

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi İsa YILDIRIM

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : YAPI
Tez Danışmanı : Yrd.Doç. Dr. Naci ÇAĞLAR

Eylül 2009

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BETONARME YAPILARIN DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ


İnş. Müh. İsa YILDIRIM


Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : YAPI

Bu tez 03 / 09 /2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Doç.Dr.Mehmet SARIBIYIK
Jüri Başkanı


Yrd.Doç.Dr.Naci CAĞLAR
Üye


Yrd.Doç.Dr.Hüseyin KASAP
Üye

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalıőmalarımı her aőamada izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan hocam Yrd.Doç.Dr. Naci Çağlar'a, tezin son halinin oluőmasında tenkit ve tavsiyeleri ile bana yol gösteren Doç.Dr. Mehmet SARIBIYIK ve Yrd.Doç.Dr. Hüseyin KASAP hocalarıma, çalıőmalarımı sabırla destekleyen, moral ve yardımlarını esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme, iç yeri arkadaşlarıma ve dostlarıma en iőten dileklerle teőekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii

BÖLÜM 1.

GİRİŞ.....	
1.1. Konunun Tanımı.....	1
1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar.....	1
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	3

BÖLÜM 2.

DOĞRUSAL OLMAYAN YAPISAL ANALİZ.....	5
2.1. Plastik Mafsal Kavramı.....	6
2.2. Plastikleşme Momenti.....	8
2.3. Süneklik ve Plastik Mafsalarda Enerji Tüketilmesi.....	8
2.4. Plastik Analiz Yöntemleri.....	9
2.4.1. Yük artımıyla analiz yöntemi.....	9
2.4.1.1. Limit yük teoremleri.....	9
2.4.2. Statik denge yöntemi.....	10
2.4.3. Mekanizma yöntemi.....	10
2.4.3.1. Kiriş mekanizması.....	11
2.4.3.2. Çerçeve mekanizması.....	12

2.4.3.3. Birleşik mekanizma.....	13
BÖLÜM 3.	
DEPLASMAN METODU.....	14
3.1. Teorik Bilgiler.....	15
3.1.1. Global eksen takımı.....	15
3.1.2. Çubuk eksen takımı.....	15
3.1.3. Düğüm noktası eksen takımı.....	16
3.1.4. Yapı sisteminin serbestlikleri.....	17
3.1.5. Yapı sisteminin hiperstatiklik derecesi.....	18
3.1.6. Çubuk ucu kuvvetleri.....	19
3.1.7. Rotasyon matrisinin oluşturulması.....	20
3.1.8. Çubuk ucu deplasmanları.....	21
3.1.9. Global eksen takımındaki çubuk ucu kuvvetleri \bar{q}_i 'lerin çubuk eksen takımı kuvvetleri q_i 'ler cinsinden tarifi.....	27
BÖLÜM 4.	
MOMENT-EĞRİLİK.....	29
4.1. Moment-Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi.....	30
4.1.1. Geometrik tanımlama.....	32
4.1.2. Birim deformasyon dağılımı.....	32
4.1.3. Gerilme dağılımının hesabı.....	34
4.1.4. İç kuvvetlerin hesabı.....	34
4.1.5. Denge koşulunun sağlanması.....	35
4.1.6. Moment ve eğrilik değerlerinin hesabı.....	35
4.2. Malzeme Modelleri.....	36
4.2.1. Donatı çeliği için önerilen model.....	37
4.2.2. Basınç altındaki beton için σ - ϵ modelleri.....	34
4.2.2.1. Hognestad modeli.....	38
4.2.2.2. Kent ve park modeli.....	39
4.2.2.3. Geliştirilmiş kent ve park modeli.....	40
4.2.2.4. Sheikh ve üzümeri modeli.....	42

4.2.2.5. Saatçioğlu ve ravzi modeli.....	43
4.2.3. Çekme altındaki beton için σ - ϵ modeli.....	43
BÖLÜM 5.	
BİLGİSAYAR PROGRAMLARI.....	45
5.1. Moment-Eğrilik Programı.....	46
5.2. Deplasman (Stiffness) Metodu Programı.....	51
5.3. Dolyan ve Megri Programları ile Yapılan Çözüm.....	53
5.3.1. Birinci plastik mafsalsın oluşması.....	53
5.3.2. İkinci plastik mafsalsın oluşması.....	57
5.3.3. Üçüncü plastik mafsalsın oluşması.....	60
5.3.4. Dördüncü plastik mafsalsın oluşması.....	63
5.3.5. Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin çizilmesi.....	66
5.4. Dolyan Programının Karşılaştırılması.....	67
5.4.1. Birinci plastik mafsalsın oluşması.....	67
5.4.2. İkinci plastik mafsalsın oluşması.....	69
5.4.3. Üçüncü plastik mafsalsın oluşması.....	71
5.4.4. Dördüncü plastik mafsalsın oluşması.....	73
5.4.5. Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin çizilmesi.....	74
BÖLÜM 6.	
SAYISAL UYGULAMALAR.....	76
BÖLÜM 7.	
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	92
EKLER.....	94
ÖZGEÇMİŞ.....	142

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

M	: Moment
M _p	: Plastikleşme momenti
K	: Eğrilik
K _p	: Akma noktasına karşı gelen eğrilik değeri
K _u	: Kopma noktasına karşı gelen eğrilik değeri
σ_y	: Akma gerilmesi
x _j	: j çubuğunun x eksenini
y _j	: j çubuğunun y eksenini
z _j	: j çubuğunun z eksenini
α_j	: Çubuk eksen takımı ile global eksen takımı arasındaki açı
α_i	: Çubuğun i ucu düğüm noktası eksen takımının global eksenle yaptığı açı
α_k	: Çubuğun k ucu düğüm noktası eksen takımının global eksenle yaptığı açı
SD	: Serbestlik derecesi
σ_y	: Akma noktasına karşı gelen gerilme değeri
q_j	: Çubuk eksen takımına göre çubuk ucu deformasyonundan kaynaklanan çubuk ucu kuvvetleri
R_j	: Rotasyon matrisi
d _j	: Düğüm noktaları deplasmanları
Δ_j	: Çubuk boy uzaması
S_j	: Çubuk eksen takımına göre çubuk rijitlik matrisi
S _j	: Global eksen takımına göre çubuk stiffness matrisi
S	: Yapı sisteminin stiffness matrisi
E _j	: Elastisite modülü
A _j	: j çubuğunun kesit alanı

I_j	: j çubuğunun atalet momenti
\vec{q}_j	: Çubuk eksen takımına göre çubuk yüklerinden kaynaklanan kuvvetler vektörü
\vec{q}_j^d	: Çubuk eksen takımına göre çubuk ucu deplasmanlarından kaynaklanan çubuk ucu kuvvetleri vektörü
\vec{P}	: Düğüm noktası yük vektörü
\vec{Q}	: Yapı sisteminin dış yüklerinden kaynaklanan çubuk ucu kuvvetleri yük vektörü
\vec{X}	: Çubuk ucu serbestlikleri vektörü
ε_i	: Birim deformasyon
σ_i	: Gerilme
f_{yk}	: Boyuna donatı akma dayanımı
f_{ck}	: Beton basınç dayanımı
E_c	: Betonun elastisite modülü
A_0	: Sargı donatısının kesit alanı
ρ_s	: Sargı donatısı hacimsel oranı
s	: Sargı donatısı aralığı
f_c	: Sargısız beton basınç dayanımı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Betonarme eleman kesitine ait moment-eğrilik ilişkisi.....	6
Şekil 2.2a.	Çeliğin idealleştirilmiş yük-sehim ilişkisi.....	7
Şekil 2.2b.	Basit kiriş.....	7
Şekil 2.3.	Basit ankastre çerçeve.....	11
Şekil 2.3a.	Kiriş mekanizması.....	12
Şekil 2.3b.	Çerçeve mekanizması.....	12
Şekil 2.3c.	Birleşik mekanizma.....	13
Şekil 3.1.	Global eksen takımı.....	15
Şekil 3.2.	Çubuk eksen takımı.....	16
Şekil 3.3.	Düğüm noktası eksen takımı.....	17
Şekil 3.4.	Mesnet tiplerine göre serbestliklerin gösterimi.....	18
Şekil 3.5.	Çubuk ucu kuvvetleri.....	19
Şekil 3.6.	Çubuk eksen takımından global eksen takımına geçiş.....	20
Şekil 3.7.	Çubuk ucu deplasmanları.....	21
Şekil 3.8.	Çubuk eksen takımından global eksen takımına geçiş.....	22
Şekil 3.9.	Yüklere bağlı çubuk eksen takımına göre çubuk ucu kuvvetleri...	26
Şekil 4.1.	Eğilme ve aksenal yük altında deforme olmuş eleman parçası.....	29
Şekil 4.2.	Malzeme modelleri ve analiz yöntemi.....	33
Şekil 4.3.	Doğal sertlikteki bir çeliğin gerilme-birim deformasyon ilişkisi...	36
Şekil 4.4.	Pekleşmeli ve pekleşmesiz donatı çeliği modelleri.....	37
Şekil 4.5.	Hognestad sargısız beton modeli.....	38
Şekil 4.6.	Kent ve park beton modelleri (sargılı ve sargısız).....	39
Şekil 4.7.	Geliştirilmiş kent ve park sargılı beton modeli.....	41
Şekil 4.8.	Sheikh ve üzümeri sargılı beton modeli.....	42
Şekil 4.9.	Çekme altındaki beton için malzeme modeli.....	44
Şekil 5.1.	Moment-eğrilik programı (MEGRİ) akış şeması.....	47

Şekil 5.2.	Kolon kesiti.....	48
Şekil 5.3.	Moment-eğrilik diyagramı(DOLYAN).....	48
Şekil 5.4.	Moment-eğrilik diyagramı[1].....	48
Şekil 5.5.	Deplasman metodu program (DOLYAN) akış şeması.....	52
Şekil 5.6.	Tek katlı tek açıklıklı çerçeve sistemi.....	53
Şekil 5.7.	Kolon ve kiriş kesitleri.....	53
Şekil 5.8.	P=147 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	55
Şekil 5.9.	I.Plastik mafsal.....	57
Şekil 5.10	P=149 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	58
Şekil 5.11	II. Plastik mafsal.....	60
Şekil 5.12	P=151 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	61
Şekil 5.13.	III. Plastik mafsal.....	63
Şekil 5.14.	P=153 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	64
Şekil 5.15.	VI. Plastik mafsal.....	66
Şekil 5.16.	Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi.....	67
Şekil 5.17.	P=147 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	68
Şekil 5.18.	P=147 kN yük etkisindeki çerçeve sistemi moment diyagramı....	69
Şekil 5.19.	I.Plastik mafsal.....	69
Şekil 5.20.	P=149 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	70
Şekil 5.21.	P=149 kN yük etkisindeki çerçeve sistemi moment diyagramı....	70
Şekil 5.22.	II. Plastik mafsal.....	71
Şekil 5.23.	P=151 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	72
Şekil 5.24.	P=151 kN yük etkisindeki çerçeve sistemi moment diyagramı....	72
Şekil 5.25.	III. Plastik mafsal.....	73
Şekil 5.26.	P=153 kN'luk yük etkisindeki çerçeve sistemi.....	74
Şekil 5.27.	P=153 kN yük etkisindeki çerçeve sistemi moment diyagramı....	74
Şekil 5.28.	VI.Plastik mafsal.....	75
Şekil 5.29.	Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi.....	75
Şekil 6.1.	Kalıp planı.....	77
Şekil 6.2.	Kolon ve kiriş kesitleri.....	77
Şekil 6.3.	B-B aksına etki eden yatay ve düşey yükler.....	78
Şekil 6.4.	B-B aksı üzerinde mafsallaşmaların oluşumu.....	79
Şekil 6.5.	Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi.....	80

Şekil 6.6.	Kalıp planı.....	81
Şekil 6.7.	Kolon ve kiriş kesitleri.....	82
Şekil 6.8.	C-C aksına etki eden yatay ve düşey yükler	83
Şekil 6.9.	C-C aksı üzerinde mafsallaşmaların oluşumu.....	84
Şekil 6.10.	Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi.....	85
Şekil 6.11.	Kalıp planı.....	86
Şekil 6.12.	Kolon ve kiriş kesitleri.....	87
Şekil 6.13.	B-B aksına etki eden yatay ve düşey yükler.....	87
Şekil 6.14.	B-B aksı üzerinde mafsallaşmaların oluşumu.....	88
Şekil 6.15.	Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrisi.....	89

TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1. Örnek 6.1 yapısının doğrusal olmayan yapısal analiz sonucu.....	80
Tablo 6.2. Örnek 6.2 yapısının doğrusal olmayan yapısal analiz sonucu.....	85
Tablo 6.3. Örnek 6.3 yapısının doğrusal olmayan yapısal analiz sonucu.....	88

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Plastik Mafsal, Plastikleşme Momenti, Deplasman (Stiffness) Metodu, Moment-Eğrilik.

Bu çalışmada, yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsalları göz önüne alarak iki boyutlu yapı sisteminin doğrusal olmayan yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmada MATLAB tabanlı olarak çalışan iki farklı program geliştirilmiştir. Bu programlardan ilki, yapı sisteminin iki boyutlu analizinde kullanılmak üzere geliştirilen DOLYAN programıdır. Bu program sayesinde yapı sistemini oluşturan elemanların çubuk ucu kuvvetleri, düğüm noktası deplasmanları ve eğilme momenti değerleri hesaplanmaktadır. İkinci program ise eksenel yük etkisindeki betonarme kolon kesitlerinin moment-eğrilik ilişkisinin belirlenmesi amacıyla geliştirilen MEGRİ programıdır. Bu program sayesinde eksenel yük altındaki betonarme kolon elemanının moment-eğrilik diyagramı çizilerek, bu diyagram üzerinden kesiti plastikleştirilen moment değeri belirlenmektedir.

Geliştirilen programlar literatürde sunulan çalışmalarla doğrulanmıştır. Düşey ve yatay yük etkisindeki tek katlı, tek açıklıklı ankastre olarak mesnetlenen düzlem çerçeve hem DOLYAN hem de SAP2000 programları ile çözülmüş ve sonuçta aynı değerlere ulaşılmıştır. Literatürde verilen eksenel yük etkisindeki betonarme kolon kesiti MEGRİ programı ile çözülmüş ve literatürde sunulan sonuçlar ile aynı sonuçlar elde edilmiştir.

Geliştirilen programların uygulaması sayısal uygulamalar bölümünde üç farklı binada yapılmıştır. Bu yapıların, seçilen akslarının iki boyutlu düzlem çerçeve sisteminde doğrusal olmayan yapısal analizleri yapılmıştır. Yapılan çözümler sonucunda mafsallaşan kesitler ve taban kesme kuvveti-yer değiştirme diyagramları sunularak değerlendirilmiştir.

THE NONLINEAR ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

SUMMARY

Key Words: Plastic Hinge, Plasticizing Moment , Displacement Method, Moment-Curvature

In this study, the nonlinear structural analysis of two dimensional structure is carried out by taking into account of plastic hinge which occurs at the structure members and the structure.

In the study, two different MATLAB based programs has been developed. One of those is DOLYAN that is developed to use in the analysis of two dimensional structures. Bending moments, shear forces and displacements of the structural members are determined through this program. Second program called MEGRI is developed to determine the moment-curvature of the reinforced concrete columns under axial forces. By using the program, the moment-curvature diagram of the reinforced concrete columns under the axial forces has been plotted and determined the plasticizing moment.

The proposed programs are confirmed with the literature. A frame with single story and a single space is carried out with DOLYAN and SAP2000. The outcomes of the both programs are same. The moment curvature relation of the reinforced concrete column, which is selected from literature, is determined with proposed MEGRI. The outcomes of the proposed program are same with the literature.

The application of the proposed programs is made with three different buildings in chapter of numerical studies. The nonlinear structural analysis of the two dimensional structures are carried out. The hinged sections of the members and diagram of base shear force-displacement are shown and evaluated.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Bu çalışmada, düzlem çerçeve yapıların doğrusal olmayan yapısal analizlerinin yapılabilmesi için MATLAB tabanlı olarak çalışan DOLYAN (Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz) ve MEGRI (Moment Eğrilik) bilgisayar programları geliştirilmiş ve bu programlar kullanılarak sayısal çözümler yapılmıştır.

1.1. Konunun Tanımı

Analiz ve boyutlandırma yapının iki önemli ana unsurudur. Analiz kısmında yapı elemanlarının iç kuvvet değerleri ve deplasmanları hesaplanır. Boyutlandırma kısmında ise standart ve yönetmeliklerde belirtilen sınır değerlere bağlı kalınarak yapı elemanlarının ölçülendirilmesi yapılır.

Bu çalışmada, yapı elemanlarında oluşan plastik mafsalları göz önüne alarak, iki boyutlu yapı sistemlerinin doğrusal olmayan yapısal analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizde çubuk elemanı kesitlerinin plastik moment kapasite değerleri bulunmuş ve çubuk elemanlarında meydana gelen plastik mafsallık noktaları belirlenmiştir.

1.2. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Plastisite konusunda ilk çalışma Fransa'da 1864 yılında Tresca'nın plastik kıstasındaki önerisiyle gerçekleşmiştir. Bunu 1912 senesinde Von Mises kıstası takip etmiştir. 1914'te Kazinczy tarafından Macaristan'da plastik mafsalla ilgili olarak bir test gerçekleştirilmiştir. 1920'de Almanya'da Maier-Leibnitz deney çalışmaları yapmıştır. 1936 tarihinde J.F.Baker tarafından plastik tasarımla ilgili olarak Bristol üniversitesinde çalışmalar başlatılmıştır. 1940'ta Amerike Birleşik Devletleri'nde Van den Broek plastik hesabın temel ilkelerini yayınladı. 1943'ten itibaren Cambridge Üniversitesinde, Horne, Heyman, Baker, Roderick, Heyman, Faulkes ve

Neal'den oluşan bir ekip gerekli incelemeler ve deneyler yaptı. 1960 yılından sonra plastik hesabın kullanılması çoğaldı [2]. Ülkemizde TS4561[3] (çelik yapıların plastik teoriye göre hesap kuralları) doğrusal olmayan yapısal analizi ifade eder. Bu standart 1985 yayınlanmıştır .

Osmangazi Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne Eylül 2004 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde çelik düzlem çerçevelerin doğrusal olmayan yapısal analizi için bir bilgisayar programı geliştirilmesi konusunu incelemiştir. Seçilen yapısal örnekler üzerinde doğrusal olmayan yapısal analizi oluşturduğu bilgisayar programı ile gerçekleştirmiştir[4].

Yıldız Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne 2006 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde betonarme kolonlarda kuşatma etkisi ve sonlu eleman analizlerini incelemiştir. Sonlu elemanlar analizi sonucunda, kuşatma basınçlarının ele alınan her kolon için değişkenlik gösterdiğini söylemiştir[5].

İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne Haziran 2006 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde betonarme bir binanın doğrusal olmayan yöntemle deprem performansının belirlenmesini incelemiştir. Mevcut binaların geleneksel yöntemler yerine doğrusal olmayan itme analizi kullanılarak performansının incelenmesi sonucunda sismik yükler altındaki yapının elastik ötesi davranışının belirlenmesi, yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları ve bunların sırası, yapıda deprem sonrasında gözlenecek kapasite kayıplarının yaklaşık bir şekilde belirlenmesi ve deprem sonrasında gerekebilecek doğru güçlendirme stratejisinin verimli bir şekilde elde edilmesinin mümkün olacağını belirtmiştir[6].

İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne Haziran 2007 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde betonarme bir yapının doğrusal olmayan yöntemle deprem güvenliğinin incelenmesi konusunu işlemiştir. Yapıda meydana gelebilecek mekanizma durumları, deprem sonrasında gözlenebilecek kapasite kayıpları ve gerekebilecek uygun güçlendirme stratejisinin elde edilmesinin mümkün olacağına değinmiştir[7].

İstanbul Teknik Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne Ocak 2007 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde performans kavramı ve mevcut betonarme binaların deprem güvenliğinin belirlenmesini incelemiştir. Bilgisayar programlarının geliştirilmesi ile birlikte yapıların doğrusal olmayan yöntemler ile analizleri daha doğru ve daha basit yapılabileceğine belirtmiştir[8].

Pamukkale Üniversitesi fen bilimleri enstitüsüne Şubat 2007 yılında teslim etmiş olduğu yüksek lisans tezinde seçilen bir kamu binasının doğrusal ötesi davranışında beton dayanımı ve etriye aralığının etkisini incelemiştir. Beton dayanımı ve sargı donatısının doğrusal ötesi davranışta etkili olduğunu ve sargı donatısındaki artışın maksimum deplasman kapasitesini yükselttiğini söylemiştir[9].

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı iki boyutlu yapı sistemlerini oluşturan elemanlarda, yatay yükün artımıyla oluşan plastik mafsallık noktalarını belirleyerek, doğrusal olmayan yapısal analizlerinin gerçekleştirilmesi ve bu analizler sonucu yapının yatay yük-yer değiştirme eğrisinin elde edilmesidir.

Doğrusal olmayan yapısal analiz gerçekleştirilmesi ile ilgili bilgisayar programı geliştirilen bu çalışma yedi bölümden oluşmaktadır. Çalışmanın birinci bölümünde konuyla ilgili bilgi verilmiş, daha önce yapılan çalışmalar sunulmuş ve çalışmaya ait amaç ve kapsam anlatılmıştır.

İkinci bölümde malzemenin plastik davranışlarıyla ilgili bilgi verilerek plastik mafsallık, plastikleşme momenti, doğrusal olmayan yapısal analiz gibi temel terimlerin tarifleri yapılmıştır. Mekanizma oluşumuyla ilgili bilgi verilmiş ve doğrusal olmayan yapısal analiz yöntemleri hakkında açıklamalarda bulunulmuştur.

Üçüncü bölümde analiz için geliştirilen bilgisayar programının temelini oluşturan deplasman (stiffness) metodu hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Metoda ilişkin genel bilgiler anlatılmış, kullanılan formüllere yer verilmiş ve bu formüllerin oluşumu gösterilmiştir.

Dördüncü bölümde eleman davranışlarının değişiminin incelenmesinde iyi bir araç olan moment-eğrilik arasındaki ilişkiden bahsedilmiştir. Moment-eğrilik arasındaki ilişkinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler hakkında bilgi verilmiş ve eksenel yük etki eden betonarme kolon elemanlarının moment-eğrilik ilişkisinin sayısal olarak belirlenmesi amacıyla bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Beşinci bölümde, geliştirilen bilgisayar programları anlatılmış ve örnek modellerle programın doğruluğu gösterilmiştir.

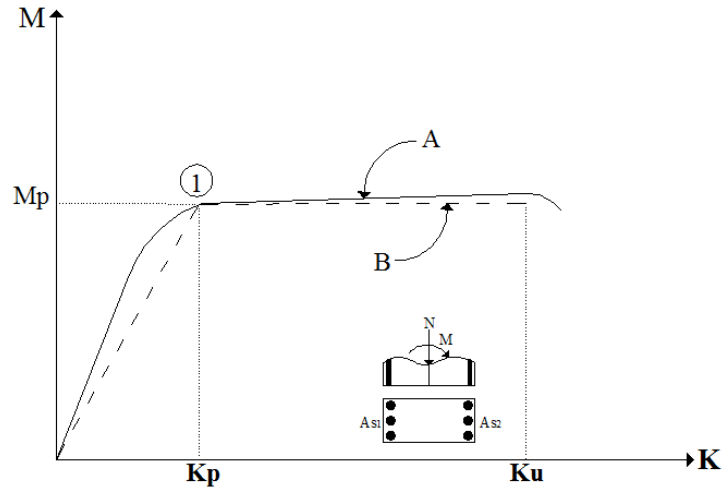
Altıncı bölümde sayısal uygulamalara yer verilmiştir. Üç farklı yapı sisteminin doğrusal olmayan yapısal analizi, seçilen örnek aks elemanı üzerinde yapılmıştır. Sonuç değerleri kullanılarak yapı sistemlerinin taban kesme kuvveti- yer değiştirme diyagramları çizilmiştir. Yapıların analiz sonrasında elde edilen değerleri yorumlanmıştır.

Yedinci bölümde bu çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş, bu verilerden yola çıkılarak önerilerde bulunulmuş ve ileride yapılacak çalışmalara ilişkin yol gösterilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. DOĞRUSAL OLMAYAN YAPISAL ANALİZ

Yapı elemanlarının bağlantıları sonucu ortaya çıkarılan mühendislik yapısının, ihtiyaç duyulan birçok işleve cevap vermesi gerekir. Bu işlevlerden en önemlileri öncelikle kendi ağırlıklarından oluşan ve dış etkenlerden kaynaklanan yüklere karşı göçmeyecek kadar dayanım göstermesi ve yapının ilk konumunu aşırı deplasman oluşturmada muhafaza etmesi gerekir.

Mühendislik yapıları yapılırken çeşitli aşamalardan geçirilir. Yapısal analiz ise bunlardan biridir. Buradan hareketle, Şekil 2.1’de A eğrisi ile simgelenen davranış, aksenal yük ve eğilme momenti etkisindeki bir betonarme kesitin moment-eğrilik ilişkisini göstermektedir. A eğrisi idealize edilerek yaklaşık B eğrisi ile de gösterilebilir. Eğri üzerinde 1 ile gösterilen noktada donatı akma konumuna ulaşır ve sabit bir plastikleşme momenti (M_p) altında dönmenin artmasıyla mafsal gibi davranır. Bu mafsal momenti sıfır değildir. M_p momentine eşittir. Şekil 2.1’ de kesiti gösterilen elemandaki donatının akma konumuna ulaşması, şayet B eğrisinin gösterdiği davranışı ortaya koyabiliyorsa, bir başka ifade ile sabit moment altında eğrilik sürekli artıyorsa, kesitte plastik mafsal oluşmuş kabul edilir.



Şekil 2.1. Betonarme Eleman Kesitine Ait Moment-Eğrilik İlişkisi

Yapı elemanlarında meydana gelen plastik mafsalları göz önüne alarak, çökme anına göre yapılan analize, plastik analiz denir. Plastik analiz yönteminde dayanım için gerekli sınır durum M_p plastik momentinin kesitte oluşmasıdır. Yukarıda söylendiği gibi plastik moment kapasitesi, kesitin tüm noktalarında akma gerilmesi sınır konumuna ulaşılmasına karşılık gelir.

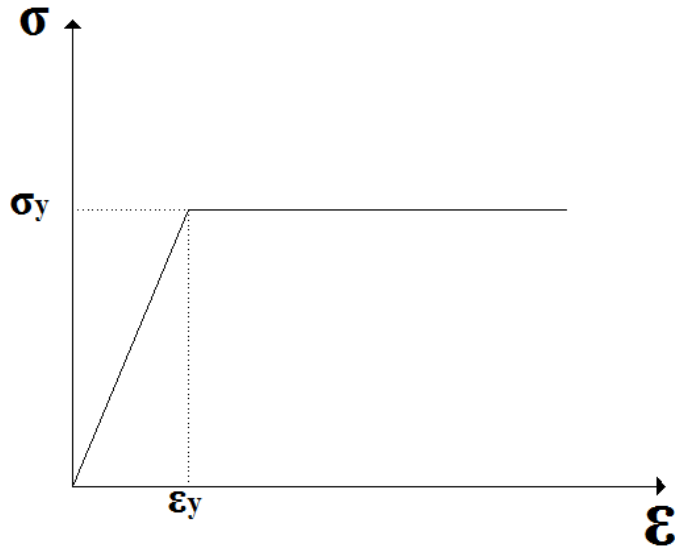
Plastik analiz yöntemi ülkemizde uygulanmaktadır. Bu yöntemle ilgili bir Türk Standardı 1985 yılında yayınlanmıştır (TS 4561 “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”)[3]. Plastik analizin betonarme yapılara uygulanmasında bazı kuşklar vardır. Plastik analizin geçerli olabilmesi için, plastik mafsal olan kesitlerin çok sünek bir davranış göstermeleri, başka bir deyişle taşıma kapasiteleri azalmadan büyük dönme yeteneğine sahip olmaları gerekir [10].

2.1. Plastik Mafsallık Kavramı

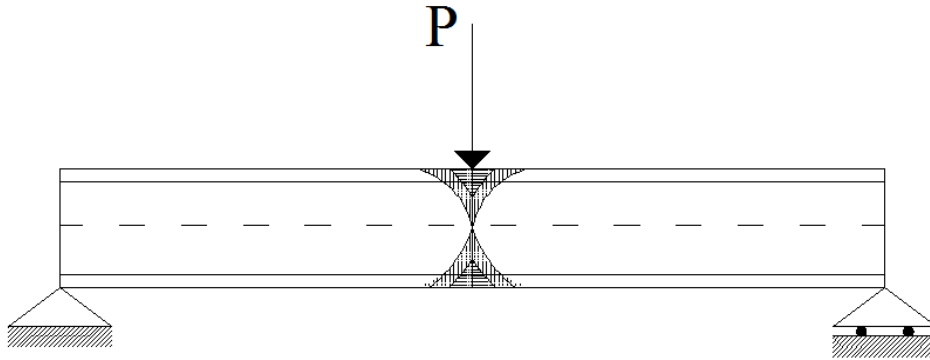
Yapı elemanının sabit bir moment etkisinde serbestçe dönebilmesi, ilgili kesitte “plastik mafsallık” oluşması olarak isimlendirilir. Bu mafsalda moment değeri sıfır değildir. Kesitin aktığı noktadaki M_p momentine eşittir.

Herhangi bir çelik yapının kesitine ait idealleştirilmiş yük-sehim ilişkisi Şekil 2.2a verilmiştir. Plastik mafsallık kavramının daha iyi anlatılabilmesi için çelik basit kiriş

üzerine P tekil yükü etki ettirilmiştir (Şekil 2.2b). Kiriş elemanında P tekil yükünün etkidiği kesitte, kirişin en dış liflerinin akma sınır gerilmesine ulaşır. Yapı elemanının P tekil yükü ile zorlanan kesitlerinde, kesitin tarafsız eksen çevresindeki kısımları elastikliğini korurken, diğer kısımları σ_y akma gerilmesi değerine ulaşarak plastikleşmektedir. P yükünün değeri arttırıldıkça plastikleşme bölgesi genişleyecektir. Tarafsız eksene doğru diğer liflerde de σ_y akma gerilmesi değeri oluşacaktır. Plastikleşen kiriş kesiti σ_y akma gerilmesi değerini aşamayacak ve deformasyonlar artacaktır. Tüm kesitin plastikleşerek M_p momentine ulaştığında, kesitin bulunduğu kiriş noktasında “plastik mafsalsal” oluşmuştur.



Şekil 2.2a. Çeliğin İdealleştirilmiş Yük-Schım İlişkisi



Şekil 2.2b. Basit Kiriş

2.2. Plastikleşme Momenti

Şekil 2.1.'de B ile simgelenen eğrinin 1 noktası ile başlangıç kısmı arasında malzeme elastiktir. Bu kısımda moment-eğrilik ilişkisi lineer olarak artacaktır. 1 noktasında kesit akmaya başlayacak ve kesitin tüm noktaları plastikleşinceye kadar moment değeri artmaya devam edecektir. Kesit içinde plastikliğin tümüyle yayılmasına ve eğriliğin yatayda sonsuza doğru artmasına denk gelen M_p momentine “plastikleşme momenti” denir.

2.3. Süneklik ve Plastik Mafsallarda Enerji Tüketilmesi

Yapı sisteminin deprem etkileri karşısında, elastik değerler içerisinde bırakılarak yapılan analizler ekonomik değildir. Depreme karşı güvenli yapı felsefesinde, yapı sistemini meydana getiren elemanlarda donatının yer yer akma sınırlarına ulaşarak plastik mafsallar oluşturacağı kabul edilmektedir. Deprem etkilerine maruz bir yapıda güvenlik açısından temel amaç, yapının mekanizmaya uğramadan ayakta kalmasıdır. Bu noktada yapının stabilitesi, oluşacak plastik mafsallarda yeterli enerjiyi tüketebilme yeteneğine bağlıdır. Burada tüketilen enerji gerilme-deformasyon dağılımı veya moment-eğrilik eğrisi altında kalan alana bağlıdır. Bundan hareketle kesitin dayanma gücünde önemli ölçüde azalma olmadan büyük deformasyonlar yapması, ilgili kesitin daha fazla enerji tüketmesini bağlıdır.

Süneklik, bir yapının, bir elemanının veya kesitin, taşıma kapasitesinde önemli azalma olmadan büyük deformasyon yapabilme yeteneğidir [10]. Bundan hareketle yapı malzemelerini süneklik açısından düşünelim. Çeliğin sünekliğinin yüksek olması tekrarlı yüklemeler altında daha fazla enerji tüketmesini sağlamaktadır. Betonarme yapı elemanları kesitlerinin sünekliğini arttırmak amacıyla sargı donatısı kullanılmaktadır. Kiriş ve kolonların uç noktalarında donatının akmasıyla bu bölgelerde plastik mafsallar oluşabilmektedir. Plastik mafsallarda enerjinin sarf edilmesi, ilgili eleman kesitinin sünekliğine bağlıdır. Bu noktalarda kullanılacak sargı donatısı kesitin sünekliğini arttıracaktır.

2.4. Plastik Analiz Yöntemleri

Plastik analiz yöntemlerinin aşağıdaki şartları yerine getirmesi zorunludur. Bunlar;

1. Mekanizma şartı: Yapı sisteminin göçme yüküne ancak bir mekanizmanın meydana gelmesi halinde ulaşılabilir.
2. Denge şartı: Yapı sisteminin tamamı ya da herhangi bir noktası için statik denge koşulunu yerine getirme zorunluluğu vardır.
3. Plastik moment şartı: yapı sistemi elemanlarının hiçbir noktasındaki kesitte M_p plastik moment kapasitesinin üzerine çıkılmamalıdır.

2.4.1. Yük artımıyla analiz yöntemi

Plastik mafsall oluşumu göz önüne alınarak, yapı sisteminin göçme mekanizmasına gitmesinde izlenecek en kolay yöntem, yapıya etkiyen yüklerin adım adım artırılmasıyla plastik mafsalların oluşmasının incelenmesidir. Bu ardışık işlemler dizisinde, eğilme momentinin sınır değere ulaştığı kesitlere mafsall yerleştirilerek yapı sistemini mekanizma durumuna getiren limit yük elde edilir.

2.4.1.1. Limit yük teoremleri

Alt Sınır Teoremi: Bir yapı sisteminde iç kuvvetlerin dağılımı kendi içinde denge şartlarını yerine getiriyorsa ve dış yüklerle dengeyi koruyorsa, tüm kesitlerde akma şartı korunuyorsa ve akma şartı koşulunun yerine getirildiği kesitlerde şekil değiştirmeye izin verildiğinde mekanizma durumu oluşuyorsa, dış yük limit yüke eşit yada daha küçüktür. Bulunan sonuç limit yük değeri için bir alt sınır vermektedir.

Üst Sınır Teoremi: Plastik mafsall oluştuğu varsayılan kesitlerde meydana gelen dönme sistemi mekanizma durumu oluşturuyorsa, dış yüklerle dengenin korunduğu bu mekanizmada dış yük limit yüke eşit veya daha büyüktür. Bulunan limit yük değeri için bir üst sınır verir.

Çökmekte olan yapıları ilgilendiren bir teorem daha vardır. Bu teorem teklik teoremidir.

Teklik Teoremi: Çökme anı geldiğinde yapı hem üst, hem de alt teoremlere uyar, yani mekanizma durumu meydana gelir ve M_p hiçbir kesitte aşılmaz. Bu durumu oluşturan tek yük değeri vardır.

2.4.2. Statik denge yöntemi

Bu yöntem sürekli kirişler ile hiperstatik bilinmeyen sayısı 1 ya da 2 olan çerçeve sistemlerin plastik taşıma kapasitelerinin hesabı için uygun bir yöntemdir. Burada amaç, bir tane mekanizma oluşmasına neden olacak şekilde plastik moment ve denge şartlarını yerine getiren bir moment diyagramını belirlemektir.

Statik denge yönteminde takip edilmesi gereken yol;

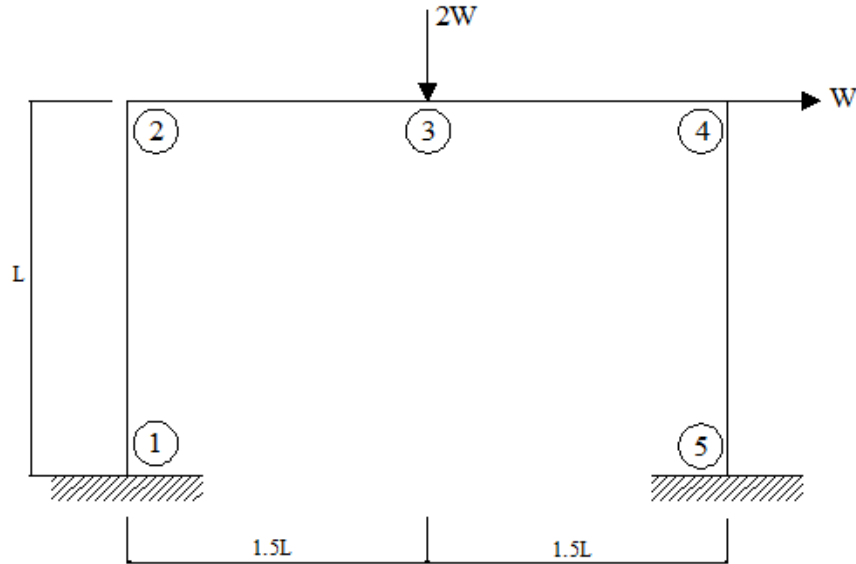
1. Yapı sisteminin hiperstatiklik derecesi ve bilinmeyenleri tespit edilir.
2. İzostatik esas sistem seçilerek bu sistemin dış yükler altında oluşturduğu moment diyagramı belirlenir.
3. Hiperstatik bilinmeyenler için izostatik yapı sistemine ait moment diyagramı belirlenir.
4. 2. ve 3. maddelerde elde edilen moment diyagramı toplanarak belirlenen maksimum değerler, M_p plastikleşme moment değerlerine eşitlenerek elde edilen plastik mafsalları sayısının mekanizma oluşturmaya yetip-yetmediği araştırılır.
5. Bir tane mekanizma oluşturmaya yetecek plastik mafsala ulaşıldığında taşıma yük değeri denge denklemlerinden faydalanılarak bulunur.
6. Taşıyıcı yapı sisteminde plastik moment şartının yerine getirilip-getirilmediğinin araştırması yapılır.

2.4.3. Mekanizma yöntemi

Hiperstatik bilinmeyen sayısı arttıkça, mümkün olan mekanizma durumu sayısı da artar. Böyle bir durum karşısında statik denge yöntemi yetersiz kalır. Çünkü, çeşitli mekanizma durumları arasında en uygun olanına karşı gelen moment diyagramının üretilmesi oldukça güçleşmektedir. Bu şekildeki durumlar için mekanizma yönteminin kullanılması daha uygun olur. Üst sınır teoremine dayanan mekanizma

yönteminde virtüel yer değiştirmeler ilkesi (virtüel iç) kullanılır. Bunun için taşıyıcı sisteme mekanizma hareketine uygun bir yer değiştirme uygulanır. Bu sırada dış kuvvetlerin yaptığı iç ile iç kuvvetlerin yaptığı iç hesaplanır. İç kuvvetlerin yaptığı iç, plastik mafsallardaki plastikleşme momenti ile plastik mafsal dönmesinin çarpımlarının toplamı olarak hesaplanır. Plastik mafsallar arasında kalan elastik sistem parçalarında eğrilik değişimi olmayacağı için momentler tarafından iç üretilmeyecektir.

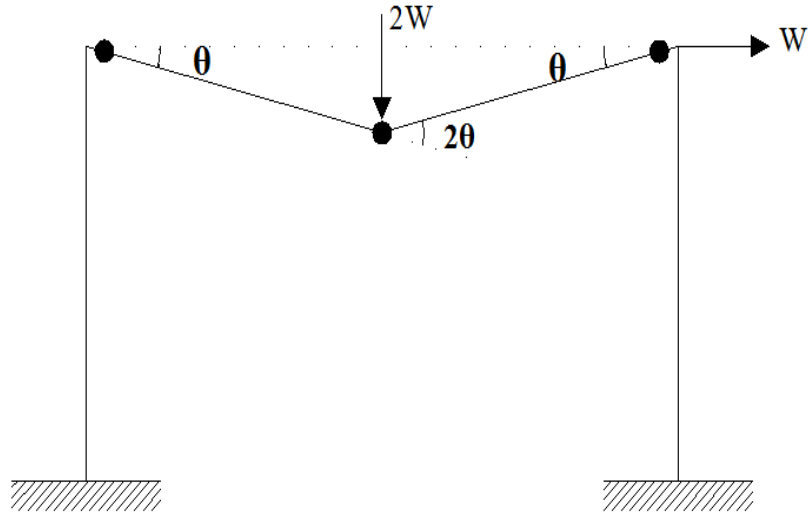
Bir taşıyıcı yapı sisteminde aşağıda sıralanan göçme mekanizmaları oluşabilir. Göçme mekanizması türlerini Şekil 2.3.'te görölen basit ankastre çerçeve üzerinde inceleyelim.



