

754839

**DÜĞÜM NOKTALARINDAKİ KISMİ BAĞLILIĞIN KAFES VE PREFABRİK
YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Murat Emre KARTAL

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Mühendislik Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

ZONGULDAK

Ağustos 2004

KABUL:

Murat Emre KARTAL tarafından hazırlanan "DÜĞÜM NOKTALARINDAKİ KISMİ BAĞLILIĞIN KAFES VE PREFABRİK YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Mühendislik Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 26/08/2004

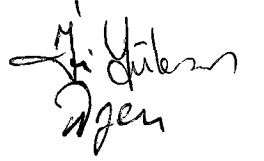
Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Murat MUVAFIK (ZKÜ)



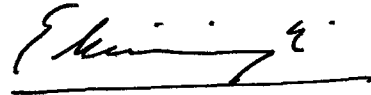
Üye : Yrd. Doç. Dr. İsa YÜKSEL (ZKÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Halil ÖZER (ZKÜ)

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. / /2004



Prof. Dr. Etem KİŞİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Yüksek Mühendislik Tezi

DÜĞÜM NOKTALARINDAKİ KISMİ BAĞLILIĞIN KAFES VE PREFABRİK YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ

Murat Emre KARTAL

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Murat MUVAFIK

Ağustos 2004, 124 sayfa

Kafes sistemleri oluşturan elemanların düğüm noktalarına mafsallı olarak bağlandığı kabul edilmektedir. Günümüzde kafes elemanları düğüm noktalarına tam mafsallı olarak bağlamak mümkün değildir. Kafes elemanlar, birleşim noktalarına kaynak veya cıvata ile genellikle kısmi bağlıdır. Bu nedenle kafes sistemler tasarlanırken uygun bağlılık oranlarının belirlenmesi ve bu değerler dikkate alınarak çözüm yapılması gerekmektedir.

Kafes sistemlerin, mafsallı bağlı olarak yapılan çözümlerinde, kesit alanı hariç diğer kesit özellikleri farklı olan elemanlar kullanıldığında aynı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak, mafsallı birleşimlerin yapılamaması durumunda kullanılan kesitlerin atalet momenti değerleri de sonuçları etkileyecektir. Bu durumda çubuk uçlarında elde edilen farklı gerilme değerleri farklı birleşim hesaplarına neden olacaktır. Bu nedenle çubuk uçlarında farklı bağlılık oranlarının da dikkate alınması gerekmektedir.

ÖZET (devam ediyor)

Prefabrik yapılar, ayırık elemanların birleştirilmesinden oluşmaktadırlar. Bazı durumlarda bu elemanların düğüm noktalarına mafsalı olarak bağlı olduğu kabul edilmektedir. Ancak, bu elemanlar mafsalı bağlanamadıkları gibi rijit olarak da bağlanamazlar. Dolayısıyla prefabrik sistem elemanları da birleşim noktalarında kısmi bağlıdırlar. Bu nedenle bu sistemlerin tasarımında, çubuk uçları için uygun bağlılık oranları seçilmelidir.

Bu çalışmada, düğüm noktalarına farklı oranlarda bağlı olan çubuklardan oluşan kafes ve prefabrik sistemler incelenmiştir. Ayrıca, kafes sistemlerde farklı kesit özelliklerine sahip çubukların çözümleri nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak genel amaçlı bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programla kısmi bağlı sistemlerde meydana gelen yerdeğiştirmelerin, çubuk kuvvetlerinin ve gerilmelerin değişimi incelenebilmektedir.

Anahtar Sözcükler: Kafes sistemler, kısmi bağlı sistemler, prefabrik yapılar, sonlu elemanlar yöntemi.

Bilim kodu: 624.03.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE EFFECT OF PARTIAL FIXITY AT NODAL POINTS ON THE BEHAVIOUR OF THE TRUSS AND PREFABRICATED STRUCTURES

Murat Emre KARTAL

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Thesis Advisor: Assist. Prof. Murat MUVAFIK

August 2004, 124 pages

It is theoretically assumed that structural members constituting a truss system are pin connected at the nodal points. However truss system joints are rarely seen being formed as ideal pinned connections. Truss members that are connected to nodal points with weld and bolts are generally partially fixed. Therefore while designing a truss system it is important that fixity ratios of the connections should be considered in computations.

When analyzing a truss system having theoretically pinned connection, by using different section properties, (i.e. moment of inertia) except for section area, the results will not change. However, if the connections are not theoretically pinned, the moment of inertia of theoretically the sections will affect the results. Because of that reason, it is important that the partial fixity should be taken into account in computations.

ABSTRACT (continued)

Prefabricated structures are constituted by connecting separated members that are prepared before hand. In the analysis of this kind of structures, these members are assumed to be theoretically pin connected at the nodal points. However, these connections neither pinned nor rigid connection. They are partially connected. Consequently it is also important for the prefabricated structures that the partial fixities should be taken into account in designing such a system.

In this study, truss and prefabricated systems being composed of bars being partially fixed to nodal points with different ratios are investigated. Besides, how the bars having different section properties will affect the analysis is investigated. For this purpose a computer program has been developed using finite element method. It is possible to see how the displacements, end forces and stresses alter in partially fixed systems using this program.

Key Words: Finite element method, partially fixed systems, prefabricated structures, truss systems.

Science code: 624.03.01

TEŞEKKÜR

Bu çalıőmanın konusunu belirleyen ve çalışma boyunca yardım ve desteğini bir an olsun esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat MUVAFIK'a (ZKÜ) teőekkürlerimi bir borç bilirim.

Tez çalıőmam sırasında karőılaőtığım sorunları çözmemde bana yardımcı Sayın Prof. Dr. Durmuş GÜNAY (ZKÜ) ve Yrd. Doç. Dr. Halil ÖZER'e (ZKÜ) de teşekkür ederim.

Tez çalıőmam boyunca her türlü desteğini esirgemeyen ve bu günlere gelmemi sağlayan annem Rukiye KARTAL'a, babam Enver KARTAL'a ve kardeőim Nagihan KARTAL'a da ayrıca teşekkür ederim.

Murat Emre KARTAL

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| KABUL | ii |
| ÖZET | iii |
| ABSTRACT | v |
| TEŞEKKÜR | vii |
| İÇİNDEKİLER | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ | xii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ | xv |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ | xvi |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ | 1 |
| | |
| BÖLÜM 2 YAPI SİSTEMLERİ | 2 |
| | |
| 2.1 GİRİŞ | 2 |
| 2.2 YAPI ELEMANLARI | 2 |
| 2.2.1 Bir Boyutlu Elemanlar | 2 |
| 2.2.2 İki Boyutlu Elemanlar | 3 |
| 2.2.3 Üç Boyutlu Elemanlar | 3 |
| 2.3 DÜĞÜM NOKTALARI | 3 |
| 2.4 DOĞRU EKSENLİ DÜZLEM ÇUBUK SİSTEMLER | 5 |
| 2.4.1 Çerçeve Sistemler | 6 |
| 2.4.2 Kafes Sistemler | 6 |
| 2.4.3 Prefabrik Yapılar | 9 |
| 2.4.3.1 Kolonlu - Kirişli Sistemler | 10 |
| 2.4.3.2 Çerçeve Bölümlü Sistemler | 11 |
| Portal Çerçeveli Sistemler | 12 |
| H Çerçeveli Sistemler | 12 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Ters L ve T Çerçevesi Sistemler | 13 |
| Lambda Çerçevesi Sistemler..... | 13 |
| 2.4.3.3 Kolon - Döşemeli Sistemler | 14 |
| BÖLÜM 3 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPI SİSTEMLERİNİN | |
| ÇÖZÜMÜ | 15 |
| 3.1 GİRİŞ | 15 |
| 3.2 ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ | 15 |
| 3.3 YAPI ÇÖZÜMÜNDE TEMEL KAVRAMLAR | 16 |
| 3.4 DÜĞÜM NOKTASI SERBESTLİKLERİ VE ÇUBUK UÇ KUVVETLERİNDE POZİTİF YÖNLER..... | 17 |
| 3.5 RİJİTLİK KAVRAMI | 19 |
| 3.5.1 Elastik Bir Yayın Rijitlik Matrisi..... | 21 |
| 3.5.2 Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi..... | 24 |
| 3.5.2.1 Yerel ve Global Eksen Takımında Yerdeğiştirme ve Kuvvet Vektörleri .25 | |
| 3.5.2.2 Yerel Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi..... | 28 |
| 3.5.2.3 Global Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi..... | 29 |
| 3.5.3 Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi..... | 30 |
| 3.5.3.1 Yerel ve Global Eksen Takımında Yerdeğiştirme ve Kuvvet Vektörleri .30 | |
| 3.5.3.2 Yerel Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi..... | 34 |
| 3.5.3.3 Global Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi..... | 36 |
| 3.6 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE İŞLEM ADIMLARI..... | 36 |
| BÖLÜM 4 KISMİ BAĞLI SİSTEMLERDE RİJİTLİK KAVRAMI..... | 37 |
| 4.1 KISMİ BAĞLI ÇUBUKLAR..... | 37 |
| 4.1.1 Kısmi Bağlı Çubuklarda Kesit Tesirleri ve Gerilmeler..... | 38 |
| 4.1.2 Kısmi Bağlı Basınç Çubukları | 39 |
| 4.2 KISMİ BAĞLI ÇUBUKLARDA TEMEL RİJİTLİK TESİR SAYILARI..... | 40 |
| 4.2.1 Tam Bağlı Çubuklarda Rijitlik Tesir Sayıları | 42 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

Sayfa

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2 Yerel Eksen Takımında Kısmi Bağlı Çubuk İçin Eleman Rijitlik Matrisi | 44 |
| 4.2.3 Global Eksen Takımında Kısmi Bağlı Çubuk İçin Eleman Rijitlik Matrisi | 45 |
| BÖLÜM 5 SAYISAL UYGULAMALAR | 47 |
| 5.1 GİRİŞ | 47 |
| 5.2 KAFES SİSTEM UYGULAMALARI | 47 |
| 5.2.1 Eşit Açılı Gözlerden Oluşan Kafes Sistem | 47 |
| 5.2.1.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu | 48 |
| 5.2.1.2 Kullanılan Kesit Tipleri | 48 |
| 5.2.1.3 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları | 51 |
| 5.2.1.4 Yerdeğiştirmeler | 53 |
| 5.2.1.5 Gerilmeler | 54 |
| 5.2.2 Farklı Açılı Gözlerden Oluşan Kafes Sistem | 63 |
| 5.2.2.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu | 64 |
| 5.2.2.2 Kullanılan Kesit Tipleri | 64 |
| 5.2.2.3 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları | 65 |
| 5.2.2.4 Yerdeğiştirmeler | 66 |
| 5.2.2.5 Gerilmeler | 68 |
| 5.3 PREFABRİK YAPI UYGULAMALARI | 75 |
| 5.3.1 Sürekli Kolonlu Sistem | 75 |
| 5.3.1.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu | 75 |
| 5.3.1.2 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları | 76 |
| 5.3.1.3 Yerdeğiştirmeler | 76 |
| 5.3.1.4 Kesit Tesirleri | 77 |
| 5.3.2 Süreksiz Kolonlu Sistem | 85 |
| 5.3.2.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu | 85 |
| 5.3.2.2 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları | 86 |
| 5.3.2.3 Yerdeğiştirmeler | 86 |
| 5.3.2.4 Kesit Tesirleri | 88 |

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 98 |
| KAYNAKLAR..... | 101 |
| EK AÇIKLAMALAR A. PROGRAM LİSTESİ | 103 |
| EK AÇIKLAMALAR B. PROGRAM AKIŞ ŞEMASI..... | 113 |
| EK AÇIKLAMALAR C. EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE AYNI KESİTLİ ÇUBUKLARIN MAFSALLI BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT VERİ DOSYASI..... | 115 |
| EK AÇIKLAMALAR D. EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE AYNI KESİTLİ ÇUBUKLARIN TAM BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT VERİ DOSYASI. | 118 |
| EK AÇIKLAMALAR E. EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE FARKLI KESİTLİ ÇUBUKLARIN FARKLI YÜZDELERLE BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT VERİ DOSYASI..... | 121 |

ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 2.1 Rijit düğüm noktası | 4 |
| 2.2 Mafsallı düğüm noktası | 5 |
| 2.3 Köprü kafes çeşitleri | 7 |
| 2.4 Prefabrik yapı sistemleri | 10 |
| 2.5 Kolonlu - kirişli prefabrik yapı sistemleri | 11 |
| 2.6 Portal çerçevesel prefabrik yapı sistemi | 12 |
| 2.7 Ardışık H çerçevesel prefabrik yapı sistemi | 13 |
| 2.8 Ardışık T çerçevesel prefabrik yapı sistemi | 13 |
| 2.9 Lambda çerçevesel prefabrik yapı sistemi | 14 |
| 3.1 Çözüm yöntemleri | 16 |
| 3.2 Düzlem çubuk sistem modelleri | 17 |
| 3.3 Eksenel deformasyonları ihmal edilmiş kiriş eleman | 18 |
| 3.4 Çerçeve eleman | 18 |
| 3.5 Kafes eleman | 19 |
| 3.6 Basit bir elastik yay eleman ve idealleştirilmiş çubuk eleman | 19 |
| 3.7 Kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi | 20 |
| 3.8 Yay elemanın 1 ucuna kuvvet etkimesi durumu | 21 |
| 3.9 Yay elemanın 2 ucuna kuvvet etkimesi durumu | 22 |
| 3.10 Eksenel yüke maruz bir yayın rijitliği | 24 |
| 3.11 Düzlem kafes elemanda yerel ve global eksen takımında yerdeğiştirmeler | 25 |
| 3.12 Düzlem kafes elemanda yerel ve global eksen takımında kuvvetler | 26 |
| 3.13 İki ucu mafsallı bir eleman | 29 |
| 3.14 Düzlem çerçeve elemanda yerel ve global eksen takımında yerdeğiştirmeler | 31 |
| 3.15 Düzlem çerçeve elemanda yerel ve global eksen takımında kuvvetler | 32 |
| 3.16 Çerçeve elemanda birim deformasyonlar oluşturan kuvvetler | 34 |
| 4.1 Kısmi bağlı çubuk | 40 |
| 5.1 Eşkenar üçgen gözlerden oluşan kafes sistem modeli ve yükleme durumu | 48 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 5.2 Kullanılan kesit tipleri | 48 |
| 5.3 Şekillerde kullanılan verilerin şematik gösterimi | 53 |
| 5.4 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde düşey yerdeğiştirmelerin değişimi | 54 |
| 5.5 Mafsallı bağlı durumda oluşan kesit tesirleri ve normal gerilmeler | 55 |
| 5.6 Tam bağlı durumda oluşan kesit tesirleri ve normal gerilmeler | 56 |
| 5.7 “1” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 57 |
| 5.8 “2” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 57 |
| 5.9 “3” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 58 |
| 5.10 “4” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 58 |
| 5.11 “5” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 59 |
| 5.12 “6” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 59 |
| 5.13 Farklı açılı gözlerden oluşan sistem modeli ve yükleme durumu | 64 |
| 5.14 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde düşey yerdeğiştirmelerin değişimi | 67 |
| 5.15 “1” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 68 |
| 5.16 “2” numaralı çubukta oluşan maksimum ve minimum gerilmeler | 69 |
| 5.17 “3” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 69 |
| 5.18. “4” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 70 |
| 5.19 “5” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler | 70 |
| 5.20 “6” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 71 |
| 5.21 “7” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler | 71 |
| 5.22 Sürekli kolonlu sistem modeli ve yükleme durumu | 75 |
| 5.23 Sürekli kolonlu sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler | 76 |
| 5.24 “1,2” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 77 |
| 5.25 “1,2” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 78 |
| 5.26 “1,2” numaralı kolonlarda momentin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 78 |
| 5.27 “3,7” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 79 |
| 5.28 “3,7” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 79 |
| 5.29 “3,7” numaralı kirişlerde momentin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 80 |
| 5.30 “4,8” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 80 |
| 5.31 “4,8” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 81 |
| 5.32 “4,8” numaralı kirişlerde momentin bağlılık yüzdeleriyle değişimi | 81 |

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.33 “5,6” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 82 |
| 5.34 “5,6” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 82 |
| 5.35 “9,10” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 83 |
| 5.36 “9,10” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 83 |
| 5.37 “9,10” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 84 |
| 5.38 Süreksiz kolonlu sistem modeli ve yükleme durumu..... | 85 |
| 5.39 Süreksiz kolonlu sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler | 86 |
| 5.40 “1,2” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 88 |
| 5.41 “1,2” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 89 |
| 5.42 “1,2” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 89 |
| 5.43 “3,7” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 90 |
| 5.44 “3,7” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 90 |
| 5.45 “3,7” numaralı kirişlerde momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 91 |
| 5.46 “4,8” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 91 |
| 5.47 “4,8” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 92 |
| 5.48 “4,8” numaralı kirişlerde momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 92 |
| 5.49 “5,6” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 93 |
| 5.50 “5,6” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 93 |
| 5.51 “9,10” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 94 |
| 5.52 “9,10” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 94 |
| 5.53 “9,10” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi | 95 |
| B.1 Akış şeması | 114 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u> | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| 5.1 Kullanılan kesitlerin alan ve atalet momentleri | 50 |
| 5.2 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde kullanılan farklı kesitli çubuklar | 51 |
| 5.3 Aynı kesitli çubuklardan oluşan sistemde kullanılan bağıllık yüzdeleri | 51 |
| 5.4 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda kullanılan bağıllık yüzdeleri..... | 52 |
| 5.5 Yerdeğiştirmelerde dikkate alınan bağıllık oranları. | 53 |
| 5.6 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde aynı profil kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması..... | 62 |
| 5.7 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde tam bağıllı durumda aynı profil ve dairesel kesitli çubuklarda oluşan elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması | 62 |
| 5.8 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması | 63 |
| 5.9 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde kullanılan farklı kesitli çubuklar. | 64 |
| 5.10 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda kullanılan bağıllık yüzdeleri | 65 |
| 5.11 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde aynı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması..... | 73 |
| 5.12 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde tam bağıllı durumda aynı profil ve dairesel kesitli çubuklarda oluşan gerilmelerin karşılaştırılması | 73 |
| 5.13 Farklı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmeler | 74 |
| 5.14 Kiriş uçlarında tanımlanan bağıllık yüzdeleri | 76 |
| 5.15 Süreksiz kolonlu sistemde tanımlanan bağıllık yüzdeleri | 86 |
| 5.16 Seçilen iki prefabrik sistemin yatay yerdeğiştirme oranları | 87 |
| A.1 Program listesi | 105 |
| C.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde mafsallı bağıllı duruma ait veri dosyası..... | 116 |
| D.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde rijit bağıllı duruma ait veri dosyası..... | 119 |
| E.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı yüzdelerle bağıllı duruma ait veri dosyası. 122 | |

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

| | | |
|----------------------------------|---|--|
| A | : | Kesit alanı |
| $A_i, A_j, B, C_i, C_j, D, E$ | : | Rijitlik tesir sayıları |
| E | : | Elastisite modülü |
| f | : | Fleksibilite sabiti |
| F | : | Kuvvet |
| $f_{ix}, f_{iy}, f_{jx}, f_{jy}$ | : | Yerel eksen takımında çubuk uç kuvvetleri |
| $F_{ix}, F_{iy}, F_{jx}, F_{jy}$ | : | Global eksen takımında çubuk uç kuvvetleri |
| $\{f\}$ | : | Yerel eksen takımında eleman kuvvet vektörü |
| $\{F\}$ | : | Global eksen takımında eleman kuvvet vektörü |
| $\{f\}_{ank}$ | : | Ankastrelilik momentleri kuvvet vektörü |
| $\{f\}_c$ | : | Çubuk uç kuvvet vektörü |
| $\{F\}^s$ | : | Sistem kuvvet vektörü |
| $\{F\}^*$ | : | İndirgenmiş sistem kuvvet vektörü |
| I | : | Atalet momenti |
| i | : | Atalet yarıçapı |
| k | : | Rijitlik (direngenlik) sabiti |
| $[k]$ | : | Yerel eksen takımında eleman rijitlik matrisi |
| $[K]$ | : | Global eksen takımında eleman rijitlik matrisi |
| $[K]^s$ | : | Sistem rijitlik matrisi |
| $[K]^*$ | : | İndirgenmiş sistem rijitlik matrisi |
| L | : | Eleman uzunluğu |
| M_i, M_j, M_{ij}, M_{ji} | : | Kısmi bağlı çubuklarda çubuk uç momentleri |
| M_{iz}, M_{jz} | : | Çubuk uç momentleri |
| N | : | Eksenel (normal) kuvvet |
| $\{P\}$ | : | Düğüm noktası kuvvet vektörü |

SİMGELER (devam ediyor)

| | |
|----------------------------------|--|
| r_i, r_j, r_{ij}, r_{ji} | : Düzeltme faktörleri |
| s | : Burkulmaya çalışan çubuğun gerçek boyu |
| s_k | : Çubuğun burkulma boyu |
| $[T]$ | : Dönüşüm (Transformasyon) matrisi |
| $[T]^T$ | : Dönüşüm matrisinin transpozesi |
| $u_{ix}, u_{iy}, u_{jx}, u_{jy}$ | : Yerel eksen takımında çubuk uç yerdeğiştirmeleri |
| $U_{ix}, U_{iy}, U_{jx}, U_{jy}$ | : Global eksen takımında çubuk uç yerdeğiştirmeleri |
| $\{u\}$ | : Yerel eksen takımında eleman yerdeğiştirme vektörü |
| $\{U\}$ | : Global eksen takımında eleman yerdeğiştirme vektörü |
| $\{U\}^s$ | : Sistem yerdeğiştirme vektörü |
| $\{U\}^*$ | : İndirgenmiş sistem yerdeğiştirme vektörü |
| y | : Tarafsız eksenden uzaklık |
| α | : Yatay eksenle saatin dönüşünün tersi yönünde yapılan açı |
| ϵ | : Şekil değiştirme |
| γ_i, γ_j | : Kısmi dönmeyi ifade eden mukavemet parametreleri |
| λ | : Narinlik |
| v_i, v_j | : Çubuk uçlarındaki kısmi bağlılık yüzdeleri |
| θ_{iz}, θ_{jz} | : Çubuk uç dönmeleri |
| σ | : Gerilme |
| σ_{em} | : Emniyet gerilmesi |

KISALTMALAR

| | |
|------|-------------------------------|
| c | : $\cos\alpha$ |
| s | : $\sin\alpha$ |
| Sim. | : Simetri |
| TSE | : Türk Standartları Enstitüsü |

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yapı sistemleri tasarlanırken bazı kabuller yapılmaktadır. Kafes sistemlerde elemanların düğüm noktalarına mafsallı bağlı olduğu kabul edilmektedir. Prefabrik yapılarda ise bazı durumlarda ayırık elemanların düğüm noktalarına mafsallı olarak bağlandıkları kabul edilmektedir.

Kafes sistemler düğüm noktalarından mafsallı olarak çözüldüklerinde kafes elemanlarda yalnızca aksenal kuvvetler oluşmaktadır. Bunun sonucunda eleman üzerinde düzgün bir gerilme dağılımı oluşmaktadır. Bu nedenle kafes elemanlar boyutlandırılırken ve düğüm noktalarına birleşim hesapları yapılırken yalnızca aksenal kuvvetler dikkate alınmaktadır. Günümüzde yapılan uygulamalarda ise bir çubuk elemanı birleşim noktasına mafsallı olarak bağlamak mümkün değildir. Dolayısıyla kafes elemanlar düğüm noktalarına rijit ya da kısmi bağlıdır. Birleşimlerin bu şekilde teşkil edilmesi ise kesit tesirlerinde farklılıklara neden olacaktır. Rijit ve kısmi bağlı elemanlar moment taşımaktadırlar. Bu elemanların moment taşıması da çubukta oluşan gerilmelerin değişmesine neden olacaktır.

Prefabrik sistem elemanları fabrikalarda çeşitli tiplerde üretilip şantiyelerde birleştirilmektedir. Çeşitli tekniklerle birleştirilen bu elemanlar, birleşim noktalarında rijit olarak bağlanamadıkları gibi mafsallı olarak da bağlanamazlar. Bu nedenle prefabrik yapı elemanları birleşim noktalarında kısmi bağlıdır.

Bu çalışmada kafes sistemleri oluşturan elemanların kesit tiplerinin ve düğüm noktalarına bağlılık oranlarının değişmesi durumlarında çubuklarda meydana gelen gerilmelerin ve düğüm noktalarında meydana gelen yerdeğiştirmelerin nasıl değiştiği incelenecektir. Ayrıca prefabrik yapı sistemlerinde de bağlılık oranlarının değişmesiyle çubuk elemanlarda meydana gelen kesit tesirleri ve düğüm noktalarında meydana gelen yerdeğiştirmelerin nasıl değiştiği incelenecektir.

BÖLÜM 2

YAPI SİSTEMLERİ

2.1 GİRİŞ

Yapı sistemleri modellenirken yapıların elemanlardan oluştuğu ve bu elemanların düğüm noktaları adı verilen birleşim noktalarında bağlandıkları kabul edilmektedir.

2.2 YAPI ELEMANLARI

Yapı sistemlerinin üç tip elemanın birleşiminden oluştuğu kabul edilmektedir. Bu elemanlar aşağıdaki gibi gösterilebilir.

- a. Bir boyutlu (tek eksenli) elemanlar
- b. İki boyutlu elemanlar
- c. Üç boyutlu elemanlar

2.2.1 Bir Boyutlu Elemanlar

Bu elemanların bir boyutu diğer iki boyutuna göre daha büyüktür. Bunlara çubuk elemanlar da denilmektedir. Tüm elemanlar gerçekte üç boyutludur. Ancak, üç boyutlu elemanlardan oluşan sistemlerin çözümü zordur. En basit bir boyutlu eleman yaydır. Bazı elemanlar yukarıdaki şartın sağlanması durumunda bir boyutlu elemanlara indirgenebilirler. Çözümü daha basit olan çubuk elemanlar yapı sisteminin çözümünü de kolaylaştırmaktadırlar.

Çubuk elemanlar, doğrusal eksenli olabildiği gibi eğrisel eksenli de olabilirler. Doğru eksenli elemanlara; kafes sistem elemanları (çekme ve basınç çubukları), çerçeve elemanlar (eğilmeye çalışan elemanlar) ve bunların birleşiminden oluşan elemanlar örnek

olarak verilebilir. Eğri eksenli elemanlara örnek olarak kemerler gösterilebilir. Bu çalışmada doğru eksenli yapı elemanları incelenecektir.

2.2.2 İki Boyutlu Elemanlar

İki boyutu üçüncü boyutuna göre daha büyük olan elemanlara iki boyutlu elemanlar denilmektedir.

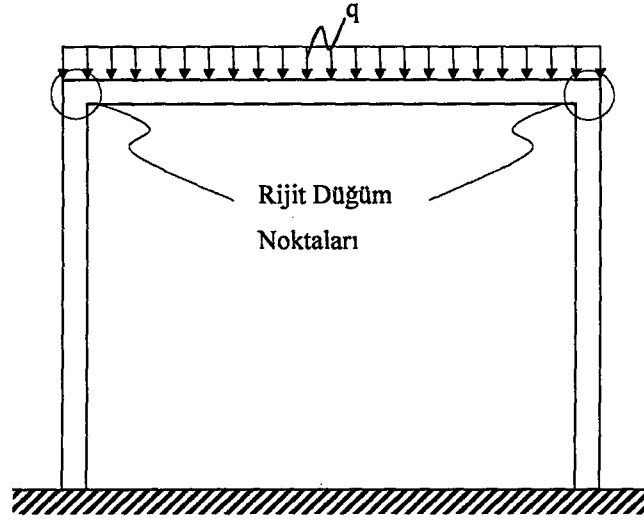
Plaklar, levhalar ve kabuklar iki boyutlu yapı elemanlarına örnek verilebilir. Plaklar yüzeylerine dik doğrultuda yük taşırlar. Bina kat döşemeleri ve köprü tabliyeleri plaklara örnek verilebilir. Levhalar düzlemleri boyunca yük taşırlar. Betonarme perde duvarlar bu elemanlara örnek olarak verilebilir. Kabukların eleman yüzeyleri eğridir. Düzlemleri boyunca ve düzlemlerine dik doğrultuda yük taşıyabilirler.

2.2.3 Üç Boyutlu Elemanlar

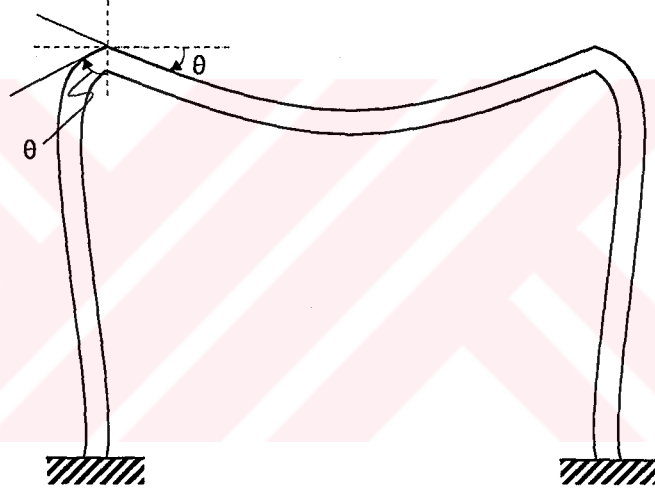
Her üç doğrultudaki boyutu birbirilerine göre ihmal edilemeyecek kadar büyük olan elemanlardır. Zemin, kaya temeller ve barajlar bu guruba örnek olarak verilebilir.

2.3 DÜĞÜM NOKTALARI

Yapı elemanlarının birbirleri ile birleştiği yerlere düğüm noktası denilmektedir. Çubuk sistemlerde, düğüm noktasına birleşen çubuk uçları düğüm noktası ile aynı miktarda dönüyorsa bu tür düğüm noktasına rijit düğüm noktası denilmektedir (Şekil 2.1). Rijit düğüm noktaları moment taşımaktadırlar. Mafsallı düğüm noktaları, moment taşımamakla birlikte, düğüm noktasına mafsallı bağlı çubuk uçlarının dönmeleri düğüm noktasından bağımsızdır (Şekil 2.2).

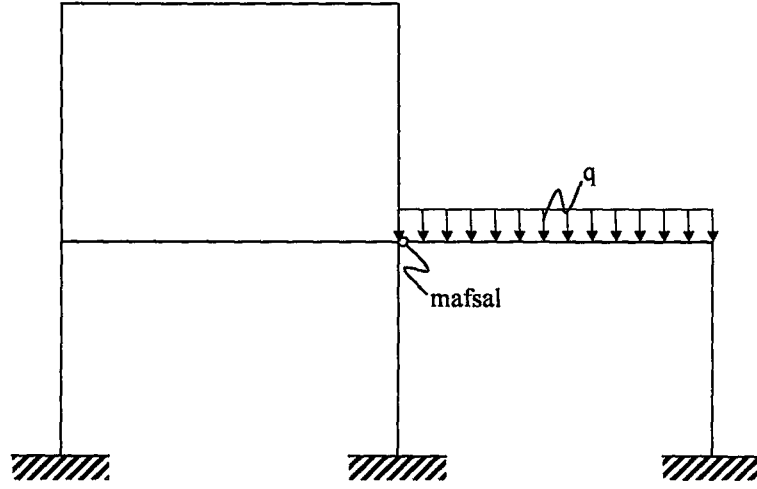


a. Rijit düğüm noktaları.

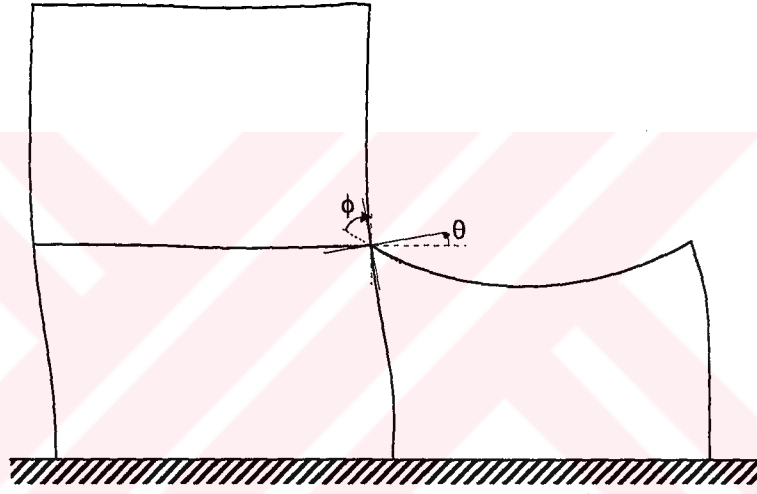


b. Rijit düğüm noktasında dönme.

Şekil 2.1 Rijit düğüm noktası.



a. Mafsallı düğüm noktası.



b. Mafsallı düğüm noktasında dönme.

Şekil 2.2 Mafsallı düğüm noktası.

İki katlı çerçeveye mafsallı bağlanmış bir tek katlı çerçeve Şekil 2.2’de verilmiştir. Burada düğüm noktasına birleşen diğer üç çubuk düğüm noktası ile aynı miktarda dönme yaparken mafsallı uçta ise düğüm noktasından tamamen bağımsız bir dönme meydana gelmektedir.

2.4 DOĞRU EKSENLİ DÜZLEM ÇUBUK SİSTEMLER

Bu çalışmada bir boyutlu ve doğru eksenli elemanlardan oluşan yapı sistemleri incelenmektedir.

2.4.1 Çerçeve Sistemler

Çerçeve sistemler en yaygın olarak kullanılan yapı sistemleridir. Çerçeve sistemleri oluşturan çubuk elemanlar üzerlerine etkiyen çeşitli yükler sonucu eksenel deformasyonlara ve eğilmeye maruz kalırlar. Bu zorlanmalar sonucunda çubuklarda normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti kesit tesirleri oluşmaktadır.

Bir yapı sisteminde çerçeve sistemler iki doğrultuda da teşkil edilmelidir. Bu şekilde teşkil edilen çerçevelere üç boyutlu (uzay) çerçeve sistemler denilmektedir. Eğer çerçeveler birbirinden bağımsız olarak farklı düzlemlerde teşkil edilirlse bunlara düzlem çerçeve adı verilmektedir [1].

2.4.2 Kafes Sistemler

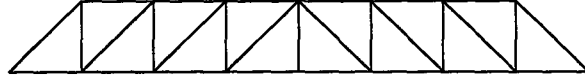
Büyük açıklıklı sistemlerde, açıklığın büyümesiyle kesme kuvveti ve eğilme momentinin de büyümesi nedeniyle bu açıklıkların dolu gövdeli olarak geçilmesi için büyük kesitli elemanlar kullanmak gerekmektedir. Bilindiği gibi açıklık ile doğru orantılı olarak taşıyıcı olan elemanların ağırlıkları da artmaktadır. Bunun sonucunda bu elemanlara etkiyen yükler de artmaktadır. Geçilen açıklığa bağlı olarak kesit büyüklükleri arttıkça hem yapı ağırlığında büyük bir artış olmakta; hem de bu elemanlar ölü yüklerini taşıyamaz hale gelmektedirler. Bu durumda en önemli sorun taşıyıcı elemanların kendi ağırlıklarını azaltarak aynı açıklıkların geçilebilmesidir. Böylece taşıyıcı elemanlar üzerlerine etkiyecek dış yükleri de taşıyabileceklerdir. Çubuğun rijitliğine ve mukavemetine çok fazla etkisi olmayan dolu gövdenin orta kısımları boşaltılarak dolu gövdeli I kirişleri elde edilir. I profilleri kafes sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [1]. Öte yandan kullanım amacına göre \perp , \lrcorner , \llcorner ve \lrcorner kesit tipleri de kafes yapılarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

İdeal kafes sistemler uçları moment taşımayan mafsallı birleşimlerden oluşan taşıyıcı sistemlerdir. Dolu gövdeli sistemlere nazaran daha hafif ve daha ekonomiktir. Kafes sistemler genellikle çelik ya da ahşap malzemelerden teşkil edilirler. Bu işlem sırasında dikkat edilmesi gereken husus çubukların üçgen gözler oluşturacak şekilde düzenlenmesidir. Eğer dörtgen ya da daha fazla kenarı olan çokgen gözlerden oluşturulursa sistem kayma kuvvetlerini karşılayamaz. Dolayısıyla oluşturulan sistem oynak bir sistem olur. Halbuki üçgen gözlerden oluşan sistemler stabildir ve bu tür problemlere yol

açmazlar. Kafes sistemler daha önce de belirtildiği gibi büyük açıklıkların geçilmesi gereken durumlarda idealdir. Bu sistemler köprülerde özellikle demiryolu köprülerinde, çatılarda, enerji nakil hatlarında, mikro dalga antenlerinde kullanılmaktadırlar (Şekil 2.3) [1, 2].



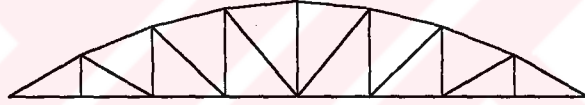
a. Pratt Kafes.



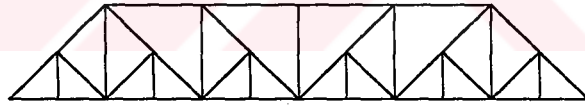
b. Howe Kafes.



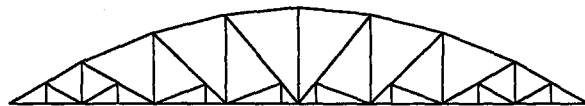
c. Warren Kafes.



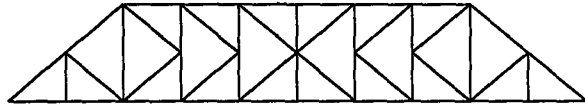
d. Parker Kafes.



e. Baltimore Kafes.

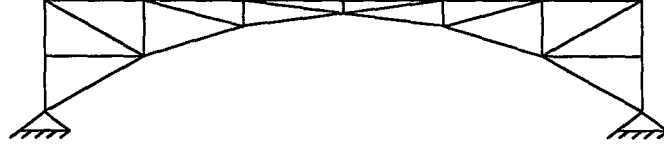


f. Pettit Kafes.



g. K Kafes.

Şekil 2.3 Köprü kafes çeşitleri [2].



h. Kemer Kafes.

Şekil 2.3 (devam ediyor).

Mafsallarla birbirine bağlı olan çubuk elemanlar yalnızca aksenal kuvvet taşımaktadırlar. Ancak, uygulamada bu şekilde bağlantı yapmak mümkün değildir. Kafes sistem elemanlarının uçları mafsallı gibi davranması için tasarım aşamasında bazı kurallara dikkat edilmelidir. Kafes sistemleri oluşturan çubuklar arasındaki açının mümkün olduğunca 60° 'ye yakın olması ve çubuk kesitlerinin kare veya dairesel olması gerekmektedir. Uygulamada farklı açılarla kafes sistemler teşkil edilmekte bazen açı değeri 20° 'ye kadar da düşmektedir. Bu durum genellikle kullanım amacına bağlı olarak hafif yük taşıyan çatılarda uygulanmaktadır. Eğer çubuklar eşkenar üçgen şeklinde bir geometri oluşturacak biçimde teşkil edilemiyorsa üçgen gözlerin iç açılarının $30^\circ \sim 60^\circ$ arasında kalacak şekilde bir düzenlemeye gidilmelidir. Dairesel kesitler özellikle uzay kafes sistemlerde olmak üzere çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kafes sistemlerde dar ve uzun kesitli profiller kullanıldığında tam mafsallı bağlı olmayan çubukların moment taşıma kapasitelerinin artmasının da etkisi ile elde edilecek sonuçlar mafsallı bağlı çözümden elde edilen sonuçlardan farklı olacaktır. Ayrıca köprü kafes sistemlerde dikme çubukların diğer çubuklarla yapacağı açı 30° 'den küçük olmamalıdır [1, 2].

Kafes sistemlerin düğüm noktaları mafsallı olarak çözümlü yüklerin düğüm noktasına etkimesini gerektirmektedir. Ancak, çubuğun kendi ağırlığı ihmal edilse bile dış yüklerin yalnızca birleşim noktalarına etkimesini sağlamak her zaman mümkün değildir. Kafes aşıklarda ve kafes kren kirişlerde de karşılaşıldığı gibi yükler doğrudan çubuk elemanların üzerine de etkiyebilir. Ayrıca yatay izdüşümlerinin boyu 6 m yi geçen çubukların kendi ağırlıklarının da dikkate alınması gerekmektedir. Her iki durum da çubukta eğilme momenti oluşturmaktadır. Bu durumlarda çubuğu moment taşımayan ideal kafes sistem gibi çözmek doğru bir yaklaşım değildir. Çubuk uçlarında ve açıklıklarında oluşan momentlerin etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir [1].

Burada belirtilen şartlar göz önüne alındığında, yapı sistemi dairesel veya kare kesitli elemanlardan oluşuyorsa, geometrik olarak eşkenar üçgen gözlerden oluşuyorsa, çubuk uzunlukları ağırlıklarının ihmal edilmesine engel teşkil edilmeyecek kadar uzun değilse ve dış yükler mümkün olduğunca birleşim noktalarına etkiyorsa mevcut sistemin kafes sistem olarak çözülmesi mümkündür [1].

2.4.3 Prefabrik Yapılar

Prefabrikasyon, yapıların elemanlara ayrılarak tesislerde üretilmesi ve şantiyede birleştirilmesi teknikleri için kullanılmaktadır [3].

Yapı elemanlarının şantiyede birleştirilmek üzere, önceden parçalar halinde fabrikalarda üretilmesine prefabrikasyon üretim tekniği denilmektedir [3].

Prefabrikasyon üretim tekniği günümüzde bir çok yapı türünde uygulanmaktadır. Örneğin konut, fabrika, köprü, dalgakıran gibi yapılarda prefabrikasyon üretim tekniği ile üretilmiş elemanlar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu yapıların üretiminde üç önemli aşama vardır [3].

