & 4 \\
 [k_{4f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 3 \\ 1 \\ 0 \\ 4 \end{array}
 \end{array} \quad (3.48)$$

(5) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_5=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 4 \\
 [k_{5f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 4 \end{array}
 \end{array} \quad (3.49)$$

(6) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_6=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 4 & 1 & 0 & 5 \\
 [k_{6f}] = & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 4 \\ 1 \\ 0 \\ 5 \end{matrix}
 \end{array} \quad (3.50)$$

(7) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_7=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 \\
 [k_{7f}] = & \begin{bmatrix} \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\ -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 5 \end{matrix}
 \end{array} \quad (3.51)$$

Elde edilen eleman global rijitlik matrislerinde sıfırdan farklı serbestlik dereceleri dikkate alındığında, aynı serbestlik derecelerine sahip olan rijitlik matrisi

değerlerinin toplanması ile (5*5) boyutlu global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

$$[K_f^S] = \begin{bmatrix} \frac{48EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c + 4EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 8EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 8EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 4EI_b}{h + L} \end{bmatrix} \quad (3.52)$$

$$\begin{Bmatrix} F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{48EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c + 4EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 8EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 8EI_b}{h + L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c + 4EI_b}{h + L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \delta_1 \\ \theta_2 \\ \theta_3 \\ \theta_4 \\ \theta_5 \end{Bmatrix} \quad (3.53)$$

(3.53) numaralı matris gösterim açık olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$F = \frac{48EI_c}{h^3} \delta_1 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_2 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_3 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_4 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_5 \quad (3.54)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \left(\frac{4EI_c + 4EI_b}{h + L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.55)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{8EI_b}{L} + \frac{4EI_c}{h} \right) \theta_3 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 \quad (3.56)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 + \left(\frac{8EI_b}{L} + \frac{4EI_c}{h} \right) \theta_4 + \frac{2EI_b}{L} \theta_5 \quad (3.57)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 + \left(\frac{4EI_b}{L} + \frac{4EI_c}{h} \right) \theta_5 \quad (3.58)$$

(3.55) ve (3.58) denklemlerinden $\theta_2 = \theta_5$ ve $\theta_3 = \theta_4$ olduğu görülür. Bu eşitlikler göz önüne alınarak yapılan işlemler aşağıda sunulmuştur.

(3.55) numaralı denklem kullanılarak;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.59)$$

$$-\delta_1 = \left(\frac{2h}{3} + \frac{2h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_2 + \left(\frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_3 \quad (3.60)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_l}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_3 \right) \quad (3.61)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

(3.56) numaralı denklem kullanılarak;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \frac{2EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{10EI_b}{L} \right) \theta_3 \quad (3.62)$$

$$-\delta_1 = \left(\frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_2 + \left(\frac{5h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} + \frac{2h}{3} \right) \theta_3 \quad (3.63)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{5\alpha_I + 2\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 \right) \quad (3.64)$$

bağıntısı elde edilmiştir.

(3.61) ve (3.64) denklemleri birbirine eşitlenerek θ_2 ve θ_3 birbiri cinsinden yazılmıştır, bu işlemler aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 \right) = \frac{h}{3} \left(\frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{5\alpha_I + 2\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 \right) \quad (3.65)$$

$$\left(\frac{2\alpha_L + \alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 \right) = \left(\frac{4\alpha_I + 2\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 \right) \quad (3.66)$$

$$\theta_3 = \left(\frac{2\alpha_L + \alpha_I}{4\alpha_I + 2\alpha_L} \right) \theta_2 \quad (3.67)$$

$$X = \left(\frac{2\alpha_L + \alpha_I}{4\alpha_I + 2\alpha_L} \right) \quad (3.68)$$

$$\theta_3 = X * \theta_2 \quad (3.69)$$

Yukarıdaki işlemlerden elde edilen (3.68) ve (3.69) numaralı bağıntı (3.61) numaralı bağıntıda kullanılırsa;

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{\alpha_I}{\alpha_L} * \frac{2\alpha_L + \alpha_I}{4\alpha_I + 2\alpha_L} \theta_2 \right) \quad (3.70)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{\alpha_I^2 + 2\alpha_I\alpha_L}{2\alpha_L^2 + 4\alpha_I\alpha_L} \right) \theta_2 \quad (3.71)$$

$$Y = \left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} + \frac{\alpha_I^2 + 2\alpha_I\alpha_L}{2\alpha_L^2 + 4\alpha_I\alpha_L} \right) \quad (3.72)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} * Y * \theta_2 \quad (3.73)$$

$$\theta_2 = -\frac{3}{h} * \frac{\delta_1}{Y} \quad (3.74)$$

eşitlikleri elde edilir. Bu eşitlikler ile (3.54) numaralı denklem yeniden düzenlenmiştir. Yapılan işlemler aşağıda sunulmuştur.

$$F = \frac{6EI_c}{h^2} \left(\frac{8}{h} \delta_1 + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5 \right) \quad (3.75)$$

(3.75) numaralı eşitlikte daha önce bulduğumuz;

- $\theta_2 = \theta_5$
- $\theta_3 = \theta_4$
- $\theta_3 = X * \theta_2$
- $\theta_2 = -\frac{3}{h} * \frac{\delta_1}{Y}$

eşitlikleri kullanılarak ' α_k ' katsayısını ifade eden bağıntı aşağıdaki gibi bulunmuştur.

$$F = \frac{6EI_c}{h^2} \left(\frac{8}{h} \delta_1 - \frac{6}{h * Y} \delta_1 - \frac{6 * X}{h * Y} \delta_1 \right) \quad (3.76)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 \left(2 - \frac{3}{2Y} - \frac{3X}{2Y} \right) \quad (3.77)$$

$$\alpha_k = \left(2 - \frac{3}{2Y} - \frac{3X}{2Y} \right)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} \delta_1 * \alpha_k \quad (3.78)$$

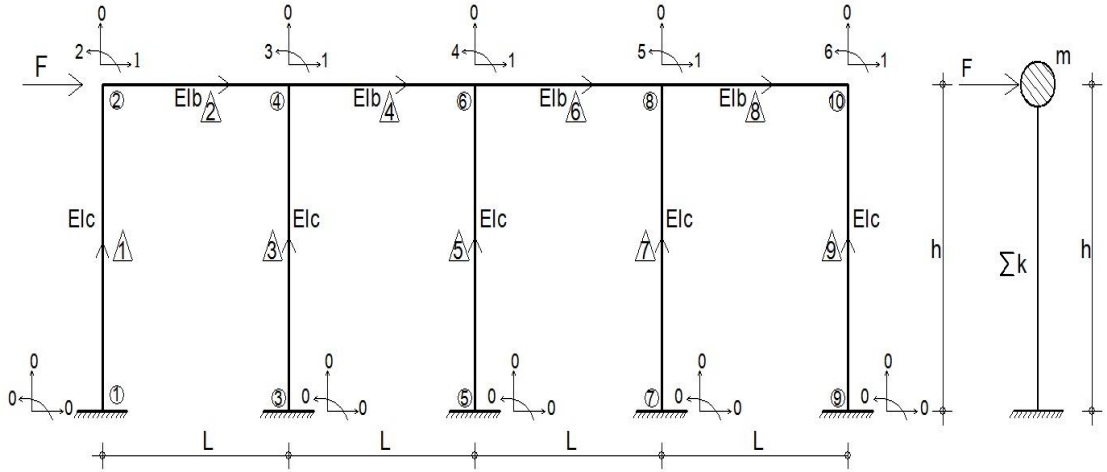
α_k katsayısı, farklı kiriş, kolon atalet momentleri oranları ve çerçeve açıklığının, çerçeve yüksekliğine oranlarına göre hesaplanmış ve aşağıdaki Tablo-3.3' de sunulmuştur.

Tablo 3.3 Tek katlı üç açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları

L/h	Ib/Ic																	
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,50	0,95	1,18	1,33	1,43	1,50	1,56	1,60	1,64	1,67	1,69	1,74	1,78	1,80	1,82	1,84	1,85	1,87	1,88
0,75	0,84	1,04	1,18	1,29	1,37	1,43	1,48	1,52	1,56	1,59	1,65	1,69	1,73	1,75	1,78	1,79	1,81	1,82
1,00	0,77	0,95	1,08	1,18	1,26	1,33	1,38	1,43	1,47	1,50	1,57	1,62	1,66	1,69	1,72	1,74	1,76	1,78
1,25	0,73	0,89	1,01	1,11	1,18	1,25	1,30	1,35	1,39	1,43	1,50	1,56	1,60	1,64	1,67	1,69	1,71	1,73
1,50	0,69	0,84	0,95	1,04	1,12	1,18	1,24	1,29	1,33	1,37	1,44	1,50	1,55	1,59	1,62	1,65	1,67	1,69
1,75	0,67	0,80	0,91	0,99	1,07	1,13	1,18	1,23	1,27	1,31	1,39	1,45	1,50	1,54	1,58	1,61	1,63	1,65
2,00	0,65	0,77	0,87	0,95	1,02	1,08	1,14	1,18	1,23	1,26	1,34	1,41	1,46	1,50	1,54	1,57	1,59	1,62
2,25	0,64	0,75	0,84	0,92	0,99	1,04	1,10	1,14	1,18	1,22	1,30	1,37	1,42	1,46	1,50	1,53	1,56	1,59
2,50	0,62	0,73	0,81	0,89	0,95	1,01	1,06	1,11	1,15	1,18	1,26	1,33	1,38	1,43	1,47	1,50	1,53	1,56
2,75	0,61	0,71	0,79	0,86	0,92	0,98	1,03	1,07	1,11	1,15	1,23	1,30	1,35	1,40	1,43	1,47	1,50	1,53
3,00	0,60	0,69	0,77	0,84	0,90	0,95	1,00	1,04	1,08	1,12	1,20	1,26	1,32	1,37	1,41	1,44	1,47	1,50
3,25	0,60	0,68	0,75	0,82	0,88	0,93	0,98	1,02	1,06	1,09	1,17	1,24	1,29	1,34	1,38	1,41	1,45	1,47
3,50	0,59	0,67	0,74	0,80	0,86	0,91	0,95	0,99	1,03	1,07	1,14	1,21	1,26	1,31	1,35	1,39	1,42	1,45

3.4 Tek Katlı Dört Açıklıklı Çerçevenin Yatay Rijitliklerinin Hesabı

Tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli aşağıdaki Şekil 3.4' de sunulmuştur.



Şekil 3.4 Eksenel deformasyonları ihmal edilen tek katlı dört açıklıklı çerçeve modeli ve tek serbestlik dereceli hesap modeli

Tek serbestlik dereceli eksenel deformasyonları ihmal edilen, kiriş eğilme rijitliği sonsuz olan hesap modelinde, konsol çubuğun yatay rijitlik değeri daha önce de sunulan (3.1) numaralı bağıntı ile hesaplanabilir.

Şekil 3.4' de verilen çerçevenin kat seviyesinde bulunan (2) numaralı düğüm noktasına yatay doğrultuda (F) kuvveti etkimesi halinde (2), (4), (6), (8) ve (10) numaralı düğüm noktaları yatay doğrultuda aynı miktarda (δ_{1x}) deplasman yapacaktır. Ayrıca çerçevenin (2), (4), (6), (8) ve (10) numaralı düğüm noktalarında $\theta_2, \theta_4, \theta_6, \theta_8$ ve θ_{10} dönmeleri oluşacaktır. Bu nedenle çerçevenin serbestlik derecesi 6'dır. Bu serbestlik dereceleri ve çerçeve elemanın lokal doğrultuları Şekil 3.4' de sunulmuştur.

(2.31) numaralı bağıntı kullanılarak, çerçeve elemanlarının global rijitlik matrisleri aşağıda sunulmuştur. Rijitlik matrislerinin satır ve sütunlarına elemanların başlangıç (j) ucu ve bitiş (k) uçlarının serbestlik dereceleri yazılmıştır.

(1) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_1=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 \\
 [k_{1f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \end{array}
 \end{array} \quad (3.79)$$

(2) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_2=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{2f}] = & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} & \begin{array}{l} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.80)$$

(3) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_3=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 3 \\
 [k_{3f}] = & \begin{bmatrix} \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\ -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} \end{bmatrix} & \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 3 \end{array}
 \end{array} \quad (3.81)$$

(4) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_4=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 3 & 1 & 0 & 4 \\
 [k_{4f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 1 \\
 0 \\
 3 \\
 1 \\
 0 \\
 4
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.82)$$

(5) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_5=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 4 \\
 [k_{5f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 4
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.83)$$

(6) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_6=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 4 & 1 & 0 & 5 \\
 [k_{6f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\
 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 1 \\
 0 \\
 4 \\
 1 \\
 0 \\
 5
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.84)$$

(7) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_7=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 5 \\
 [k_{7f}] = & \left[\begin{array}{cccccc}
 \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\
 -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h}
 \end{array} \right] & \begin{array}{l}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 1 \\
 0 \\
 5
 \end{array}
 \end{array} \quad (3.85)$$

(8) numaralı eleman için : $C=\cos 0^\circ = 1$; $S=\sin 0^\circ = 0$; $L_8=L$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 1 & 0 & 5 & 1 & 0 & 6 \\
 [k_{8f}] = & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI_b}{L^3} & \frac{6EI_b}{L^2} & 0 & \frac{12EI_b}{L^3} & -\frac{6EI_b}{L^2} \\ 0 & \frac{6EI_b}{L^2} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & -\frac{6EI_b}{L^2} & \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 1 \\ 0 \\ 5 \\ 1 \\ 0 \\ 6 \end{matrix}
 \end{array} \quad (3.86)$$

(9) numaralı eleman için : $C=\cos 90^\circ = 0$; $S=\sin 90^\circ = 1$; $L_9=h$ olmak üzere;

$$\begin{array}{cccccc}
 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 6 \\
 [k_{9f}] = & \begin{bmatrix} \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} & -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & -\frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} \\ -\frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{12EI_c}{h^3} & 0 & \frac{6EI_c}{h^2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_c}{h} & \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{4EI_c}{h} \end{bmatrix} & \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 6 \end{matrix}
 \end{array} \quad (3.87)$$

Elde edilen eleman global rijitlik matrislerinde sıfırdan farklı serbestlik dereceleri dikkate alındığında, aynı serbestlik derecelerine sahip olan rijitlik matrisi

değerlerinin toplanması ile (6*6) boyutlu global doğrultulardaki sistem rijitlik matrisi aşağıdaki gibi yazılır.

(3.88) numaralı matris denklem;

$$[K_f^S] = \begin{bmatrix} \frac{60EI_c}{h^3} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{6EI_c}{h^2} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} & 0 \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} & \frac{2EI_b}{L} \\ \frac{6EI_c}{h^2} & 0 & 0 & 0 & \frac{2EI_b}{L} & \frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \end{bmatrix}$$

$$\{P_f\} = [K_f^S] \{\delta_f\} \quad (3.89)$$

(3.89) denklemi ile verilen bağıntı açık halde tek katlı dört açıklıklı sisteme uygulanırsa aşağıdaki denklemler elde edilir;

$$F = \frac{60EI_c}{h^3} \delta_1 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_2 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_3 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_4 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_5 + \frac{6EI_c}{h^2} \theta_6 \quad (3.90)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.91)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_3 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 \quad (3.92)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_4 + \frac{2EI_b}{L} \theta_5 \quad (3.93)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_5 + \frac{2EI_b}{L} \theta_6 \quad (3.94)$$

$$0 = \frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 + \frac{2EI_b}{L} \theta_5 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_6 \quad (3.95)$$

Bu denklemler kullanılarak α_k katsayısı elde edilmiştir.

(3.91) ve (3.95) denklemlerinden $\theta_2 = \theta_6$ ve $\theta_3 = \theta_5$ olduğu görülür. Bu eşitlikler göz önüne alınarak yapılan işlemler aşağıda sunulmuştur.

(3.91) numaralı denklem kullanılarak;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{4EI_b}{L} \right) \theta_2 + \frac{2EI_b}{L} \theta_3 \quad (3.96)$$

$$-\delta_1 = \frac{2h}{3} \theta_2 + \frac{2h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_3 \quad (3.97)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left[\left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_l}{\alpha_L} \right) \theta_2 + \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_3 \right] \quad (3.98)$$

bağıntıları elde edilmiştir.

(3.92) numaralı denklem kullanılarak;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \frac{2EI_b}{L} \theta_2 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_3 + \frac{2EI_b}{L} \theta_4 \quad (3.99)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{2h}{3} \theta_3 + \frac{4h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{h}{3} \frac{\alpha_l}{\alpha_L} \theta_4 \quad (3.100)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{2\alpha_L + 4\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_4 \right) \quad (3.101)$$

bağıntıları elde edilmiştir.

(3.93) numaralı denklem kullanılarak;

$$-\frac{6EI_c}{h^2} \delta_1 = \frac{2EI_b}{L} \theta_3 + \left(\frac{4EI_c}{h} + \frac{8EI_b}{L} \right) \theta_4 + \frac{2EI_b}{L} \theta_5 \quad (3.102)$$

$$-\delta_1 = \frac{2h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{2h}{3} \theta_4 + \frac{4h}{3} \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_4 \quad (3.103)$$

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{2\alpha_L + 4\alpha_L}{\alpha_L} \theta_4 \right) \quad (3.104)$$

bağıntıları elde edilmiştir.

(3.98) ve (3.101) denklemleri birbirlerine eşitlenerek θ_2 , θ_3 ve θ_4 birbiri cinsinden aşağıdaki işlemler ile yazılarak sunulmuştur.

$$\frac{h}{3} \left[\left(\frac{2\alpha_L + 2\alpha_L}{\alpha_L} \theta_2 \right) + \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 \right] = \frac{h}{3} \left(\frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{2\alpha_L + 4\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_4 \right) \quad (3.105)$$

$$\frac{2\alpha_L + \alpha_L}{\alpha_L} \theta_2 - \frac{2\alpha_L + 3\alpha_L}{\alpha_L} \theta_3 = \frac{\alpha_L}{\alpha_L} \theta_4 \quad (3.106)$$

$$\theta_4 = \frac{2\alpha_L + \alpha_I}{\alpha_I} \theta_2 - \frac{2\alpha_L + 3\alpha_I}{\alpha_I} \theta_3 \quad (3.107)$$

Burada $\frac{2\alpha_L + \alpha_I}{\alpha_I} = X$ ve $\frac{2\alpha_L + 3\alpha_I}{\alpha_I} = Y$ denilirse (3.107) numaralı denklem aşağıdaki gibi yazılır.

$$\theta_4 = X * \theta_2 - Y * \theta_3 \quad (3.108)$$

(3.101) ve (3.104) denklemleri birbirlerine eşitlenerek θ_2 , θ_3 ve θ_4 birbiri cinsinden yazılarak aşağıda sunulmuştur.

$$\frac{h}{3} \left(\frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{2\alpha_L + 4\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_4 \right) = \frac{h}{3} \left(\frac{2\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 + \frac{2\alpha_L + 4\alpha_I}{\alpha_L} \theta_4 \right) \quad (3.109)$$

$$\frac{\alpha_I}{\alpha_L} \theta_2 + \frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} \theta_3 = \frac{2\alpha_L + 3\alpha_I}{\alpha_L} \theta_4 \quad (3.110)$$

$$\theta_4 = \frac{\alpha_I}{2\alpha_L + 3\alpha_I} \theta_2 + \frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{2\alpha_L + 3\alpha_I} \theta_3 \quad (3.111)$$

Burada $\frac{\alpha_I}{2\alpha_L + 3\alpha_I} = \frac{1}{Y}$ ve $\frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{2\alpha_L + 3\alpha_I} = Z$ denilirse (3.111) numaralı denklem aşağıdaki gibi yazılır.

$$\theta_4 = \frac{1}{Y} * \theta_2 + Z * \theta_3 \quad (3.112)$$

Elde edilen (3.108) ve (3.112) denklemleri birbirlerine eşitlenerek (3.113) numaralı bağıntı elde edilmiştir.

$$\left(X - \frac{1}{Y}\right) * \theta_2 = (Y + Z) * \theta_3 \quad (3.113)$$

Burada;

$$\left(X - \frac{1}{Y}\right) = \left(\frac{4\alpha_L^2 + 8\alpha_I\alpha_L + 2\alpha_I^2}{3\alpha_I^2 + 2\alpha_I\alpha_L}\right) \quad (3.114)$$

$$Z + Y = \left(\frac{11\alpha_I^2 + 14\alpha_I\alpha_L + 4\alpha_L^2}{3\alpha_I^2 + 2\alpha_I\alpha_L}\right) \quad (3.115)$$

ifadeleri elde edilir. Ayrıca,

$$C = \frac{2\alpha_L + 2\alpha_I}{\alpha_L} \quad (3.116)$$

$$D = \frac{\alpha_I}{\alpha_L} \quad (3.117)$$

olarak belirlenip (3.98) denkleminde yerine yazılırsa,

$$-\delta_1 = \frac{h}{3} \left(C + \frac{D * A}{B}\right) \theta_2 \quad (3.118)$$

(3.118) denklemi elde edilir. (3.118) denkleminde elde edilen eşitlik ile kesit dönmeleri (θ) arasındaki bağıntılardan faydalanılarak aşağıdaki (3.119), (3.120) ve (3.121) denklemleri elde edilmiştir.

$$\theta_2 = -\frac{\delta_1}{h} * \left(\frac{3 * B}{B * C + D * A} \right) \quad (3.119)$$

$$\theta_3 = -\frac{\delta_1}{h} * \left(\frac{3 * A}{B * C + D * A} \right) \quad (3.120)$$

$$\theta_4 = -\frac{\delta_1}{h} * \left(\frac{3 * X * B - 3 * A * Y}{B * C + D * A} \right) \quad (3.121)$$

Son olarak elde ettiğimiz (3.119), (3.120) ve (3.121) numaralı denklemleri (3.90) numaralı denklemde ifadelerin yerine yazarak α_k katsayısına karşılık gelen ifade elde edilmiştir. Aşağıda bu ifadenin elde edildiği işlemler sunulmuştur.

$$F = \frac{6EI_c}{h^2} \left(\frac{10\delta_1}{h} + \theta_2 + \theta_3 + \theta_4 + \theta_5 + \theta_6 \right) \quad (3.122)$$

$$F = \frac{6EI_c}{h^2} \left(\frac{10\delta_1}{h} + 2\theta_2 + 2\theta_3 + \theta_4 \right) \quad (3.123)$$

$$F = \frac{6EI_c}{h^2} \left(\frac{10\delta_1}{h} - \frac{\delta_1}{h} \left(\frac{6B}{BC + DA} \right) - \frac{\delta_1}{h} \left(\frac{6A}{BC + DA} \right) - \frac{\delta_1}{h} \left(\frac{3XB - 3AY}{BC + DA} \right) \right) \quad (3.124)$$

$$F = \frac{6EI_c}{h^3} \left(10 - \left(\frac{6B}{BC + DA} \right) - \left(\frac{6A}{BC + DA} \right) - \left(\frac{3XB - 3AY}{BC + DA} \right) \right) \quad (3.125)$$

$$\alpha_k = \frac{1}{4} * \left(10 - \left(\frac{6B}{BC + DA} \right) - \left(\frac{6A}{BC + DA} \right) - \left(\frac{3XB - 3AY}{BC + DA} \right) \right) \quad (3.126)$$

$$F = \frac{24EI_c}{h^3} * \alpha_k \quad (3.127)$$

α_k katsayısı, farklı kiriş, kolon atalet momentleri oranları ve çerçeve açıklığının, çerçeve yüksekliğine oranlarına göre hesaplanarak aşağıdaki Tablo-3.4' de sunulmuştur.

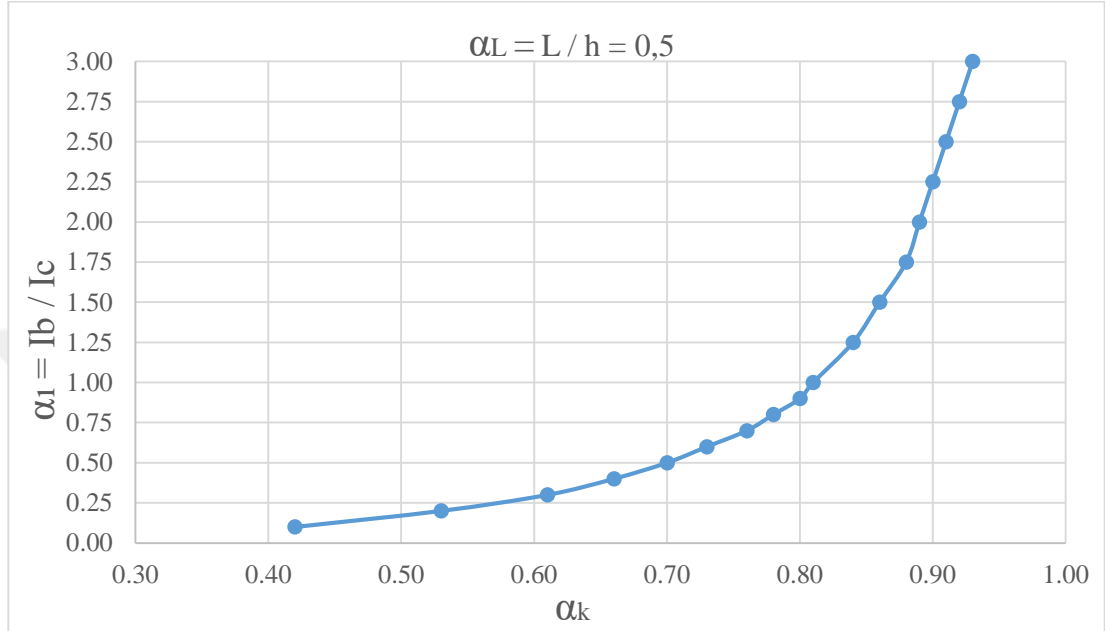


Tablo 3.4 Tek katlı dört açıklıklı sistemin matris-deplasman yöntemi ile bulunan α_k katsayıları

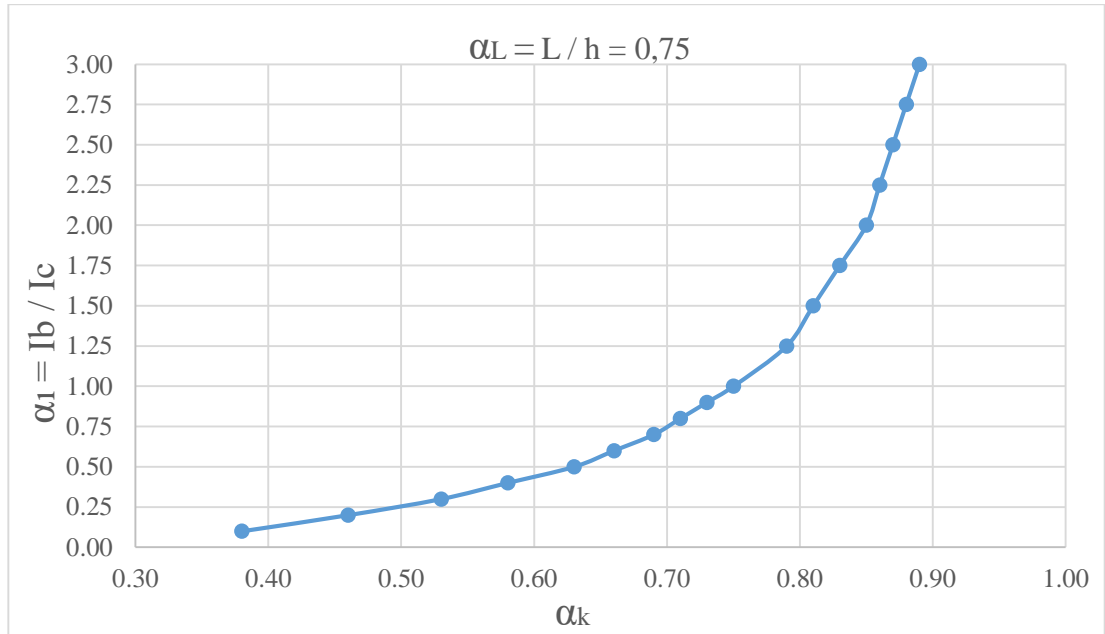
L/h	Ib/Ic																	
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00
0,50	1,22	1,51	1,69	1,82	1,91	1,97	2,03	2,07	2,11	2,14	2,20	2,24	2,27	2,29	2,31	2,33	2,34	2,36
0,75	1,07	1,34	1,51	1,64	1,74	1,82	1,88	1,93	1,97	2,01	2,08	2,14	2,18	2,21	2,24	2,26	2,28	2,29
1,00	0,98	1,22	1,39	1,51	1,61	1,69	1,76	1,82	1,86	1,91	1,99	2,05	2,10	2,14	2,17	2,20	2,22	2,24
1,25	0,92	1,13	1,29	1,42	1,51	1,60	1,66	1,72	1,77	1,82	1,91	1,97	2,03	2,07	2,11	2,14	2,16	2,18
1,50	0,88	1,07	1,22	1,34	1,43	1,51	1,58	1,64	1,69	1,74	1,83	1,91	1,96	2,01	2,05	2,08	2,11	2,14
1,75	0,85	1,02	1,16	1,27	1,37	1,45	1,51	1,57	1,63	1,67	1,77	1,84	1,91	1,96	2,00	2,03	2,06	2,09
2,00	0,82	0,98	1,11	1,22	1,31	1,39	1,45	1,51	1,57	1,61	1,71	1,79	1,85	1,91	1,95	1,99	2,02	2,05
2,25	0,80	0,95	1,07	1,17	1,26	1,34	1,40	1,46	1,51	1,56	1,66	1,74	1,81	1,86	1,91	1,95	1,98	2,01
2,50	0,79	0,92	1,04	1,13	1,22	1,29	1,36	1,42	1,47	1,51	1,61	1,69	1,76	1,82	1,86	1,91	1,94	1,97
2,75	0,77	0,90	1,01	1,10	1,18	1,25	1,32	1,37	1,43	1,47	1,57	1,65	1,72	1,78	1,83	1,87	1,91	1,94
3,00	0,76	0,88	0,98	1,07	1,15	1,22	1,28	1,34	1,39	1,43	1,53	1,61	1,68	1,74	1,79	1,83	1,87	1,91
3,25	0,75	0,86	0,96	1,04	1,12	1,19	1,25	1,30	1,35	1,40	1,50	1,58	1,65	1,71	1,76	1,80	1,84	1,87
3,50	0,74	0,85	0,94	1,02	1,09	1,16	1,22	1,27	1,32	1,37	1,46	1,55	1,61	1,67	1,72	1,77	1,81	1,84

3.5 Tablo Halinde Sunulan α_k Değerlerinin Şekil Gösterimleri

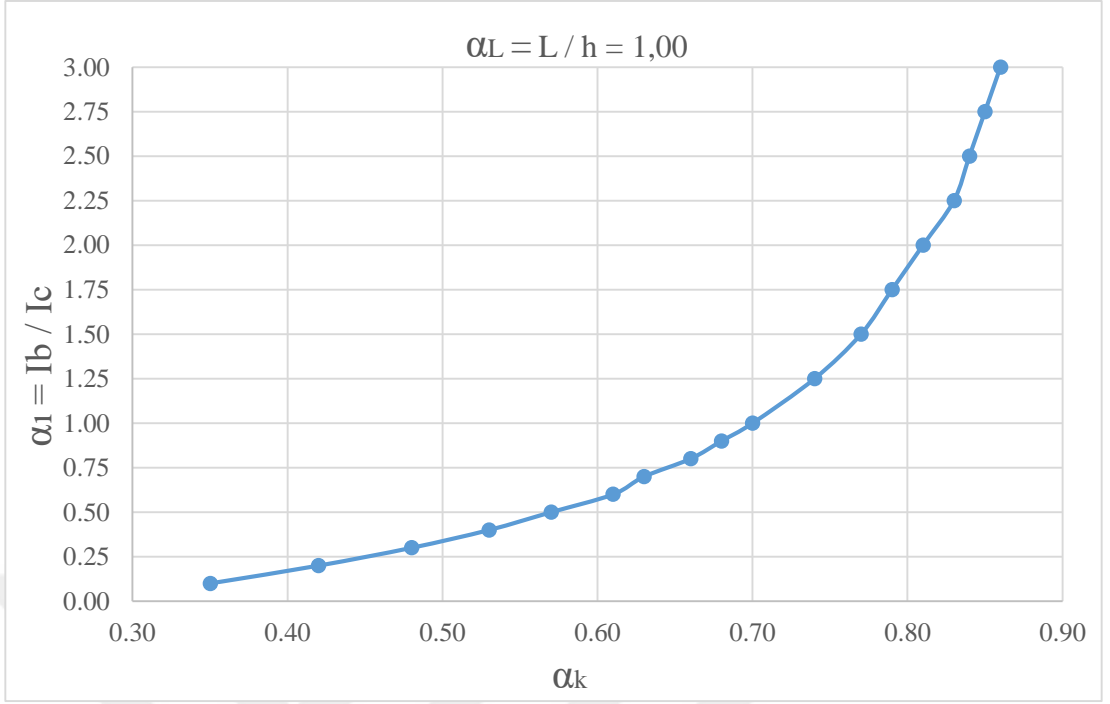
3.5.1 Tek kat tek açıklık için sunulan Tablo 2.1'in şekil gösterimleri



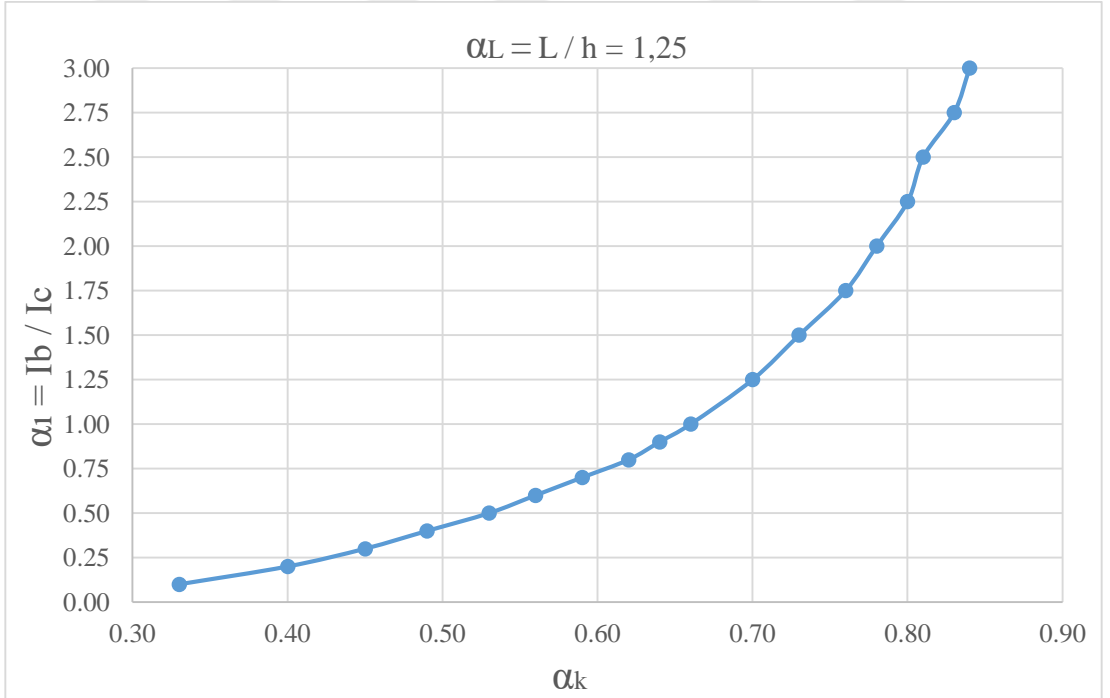
Şekil 3.5 $\alpha_L = 0,5$ değeri için α_k değerleri