Şekil 2.3. Basit Ankastre Çerçeve

2.4.3.1. Kiriş mekanizması

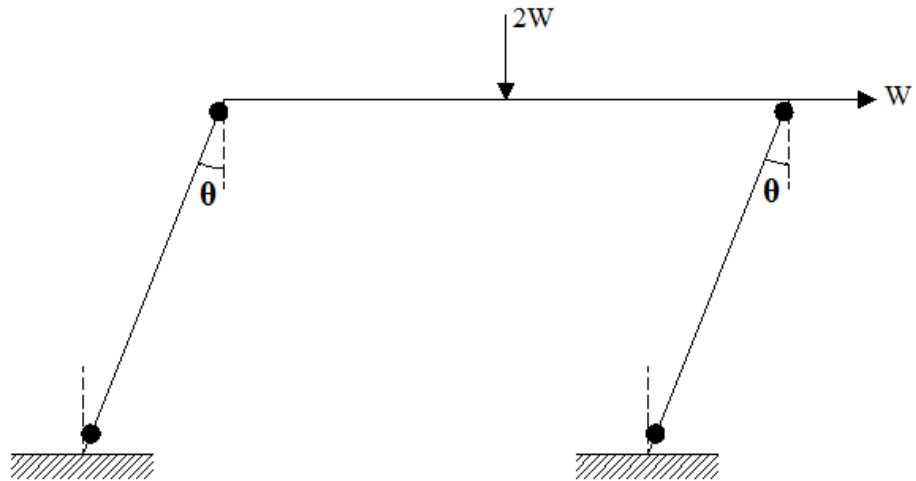
Eğer yapıya etkiyen düşey yükler, yatay yüklere nazaran çok daha büyükse, çerçeve sistemi Şekil 2.3a'da göröldüğü gibi çöker ve plastik mafsallar 2,3 ve 4 nolu noktalarda meydana gelir. Bu mekanizma kiriş mekanizmasıdır.



Şekil 2.3a. Kiriş Mekanizması

2.4.3.2. Çerçeve mekanizması

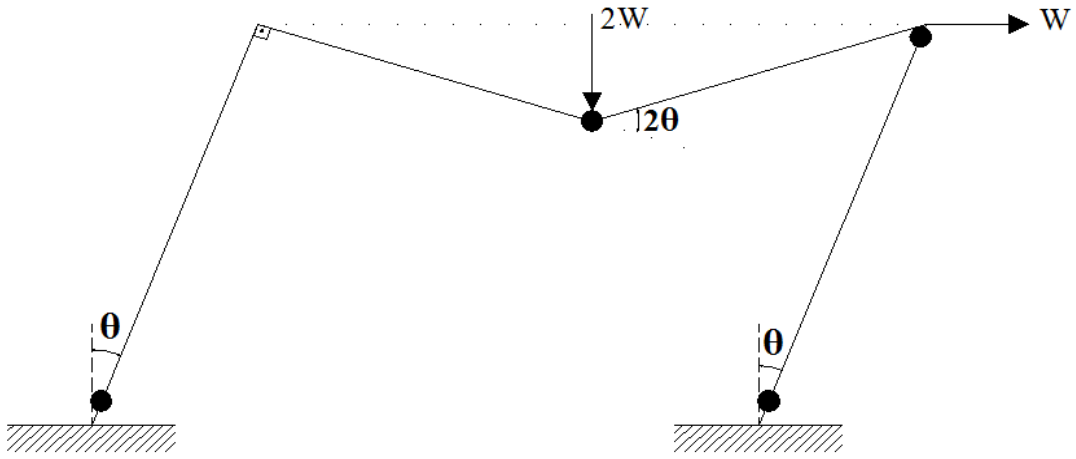
Yapıya etkiyen düşey yükler yatay yüklerden çok daha küçükse, çerçeve sistemi Şekil 2.3b'de görüldüğü gibi çöker. Plastik mafsallar şekilde 1, 2, 4 ve 5 nolu noktalarda oluşur. Bu çökme şekline çerçeve mekanizması ismi verilir.



Şekil 2.3b. Çerçeve Mekanizması

2.4.3.3. Birleşik mekanizma

Düşey yükler ile yatay yüklerin arasındaki fark küçük olduğunda çökme şekli çerçeve ve kiriş mekanizmalarından meydana gelen birleşik mekanizma ile olmaktadır (Şekil 2.3c). Birleşik mekanizma ile oluşan çökme tarzında, plastik mafsallar 1, 3, 4 ve 5 noktalarında oluşur.



Şekil 2.3c. Birleşik Mekanizma

BÖLÜM 3. DEPLASMAN METODU

Yapının tasarımı iki temel aşamadan oluşur. Bunlar yapı elemanlarının boyutlandırılması ve analizinin yapılmasıdır. Düşünülen bir yapı sistemi için eleman boyutlarının önceden bilinmesi ya da eleman boyutları için belirli ön kabullerin yapılması gerekir. Şartname ve yönetmelikler doğrultusunda analiz edilen yapı elemanlarının gerekli şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Bu safhalar yapı elemanlarının boyutlandırılması işlemleridir.

Yapı elemanlarının mevcut koşullar altında güvenilir bir şekilde görevlerini yerine getirebilmesi için denge koşullarını ve gerilme-deformasyon bağıntılarını sağlamaları gerekmektedir.

Deplasman metodunda ilkönce yapının denge denklemlerine ihtiyaç vardır. Denge denklemlerinin bulunması için yük-deplasman ilişkileri kullanılarak bilinmeyen bağımsız deplasmanlar (problemin temel bilinmeyenleri bunlardır), yükler cinsinden yazılır ve bu eşitliklerden deplasmanlar bulunur. Bulunan deplasmanlar yine yük-deplasman ilişkileri kullanılarak bilinmeyen kuvvetler ile oluşturulan denklemlerde yerine konur ve bu denklemlerin çözülmesiyle bilinmeyen kuvvetler bulunur. Bütün deplasman metotları bu işlemleri takip eder[11].

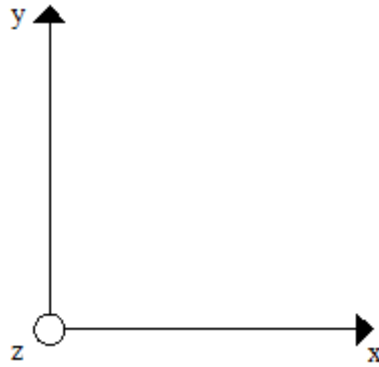
Yapı analizinin gerçekleştirilmesi için bu çalışmamda bilgisayar programlamasına kolay uygulanabilmesi nedeniyle deplasman metodu (stiffness metodu) seçilmiştir. Metodun işlem aşamaları sıralı bir şekilde anlatılacaktır.

3.1. Teorik Bilgiler

Deplasman metodunun hesap adımları bu bölümde sıralı bir şekilde anlatılacaktır. Metoda ilişkin denge denklemlerinin oluşturulmasında kullanılacak yapı elemanlarına ait eksen takımlarının tanımı gerekmektedir. Bunlar Global Eksen Takımı, Çubuk Eksen Takımı ve Düğüm Noktası Eksen Takımlarıdır.

3.1.1. Global eksen takımı

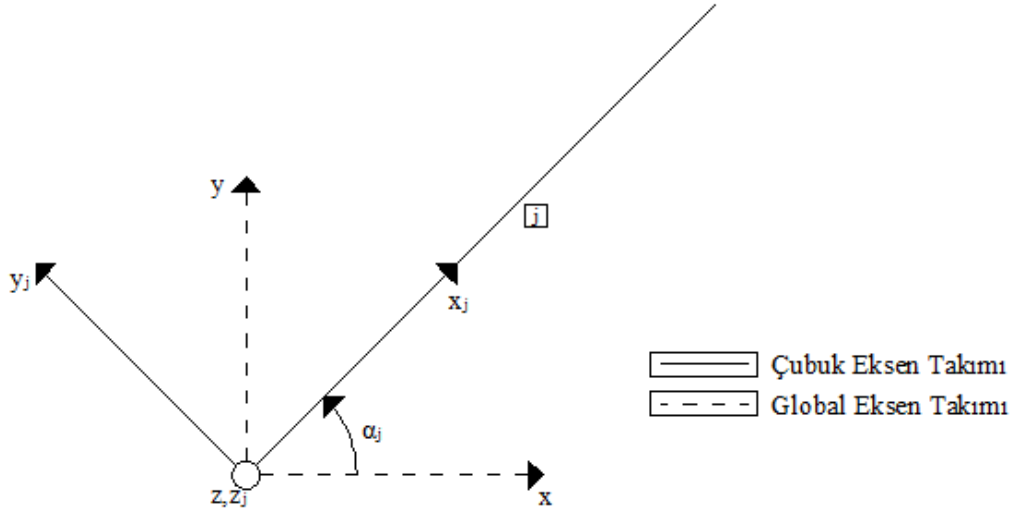
En genel haliyle Şekil 3.1'de X,Y ve Z ile gösterilen eksenler global eksen takımını oluşturur.



Şekil 3.1. Global Eksen Takımı

3.1.2. Çubuk eksen takımı

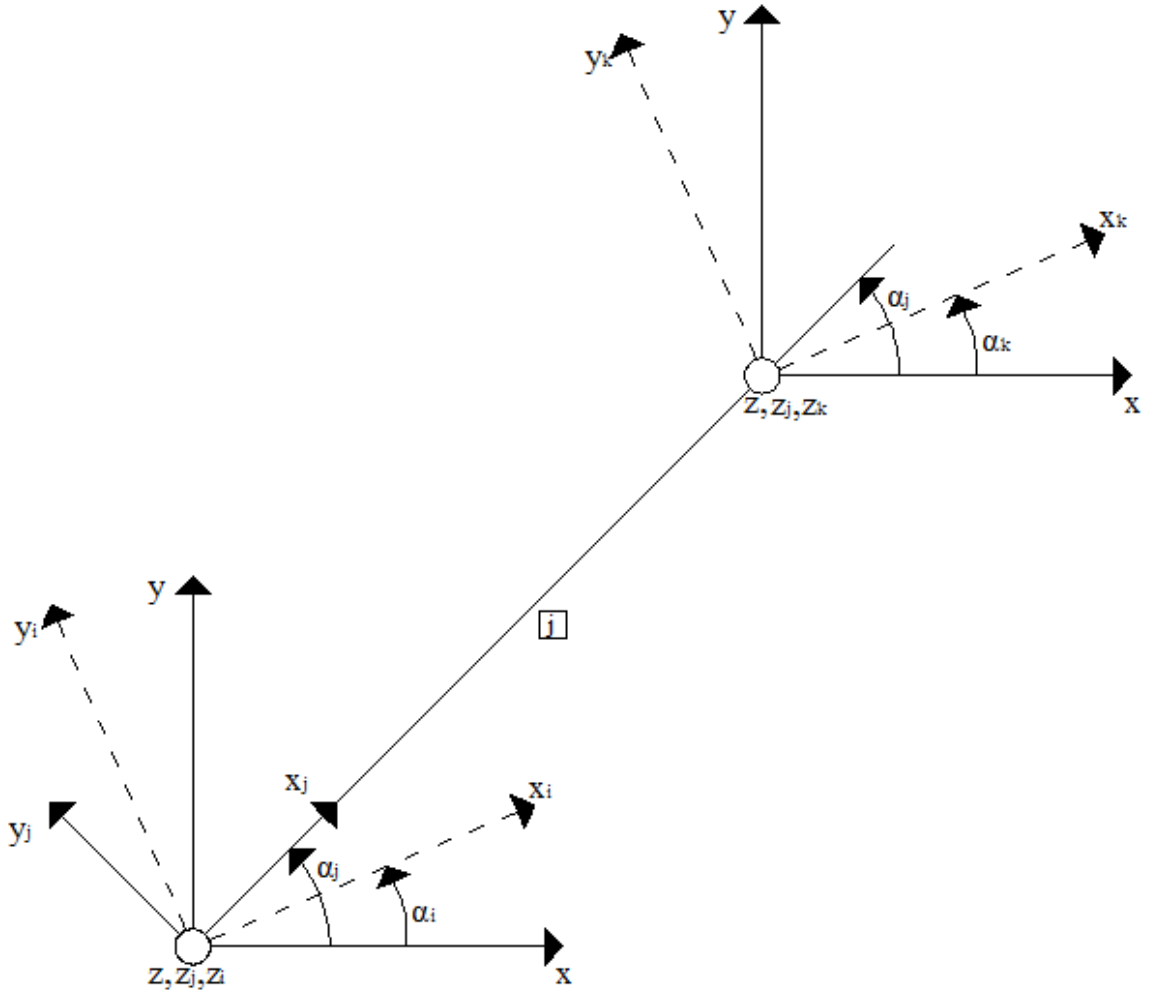
Bir j çubuğu ele alalım. Bu çubuğun referans ucuna i , diğer ucuna ise k isimlerini verelim. Bu j çubuğu üzerinde Şekil 3.2'de X_j , Y_j ve Z_j simgeleri ile gösterilen eksenler çubuk eksen takımını oluşturmaktadır. Global eksen takımı ile çubuk eksen takımı arasındaki α_j açısına referans açısı denir.



Şekil 3.2. Çubuk Eksen Takımı

3.1.3. Düğüm noktası eksen takımı

Yapı biliminde iki boyutu diğer boyutuna göre çok daha küçük olan elemanlar çubuk olarak adlandırılır. İki veya daha fazla çubuğun bağlandığı noktaya düğüm noktası denir. Bir j çubuğunun i referans noktasında Şekil 3.3’de gösterilen X_i , Y_i ve Z_i eksenleri düğüm noktası eksen takımını oluşturmaktadır. Global eksen takımı ile düğüm noktası eksen takımı arasında α_i referans açısı vardır.



Şekil 3.3. Düğüm Noktası Eksen Takımı

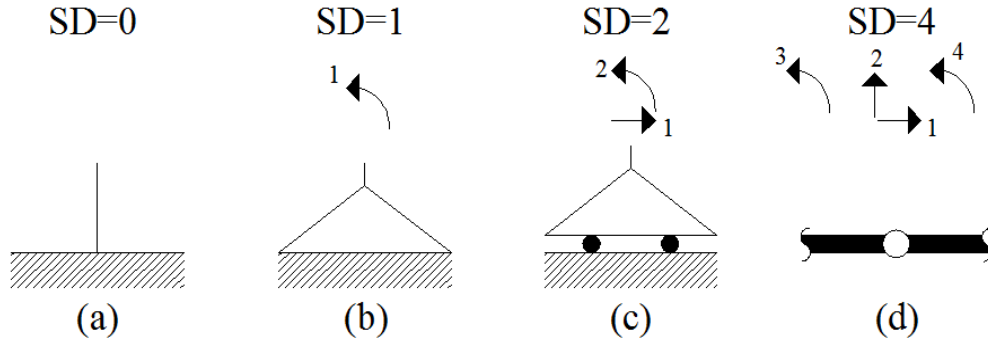
Yukarıda anlatılan α_j ve α_i referans açıları yardımıyla eksen takımları arasında dönüşüm yapılacaktır.

Deplasman metodunun temeli düğüm noktası denge denklemlerine dayanmaktadır. Metotta düğüm noktası bilinmeyenleri olan serbestlikler (deplasmanlar) hesaplanır. Daha sonra çubuk ucu kuvvetleri bulunur.

3.1.4. Yapı sisteminin serbestlikleri

Düzlem çerçevelerin düğüm noktalarında üç tane serbestlik (deplasman) oluşur. Bunlar yatayda U, düşeyde V, düğüm noktasının düzleme dik eksen etrafında dönmesiyle θ serbestliği oluşur. U, V ve θ serbestlikleri yapı sisteminin bilinmeyen değerleridir. Bütün düğüm noktalarındaki serbestlikler bir sayı ile gösterilir. Bu

serbestliklerin toplamı yapının serbestlik derecesini (SD) verir. Aşağıda çeşitli mesnet türlerine göre örnek serbestliklerin yazılışı verilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Mesnet Tiplerine Göre Serbestliklerin Gösterimi

3.1.5. Yapı sisteminin hiperstatiklik derecesi

Yapı kuvvetleri denge denklemlerinin oluşturduğu şartları sağlamak zorundadır. Denge denklemleri yardımıyla yapıya ait iç kuvvetler ve momentler bulunabiliyorsa yapı sistemi “izostatiktir”. Şayet bulunamıyorsa yapı sistemi “hiperstatiktir”. İzostatik sistemlerin çözümleri kolaydır. Hiperstatik sistemlerde ise çözüm daha zordur. Hiperstatik sistemde çözüm için denge denklemlerinin yanında “geometrik uygunluk denklemleri” ve “gerilme-deformasyon bağıntıları” da kullanılır.

Yapı sistemlerinin hiperstatiklik derecesi aşağıdaki formülle hesaplanır.

Çerçeve sistemde: [12]

$$HD=3*M\check{c} - SD \quad (3.1)$$

Kafes sistemlerde: [12]

$$HD=M\check{c} - SD \quad (3.2)$$

formülleri ile bulunur. Burada

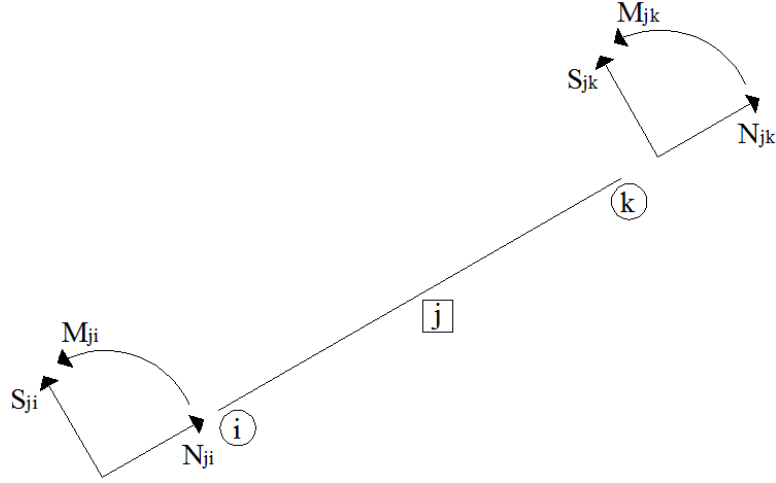
HD: Yapı sisteminin hiperstatiklik derecesi

SD: Yapı sisteminin serbestlik derecesi

Mç: Yapının çubuk sayısıdır.

3.1.6. Çubuk ucu kuvvetleri

Yapı sistemini oluşturan çubukların düğüm noktalarında üç tane serbestlik oluşacağını söylemiştik. Bir çubuk elemanın en az iki düğüm noktası ve çubuğa ait toplam altı serbestliği vardır. Dolayısıyla çubuğa ait altı tane de çubuk ucu kuvveti mevcuttur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Çubuk Ucu Kuvvetleri

Teorik hesaplamalarda bu çubuk ucu kuvvetleri aşağıdaki şekilde kullanılacaktır.

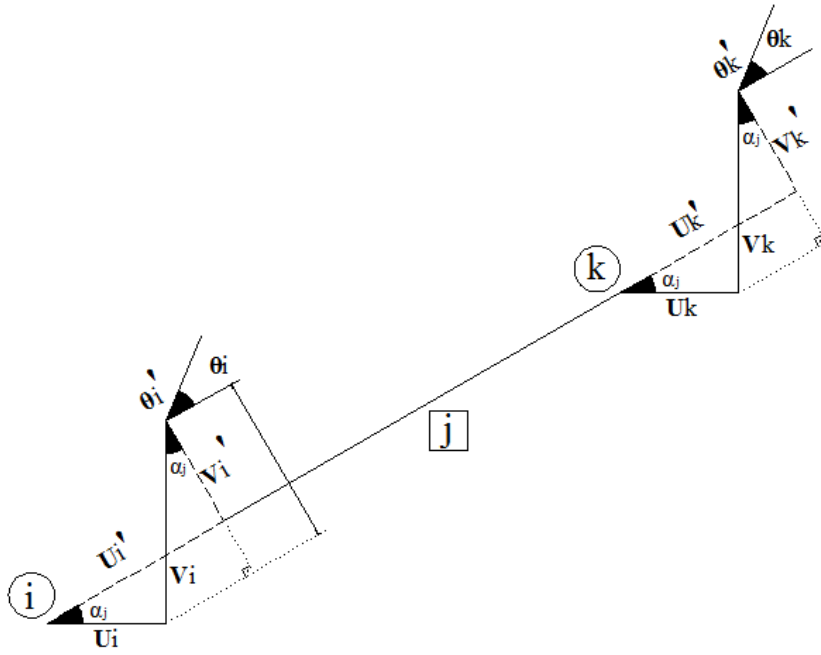
$$\begin{aligned}
 q'_{j1} &= N_{ji} \\
 q'_{j2} &= S_{ji} \\
 q'_{j3} &= M_{ji} \\
 q'_{j4} &= N_{jk} \\
 q'_{j5} &= S_{jk} \\
 q'_{j6} &= M_{jk}
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

Çubuk eksen takımına göre tanımlanan çubuk ucu kuvvetlerinin global eksen takımına göre tarif edilmesi gerekmektedir. Bunun için bir rotasyon matrisine ihtiyaç vardır. Rotasyon matrisinin hesaplanması geometrik işlemlerle yapılabilir. Bir j çubuğunun α_j referans açısından yararlanılarak rotasyon matrisi aşağıdaki şekilde hesaplanacaktır.

$$\tilde{q}_j = (R_j) * \tilde{q}_j \quad (3.4)$$

3.1.7. Rotasyon matrisinin oluşturulması

Çubuk eksen takımından global eksen takımına geçiş için rotasyon matrisinin oluşturulmasında aşağıdaki işlemler yapılır.



Şekil 3.6. Çubuk Eksen Takımından Global Eksen Takımına Geçiş

$$\begin{aligned} U_i' &= U_i \cdot \cos \alpha_j + V_i \cdot \sin \alpha_j \\ V_i' &= V_i \cdot \cos \alpha_j - U_i \cdot \sin \alpha_j \\ U_k' &= U_k \cdot \cos \alpha_j + V_k \cdot \sin \alpha_j \\ V_k' &= V_k \cdot \cos \alpha_j - U_k \cdot \sin \alpha_j \end{aligned} \quad (3.5)$$

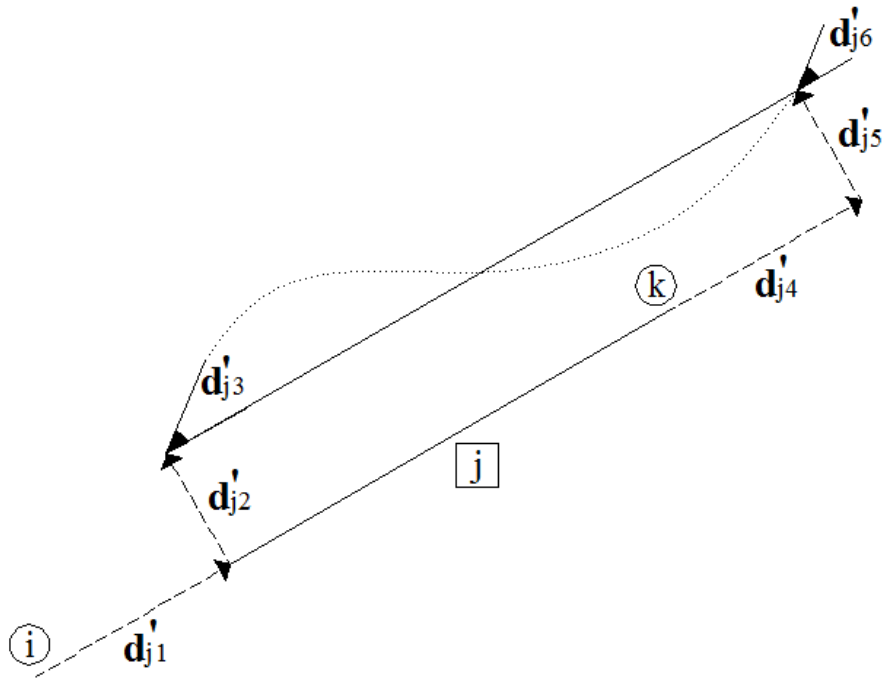
$$(R_j) = \begin{bmatrix} \cos \alpha_j & -\sin \alpha_j & 0 & & & \\ \sin \alpha_j & \cos \alpha_j & 0 & & & \\ 0 & 0 & 1 & & & \\ & & & \cos \alpha_j & -\sin \alpha_j & 0 \\ & & & \sin \alpha_j & \cos \alpha_j & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ oluşur.} \quad (3.6)$$

$$\begin{bmatrix} U_i' \\ V_i' \\ \theta_i' \\ U_k' \\ V_k' \\ \theta_k' \end{bmatrix} = (R_j^T) * \begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ \theta_i \\ U_k \\ V_k \\ \theta_k \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

U, V, θ bilinmeyen olarak değerlendirilen serbestlikler (deplasmanlar).

$$\begin{bmatrix} U_i' \\ V_i' \\ \theta_i' \\ U_k' \\ V_k' \\ \theta_k' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_j & \sin \alpha_j & 0 & & & \\ -\sin \alpha_j & \cos \alpha_j & 0 & & & \\ 0 & 0 & 1 & & & \\ & & & \cos \alpha_j & \sin \alpha_j & 0 \\ & & & -\sin \alpha_j & \cos \alpha_j & 0 \\ & & & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} U_i \\ V_i \\ \theta_i \\ U_k \\ V_k \\ \theta_k \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

3.1.8. Çubuk ucu deplasmanları

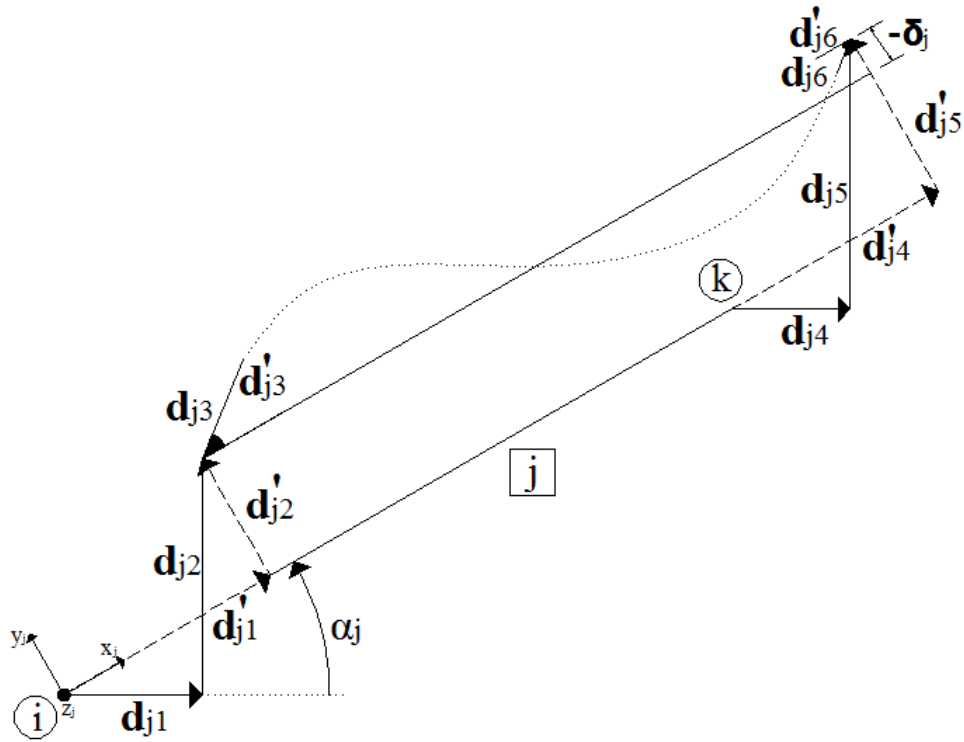


Şekil 3.7. Çubuk Ucu Deplasmanları

Burada d'_j ile gösterilen çubuk eksen takımına göre çubuk ucu deplasmanlarını global eksen takımına göre ifade etmek için rotasyon matrisinin transpozu ile çarpmamız gerekecektir.

$$\tilde{a}_j = (R_j^T) * \tilde{a}'_j \quad (3.9)$$

Çubukta meydana gelecek deformasyonlar şu şekilde gösterebiliriz.



Şekil 3.8. Çubuk Eksen Takımından Global Eksen Takımına Geçiş

Şekil 3.8'den görüleceği üzere çubuğun boyundaki uzama miktarı olan Δ_j çubuğun bir numaralı deplasmanı ile dört numaralı deplasmanı arasındaki farka eşittir. Yani;

$$\Delta_j = d'_{j4} - d'_{j1} \text{ şeklinde olur.}$$

Şekilde denge denklemleri yazılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

$$\begin{aligned}
q'_{j4} &= \left(\frac{EA}{L}\right)_j [d'_{j4} - d'_{j1}] \\
q'_{j1} &= -q'_{j4} \\
q'_{j3} &= \left(\frac{EI}{L}\right)_j \left[2d'_{j6} + 4d'_{j3} + \frac{6}{L_j}(d'_{j2} - d'_{j5})\right] \\
q'_{j6} &= \left(\frac{EI}{L}\right)_j \left[2d'_{j3} + 4d'_{j6} + \frac{6}{L_j}(d'_{j2} - d'_{j5})\right] \\
q'_{j2} &= \frac{1}{L_j} [q'_{j3} + q'_{j6}] \\
q'_{j5} &= -q'_{j2}
\end{aligned} \tag{3.10}$$

Çubuk eksen takımına göre yazmış olduğumuz bu denklem takımını matris formda yazacak olursak:

$$\tilde{q}'_j = (S'_j) \cdot \tilde{d}'_j \tag{3.11}$$

şeklinde olacaktır. Burada (S'_j) çubuk eksen takımına göre çubuk rijitlik matrisidir.

$$\begin{bmatrix} q'_{j1} \\ q'_{j2} \\ q'_{j3} \\ q'_{j4} \\ q'_{j5} \\ q'_{j6} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \left(\frac{EA}{L}\right)_j & 0 & 0 & -\left(\frac{EA}{L}\right)_j & 0 & 0 \\ 0 & 12\left(\frac{EI}{L^3}\right)_j & 6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 0 & -12\left(\frac{EI}{L^3}\right)_j & 6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j \\ 0 & 6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 4\left(\frac{EI}{L}\right)_j & 0 & -6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 2\left(\frac{EI}{L}\right)_j \\ \left(\frac{EA}{L}\right)_j & 0 & 0 & \left(\frac{EA}{L}\right)_j & 0 & 0 \\ 0 & -12\left(\frac{EI}{L^3}\right)_j & -6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 0 & 12\left(\frac{EI}{L^3}\right)_j & -6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j \\ 0 & 6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 2\left(\frac{EI}{L}\right)_j & 0 & -6\left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 4\left(\frac{EI}{L}\right)_j \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d'_{j1} \\ d'_{j2} \\ d'_{j3} \\ d'_{j4} \\ d'_{j5} \\ d'_{j6} \end{bmatrix}$$

$$\bar{S}_j = (S'_j) \cdot (R_j^T) \tag{3.12}$$

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos \alpha_j & \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \sin \alpha_j & 0 & -\left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos \alpha_j & \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \sin \alpha_j & 0 \\ -12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & 12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & 12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & -12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j \\ -6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 4 \left(\frac{EI}{L}\right)_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & -6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 2 \left(\frac{EI}{L}\right)_j \\ -\left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos \alpha_j & -\left(\frac{EA}{L}\right)_j * \sin \alpha_j & 0 & \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos \alpha_j & \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \sin \alpha_j & 0 \\ 12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & -12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & -6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j & -12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & 12 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j \\ -6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 2 \left(\frac{EI}{L}\right)_j & -6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j & 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j & 4 \left(\frac{EI}{L}\right)_j \end{bmatrix}$$

Çubuk eksen takımına göre hesapladığımız bu rijitlik matrisini global eksen takımına çevirmek için rotasyon matrisi ile çarpmamız gerekir. Yani ;

$$(S_j) = (R_j) * (\bar{S}_j) \quad (3.13)$$

$$(S_j) = \begin{bmatrix} S(1,1) & S(1,2) & S(1,3) & (-) & (-) & (+) \\ S(2,1) & S(2,2) & S(2,3) & (-) & (-) & (+) \\ S(3,1) & S(3,2) & S(3,3) & (-) & (-) & \frac{1}{2}(+) \\ (-) & (-) & (-) & (+) & (+) & (-) \\ (-) & (-) & (-) & (+) & (+) & (-) \\ (+) & (+) & \frac{1}{2}(+) & (-) & (-) & (+) \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

S_j matrisi elemanları aşağıda tarif edilmiştir. S_j matrisi verilen katsayı ve işaretlerle , aşağıda tarif edilen tablo elemanları çarpılarak tablonun diğer elemanları elde edilir.

$$S(1,1) = \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos^2 \alpha_j + 12 \left(\frac{EI}{L^3}\right)_j * \sin^2 \alpha_j$$

$$S(1,2) = \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \cos \alpha_j * \sin \alpha_j - 12 \left(\frac{EI}{L^3}\right)_j * \cos \alpha_j * \sin \alpha_j$$

$$S(1,3) = \square 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \sin \alpha_j$$

$$S(2,1) = S(1,2)$$

$$S(2,2) = \left(\frac{EA}{L}\right)_j * \sin^2 \alpha_j + 12 \left(\frac{EI}{L^3}\right)_j * \cos^2 \alpha_j$$

$$S(2,3) = 6 \left(\frac{EI}{L^2}\right)_j * \cos \alpha_j$$

$$S(3,1) = S(1,3)$$

$$S(3,2) = S(2,3)$$

$$S(3,3) = 4 \left(\frac{EI}{L} \right)_j$$

Çubuk eksen takımına göre düğüm noktası deplasmanlarından kaynaklanan çubuk ucu kuvvetleri:

$$q'_{j1} = \left(\frac{AE}{L} \right)_j [(d'_{j4} - d'_{j1}) * \cos \alpha_j + (d'_{j5} - d'_{j2}) * \sin \alpha_j]$$

$$q'_{j2} = -12 \left(\frac{EI}{L^3} \right)_j [(d'_{j5} - d'_{j2}) * \cos \alpha_j - (d'_{j4} - d'_{j1}) * \sin \alpha_j] + \left(\frac{EI}{L^2} \right)_j [(d'_{j3} - d'_{j6})]$$

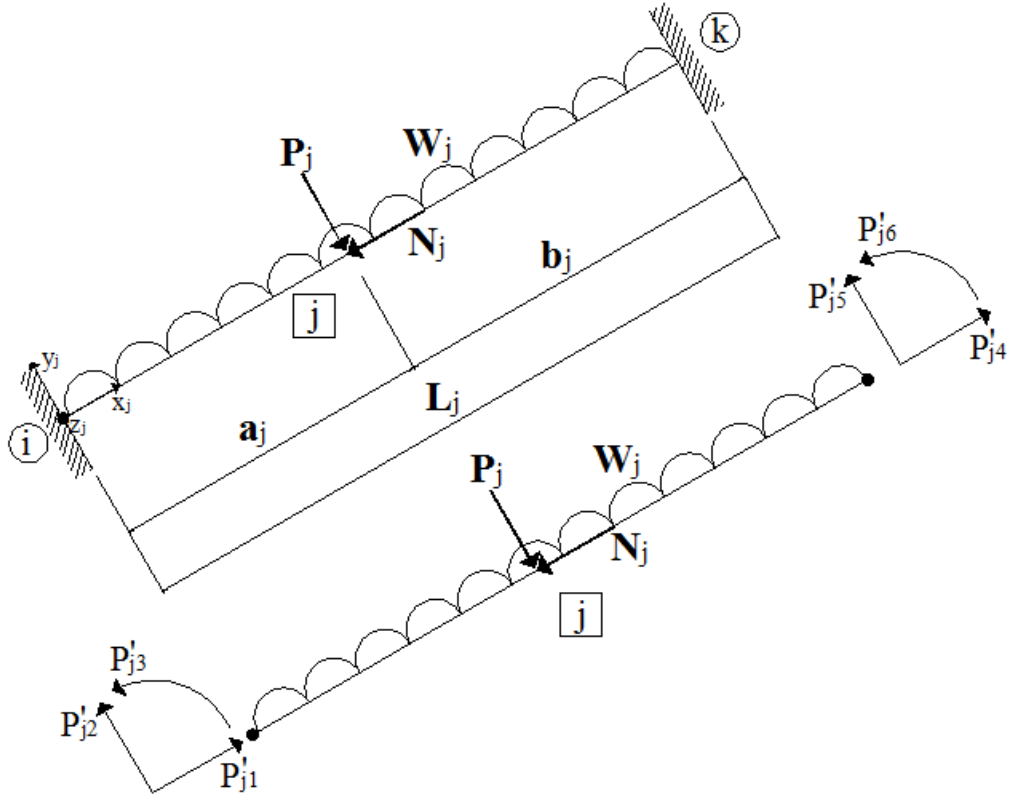
$$q'_{j3} = -6 \left(\frac{EI}{L^2} \right)_j [(d'_{j5} - d'_{j2}) * \cos \alpha_j - (d'_{j4} - d'_{j1}) * \sin \alpha_j] + 2 \left(\frac{EI}{L} \right)_j [(d'_{j3} + d'_{j6})] + 2 \left(\frac{EI}{L} \right)_j [d'_{j3}]$$

$$q'_{j4} = \square q'_{j1}$$

$$q'_{j5} = \square q'_{j2}$$

$$q'_{j6} = -6 \left(\frac{EI}{L^2} \right)_j [(d'_{j5} - d'_{j2}) * \cos \alpha_j - (d'_{j4} - d'_{j1}) * \sin \alpha_j] + 2 \left(\frac{EI}{L} \right)_j [(d'_{j3} + d'_{j6})] + 2 \left(\frac{EI}{L} \right)_j [d'_{j6}]$$

j çubuk elemanı üzerine etki eden w,P,N yüklerine bağlı eleman eksen takımındaki çubuk ucu kuvvetleri $[\tilde{q}_j]$ lerin tarifleri



Şekil 3.9. Yüklere Bağlı Çubuk Eksen Takımına Göre Çubuk Ucu Kuvvetleri

$$\begin{aligned}
 q'_{j1} &= \frac{N_j \cdot b_j}{L_j} \\
 q'_{j2} &= \frac{w_j \cdot L_j}{2} + \frac{P_j \cdot b_j^2 \cdot (3a_j + b_j)}{L_j^3} \\
 q'_{j3} &= \frac{w_j \cdot L_j^2}{12} + \frac{P_j \cdot a_j \cdot b_j^2}{L_j^2} \\
 q'_{j4} &= \frac{N_j \cdot a_j}{L_j} \\
 q'_{j5} &= \frac{w_j \cdot L_j^2}{2} + \frac{P_j \cdot a_j^2 \cdot (3b_j + a_j)}{L_j^3} \\
 q'_{j6} &= \frac{w_j \cdot L_j^2}{12} - \frac{P_j \cdot b_j \cdot a_j^2}{L_j^2}
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

3.1.9. Global eksen takımındaki çubuk ucu kuvvetleri $[\tilde{q}'_j]$ ' lerin yukarıda tarif edilen $[\tilde{q}'_j]$ 'ler cinsinden ifadeleri

$$\begin{aligned}
 [\tilde{q}'_{j1}] &= [\tilde{q}'_{j1}] * \cos \alpha_j - [\tilde{q}'_{j2}] * \sin \alpha_j \\
 [\tilde{q}'_{j2}] &= [\tilde{q}'_{j1}] * \sin \alpha_j + [\tilde{q}'_{j2}] * \cos \alpha_j \\
 [\tilde{q}'_{j3}] &= [\tilde{q}'_{j3}] \\
 [\tilde{q}'_{j4}] &= [\tilde{q}'_{j4}] * \cos \alpha_j - [\tilde{q}'_{j5}] * \sin \alpha_j \\
 [\tilde{q}'_{j5}] &= [\tilde{q}'_{j4}] * \sin \alpha_j + [\tilde{q}'_{j5}] * \cos \alpha_j \\
 [\tilde{q}'_{j6}] &= [\tilde{q}'_{j6}]
 \end{aligned} \tag{3.16}$$

Çerçevedeki düğüm noktalan serbestlikleri, global eksen takımları doğrultusunda pozitif kabul edilerek numaralandırılırlar. Bu serbestlikler \tilde{x} vektörü elemanları olarak düşünülür, \tilde{d}_j vektörünün elemanları serbestliklerin olduğu düğüm noktalarında \tilde{x} vektörü elemanları ile birebir eşleşirler. Çubuk ucu kuvvetleri ile, düğüm noktalarına etki eden yükler kullanılarak aşağıdaki düğüm noktaları denge denklemleri yazılır;

$$(S) * (\tilde{X}) + (\tilde{Q}) = (\tilde{P}) \tag{3.17}$$

Düğüm noktaları denge denklemleri düğüm noktaları eksen takımları doğrultusunda yazılır ve eksenler doğrultusundaki serbestlik numaraları aynı zamanda düğüm noktası denge denklem numarası olur. Düğüm noktaları eksenleri doğrultusunda etki eden düğüm noktası yükleri pozitif kabul edilir ve bu yük bileşenleri serbestlik numaraları gibi numaralandırılarak \tilde{P} vektörü elemanlarını oluştururlar.