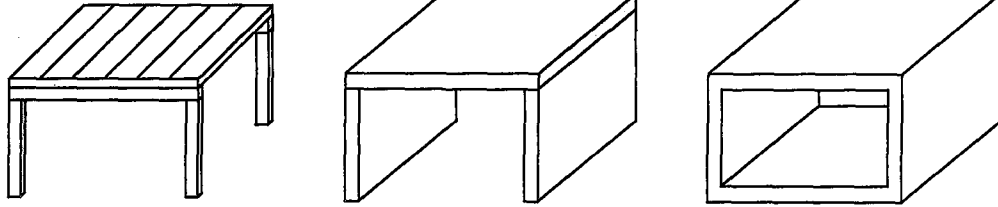
- a. Taşıyıcı iskeletin yapımı (kaba inşaat)
- b. Taşıyıcının giydirilmesi (ince inşaat)
- c. Tesisatların yerleştirilmesi (elektrik, mekanik vb. tesisatlar)

Prefabrik yapı inşaatlarında en önemli hususlardan birisi ayrık yapı elemanlarının birleştirilmesidir. Eğer yapı elemanları yeterince iyi birleştirilmezse yapı davranışında bütünlük sağlanamaz. Bu nedenle özellikle sistemin yatay yüklere karşı dayanıklılığının mutlaka incelenmesi gerekmektedir. Prefabrik yapılarda kullanılan birleştirme teknikleri aşağıda verilmiştir [3, 4].

- a. Bekleyen donatı (filiz) ile birleştirme
- b. Bulonlarla birleştirme
- c. Ön germe ile birleştirme
- d. Ard germe ile birleştirme

Prefabrik yapı sistemleri üç guruba ayrılabilir (Şekil 2.4).

- a. Çubuksu sistemler
- b. Düzlemsel sistemler
- c. Uzaysal sistemler



a. Çubuksu Sistemler.

b. Düzlemsel Sistemler.

c. Uzaysal Sistemler.

Şekil 2.4 Prefabrik yapı sistemleri [5].

Çubuksu sistemleri de kendi aralarında 3'e ayırmak mümkündür.

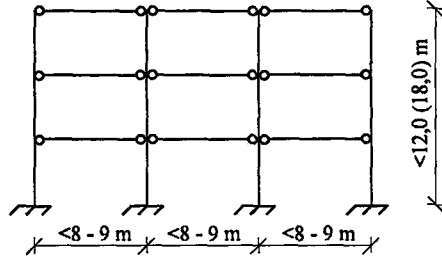
- a. Kolonlu - kirişli sistemler
- b. Çerçeve bölümlü sistemler
- c. Kolon - döşemeli sistemler

2.4.3.1 Kolonlu - Kirişli Sistemler

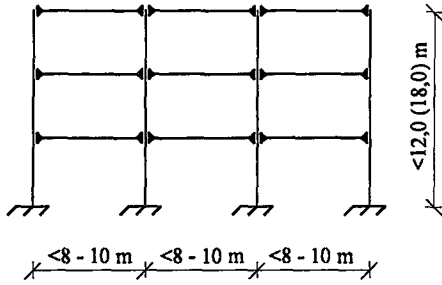
Kolonlu - kirişli sistemlerin üretilmesi, taşınması ve kaldırılması kolay olduğu için bu sistemler geliştirilmişlerdir. Bu nedenle bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Tasarım açısından bu sistemler iki gruba ayrılabilirler (Şekil 2.5) [5].

- a. Sürekli kolonlu sistemler
 1. Mafsallı bağlantılı sistem
 2. Yarı rijit bağlantılı sistem
- b. Süreksiz kolonlu sistemler
 1. Mafsallı bağlantılı sistem
 2. Yarı rijit bağlantılı sistem

a. Sürekli Kolonlu Sistemler.

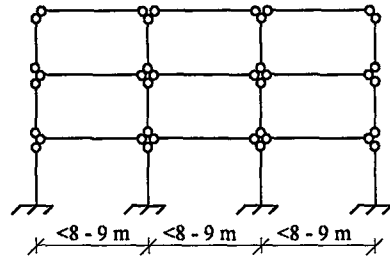


1. Mafsallı Bağlantılı.

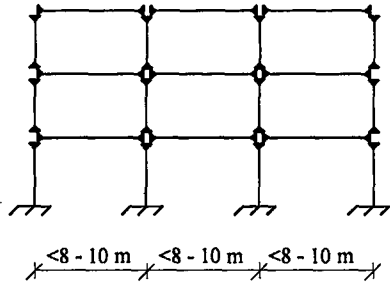


2. Yarı Rijit Bağlantılı.

b. Süreksiz Kolonlu Sistemler.



1. Mafsallı Bağlantılı.



2. Yarı Rijit Bağlantılı.

Şekil 2.5 Kolonlu - kirişli prefabrik yapı sistemleri [5].

Süreksiz kolonlu sistemlerde çubukların mafsallı bağlı kabul edildiği durumlarda dörtgen şeklinde kapalı gözler oluşmaktadır. Bu durumda yapı oynak bir sisteme dönüşür ve üzerine etkiyen yüklere karşı koyamaz. Halbuki elemanların rijit veya kısmi bağlı olması durumunda yüklere karşı belirli bir dayanım vardır.

Bu çalışmada sürekli kolonlu ve süreksiz kolonlu sistemler elemanların bağlılık durumları dikkate alınarak incelenmiştir.

2.4.3.2 Çerçeve Bölümlü Sistemler

Çerçeve bölümlü sistemlerde kolon - kiriş bağlantısı ön yapımlı ve kesintisiz olarak üretilir. Bu durum aşağıdaki faydaları da beraberinde getirmektedir [5].

- Kirişlerde süreklilik sağlanmakta,
- Kolon - kiriş veya kolon - kolon bağlantıları az kuvvet gelen yerlerde yer almakta,
- Çabuk yapılabilen mafsallı bağlantılar ve sayıları azalan montaj destekleri nedeniyle, montaj süreleri kısalmakta,
- Dengeli kuvvet ve moment dağılımı sağlanmakta,

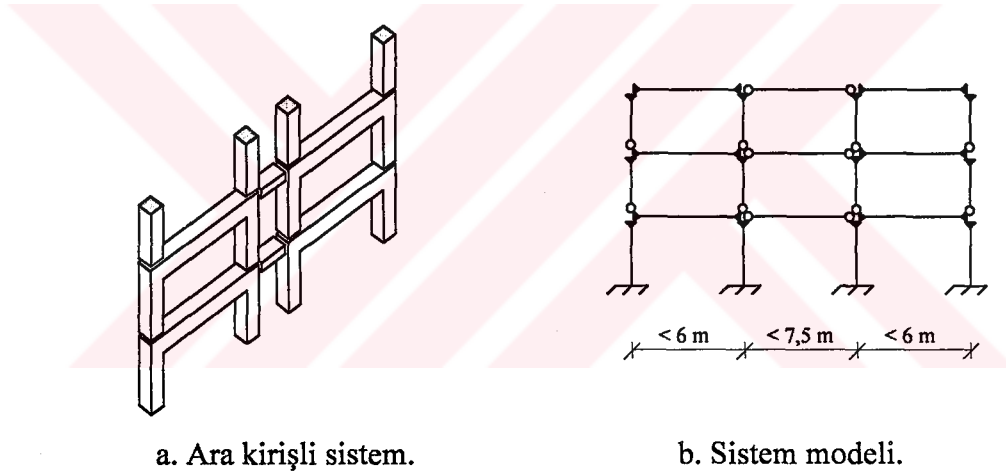
e. Yanal stabilite kolonlu - kirişli sistemlere göre daha kolay sağlanabilmektedir.

Bu tip sistemler çerçeve bölümlerinin geometrik özelliklerine göre 4 gruba ayrılabilirler [5].

- a. Portal çerçevesi sistemler
- b. H çerçevesi sistemler
- c. Ters L ve T çerçevesi sistemler
- d. Lambda çerçevesi sistemler

Portal Çerçevesi Sistemler”

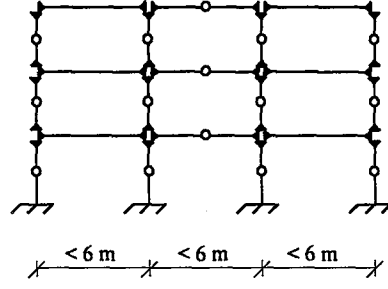
Bu tip çerçeveler bir doğrultudaki yanar stabiliteyi sağlamakta ve montaj sırasında az destek gerektirmeleri nedeniyle yapıma büyük hız kazandırmaktadır (Şekil 2.6) [5].



Şekil 2.6 Portal çerçevesi prefabrik yapı sistemi [5].

H Çerçevesi Sistemler”

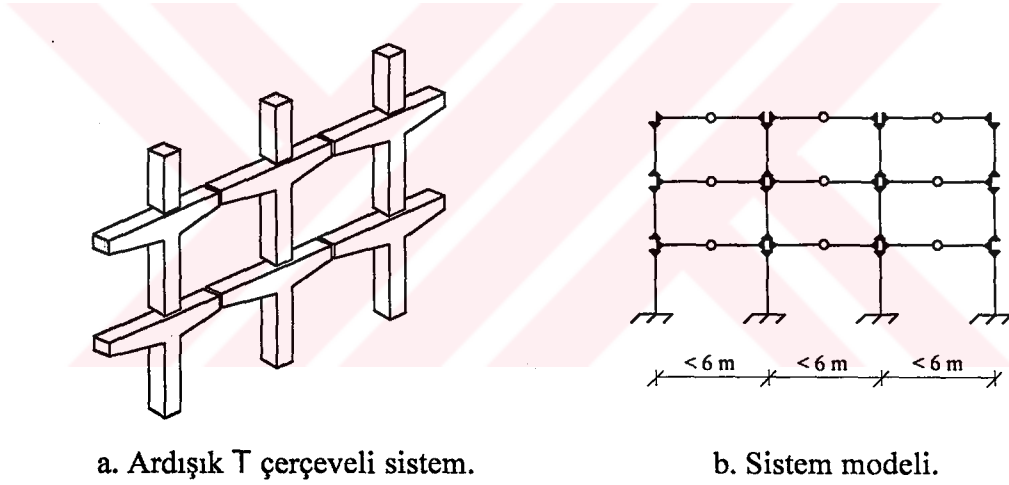
H çerçevesi sistemlerin özellikleri Portal çerçeve sistemlerin özelliklerine benzer. Bu sistemlerde kolon - kolon birleşiminin yatay kuvvetler bakımından daha uygun bölgede düzenlenmiş olması statik ve konstrüktif açıdan önemli avantaj sağlamakla birlikte bu birleşimlerin görünen yerde bulunması hassas bir üretim ve montajı gerektirmektedir. H çerçevesi sistemler “Ara kirişli” ve Şekil 2.7’de verildiği gibi “Ardışık” olarak düzenlenebilir [5].



Şekil 2.7 Ardışık H çerçevesi prefabrik yapı sistemi [5].

Ters L ve T Çerçevesi Sistemler”

Ters L ve T şeklinde üretilen bu elemanların üretimi, taşınması ve kaldırılması daha önce bahsedilen çerçeve bölümlerinde ki kadar zahmetli değildir [5]. Ardışık T çerçevesi bir prefabrik yapı sistemi Şekil 2.8’de verilmiştir.



a. Ardışık T çerçevesi sistem.

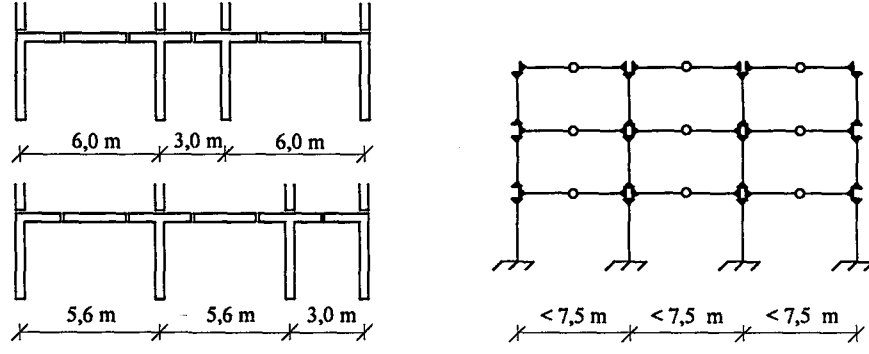
b. Sistem modeli.

Şekil 2.8 Ardışık T çerçevesi prefabrik yapı sistemi [5].

Lambda Çerçevesi Sistemler”

Lambda çerçevesi sistemler Ters L ve T tipi çerçeve sistemlere benzerler. Ancak, bu sistemlerde kolonların konsol uçları 1,8 m yi aşmazlar (Şekil 2.9) [5].

Lambda çerçevesi sistemler diğer çerçeve bölümlü sistemlerle karşılaştırıldığında büyük açıklıkları geçmek için daha idealdir [5].



a. Konsol kollu kolonlarda yapılan çeşitli düzenlemeler.

b. Sistem modeli.

Şekil 2.9 Lambda çerçevesi prefabrik yapı sistemi [5].

2.4.3.3 Kolon - Döşemeli Sistemler

Kolon - döşemeli sistemlerin döşemeli yapılarından dolayı üç boyutlu olarak çözülmesi daha uygun bir yaklaşımdır.

BÖLÜM 3

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE YAPI SİSTEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ

3.1 GİRİŞ

Mühendislik mekaniğinde karşılaşılan tüm fiziksel olaylar diferansiyel denklemlerle modellenmektedirler. Ancak, bu modeller klasik çözüm yöntemleriyle çözülemeyecek kadar karmaşıktır. Sonlu elemanlar yöntemi, genel diferansiyel denklemlerin çözülebildiği yaklaşık bir sayısal yöntemdir [6].

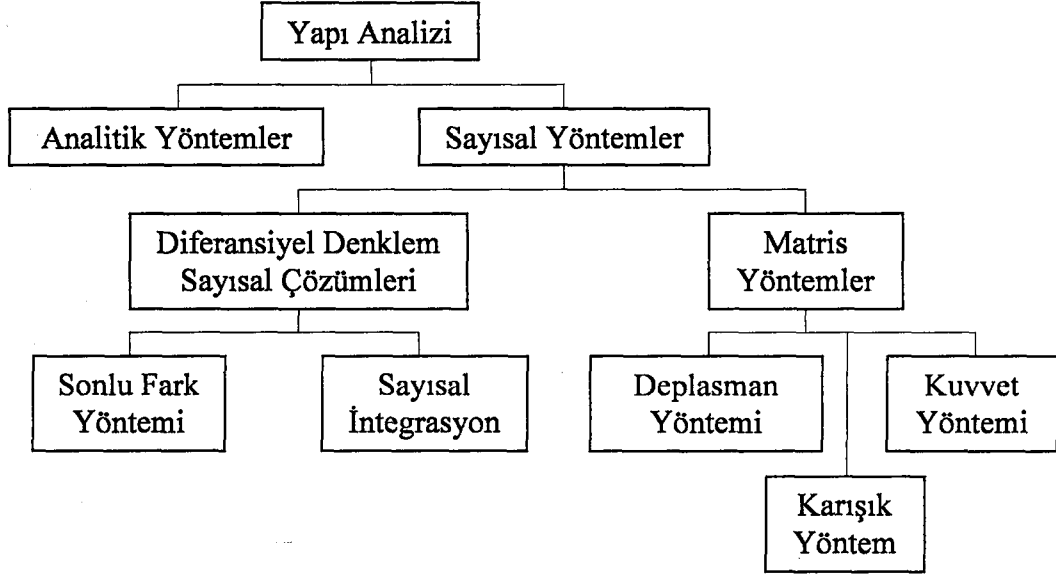
Diferansiyel denklem çözümlerinde, incelenen problemin tanımlandığı belli bir bölgede geçerli olduğu kabul edilir. Bu bölge bir, iki veya üç boyutlu olabilir. Sonlu elemanlar yönteminde tüm bölge üzerinde geçerli olan yaklaşımlar yerine, bölgenin sonlu eleman adı verilen küçük parçalardan oluştuğu kabul edilir ve yaklaşım bu elemanlar üzerinde gerçekleştirilir [6].

Yapı sistemlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile çözümünün iki büyük avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlar aşağıda verilmiştir.

- a. Bilgisayar teknolojisine uygundur
- b. Yapının şeklinden bağımsızdır

3.2 ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Yapı sistemlerinin çözümünde kullanılan yöntemler genel olarak Şekil 3.1'deki gibi gösterilebilir.

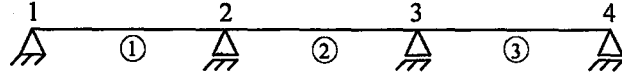


Şekil 3.1 Çözüm yöntemleri [7].

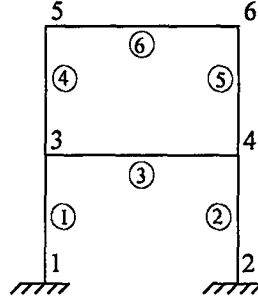
Bu çalışmada yapı sistemleri, deplasman yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Bu yöntemde bilinmeyenler yerdeğiştirmelerdir. Bu yüzden düğüm noktalarında yerdeğiştirme dengesinin sağlanması gerekmektedir. Fleksibilite yönteminde ise bilinmeyenler kuvvetlerdir [7].

3.3 YAPI ÇÖZÜMÜNDE TEMEL KAVRAMLAR

Yapı analizinin amacı iç ve dış etkilerden dolayı oluşan kesit tesirlerini bulmaktır. Yapı sistemleri sonlu elemanlar yöntemi dikkate alınarak tasarlanırken, yapının elemanlardan ve bu elemanların birleştiği yerler olan düğüm noktalarından oluştuğu kabul edilmektedir (Şekil 3.2). Dış yüklerin eleman yüzeyi boyunca veya düğüm noktasına etki ettiği kabul edilmektedir.

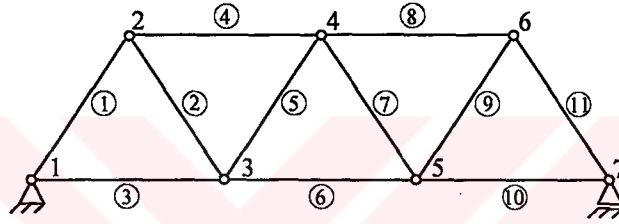


a. Sürekli Kiriş.



1, 2, 3... düğüm noktaları
①, ②, ③...elemanlar

b. Çerçeve Sistem.

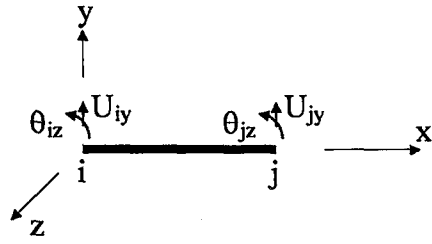


c. Kafes Sistem.

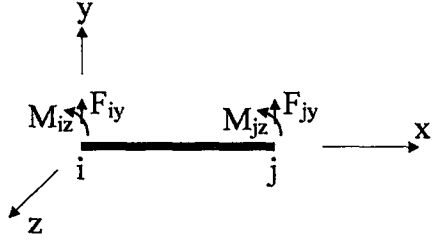
Şekil 3.2 Düzlem çubuk sistem modelleri.

3.4 DÜĞÜM NOKTASI SERBESTLİKLERİ VE ÇUBUK UÇ KUVVETLERİNDE POZİTİF YÖNLER

Yerdeğiştirmeye dayanan yöntemde çubuk uç yerdeğiştirmelerinin ve kuvvetlerinin pozitif yönleri koordinat sisteminin pozitif yönleri ile aynı kabul edilmiştir (Şekil 3.3-3.5). Dönme serbestliklerinin ve momentlerin pozitif yönlerinin belirlenmesinde sağ el kuralı geçerlidir.

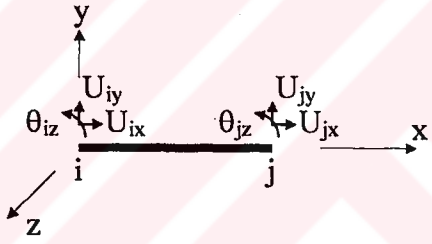


a. Dügüm noktası serbestlikleri.

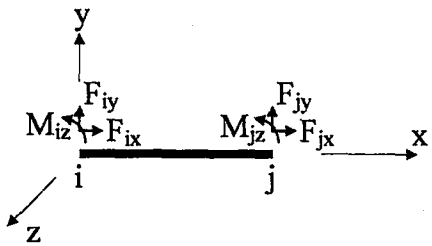


b. Çubuk uç kuvvetleri.

Şekil 3.3 Eksenel deformasyonları ihmal edilmiş kiriş eleman.

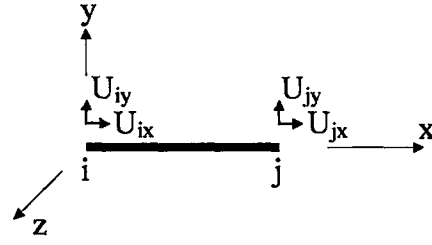


a. Dügüm noktası serbestlikleri.

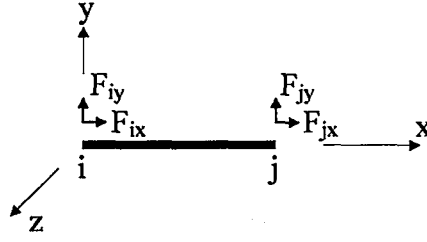


b. Çubuk uç kuvvetleri.

Şekil 3.4 Çerçeve eleman.



a. Dügüm noktası serbestlikleri.

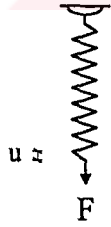


b. Çubuk uç kuvvetleri.

Şekil 3.5 Kafes eleman.

3.5 RİJİTLİK KAVRAMI

Rijitlik (direngenlik) kavramını anlamak için ilk önce elastik davranış gösteren basit bir yay elemanı ele almak gerekir (Şekil 3.6).



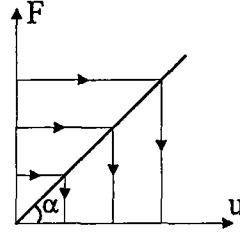
a. Yay eleman.



b. İdealleştirilmiş çubuk eleman.

Şekil 3.6 Basit bir elastik yay eleman ve idealleştirilmiş çubuk eleman.

Elastik davranış gösteren bir cisimde uygulanan kuvvetle ölçülen yerdeğiştirme arasındaki ilişki Şekil 3.7'deki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.7 Kuvvet - yerdeğiştirme ilişkisi.

Burada F yaya uygulanan kuvveti, u uygulanan kuvvet sonucu oluşan yerdeğiştirmeyi ifade etmektedir. Kuvvetle yerdeğiştirme arasındaki ilişki matematiksel olarak (3.1)'deki gibi gösterilebilir.

$$F = u \cdot \tan \alpha \quad (3.1)$$

Burada,

$$\tan \alpha = k \quad (3.2)$$

olduğu dikkate alınırsa (3.3a) eşitliği elde edilir.

$$F = k \cdot u \quad (3.3a)$$

Burada k , yay veya rijitlik sabitini ifade etmektedir. (3.3a) eşitliğinde u çekilirse (3.3b) eşitliği elde edilir.

$$u = \frac{1}{k} F \quad (3.3b)$$

Burada $\frac{1}{k}$ fleksibilite sabitini (f) ifade etmektedir. Bu durumda (3.3b) eşitliği, (3.4a)'daki gibi yazılabilir.

$$u = f \cdot F \quad (3.4a)$$

Fleksibilite sabiti (3.4b)'deki gibi verilebilir.

$$f = \frac{u}{F} \quad (3.4b)$$

Bu eşitlikler göz önüne alındığında fleksibilitenin, rijitliğin tersi olduğu anlaşılmaktadır [7].

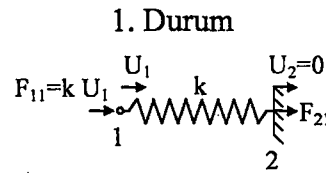
3.5.1 Elastik Bir Yayın Rijitlik Matrisi

Bir yay eleman için sonlu eleman formülasyonu matris formda (3.5) eşitliğindeki gibi verilebilir [8].

$$\{f\} = [k] \{u\} \quad (3.5)$$

Burada $[k]$ yay elemanın rijitlik matrisini, $\{f\}$ kuvvet vektörünü, $\{u\}$ ise yerdeğiştirme vektörünü temsil etmektedir.

Yay elemanın rijitlik matrisini elde etmek için iki durum incelenmiştir. Bu durumlarda yay elemanın 1 ve 2 uçlarına, bu uçlarda birim yerdeğiştirme oluşturacak kuvvetler uygulanmıştır (Şekil 3.8 ve 3.9).



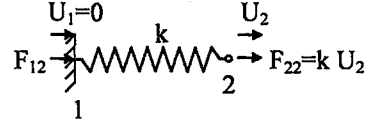
Şekil 3.8 Yay elemanın 1 ucuna kuvvet etkimesi durumu.

Bu yay için birinci durumda denge denklemleri yazılırsa (3.6a) ve (3.6b) eşitlikleri elde edilir [8, 9].

$$F_{11} + F_{21} = 0 \quad (3.6a)$$

$$F_{11} = -F_{21} = k U_1 \quad (3.6b)$$

2. Durum



Şekil 3.9 Yay elemanın 2 ucuna kuvvet etkimesi durumu.

İkinci durumda denge denklemleri yazılırsa (3.7a) ve (3.7b) eşitlikleri elde edilir [8, 9].

$$F_{12} + F_{22} = 0 \quad (3.7a)$$

$$F_{12} = -F_{22} = -k U_2 \quad (3.7b)$$

1 ve 2 durumları süperpoze edilirse, (3.8a) ve (3.8b) eşitlikleri elde edilir.

$$F_1 = F_{11} + F_{12} \quad (3.8a)$$

$$F_2 = F_{21} + F_{22} \quad (3.8b)$$

(3.6b) ve (3.7b) eşitlikleri (3.8a) ve (3.8b) eşitliklerinde dikkate alınır (3.9a) ve (3.9b) eşitlikleri elde edilir.

$$F_1 = k U_1 - k U_2 \quad (3.9a)$$

$$F_2 = -k U_1 + k U_2 \quad (3.9b)$$

Elde edilen (3.9a) ve (3.9b) eşitliklerini matris formunda (3.10a) eşitliğindeki gibi göstermek mümkündür [8-10].

$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k & -k \\ -k & k \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \quad (3.10a)$$

Bu eşitlikler yay eleman için rijitlik matris formülasyonu olarak adlandırılabilir. Burada yay eleman için rijitlik matrisi (3.10b)'deki gibi gösterilebilir.

$$[K] = k \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.10b)$$

Rijitlik matrisi her zaman simetrik bir matristir ve diagonaldaki terimler daima pozitifdir [7, 9].

Yay eleman için kuvvet vektörü (3.10c)'de, yerdeğiştirme vektörü ise (3.10.d)'deki gibi gösterilebilir [8].

$$\{F\} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (3.10c)$$

$$\{U\} = \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \quad (3.10d)$$

Eksenel yüke maruz bir elemanda oluşan gerilme (3.11) eşitliğindeki gibi gösterilebilir [11-13].

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.11)$$

Burada σ gerilmeyi, A çubuğun kesit alanını temsil etmektedir. Hooke kanununa göre doğrusal elastik bir malzemede gerilme ifadesi (3.12)'deki gibidir [8, 11, 12].

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (3.12)$$

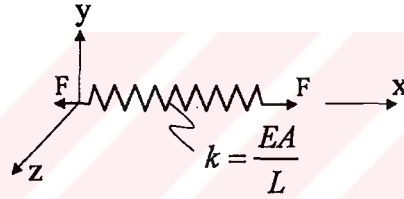
Burada E elastisite modülü, ε ise şekil değiştirmeyi ifade etmektedir. Çubuk ucundaki uzama U ve çubuk boyu L olmak üzere yay elemana ait şekil değiştirme ifadesi (3.13)'deki gibi gösterilebilir [10, 11].

$$\varepsilon = \frac{U}{L} \quad (3.13)$$

Eğer (3.11) ve (3.13) eşitlikleri (3.12) eşitliğinde dikkate alınır ve kuvvetle ilgili terim çekilirse (3.14)'deki ifade elde edilir [8, 9].

$$F = \frac{EA}{L}U \quad (3.14)$$

Burada $\frac{EA}{L}$ ifadesi, elastik bir yayın rijitlik sabitini (k) ifade etmektedir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10 Eksenel yüke maruz bir yayın rijitliği.

Bu durumda (3.10a) eşitliği (3.15)'deki gibi gösterilebilir [8-10].

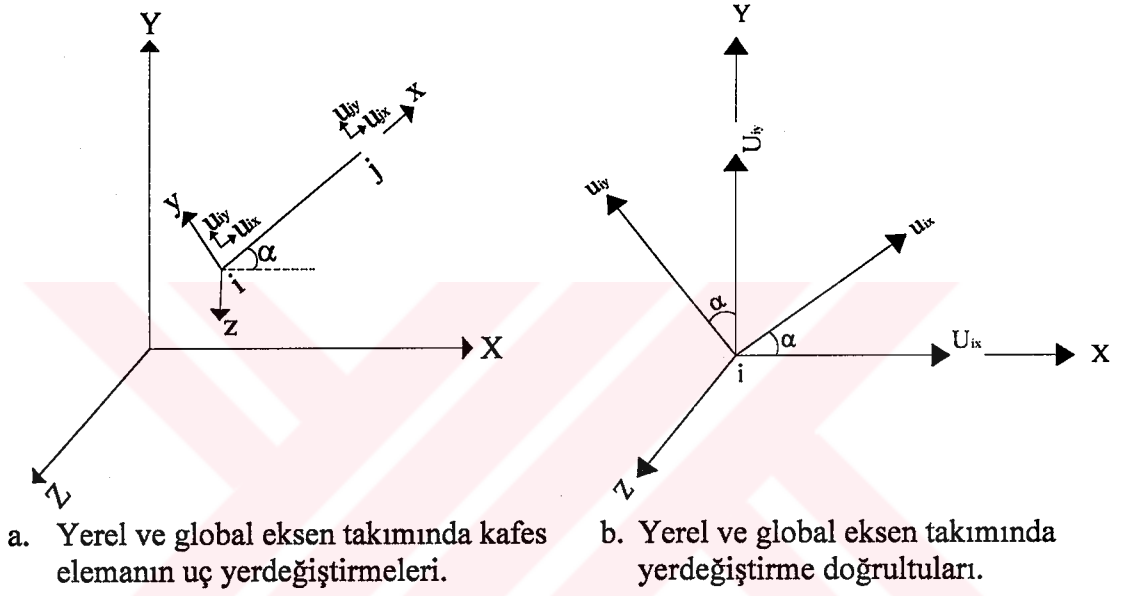
$$\begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & -\frac{EA}{L} \\ -\frac{EA}{L} & \frac{EA}{L} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

3.5.2 Düzlem Kafes Elemanın Rijitlik Matrisi

Kafes elemanların rijitlik matrisleri yay elemanlardan farklı olarak yerel eksen takımında ve global eksen takımında değişebilir.

3.5.2.1 Yerel ve Global Eksen Takımında Yerdeğiştirme ve Kuvvet Vektörleri

Global eksen takımının pozitif yönleri sağ el kuralına göre teşkil edilir. Global eksen takımı tektir ve elemandan elemana değişmez. Eleman üzerinde tanımlanan ve global eksen takımına göre değişebilen eksen takımına ise yerel eksen takımı denilmektedir. Bunun sonucunda çubuk uçlarına ait yerdeğiştirme ve kuvvet ifadeleri yerel ve global eksen takımında değişebilir (Şekil 3.11 ve 3.12) [7].



Şekil 3.11 Düzlem kafes elemanda yerel ve global eksen takımında yerdeğiştirmeler.

Yukarıdaki şekilde x, y, z eleman yerel eksen takımını, X, Y, Z global eksen takımını göstermektedir. Burada global eksen takımındaki yerdeğiştirmelerin doğrultusu ile yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmelerin doğrultusu arasında α kadar bir açı vardır. Yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmelerle global eksen takımındaki yerdeğiştirmeler arasında aşağıdaki gibi bir ilişki kurmak mümkündür [7].

$$\begin{aligned} u_{ix} &= U_{ix} \cos \alpha + U_{iy} \sin \alpha \\ u_{iy} &= -U_{ix} \sin \alpha + U_{iy} \cos \alpha \\ u_{jx} &= U_{jx} \cos \alpha + U_{jy} \sin \alpha \\ u_{jy} &= -U_{jx} \sin \alpha + U_{jy} \cos \alpha \end{aligned} \quad (3.16)$$

Burada u_{ix}, u_{iy} i ucunda, u_{jx}, u_{jy} j ucunda yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri, U_{ix}, U_{iy} i ucunda, U_{jx}, U_{jy} j ucunda global eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri ifade etmektedir. Bu ifadeler matris formda (3.17)'deki gibi yazılabilir.

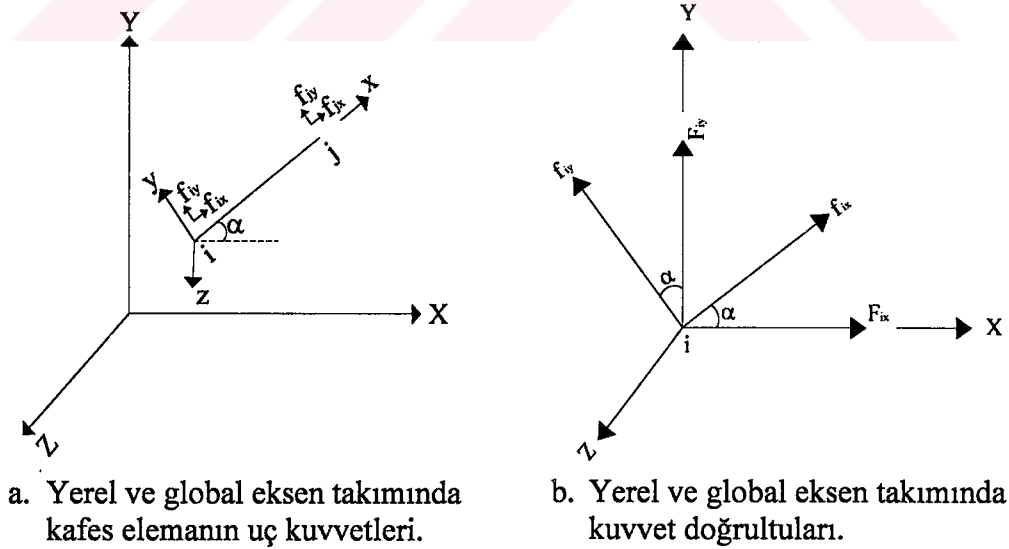
$$\begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ U_{jx} \\ U_{jy} \end{Bmatrix} \quad (3.17)$$

Bu eşitlik genel olarak (3.18)'deki gibi gösterilebilir.

$$\{u\} = [T] \{U\} \quad (3.18)$$

Burada $\{u\}$ yerel eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörü, $\{U\}$ global eksen takımındaki yerdeğiştirme vektörü ve $[T]$ transformasyon (dönüşüm) matrisidir.

Çubuk uç kuvvetleri de yerdeğiştirmelere benzer şekilde incelenebilir.



Şekil 3.12 Düzlem kafes elemanda yerel ve global eksen takımında kuvvetler.

Yerdeğiştirmelerde olduğu gibi, global eksen takımındaki kuvvetlerin doğrultusu ile yerel eksen takımındaki kuvvetlerin doğrultusu arasında da α kadar bir açı vardır (Şekil 3.12). Yerel eksen takımındaki kuvvetlerle global eksen takımındaki kuvvetler arasında (3.19)'daki gibi bir ilişki söz konusudur [7].

$$\begin{aligned}
 f_{ix} &= F_{ix} \cos \alpha + F_{iy} \sin \alpha \\
 f_{iy} &= -F_{ix} \sin \alpha + F_{iy} \cos \alpha \\
 f_{jx} &= F_{jx} \cos \alpha + F_{jy} \sin \alpha \\
 f_{jy} &= -F_{jx} \sin \alpha + F_{jy} \cos \alpha
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

Burada f_{ix} , f_{iy} i ucunda, f_{jx} , f_{jy} j ucunda yerel eksen takımındaki kuvvetleri, F_{ix} , F_{iy} i ucunda, F_{jx} , F_{jy} j ucunda global eksen takımındaki kuvvetleri ifade etmektedir. Bu ifadeler matris formda (3.20)'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha \\ 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{jx} \\ F_{jy} \end{Bmatrix} \tag{3.20}$$

Bu eşitliği genel olarak (3.21)'deki gibi ifade etmek mümkündür.

$$\{f\} = [T] \{F\} \tag{3.21}$$

Burada $\{f\}$ yerel eksen takımındaki kuvvet vektörü, $\{F\}$ ise global eksen takımındaki kuvvet vektörüdür.

(3.18) ve (3.21) eşitliklerinden de anlaşılacağı gibi dönüşüm matrisi global eksenindeki yerdeğiştirme ve kuvvet vektörlerinin yerel eksen takımında elde edilmesini sağlamaktadır.

Benzer şekilde yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmeler ve kuvvetler biliniyorsa global eksenindeki kuvvetleri de bulmak mümkündür. Global eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri yerel eksen takımında (3.22) eşitliğindeki gibi yazmak mümkündür.

$$\begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ U_{jx} \\ U_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Global eksen takımındaki kuvvetleri de yerel eksen takımında (3.23) eşitliğindeki gibi yazmak mümkündür.

$$\begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ F_{jx} \\ F_{jy} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha \\ 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

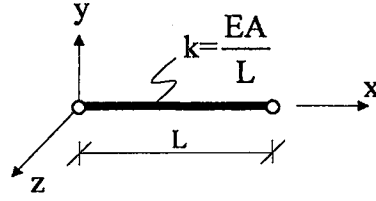
Burada yerel eksen takımındaki yerdeğiştirme ve kuvvet vektörlerinin global eksen takımında elde edilmesini sağlayan matris, dönüşüm matrisinin transpozesidir ($[T]^T$). (3.22) ve (3.23) eşitlikleri genel olarak (3.24) ve (3.25)'deki gibi gösterilebilir [7].

$$\{U\} = [T]^T \{u\} \quad (3.24)$$

$$\{F\} = [T]^T \{f\} \quad (3.25)$$

3.5.2.2 Yerel Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi

Kafes elemanlar uçları mafsallı ve yalnızca aksenal kuvvet taşıyan elemanlardır (Şekil 3.13). Bu özellikleriyle kafes elemanlar farklı doğrultularda çalışan yay elemanlar olarak tanımlanabilirler.



Şekil 3.13 İki ucu mafsallı bir eleman.

Yerel eksen takımında, bir kafes elemanın rijitlik matrisi (3.26)'daki gibidir [2, 7].

$$[k] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & \frac{EA}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

3.5.2.3 Global Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi

Kafes elemanın global eksen takımında rijitlik matrisini elde etmek için önce (3.18) eşitliği (3.5) eşitliğinde dikkate alınır ve (3.27) eşitliği elde edilir [7].

$$\{f\} = [k][T]\{U\} \quad (3.27)$$

(3.27) eşitliğinin her iki tarafında $[T]^T$ sol taraftan işleme konulursa (3.28) eşitliği elde edilir.

$$\{F\} = [T]^T [k][T]\{U\} \quad (3.28)$$

Burada " $[T]^T [k][T]$ " ifadesi global eksen takımında, kafes elemanın rijitlik matrisini temsil etmektedir.

$$[K] = [T]^T [k][T] \quad (3.29)$$

Dönüşüm matrislerinde $\cos\alpha$ terimleri c ile, $\sin\alpha$ terimleri s ile temsil edilirse kafes eleman global rijitlik matrisi (3.30)'daki gibi elde edilir [2, 8, 10, 14, 15].

$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} c^2 & & & Sim. \\ cs & s^2 & & \\ -c^2 & -cs & c^2 & \\ -cs & -s^2 & cs & s^2 \end{bmatrix} \quad (3.30)$$

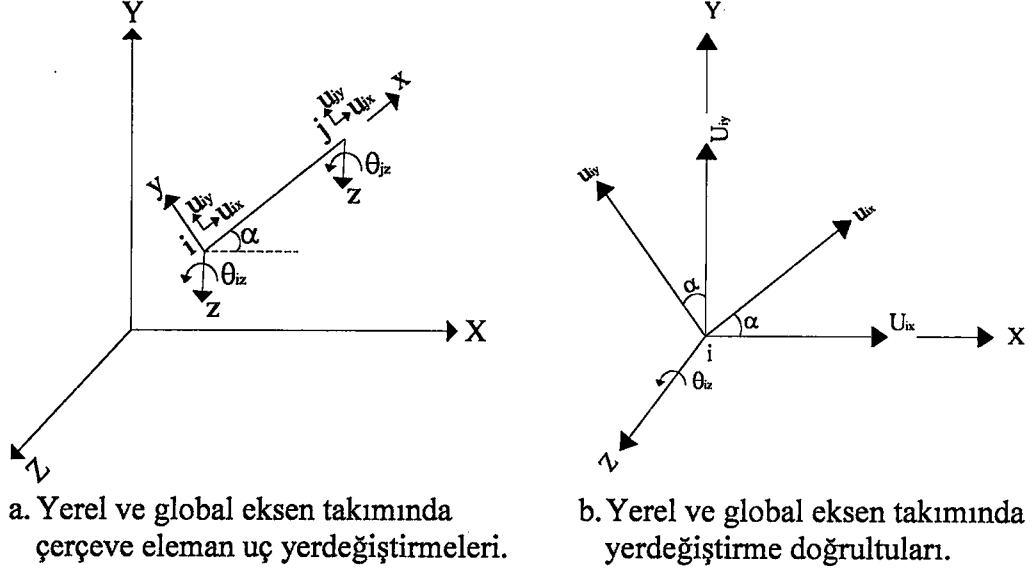
3.5.3 Düzlem Çerçeve Elemanın Rijitlik Matrisi

Düzlem çerçeve elemanların rijitlik matrisleri de kafes elemanlardaki gibi yerel eksen takımının global eksen takımında ki konumuna göre değişebilir.

3.5.3.1 Yerel ve Global Eksen Takımında Yerdeğiştirme ve Kuvvet Vektörleri

Düzlem çerçeve elemanın yerdeğiştirme ve kuvvet vektörlerini elde etmek için kafes elemanda uygulanan yol izlenebilir.

Çerçeve elemanın yerel ve global eksenlerdeki uç yerdeğiştirmeleri arasındaki ilişki Şekil 3.14'de verildiği gibi incelenebilir.