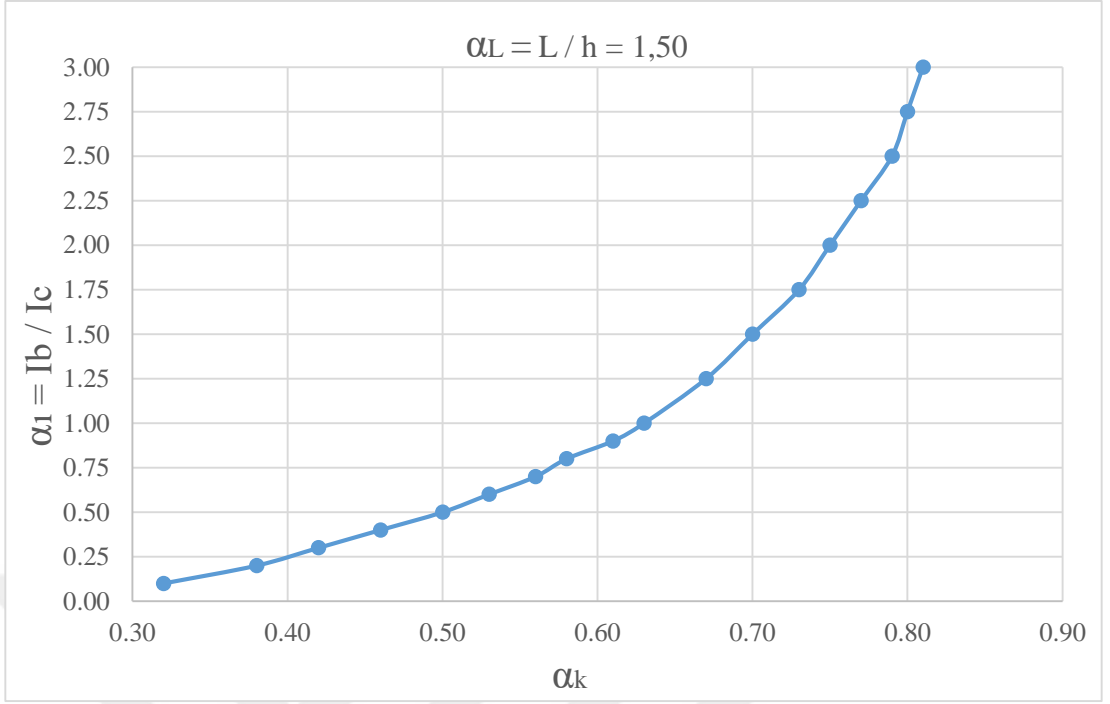
Şekil 3.6 $\alpha_L = 0,75$ değeri için α_k değerleri



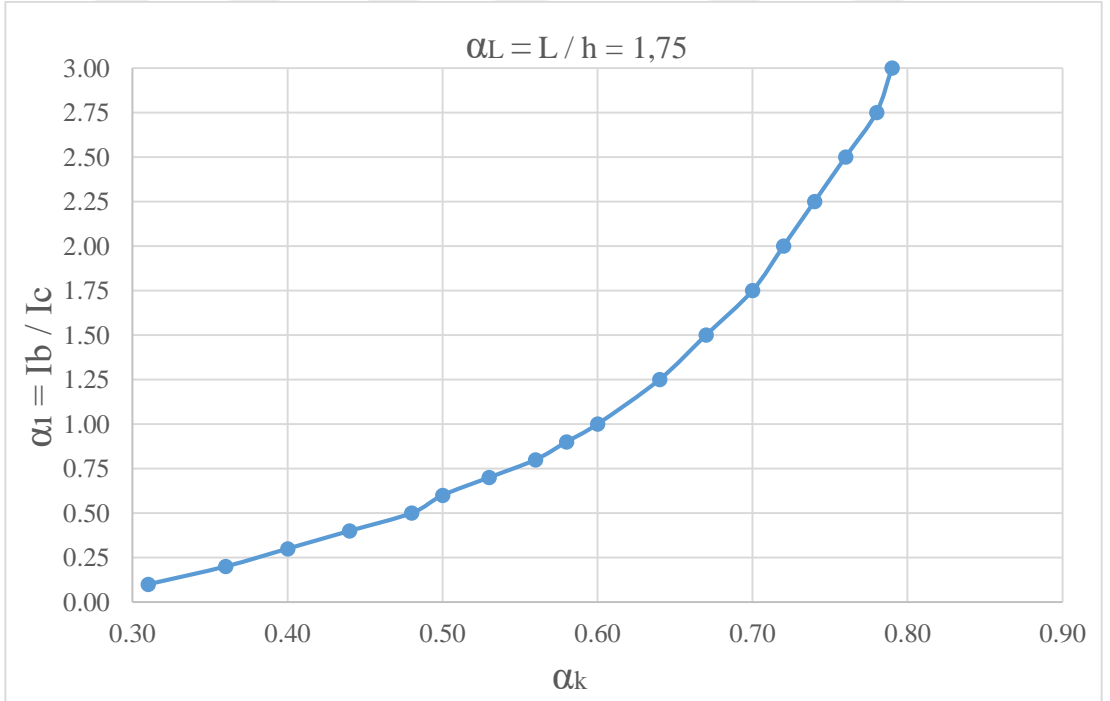
Şekil 3.7 $\alpha_L = 1,00$ değeri için α_k değerleri



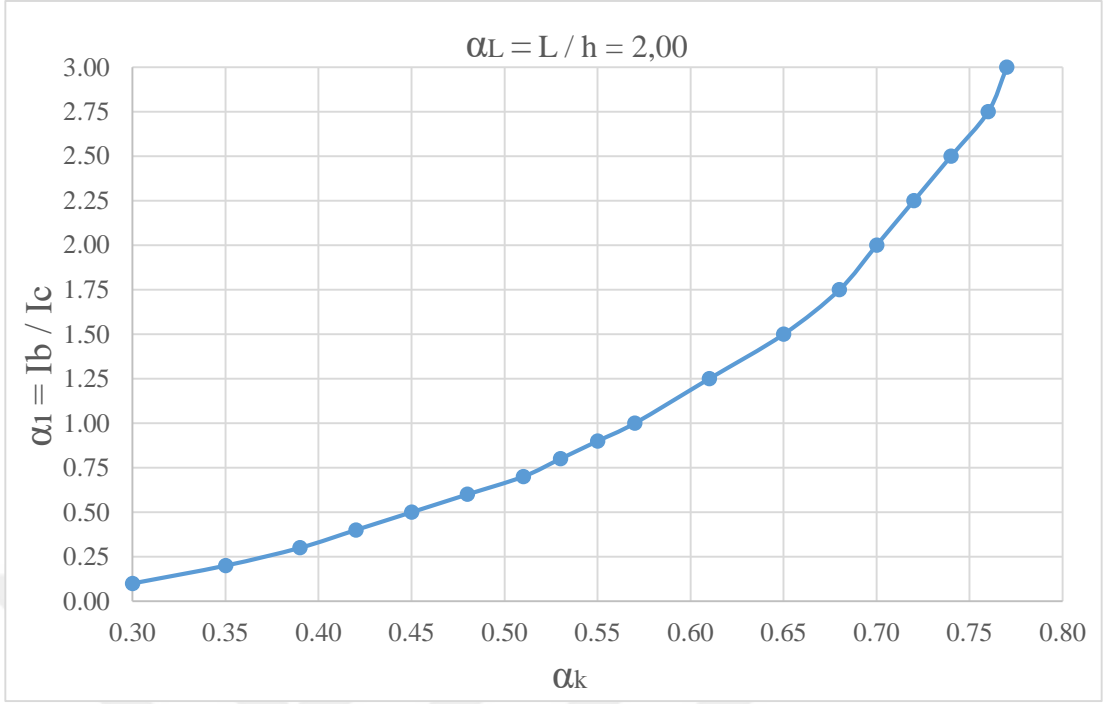
Şekil 3.8 $\alpha_L = 1,25$ değeri için α_k değerleri



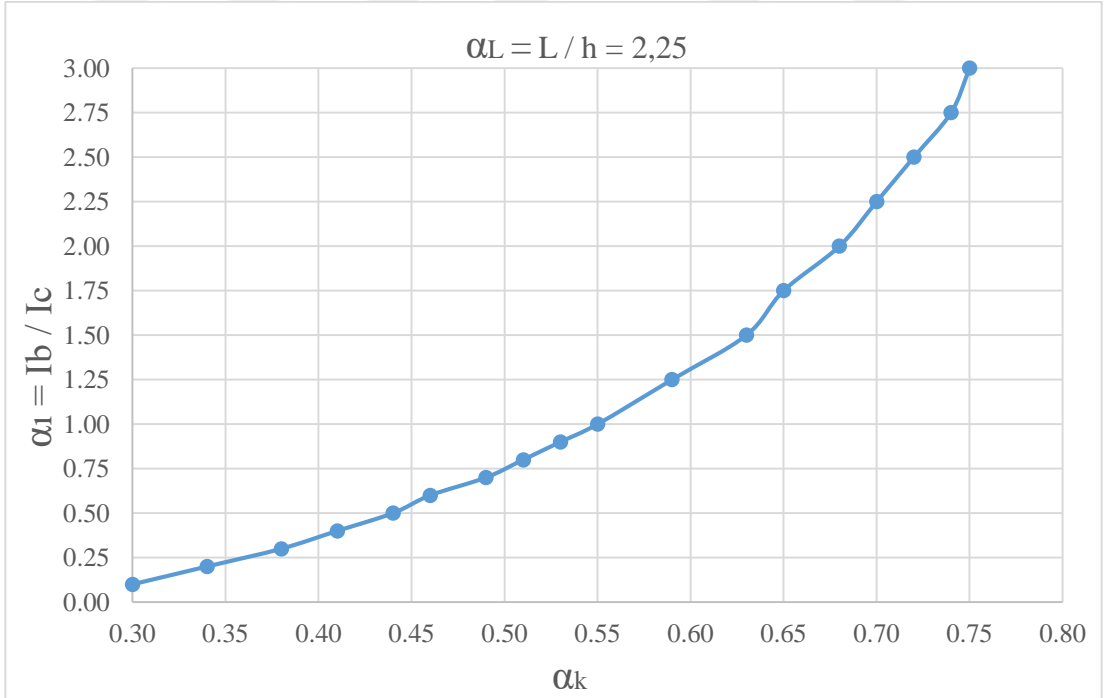
Şekil 3.9 $\alpha_L = 1,50$ değeri için α_k değerleri



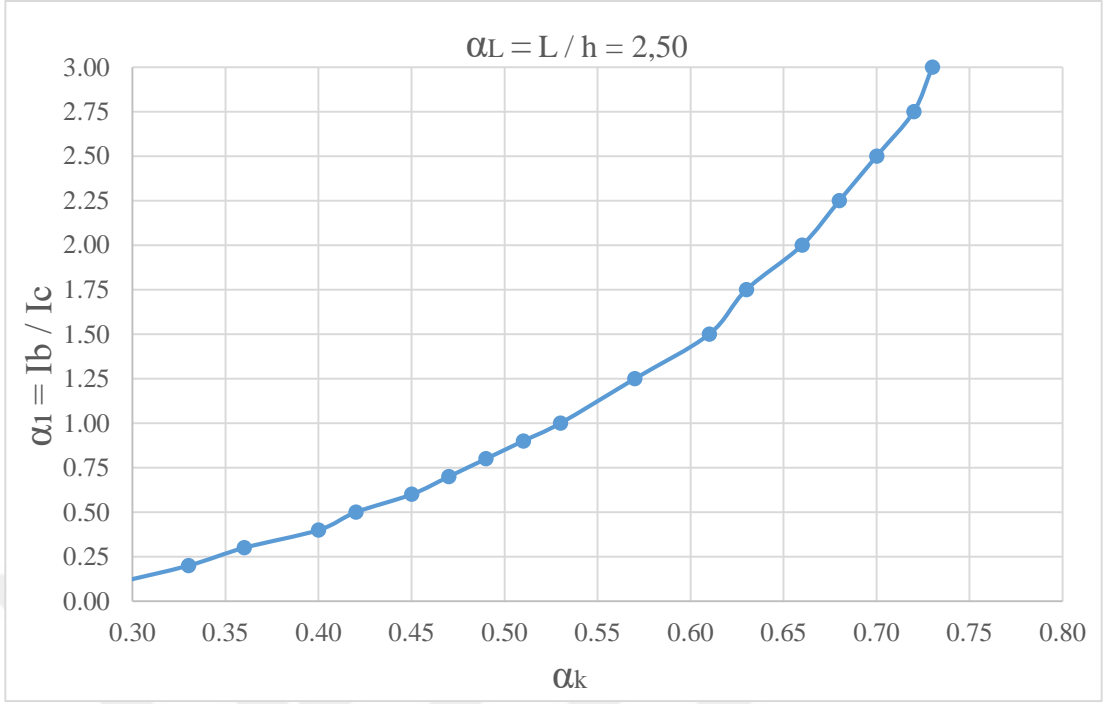
Şekil 3.10 $\alpha_L = 1,75$ değeri için α_k değerleri



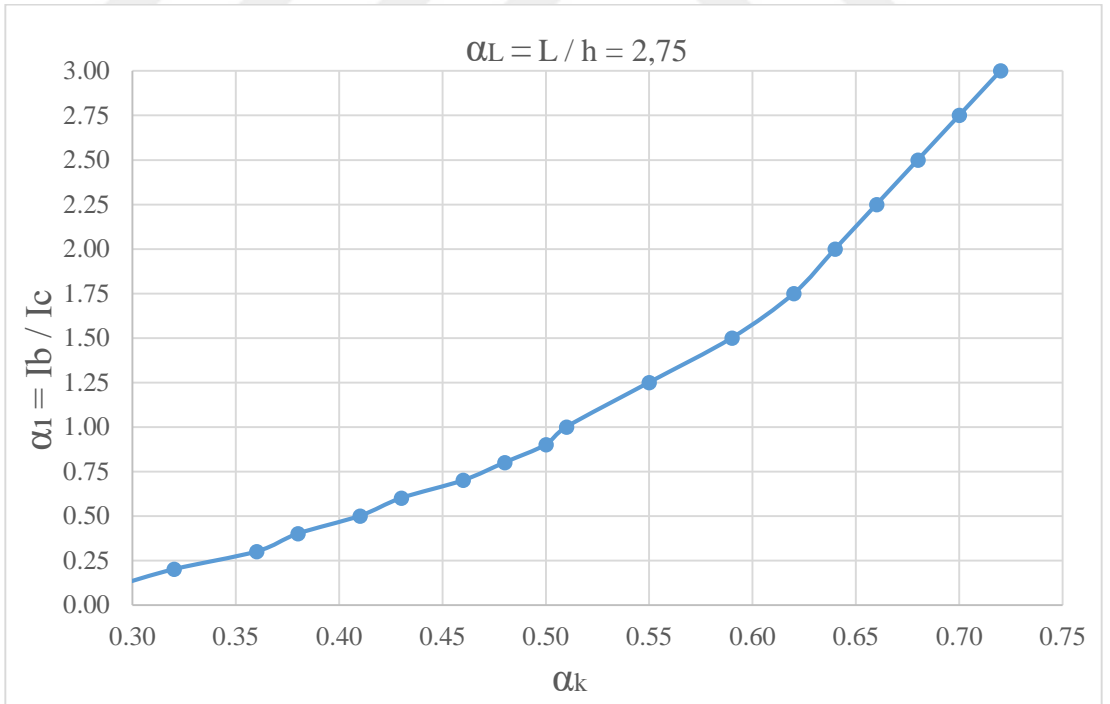
Şekil 3.11 $\alpha_L = 2,00$ değeri için α_k değerleri



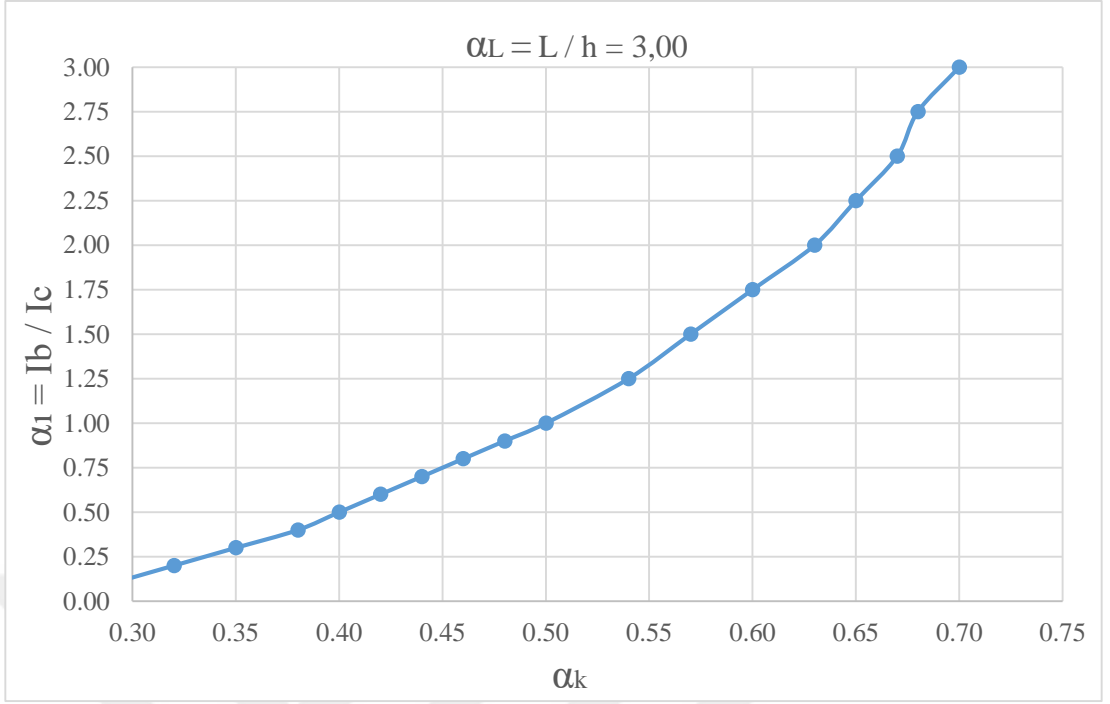
Şekil 3.12 $\alpha_L = 2,25$ değeri için α_k değerleri



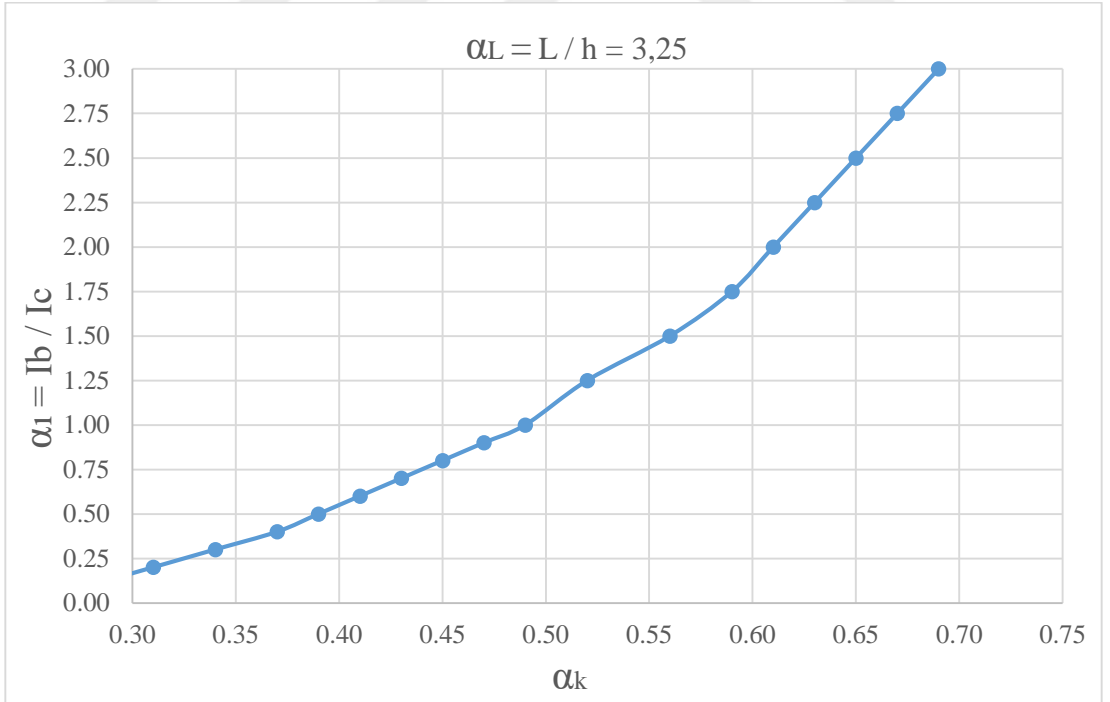
Şekil 3.13 $\alpha_L = 2,50$ değeri için α_k değerleri



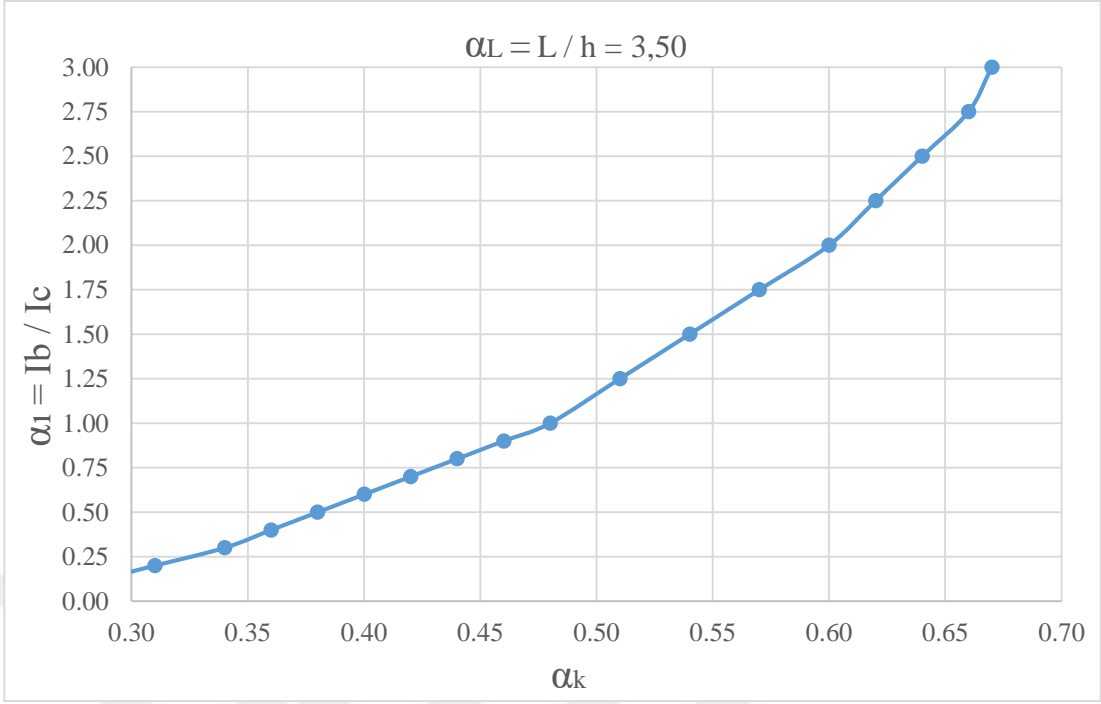
Şekil 3.14 $\alpha_L = 2,75$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.15 $\alpha_L = 3,00$ değeri için α_k değerleri

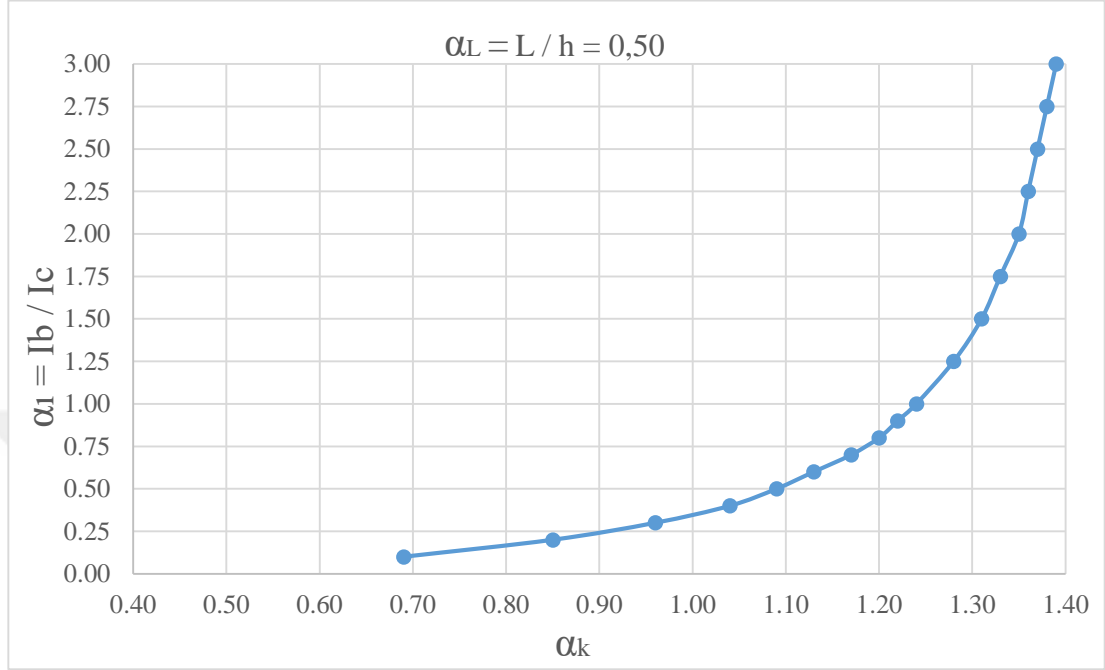


Şekil 3.16 $\alpha_L = 3,25$ değeri için α_k değerleri

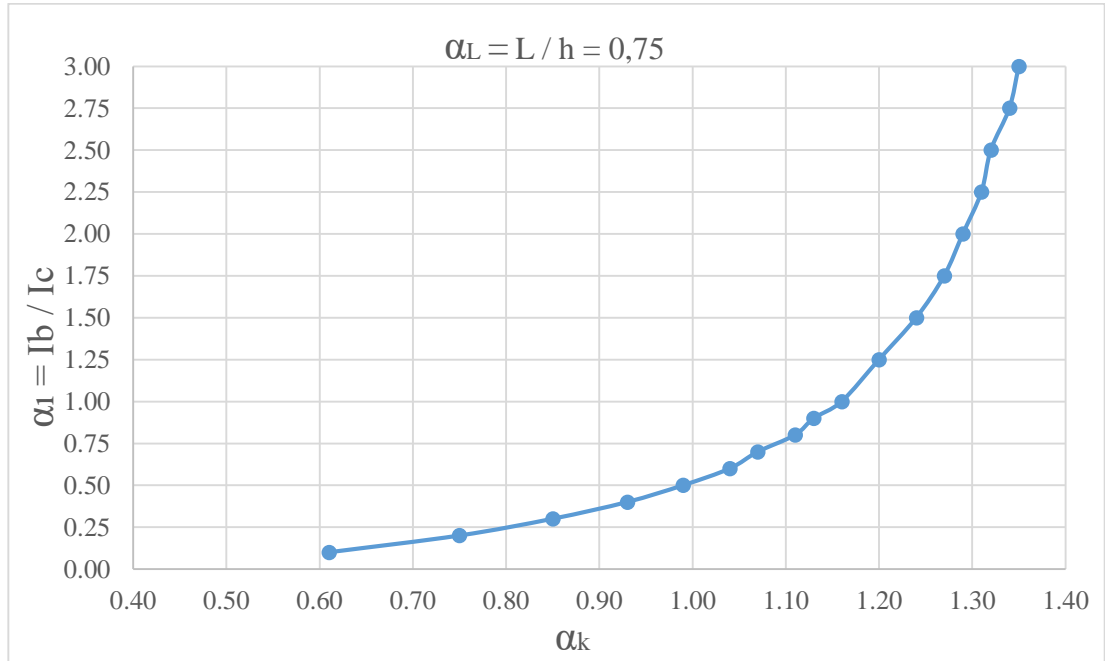


Şekil 3.17 $\alpha_L = 3,50$ değeri için α_k değerleri

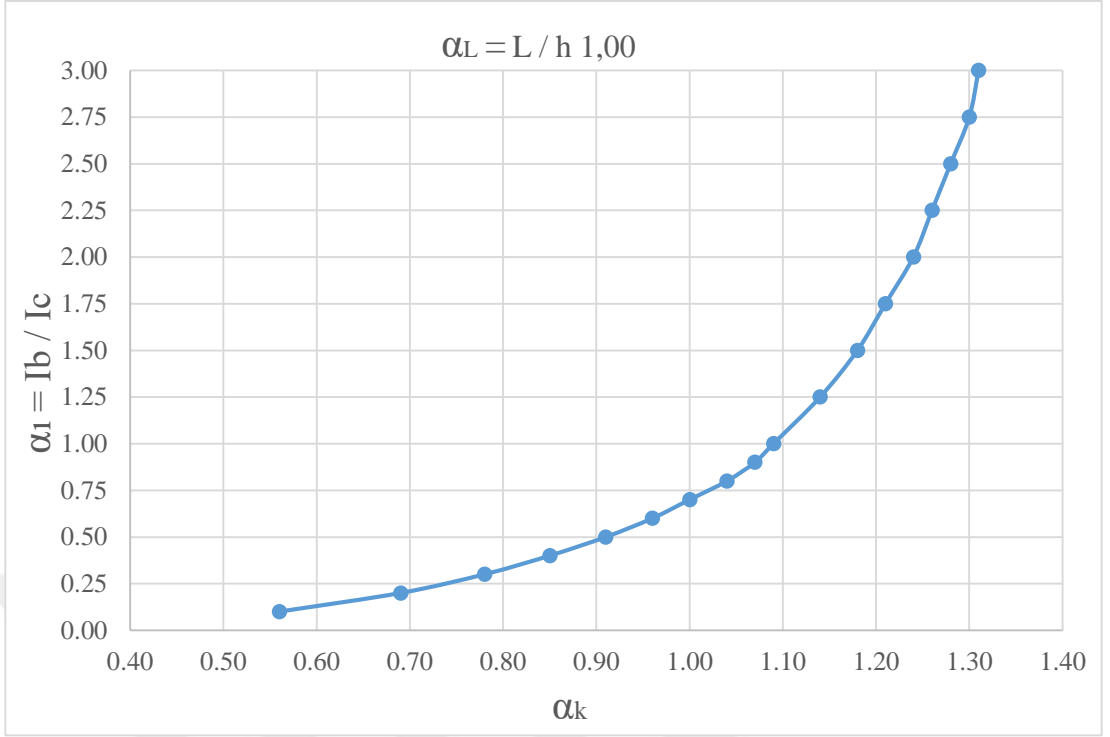
3.5.2 Tek kat iki açıklık için sunulan Tablo 2.2'nin şekil gösterimleri



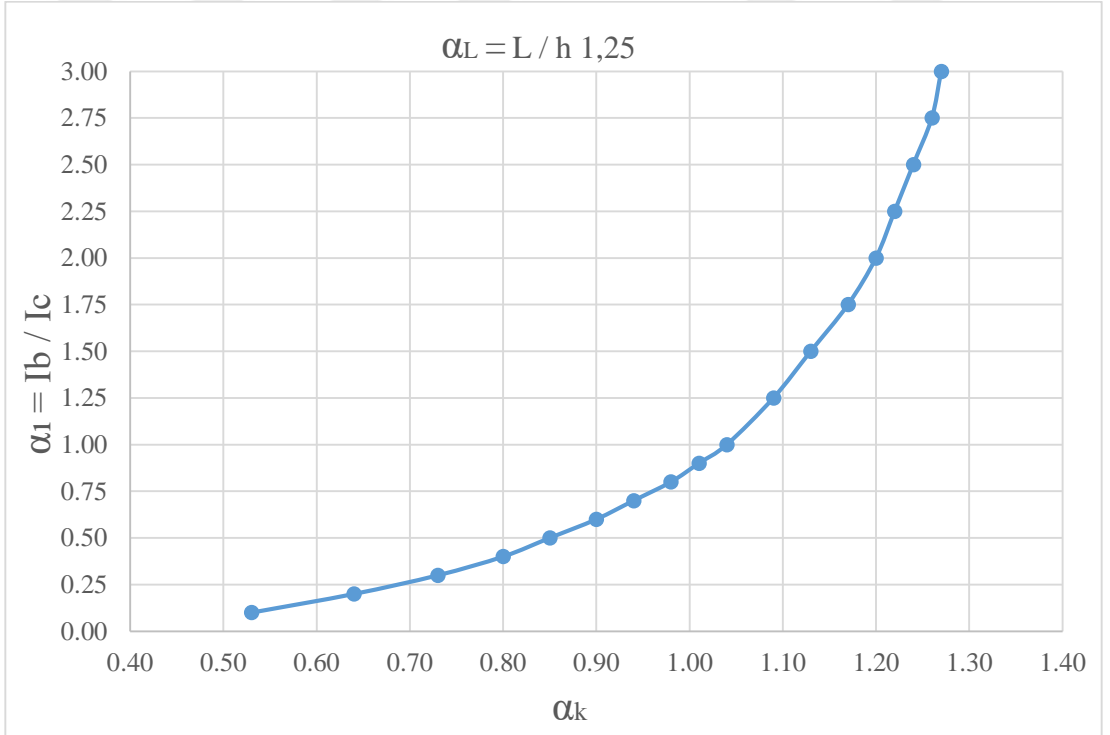
Şekil 3.18 $\alpha_L = 0,50$ değeri için α_k değerleri



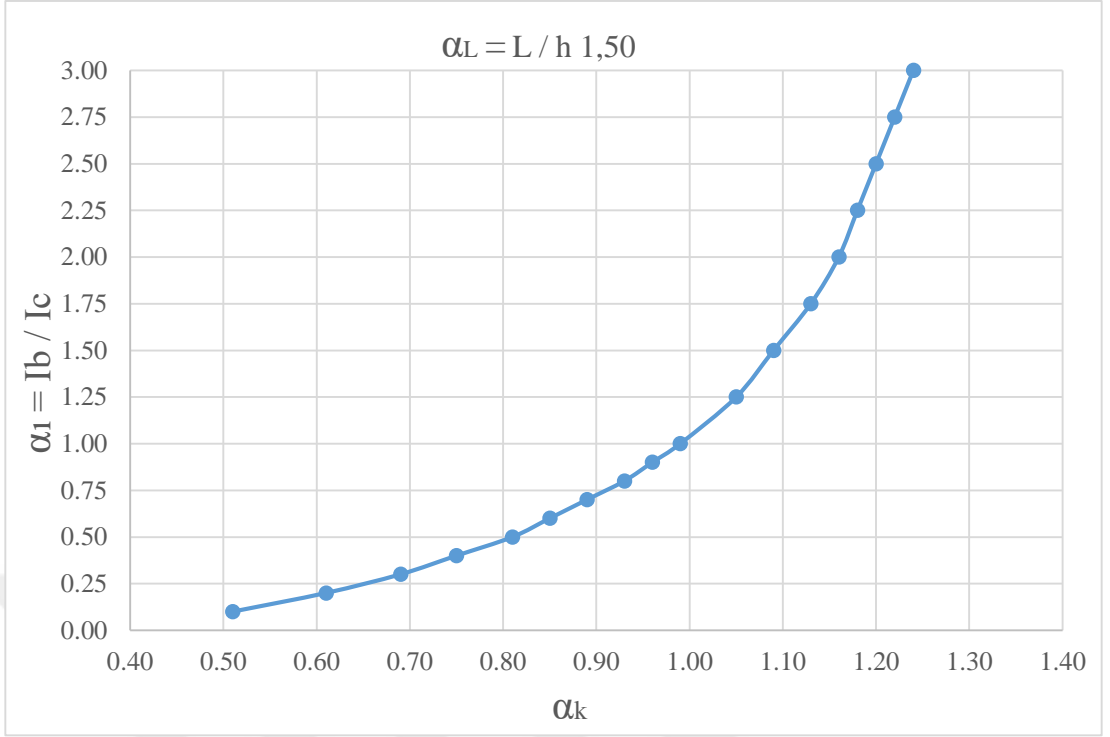
Şekil 3.19 $\alpha_L = 0,75$ değeri için α_k değerleri



