

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NORMAL KUVVET TAŞIYAN BİR, İKİ VE ÜÇ BOYUTLU
ÇUBUK SİSTEMLERİN ÇUBUK BOYUNA UZAMA
ELASTİK EĞRİSİ VE BİLGİSAYAR YARDIMI İLE
ÇÖZÜMÜ**

**Hazırlayan
Yener FİLİZ**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ**

Doktora Tezi

**Ocak 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**NORMAL KUVVET TAŞIYAN BİR, İKİ VE ÜÇ BOYUTLU
ÇUBUK SİSTEMLERİN ÇUBUK BOYUNA UZAMA
ELASTİK EĞRİSİ VE BİLGİSAYAR YARDIMI İLE
ÇÖZÜMÜ**

(Doktora Tezi)

**Hazırlayan
Yener FİLİZ**

**Danışman
Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ**

**Ocak 2019
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Yener FILİZ

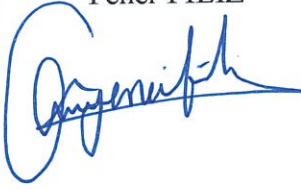


YÖNERGEYE UYGUNLUK

“Normal Kuvvet Taşıyan Bir, İki ve Üç Boyutlu Çubuk Sistemlerin Çubuk Boyuna Uzama Elastik Eğrisi ve Bilgisayar Yardımı İle Çözümü” adlı Doktora tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

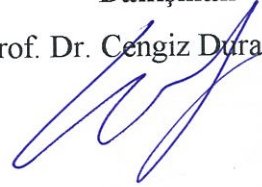
Hazırlayan

Yener FİLİZ



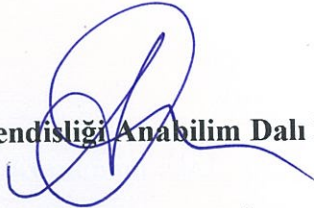
Danışman

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ



İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanı

Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER



KABUL ONAY

Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ danışmanlığında Yener FİLİZ tarafından hazırlanan “Normal Kuvvet Taşıyan Bir, İki ve Üç Boyutlu Çubuk Sistemlerin Çubuk Boyuna Uzama Elastik Eğrisi ve Bilgisayar Yardımı İle Çözümü” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Doktora** tezi olarak kabul edilmiştir.

25 / 01 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Üye : Prof. Dr. Ahmet Alper ÖNER

Üye : Doç. Dr. Okan KARAHAN

Üye : Prof. Dr. Ali Hamza TANRIKULU

Üye : Doç. Dr. İbrahim Özgür DENEME

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 15/02/2019 tarih ve 2019/13-10 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

15 / 02 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR

Bana çalışmalarım süresince her türlü yardımı, fedakârlığı sağlayan ve yardımlarını esirgemeyen başta tez danışmanım Sayın Prof. Dr.Cengiz Duran ATİŞ'e ve doktoram boyunca bana emeği geçen bütün hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimim boyunca, beni yalnız bırakmayan çok sevdiğim saygıdeğer aileme, yüksek lisans ve doktora tez çalışması ve hazırlanması süresince yanımda olan ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen hayat arkadaşım Dilay FİLİZ'e ve biricik kızım Yazel Nira FİLİZ'e en içten teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Yener FİLİZ

Ocak 2019, KAYSERİ

NORMAL KUVVET TAŞIYAN BİR, İKİ VE ÜÇ BOYUTLU ÇUBUK SİSTEMLERİN ÇUBUK BOYUNA UZAMA ELASTİK EĞRİSİ VE BİLGİSAYAR YARDIMI İLE ÇÖZÜMÜ

Yener FİLİZ

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Doktora Tezi, Ocak 2019

Danışman: Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

ÖZET

Yapı inşa teknolojisinin gelişimine ve kullanım gereksinimlerine bağlı olarak büyük açıklığa sahip yapılar günümüzde yaygınlaşmaktadır. Bu tip sistemlerde statik açıdan güvenli bir tasarımın yanında, mimari projeye de uygunluk önemli bir parametredir. Buna bağlı olarak statik projelendirmeyi yapan mühendis büyük açıklıkları minimum sayıda kolon ile tasarlamak zorunda kalmaktadır. Bu sebeple geniş açıklıklı yapılarda kolonları birbirine bağlayan ve plak yüklerini ana taşıyıcılara aktaran kiriş elemanlarında minimum eğilme momenti oluşması beklenmektedir. Böyle bir tasarımda ise kiriş olarak projelendirilen elemanda salt basınç veya çekme gerilmesi oluşması gereklidir. Bu gereklilik betonarme öngerme sistemlerle karşılanabildiği gibi çelik sistemlerle de karşılanabilmektedir. Böylece sadece eksenî yönünde kuvvet taşıyan sistemlerin matematiksel modeli, analizi ve davranışı önem arz etmektedir. Literatürde bu tip elemanlar bir, iki ve üç boyutta çubuk sistemler olarak gruplandırılmaktadır. Çalışmamız kapsamında boyuna uzama elastik eğrisi diferansiyel denklemi ve Mathematica programı yardımıyla çubuk sistemlerin analizi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programda çubuk sistemlerdeki iç kuvvet ve deformasyonları elde etmek için kullanılacak denklemler, matris formundan farklı olarak analitik olarak elde edilmiştir. Bu yaklaşımla kafes çubuk sistemlerin analizi gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca sıcaklık değişimi gibi farklı durumların çözüme yansıtılması mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Çubuk sistemler, matematiksel modelleme, elastik eğrisi diferansiyel denklemi, sayısal çözümleme

**SOLUTION OF THE ONE, TWO AND THREE DIMENSIONAL BAR
SYSTEMS THAT CARRIES AXIAL FORCES WITH THE HELP OF THE
LONGITUDINAL ELONGATION ELASTIC CURVE AND COMPUTER
PROGRAMMING**

Yener FİLİZ

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

PhD Thesis, January 2019

Supervisor: Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

ABSTRACT

Structures with large spans have started to be common depending on the development and usage requirements of the Building Construction technology in our time. In addition to a statically safe design in such systems, conformity to the architectural project is an important parameter, too. Consequently, the engineer who makes the static project planning has to design large spans with a minimum number of columns. For this reason, it is expected that a minimum bending moment will occur in the beam elements that connect the columns in wide span structures and transfer the slab loads to the main structural members. In such a design, only pressure or tensile stress is required in the element projected as a beam. This requirement can be met by reinforced concrete prestressing systems as well as by steel systems. Thus, the mathematical model, analysis and behavior of the systems carrying the force in the direction of only their axis are important. In the literature, such elements are grouped into bar systems in one, two and three dimensions. Within the scope of our study, a computer program has been developed for the analysis of bar systems with the help of longitudinal elongation elastic curve differential equation and Mathematica program. In this program, the equations to be used to obtain internal forces and deformations in bar systems are obtained analytically, unlike matrix form. With this approach, the analysis of 3D truss systems can be performed. It is also possible to reflect different situations such as temperature changes to the solution.

Key Words: Bar Systems, Mathematical Modeling, Elastic curve differential equation, Numerical analysis

İÇİNDEKİLER

NORMAL KUVVET TAŞIYAN BİR, İKİ VE ÜÇ BOYUTLU ÇUBUK SİSTEMLERİN ÇUBUK BOYUNA UZAMA ELASTİK EĞRİSİ VE BİLGİSAYAR YARDIMI İLE ÇÖZÜMÜ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI	ii
KABUL ONAY	iii
ÖNSÖZ/TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ	xiv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvi
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Normal Gerilme.....	8
1.2. Şekil Değiştirme.....	12
1.3. Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi	14
1.4. Basınç veya Çekme Kuvvetine Maruz Çubuk Eleman.....	16

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem Bilgisayar Programlama ve Tekniği	22
2.1.1. Kodlama Tekniği	22

2.1.2. Elemana Ait Veriler	22
2.1.3. Düğüme Ait Veriler	23
2.2. Bir Çubuk Elemanı İçin Boyuna Uzama Diferansiyel Denkleminin Yazılması	24
2.2.1. Çubuk Boyunun Hesaplanması.....	26
2.2.2. Çubuk Sınır Şartlarının Elde Edilmesi	27
2.2.3. Tüm Sistemi Birbirine Bağlayan Denge Denklemlerinin Oluşturulması..	31
2.3. Bilgisayar Programlanması İçin İzlenecek Yol Haritası	34
2.3.1. Çubuk ve Düğüm Verilerinin Bilgisayara Tanıtılması	34
2.3.2. Bilgisayar Yardımıyla Verilerin İşlenmesi.....	36

3. BÖLÜM

PROGRAM KODLAMA VE BULGULAR

3.1. Bir Boyutlu Sistemler İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar	39
3.1.1. Bilgisayar Programı 1D ve Açıklaması	39
3.1.1.1. Program Parçası 1:	39
3.1.1.2. Program Parçası 2:	40
3.1.1.3. Program Parçası 3:	40
3.1.1.4. Program Parçası 4:	41
3.1.1.5. Program Parçası 5:	43
3.1.2. Bir Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Sistem Örnekleri.....	45
3.1.2.1. Uygulama 1:	45
3.1.2.2. Uygulama 2:	48
3.1.2.3. Uygulama 3:	50
3.1.2.4. Uygulama 4:	53
3.1.2.5. Uygulama 5:	56
3.1.2.6. Uygulama 6:	59
3.1.2.7. Uygulama 7:	61
3.1.2.8. Uygulama 8:	64

3.1.2.9. Dairesel Çubukta Oluşan Burulma Problemi.....	65
3.1.2.9.1. Uygulama 9:.....	65
3.1.2.9.2. Uygulama 10:.....	67
3.1.2.10. Uygulama 11.....	69
3.2. İki Boyutlu Sistemler İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar	72
3.2.1. Bilgisayar Programı 2D ve Açıklaması	72
3.2.1.1. Program Parçası 1:	72
3.2.1.2. Program Parçası 2:	73
3.2.1.3. Program Parçası 3:	73
3.2.1.4. Program Parçası 4:	74
3.2.1.5. Program Parçası 5:	78
3.2.2. İki Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Kafes Sistem Örnekleri	78
3.2.2.1. Uygulama 1:	78
3.2.2.2. Uygulama 2:	80
3.2.2.3. Uygulama 3:	84
3.2.2.4. Uygulama 4:	87
3.2.2.5. Uygulama 5:	89
3.2.2.6. Uygulama 6:	92
3.2.2.7. Uygulama 7:	95
3.2.2.8. Uygulama 8:	97
3.2.2.9. Uygulama 9:	99
3.3. Üç Boyutlu Hal İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar	103
3.3.1. Bilgisayar Programı 3D ve Açıklaması	103
3.3.1.1. Program Parçası 1:	103
3.3.1.2. Program Parçası 2:	104
3.3.1.3. Program Parçası 3:	104
3.3.1.4. Program Parçası 4:	106

3.3.1.5. Program Parçası 5:	110
3.3.2. Üç Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Kafes Sistem Örnekleri.....	110
3.3.2.1. Uygulama 1:	110
3.3.2.2. Uygulama 2:	113
3.3.2.3. Uygulama 3:	116
3.3.2.4. Uygulama 4:	119
3.3.2.5. Uygulama 5:	121
3.3.2.6. Uygulama 6.....	124
3.3.2.7. Uygulama 7:	127
3.3.2.8. Uygulama 8:	131

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ ve ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler	139
4.1.1. Sonuçlar.....	139
KAYNAKÇA	141
EKLER.....	145
EK 1.....	145
EK 2.....	158
EK 3.....	167
ÖZGEÇMİŞ.....	176