Şekil 3.14 Düzlem çerçeve elemanda yerel ve global eksen takımında yerdeğiştirmeler.

Yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri global eksen takımındaki yerdeğiştirmeler cinsinden ifade etmek mümkündür (Şekil 3.14) [7].

$$u_{ix} = U_{ix} \cos \alpha + U_{iy} \sin \alpha$$

$$u_{iy} = -U_{ix} \sin \alpha + U_{iy} \cos \alpha$$

$$\theta_{iz} = \theta_{iz}$$

$$u_{jx} = U_{jx} \cos \alpha + U_{jy} \sin \alpha$$

$$u_{jy} = -U_{jx} \sin \alpha + U_{jy} \cos \alpha$$

$$\theta_{jz} = \theta_{jz}$$

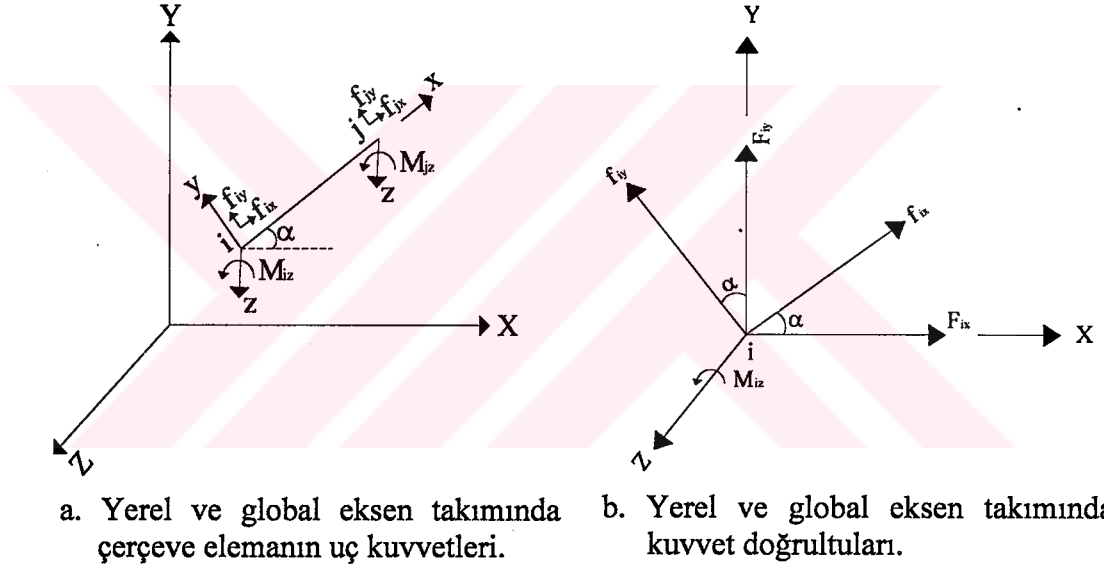
(3.31)

Burada u_{ix} , u_{iy} i ucunda, u_{jx} , u_{jy} j ucunda yerel eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri, U_{ix} , U_{iy} i ucunda, U_{jx} , U_{jy} j ucunda global eksen takımındaki yerdeğiştirmeleri ifade etmektedir. θ_{iz} ve θ_{jz} i ve j ucundaki dönmeleri ifade etmektedir. Dönmeler her iki eksen takımında da aynı doğrultuda olduğu için değişmemektedirler. (3.31)'deki eşitlikler matris formda (3.32)'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ \theta_{iz} \\ U_{jx} \\ U_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} \quad (3.32)$$

Bu eşitlik genel olarak (3.18)'deki gibi gösterilebilir.

Yerdeğiştirmelerde olduğu gibi yerel eksen takımındaki çubuk uç kuvvetleri ile global eksen takımındaki kuvvetler arasında da benzer bir ilişki söz konusudur (Şekil 3.15) [7].



Şekil 3.15 Düzlem çerçeve elemanda yerel ve global eksen takımında kuvvetler.

Yerel eksen takımındaki kuvvetleri global eksen takımındaki kuvvetler cinsinden (3.33) eşitliğindeki gibi yazmak mümkündür [7].

$$\begin{aligned}
f_{ix} &= F_{ix} \cos \alpha + F_{iy} \sin \alpha \\
f_{iy} &= -F_{ix} \sin \alpha + F_{iy} \cos \alpha \\
M_{iz} &= M_{iz} \\
f_{jx} &= F_{jx} \cos \alpha + F_{jy} \sin \alpha \\
f_{jy} &= -F_{jx} \sin \alpha + F_{jy} \cos \alpha \\
M_{jz} &= M_{jz}
\end{aligned} \tag{3.33}$$

Elde edilen eşitlikler matris formda yazılırsa aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ M_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ M_{iz} \\ F_{jx} \\ F_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix} \tag{3.34}$$

Bu eşitlik genel olarak (3.21)'deki gibi gösterilebilir.

Benzer şekilde yerel eksen takımındaki çubuk uç yerdeğiştirme ve kuvvetleri de biliniyorsa global eksen takımındaki yerdeğiştirme ve kuvvetleri de bulmak mümkündür. Global eksen takımındaki yerdeğiştirmeler (3.35)'de, kuvvetler ise (3.36)'daki gibi matris formda yazılabilir.

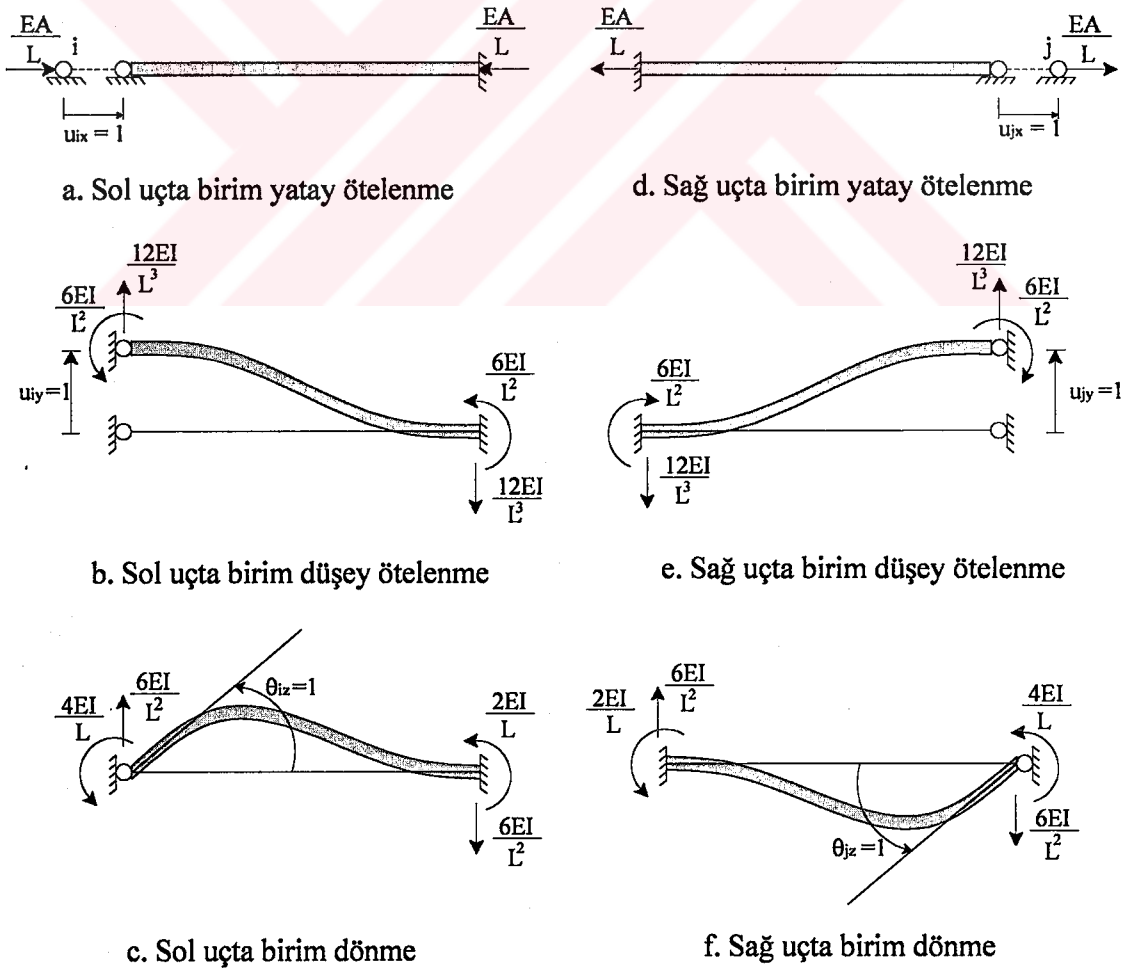
$$\begin{Bmatrix} U_{ix} \\ U_{iy} \\ \theta_{iz} \\ U_{jx} \\ U_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{ix} \\ u_{iy} \\ \theta_{iz} \\ u_{jx} \\ u_{jy} \\ \theta_{jz} \end{Bmatrix} \tag{3.35}$$

$$\begin{Bmatrix} F_{ix} \\ F_{iy} \\ M_{iz} \\ F_{jx} \\ F_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} f_{ix} \\ f_{iy} \\ M_{iz} \\ f_{jx} \\ f_{jy} \\ M_{jz} \end{Bmatrix} \quad (3.36)$$

Bu eşitlikler genel olarak (3.24) ve (3.25) eşitliklerindeki gibi gösterebilir.

3.5.3.2 Yerel Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi

Düzlem çerçeve elemanın rijitlik matrisini elde etmek için çubuğun her iki ucundaki serbestliklerde birim deformasyonlar oluşturacak rijitlik tesir katsayılarını belirlemek gerekir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Çerçeve elemanda birim deformasyonlar oluşturan kuvvetler [2].

Düğüm noktalarında birim deformasyon oluşturan kuvvetlerin yerdeğiştirmelere göre süperpozisyonuyla çerçeve elemanın i ve j uçlarına ait denge denklemleri (3.37a) ve (3.37b)'deki gibi yazılabilir [2].

$$\begin{aligned}
\sum F_{ix} = 0 ; X_i &= \frac{EA}{L}u_{ix} - \frac{EA}{L}u_{jx} \\
\sum F_{iy} = 0 ; V_i &= \frac{12EI}{L^3}u_{iy} + \frac{6EI}{L^2}\theta_{iz} - \frac{12EI}{L^3}u_{jy} + \frac{6EI}{L^2}\theta_{jz} \\
\sum M_{iz} = 0 ; M_i &= \frac{6EI}{L^2}u_{iy} + \frac{4EI}{L}\theta_{iz} - \frac{6EI}{L^2}u_{jy} + \frac{2EI}{L}\theta_{jz}
\end{aligned} \tag{3.37a}$$

$$\begin{aligned}
\sum F_{jx} = 0 ; X_j &= -\frac{EA}{L}u_{ix} + \frac{EA}{L}u_{jx} \\
\sum F_{jy} = 0 ; V_j &= -\frac{12EI}{L^3}u_{iy} - \frac{6EI}{L^2}\theta_{iz} + \frac{12EI}{L^3}u_{jy} - \frac{6EI}{L^2}\theta_{jz} \\
\sum M_{jz} = 0 ; M_j &= \frac{6EI}{L^2}u_{iy} + \frac{2EI}{L}\theta_{iz} - \frac{6EI}{L^2}u_{jy} + \frac{4EI}{L}\theta_{jz}
\end{aligned} \tag{3.37b}$$

(3.37a) ve (3.37b) eşitliklerinin matris formda verilmesi durumunda yerel eksen takımında çerçeve elemana ait rijitlik matrisi (3.38)'deki gibi elde edilir [2, 9].

$$[k] = \begin{bmatrix}
u_{ix} & u_{iy} & \theta_{iz} & u_{jx} & u_{jy} & \theta_{jz} \\
\frac{EA}{L} & & & & & \\
0 & \frac{12EI}{L^3} & & & & \text{Sim.} \\
0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L} & & & \\
-\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & & \\
0 & -\frac{12EI}{L^3} & -\frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \\
0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & -\frac{6EI}{L^2} & \frac{4EI}{L}
\end{bmatrix} \tag{3.38}$$

3.5.3.3 Global Eksen Takımında Eleman Rijitlik Matrisi

Global eksen takımında çerçeve elemanın rijitlik matrisini elde etmek için kafes elemanda uygulanan yol izlenebilir. Bu durumda (3.29) eşitliğinde, çerçeve elemana ait eleman rijitlik matrisi, dönüşüm matrisi ve dönüşüm matrisinin transpozesi işleme konulursa global eksen takımında çerçeve elemana ait rijitlik matrisi (3.39)'daki gibi elde edilir. Burada $\cos\alpha$ terimleri c ile $\sin\alpha$ terimleri ise s ile temsil edilmiştir.

$$[K] = \begin{bmatrix} \frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2 & & & & & & \\ \frac{EA}{L}cs - \frac{12EI}{L^3}cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & & & & & \\ & -\frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{4EI}{L} & & & \\ -\frac{EA}{L}c^2 - \frac{12EI}{L^3}s^2 & -\frac{EA}{L}cs + \frac{12EI}{L^3}cs & \frac{6EI}{L^2}s & \frac{EA}{L}c^2 + \frac{12EI}{L^3}s^2 & & & \\ -\frac{EA}{L}cs + \frac{12EI}{L^3}cs & -\frac{EA}{L}s^2 - \frac{12EI}{L^3}c^2 & -\frac{6EI}{L^2}c & \frac{EA}{L}cs - \frac{12EI}{L^3}cs & \frac{EA}{L}s^2 + \frac{12EI}{L^3}c^2 & & \\ & -\frac{6EI}{L^2}s & \frac{6EI}{L^2}c & \frac{2EI}{L} & \frac{6EI}{L^2}s & -\frac{6EI}{L^2}c & \frac{4EI}{L} \end{bmatrix} \quad (3.39)$$

3.6 SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİNDE İŞLEM ADIMLARI

Rijitlik yöntemiyle çubuk kuvvetleri aşağıda verilen işlem adımları ile elde edilebilir.

- Transformasyon ($[T]$) ve Transpoze matrislerinin ($[T]^T$) oluşturulması,
- Eleman rijitlik matrislerinin ($[k]$) oluşturulması,
- Çubuk uç kuvvet vektörlerinin ($\{f\}_{ank}$) oluşturulması,
- Global eksen takımında eleman rijitlik ($[K]$) ve yük vektörlerinin oluşturulması ($\{F\} = \{P\} - \{f\}_{ank}$). Burada $\{P\}$ düğüm noktası kuvvet vektörüdür,
- Sistem rijitlik matrisi ($[K]^s$), yerdeğiştirme vektörü ($\{U\}^s$) ve yük vektörünün ($\{F\}^s$) oluşturulması,
- İndirgenmiş sistem rijitlik matrisi ($[K]^*$) ve yük vektörlerinin oluşturulması ($\{F\}^*$),
- $\{F\}^* = [K]^* \{U\}^*$ lineer denklem sisteminin çözümü ve $\{U\}^*$ 'in elde edilmesi,
- Eleman uç yerdeğiştirme vektörünün ($\{u\}$) elde edilmesi,
- Çubuk kuvvetlerinin hesaplanması ($\{f\}_c = [k]\{u\} + \{f\}_{ank}$).

BÖLÜM 4

KISMİ BAĞLI SİSTEMLERDE RİJİTLİK KAVRAMI

4.1 KISMİ BAĞLI ÇUBUKLAR

Ahşap ve çelik yapılar hesap itibari ile düğüm noktalarından mafsallı bağlı olarak çözülmektedirler. Bu çözüm aslında ideal kafes sistemler içindir. Gerçekte hiçbir çubuk eleman düğüm noktasına mafsallı olarak bağlı değildir. Hatta, rijit veya kısmi olarak bağlıdırlar. Ahşap yapılar cıvatalı, kamalı ve son yıllarda geliştirilen sentetik tutkalla, çelik yapılar ise kaynak ve cıvatalı birleşimlerle teşkil edilmektedir [13]. Çelik yapılar kaynaklı birleşimlerle teşkil edilmişlerse rijit bağlı olarak düşünülmelidir. Perçinli birleşimlerde ise cıvata sayısı ve bağlantı tipine bağlı olarak bağlılık durumu da değişmektedir. Tek perçinli birleşim ile birden çok cıvatalı birleşimin bağlılık yüzdeleri eşit değildir. Fakat cıvata sayısına bağlı olarak kesin bir bağlılık yüzdesi de söylemek de doğru değildir. Bağlılık yüzdesi ancak laboratuvarlar da yapılacak deneyler ile belirlenebilir [16].

Kısmi bağlı çubuklar için diğer bir örnekte prefabrik yapı elemanlarıdır. Prefabrik yapılar parçalar halinde fabrikalarda üretilip şantiyede birleştirilmektedir. Halbuki rijit düğüm noktalı bir betonarme çerçevede kat hizalarında aderans için yeterli donatı filiz boyları bırakılmakta ve beton dökümü yapılarak temelden itibaren düzenli bir rijitlik dağılımı sağlanmaktadır. Kullanılan birleştirme yöntemlerine göre yapı elemanlarının birleşim noktalarına bağlılıkları değişmektedir. Prefabrik yapılarda ayırık elemanlar birleştirildiği için bu elemanlar düğüm noktalarına tam rijit olarak bağlanamazlar. Ancak, son yıllarda prefabrikasyon tekniklerindeki gelişmelerle, örneğin ard çekmeli beton teknolojisi kullanılarak yapılan birleşimler yüksek oranda moment taşımaktadırlar [4]. Yine de deneysel çalışmalarla prefabrik elemanların birleşim noktalarına ne oranda bağlandığı belirlenip hesaplarda dikkate alınmalıdır.

Prefabrik yapı modelleri tasarlanırken yaygın olarak kullanılan tam mafsallı birleşim de doğru bir yaklaşım değildir. Eğer bunun yerine uygun bağlılık oranı belirlenirse bazı

prefabrik yapı türlerine yatay yüklerin etkimesi durumunda oluşacak elverişsiz durumların da önüne geçilebilmektedir. Bu nedenle hesap ilkesi bakımından, prefabrik yapılarda ayırık yapı elemanlarının birleşimlerinin kısmi bağlı olarak tanımlanması en doğru yaklaşım olarak gözükmektedir.

4.1.1 Kısmi Bağlı Çubuklarda Kesit Tesirleri ve Gerilmeler

Yapı sistemlerini uygun şartlarda üç boyutlu değil de düzlem olarak çözmek uygun bir yaklaşımdır. Bunun sonucunda çubuk elemanların kesit tesirlerinde önemli bir değişiklik olmadığı bilinmektedir. Uçları mafsallı çubuklar, düzlem problemlerde eğilme momenti, üç boyutlu sistemlerde eğilme ve burulma momenti taşımamaktadırlar. Bu durumda düzlem sistemlerde eğilme momentinin etkisiyle oluşacak ikincil gerilmeler göz ardı edilmektedir. Düğüm noktalarındaki dönme serbestliğinin ihmal edilmesi yalnızca ötelenme serbestliğinin var olması durumunda kesit tesirlerinde ve dolayısıyla gerilmelerde de değişiklikler olması kaçınılmazdır.

Uçları mafsallı bağlı olan çubuklar yalnızca aksenal kuvvet taşımaktadırlar. Dolayısıyla çubuk üzerinde oluşan gerilmeler yalnızca normal kuvvet etkisi ile oluşmaktadır. Bu gerilmelere birincil gerilmeler denir [2]. Aksenal yüke maruz bir çubukta oluşan gerilme ifadesi aşağıdaki gibidir [13].

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq \sigma_{em} \quad (4.1)$$

Burada σ çubuk ucundaki gerilmeyi, N aksenal kuvveti, A kesit alanını ve σ_{em} emniyet gerilmesini temsil etmektedir.

Birleşimlerin rijit olması demek düğüm noktalarının moment taşınması anlamına gelmektedir. Düğüm noktalarının rijit olması durumunda çubuk uçlarına etkileyen momentlerin etkisiyle oluşan gerilmelere ikincil (sekonder) gerilmeler denilmektedir [2, 13]. Eğer çubuk uçları düğüm noktalarına kısmi bağlı ise çubuk uçlarında yine moment oluşacak dolayısıyla ilave gerilmeler meydana gelecektir. Bu durumda gerilme ifadesi (4.2)'deki gibi olmaktadır.

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{I} y \leq \sigma_{em} \quad (4.2)$$

Burada M momenti, I atalet momentini, y çubuk kesitinin üst ve alt noktalarının tarafsız eksene olan uzaklıklarını temsil etmektedir.

Kendi ağırlığı ihmal edilen sistemlerde, (4.1) eşitliğinden de anlaşılacağı gibi çubuğun yalnızca aksenal kuvvet taşıması halinde çubuk boyunca ve kesit yüksekliğince gerilme değeri sabittir. Düğüm noktalarının moment taşıması durumunda ise çubuk boyunca ve kesit yüksekliğince normal gerilme değerleri değişmektedir.

Bu çalışmada farklı tipteki yapı sistemlerinde çubuk elemanların mafsallı, rijit ya da kısmi bağlı olmaları durumunda gerilmelerde, kesit tesirlerinde ve yerdeğiştirmelerde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

4.1.2 Kısmi Bağlı Basınç Çubukları

Eksenleri doğrultusunda basınç yükü taşıyan yapı elemanlarına basınç çubukları denilmektedir. Bu tip çubuklarda çubuk boyu arttıkça narinlik de arttığından burkulma problemi ortaya çıkmaktadır. Burkulma hesapları “w” metodu ile yapılmaktadır. “w” burkulma katsayıları λ narinliğine bağlı olarak tablodan okunmaktadır [17]. Narinlik (4.3) eşitliği ile hesaplanabilir [13].

$$\lambda = \frac{s_k}{i} \quad (4.3)$$

Burada, i kesitin atalet yarıçapı, s_k basınç çubuğunun burkulma boyudur. Atalet yarıçapı (4.4) eşitliği kullanılarak hesaplanabilir.

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (4.4)$$

s_k burkulma boyu (4.5) eşitliğindeki gibi hesaplanabilir.

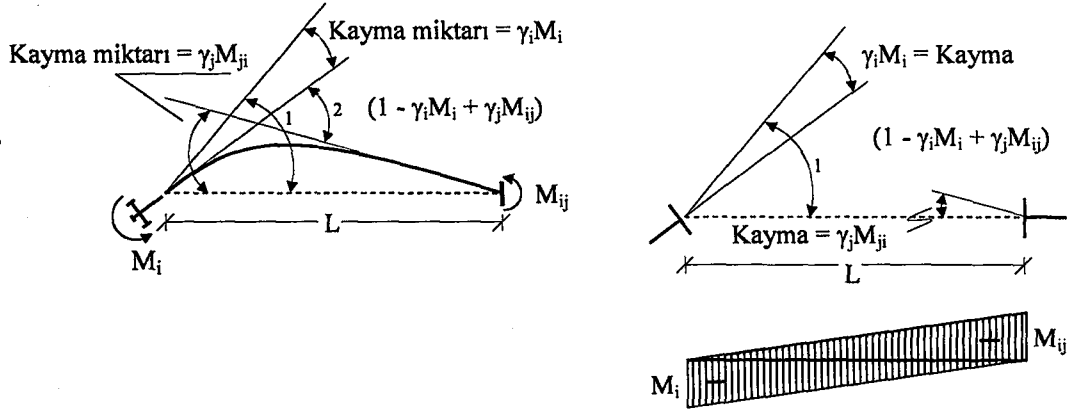
$$s_k = k \cdot s \quad (4.5)$$

Burada s çubuğun gerçek boyu, k ise çubuğun bağlılık durumuna göre tablodan belirlenen bir katsayıdır [17]. k sayısı mesnet şartlarına göre belirlendiği için kısmi bağlı çubuklarda farklı bağlılık oranları için farklı değerler belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda kullanılacak k sayıları doğrudan tablodan alınamamaktadırlar.

Bu çalışmada burkulma dikkate alınmamış, yalnızca çubuk uçlarında oluşan normal gerilmeler incelenmiştir.

4.2 KISMİ BAĞLI ÇUBUKLARDA TEMEL RİJİTLİK TESİR SAYILARI

Kısmi bağlı çubuklarda temel rijitlik tesir sayılarını elde etmek için sabit atalet momentli bir çubuk alınmalıdır. Bu çubuğun i ucundaki düğüm noktası birim dönme yaparken, j ucu tutulu olmalıdır. Bu durumda rijitlik tarifine göre, bu dönmeye karşı koyan çubuk uç momentleri çubuğun temel rijitlik sayılarını vermektedir. Eğer çubuk i ucunda tam bağlı değilse, düğüm noktasında kısmi bağlı olduğu için birim dönmeye uyamayacak bu yüzden bir miktar geriye kalacaktır. Bu geriye kalma miktarı momentle orantılı kabul edilebilir ve $\gamma_i M_i$ ile gösterilebilir. Geri kalma miktarına kayma miktarı da denilmektedir [16].



- a. Kısmi bağlı çubukta, i ve j ucunda oluşan momentler ve kayma miktarları. b. Moment Alanı diyagramı.

Şekil 4.1 Kısmi bağlı çubuk [16].

Eğer j ucu da kısmi bağlı ise o da bir miktar dönecektir. Bu dönme de momentle orantılı olarak kabul edilebilir ve $\gamma_j M_j$ olarak gösterilebilir. Ancak rijitlik tesir sayılarının tarifine göre, i ucunda birim deformasyon varken j ucunun hiç dönmemesi gerekmektedir. Burada sözü edilen γ_i ve γ_j katsayıları kısmi dönmeleri ifade eden mukavemet parametreleridir. Çubuk uçlarının tam bağlı olduğu durumlarda $\gamma_i = \gamma_j = 0$ dir. Mafsallı uçlarda ise $\gamma_i = \gamma_j = \infty$ dur. Çubuğun i ve j ucunun kısmi bağlı oluşundan kaynaklanan kayma miktarları çıkarıldıktan sonra geriye kalan gerçek dönme açıları hesaba katılırsa, rijitlik tesir sayılarını bulmaya yarayan Moment - Alan denklemleri yazılabilir. Elastik eğriye i ve j uçlarından çizilen teğetler arasında kalan açının EI katı, moment diyagramının alanına eşittir. Şekil 4.1' den, bu alan ve açı için, birinci Moment - Alan teoremine göre (4.6) eşitliği yazılabilir [8, 16].

$$-\frac{M_i L}{2} + \frac{M_j L}{2} = -(1 - \gamma_i M_i + \gamma_j M_j) EI \quad (4.6)$$

Sol uçtan itibaren, sağ uçtan çizilen teğete olan düşey mesafenin de ikinci Moment - Alan teoremine göre bu alanın statik momenti olarak ifadesi (4.7) eşitliğindeki gibidir [16].

$$-\frac{M_j L^2}{6} + \frac{M_i L^2}{3} = -(\gamma_j M_j L) EI \quad (4.7)$$

Bu iki eşitliğin çözümünden (4.8a) ve (4.8b) eşitlikleri elde edilir [16].

$$M_i = \frac{4EI}{L} r_i \quad (4.8a)$$

$$M_j = \frac{2EI}{L} r_j \quad (4.8b)$$

Burada r_i ve r_j düzeltme faktörleri olup (4.9a) ve (4.9b)'deki gibi verilebilirler.

$$r_i = \frac{3v_i}{4 - v_i v_j} \quad (4.9a)$$

$$r_{ij} = \frac{3v_i v_j}{4 - v_i v_j} \quad (4.9b)$$

Düzeltilme faktörlerinin elde edilmesini sağlayan v_i ve v_j sayıları uçlardaki bağıllığı yüzde olarak ifade ettikleri için bunlara kısmi bağıllık yüzdeleri denilmektedir. Kısmi bağıllık yüzdeleri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Tam bağlı bir uç için $v = 1$, tam mafsallı bağlı uç için $v = 0$ 'dır. Simetri nedeniyle sağ uçtaki rijitlik tesir sayıları ve düzeltme faktörleri, sol uçtakilere benzetilerek (4.10a, 4.10b, 4.11a, 4.11b) eşitliklerindeki gibi yazılabilir [16].

$$M_j = \frac{4EI}{L} r_j \quad (4.10a)$$

$$M_{ji} = M_{ij} \quad (4.10b)$$

$$r_j = \frac{3v_j}{4 - v_i v_j} \quad (4.11a)$$

$$r_{ji} = r_{ij} \quad (4.11b)$$

Rijitlik tesir sayılarını düzeltmeye yarayan r_i , r_j ve r_{ij} düzeltme faktörlerini elde etmek için çubuk uçlarındaki bağıllık yüzdelerinin bilinmesinin yeterli olduğu verilen eşitliklerden de anlaşılmaktadır [16].

4.2.1 Tam Bağlı Çubuklarda Rijitlik Tesir Sayıları

Eleman rijitlik matrisindeki tesir sayıları (4.12) eşitliğindeki gibi gösterilebilir [16].

$$[k] = \begin{bmatrix} E & & & & & & \\ 0 & D & & & & & \text{Sim.} \\ 0 & C_i & A_i & & & & \\ -E & 0 & 0 & E & & & \\ 0 & -D & -C_i & 0 & D & & \\ 0 & C_j & B & 0 & -C_j & A_j & \end{bmatrix} \quad (4.12)$$

Buradaki temel rijitlik sayıları (4.13a-4.13c) eşitliklerinde verilmiştir.

$$A_i = a_i \frac{EI}{L} \quad (4.13a)$$

$$A_j = a_j \frac{EI}{L} \quad (4.13b)$$

$$B = b_{ij} \frac{EI}{L} \quad (4.13c)$$

Temel rijitlik terimleri bilinirse diğer rijitlik terimleri de (4.14a-4.14c) eşitliklerinde gösterildiği gibi bulunabilir.

$$C_i = \frac{A_i + B}{L} \quad (4.14a)$$

$$C_j = \frac{A_j + B}{L} \quad (4.14b)$$

$$D = \frac{C_i + C_j}{L} \quad (4.14c)$$

E terimi ise uzama rijitliğini temsil etmektedir.

$$E = \frac{EA}{L} \quad (4.15)$$

Tüm rijitlik terimleri elde edildiğinde (3.38) eşitliğinde verilen eleman rijitlik matrisi elde edilir. Çünkü (4.13a-4.13c) eşitliklerinde $a_i = a_j = 4$ ve $b_{ij} = 2$ dir. Burada elde edilen rijitlik matrisi, çubuğun kağıt düzlemi içinde eğilmesi hali içindir. Eğer çubuk kağıt düzlemine dik ve öteki düzlem içinde de eğilmeye maruz ise, o eğilmeye ait deformasyon - kuvvet ilişkileri de benzer şekilde yazılabilir. Yalnızca serbestlik dereceleri doğrultuları ve atalet momenti eksenini değişmektedir [16].

4.2.2 Yerel Eksen Takımında Kısmi Bağlı Çubuk İçin Eleman Rijitlik Matrisi

Kısmi bağlı çubuklar için temel rijitlik terimleri (4.13a-4.13c) eşitliklerinden faydalanılarak hesaplanabilir. Burada dikkate alınacak husus (4.9a, 4.9b, 4.11a, 4.11b)'de verilen düzeltme faktörleridir. Bu durumda kısmi bağlı çubuklarda temel rijitlik tesir sayıları (4.16a-4.16c)'deki gibi elde edilir [16].

$$A_i = 4 \frac{EI}{L} r_i \quad (4.16a)$$

$$A_j = 4 \frac{EI}{L} r_j \quad (4.16b)$$

$$B = 2 \frac{EI}{L} r_{ij} \quad (4.16c)$$

Bu terimler yardımıyla diğer rijitlik terimleri de (4.17a-4.17c)'deki gibi elde edilir.

$$C_i = \frac{A_i + B}{L} = \frac{2EI(2r_i + r_{ij})}{L^2} \quad (4.17a)$$

$$C_j = \frac{A_j + B}{L} = \frac{2EI(2r_j + r_{ij})}{L^2} \quad (4.17b)$$

$$D = \frac{C_i + C_j}{L} = \frac{4EI(r_i + r_j + r_{ij})}{L^3} \quad (4.17c)$$

Elde edilen rijitlik terimleri ile kısmi bağlı çubuğa ait eleman rijitlik matrisi (4.18)'deki gibi verilebilir [16].

BÖLÜM 5

SAYISAL UYGULAMALAR

5.1 GİRİŞ

Bu bölümde uygulama amacıyla, tasarım aşamasında mafsallı olarak modellendirilen kafes sistemler ile rijit ve bazı durumlarda mafsallı birleşimlerden oluştuğu kabul edilen prefabrik yapı sistemleri incelenmiştir. Bu sistemleri mafsallı, kısmi ve tam bağlı durumlarda incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak C++ programlama diliyle [17-19] bir program geliştirilmiştir. Bu programın listesi Ek Açıklamalar A'da verilmiştir. Çalışmada yapı elemanlarının kesit tipleri, yapının geometrisi ve eleman bağılıklarının kesit tesirleri, yerdeğiştirmeler ve gerilmeler üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bunun için iki tip kafes sistem ve iki tip prefabrik yapı sistemi örnek olarak seçilmiştir.

5.2 KAFES SİSTEM UYGULAMALARI

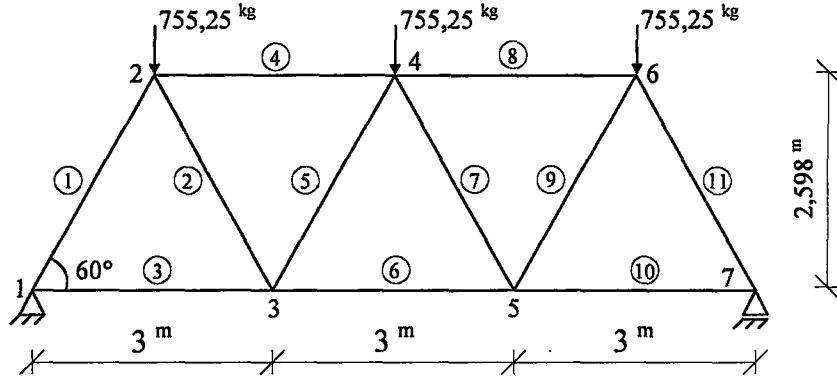
Uygulama amacı ile geometrileri dikkate alınarak eşit açılı gözlerden ve farklı açılı gözlerden oluşan iki kafes sistem seçilmiştir. Bu sistemler kesit tipleri ve düğüm noktalarına bağılılık yüzdeleri dikkate alınarak incelenmiştir.

5.2.1 Eşit Açılı Gözlerden Oluşan Kafes Sistem

Eşkenar üçgen gözlerden oluşan sistemde kesit tipleri ve çubuk uçlarındaki bağılılık yüzdeleri dikkate alınarak yerdeğiştirmeler ve gerilmeler incelenmiştir.

5.2.1.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu

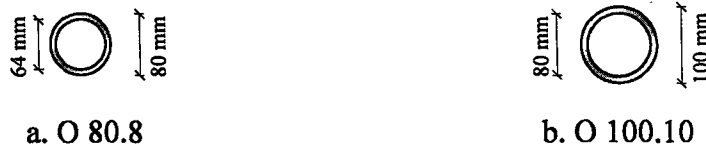
Uygulama için seçilen eşkenar üçgen gözlerden oluşan kafes sistem modeli ve yükleme durumu Şekil 5.1'de verilmiştir. Bu sistem geometrik olarak ideal kafes sistem geometrisine sahiptir [1].



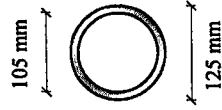
Şekil 5.1 Eşkenar üçgen gözlerden oluşan kafes sistem modeli ve yükleme durumu.

5.2.1.2 Kullanılan Kesit Tipleri

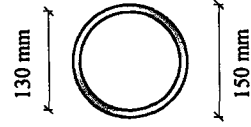
Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde 12 adet farklı kesit özelliklerine sahip elemanlar kullanılmıştır. Bu elemanların altısı dairesel kesitli, ikisi JL , dördü L kesitlidir (Şekil 5.2). Çalışmada “ JL ve L kesitli” ifadesi yerine “profil kesitli” ifadesi kullanılmıştır. Dairesel ve profil kesitli elemanlar seçilirken kesit alanlarının birbirine eşit denilebilecek kadar yakın olmasına dikkat edilmiştir. Bu kesitler seçilirken kesitlerin piyasadan temin edilebilirliği dikkate alınmamıştır. Burada amaç aynı kesit alanına ancak farklı atalet momentlerine sahip kesitler kullanıldığında yapı elemanlarında oluşan yerdeğiştirme ve gerilmelerin bağlılık durumlarına göre nasıl değiştiğini incelemektir.



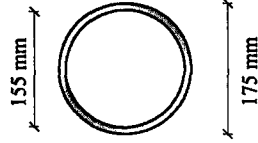
Şekil 5.2 Kullanılan kesit tipleri.



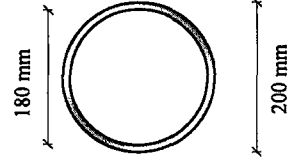
c. O 125.10



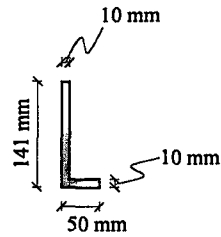
d. O 150.10



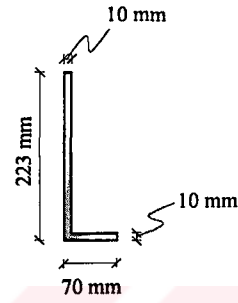
e. O 175.10



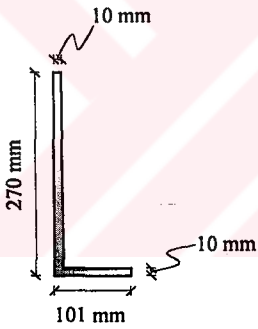
f. O 200.10



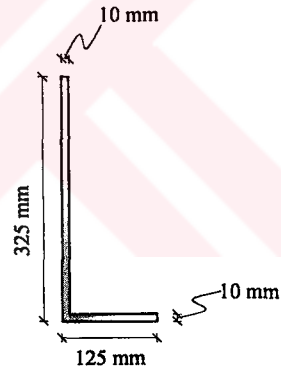
g. L 141.50.10



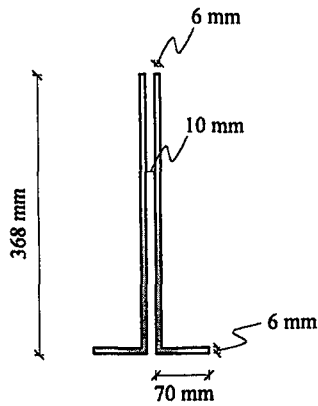
h. L 223.70.10



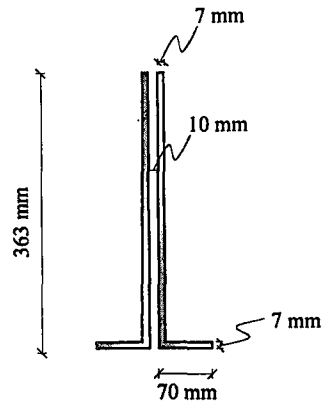
i. L 270.101.10



j. L 325.125.10



k. L 368.70.6



l. L 363.70.7

Şekil 5.2 (Devam Ediyor).

Çalışmada kullanılan kesitlerin alan ve atalet momenti değerleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Kullanılan kesitlerin alan ve atalet momentleri.

| Kesit Tipi | Kesit Alanı (mm ²) | Kesit Atalet Momenti (mm ⁴) |
|--------------|--------------------------------|---|
| O 80.8 | 1809,56 | 1187069,63 |
| L 141.50.10 | 1810 | 3676202,22 |
| O 100.10 | 2827,43 | 2898119,22 |
| L 223.70.10 | 2830 | 14608825,45 |
| O 125.10 | 3612,83 | 6017622,553 |
| L 270.101.10 | 3610 | 27912382,50 |
| O 150.10 | 4398,23 | 10830640,67 |
| L 325.125.10 | 4400 | 49687572,21 |
| O 175.10 | 5183,63 | 17705328,97 |
| 2 L 368.70.6 | 5184 | 71271310,22 |
| O 200.10 | 5969,03 | 27009842,84 |
| 2 L 363.70.7 | 5964 | 79620307,14 |

Seçilen her dairesel kesit bir profil kesitle aynı alana sahip olmasına karşın atalet momentleri arasındaki oran 4,5 kata kadar çıkmaktadır (Çizelge 5.1). Kesitlerin bu şekilde seçilmesi tam mafsalı bağlı olmayan sistemlerde kesit atalet momentlerinin çubukta oluşan yerdeğiştirmelere ve gerilmelere etkisinin incelenmesini sağlamaktadır. Bunun için iki ayrı durum göz önüne alınmıştır.

Birinci durumda sistemdeki tüm çubukların aynı kesitten oluştuğu düşünülmüştür. Bu durumda çubukların aynı kesit alanına sahip dairesel ve profil kesitlerden seçilen birer kesit tipinden oluştuğu kabul edilmiştir. Seçilen kesitler aşağıda verilmiştir.

a. 150.10

b. L 325.125.10

İkinci durumda çubuk kuvvetleri de dikkate alınarak çubukların farklı dairesel ve profil kesitlerden oluştuğu kabul edilmiştir. Sistemde hangi çubuklarda hangi kesitlerin kullanıldığı Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde kullanılan farklı kesitli çubuklar.

| Dairesel Kesitler | Profil Kesitler | Kullanılan Çubuklar |
|-------------------|-----------------|---------------------|
| O 80.8 | L 141.50.10 | 5, 7 |
| O 100.10 | L 223.70.10 | 3, 10 |
| O 125.10 | L 270.101.10 | 2, 9 |
| O 150.10 | L 325.125.10 | 4, 8 |
| O 175.10 | 2 L 368.70.6 | 6 |
| O 200.10 | 2 L 363.70.7 | 1, 11 |

Malzeme türü olarak çelik seçildiği için kullanılan tüm elemanların elastisite modülü değeri sabit olup 21000000 t/m^2 'dir [20].

5.2.1.3 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları

Eşit açılı gözlerden oluşan kafes sistemde aynı kesitli çubukların ve farklı kesitli çubukların kullanılması durumunda değişik bağlılık yüzdeleri kullanılmıştır.