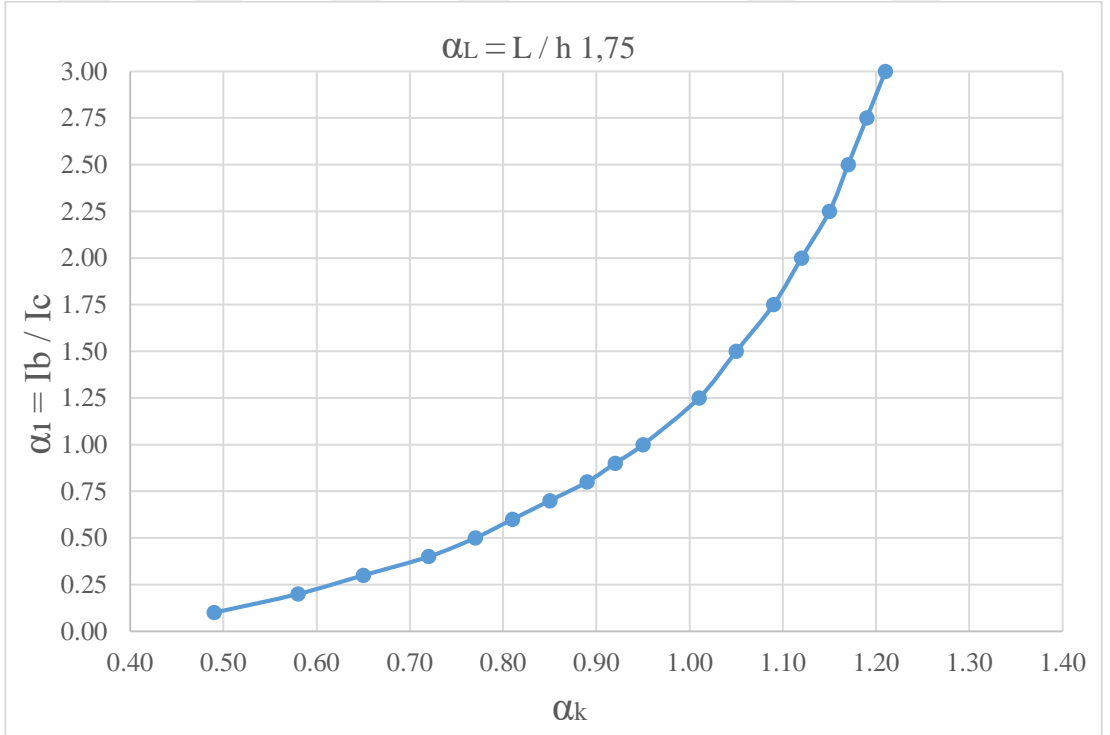
Şekil 3.20 $\alpha_L = 1,00$ değeri için α_k değerleri



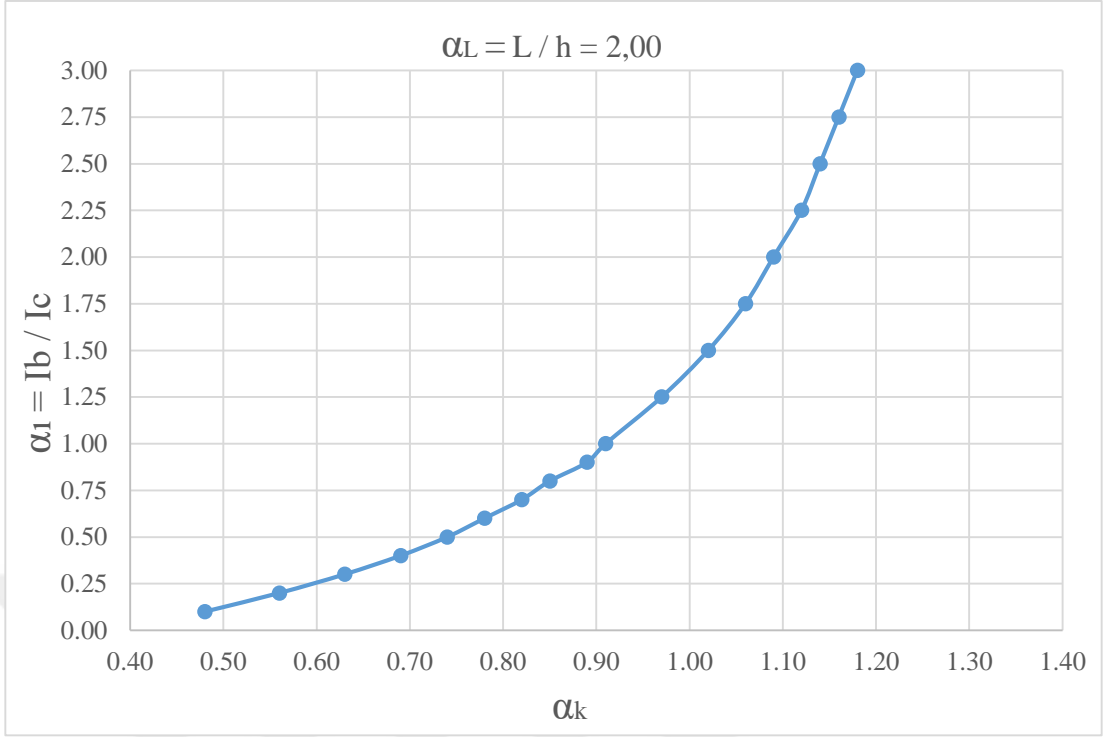
Şekil 3.21 $\alpha_L = 1,25$ değeri için α_k değerleri



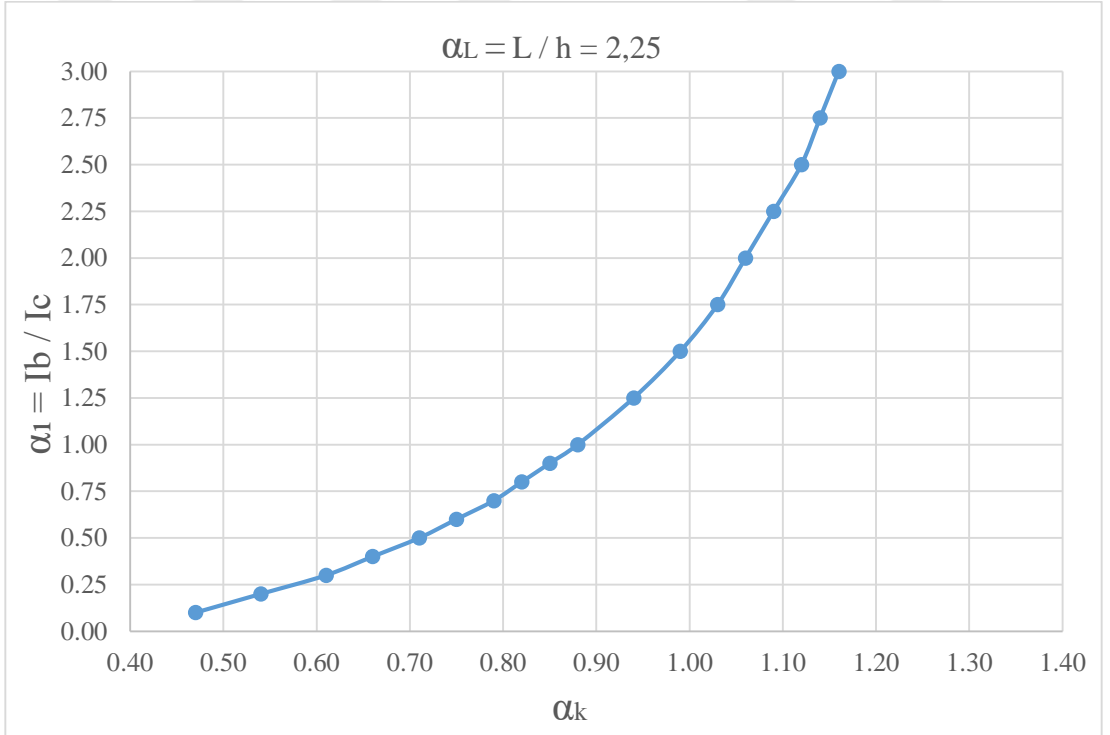
Şekil 3.22 $\alpha_L = 1,50$ değeri için α_k değerleri



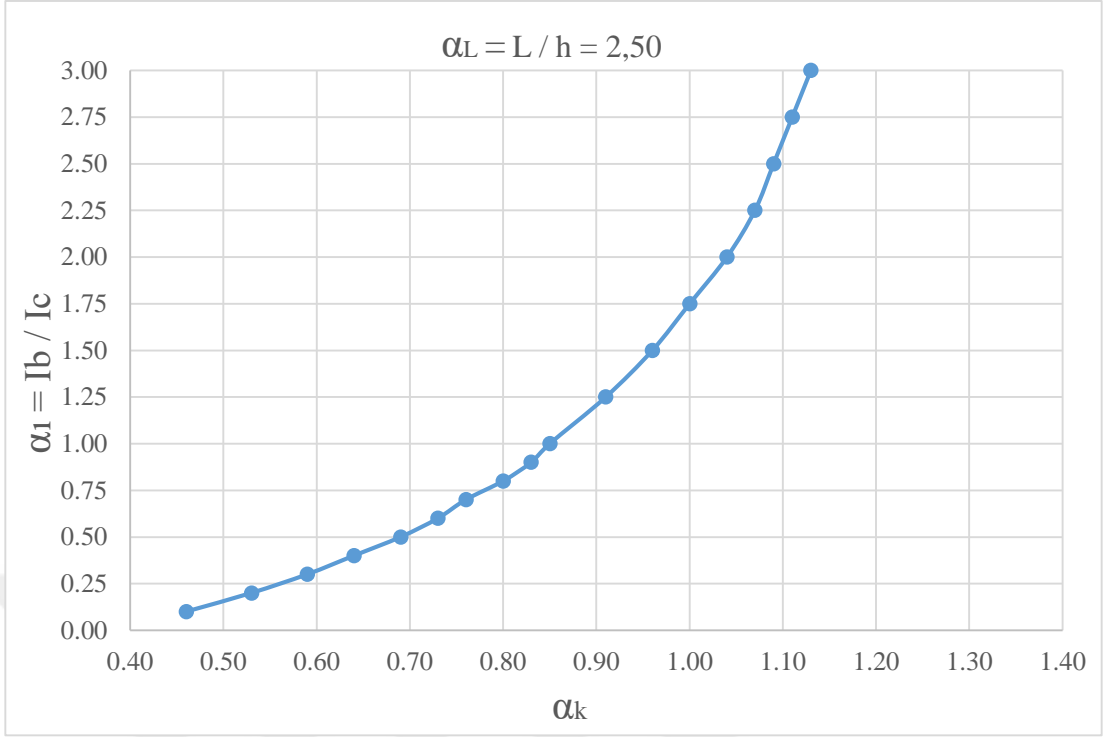
Şekil 3.23 $\alpha_L = 1,75$ değeri için α_k değerleri



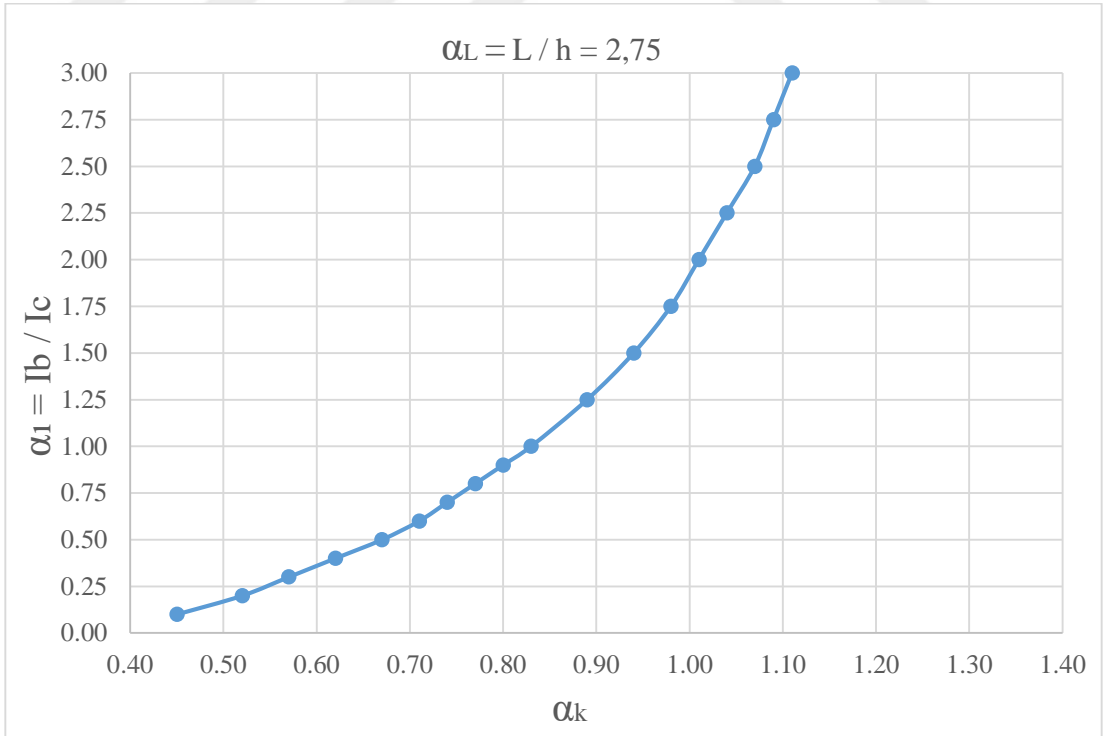
Şekil 3.24 $\alpha_L = 2,00$ değeri için α_k değerleri



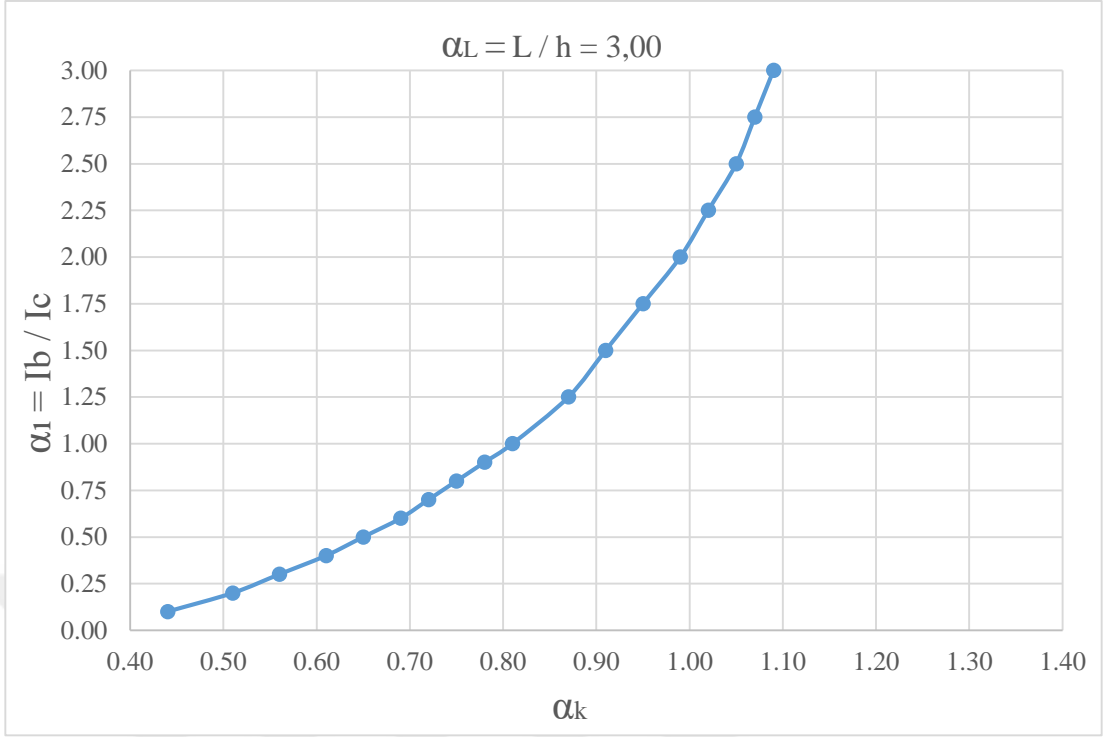
Şekil 3.25 $\alpha_L = 2,25$ değeri için α_k değerleri



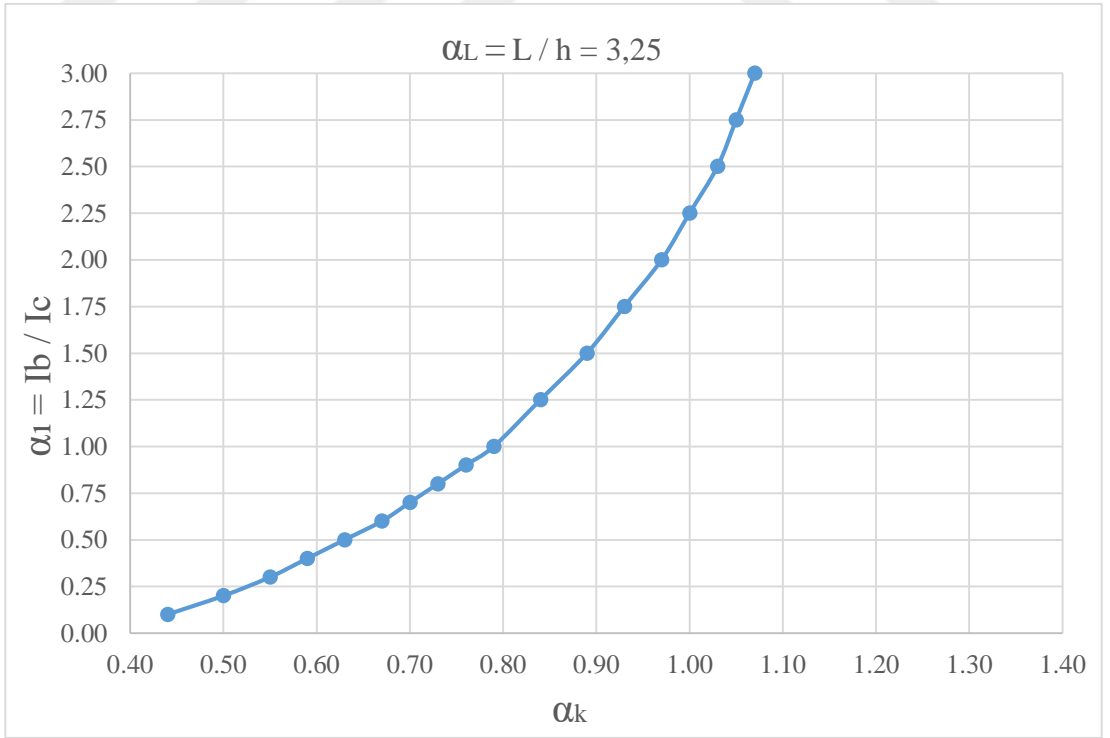
Şekil 3.26 $\alpha_L = 2,50$ değeri için α_k değerleri



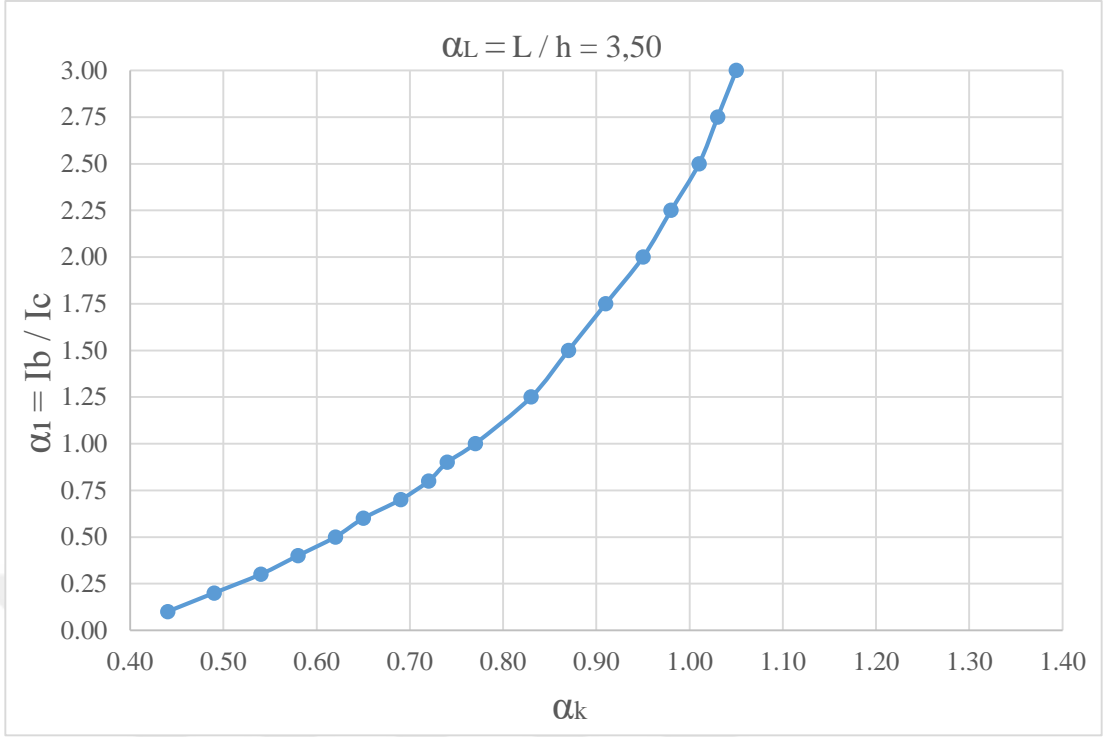
Şekil 3.27 $\alpha_L = 2,75$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.28 $\alpha_L = 3,00$ değeri için α_k değerleri

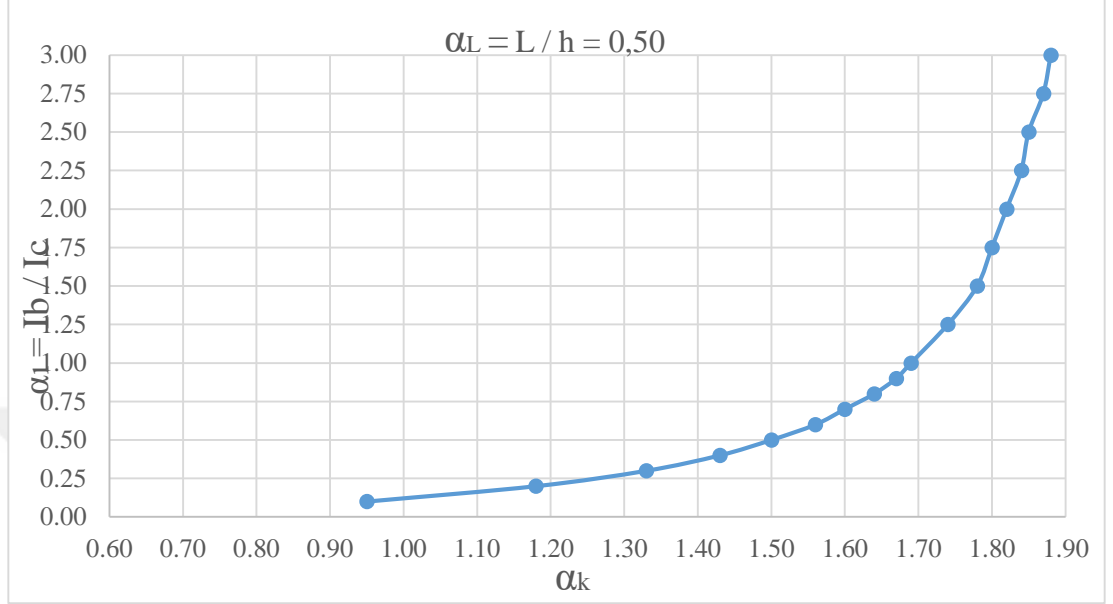


Şekil 3.29 $\alpha_L = 3,25$ değeri için α_k değerleri

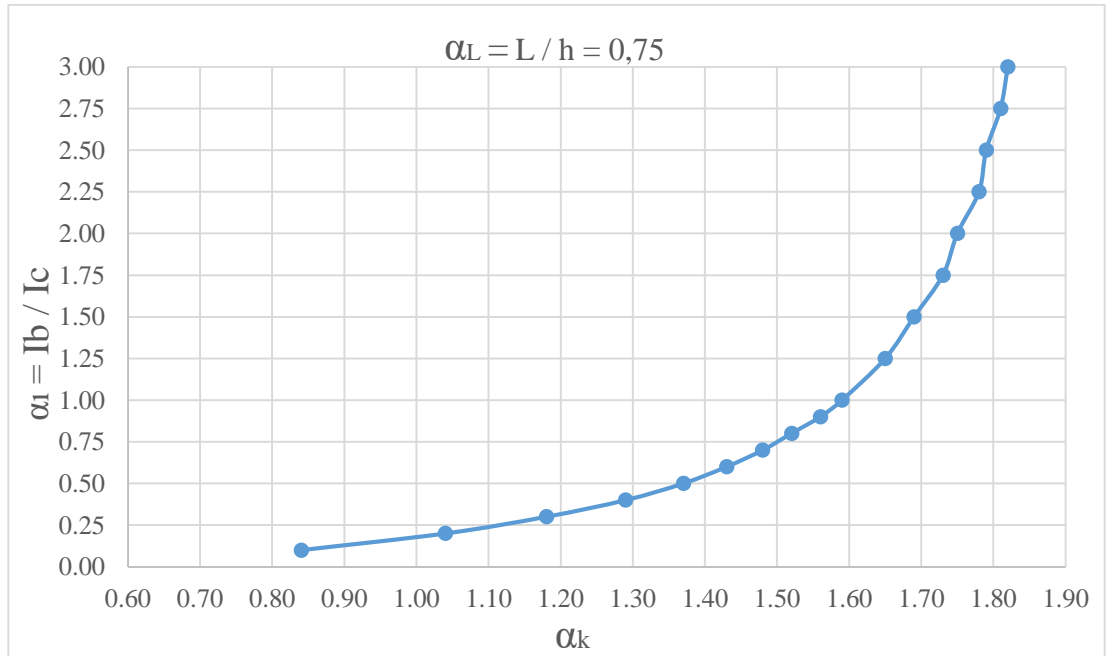


Şekil 3.30 $\alpha_L = 3,50$ değeri için α_k değerleri

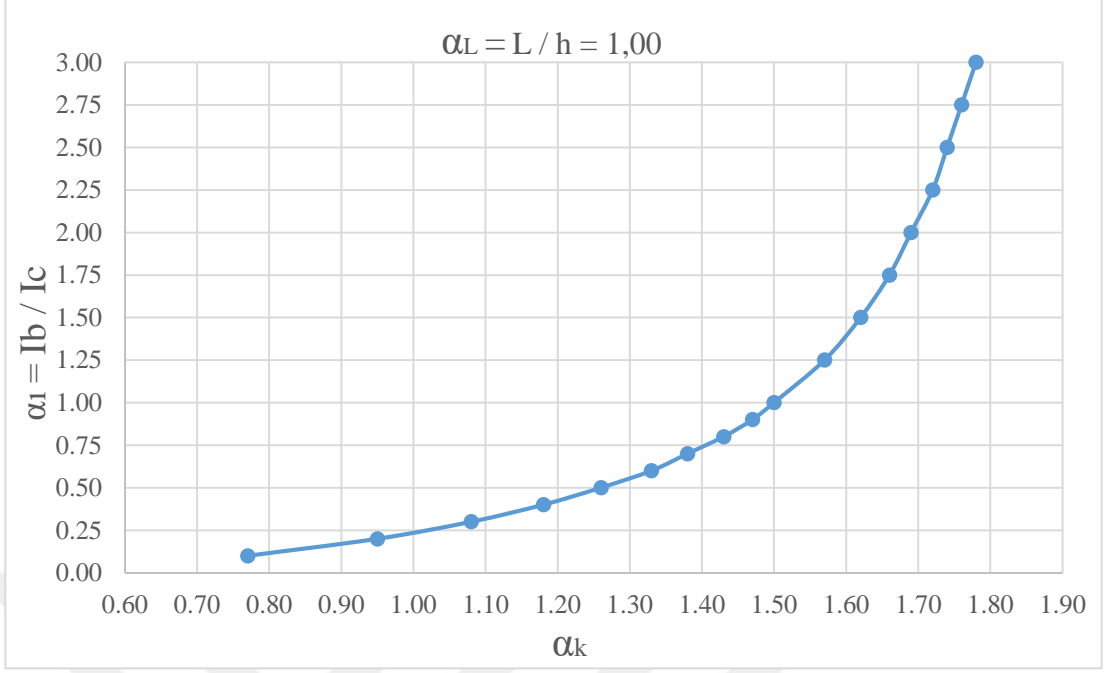
3.5.3 Tek kat üç açıklık için sunulan Tablo 2.3'ün şekil gösterimleri



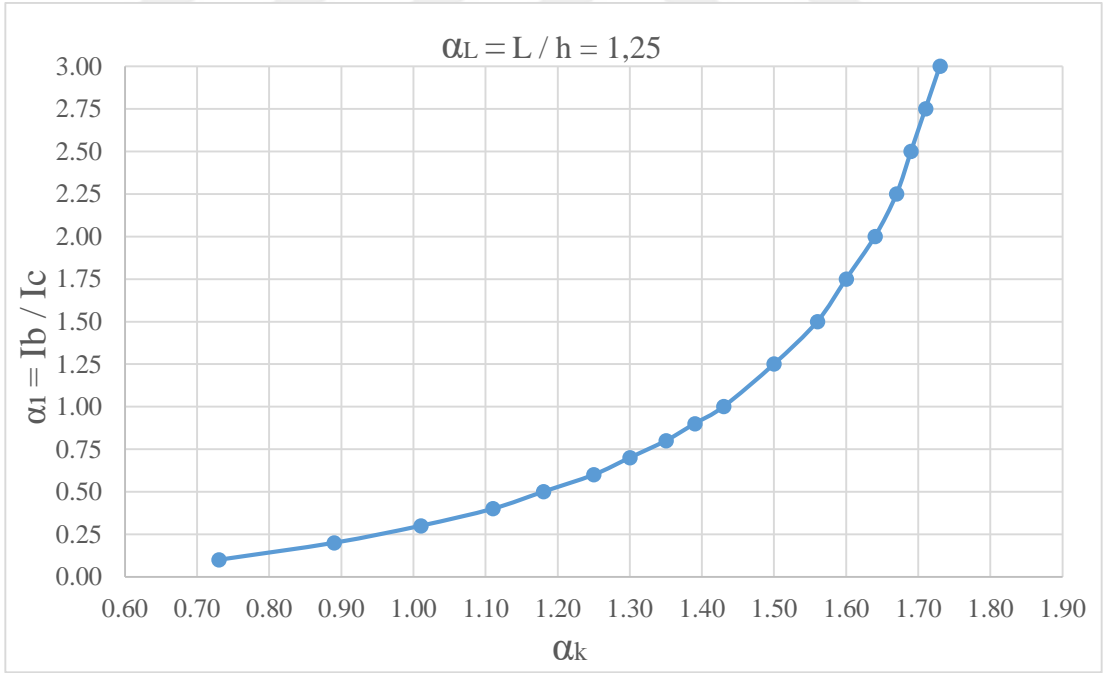
Şekil 3.31 $\alpha_L = 0,50$ değeri için α_k değerleri



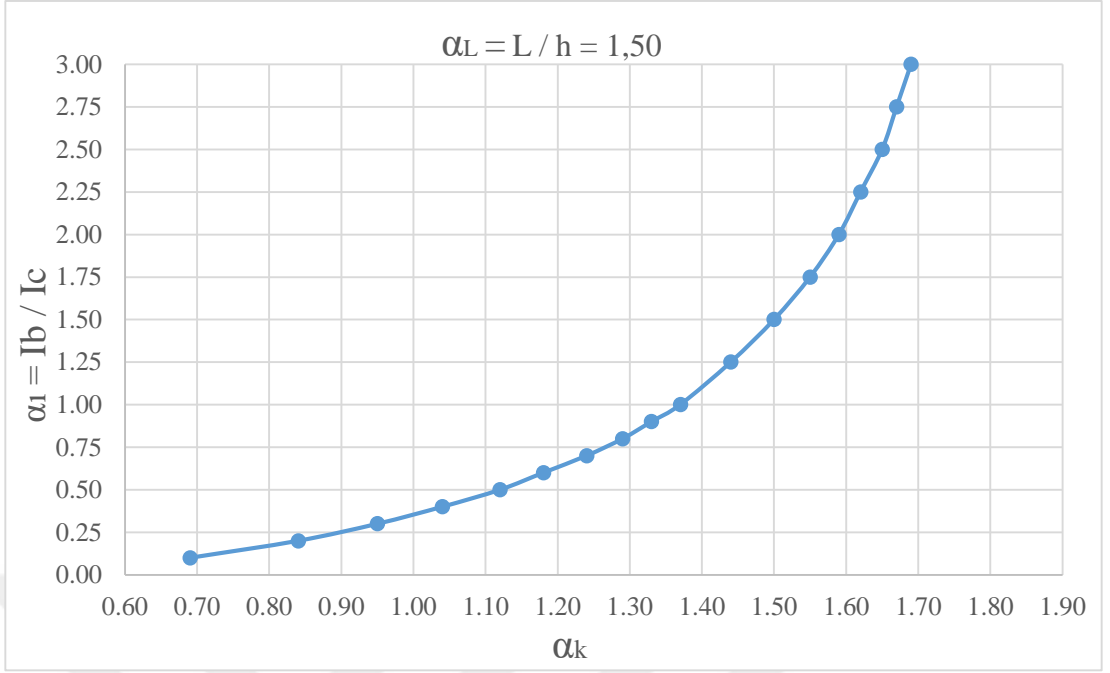
Şekil 3.32 $\alpha_L = 0,75$ değeri için α_k değerleri