KISALTMALAR

u_m'	: m numaralı elmana ait birim boy değışimi
A_m	: m numaralı elmana ait kesit alanı
E_m	: m numaralı elmana ait Elastisite modülü
L_m	: m numaralı elman boyu
P_q	: Dış tekil kuvvet
Q_d	: Dış tekil kuvvet
dx_{im}	: m numaralı diferansiyel elman i ucu x koordinat değeri
dx_{ja}	: a elemanı j ucu global x yönü deplasman değeri
dx_{jb}	: b elemanı j ucu global x yönü deplasman değeri
dx_{jc}	: c elemanı j ucu global x yönü deplasman değeri
dx_{jm}	: m numaralı diferansiyel elman j ucu x koordinat değeri
dy_{im}	: m numaralı diferansiyel elman i ucu y koordinat değeri
dy_{ja}	: a elemanı j ucu global y yönü deplasman değeri
dy_{jb}	: b elemanı j ucu global y yönü deplasman değeri
dy_{jc}	: c elemanı j ucu global y yönü deplasman değeri
dy_{jm}	: m numaralı diferansiyel elman j ucu y koordinat değeri
f_{xim}	: Global koordinatlarda m numaralı elman i ucu x yönü normal kuvvet değeri
f_{xja}	: a elemanı j ucu global x yönü kuvvetleri değeri
f_{xjb}	: b elemanı j ucu global x yönü kuvvetleri değeri
f_{xjc}	: c elemanı j ucu global x yönü kuvvetleri değeri
f_{xjm}	: Global koordinatlarda m numaralı elman j ucu x yönü normal kuvvet değeri
f_{yim}	: Global koordinatlarda m numaralı elman i ucu y yönü normal kuvvet değeri
f_{yja}	: a elemanı j ucu global y yönü kuvvetleri değeri
f_{yjb}	: b elemanı j ucu global y yönü kuvvetleri değeri
f_{yjc}	: c elemanı j ucu global y yönü kuvvetleri değeri
f_{yjm}	: Global koordinatlarda m numaralı elman j ucu y yönü normal kuvvet değeri

n_{im}	: m numaralı elman i ucu iç kuvvet değeri
n_{jm}	: m numaralı elman j ucu iç kuvvet değeri
n_m	: m numaralı elmana ait kesit eksenel iç kuvvet
$\underline{t}$	: Gerilme vektörü
u'	: Çubuk birim uzama değeri
u_i	: Çubuk i ucu deplasman değeri
u_j	: Çubuk j ucu deplasman değeri
x_{im}	: m numaralı elman i ucu x koordinat değeri
x_{jm}	: m numaralı elman j ucu x koordinat değeri
y_{im}	: m numaralı elman i ucu y koordinat değeri
y_{jm}	: m numaralı elman j ucu y koordinat değeri
ε_t	: Sıcaklığa bağlı birim boy değişimi
ΔT	: Sıcaklık farkı
Δz	: İki farklı kesit arası şekil değiştirme farkı
F_x	: Düğüm noktası x yönü tekil kuvvet
F_y	: Düğüm noktası y yönü tekil kuvvet
δx	: Yerel çubuk eksenini ile x eksenini arasındaki açı
δy	: Yerel çubuk eksenini ile y eksenini arasındaki açı
A	: Alan
$A(z)$	: Çubuk kesiti değişimi
A'	: Eğik kesite ait alan
E	: Elastisite modülü
N	: Eksenel kuvvet
$N(z)$	: Değişken kesitli çubuk iç kuvvet
dA	: Diferansiyel Alan
dN	: Diferansiyel eksenel kuvvet
du	: Diferansiyel boyuna şekil değiştirme
dz	: Farklı iki kesit arası çubuk üzeri diferansiyel konum farkı

- $n(z)$: Yayılı yükten oluşan aksenal kuvvet
- $u(z)$: Çubuk boyuna şekil değiştirme değeri
- $u(z)'$: Çubuk boyuna birim şekil değiştirme değeri
- α : Malzemeye bağlı sıcaklık değişim katsayısı
- ε : Birim uzama
- θ : Çubuk ekseni ile x ekseni arasındaki açı
- σ : Normal gerilme
- $\sigma(z)$: Değişken kesitli çubuk normal gerilme değeri
- τ : Kayma gerilmesi
- φ : Dik ve eğik kesit arası açı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Çubuk elemana ait çubuk numarası ile erişilebilecek bazı bilgi ve veriler	23
Tablo 2.2. Düğüme ait olup, düğüm numarası ile erişilebilecek bazı bilgi ve veriler	24
Tablo 3.1. Örnek 1 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	46
Tablo 3.2. Örnek 2 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	49
Tablo 3.3. Örnek 3 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	51
Tablo 3.4. Uygulama 4 ‘de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	55
Tablo 3.5. Uygulama 5’ de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	58
Tablo 3.6. Uygulama 6 ‘da verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler	61
Tablo 3.7. Öngerme sonucu beton ve çelikte oluşan gerilmeler	63
Tablo 3.8. Burulma sonucu oluşan en büyük kayma gerilmeleri	67
Tablo 3.9 Kafes sistemin yüklü ucunda deplasman bileşenleri.....	80
Tablo 3.10 Örnek 2 de verilen kafes sistemin yüklü ucunda deplasman bileşenleri.....	82
Tablo 3.11. Derrick tip kafes için çubuk elemanların tarifleri ve normal kuvvetler	85
Tablo 3.12. Girgin vd. (2012)’ alınan kafes sistem çubuk tarifi ve normal kuvvetler.....	88
Tablo 3.13. Elastik mesnet bulunan düğümde deplasman bileşenleri.....	92
Tablo 3.14. Çubuk kuvvetleri (N) ve gerilmeler (MPa) (elastik mesnetli ve mesnetsiz).....	92
Tablo 3.15. Kafes sistem çubuk kuvvetlerinin karşılaştırılması.....	94
Tablo 3.16 Örnek 9 için elde edilen çubuk alanları (in ²)ve karşılaştırılması	102
Tablo 3.17 Örnek 9 için çubuklarda oluşan gerilmeler (psi).....	102
Tablo 3.18 Örnek 1 için elde edilen çubuk kuvvetleri ve gerilmeler	112
Tablo 3.19 Örnek 1 için elde edilen “1” numaralı düğüm deplasmanları	113

Tablo 3.20 Çubuk uç bağlantı düğümleri, alan ve elastisite modülleri	114
Tablo 3.21 Kafes sistem düğüm koordinat, serbestlik ve tekil yükleri	114
Tablo 3.22. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	115
Tablo 3.23. Çubuk kuvvetleri	116
Tablo 3.24. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	118
Tablo 3.25. Çubuk kuvvetleri.....	118
Tablo 3.26. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	121
Tablo 3.27 Çubuk kuvvetleri.....	121
Tablo 3.28. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	123
Tablo 3.29. Çubuk kuvvetleri.....	124
Tablo 3.30. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	126
Tablo 3.31. Çubuk kuvvetleri.....	127
Tablo 3.32. Rölatif düğüm deplasmanları (m)	130
Tablo 3.33. Çubuk kuvvetleri.....	131
Tablo 3.34. Kubbe kafes sistemin optimum kesit alanlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması	138

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış bir çubuk.....	8
Şekil 1.2.	İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış bir çubuk ve A-A kesitinden ayrılmış.....	8
Şekil 1.3.	Değişken kesitli çubuk, iki ucundan çekme kuvveti uygulanmış	10
Şekil 1.4.	Değişken kesitli çubuğun A-A kesiti iç kuvvet ve gerilmesi	10
Şekil 1.5.	İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış çubuk ve üzerinde alınan eğik kesit (a-a).....	11
Şekil 1.6.	Eğik kesitin ayrık hali ve oluşan iç kuvvet (N) ve gerilme vektörü (t)	11
Şekil 1.7.	Eğik kesitte oluşan t gerilme vektörünün bileşenlerine ayrılması.....	12
Şekil 1.8.	Uçlarında çekmeye zorlanan bir çubuk ve kesitlerin yükleme sonucu yer değiştirmesi	13
Şekil 1.9.	Kesitlere ait noktalar (z ve z+δz kesitleri) ve onlara ait boyuna uzama grafiği	13
Şekil 1.10.	Tipik yumuşak çelik için gerilme şekil değiştirme eğrisi	15
Şekil 1.11.	Tipik bir beton için gerilme şekil değiştirme eğrisi	15
Şekil 1.12.	F_1 ve F_2 kuvveti ve $n(z)$ yayılı yüküne maruz çubuk ve sonsuz küçük elamanın serbest cisim diyagramı	17
Şekil 2.1.	Çubuk uç düğüm noktalarına ait koordinatlar ve çubuk boyu uzunluğu ilişkisi	26
Şekil 2.2.	Yerel ve global koordinatlarda çubuk düğüm noktalarına ait deplasmanlar.....	28
Şekil 2.3.	Yerel ve global koordinatlarda çubuk düğüm noktalarına ait normal kuvvetler.....	30
Şekil 2.4.	Genel bir düğüm noktası, bağlanan çubuk uç kuvvetleri ve tekil dış kuvvetler.....	32
Şekil 3.1.	İki ucundan mesnetli, ara noktasından yatay tekil yüklü çubuk sistem	45
Şekil 3.2.	Sistemde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği	47
Şekil 3.3.	Sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği	47

Şekil 3.4.	Deformasyonlu ve deformasyonsuz sistemlerin karşılaştırılması.....	47
Şekil 3.5.	Örnek 1 ile aynı sistem, birinci çubukta düzgün yatay yayılı yük mevcut	48
Şekil 3.6.	Örnek 2 sisteminde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği.....	49
Şekil 3.7.	Örnek 2 sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği.....	49
Şekil 3.8.	Örnek 2 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği.....	50
Şekil 3.9.	Örnek 3 sisteminde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği.....	52
Şekil 3.10.	Örnek 3 sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği.....	52
Şekil 3.11.	Örnek 3 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği.....	52
Şekil 3.12.	Uygulama 4 literatürden alınan çubuk sistem problemi.....	53
Şekil 3.13.	Uygulama 4 sisteminde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği	55
Şekil 3.14.	Uygulama 4 sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği	55
Şekil 3.15.	Uygulama 4 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği	56
Şekil 3.16.	Uygulama 5 literatürden alınan çubuk sistem problemi.....	57
Şekil 3.17.	Kendi ağırlığı altında kesik koni problemi.....	59
Şekil 3.18.	Ön germeli betonarme çubuk	62
Şekil 3.19.	Dairesel kesite sahip çelik gömlek ve silindirik çelik çekirdek	66
Şekil 3.20.	Literatürden alınan değişken kesitli çubuk.....	68
Şekil 3.21.	Sıcaklık değişimi ve tekil kuvvete maruz çubuk sistem	70
Şekil 3.22.	Çubuk sistemin boyuna uzama dağılımı	71
Şekil 3.23.	Çubuk sistemin normal kuvvet dağılımı	71
Şekil 3.24.	Çubuk sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali.....	71
Şekil 3.25.	Basit kafes sistem	79
Şekil 3.26.	Birinci örnek için seçilen sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali.....	80
Şekil 3.27.	İki elemanlı basit kafes sistem	81
Şekil 3.28.	İkinci örnek için seçilen sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali.....	83

Şekil 3.29. Derrick tip kafes sistem.....	84
Şekil 3.30. Derrick tip kafes sistemin çubuk kuvvetleri ve deformasyonlu hali	86
Şekil 3.31. Onüç elemanlı kafes örneği.....	87
Şekil 3.32. Girgin vd. (2012)'den alınan kafes sistem ve deformasyonlu hali	89
Şekil 3.33. Elastik mesnetli basit kafes sistem	90
Şekil 3.34. Hiperstatik kafes sistem	93
Şekil 3.35. Hsieh (1970)'den alınan örneğin deformasyonlu ve deformasyonsuz hali.....	94
Şekil 3.36. Timoshenko ve Young (1965), sayfa 266'dan alınan kafes sistem.....	95
Şekil 3.37. Timoshenko ve Young (1965)'den sıcaklık değişiminden sonraki hali.....	97
Şekil 3.38 Timoshenko ve Young (1965), kafes sistem üç yükleme sonucu	99
Şekil 3.39 Auer (2005) ten alınan kafes optimizasyon problemi	100
Şekil 3.40. Logan (2007)'dan alınan dört düğüm üç çubuklu kafes sistem	111
Şekil 3.41 Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 12 çubuklu 6 düğümlü kafes	113
Şekil 3.42 Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 18 çubuklu 8 düğümlü kafes	117
Şekil 3.43 Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 25 çubuklu 10 düğümlü kafes	120
Şekil 3.44 Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 30 çubuklu 12 düğümlü kafes	122
Şekil 3.45. Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 39 çubuklu 16 düğümlü kafes	125
Şekil 3.46. Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 96 çubuklu 32 düğümlü kafes	128
Şekil 3.47 Kubbe kafesin X-Y düzlemindeki görünüşü ve numaralandırmalar.....	134
Şekil 3.48 Kubbe kafesin X-Z düzlemindeki görünüşü ve geometrik veriler	134

GİRİŞ

Bir yapı sisteminin analizinde doğru sistem modelinin oluşturulması en önemli aşamadır. Literatürde yapısal bir elemanın modellenmesinde farklı tip yaklaşımlar bulunmaktadır. Bunlar;

- Sonlu Elemanlara Dayalı Modeller
- Fiber Modeller
- Mekanik (Yay Tanımlı) Modeller
- Matematiksel Modeller

dir. Bu yaklaşımlardan matematiksel modellerde amaç, sistemin yükler altındaki karmaşık davranışının belirli sadeleştirmelerle tanımlanmasını kapsamaktadır. Genel olarak matematiksel modellemeler diferansiyel elemana ait malzeme özelliklerinin ve sistemin genel özelliklerinin belirlenmesi, yüklerin ve sınır şartlarının tanımlanması aşamalarını içermektedir [1]. Yapı sistemlerinin yükler altındaki davranışının bilgisayar ortamında analizinde karmaşık modellerde ortaya çıkabilmektedir. Bu durum analizin hata oranını ve analiz süresini artırmakla birlikte yakınsamayan sonuçlarında ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Bu sebeple modellerin ilave denklemler ve bazı kabuller ile sadeleştirilmesi gerekli olabilmektedir. Bununla birlikte hata oranı en düşük modele ulaşabilmek için matematiksel modeller içerisindeki denklem formülasyonlarının detaylandırılması önemlidir. Ayrıca modellenecek olan yapı sisteminin malzeme, geometri ve sınır şartlarının doğru bilinmesi ideal matematiksel modelin kurulmasında önemlidir. Çünkü yapı sistemlerini oluşturan elemanlar yükler altında farklı davranışlar sergileyebilmektedir. Bu anlamda yapı sistemlerini oluşturan elemanlar genel olarak düşey ve yatay elemanlar olarak ayrılmaktadır. Düşey elemanlarda davranışa eksenel kuvvet hakimken yatay elemanlarda eğilme etkisi ön plana çıkmaktadır. Ayrıca bu yapısal elemanların davranış ve modelleme açılarından önemli olan, elastik eğrileri de farklılık gösterecektir. Örneğin basit eğilmede eğilme

momenti çubuk boyunca değişmediğinden eğrilik sabit kalacak ve çubuk eksenini bir daire yayına dönüşecektir. Kesmeli eğilmede ise eğrilik basit eğilmeden farklı olarak değişecektir. Dolayısıyla elemanlar üzerinde etkisi olan kesit tesirlerinin de davranış modelleri üzerinde önemli etkisi vardır [2]. Yapı sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenmesinde yapısal elemanlar plak ve çubuk olarak iki farklı türde oluşturulabilmektedir. Bir boyutu diğer iki boyutu yanında göreceli olarak küçük kalan yapı elemanları plak eleman olarak isimlendirilmektedir. Plak eleman olarak sadece döşemeler değil perdelerde bu modelleme yaklaşımı ile tanımlanabilmektedir.