Aynı tip kesitlerin kullanılması durumunda tüm çubuk uçlarında Çizelge 5.3'de verilen bağlılık yüzdeleri dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.3 Aynı kesitli çubuklardan oluşan sistemde kullanılan bağlılık yüzdeleri.

| O 150.10 | | L 325.125.10 | |
|-----------------------|-----|-----------------------|-----|
| Kısmi Bağlılıklar (%) | | Kısmi Bağlılıklar (%) | |
| i | j | i | j |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| 5 | 5 | 5 | 5 |
| 10 | 10 | 10 | 10 |
| 25 | 25 | 25 | 25 |
| 40 | 40 | 40 | 40 |
| 50 | 50 | 50 | 50 |
| 60 | 60 | 60 | 60 |
| 75 | 75 | 75 | 75 |
| 90 | 90 | 90 | 90 |
| 95 | 95 | 95 | 95 |
| 100 | 100 | 100 | 100 |

Farklı tip kesitlerin kullanılması durumunda çubuk uçlarında dikkate alınan bağlılık yüzdeleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

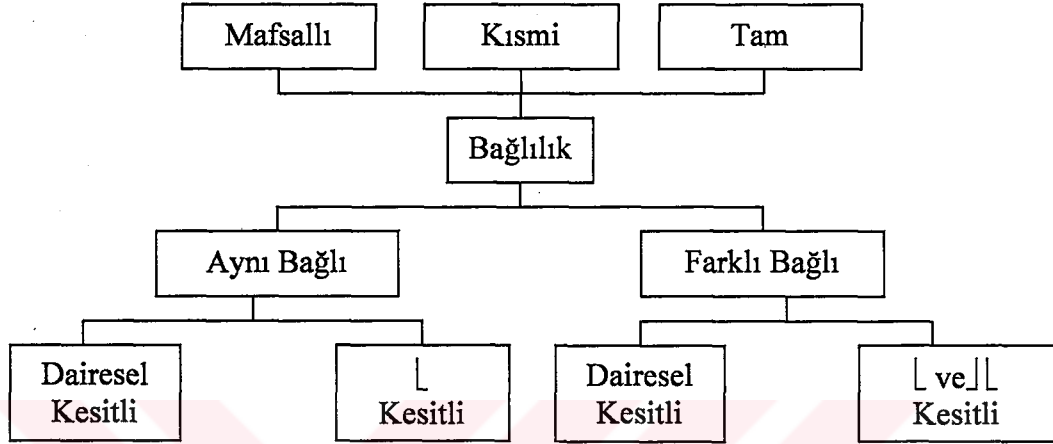
Çizelge 5.4 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda kullanılan bağlılık yüzdeleri.

| Çubuk No | i - j Uçları | | Kısmi Bağlılıklar (%) | | | | |
|----------|--------------|---|-----------------------|----------------|-----------------|-----------------|-----|
| | | | Mafsallı | 5 - 60 Aralığı | 40 - 95 Aralığı | 10 - 95 Aralığı | Tam |
| 1 | i | 1 | 0 | 60 | 95 | 95 | 100 |
| | j | 2 | 0 | 60 | 95 | 90 | 100 |
| 2 | i | 2 | 0 | 25 | 60 | 40 | 100 |
| | j | 3 | 0 | 25 | 60 | 50 | 100 |
| 3 | i | 1 | 0 | 10 | 50 | 75 | 100 |
| | j | 3 | 0 | 10 | 50 | 25 | 100 |
| 4 | i | 2 | 0 | 40 | 75 | 50 | 100 |
| | j | 4 | 0 | 40 | 75 | 75 | 100 |
| 5 | i | 3 | 0 | 5 | 40 | 25 | 100 |
| | j | 4 | 0 | 5 | 40 | 10 | 100 |
| 6 | i | 3 | 0 | 50 | 90 | 75 | 100 |
| | j | 5 | 0 | 50 | 90 | 70 | 100 |
| 7 | i | 4 | 0 | 5 | 40 | 10 | 100 |
| | j | 5 | 0 | 5 | 40 | 25 | 100 |
| 8 | i | 4 | 0 | 40 | 75 | 75 | 100 |
| | j | 6 | 0 | 40 | 75 | 50 | 100 |
| 9 | i | 5 | 0 | 25 | 60 | 50 | 100 |
| | j | 6 | 0 | 25 | 60 | 40 | 100 |
| 10 | i | 5 | 0 | 10 | 50 | 25 | 100 |
| | j | 7 | 0 | 10 | 50 | 75 | 100 |
| 11 | i | 6 | 0 | 60 | 95 | 90 | 100 |
| | j | 7 | 0 | 60 | 95 | 95 | 100 |

Yapılan kaynak ve civata hesaplarına göre çubuklar birleşim noktalarına göre farklı kaynak uzunluklarıyla ya da farklı sayıda ve biçimde civatalarla teşkil edilebilirler. Çubuk

uçlarının bağıllık durumlarının değişmesi, hesaplarda bu uçların farklı bağıllık yüzdeleri ile işleme sokulmasını gerektirmektedir.

Hesaplarda kullanılan bağıllık oranlarının hangi durumlarda dikkate alındığı Şekil 5.3’de verilmiştir.



Şekil 5.3 Şekillerde kullanılan verilerin şematik gösterimi.

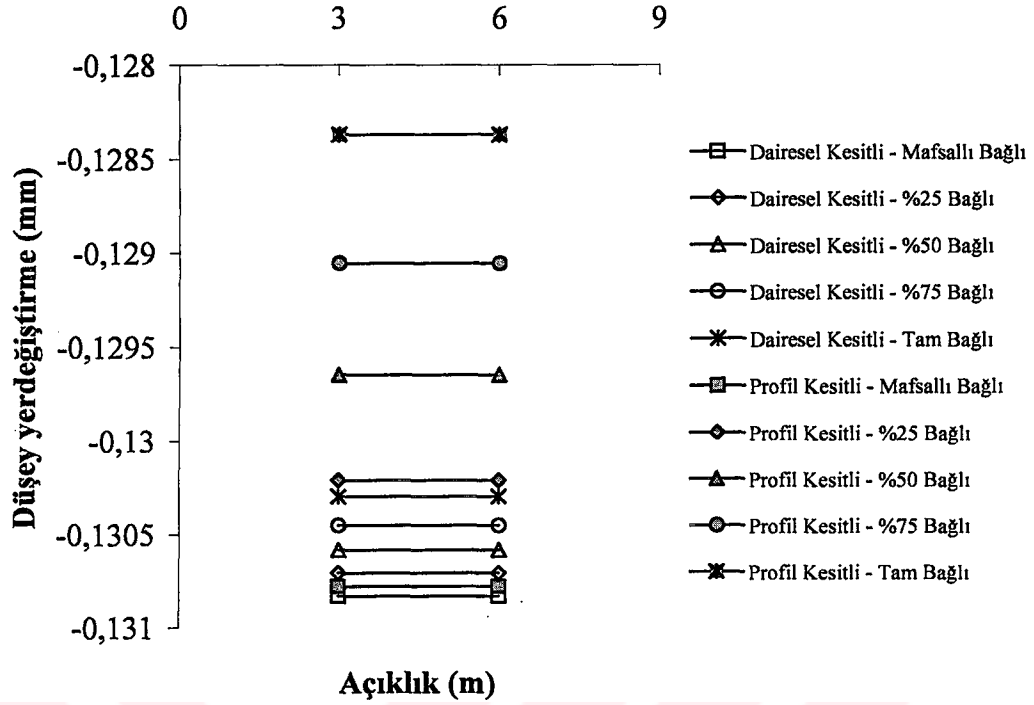
5.2.1.4 Yerdeğiştirmeler

Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde bağıllık yüzdelerinin yerdeğiştirmeleri nasıl etkilediğini incelemek için aynı dairesel kesitli ve aynı profil kesitli çubuklar Çizelge 5.5’de verilen bağıllık yüzdelerine göre dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.5 Yerdeğiştirmelerde dikkate alınan bağıllık oranları.

| Kesit Tipi | Bağıllık (%) | | | | |
|--------------|--------------|----|----|----|-----|
| | Mafsallı | 25 | 50 | 75 | Tam |
| O 150.10 | Mafsallı | 25 | 50 | 75 | Tam |
| L 325.125.10 | Mafsallı | 25 | 50 | 75 | Tam |

Sisteme düşey yükler etkidiği için düşey yerdeğiştirmeler daha etkindir. Bu nedenle 3 ve 5 numaralı düğüm noktalarının düşey yerdeğiştirmelerinde meydana gelen değişim incelenmiştir (Şekil 5.4). -



Şekil 5.4 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde düşey yerdeğiştirmelerin değişimi.

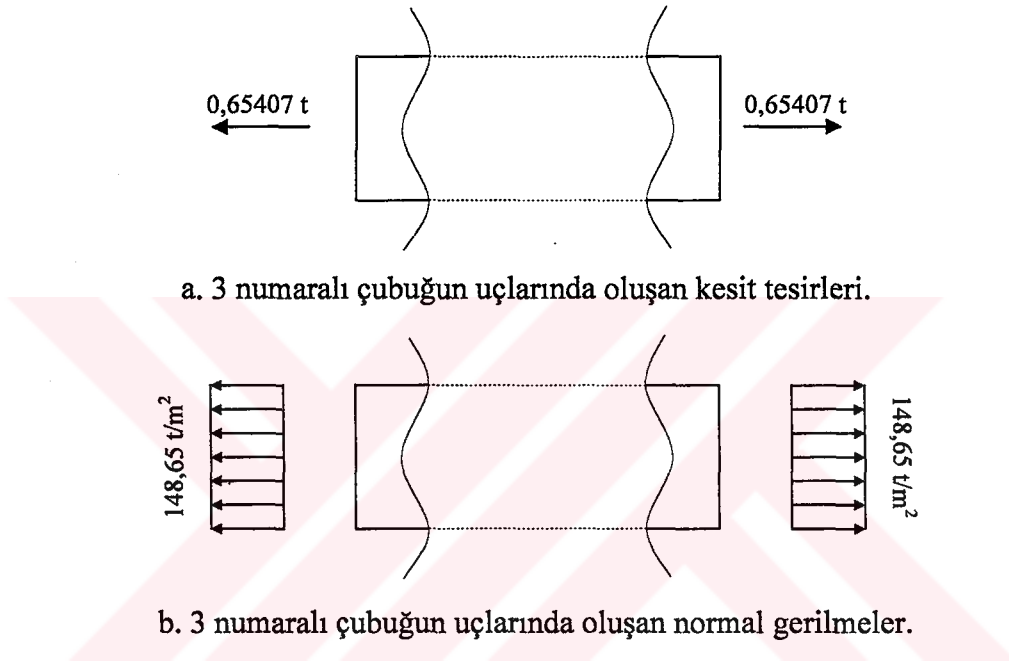
Dairesel ve profil kesitlerin kullanıldığı her iki durumda da bağlilik oranı arttıkça yerdeğiştirmelerin azaldığı Şekil 5.4'den açıkça görülmektedir. Mafsallı birleşimler olduğu durumlarda kesit alanlarının birbirine çok yakın olması nedeniyle yerdeğiştirmeler de birbirine çok yakın çıkmıştır. Ancak, bağlilik oranların artmasıyla moment taşımaya başlayan çubuk uçlarında kesit atalet momentlerinin etkisi ortaya çıkmaktadır. Atalet momenti büyük olan profil kesitlerin kullanıldığı sistemlerde elde edilen yerdeğiştirmeler aynı bağlilik yüzdelerinin kullanıldığı dairesel kesitli sistemlerden daha küçük çıkmıştır.

5.2.1.5 Gerilmeler

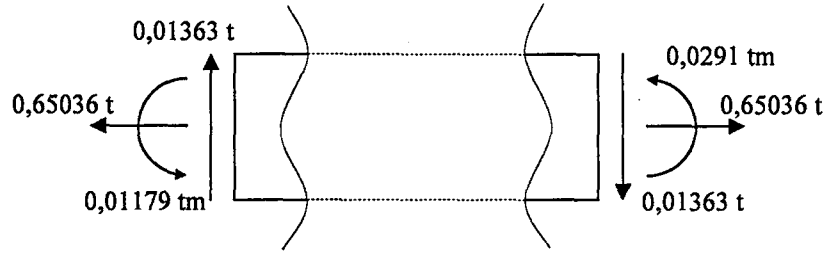
Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4'de verilen bağlilik yüzdeleri dikkate alınarak çubuk uçlarında oluşan gerilmeler incelenmiştir.

Düşey yükler altında simetrik davranış gösteren sistemin sol yarısındaki 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 numaralı çubuklar dikkate alınmıştır.

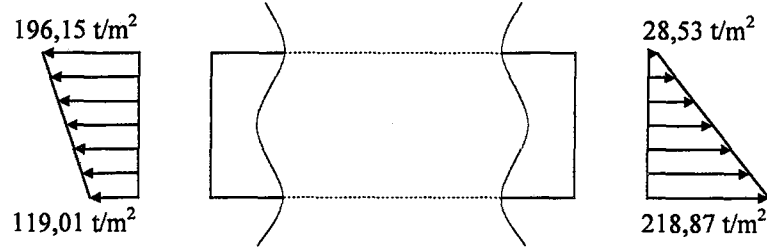
Mafsallı bağılı olarak yapılan çözümlerde çubuk uçlarında ve çubuk boyunca sabit bir gerilme oluşmaktadır (Şekil 5.5). Kısmi ya da tam bağılı olarak yapılan çözümlerde uç momentlerin etkisiyle çubukların alt ve üst noktalarında farklı gerilmeler oluşmaktadır (Şekil 5.6). Dolayısıyla çubuğun her iki ucunda dört farklı gerilme değeri elde edilmektedir. Bu duruma örnek olarak eşit açılı gözlerden oluşan sistemde 3 numaralı çubuğun uçlarında meydana gelen gerilme değişimi çubuğun mafsallı ve tam bağılı olması durumları için Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.5 Mafsallı bağılı durumda oluşan kesit tesirleri ve normal gerilmeler.



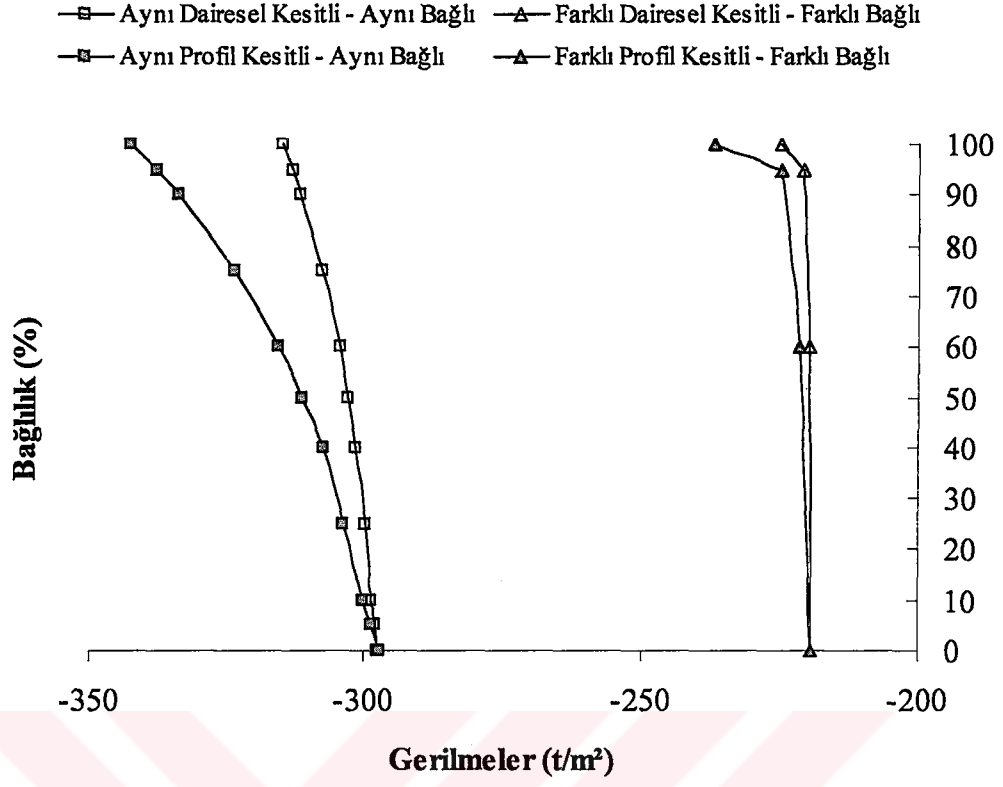
a. 3 numaralı çubuğun uçlarında oluşan kesit tesirleri.



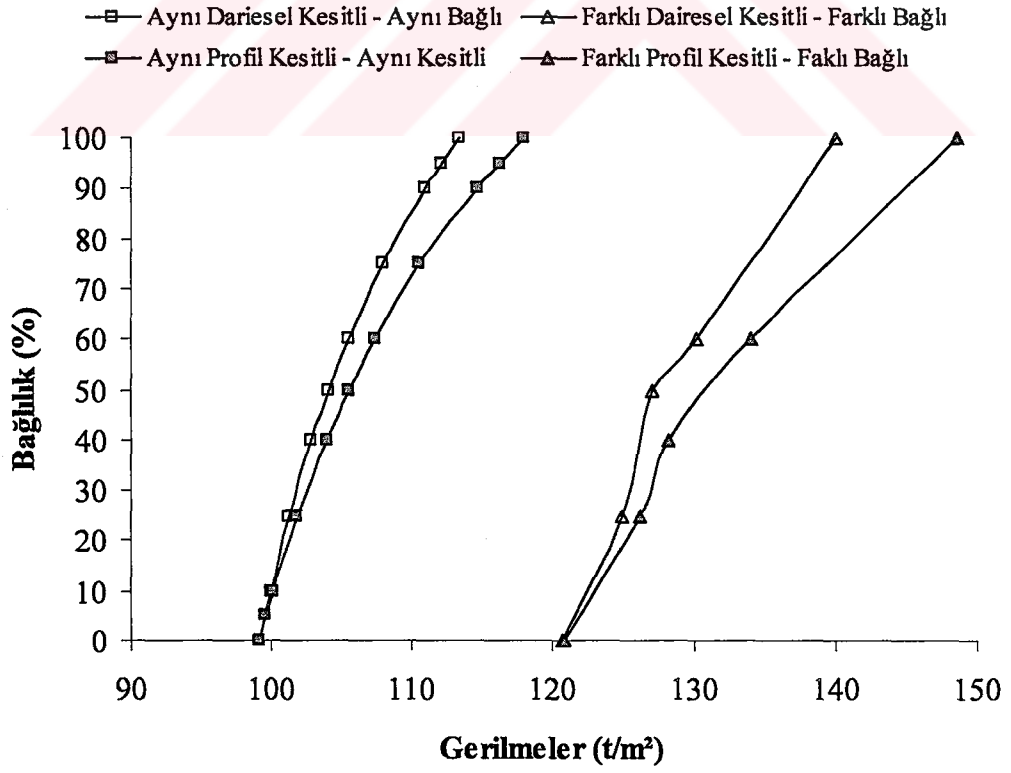
b. 3 numaralı çubuğun uçlarında oluşan normal gerilmeler.

Şekil 5.6 Tam bağlı durumda oluşan kesit tesirleri ve normal gerilmeler.

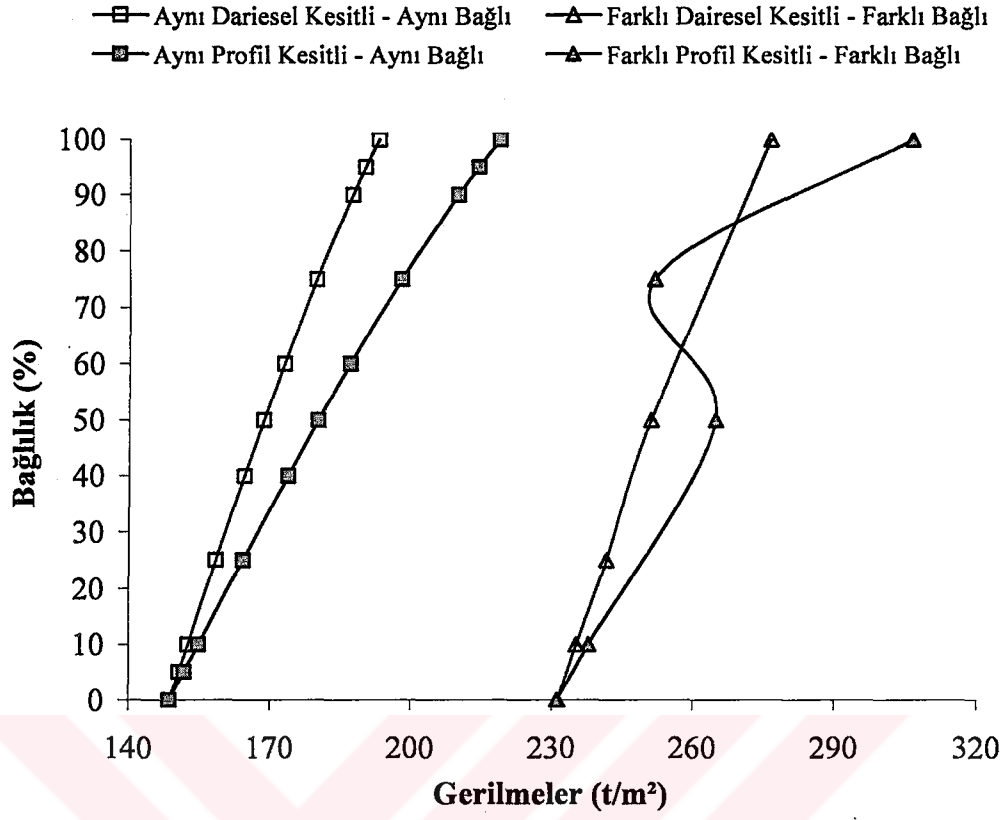
Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde Şekil 5.3'de verilen durumlar için çubuklarda oluşan elverişsiz gerilmeler sistemin sol yarısındaki her bir çubukta aynı anda incelenmiştir (Şekil 5.7-5.12). Çeliğin çekme ve basınç mukavemeti birbirine eşit olduğu için çubuk uçlarında elde edilen gerilmelerin işaretine bakılmaksızın elverişsiz olanı dikkate alınmıştır.



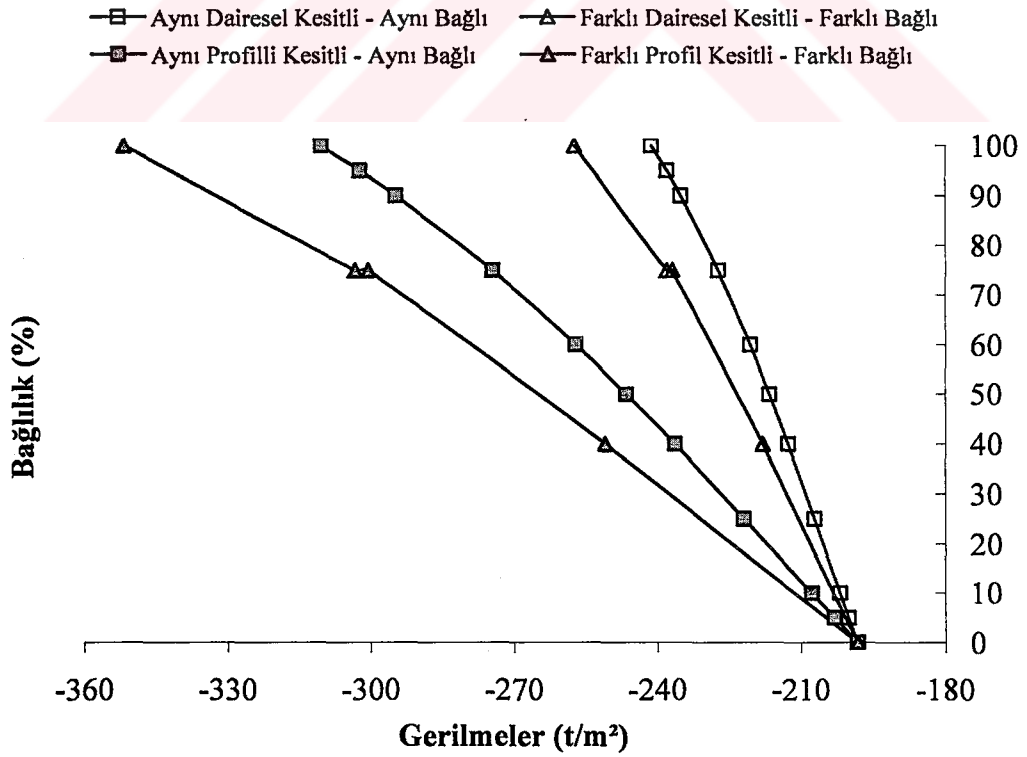
Şekil 5.7 “1” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



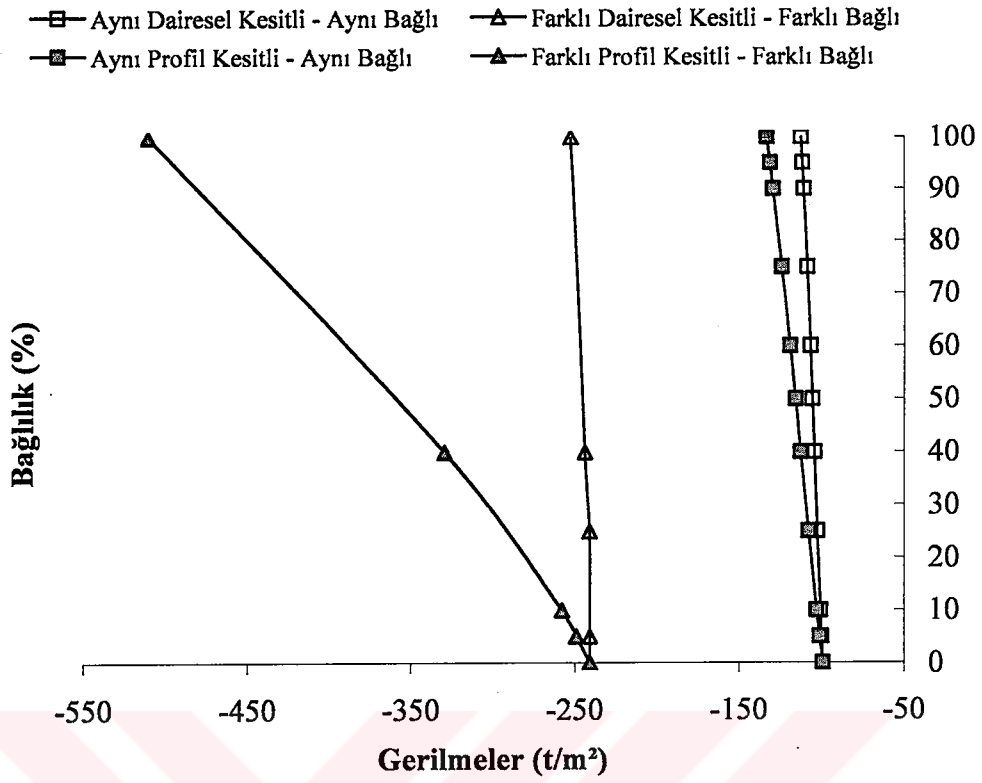
Şekil 5.8 “2” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.



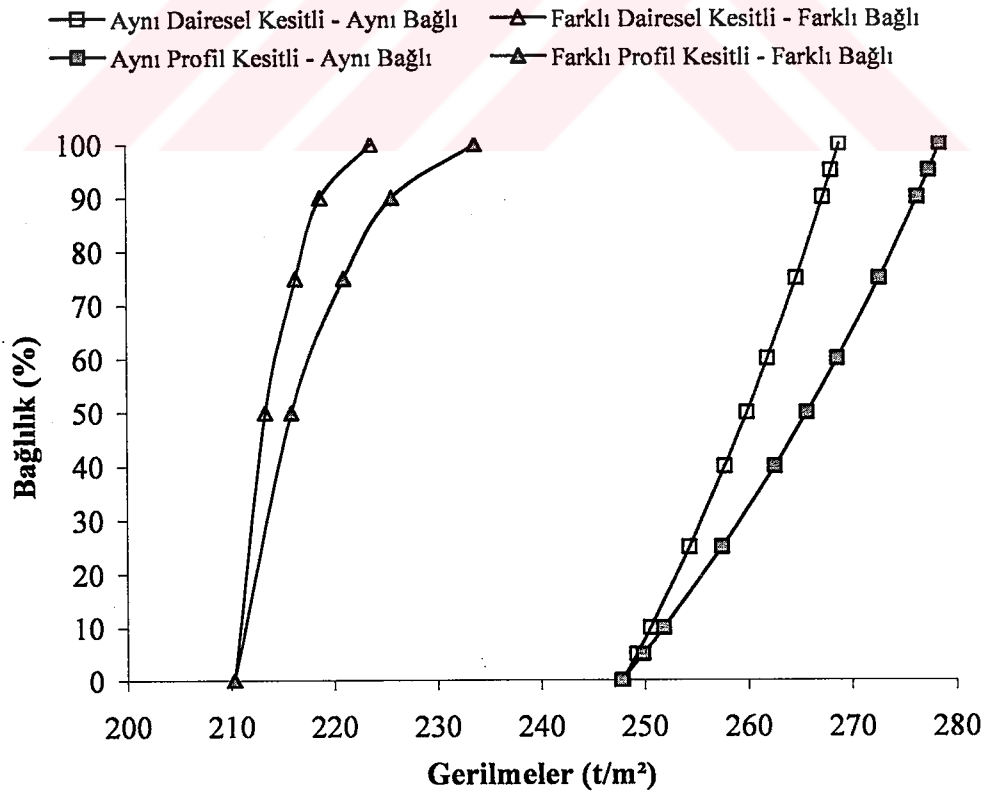
Şekil 5.9 “3” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.



Şekil 5.10 “4” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



Şekil 5.11 “5” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



Şekil 5.12 “6” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.

Şekillerden de anlaşıldığı gibi bu sistemde çubuk elemanlar için elverişsiz durumlar çubukların tam bağlı olması durumunda oluşmaktadır. Mafsallı bağlı durumda en elverişli gerilmeler oluşmaktadır. Kısmi bağlı durumlarda çubuğun bağlılık durumundaki değişimle birlikte çubuktaki gerilmelerde değişmektedir. Bu durumda elde edilen gerilme değerleri mafsallı ve tam bağlı durumda elde edilen değerlerin arasında kalmaktadır.

Bu sistem, düğüm noktalarından mafsallı olması durumunda izostatik bir sistemdir. Bu durumda çubuk kuvvetleri kesit tipi ve boyutlarından bağımsızdır. Ancak, farklı kesitler kullanıldığında çubuk kuvvetleri değişmezken, çubuk üzerinde oluşan normal gerilmeler kesit alanının büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir.

4 numaralı çubuğun mafsallı bağlı olması durumunda tüm gerilmeler eşit çıkmaktadır (Şekil 5.10). Çünkü bu çubukta kullanılan kesit, aynı kesitlerin kullanıldığı durumda da farklı kesitlerin kullanıldığı durumda da aynıdır. Diğer çubuklarda ise bu iki durumda farklı kesitler kullanıldığından çubukta oluşan aksenal kuvvetler aynı olmasına rağmen gerilmeler değişmektedir. Eğer farklı kesitlerin kullanıldığı durumdaki çubuğun kesit alanı, aynı kesitin kullanıldığı durumdaki kesit alanından büyükse çubukta oluşan gerilmeler azalmakta, tersi durumda ise gerilmeler artmaktadır.

3 numaralı çubuğun farklı profil kesitle ve farklı yüzdeyle bağlı olması durumunda çubuğun i ucundaki bağlılık yüzdesi %75'e çıktığında elde edilen gerilme değeri azalmıştır (Şekil 5.9). Bu çubukta diğer çubuklardan farklı olarak %10-95 bağlılık aralığında çubuğun i ucunda kullanılan bağlılık yüzdesi (%75), %5-60 ve %40-95 bağlılık aralıklarında kullanılan bağlılık yüzdelere (%10, %50) daha büyüktür. Bu nedenle %10-95 bağlılık aralığının kullanıldığı sistemde elverişsiz gerilmeler diğer bağlılık durumlarından farklı olarak çubuğun sol ucunda elde edilmiştir. Bu durum, çubuğun bir ucundaki gerilmenin yalnızca o ucun bağlılık oranına değil, diğer ucun bağlılık oranına ve sistemin genel bağlılık oranlarına da bağlı olduğunu göstermektedir.

Burada incelenen bir diğer durum da aynı kesit alanına sahip ancak farklı atalet momentli kesitlerin kullanıldığı sistemlerdir. Daha önce de belirtildiği gibi çubuk sistemlerinin mafsallı bağlı olduğu durumlarda sistem izostatik ise çubukta yalnızca normal kuvvet oluşmaktadır. Çubuğun kesit özelliklerinin ise çubuk kuvvetlerine etkisi yoktur. Ancak, çubukta oluşan gerilmeler kesit alanının büyüklüğüne göre değişmektedir. Düğüm

noktalarından mafsallı bağı kafes elemanlar, düğüm noktalarına rijit veya kısmi bağı olması durumunda çerçeve eleman gibi davranırlar. Kafes elemanlardan oluşan izostatik bir sistem, eğer çerçeve elemanlardan oluşursa hiperstatik bir sistem olmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin çözümünde kesit atalet momentlerinin etkisi ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla izostatik kafes sistemlerin düğüm noktalarından tam ya da kısmi bağı olarak çözümlerinde kesit atalet momentleri, moment taşıma özellikleri ile gerilmeleri etkilemektedir. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki aynı kesitlerin kullanıldığı iki sistemdeki çubukların kesit alanlarının aynı, atalet momentlerinin farklı olması ve çubukların kısmi ya da tam bağı olması durumunda, atalet momentleri büyük olan kesitlerden oluşan sistemdeki çubuklar daha büyük momentler taşımakta, bunun sonucunda da kesitler için daha elverişsiz gerilmeler oluşmaktadır. Benzer şekilde farklı kesitli çubuklardan oluşan iki sistemdeki çubukların kesit alanlarının aynı, atalet momentlerinin farklı olması ve kısmi ya da tam bağı olmaları durumunda da atalet momenti büyük olan kesitlerde daha büyük momentler dolayısıyla daha elverişsiz gerilmeler oluşmaktadır.

Farklı kesitli çubukların farklı yüzdelerle bağı olduğu durumda 5 numaralı çubukta en küçük kuvvetler olduğu göz önüne alınarak en küçük kesitler kullanılmıştır. Bunun sonucunda da çubukta daha elverişsiz gerilmeler elde edilmiştir. Profil kesitli çubukların kullanıldığı durumda ise kesit atalet momentlerinin de etkisiyle gerilmelerde çok büyük bir artış olmuştur (Şekil 5.11).

Aynı kesitlerin ve farklı kesitlerin kullanıldığı durumlar ayrı ayrı göz önüne alındığında çubuklarda oluşan maksimum ve minimum gerilmeler arasında belirgin oranda farklar olduğu görülmektedir. Aynı profil kesitli çubukların kullanıldığı sistemlerde çubuk uçlarında oluşan gerilmelerin en elverişli ve elverişsiz olduğu durumlar Çizelge 5.6'da karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.6 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde aynı profil kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması.

| Çubuk No | Elverişli Gerilmeler (t/m^2) | | Elverişsiz Gerilmeler (t/m^2) | | Elverişsiz Gerilme / Elverişli Gerilme |
|----------|----------------------------------|---------|-----------------------------------|---------|--|
| | Durum | Gerilme | Durum | Gerilme | |
| 1 | Mafsallı Bağlı | -297,30 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -342,54 | 1,15 |
| 2 | Mafsallı Bağlı | 99,10 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 117,90 | 1,19 |
| 3 | Mafsallı Bağlı | 148,65 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 218,87 | 1,47* |
| 4 | Mafsallı Bağlı | -198,20 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -310,29 | 1,57* |
| 5 | Mafsallı Bağlı | -99,1 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -133,35 | 1,35 |
| 6 | Mafsallı Bağlı | 247,75 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 278,51 | 1,12 |

Kafes sistemler için en ideal durum olarak kabul edilen eşkenar üçgen gözlerden ve dairesel kesitlerden oluşan sistemle profil kesitli çubuklardan oluşan sistemin mafsallı bağlı olduğu durumda aynı gerilmeler elde edilmiştir. Ancak, sistemin kısmi veya tam bağlı olması durumunda profil kesitli çubuklarda daha elverişsiz gerilmeler oluşmaktadır. Çizelge 5.6'da verilen elverişli gerilmeler mafsallı bağlı duruma ait olmakla birlikte elverişsiz gerilmeler profil kesitli çubukların tam bağlı olduğu duruma aittir. Günümüzde tam mafsallı birleşimlerin yapılamadığı göz önüne alındığında gerilmelerin 1,12 ile 1,57 kat arasında arttığı görülmektedir. Aynı dairesel kesitli çubuklardan oluşan sistemde de elverişli gerilmeler mafsallı bağlı durumda, elverişsiz gerilmeler tam bağlı durumda elde edilmiştir. Aynı profil kesitli ve aynı dairesel kesitli çubukların tam bağlı olması durumunda elde edilen gerilmeler Çizelge 5.7'de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.7 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde tam bağlı durumda aynı profil ve dairesel kesitli çubuklarda oluşan elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması.

| Çubuk No | (P) Profil Kesitli | (D) Dairesel Kesitli | $\frac{P}{D}$ |
|----------|--------------------------------|--------------------------------|---------------|
| | Elverişsiz Gerilme (t/m^2) | Elverişsiz Gerilme (t/m^2) | |
| 1 | -342,54 | -315,10 | 1,09 |
| 2 | 117,90 | 113,43 | 1,04 |
| 3 | 218,87 | 193,19 | 1,13 |
| 4 | -310,29 | -241,23 | 1,29* |
| 5 | -133,45 | -112,43 | 1,19 |
| 6 | 278,51 | 268,87 | 1,04 |

* En kritik gerilme artışlarının olduğu elemanlar

Aynı profil ve aynı dairesel kesitlerden oluşan sistemlerde mafsallı bağlı durumda aynı gerilme değerleri elde edilirken, tam bağlı olmaları durumunda elverişsiz gerilmeler arasındaki oran 1,29 kata kadar çıkmaktadır. Bu durum da kesit atalet momentlerinin gerilmeler üzerindeki etkisini göstermektedir.

Farklı kesitli çubuklardan oluşan sistemlerde de elverişsiz gerilmeler profil kesitli çubukların tam bağlı olduğu durumda elde edilmiştir. Elverişli gerilmeler yine çubukların mafsallı bağlı olduğu durumda elde edilmiştir. Bu sistemde oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmeler Çizelge 5.8’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.8 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması.

| Çubuk No | Elverişli Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilme / Elverişli Gerilme |
|----------|--|---------|---|---------|--|
| | Durum | Gerilme | Durum | Gerilme | |
| 1 | Mafsallı Bağlı | -219,34 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -236,79 | 1,08 |
| 2 | Mafsallı Bağlı | 120,79 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 148,64 | 1,23 |
| 3 | Mafsallı Bağlı | 231,12 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 306,27 | 1,33 |
| 4 | Mafsallı Bağlı | -198,20 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -351,56 | 1,77* |
| 5 | Mafsallı Bağlı | -240,91 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -510,53 | 2,12* |
| 6 | Mafsallı Bağlı | 210,28 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 233,72 | 1,11 |

Kafes sistemlerin farklı kesitli çubuklarla teşkilinin yaygın olduğu dikkate alınırsa Çizelge 5.8’de elde edilen oranlar büyük önem göstermektedir. Bu durumda elde edilen elverişsiz gerilmelerle elverişli gerilmeler arasındaki oran 2,12 kata kadar çıkmaktadır.

Gerilmelerdeki bu artış ideal kafes sistemlerde bile uygulamada mafsallı birleşimlerin oluşturulamaması durumunda mafsallı bağlı çözümlerin yeterince güvenilir olmadığını göstermektedir.

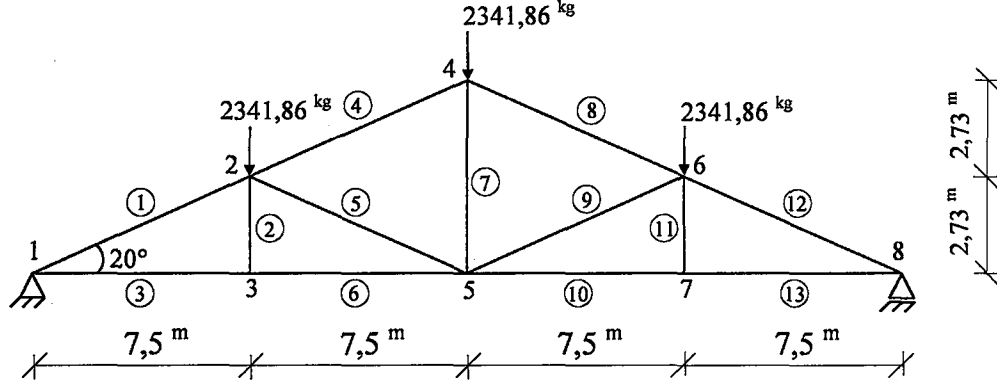
5.2.2 Farklı Açılı Gözlerden Oluşan Kafes Sistem

Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde de kesit tipleri ve çubuk uçlarındaki bağlılık yüzdeleri dikkate alınarak yerdeğiştirmeler ve gerilmeler incelenmiştir.

* En kritik gerilme artışlarının olduğu elemanlar

5.2.2.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu

Uygulama için seçilen farklı açılı üçgen gözlerden oluşan kafes sistem modeli ve yükleme durumu Şekil 5.13'de verilmiştir. Bu sistem geometrisi nedeniyle ideal kafes sistem tanımından uzaklaşmaktadır [1].



Şekil 5.13 Farklı açılı gözlerden oluşan sistem modeli ve yükleme durumu.

5.2.2.2 Kullanılan Kesit Tipleri

Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde de Şekil 5.2'de verilen kesitler kullanılmıştır. Bu sistemde de kullanılan kesitler iki ayrı durumda dikkate alınmıştır.

Birinci durumda tüm çubuklar aynı dairesel (O 150.10) ve aynı profil kesitlerden (L 325.125.10) oluşturulmuştur.