Çubuk stiffness matrislerinden faydalanılarak toplama yöntemi yardımıyla yapı rijitlik matrisi (S) elde edilir. Global eksen takımındaki çubuk ucu kuvvetleri $[\tilde{q}'_j]$ toplanarak (\tilde{Q}) yük vektörü elde edilir. Sonra aşağıdaki şekilde (\tilde{X}) vektörü ve çubuk ucu kuvvetleri hesaplanır.

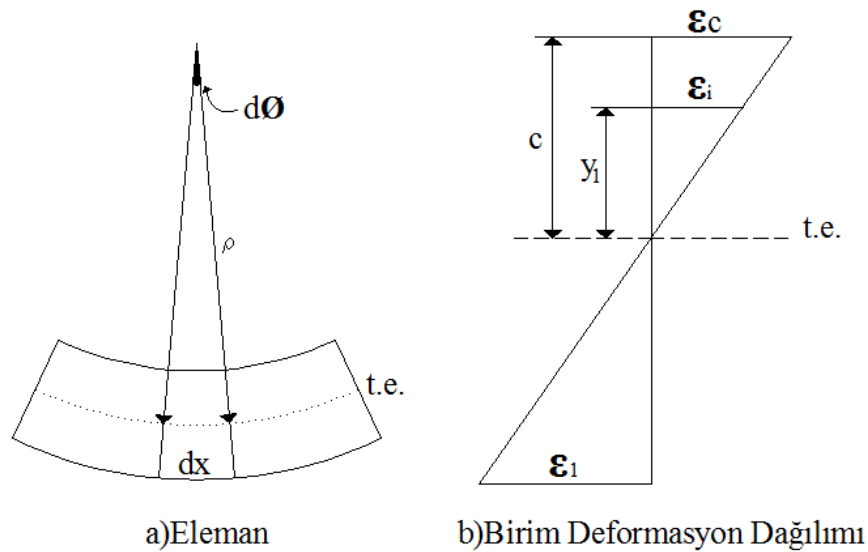
$$(\tilde{X}) = (S^{-1}) * [(\tilde{P}) - (\tilde{Q})] \quad (3.18)$$

$$\text{Çubuk ucu kuvvetleri} = q'_j + \bar{q}'_j$$

BÖLÜM 4. MOMENT-EĞRİLİK

Moment-eğrilik arasındaki ilişki incelendiğinde eleman davranışlarının değişimi tespit edilebilmektedir. Bu davranış değişiminin tespitinde en önemli kıstas ise kesit kabulü olarak dikkat çekmektedir. Mühendisin kesit tercihinde yaptığı kabuller kesitin davranışını ortaya koymaktadır. Bu kesit davranışının ortaya koyacağı sonuçları ise gerçekçi olarak moment-eğrilik ilişkisiyle gözlemlenebilmektedir. Bu ilişki dikkatli incelendiğinde mühendisler için eleman, kullanılan malzeme ve tercih edilen kesit hakkında birçok bilgi vermektedir. Süneklik, rijitlik, sargı etkisi, ezilme, pekleşme vb. bilgileri moment-eğrilik ilişkisinden izlenmektedir.

Eğrilik, kesitteki deformasyonu simgeleyen geometrik bir parametre olarak bilinir. Bir eğrideki iki komşu nokta arasındaki açı değişiminin, iki nokta arasındaki uzaklığa bölünmesi ile elde edilen birim dönme açısı olarak tarif edilebilir. Şekil 4.1'de, eğilme ve aksenal yük maruz kalmış ve deforme olmuş bir eleman parçası görülmektedir. Bu şekilde, $d\theta/dx$ eğrilik olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.1. Eğilme ve Aksenal Yük Altında Deforme Olmuş Eleman Parçası

$$K = \frac{d\phi}{dx} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{\rho} = \frac{\epsilon_i}{y_i} \quad (4.1)$$

K, yukarıdaki bağıntıda (4.1) eğrilik olarak tanımlanmıştır.

Eğrilik ve moment arasındaki ilişkinin belirlenmesinde, birim deformasyon (ϵ_i), gerilme(σ_i) ve moment arasındaki ilişkinin bilinmesi büyük kolaylık sağlar. Hesapların yapılacağı kesitte kullanılacak malzemenin homojen, izotropik ve doğrusal-elastik olması durumunda, moment-eğrilik arasındaki ilişkiyi belirleyen doğrunun eğimi, elemanın eğilme rijitliği olarak kabul edilir.

$$K = \frac{M}{EI} \quad (4.2)$$

Ancak söz konusu kesit homojen değil ise moment-eğrilik arasındaki ilişkiyi belirlemek daha da zorlaşmaktadır. Mühendisler için önemli olan betonarme bir kesitte, hesap yapmak daha zor bir hale gelmektedir. Bilindiği üzere betonarme iki ayrı malzemedен meydana gelmektedir. Bu durum kesitte birbirinden farklı iki davranışın gözlemlenmesine sebep olmakta, böylece kesitin davranışının doğrusal elastik olmadığı anlaşılır. Buradan hareketle hem homojen olmayan hem de doğrusal elastik davranmayan bir kesit üstüne hesap modeli oluşturulmaya çalışılacaktır. Oluşturulacak bu modelle analitik çözümler yapılarak gerçekçi sonuçlara ulaşılmaya çalışılacaktır.

4.1. Moment-Eğrilik İlişkisinin Belirlenmesi

Elemanter teori hesaplarında iki önemli koşulun sağlanması göz önüne alındığı bilinmektedir. Hesaplar da bu iki koşulun sağlanması ve bir de oluşturulacak modelin gereksinimi olarak bir koşul daha ilave edilecek, üç koşulun sağlanması ile üç aşamalı bir çözüm yöntemi belirlenecektir.

1. Denge koşullarının sağlanması
2. Uygunluk koşullarının sağlanması
3. Malzeme veya malzemeler için kuvvet-deformasyon ilişkilerinin belirlenmesi (genelde gerilme-birim deformasyon ilişkileri).

Görüldüğü gibi ilk iki maddenin malzeme ile ilgisi yoktur. Son aşama ise tamamen malzeme özelliklerine bağlıdır. Bu nedenle, betonarme kesitlerin moment-eğrilik ilişkisinin diğer malzemelerden yapılmış kesitlerden ayrılması, doğrudan üçüncü aşamadan kaynaklanmaktadır.

Kabullerini yaptığımız betonarme kesit için moment-eğrilik değerlerinin doğru bir şekilde bulunabilmesi için öncelikle gerilme-birim deformasyon ilişkilerinin ($\sigma - \epsilon$) bilinmesi gereklidir. Unutulmamalıdır ki bilinmesi gerekli olan gerilme-birim deformasyon ilişkileri, basınç ve çekme bölgeleri için ayrı ayrı oluşturulur. Ayrıca, betonarme kesitin $\sigma - \epsilon$ ilişkisi çok sayıda değişkenden etkilenmektedir. Buda daha model oluşturulurken bilmemiz gereken bir sonucu ortaya koymaktadır, bulacağımız eğri kesin olarak tanımlanamaz.

Model oluşturulurken kabul edilecek $\sigma - \epsilon$ eğrileri, malzeme deneyleri ile elde edilir. Burada esas alınan eğriler karmaşık olabilir. Bundan dolayı hesaplamalar esnasında bazı yaklaşık ilişkiler kabul edilir. Ve bunlar malzeme modelleri olarak adlandırılır.

Oluşturulan malzeme modellerinin çalışma mantığı, geometrisi belli kesitin, daha önceden belirlenmiş aksinel yüke bağlı olarak bazı varsayımlar oluşturulması üzerine kurulmuştur. Bu varsayımları kısaca aşağıda tanımlanacaktır.

1. Şekil değişiminden önce düzlem olan kesitler, şekil değişiminden sonra da düzlem olarak kalır.
2. Beton ve donatı arasında tam aderans vardır. Başka bir deyişle, donatı çubuğundaki birim boy değişimi, komşu beton liflerindeki birim boy değişimi ile özdeştir.
3. Sargılı ve sargısız betonun basınç altındaki davranışı, betonun çekme altındaki davranışı, donatı çeliğinin basınç ve çekme altındaki davranışları gerçekçi malzeme modelleri ile tanımlanır.

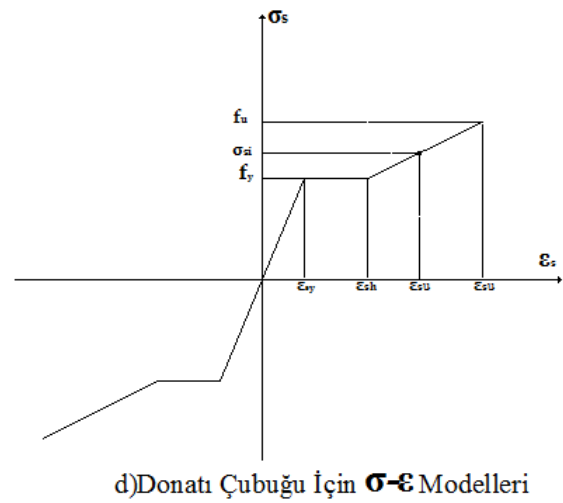
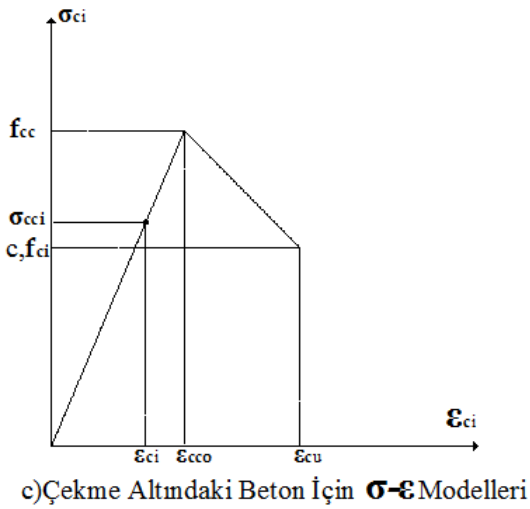
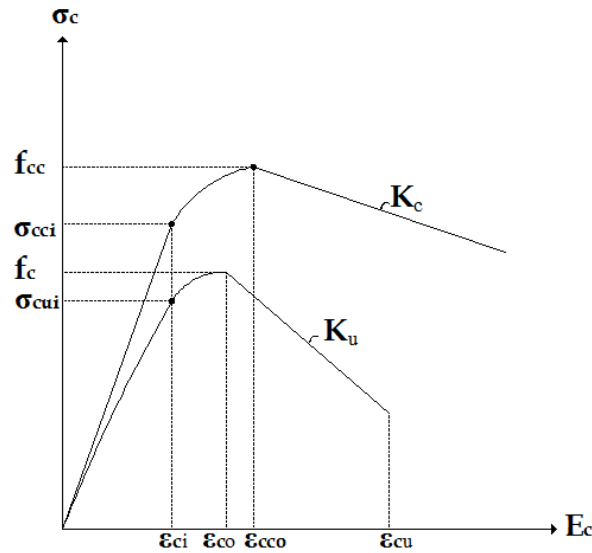
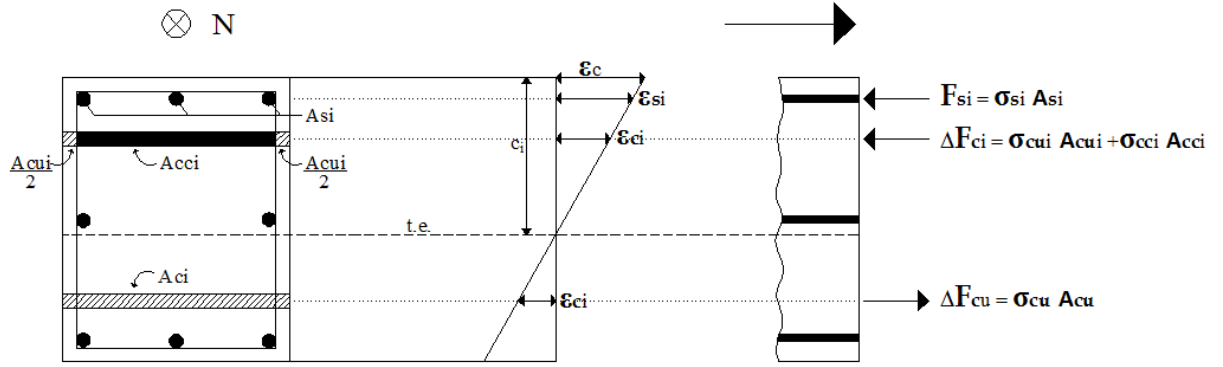
4.1.1. Geometrik tanımlama

İlk işlem olarak kesit geometrisi üstüne bir kabul yapılır. Bu kabulden sonra incelenecek olan kesitin şeritlere bölündüğü kabul edilir. Burada oluşturulan model 40 şeride bölündüğü düşünülür ve buna göre işlemler gerçekleştirildi. Bu işlemler sonucunda her şerit için kabuk ve çekirdek betonlarının alanları ayrı ayrı bulunur. A_{sci} ve A_{cci} olarak tanımlanır.

4.1.2. Birim deformasyon dağılımı

Birim deformasyon dağılımının tespitinde bazı kabuller ve varsayımlar yapılarak denge şartının sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir. Ve buna göre de moment ve eğrilik değerleri tespit edilir. Bu tespitin nasıl yapıldığı kısaca aşağıda anlatılmaya çalışılacaktır;

1. Kesitin basınç altında kalan bölgesindeki en dış lif için bir birim deformasyon değeri ε_c seçilir.
2. Tarafsız eksen derinliği c_i , için bir varsayım yapılır. Tercih edilen c_i değerinin denge durumunu sağlayacağı göz önünde bulundurulmalıdır.
3. Birim deformasyon dağılımının doğrusal değiştiği varsayımından hareketle Adım 2 ve Adım 3'te ki değerler kullanılarak kesitteki birim deformasyon dağılımı belirlenir. Bu hesaplar yapılırken uygunluk koşullarının sağlanması zorunludur.
4. Belirlenen bu birim deformasyon dağılımından, her bir şeridin ağırlık merkezindeki ortalama birim deformasyonlar bulunur, (ε_c). Bu değerler o şeritteki ortalama beton birim deformasyonu olarak kabul edilir. Benzer bir şekilde, her bir düzeydeki donatı için de, donatıların ağırlık merkezlerindeki birim deformasyonlar ε_{si} bulunur.
5. Sargılı ve sargısız betonun basınç altındaki davranışı, betonun çekme altındaki davranışı, donatı çeliğinin basınç ve çekme altındaki davranışları gerçekçi malzeme modelleri ile tanımlanır.



Şekil 4.2. Malzeme Modelleri ve Analiz Yöntemi

4.1.3. Gerilme dağılımının hesabı

6. Betondaki gerilme dağılımının belirlenmesi, çözümleme için seçilen beton basınç (sargılı ve sargısız) ve çekme $\sigma - \varepsilon$ ilişkilerinin Adım 5'te hesaplanan ε_c ile birlikte kullanılması ile ayrı ayrı yapılır. Tarafsız eksenin üzerinde kalan bölgedeki (basınç bölgesi) beton gerilmelerini belirlemek için. Şekil 4.2.b'de gösterilen sargılı ve sargısız beton basınç $\sigma - \varepsilon$ ilişkileri kullanılmalıdır. Bu malzeme modellerine ε_c değeri ile girilerek, o şeritteki kabuk ve çekirdek betonlarına etkiyen gerilmeler (σ_{csi} ve σ_{cci}) bulunur. Benzer biçimde. Şekil 4.2.c'de gösterilen beton çekme $\sigma - \varepsilon$ ilişkisi kullanılarak, tarafsız eksenin altında kalan liflerdeki beton gerilmesi σ_{cti} belirlenebilir.

7. Donatıdaki gerilmeler σ_{si} ise, yine çözümleme için seçilen donatı basınç ve çekme $\sigma - \varepsilon$ ilişkisinin Adım 5'te hesaplanan değerle birlikte kullanılması ile yapılır.

4.1.4. İç kuvvetlerin hesabı

8. Her bir şeritte, kabuk ve çekirdek betonuna etkiyen kuvvet bileşmeleri ile değişik düzeylerdeki donatılara etkiyen kuvvet bileşkesini belirlemek için aşağıda verilen işlemler sırası ile yapılır.

Basınç bölgesinde yer alan şeritlerde betona etkiyen kuvvet:

$$\Delta F_{ci} = \sigma_{csi} * A_{csi} + \sigma_{cci} * A_{cci} \quad (4.3)$$

Çekme bölgesinde yer alan şeritlerde betona etkiyen kuvvet:

$$\Delta F_{cj} = \sigma_{ctj} * A_{ctj} \quad (4.4)$$

Değişik düzeylerdeki donatıya etkiyen kuvvet:

$$F_{si} = \sigma_{si} * A_{si} \quad (4.5)$$

4.1.5. Denge koşulunun sağlanması

9. Adım 8'de hesaplanan normal kuvvetlerle kesite etkiyen aksenal yük cebirsel olarak toplanır. Bu denge denkleminde kuvvetlerin toplamı sıfıra yakın olmalıdır ($\sum F \cong 0$).

10. Kuvvetlerin toplamı sıfırdan farklı ise, Adım 3'e geri gidilerek tarafsız eksen derinliği değiştirilir ve hesaplara denge koşulu yerine getirilinceye kadar devam edilir. Denge koşulu sağlanmışsa moment ve eğrilik değerlerinin hesabı yapılır.

4.1.6. Moment ve eğrilik değerlerinin hesabı

11. Kuvvet dengesi sağlandığında, $\sum F \cong 0$, Adım 8'de bulunan iç kuvvetlerin kesit ağırlık merkezine göre momenti hesaplanarak, ε_c değerine karşılık gelen M_i değeri bulunur.

12. İç kuvvetler dengesini sağlayan tarafsız eksen derinliği ve Adım 2'de seçilen en dış liftteki birim deformasyon temel alınarak eğrilik hesaplanır.

$$K_i = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_i} \quad (4.6)$$

Elde edilen $M_i - K_i$ değerleri, moment-eğrilik ilişkisini gösteren eğride, Adım 2'de seçilen basınç birim deformasyonuna karşılık gelen yük durumunun koordinatlarıdır. Yukarıda özetlenen yöntem, en dış basınç lifindeki beton birim deformasyonunun $0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu}$ aralığında yeteri sayıda nokta için tekrarlanması ile çözümlemede göz önüne alınan kesit için moment-eğrilik ilişkisinin tamamını elde etmek mümkündür.

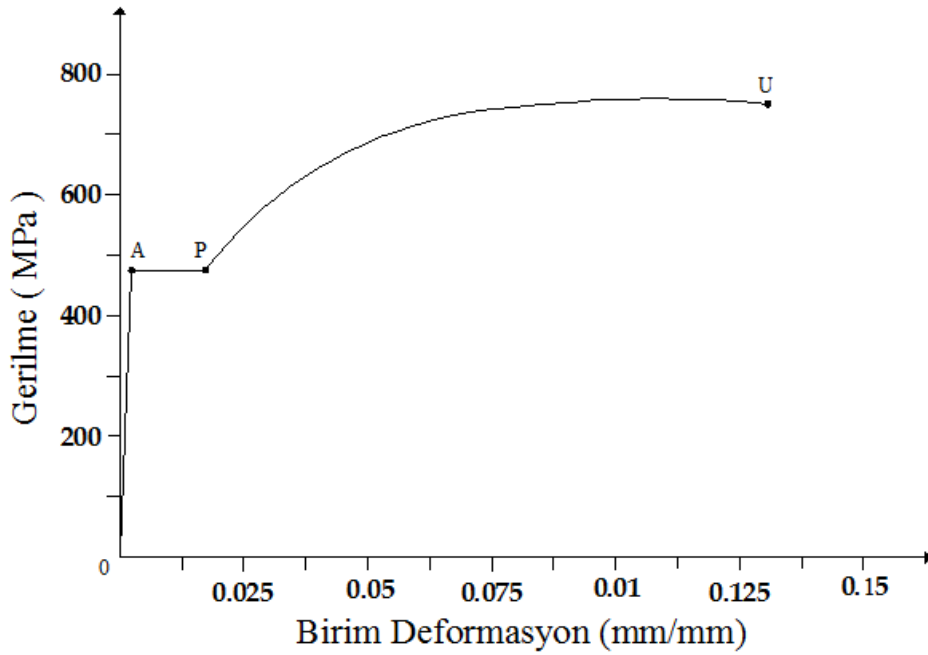
4.2. Malzeme Modelleri

Moment-eğrilik ilişkisinin doğruluğu, seçilen beton ve çelik modellerinin ne denli gerçekçi olduğuna bağlıdır. Bu nedenle hesapta kullanılacak malzeme modelleri çok önem kazanmaktadır.

Moment-eğrilik ilişkisinin tespitinde yaygın olarak kullanılan bazı yöntemlere aşağıda değinilmiştir.

4.2.1. Donatı çeliği için önerilen model

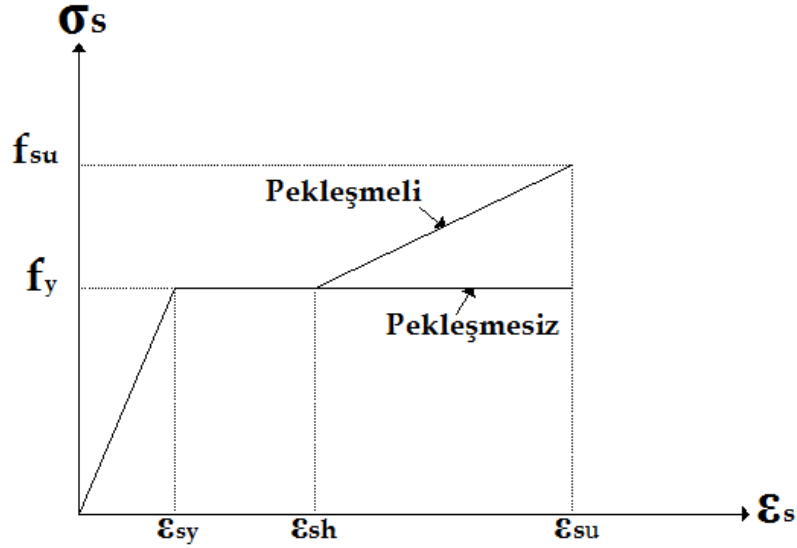
Doğal sertlikte işlem görmüş bir donatı çeliğinin deneysel olarak elde edilmiş $\sigma - \epsilon$ ilişkisi Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi, bu eğri üç bölümden oluşmaktadır. 0-A bölümü, elastik davranışı simgelemektedir ve doğrusaldır. A noktasında çelik aktıktan sonra, P noktasına kadar sabit gerilme altında deformasyon artmaktadır. A-P, eğrinin ikinci bölümünü oluşturmaktadır. P noktası geçildiğinde, çelikte pekleşme olmakta ve artan birim deformasyon altında çelikteki gerilme yeniden artmaya başlamaktadır. U noktasında, donatı çeliğinin kopma dayanımı olan fsu ya ulaşılmaktadır. P-U eğrinin üçüncü bölümünü oluşturmaktadır.



Şekil 4.3. Doğal Sertlikteki Bir Çeliğin Gerilme-Birim Deformasyon İlişkisi

Genelde donatı çeliğinin çekme ve basınç altındaki davranışının özdeş olduğu varsayılır. Ancak, narin betonarme çubukların basınç altında burkulmadan büyük birim deformasyonlara ulaşması pek olası değildir[1].

Deneysel gerilme-birim deformasyon eğrisi, üç doğrudan oluşan bir eğri ile modellenir.



Şekil 4.4. Pekleşmeli ve Pekleşmesiz Donatı Çeliği Modelleri

Şekil 4.4'te gösterilen eğrinin ilk bölümünün eğimi, çeliğin elastisite modülüdür ve genelde bu değer 2×10^6 kgf/cm² (2×10^8 MPa) olarak alınır.

Çeliğin $\sigma - \epsilon$ eğrisinin modellenebilmesi için f_{yk} , f_{su} , ϵ_{sy} ve ϵ_{su} değerlerinin bilinmesi gerekir. Bu değerler, söz konusu çelik için deneysel olarak elde edilir.

4.2.2. Basınç altındaki beton için $\sigma - \epsilon$ modelleri

Betonarmede, betonun aksenal basınç altındaki davranışı, çok sayıda değişkene bağlı olduğu kabul edilir. Bu değişkenlerden en önemlisinin de sargı etkisi olduğu vurgulanmalıdır[1].

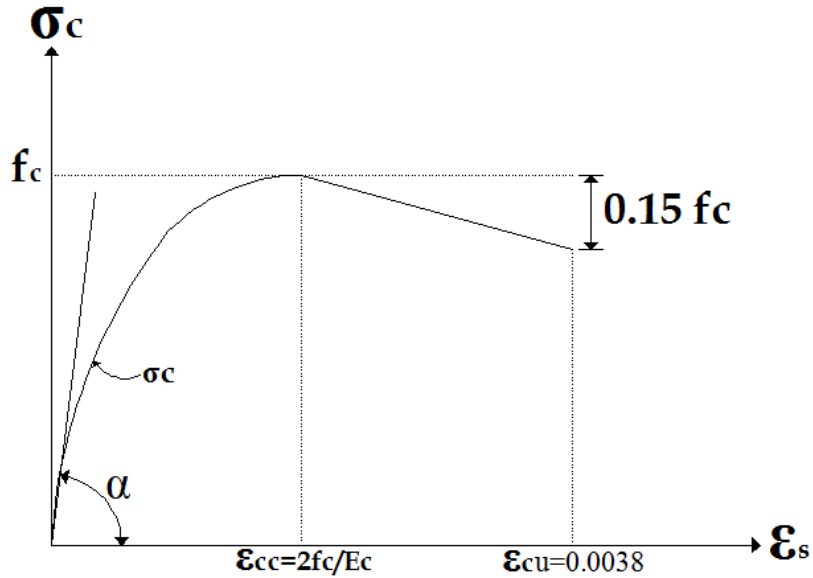
Betona uygulanacak etkili bir sargı, beton dayanımını yükseltmenin yanı sıra, betonun deformasyon kapasitesini de büyük ölçüde artırmaktadır. Sargının deformasyon kapasitesi üzerindeki etkisi, dayanım üzerindeki etkisinden çok daha önemli olduğunu bazı araştırmacılar ısrarla belirtmektedir.

Betonun basınç altındaki ($\sigma - \epsilon$) eğrisini tanımlayan ve uluslar arası kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılan bazı modellerden aşağıda kısaca bahsedilecektir.

4.2.2.1. Hognestad modeli

Bu model bir çok araştırmacı açısından referans kabul edilmiştir. Ancak diğer modellere göre büyük bir kusuru vardır. Sargı etkisini içermemektedir.

$\sigma - \epsilon$ eğrisinin tepe noktasına kadar olan parçasının ikinci derece bir parabol, düşüş parçasının ise, doğrusal olduğu varsayılmıştır. Maksimum gerilme ise beton basınç dayanımının %85 olarak kabul edilir ($f_c = 0.85f_{ck}$). Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim kısalma ise $\epsilon_{co} = \frac{2f_c}{E_c}$ olarak verilmiştir. Ancak hesaplarda kolaylık sağlaması açısından $\epsilon_{co} = 0.002$ olarak kullanılır.



Şekil 4.5. Hognestad Sargısız Beton Modeli

4.2.2.2. Kent ve park modeli

Bu modelde sargı etkisinin dikkate alındığının ve buna göre iki ayrı modelin önerildiği görülmektedir. Bu iki modelin tepe noktasına kadar özdeş ve ikinci dereceden parabol olduğu varsayılmıştır. Burada dayanımı belirten gerilme f_c 'ye

karşı gelen birim kısalma ise ϵ_{co} 'dur. Birim kısalma limit değeri geçildiğinde gerilmeye düşüş başlar. Ve bu andan itibaren sargılı ve sargısız beton için eğimleri farklı doğrular oluşur.

A-B parçası:

$$\sigma_c = f_c \left[\frac{2\epsilon_c}{\epsilon_{co}} - \left(\frac{\epsilon_c}{\epsilon_{co}} \right)^2 \right] \quad (4.7)$$

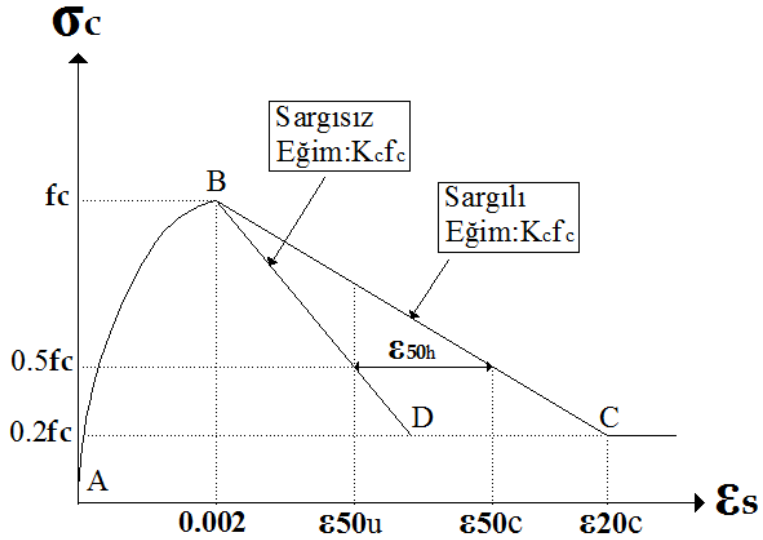
B-D veya B-C parçası:

$$\sigma_c = f_c [1 - Z(\epsilon_c - \epsilon_{co})] \quad (4.8)$$

$$\epsilon_{50u} = \frac{3+0.0285f_c}{14.2f_c-1000} \quad (f_c \text{ kgf/cm}^2) \quad (4.9)$$

$$\epsilon_{50h} = 0.75\rho_s \left(\frac{b_k}{s} \right)^{1/2} \quad (4.10)$$

$$Z_u = \frac{0.5}{\epsilon_{50u} + \epsilon_{50h} - \epsilon_{co}} \quad (4.11)$$



Şekil 4.6. Kent ve Park Beton Modelleri (Sargılı ve Sargısız)

ϵ_{co} tepe noktasındaki birim kısalma = 0.002.

b_k çekirdek betonunun küçük boyutu. Çekirdek betonu sargı donatısı içinde kalan betondur. Kent ve Park, çekirdek betonunu, sargı donatısı dışından sargı donatısı dışına olan uzaklık olarak tanımlamışlardır.

f_c sargısız beton basınç dayanımı, (kgf/cm²). Genelde $f_c = f_{ck}$

s sargı donatısı aralığı.

ρ_s sargı donatısı hacimsel oram. Sargı donatısı hacminin s uzunluğundaki çekirdek hacmine oranı.

$$\rho_s = \frac{A_o * 2(b_k + h_k)}{s(b_k)h_k} \quad (4.12)$$

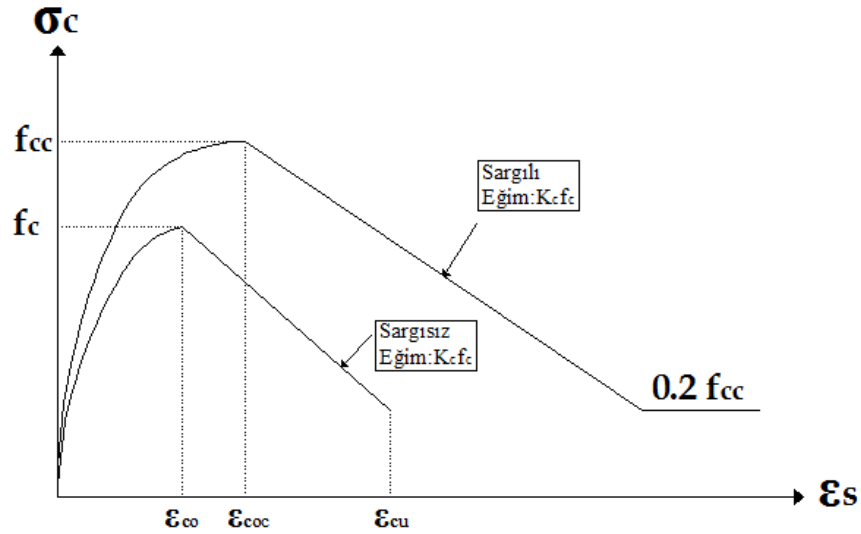
h_k yukarıda tanımlanan çekirdek alanının büyük boyutu.

A_o sargı donatısının kesit alanı.

4.2.2.3. Geliştirilmiş kent ve park modeli

Yukarıda tanıtılan Kent ve Park Modeli'nde, sargılı ve sargısız betonda tepe noktalarının özdeş olduğu varsayılmıştır. Daha sonraları bu varsayım doğru olmadığı anlaşılmıştır. Sadece sargısı az betonlar için bu varsayımın getireceği hata ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Çok iyi sarılmış betonlarda ise hata oranı yükselir. Bu nedenle Kent ve Park, evvelce önerdikleri modeli, sargılı betonda tepe noktasının yukarı ve sağa kayacağını dikkate alarak değiştirmişler ve bunu, Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli olarak adlandırmışlardır.

Geliştirilmiş modelin diğer modelden temel farkı, sargılı betonun tepe noktasının kaydırılmış olmasıdır, sargısız betonda tepe noktasının koordinatları, f_c ve ε_{co} iken, sargılıda f_{cc} ve ε_{coc} dir.



Şekil 4.7. Geliştirilmiş Kent ve Park Sergili Beton Modeli

Geliştirilmiş modelde, Kent ve Park modeli için verilen denklemler aynen kullanılabilir. Ancak, bazı bağıntılarda f_c yerine f_{cc} , $\varepsilon_{co} = 0.002$ yerine de ε_{coc} değerlerinin alınması gerekmektedir. Sergili ve sargısız beton parametreleri arasındaki ilişkiler aşağıda verilmiştir.

$$f_{cc} = K f_c \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_{coc} = K \varepsilon_{co} = K(0.002) \quad (4.14)$$

$$K = 1 + \frac{\rho_s f_{yw} k}{f_c} \quad (4.15)$$

f_c sargısız betonun basınç dayanımı.

f_{cc} sargılı betonun basınç dayanımı.

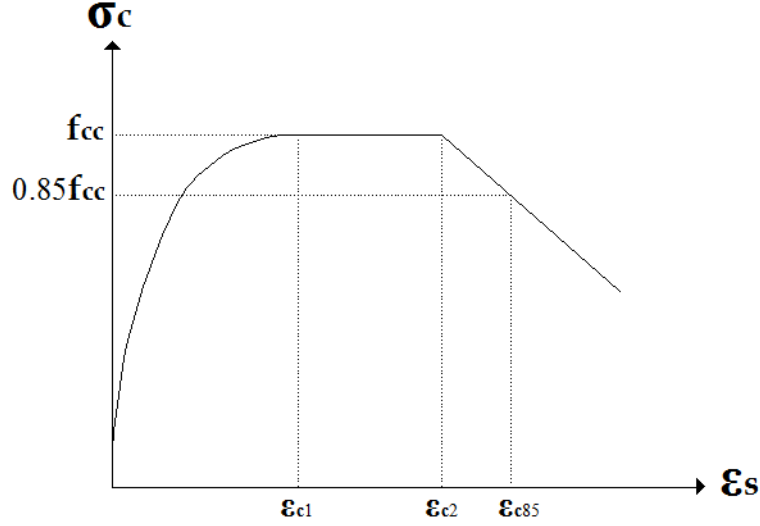
f_{yw} : sargı donatısının karakteristik akma dayanımı.

Bu çalışmada matlab bilgisayar programlama dili yardımıyla geliştirilen moment-eğrilik programı, geliştirilmiş kent ve park modeli kullanılarak hazırlanmıştır.

4.2.2.4. Sheikh ve üzümeri modeli

Bu modelde de, Geliştirilmiş Kent ve Park modelindeki gibi sargı nedeniyle dayanımın arttığı varsayılmaktadır. Modelde, tepe noktasına ulaşıldıktan sonra sabit

gerilme altında deformasyon artışı olduğu öngörülmekte, eğrinin iniş bölümü ise bir doğru ile ifade edilmektedir.



Şekil 4.8. Sheikh ve Üzümeri Sargılı Beton Modeli

$$\varepsilon_{c1} = 8K_c f_c * 10^{-6} \quad (4.16)$$

$$f_{cc} = K_c f_c \quad (4.17)$$

$$\varepsilon_{c2} = 0.0020 \left[1 + \frac{7.8}{a} \left(1 - 5 \left(\frac{s}{b_k} \right)^2 \right) \frac{\rho_s f_{yw k}}{\sqrt{f_c}} \right] \quad (4.18)$$

$$\varepsilon_{s85} = 0.225 \rho_s \sqrt{\frac{b_k}{s}} + \varepsilon_{c2} \quad (4.19)$$

$$K_c = 1 + 23 \frac{b_k^2}{N_{cc}} \left[\left(1 - \frac{n\alpha^2}{5.5b_k^2} \right) \left(1 - \frac{8}{2b_k} \right)^2 \right] \sqrt{\rho_s f_{yw k}} \quad (4.20)$$

α iki komşu boyuna donatı merkezleri arasındaki uzaklık.

A iki komşu boyuna donatı merkezleri arasındaki uzaklık.

A_{ck} sargı donatısı merkezinden ölçülen beton çekirdek alanı, (cm²).

A_{st} kolon kesitindeki toplam boyuna donatı alanı, (cm²).

b_k çekirdek betonunun küçük boyutu.

Sheikh ve Üzümeri'nin çekirdek tanımı, Kent ve Park'tan değişiktir, sargı donatısı

merkezleri arasında ölçülen uzaklıktır.

f_c sargısız beton dayanımı, (kgf/cm³).

f_{cc} sargılı beton dayanımı, (kgf/cm²).

f_{wyk} sargı donatısının akma dayanımı, (kgf/cm²).

$$N_{cc}[0.85f_c(A_{ck} - A_{st})] \quad (\text{kgf}) \quad (4.21)$$

n kolondaki boyuna donatı sayısı.

p_s sargı donatısının hacimsel oranı.

4.2.2.5. Saatçioğlu ve ravzi modeli

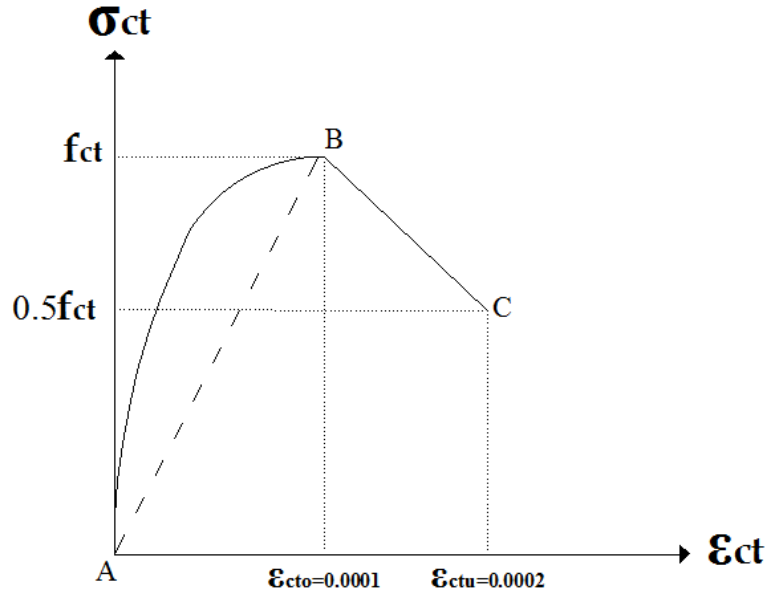
Diğer modellere nazaran yeni bir model olarak göze çarpmaktadır. Ayrıca sargılı beton dayanımından, yanal donatının uyguladığı basıncın fonksiyonu olarak ifade edilmiştir. Diğer modellerden farklı olarak dikdörtgen kesitlerde model oluşturulabilmektedir.

4.2.3. Çekme altındaki beton için $\sigma - \varepsilon$ modeli

Bilindiği üzere betonun çekme dayanımı, basınç dayanımından çok çok küçük olduğundan taşıma gücü hesaplarında betonun çekme dayanımı ihmal edilir. Moment-eğrilik modellerinde de genelde betonun çekme dayanımı ihmal edilmiştir. Moment-eğrilik ilişkisinde betonun çekme bölgesindeki katkısı ihmal edilmek istenmiyorsa, $\sigma - \varepsilon$ eğrisi için bir model gerekir. Bu modelin oluşturulması için, eksenel çekme altında beton numunelere deney uygulanmalıdır.

Beton numunelerin eksenel çekme altında deneylerinin sonucunda, betonun $\sigma - \varepsilon$ eğrisi de çok sayıda değişken tarafından etkilendiği görülecektir. Bu nedenle, değişik koşullar altındaki davranışı simgeleyecek tek bir eğri tanımlanması çok zordur.

Çekme ile ilgili en kapsamlı ve en güvenilir deneylerin Rüşch tarafından yapıldığı kabul edilmektedir. Bu deneylerin sonucunda, Şekil 4.9'da gösterilen modeli oluşturulmuştur. Eğrinin birinci bölümü parabolüdür. İkinci bölüm ise bir doğru ile simgelenebilir.