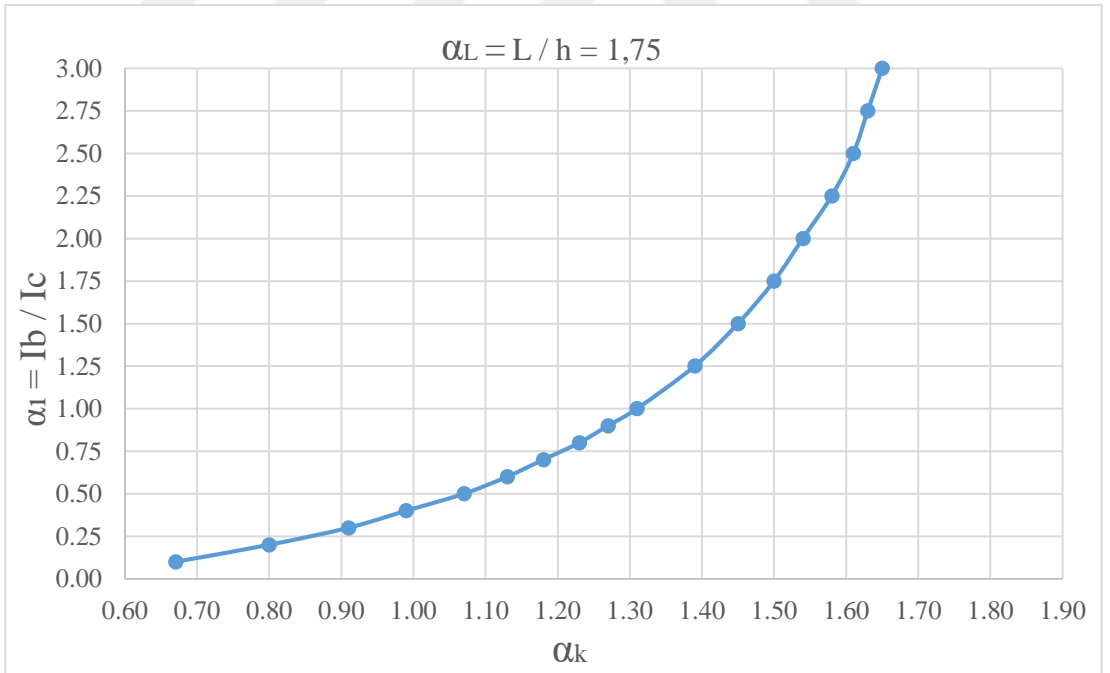
Şekil 3.33 $\alpha_L = 1,00$ değeri için α_k değerleri



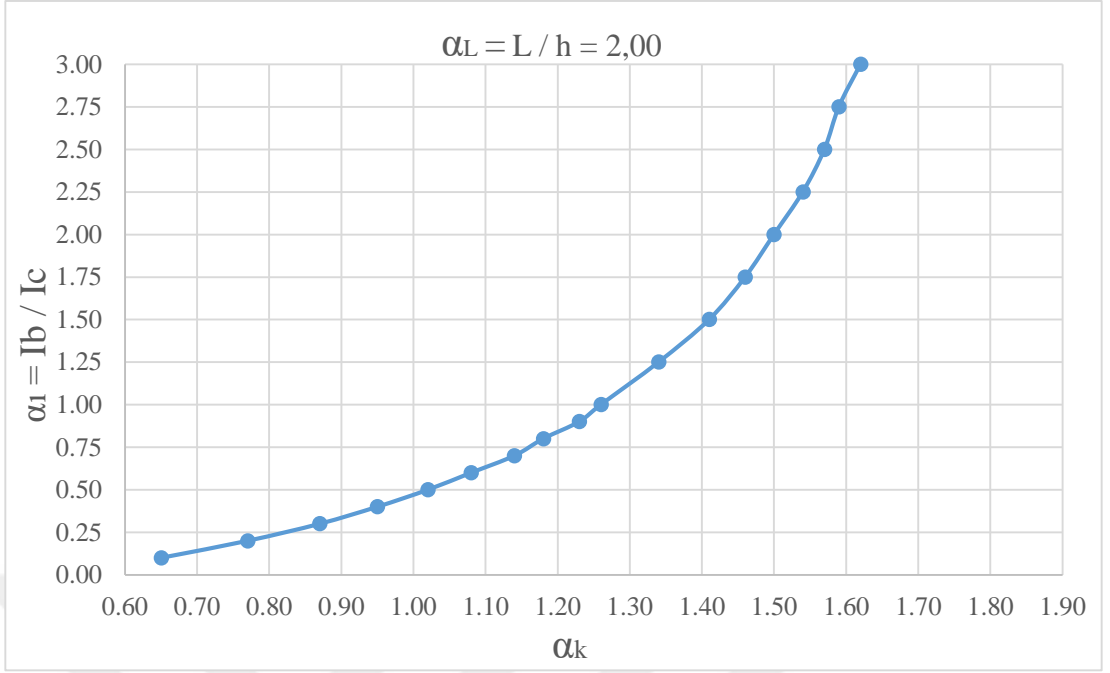
Şekil 3.34 $\alpha_L = 1,25$ değeri için α_k değerleri



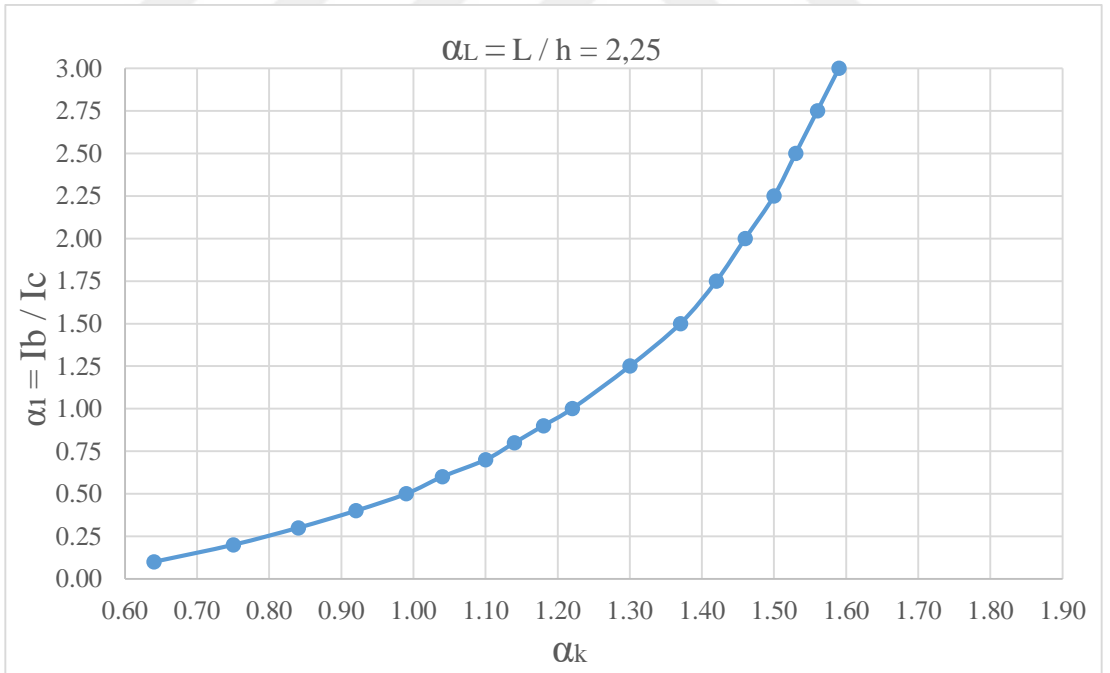
Şekil 3.35 $\alpha_L = 1,50$ değeri için α_k değerleri



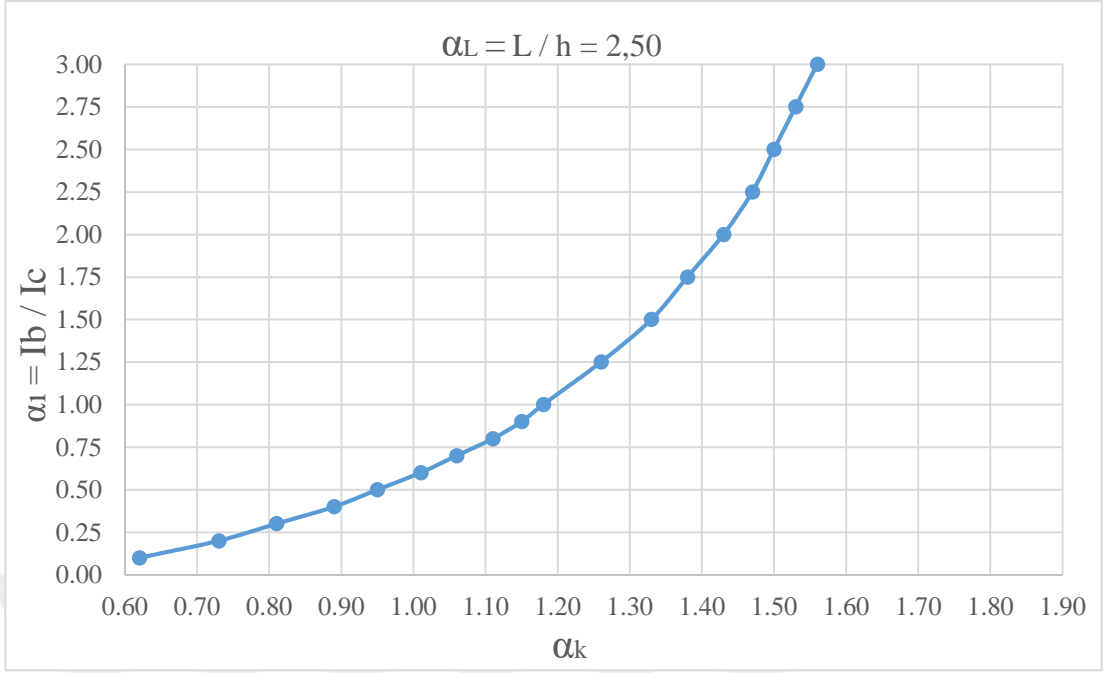
Şekil 3.36 $\alpha_L = 1,75$ değeri için α_k değerleri



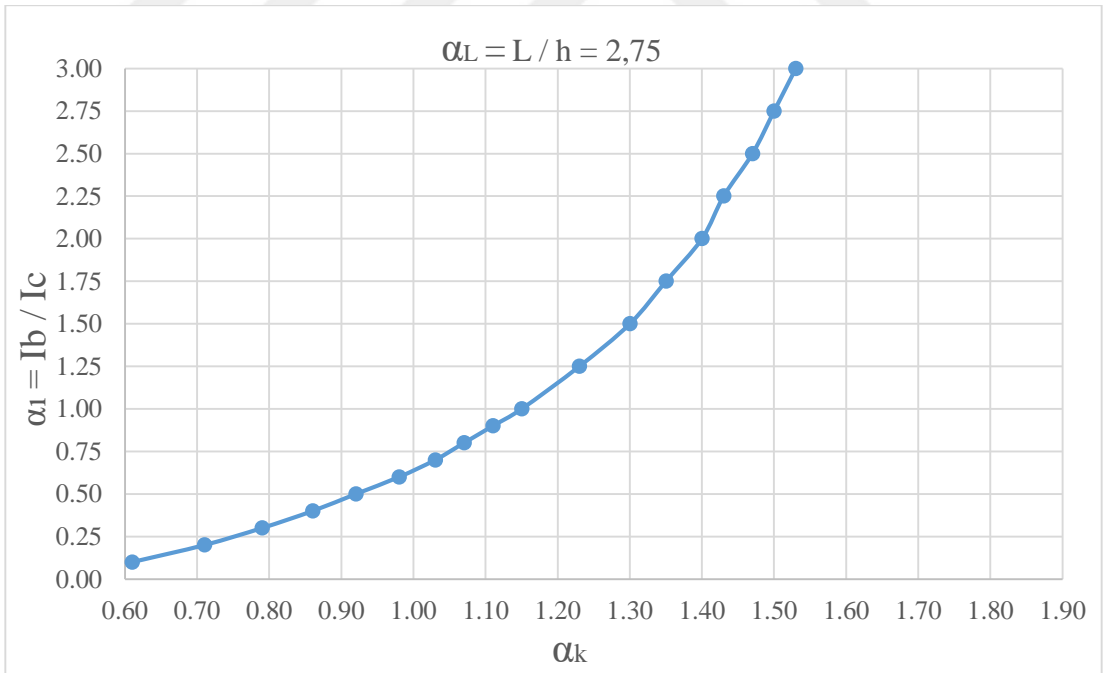
Şekil 3.37 $\alpha_L = 2,00$ değeri için α_k değerleri



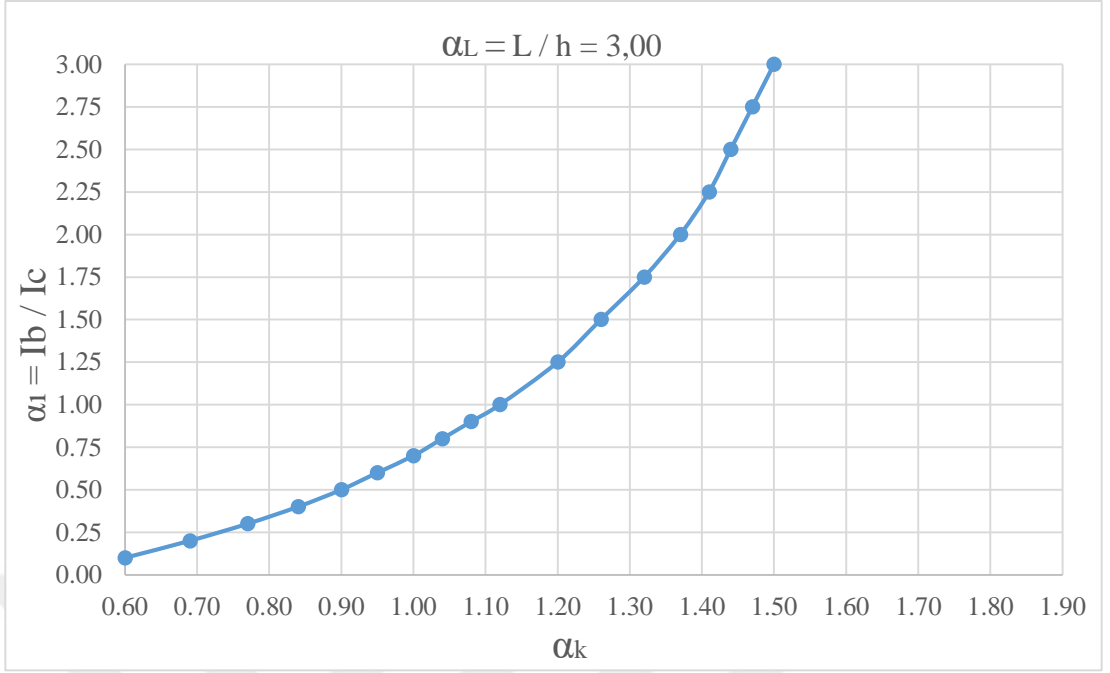
Şekil 3.38 $\alpha_L = 2,25$ değeri için α_k değerleri



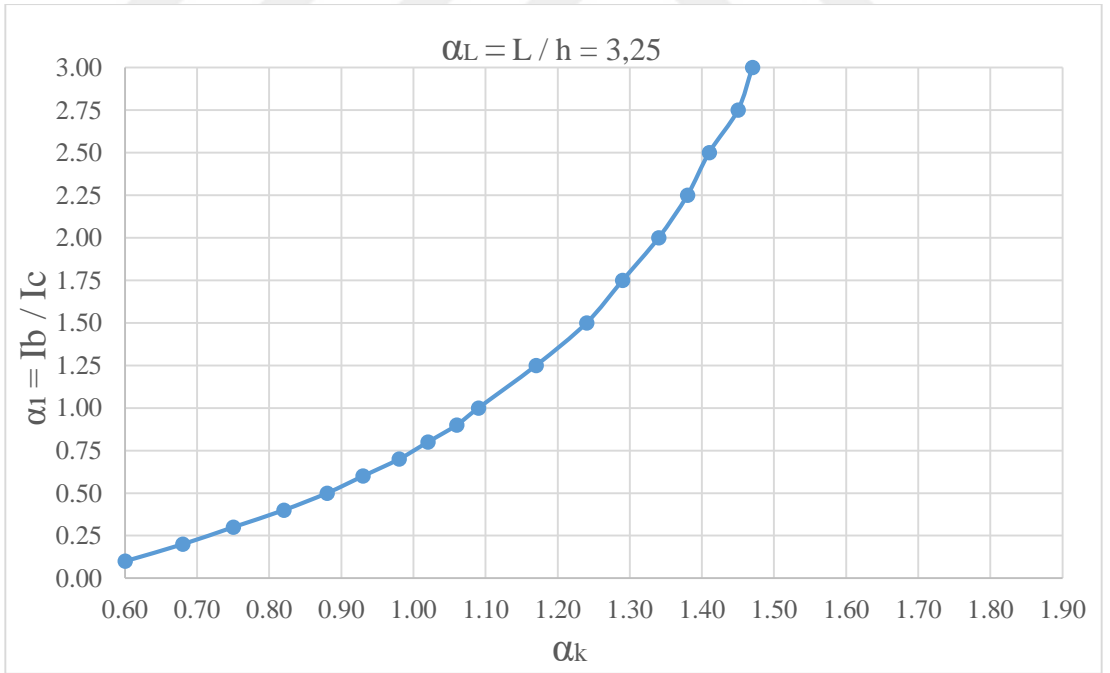
Şekil 3.39 $\alpha_L = 2,50$ değeri için α_k değerleri



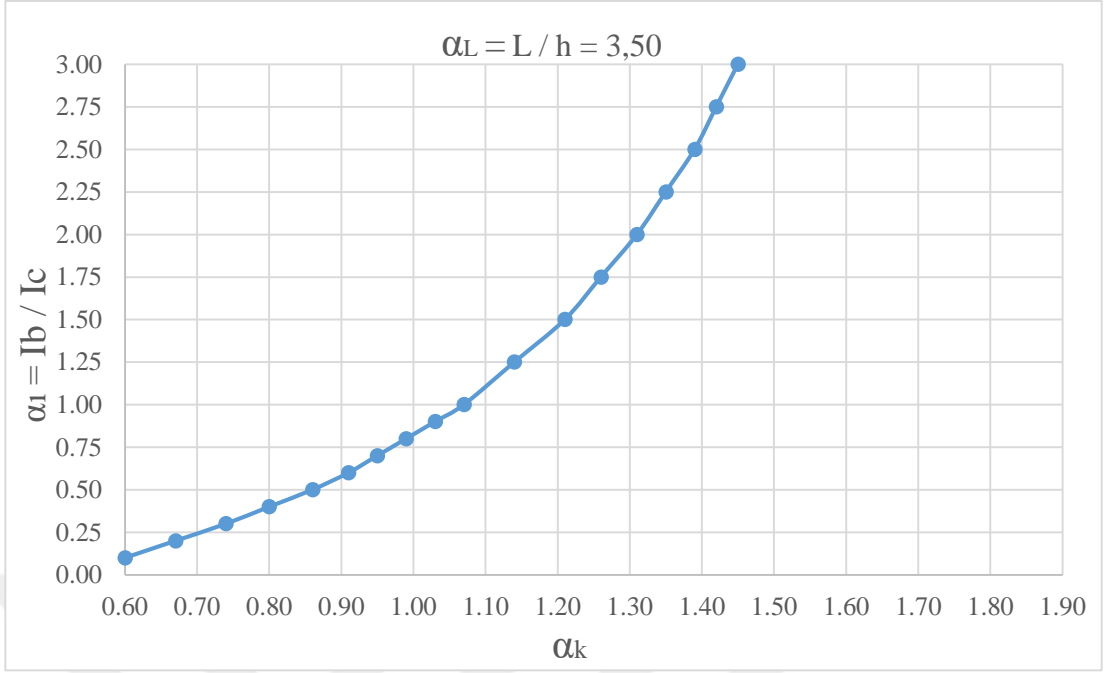
Şekil 3.40 $\alpha_L = 2,75$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.41 $\alpha_L = 3,00$ değeri için α_k değerleri

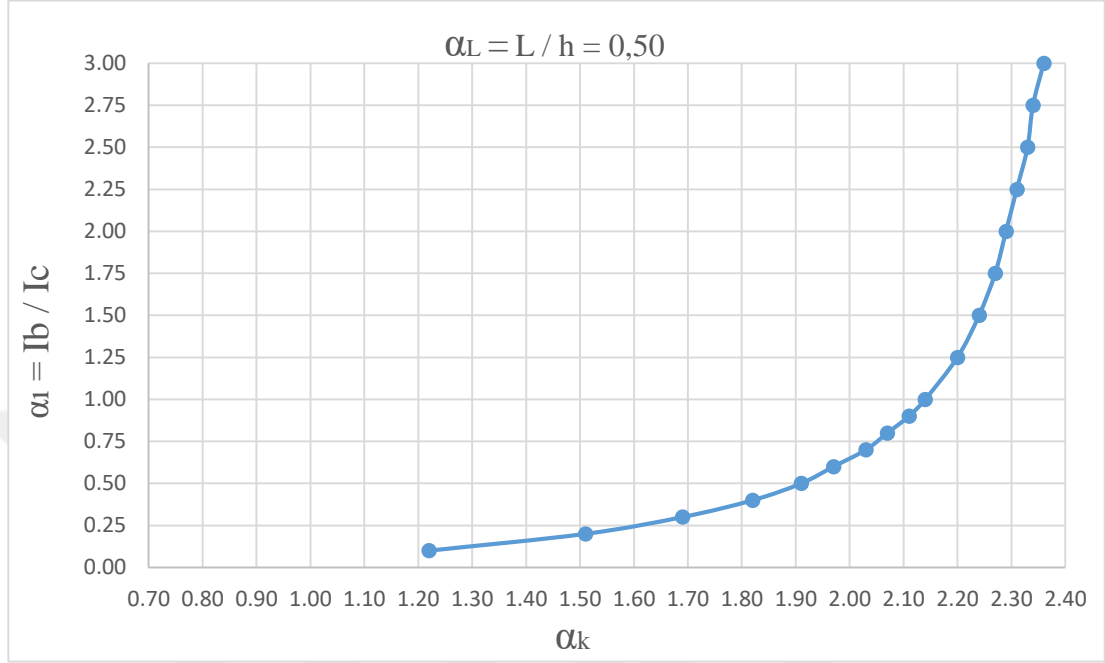


Şekil 3.42 $\alpha_L = 3,25$ değeri için α_k değerleri

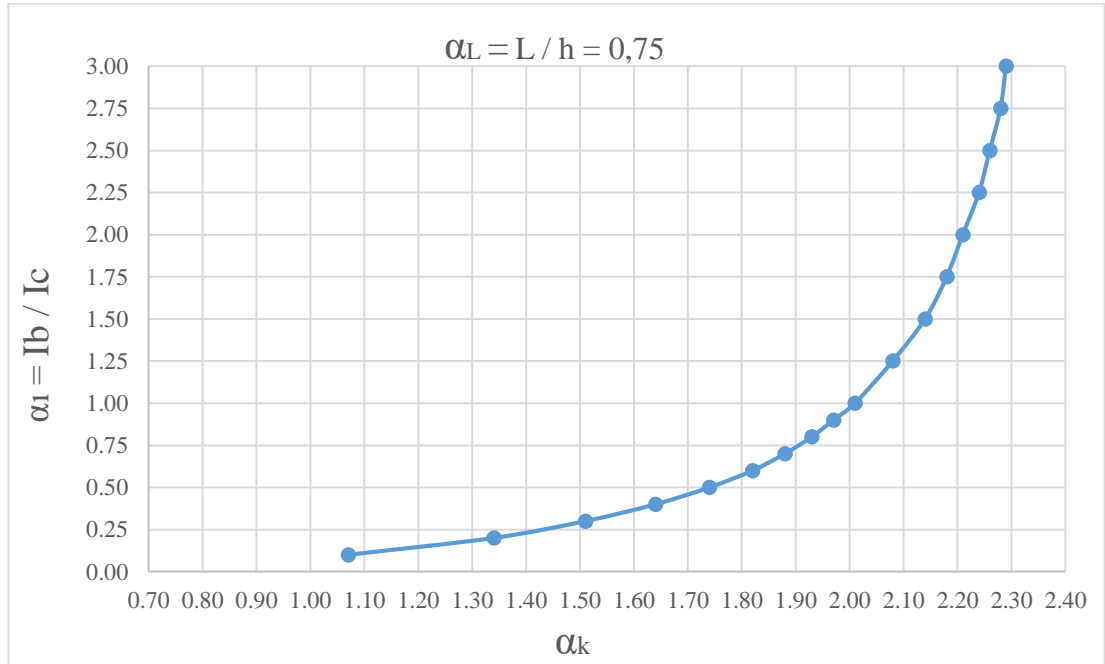


Şekil 3.43 $\alpha_L = 3,50$ değeri için α_k değerleri

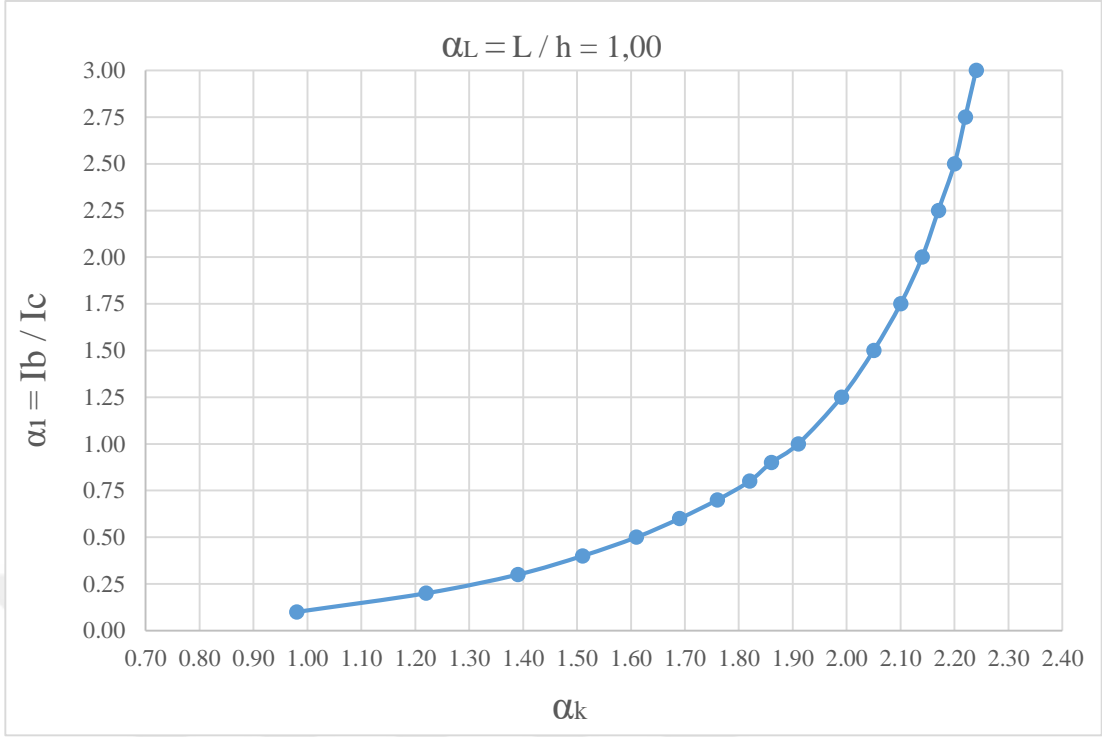
3.5.4 Tek kat dört açıklık için sunulan Tablo 2.4'ün şekil gösterimleri



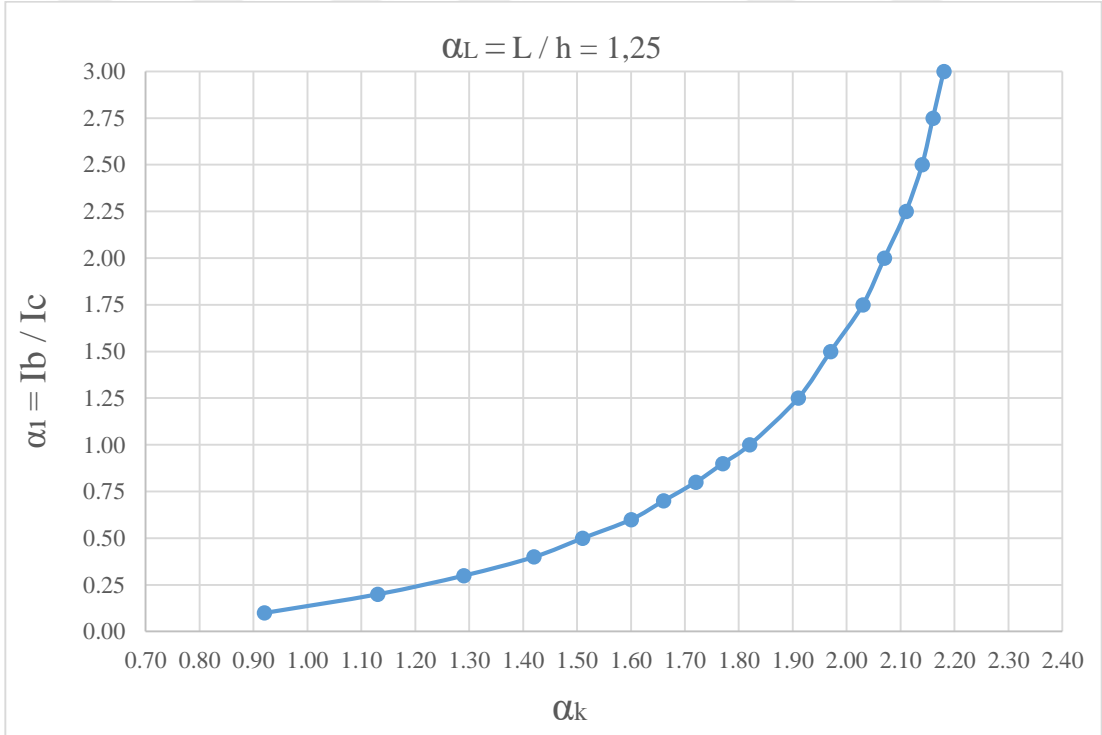
Şekil 3.44 $\alpha_L = 0,50$ değeri için α_k değerleri



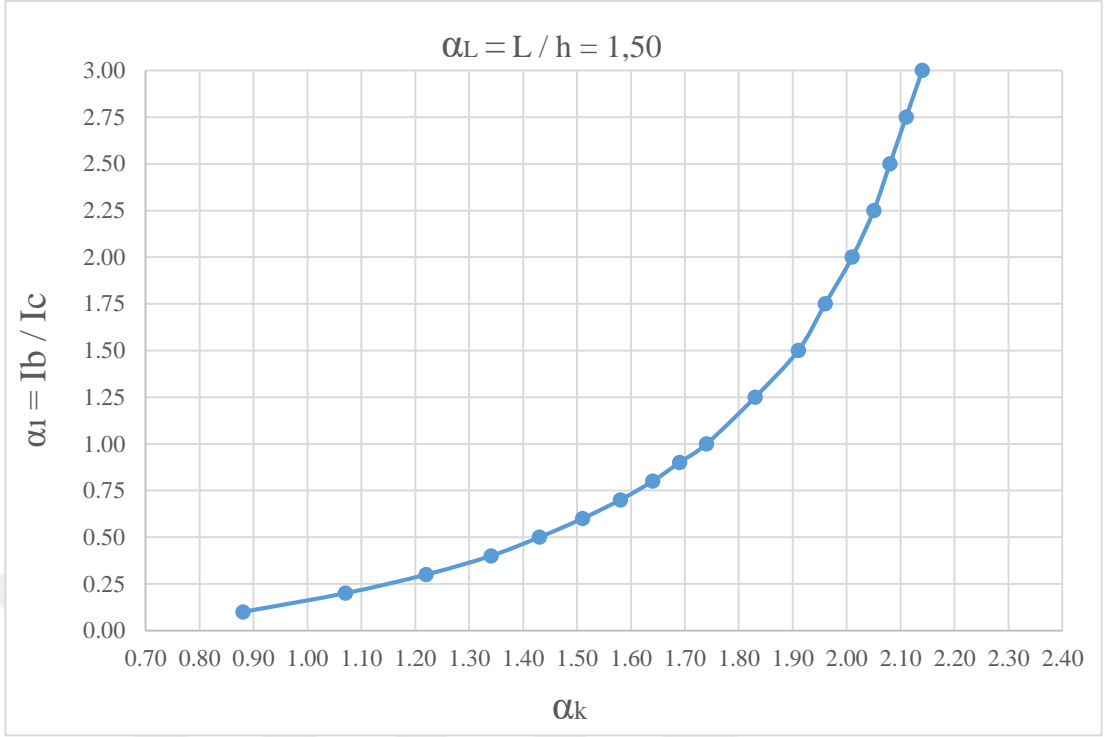
Şekil 3.45 $\alpha_L = 0,75$ değeri için α_k değerleri



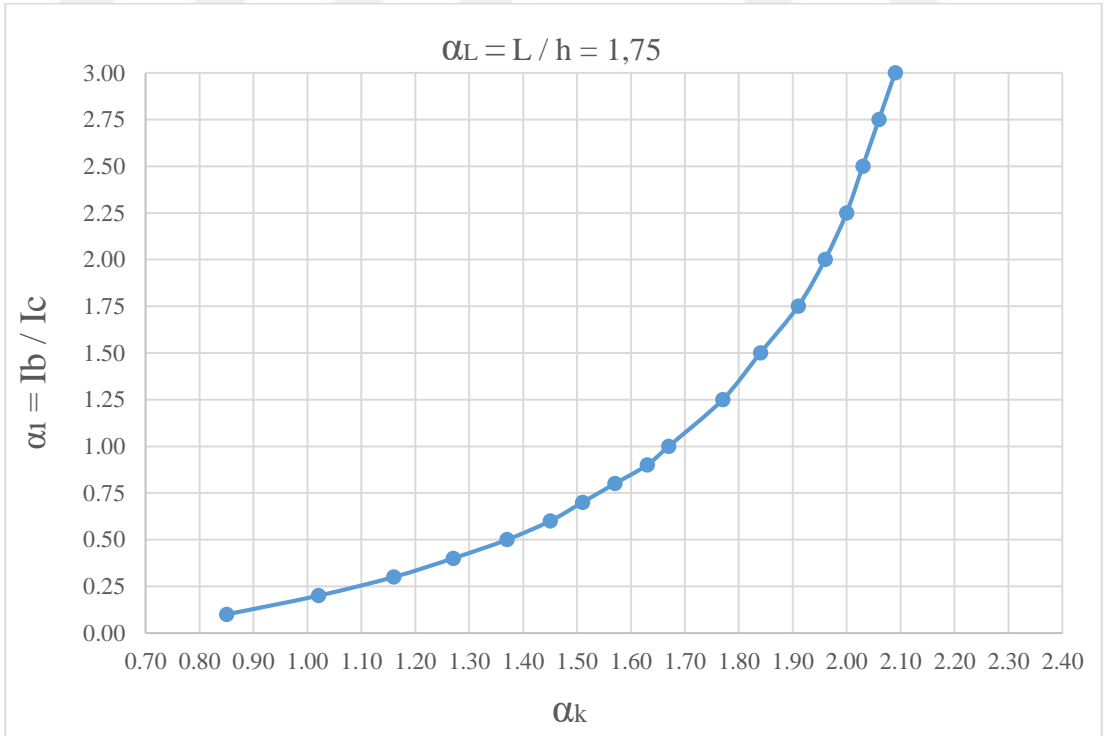
Şekil 3.46 $\alpha_L = 1,00$ değeri için α_k değerleri