İkinci durumda ise çubuk kuvvetleri de dikkate alınarak çubukların farklı dairesel ve profil kesitlerden oluştuğu kabul edilmiştir. Sistemde hangi çubuklarda hangi kesitlerin kullanıldığı Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde kullanılan farklı kesitli çubuklar.

| Dairesel Kesitler | Profil Kesitler | Kullanılan Çubuklar |
|-------------------|-----------------|---------------------|
| O 80.8 | L 141.50.10 | 2, 11 |
| O 100.10 | L 223.70.10 | 7 |

Çizelge 5.9 (devam ediyor)

| | | |
|----------|--------------|--------------|
| O 125.10 | L 270.101.10 | 5, 9 |
| O 150.10 | L 325.125.10 | 4, 8 |
| O 175.10 | 2 L 368.70.6 | 3, 6, 10, 13 |
| O 200.10 | 2 L 363.70.7 | 1, 12 |

Bu sistemde de malzeme türü olarak çelik seçilmiş olup kullanılan tüm elemanların elastisite modülü değeri 21000000 t/m^2 'dir [20].

5.2.2.3 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları

Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde de aynı kesitli çubukların ve farklı kesitli çubukların kullanılması durumunda değişik bağlılık yüzdeleri kullanılmıştır.

Aynı tip kesitlerin kullanılması durumunda tüm çubuk uçlarında yine Çizelge 5.3'de verilen bağlılık yüzdeleri dikkate alınmıştır.

Farklı tip kesitlerin kullanılması durumunda çubuk uçlarında dikkate alınan bağlılık yüzdeleri Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde farklı kesitli çubuklarda kullanılan bağlılık yüzdeleri.

| Çubuk No | i - j Uçları | | Kısmi Bağlılık Oranları (%) | | | | |
|----------|--------------|---|-----------------------------|----------------|-----------------|----------------|-----|
| | | | Mafsallı | 5 - 60 Aralığı | 40 - 95 Aralığı | 5 - 95 Aralığı | Tam |
| 1 | i | 1 | 0 | 60 | 95 | 75 | 100 |
| | j | 2 | 0 | 60 | 95 | 95 | 100 |
| 2 | i | 2 | 0 | 5 | 40 | 10 | 100 |
| | j | 3 | 0 | 5 | 40 | 5 | 100 |
| 3 | i | 1 | 0 | 50 | 90 | 75 | 100 |
| | j | 3 | 0 | 50 | 90 | 90 | 100 |

Çizelge 5.10 (devam ediyor)

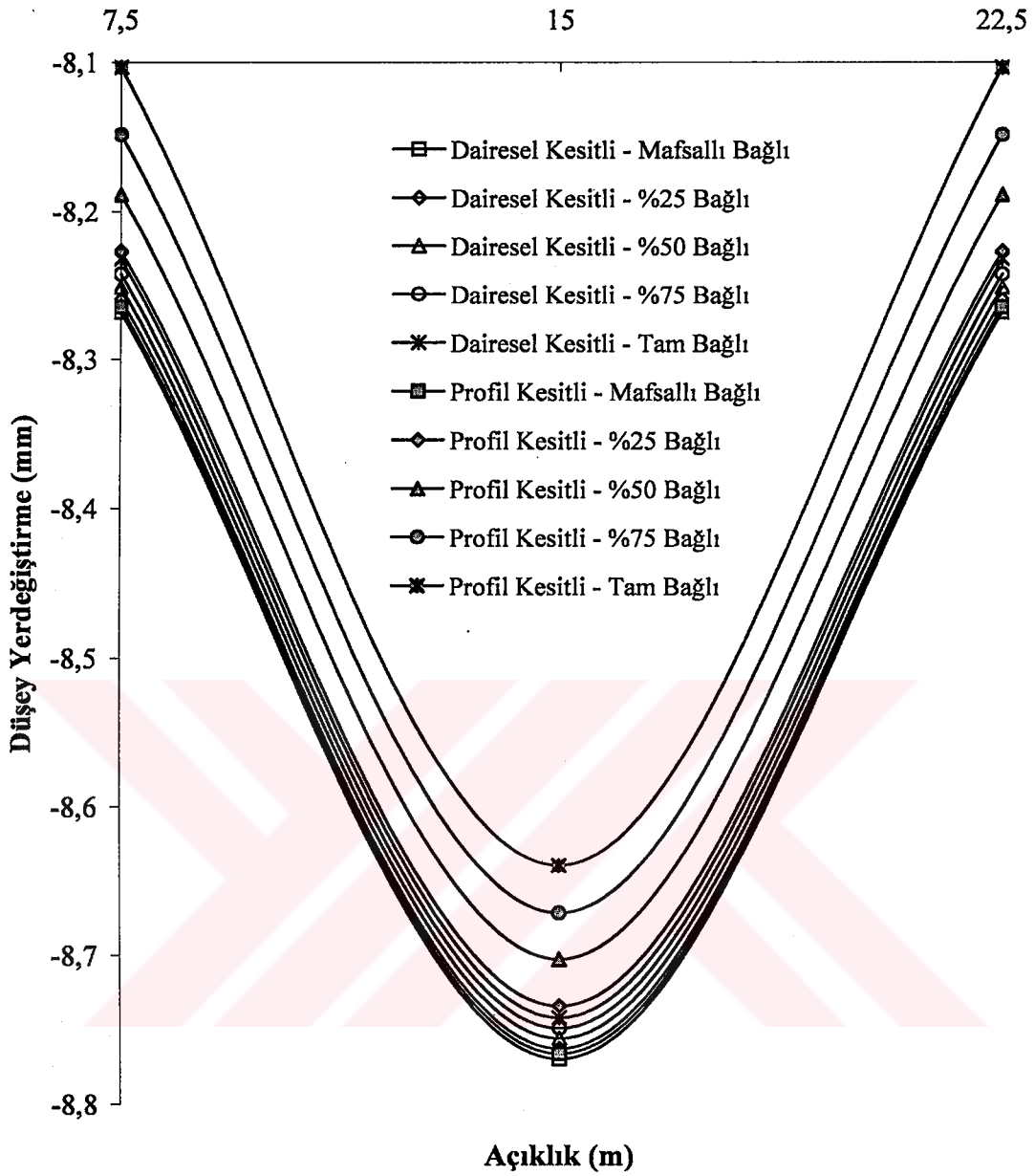
| | | | | | | | |
|----|---|---|---|----|----|----|-----|
| 4 | i | 2 | 0 | 40 | 75 | 75 | 100 |
| | j | 4 | 0 | 40 | 75 | 60 | 100 |
| 5 | i | 2 | 0 | 25 | 60 | 50 | 100 |
| | j | 5 | 0 | 25 | 60 | 40 | 100 |
| 6 | i | 3 | 0 | 50 | 90 | 90 | 100 |
| | j | 5 | 0 | 50 | 90 | 75 | 100 |
| 7 | i | 4 | 0 | 10 | 50 | 25 | 100 |
| | j | 5 | 0 | 10 | 50 | 25 | 100 |
| 8 | i | 4 | 0 | 40 | 75 | 60 | 100 |
| | j | 6 | 0 | 40 | 75 | 75 | 100 |
| 9 | i | 5 | 0 | 25 | 60 | 40 | 100 |
| | j | 6 | 0 | 25 | 60 | 50 | 100 |
| 10 | i | 5 | 0 | 50 | 90 | 75 | 100 |
| | j | 7 | 0 | 50 | 90 | 90 | 100 |
| 11 | i | 6 | 0 | 5 | 40 | 10 | 100 |
| | j | 7 | 0 | 5 | 40 | 5 | 100 |
| 12 | i | 6 | 0 | 60 | 95 | 95 | 100 |
| | j | 8 | 0 | 60 | 95 | 75 | 100 |
| 13 | i | 7 | 0 | 50 | 90 | 90 | 100 |
| | j | 8 | 0 | 50 | 90 | 75 | 100 |

Bu sistemde kullanılan bağılık yüzdeleri de Şekil 5.3'deki şemaya göre dikkate alınmıştır.

5.2.2.4 Yerdeğiştirmeler

Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde de bağılık yüzdelerinin yerdeğiştirmeler üzerindeki etkilerini incelemek için aynı dairesel kesitli ve aynı profil kesitli çubuklar Çizelge 5.5'de verilen bağılık yüzdelerine göre dikkate alınmıştır.

Bu sisteme de düşey yükler etkidiği için düşey yerdeğiştirmelerde meydana gelen değişimler 3, 5 ve 7 numaralı düğüm noktalarında incelenmiştir (Şekil 5.14).



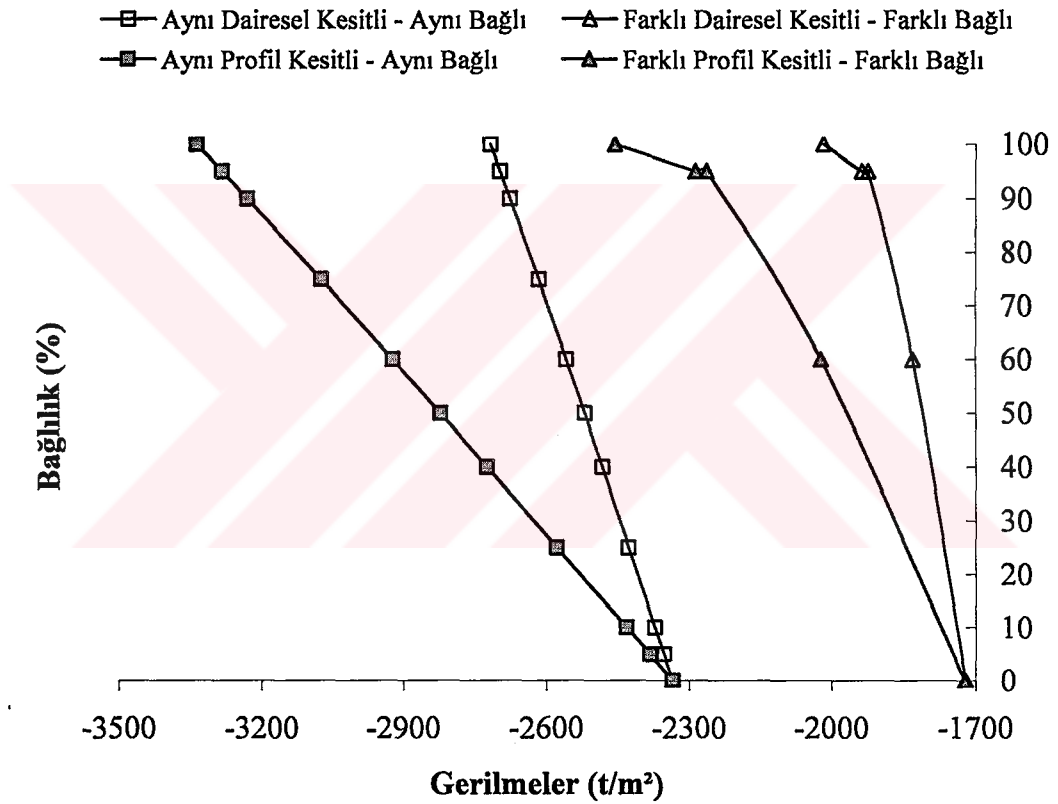
Şekil 5.14 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde düşey yerdeğiştirmelerin değişimi.

Bu sistemde de aynı dairesel ve profil kesitlerin kullanıldığı her iki durumda da bağlilik oranı arttıkça düşey yerdeğiştirmeler azalmaktadır (Şekil 5.14). Mafsallı bağli olarak yapılan çözümlerde kesit alanlarının birbirine çok yakın olması nedeniyle yerdeğiştirmeler de birbirine çok yakın çıkmıştır. Aynı bağlilik yüzdelерinin kullanıldığı durumlarda elde edilen düşey yerdeğiştirmeler kesit atalet momenti daha büyük olan profil kesitli çubukların kullanıldığı sistemlerde daha küçüktür.

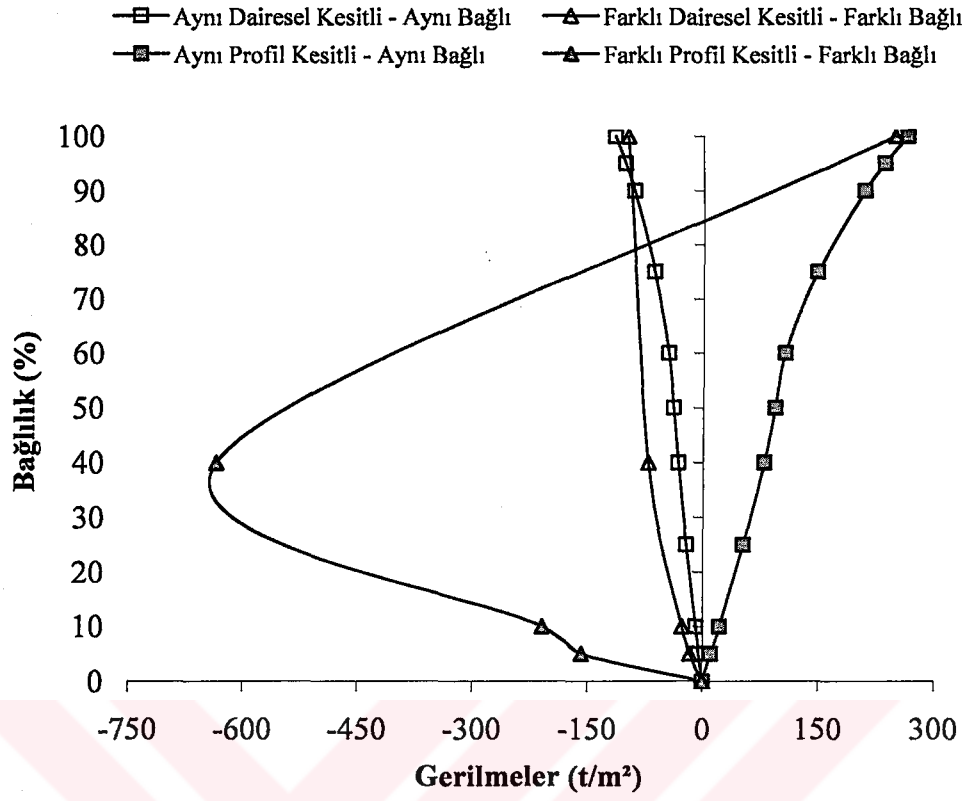
5.2.2.5 Gerilmeler

Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.10'da verilen bağıllık yüzdeleri dikkate alınarak çubuk uçlarında oluşan gerilmeler incelenmiştir. Bu sistemde de çubuk uçlarında oluşan gerilmelerden elverişsiz olanlar dikkate alınmıştır.

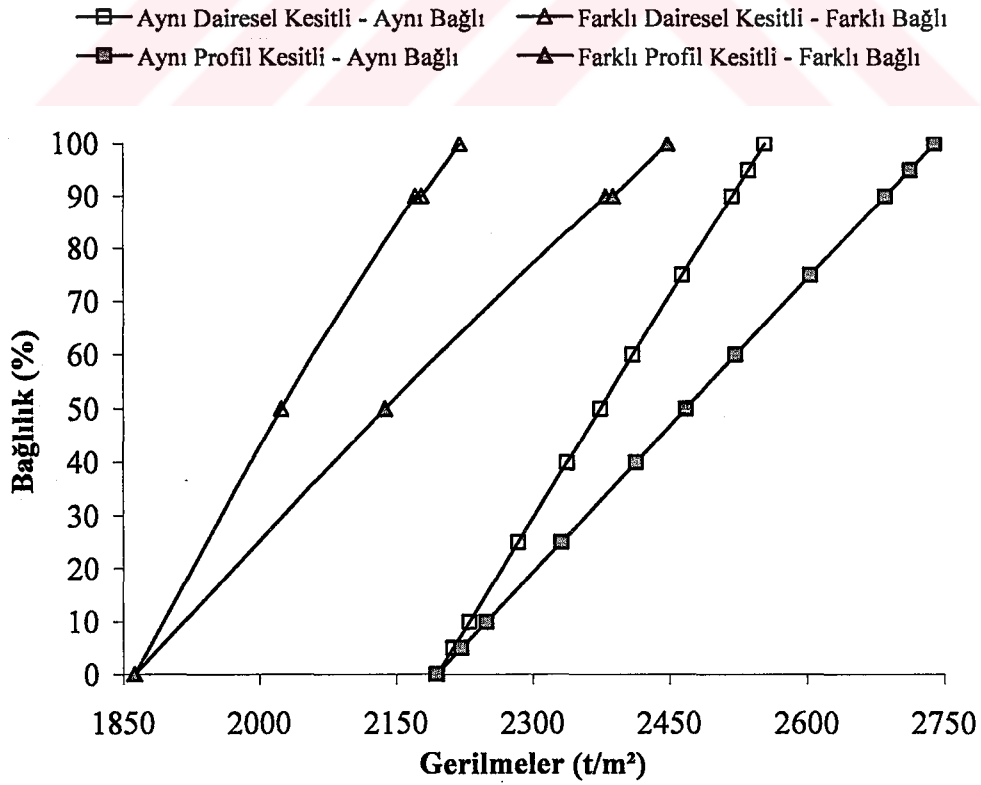
Çalışmada simetri nedeniyle sistemin sol yarısındaki 1, 2, 3, 4, 5, 6 numaralı çubuklar ve simetri ekseninde bulunan 7 numaralı çubuk dikkate alınmıştır. Bu çubuklar Şekil 5.3'de verilen durumlar için incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 5.15-5.21'de verilmiştir.



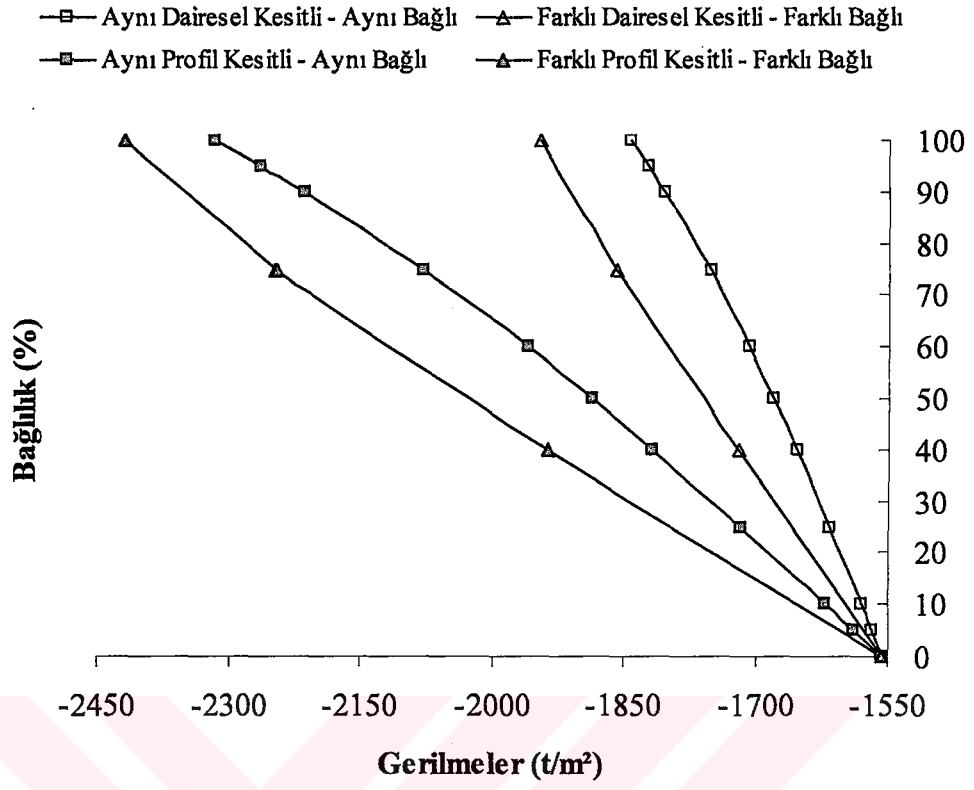
Şekil 5.15 "1" numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



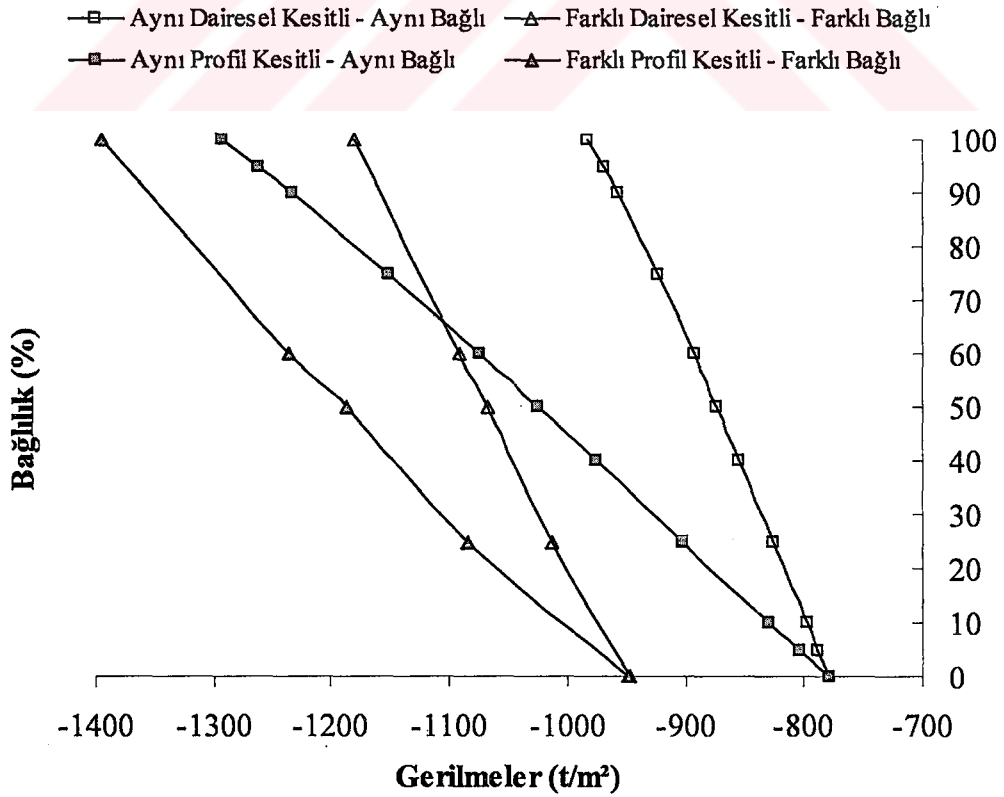
Şekil 5.16 “2” numaralı çubukta oluşan maksimum ve minimum gerilmeler.



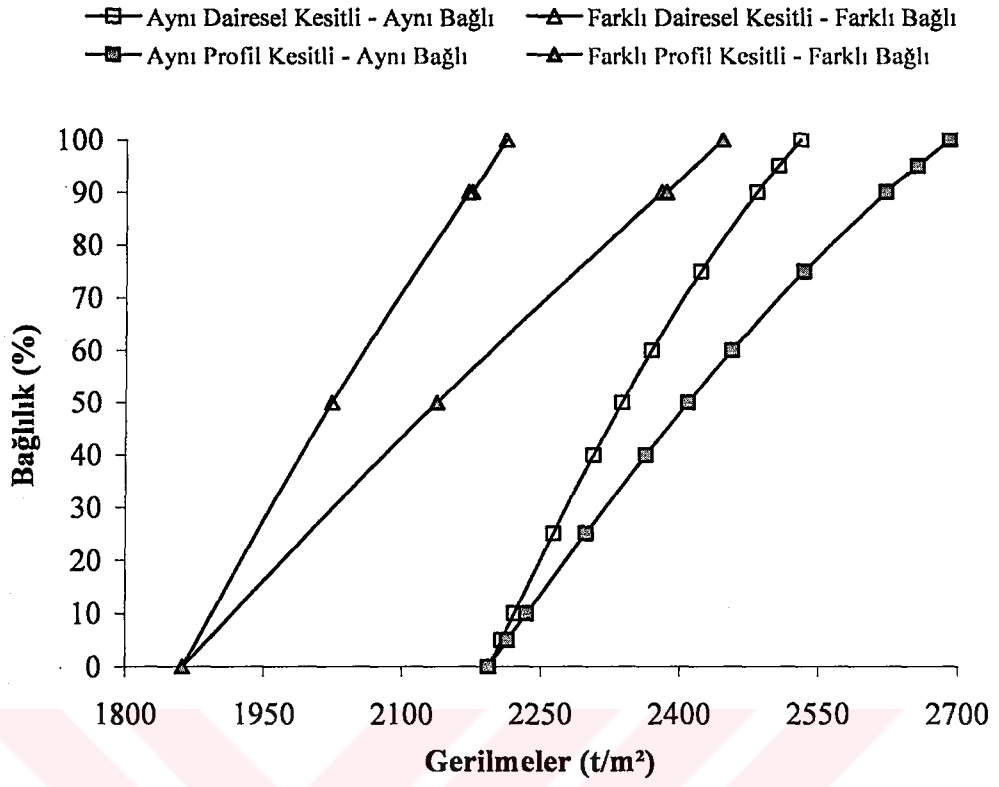
Şekil 5.17 “3” numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.



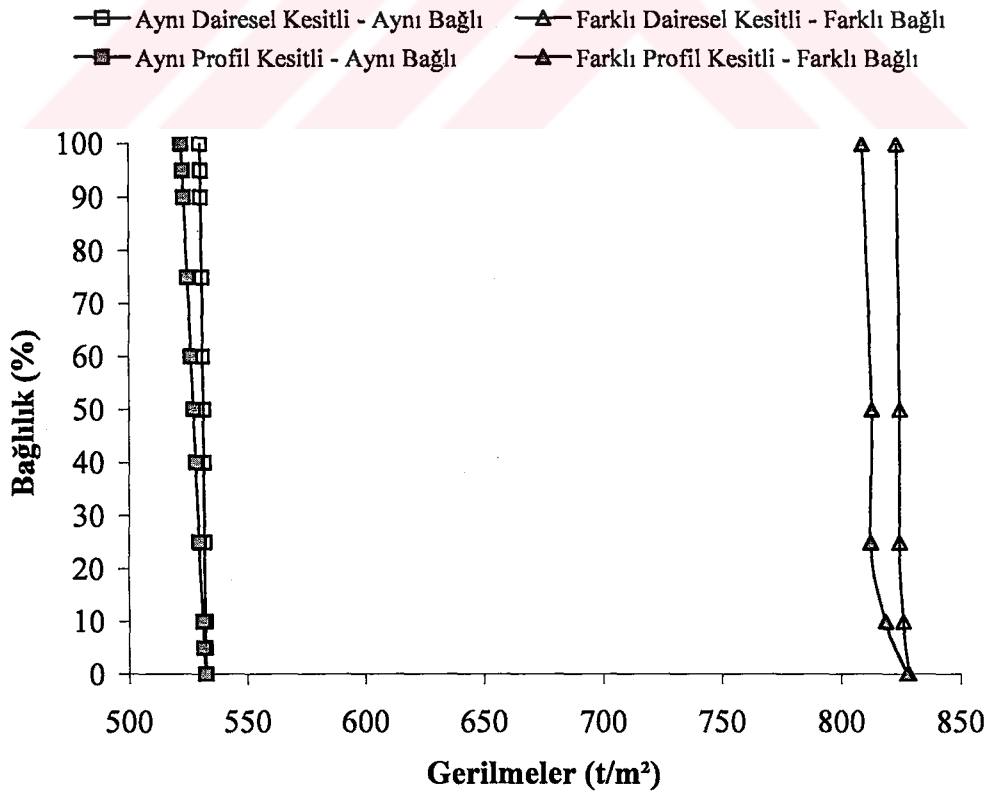
Şekil 5.18. “4” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



Şekil 5.19 “5” numaralı çubukta oluşan minimum gerilmeler.



Şekil 5.20 "6" numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.



Şekil 5.21 "7" numaralı çubukta oluşan maksimum gerilmeler.

Bu sistemde dikme çubukları ihmal edildiğinde elverişsiz gerilmeler çubukların tam bağlı olması durumunda oluşmaktadır. Dikmelerde ise bazı özel durumlar oluşmuştur.

2 numaralı çubukta (dikme) sistemin mafsalı bağlı olması durumunda kuvvet ve dolayısıyla gerilme oluşmazken, kısmi ya da tam bağlı olması durumlarında ise kesit tesirleri ve gerilmeler oluştuğu görülmektedir. Gerilme değerlerinin bağlılığın artması ile arttığı görülmektedir. Ancak farklı profil kesitlerin farklı oranlarla bağlandığı durumda, sistemin tam bağlı olması halinde elverişsiz gerilmelerin basınç gerilmesi olması beklenirken çekme gerilmesi olduğu görülmektedir. Bu çubukta diğer çubuklardan farklı olarak aynı kesit alanına ve farklı atalet momentine sahip kesitler kullanıldığında elverişsiz gerilmeler, dairesel kesitlerde basınç gerilmesi, profil kesitlerde çekme gerilmesi olmaktadır. Bu iki durumda kesitlerin üst kısmında çekme gerilmesi oluşurken alt kısmında ise basınç gerilmesi oluşmuştur. Aynı dairesel kesitlerden oluşan sistemde kesitin alt kısmında, aynı profil kesitlerden oluşan sistemde ise kesitin üst kısmında elverişsiz gerilmeler oluşmuştur. Ayrıca profil kesitli çubuklardan oluşan sistemde dairesel kesitli çubuklardan oluşan sisteme göre daha elverişsiz gerilmeler elde edilmiştir. Profil kesitli çubuklarda kesit yüksekliğinin fazla olması nedeniyle kesitin üst ve alt noktaları arasındaki gerilme farkı daha büyük çıkmıştır. Farklı profil kesitli çubuklardan oluşan sistemin mafsalı bağlı olması ve farklı bağlılık aralıklarının kullanılması durumunda bu çubuğun ucunda elverişsiz gerilme basınç gerilmesi olurken, sistemin tam bağlı olması durumunda elverişsiz gerilme j ucunda çekme gerilmesi olarak elde edilmiştir. Bu durum, bir çubukta oluşan gerilmelerin çubuğun kendi bağlılık oranı kadar sistemdeki diğer çubukların bağlılık oranlarına da bağlı olduğunu göstermiştir.

7 numaralı çubuk (dikme) simetri ekseninde bulunduğu için bu çubuğa özgü bir gerilme durumu oluşmuştur. Bu çubukta bağlılık oranlarının değişmesi gerilmeleri yok denecek kadar az etkilemektedir. Az da olsa meydana gelen değişim bu sistemdeki ve diğer kafes sistemdeki tüm çubukların aksine bağlılık oranı arttıkça gerilmelerin azalması yönündedir.

Alt başlık, üst başlık ve diagonal çubuklarında ise eşit açılı gözlerden oluşan sistemdeki çubuklar için ortaya çıkan durumların aynı şekilde geçerli olduğu görülmüştür.

Bu sistemde de aynı kesitlerin ve farklı kesitlerin kullanıldığı durumlar ayrı ayrı göz önüne alınmıştır. Aynı kesitli çubuklardan oluşan sistemde çubuk uçlarında oluşan elverişli ve

elverişsiz gerilmeler farklı durumlarda elde edilmiştir. Bu gerilmeler Çizelge 5.11’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.11 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde aynı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmelerin karşılaştırılması.

| Çubuk No | Elverişli Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilme / Elverişli Gerilme |
|----------|--|----------|---|----------|--|
| | Durum | Gerilme | Durum | Gerilme | |
| 1 | Mafsallı Bağlı | -2334,25 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -3336,19 | 1,43 |
| 2 | Mafsallı Bağlı | - | a. Dairesel Kesitli Tam Bağlı | -115,02 | - |
| | | | b. Profil Kesitli Tam Bağlı | 265,06 | - |
| 3 | Mafsallı Bağlı | 2193,48 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 2738,91 | 1,25 |
| 4 | Mafsallı Bağlı | -1556,17 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -2317,35 | 1,49* |
| 5 | Mafsallı Bağlı | -778,08 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -1292,37 | 1,66* |
| 6 | Mafsallı Bağlı | 2193,48 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 2689,33 | 1,23 |
| 7 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 522,16 | Mafsallı Bağlı | 532,24 | 1,02 |

Burada dikmeler ihmal edildiğinde elverişli gerilmeler mafsallı bağlı durumda elverişsiz gerilmeler ise profil kesitli çubukların tam bağlı olduğu durumda elde edilmiştir. Bu durumda gerilmelerdeki artış 1,66 kata kadar çıkmaktadır. 2 numaralı dikme de ise mafsallı bağlı durumda gerilme oluşmadığı için bir oran söz konusu değildir. Aynı profil ve dairesel kesitli çubuklardan oluşan sistemlerin tam bağlı olması durumunda oluşan gerilmeler Çizelge 5.12’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.12 Farklı açılı gözlerden oluşan sistemde tam bağlı durumda aynı profil ve dairesel kesitli çubuklarda oluşan gerilmelerin karşılaştırılması.

| Çubuk No | (P) Profil Kesitli | (D) Dairesel Kesitli | P / D |
|----------|--|--|--------|
| | Elverişsiz Gerilme (t/m ²) | Elverişsiz Gerilme (t/m ²) | |
| 1 | -3336,191 | -2717,168 | 1,23 |
| 2 | 265,063 | -115,018 | -2,30* |
| 3 | 2738,912 | 2553,981 | 1,07 |
| 4 | -2317,347 | -1844,164 | 1,26 |

* En kritik gerilme artışlarının olduğu elemanlar

Çizelge 5.12 (devam ediyor)

| | | | |
|---|-----------|----------|-------|
| 5 | -1292,366 | -982,408 | 1,32* |
| 6 | 2689,327 | 2529,375 | 1,06 |
| 7 | 522,157 | 530,215 | 0,98 |

Aynı profil ve aynı dairesel kesitlerden oluşan sistemlerde mafsallı bağlı durumda aynı gerilme değerleri elde edilirken, tam bağlı durumunda ise elverişsiz gerilmeler arasındaki oran 1,32 kata kadar çıkmaktadır. Bu durum da kesit atalet momentlerinin gerilmeler üzerindeki etkisini göstermektedir. En büyük oranın elde edildiği 2 numaralı çubukta ise en elverişsiz gerilmeler %40-95 bağıllık aralıklarının kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

Farklı kesitli çubuklardan oluşan sistemlerde de elverişli ve elverişsiz gerilmeler farklı durumlarda elde edilmiştir. Bu gerilmeler Çizelge 5.13’de karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.13 Farklı kesitli çubuklarda oluşan elverişli ve elverişsiz gerilmeler.

| Çubuk No | Elverişli Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilmeler (t/m ²) | | Elverişsiz Gerilme / Elverişli Gerilme |
|----------|--|----------|---|----------|--|
| | Durum | Gerilme | Durum | Gerilme | |
| 1 | Mafsallı Bağlı | -1722,12 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -2456,19 | 1,43 |
| 2 | Mafsallı Bağlı | - | a. Profil Kesitli %40-95 Bağlı | -634,82 | - |
| | | | b. Profil Kesitli Tam Bağlı | 248,78 | - |
| 3 | Mafsallı Bağlı | 1861,75 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 2447,71 | 1,32 |
| 4 | Mafsallı Bağlı | -1556,17 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -2420,67 | 1,56* |
| 5 | Mafsallı Bağlı | -948,36 | Profil Kesitli Tam Bağlı | -1395,20 | 1,47* |
| 6 | Mafsallı Bağlı | 1861,75 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 2444,89 | 1,31 |
| 7 | Profil Kesitli Tam Bağlı | 809,06 | Mafsallı Bağlı | 827,51 | 1,02 |

Farklı kesitli çubuklardan oluşan sistemde de dikmeler ihmal edildiğinde elverişli gerilmeler mafsallı bağlı durumda, elverişsiz gerilmeler profil kesitli çubukların tam bağlı olduğu halde elde edilmiştir. Bu durumda gerilmelerdeki artış 1,56 kata kadar çıkmaktadır.

* En kritik gerilme artışlarının olduğu elemanlar

Bu sistemde de bağıllık oranlarının gerilmelere belirgin etkisinin olduğu görülmüştür. Bağıllık oranlarındaki artışla birlikte gerilmelerin de artması kafes sistemlerin uygulamada mafsallı olarak teşkil edilememesi durumunda yapılan çözümlerin güvenilir olmadığını bir kez daha göstermiştir. Bu nedenle kafes sistemler tasarlanırken kafes elemanların düğüm noktalarına tam ya da kısmi bağıllı oldukları göz önünde tutulmalıdır.

5.3 PREFABRİK YAPI UYGULAMALARI

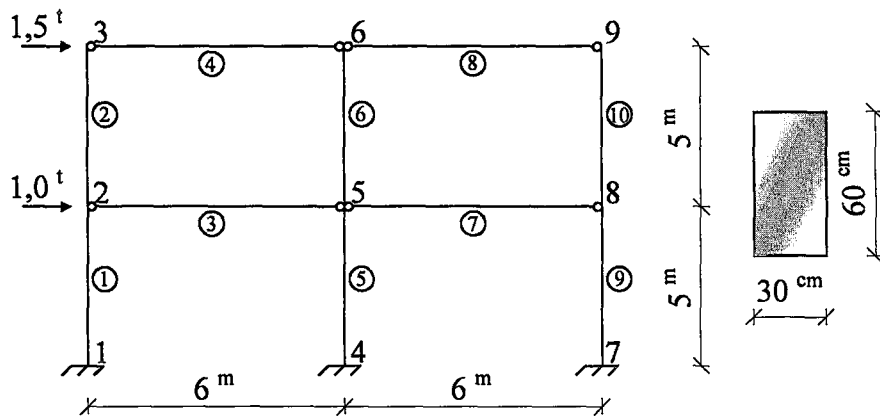
Uygulama amacı ile kolonlu - kirişli prefabrik yapı türlerinden olan sürekli kolonlu ve süreksiz kolonlu iki tip sistem seçilmiştir.

5.3.1 Sürekli Kolonlu Sistem

Sürekli kolonlu sistemde, kiriş uçlarında tanımlanan farklı bağıllık yüzdeleri dikkate alınarak meydana gelen yerdeğiştirmeler ve kesit tesirleri incelenmiştir.

5.3.1.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu

Çalışmada incelen sürekli kolonlu sistem modeli ve bu sisteme etkiyen yükler Şekil 5.22'de verilmiştir. Ayrıca sistemde kullanılan tüm çubukların aynı tip kesitten oluştuğu kabul edilmiştir (Şekil 5.22).



Şekil 5.22 Sürekli kolonlu sistem modeli ve yükleme durumu.

Yapıda kullanılan malzeme C20 betonu olmakla birlikte hesaplarda kullanılan elastisite modülü değeri 2850000 t/m^2 'dir [21].

5.3.1.2 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları

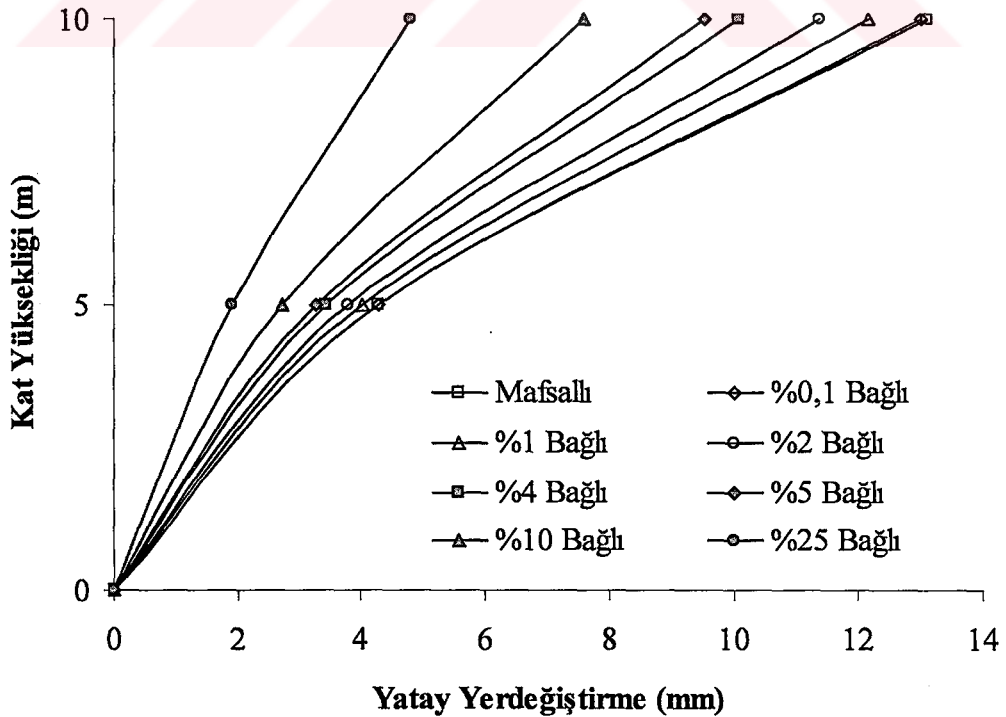
Sürekli kolonlu sistem bütün olarak üretilmiş kolonlar arasına yerleştirilmiş kirişlerden oluşmaktadır. Bu nedenle sistemde yalnızca yatay doğrultuda yerleştirilmiş elemanların kısmi bağlanmaları durumu dikkate alınmıştır. Bu elemanların aynı bağlılık yüzdelerine sahip olduğu kabul edilmiştir (Çizelge 5.14).

Çizelge 5.14 Kiriş uçlarında tanımlanan bağlılık yüzdeleri.

| Çubuk No | Her İki Uçtaki Kısmi Bağlılık Oranları (%) | | | | | | | |
|------------|--|-----|---|---|---|---|----|----|
| | 0 | 0,1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 25 |
| 3, 4, 7, 8 | | | | | | | | |

5.3.1.3 Yerdeğiştirmeler

Sürekli kolonlu sistemde yatay yükler dikkate alındığı için yapıda meydana gelen yatay yerdeğiştirmeler daha etkindir. Farklı bağlılık yüzdeleri kullanılan sistemlerde 2 ve 3 numaralı düğüm noktalarında meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerin değişimi Şekil 5.23’de verilmiştir.