Şekil 4.9. Çekme Altındaki Beton İçin Malzeme Modeli

İlk bölüm için parabol yerine, sıfır noktasını f_{ct} ile birleştiren bir doğru da kullanılabilir (şekilde kesikli çizgi ile gösterilmiştir).

A-B parçası:

$$\sigma_{ct} = f_{ct} \left[\frac{2\varepsilon_{ct}}{0.0001} - \left(\frac{\varepsilon_{ct}}{0.0001} \right)^2 \right] \leq f_{ct} \quad (4.22)$$

veya,

$$\sigma_{ct} = 10000\varepsilon_{ct} \leq f_{ct} \quad (4.23)$$

B-C parçası:

$$\sigma_{ct} = f_{ct} - 5000f_{ct}(\varepsilon_{ct} - 0.0001) \geq 0.5f_{ct} \quad (4.24)$$

BÖLÜM 5. BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

Bu çalışmada, MATLAB [13] tabanlı olarak çalışan iki farklı program geliştirilmiştir. Bu programlardan ilki deplasman (stiffness) metodu kullanılarak geliştirilmiş olan DOLYAN programıdır. İkincisi ise moment-eğrilik diyagramının çizdirilmesi için geliştirilen MEGRI programıdır. Bu programda geliştirilmiş kent park modeli kullanılmıştır.

Bu programlar kullanılarak iki boyutlu herhangi bir yapı sisteminin doğrusal olmayan yapısal analizi yapılmaktadır. Doğrusal olmayan yapısal analizde sırasıyla;

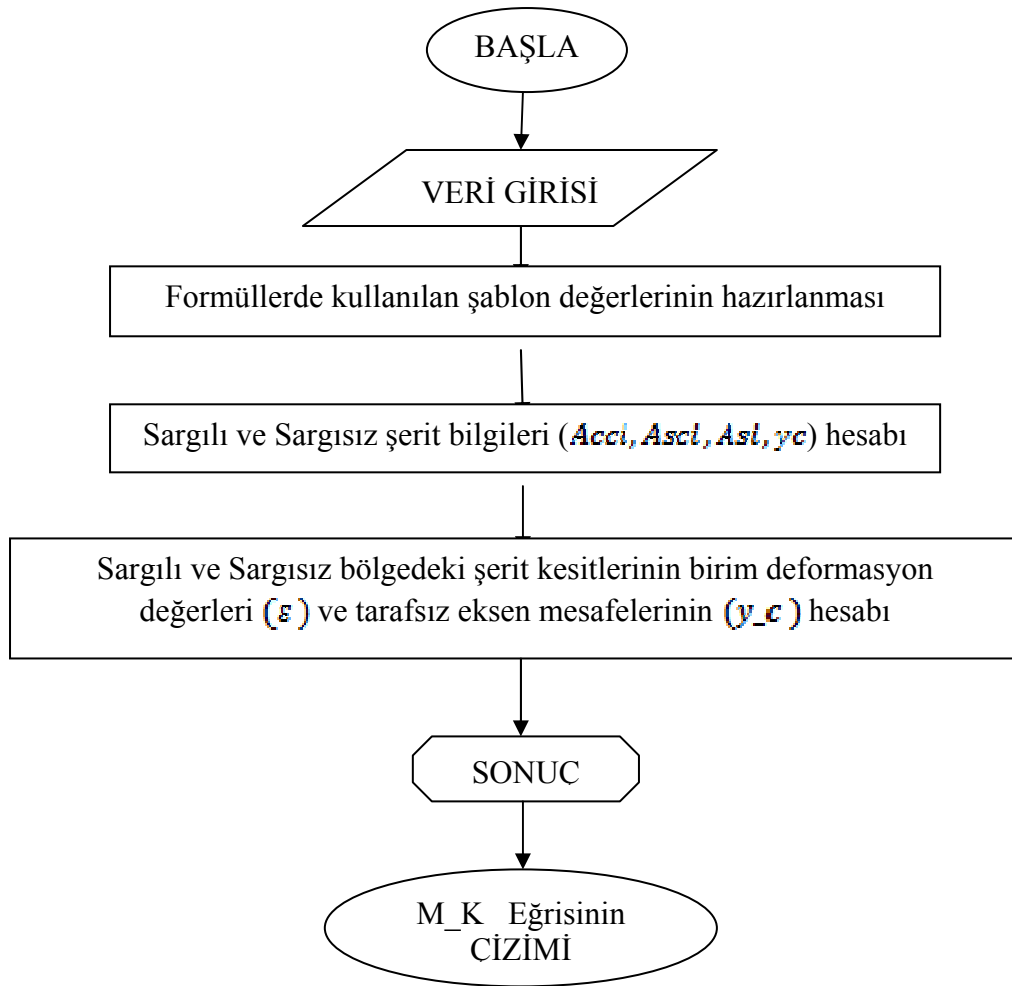
1. DOLYAN programı kullanılarak sabit yükler altında yapı sisteminin çözümü yapılır. Kolon kesitlerine etkiyen aksenal yük değerleri belirlenir.
2. Aksenal yük değerleri kullanılarak MEGRI programı yardımıyla düşey taşıyıcı kesitlerin M_p değerleri bulunur.
3. Ayrıca kiriş kesitlerine ait yine MEGRI programı ile hesaplanır.
4. Bulunan M_p değerleri DOLYAN programına girilir.
5. DOLYAN programında elde edilen moment değerleri ile M_p değerleri karşılaştırılır ve çubuk kesitinde oluşan plastik mafsalları belirlenir.
6. Ardışık yüklemeler ile yapı sistemi süperpoze edilir, plastik mafsalların oluşacağı yer ve yapı sistemini mekanizma durumuna getirecek göçme yükü bulunmuş olur.
7. Taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme eğrileri çizilir.

5.1. Moment-Eğrilik Programı

Moment-eğrilik ilişkisinin eleman davranışını incelemek için iyi bir araç olduğu daha önce belirtilmişti. Geliştirilen MEGRİ programı ile eksenel yük etki eden kolon kesitlerinin moment-eğrilik diyagramı çizdirilmektedir. Bu diyagram üzerinden kolon kesitinin M_p değeri okunmaktadır.

MEGRİ programına ilişkin akış şeması Şekil 5.1'de verilmiştir. Geliştirilen bilgisayar programının detaylarına girmeden, program ile ilgili genel bilgiler verilecektir. Hesaplarda,

1. Basınç bölgesindeki beton için Geliştirilmiş Kent ve Park Modeli kullanılmıştır.
2. Sargısız beton için maksimum birim kısalma 0.004 ile sınırlandırılmıştır $\varepsilon_t=0.004$.
3. Çekme bölgesinde kalan betonun davranışı ise Rüşch tarafından yapılan deneyler sonucu elde edilen ve Şekil 4.9'da gösterilen beton modeli ile simgelenmiştir.
4. Yazılımda, donatı çeliği için Şekil 4.4'de gösterilen, pekleşmeyi de içeren model kullanılmıştır.
5. İncelenen kesit 40 eşit şeride bölünmüştür. Her şerit, kendi sınırları içerisinde bulunan kabuk (sargısız) ve çekirdek (sargılı) betonu alanları ile tanımlanmaktadır.

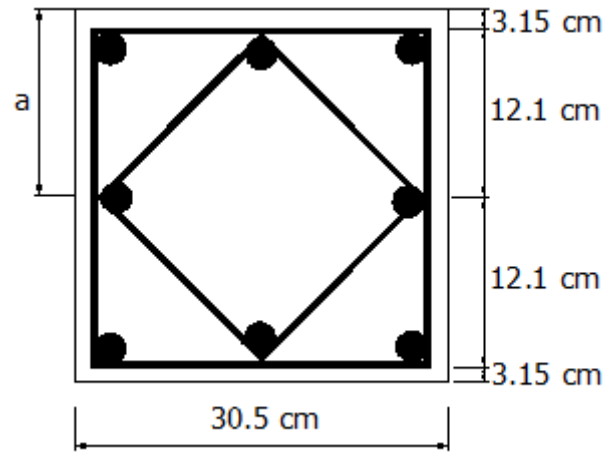


Şekil 5.1. Moment-Eğrilik Programı (MEGRİ) Akış Şeması

Burada geliştirilen MEGRI programının doğrulamasını yapabilmek amacıyla bir karşılaştırma yapılacaktır. Bu amaçla Ersoy U. ve Ozcebe G. [1] çözdükleri örnek dikkate alınacaktır. Bu örnekte Şekil 5.2’de verilen kolon kesitinin moment eğrilik diyagramı çizilmiştir.

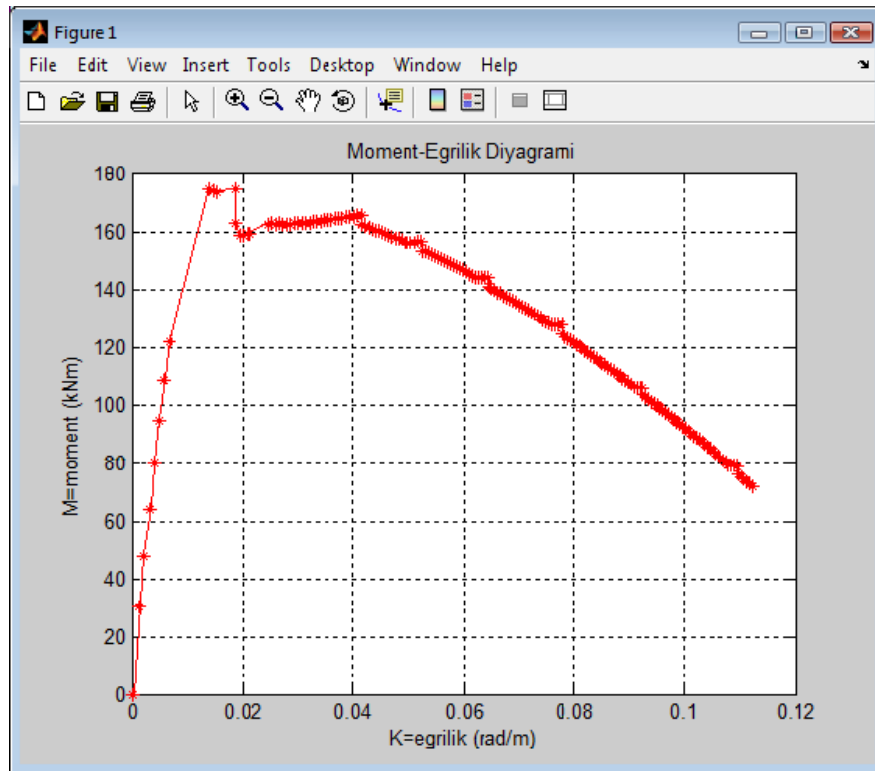
Örnek 5.1.

Şekil 5.2’de verilen sargılı kolon kesitine 2000 kN’luk aksenal yük etki etmektedir. Kesitte C20 betonu ve S520 donatı çeliği kullanılmıştır. Ayrıca kesitte 8Ø19 mm’lik boyuna donatı ve Ø6 / 10.8 cm ara ile enine donatı kullanılmıştır. Kesite ait moment-eğrilik diyagramı istenilmektedir.

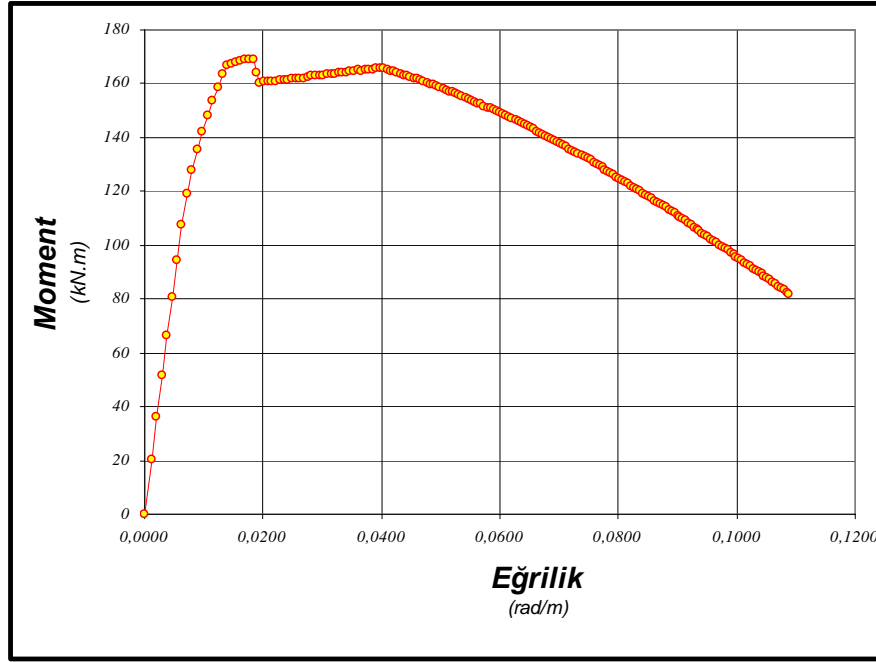


Şekil 5.2. Kolon Kesiti

Örnek 5.1 MEGRİ programı ile çözülmüş ve elde edilen moment-eğrilik diyagramını Şekil 5.3’de verilmiştir. Çözüme ilişkin sonuç çıktısı Ek A’da verilmektedir.



Şekil 5.3. Moment-Eğrilik Diyagramı(DOLYAN)



Şekil 5.4. Moment-Eğrilik Diyagramı[1]

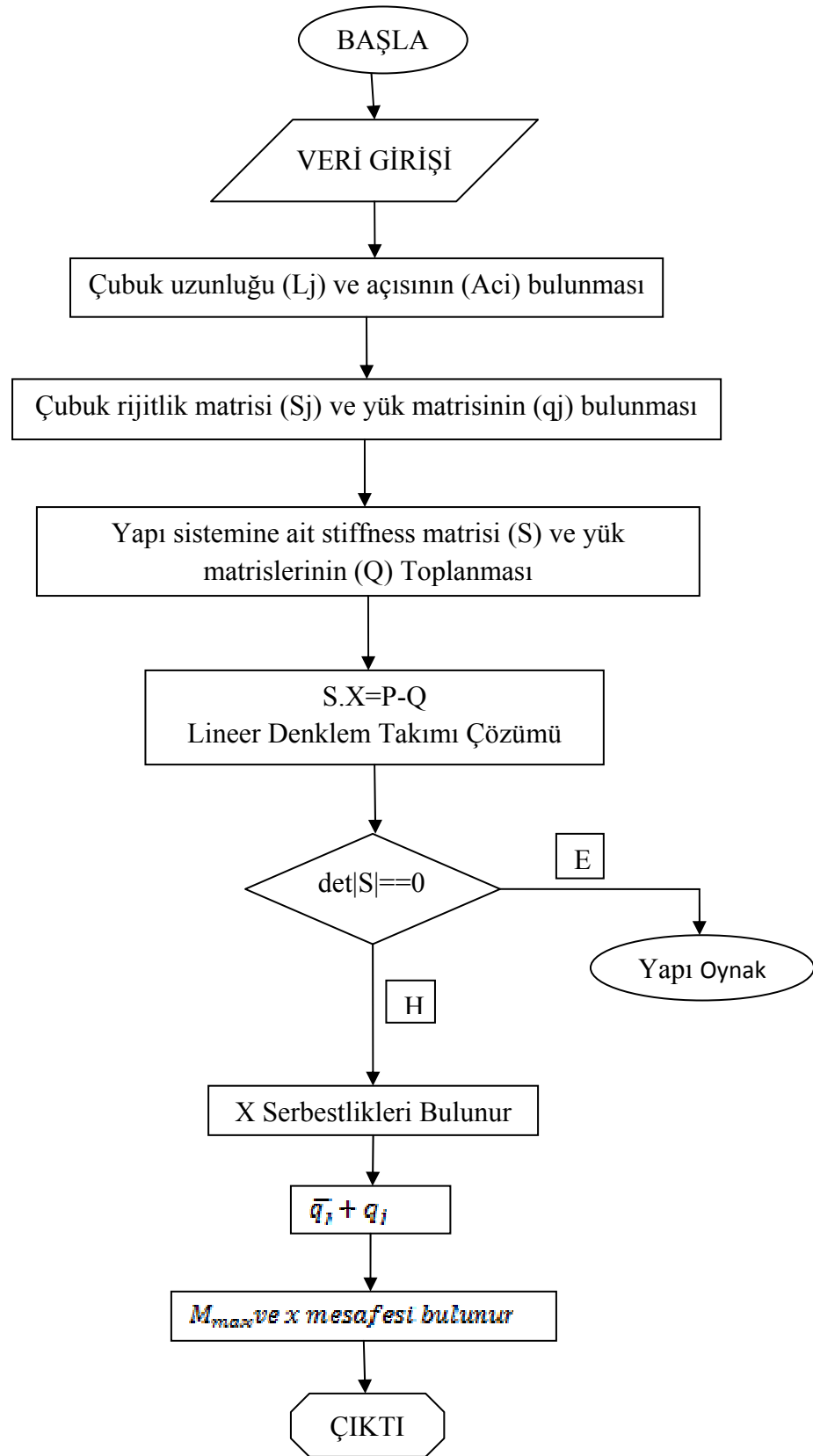
Şekil 5.3'te verilen moment-eğrilik diyagramına MEGRİ programı ile yapılan analiz sonrasında ulaşılmıştır. Diyagram incelendiğinde moment-eğrilik değerleri sıfırdan başlayarak doğrusal olarak artmakta ve bir maksimum noktaya ulaşmaktadır. Bu noktada moment değeri 174.5 kNm ve eğrilik değeri 0.0186 rad/m'dir. Daha sonra donatıda akma meydana gelerek moment 158.8 kNm ve eğrilik 0.01938 rad/m olmaktadır. Bu noktadan sonra donatıda pekleşme görülmüştür. Pekleşme sonrasında moment değeri 165.6 kNm ve eğrilik 0.04084 değerine ulaşmıştır. Eğrinin son bulunduğu noktada moment değeri 71.99 kNm ve eğrilik 0.1123 rad/m'dir.

Şekil 5.4'te verilen moment-eğrilik diyagramına Ersoy U. ve Ozcebe G. [1] ulaşılmıştır. Diyagram incelendiğinde moment-eğrilik değerleri sıfırdan başlayarak doğrusal olarak artmakta ve bir maksimum noktaya ulaşmaktadır. Bu noktada moment değeri 168.821 kNm ve eğrilik değeri 0.0169 rad/m'dir. Daha sonra donatıda akma meydana gelerek moment 160.1 kNm ve eğrilik 0.0194 rad/m olmaktadır. Bu noktadan sonra donatıda pekleşme görülmüştür. Pekleşme sonrasında moment değeri 165.4 kNm ve eğrilik 0.0379 değerine ulaşmıştır. Eğrinin son bulunduğu noktada moment değeri 83.297 kNm ve eğrilik 0.1080 rad/m'dir.

Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te bulunan eğriler karşılaştırıldığında MEGRI programının Ersoy U. ve Ozcebe G [1]'deki sonuç değerlerine aynı olduğu görülmektedir.

5.2. Deplasman (Stiffness) Metodu Programı

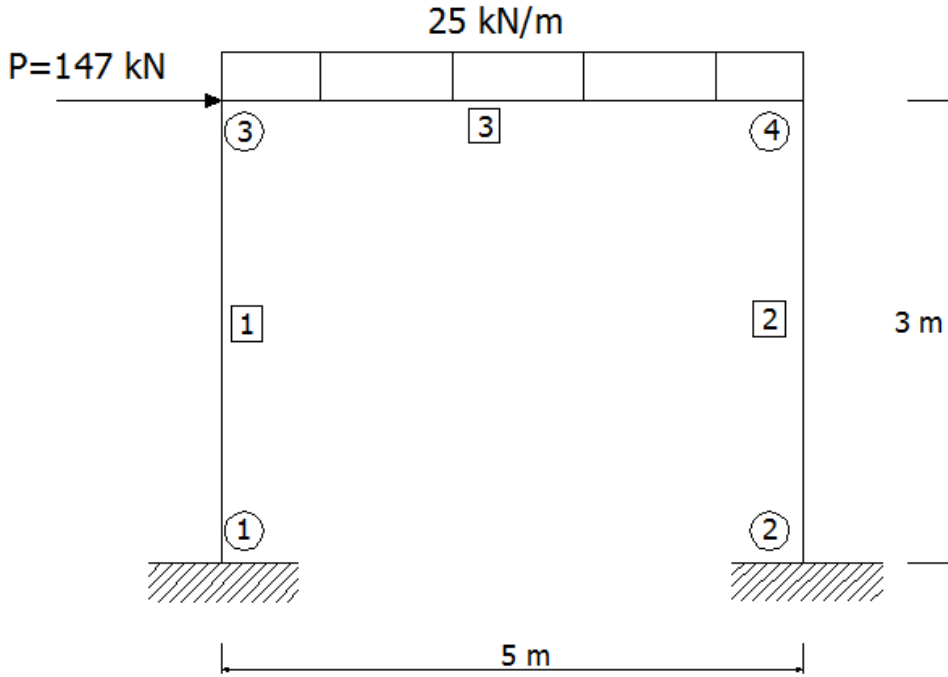
Bu çalışmada bilgisayar programlamasına kolay uygulanabilir olması nedeniyle deplasman metodu seçilmiştir. Matlab bilgisayar programlama dili yardımıyla yazılan DOLYAN programı kullanılarak, düzlem çerçeve sistemlerin düğüm noktası deplasmanları ve çubuk ucu kuvvetleri bulunmakta, buradan hareketle her çubuk üzerinde oluşan moment tesirleri hesaplanmaktadır. DOLYAN programına ait işlem basamaklarını gösteren akış şeması Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



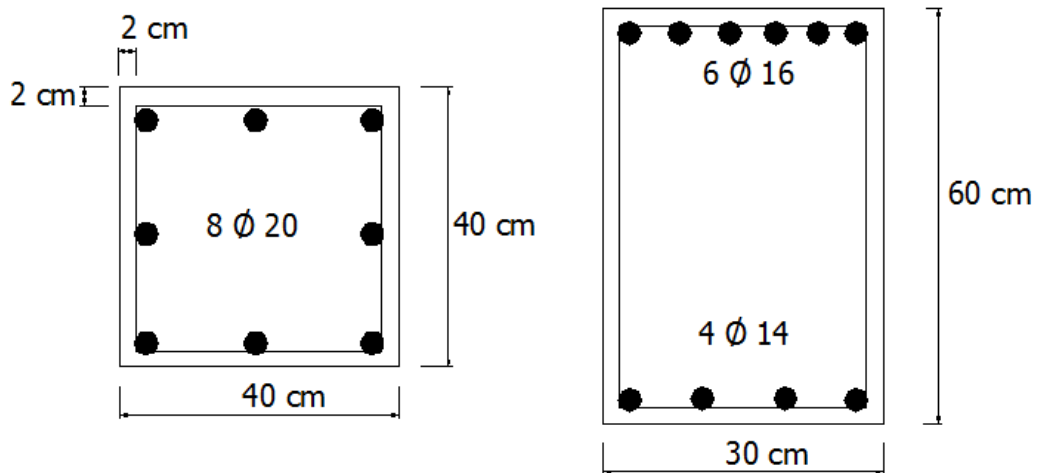
Şekil 5.5. Deplasman Metodu Programı (DOLYAN) Akış Şeması

ÖRNEK 5.2.

Tek katlı ve tek açıklıklı çerçeve sisteme Şekil 5.6'da gösterilen yükler etki etmektedir. Kolon ve kiriş kesit bilgileri verilen çerçeve sistemin plastik analizi gerçekleştirilerek Taban Kesme kuvveti- Yerdeğiştirme diyagramı çizilecektir.



Şekil 5.6. Tek Katlı Tek Açıklıklı Çerçeve Sistemi



Şekil 5.7. Kolon ve Kiriş Kesitleri

Malzeme: C 25, S 420, E=30250000 kN/m²

Kiriş Mesnet Kesitinde Negatif Moment Kapasitesi:

$$0.85 \times f_{ck} \times b \times a = A_s \times f_{yk} \quad 0.85 \times 25 \times 300 \times a = 1206 \times 420 \rightarrow a=80 \text{ mm}$$

$$M_r = A_s \times f_{yk} \times (d - 0.5a) = 1206 \times 420 \times (560 - 0.5 \times 80) = 263.390 \text{ kNm}$$

Kiriş Mesnet Kesitinde Pozitif Moment Kapasitesi:

$$M_r = A_s \times f_{yk} \times (d - d') = 616 \times 420 \times (560 - 40) = 134.534 \text{ kNm}$$

Kolon Kesitinde Moment Kapasitesi:

$$0.85 \times f_{ck} \times b \times a = N \quad 0.85 \times 25 \times 300 \times a = 0 \rightarrow a=0$$

$$\text{Kuvvet Kolu } z = d - 0.5 \times (0.5a + d') = 360 - 0.5 \times (0.5 \times 0 + 40) = 340 \text{ mm}$$

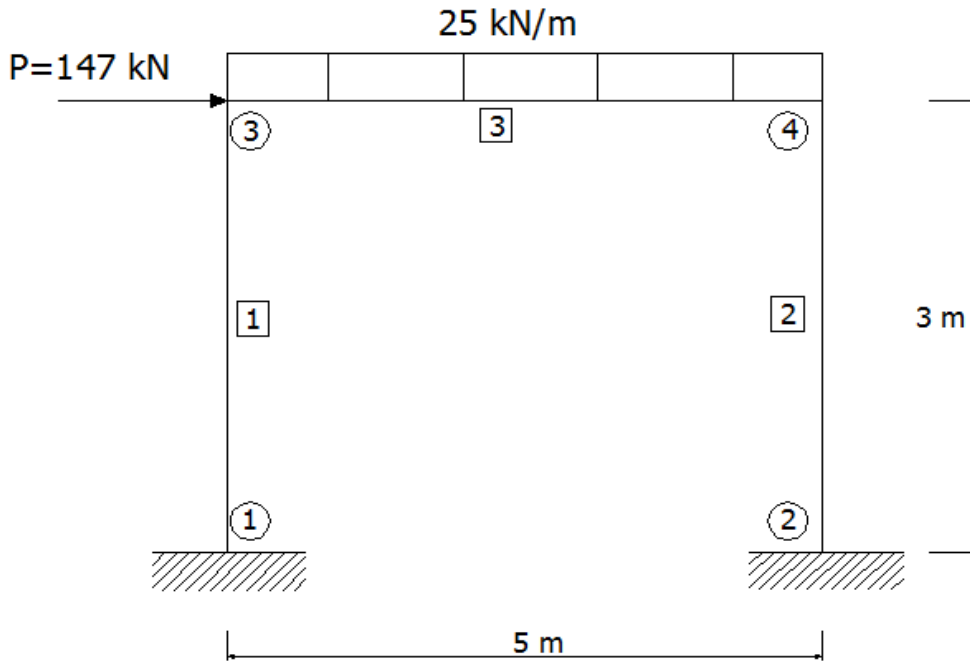
$$M_r = A_s \times f_{yk} \times z = 942.6 \times 420 \times 340 = 134.603 \text{ kNm}$$

5.3. Dolyan ve Megri Programı ile Yapılan Çözüm

Tez çalışmasında geliştirilmiş olan DOLYAN ve MEGRİ isimli programlar kullanılarak Örnek 5.2'nin çözümü yapılacaktır.

5.3.1. Birinci plastik mafsallın oluşması

Çerçeve sisteme Şekil 5.8'de gösterilen yükleme yapılmış ve DOLYAN programı ile çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.8. $P=147$ kN'luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi

```

*****
*                               *
*               DOLYAN          *
*   DEPLASMAN METODU BİLGİSAYAR PROGRAMI   *
*                               *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM        *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR      *
*****

```

ANA PROGRAM

Cubuk Genel Bilgileri

Bu soruda;
3 çubuk eleman ,
4 düğüm ve
6 serbestlik derecesine
sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...

Düğüm Koordinat Bilgileri

Dno	Xi	Yi
1	0	0
2	5	0
3	0	3
4	5	3

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	3	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
2	2	4	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
3	3	4	0.180	0.005	30250000.0	5.000	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	3	0	0	0	1	2	3
2	2	4	0	0	0	4	5	6
3	3	4	1	2	3	4	5	6

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	4	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	147.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

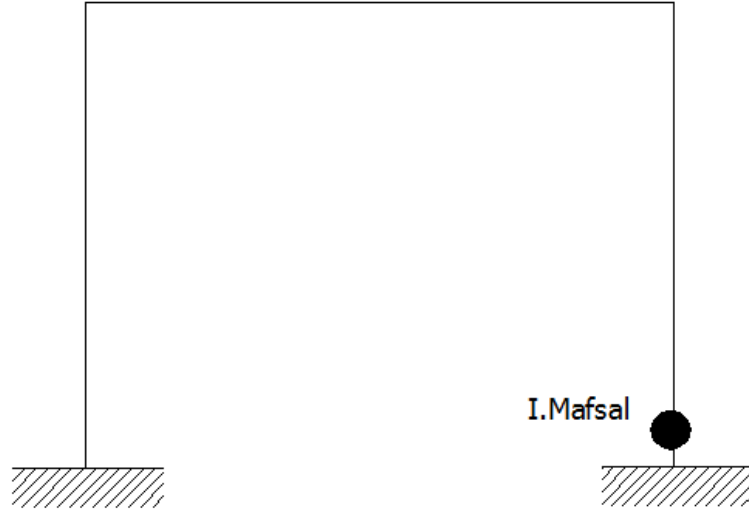
Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0034	-0.0000	-0.0009
2	2	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0033	-0.0001	-0.0002
3	3	4	0.0034	-0.0000	-0.0009	0.0033	-0.0001	-0.0002

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	3	22.8309	59.3697	107.7731	-22.8309	-59.3697	70.3359
2	2	4	102.1691	87.6303	134.8816	-102.1691	-87.6303	128.0093
3	3	4	87.6303	22.8309	-70.3359	-87.6303	102.1691	-128.0093

Cubuk Maks. M ve X		
Cno	M	X
1	-107.7731	0.0000
2	-134.8816	0.0000
3	-128.0093	5.0000

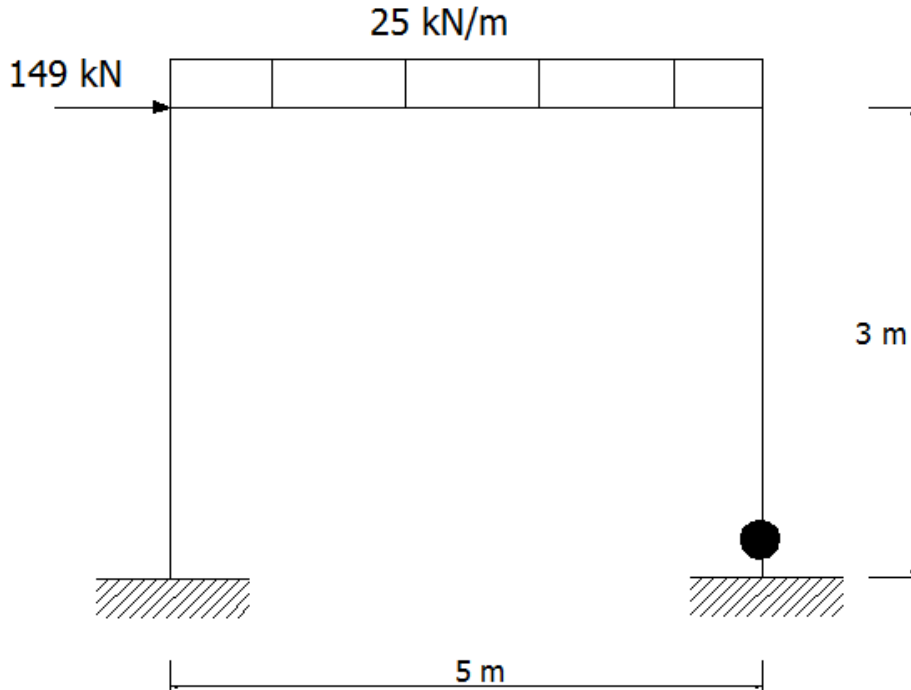
Cubuk Mmaks ve Mmfs		
Cno	Mmaks	Mmfs
1	-107.7731	134.6000
2	-134.8816	134.6000
3	-128.0093	263.4000



Şekil 5.9. I. Plastik Mafsal

5.3.2. İkinci plastik mafsahın oluşması

Çerçeve sisteme Şekil 5.10'da gösterilen yükleme yapılmış ve DOLYAN programı ile çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10. P=149 kN'luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi

```
*****
*                                DOLYAN                                *
*          DEPLASMAN METODU BİLGİSAYAR PROGRAMI                      *
*                                *                                     *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM                                   *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR                               *
*****
```

```
##### ANA PROGRAM #####
```

Cubuk Genel Bilgileri

```
-----
Bu soruda;
3 çubuk eleman ,
4 düğüm ve
7 serbestlik derecesine
sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...
```

Düğüm Koordinat Bilgileri

```
-----
Dno   Xi   Yi
-----
  1    0    0
```

2	5	0
3	0	3
4	5	3

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	3	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
2	2	4	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
3	3	4	0.180	0.005	30250000.0	5.000	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	3	0	0	0	1	2	3
2	2	4	0	0	7	4	5	6
3	3	4	1	2	3	4	5	6

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	4	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	149.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	-0.0000	-0.0014
2	2	4	0.0000	0.0000	-0.0029	0.0058	-0.0001	0.0001
3	3	4	0.0058	-0.0000	-0.0014	0.0058	-0.0001	0.0001

Cubuk Ucu Kuvvetleri

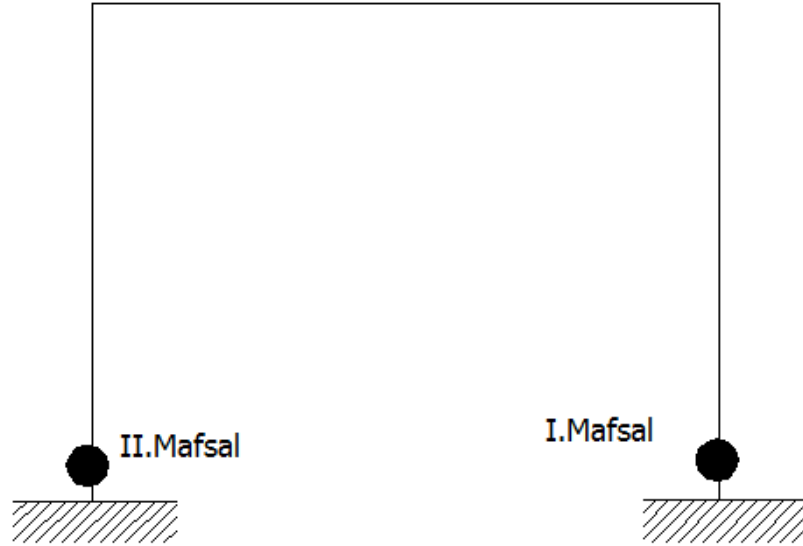
Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	3	10.8982	105.3805	188.9909	-10.8982	-105.3805	127.1506
2	2	4	114.1018	43.6195	-0.0000	-114.1018	-43.6195	130.8585
3	3	4	43.6195	10.8982	-127.1506	-43.6195	114.1018	-130.8585

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-188.9909	0.0000
2	130.8585	3.0000
3	-130.8585	5.0000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

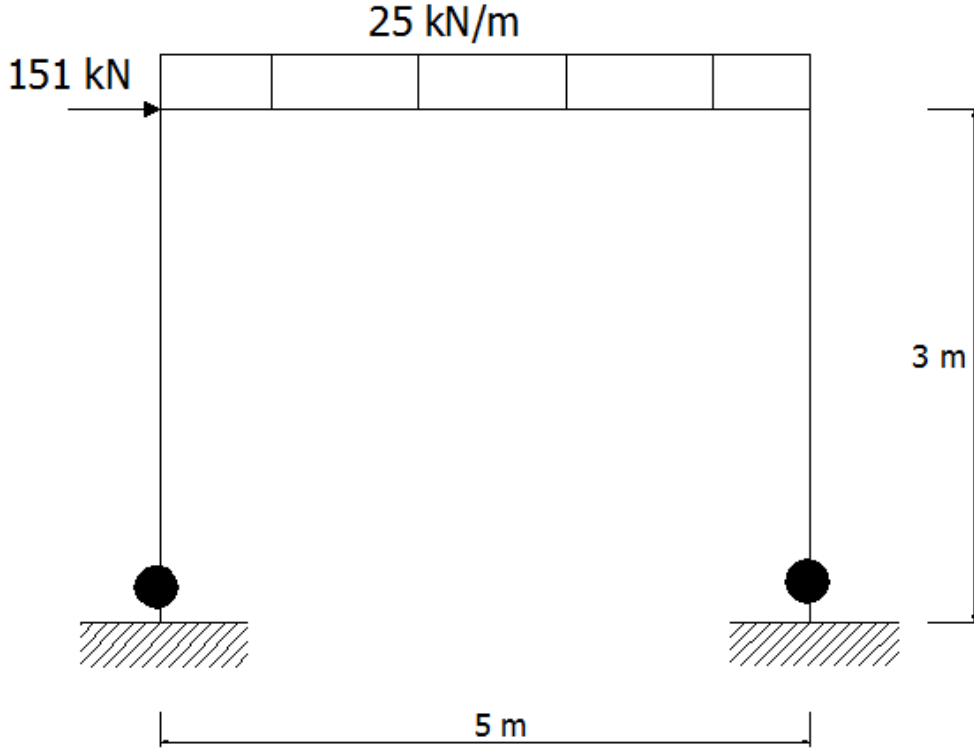
Cno	Mmaks	Mmfs
1	-188.9909	134.6000
2	130.8585	134.6000
3	-130.8585	263.4000



Şekil 5.11. II. Plastik Mafsal

5.3.3. Üçüncü plastik mafsallın oluşması

Çerçeve sisteme Şekil 5.12’de gösterilen yükleme yapılmış ve DOLYAN programı ile çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.12. $P=151$ kN’luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi

```

*****
*                               DOLYAN                               *
*      DEPLASMAN METODU BİLGİSAYAR PROGRAMI                       *
*                               *                                     *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM                               *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR                             *
*****
##### ANA PROGRAM #####

```

Cubuk Genel Bilgileri

 Bu soruda;
 3 çubuk eleman ,
 4 düğüm ve
 8 serbestlik derecesine
 sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...

Düğüm Koordinat Bilgileri

Dno	Xi	Yi
1	0	0
2	5	0
3	0	3
4	5	3

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	3	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
2	2	4	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
3	3	4	0.180	0.005	30250000.0	5.000	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	3	0	0	8	1	2	3
2	2	4	0	0	7	4	5	6
3	3	4	1	2	3	4	5	6

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	4	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	151.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	3	0.0000	0.0000	-0.0063	0.0141	0.0000	-0.0016
2	2	4	0.0000	0.0000	-0.0066	0.0140	-0.0001	-0.0008
3	3	4	0.0141	0.0000	-0.0016	0.0140	-0.0001	-0.0008

Cubuk Ucu Kuvvetleri

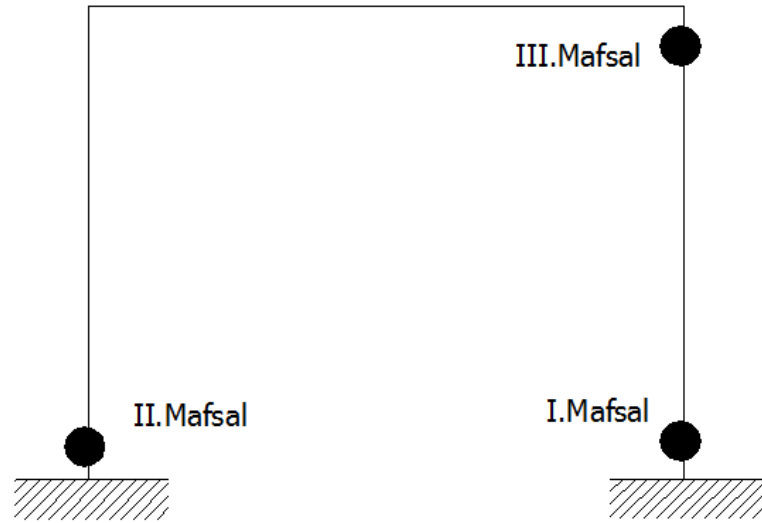
Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	3	-28.1000	67.0191	-0.0000	28.1000	-67.0191	201.0574
2	2	4	153.1000	83.9809	-0.0000	-153.1000	-83.9809	251.9426
3	3	4	83.9809	-28.1000	-201.0574	-83.9809	153.1000	-251.9426

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	201.0574	3.0000
2	251.9426	3.0000
3	-251.9426	5.0000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

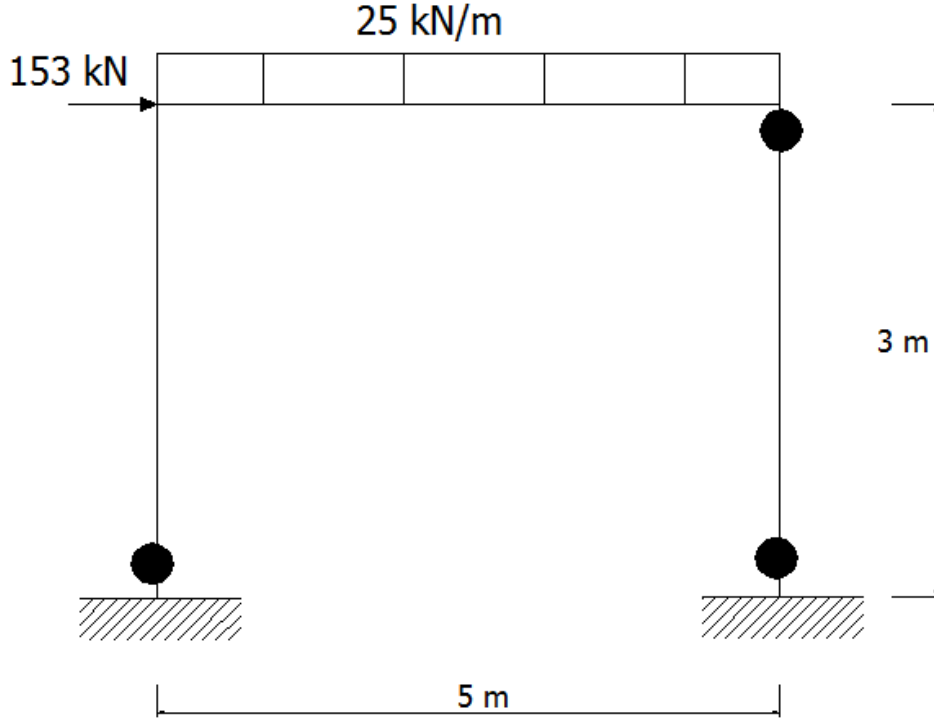
Cno	Mmaks	Mmfs
1	201.0574	134.6000
2	251.9426	134.6000
3	-251.9426	263.4000



Şekil 5.13. III. Plastik Mafsal

5.3.4. Dördüncü plastik mafsallın oluşması

Çerçeve sisteme Şekil 5.14'te gösterilen yükleme yapılmış ve DOLYAN programı ile çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.14. $P=153$ kN'luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi

```

*****
*                               *
*           DOLYAN               *
*   DEPLASMAN METODU BİLGİSAYAR PROGRAMI   *
*                               *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM         *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR       *
*****
##### ANA PROGRAM #####

```

Cubuk Genel Bilgileri

 Bu soruda;
 3 çubuk eleman ,
 4 düğüm ve
 9 serbestlik derecesine
 sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...