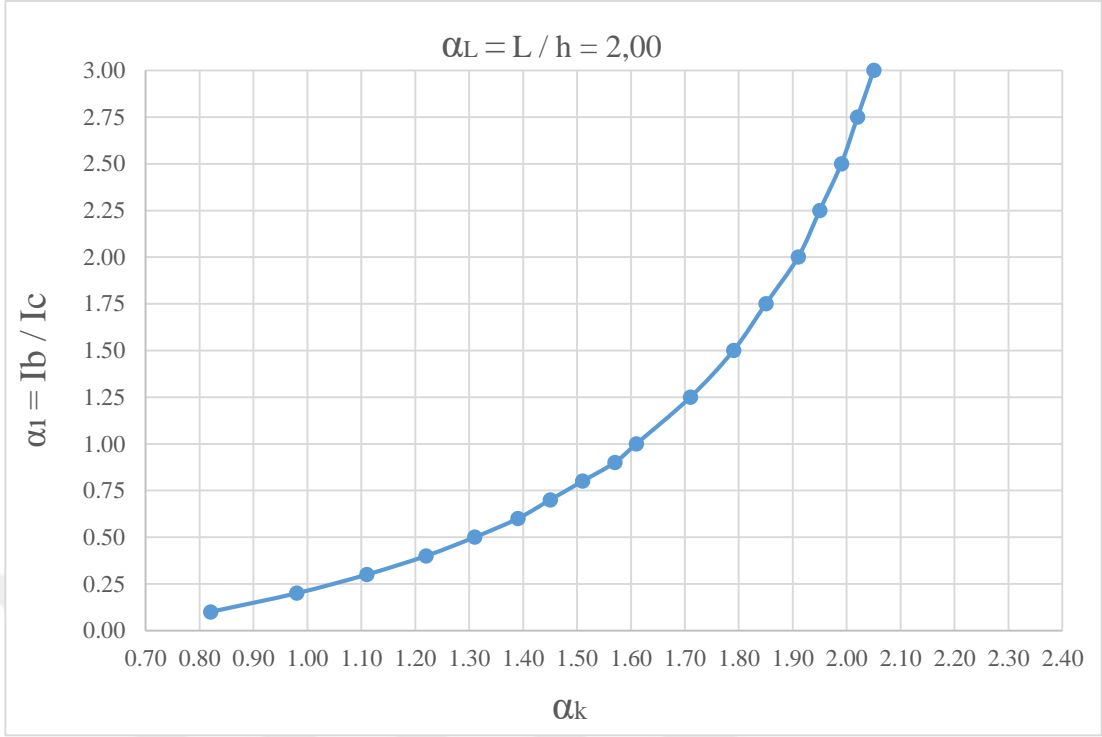
Şekil 3.47 $\alpha_L = 1,25$ değeri için α_k değerleri



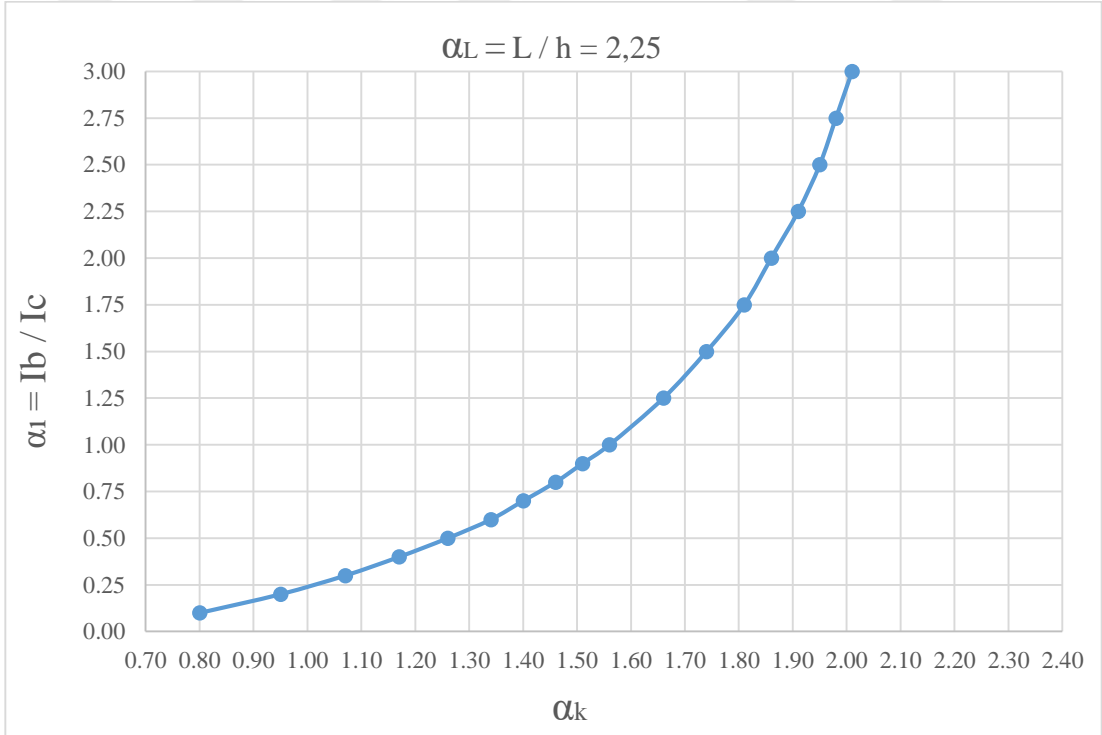
Şekil 3.48 $\alpha_L = 1,50$ değeri için α_k değerleri



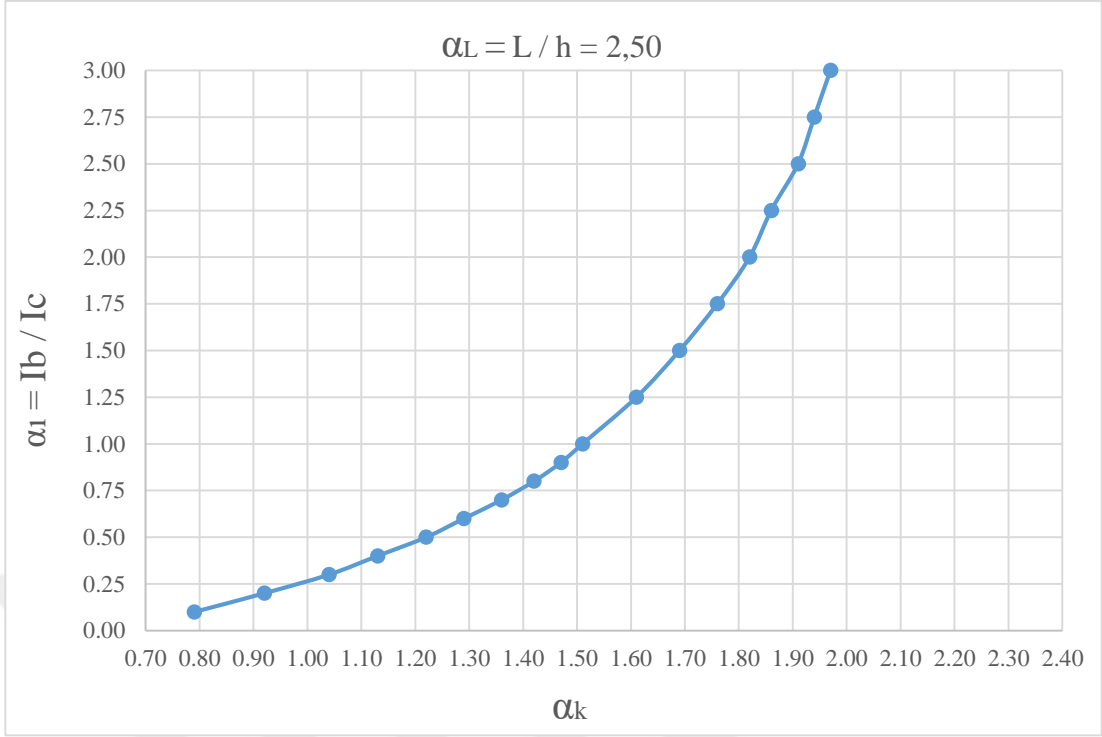
Şekil 3.49 $\alpha_L = 1,75$ değeri için α_k değerleri



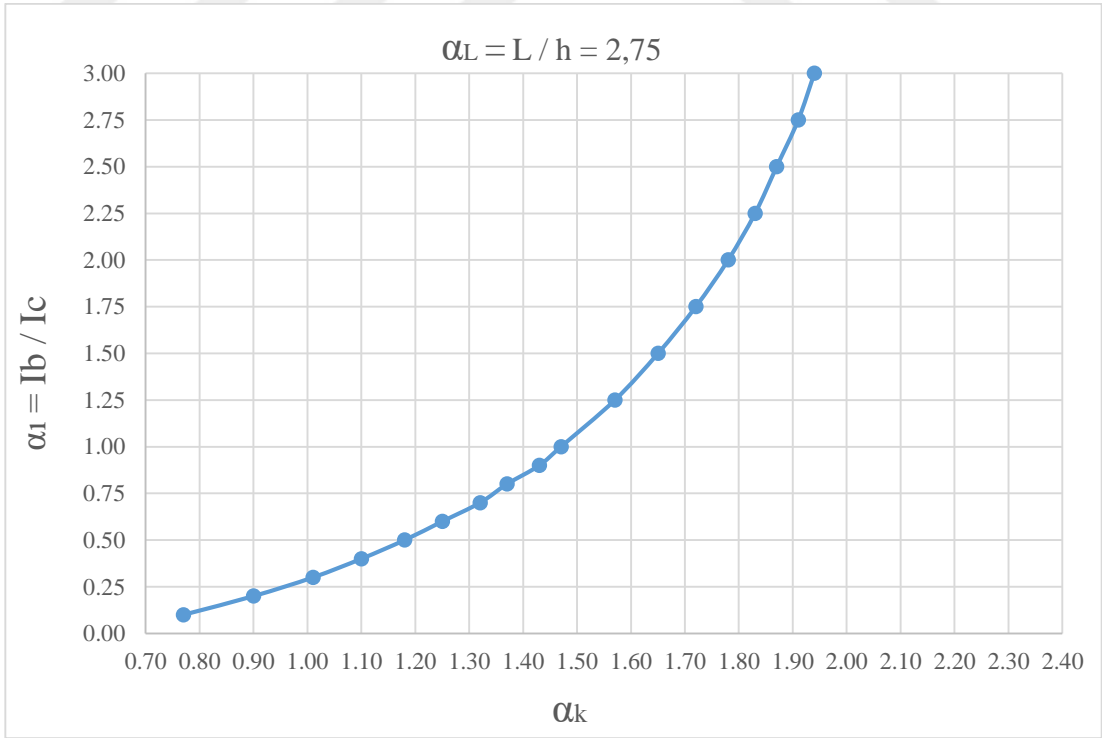
Şekil 3.50 $\alpha_L = 2,00$ değeri için α_k değerleri



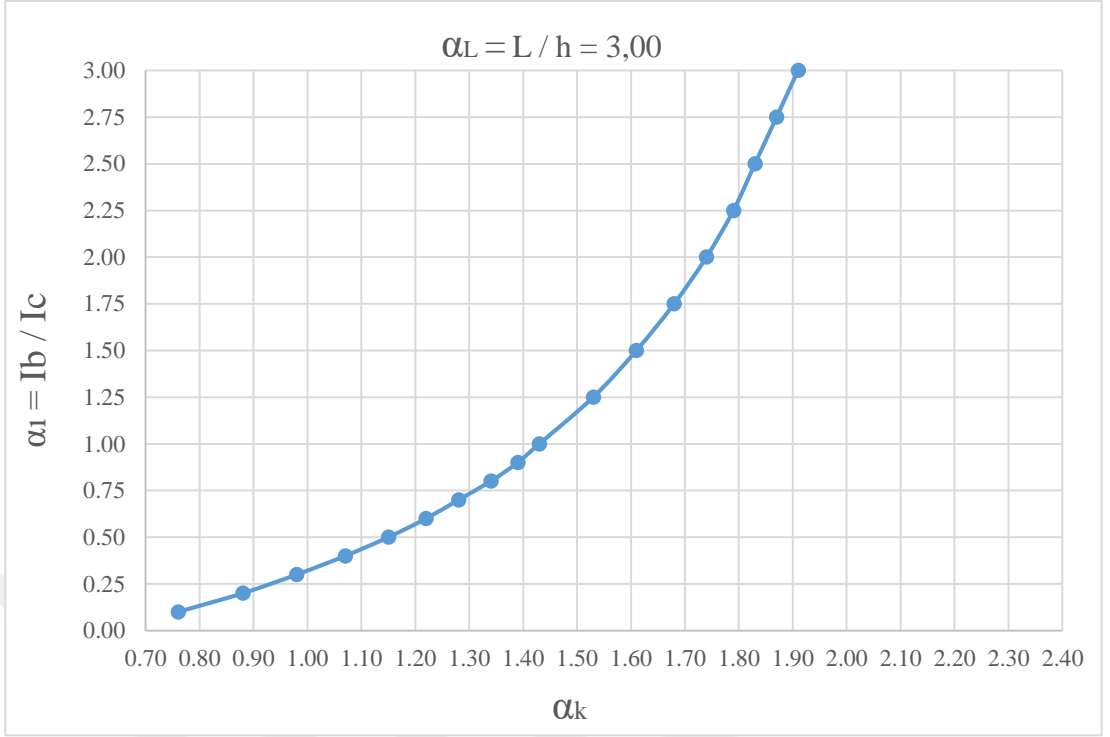
Şekil 3.51 $\alpha_L = 2,25$ değeri için α_k değerleri



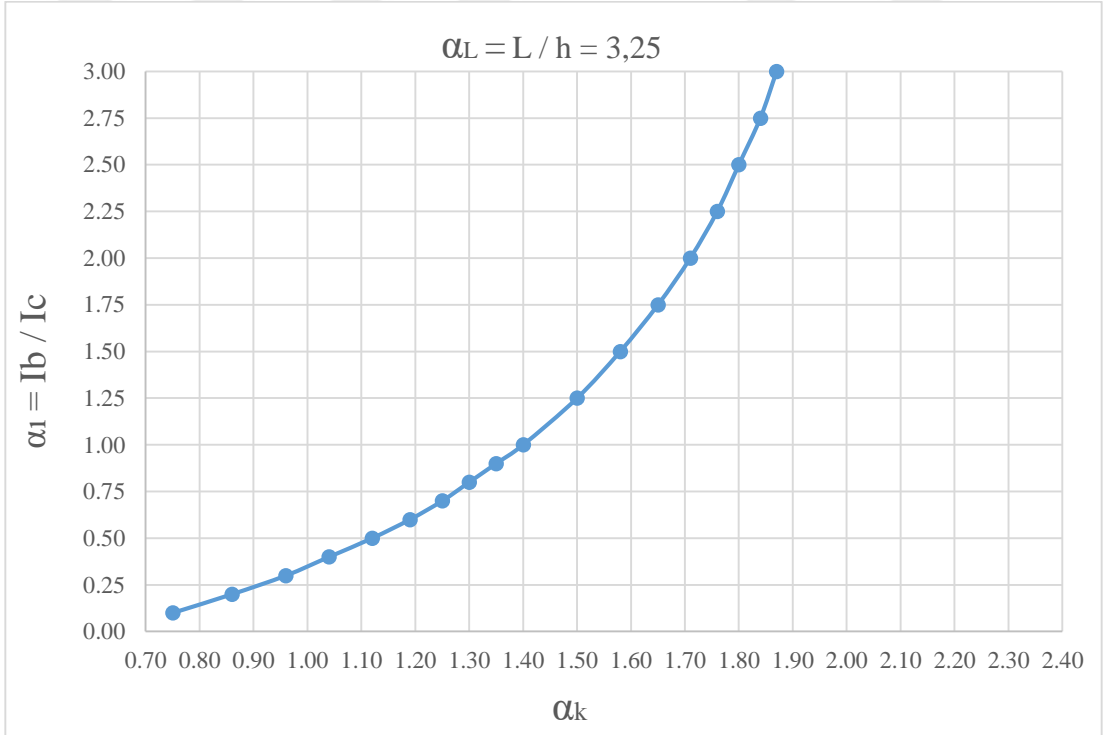
Şekil 3.52 $\alpha_L = 2,50$ değeri için α_k değerleri



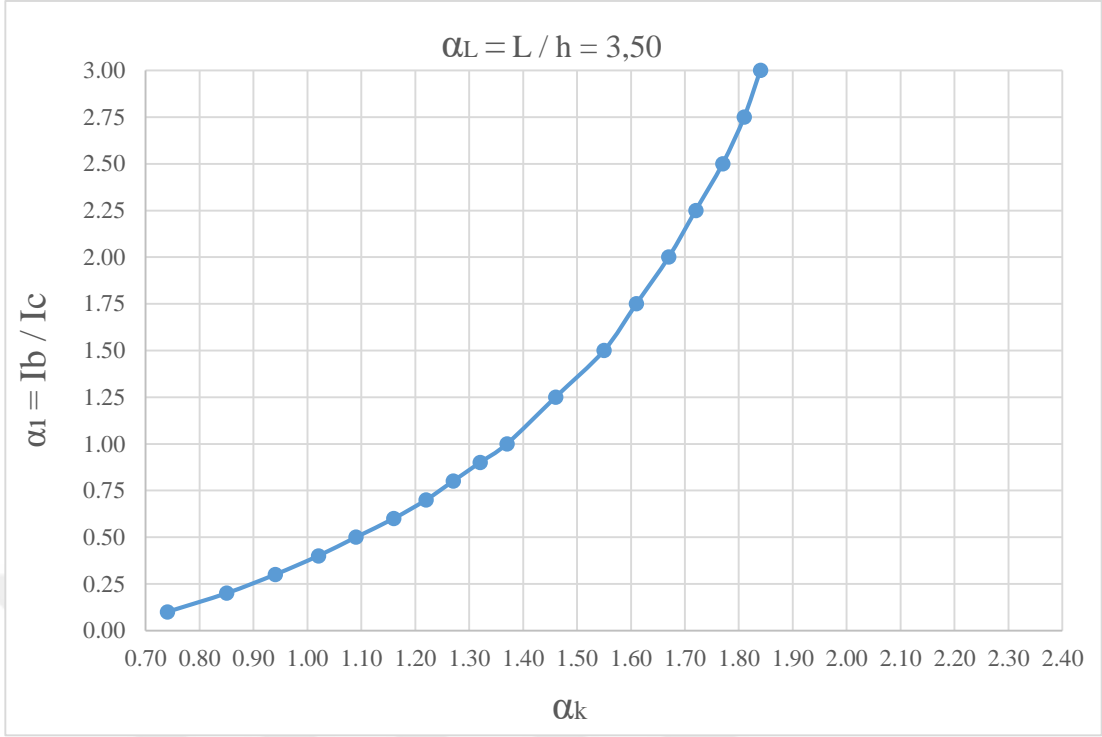
Şekil 3.53 $\alpha_L = 2,75$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.54 $\alpha_L = 3,00$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.55 $\alpha_L = 3,25$ değeri için α_k değerleri



Şekil 3.56 $\alpha_L = 3,50$ değeri için α_k değerleri

BÖLÜM DÖRT

SAYISAL UYGULAMALAR

Bu bölümde SAP2000 V.15 paket programı kullanılarak, tek kat-tek açıklık, tek kat-iki açıklık, tek kat-üç açıklık ve tek kat-dört açıklık çerçeve sistemlerin çözümü yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar matris-deplasman hesap yöntemi ile bulunan α_k katsayıları kullanılarak yapılan çözümler ile karşılaştırılmıştır.

Paket programda öncelikle analiz sisteminin oluşturulması ve kabul edilen değerler aşağıdaki bilgisayar ekran görüntüleri ile sunulmuştur.

Material Property Data

Material Name: KOLON

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Anisotropic

Modulus of Elasticity: E1: 3000000, E2: 3000000, E3: 3000000

Poisson's Ratio: U12: 0, U13: 0, U23: 0, U14: 0, U24: 0, U34: 0, U15: 0, U25: 0, U35: 0, U45: 0, U16: 0, U26: 0, U36: 0, U46: 0, U56: 0

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 0, Mass per Unit Volume: 0

Units: Tonf, m, C

Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 2812,2785

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: []

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 4.1 Kolon elemanın malzeme özelliği

Material Property Data

Material Name: KIRIS

Material Type: Concrete

Symmetry Type: Anisotropic

Modulus of Elasticity: E1: 3000000, E2: 3000000, E3: 3000000

Poisson's Ratio: U12: 0, U13: 0, U23: 0, U14: 0, U24: 0, U34: 0, U15: 0, U25: 0, U35: 0, U45: 0, U16: 0, U26: 0, U36: 0, U46: 0, U56: 0

Weight and Mass: Weight per Unit Volume: 0, Mass per Unit Volume: 0

Units: Tonf, m, C

Other Properties for Concrete Materials: Specified Concrete Compressive Strength, f'c: 2812.2785

Lightweight Concrete

Shear Strength Reduction Factor: []

Advanced Material Property Data: Nonlinear Material Data..., Material Damping Properties..., Time Dependent Properties..., Thermal Properties...

OK Cancel

Şekil 4.2 Kiriş elemanının malzeme özelliği

Rectangular Section

Frame Property/Stiffness Modification Factors

Property/Stiffness Modifiers for Analysis:

Cross-section (axial) Area: 1000

Shear Area in 2 direction: 1000

Shear Area in 3 direction: 1000

Torsional Constant: 0

Moment of Inertia about 2 axis: 0

Moment of Inertia about 3 axis: 1

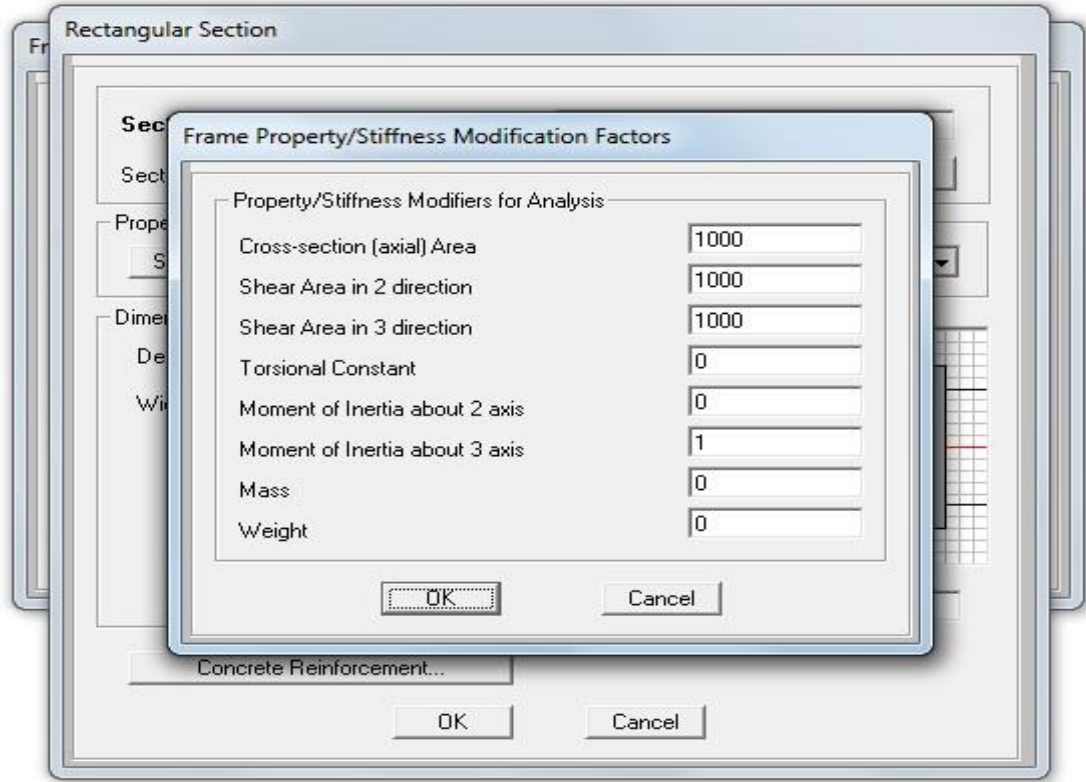
Mass: 0

Weight: 0

OK Cancel

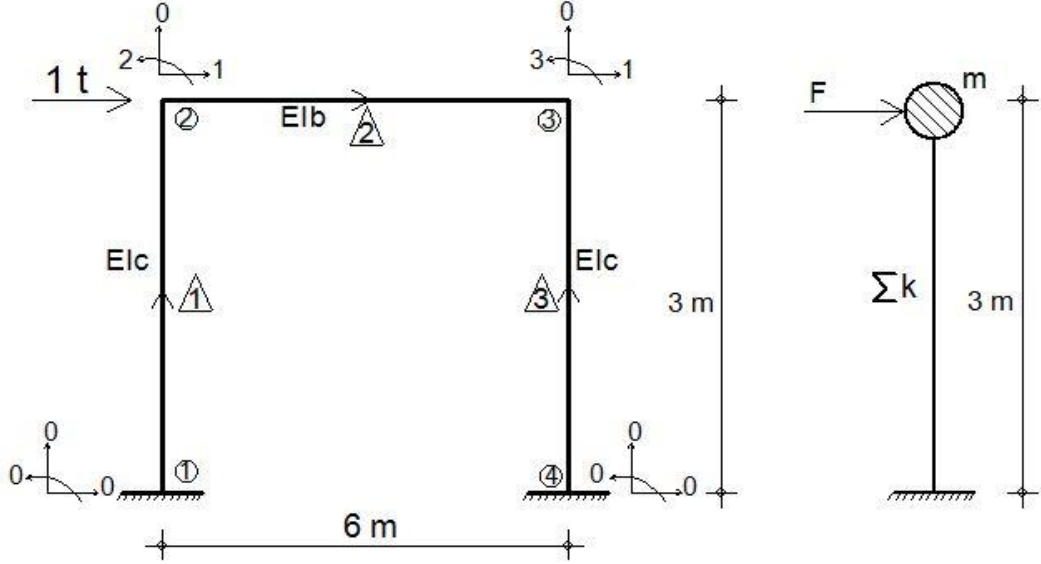
Concrete Reinforcement... OK Cancel

Şekil 4.3 Kolonlar için kullanılan analiz katsayıları



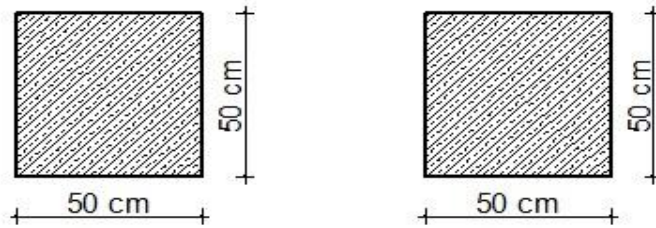
Şekil 4.4 Kirişler için kullanılan analiz katsayıları

4.1 Uygulama-1 (Tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistem)



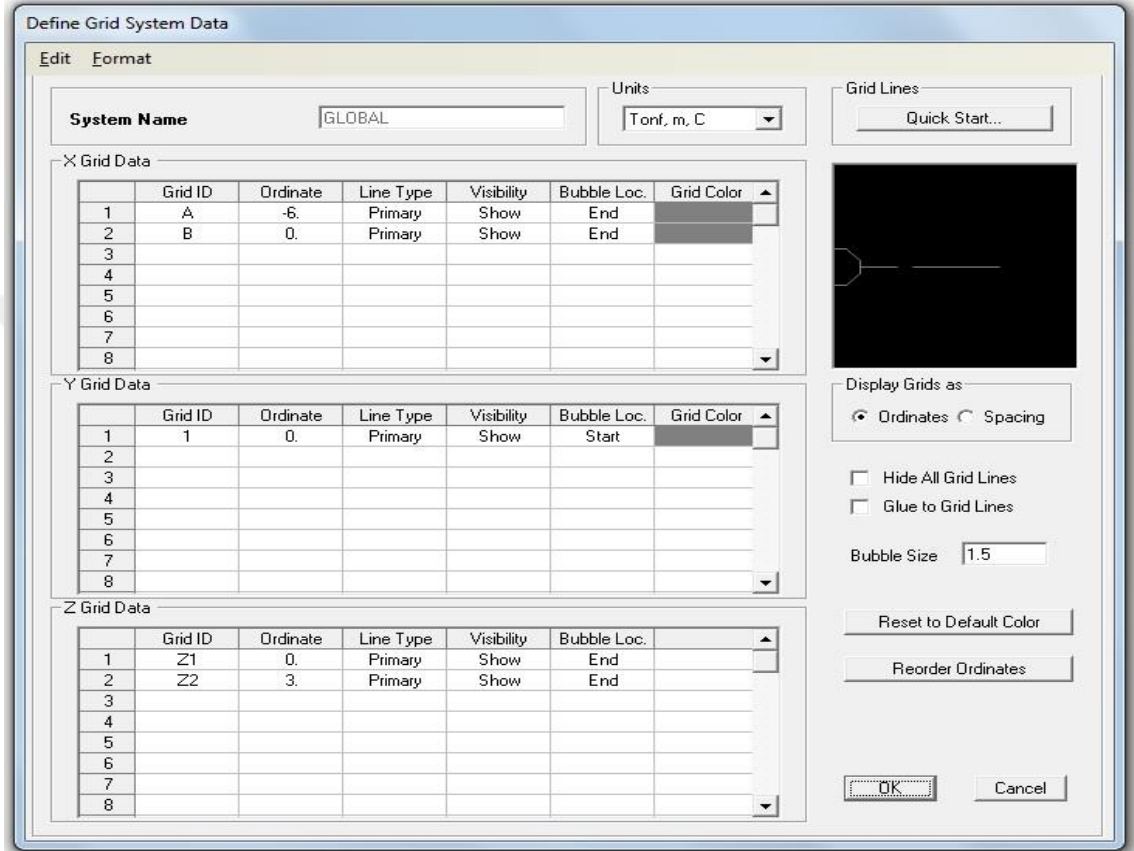
Şekil 4.5 Uygulama-1 için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırması

Şekil 4.5’ de açıklığı (L) 6 m, yüksekliği (h) 3 m olan tek katlı tek açıklıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) 3×10^6 t/m² dir. Kolonlar 50x50 cm, kirişler 50x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

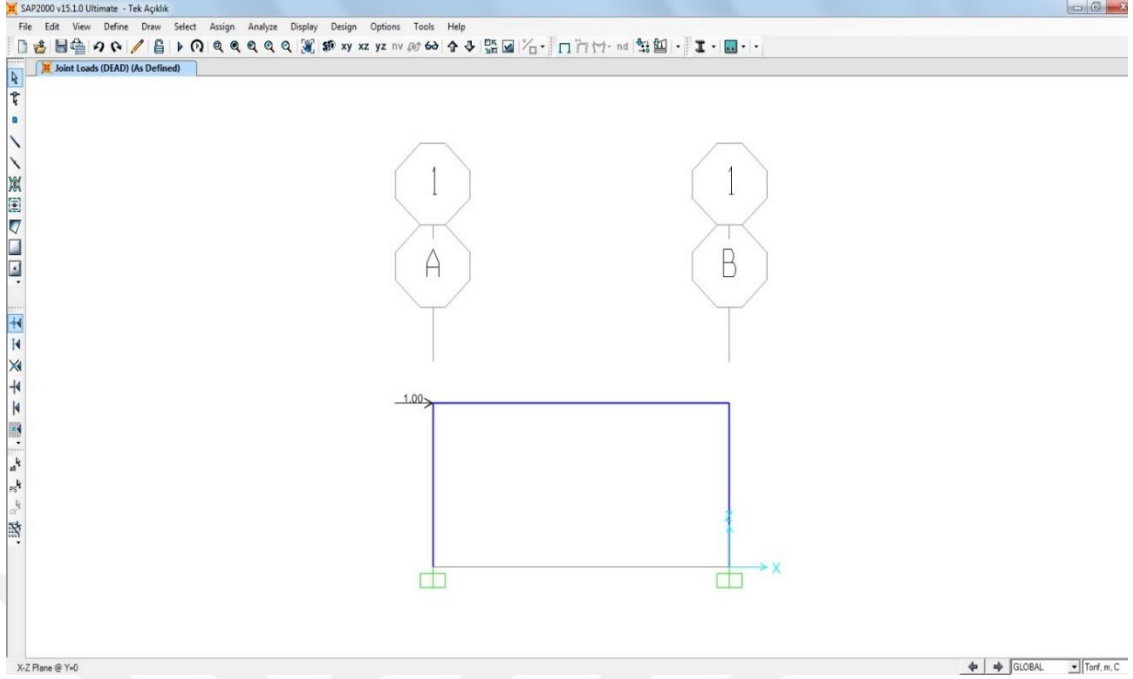


Şekil 4.6 Uygulama-1 için kolon ve kiriş enkesitleri

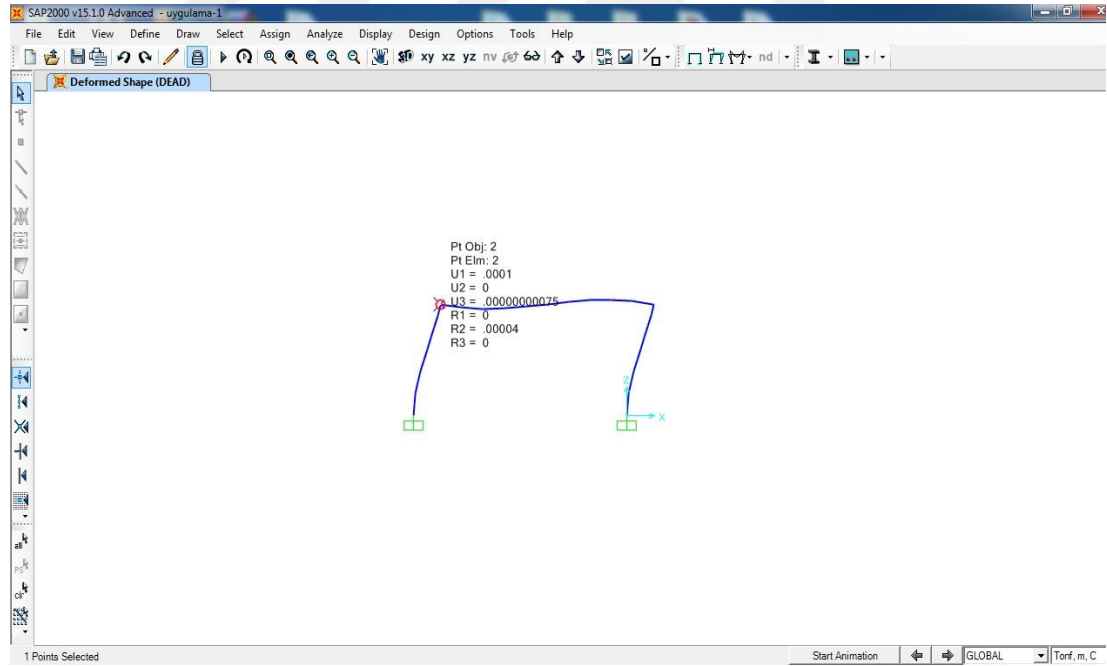
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



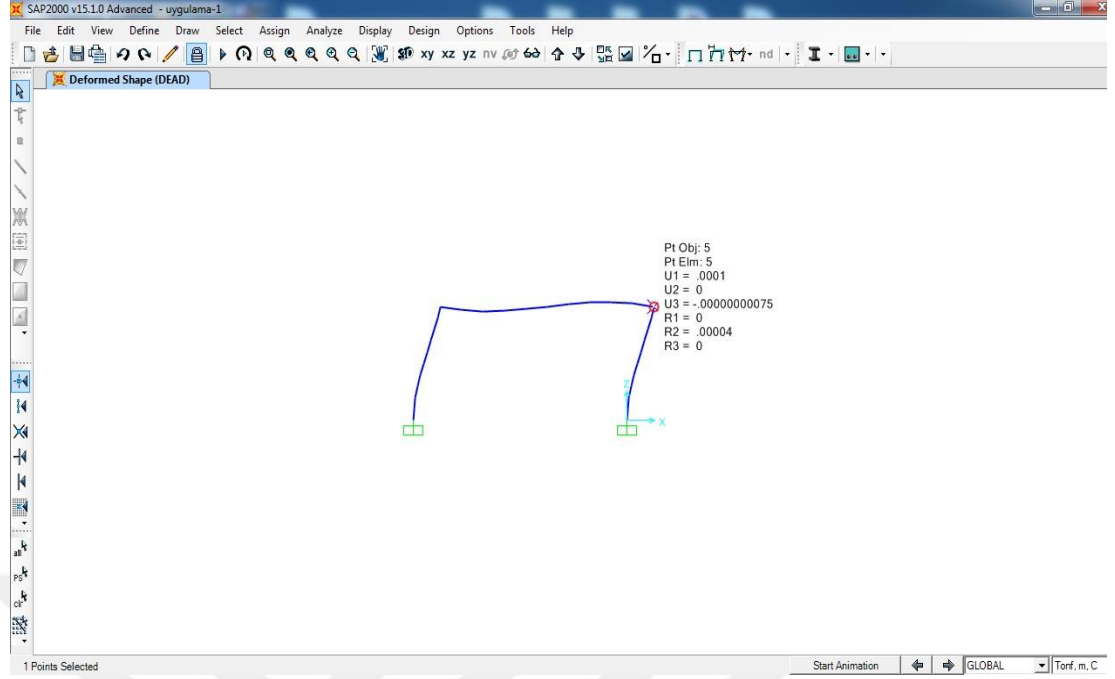
Şekil 4.7 Uygulama-1 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi



Şekil 4.8 Uygulama-1 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük



Şekil 4.9 Uygulama-1'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.10 Uygulama-1'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2 ve 3 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=1 \times 10^{-4}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı tek açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_I = \frac{I_b}{I_c} = 1 \quad (4.1)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 2 \quad (4.2)$$

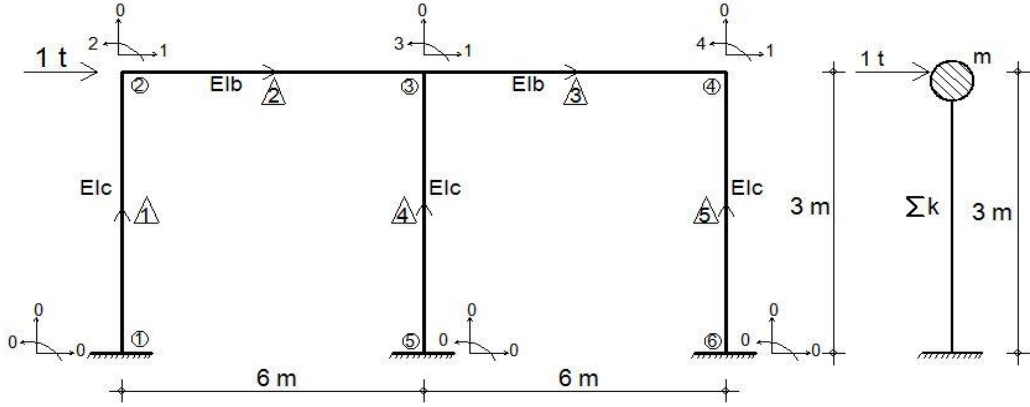
olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.1' den $\alpha_k=0,57$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı tek açıklıklı sistemin (3.14) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0.5 * 0.5^3 / 12)}{3^3} * \delta_1 * 0,57 \quad (4.3)$$

$$\delta_1 = 1 \times 10^{-4} \text{ m} \quad (4.4)$$

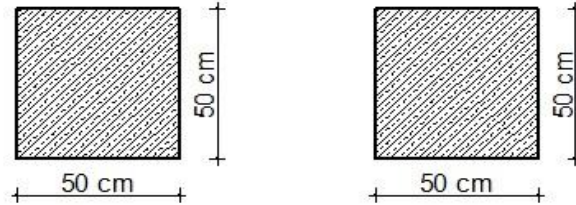
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.2 Uygulama-2 (Tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistem)



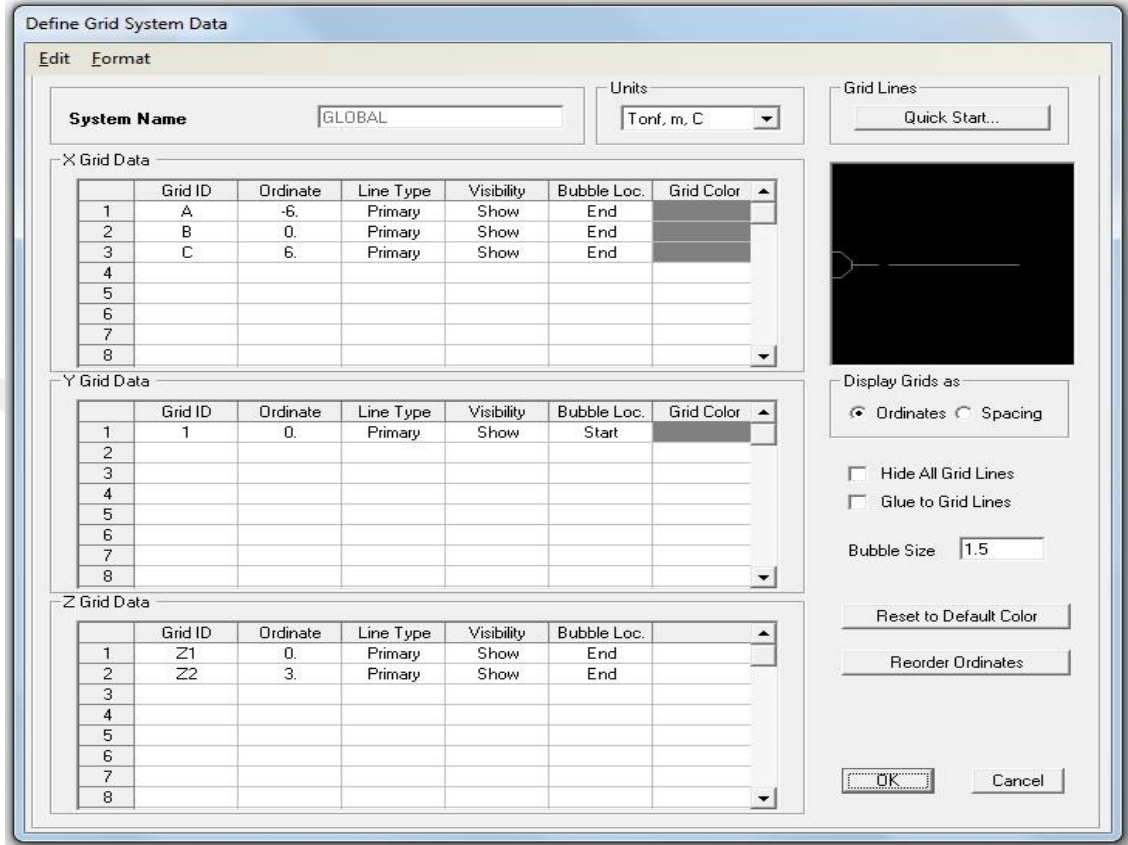
Şekil 4.11 Uygulama-2 için tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırması

Şekil 4.11’ de açıklıkları (L) 6 m, yüksekliği (h) 3 m olan tek katlı iki açıklıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ dir. Kolonlar 50x50 cm, kirişler 50x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

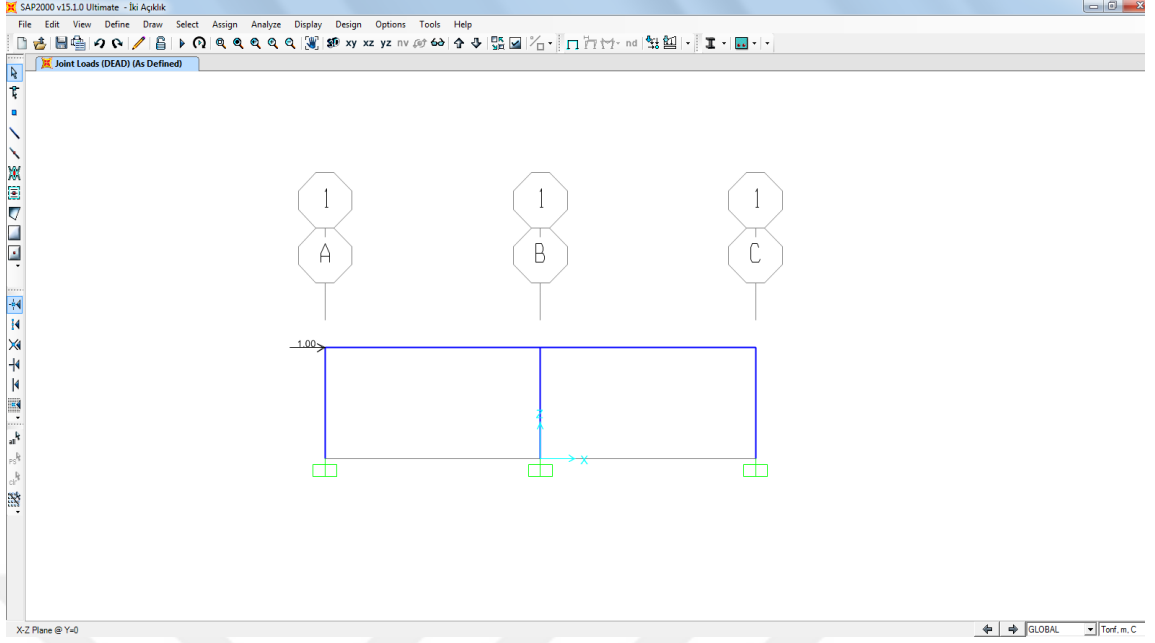


Şekil 4.12 Uygulama-2 için kolon ve kiriş enkesitleri

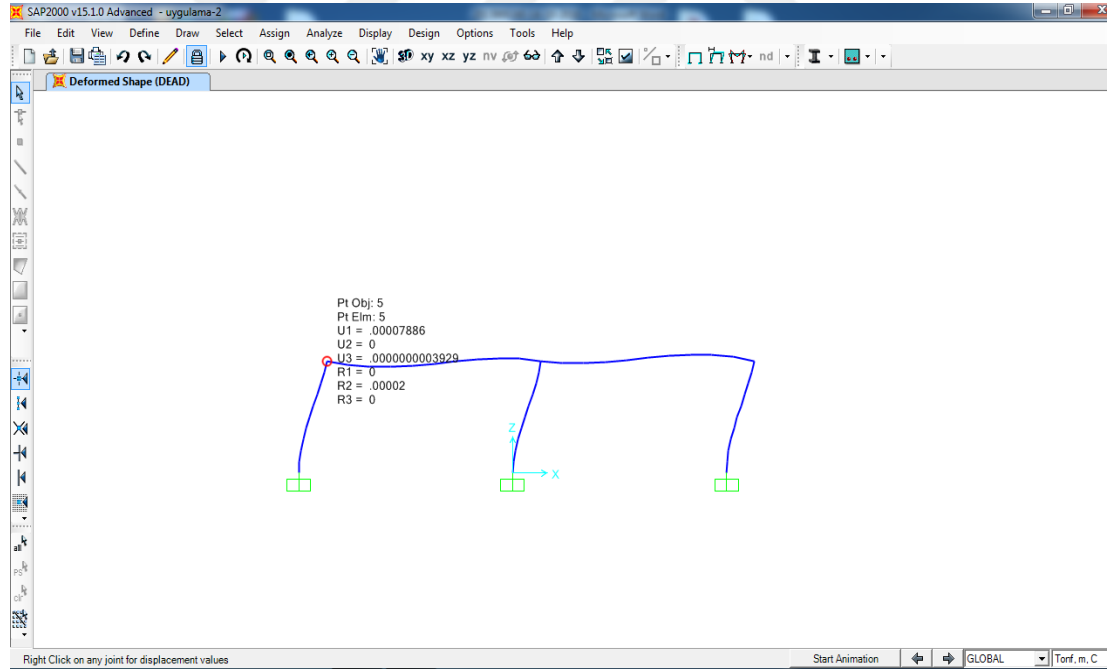
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



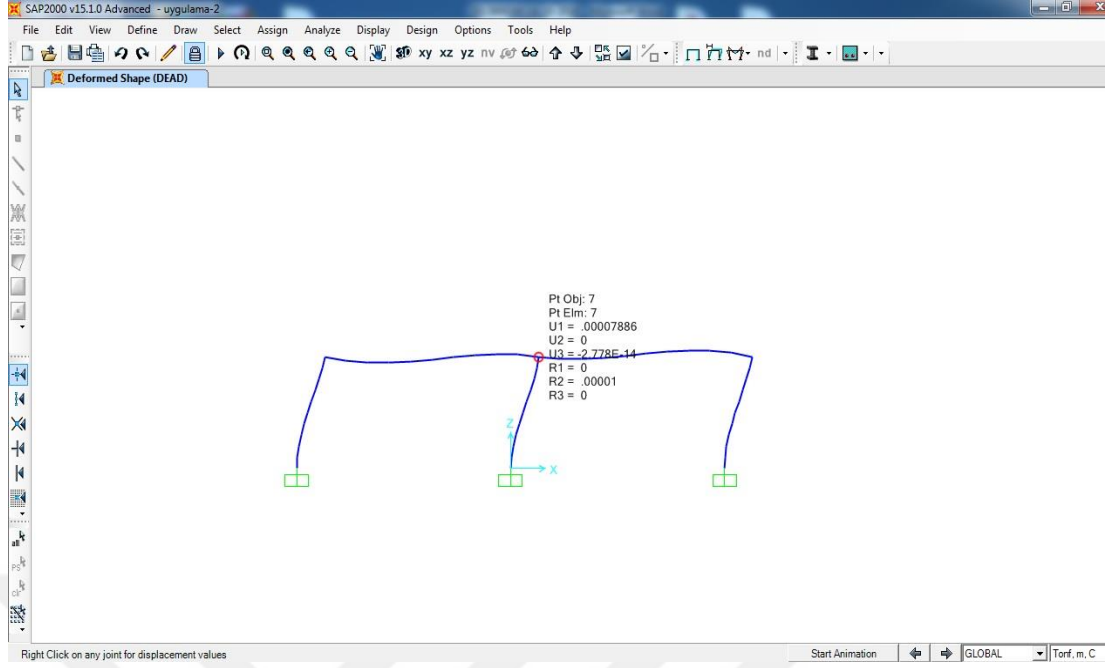
Şekil 4.13 Uygulama-2 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi



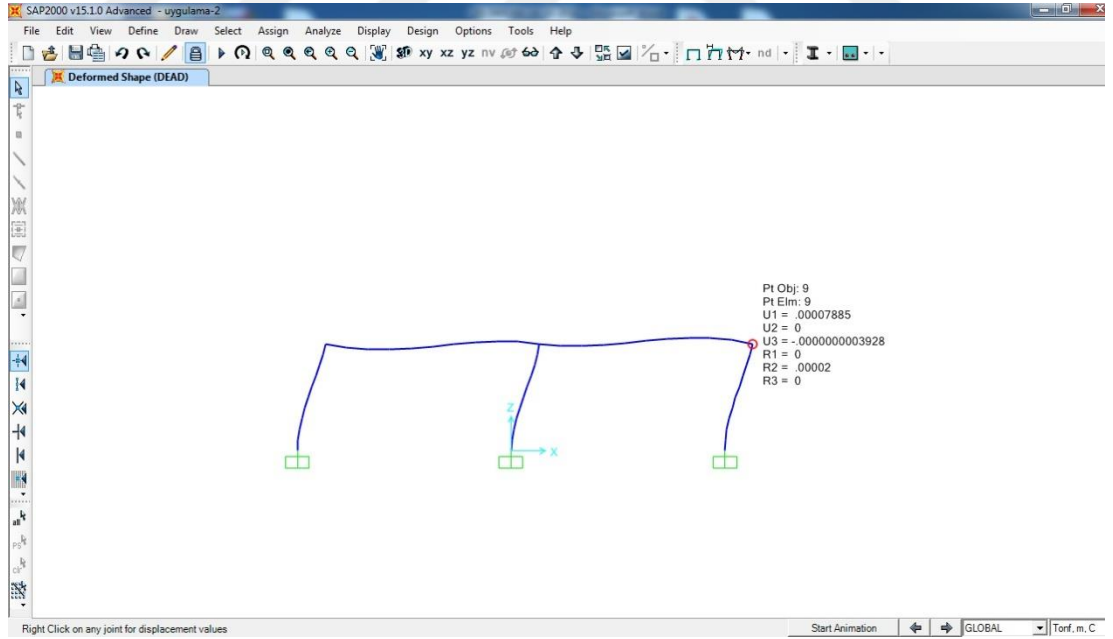
Şekil 4.14 Uygulama-2 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük



Şekil 4.15 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.16 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.17 Uygulama-2'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 3 ve 4 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=7,90 \times 10^{-5}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı iki açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_I = \frac{I_b}{I_c} = 1 \quad (4.5)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 2 \quad (4.6)$$

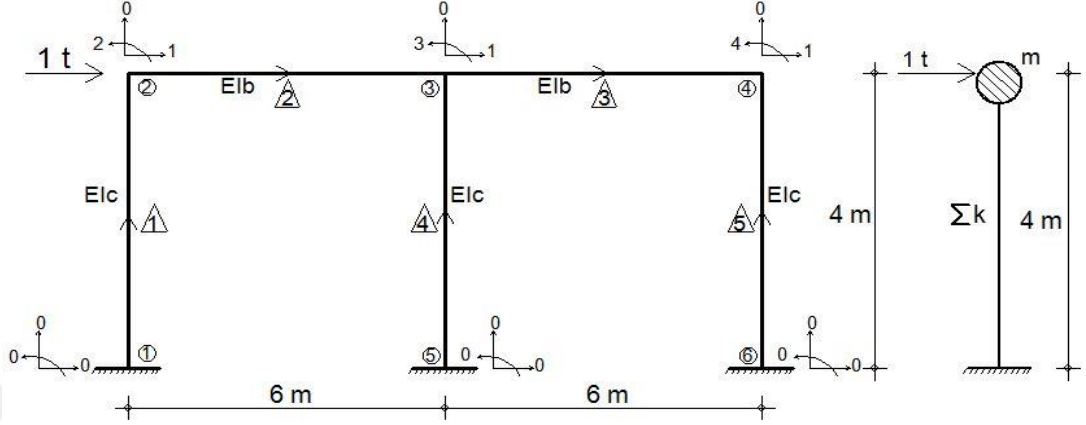
olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.2' den $\alpha_k=0,91$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı iki açıklıklı sistemin (3.44) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0,5 * 0,5^3 / 12)}{3^3} * \delta_1 * 0,91 \quad (4.7)$$

$$\delta_1 = 7,90 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4.8)$$

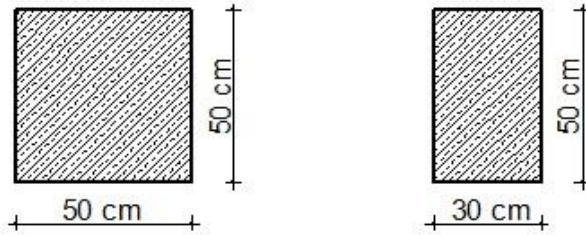
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.3 Uygulama-3 (Tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistem)



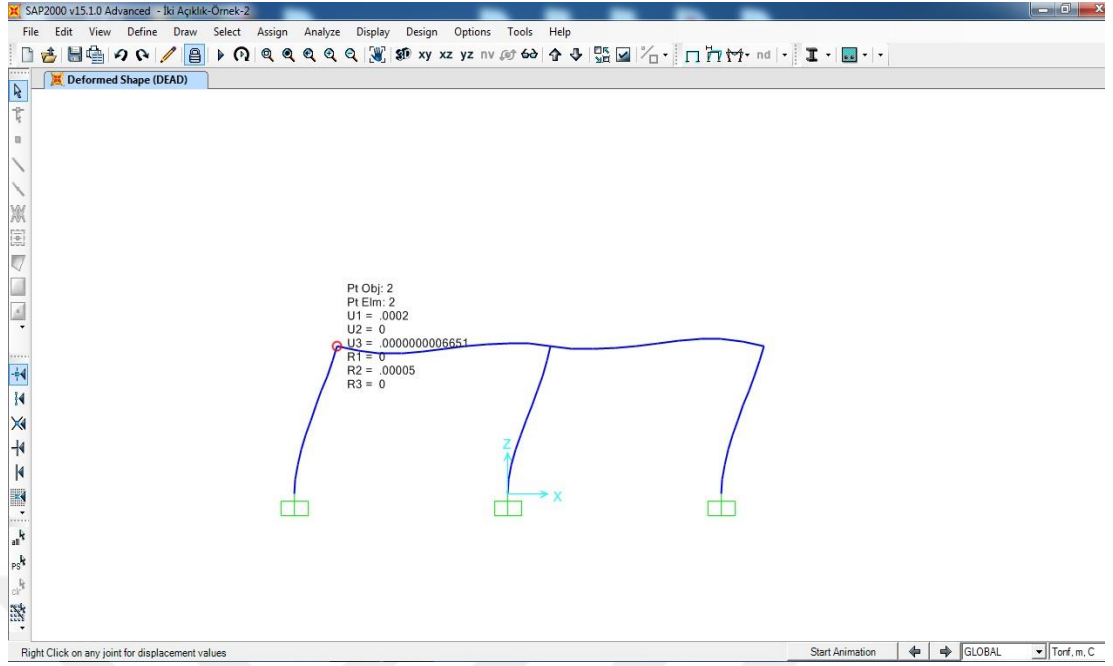
Şekil 4.18 Uygulama-3 için tek katlı iki açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması

Şekil 4.18’ de açıklıkları (L) 6 m, yüksekliği (h) 4 m olan tek katlı iki açıklıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) 3×10^6 t/m² dir. Kolonlar 50x50 cm, kirişler 30x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

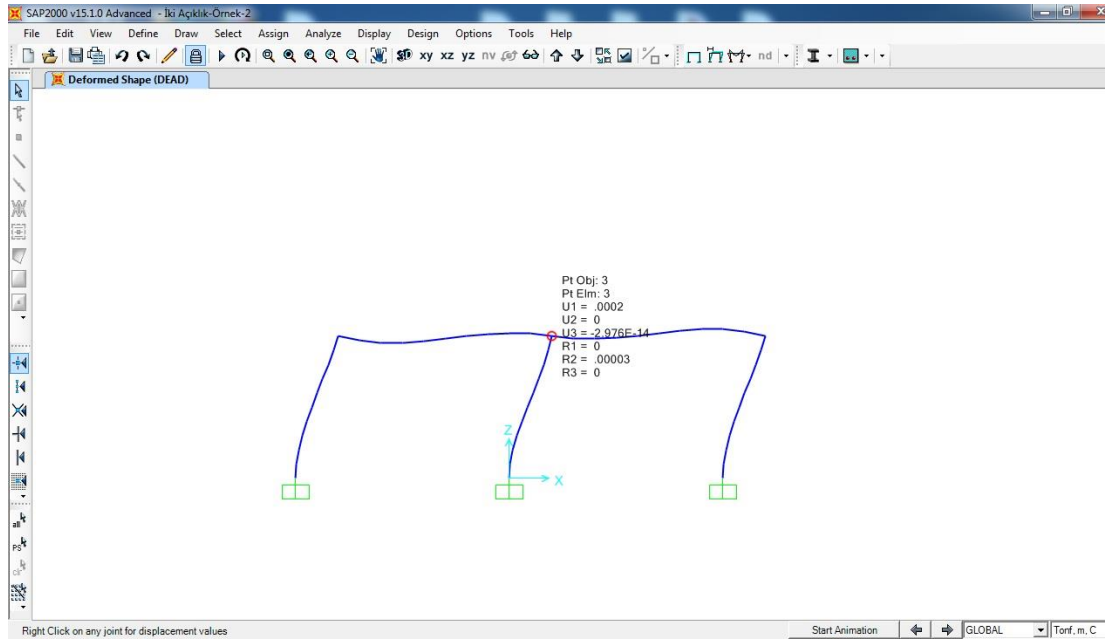


Şekil 4.19 Uygulama-3 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri

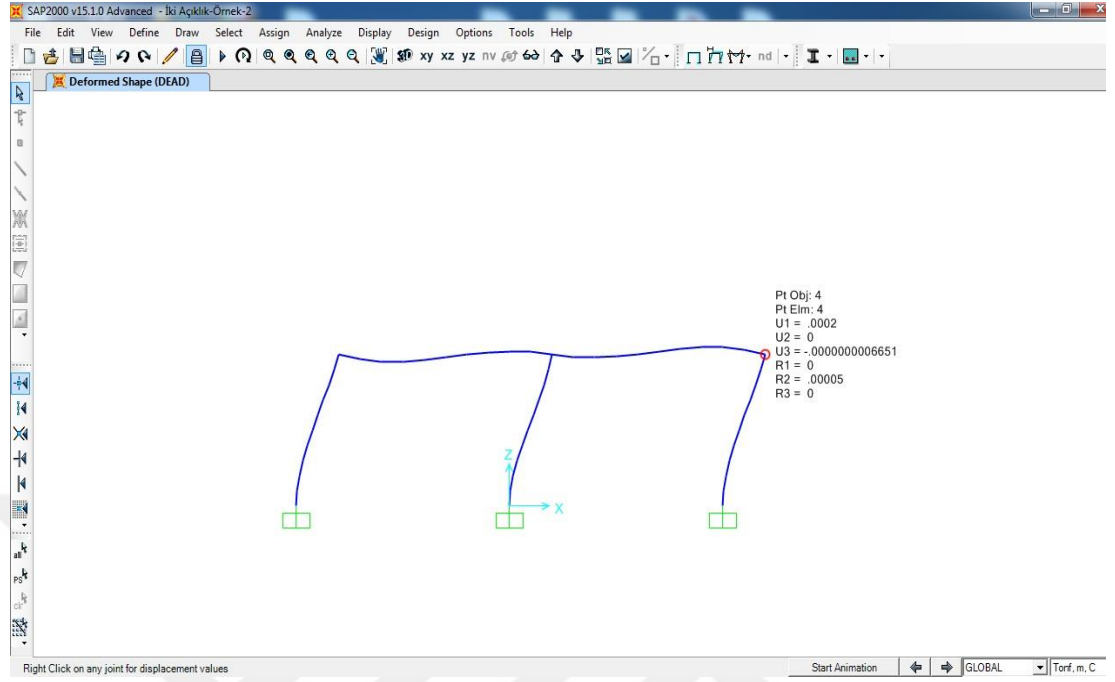
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



Şekil 4.22 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.23 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (3) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.24 Uygulama-3'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 3 ve 4 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=2 \times 10^{-4}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı iki açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_l = \frac{I_b}{I_c} = 0,6 \quad (4.9)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 1,5 \quad (4.10)$$

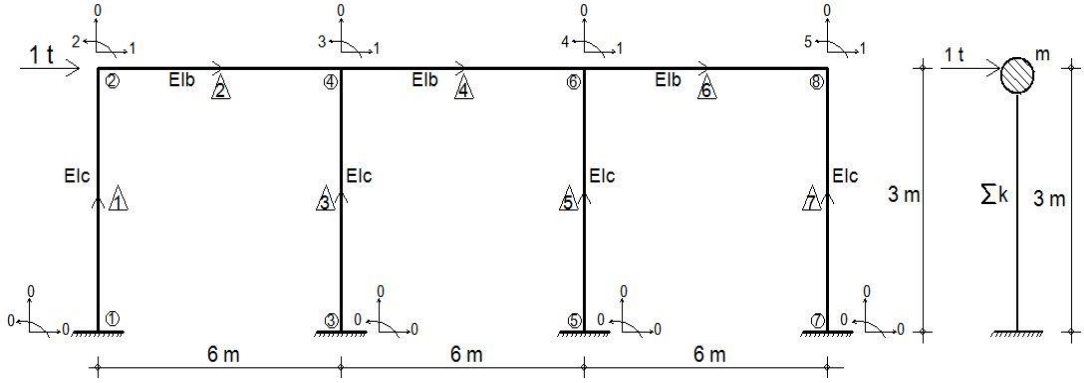
olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.2' den $\alpha_k=0,85$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı iki açıklıklı sistemin (3.44) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0,5 * 0,5^3 / 12)}{4^3} * \delta_1 * 0,85 \quad (4.11)$$

$$\delta_1 = 2 \times 10^{-4} \text{ m} \quad (4.12)$$

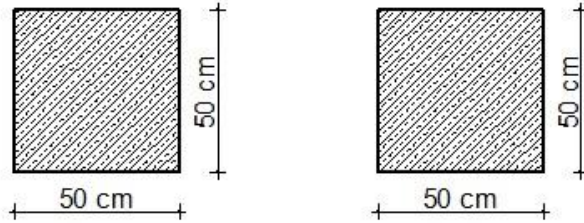
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.4 Uygulama-4 (Tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistem)



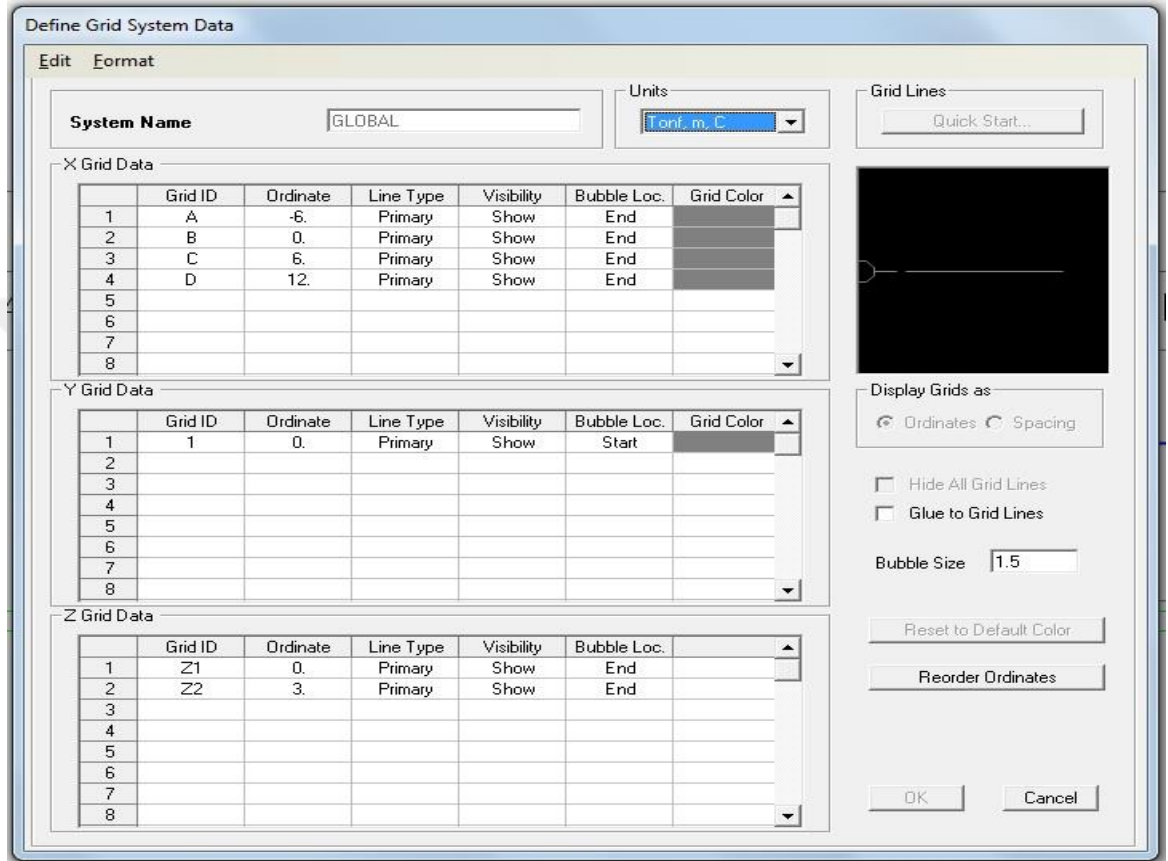
Şekil 4.25 Uygulama-4 için tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması

Şekil 4.25’de açıklıkları (L) 6 m, yüksekliği (h) 3 m olan tek katlı üç açıklıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ dir. Kolonlar 50x50 cm, kirişler 50x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

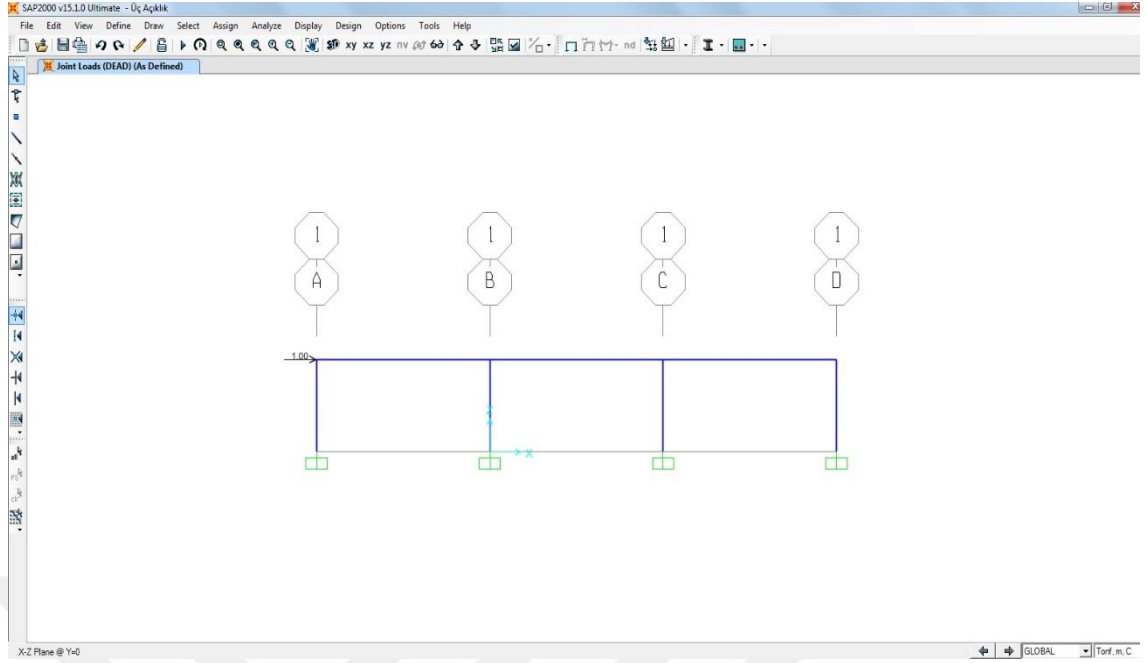


Şekil 4.26 Uygulama-4 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri

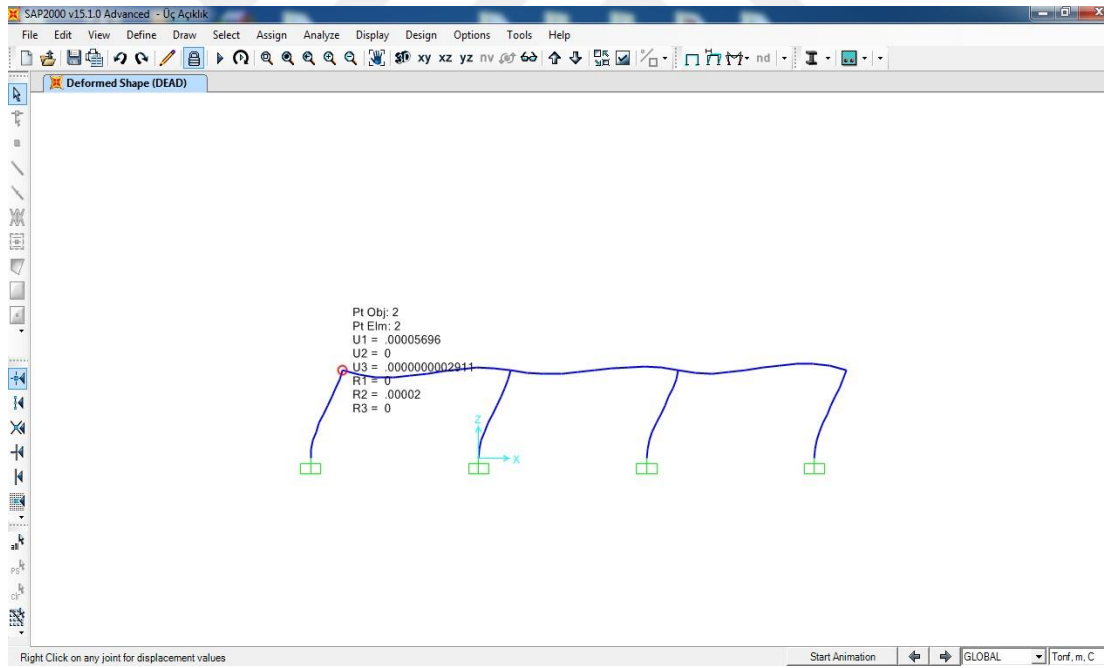
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