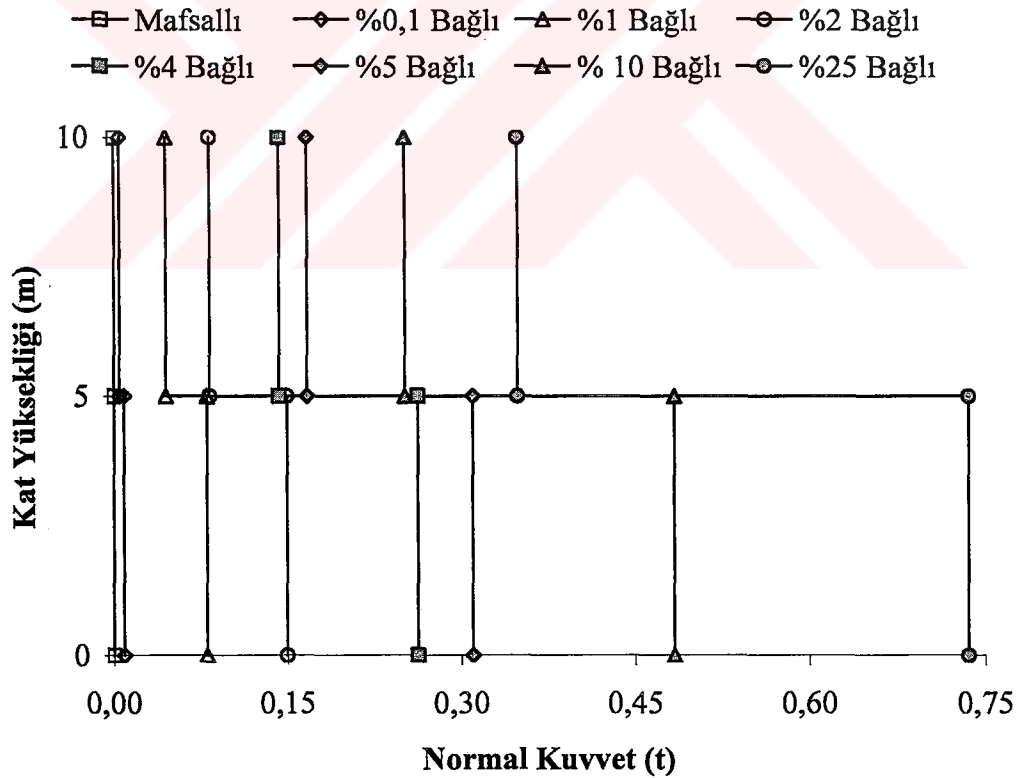


Şekil 5.23 Sürekli kolonlu sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.

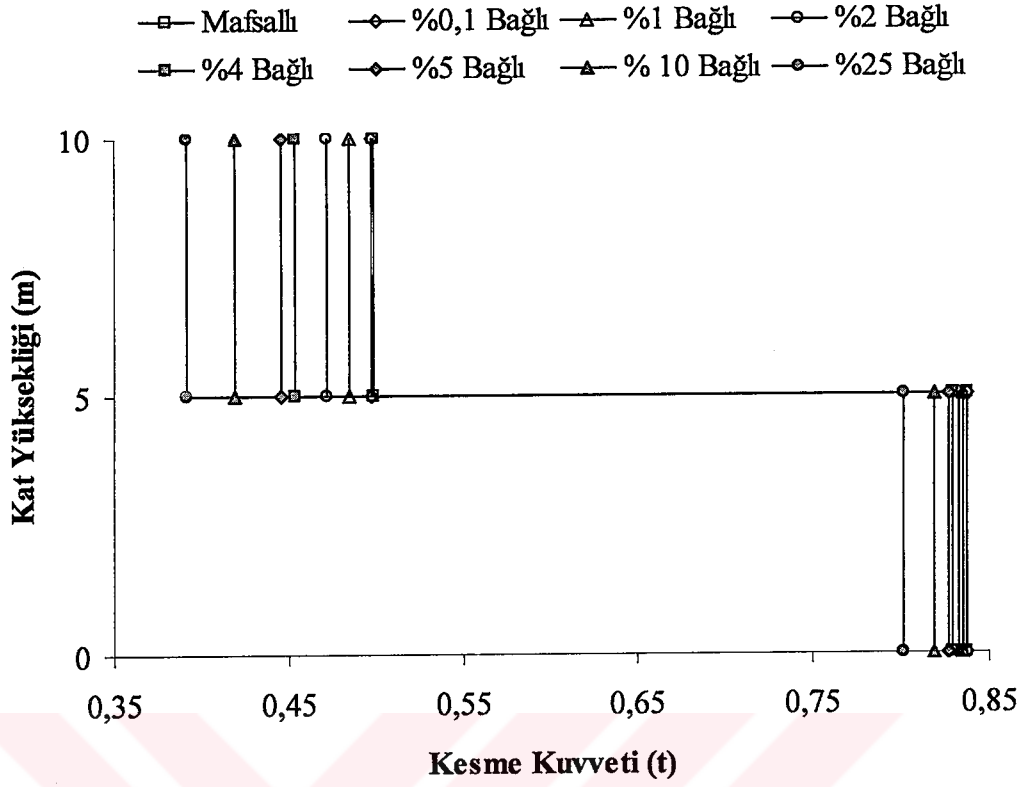
Kiriş uçlarının kolonlara bağlılık oranlarındaki artışın yatay yerdeğiştirmeler üzerindeki etkisi Şekil 5.23'den de açıkça görölmektedir. Bağlılık yüzdeleri arttıkça yatay yerdeğiştirmelerde belirgin azalmalar görölmektedir. Kiriş uçlarının mafsallı bağı olması durumunda 3 numaralı düğüm noktasında elde edilen yatay yerdeğiştirme miktarı, %25 oranında bağı olması durumunda elde edilen yatay yerdeğiştirme miktarının 2,73 katıdır. Aynı durumda 2 numaralı düğüm noktasında bu oran 2,25 kattır. Bu durum sürekli kolonlu prefabrik yapılarda eleman birleşimlerinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir. Bu nedenle prefabrik yapı sistemleri modellenirken bağılılık oranlarının doğru seğıilmesine dikkat edilmesi gerekmektedir.

5.3.1.4 Kesit Tesirleri

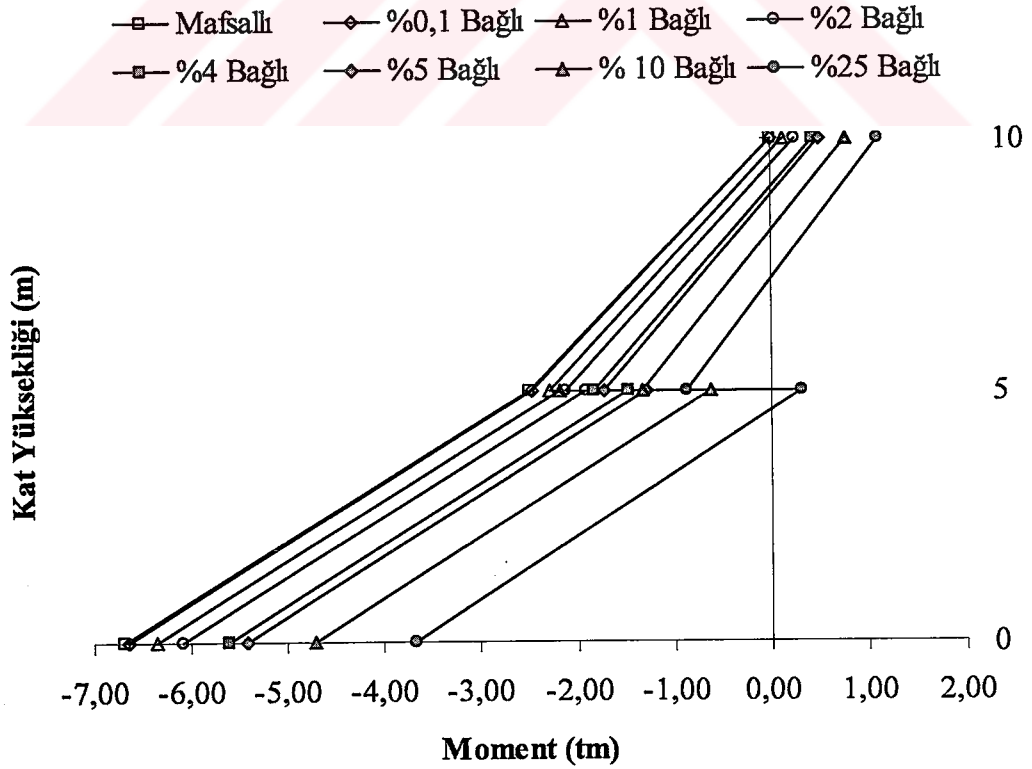
Sürekli kolonlu sistemde kolonlarda ve kirişlerde bağılılık oranlarına bağı olarak kesit tesirlerinde meydana gelen değışimler Şekil 5.24-5.37'de verilmiştir.



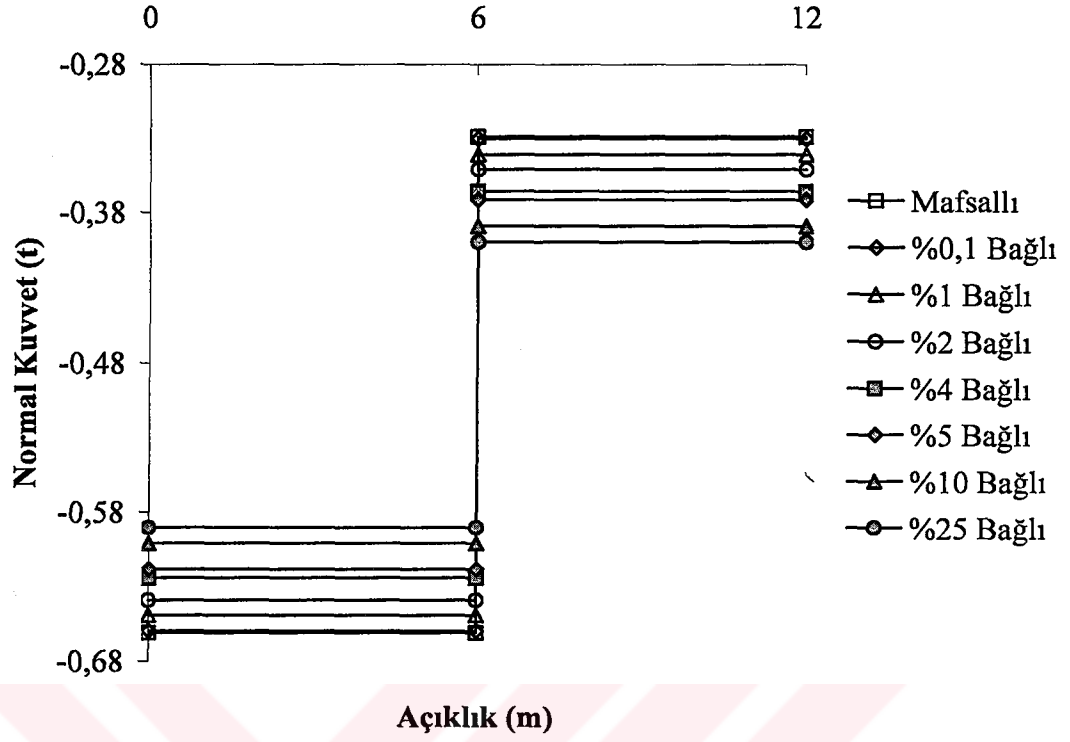
Şekil 5.24 "1,2" numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağılılık yüzdeleriyle değışimi.



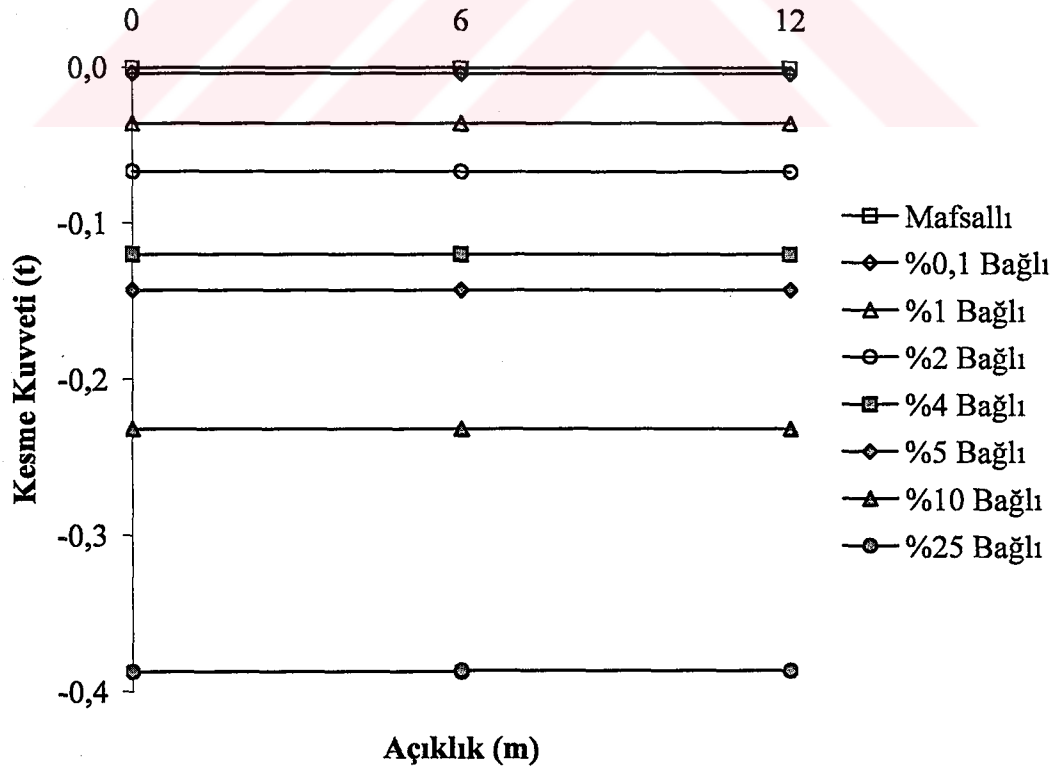
Şekil 5.25 “1,2” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



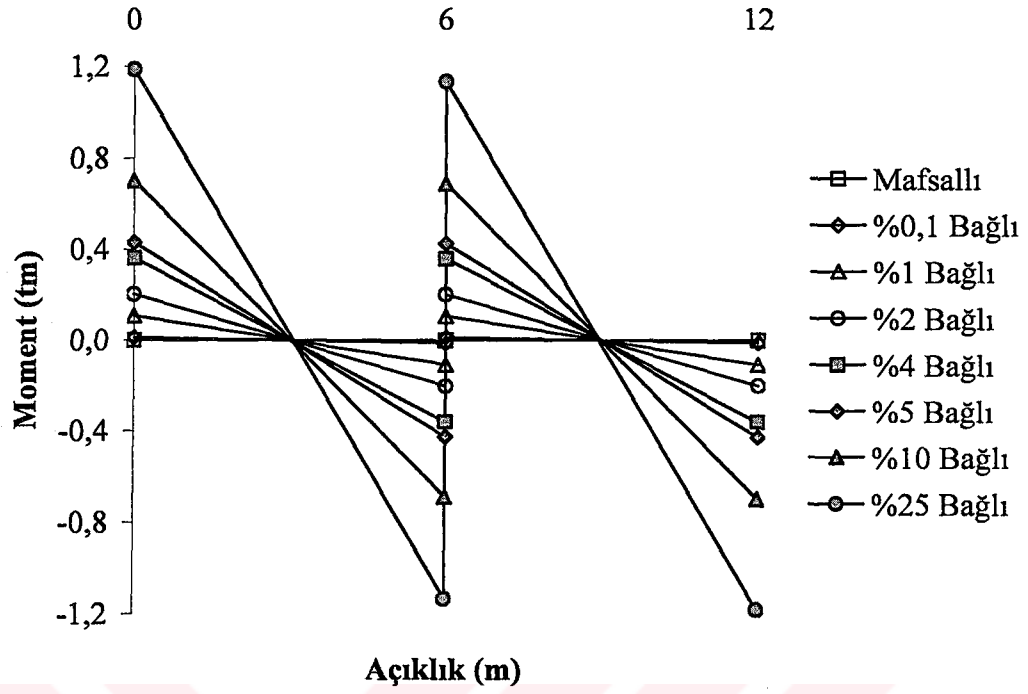
Şekil 5.26 “1,2” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



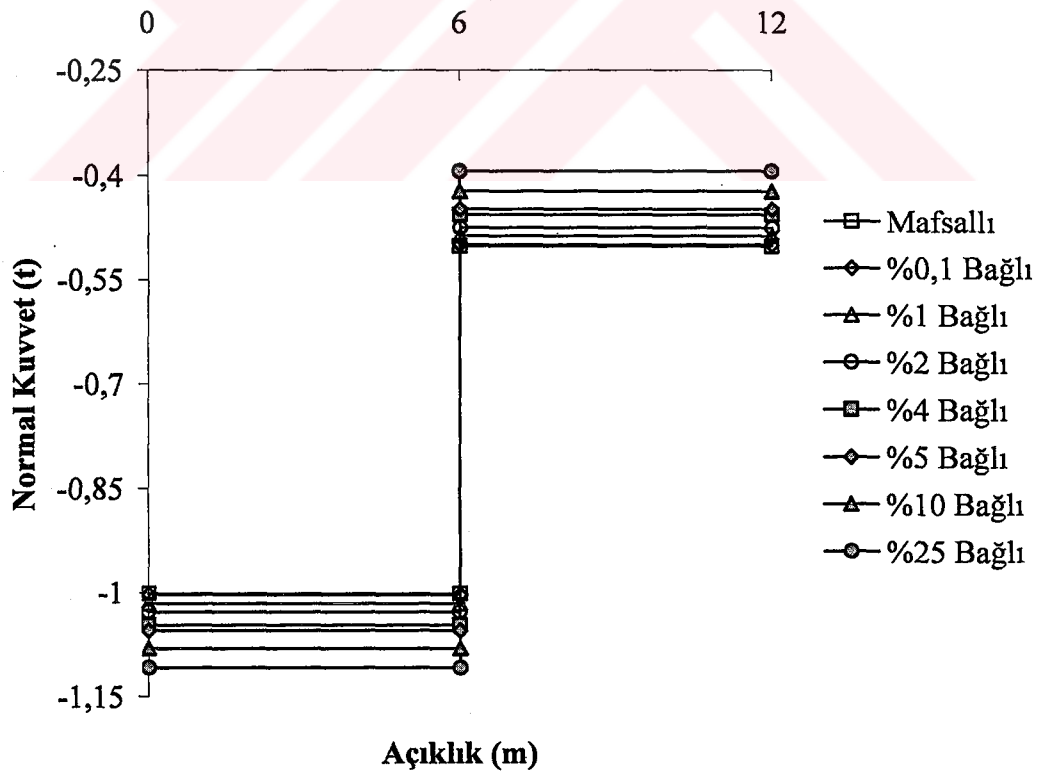
Şekil 5.27 “3,7” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



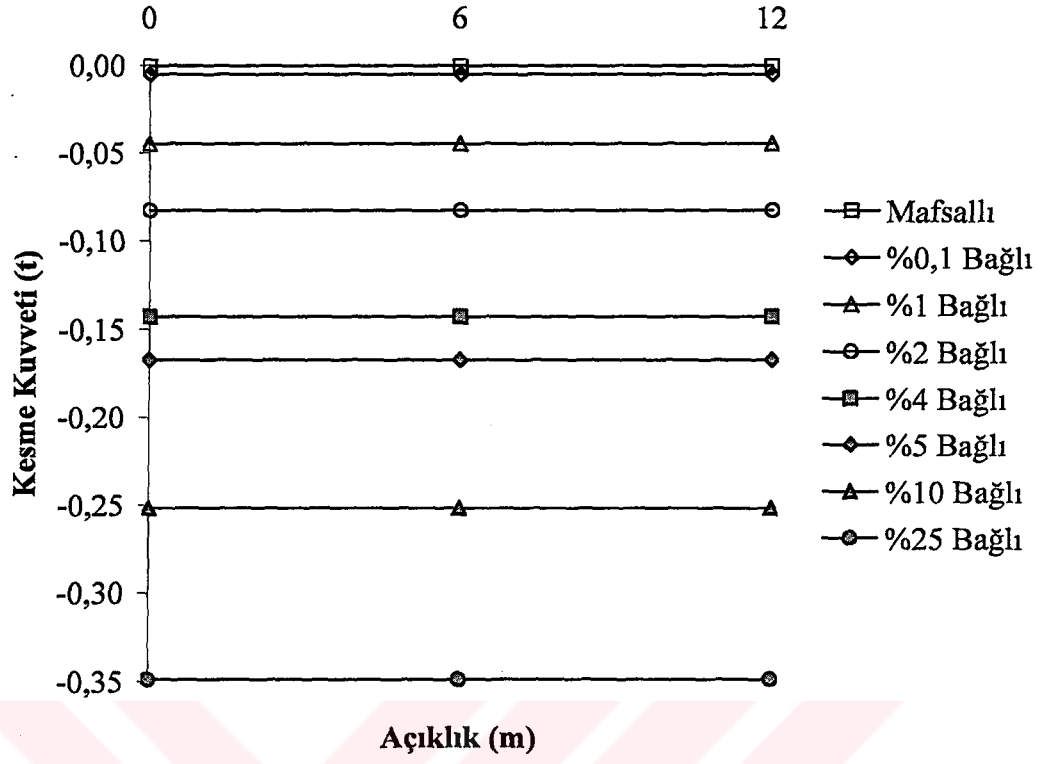
Şekil 5.28 “3,7” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



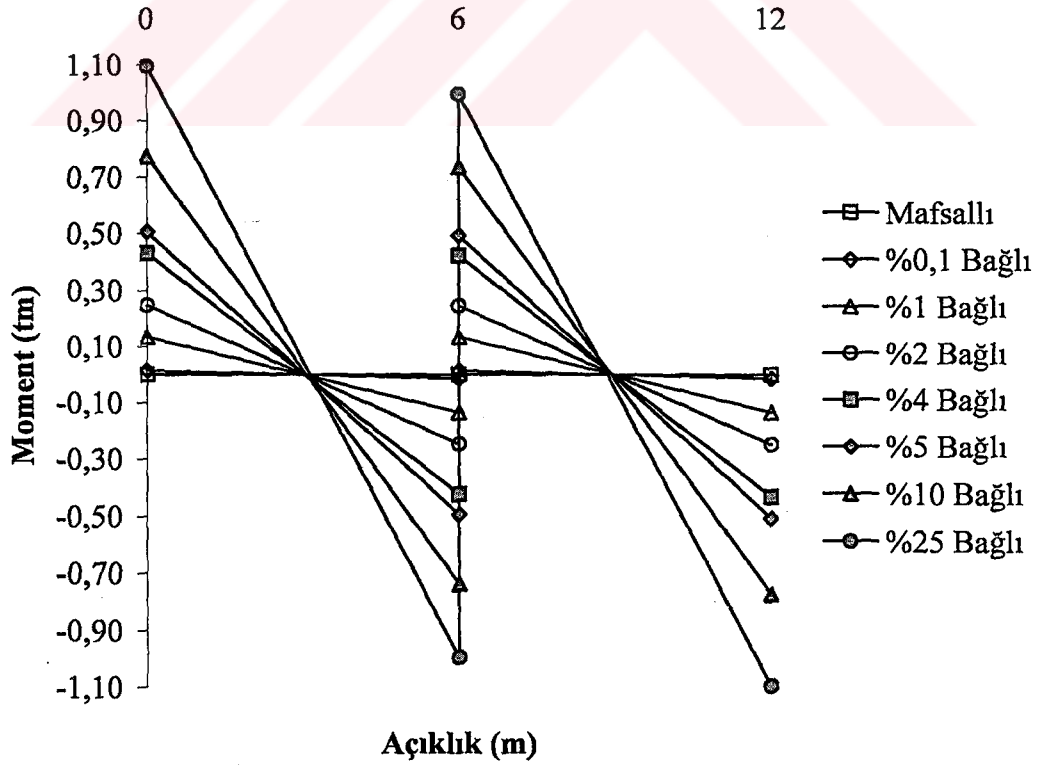
Şekil 5.29 “3,7” numaralı kirişlerde momentin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



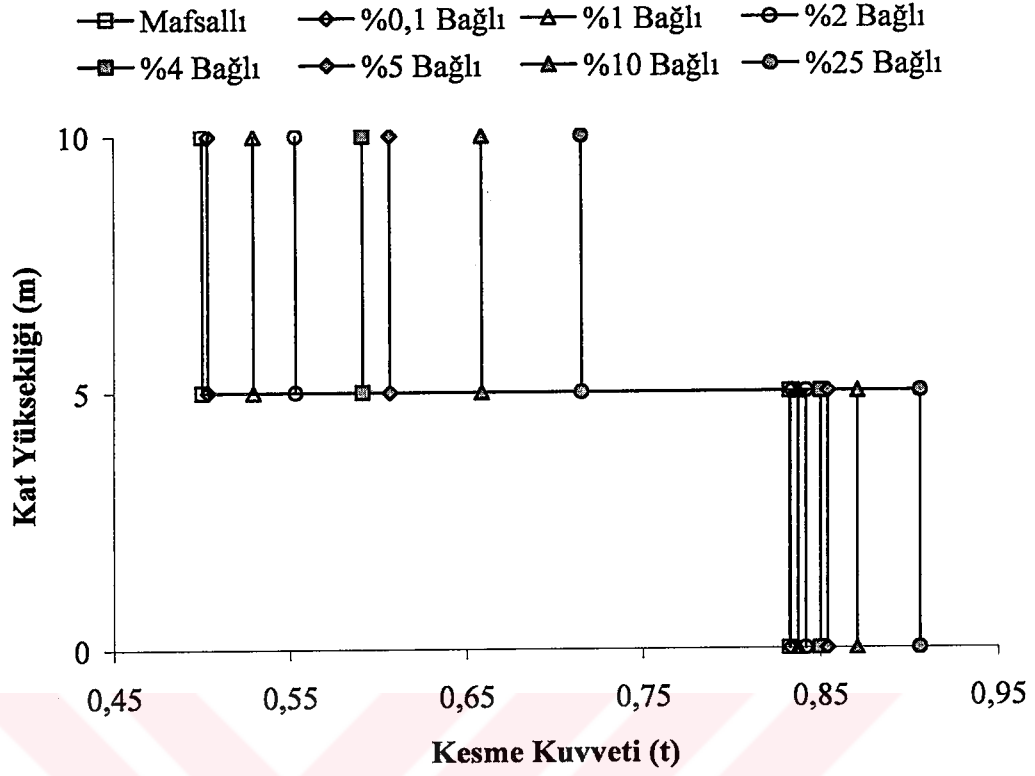
Şekil 5.30 “4,8” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



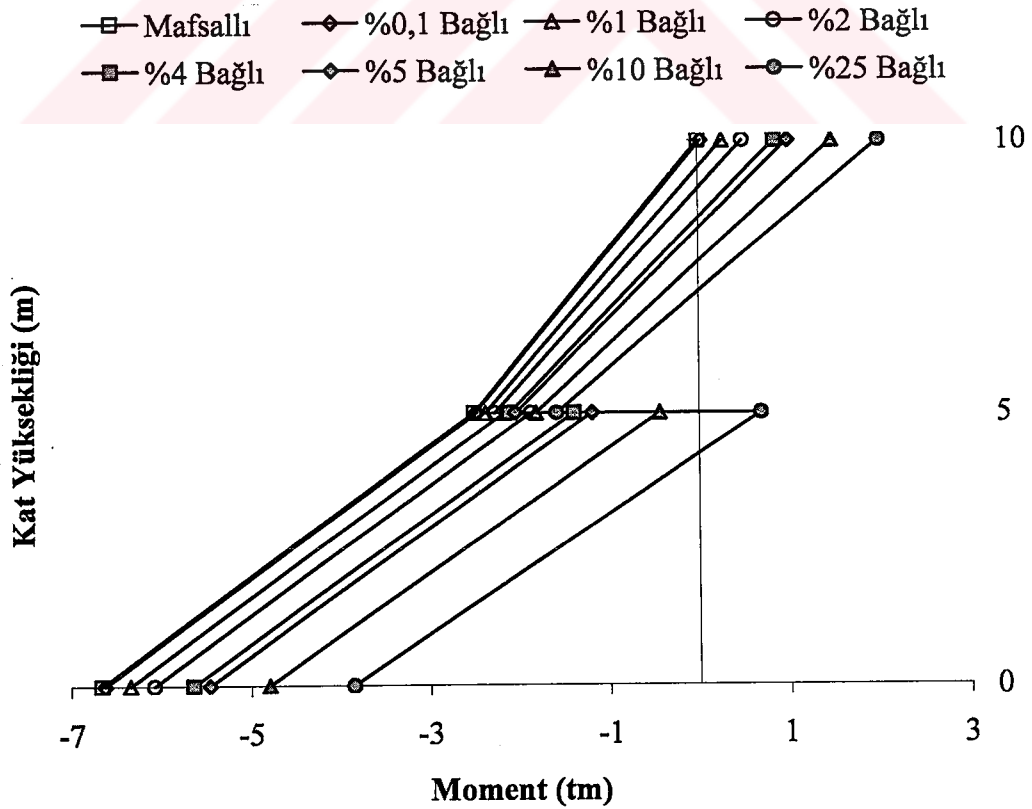
Şekil 5.31 “4,8” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



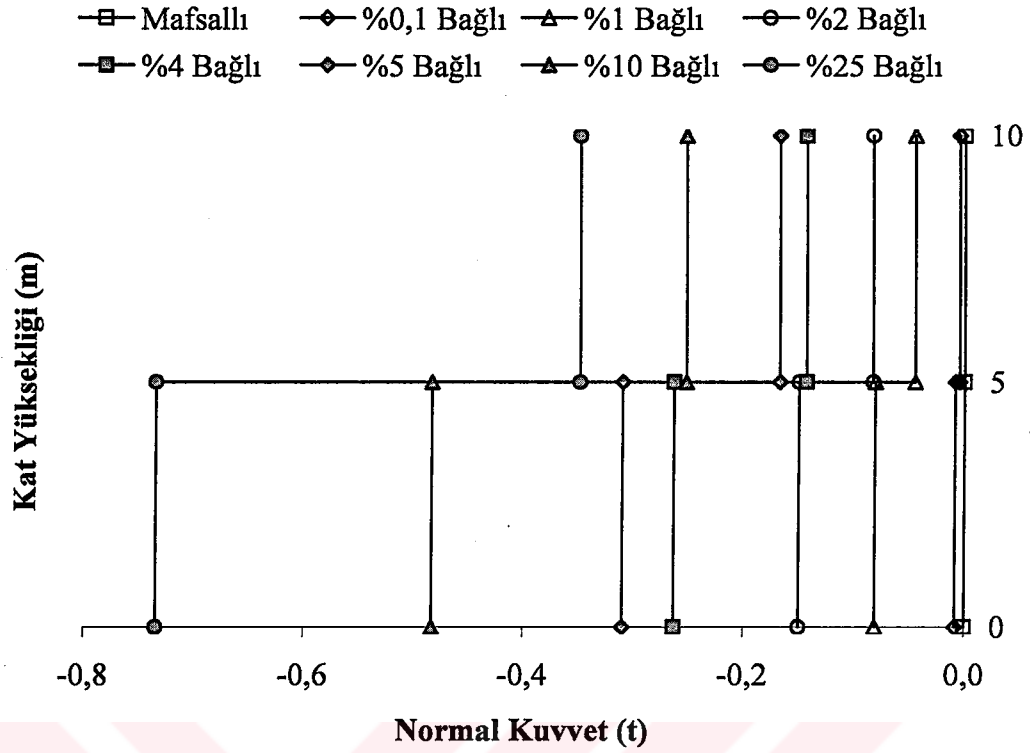
Şekil 5.32 “4,8” numaralı kirişlerde momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



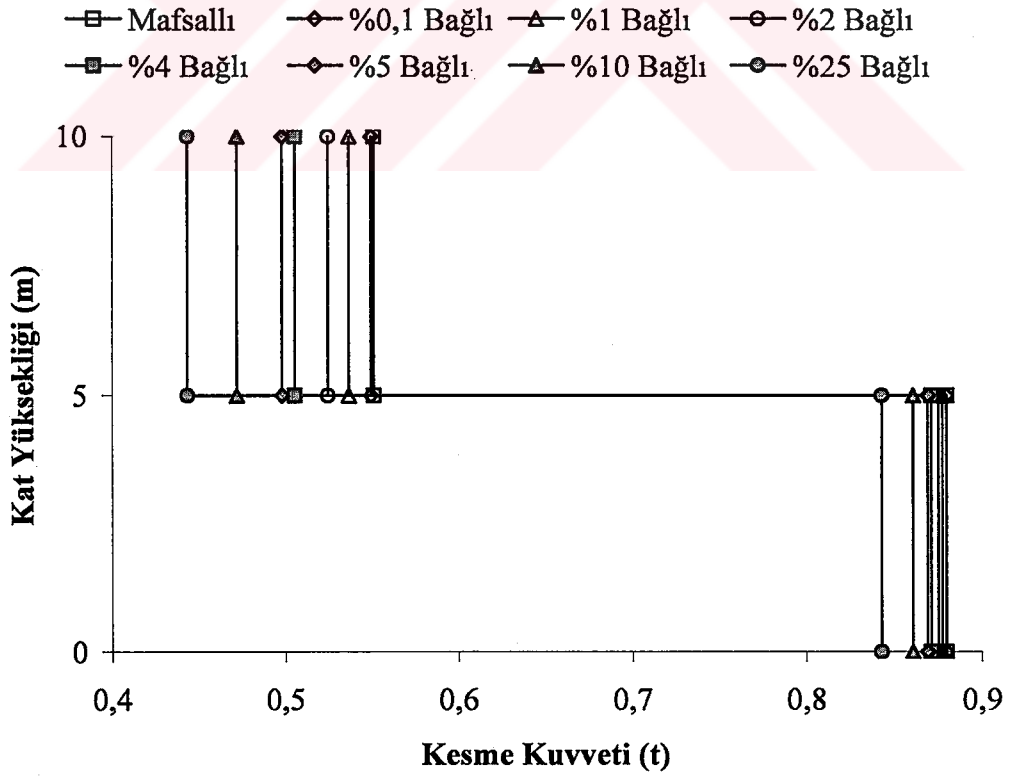
Şekil 5.33 “5,6” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



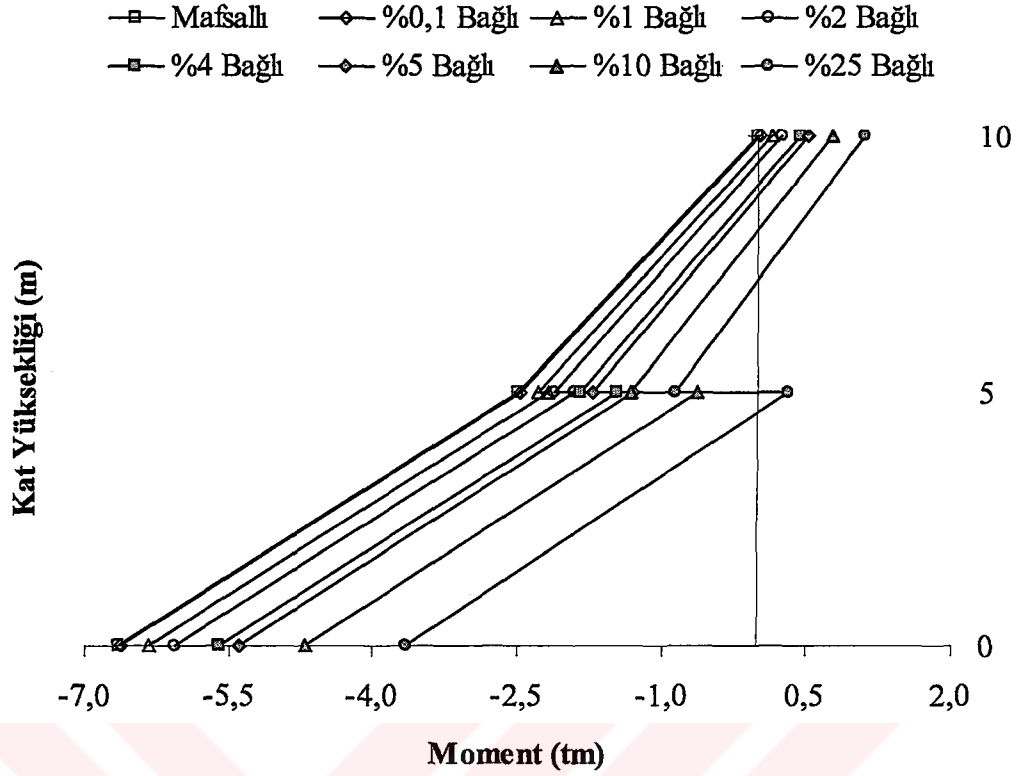
Şekil 5.34 “5,6” numaralı kolonlarda momentin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.35 “9,10” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.36 “9,10” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağlilik yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.37 “9,10” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.

Şekillerden de anlaşıldığı gibi kiriş uçlarındaki kısmi bağıllık yüzdelerindeki artışla birlikte kesit tesirlerinde belirgin değişimler oluşmaktadır. 5 ve 6 numaralı kolonlara ait normal kuvvet değerleri incelenen tüm bağıllık durumlarında yok denecek kadar az olduğu için göz önüne alınmamıştır.

Kiriş uçlarının mafsallı kabul edilmesi halinde yapılan çözümlerde özel bir durum oluşmuştur. Bu halde kolonlarda normal kuvvet oluşmazken, kirişlerde ise yalnızca normal kuvvet oluşmaktadır. Bu durumda kolonlar üzerine tekil yükler etkileyen konsol elemanlar gibi davranmaktadır. Kirişler ise bu durumda gergi çubuğu gibi davranmaktadır. Kiriş uçlarındaki bağıllık oranlarının artmasıyla birlikte mafsallı durumda kirişlerde oluşmayan kesme kuvveti ve moment değerleri belirgin bir şekilde artmaya başlamıştır. Benzer şekilde kenar kolonlarda da normal kuvvetler belirgin artış göstermektedir.

1 numaralı kolonun tabana ankastre edilen ucunda, kirişlerin %25 bağıllı olması durumunda elde edilen moment değeri mafsallı bağıllı durumda elde edilen değer yaklaşık %55’idir. 2 numaralı kolonun 1 numaralı ucunda %25 bağıllık durumdaki moment değeri mafsallı bağıllı durumdaki değer %35’ine düşmektedir. Kirişlerin mafsallı bağıllı olması durumunda

6 numaralı kolonun kesme kuvveti değeri, %25 bağlı olması durumundaki değerinin %70'idir.

Elde edilen sonuçlardan da anlaşıldığı gibi kiriş uçlarının mafsallı bağlı olması ve kısmi bağlı olması durumlarında elde edilen kesit tesirleri arasında belirgin farklar oluşmuştur. Günümüzde yapı elemanlarını tam mafsallı olarak bağlamanın mümkün olmaması dikkate alındığında prefabrik yapı sistemlerinde de uygun bağlılık oranlarının tespit edilip tasarımın bu şekilde yapılması gerektiği ortaya çıkmaktadır.

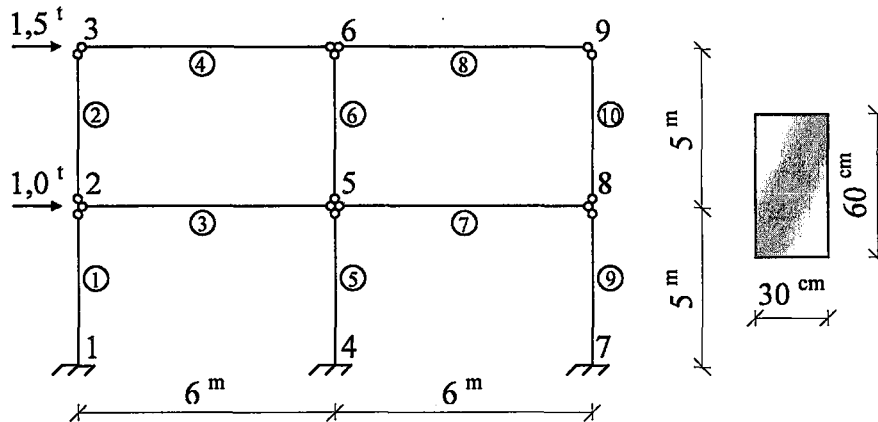
5.3.2 Süreksiz Kolonlu Sistem

Süreksiz kolonlu sistemde zemine birleşen çubuk uçları hariç tüm çubuk uçlarında farklı bağlılık yüzdeleri dikkate alınarak sistemde meydana gelen yerdeğiştirmeler ve kesit tesirleri incelenmiştir.

5.3.2.1 Sistem Modeli ve Yükleme Durumu

Çalışmada incelenen süreksiz kolonlu sistem modeli ve bu sisteme etkiyen yükler Şekil 5.38'de verilmiştir. Bu sistemde de tüm çubukların aynı tip kesitten oluştuğu kabul edilmiştir (Şekil 5.38).

Süreksiz kolonlu sistemle sürekli kolonlu sistemi karşılaştırmak için her iki sistemin kat yükseklikleri, açıklıkları, kesit özellikleri ve malzeme türü aynı seçilmiştir.



Şekil 5.38 Süreksiz kolonlu sistem modeli ve yükleme durumu.