Düğüm Koordinat Bilgileri

Dno	Xi	Yi
1	0	0
2	5	0
3	0	3
4	5	3

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	3	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
2	2	4	0.160	0.002	30250000.0	3.000	90.000
3	3	4	0.180	0.005	30250000.0	5.000	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	3	0	0	8	1	2	3
2	2	4	0	0	7	4	5	9
3	3	4	1	2	3	4	5	6

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	3	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	4	25.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	153.00
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	3	0.0000	0.0000	-0.0162	0.0379	0.0000	-0.0055
2	2	4	0.0000	0.0000	-0.0126	0.0379	-0.0001	-0.0126
3	3	4	0.0379	0.0000	-0.0055	0.0379	-0.0001	0.0031

Cubuk Ucu Kuvvetleri

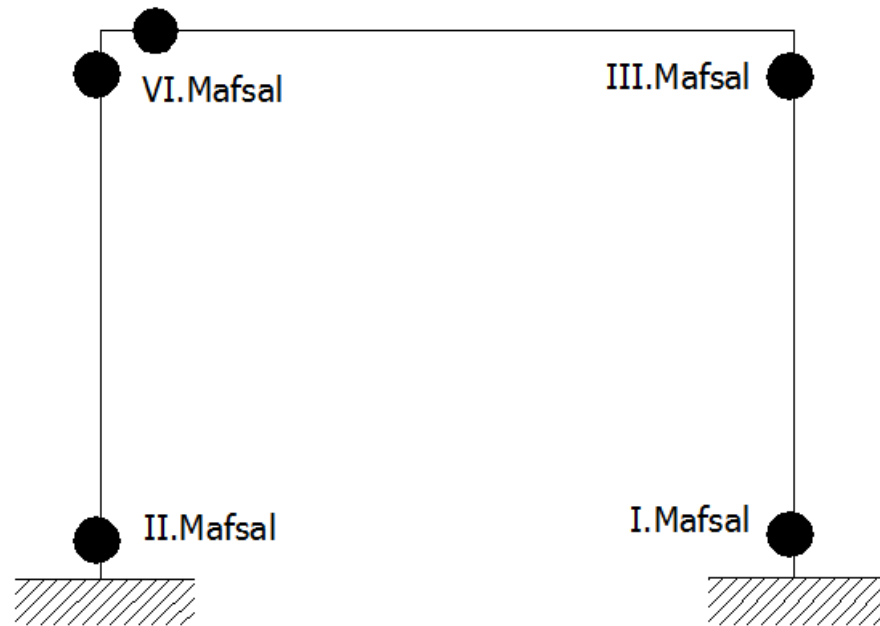
Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	3	-29.3000	153.0000	-0.0000	29.3000	-153.0000	459.0000
2	2	4	154.3000	-0.0000	-0.0000	-154.3000	0.0000	0.0000
3	3	4	0.0000	-29.3000	-459.0000	-0.0000	154.3000	-0.0000

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	459.0000	3.0000
2	0.0000	0.0000
3	476.1698	-1.1720

Cubuk Mmaks ve Mmfs

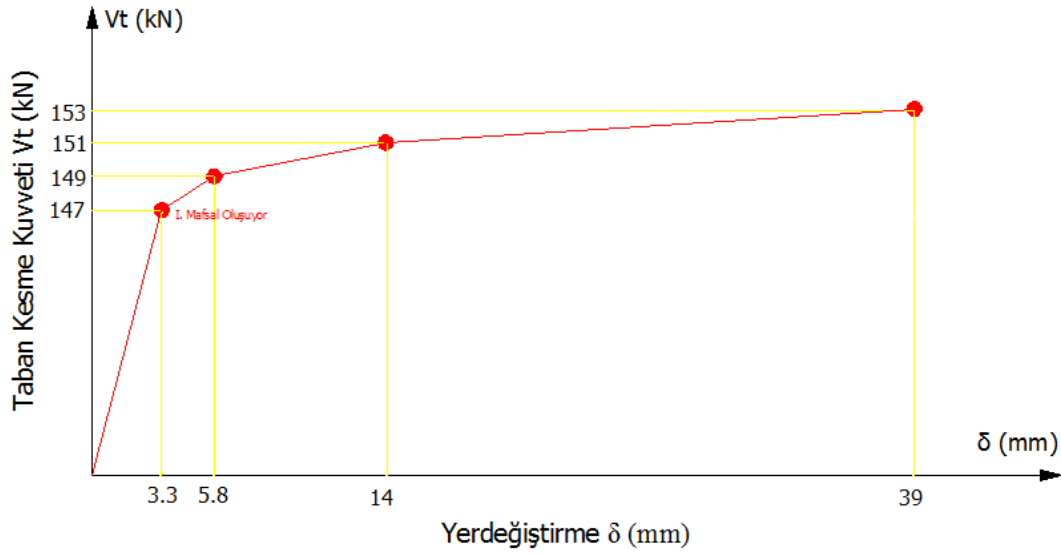
Cno	Mmaks	Mmfs
1	459.0000	134.6000
2	0.0000	134.6000
3	476.1698	263.4000



Şekil 5.15. VI.Plastik Mafsal

5.3.5. Yatay yük-yer değiştirme eğrisinin çizilmesi

Yukarıda Örnek 5.2'ye ait ardışık çözümler sonucunda elde edilen bilgiler yardımıyla Şekil 5.16'da gösterilen Taban kesme kuvveti-Yerdeğiştirme eğrisi çizilmiştir. Çerçeve sisteminde 147 kN'da ilk plastik mafsal oluşmuştur.



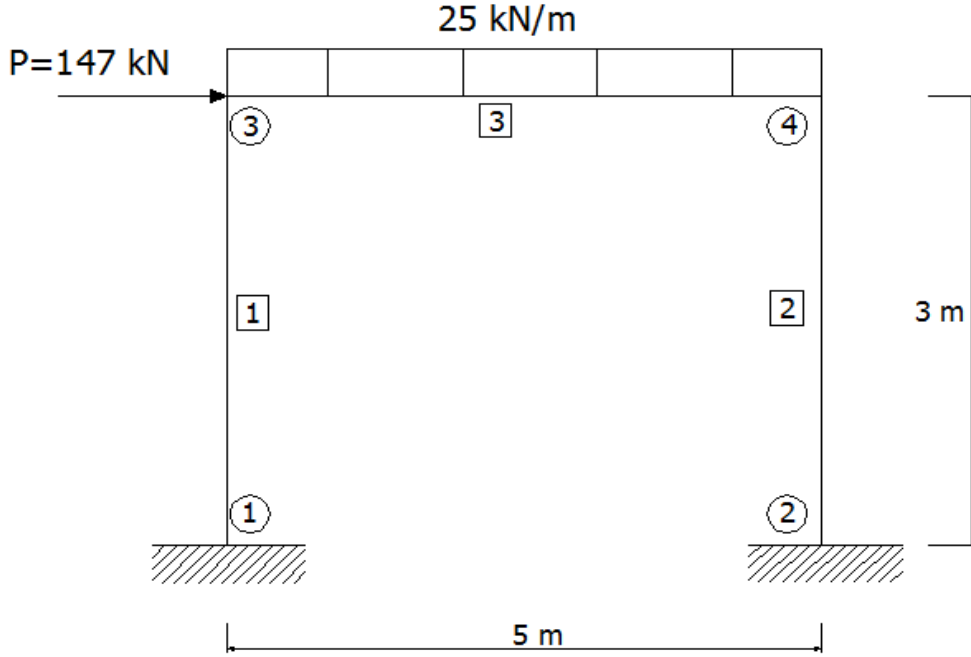
Şekil 5.16. Taban Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme Eğrisi

5.4. Dolyan Programının Karşılaştırılması

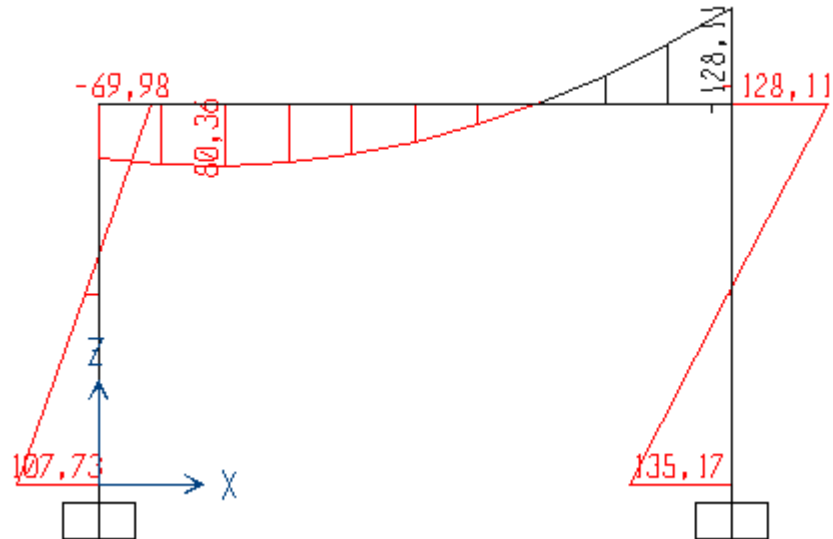
Geliştirilen DOLYAN programının karşılaştırılabilmesi (doğrulanabilmesi) için yaygın kabul görmüş olan SAP2000 programı kullanılmıştır. Örnek 5.2'ye ait yukarıda DOLYAN programıyla yapılan çözüm adımları burada SAP2000 programı ile çözülmüş ve sonuç değerleri karşılaştırılmıştır. Çözümde düzlem çerçeve sistemi analiz edilmiştir. Çözüm sonrası moment diyagramı çizilmiş ve çubuklarda oluşan mafsallar el ile belirlenmiştir. Mafsal oluşumundan sonra taban kesme kuvveti artırılmış ve analiz edilerek mafsal oluşan noktalar tekrar bulunmuştur. Bu analiz döngüsü yapı göçene kadar tekrarlanmıştır. Çerçeve sisteminde tüm mafsallar belirlendikten sonra taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme diyagramı çizilmiştir. Sonuç değerlerin DOLYAN programı ile aynı olduğu gözlenmiştir.

5.4.1. Birinci plastik mafsahın oluşması

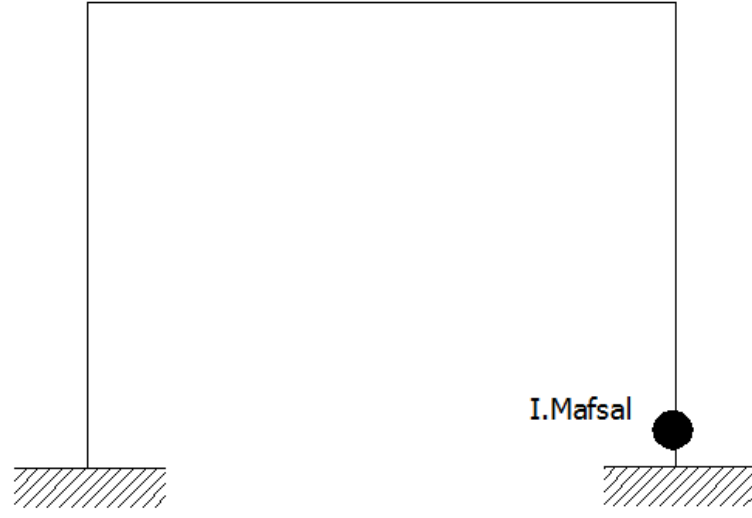
Çerçeve sisteme Şekil 5.17’de gösterilen yükleme yapılmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.17. $P=147$ kN’luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi



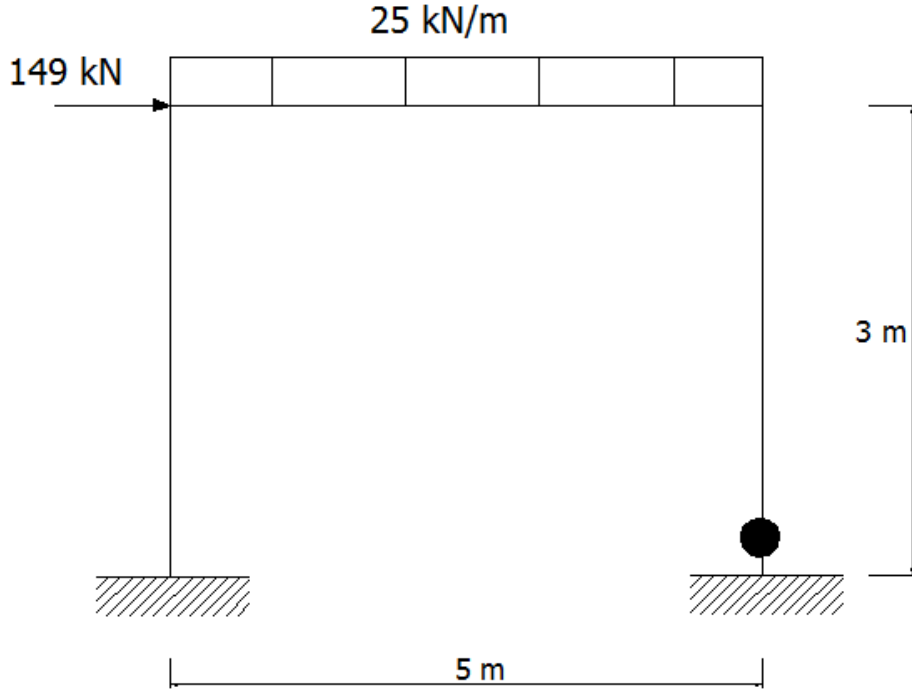
Şekil 5.18. $P=147$ kN Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi Moment Diyagramı



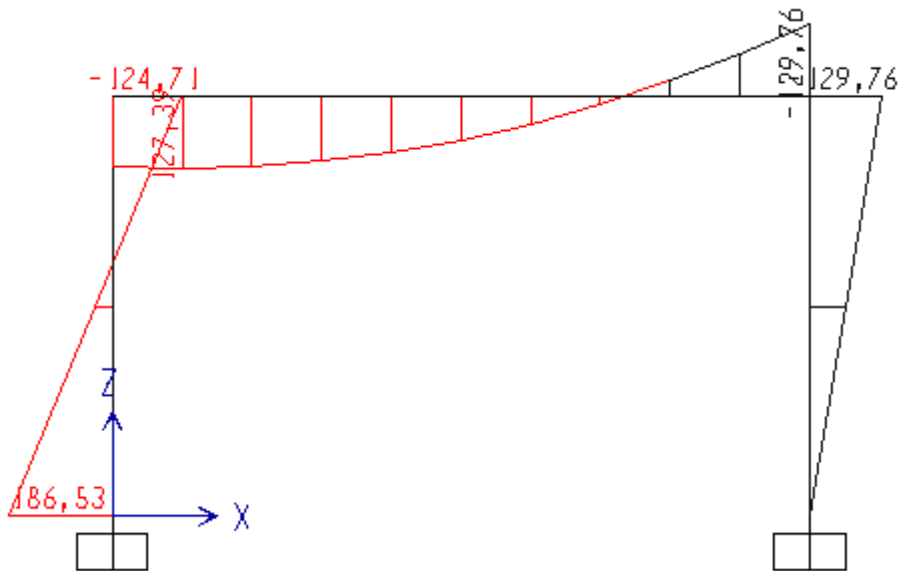
Şekil 5.19. I. Plastik Mafsal

5.4.2. İkinci plastik mafsahın oluşması

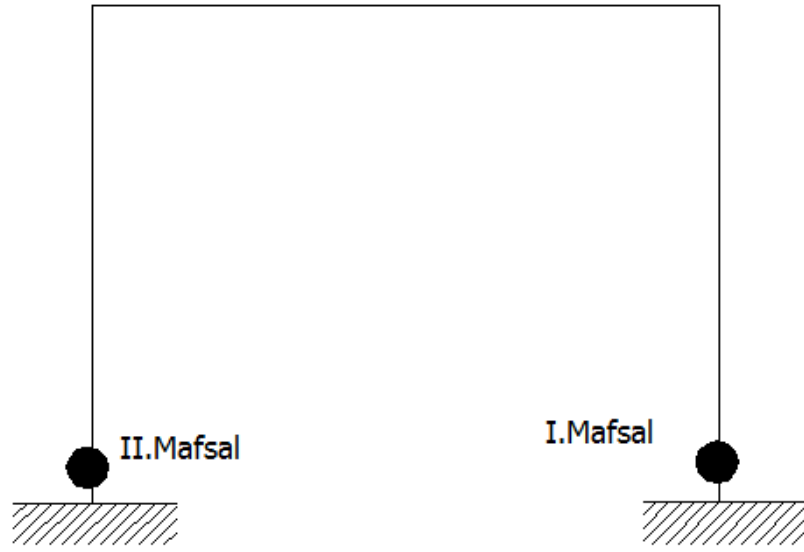
Çerçeve sisteme Şekil 5.20'de gösterilen yükleme yapılmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.20. $P=149$ kN'luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi



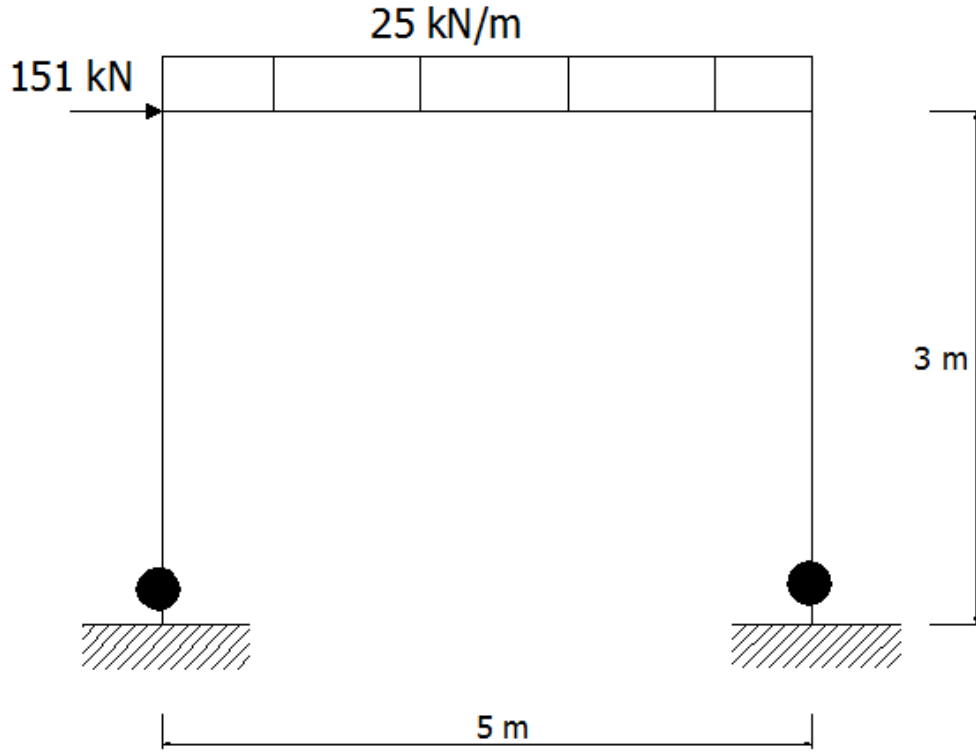
Şekil 5.21. $P=149$ kN Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi Moment Diyagramı



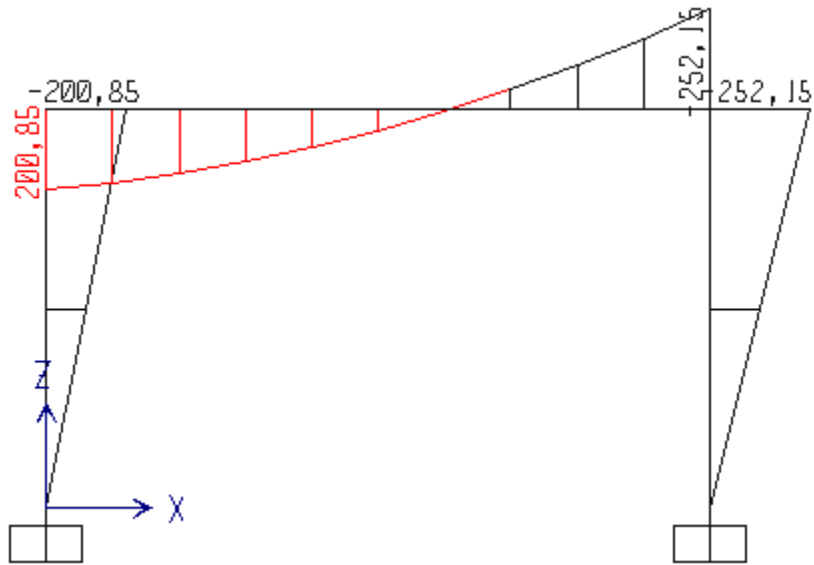
Şekil 5.22. II. Plastik Mafsal

5.4.3. Üçüncü plastik mafsalın oluşması

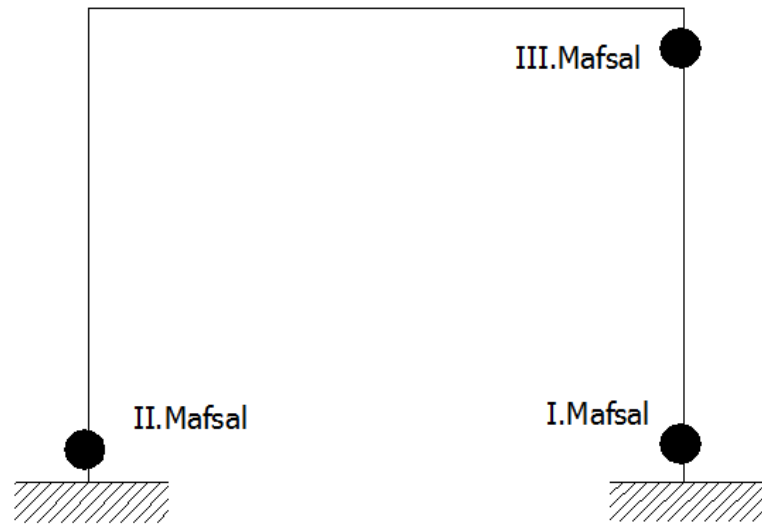
Çerçeve sisteme Şekil 5.23’de gösterilen yükleme yapılmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.23. $P=151$ kN’luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi



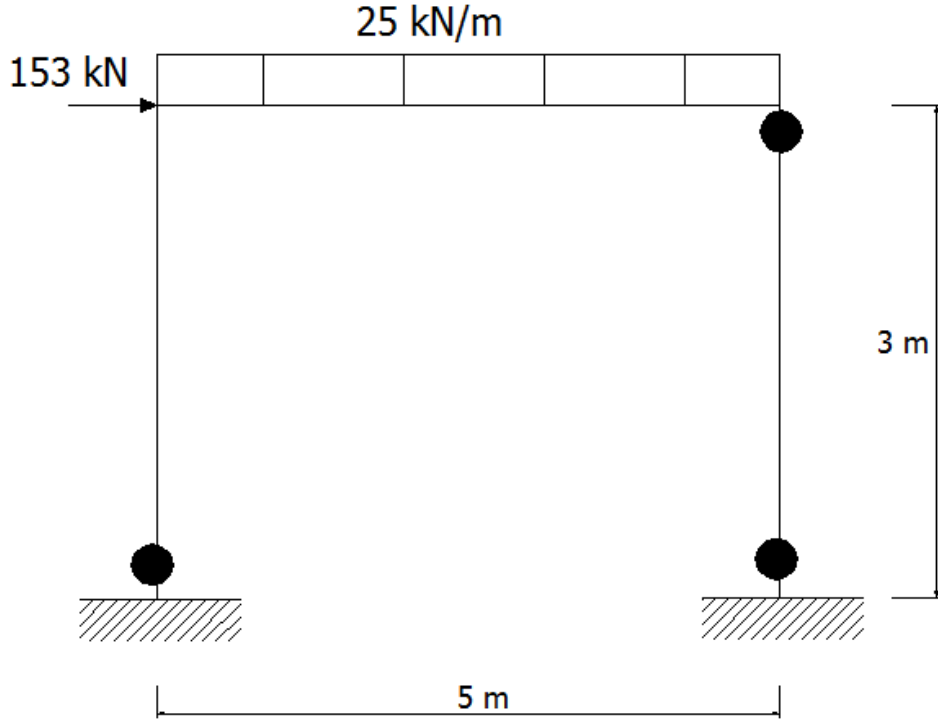
Şekil 5.24. $P=151$ kN Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi Moment Diyagramı



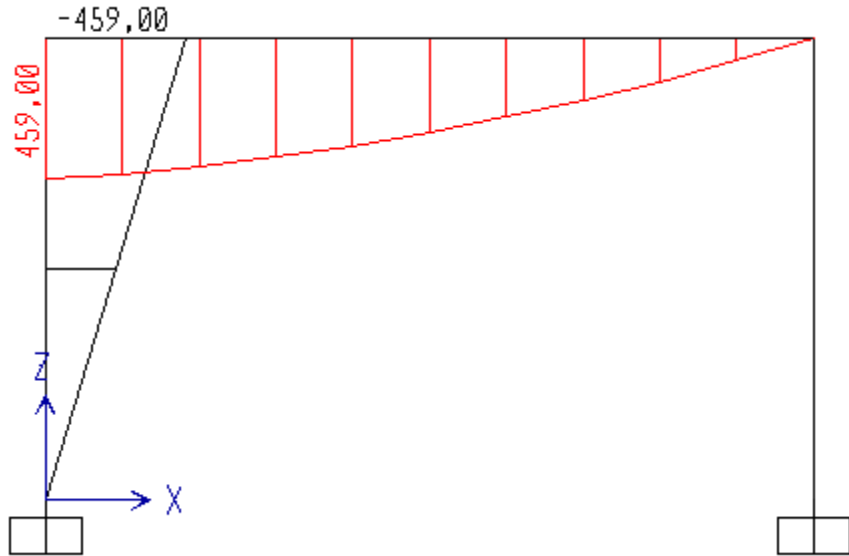
Şekil 5.25. III. Plastik Mafsal

5.4.4. Dördüncü plastik mafsallın oluşması

Çerçeve sisteme Şekil 5.26'da gösterilen yükleme yapılmış ve çözüm gerçekleştirilmiştir.

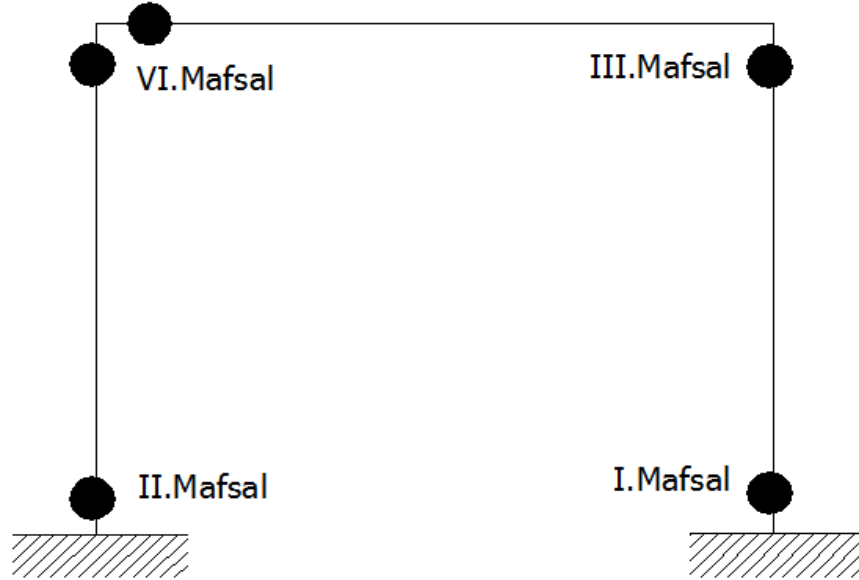


Şekil 5.26. $P=153$ kN'luk Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi



Şekil 5.27. $P=153$ kN Yük Etkisindeki Çerçeve Sistemi Moment Diyagramı

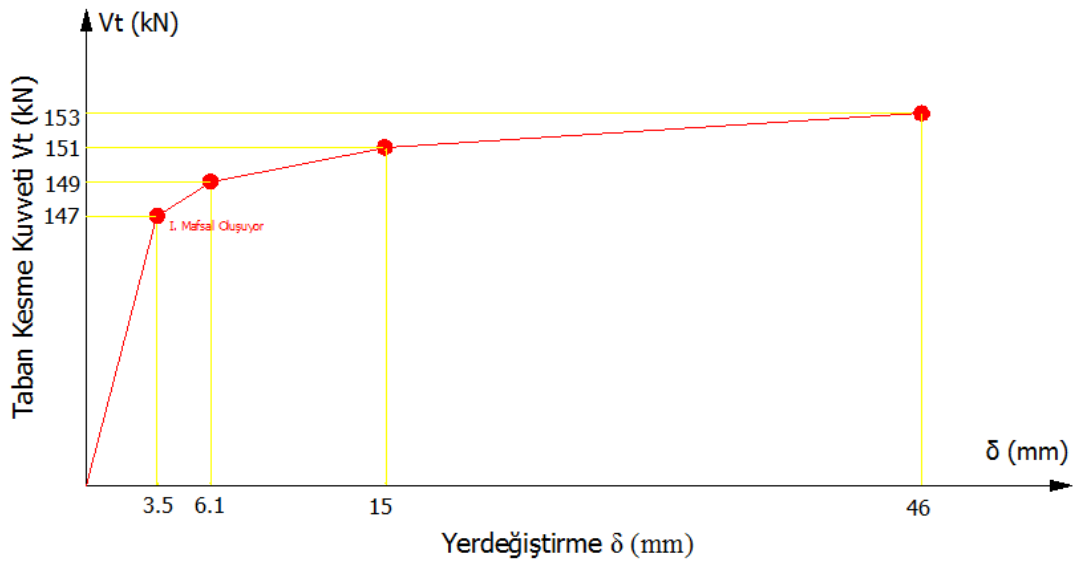
Çerçeve sisteminde yapılan çözümler sonucunda Şekil 5.28’de gösterilen plastik mafsallar oluşmuştur.



Şekil 5.28. VI.Plastik Mafsal

5.4.5. Taban kesme kuvveti-yer değiştirme eğrisinin çizilmesi

Örnek 5.2’ye ait SAP 2000 programı ile yapılan ardışık çözümler sonucunda elde edilen bilgiler yardımıyla Şekil 5.29’da gösterilen Taban kesme kuvveti-Yerdeğiştirme eğrisi çizilmiştir.



Şekil 5.29. Taban Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme Eğrisi

DOLYAN programının doğrulanması için Örnek 5.2 seçilmiştir. Örnek 5.2 DOLYAN ve SAP2000 programı ile çözülmüş ve Şekil 5.16 ve Şekil 5.29'da verilen taban kesme kuvveti-yerdeğiştirme diyagramlarına ulaşılmıştır. Her iki diyagramda da sonuç değerlerinin aynı olduğu gözlenmiştir.

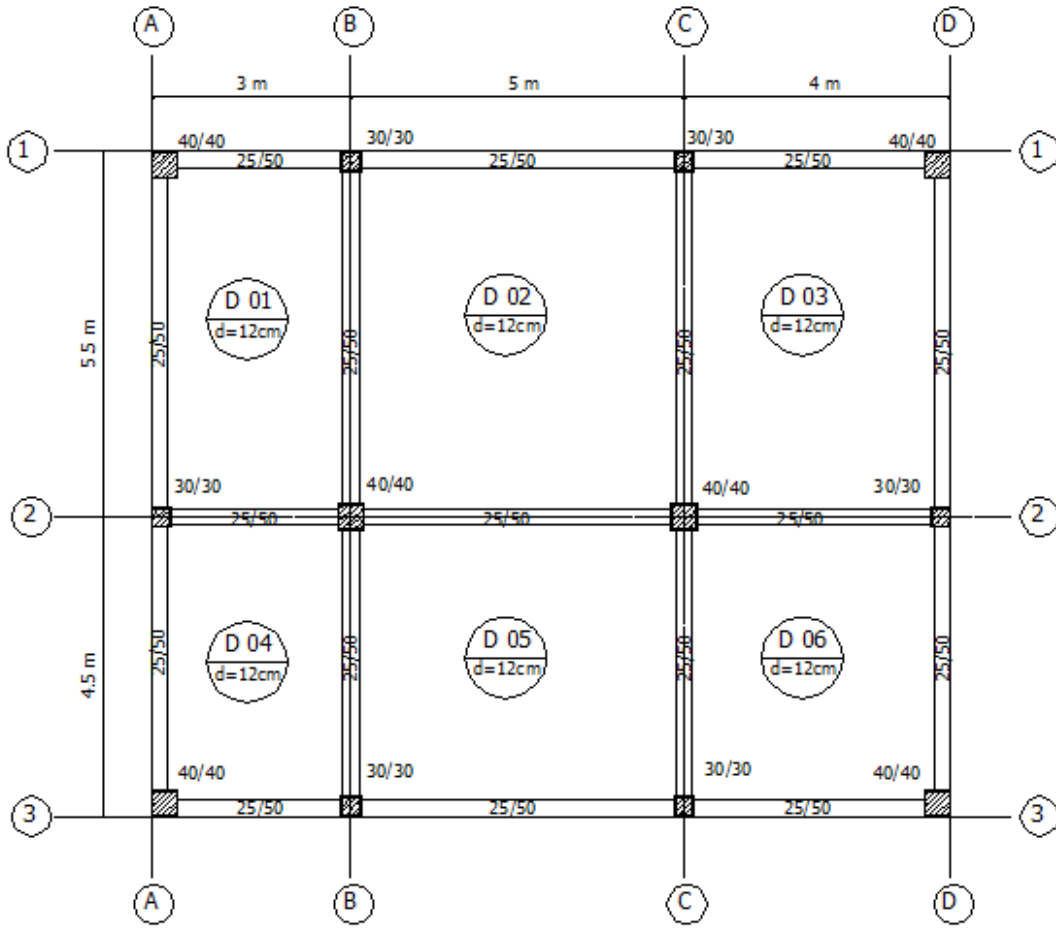
BÖLÜM 6. SAYISAL UYGULAMALAR

Bu çalışmada, iki boyutlu herhangi bir yapı modelinin doğrusal olmayan yapısal analizlerinin yapılabilmesi için bir program geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla MATLAB[13] programlama dili kullanılarak iki program geliştirilmiştir. Bu programlarda ilki olan MEGRI ile betonarme kesitlerin moment eğrilik ilişkileri belirlenmektedir. Kolonların moment eğrilik ilişkilerinin belirlenebilmesi için kolon kesitine etki eden aksenal kuvvete gereksinim duyulmaktadır. Bu değer de DOLYAN programı ile hesaplanmaktadır. Ayrıca, DOLYAN programı, MEGRI programı sonuçlarını da kullanarak iki boyutlu yapı modellerinin doğrusal olmayan yapısal analizlerini yaparak bu yapı modellerinin yatay yük-yerdeğiştirme ilişkilerini belirlemektedir.

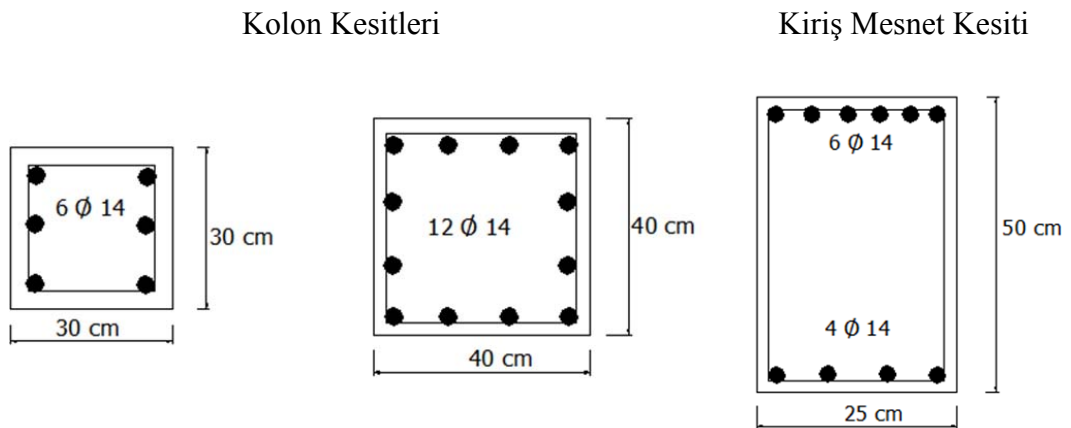
Bu bölümde üç boyutlu olarak verilen 3 farklı yapı modelinin seçilen akslarının doğrusal olmayan yapısal analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu bulunan yatay yük-yerdeğiştirme diyagramları sunulmuş ve yapı modellerinin performansları yorumlanmıştır.

Örnek 6.1.

Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 6.1'de verilmektedir. Yapı 10x13m boyutlarında ve dört katlı olarak yapılmıştır. Yapının her katı 3 m yüksekliğindedir. Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 6.2'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Örnek 6.1'de doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için B-B aksı seçilmiştir. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek B'de sunulmuştur.