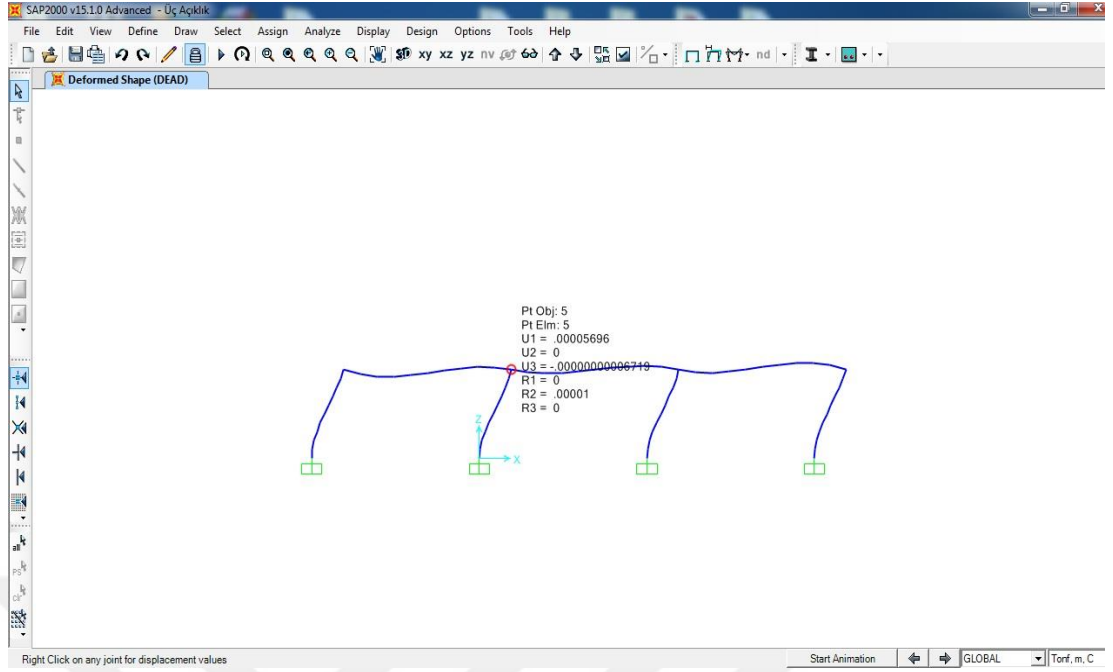
Şekil 4.27 Uygulama-4 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 programına ait eksen sistemi



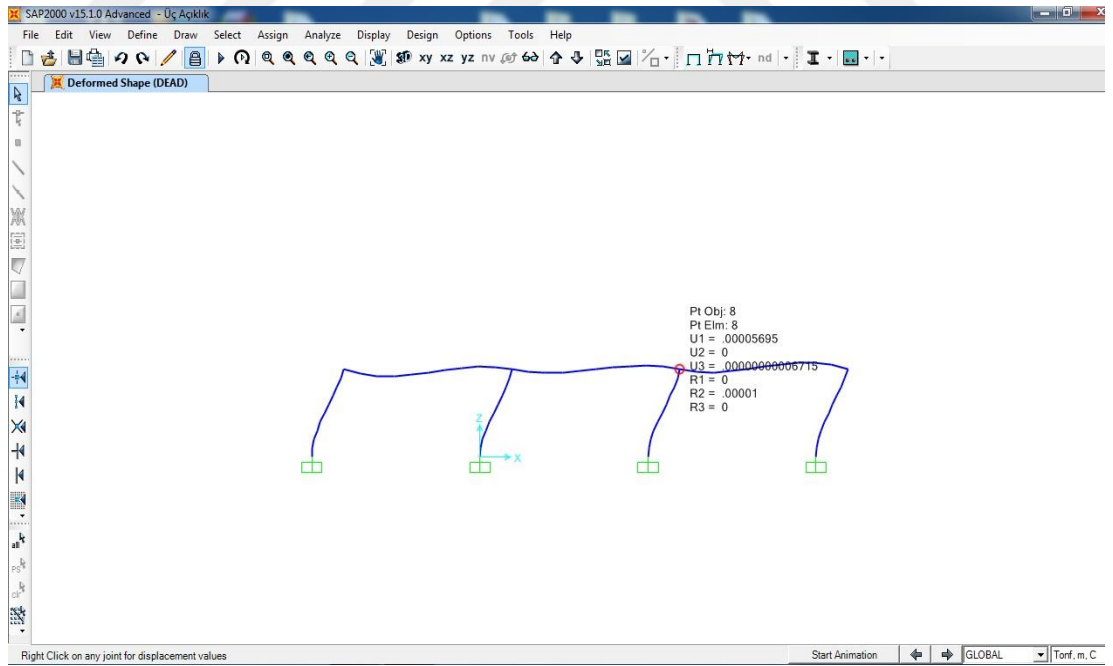
Şekil 4.28 Uygulama-4 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük



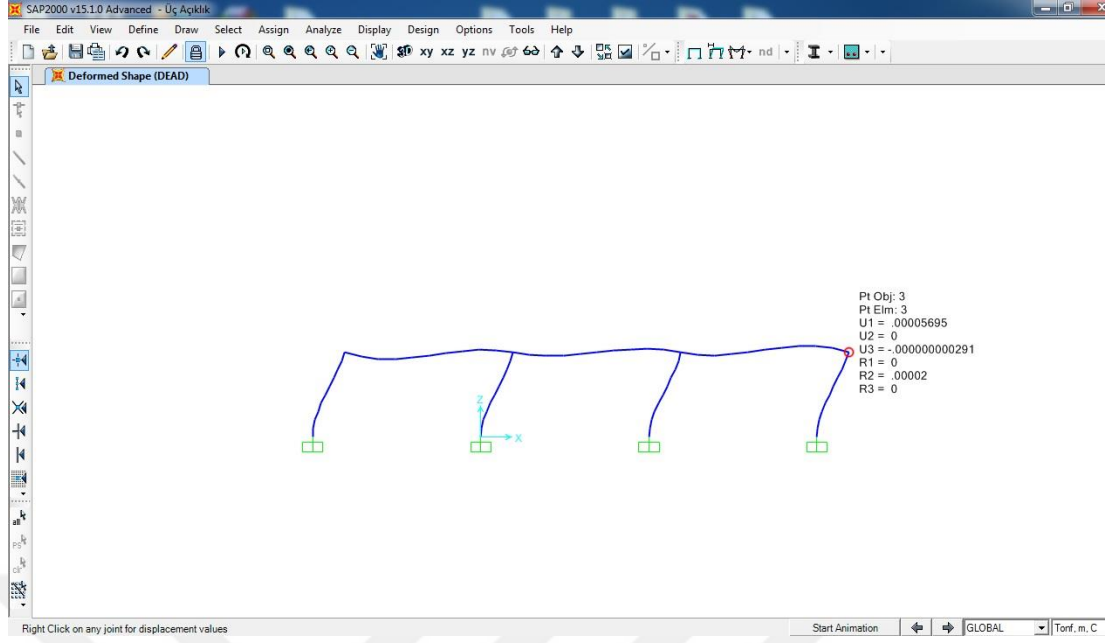
Şekil 4.29 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.30 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.31 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.32 Uygulama-4'ün SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 4, 6 ve 8 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=5,7 \times 10^{-5}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı üç açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_c} = 1 \quad (4.13)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 2 \quad (4.14)$$

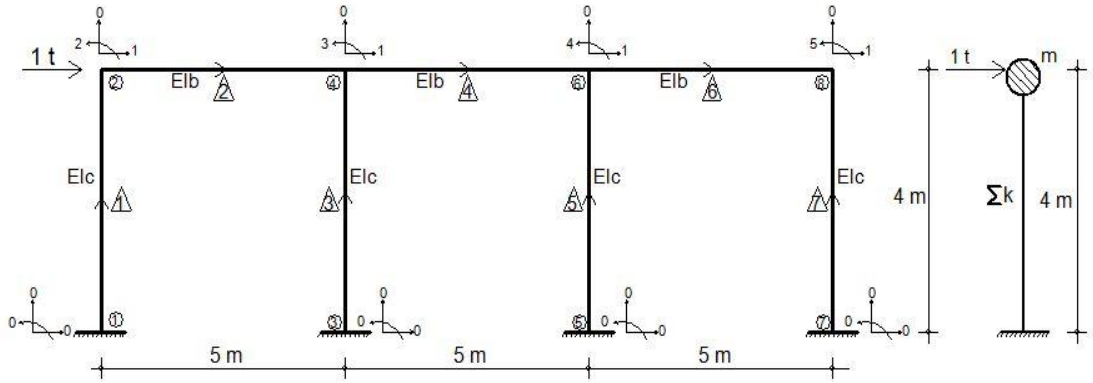
olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.3' den $\alpha_k=1,26$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı üç açıklıklı sistemin (3.78) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0,5 * 0,5^3 / 12)}{3^3} * \delta_1 * 1,26 \quad (4.15)$$

$$\delta_1 = 5,7 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4.16)$$

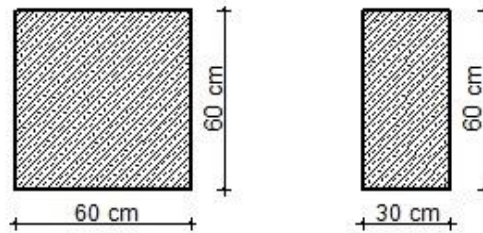
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.5 Uygulama-5 (Tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistem)



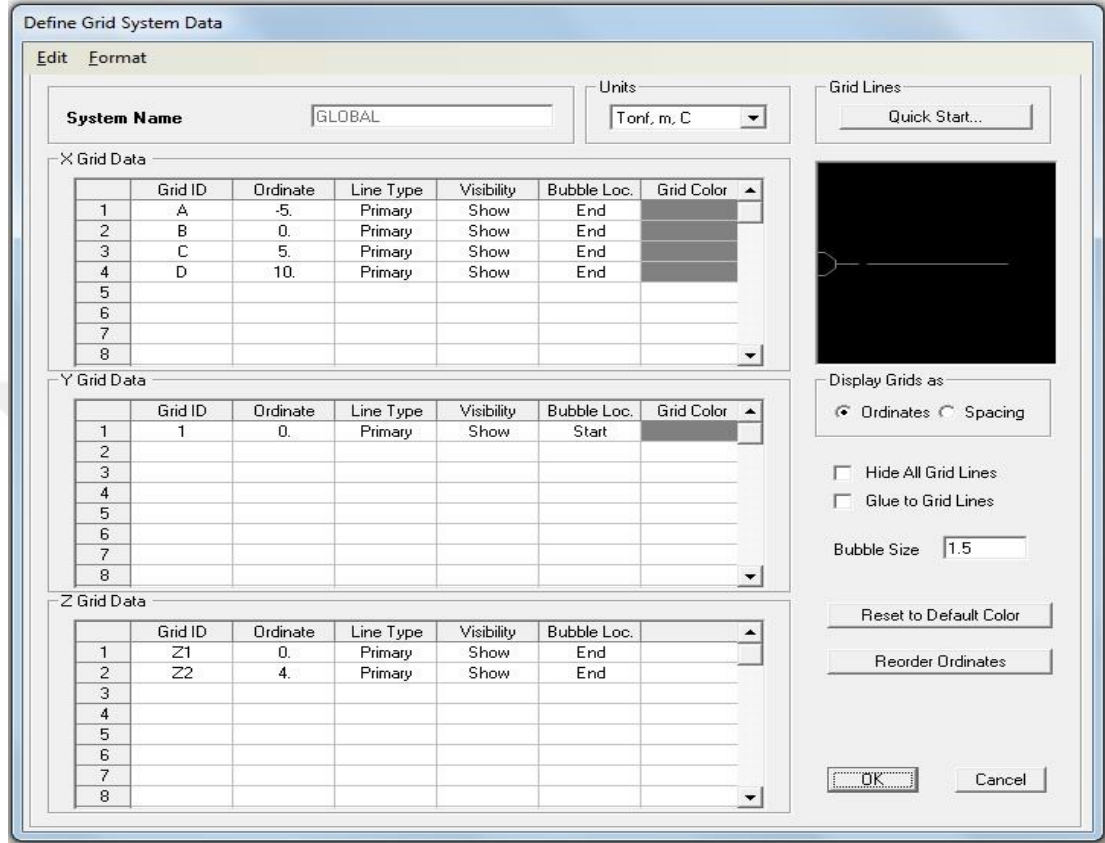
Şekil 4.33 Uygulama-5 için tek katlı üç açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması

Şekil 4.33’ de açıklıkları (L) 5 m, yüksekliği (h) 4 m olan tek katlı üç açıklıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ dir. Kolonlar 60x60 cm, kirişler 30x60 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

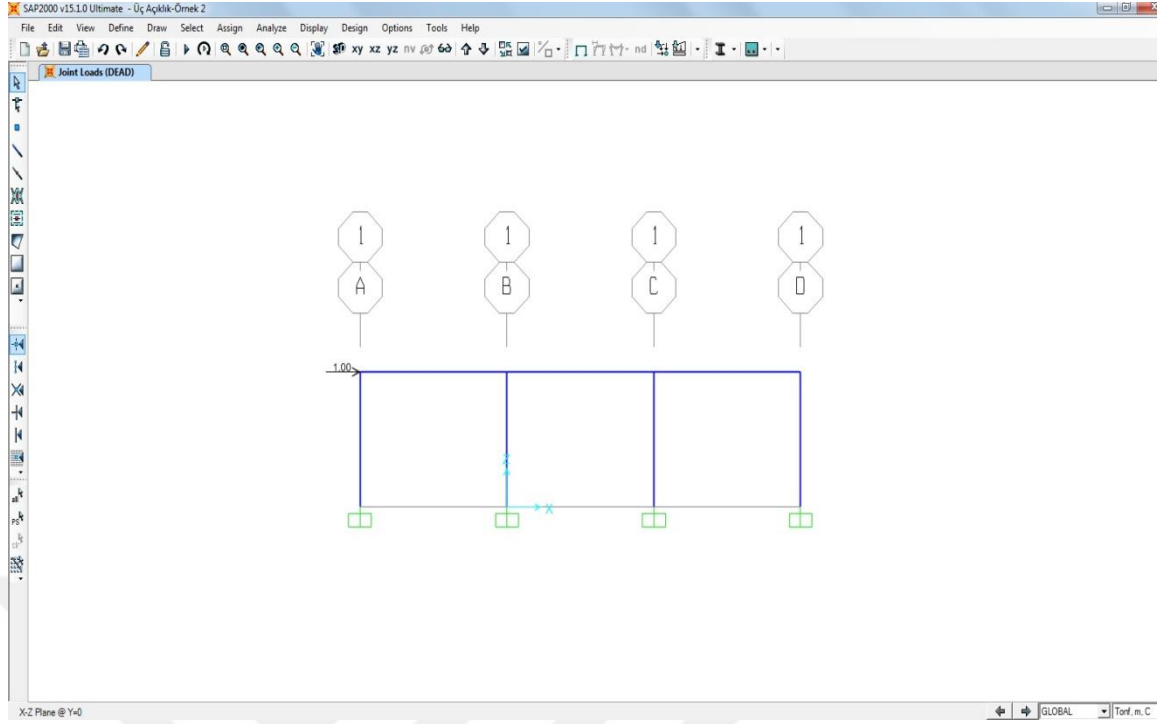


Şekil 4.34 Uygulama-5 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri

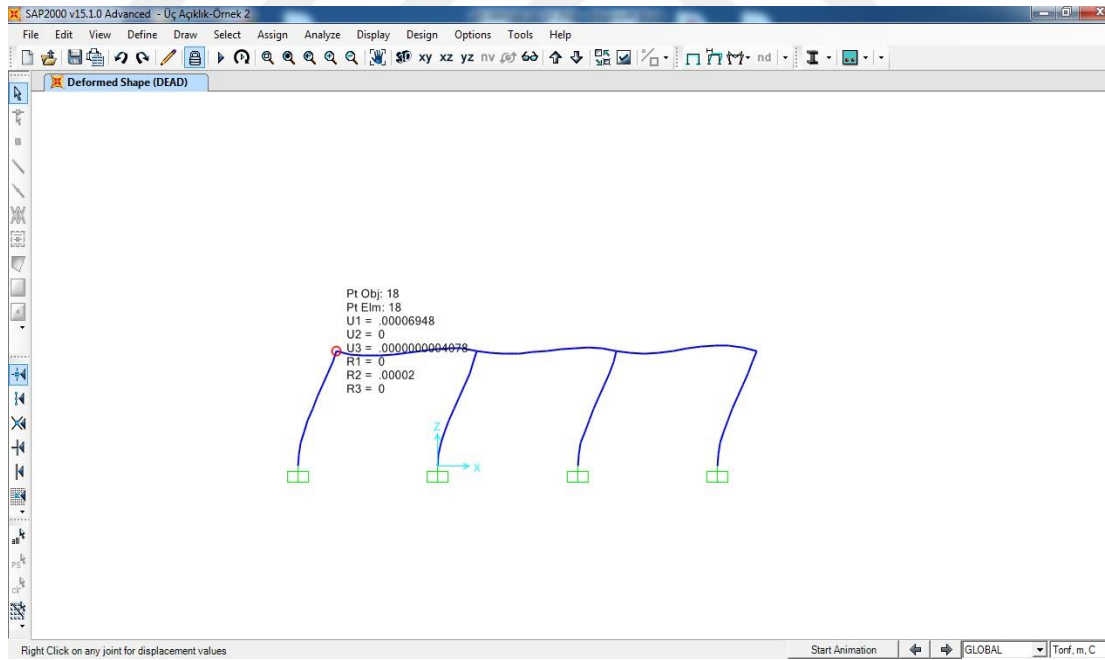
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



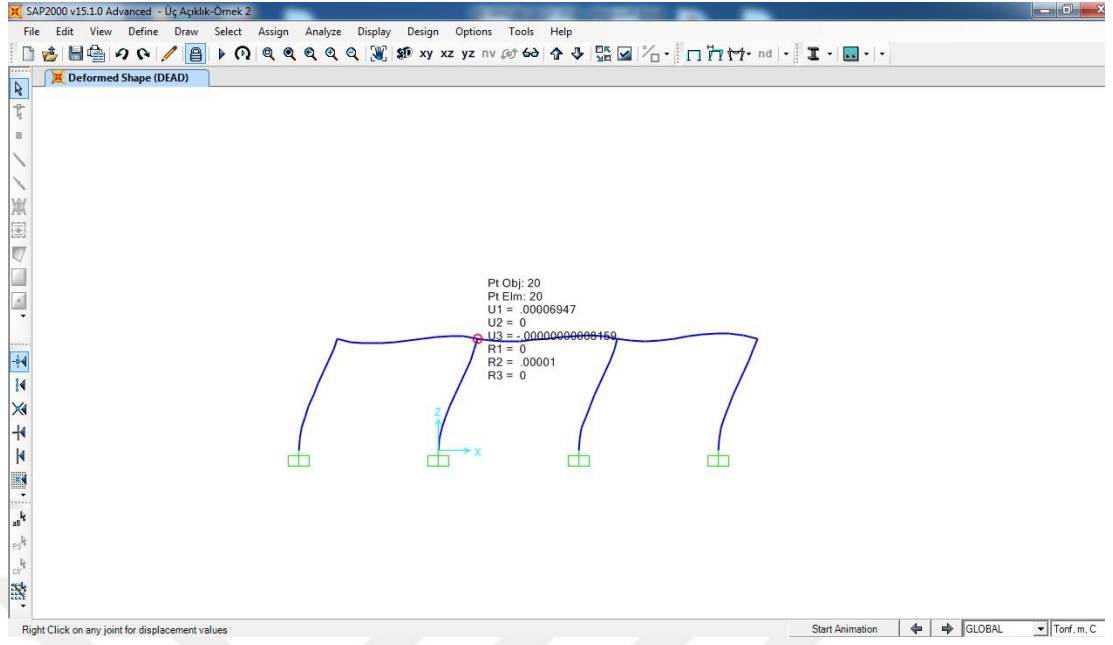
Şekil 4.35 Uygulama-5 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi



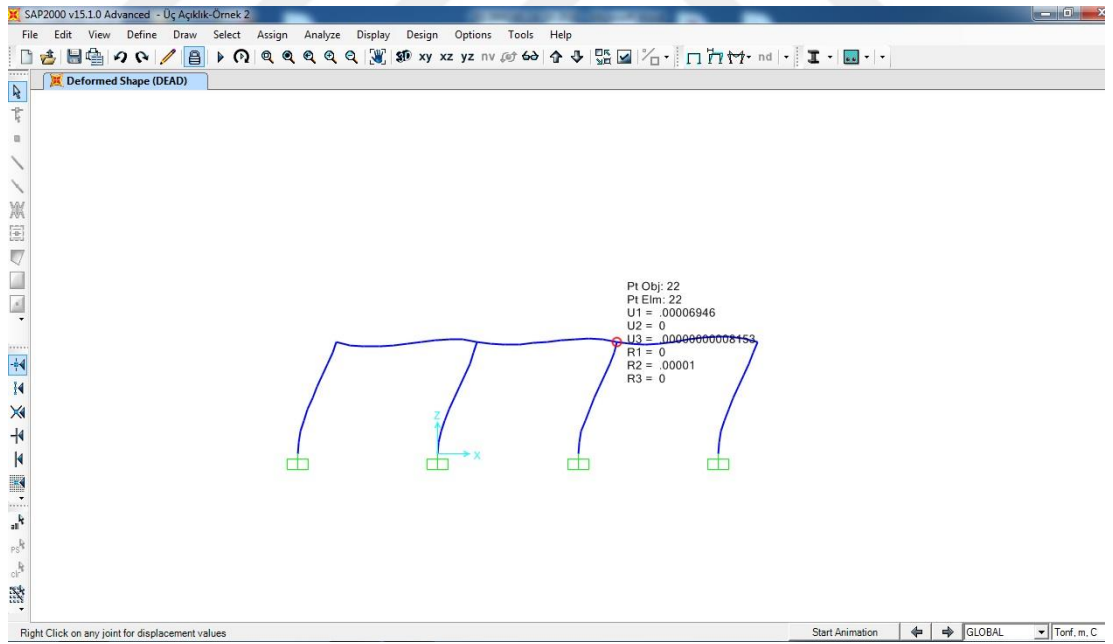
Şekil 4.36 Uygulama-5 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük



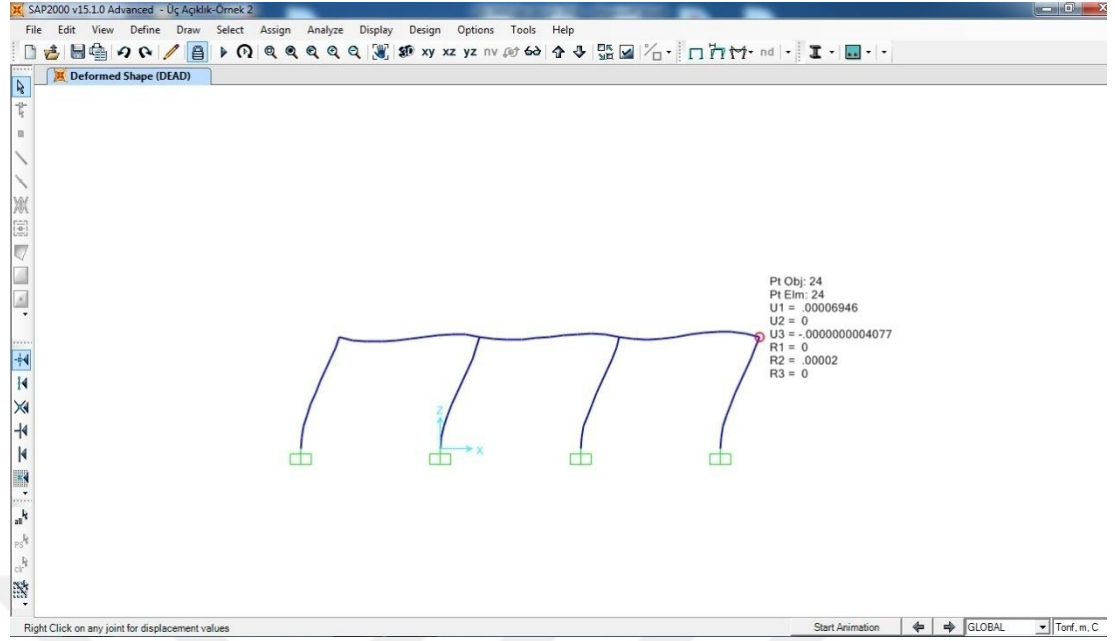
Şekil 4.37 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.38 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.39 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.40 Uygulama-5'in SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 4, 6 ve 8 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=7 \times 10^{-5}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı üç açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_l = \frac{I_b}{I_c} = 0,5 \quad (4.17)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 1,25 \quad (4.18)$$

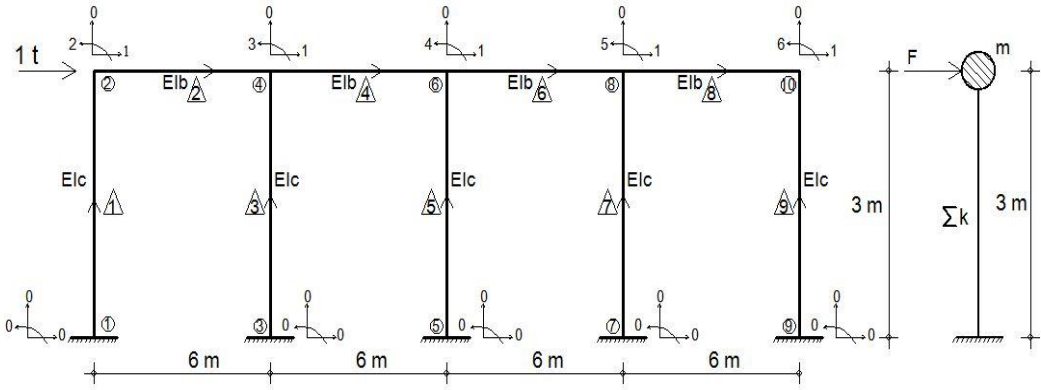
olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.3' den $\alpha_k=1,18$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı üç açıklıklı sistemin (3.78) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 \cdot 3 \times 10^6 \cdot (0,6 \cdot 0,6^3 / 12)}{4^3} \cdot \delta_1 \cdot 1,18 \quad (4.19)$$

$$\delta_1 = 7 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4.20)$$

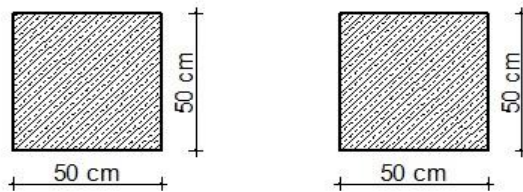
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.6 Uygulama-6 (Tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistem)



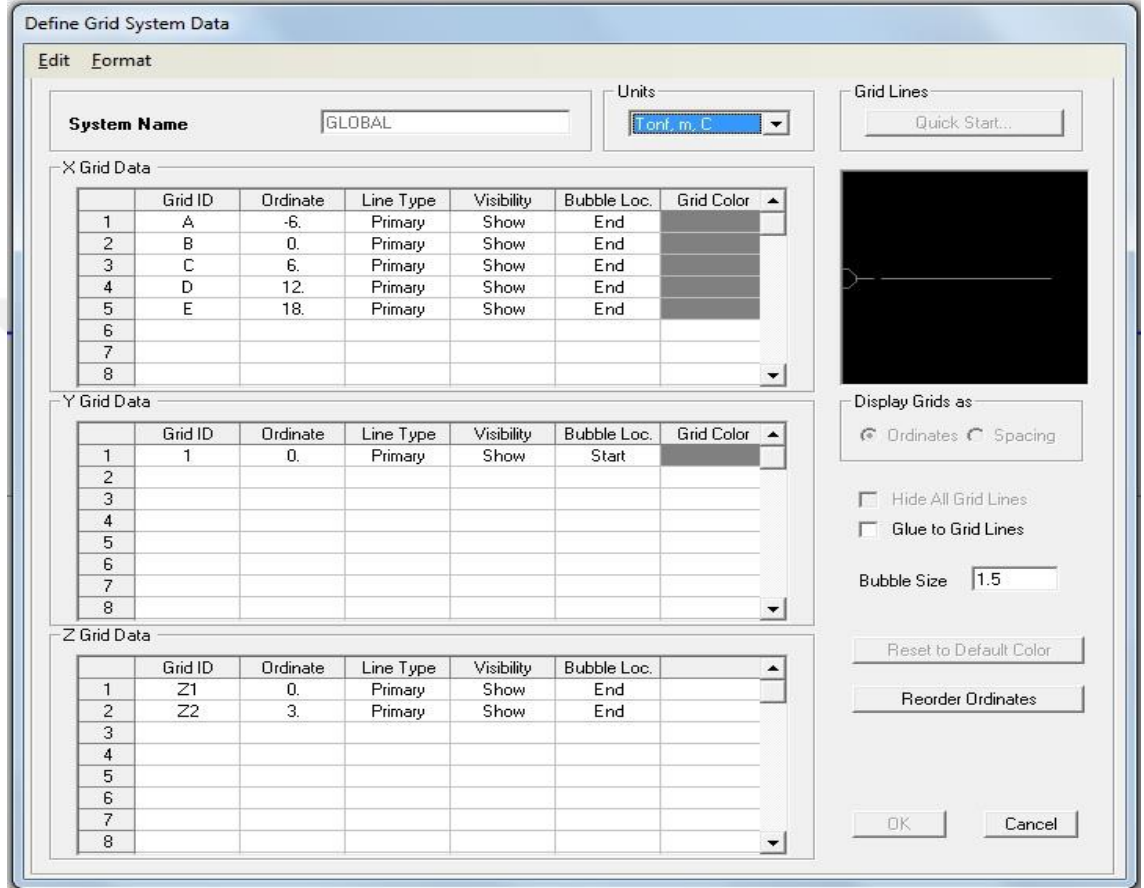
Şekil 4.41 Uygulama-6 için tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemin hesap modeli ve elemanlarının numaralandırılması

Şekil 4.41' de açıklıkları (L) 6 m, yüksekliği (h) 3 m olan tek katlı dört açıklı çerçeve verilmiştir. Malzeme elastisite modülü (E) $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ dir. Kolonlar 50x50 cm, kirişler 50x50 cm olarak boyutlandırılmıştır. Yatay rijitlik katsayılarını kullanarak ve SAP2000 paket programı ile sistemin analizini yapınız?