5.3.2.2 Çubuk Uçlarının Bağlılık Durumları

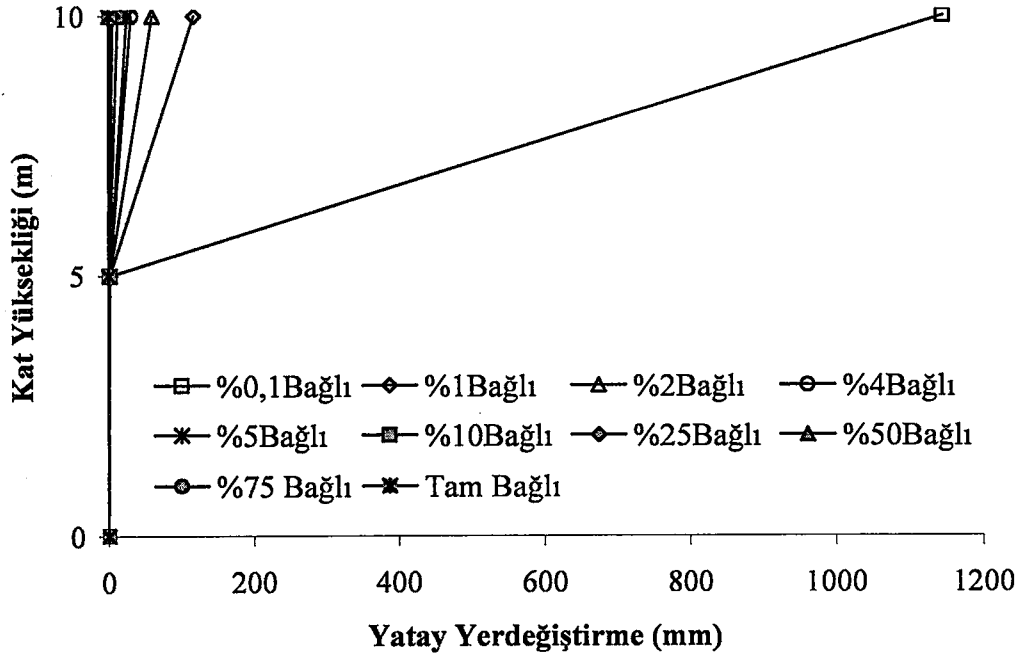
Sürekli kolonlu sistemlerde yapı elemanları ayrı olarak üretilirler ve tabana ankastre olarak yerleştirilmiş kolonlar üzerinde birleştirilirler. Bu sistemde kolonların zemine ankastre olarak mesnetlenen uçları hariç diğer tüm elemanların uçları aynı bağlılık yüzdeleri kullanılarak dikkate alınmıştır. Bunun için seçilen bağlılık yüzdeleri Çizelge 5.15’de verilmiştir.

Çizelge 5.15 Sürekli kolonlu sistemde tanımlanan bağlılık yüzdeleri.

| Kısmi Bağlılık Oranları (%) | | | | | | | | | |
|-----------------------------|---|---|---|---|----|----|----|----|-----|
| 0,1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 |

5.3.2.3 Yerdeğiştirmeler

Sürekli kolonlu sistemde de yatay yükler dikkate alındığı için yapıda meydana gelen yatay yerdeğiştirmeler incelenmiştir. Farklı bağlılık yüzdelerinin kullanıldığı sistemlerde 2 ve 3 numaralı düğüm noktalarında meydana gelen yatay yerdeğiştirmelerin değişimi Şekil 5.39’da verilmiştir.



Şekil 5.39 Sürekli kolonlu sistemde oluşan yatay yerdeğiştirmeler.

Sürekli kolonlu sistemlerde yapıyı oluşturan elemanların mafsallı bağlı olması durumunda oluşan dörtgen gözler sistemin dış yüklere karşı koyamamasına neden olurken kısmi bağlı çözümlerde bu sorun ortadan kalkmaktadır. Bunun için bu çalışmada çubuk uçlarının bağlılık oranları seçilirken mafsallı bağlı durum ihmal edilmiştir. Ancak, Şekil 5.39'dan da görüldüğü gibi %10 bağlılık oranından sonra 2 numaralı düğüm noktasında bir kırık oluşmuştur. Bu durum 5 ve 8 numaralı düğüm noktalarında da benzer şekilde meydana gelmiştir. Bu bağlılık oranından sonra sistem yatay yüklere karşı yeterince karşı koyamayacaktır. Örneğin çubuk uçlarının %0,1 oranında bağlı olması durumunda elde edilen yerdeğiştirmeler yapının stabilitesini bozacak kadar büyüktür. Bu durumda 1 m yi aşan yatay yerdeğiştirmeler elde edilmiştir. Betonarme bir yapı bu büyüklükte yerdeğiştirme yapacak kadar elastik davranış gösteremez. Bu nedenle uygun birleştirme teknikleri kullanılarak düğüm noktalarının mümkün olduğunca rijit düğüm noktası davranışı göstermesi sağlanmalıdır. Çünkü çubuk uçlarının bağlılık yüzdeleri arttıkça elde edilen yatay yerdeğiştirmeler oldukça azalmıştır. Düğüm noktalarının tam bağlı olması durumunda 3 numaralı düğüm noktasında 1,803 mm lik ötelenme ile en küçük yatay yerdeğiştirme değeri elde edilmiştir.

Sürekli kolonlu sistemde ve sürekli kolonlu sistemde aynı bağlılık yüzdeleri kullanıldığında elde edilen sürekli kolonlu sistemde elde edilen yatay yerdeğiştirme değerlerinin sürekli kolonlu sisteme göre daha büyük olduğu görülmektedir. Çizelge 5.16'da ortak bağlılık yüzdelerinin kullanıldığı durumlarda sürekli kolonlu sistemde elde edilen yatay yerdeğiştirme değerlerinin sürekli kolonlu sistemde elde edilen yatay yerdeğiştirme değerlerine oranları verilmektedir.

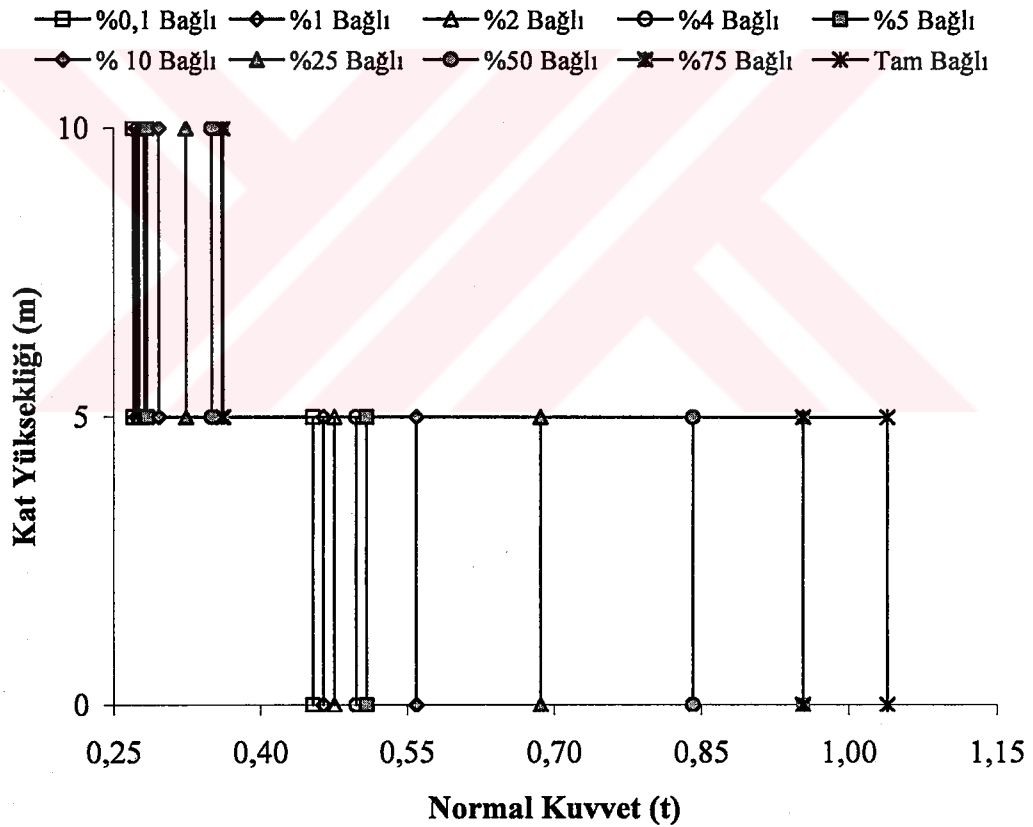
Çizelge 5.16 Seçilen iki prefabrik sistemin yatay yerdeğiştirme oranları.

| Bağlılık (%) | Sürekli Kolonlu Sistemde Yatay Yerdeğiştirme Değeri |
|--------------|---|
| | Sürekli Kolonlu Sistemde Yatay Yerdeğiştirme Değeri |
| 0,1 | 88,16 |
| 1 | 9,67 |
| 2 | 5,32 |
| 4 | 3,16 |
| 5 | 2,73 |
| 10 | 1,90 |
| 25 | 1,44 |

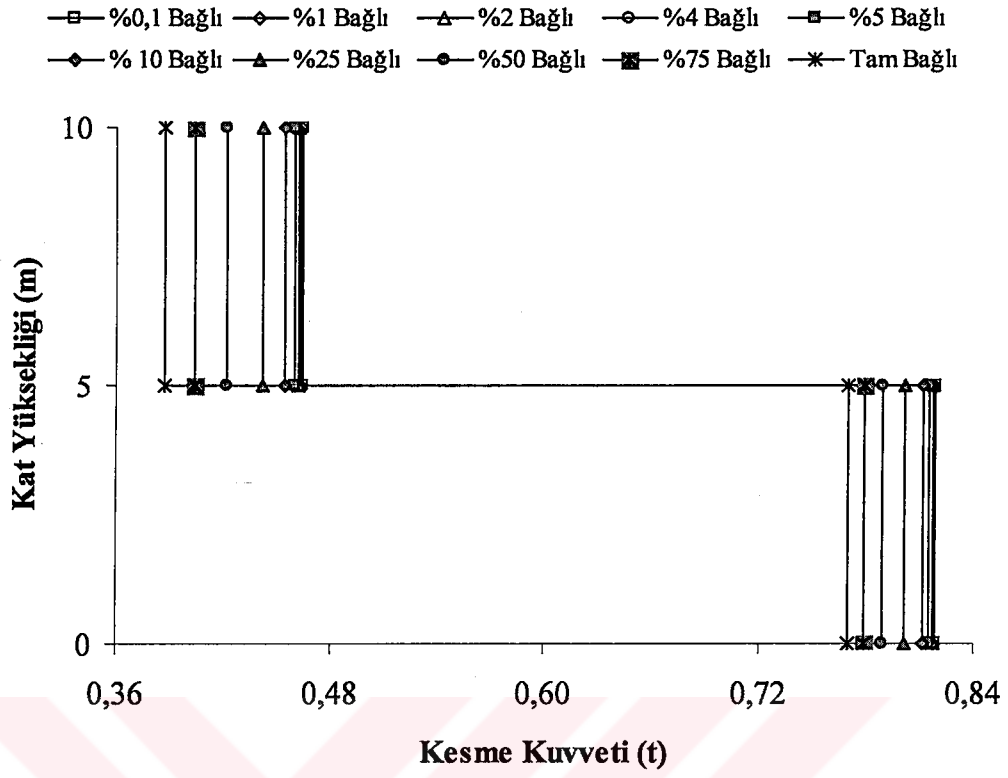
Bağlılık yüzdeleri arttıkça iki sistemde elde edilen yerdeğişirmeler arasındaki oranların birbirine yaklaştığı Çizelge 5.16'dan da görülmektedir. Ancak, bağlılık oranlarının küçük olması durumunda süreksiz kolonlu sistemde elde edilen yerdeğişirme değerlerinin yapı için ne kadar elverişsiz ve anormal olduğu verilen oranlardan da anlaşılmaktadır. Aynı zamanda Çizelge 5.16'da verilen bu oranlar süreksiz kolonlu sistemlerin yatay yüklere karşı sürekli kolonlu sistemlere göre yetersiz kaldığını da açıkça göstermektedir.

5.3.2.4 Kesit Tesirleri

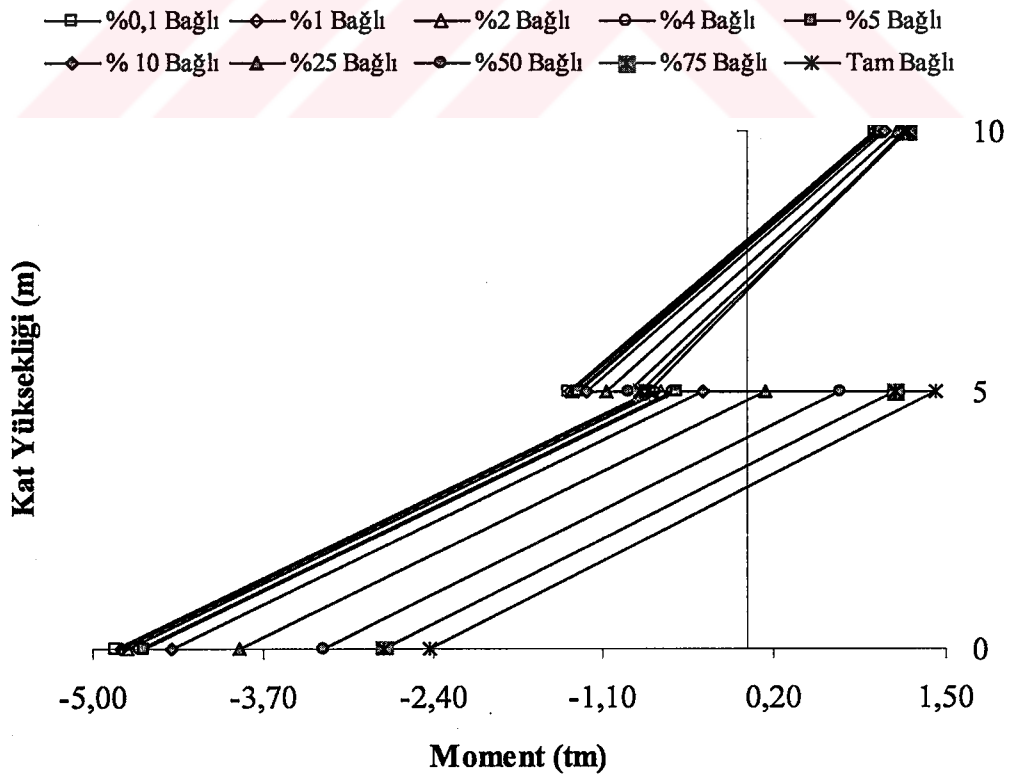
Süreksiz kolonlu sistemde de bağlılık yüzdelerinin etkisiyle kesit tesirlerinde meydana gelen değişimler Şekil 5.40-5.53'de verilmiştir.



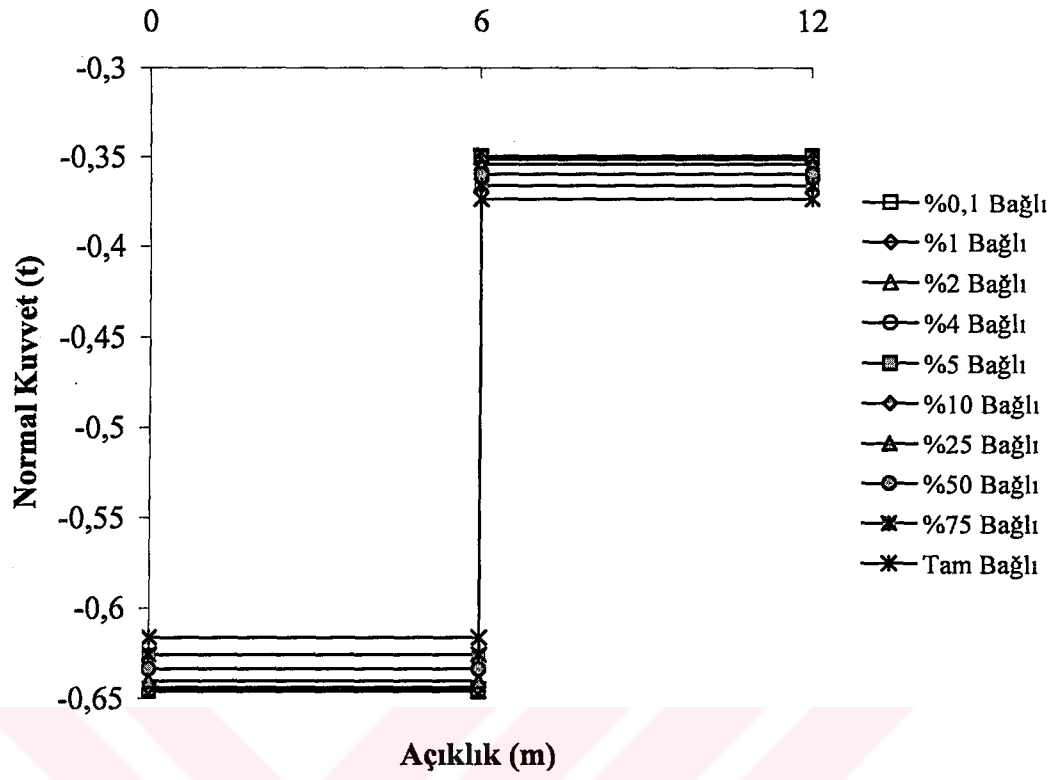
Şekil 5.40 "1,2" numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağlılık yüzdeleriyle değişimi.



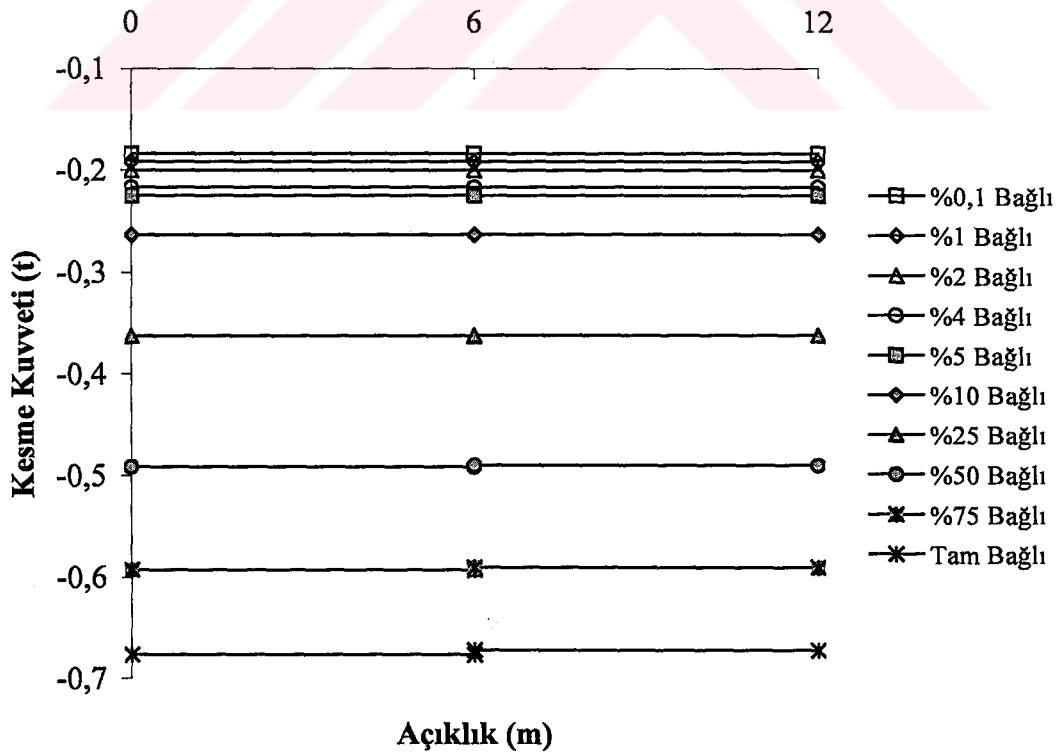
Şekil 5.41 "1,2" numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



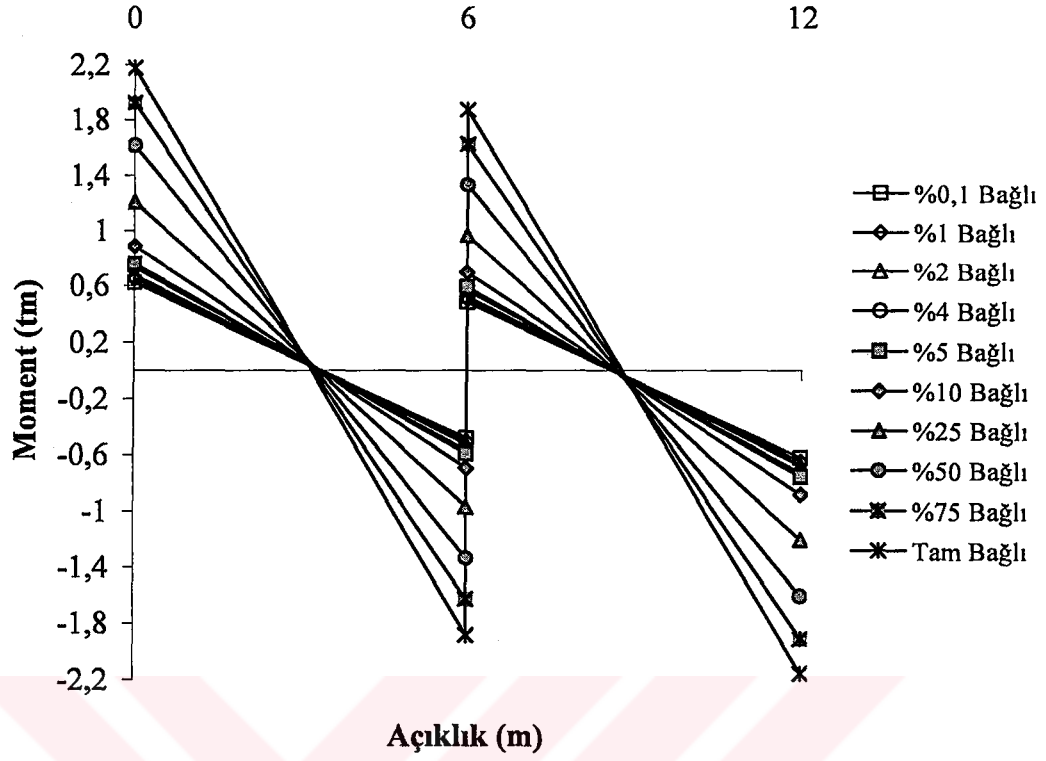
Şekil 5.42 "1,2" numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



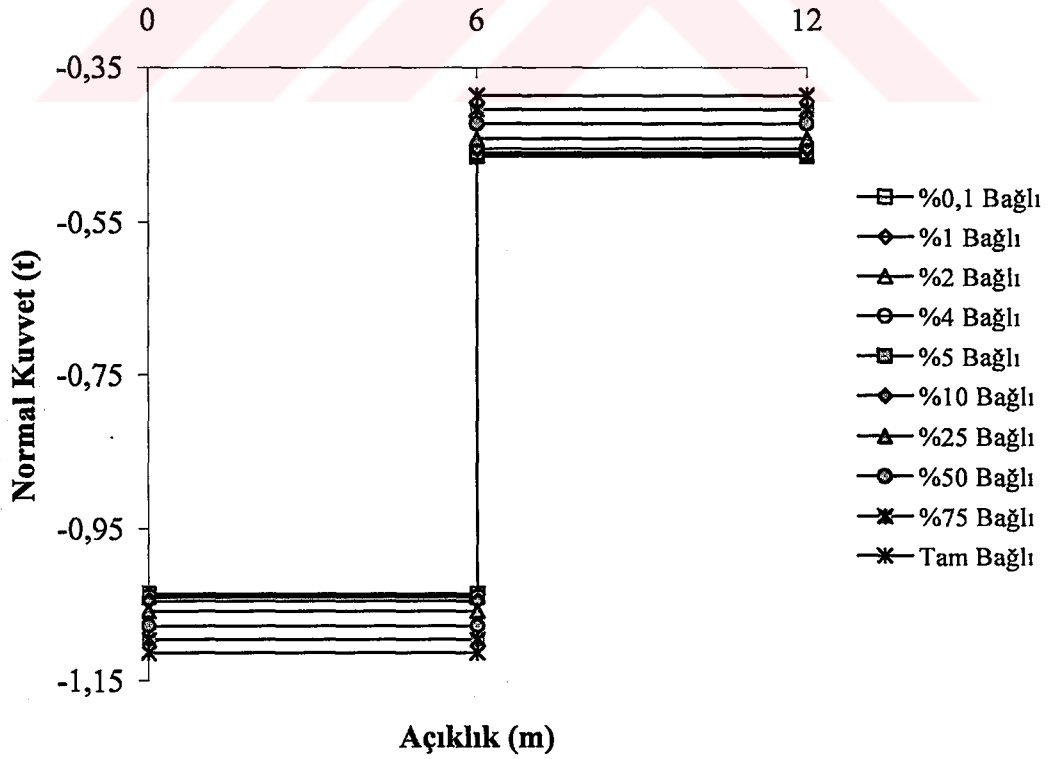
Şekil 5.43 “3,7” numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağlılık yüzdeleriyle değişimi.



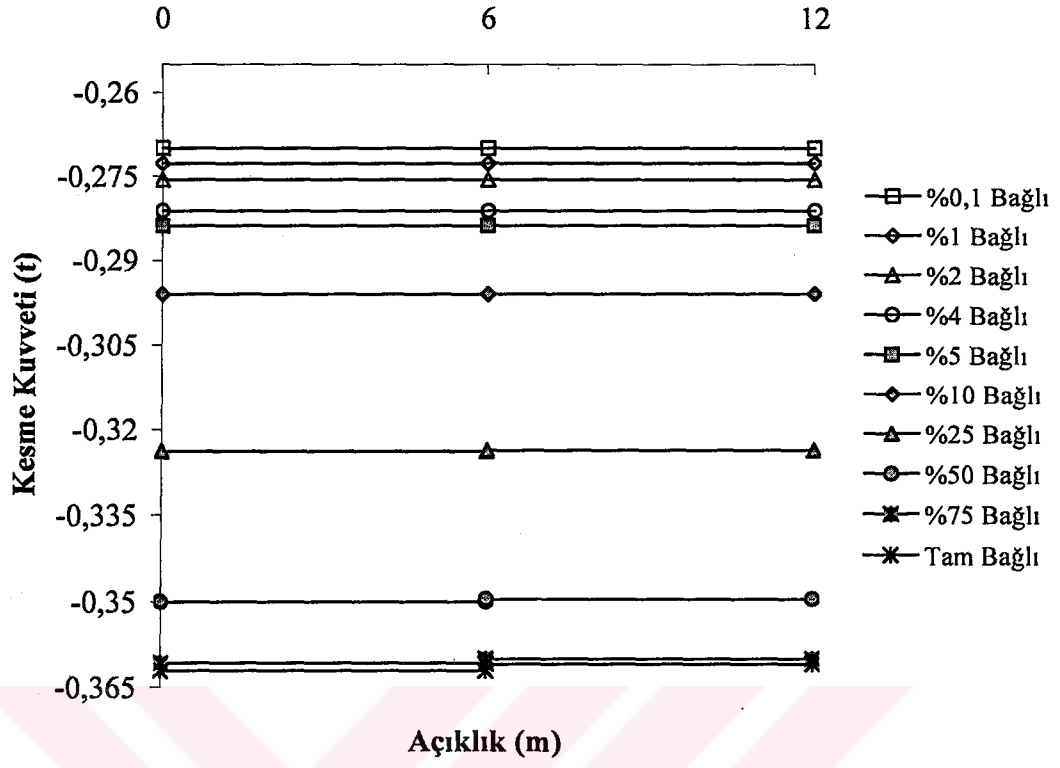
Şekil 5.44 “3,7” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağlılık yüzdeleriyle değişimi.



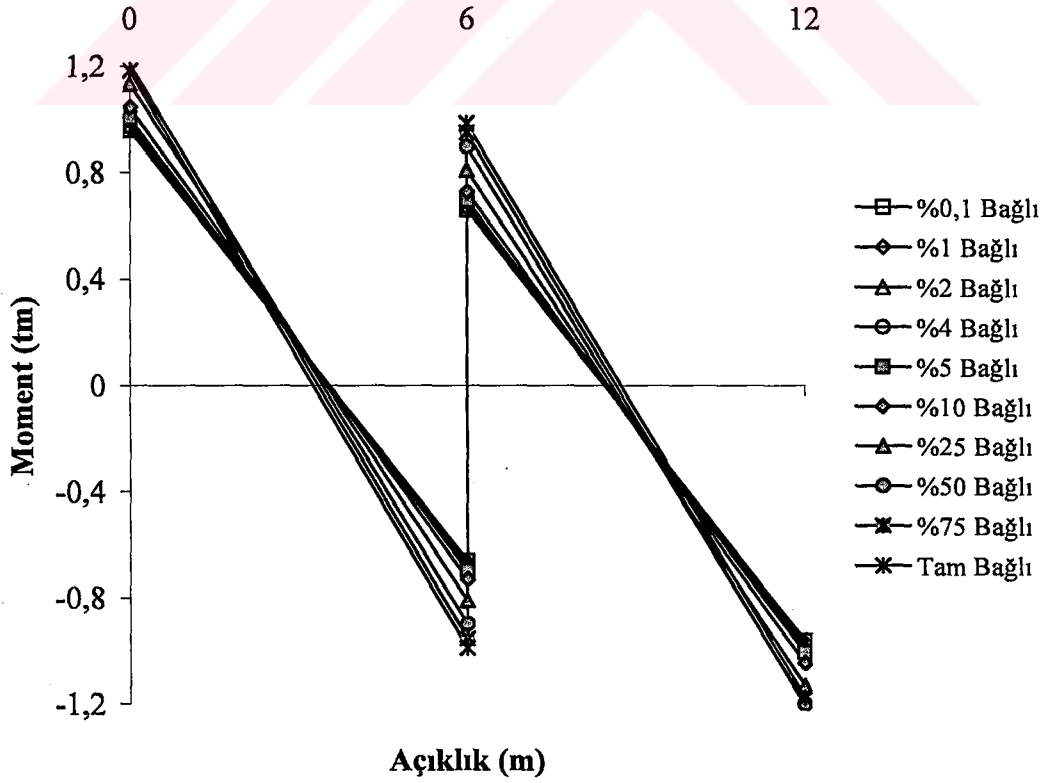
Şekil 5.45 "3,7" numaralı kirişlerde momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



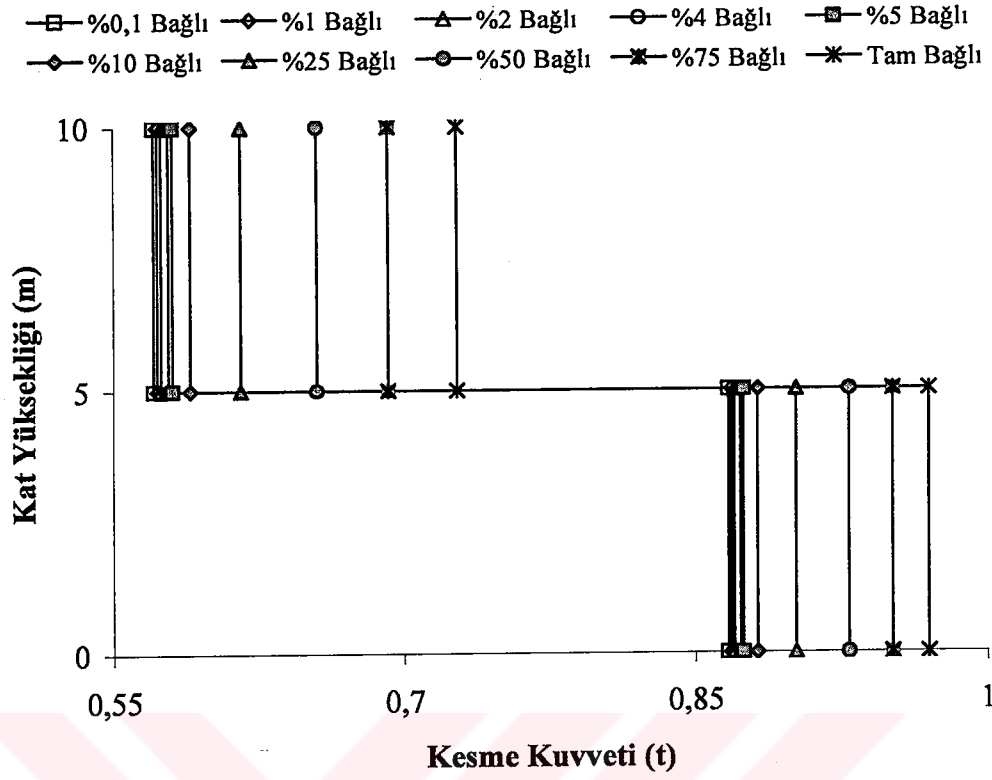
Şekil 5.46 "4,8" numaralı kirişlerde normal kuvvetin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



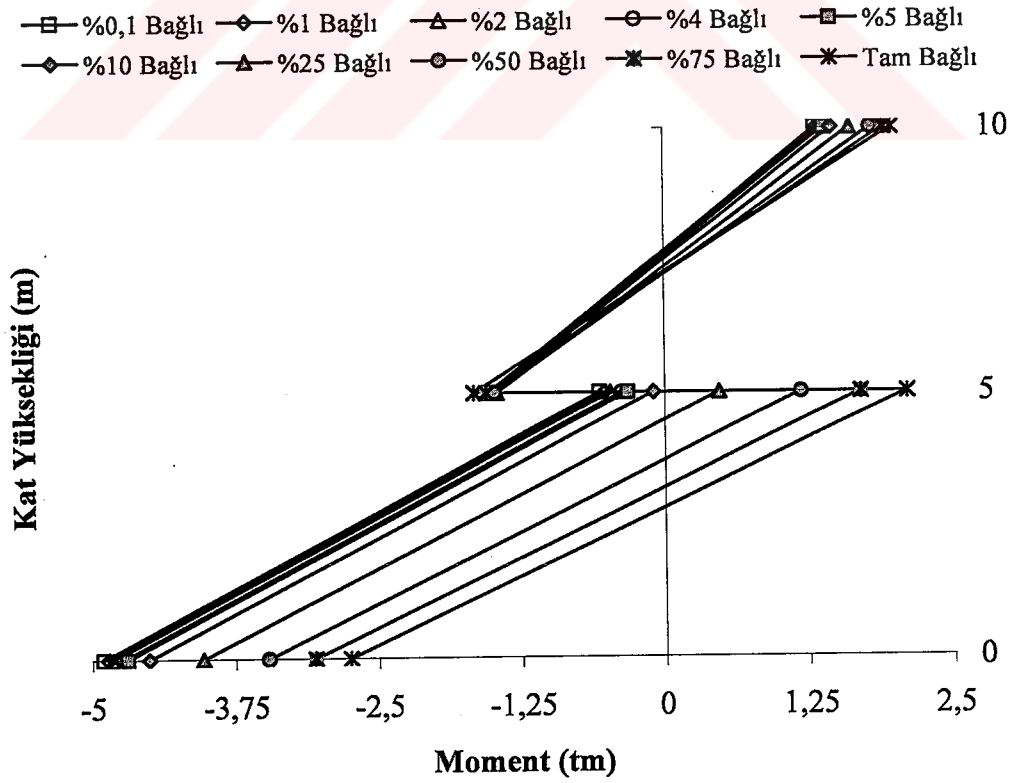
Şekil 5.47 “4,8” numaralı kirişlerde kesme kuvvetinin bağırlık yüzdeleriyle değişimi.



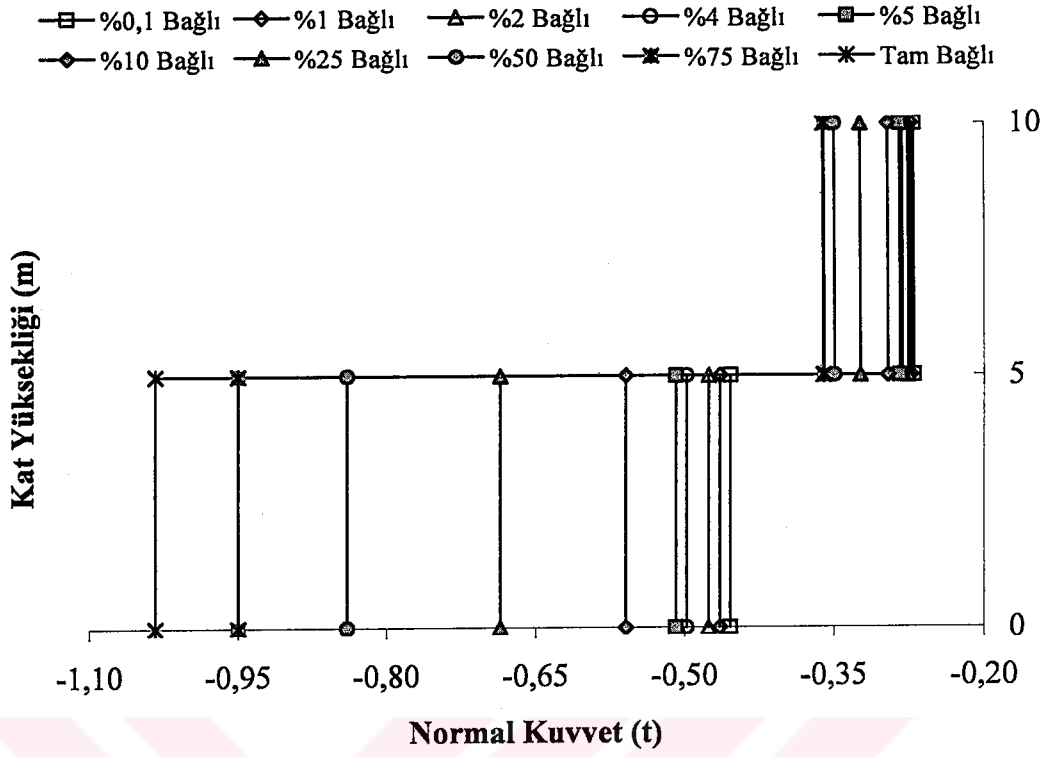
Şekil 5.48 “4,8” numaralı kirişlerde momentin bağırlık yüzdeleriyle değişimi.



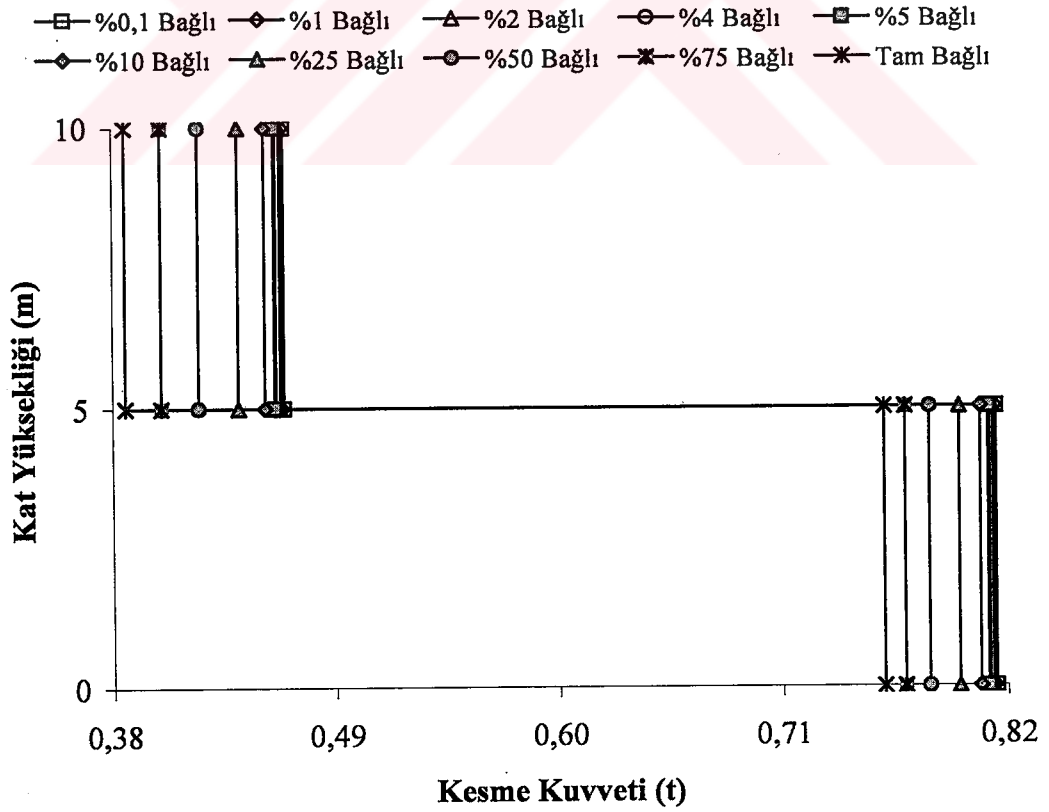
Şekil 5.49 "5,6" numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



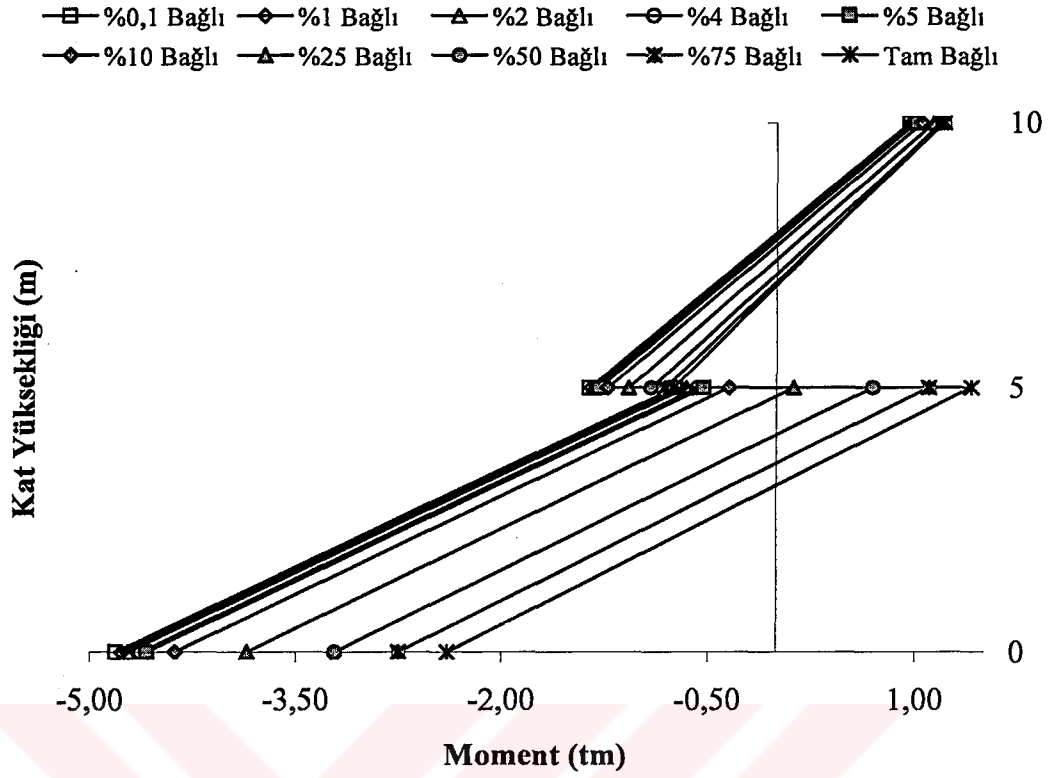
Şekil 5.50 "5,6" numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.51 “9,10” numaralı kolonlarda normal kuvvetin bağılık yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.52 “9,10” numaralı kolonlarda kesme kuvvetinin bağılık yüzdeleriyle değişimi.