Şekil 6.1. Kalıp Planı



Şekil 6.2. Kolon ve Kiriş Kesitleri

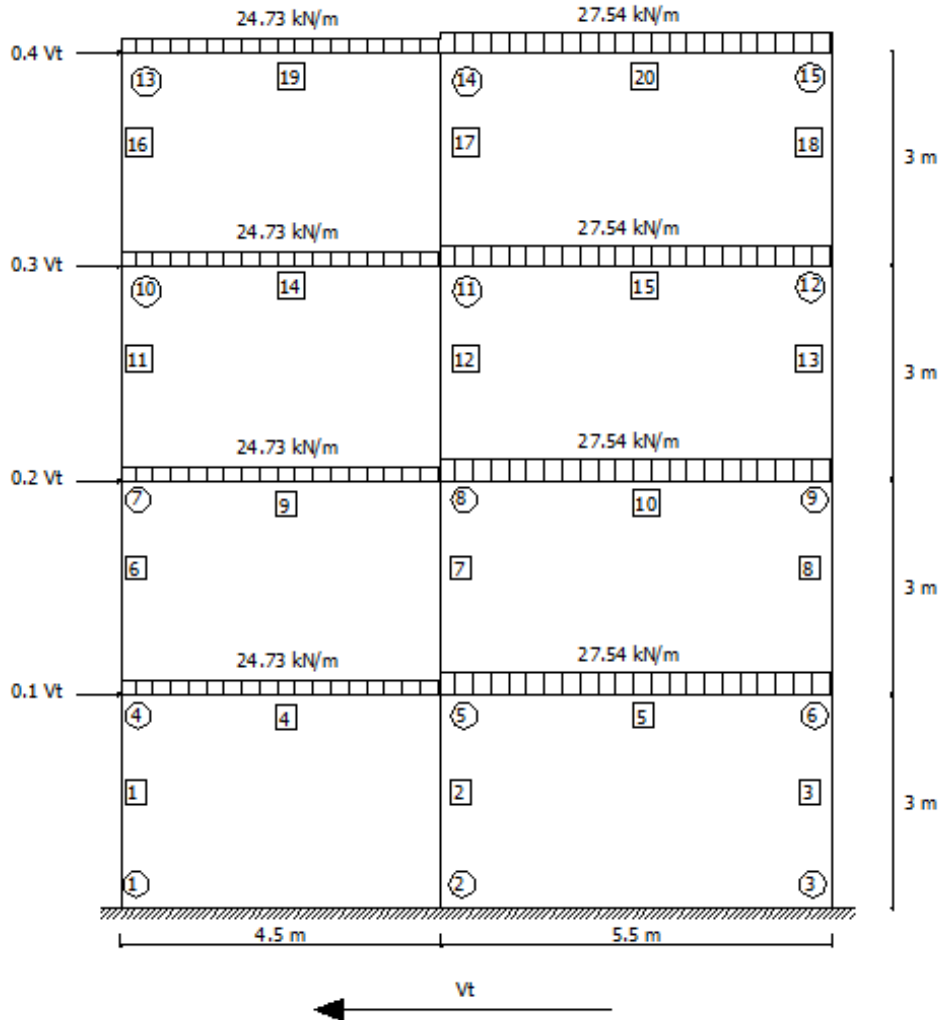
Ele alınan B-B aksına etki eden yüklemelerin tamamı Şekil 6.3'de verilmiştir. Kirişlere etki eden düşey yüklemeler Şekil 6.1'de verilen kalıp planındaki

döşemelerden hesaplanmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi yapının tüm katlarında düşey yüklemeler aynıdır. Yatay yüklemeler ise TDY[14] de verilen,

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \quad (6.1)$$

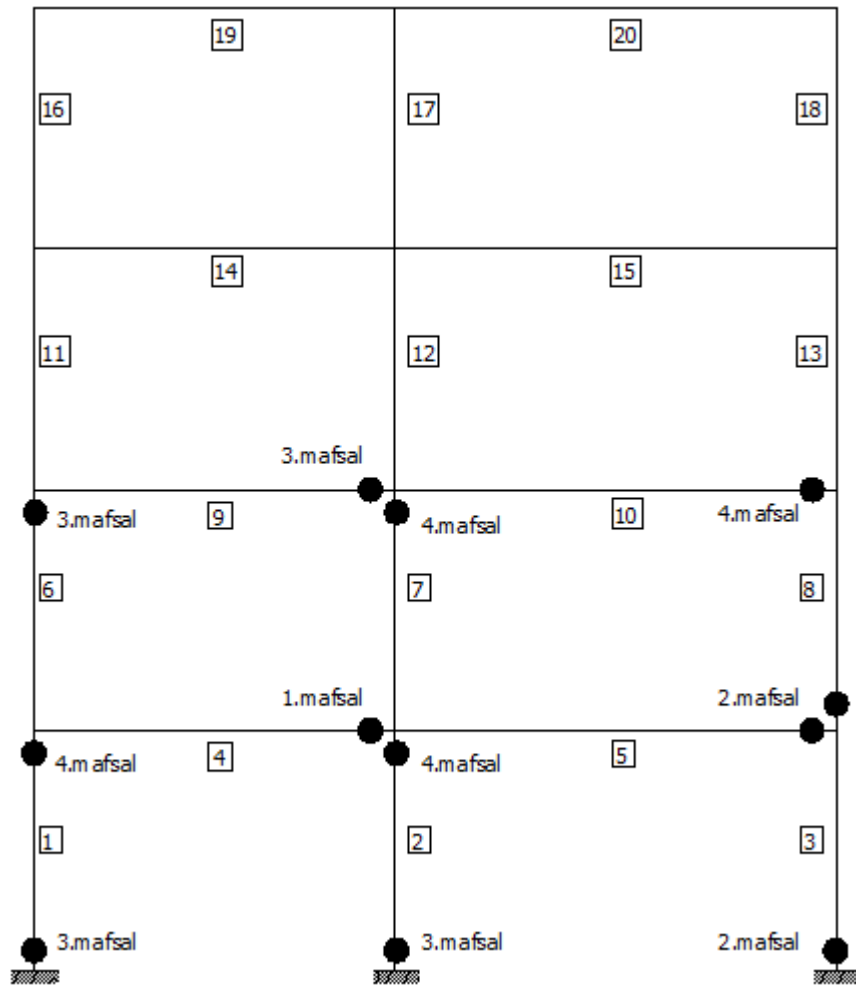
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (6.2)$$

denklemler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yüklemeler Şekil 6.3'de görüldüğü gibi taban kesme kuvvetinin bir oranı olarak yapıya etki ettirilmiştir.



Şekil 6.3. B-B Aksına Etki Eden Yatay ve Düşey Yüklemeler

Örnek 6.1 yapısının seçilen B-B aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Şekil 6.4 ve 6.5'te sunulmuştur. Şekil 6.4'de görüldüğü gibi 1. mafsalsal 4 nolu kirişin k ucunda oluşmaktadır. 2. mafsalsal ise aynı anda 3, 5 ve 8 nolu çubuklarda meydana gelmiştir. 3.mafsalsal aynı anda 1,2,6 ve 9 nolu çubuklarda oluşmaktadır. 4.mafsalsal aynı anda 1,2,4,7 ve 10 nolu çubuklarda oluşmaktadır. Toplam 12 plastik mafsalsal meydana geldiğinde yapı stabilitesini kaybetmekte ve yıkılmaktadır.

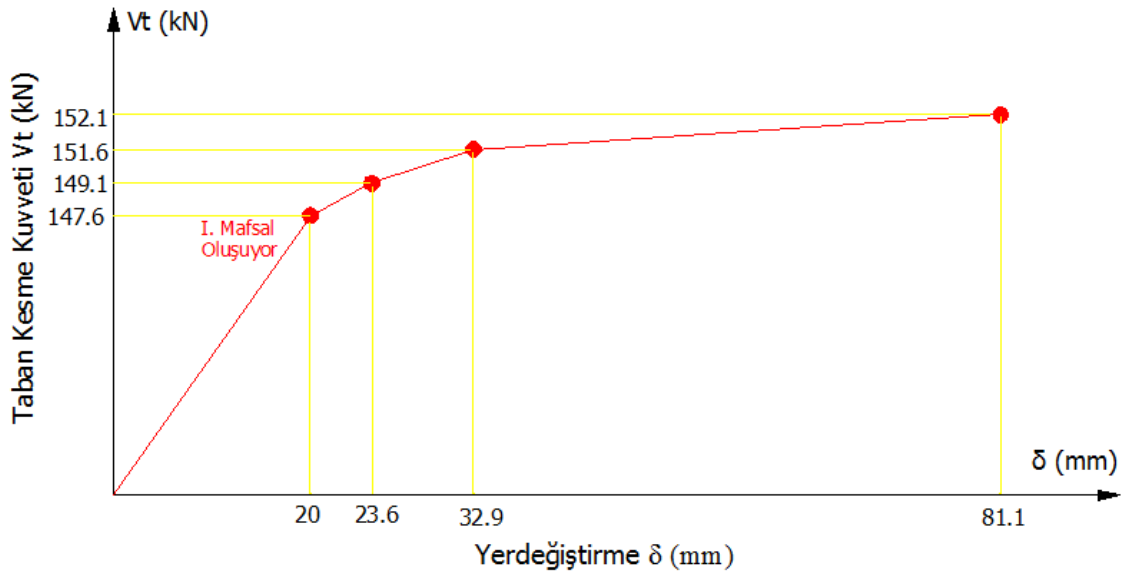


Şekil 6.4. B-B Aksı Üzerinde Mafsallaşmaların Oluşumu

Yapılan doğrusal olmayan yapısal analiz sonrası B-B aksının taban kesme kuvvetlerinde yapılan yük artımları ve bunlara karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.5'te sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi ilk plastik mafsalsal yapı ağırlığının %14'üne karşılık gelen 147.6 kN'da oluşmaktadır. Yapının göçme mekanizmasına ulaştığı limit yük değeri ise yapı ağırlığının %14,5'üne karşılık gelen 152.1 kN'dur. Yapının tepe noktası, yapıda ilk mafsalsal oluştuğu durumda 20mm ve göçme mekanizmasına ulaştığı durumda ise 81.1mm'dir. Dolayısıyla yapı kendi ağırlığının %14.5'i kadar yatay yük taşıma kapasitesine ve kendi yüksekliğinin %6.8'i kadar da yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir(Tablo 6.1).

Tablo 6.1. Örnek 6.1 Yapısının Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz Sonucu

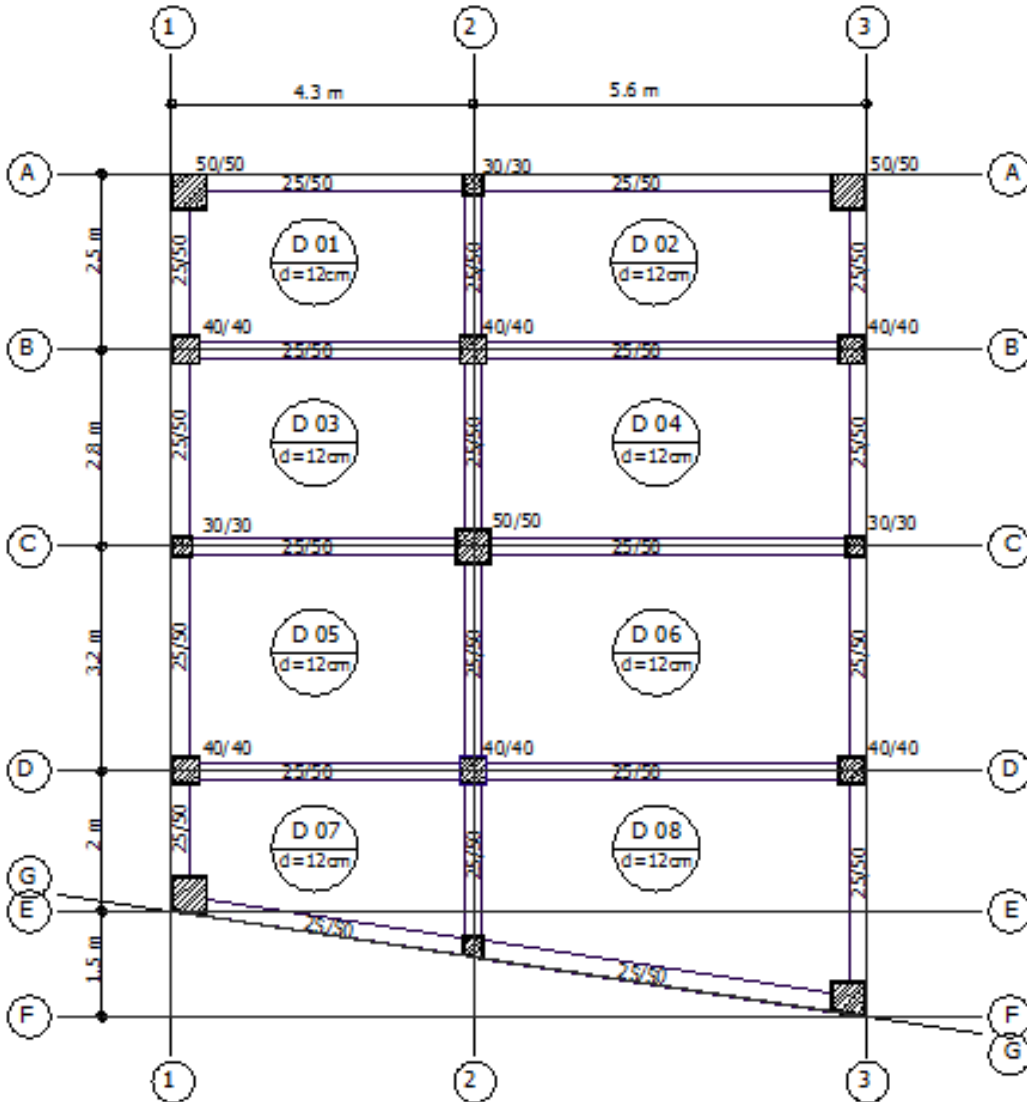
	Taban Kesme Kuvveti V_t (kN)	$\frac{V_t}{W}$ (%)	Yerdeğiştirme δ (mm)	$\frac{\delta}{H}$ (‰)
İlk mafsalsal	147.6	14.0	20	1.7
Göçme Durumu	152,1	14.5	81.1	6.8



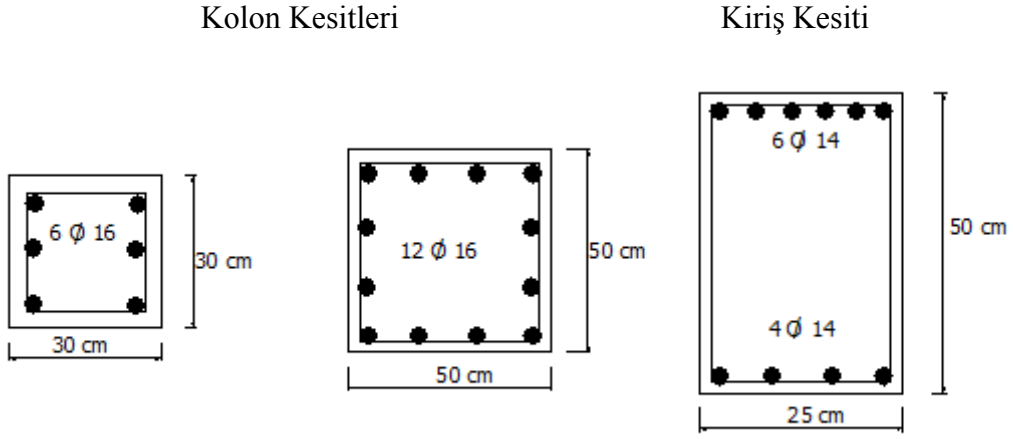
Şekil 6.5. Taban Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme Eğrisi

ÖRNEK 6.2.

Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 6.6'da verilmektedir. Yapı 9.9x12m boyutlarında ve üç katlı olarak yapılmıştır. Yapının her katı 2.8 m yüksekliğindedir. Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 6.7'de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Örnek 6.6'da doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlemesi için C-C aksı seçilmiştir. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek C'de sunulmuştur.

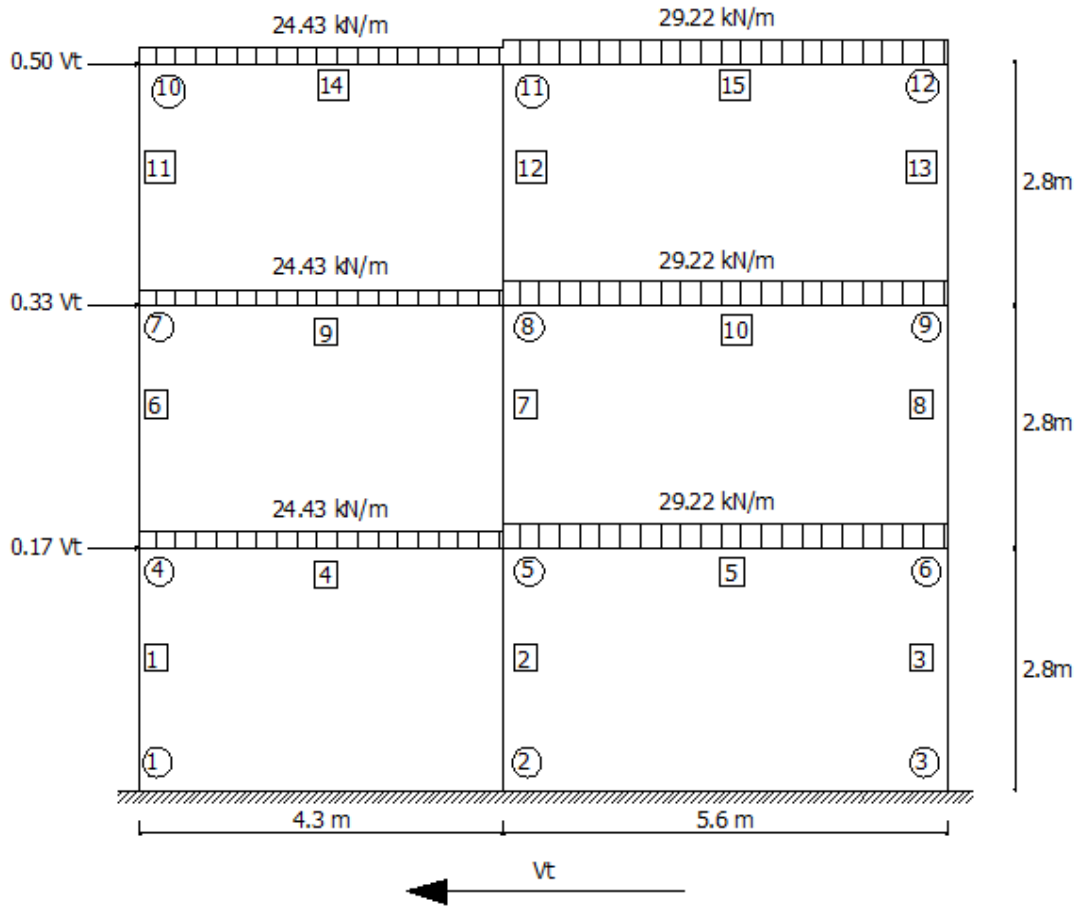


Şekil 6.6. Kalıp Planı



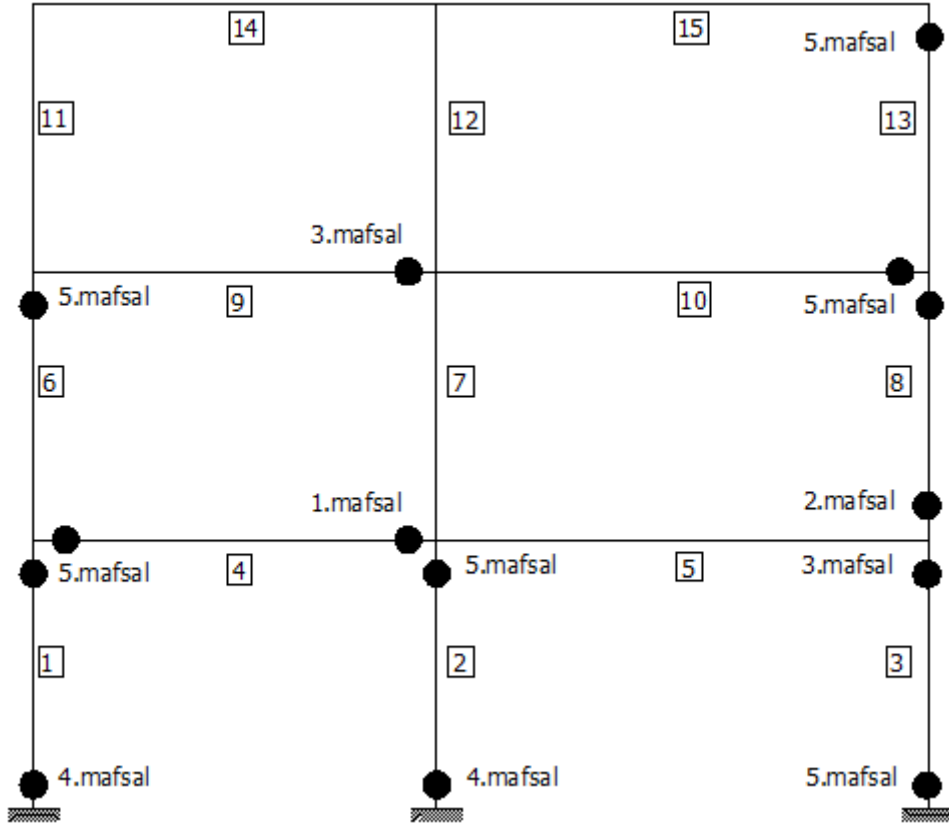
Şekil 6.7. Kolon ve Kiriş Kesitleri

Ele alınan C-C aksına etki eden yüklemelerin tamamı Şekil 6.8’de verilmiştir. Kirişlere etki eden düşey yüklemeler Şekil 6.6’de verilen kalıp planındaki döşemelerden hesaplanmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi yapının tüm katlarında düşey yüklemeler aynıdır. Yatay yüklemeler ise (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yüklemeler Şekil 6.8’de görüldüğü gibi taban kesme kuvvetinin bir oranı olarak yapıya etki ettirilmiştir.



Şekil 6.8. C-C Aksına Etki Eden Yatay ve Düşey Yüklemeler

Örnek 6.2 yapısının seçilen C-C aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Şekil 6.9 ve 6.10'da sunulmuştur. Şekil 6.9'dan görüldüğü gibi 1. mafsalsal 4 nolu kirişin k ucunda oluşmaktadır. 2. mafsalsal ise 8 nolu kolonun i ucunda oluşmaktadır. 3.mafsalsal aynı anda 3 ve 9 nolu çubuklarda meydana gelmektedir. 4.mafsalsal aynı anda 1 ve 2 nolu çubuklarda oluşmaktadır. 5.mafsalsal ise aynı anda 1, 2, 3, 4, 6, 8 ve 13 nolu çubuklarda oluşmaktadır. Toplam 14 plastik mafsalsal meydana geldiğinde yapı stabilitesini kaybetmekte ve yıkılmaktadır.

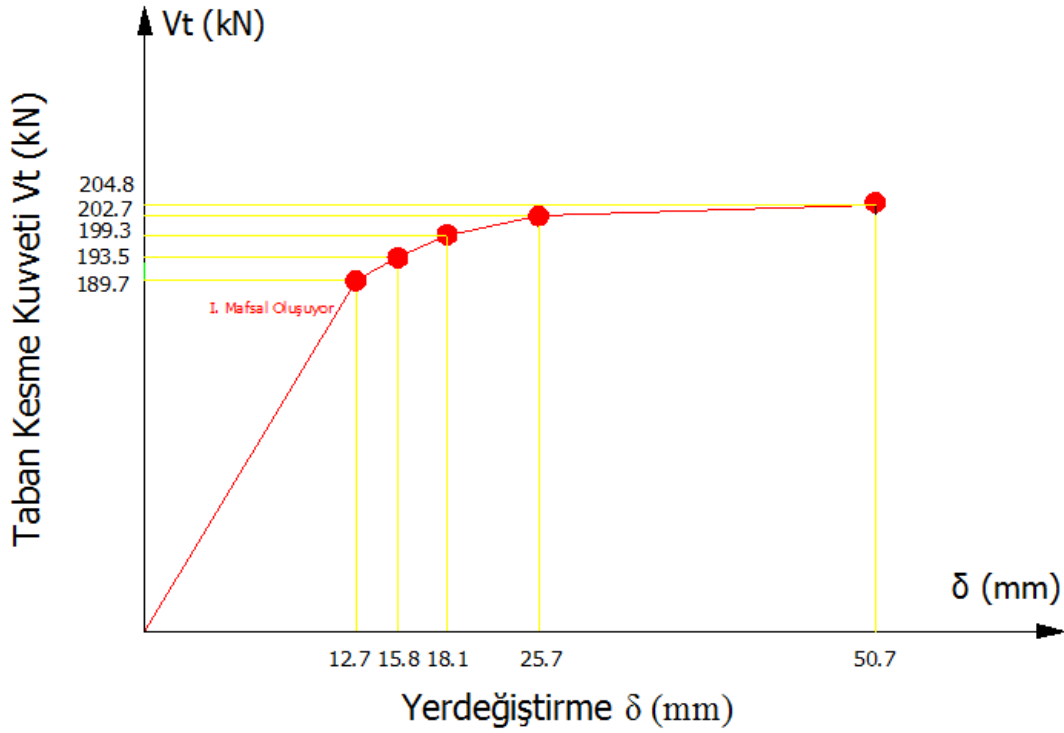


Şekil 6.9. C-C Aksı Üzerinde Mafsallaşmaların Oluşumu

Yapılan doğrusal olmayan yapısal analiz sonrası C-C aksının taban kesme kuvvetlerinde yapılan yük artımları ve bunlara karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.10'da sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi ilk plastik mafsal yapı ağırlığının %24'üne karşılık gelen 189.7 kN'da oluşmaktadır. Yapının göçme mekanizmasına ulaştığı limit yük değeri ise yapı ağırlığının %25'ine karşılık gelen 204.8 kN'dur. Yapının tepe noktası, yapıda ilk mafsalın oluştuğu durumda 12.7 mm ve göçme mekanizmasına ulaştığı durumda ise 50.7 mm'dir. Dolayısıyla yapı kendi ağırlığının %25'i kadar yatay yük taşıma kapasitesine ve kendi yüksekliğinin %6'ı kadar da yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir(Tablo 6.2).

Tablo 6.2. Örnek 6.2 Yapısının Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz Sonucu

	Taban Kesme Kuvveti V_t (kN)	$\frac{V_t}{W}$ (%)	Yerdeğiştirme δ (mm)	$\frac{\delta}{H}$ (‰)
İlk mafsalsal	189.7	24.0	12.7	1.5
Göçme Durumu	204.8	25.0	50.7	6.0

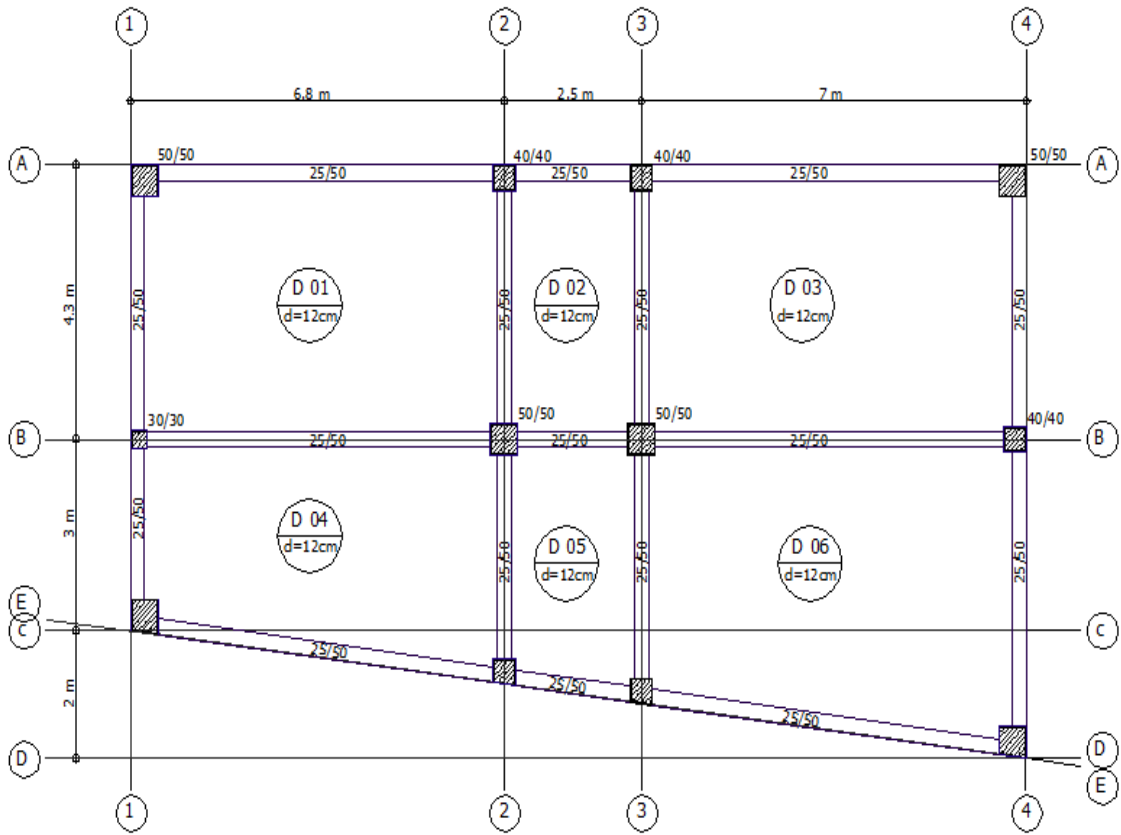


Şekil 6.10. Taban Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme Eğrisi

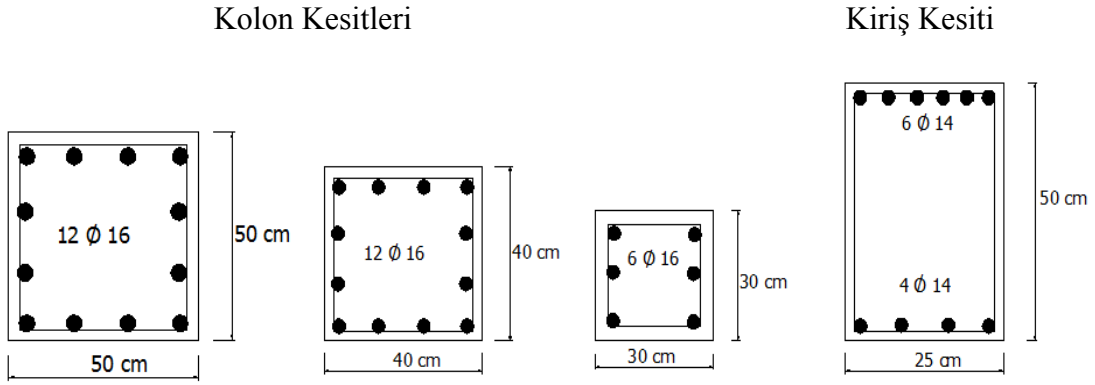
Örnek 6.2’de verilen döşeme kalıp planında C-C aksı üzerinde yapılan analiz sonucunda Şekil 6.9’da gösterilen plastik mafsallar oluşmuştur. C-C aksı kat planında plastik mafsalların katlara dağıldığı gözlenmiştir. Toplam 14 plastik mafsalsal meydana gelmiştir. Çözümde taban kesme kuvvetlerinde yapılan yük artımları ve bunlara karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.10’da verilmektedir. Şekilde I. plastik mafsalsal 189.7 kN’da oluşmaktadır. 204.8 kN’luk limit yük değerine ulaşıldıktan sonra yük arttırımı tamamlanmıştır. Bundan sonraki adımda yapı mekanizma durumuna gelmektedir.

ÖRNEK 6.3.

Ele alınan yapının kalıp planı Şekil 6.11’de verilmektedir. Yapı 16.3x9.3 m boyutlarında ve iki katlı olarak yapılmıştır. Yapının her katı 3 m yüksekindedir. Kolon ve kiriş kesitlerinin boyutları ve donatıları Şekil 6.12’de verilmiştir. Taşıyıcı eleman özellikleri yapının tüm katlarında aynıdır. Örnek 6.11’de doğrusal olmayan yapısal analiz çözümlenmesi için B-B aksı seçilmiştir. Analiz ara işlemleri ve sonuç raporları Ek D’de sunulmuştur.

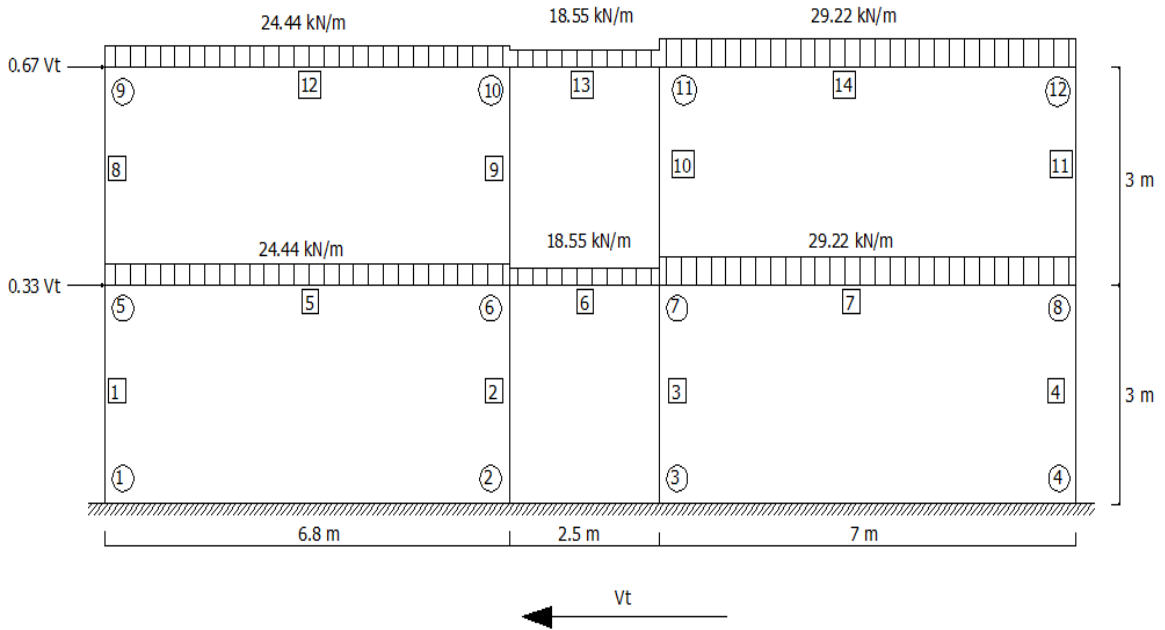


Şekil 6.11. Kalıp Planı



Şekil 6.12. Kolon ve Kiriş Kesitleri

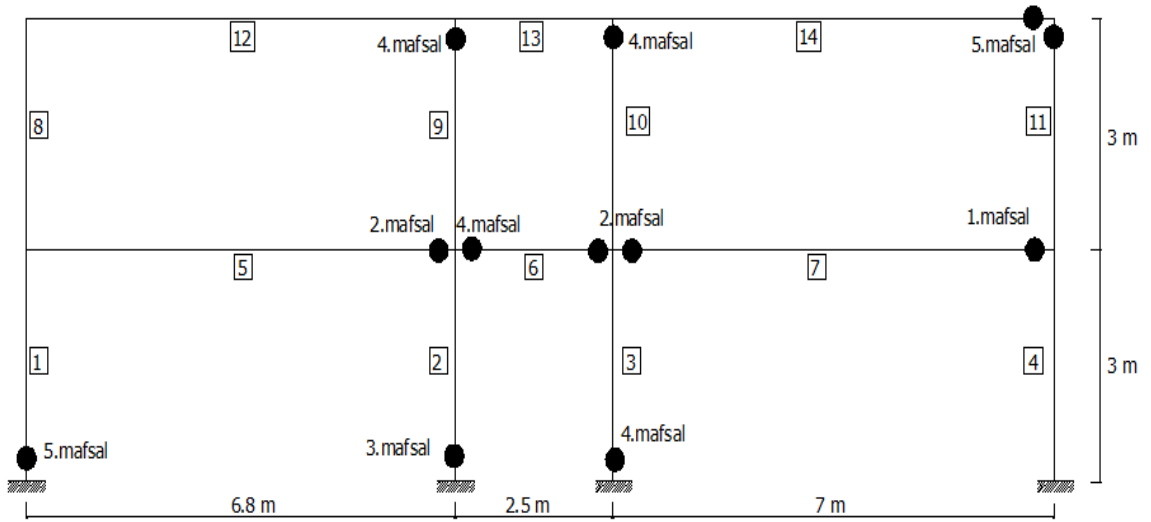
Ele alınan B-B aksına etki eden yüklemelerin tamamı Şekil 6.13’de verilmiştir. Kirişlere etki eden düşey yüklemeler Şekil 6.11’de verilen kalıp planındaki döşemelerden hesaplanmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi yapının tüm katlarında düşey yüklemeler aynıdır. Yatay yüklemeler ise (6.1) ve (6.2) denklemleri kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yüklemeler Şekil 6.13’de görüldüğü gibi taban kesme kuvvetinin bir oranı olarak yapıya etki ettirilmiştir.



Şekil 6.13. B-B Aksına Etki Eden Yatay ve Düşey Yüklemeler

Örnek 6.3 yapısının seçilen B-B aksının doğrusal olmayan yapısal analiz sonuçları Şekil 6.14 ve 6.15’de sunulmuştur. Şekil 6.14’de görüldüğü gibi 1. mafsal 7 nolu kirişin k ucunda oluşmaktadır. 2. mafsal ise 5, 6 ve 7 nolu çubuklarda oluşmaktadır.

3.mafsal 2 nolu kolonun i ucunda meydana gelmektedir. 4.mafsal aynı anda 3, 6, 9, ve 10 nolu çubuklarda oluşmaktadır. 5.mafsal ise aynı anda 1ve 14 nolu çubuklarda oluşmaktadır. Toplam 12 plastik mafsal meydana geldiğinde yapı stabilitesini kaybetmekte ve yıkılmaktadır.

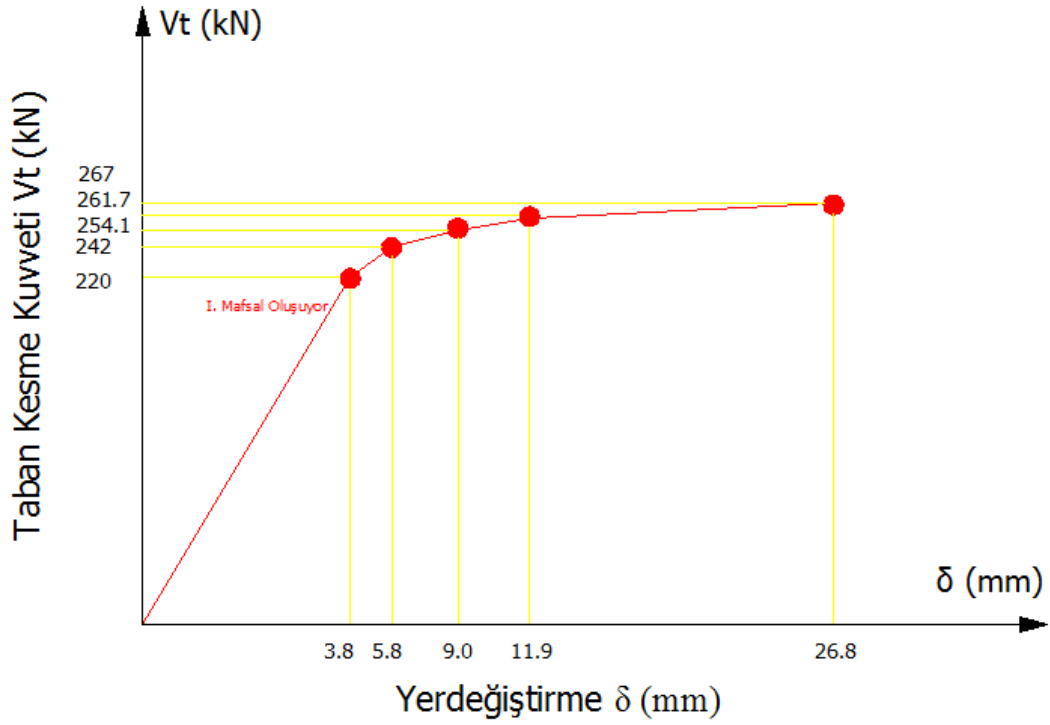


Şekil 6.14. B-B Aksı Üzerinde Mafsallaşmaların Oluşumu

Yapılan doğrusal olmayan yapısal analiz sonrası B-B aksının taban kesme kuvvetlerinde yapılan yük artımları ve bunlara karşılık gelen tepe noktası yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.15'de sunulmuştur. Şekilden de görüldüğü gibi ilk plastik mafsal yapı ağırlığının %26'sına karşılık gelen 220 kN'da oluşmaktadır. Yapının göçme mekanizmasına ulaştığı limit yük değeri ise yapı ağırlığının %32'sine karşılık gelen 267 kN'dur. Yapının tepe noktası, yapıda ilk mafsalın oluştuğu durumda 3.8 mm ve göçme mekanizmasına ulaştığı durumda ise 26.8 mm'dir. Dolayısıyla yapı kendi ağırlığının %32'sine kadar yatay yük taşıma kapasitesine ve kendi yüksekliğinin %4.5'i kadar da yerdeğiştirme kapasitesine sahiptir(Tablo 6.3).

Tablo 6.3. Örnek 6.3. Yapısının Doğrusal Olmayan Yapısal Analiz Sonucu

	Taban Kesme Kuvveti V_t (kN)	$\frac{V_t}{W}$ (%)	Yerdeğiştirme δ (mm)	$\frac{\delta}{H}$ (‰)
İlk mafsal	220.0	26.0	3.8	0.6
Göçme Durumu	267.0	32.0	26.8	4.5



Şekil 6.15. Taban Kesme Kuvveti-Yerdeğiştirme Eğrisi

Örnek 6.3’de verilen döşeme kalıp planında B-B aksı üzerinde yapılan analiz sonucunda Şekil 6.14’de gösterilen plastik mafsallar oluşmuştur. Toplam 12 plastik mafsal meydana gelmiştir. Çözümde taban kesme kuvvetlerinde yapılan yük artımları ve bunlara karşılık gelen yerdeğiştirme değerleri Şekil 6.15’de verilmektedir. Şekilde I. plastik mafsal 220 kN’da oluşmaktadır. 267 kN’luk limit yük değerine ulaşıldıktan sonra yük arttırımı tamamlanmıştır. Bundan sonraki adımda yapı mekanizma durumuna gelmektedir.