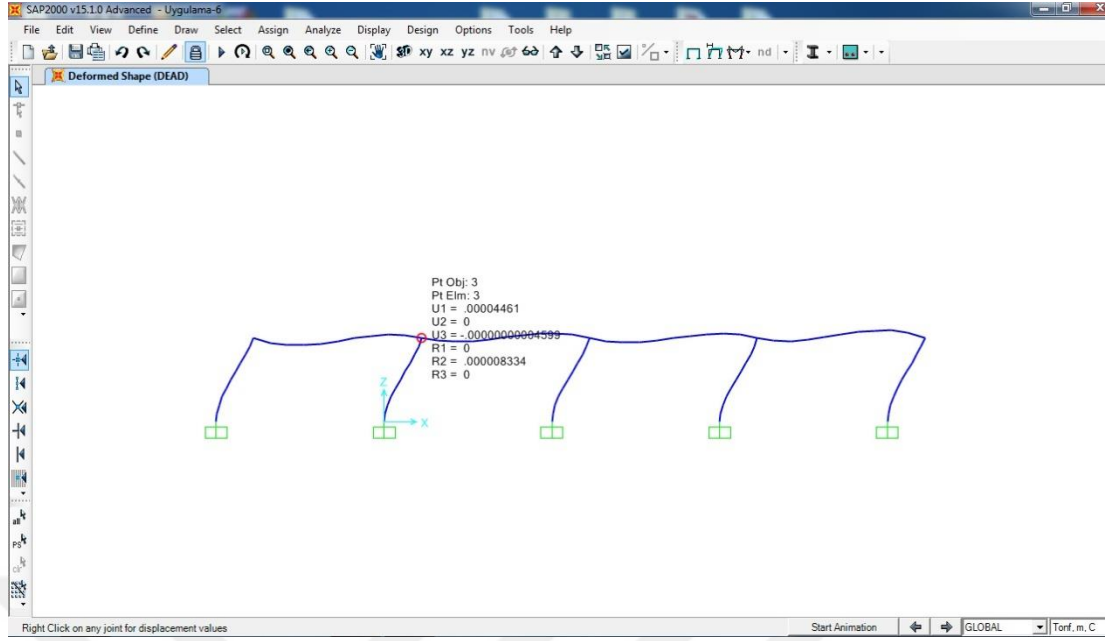


Şekil 4.42 Uygulama-6 için kullanılan kolon ve kiriş enkesitleri

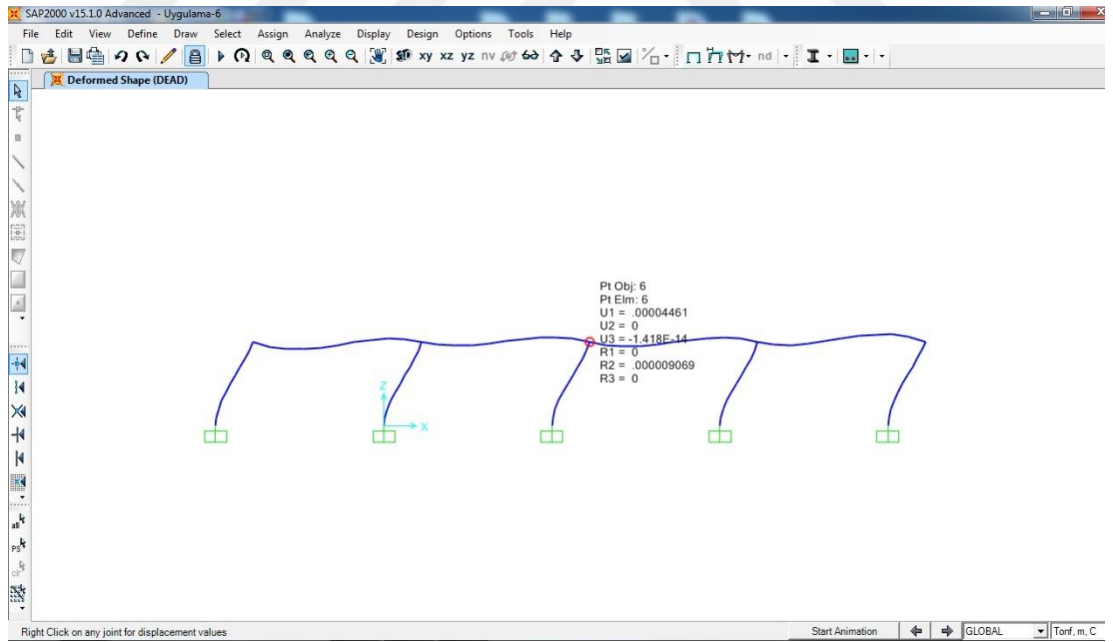
Çerçeveye yatay yönde 1 tonluk birim kuvvet kat hizasında etkilmiştir. Bu verilere göre SAP2000 V.15 paket programıyla model oluşturulmuştur. Yapılan işlemler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



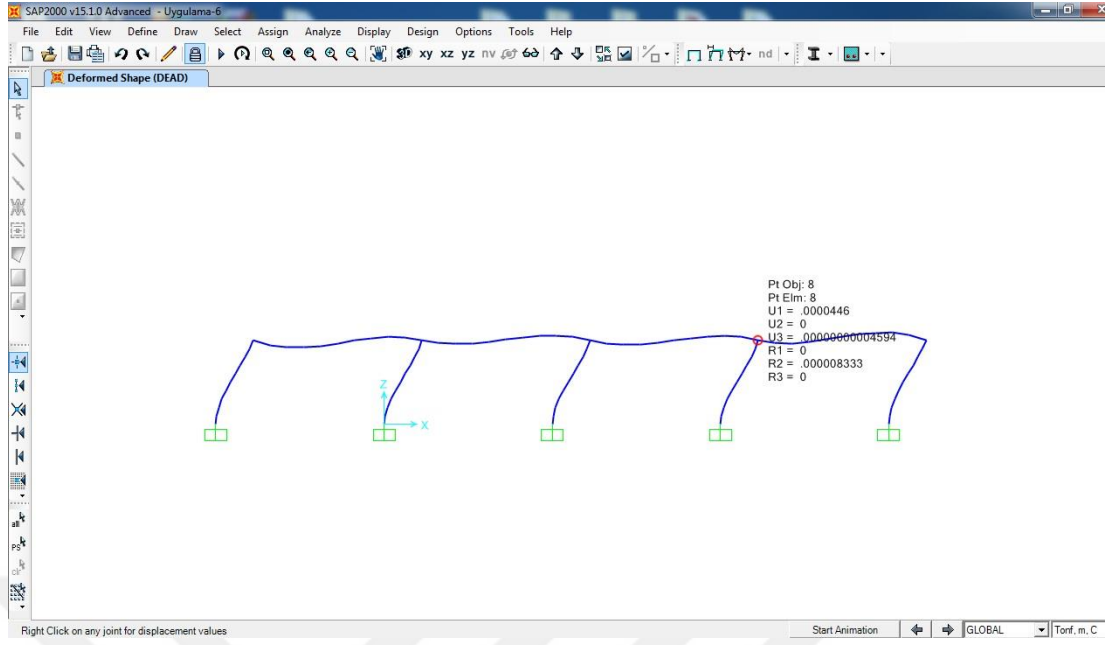
Şekil 4.43 Uygulama-6 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi



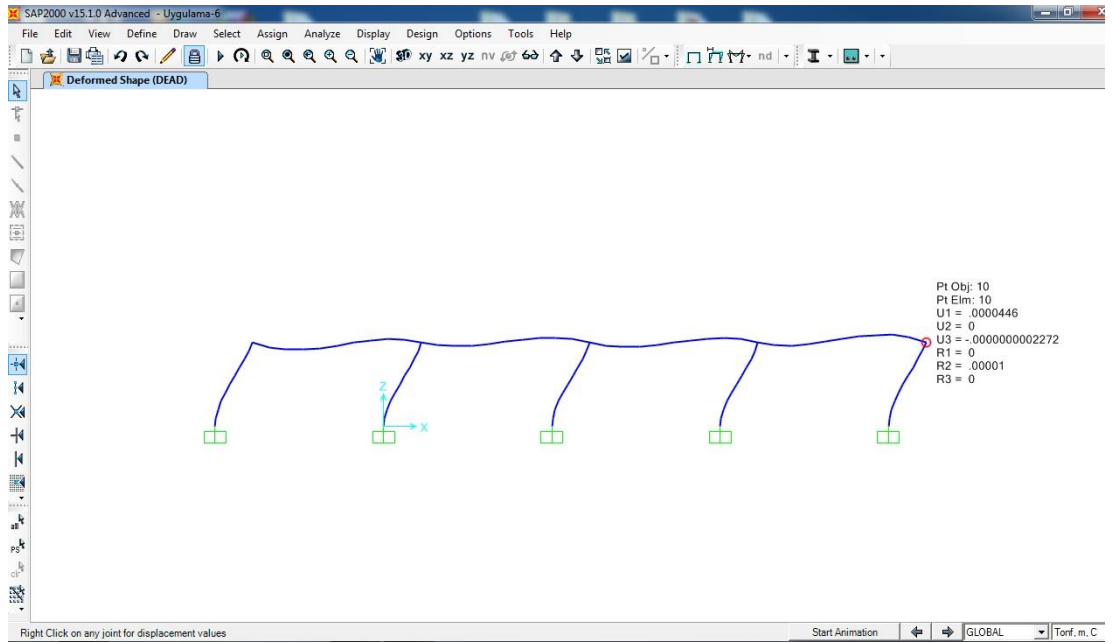
Şekil 4.46 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.47 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.48 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.49 Uygulama-6'nın SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (10) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 4, 6, 8 ve 10 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=4,5 \times 10^{-5}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı dört açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_I = \frac{I_b}{I_c} = 1 \quad (4.21)$$

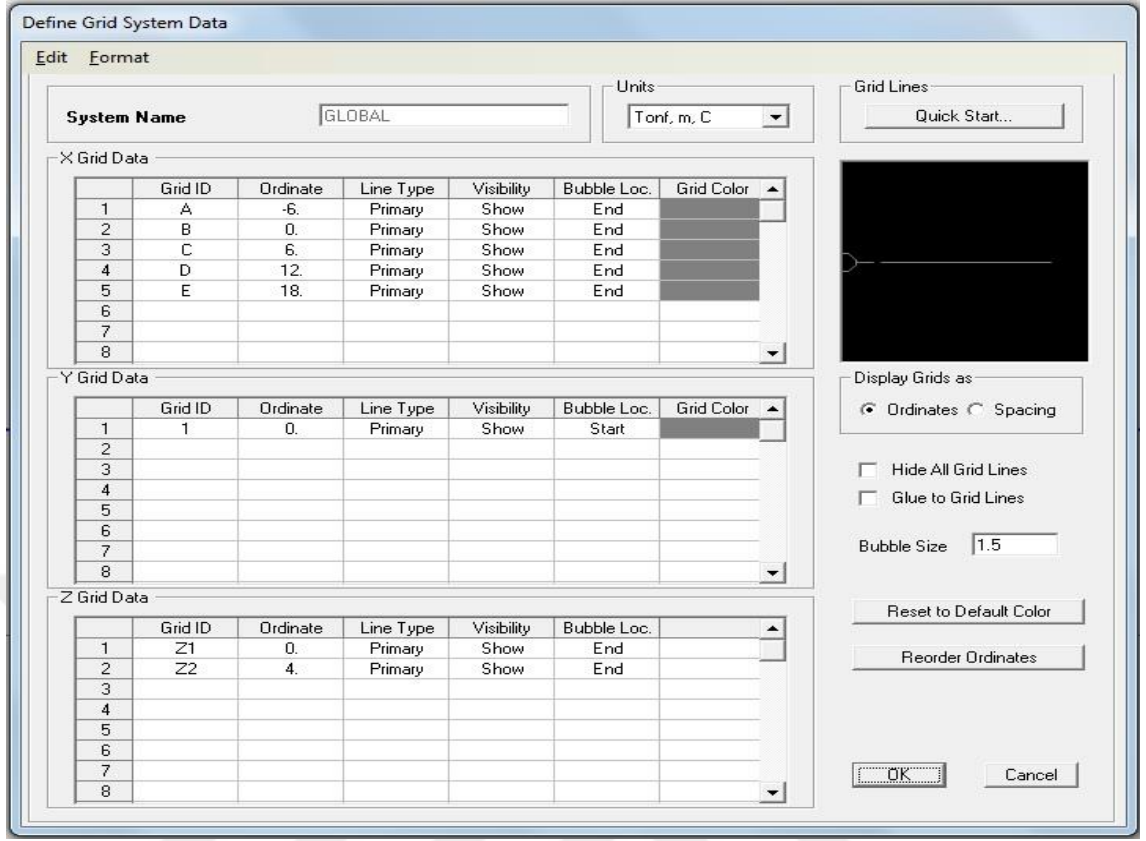
$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 2 \quad (4.22)$$

olduğu görülür. Bu sonuçlara göre Tablo 3.4' den $\alpha_k=1,61$ değeri okunmuştur. Bu değer tek katlı dört açıklıklı sistemin (3.127) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

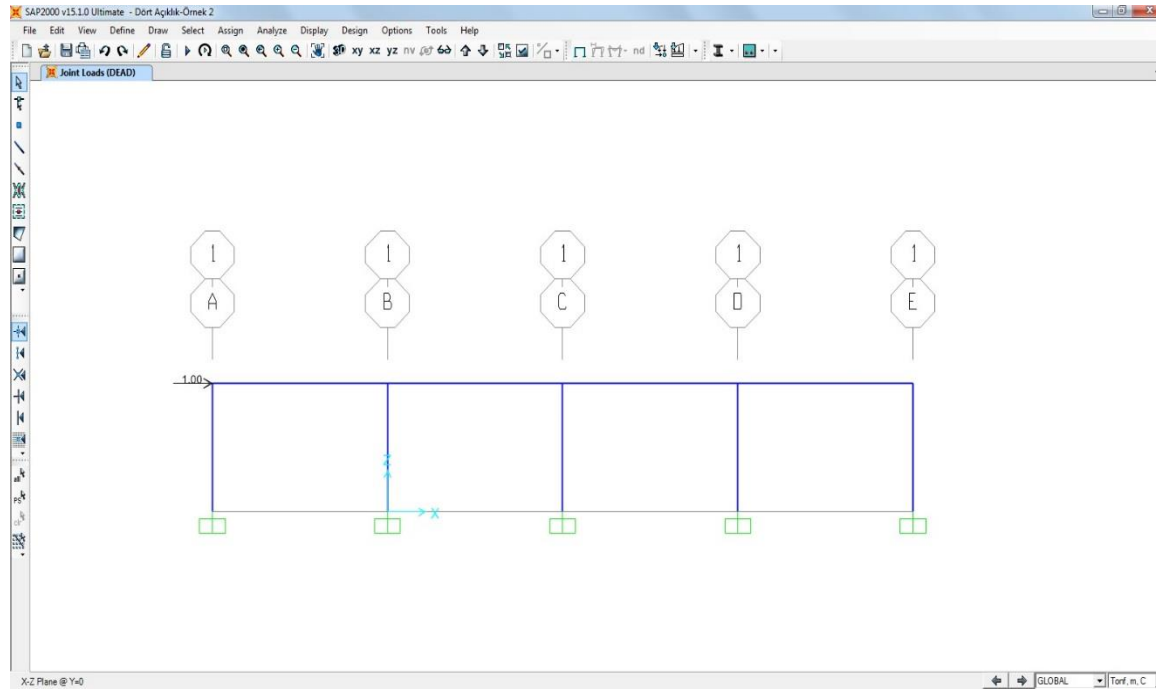
$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0,5 * 0,5^3 / 12)}{3^3} * \delta_1 * 1,61 \quad (4.23)$$

$$\delta_1 = 4,5 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4.24)$$

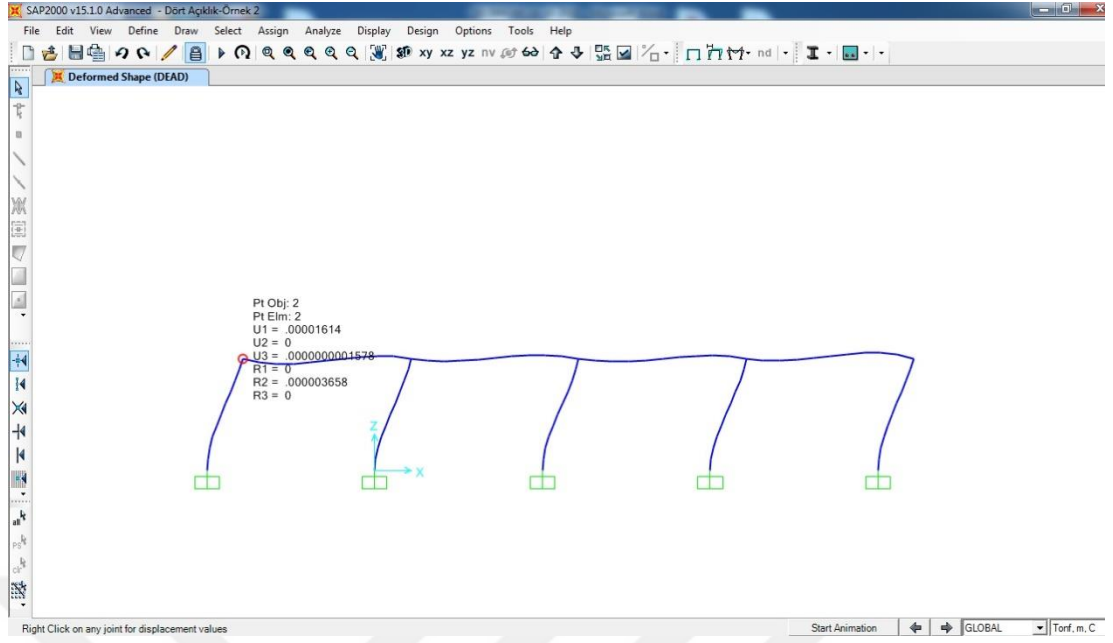
değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.



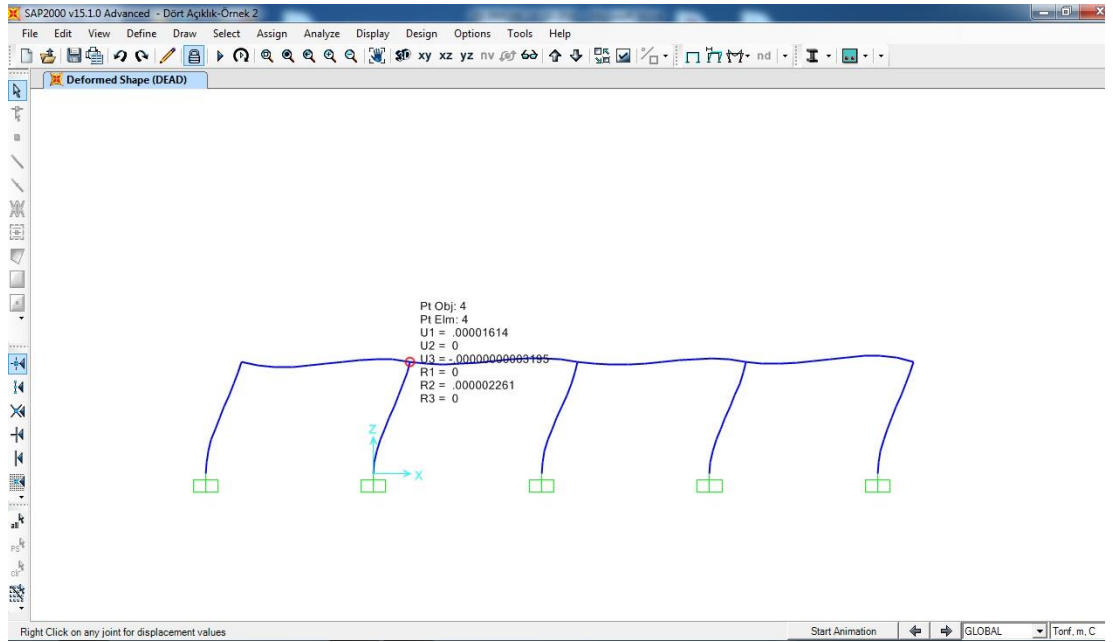
Şekil 4.52 Uygulama-7 için kullanılan çerçevenin SAP2000 V.15 paket programına ait eksen sistemi



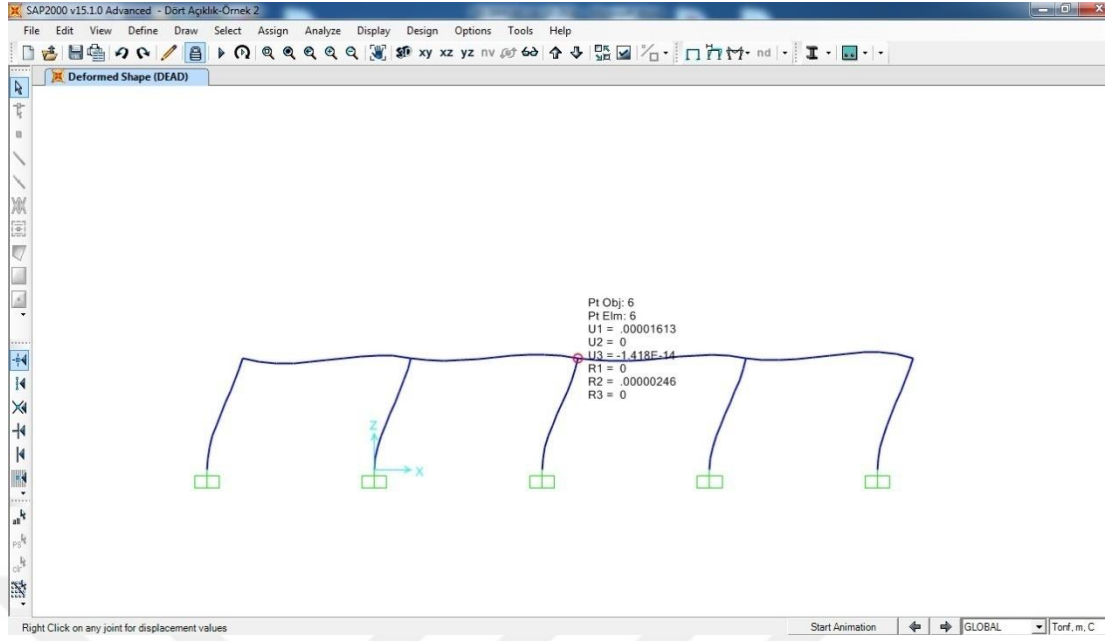
Şekil 4.53 Uygulama-7 için kullanılan çerçeve sisteme uygulanan birim yük



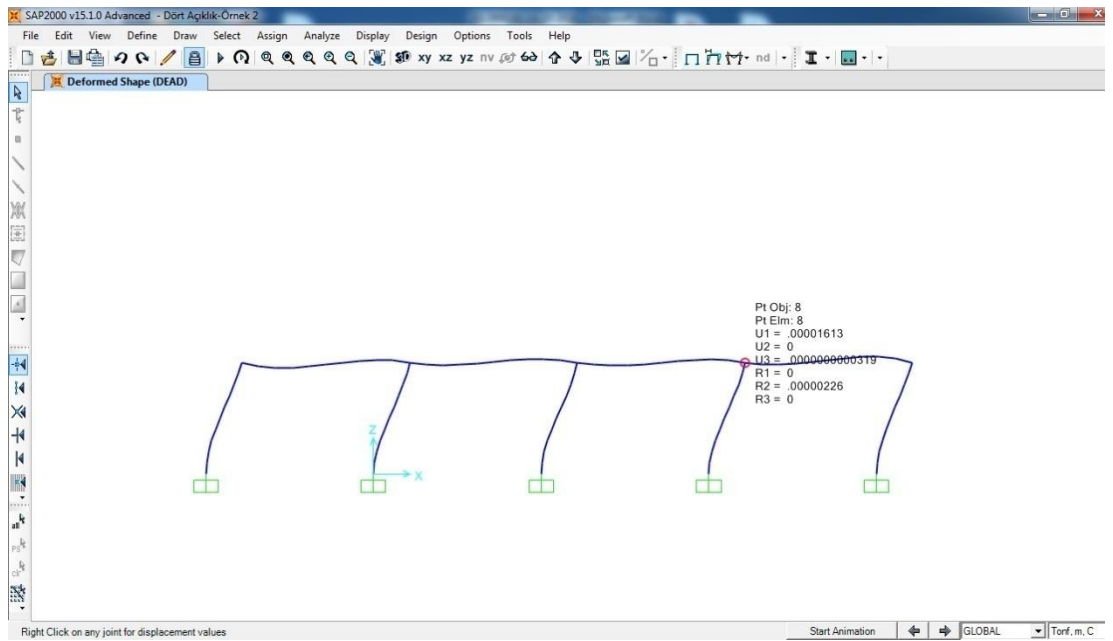
Şekil 4.54 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (2) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



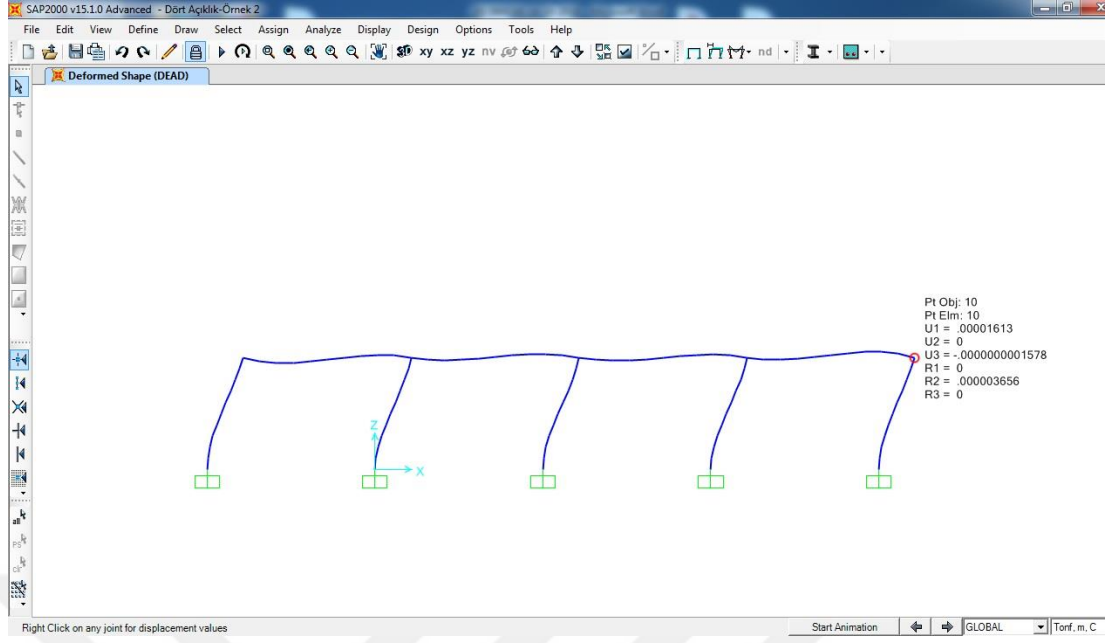
Şekil 4.55 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (4) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.56 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (6) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.57 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (8) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri



Şekil 4.58 Uygulama-7'nin SAP2000 V.15 paket programıyla analiz sonrasında (10) numaralı düğüm noktasına ait deplasman değeri

Yapılan analiz sonucunda 2, 4, 6, 8 ve 10 numaralı düğüm noktalarının deplasmanları $\delta=1,6 \times 10^{-5}$ m bulunmuştur. Daha önce tek katlı dört açıklıklı sistem için elde ettiğimiz α_k katsayıları kullanılarak çözüme gidilirse;

$$\alpha_I = \frac{I_b}{I_c} = 0,75 \quad (4.25)$$

$$\alpha_L = \frac{L}{h} = 1,50 \quad (4.26)$$

olduğu görülür. α_I değerinin Tablo 3.4' de verilen değerlerinde 0,75 değeri olmadığından $\alpha_I = 0,70$ ve $\alpha_I = 0,80$ değerlerine karşılık gelen değerlerin sırasıyla 1,58 ve 1,64 olduğu görülür. Bu sonuçlara göre $\alpha_k=1,61$ değeri alınmıştır. Bu değer tek katlı dört açıklıklı sistemin (3.127) numaralı denkleminde yerine yazılırsa;

$$1 = \frac{24 * 3 \times 10^6 * (0.8 * 0.8^3 / 12)}{4^3} * \delta_1 * 1,61 \quad (4.27)$$

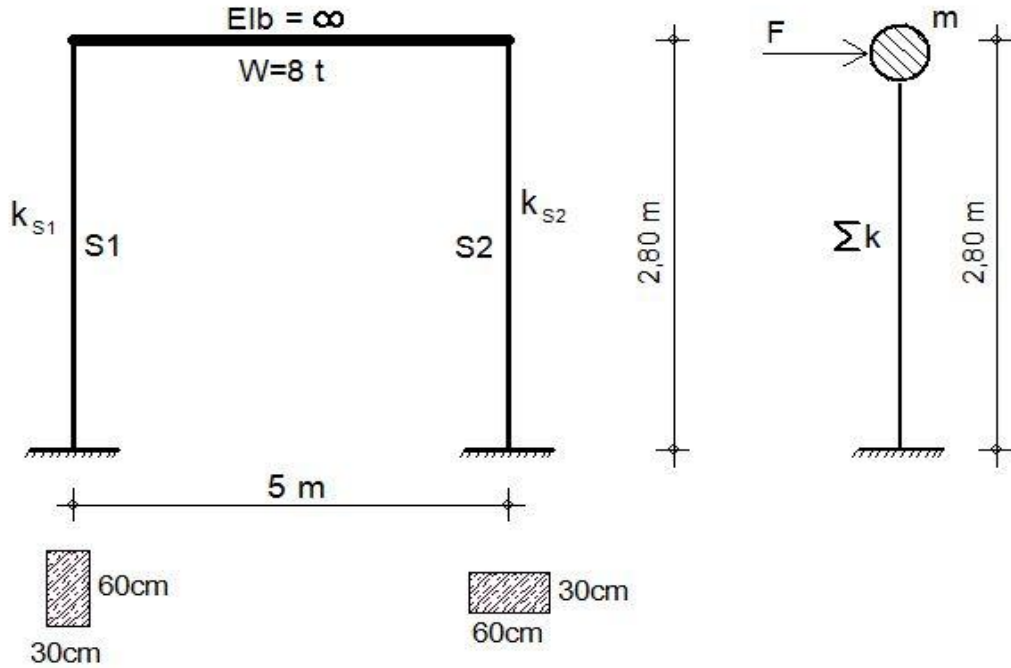
$$\delta_1 = 1,6 \times 10^{-5} \text{ m} \quad (4.28)$$

değeri elde edilir. Bu değer ile SAP2000 V.15 paket programında yapılan analiz sonrası değer birbiri ile örtüşmektedir.

4.8 Uygulama-8

Bu uygulamada öncelikle kiriş eğilme rijitliği sonsuz kabul edilerek sistemin açısal frekansı ve periyodu bulunacaktır. Daha sonra ise kiriş eğilme rijitliği sonsuz kabul edilmeyerek, tek katlı tek açıklıklı sistem için bulunan yatay rijitlik katsayıları kullanılarak yine sistemin açısal frekansı ve periyodu bulunacaktır.

a-)



Şekil 4.59 Uygulama-8a için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistem

Şekil 4.59’da verilen sistemde kiriş eğilme rijitliği sonsuz kabul edilen çerçeve sistem verilmiştir. S1 ve S2 kolonlarının enkesitleri şekilde belirtilmiştir. Malzeme elastisite modülü $E=3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$, çerçeve açıklığı 5m, yüksekliği 2,80m’dir. Sistemin ağırlığı 8 ton olarak verilmiştir. Verilenlere göre sistemin periyodunu bulunuz?

Kat seviyesindeki yatay elemanların rijitliklerinin sonsuz kabul edilmesi halinde, tek katlı çerçevenin (i) inci kolonunun yatay rijitliği (4.29) bağıntısı ile hesaplanabilir.(Çatal, 2005)

$$k_i = \frac{12EI_{ic}}{h^3} \quad (4.29)$$

$$I_{S1} = \frac{0.6 \times 0.3^3}{12} = 0,00135 \text{ m}^4 \quad (4.30)$$

$$I_{S2} = \frac{0.3 \times 0.6^3}{12} = 0,0054 \text{ m}^4 \quad (4.31)$$

$$k_{S1} = \frac{12 \times 3 \times 10^6 \times 0,00135}{(2,80)^3} = 2214 \text{ t/m} \quad (4.32)$$

$$k_{S2} = \frac{12 \times 3 \times 10^6 \times 0,0054}{(2,80)^3} = 8856 \text{ t/m} \quad (4.33)$$

$$k_{top} = k_{S1} + k_{S2} = 11070 \text{ t/m} \quad (4.34)$$

$$m = \frac{W}{g} = \frac{8}{9,81} = 0,815 \text{ ts}^2/\text{m} \quad (4.35)$$

Dinamik analiz için kullanılan rijitlik matrisi, kütle matrisi ve açısal frekans eşitliği aşağıdaki (4.36) denklemi ile verilmiştir.

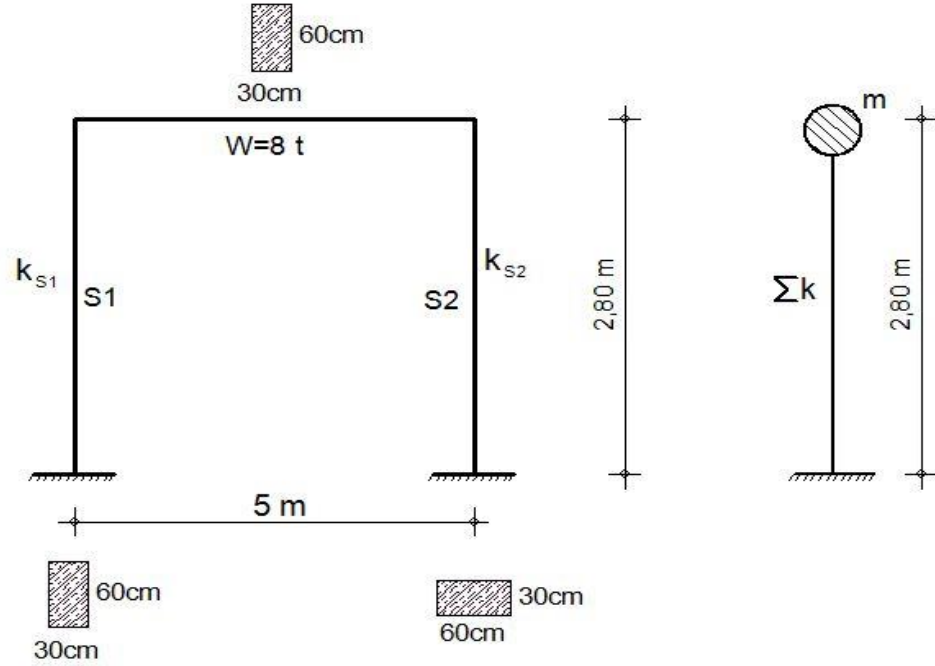
$$[[K] - w^2[M]] = 0 \quad (4.36)$$

$$11070 - w^2(0,815) = 0 \quad (4.37)$$

$$w = 116,55 \text{ 1/s} \quad (4.38)$$

$\frac{2\pi}{w} = T$ olduğundan $T = 0,054$ sn bulunur.

b-)



Şekil 4.60 Uygulama-8b için tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistem

Şekil 4.60'da verilen çerçeve sistemde açıklık 5m, yükseklik 2,80m'dir. Kolon ve kiriş enkesitleri şekilde verildiği gibidir. Elastisite modülü $3 \times 10^6 \text{ t/m}^2$ 'dir. Verilenlere göre sistemin periyodunu tek katlı tek açıklıklı sistem için bulunan α_k katsayılarını kullanarak bulunuz?

$I_{S1} = 0,00135 \text{ m}^4$, $I_{S2} = 0,0054 \text{ m}^4$, $I_b = 0,00135 \text{ m}^4$ ve $m=0,815 \text{ ts}^2/\text{m}$ olduğu sorunun (a) bölümünde bulunmuştur.

$$\alpha_{I(1)} = \frac{I_b}{I_c} = 1 \quad (4.39)$$

$$\alpha_{L(1)} = \frac{L}{h} = \frac{5}{2.8} = 1,79 \quad (4.40)$$

(4.39) ve (4.40) eşitliklerinde bulunan sonuçlara göre α_{k1} katsayısı Tablo-3.1'den 0,58 olarak okunmuştur.

$$\alpha_k = 0,58 \quad (4.41)$$

$$\alpha_{I(2)} = \frac{I_b}{I_c} = 0,25 \quad (4.42)$$

$$\alpha_{L(2)} = \frac{L}{h} = \frac{5}{2.8} = 1,79 \quad (4.43)$$

(4.42) ve (4.43) eşitliklerinde bulunan sonuçlara göre α_{k2} katsayısı Tablo-3.1'den 0,37 olarak okunmuştur.

$$\alpha_k = 0,58 \quad (4.44)$$

$$k_{S1} = \frac{12 \times 3 \times 10^6 \times 0,00135}{(2,80)^3} * 0,58 = 1284 \text{ t/m} \quad (4.45)$$

$$k_{S2} = \frac{12 \times 3 \times 10^6 \times 0,0054}{(2,80)^3} * 0,37 = 3277 \text{ t/m} \quad (4.46)$$

$$k_{top} = k_{S1} + k_{S2} = 4561 \text{ t/m} \quad (4.47)$$

$$4561 - \omega^2(0,815) = 0 \quad (4.48)$$

$$\omega = 74,81 \text{ 1/s} \quad (4.49)$$

$\frac{2\pi}{\omega} = T$ olduğundan $T = 0,084$ sn bulunur.



BÖLÜM BEŞ

SONUÇLAR

Çalışmada çerçeve sistemlerin yatay rijitliklerinin hesabında kullanılmak üzere yatay rijitlik katsayıları (α_k) hesaplanmış olup tablolar ve şekiller ile sunulmuştur.

Elde edilen sonuçlar ile SAP2000 V.15 paket programı kullanılarak elde edilen sonuçlar örtüşmektedir. Elde edilen sonuçlar ile tek katlı tek açıklıklı, tek katlı iki açıklıklı, tek katlı üç açıklıklı, tek katlı dört açıklıklı çerçeve sistemlerin dinamik analizlerinde kullanılacak rijitliklerin hesabı oldukça basite indirgenmiştir.

Tezde ulaşılan veriler ile tek katlı ve dört açıklığa kadar olan kesme çerçevelerinin serbest titreşim analizinde ve zorlanmış titreşimlerinde kullanılacak, düşey taşıyıcı elemanların, giriş uçlarıyla birleştiği düğüm noktalarının da dikkate alınması suretiyle rijitlik katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar kullanılarak tek katlı çerçevelerin rijitlik değerlerinin elde edilmesinin kolaylaştırılması sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Celep, Z. ve Kumbasar, N. (2014). *Deprem mühendisliğine giriş ve deprem dayanıklı yapı tasarımı* (5. Baskı), İstanbul: Beta Yayın
- Chopra, A. K. (2012). *Dynamics of structures, theory and applications to earthquake engineering* (4. Baskı), New Jersey: Prentice Hall
- Clough, R. W. ve Penzien, J. (2003). *Dynamics of structures* (3. Baskı), Berkeley: Computers & Structures, Inc.
- Çakıroğlu, A. Ve Çetmeli, E. (1996). *Yapı statikği* (9. Baskı), İstanbul: Beta Yayın.
- Çatal, H. H. (2005). *Yapı ve deprem mühendisliğinde matris yöntemler*, İzmir. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:294
- Hall, A. S. ve Woodhead, R. W. (1965) *Frame analysis*, Newyork.
- İnan, M. (1967). *Cisimlerin mukavemeti*, İstanbul: Arı Kitabevi Matbaası.
- Öztürk, A. U. (2003). *Yarı rijit bağlantılı çerçevelerin dinamik analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Paz, M. (1997). *Structural Dynamics Theory and Computation* (4. Baskı), Newyork.