Düşey ve Yatay Plak Elemanlar [3]

Plak elemanlar düzlem geometriye sahiptir. Eğrisel geometriye sahip olan plak elemanlara kabuk ismi verilmektedir. Bu elemanlar da eğrisel geometriye sahip yapılarda kullanılır.



Kabuk Sistem [4]

Diğer yandan, bir boyutu diğer iki boyutunun yanında çok büyük olan elemanlar çubuk eleman olarak tanımlanmaktadır. Çubuk elemanlarda kendi içinde doğrusal eksenli çubuklar (çubuğun kesitlerinin ağırlık merkezini birleştiren eksen) ve eğri eksenli

Çubuklar olmak üzere iki genel sınıfa ayrılmaktadır. Doğru eksenli çubuklar, kolon ve kiriş olarak ya da her ikisinin birleşimi olabilen yarı kolon-yarı kiriş çubuk olarak davranış gösterebilmektedir.



Doğru Eksenli ubuklar [5]

Eğri eksenli çubuklar ise hem mimari perspektif açısından hem de yükleri sadece basınç yoluyla iletmek amacıyla kemer tipisistemlerde kullanılabilir. ubuk elemanların birlikte kullanılmaları ile çerçeve sistemler oluşmaktadır.



Eğri Eksenli ubuk [6]

Bu eleman tipleri yükler altında farklı davranışlar sergilediğinden modelleme aşamasında farklı diferansiyel denklem takımlarına bağılı analizleri gerçekleştirilmektedir. Günümüz paket programları kullanıcıya kolaylık sağlayan ara

yüzleri sayesinde bu elemanların bilgisayar ortamında hızlı tanımlanmasını sağlamaktadır. Ancak bu tip sistemlerin yapısal analizlerine yeni algoritmalarla farklı yaklaşımlar kazandırabilmek için öncelikle eleman davranışının anlaşılabilmesi önemlidir.

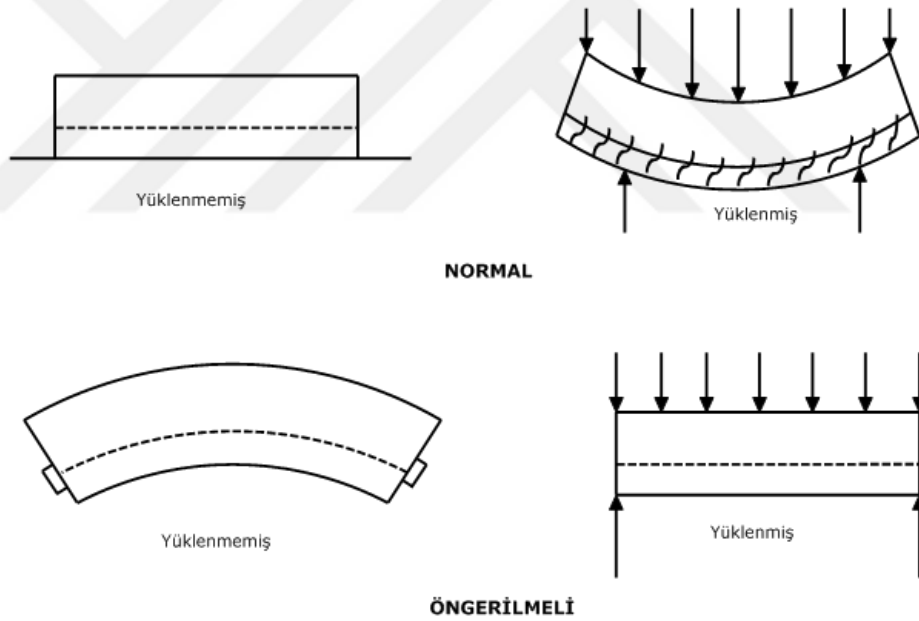
Bir yapısal analizde taşıyıcılık açısından emniyetli çözüm kaçınılmazdır. Ancak günümüzde ekonomiklik parametresi de son derece önem kazanmıştır. Örneğin içerisinde hareket kolaylığı sağlaması nedeniyle minimum sayıda kolon bulunduran endüstriyel amaçlı büyük açıklıklı sistemler yapılmaktadır. Geniş açıklıklı köprüler ve kapalı hacimler inşa edilmektedir. Yine benzer şekilde alışveriş merkezlerinde hem estetik hem de rahatlık sağlamak amacıyla ferah mekânlara ihtiyaç duyulmaktadır. Büyük açıklıklı taşıyıcı sistemlerin betonarme olarak imal edilmesi halinde kesit tesirlerine bağlı olarak çok büyük kesitler ortaya çıkmaktadır. Standart yapılarda ise bu durum yapı maliyetinin aşırı artmasına sebep olabilmektedir. Büyük açıklıklı sistemler çelik taşıyıcı sistemlerle de imal edilebilmektedir. Ancak ülkemizde işçilik ve inşaat teknolojisine bağlı olarak çelik yapılar genellikle tek katlı endüstri yapıları veya çok katlı teknolojik binalar şeklinde uygulanmaktadır [7]. Büyük açıklıklı sistemlerin inşasında kullanılan başka bir sistem ise katlanmış plaklı ve kabuk sistemlerdir.



Katlanmış Plaklı Sistem [4]

Bu tip sistemlerin kullanılmasının genel amacı, hareketli ve hareketsiz yüklerin elemanların düzlemi içinde yayılmasını sağlayarak, elemanı salt çekmeye veya basınca çalıştırıp, elemanların düzlemlerine dik olarak etkimeye çalışan kuvvetleri en az seviyeye çekerek oluşacak eğilme momentlerini minimum seviyeye çekmektir. Büyük açıklıkların geçilmesinde en ekonomik sistemler, çubuk elemanlardan oluşan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Çubuk eksenine dik yönde gelen yükler eğilme momentleri ortaya çıkmaktadır. Eğilme momentinin mertebesi her ne kadar yükün kendisi ile doğru orantılı olsa da, çubuk uçları arasında bulunan mesafenin açıklığın

karesi ile de doğru orantılıdır. Açıklık büyüdükçe eğilme momentleri de aşırı derecede büyümekte dolayısı ile tasarımda çubuk kesiti büyümektedir. Betonarme sistemlerde bunu önlemek ve betonun basınca karşı olan yüksek dayanımını faydalı hale getirmek amacıyla, çubuk kesitlerine çekme bölgesine konulacak donatı çeliğine önceden öngermeli (öngerme) ya da sonradan öngermeli (ardgerme) sistemler ile çekme gerilmesi yüklenir. Çubuk eğilmeye karşı yük taşımakla birlikte üzerinde çekme gerilmeleri oluşmaz. Dolayısıyla çubuğun taşıma gücüne erişilmemiş olur. Çubuğun taşıma gücüne erişmek için daha fazla yük yüklenmesi gerekir ki, çubuğun taşıma kapasitesin artmış olduğu anlaşılır. Öngerme tekniği ile çubuk taşıma gücünü çubuk boyutlarını büyütmeden dolayısıyla ölü yükleri artırmadan öngerme uygulaması ile artırmak mümkün olmaktadır. Öngerme sisteminin birçok alanda uygulandığı bilinmektedir [8].



Öngermeli ve normal kirişin prensip olarak karşılaştırılması [9]

Yapı sisteminin ağırlıklarını artırmadan geniş açıklıkları geçmenin yollarından bir diğeri ise, çubuklardan oluşturulacak bir sistemi eğilme momentlerini sıfıra yaklaştıracak şekilde tasarlayarak, çubukları sadece çekme veya basınca çalıştırmaktır. Bu ise yapı sistemini, çelik çubuklardan oluşan taşıyıcı kafes sistem tasarlamak ile mümkün olmaktadır. Çubuklar ile kafes sistem tasarlanırken, çubukların eksenine yer değiştirecek şekilde eksene dik yükleme, yani çubuklarda eğilmeye sebep olacak şekilde yükleme yapılmaz. Modellerde düğüm noktaları bir mafsalsal gibi davranacak şekilde

tasarlanarak, hesaplarda mafsal olarak kabul edilirler. Sistem üzerine yüklenecek yükler düğüm noktalarına yüklenerek, çubuklara taşınması sağlanır [10, 11,12, 13]. Dolayısıyla büyük açıklıklı sistemlerin betonarme ve çelik çubuk elemanlar ile geçilmesinde normal kuvvet taşıyan eleman davranışı ve teorisi önemli olmaktadır. Yapısal analizlerde farklı türde ve sadece normal kuvvet taşıyan çubuklar ile sistemler oluşturulmakta ve ortaya çıkan problemlerin çözümü ve kuvvet dağılımlarının tespiti yapılmaktadır. Literatürde bu sistemler;

- *Bir boyutta sadece eksenel normal kuvvete maruz çubuk sistemler*
- *İki boyutta sadece eksenel normal kuvvete maruz çubuk sistemler*
- *Üç boyutta sadece eksenel normal kuvvete maruz çubuk sistemler*

olarak isimlendirilmektedir.

Bir boyutlu çubuk sistemler, bir boyutta yani tek eksenenden oluşmaktadır. Bu tür sistemler tek çubuktan başlamak üzere birçok çubuktan oluşabilmektedir. Sistemi oluşturan çubukların malzeme ve geometrik özellikleri de farklı olabilmektedir. Çubuklar bir birine paralel veya seri şekilde bağlanabilirler [14]. İki boyutta sadece eksenel normal kuvvete maruz ve eksenel normal yük taşıyan sistemler düzlemsel kafes sistem olarak bilinmektedir. Düzlemsel kafes sistemlerin sadece normal kuvvet taşıyan çubuk elemanlar tarafından oluşturulmaktadır. Çubuklar uygun şekilde düğüm noktalarında birleştirirler. Çubuk elemanlar narin olduğu için yükler çubuk gövdelerine uygulanmayıp, doğrudan düğüm noktalarına aktarılırlar. Düğüm noktalarına uygulanan yükler çubuklara eksenel yük olarak denge ve uygunluk koşullarınca dağıtılırlar [15]. Üç boyutta sadece eksenel normal kuvvete maruz ve eksenel normal yük taşıyan sistemlerin ise üç boyutlu kafes sistem veya uzay kafes sistemleri olarak bilinmektedir. Düzlemsel kafes sistemlerinde olduğu gibi, üç boyutlu veya uzay kafes sistemleri de sadece normal kuvvet taşıyan çubuk elemanlar tarafından oluşturulmaktadır. Burada da çubuklar uygun şekilde düğüm noktalarında birleştirirler. Yine çubuk elemanlar narin olduğu için yükler çubuk gövdelerine uygulanmayıp, doğrudan düğüm noktalarına aktarılırlar. Düğüm noktalarına uygulanan yükler çubuklara eksenel yük olarak denge ve uygunluk koşullarınca dağıtılırlar. Bu durumda ortaya çıkan kafes sistem üç boyutludur [15, 16]. Bu sistemler içerisindeki elemanlarda sadece basınç ve çekme

gerilmelerinin oluşması beklenmektedir. Bu tip sistemlerin analizinde farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan en çok bilinen yöntemler ise düğüm noktası dengesi yöntemi ve Ritter kesim metodudur [10, 11, 12, 13]. Bu iki metotta çubuk kuvvetleri doğrudan bulunduğu için kuvvet metodu olarak ta bilinirler. Bunlara ilave olarak sonlu eleman yöntemleri de kullanılarak çubuk sisteme ait rijitlik matrisleri tespit edilerek, düğüm noktalarının yer değiştirmeleri bulunur. Yer değiştirmelere bağlı olarak, daha sonra çubuk kuvvetlerinin hesabı yapılır. Bu yöntemde ise yer değiştirmeler bulunduğundan, yer değiştirme yöntemi yada deplasman yöntemi adı verilmektedir.