BÖLÜM 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, düzlem çerçeve yapıların doğrusal olmayan yapısal analizlerinin yapılması hedeflenmiştir. Bu amaçla MATLAB tabanlı olarak çalışan DOLYAN ve MEGRI bilgisayar programları geliştirilmiş ve bu programlar yardımı ile sayısal uygulamalar yapılmıştır.

Bilgisayar programları bölümünde çözülen örnekler ile geliştirilen programların doğrulaması gerçekleştirilmiştir.

Sayısal uygulamalar bölümünde üç farklı örnek çözülmüştür. Farklı yapı sistemlerinin doğrusal olmayan yapısal analizi, seçilen örnek aks elemanı üzerinde yapılmıştır. Sonuç değerleri kullanılarak yapı sistemlerinin taban kesme kuvveti- yer değiştirme diyagramları çizilmiştir. Elde edilen sonuç değerleri kısaca özetlenecektir.

Birinci örnekte verilen dört katlı bina, ağırlığının %14.5'i kadar yatay kuvvet taşıma kapasitesine ve bina yüksekliğinin %6.8'i kadar yer değiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir.

İkinci örnekte verilen üç katlı bina, ağırlığının %25'i kadar yatay kuvvet taşıma kapasitesine ve bina yüksekliğinin %6'si kadar yer değiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir.

Üçüncü örnekte verilen iki katlı bina, ağırlığının %32'i kadar yatay kuvvet taşıma kapasitesine ve bina yüksekliğinin %4.5'i kadar yer değiştirme yapabilme kapasitesine sahiptir.

İleride yapılacak olan çalışmalarda, üç boyutlu yapıların doğrusal olmayan yapısal analizini yapabilecek ve deprem yükünü de dikkate alabilecek yeni programlar geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ERSOY, U., ÖZCEBE, G., Sarılmış Betonarme Kesitlerde Moment-Eğrilik İlişkisi Analitik Bir İrdeleme, İMO Teknik Dergi, sf. 1799-1827,129, 1998
- [2] ARDA,T. S., UZGİDER, E., Çelik Yapılarda Taşıma Gücü, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul 1986
- [3] TS 4561- “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”, 1.Baskı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Ekim 1985.
- [4] DÖVEN, S. M., Çelik Düzlem Çerçevelerin Plastik Analizi İçin Bir Bilgisayar Programı Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, OGÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 4-36, 2004
- [5] AKGÜN, Ş., Betonarme Kolonlarda Kuşatma Etkisi ve Sonlu Eleman Analizleri, Yüksek Lisans Tezi,YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 1-30, 2006
- [6] YILDIRIM, A., Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Performansının Belirlenmesi, Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Güvenliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 5-58, 2006
- [7] SEZER, F., Betonarme Bir Yapının Doğrusal Olmayan Yöntemle Deprem Güvenliğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 3-35, 2007
- [8] AYSAL, G., Performans Kavramı ve Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliğinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 31-46, 2007
- [9] KOÇAK, İ., Seçilen Bir Kamu Binasının Doğrusal Ötesi Davranışında Beton Dayanımı ve Etriye Aralığının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, PÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, SF. 23-64, 2007
- [10] ERSOY, U., ÖZCEBE, G., Betonarme II.Baskı, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayın No:10/74, sf.6-400, İstanbul 2004
- [11] HİBBELER, R.C., Structural Analysis Prentice Hall, England, pp. 500-567, 2003

- [12] BAYER, M. T., Yapı Statiğinde Matris Metodları Ders Notları, Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya 2007
- [13] MATLAB 6.5, MathWorks, Inc., MATLAB, 2002.
- [14] DBYBHY-2007 “Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik” Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007
- [15] WASTI, S. T., Limit Analizi (Yapılar İçin Plastik Hesap Metodu), Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayın No:21 , sf. 6-58, Ankara, 1968
- [16] CELEP, Z., Betonarme Taşıyıcı Sistemlerde Doğrusal Olmayan Davranış ve Çözümleme, sf.2-132, İstanbul, 2007
- [17] DEREN, H., UZGİDER, E., PİROĞLU, F., Çelik Yapılar, I.Baskı, İstanbul 2003
- [18] NIELSEN, M.P., Limit Analysis and Concrete Plasticity, Second Edition, Structurel Engineering and Materials Technical University of Denmark, pp. 140-371, 1998
- [19] NEAL, B.G.,The Plastic Methods of Structurel Analysis, Second Edition, John Wiley&Sons,Inc., pp.1-53, New York, 1963
- [20] HOGNESTAD, E., ”A Study of Combined Bending and Axial Load in RC Members”, Üniversity of Illiois, Eng.Experimental Sta.Bull., No.399, Nov.1951.
- [21] KENT, D. C., and PARK, R., ”Flexural Members with Confined Concrete, ASCE Journal of Structurel Division, V.97, ST7, July 1971.
- [22] SHEIKH, S. A., and UZUMERİ, S. M., “Analytical Model for Concrete Confinement in Tied Columns”, ASCE Journal Structural Division, V.108, ST12, Dec.1982.
- [23] SAATÇIOĞLU, M., and RAZVİ, S.R., “Analytical Model of Confined Concrete”, Üniversity of Ottawa, Department of Civil Engineering, Research Report 9101, 1991.

EKLER

EK A.

MEGRİ programı ile çözülen Örnek 5.1'e ait sonuç raporları verilmektedir.

```
*****
*                               MEGRİ                               *
*                               BİLGİSAYAR PROGRAMI                 *
*                               *                                     *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM                               *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR                             *
*****
```

Cubuk Bilgileri

Epsc	c (cm)	F (kN)	K (rad/m)	M (kNm)
0.00095000	82.880	2024.987	0.00114624	30.33842
0.00110000	51.980	2024.961	0.00211620	47.48513
0.00125000	40.810	2024.876	0.00306297	63.94640
0.00140000	35.110	2024.828	0.00398747	79.67155
0.00155000	31.695	2024.922	0.00489036	94.61187
0.00170000	29.445	2024.802	0.00577348	108.75004
0.00185000	27.850	2024.773	0.00664273	121.86182
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00305000	21.650	1990.206	0.01408776	174.48150
0.00320000	21.710	2012.415	0.01473975	174.00413
0.00335000	21.710	2024.505	0.01543068	173.66390
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00395000	21.210	1984.894	0.01862329	174.52562
0.00410000	21.820	2024.924	0.01879010	162.94433
0.00425000	21.930	2024.356	0.01937984	158.79505
0.00440000	21.905	2024.898	0.02008674	158.66682
0.00455000	21.855	2024.680	0.02081903	159.27708
0.00470000	21.830	2024.401	0.02153000	159.34541
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000
0.00000000	0.000	0.000	0.00000000	0.00000

0.00530000	21.475	1981.580	0.02467986	162.53700
0.00545000	21.495	1987.394	0.02535473	162.66200
0.00560000	21.515	1990.010	0.02602835	162.52023
0.00575000	21.535	1994.940	0.02670072	162.63716
0.00590000	21.555	1996.881	0.02737184	162.51273
0.00605000	21.575	2001.399	0.02804171	162.62527
0.00620000	21.590	2001.860	0.02871700	162.57150
0.00635000	21.605	2004.924	0.02939134	162.73710
0.00650000	21.620	2004.975	0.03006475	162.70109
0.00665000	21.635	2007.754	0.03073723	162.86784
0.00680000	21.650	2010.182	0.03140878	163.02684
0.00695000	21.665	2009.641	0.03207939	163.01164
0.00710000	21.675	2010.889	0.03275663	163.23706
0.00725000	21.690	2012.885	0.03342554	163.39367
0.00740000	21.700	2011.037	0.03410138	163.46481
0.00755000	21.710	2011.830	0.03477660	163.69035
0.00770000	21.720	2012.454	0.03545120	163.91405
0.00785000	21.730	2010.134	0.03612517	164.00664
0.00800000	21.740	2010.613	0.03679853	164.23467
0.00815000	21.750	2010.959	0.03747126	164.46070
0.00830000	21.760	2011.115	0.03814338	164.68479
0.00845000	21.770	2008.415	0.03881488	164.80018
0.00860000	21.780	2008.523	0.03948577	165.02684
0.00875000	21.790	2005.572	0.04015603	165.25172
0.00890000	21.795	1999.133	0.04083505	165.55325
0.00905000	21.805	1990.660	0.04150424	165.68944
0.00920000	22.075	2024.827	0.04167610	162.19794
0.00935000	22.115	2024.500	0.04227900	161.89764
0.00950000	22.155	2024.350	0.04287971	161.57119
0.00965000	22.210	2024.446	0.04344890	160.89616
0.00980000	22.250	2024.849	0.04404494	160.51137
0.00995000	22.285	2024.473	0.04464887	160.18846
0.01010000	22.325	2024.750	0.04524076	159.78115
0.01025000	22.365	2024.959	0.04583054	159.36621
0.01040000	22.415	2024.311	0.04639750	158.71947
0.01055000	22.455	2024.616	0.04698285	158.28682
0.01070000	22.495	2024.883	0.04756613	157.84526
0.01085000	22.530	2024.163	0.04815801	157.48586
0.01100000	22.570	2024.240	0.04873726	157.03090
0.01115000	22.625	2024.192	0.04928177	156.27426
0.01130000	22.665	2024.225	0.04985661	155.80559
0.01145000	22.670	2017.787	0.05050728	155.97079
0.01160000	22.675	2011.310	0.05115766	156.13613
0.01175000	22.680	2005.040	0.05180776	156.33136
0.01190000	22.685	1998.755	0.05245757	156.52966
0.01205000	22.905	2024.806	0.05260860	153.05101
0.01220000	22.940	2024.415	0.05318221	152.63729
0.01235000	22.975	2024.164	0.05375408	152.19895
0.01250000	23.010	2024.150	0.05432421	151.73171
0.01265000	23.045	2024.454	0.05489260	151.23223
0.01280000	23.080	2024.964	0.05545927	150.70927
0.01295000	23.110	2024.197	0.05603635	150.30356
0.01310000	23.160	2024.840	0.05656304	149.48444
0.01325000	23.190	2024.167	0.05713670	149.06497
0.01340000	23.225	2024.516	0.05769645	148.53268
0.01355000	23.260	2024.833	0.05825451	147.99506
0.01370000	23.290	2024.081	0.05882353	147.56020

0.01385000	23.325	2024.263	0.05937835	147.01546
0.01400000	23.360	2024.318	0.05993151	146.46999
0.01415000	23.395	2024.368	0.06048301	145.91862
0.01430000	23.445	2024.673	0.06099382	145.08184
0.01445000	23.480	2024.811	0.06154174	144.51749
0.01460000	23.515	2024.929	0.06208803	143.94830
0.01475000	23.530	2021.054	0.06268593	143.80581
0.01490000	23.535	2015.174	0.06330996	143.87818
0.01505000	23.535	2008.272	0.06394731	144.06004
0.01520000	23.540	2002.350	0.06457094	144.13313
0.01535000	23.710	2024.473	0.06474062	140.99216
0.01550000	23.760	2024.990	0.06523569	140.09286
0.01565000	23.790	2024.718	0.06578394	139.53527
0.01580000	23.820	2024.747	0.06633081	138.94566
0.01595000	23.845	2023.917	0.06689033	138.45139
0.01610000	23.875	2024.185	0.06743455	137.83216
0.01625000	23.905	2024.349	0.06797741	137.21699
0.01640000	23.935	2024.504	0.06851891	136.59767
0.01655000	23.965	2024.647	0.06905904	135.97447
0.01670000	23.995	2024.774	0.06959783	135.34770
0.01685000	24.025	2024.880	0.07013528	134.71765
0.01700000	24.065	2024.400	0.07064201	133.92184
0.01715000	24.095	2024.553	0.07117659	133.28287
0.01730000	24.125	2024.673	0.07170984	132.64154
0.01745000	24.155	2024.710	0.07224177	132.00070
0.01760000	24.185	2024.710	0.07277238	131.35787
0.01775000	24.215	2024.705	0.07330167	130.71144
0.01790000	24.245	2024.643	0.07382966	130.06459
0.01805000	24.275	2024.541	0.07435633	129.41641
0.01820000	24.305	2024.427	0.07488171	128.76514
0.01835000	24.335	2024.298	0.07540579	128.11101
0.01850000	24.365	2024.152	0.07592859	127.45430
0.01865000	24.370	2018.721	0.07652852	127.41199
0.01880000	24.375	2010.494	0.07712821	127.47839
0.01895000	24.375	2004.056	0.07774359	127.55763
0.01910000	24.525	2024.702	0.07787971	124.33620
0.01925000	24.555	2025.000	0.07839544	123.61848
0.01940000	24.580	2024.529	0.07892596	122.99460
0.01955000	24.605	2024.360	0.07945540	122.33801
0.01970000	24.630	2024.485	0.07998376	121.64880
0.01985000	24.655	2024.501	0.08051105	120.96681
0.02000000	24.680	2024.444	0.08103728	120.28866
0.02015000	24.705	2024.387	0.08156244	119.60755
0.02030000	24.730	2024.318	0.08208653	118.92434
0.02045000	24.755	2024.182	0.08260957	118.24291
0.02060000	24.795	2024.932	0.08308127	117.25798
0.02075000	24.820	2024.870	0.08360193	116.56748
0.02090000	24.845	2024.798	0.08412155	115.87486
0.02105000	24.870	2024.715	0.08464013	115.18032
0.02120000	24.895	2024.617	0.08515766	114.48408
0.02135000	24.920	2024.502	0.08567416	113.78633
0.02150000	24.945	2024.368	0.08618962	113.08730
0.02165000	24.970	2024.212	0.08670404	112.38719
0.02180000	24.995	2024.032	0.08721744	111.68620
0.02195000	25.025	2024.990	0.08771229	110.84361
0.02210000	25.050	2024.747	0.08822355	110.14192
0.02225000	25.075	2024.434	0.08873380	109.44264

0.02240000	25.100	2024.078	0.08924303	108.74393
0.02255000	25.130	2024.850	0.08973339	107.90412
0.02270000	25.165	2023.900	0.09020465	107.07928
0.02285000	25.195	2024.730	0.09069260	106.23186
0.02300000	25.195	2018.813	0.09128795	106.21425
0.02315000	25.195	2012.889	0.09188331	106.19717
0.02330000	25.200	2008.093	0.09246032	106.04039
0.02345000	25.320	2024.329	0.09261453	103.15913
0.02360000	25.345	2024.304	0.09311501	102.40643
0.02375000	25.370	2024.734	0.09361451	101.60483
0.02390000	25.390	2024.247	0.09413155	100.92033
0.02405000	25.410	2024.072	0.09464778	100.20194
0.02420000	25.430	2023.867	0.09516319	99.48442
0.02435000	25.455	2024.896	0.09565901	98.61196
0.02450000	25.475	2024.544	0.09617272	97.90481
0.02465000	25.495	2024.178	0.09668562	97.19684
0.02480000	25.515	2023.797	0.09719773	96.48820
0.02495000	25.540	2024.807	0.09768990	95.61488
0.02510000	25.560	2024.483	0.09820031	94.90583
0.02525000	25.590	2023.948	0.09867136	94.04886
0.02540000	25.615	2024.939	0.09916065	93.17517
0.02555000	25.635	2024.611	0.09966842	92.46222
0.02570000	25.655	2024.284	0.10017540	91.74757
0.02585000	25.675	2023.956	0.10068160	91.03135
0.02600000	25.700	2024.920	0.10116732	90.15257
0.02615000	25.720	2024.580	0.10167185	89.43390
0.02630000	25.740	2024.235	0.10217560	88.71407
0.02645000	25.760	2023.883	0.10267857	87.99322
0.02660000	25.785	2024.794	0.10316075	87.11188
0.02675000	25.805	2024.368	0.10366208	86.39413
0.02690000	25.825	2023.919	0.10416263	85.67674
0.02705000	25.850	2024.702	0.10464217	84.80121
0.02720000	25.870	2024.228	0.10514109	84.08285
0.02735000	25.895	2024.968	0.10561885	83.20765
0.02750000	25.915	2024.461	0.10611615	82.48889
0.02765000	25.935	2023.939	0.10661269	81.76995
0.02780000	25.960	2024.606	0.10708783	80.89613
0.02795000	25.980	2024.043	0.10758276	80.17766
0.02810000	26.010	2023.045	0.10803537	79.34897
0.02825000	26.010	2017.738	0.10861207	79.24171
0.02840000	26.015	2013.628	0.10916779	78.98010
0.02855000	26.015	2008.313	0.10974438	78.87335
0.02870000	26.125	2024.547	0.10985646	75.87754
0.02885000	26.145	2024.416	0.11034615	75.10042
0.02900000	26.165	2024.711	0.11083509	74.27524
0.02915000	26.180	2023.907	0.11134454	73.59398
0.02930000	26.200	2024.946	0.11183206	72.68472
0.02945000	26.215	2024.226	0.11234026	71.99203

Mmaks= 174.5256 kNm

EK B.

DOLYAN ve MEGRİ programları ile çözülen Örnek 6.1'e ait sonuç raporları verilmektedir.

EK B1. Birinci plastik mafsallın oluşması

```
*****
*                               *
*           DOLYAN               *
*           BİLGİSAYAR PROGRAMI *
*                               *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR *
*****
```

```
##### ANA PROGRAM #####
```

Cubuk Genel Bilgileri

```
-----
Bu soruda;
20 çubuk eleman ,
15 düğüm ve
36 serbestlik derecesine
sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...
```

Düğüm Koordinat Bilgileri

```
-----
Dno  Xi   Yi
-----
1     0    0
2     5    0
3    10    0
4     0    3
5     5    3
6    10    3
7     0    6
8     5    6
9    10    6
10    0    9
11    5    9
12   10    9
13    0   12
14    5   12
15   10   12
```

Cubuk Bilgileri

```
-----
Cno  i   k   A       I       E       L       aci
-----
1    1   4   0.090   0.001  28000000.0  3.000  90.000
2    2   5   0.160   0.002  28000000.0  3.000  90.000
3    3   6   0.090   0.001  28000000.0  3.000  90.000
```


12	8	11	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	9	12	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	10	11	24.730	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	11	12	27.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	10	13	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	11	14	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	12	15	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	13	14	24.730	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	14	15	27.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	14.76
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	29.52
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	44.28
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	59.04
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0001	-0.0012
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0004	-0.0014
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0004	-0.0003
4	4	5	0.0052	-0.0001	-0.0012	0.0052	-0.0004	-0.0014

5	5	6	0.0052	-0.0004	-0.0014	0.0052	-0.0004	-0.0003
6	4	7	0.0052	-0.0001	-0.0012	0.0117	-0.0002	-0.0012
7	5	8	0.0052	-0.0004	-0.0014	0.0116	-0.0007	-0.0013
8	6	9	0.0052	-0.0004	-0.0003	0.0116	-0.0008	-0.0004
9	7	8	0.0117	-0.0002	-0.0012	0.0116	-0.0007	-0.0013
10	8	9	0.0116	-0.0007	-0.0013	0.0116	-0.0008	-0.0004
11	7	10	0.0117	-0.0002	-0.0012	0.0169	-0.0002	-0.0009
12	8	11	0.0116	-0.0007	-0.0013	0.0169	-0.0009	-0.0010
13	9	12	0.0116	-0.0008	-0.0004	0.0169	-0.0010	-0.0001
14	10	11	0.0169	-0.0002	-0.0009	0.0169	-0.0009	-0.0010
15	11	12	0.0169	-0.0009	-0.0010	0.0169	-0.0010	-0.0001
16	10	13	0.0169	-0.0002	-0.0009	0.0201	-0.0003	-0.0007
17	11	14	0.0169	-0.0009	-0.0010	0.0201	-0.0010	-0.0006
18	12	15	0.0169	-0.0010	-0.0001	0.0200	-0.0010	0.0006
19	13	14	0.0201	-0.0003	-0.0007	0.0201	-0.0010	-0.0006
20	14	15	0.0201	-0.0010	-0.0006	0.0200	-0.0010	0.0006

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	65.0915	28.7660	50.5299	-65.0915	-28.7660	35.7679
2	2	5	617.5062	79.5818	148.0675	-617.5062	-79.5818	90.6779
3	3	6	368.4224	39.2522	60.9961	-368.4224	-39.2522	56.7605
4	4	5	11.2516	2.4576	-73.5368	-11.2516	108.8274	-165.7952
5	5	6	-6.1699	50.1704	-15.5346	6.1699	101.2996	-125.0706
6	4	7	62.6338	25.2576	37.7688	-62.6338	-25.2576	38.0039
7	5	8	458.5084	62.1603	90.6519	-458.5084	-62.1603	95.8290
8	6	9	267.1228	45.4221	68.3101	-267.1228	-45.4221	67.9563
9	7	8	21.8783	7.8973	-63.1021	-21.8783	103.3877	-151.7511
10	8	9	7.8067	51.7028	-9.2255	-7.8067	99.7672	-122.9517
11	7	10	54.7365	17.6159	25.0982	-54.7365	-17.6159	27.7494
12	8	11	303.4180	48.0887	65.1476	-303.4180	-48.0887	79.1184
13	9	12	167.3555	37.6155	54.9954	-167.3555	-37.6155	57.8511
14	10	11	32.4516	21.3384	-35.1403	-32.4516	89.9466	-119.2281
15	11	12	5.2131	60.0284	15.3211	-5.2131	91.4416	-101.7072
16	10	13	33.3981	5.7874	7.3909	-33.3981	-5.7874	9.9714
17	11	14	153.4429	20.8502	24.7887	-153.4429	-20.8502	37.7619
18	12	15	75.9140	32.4023	43.8561	-75.9140	-32.4023	53.3509
19	13	14	53.2526	33.3981	-9.9714	-53.2526	77.8869	-90.1284
20	14	15	32.4023	75.5560	52.3665	-32.4023	75.9140	-53.3509

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-50.5299	0.0000
2	-148.0675	0.0000
3	-60.9961	0.0000
4	-165.7952	4.5000
5	-125.0706	5.5000
6	38.0039	3.0000
7	95.8290	3.0000
8	-68.3101	0.0000
9	-151.7511	4.5000
10	-122.9517	5.5000
11	27.7494	3.0000
12	79.1184	3.0000

13	57.8511	3.0000
14	-119.2281	4.5000
15	-101.7072	5.5000
16	9.9714	3.0000
17	37.7619	3.0000
18	53.3509	3.0000
19	-90.1284	4.5000
20	-53.3509	5.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-50.5299	60.6500
2	-148.0675	210.1700
3	-60.9961	81.6200
4	-165.7952	160.8600
5	-125.0706	160.8600
6	38.0039	58.7800
7	95.8290	196.9500
8	-68.3101	74.5300
9	-151.7511	160.8600
10	-122.9517	160.8600
11	27.7494	56.5300
12	79.1184	179.0300
13	57.8511	66.0100
14	-119.2281	160.8600
15	-101.7072	160.8600
16	9.9714	53.1800
17	37.7619	158.4900
18	53.3509	57.1200
19	-90.1284	160.8600
20	-53.3509	160.8600

EK B2. İkinci plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	37
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	9	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	15
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27

14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27
16	10	13	19	20	21	28	29	30
17	11	14	22	23	24	31	32	33
18	12	15	25	26	27	34	35	36
19	13	14	28	29	30	31	32	33
20	14	15	31	32	33	34	35	36

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	14.91
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	29.82
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	44.72
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	59.63
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00
37	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	-0.0001	-0.0025
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	-0.0004	-0.0029
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0069	-0.0005	-0.0004
4	4	5	0.0069	-0.0001	-0.0025	0.0069	-0.0004	0.0018

5	5	6	0.0069	-0.0004	-0.0029	0.0069	-0.0005	-0.0004
6	4	7	0.0069	-0.0001	-0.0025	0.0153	-0.0002	-0.0012
7	5	8	0.0069	-0.0004	-0.0029	0.0153	-0.0007	-0.0014
8	6	9	0.0069	-0.0005	-0.0004	0.0153	-0.0008	-0.0006
9	7	8	0.0153	-0.0002	-0.0012	0.0153	-0.0007	-0.0014
10	8	9	0.0153	-0.0007	-0.0014	0.0153	-0.0008	-0.0006
11	7	10	0.0153	-0.0002	-0.0012	0.0207	-0.0003	-0.0009
12	8	11	0.0153	-0.0007	-0.0014	0.0207	-0.0009	-0.0010
13	9	12	0.0153	-0.0008	-0.0006	0.0207	-0.0010	-0.0001
14	10	11	0.0207	-0.0003	-0.0009	0.0207	-0.0009	-0.0010
15	11	12	0.0207	-0.0009	-0.0010	0.0207	-0.0010	-0.0001
16	10	13	0.0207	-0.0003	-0.0009	0.0240	-0.0003	-0.0007
17	11	14	0.0207	-0.0009	-0.0010	0.0239	-0.0010	-0.0006
18	12	15	0.0207	-0.0010	-0.0001	0.0239	-0.0011	0.0006
19	13	14	0.0240	-0.0003	-0.0007	0.0239	-0.0010	-0.0006
20	14	15	0.0239	-0.0010	-0.0006	0.0239	-0.0011	0.0006

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	101.6027	27.3424	56.5075	-101.6027	-27.3424	25.5198
2	2	5	555.9080	68.3487	160.1789	-555.9080	-68.3487	44.8672
3	3	6	393.5093	53.3849	82.5131	-393.5093	-53.3849	77.6415
4	4	5	11.8371	43.6310	-54.0518	-11.8371	67.6540	-0.0000
5	5	6	-4.1123	28.7793	-92.9747	4.1123	122.6907	-165.2816
6	4	7	57.9717	24.2720	28.5320	-57.9717	-24.2720	44.2839
7	5	8	459.4747	52.3993	48.1075	-459.4747	-52.3993	109.0903
8	6	9	270.8186	57.4971	87.6401	-270.8186	-57.4971	84.8513
9	7	8	23.9216	4.7831	-70.1580	-23.9216	106.5019	-158.7095
10	8	9	21.3036	47.8078	-17.4153	-21.3036	103.6622	-136.1846
11	7	10	53.1886	18.3784	25.8741	-53.1886	-18.3784	29.2611
12	8	11	305.1650	49.7812	67.0344	-305.1650	-49.7812	82.3093
13	9	12	167.1564	36.1936	51.3333	-167.1564	-36.1936	57.2474
14	10	11	32.6016	20.2204	-37.2905	-32.6016	91.0646	-122.1092
15	11	12	3.7739	60.1047	15.2736	-3.7739	91.3653	-101.2402
16	10	13	32.9682	6.2572	8.0293	-32.9682	-6.2572	10.7424
17	11	14	153.9956	20.9535	24.5263	-153.9956	-20.9535	38.3341
18	12	15	75.7911	32.4197	43.9928	-75.7911	-32.4197	53.2662
19	13	14	53.3732	32.9682	-10.7424	-53.3732	78.3168	-91.2917
20	14	15	32.4197	75.6789	52.9576	-32.4197	75.7911	-53.2662

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-56.5075	0.0000
2	-160.1789	0.0000
3	-82.5131	0.0000
4	92.5407	1.7643
5	-165.2816	5.5000
6	44.2839	3.0000
7	109.0903	3.0000
8	-87.6401	0.0000
9	-158.7095	4.5000
10	-136.1846	5.5000
11	29.2611	3.0000
12	82.3093	3.0000

13	57.2474	3.0000
14	-122.1092	4.5000
15	-101.2402	5.5000
16	10.7424	3.0000
17	38.3341	3.0000
18	53.2662	3.0000
19	-91.2917	4.5000
20	-53.2662	5.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-56.5075	60.6500
2	-160.1789	210.1700
3	-82.5131	81.6200
4	92.5407	160.8600
5	-165.2816	160.8600
6	44.2839	58.7800
7	109.0903	196.9500
8	-87.6401	74.5300
9	-158.7095	160.8600
10	-136.1846	160.8600
11	29.2611	56.5300
12	82.3093	179.0300
13	57.2474	66.0100
14	-122.1092	160.8600
15	-101.2402	160.8600
16	10.7424	53.1800
17	38.3341	158.4900
18	53.2662	57.1200
19	-91.2917	160.8600
20	-53.2662	160.8600

EK B3. Üçüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	38	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	37
5	5	6	4	5	6	7	8	39
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	40	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	15
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

16	10	13	19	20	21	28	29	30
17	11	14	22	23	24	31	32	33
18	12	15	25	26	27	34	35	36
19	13	14	28	29	30	31	32	33
20	14	15	31	32	33	34	35	36

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	15.06
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	30.11
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	45.17
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	60.23
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00
37	0.00
38	0.00
39	0.00
40	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0112	-0.0001	-0.0035
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0112	-0.0004	-0.0049
3	3	6	0.0000	0.0000	-0.0037	0.0112	-0.0004	-0.0037

4	4	5	0.0112	-0.0001	-0.0035	0.0112	-0.0004	0.0023
5	5	6	0.0112	-0.0004	-0.0049	0.0112	-0.0004	0.0038
6	4	7	0.0112	-0.0001	-0.0035	0.0238	-0.0001	-0.0015
7	5	8	0.0112	-0.0004	-0.0049	0.0238	-0.0007	-0.0017
8	6	9	0.0112	-0.0004	-0.0061	0.0238	-0.0008	-0.0004
9	7	8	0.0238	-0.0001	-0.0015	0.0238	-0.0007	-0.0017
10	8	9	0.0238	-0.0007	-0.0017	0.0238	-0.0008	-0.0004
11	7	10	0.0238	-0.0001	-0.0015	0.0297	-0.0002	-0.0010
12	8	11	0.0238	-0.0007	-0.0017	0.0296	-0.0009	-0.0010
13	9	12	0.0238	-0.0008	-0.0004	0.0296	-0.0010	-0.0002
14	10	11	0.0297	-0.0002	-0.0010	0.0296	-0.0009	-0.0010
15	11	12	0.0296	-0.0009	-0.0010	0.0296	-0.0010	-0.0002
16	10	13	0.0297	-0.0002	-0.0010	0.0330	-0.0002	-0.0007
17	11	14	0.0296	-0.0009	-0.0010	0.0329	-0.0010	-0.0007
18	12	15	0.0296	-0.0010	-0.0002	0.0329	-0.0011	0.0006
19	13	14	0.0330	-0.0002	-0.0007	0.0329	-0.0010	-0.0007
20	14	15	0.0329	-0.0010	-0.0007	0.0329	-0.0011	0.0006

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	76.8106	50.0189	97.1258	-76.8106	-50.0189	52.9308
2	2	5	607.0893	100.5479	249.0667	-607.0893	-100.5479	52.5770
3	3	6	367.1202	0.0000	0.0000	-367.1202	-0.0000	0.0000
4	4	5	7.6147	32.4788	-104.2365	-7.6147	78.8062	0.0000
5	5	6	-24.1801	59.0291	-91.8822	24.1801	92.4409	-0.0000
6	4	7	44.3317	42.5769	51.3057	-44.3317	-42.5769	76.4250
7	5	8	469.2540	68.7531	39.3053	-469.2540	-68.7531	166.9540
8	6	9	274.6793	24.1801	-0.0000	-274.6793	-24.1801	72.5403
9	7	8	5.3988	-8.8340	-99.8223	-5.3988	120.1190	-190.3221
10	8	9	-17.1898	45.7704	-31.1383	17.1898	105.6996	-133.6670
11	7	10	53.1658	17.8623	23.3973	-53.1658	-17.8623	30.1896
12	8	11	303.3645	46.1645	54.5065	-303.3645	-46.1645	83.9872
13	9	12	168.9797	41.3699	61.1267	-168.9797	-41.3699	62.9830
14	10	11	33.4374	20.1284	-37.9310	-33.4374	91.1566	-121.8823
15	11	12	9.0429	58.5939	11.9905	-9.0429	92.8761	-106.2667
16	10	13	33.0373	6.1297	7.7414	-33.0373	-6.1297	10.6477
17	11	14	153.6141	21.7700	25.9046	-153.6141	-21.7700	39.4054
18	12	15	76.1036	32.3270	43.2838	-76.1036	-32.3270	53.6972
19	13	14	54.0970	33.0373	-10.6477	-54.0970	78.2477	-91.0756
20	14	15	32.3270	75.3664	51.6702	-32.3270	76.1036	-53.6972

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-97.1258	0.0000
2	-249.0667	0.0000
3	-0.0000	0.0000
4	125.5644	1.3133
5	155.1437	2.1434
6	76.4250	3.0000
7	166.9540	3.0000
8	72.5403	3.0000
9	-190.3221	4.5000
10	-133.6670	5.5000
11	30.1896	3.0000

12	83.9872	3.0000
13	62.9830	3.0000
14	-121.8823	4.5000
15	-106.2667	5.5000
16	10.6477	3.0000
17	39.4054	3.0000
18	53.6972	3.0000
19	-91.0756	4.5000
20	-53.6972	5.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-97.1258	60.6500
2	-249.0667	210.1700
3	-0.0000	81.6200
4	125.5644	160.8600
5	155.1437	160.8600
6	76.4250	58.7800
7	166.9540	196.9500
8	72.5403	74.5300
9	-190.3221	160.8600
10	-133.6670	160.8600
11	30.1896	56.5300
12	83.9872	179.0300
13	62.9830	66.0100
14	-121.8823	160.8600
15	-106.2667	160.8600
16	10.6477	53.1800
17	39.4054	158.4900
18	53.6972	57.1200
19	-91.0756	160.8600
20	-53.6972	160.8600

EK B4. Dördüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	41	1	2	3
2	2	5	0	0	42	4	5	6
3	3	6	0	0	38	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	37
5	5	6	4	5	6	7	8	39
6	4	7	1	2	3	10	11	43
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	40	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	44
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27

14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27
16	10	13	19	20	21	28	29	30
17	11	14	22	23	24	31	32	33
18	12	15	25	26	27	34	35	36
19	13	14	28	29	30	31	32	33
20	14	15	31	32	33	34	35	36

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	15.21
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	30.41
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	45.62
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	60.83
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00
34	0.00
35	0.00
36	0.00
37	0.00
38	0.00
39	0.00
40	0.00
41	0.00
42	0.00
43	0.00
44	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	-0.0192	0.0443	-0.0001	-0.0058
2	2	5	0.0000	0.0000	-0.0172	0.0443	-0.0003	-0.0100
3	3	6	0.0000	0.0000	-0.0148	0.0444	-0.0005	-0.0148
4	4	5	0.0443	-0.0001	-0.0058	0.0443	-0.0003	0.0035
5	5	6	0.0443	-0.0003	-0.0100	0.0444	-0.0005	0.0062
6	4	7	0.0443	-0.0001	-0.0058	0.0688	-0.0002	-0.0094
7	5	8	0.0443	-0.0003	-0.0100	0.0687	-0.0006	-0.0044
8	6	9	0.0444	-0.0005	-0.0118	0.0688	-0.0009	-0.0008
9	7	8	0.0688	-0.0002	-0.0022	0.0687	-0.0006	0.0016
10	8	9	0.0687	-0.0006	-0.0044	0.0688	-0.0009	-0.0008
11	7	10	0.0688	-0.0002	-0.0022	0.0776	-0.0003	-0.0012
12	8	11	0.0687	-0.0006	-0.0044	0.0776	-0.0008	-0.0010
13	9	12	0.0688	-0.0009	-0.0008	0.0776	-0.0011	-0.0006
14	10	11	0.0776	-0.0003	-0.0012	0.0776	-0.0008	-0.0010
15	11	12	0.0776	-0.0008	-0.0010	0.0776	-0.0011	-0.0006
16	10	13	0.0776	-0.0003	-0.0012	0.0812	-0.0003	-0.0007
17	11	14	0.0776	-0.0008	-0.0010	0.0811	-0.0009	-0.0007
18	12	15	0.0776	-0.0011	-0.0006	0.0811	-0.0012	0.0006
19	13	14	0.0812	-0.0003	-0.0007	0.0811	-0.0009	-0.0007
20	14	15	0.0811	-0.0009	-0.0007	0.0811	-0.0012	0.0006

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	98.6875	56.5693	0.0000	-98.6875	-56.5693	169.7080
2	2	5	501.9051	95.5031	0.0000	-501.9051	-95.5031	286.5093
3	3	6	450.4274	-0.0000	-0.0000	-450.4274	0.0000	-0.0000
4	4	5	-26.1830	7.8102	-215.2454	26.1830	103.4748	0.0000
5	5	6	-46.3844	23.0228	-289.9171	46.3844	128.4472	0.0000
6	4	7	90.8773	15.1791	45.5373	-90.8773	-15.1791	-0.0000
7	5	8	375.4075	75.3017	3.4078	-375.4075	-75.3017	222.4973
8	6	9	321.9802	46.3844	0.0000	-321.9802	-46.3844	139.1531
9	7	8	46.3284	46.6549	-40.4443	-46.3284	64.6301	0.0000
10	8	9	-10.3610	2.1065	-181.7560	10.3610	149.3635	-223.2006
11	7	10	44.2224	31.0930	40.4443	-44.2224	-31.0930	52.8347
12	8	11	308.6708	18.6123	-40.7414	-308.6708	-18.6123	96.5783
13	9	12	172.6167	56.7454	84.0475	-172.6167	-56.7454	86.1887
14	10	11	20.4638	12.7876	-58.3204	-20.4638	98.4974	-134.5268
15	11	12	27.3032	54.4244	5.5836	-27.3032	97.0456	-122.7918
16	10	13	31.4348	5.9351	5.4857	-31.4348	-5.9351	12.3196
17	11	14	155.7490	25.4517	32.3649	-155.7490	-25.4517	43.9901
18	12	15	75.5711	29.4422	36.6032	-75.5711	-29.4422	51.7234
19	13	14	54.8939	31.4348	-12.3196	-54.8939	79.8502	-96.6148
20	14	15	29.4422	75.8989	52.6247	-29.4422	75.5711	-51.7234

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	169.7080	3.0000
2	286.5093	3.0000
3	0.0000	0.0000
4	216.4787	0.3158

5	299.5403	0.8360
6	-45.5373	0.0000
7	222.4973	3.0000
8	139.1531	3.0000
9	84.4532	1.8866
10	-223.2006	5.5000
11	52.8347	3.0000
12	96.5783	3.0000
13	86.1887	3.0000
14	-134.5268	4.5000
15	-122.7918	5.5000
16	12.3196	3.0000
17	43.9901	3.0000
18	51.7234	3.0000
19	-96.6148	4.5000
20	-52.6247	0.0000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	169.7080	60.6500
2	286.5093	210.1700
3	0.0000	81.6200
4	216.4787	160.8600
5	299.5403	160.8600
6	-45.5373	58.7800
7	222.4973	196.9500
8	139.1531	74.5300
9	84.4532	160.8600
10	-223.2006	160.8600
11	52.8347	56.5300
12	96.5783	179.0300
13	86.1887	66.0100
14	-134.5268	160.8600
15	-122.7918	160.8600
16	12.3196	53.1800
17	43.9901	158.4900
18	51.7234	57.1200
19	-96.6148	160.8600
20	-52.6247	160.8600

EK C.

DOLYAN ve MEGRİ programları ile çözülen Örnek 6.2'e ait sonuç raporları verilmektedir.

EK C1. Birinci plastik mafsallın oluşması

```
*****
*                               *
*           DOLYAN               *
*           BİLGİSAYAR PROGRAMI  *
*                               *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR *
*****

##### ANA PROGRAM #####
```

Cubuk Genel Bilgileri

Bu soruda;
 15 çubuk eleman ,
 12 düğüm ve
 27 serbestlik derecesine
 sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...