Şekil 5.53 “9,10” numaralı kolonlarda momentin bağıllık yüzdeleriyle değişimi.

Bu durumda da 5 ve 6 numaralı çubuklara ait normal kuvvet değerleri incelenen tüm bağıllık hallerinde yok denecek kadar az olduğu için göz önüne alınmamıştır.

Elde edilen sonuçlar kesit tesirleri ile birlikte yerdeğiştirmelerin de dikkate alınması gerektiğini göstermiştir. Çubuk uçlarının %0,1 ile %10 bağıllı olması durumlarında kesit tesirleri arasında çok büyük farklar olmasa da, yerdeğiştirmeler için aynı durum söz konusu değildir. Yapı yalnızca kesit tesirleri göz önüne alındığında tasarıma uygun gibi gözükse de yerdeğiştirmeler dikkate alındığında yapı elemanlarının küçük bağıllık yüzdeleri ile teşkil edilmeleri halinde mevcut yüklere karşı koyamayacağı açıkça görülmektedir.

Çubuk uçlarında tanımlanan bağıllık oranları arttıkça 1 ve 2 numaralı kolonlarda normal kuvvet değerleri artış gösterirken kesme kuvveti ve moment değerleri ise azalmaktadır. 1 numaralı kolonda bağıllık oranlarının %10’dan %100’e çıkması durumunda normal kuvvet değeri %86 oranında artmaktadır. Aynı durumda 1 numaralı kolonun 1 numaralı ucunda moment değeri %55’ine düşmektedir.

Tüm kirişlerde bağıllık yüzdeleri arttıkça kesme kuvvetleri de artmaktadır. Ayrıca aynı kat hizasındaki kirişlerin kesme kuvveti değerleri birbirine eşit sayılabilecek kadar yakındır. Bağıllık oranlarının %10'dan % 100'e çıkması durumunda 3 ve 7 kirişlerinde kesme kuvveti değeri yaklaşık 2,57 katına çıkmaktadır. Aynı durumda 4 ve 8 kirişlerinde kesme kuvveti değeri yaklaşık %22 oranında artmaktadır.

3 ve 7 numaralı kirişlerde bağıllık yüzdeleri arttıkça moment değerleri de artmış ve elverişsiz moment değerleri tam bağıl durumda elde edilmiştir. 4 ve 8 numaralı kirişlerin kenar kolonlarla birleşen uçlarında elverişsiz momentler %75'lik bağıllık oranlarının kullanıldığı durumda elde edilmiştir.

5 ve 6 numaralı kolonlarda bağıllık yüzdeleri arttıkça kesme kuvvetleri de artmaktadır. Bağıllık oranının %10'dan %100'e çıkması durumunda 5 numaralı kolonun zemine ankastre olan ucunda moment değeri ise %61'ine düşmektedir. Burada oluşan diğer bir durumda; 5 numaralı kolonun 5 numaralı düğüm noktasına birleşen ucunda %10 bağıllık oranından itibaren, 6 numaralı kolonun aynı düğüm noktasına birleşen ucunda %25 bağıllık oranından itibaren moment değerlerinin azalmaya başlamasıdır. Şekil 5.39'da bu bağıllık oranlarının kullanıldığı durumlarda yerdeğiştirmelerde kırıklar oluşmaya başladığı belirtilmişti. Ayrıca 1 numaralı kolonun 2 ucunda ve 9 numaralı kolonun 8 ucunda %25 bağıllık oranında moment değerleri 0'a yaklaşmış ve bundan sonra bağıllık oranları küçüldükçe moment değerleri işaret değıştirip artmaya başlamıştır.

Bu sistemde ortaya çıkan en önemli durumlardan biri de %0,1 ve %1 gibi çok düşük bağıllık oranlarına sahip olan çubuk uçlarında bile elde edilen moment değerlerinin yeterince küçük olmamasıdır.

Sürekli kolonlu sistemlerde ortaya çıkan bu sonuçlar göz önüne alındığında bu sistemleri oluşturan yapı elemanlarının birleşim noktalarına yüksek oranlarda bağlanması sağlayacak birleştirme tekniklerinin kullanılması gerekmektedir. Böylece yapı dış yüklere karşı daha dayanıklı olmaktadır. Ayrıca bu sistemde yapı elemanlarının düğüm noktalarına yüksek oranlarla bağıl olması durumunda yapılan çözümlerinde daha güvenilir olduğu ortaya çıkmıştır.

Sürekli kolonlu sistemde elde edilen kesit tesir değerleri de bir yapı sisteminin modellenmesinde bağlılık yüzdelerinin doğru seğilmesinin gerekliliğini pekiştirmiştir. Yapılan incelemelerde bağlılık oranları değiştikçe kesit tesirlerinde de göz ardı edilmemesi gereken değişiklikler olduğu görölmüştür.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada incelenen düşey yüklere maruz kafes sistemlerde, çubuk uçlarının düğüm noktalarına olan bağıllık oranları arttıkça düşey yerdeğiştirmelerin azaldığı görülmüştür. En küçük düşey yerdeğiştirmeler kafes elemanların tam bağılı olduğu durumda, en büyük düşey yerdeğiştirmeler ise bu elemanların mafsallı bağılı olduğu durumda elde edilmiştir. Aynı kesit alanına ancak farklı atalet momentine sahip kesitler kullanılarak yapılan çözümlerde, mafsallı bağılı durumda aynı yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir. Bağıllık oranları arttıkça profil kesitlerin kullanıldığı sistemde elde edilen düşey yerdeğiştirmelerin, aynı kesit alanına sahip dairesel kesitli çubuklardan oluşan sisteme göre daha küçük olduğu görülmüştür.

Yapılan çözümlerde kafes sistemlerde en elverişli gerilme değerlerinin kafes elemanların mafsallı bağılı olması durumunda elde edildiği görülmüştür. En elverişsiz gerilmeler ise bir kaç özel durum hariç çubukların tam bağılı olması durumunda elde edilmiştir. Çubukların kısmi bağılı olduğu durumlarda ise bağıllık oranı arttıkça çubuklarda mafsallı bağılı duruma göre daha elverişsiz gerilmelerin oluştuğu görülmüştür.

Aynı kesit alanına ancak farklı atalet momentine sahip kesitler kullanılarak yapılan çözümlerde mafsallı bağılı durumlarda aynı gerilme değerleri elde edilmiştir. Fakat çözümlerde kullanılan bağıllık yüzdelerinin artmasıyla atalet momenti büyük olan profil kesitlerden oluşan sistemlerde çubuk uçlarında elde edilen moment değerlerinin daha büyük olduğu dolayısıyla da daha elverişsiz gerilmelerin elde edildiği görülmüştür. Bu durum eğilme rijitliği büyük olan kesitlerle oluşturulan kafes sistemlerde daha elverişsiz gerilmelerin ortaya çıkacağını göstermiştir. Aynı zamanda bağıllık oranlarının artmasıyla çubuk uçlarında elde edilen moment değerlerindeki belirgin artışların yanında normal kuvvet değerlerinde küçük azalmalar olduğu görülmüştür. Bu sonuca, kaynak [22]'de varıldığı belirtilmektedir.

Çalışmada dikkate alınan izostatik kafes sistemlerin farklı kesit alanına sahip elemanlardan oluştuğu dikkate alındığında düğüm noktalarından mafsallı bağlı olarak yapılan çözümlerinde elde edilen aksenal kuvvetler, aynı kesit alanına sahip çubuklar kullanılarak yapılan çözümlerde elde edilen aksenal kuvvetlerle aynı çıkmıştır. Ancak, kesit alanı büyük olan çubuklarda daha küçük gerilmeler, küçük olan çubuklarda ise daha büyük gerilmeler elde edilmiştir.

Farklı kesit alanına sahip çubuklardan oluşan sistemlerde çubuk uçlarının farklı oranlarla bağlanması ile yapılan çözümlerde, çubuk uçlarında elde edilen gerilmelerin o uçtaki bağlılık oranının haricinde diğer uçtaki bağlılık oranına ve sistemi oluşturan çubukların genel bağlılık oranlarına da bağlı olduğu ortaya çıkmıştır.

Kafes sistemlerin mafsallı bağlı olarak yapılan çözümlerinde, bazı kafes elemanlarda aksenal kuvvet oluşmamaktadır. Bu durumda bu çubuklarda gerilme de oluşmamaktadır. Ancak, bu çubukların kısmi veya tam bağlı olmaları halinde kesit tesirleri ve bunlardan ötürü gerilmeler oluştuğu görülmüştür.

Pratikte kafes sistemleri oluşturan elemanların birleşim noktalarına mafsallı olarak bağlandığı yapılarla çok nadir olarak karşılaşmaktadır. Yapılan incelemelerde ideal kafes sistemlerde bile bağlılık oranlarının değişmesi ile kafes elemanlarda ihmal edilemeyecek gerilme artışlarının oluştuğu ortaya çıkmıştır. Kafes sistemlere, üzerindeki sabit yükler haricinde kafes elemanların kendi ağırlıkları, kar yükleri ve rüzgar yükleri gibi dinamik yüklerin de etkiyeceği düşünüldüğünde bağlılık oranlarının değişmesi ile meydana gelen gerilme artışları daha da önem kazanmaktadır. Bu nedenle kafes sistemlerin, bağlılık durumlarını yansıtan uygun bağlılık oranları kullanılarak çözümlerinin yapılması gerekmektedir. Bu şekilde elde edilecek sonuçlarla yapılacak tasarımlar, klasik çözümle elde edilecek sonuçlarla yapılacak tasarımlara göre daha emniyetli olacaktır. Bu sistemlerin tam bağlı olması durumunda daha elverişsiz gerilmeler elde edildiği dikkate alınrsa kafes sistemlerin kısmi bağlı olarak yapılacak çözümlerinin aynı zamanda ekonomik olacağı da açıktır.

İncelenen yatay yüklere maruz prefabrik sistemlerde, yapı elemanlarının bağlılık oranları arttıkça yatay yerdeğiştirmelerin de önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Aynı geometriye sahip sürekli kolonlu sistemin süreksiz kolonlu sisteme göre yatay yüklere karşı çok daha

fazla karşı koyduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca süresiz kolonlu sistemlerde yapı elemanlarının kat hizalarında küçük oranlarla bağlanması durumunda elde edilen yatay yerdeğiştirmeler kat yükseklikleri boyunca gösterildiğinde, bu noktalarda kırıklar oluştuğu görülmüştür.

Prefabrik yapı elemanlarının bağlılık oranlarının artmasıyla kesit tesirlerinde de önemli değişiklikler olduğu görülmüştür. Özellikle kirişlerin bağlılık oranlarının artmasıyla çok daha büyük momentler taşıdığu ve daha fazla zorlandığu görülmüştür. Kolonlarda ise bağlılık oranları arttıkça normal gerilmelerin arttığu ancak özellikle tabana ankastre edilen kolon uçlarında oluşan büyük moment değerlerinin azaldığu görülmüştür. Bunun sonucunda da kolonların büyük bağlılık oranlarının kullanıldığu durumlarda daha az zorlandığu görülmüştür.

İncelenen prefabrik yapı sistemlerinde elde edilen yerdeğiştirme ve kesit tesirleri dikkate alındığında bu sistemlerin gelişmiş teknikler kullanılarak yüksek bağlılık oranları ile teşkil edilmesi gerekmektedir. Böylece bu sistemler dış yüklerle karşı daha dirençli olacaktır. Ayrıca uygun bağlılık oranlarının tespit edilmesi ile de daha gerçekçi sonuçlar elde edilecektir. Bu durum özellikle bu sistemlerin tasarımı açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada geliştirilen program dinamik analiz için güncelleştirilebilir. Böylece kısmi bağlı sistemlerin dinamik yükler altında nasıl davrandığu araştırılabilir.

Kafes sistemlerin kısmi veya tam bağlı olarak yapılan çözümlerinde yapı elemanlarının kendi ağırlıklarının da hesaba katılması durumunda daha gerçekçi çözümler elde edilecektir. Bu nedenle program özağırlıkları dikkate alacak şekilde geliştirilebilir.

Çubuk uçlarının kısmi bağlı olması durumunda değişen burkulma boyları hesaplanıp basınç çubuklarının burkulma kontrolü de yapılabilir. Ayrıca yapı elemanlarının kısmi bağlı olması durumunda çubuk uç kuvvetleri bulunabildiğu için gerekli birleşim hesapları yapılacak şekilde program geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ekiz, İ.** (1995) *Yapı Statiği I İzostatik Sistemler*, 2. basım, Seç Yayın Dağıtım, Uludağ ofset, İstanbul, s. 196-345.
- [2] **Tartaglione, L.C.**, (1991) *Structural Analysis*, International Editions, McGraw-Hill Book Co. - Singapore for manufacture and export, 528 pp.
- [3] **Sungur, İ.** (1990), Prefabrike Yapılar, Ders Notları (yayımlanmamış), KTÜ. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Trabzon.
- [4] **Alacalı İnşaat** (2004) ALA - SAWA Sistemi, Alacalı İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., <http://www.alacali.com.tr/html/ava.html>
- [5] **Ayaydın, Y.** (1992) *Betonarme Çok Katlı Prefabrike İskelet Sistemler*, Cilt 1, Sistemlerin Tanıtımı, Çağdaş Yapım Sistemleri Yayın Dizisi 3, Kurtiş Matbaası, MSÜ., İstanbul, 272 s.
- [6] **Günay, D.** (2003) Sonlu Elemanlar Metodu, Ders Notları (yayımlanmamış), ZKÜ. Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, 214 s.
- [7] **Muvafık, M.** (2002) Yapı Mühendisliğinde Matris Metotlar, Ders Notları (yayımlanmamış), ZKÜ. Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.
- [8] **McGuire, W., Gallagher, R.H., Ziemian, R.D.** (19..) *Matrix Structural Analysis*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 460 pp.
- [9] **Cook, R.D.**, (1994) *Finite Element Modeling for Stress Analysis*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 320 pp.
- [10] **Cook, R.D., Malkus, D.S., Plesha, M.E.** (1988) *Concepts and Applications of Finite Element Analysis*, 3rd ed., John Wiley & Sons, Inc., USA, 630 pp.
- [11] **Beer, F.P., Johnston, Jr.** (19..) *Mechanics of Materials*, McGraw-Hill, Mechanical Engineering Series, s. 3-52.
- [12] **Budynas, R.G.** (1999) *Advanced Strength and Applied Stress Analysis*, 2nd ed., International Editions, WCB / McGraw-Hill, Rochester Institute of technology, 935 pp.
- [13] **Odabaşı, Y.** (1997) *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*, 2. basım, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, 479 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- [14] **Chandrupatla, T.R., Belegundu, A.D.** (2002) *Introduction to Finite Elements in Engineering*, 3rd ed., Prentice-Hall, 453 pp.
- [15] **Zienkiewicz, O.C.** (1977) *The Finite Element Method*, 3rd ed., McGraw-Hill Book Co., UK., 787 pp.
- [16] **Tezcan, S.** (1970) *Çubuk Sistemlerin Elektronik Hesap Makineleri ile Çözümü*, İTÜ. Kütüphanesi Elektronik Hesap Bilimleri Enstitüsü Yayınları, Arı Kitabevi Matbaası, İstanbul, 1970, No. 12, 406 s.
- [17] **Güngören, B.** (2001) *C++ İle Nesne Tabanlı Programlama*, 1. basım, Seçkin Yayıncılık, Sözkese Matbaacılık, Ankara, 269 s.
- [18] **Darılmaz, K.** *Yapı Mühendisliği Örnekleriyle C++ Kullanımına Giriş*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 182 s.
- [19] **Perry, G., Johnson, M.** (1992) *Turbo C++ by Example*, Que Corporation, 825 pp.
- [20] **TS 648** (1982) *Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, 1. basım, TSE, Ankara
- [21] **TS 500** (1985) *Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları*, 1. basım, TSE, Ankara
- [22] **Kaya, S.** (1996) Yarı - Rijit Bağlantılı Düzlemsel Çelik Kafes Sistemlerin Analiz ve Tasarımı İçin Bir Bilgisayar Programı, Yüksek lisans tezi (yayımlanmamış), ÇÜ. Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 141 s.
- [23] **Uzun, İ.** (2000) *Nümerik Analiz*, 2. basım, Mühendislikte Nümerik Çözüm Yöntemleri, Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul, s. 51-54.
- [24] **Press, W.H., Teukolsky, S.A., Vetterling, W.T., Flannery, B.P.** (1992) *Numerical Recipes in C*, 2nd ed., The Art of Scientific Computing, Cambridge University Press, 455 pp.

EK AÇIKLAMALAR A

PROGRAM LİSTESİ

Programda düğüm noktası yerdeğiştirme değerlerini elde etmek için lineer denklem sistemlerini direkt olarak çözen Cholesky yöntemi kullanılmıştır.

Programın akış şeması şekil B.1'de verilmiştir.

Program için gerekli veriler data.txt dosyasından alınıp PRINT.txt dosyasına yazdırılmaktadır.

Veri dosyalarına örnek olması bakımından eşit açılı gözlerden oluşan sistemin mafsalı bağlı olduğu duruma ait veri dosyası Çizelge C.1'de, rijit bağlı olduğu duruma ait veri dosyası Çizelge D.1'de, farklı yüzdelerle kısmi bağlı olması durumundaki veri dosyası da Çizelge E.1'de verilmiştir.



Çizelge A.1 Program listesi.

```
/*    PARTIALLY FIXED SYSTEM    */
#include <iostream.h>
#include <math.h>
#include <iomanip.h>
#include <ctype.h>
#include <conio.h>
#include <stdlib.h>
#include <fstream.h>
#include <stdio.h>
#define node 8
#define elenum 13
#define freedom 21
void main(){
ifstream take;
take.open("data.txt",ios::in);
ofstream write;
write.open("print.txt",ios::out);
int i,j,k,iucu,jucu,K,L,m,n,pass;
int iend[elenum],jend[elenum];
double nui[elenum],nuj[elenum],ri[elenum],rj[elenum],rij[elenum];
double X[node],Y[node],ELENG[elenum],XL[elenum],YL[elenum];
double h[elenum],hust[elenum],halt[elenum];
double c[elenum],s[elenum],cc[elenum],ss[elenum];
double Sec[elenum],Inert[elenum];
double Codenum[elenum][6],Ele_stif_mat[elenum][6][6],
Sys_stif_mat[freedom][freedom];
double T_Transpose[elenum][6][6],point[freedom],concentrated[elenum],
a[elenum],uniform[elenum];
double F_Bar[elenum][6],F_Global[elenum][6],Set_Transpose[elenum][6][6];
double Ele_Disp[elenum][6],End_Forces[elenum][6],Ele_End_Forces[elenum][6];
double sigma_ust[elenum][2],sigma_alt[elenum][2];
double Elas,Section,Inertia;
double **UM, **LM, **S, *YM, *Disp;
char ans,message[15];
for(i=0;i<2;i++)
take>>message;
for(i=0 ; i<node ; i++){
take>>X[i];
take>>Y[i];}
for(i=0;i<4;i++)
take>>message;
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
take>>iucu;
iend[i]=iucu-1;
take>>jucu;
jend[i]=jucu-1;}
```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```
for(i=0;i<3;i++)
take>>message;
take>>Elas;
for(i=0;i<3;i++)
take>>message;
take>>ans;
ans=toupper(ans);
if(ans=='E'){
take>>Section;
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
Sec[i]=Section;}}
else{
for(i=0;i<elenum;i++){
take>>Sec[i];}}
for(i=0;i<3;i++)
take>>message;
take>>ans;
ans=toupper(ans);
if(ans=='E'){
take>>Inertia;
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
Inert[i]=Inertia;}}
else{
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
take>>Inert[i];}}
for(i=0;i<7;i++)
take>>message;
take>>pass;
switch(pass){
case 0:
for(i=0;i<elenum;i++){
nui[i]=1e-10;
nuj[i]=1e-10;
}break;
case 1:
for(i=0;i<elenum;i++){
nui[i]=1;
nuj[i]=1;
}break;
default:
for(i=0;i<elenum;i++){
take>>nui[i];
if(nui[i]==0){
nui[i]=1e-10;}
take>>nuj[i];
if(nuj[i]==0){
nuj[i]=1e-10;}}}}
```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```
for(i=0;i<10;i++)
take>>message;
for(i=0;i<elenum;i++){
take>>h[i];
take>>hust[i];
halt[i] = h[i] - hust[i];
hust[i] = -hust[i];}
for(i=0;i<3;i++)
take>>message;
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
take>>Codenum[i][j];}}
for(i=0;i<3;i++)
take>>message;
for (i=0;i<freedom;i++){
take>>point[i];}
write<<"\n";
for(i=0;i<6;i++)
take>>message;
take>>ans;
ans = toupper(ans);
if (ans=='E'){
for (i=0;i<elenum;i++){
take>>uniform[i];}}
else{
for (i=0;i<elenum;i++){
uniform[i]=0;}}
write<<"\n";
for(i=0;i<5;i++)
take>>message;
take>>ans;
ans = toupper(ans);
if (ans=='E'){
for (i=0;i<elenum;i++){
take>>concentrated[i];
take>>a[i];}}
else{
for (i=0;i<elenum;i++){
concentrated[i]=0;
a[i]=0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
XL[i]= X[jend[i]]-X[iend[i]];
YL[i]= Y[jend[i]]-Y[iend[i]];}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
ELENG[i]=sqrt(pow(XL[i],2)+pow(YL[i],2));}
```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```

for (i=0 ; i<elenum ; i++){
c[i] = XL[i] / ELENG[i];
cc[i] = pow(c[i],2);
s[i] = YL[i] / ELENG[i];
ss[i] = pow(s[i],2);}
for(i=0;i<elenum;i++){
ri[i] = 3 * nui[i] / (4 - nui[i] * nuj[i]);
rj[i] = 3 * nuj[i] / (4 - nui[i] * nuj[i]);
rij[i] = 3 * nui[i] * nuj[i] / (4 - nui[i] * nuj[i]);}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
Ele_stif_mat [i][0][0] = (Elas * Sec[i] / ELENG[i] * cc[i]) + (4 * Elas * Inert[i] /
pow(ELENG[i],3) * ss[i] * (ri[i] + rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][0][1] = (Elas * Sec[i] / ELENG[i] * c[i] * s[i]) - (4 * Elas * Inert[i] /
pow(ELENG[i],3) * c[i] * s[i] * (ri[i] + rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][0][2] = (-2 * Elas * Inert[i] / pow(ELENG[i],2) * s[i] * (2 * ri[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][0][3] = -1 * Ele_stif_mat [i][0][0];
Ele_stif_mat [i][0][4] = -1 * Ele_stif_mat [i][0][1];
Ele_stif_mat [i][0][5] = (-2 * Elas * Inert[i] / pow(ELENG[i],2) * s[i] * (2 * rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][1][1] = (Elas * Sec[i] / ELENG[i] * ss[i]) + (4 * Elas * Inert[i] /
pow(ELENG[i],3) * cc[i] * (ri[i] + rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][1][2] = (2 * Elas * Inert[i] / pow(ELENG[i],2) * c[i] * (2 * ri[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][1][3] = -1 * Ele_stif_mat [i][0][1];
Ele_stif_mat [i][1][4] = -1 * Ele_stif_mat [i][1][1];
Ele_stif_mat [i][1][5] = (2 * Elas * Inert[i] / pow(ELENG[i],2) * c[i] * (2 * rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][2][2] = (4 * Elas * Inert[i] / ELENG[i] * ri[i]);
Ele_stif_mat [i][2][3] = -1 * Ele_stif_mat [i][0][2];
Ele_stif_mat [i][2][4] = -1 * Ele_stif_mat [i][1][2];
Ele_stif_mat [i][2][5] = (2 * Elas * Inert[i] / ELENG[i] * rij[i]);
Ele_stif_mat [i][3][3] = Ele_stif_mat [i][0][0];
Ele_stif_mat [i][3][4] = Ele_stif_mat [i][0][1];
Ele_stif_mat [i][3][5] = (2 * Elas * Inert[i] / pow(ELENG[i],2) * s[i] * (2 * rj[i] + rij[i]));
Ele_stif_mat [i][4][4] = Ele_stif_mat [i][1][1];
Ele_stif_mat [i][4][5] = -1 * Ele_stif_mat [i][1][5];
Ele_stif_mat [i][5][5] = (4 * Elas * Inert[i] / ELENG[i] * rj[i]);}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=1 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<5 ; k++){
if(k<j){
Ele_stif_mat [i][j][k] = Ele_stif_mat [i][k][j];}}}}
for(m=0 ; m<freedom ; m++){
for(n=0 ; n<freedom ; n++){
Sys_stif_mat[m][n]=0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
K=(Codenum[i][j]);
if(K!=0){
K--;

```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```

for(k=0 ; k<6 ; k++){
L=Codenum[i][k];
if(L!=0){
L--;
Sys_stif_mat[K][L] = Sys_stif_mat[K][L] + Ele_stif_mat[i][j][k];}}}}
for(K=0 ; K<freedom ; K++){
write<<"\n";
for(L=0 ; L<freedom ; L++){
write<<setiosflags(ios::left)<<setw(12)<<setprecision(6)<<Sys_stif_mat[K][L];}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
T_Transpose[i][j][k]=0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
T_Transpose[i][0][0]= c[i];
T_Transpose[i][0][1]= -s[i];
T_Transpose[i][1][0]= s[i];
T_Transpose[i][1][1]= c[i];
T_Transpose[i][2][2]= 1;
T_Transpose[i][3][3]= c[i];
T_Transpose[i][3][4]= -s[i];
T_Transpose[i][4][3]= s[i];
T_Transpose[i][4][4]= c[i];
T_Transpose[i][5][5]= 1; }
for(i=0;i<elenum;i++){
F_Bar[i][0]=0;
F_Bar[i][1]=(uniform[i] * ELENG[i] / 2 + concentrated[i] * pow((ELENG[i]-a[i]),2) * (3 *
a[i] + (ELENG[i]-a[i])) / pow(ELENG[i],3));
F_Bar[i][2]=(uniform[i] * pow(ELENG[i],2) / 12 + concentrated[i] * a[i] *
pow((ELENG[i]-a[i]),2) / pow(ELENG[i],2) );
F_Bar[i][3]=0;
F_Bar[i][4]=(uniform[i] * ELENG[i] / 2 + concentrated[i] * pow(a[i],2) * (3 * (ELENG[i]-
a[i]) + a[i]) / pow(ELENG[i],3) );
F_Bar[i][5]=-(uniform[i] * pow(ELENG[i],2) / 12 + concentrated[i] * (ELENG[i]-a[i]) *
pow(a[i],2) / pow(ELENG[i],2) );}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
F_Global[i][j]=0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
F_Global[i][j] = F_Global[i][j] + T_Transpose[i][j][k] * F_Bar[i][k]; }}}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<freedom ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
if (Codenum[i][k]==(j+1)){
point[j] = point[j] - F_Global[i][k];}}}}

```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```

for(i=0 ; i<freedom ; i++){
write<<"F["<<(i+1)<<"]= "<<point[i]<<endl;}
LM= new double *[freedom];
for (i = 0; i < freedom; i++)
LM[i] = new double [freedom];
UM = new double *[freedom];
for (i = 0; i < freedom; i++)
UM[i] = new double [freedom];
S = new double *[freedom];
for (i = 0; i < freedom; i++)
S[i] = new double [freedom];
YM = new double [freedom];
Disp = new double [freedom];
for (j=0; j<freedom ; j++){
for (k=0; k<freedom ; k++){
if (k<=j){
if (k==j){
LM[k][k] = 1;}
if (k==0){
UM[0][j] = Sys_stif_mat[0][j];}
else {
S[k][j] = 0;
for (i=0; i<k ; i++){
S[k][j] = S[k][j] + LM[k][i] * UM[i][j];}
UM[k][j] = Sys_stif_mat[k][j] - S[k][j];}}
else{
if (j==0 && k!=0){
LM[k][j] = 1 / UM[j][j] * Sys_stif_mat[k][j];}
else if (k > 0 && j>0){
S[k][j]=0;
for (i=0 ; i<j; i++){
S[k][j] = S[k][j] + LM[k][i] * UM[i][j];}
LM[k][j] = 1 / UM[j][j] * ( Sys_stif_mat[k][j] - S[k][j] );}}}}
YM[0] = point[0];
for (k=0; k<freedom; k++){
S[k][0]=0;
for (i=0; i<k; i++){
S[k][0] = S[k][0] + (LM[k][i] * YM[i]);}
YM[k] = point[k] - S[k][0];}
Disp[freedom-1] = 1 / UM[freedom-1][freedom-1] * YM[freedom-1] ;
for (i=freedom-2; i>=0; i--){
S[i][i] = 0;
for (j=i+1; j<freedom; j++){
S[i][i] = S[i][i] + UM[i][j] * Disp[j];}
Disp[i] = 1 / UM[i][i] * (YM[i] - S[i][i]);}

```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

```

for (i=0;i<freedom;i++){
write.precision(10);
write << "\nDisp["<<(i+1)<<"]=" << Disp[i];}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
Set_Transpose[i][j][k]=0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
Set_Transpose[i][0][0] = -c[i];
Set_Transpose[i][0][1] = -s[i];
Set_Transpose[i][1][0] = -s[i];
Set_Transpose[i][1][1] = c[i];
Set_Transpose[i][2][2] = -1;
Set_Transpose[i][3][3] = c[i];
Set_Transpose[i][3][4] = s[i];
Set_Transpose[i][4][3] = s[i];
Set_Transpose[i][4][4] = -c[i];
Set_Transpose[i][5][5] = 1; }
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
End_Forces[i][j] = 0;
Ele_End_Forces[i][j] = 0;}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
if(Codenum[i][j]==0){
Ele_Disp[i][j] = 0;}
else {
pass=Codenum[i][j]-1;
Ele_Disp[i][j] = Disp[pass];}}}
write<<"\n";
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
End_Forces[i][j] = End_Forces[i][j] + Ele_stif_mat[i][j][k] * Ele_Disp[i][k];}}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
End_Forces[i][j] = End_Forces[i][j] + F_Global[i][j];}}
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
for(j=0 ; j<6 ; j++){
for(k=0 ; k<6 ; k++){
Ele_End_Forces[i][j] = Ele_End_Forces[i][j] + Set_Transpose[i][j][k] * End_Forces[i][k];
}}}}
write<<"\n\n";
write<<"
CUBUK UC KUVVETLERI (t-m) "<<endl;
write<<"
N1      T1      M1      N2      T2      M2\n";
write<<" Eleman No   i ucu   i ucu   i ucu   j ucu   j ucu   j ucu   \n";
write<<" -----   -----   -----   -----   -----   -----   -----";

```

Çizelge A.1 (devam ediyor)

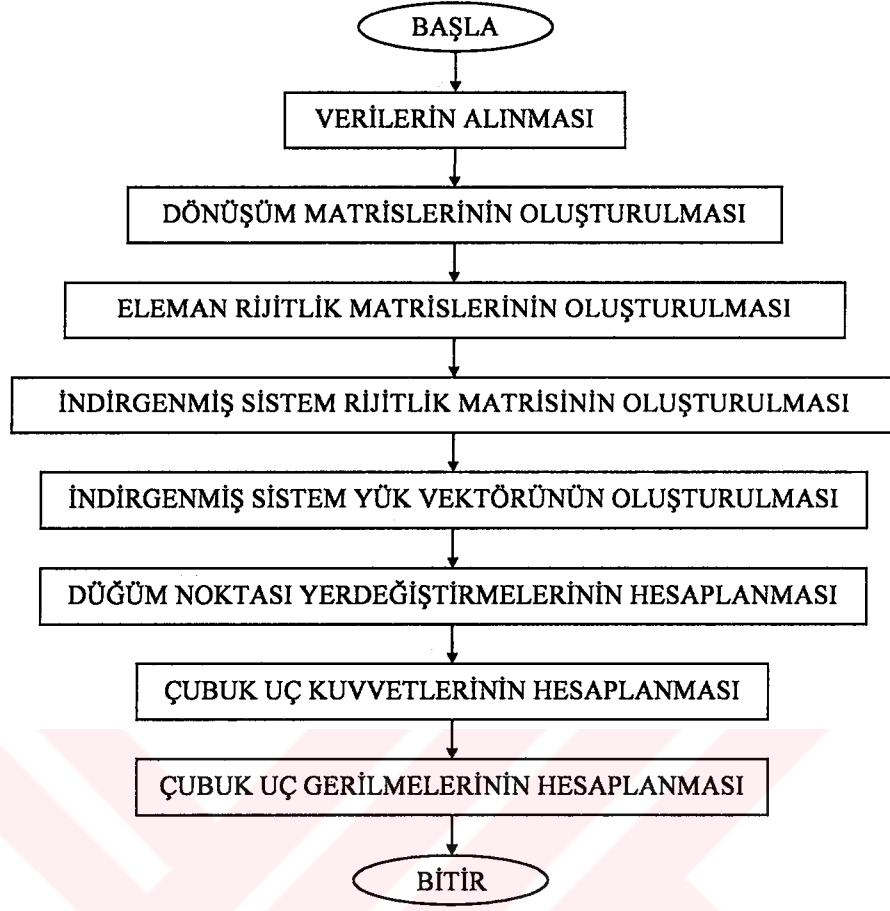
```

for(i=0 ; i<elenum ; i++){
write<<"\n " <<setw(6)<<(i+1)<<"\t";
for(j=0 ; j<6 ; j++){
write<<setiosflags(ios::left)<<setw(12)<<setprecision(5)<<Ele_End_Forces[i][j]<<" ";}}
for(i=0;i<elenum;i++){
for(j=0;j<2;j++){
if(j==0){
sigma_ust[i][j] = Ele_End_Forces[i][j] / Sec[i] + Ele_End_Forces[i][(j+2)] / Inert[i] *
hust[i];
sigma_alt[i][j] = Ele_End_Forces[i][j] / Sec[i] + Ele_End_Forces[i][(j+2)] / Inert[i] *
halt[i];}
else{
sigma_ust[i][j] = Ele_End_Forces[i][(j+2)] / Sec[i] + Ele_End_Forces[i][(j+4)] / Inert[i] *
hust[i];
sigma_alt[i][j] = Ele_End_Forces[i][(j+2)] / Sec[i] + Ele_End_Forces[i][(j+4)] / Inert[i] *
halt[i];}}}}
write<<"\n\n";
write<<"
                                CUBUK UC GERILMELERI (t-m)"<<endl;
write<<"
                SIGMA UST  SIGMA ALT  SIGMA UST  SIGMA ALT\n";
write<<" Eleman No   i ucu    i ucu    j ucu    j ucu\n";
write<<" -----  -----  -----  -----  -----";
for(i=0 ; i<elenum ; i++){
write<<"\n " <<setw(5)<<(i+1)<<"\t";
for(j=0 ; j<2 ; j++){
write<<setiosflags(ios::left)<<setw(11)<<setprecision(5)<<sigma_ust[i][j]<<"
"<<setiosflags(ios::left)<<setw(11)<<setprecision(5)<<sigma_alt[i][j]<<" ";}}
delete UM,LM,S,YM,Disp;
fcloseall();
} //PROGRAM SONU

```

EK AÇIKLAMALAR B

PROGRAM AKIŞ ŞEMASI



Şekil B.1 Akış şeması.

EK AÇIKLAMALAR C

**EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE AYNI KESİTLİ ÇUBUKLARIN
MAFSALLI BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT VERİ DOSYASI**

Çizelge C.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde mafsallı bağlı duruma ait veri dosyası.

KOORDINATLARI GIRIN

0 0
1.5 2.598076
3 0
4.5 2.598076
6 0
7.5 2.598076
9 0

CUBUK UC NUMARALARINI GIRINIZ

1 2
2 3
1 3
2 4
3 4
3 5
4 5
4 6
5 6
5 7
6 7

ELASTISITE MODULUNU GIRINIZ

21E6

KESIT ALANLARI ESITMI

E

4398.230E-6

ATALET MOMENTLERI ESITMI

E

10830640.67E-12

ELEMAN BAGLANTILARI MAFSALLIYSA 0, RIJTSE 1 GIRINIZ

0

KESIT YUKSEKLIKLERINI ve KESITIN UST NOKTASININ TARAFSIZ EKSENE
UZAKLIGINI GIRINIZ

0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075
0.150 0.075

Çizelge C.1 (devam ediyor)

KOD NUMARALARINI GIRIN

0 0 1 2 3 4

2 3 4 5 6 7

0 0 1 5 6 7

2 3 4 8 9 10

5 6 7 8 9 10

5 6 7 11 12 13

8 9 10 11 12 13

8 9 10 14 15 16

11 12 13 14 15 16

11 12 13 17 0 18

14 15 16 17 0 18

NOKTASAL YUKLERI GIRIN

0 0 -0.75525 0 0 0 0 0 -0.75525 0 0 0 0 0 -0.75525 0 0 0

ÇUBUK UZERINE ETKIYEN UNIFORM YAYILI YUKLER

H

TEKIL YUK VE MESAFELERINI GIRINIZ

H

EK AÇIKLAMALAR D

**EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE AYNI KESİTLİ ÇUBUKLARIN
TAM BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT VERİ DOSYASI**

Çizelge D.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde rijit bağlı duruma ait veri dosyası.

KOORDINATLARI GIRIN

0 0

1.5 2.598076

3 0

4.5 2.598076

6 0

7.5 2.598076

9 0

CUBUK UC NUMARALARINI GIRINIZ

1 2

2 3

1 3

2 4

3 4

3 5

4 5

4 6

5 6

5 7

6 7

ELASTISITE MODULUNU GIRINIZ

21E6

KESIT ALANLARI ESITMI

E

4398.230E-6

ATALET MOMENTLERI ESITMI

E

10830640.67E-12

ELEMAN BAGLANTILARI MAFSALLIYSA 0, RIJITSE 1 GIRINIZ

1

KESIT YUKSEKLİKLERINI ve KESITIN UST NOKTASININ TARAFSIZ EKSENE
UZAKLIGINI GIRINIZ

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

0.150 0.075

Çizelge D.1 (devam ediyor)

KOD NUMARALARINI GIRIN

001234

234567

001567

2348910

5678910

567111213

8910111213

8910141516

111213141516

11121317018

14151617018

NOKTASAL YUKLERI GIRIN

00-0.7552500000-0.7552500000-0.75525000

ÇUBUK UZERINE ETKIYEN UNIFORM YAYILI YUKLER

H

TEKIL YUK VE MESAFELERINI GIRINIZ

H

EK AÇIKLAMALAR E

**EŞİT AÇILI GÖZLERDEN OLUŞAN SİSTEMDE FARKLI KESİTLİ
ÇUBUKLARIN FARKLI YÜZDELERLE BAĞLI OLDUĞU DURUMA AİT
VERİ DOSYASI**

Çizelge E.1 Eşit açılı gözlerden oluşan sistemde farklı yüzdelerle bağlı duruma ait veri dosyası.

KOORDINATLARI GIRIN

0 0

1.5 2.598076

3 0

4.5 2.598076

6 0

7.5 2.598076

9 0

CUBUK UC NUMARALARINI GIRINIZ

1 2

2 3

1 3

2 4

3 4

3 5

4 5

4 6

5 6

5 7

6 7

ELASTISITE MODULUNU GIRINIZ

21E6

KESIT ALANLARI ESITMI

H

5969.026E-6

3612.832E-6

2827.433E-6

4398.230E-6

1809.557E-6

5183.628E-6

1809.557E-6

4398.230E-6

3612.832E-6

2827.433E-6

5969.026E-6

ATALET MOMENTLERI ESITMI

H

27009842.84E-12

6017622.553E-12

2898119.223E-12

10830640.67E-12

1187069.634E-12

17705328.97E-12

1187069.634E-12

10830640.67E-12

6017622.553E-12

2898119.223E-12

Çizelge E.1 (devam ediyor)

27009842.84E-12

ELEMAN BAĞLANTILARI MAFSALLIYSA 0, RIJITSE 1 GIRINIZ

2

0.95 0.90

0.40 0.50

0.75 0.25

0.50 0.75

0.25 0.10

0.75 0.70

0.10 0.25

0.75 0.50

0.50 0.40

0.25 0.75

0.90 0.95

KESIT YUKSEKLİKLERİNİ ve KESITİN UST NOKTASININ TARAFSIZ EKSENE UZAKLIĞINI GIRINIZ

0.200 0.100

0.125 0.0625

0.100 0.050

0.150 0.075

0.080 0.040

0.175 0.0875

0.080 0.040

0.150 0.075

0.125 0.0625

0.100 0.050

0.200 0.100

KOD NUMARALARINI GIRIN

0 0 1 2 3 4

2 3 4 5 6 7

0 0 1 5 6 7

2 3 4 8 9 10

5 6 7 8 9 10

5 6 7 11 12 13

8 9 10 11 12 13

8 9 10 14 15 16

11 12 13 14 15 16

11 12 13 17 0 18

14 15 16 17 0 18

NOKTASAL YUKLERİ GIRIN

0 0 -0.75525 0 0 0 0 -0.75525 0 0 0 0 -0.75525 0 0 0

ÇUBUK ÜZERİNE ETKİYEN UNIFORM YAYILI YUKLER

H

TEKİL YUK VE MESAFELERİNİ GIRINIZ

H

ÖZGEÇMİŞ

Murat Emre KARTAL 1978'de Trabzon'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Trabzon Fatih Süper Lisesi'nden 1996'da mezun olduktan sonra 1997 yılında KTÜ Mühendislik - Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2001'de bu bölümden mezun olduktan sonra ZKÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı; halen 2002 yılında girdiği ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: ZKÜ Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
67100 ZONGULDAK

Tel: (372) 257 4010 / 1633

Cep: (542) 486 2113

Faks: (372) 257 4023

E-posta: murat_emre_kartal@hotmail.com