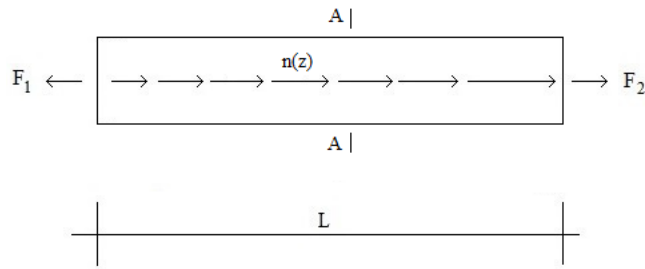
Bu tez çalışması kapsamında sadece normal kuvvet taşıyan çubuk ve çubuklardan oluşan sistemlerin analizinde yeni bir modelleme yaklaşımı ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımda deplasman yöntemi esas alarak denge denklemleri rijitlik matrisleri vasıtasıyla değil, doğrudan analitik olarak elde edilmektedir. Boyuna uzama elastik eğrisi denklemi diferansiyel olarak çözümünü alan bu yaklaşım sayesinde çubuk sistemlerin analizi daha hızlı gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca hata riski yüksek olan büyük problemler sayısal olarak çözülebilecektir. Mathematica programında yazılan algoritmalar ile oluşturulan bu yaklaşım güncel paket programlara adapte edilebilecektir. Kullanıcıya tüm parametrelere hakim olma serbestisi tanıyan bu yaklaşımla sıcaklık değişimi gibi farklı durumların çözüme yansıtılması daha kolay mümkün olabilecektir. Ayrıca çalışma kapsamında sayısal olarak çözümü gerçekleştirilen modellerin sonlu elemanlar yardımı ile de çözümü sağlanmıştır. Analiz sonuçları karşılaştırılarak buna ilişkin bulgular belirlenmiştir. Tez çalışması kapsamında oluşturulan elastik eğri denklemlerinin diferansiyel çözümünü esas alan bu yaklaşım sadece çubuk sistemlerin değil farklı tip yapısal elemanlarında bu yaklaşımla çözümüne ışık tutacaktır. Çalışmamızda yapısal analizlerin daha hızlı ve minimum hata oranına bağlı gerçekleştirilebilmesi hedeflenmiştir. Ayrıca analizlerde tasarımcıya model detaylarına müdahale edebilme imkânı sağlanmaktadır. Bu algoritmalar yardımıyla çubuk sistemlerin analizine özelleşmiş yeni paket programlar geliştirilebilecektir. Mevcut programlar bu yaklaşımın avantajlarına bağlı olarak güncellenebilecektir.

1. BÖLÜM

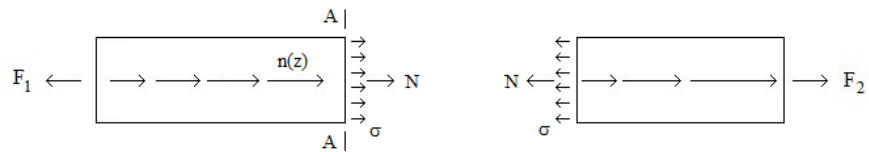
GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Normal Gerilme

Kesiti sabit bir çubuk göz önüne alınarak, çubuk kesitlerinin ağırlık merkezini birleştiren ve çubuk eksenini adı verilen noktalar kümesi yönünde, çubuğa iki ucundan kuvvet uygulandığında, uygulanan dış kuvvetler çubuk içinde iç zorlanmaların oluşmasına neden olmaktadır (Şekil 1.1.) [17, 18]. Oluşan iç kuvvetlerin bileşkesi çubuk eksenini boyunca olup, bileşke kuvveti oluşturur, bu bileşke kuvvet ise Newton'un yasası gereği dış kuvvete eşittir. Bileşke kuvveti veya dış kuvveti oluşturan, kesit içine dağılmış, yönü çubuk eksenini yönünde olan iç kuvvete ise normal gerilme denmektedir. Oluşan iç kuvvetler ve çubuk boyunca kesit üzerine dağılmış gerilmeler, çubuk üzerinde alınacak her hangi bir kesit üzerinde gösterilebilir (Şekil 1.2.).



Şekil 1.1. İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış bir çubuk



Şekil 1.2. İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış bir çubuk ve A-A kesitinden ayrılmış

Tüm kesite etkiyen gerilmelerin toplamının, iç kuvvete eşit olması dengenin sağlanması için gereklidir. Kesitteki gerilmelerin toplamı kesit alanı üzerindeki gerilmenin integrali anlamına gelmektedir. Kesit üzerinde küçük bir dA alanı alınıp, gerilme ile çarpılırsa diferansiyel dN kuvveti elde edilerek, aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Denklem 1.1.).

$$dN = \sigma dA \quad (1.1)$$

Küçük dN ifadesinin integrali kesit alanı A üzerinde alınırsa, aşağıdaki Denklem 1.2.'de verilen ifade elde edilir.

$$\int_A dN = \int_A \sigma dA \quad (1.2)$$

Denklem 1.2.'nin anlamı ise tüm dN lerin toplamı, N iç kuvveti olmaktadır. Böylece Denklem 1.3 'de verilen normal kuvvet ifadesi ortaya çıkmaktadır.

$$N = \int_A \sigma dA \quad (1.3)$$

Yukarıdaki ifade de (Denklem 1.3.), gerilmenin kesit içerisinde düzgün dağıldığı kabul edilirse [17], gerilme sabit olur ve Denklem 1.4.'de olduğu gibi integral dışına aşağıdaki şekilde taşınabilir.

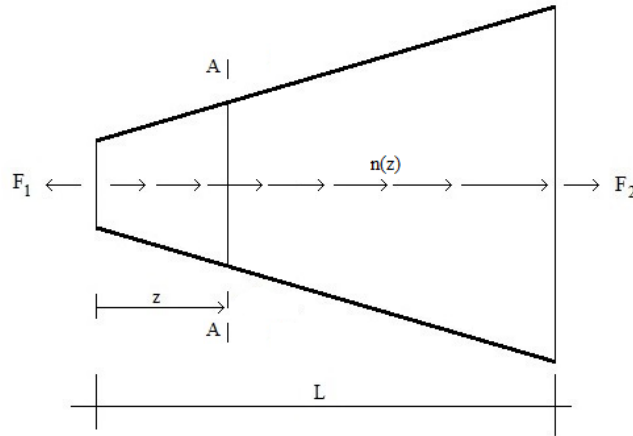
$$N = \sigma \int_A dA \quad (1.4)$$

Bir alan üzerinde bulunan küçük diferansiyel alanların toplamının yine, üzerinde integral alınan alanı vereceği aşikârdır. Böylece iç normal kuvvetin (N) ifadesi gerilme ve kesit alanı cinsinden Denklem 1.5.'de verildiği gibi elde edilmiş olur.

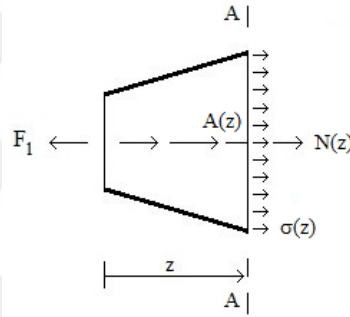
$$N = A \sigma \quad (1.5)$$

Bu ifadeden de, gerilme ifadesi Denklem 1.6.'da sunulan kesit alanı ve normal kuvvet cinsinden elde edilir.

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1.6)$$



Şekil 1.3. Değişken kesitli çubuk, iki ucundan çekme kuvveti uygulanmış



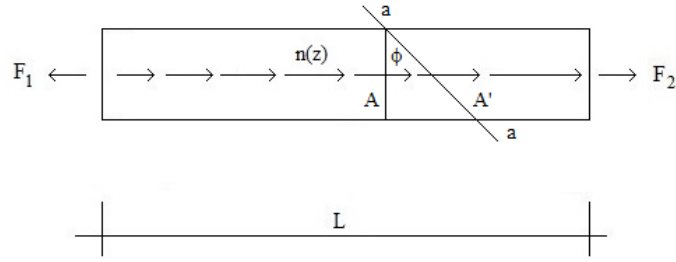
Şekil 1.4. Değişken kesitli çubuğun A-A kesiti iç kuvvet ve gerilmesi

Çubuk kesitinin değişken olması halinde ise (Şekil 1.3-1.4.); gerilme değeri aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Denklem 1.7.).

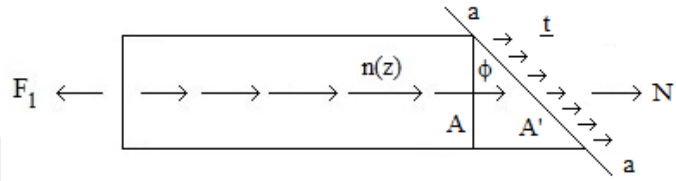
$$\sigma(z) = \frac{N(z)}{A(z)} \quad (1.7)$$

Bu durumda çubuk kesiti $A(z)$ 'nin değişimini " z "ye bağlı bir fonksiyondur. Bununla birlikte çubuk iç kuvveti $N(z)$ değerinde " z "ye bağlı bir fonksiyon olacağı görülmektedir [18].

Çubuğa etkiyen dış kuvvet, çubuğu uzatmaya çalışıyorsa, buna çekme yönünde normal kuvvet, oluşturduğu gerilmeye ise çekme gerilmesi denmektedir. Aksine çubuğu kısaltmaya çalışıyorsa, buna basınç yönünde normal kuvvet, oluşturduğu gerilmeye ise basınç gerilmesi denilmektedir.



Şekil 1.5. İki ucundan çekme kuvveti uygulanmış çubuk ve üzerinde alınan eğik kesit (a-a)



Şekil 1.6. Eğik kesitin ayrık hali ve oluşan iç kuvvet (N) ve gerilme vektörü ($\underline{t}$)

Çubuk üzerinde, Şekil 1.5 ve Şekil 1.6.'de olduğu gibi, eğik bir kesit alınarak eğik kesit üzerinde oluşacak gerilmeler incelenebilir. Yukarıdaki Şekil 1.5-1.6 incelendiğinde, eğik kesite ait alanın A' olduğu, dik kesite ait alanın A olduğu, dik kesit ve eğik kesit arasında kalan açının (ϕ) olduğu görülür. $\underline{t}$ ise gerilme vektörü olup, değeri aşağıdaki Denklem 1.8.'de verildiği gibi yazılabilir [19];

$$\underline{t} = \frac{N}{A'} \quad (1.8)$$

Eğik kesit alanı A' ile dik kesite ait A alanı arasında Denklem 1.9.'da verilen bir ilişki vardır.

$$A = \cos(\phi) A' \quad (1.9)$$

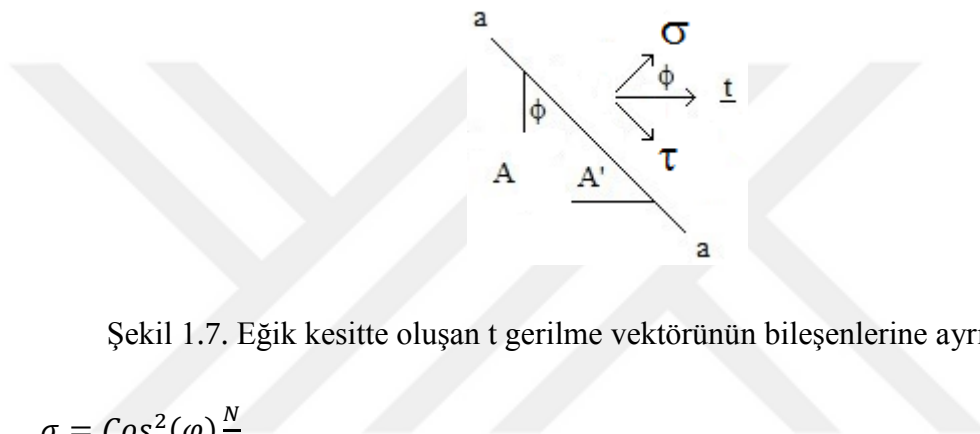
Eğik kesit alanı A' nın, dik kesit alanına bağlı olarak değeri Denklem 1.9.'dan çekilirse, Denklem 1.10.'da verilen eğik alan elde edilmektedir.

$$A' = \frac{A}{\cos(\phi)} \quad (1.10)$$

Eğik kesit alanının değeri, gerilme vektöründe (Denklem 1.8.) yerine konulduğunda, $\underline{t}$ gerilme vektörünün değeri aşağıda Denklem 1.11.'de sunulduğu şekilde elde edilmektedir.

$$\underline{t} = \frac{N}{A/\cos(\varphi)} = \cos(\varphi) \frac{N}{A} \quad (1.11)$$

Elde edilen $\underline{t}$ gerilme vektörü, eğik kesite dik değildir. Dolayısıyla $\underline{t}$ vektörünün eğik kesite dik ve paralel olan bileşenleri bulunabilir. Bu bileşenler ise eğik kesite normal ve teğet olan bileşenler olarak bilinirler (Şekil 1.7). Normal bileşene normal gerilme, teğet olan bileşene ise kayma gerilmesi adı verilir. Eğik kesite normal olan gerilme bileşeninin değeri ve teğet olan gerilme bileşeninin değeri aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Denklem 1.12. ve 1.13.).