Düğüm Koordinat Bilgileri

Dno	Xi	Yi
1	0	0
2	4	0
3	10	0
4	0	3
5	4	3
6	10	3
7	0	6
8	4	6
9	10	6
10	0	8
11	4	8
12	10	8

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	4	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
2	2	5	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
3	3	6	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
4	4	5	0.125	0.003	28000000.0	4.300	0.000

5	5	6	0.125	0.003	28000000.0	5.600	0.000
6	4	7	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
7	5	8	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
8	6	9	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
9	7	8	0.125	0.003	28000000.0	4.300	0.000
10	8	9	0.125	0.003	28000000.0	5.600	0.000
11	7	10	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
12	8	11	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
13	9	12	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
14	10	11	0.125	0.003	28000000.0	4.300	0.000
15	11	12	0.125	0.003	28000000.0	5.600	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	6
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	9	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	15
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	5	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	6	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4	5	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	6	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4	7	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5	8	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	6	9	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	7	8	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	8	9	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	7	10	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	8	11	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	9	12	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	10	11	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	11	12	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	32.26
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	62.62
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	94.87
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	-0.0008
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	-0.0002	-0.0016
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	-0.0003	-0.0002
4	4	5	0.0039	0.0000	-0.0008	0.0039	-0.0002	-0.0016
5	5	6	0.0039	-0.0002	-0.0016	0.0039	-0.0003	-0.0002
6	4	7	0.0039	0.0000	-0.0008	0.0091	0.0000	-0.0008
7	5	8	0.0039	-0.0002	-0.0016	0.0091	-0.0003	-0.0014
8	6	9	0.0039	-0.0003	-0.0002	0.0091	-0.0005	-0.0003
9	7	8	0.0091	0.0000	-0.0008	0.0091	-0.0003	-0.0014
10	8	9	0.0091	-0.0003	-0.0014	0.0091	-0.0005	-0.0003
11	7	10	0.0091	0.0000	-0.0008	0.0129	0.0000	-0.0005
12	8	11	0.0091	-0.0003	-0.0014	0.0128	-0.0003	-0.0010
13	9	12	0.0091	-0.0005	-0.0003	0.0127	-0.0006	0.0005
14	10	11	0.0129	0.0000	-0.0005	0.0128	-0.0003	-0.0010
15	11	12	0.0128	-0.0003	-0.0010	0.0127	-0.0006	0.0005

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	-15.6282	28.5601	45.4380	15.6282	-28.5601	34.5302
2	2	5	406.7713	124.2314	259.3534	-406.7713	-124.2314	88.4947
3	3	6	258.6149	36.9585	53.1436	-258.6149	-36.9585	50.3402
4	4	5	34.2175	-15.9838	-77.4178	-34.2175	95.7058	-162.7149
5	5	6	-9.0472	43.3207	-25.0586	9.0472	93.5433	-115.5649
6	4	7	0.3556	30.5201	42.8876	-0.3556	-30.5201	42.5686
7	5	8	267.7448	80.9668	99.2789	-267.7448	-80.9668	127.4281
8	6	9	165.0716	46.0057	65.2247	-165.0716	-46.0057	63.5912
9	7	8	51.4229	-8.9878	-67.3501	-51.4229	88.7098	-142.6998
10	8	9	6.3143	45.7776	-13.0942	-6.3143	91.0864	-113.7703
11	7	10	9.3434	19.3254	24.7815	-9.3434	-19.3254	29.3297
12	8	11	133.2574	35.8582	28.3660	-133.2574	-35.8582	72.0369
13	9	12	73.9852	39.6914	50.1791	-73.9852	-39.6914	60.9568
14	10	11	75.5496	9.3434	-29.3297	-75.5496	70.3786	-101.8959
15	11	12	39.6914	62.8788	29.8590	-39.6914	73.9852	-60.9568

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-45.4380	0.0000
2	-259.3534	0.0000
3	-53.1436	0.0000
4	-162.7149	4.3000
5	-115.5649	5.6000
6	-42.8876	0.0000
7	127.4281	2.8000
8	-65.2247	0.0000
9	-142.6998	4.3000
10	-113.7703	5.6000
11	29.3297	2.8000
12	72.0369	2.8000
13	60.9568	2.8000
14	-101.8959	4.3000
15	-60.9568	5.6000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-45.4380	63.8800
2	-259.3534	311.8500
3	-53.1436	86.6800
4	-162.7149	160.8600
5	-115.5649	160.8600
6	-42.8876	63.8600
7	127.4281	288.3400
8	-65.2247	78.5900
9	-142.6998	160.8600
10	-113.7703	160.8600
11	29.3297	63.8700

12	72.0369	265.1500
13	60.9568	70.0000
14	-101.8959	160.8600
15	-60.9568	160.8600

EK C2. İkinci plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	28
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	9	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	15
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	32.90
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	63.87
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	96.77
20	0.00
21	0.00

22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0000	-0.0020
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0001	-0.0026
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0052	-0.0003	-0.0003
4	4	5	0.0052	-0.0000	-0.0020	0.0052	-0.0001	0.0014
5	5	6	0.0052	-0.0001	-0.0026	0.0052	-0.0003	-0.0003
6	4	7	0.0052	-0.0000	-0.0020	0.0120	-0.0000	-0.0009
7	5	8	0.0052	-0.0001	-0.0026	0.0119	-0.0002	-0.0015
8	6	9	0.0052	-0.0003	-0.0003	0.0119	-0.0005	-0.0005
9	7	8	0.0120	-0.0000	-0.0009	0.0119	-0.0002	-0.0015
10	8	9	0.0119	-0.0002	-0.0015	0.0119	-0.0005	-0.0005
11	7	10	0.0120	-0.0000	-0.0009	0.0160	-0.0000	-0.0005
12	8	11	0.0119	-0.0002	-0.0015	0.0159	-0.0003	-0.0010
13	9	12	0.0119	-0.0005	-0.0005	0.0158	-0.0006	0.0005
14	10	11	0.0160	-0.0000	-0.0005	0.0159	-0.0003	-0.0010
15	11	12	0.0159	-0.0003	-0.0010	0.0158	-0.0006	0.0005

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	20.3771	25.3976	48.8259	-20.3771	-25.3976	22.2874
2	2	5	350.3089	119.4602	303.7215	-350.3089	-119.4602	30.7670
3	3	6	279.0720	48.6872	70.4095	-279.0720	-48.6872	65.9146
4	4	5	36.6391	26.9292	-55.6068	-36.6391	52.7928	-0.0000
5	5	6	-8.2610	28.1536	-78.6350	8.2610	108.7104	-146.9240
6	4	7	-6.5521	29.1340	33.3193	6.5521	-29.1340	48.2560
7	5	8	269.3625	74.5601	47.8680	-269.3625	-74.5601	160.9003
8	6	9	170.3616	56.9482	81.0094	-170.3616	-56.9482	78.4455
9	7	8	56.3344	-14.1428	-76.1071	-56.3344	93.8648	-156.1094
10	8	9	17.2369	41.0232	-26.0293	-17.2369	95.8408	-127.4600
11	7	10	7.5907	21.5986	27.8511	-7.5907	-21.5986	32.6249
12	8	11	134.4745	35.4626	21.2383	-134.4745	-35.4626	78.0570
13	9	12	74.5208	39.7113	49.0144	-74.5208	-39.7113	62.1772
14	10	11	75.1739	7.5907	-32.6249	-75.1739	72.1313	-106.1372
15	11	12	39.7113	62.3432	28.0802	-39.7113	74.5208	-62.1772

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-48.8259	0.0000
2	-303.7215	0.0000

3	-70.4095	0.0000
4	75.1640	1.4525
5	-146.9240	5.6000
6	48.2560	2.8000
7	160.9003	2.8000
8	-81.0094	0.0000
9	-156.1094	4.3000
10	-127.4600	5.6000
11	32.6249	2.8000
12	78.0570	2.8000
13	62.1772	2.8000
14	-106.1372	4.3000
15	-62.1772	5.6000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-48.8259	63.8800
2	-303.7215	311.8500
3	-70.4095	86.6800
4	75.1640	160.8600
5	-146.9240	160.8600
6	48.2560	63.8600
7	160.9003	288.3400
8	-81.0094	78.5900
9	-156.1094	160.8600
10	-127.4600	160.8600
11	32.6249	63.8700
12	78.0570	265.1500
13	62.1772	70.0000
14	-106.1372	160.8600
15	-62.1772	160.8600

EK C3. Üçüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	9
4	4	5	1	2	3	4	5	28
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	29	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	15
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24

13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	4	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	5	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	6	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4	5	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	6	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	4	7	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	5	8	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	6	9	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	7	8	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	8	9	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	7	10	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	8	11	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	9	12	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	10	11	18.540	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	11	12	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	33.89
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	65.79
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	99.68
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00

28 0.00
29 0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	-0.0000	-0.0022
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	-0.0001	-0.0031
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	-0.0003	0.0008
4	4	5	0.0057	-0.0000	-0.0022	0.0056	-0.0001	0.0015
5	5	6	0.0056	-0.0001	-0.0031	0.0055	-0.0003	0.0008
6	4	7	0.0057	-0.0000	-0.0022	0.0138	0.0000	-0.0010
7	5	8	0.0056	-0.0001	-0.0031	0.0138	-0.0003	-0.0018
8	6	9	0.0055	-0.0003	-0.0044	0.0138	-0.0005	-0.0002
9	7	8	0.0138	0.0000	-0.0010	0.0138	-0.0003	-0.0018
10	8	9	0.0138	-0.0003	-0.0018	0.0138	-0.0005	-0.0002
11	7	10	0.0138	0.0000	-0.0010	0.0182	0.0000	-0.0006
12	8	11	0.0138	-0.0003	-0.0018	0.0181	-0.0003	-0.0010
13	9	12	0.0138	-0.0005	-0.0002	0.0181	-0.0006	0.0003
14	10	11	0.0182	0.0000	-0.0006	0.0181	-0.0003	-0.0010
15	11	12	0.0181	-0.0003	-0.0010	0.0181	-0.0006	0.0003

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	7.1159	26.4012	51.8866	-7.1159	-26.4012	22.0369
2	2	5	371.4767	104.6973	305.9008	-371.4767	-104.6973	-12.7482
3	3	6	271.1654	68.2528	90.3034	-271.1654	-68.2528	100.8043
4	4	5	46.1712	24.0958	-67.7904	-46.1712	55.6262	-0.0000
5	5	6	48.1024	37.4316	-72.7979	-48.1024	99.4324	-100.8043
6	4	7	-16.9799	38.6827	45.7535	16.9799	-38.6827	62.5582
7	5	8	278.4189	106.6285	85.5461	-278.4189	-106.6285	213.0136
8	6	9	171.7330	20.1504	-0.0000	-171.7330	-20.1504	56.4212
9	7	8	50.5590	-23.3331	-92.5969	-50.5590	103.0551	-179.1375
10	8	9	-26.1773	41.5219	-32.9881	26.1773	95.3421	-117.7084
11	7	10	6.3532	23.4558	30.0387	-6.3532	-23.4558	35.6376
12	8	11	133.8419	29.8921	-0.8879	-133.8419	-29.8921	84.5858
13	9	12	76.3909	46.3277	61.2873	-76.3909	-46.3277	68.4304
14	10	11	76.2198	6.3532	-35.6376	-76.2198	73.3688	-108.4461
15	11	12	46.3277	60.4731	23.8603	-46.3277	76.3909	-68.4304

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-51.8866	0.0000
2	-305.9008	0.0000
3	100.8043	2.8000
4	83.4486	1.2997
5	101.4625	1.5316
6	62.5582	2.8000
7	213.0136	2.8000

8	56.4212	2.8000
9	-179.1375	4.3000
10	-117.7084	5.6000
11	35.6376	2.8000
12	84.5858	2.8000
13	68.4304	2.8000
14	-108.4461	4.3000
15	-68.4304	5.6000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-51.8866	63.8800
2	-305.9008	311.8500
3	100.8043	86.6800
4	83.4486	160.8600
5	101.4625	160.8600
6	62.5582	63.8600
7	213.0136	288.3400
8	56.4212	78.5900
9	-179.1375	160.8600
10	-117.7084	160.8600
11	35.6376	63.8700
12	84.5858	265.1500
13	68.4304	70.0000
14	-108.4461	160.8600
15	-68.4304	160.8600

EK C4. Dördüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	0	1	2	3
2	2	5	0	0	0	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	30
4	4	5	1	2	3	4	5	28
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	29	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	31
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	34.47
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	66.90
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	101.37
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	-0.0000	-0.0028
2	2	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	-0.0001	-0.0042
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0077	-0.0003	-0.0041
4	4	5	0.0077	-0.0000	-0.0028	0.0077	-0.0001	0.0018
5	5	6	0.0077	-0.0001	-0.0042	0.0077	-0.0003	0.0033
6	4	7	0.0077	-0.0000	-0.0028	0.0193	-0.0001	-0.0025
7	5	8	0.0077	-0.0001	-0.0042	0.0193	-0.0002	-0.0032
8	6	9	0.0077	-0.0003	-0.0061	0.0193	-0.0005	-0.0003
9	7	8	0.0193	-0.0001	-0.0025	0.0193	-0.0002	0.0016
10	8	9	0.0193	-0.0002	-0.0032	0.0193	-0.0005	-0.0003
11	7	10	0.0193	-0.0001	-0.0025	0.0259	-0.0001	-0.0005
12	8	11	0.0193	-0.0002	-0.0032	0.0258	-0.0003	-0.0013
13	9	12	0.0193	-0.0005	-0.0003	0.0257	-0.0006	0.0001
14	10	11	0.0259	-0.0001	-0.0005	0.0258	-0.0003	-0.0013
15	11	12	0.0258	-0.0003	-0.0013	0.0257	-0.0006	0.0001

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	37.3731	39.7525	74.3117	-37.3731	-39.7525	36.9954
2	2	5	332.0432	143.1440	419.0447	-332.0432	-143.1440	-18.2414
3	3	6	280.3418	19.8437	55.5625	-280.3418	-19.8437	0.0000
4	4	5	38.4381	17.4272	-96.4654	-38.4381	62.2948	-0.0000
5	5	6	-7.7767	56.5359	-66.6184	7.7767	80.3281	-0.0000
6	4	7	19.9459	43.7248	59.4700	-19.9459	-43.7248	62.9594
7	5	8	213.2125	96.9293	84.8598	-213.2125	-96.9293	186.5421
8	6	9	200.0136	27.6204	-0.0000	-200.0136	-27.6204	77.3372
9	7	8	46.6854	20.6537	-82.5915	-46.6854	59.0683	0.0000
10	8	9	-33.9409	20.4249	-108.0179	33.9409	116.4391	-160.8218
11	7	10	-0.7078	23.5059	19.6321	0.7078	-23.5059	46.1844
12	8	11	133.7193	16.3029	-78.5242	-133.7193	-16.3029	124.1724
13	9	12	83.5745	61.5613	83.4846	-83.5745	-61.5613	88.8871
14	10	11	77.8643	-0.7078	-46.1844	-77.8643	80.4298	-128.2614
15	11	12	61.5613	53.2895	4.0890	-61.5613	83.5745	-88.8871

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-74.3117	0.0000
2	-419.0447	0.0000
3	-55.5625	0.0000
4	104.6560	0.9400
5	132.0092	2.3133
6	62.9594	2.8000
7	186.5421	2.8000
8	77.3372	2.8000
9	94.0957	1.1140
10	-160.8218	5.6000
11	46.1844	2.8000
12	124.1724	2.8000
13	88.8871	2.8000
14	-128.2614	4.3000
15	-88.8871	5.6000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-74.3117	63.8800
2	-419.0447	311.8500
3	-55.5625	86.6800
4	104.6560	160.8600
5	132.0092	160.8600
6	62.9594	63.8600
7	186.5421	288.3400
8	77.3372	78.5900
9	94.0957	160.8600
10	-160.8218	160.8600
11	46.1844	63.8700

12	124.1724	265.1500
13	88.8871	70.0000
14	-128.2614	160.8600
15	-88.8871	160.8600

EK C5. Beşinci plastik mafsalın oluştuması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	4	0	0	32	1	2	3
2	2	5	0	0	33	4	5	6
3	3	6	0	0	0	7	8	30
4	4	5	1	2	3	4	5	28
5	5	6	4	5	6	7	8	9
6	4	7	1	2	3	10	11	12
7	5	8	4	5	6	13	14	15
8	6	9	7	8	29	16	17	18
9	7	8	10	11	12	13	14	31
10	8	9	13	14	15	16	17	18
11	7	10	10	11	12	19	20	21
12	8	11	13	14	15	22	23	24
13	9	12	16	17	18	25	26	27
14	10	11	19	20	21	22	23	24
15	11	12	22	23	24	25	26	27

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	34.81
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	67.57
11	0.00
12	0.00
13	0.00
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	102.38
20	0.00
21	0.00

22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	4	0.0000	0.0000	-0.0118	0.0262	-0.0000	-0.0044
2	2	5	0.0000	0.0000	-0.0102	0.0261	-0.0001	-0.0075
3	3	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0261	-0.0004	-0.0140
4	4	5	0.0262	-0.0000	-0.0044	0.0261	-0.0001	0.0026
5	5	6	0.0261	-0.0001	-0.0075	0.0261	-0.0004	0.0049
6	4	7	0.0262	-0.0000	-0.0044	0.0431	-0.0000	-0.0032
7	5	8	0.0261	-0.0001	-0.0075	0.0431	-0.0002	-0.0040
8	6	9	0.0261	-0.0004	-0.0088	0.0431	-0.0006	-0.0007
9	7	8	0.0431	-0.0000	-0.0032	0.0431	-0.0002	0.0019
10	8	9	0.0431	-0.0002	-0.0040	0.0431	-0.0006	-0.0007
11	7	10	0.0431	-0.0000	-0.0032	0.0509	-0.0000	-0.0006
12	8	11	0.0431	-0.0002	-0.0040	0.0508	-0.0003	-0.0014
13	9	12	0.0431	-0.0006	-0.0007	0.0507	-0.0007	-0.0001
14	10	11	0.0509	-0.0000	-0.0006	0.0508	-0.0003	-0.0014
15	11	12	0.0508	-0.0003	-0.0014	0.0507	-0.0007	-0.0001

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	4	5.2780	35.5909	0.0000	-5.2780	-35.5909	99.6546
2	2	5	322.0878	101.8002	-0.0000	-322.0878	-101.8002	285.0405
3	3	6	322.3922	67.3766	188.6545	-322.3922	-67.3766	0.0000
4	4	5	63.4598	-2.2704	-181.1648	-63.4598	81.9924	0.0000
5	5	6	28.4536	33.5315	-195.4431	-28.4536	103.3325	0.0000
6	4	7	7.5484	64.2403	81.5102	-7.5484	-64.2403	98.3626
7	5	8	206.5640	66.7940	-89.5974	-206.5640	-66.7940	276.6206
8	6	9	219.0596	38.9230	-0.0000	-219.0596	-38.9230	108.9843
9	7	8	29.1276	12.6785	-116.8847	-29.1276	67.0435	0.0000
10	8	9	-28.2825	4.9715	-156.6297	28.2825	131.8925	-198.7490
11	7	10	-5.1302	25.7945	18.5221	5.1302	-25.7945	53.7026
12	8	11	134.5490	9.3839	-119.9908	-134.5490	-9.3839	146.2656
13	9	12	87.1672	67.2055	89.7647	-87.1672	-67.2055	98.4106
14	10	11	76.5893	-5.1302	-53.7026	-76.5893	84.8522	-139.7594
15	11	12	67.2055	49.6968	-6.5063	-67.2055	87.1672	-98.4106

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	99.6546	2.8000
2	285.0405	2.8000
3	-188.6545	0.0000
4	181.3039	-0.1225
5	218.4455	1.3720
6	98.3626	2.8000
7	276.6206	2.8000
8	108.9843	2.8000
9	121.2198	0.6838
10	-198.7490	5.6000
11	53.7026	2.8000
12	146.2656	2.8000
13	98.4106	2.8000
14	-139.7594	4.3000
15	-98.4106	5.6000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	99.6546	63.8800
2	285.0405	311.8500
3	-188.6545	86.6800
4	181.3039	160.8600
5	218.4455	160.8600
6	98.3626	63.8600
7	276.6206	288.3400
8	108.9843	78.5900
9	121.2198	160.8600
10	-198.7490	160.8600
11	53.7026	63.8700
12	146.2656	265.1500
13	98.4106	70.0000
14	-139.7594	160.8600
15	-98.4106	160.8600

EK D.

DOLYAN ve MEGRİ programları ile çözülen Örnek 6.3'de ait sonuç raporları verilmektedir.

EK D1. Birinci plastik mafsallın oluşması

```
*****
*                               *
*           DOLYAN               *
*           BİLGİSAYAR PROGRAMI  *
*                               *
* HAZIRLAYAN : İnş.Müh.İSA YILDIRIM *
* DANIŞMAN   : Yrd.Doç.Dr.NACİ ÇAĞLAR *
*****
##### ANA PROGRAM #####
```

Cubuk Genel Bilgileri

 Bu soruda;
 14 çubuk eleman ,
 12 düğüm ve
 24 serbestlik derecesine
 sahip 2 boyutlu çerçeve sistem çözülmüştür...

Düğüm Koordinat Bilgileri

Dno	Xi	Yi
1	0	0
2	7	0
3	9	0
4	17	0
5	0	3
6	7	3
7	9	3
8	17	3
9	0	6
10	7	6
11	9	6
12	17	6

Cubuk Bilgileri

Cno	i	k	A	I	E	L	aci
1	1	5	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
2	2	6	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
3	3	7	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
4	4	8	0.160	0.002	28000000.0	2.800	90.000
5	5	6	0.125	0.003	28000000.0	6.800	0.000

6	6	7	0.125	0.003	28000000.0	2.500	0.000
7	7	8	0.125	0.003	28000000.0	7.500	0.000
8	5	9	0.090	0.001	28000000.0	2.800	90.000
9	6	10	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
10	7	11	0.250	0.005	28000000.0	2.800	90.000
11	8	12	0.160	0.002	28000000.0	2.800	90.000
12	9	10	0.125	0.003	28000000.0	6.800	0.000
13	10	11	0.125	0.003	28000000.0	2.500	0.000
14	11	12	0.125	0.003	28000000.0	7.500	0.000

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	5	0	0	0	1	2	3
2	2	6	0	0	0	4	5	6
3	3	7	0	0	0	7	8	9
4	4	8	0	0	0	10	11	12
5	5	6	1	2	3	4	5	6
6	6	7	4	5	6	7	8	9
7	7	8	7	8	9	10	11	12
8	5	9	1	2	3	13	14	15
9	6	10	4	5	6	16	17	18
10	7	11	7	8	9	19	20	21
11	8	12	10	11	12	22	23	24
12	9	10	13	14	15	16	17	18
13	10	11	16	17	18	19	20	21
14	11	12	19	20	21	22	23	24

Yuk Bilgileri

Cno	i	k	W	P	a	b	N	a	b
1	1	5	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	2	6	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3	7	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	4	8	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	5	6	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6	7	18.550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7	8	29.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	5	9	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	6	10	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	7	11	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	8	12	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	9	10	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	10	11	18.550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	11	12	29.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	72.60
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	147.40
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0021	-0.0001	-0.0013
2	2	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	-0.0000	-0.0005
3	3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	-0.0002	-0.0008
4	4	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0020	-0.0001	-0.0002
5	5	6	0.0021	-0.0001	-0.0013	0.0020	-0.0000	-0.0005
6	6	7	0.0020	-0.0000	-0.0005	0.0019	-0.0002	-0.0008
7	7	8	0.0019	-0.0002	-0.0008	0.0020	-0.0001	-0.0002
8	5	9	0.0021	-0.0001	-0.0013	0.0044	-0.0002	-0.0015
9	6	10	0.0020	-0.0000	-0.0005	0.0040	-0.0001	-0.0001
10	7	11	0.0019	-0.0002	-0.0008	0.0040	-0.0002	-0.0008
11	8	12	0.0020	-0.0001	-0.0002	0.0038	-0.0002	0.0006
12	9	10	0.0044	-0.0002	-0.0015	0.0040	-0.0001	-0.0001
13	10	11	0.0040	-0.0001	-0.0001	0.0040	-0.0002	-0.0008
14	11	12	0.0040	-0.0002	-0.0008	0.0038	-0.0002	0.0006

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	5	133.4115	2.7354	12.5222	-133.4115	-2.7354	-4.8632
2	2	6	107.6937	100.1354	166.5942	-107.6937	-100.1354	113.7850
3	3	7	393.6543	63.2507	130.7294	-393.6543	-63.2507	46.3726

4	4	8	228.6745	53.8785	80.3986	-228.6745	-53.8785	70.4612
5	5	6	52.7365	65.8513	27.1821	-52.7365	100.3407	-144.4463
6	6	7	54.1387	-62.4158	-88.5263	-54.1387	108.7908	-125.4820
7	7	8	-24.5635	101.4469	100.8945	24.5635	117.7031	-161.8552
8	5	9	67.5603	-17.1282	-22.3189	-67.5603	17.1282	-25.6399
9	6	10	69.7688	101.5377	119.1876	-69.7688	-101.5377	165.1179
10	7	11	183.4165	-15.4515	-21.7852	-183.4165	15.4515	-21.4791
11	8	12	110.9714	78.4420	91.3940	-110.9714	-78.4420	128.2436
12	9	10	164.5282	67.5603	25.6399	-164.5282	98.6317	-131.2829
13	10	11	62.9905	-28.8630	-33.8350	-62.9905	75.2380	-96.2912
14	11	12	78.4420	108.1786	117.7703	-78.4420	110.9714	-128.2436

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-12.5222	0.0000
2	-166.5942	0.0000
3	-130.7294	0.0000
4	-80.3986	0.0000
5	-144.4463	6.8000
6	193.5327	-3.3647
7	-161.8552	7.5000
8	-25.6399	2.8000
9	165.1179	2.8000
10	21.7852	0.0000
11	128.2436	2.8000
12	-131.2829	6.8000
13	-96.2912	2.5000
14	-128.2436	7.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-12.5222	76.7400
2	-166.5942	262.7100
3	-130.7294	309.0600
4	-80.3986	205.8000
5	-144.4463	160.8600
6	193.5327	160.8600
7	-161.8552	160.8600
8	-25.6399	69.7000
9	165.1179	254.1200
10	21.7852	273.8200
11	128.2436	190.0900
12	-131.2829	160.8600
13	-96.2912	160.8600
14	-128.2436	160.8600

EK D2. İkinci plastik mafsahın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	5	0	0	0	1	2	3
2	2	6	0	0	0	4	5	6
3	3	7	0	0	0	7	8	9
4	4	8	0	0	0	10	11	12
5	5	6	1	2	3	4	5	6
6	6	7	4	5	6	7	8	9
7	7	8	7	8	9	10	11	25
8	5	9	1	2	3	13	14	15
9	6	10	4	5	6	16	17	18
10	7	11	7	8	9	19	20	21
11	8	12	10	11	12	22	23	24
12	9	10	13	14	15	16	17	18
13	10	11	16	17	18	19	20	21
14	11	12	19	20	21	22	23	24

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	79.86
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	162.14
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	-0.0001	-0.0015
2	2	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	-0.0000	-0.0008
3	3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0028	-0.0002	-0.0013
4	4	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0029	-0.0001	-0.0017
5	5	6	0.0029	-0.0001	-0.0015	0.0028	-0.0000	-0.0008
6	6	7	0.0028	-0.0000	-0.0008	0.0028	-0.0002	-0.0013
7	7	8	0.0028	-0.0002	-0.0013	0.0029	-0.0001	0.0042
8	5	9	0.0029	-0.0001	-0.0015	0.0063	-0.0002	-0.0016
9	6	10	0.0028	-0.0000	-0.0008	0.0059	-0.0000	-0.0003
10	7	11	0.0028	-0.0002	-0.0013	0.0059	-0.0003	-0.0010
11	8	12	0.0029	-0.0001	-0.0017	0.0058	-0.0002	0.0008
12	9	10	0.0063	-0.0002	-0.0016	0.0059	-0.0000	-0.0003
13	10	11	0.0059	-0.0000	-0.0003	0.0059	-0.0003	-0.0010
14	11	12	0.0059	-0.0003	-0.0010	0.0058	-0.0002	0.0008

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	5	125.7901	8.8793	22.5091	-125.7901	-8.8793	2.3530
2	2	6	45.0968	138.2787	234.5044	-45.0968	-138.2787	152.6761
3	3	7	494.2340	80.7000	179.4623	-494.2340	-80.7000	46.4978
4	4	8	198.3131	14.1419	56.9799	-198.3131	-14.1419	-17.3826
5	5	6	59.8418	61.2357	12.2733	-59.8418	104.9563	-160.9235
6	6	7	48.9800	-110.8317	-143.5719	-48.9800	157.2067	-191.4762
7	7	8	-36.9416	131.9761	168.0082	36.9416	87.1739	-0.0000
8	5	9	64.5544	-11.1389	-14.6262	-64.5544	11.1389	-16.5627
9	6	10	50.9722	127.4169	151.8194	-50.9722	-127.4169	204.9480
10	7	11	205.0512	-5.2215	-23.0298	-205.0512	5.2215	8.4096
11	8	12	111.1392	51.0835	17.3826	-111.1392	-51.0835	125.6511
12	9	10	173.2789	64.5544	16.5627	-173.2789	101.6376	-142.6454
13	10	11	45.8620	-50.6653	-62.3026	-45.8620	97.0403	-122.3295
14	11	12	51.0835	108.0108	113.9199	-51.0835	111.1392	-125.6511

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-22.5091	0.0000
2	-234.5044	0.0000
3	-179.4623	0.0000
4	-56.9799	0.0000
5	-160.9235	6.8000
6	474.6683	-5.9748
7	-168.0082	0.0000
8	-16.5627	2.8000
9	204.9480	2.8000
10	23.0298	0.0000
11	125.6511	2.8000
12	-142.6454	6.8000
13	131.4934	-2.7313
14	-125.6511	7.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-22.5091	76.7400
2	-234.5044	262.7100
3	-179.4623	309.0600
4	-56.9799	205.8000
5	-160.9235	160.8600
6	474.6683	160.8600
7	-168.0082	160.8600
8	-16.5627	69.7000
9	204.9480	254.1200
10	23.0298	273.8200
11	125.6511	190.0900
12	-142.6454	160.8600
13	131.4934	160.8600
14	-125.6511	160.8600

EK D3. Üçüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	5	0	0	0	1	2	3
2	2	6	0	0	0	4	5	6
3	3	7	0	0	0	7	8	9
4	4	8	0	0	0	10	11	12
5	5	6	1	2	3	4	5	26
6	6	7	4	5	6	7	8	27
7	7	8	7	8	28	10	11	25
8	5	9	1	2	3	13	14	15
9	6	10	4	5	6	16	17	18
10	7	11	7	8	9	19	20	21
11	8	12	10	11	12	22	23	24
12	9	10	13	14	15	16	17	18
13	10	11	16	17	18	19	20	21
14	11	12	19	20	21	22	23	24

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	83.85
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00

10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	170.25
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0044	-0.0002	-0.0030
2	2	6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	-0.0000	-0.0020
3	3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	-0.0002	-0.0021
4	4	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0043	-0.0001	-0.0025
5	5	6	0.0044	-0.0002	-0.0030	0.0043	-0.0000	0.0037
6	6	7	0.0043	-0.0000	-0.0020	0.0043	-0.0002	0.0010
7	7	8	0.0043	-0.0002	-0.0071	0.0043	-0.0001	0.0071
8	5	9	0.0044	-0.0002	-0.0030	0.0095	-0.0002	-0.0017
9	6	10	0.0043	-0.0000	-0.0020	0.0091	-0.0000	-0.0004
10	7	11	0.0043	-0.0002	-0.0021	0.0091	-0.0003	-0.0012
11	8	12	0.0043	-0.0001	-0.0025	0.0089	-0.0002	0.0005
12	9	10	0.0095	-0.0002	-0.0017	0.0091	-0.0000	-0.0004
13	10	11	0.0091	-0.0000	-0.0004	0.0091	-0.0003	-0.0012
14	11	12	0.0091	-0.0003	-0.0012	0.0089	-0.0002	0.0005

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	5	152.5772	2.8817	24.0389	-152.5772	-2.8817	-15.9702
2	2	6	63.0189	122.8184	274.6283	-63.0189	-122.8184	69.2631
3	3	7	422.6841	102.1247	253.7043	-422.6841	-102.1247	32.2448
4	4	8	225.1539	26.2753	90.2827	-225.1539	-26.2753	-16.7118
5	5	6	66.2147	89.7719	45.3964	-66.2147	76.4201	0.0000
6	6	7	60.5635	-37.8750	-152.6561	-60.5635	84.2500	-0.0000
7	7	8	-30.8406	109.5750	-0.0000	30.8406	109.5750	0.0000
8	5	9	62.8052	-14.7567	-29.4262	-62.8052	14.7567	-11.8925
9	6	10	24.4738	117.1672	83.3930	-24.4738	-117.1672	244.6751
10	7	11	228.8591	10.7206	-32.2448	-228.8591	-10.7206	62.2625
11	8	12	115.5789	57.1159	16.7118	-115.5789	-57.1159	143.2126
12	9	10	185.0037	62.8052	11.8925	-185.0037	103.3868	-149.8697

13	10	11	67.8365	-78.9130	-94.8054	-67.8365	125.2880	-160.4459
14	11	12	57.1159	103.5711	98.1834	-57.1159	115.5789	-143.2126

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-24.0389	0.0000
2	-274.6283	0.0000
3	-253.7043	0.0000
4	-90.2827	0.0000
5	119.4768	3.6732
6	191.3223	-2.0418
7	205.4531	3.7500
8	29.4262	0.0000
9	244.6751	2.8000
10	62.2625	2.8000
11	143.2126	2.8000
12	-149.8697	6.8000
13	262.6561	-4.2541
14	-143.2126	7.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-24.0389	76.7400
2	-274.6283	262.7100
3	-253.7043	309.0600
4	-90.2827	205.8000
5	119.4768	160.8600
6	191.3223	160.8600
7	205.4531	160.8600
8	29.4262	69.7000
9	244.6751	254.1200
10	62.2625	273.8200
11	143.2126	190.0900
12	-149.8697	160.8600
13	262.6561	160.8600
14	-143.2126	160.8600

EK D4. Dördüncü plastik mafsalın oluşması

Serbestlik Bilgileri

Cno	i	k	d1	d2	d3	d4	d5	d6
1	1	5	0	0	0	1	2	3
2	2	6	0	0	29	4	5	6
3	3	7	0	0	0	7	8	9
4	4	8	0	0	0	10	11	12
5	5	6	1	2	3	4	5	26
6	6	7	4	5	6	7	8	27
7	7	8	7	8	28	10	11	25
8	5	9	1	2	3	13	14	15
9	6	10	4	5	6	16	17	18
10	7	11	7	8	9	19	20	21
11	8	12	10	11	12	22	23	24
12	9	10	13	14	15	16	17	18
13	10	11	16	17	18	19	20	21
14	11	12	19	20	21	22	23	24

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	86.37
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	175.35
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0065	-0.0002	-0.0035
2	2	6	0.0000	0.0000	-0.0024	0.0064	-0.0000	-0.0021
3	3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	-0.0002	-0.0029
4	4	8	0.0000	0.0000	0.0000	0.0063	-0.0001	-0.0033
5	5	6	0.0065	-0.0002	-0.0035	0.0064	-0.0000	0.0040
6	6	7	0.0064	-0.0000	-0.0021	0.0063	-0.0002	0.0010
7	7	8	0.0063	-0.0002	-0.0071	0.0063	-0.0001	0.0071
8	5	9	0.0065	-0.0002	-0.0035	0.0124	-0.0002	-0.0017
9	6	10	0.0064	-0.0000	-0.0021	0.0121	-0.0000	-0.0006
10	7	11	0.0063	-0.0002	-0.0029	0.0120	-0.0003	-0.0012
11	8	12	0.0063	-0.0001	-0.0033	0.0119	-0.0002	0.0004
12	9	10	0.0124	-0.0002	-0.0017	0.0121	-0.0000	-0.0006
13	10	11	0.0121	-0.0000	-0.0006	0.0120	-0.0003	-0.0012
14	11	12	0.0120	-0.0003	-0.0012	0.0119	-0.0002	0.0004

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	5	148.1245	17.5478	47.8911	-148.1245	-17.5478	1.2427
2	2	6	48.8860	12.0537	-0.0000	-48.8860	-12.0537	33.7503
3	3	7	440.3088	176.9927	399.4150	-440.3088	-176.9927	96.1647
4	4	8	226.1146	55.1288	147.0465	-226.1146	-55.1288	7.3141
5	5	6	55.3715	87.4486	29.5978	-55.3715	78.7434	0.0000
6	6	7	188.4628	-41.5091	-161.7414	-188.4628	87.8841	-0.0000
7	7	8	5.0231	109.5750	-0.0000	-5.0231	109.5750	0.0000
8	5	9	60.6759	-13.4492	-30.8405	-60.6759	13.4492	-6.8174
9	6	10	11.6517	145.1449	127.9911	-11.6517	-145.1449	278.4148
10	7	11	242.8498	-6.4470	-96.1647	-242.8498	6.4470	78.1131
11	8	12	116.5396	50.1057	-7.3141	-116.5396	-50.1057	147.6101
12	9	10	188.8037	60.6759	6.8174	-188.8037	105.5161	-159.2739
13	10	11	43.6587	-93.8644	-119.1408	-43.6587	140.2394	-173.4888
14	11	12	50.1057	102.6104	95.3756	-50.1057	116.5396	-147.6101

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-47.8911	0.0000
2	33.7503	2.8000
3	-399.4150	0.0000
4	-147.0465	0.0000
5	126.8519	3.5781
6	208.1835	-2.2377
7	205.4531	3.7500
8	30.8405	0.0000
9	278.4148	2.8000
10	96.1647	0.0000
11	147.6101	2.8000
12	-159.2739	6.8000

5	5	6	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	6	7	18.550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	7	8	29.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	5	9	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	6	10	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	7	11	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	8	12	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	9	10	24.440	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	10	11	18.550	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	11	12	29.220	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Dugum Yuk Bilgileri

Sno	P
1	88.10
2	0.00
3	0.00
4	0.00
5	0.00
6	0.00
7	0.00
8	0.00
9	0.00
10	0.00
11	0.00
12	0.00
13	175.35
14	0.00
15	0.00
16	0.00
17	0.00
18	0.00
19	0.00
20	0.00
21	0.00
22	0.00
23	0.00
24	0.00
25	0.00
26	0.00
27	0.00
28	0.00
29	0.00
30	0.00
31	0.00
32	0.00
33	0.00

Cubuk Ucu Serbestlikleri

Cno	i	k	Ui	Vi	Qi	Uk	Vk	Qk
1	1	5	0.0000	0.0000	0.0000	0.0121	-0.0002	-0.0056
2	2	6	0.0000	0.0000	-0.0040	0.0120	-0.0001	-0.0048

3	3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0119	-0.0001	-0.0060
4	4	8	0.0000	0.0000	-0.0037	0.0123	-0.0002	-0.0058
5	5	6	0.0121	-0.0002	-0.0056	0.0120	-0.0001	0.0050
6	6	7	0.0120	-0.0001	-0.0001	0.0119	-0.0001	0.0002
7	7	8	0.0119	-0.0001	-0.0071	0.0123	-0.0002	0.0070
8	5	9	0.0121	-0.0002	-0.0056	0.0271	-0.0002	-0.0037
9	6	10	0.0120	-0.0001	-0.0048	0.0268	-0.0002	-0.0055
10	7	11	0.0119	-0.0001	-0.0060	0.0267	-0.0001	-0.0046
11	8	12	0.0123	-0.0002	-0.0058	0.0264	-0.0003	-0.0014
12	9	10	0.0271	-0.0002	-0.0037	0.0268	-0.0002	0.0013
13	10	11	0.0268	-0.0002	0.0013	0.0267	-0.0001	-0.0005
14	11	12	0.0267	-0.0001	-0.0046	0.0264	-0.0003	-0.0014

Cubuk Ucu Kuvvetleri

Cno	i	k	Ni	Pi	Mi	Nk	Pk	Mk
1	1	5	136.8862	44.1802	99.6505	-136.8862	-44.1802	24.0541
2	2	6	290.2045	-27.8649	-0.0000	-290.2045	27.8649	-78.0217
3	3	7	171.0157	279.7320	704.2203	-171.0157	-279.7320	79.0292
4	4	8	265.3276	-32.5969	-0.0000	-265.3276	32.5969	-91.2713
5	5	6	63.3431	77.3964	-38.7572	-63.3431	88.7956	-0.0000
6	6	7	119.0729	23.1875	-0.0000	-119.0729	23.1875	-0.0000
7	7	8	-164.8702	109.5750	-0.0000	164.8702	109.5750	-0.0000
8	5	9	59.4897	19.4273	14.7031	-59.4897	-19.4273	39.6934
9	6	10	178.2215	27.8649	78.0217	-178.2215	-27.8649	0.0000
10	7	11	38.2532	-4.2111	-79.0292	-38.2532	4.2111	67.2382
11	8	12	155.7526	132.2733	91.2713	-155.7526	-132.2733	279.0938
12	9	10	155.9271	59.4897	-39.6934	-155.9271	106.7023	-120.8292
13	10	11	128.0622	71.5192	120.8292	-128.0622	-25.1442	0.0000
14	11	12	132.2733	63.3974	-67.2382	-132.2733	155.7526	-279.0938

Cubuk Maks. M ve X

Cno	M	X
1	-99.6505	0.0000
2	-78.0217	2.8000
3	-704.2203	0.0000
4	-91.2713	2.8000
5	161.3064	3.1668
6	14.4922	1.2500
7	205.4531	3.7500
8	39.6934	2.8000
9	-78.0217	0.0000
10	79.0292	0.0000
11	279.0938	2.8000
12	-120.8292	6.8000
13	-120.8292	0.0000
14	-279.0938	7.5000

Cubuk Mmaks ve Mmfs

Cno	Mmaks	Mmfs
1	-99.6505	76.7400
2	-78.0217	262.7100
3	-704.2203	309.0600
4	-91.2713	205.8000
5	161.3064	160.8600
6	14.4922	160.8600
7	205.4531	160.8600
8	39.6934	69.7000
9	-78.0217	254.1200
10	79.0292	273.8200
11	279.0938	190.0900
12	-120.8292	160.8600
13	-120.8292	160.8600
14	-279.0938	160.8600

ÖZGEÇMİŞ

İsa Yıldırım, 01.07.1982'de Çankırı'da doğdu. İlk ve orta okul eğitimini Çankırı'nın Ilgaz ilçesinde tamamladı. 2000 yılında Niğde Bor Sağlık Meslek Lisesi'nden mezun oldu. 2003 yılında Ankara Üniversitesi Çankırı Meslek Yüksekokulu İnşaat Programı'ndan mezun oldu. 2004 yılında Dumlupınar Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne dikey geçiş yapma hakkını kazandı ve 2007 yılında bölüm ikinciliği ile mezun oldu. 2008 yılında çalışmaya başladığı Kocaali Kaymakamlığı Köylere Hizmet Götürme Birliği'nde inşaat mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.