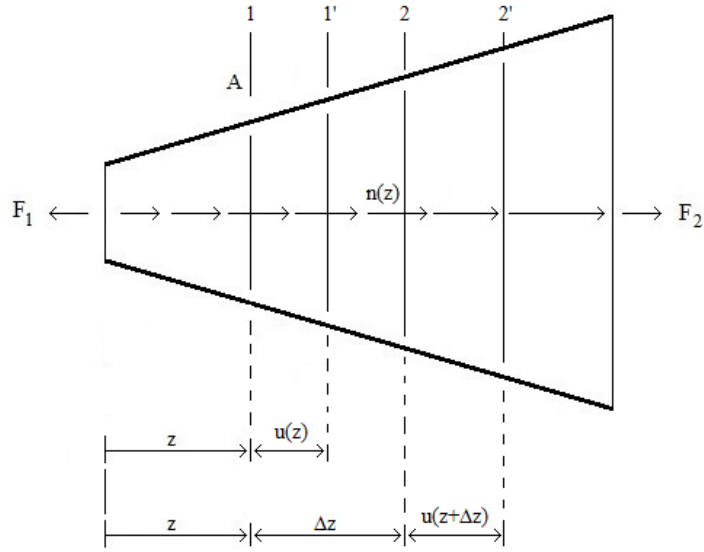
Şekil 1.7. Eğik kesitte oluşan $\underline{t}$ gerilme vektörünün bileşenlerine ayrılması[19]

$$\sigma = \cos^2(\varphi) \frac{N}{A} \quad (1.12)$$

$$\tau = -\sin(\varphi) \cos(\varphi) \frac{N}{A} \quad (1.13)$$

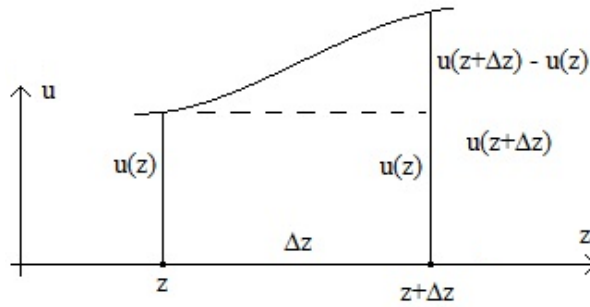
1.2. Şekil Değiştirme

İki ucuna çekme kuvveti uygulanan bir çubuk göz önüne alındığında, çubuğa normal kuvvet uygulandığında herhangi bir “z” noktasında olan 1 kesiti (kuvvet uygulandıktan sonra) yer değiştirerek 1’ kesitine dönüşür. Çubuk üzerinde kesitin 1 yerinden; 1’ yerine kadar olan hareketi arasında kalan kısma uzama denilmektedir. Uzama değeri ise $u(z)$ ile gösterilmektedir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Uçlarında çekmeye zorlanan bir çubuk ve kesitlerin yükleme sonucu yer değiştirmesi

Benzer şekilde, $z+\Delta z$ noktasında bulunan 2 kesiti de normal kuvvetin zorlamasıyla 2' kesitine dönüşür. Bu durumda da 2 kesiti ve 2' kesiti arasında kalan uzunluk ise $u(z+\Delta z)$ miktarına eşittir. “z” noktasında bulunan “1” kesiti ile “z+Δz” noktasında bulunan “2” kesitlerine ait yer değiştirme (uzama) miktarlarının arasındaki fark ise $u(z+\Delta z)$ değeri ile $u(z)$ değerinin farkına eşit olarak elde edilebilir. Çubuk üzerinde bulunan her bir kesite ait yer değiştirme değerlerinin bilindiği varsayımıyla, elde edilen değerlerin iki boyutlu düzlemde grafiği çizildiğinde (Şekil 1.9.); aşağıdaki gibi bir fonksiyon ortaya çıkmaktadır. İlâveten daha önce elde edilen $u(z)$ ve $u(z+\Delta z)$ değerleri de Şekil 1.9 ‘da üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 1.9. Kesitlere ait noktalar (z ve z+Δz kesitleri) ve onlara ait boyuna uzama grafiği

Uzama fonksiyonu “u” ‘nun “1” ve “2” kesitleri(z ve z+dz noktalarındaki kesitler) arasındaki değişimi, Denklem 1.14 ve Denklem 1.15.’de sunulduğu gibi elde edilebilir.

$$u(z)' = \frac{u(z+\Delta z)-u(z)}{\Delta z} \quad (1.14)$$

$$\lim \Delta z \rightarrow 0 ; u(z)' = \frac{du}{dz} \quad (1.15)$$

İki kesitin yer değişimleri arasındaki farkın Δz üzerinde dağıtılması, birim boyun uzaması anlamına gelmektedir. Birim boyun uzaması ise ε ile gösterilmektedir. Bu durumda; “u”‘nun türevi olan u’ değeri birim uzama olan ε ’a eşit olur. Böylece; Denklem 1.16.’ da verilen birim uzama ifadesi elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{du}{dz} \quad (1.16)$$

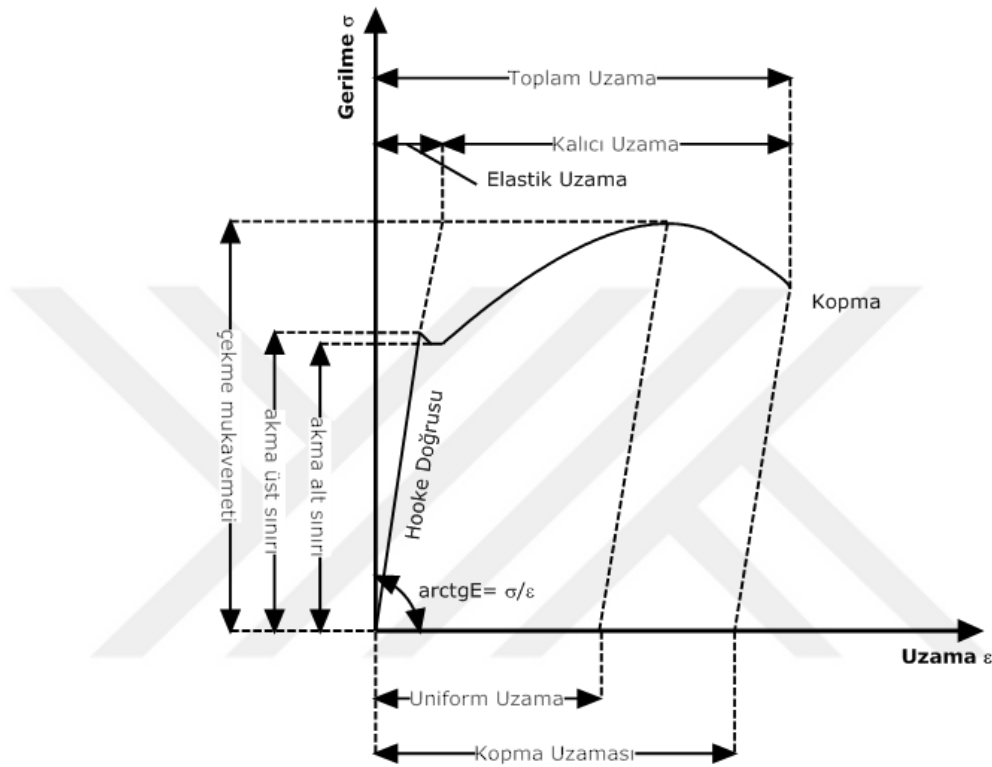
Burada ε_z , u’ değerine eşit olup, boyuna uzama “u” fonksiyonunun z’ye göre türevi olduğu anlaşılmaktadır. Yani, boyuna uzama fonksiyonu “u” nun herhangi bir z noktasındaki türevi o noktadaki birim uzama değerine eşittir. Buna kinematik bağıntı adıda verilmektedir [20, 21, 22, 23, 24, 25].

1.3. Gerilme Şekil Değiştirme İlişkisi

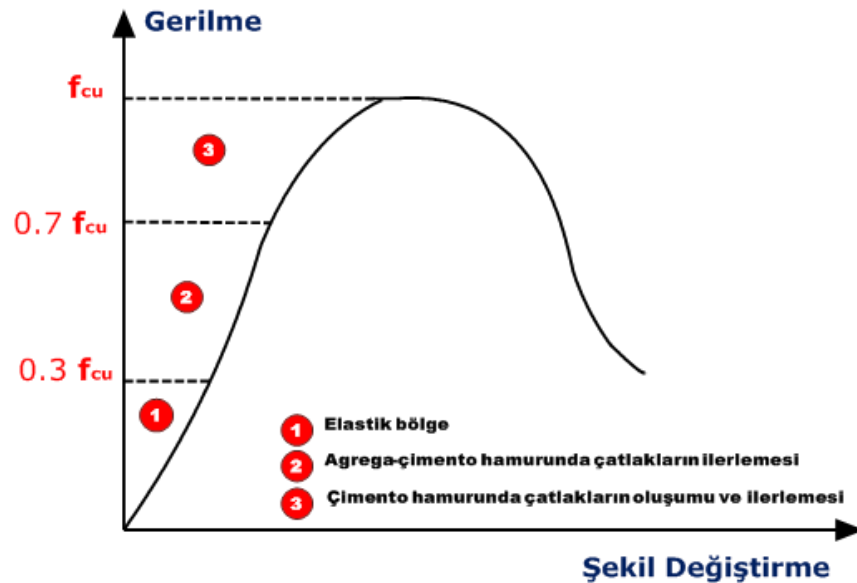
Gerilme yukarıda anlatıldığı üzere, bir yapının kesitine dolayısıyla malzemesinin üzerine uygulanan basınç ve çekmenin bir ölçüsüdür ve statik denge kurallarıyla elde edilmektedir. Şekil değiştirmeler ise bir cisimdeki uzama ve kısalmaların ölçüsü ve büyüklüğü olup, kinematik büyüklük olarak anılmaktadır [18]. 1605-1703 yıllarında yaşayan Robert Hooke’un [26] gözlemlerine göre bir cisimdeki deformasyonlar onun üzerine uygulanan kuvvet veya yükler ile doğru orantılıdır. Dolayısı ile gerilme ve şekil değiştirme büyüklükleri bir biri ile bağlantılıdır. Bu bağıntı ise gerilme şekil değiştirme ilişkisi olarak bilinir [18, 27, 28].

Bu ilişkinin tespiti için yapılan deneysel çalışmalar ise basınç ya da çekme deneyidir. Geleneksel olarak, sünek malzemeler üzerinde çekme deneyi, gevrek malzemeler üzerinde ise basınç deneyi yöntemi ile gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi tespit edilir. İnşaat mühendisliği alanında çok kullanılan malzemeler olan çelik ve betonun da gerilme ve şekil değiştirme ilişkisi laboratuvarlarda yürütülen deneyler ile bulunur. Çelik

malzeme üzerinde çekme deneyi, beton malzeme üzerinde ise basınç deneyi yürütülerek gerilme şekil değiştirme ilişkisi tespit edilir. Aşağıda, çelik ve beton malzemeler için elde edilen tipik gerilme ve şekil değiştirme ilişkilerine ait grafikler verilmektedir (Şekil 1.10 ve 1.11.).



Şekil 1.10. Tipik yumuşak çelik için gerilme şekil değiştirme eğrisi



Şekil 1.11. Tipik bir beton için gerilme şekil değiştirme eğrisi

Yukarıda, Şekil 1.10 ve 1.11 ile verilen gerilme şekil değiştirme eğrileri incelendiğinde, malzemelerin belirli bir gerilmeye kadar orantılı bir şekilde uzadığı, daha sonra ise gerilmedeki küçük değişimler sonucunda şekil değiştirmelerin daha fazla olduğu görülmektedir. Aradaki artış oranı ise doğrusal olmayıp eğrisel olmaktadır. Gerilme ve şekil değiştirmenin doğrusal orantılı olduğu bölgeye elastik bölge denilmektedir. Gerilme ve şekil değiştirmenin doğru orantılı olduğu bölgede cismin, Hooke [26] cismi olduğu kabul edilerek, aradaki ilişkinin ise aşağıdaki gibi olduğu varsayılır (Denklem 1.17 ve 1.18.).

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.17)$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1.18)$$

Diğer yandan cisimler üzerinde oluşan boy değişimi ve şekil değiştirmeler sadece cisim üzerine etkiyen yük ve kuvvetler tarafından oluşturulmazlar. Sıcaklık değişimleri de boy değişimi ve şekil değiştirmelere sebep olurlar. Ortaya çıkan şekil değiştirme sıcaklık değişimiyle doğru orantılıdır. Cismin tüm bünyesinde sıcaklık değişimi düzgün olduğunda, birim uzamanın ifadesi Denklem 1.19.'da olduğu gibi verilmektedir.

$$\varepsilon_t = \alpha \Delta T \quad (1.19)$$

Burada birim uzama, sıcaklık nedeniyle oluşan şekil değiştirmesi, ΔT , Sıcaklık değişimi, α ise bu iki büyüklüğü birbirine bağlayan malzemeye ait olan bir katsayı olup, sıcaklık genleşme katsayısı olarak bilinmektedir [22, 29, 30].

Böylece, cisim üzerinde oluşan toplam şekil değiştirme hem sıcaklık hem de gerilmelerden dolayı Denklem 1.20'deki hale gelir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \alpha \Delta T \quad (1.20)$$

1.4. Basınç veya Çekme Kuvvetine Maruz Çubuk Eleman

Eksenel normal kuvvete maruz bir çubuktaki gerilmeyi ve birim uzamayı hesaplamak için birbiriyle ilişkili üç farklı denklem türü kullanılır. Bunlar denge durumu, kinematik ilişki ve Hooke kanunu denklemleridir.

$$\varepsilon = du/dz \quad (1.21)$$

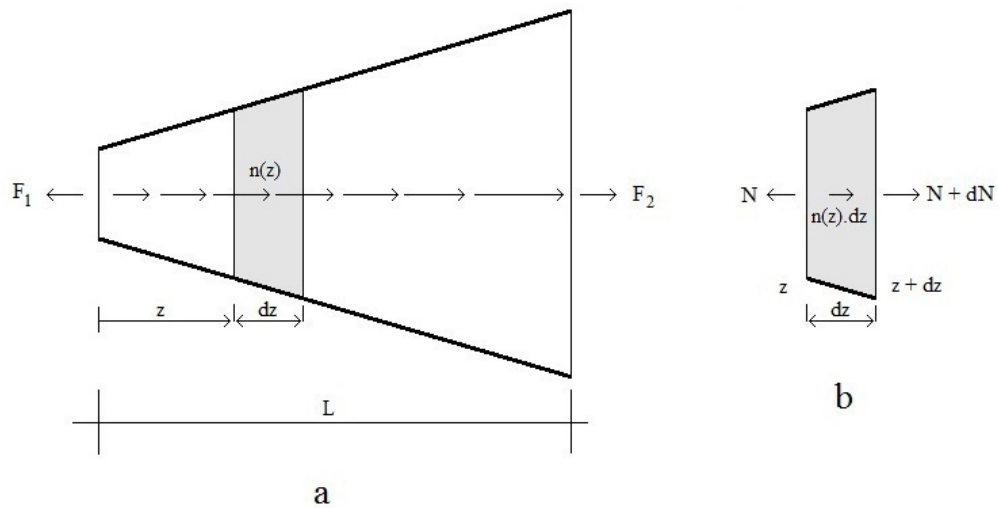
Kinematik durumun Denklem 1.21.'le ifade edildiği bilinmektedir (Omurtag, 2007). Ayrıca, Hooke kanunundan gerilme şekil değiştirme arasındaki ilişkinin Denklem 1.22.'de verildiği görülmektedir [21], gerilmenin ifadesi ise Denklem 1.23.'le tarif edilmektedir [20, 30].

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (1.22)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \quad (1.23)$$

Burada N kesite etkiyen normal kuvvet ve A ise kesit alanı olup, E ise malzeme sabiti elastisite modülünü göstermektedir.

Probleme bağlı olarak, denge durumu tüm çubuk için, çubuğun bir kısmı için veya çubuğun küçük bir elemanı için yazılarak formüle edilebilir. Bu amaçla, uçlarından F_1 ve F_2 kuvvetlerine maruz ve ayrıca çubuk boyunca yayılı değişken çizgisel yükü ($n=n(z)$) bulunan bir çubuk göz önüne alınmaktadır (Şekil 1.12.). Şekilden de anlaşılacağı üzere, çubuk eksenini boyunca kesit alanı ve yayılı yük değişkendir. Yüklerin dengede olduğu kabul edilmektedir. Aşağıda şekilde (Şekil 1.12.a ve 1.12.b) görüldüğü gibi, çubuktan “dz” boyunda sonsuz küçük bir eleman çıkartıp, göz önüne alalım.



Şekil 1.12. F_1 ve F_2 kuvveti ve $n(z)$ yayılı yüküne maruz çubuk ve sonsuz küçük elemanın serbest cisim diyagramı

Sonsuz küçük elemanın serbest cisim diyagramında eleman uçlarında N ve $N+dN$ normal kuvvetleri bulunmaktadır. Sonsuz küçük eleman içindeki boyuna yayılı yükten

dolayı oluşan normal kuvvet $n(z).dz$ ile gösterilmiştir (sonsuz küçük elemanın boyu limitte sıfıra gönderilirken, çizgisel yükün değerinin dz boyunca sabit olduğu kabul edilebilir). Çubuk eksen yönündeki kuvvetlerin dengesi aşağıdaki Denklem 1.24.'teki şekilde yazılır [18].

$$N + dN + n(z).dz - N = 0 \quad (1.24)$$

Denklem 1.24'den sadeleşme sonucunda Denklem 1.25 ifadesi elde edilir.

$$dN + n(z).dz = 0 \quad (1.25)$$

Denklem 1.25'ten de Denklem 1.26 'nın elde edilmesi mümkündür.

$$\frac{dN}{dz} + n(z) = 0 \quad (1.26)$$

Ayrıca birim uzama ifadesinde (Denklem 1.22. de), gerilme değeri (Denklem 1.23.) yerine konursa, birim uzama ifadesi normal kuvvet ve eksenel rijitlik cinsinden Denklem 1.27.'de verildiği şekilde bulunur.

$$\varepsilon = \frac{N}{EA} \quad (1.27)$$

Birim uzamanın Hooke kanunundan elde edilen (Denklem 1.27. deki) değeri, kinematik denkleminde (Denklem 1.21.'de) yerine konulursa, aşağıda sunulan Denklem 1.28 elde edilir.

$$\frac{du}{dz} = \frac{N}{EA} \quad (1.28)$$

Denklem 1.28'den normal kuvvet ifadesi "N" aşağıdaki şekilde çekilerek, Denklem 1.29 elde edilmiş olur.

$$N = EA \frac{du}{dz} \quad (1.29)$$

Elde edilen normal kuvvet ifadesi (Denklem 1.29) denge durumundan elde edilen ifadede (Denklem 1.26 da) yerine konulursa, Denklem 1.30 ile verilen sonuca ulaşılır.

$$\frac{d(EA \frac{du}{dz})}{dz} + n(z) = 0 \quad (1.30)$$

Denklem 1.30 ifadesi daha sade biçimde yazılarak, Denklem 1.31 elde edilir.

$$(EA u')' = -n(z) \quad (1.31)$$

Denklem 1.31’de elde edilen ifade ile boyuna şekil değiştirme fonksiyonunu idare eden diferansiyel denklem [18] elde edilmiş olur. Bu denkleme “**boyuna uzama elastik eğrisi**” adı da verilmektedir.

Bu denklem kullanılarak, çekme veya basınca maruz hem izostatik hem de hiperstatik çubuk problemleri göz önüne alınabilir. Boyuna şekil değiştirmeyi idare eden diferansiyel denklem ifadesi iki kez integral alınarak geriye doğru çözülür, oluşacak integral sabitleri ise çubuk sınır koşulları göz önüne alınarak bulunur ve boyuna şekil değiştirme ifadesinde yerine konularak boyuna şekil değiştirmenin fonksiyonu elde edilir. Boyuna şekil değiştirmenin çubuk eksenini “**z**” ye göre türevi alınarak, EA ile çarpılması ile çubuk eksenini boyunca normal kuvvet değişimi de elde edilir (Denklem 1.29). Burada kesit alanı ve çubuk içinde yayılı olan çizgisel yük “**n(z)**”in, çubuk eksenini “**z**” ye bağlı fonksiyon veya sabit olabilir. İfadeler değişken oldukları varsayımıyla çıkartılmıştır.

Çubuk uç sınır koşulları çeşitli durumlarda olabilir [17, 18]. İki ucun tutulu olması halinde boyuna uzama eğrisinin başlangıçtaki (**z=0**) değeri ve çubuğun sonundaki (**z=L**) değerleri sıfır olacaktır, yani (**u(0)=0** ve **u(L)=0**)’dır. Çubuk başlangıç ucu tutulu diğer uç serbest ise; **u(0)=0**, **u'(L)=N₀/EA** olacaktır. Çubuk başlangıç noktası serbest diğer uç tutulu ise **u'(0)=N₀/EA** ve **u(L)=0** olacaktır. **N₀** değeri sabit veya sıfırdır, çubuğun serbest ucundaki eksenel yöndeki tekil kuvvete tekabül eder. Çubuğun uçları eksenel yönde deplasman yapıyor ve deplasmanlar bilinmiyorsa, bunlara bilinmeyen değişken isimleri verilerek, çubuğun başlangıç ve sonundaki deplasmanlar sınır koşulları olarak alınır. Örneğin, çubuğun başlangıcındaki ve sonundaki deplasmanlar bilinmiyorsa, bunlara **ui** ve **uj** değişken isimleri verilerek bilinmeyen sınır koşulları olarak alınsın. Bu durumda **u(0)=ui** ve **u(L)=uj** olarak alınır. Bu sınır koşullarına bağlı olarak integral sabitleri elde edilerek, çubuğa ait boyuna uzama eğrisi elde edilir. Çubuk iç normal kuvvet değişimi de boyuna uzama eğrisi **u(z)**’ye bağlı olduğundan kolayca elde edilerek, çubuk uçlarındaki normal kuvvetlerin değerleri de elde edilebilir. Ancak, çubuk uçlarında bulunacak olan normal kuvvet değerleri, çubuk ucunda bilinmeyen olarak alınan “**ui**” ve “**uj**” deplasmanlarına bağlı olmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı yukarıda çıkartılan eksenel uzamayı idare eden diferansiyel denklem kullanılarak bir, iki ve üç boyutlu çubuk sistemlerden oluşan mekanik problemlerini bilgisayar yardımıyla çözmektir.

Çalışmanın birinci amacı, olayı idare eden diferansiyel denklemden hareketle bir boyutlu çubuk veya yaylarda oluşan bir boyutlu problemleri çözmek için Mathematica [31], ortamında bir bilgisayar programı geliştirmektir. Bu program farklı malzeme ve geometrik özelliklere de sahip olabilen çubuklardan oluşan bir boyutlu problemlerin içinde oluşacak iç kuvvetleri ve iç kuvvet dağılımlarını ve gerilmeleri de hesaplamak amacıyla geliştirilmiştir. Çubuk sistemini idare eden denklemler matris formunda olmayıp, analitik olarak elde edilmektedir.

Çalışmanın ikinci amacı, yine çubuk için olayı idare eden diferansiyel denklemden hareketle, sadece eksenel normal kuvvet taşıyan çubuklardan oluşturulan iki boyutlu düzlemsel kafes sistem problemlerini çözmek için Mathematica ortamında bir diğer bilgisayar programı geliştirmektir. Bu program vasıtasıyla farklı malzeme ve geometrik özelliklere de sahip olabilen çubuklardan oluşan düzlemsel kafes sistemi oluşturan çubuklara ait iç kuvvetleri ve iç kuvvet dağılımlarını ve dolayısıyla gerilmeleri hesaplamak hedeflenmektedir. Kafes sistemi idare eden denklemler matris formunda olmayıp, analitik olarak elde edilmektedir.

Çalışmanın üçüncü amacı ise, yine çubuk için olayı idare eden diferansiyel denklemden hareketle, sadece eksenel normal kuvvet taşıyan çubuklardan oluşturulan üç boyutlu veya uzay kafes sistem problemlerini çözmek için Mathematica ortamında üçüncü bilgisayar programı geliştirmektir. Bu program yardımıyla da farklı malzeme ve geometrik özelliklere de sahip olabilen çubuklardan oluşan uzay kafes sistemi oluşturan çubuklara ait iç kuvvetleri ve iç kuvvet dağılımlarını ve dolayısıyla gerilmeleri hesaplamak amaçlanmaktadır. Kafes sistemi idare eden denklemler matris formunda olmayıp, analitik olarak elde edilmektedir.

Çalışmanın ilave diğer amaçları ise aşağıda verilmektedir. Bunlar yukarıda verilen her bir durum için ayrı ayrı geçerlidir. Sıcaklık değişimleri karşısında oluşacak iç kuvvetler göz önüne alınmaktadır. Yukarıda verilen sistemlerde elastik mesnetlenme durumu söz konusu olacağından, elastik mesnet halleri de programlamada göz önüne alınmaktadır.

Yukarıda bahsedilen programlar vasıtasıyla, küçük problemler hem analitik olarak, hem de sembolik olarak elde edilebilmektedir. Büyük problemler ise sayısal olarak çözülmektedir. Bir boyutlu sistemlerde çubuk iç kuvvetlerinin dağılım grafikleri elde edilmektedir. İki ve üç boyutlu çubuk sistem verileri sayısal olarak verildiğinde, çubuk sistemin deformasyonlu ve deformasyonsuz hallerinin grafikleri de elde edilebilmektedir.



2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. Yöntem Bilgisayar Programlama ve Tekniği

2.1.1. Kodlama Tekniği

Kodlama tekniği yöntemi ile çubuk elemanlardan oluşan sistemlerin bilgisayar modeli tanımlanmaktadır. Bu tanımlamadan yola çıkarak programa veriler işlenerek çubuk sistemlerin çözümü için gerekli denklemler kurulur. Denklemlerin çözümü ile de çubuklarda oluşan iç kuvvetler hesaplanır [32]. Bu bölümde, bu teknik ile nasıl kodlama yapılacağı ve verilere kodlama ile nasıl ulaşılabileceği anlatılmaktadır. Aşağıda eleman ve düğümlerin kodlanması ile ilgili bilgiler verilmiştir.

2.1.2. Elemana Ait Veriler

Her elemanın kendine ait bir numarası olursa, bu numara onun ismi yerine geçer ve numara yardımıyla elemana ait olan bütün bilgilere erişim sağlanabilir. Elemana ait geometrik özellikler kesit alanı, kesit atalet momenti ve uzunluğudur. Elemana ait malzeme özellikleri ise elastisite modülü, sıcaklık genleşme katsayısı ve emniyet gerilmesi vs'dir. Ayrıca elemana etkiyen yüklerde bulunabilmektedir; bunlar eleman eksenine dik ve paralel olan düzgün veya değişken yayılı yükler olup, sıcaklık değişimleri de elemana etkiyen ısısal yüklerdir. Bunlarda eleman kesiti boyunca düzgün sıcaklık değişimi ya da kesitin içinde doğrusal değişen sıcaklık değişimi olabilmektedir. Her türlü yükler ve özellikler sadece eleman numarası ile erişilecek şekilde birer dizide saklanabilirler. Her bir dizi ise eleman özelliğini veya yükünü çağrıştıracak şekilde uygun bir isim ile adlandırılabilir. Çubuk elemanların iki ucu bulunmaktadır. Bu uçlar bulundukları sistem içinde birer düğüme bağlıdır. Çubuk bu iki uç arasında sistemin diğer elemanları ile bağlantılı olduğundan, çubuğun bağlı olduğu iki düğümün numarası

da birer dizi içinde saklanabilir. Eleman numarası ile bağlantılı olarak saklanan bu iki veri daha sonra çubuk ve bulunduğu sistem ile bağlantısını sağlayacak verilerdir.

Tablo 2.1.'de, bir çubuk elemana ait bazı veriler ve bilgiler sunulmuştur. Tablo 2.1'den görüleceği üzere, herhangi bir eleman numarası ile o elemana ait bilgilere erişimin kolayca mümkün olduğu görülebilir. Eleman numarası vasıtasıyla; çubuğun “i” ve “j” ucunun düğüm numaralarına erişilir. İlaveten, kesit alanı, elastisite modülü, eksene paralel yük bilgisi, sıcaklık genleşme katsayısı ve sıcaklık değişim bilgisine ulaşmak mümkündür. Elemanla ilgili verilere ulaşmak için sadece eleman numarasının bilinmesi yeterlidir. Erişilen bilgiler uygun şekilde işlenebilir [33].

Tablo 2.1. Çubuk elemana ait çubuk numarası ile erişilebilecek bazı bilgi ve veriler

Eleman No	“i” ucu	“j” ucu	Alan	Elastik Modülü	Eksene Paralel Yayılı Yük n_z	α	Δt
1	i_1	j_1	a_1	E_1	n_{z1}	α_1	Δt_1
2	i_2	j_2	a_2	E_2	n_{z2}	α_2	Δt_2
3	i_3	j_3	a_3	E_3	n_{z3}	α_3	Δt_3
m	i_m	j_m	a_m	E_m	n_{zm}	α_m	Δt_m

2.1.3. Düğüme Ait Veriler

Çubuklar ile çerçeve sistemler oluştururken, çubuklar belirli yerlerde birleşmek durumunda olurlar. Bu birleşim noktaları düğüm noktaları olarak adlandırılır. Düğüm noktaları oluşturulan tüm çubuk sisteminin bir parçası olduğundan, düğümlerde bulunan büyüklükler sistemin global koordinatlarında tanımlanır. Düğümlerde bulunan büyüklükler ise; düğüm koordinatları, düğüm serbestlikleri veya deplasmanlar, düğümlere etkiyen tekil dış kuvvetler, düğümlerde bulunan rijit veya elastik mesnetler, mesnet oturumları veya yer değiştirmeler şeklinde sıralanabilir. Düğümlere ait bu büyüklükler düğüm numarası ile bağlantılı olarak birer dizi içinde saklanabilirler. Büyüklüklerin içinde saklanacağı diziye uygun şekilde büyüklüğün kendini çağrıştıracak isimler verilebilir. Tablo 2.2.'de düğümlere ait bazı veriler sunulmaktadır. Tablo 2.2.'den görüleceği üzere, düğüm numarası ile herhangi bir düğüme ait verilere erişmek mümkündür. Düğüm numarası ile düğümün “x” ye “y” koordinatlarına erişilebilir. İlaveten, düğümde bulunan x ve y yönünde oluşabilecek deplasmanların

isimlerine (dx ve dy sütunundan) erişilebilir. Düğümde olabilecek tekil kuvvet değerlerine Fx ve Fy sütunu gibi atanacak bir diziden ulaşılabilir. Aynı şekilde düğümde yer değiştirme veya mesnet çökmesi varsa, δx ve δy sütunu gibi atanacak bir diziden ulaşılabilir. Düğümle ilgili verilere ulaşmak için sadece düğüm numarasının bilinmesi yeterlidir. Erişilen bilgiler uygun şekilde işlenebilir.

Tablo 2.2. Düğüme ait olup, düğüm numarası ile erişilebilecek bazı bilgi ve veriler

Düğüm No	X	Y	dx	dy	Fx	Fy	δx	δy
1	x_1	y_1	dx_1	dy_1	Fx_1	Fy_1	δx_1	δy_1
2	x_2	y_2	dx_2	dy_2	Fx_2	Fy_2	δx_2	δy_2
3	x_3	y_3	dx_3	dy_3	Fx_3	Fy_3	δx_3	δy_3
n	x_n	y_n	dx_n	dy_n	Fx_n	Fy_n	δx_n	δy_n

2.2. Bir Çubuk Elemanı İçin Boyuna Uzama Diferansiyel Denkleminin Yazılması

Daha önce bir çubuk için boyuna uzama eğrisi ile ilgili diferansiyel denklem elde edilmiştir. Denklem yeniden aşağıda (Denklem 2.1.) da verilmektedir.

$$(EAu')' = -n(z) \quad (2.1)$$

Denklem incelendiğinde çubuğa ait elastisite modülü ve alanın denklemde kullanıldığı görülmektedir. Ayrıca, çubuk eksenine paralel yayılı yükün değeri de kullanılmaktadır. Bu değerler çubuk numarasına bağlı olarak ilgili diziden erişilerek alınır ve denklemde yerine konulabilir. Böylece; çubuk eleman numarasının “**m**” olduğu varsayımıyla, idare eden ifade Denklem 2.2. deki hali alır. Aşağıdaki “m” indisi bütün büyüklüklerin “m” numaralı elemana ait olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki işlemler, denklemde kullanılan parametrelerin çubuk eksen “z” ye bağlı fonksiyonlar olduğu yani değişken olduğu kabulüyle yapılmaktadır. Parametrelerden bazıları sabit olabilir, öyle durumda işlemler daha da kolaylaşacaktır.

$$(E_m A_m u_m')' = -n_m(z) \quad (2.2)$$

Çubuk boyuna uzamasını idare eden ve Denklem 2.2.’de verilen diferansiyel denklemi çözmek için geriye doğru “z” ye göre bir kez integral alınsın. Böylece aşağıda verilen

Denklem 2.3 elde edilir.

$$\int (E_m A_m u_m')' dz = \int -n_m(z) dz \quad (2.3)$$

Denklem 2.3, integral sonucunda Denklem 2.4.'de verilen ifadeye dönüşür.

$$E_m A_m u_m' = \int -n_m(z) dz + c_1 \quad (2.4)$$

Elde edilen bu ifade de (Denklem 2.4), her iki tarafı elastisite modülü ve alanın çarpımı ile bölünsün; buradan Denklem 2.5 elde edilir.

$$u_m' = \frac{(\int -n_m(z) dz + c_1)}{E_m A_m} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5.'de verilen ifade, bir kez daha geriye doğru “z” ye göre integrali alınarak, aşağıdaki ifade (Denklem 2.6.) sembolik olarak elde edilir;

$$\int u_m' dz = \int \frac{(\int -n_m(z) dz + c_1)}{E_m A_m} dz \quad (2.6)$$

Sembolik olarak elde edilen Denklem 2.6 ifadesinin, integralinin alınması sonucu Denklem 2.7 elde edilir.

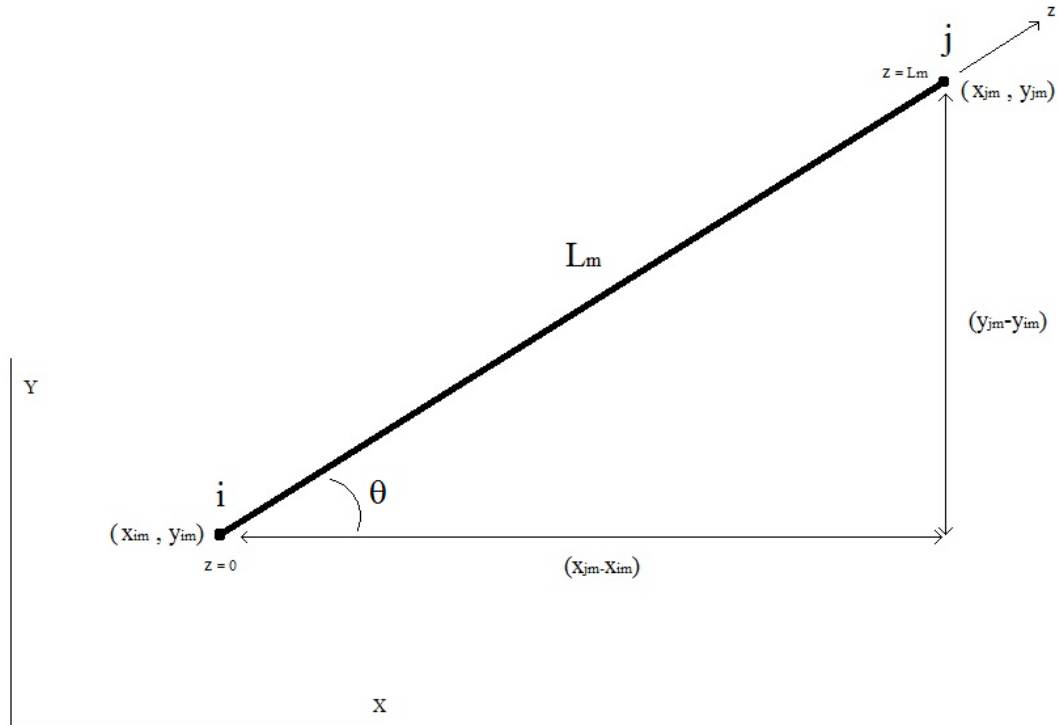
$$u_m = \int \frac{(\int -n_m(z) dz + c_1)}{E_m A_m} dz + c_2 \quad (2.7)$$

Sonuç olarak Denklem 2.7.'de elde edilen u_m değeri; çubuğa ait boyuna uzama elastik eğrisidir. İntegral içinde bulunan c_1 ve c_2 büyüklükleri ise integral sabitleridir. İntegral sabitlerinin bulunması için sınır koşullarının kullanılması gerektiği bilinmektedir [34, 35].

Bir çubuğun sınırları ve ona ait koşullar ise aşağıdaki gibidir. Çubuğun başlangıcındaki uç “i” başlangıç sınırını ($z=0$ daki yerini); sonundaki uç “j” ucu bitiş sınırını ($z=L_m$ daki yerini) temsil eder. Çubuk eksenini “z” temsil etmektedir. Çubuğun başlangıcı ve bitiş arasındaki mesafe çubuk boyuna tekabül eder ve (L_m) hesaplanması gerekir. Çubuk boyu aşağıdaki şekilde hesap edilebilir.

2.2.1. Çubuk Boyunun Hesaplanması

Çubuk boyunun hesaplanması için çubuk uçlarının koordinatlarının bilinmesi gerekir. Çubuğun numarası bilindiğinden “i” ucunun ve “j” ucunun değerleri elemana ait bilgilerden alınabilir. Eleman numarası “m” olarak varsayılmış idi, Tablo 2.1.’deki “m” numaralı satırdan o elemana ait uçların bilgisi “i_m” ve “j_m” olarak tespit edilir. Bunlar çubuk uçlarının değişken ismidir ve değişkenin değerini taşırlar. Değerleri ise sayısal birer değerdir. Bu değerler esasen birer düğüm noktasını göstermektedir. “i_m” ve “j_m” düğüm noktalarının koordinatları ilgili diziden alınabilir (Tablo 2.2). Böylece çubuğu tarif eden düğüm noktalarının koordinat değerleri “x_{im}” ve “y_{im}” ile “x_{jm}” ve “y_{jm}” değerleri tespit edilmiş olur. İki nokta arasındaki en kısa mesafeyi veren formül yardımıyla çubuk boyu hesaplanır [36]. Buna ilaveten çubuk eksenini ile “x” eksenini çakışmıyorsa; çubuğun bir eğimi var demektir. Çubuk ile “x” eksenini arasında bulunan açı veya ona ait sinüs ve kosinüs değerleri de çubuk uç koordinatları vasıtasıyla bulunur (Şekil 2.1.).



Şekil 2.1. Çubuk uç düğüm noktalarına ait koordinatlar ve çubuk boyu uzunluğu ilişkisi

Çubuk boyunun ifadesi Denklem 2.8.'de verilmektedir [36];

$$L_m = \sqrt{(x_{jm} - x_{im})^2 + (y_{jm} - y_{im})^2} \quad (2.8)$$

Çubuk eksenini “z” ile sistem eksenini olan “x” eksenini çakışmadığında arada oluşan “δ” açısının sinüs ve kosinüs [36] değerleri aşağıda verilmektedir (Denklem 2.9 ve Denklem 2.10).

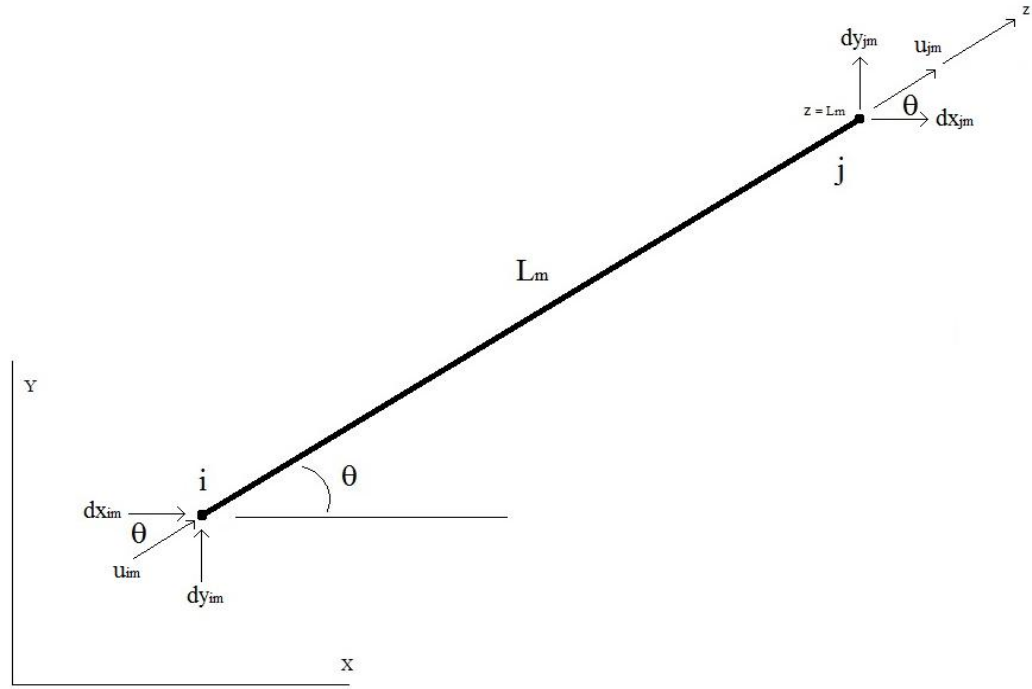
$$\sin(\theta) = \frac{y_{jm} - y_{im}}{L_m} \quad (2.9)$$

$$\cos(\theta) = \frac{x_{jm} - x_{im}}{L_m} \quad (2.10)$$

Elde edilen çubuk boyu sınır şartları esnasında yerel eksen “z” için kullanılmaktadır.

2.2.2. Çubuk Sınır Şartlarının Elde Edilmesi

Daha önceki kısımda çubuk sınır şartı olarak serbest uç ve serbest uçta bulunan tekil kuvvetten bahsedilmişti. Burada çubuk sınır şartları, çubukların bağlı bulunduğu düğümlerin deplasmanları sınır şartı olarak alınmaktadır. Bu sınır şartları da bilinmediğinden, bunların değişken isimleri deplasman olarak kabul edilmektedir. Dolayısı ile elde edilen boyuna uzama elastik eğrisi sistem koordinatlarında bilinmeyen olarak alınan düğüm deplasmanları cinsinden yazılmış olacaktır. Ancak, sistem koordinatlarında tarif edilmiş olan çubuk ucunda bulunan düğüm deplasmanlarının sınır şartı olarak kullanılabilmesi için; çubuk yerel koordinatlarında ifade edilmeleri gerekmektedir. Bu ise aşağıdaki şekilde yapılmaktadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Yerel ve global koordinatlarda çubuk düğüm noktalarına ait deplasmanlar

Şekil 2.2.'de çubuk uç deplasmanları hem yerel hemde global koordinat takımında gösterilmiştir. Bu iki takımda ayrı ayrı gösterilen deplasmanlar arasında ise bir ilişki bulunmaktadır. Global koordinat takımında gösterilen uç deplasmanlarının yerel koordinat takımında bulunan çubuk eksenini üzerindeki bileşenlerinin toplamı, yerel koordinat takımında ve çubuk eksenini yönünde olan “ u_i ” ve “ u_j ” deplasmanlarına eşittir. Bu deplasmanların hesabı aşağıda Denklem 2.11 ve Denklem 2.12.’de açık bir şekilde sunulmuştur.

$$u_{im} = \cos(\theta)dx_{im} + \sin(\theta)dy_{im} \quad (2.11)$$

$$u_{jm} = \cos(\theta)dx_{jm} + \sin(\theta)dy_{jm} \quad (2.12)$$

Çubuk uç deplasmanları yerel koordinatlarında ifade edildikten sonra, elde edilen “ u_i ” ve “ u_j ” deplasmanları sınır koşulu olarak kullanılabilir. Sınır koşulları olarak “ u_i ” ve “ u_j ” deplasmanları; daha önce belirtildiği gibi çubuk başlangıcında ve bitimindeki çubuk eksenini yönündeki yer değiştirmeler olmaktadır. Daha önce integral sabitleri ile birlikte tespit edilen çubuk boyuna elastik eğrisinin, başlangıçtaki değeri ($z=0$ daki değeri), “ u_i ” deplasmanına eşit olmaktadır. Aynı şekilde çubuk boyuna elastik eğrisinin çubuk bitimindeki değeri (yani $z=L_m$ deki değeri), “ u_j ” deplasmanına eşit olacaktır. Bu durum aşağıda Denklem 2.13 ve Denklem 2. 14.’de ifade edilmiştir.

$$\left\{ \int \frac{(-n_m(z)dz + c_1)}{E_m A_m} dz + c_2 \right\}_{z=0} = u_i \quad (2.13)$$

$$\left\{ \int \frac{(-n_m(z)dz + c_1)}{E_m A_m} dz + c_2 \right\}_{z=L_m} = u_j \quad (2.14)$$

Yukarıda verilen denklemlerde “ u_i ” ve “ u_j ” yerine Denklem 2.11 ve Denklem 2.12.’de verilen eşdeğerleri kullanılmaktadır. Denklem 2.13 ve Denklem 2.14 ile “ c_1 ” ve “ c_2 ” integral sabitlerine bağlı, iki adet denklem elde edilmektedir. Elde edilen son iki denklem “ c_1 ” ve “ c_2 ” için kendi aralarında çözülerek, integral sabitleri bulunur. İntegral sabitleri çözüldükten sonra, Denklem 2.7 ile tanımlanmış olan “ u_m ” çubuk boyuna elastik eğrisi global koordinatlarda bilinmeyen olarak alınan çubuk uç düğüm noktalarında bulunan deplasmanlar cinsinden yazılmış olur, ilaveten denklem çubuk malzeme özelliği ile geometrik özelliklerine de bağlı olarak yazılmış olur. Çubuğun boyuna uzama elastik eğrisi tespit edilmiş olur. Eğriden hareketle, çubuk uçlarında bulunan çubuk uç normal kuvvetleri yerel koordinatlarda elde edilebilmektedir. Daha önce çubuk uç normal kuvvetleri ile çubuk boyuna uzama elastik eğrisi arasında bulunan ilişki tespit edilmiştir. Normal kuvvet fonksiyonu, boyuna uzama elastik eğrisinin “ z ” ye göre türevinin çubuk elastisite modülü ve çubuk kesit alanı ile çarpımına eşit olarak ifade edilmiştir. İlişki tekrar aşağıda verilmektedir (Denklem 2.15).

$$N = EA \frac{du}{dz} \quad (2.15)$$

İntegral sabitleri yerine konulduktan sonra elde edilen “ u_m ” çubuk boyuna uzama elastik eğrisinin “ z ” ye göre türevi alınıp; elastik modül ve kesit alanı ile çarpılır. Çubuk iç normal kuvveti değişiminin fonksiyonu elde edilmiş olur; normal kuvvetin fonksiyonu da; uzama fonksiyonun da olduğu gibi; global koordinatlarda ki çubuğun bağlı olduğu düğüm deplasmanlarına, çubuk malzeme ve geometrik özelliklerinde bağlıdır. Aşağıda sembolik olarak, çubuk iç kuvvet değişiminin kapalı ifadesi verilmektedir (Denklem 2.16).

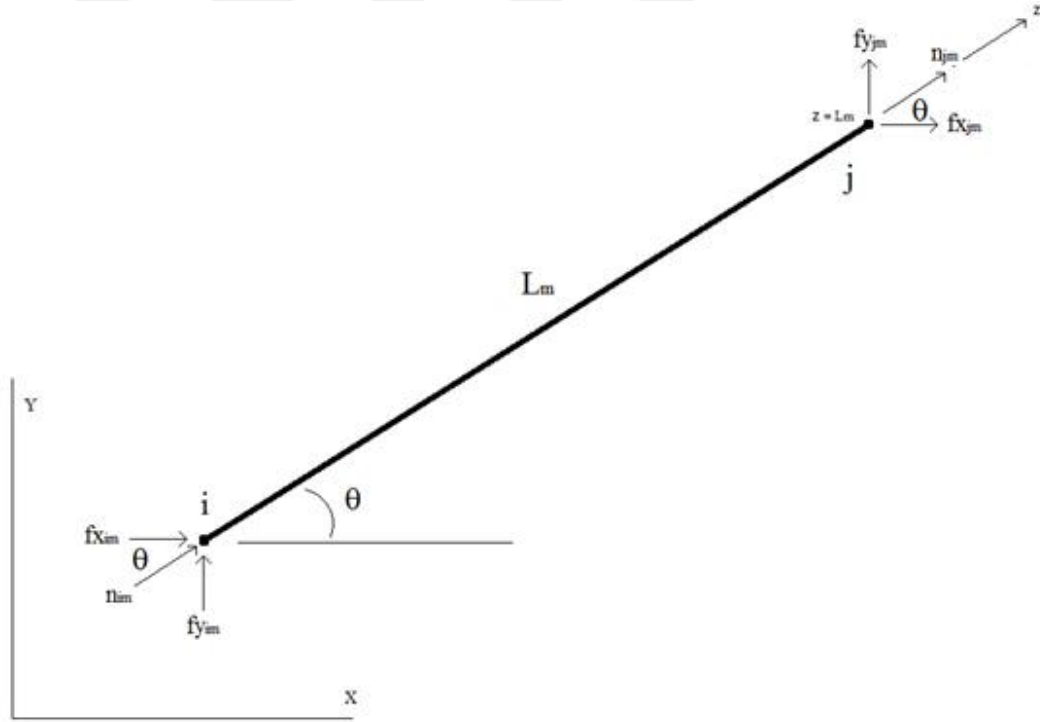
$$N = E_m A_m \frac{d(u_m)}{dz} \quad (2.16)$$

Yukarıda elde edilen iç normal kuvvet değişim kullanılarak, çubuk uç normal kuvvetleri elde edilebilmektedir. Çubuk uçlarındaki çubuk uç normal kuvvetlerinin kapalı ifadesi aşağıda Denklem 2.17 ve Denklem 2.18.'de verilmektedir. Çubuk normal uç kuvvetleri de “i” ucu için “ n_{im} ” ve “j” ucu için ise “ n_{jm} ” olarak isimlendirilmektedir.

$$n_{im} = \left\{ N = E_m A_m \frac{d(u_m)}{dz} \right\}_{z=0} \quad (2.17)$$

$$n_{jm} = \left\{ N = E_m A_m \frac{d(u_m)}{dz} \right\}_{z=L_m} \quad (2.18)$$

Elde edilen çubuk uç kuvvetlerin aşağıdaki verilen şekilde (Şekil 2.3.) yerel ve global koordinatlarda gösterilmektedir. Yerel ve global koordinatlarda çubuk uç kuvvetlerinin bir biri ile ilişkisi yada dönüşümü aşağıda Denklem 2.19-2.22.'de verilmektedir.



Şekil 2.3. Yerel ve global koordinatlarda çubuk düğüm noktalarına ait normal kuvvetler

$$f_{xim} = \cos(\theta)n_{im} \quad (2.19)$$

$$f_{yim} = \sin(\theta)n_{im} \quad (2.20)$$

$$f_{xjm} = \cos(\theta)n_{jm} \quad (2.21)$$

$$f_{yjm} = \sin(\theta)n_{jm} \quad (2.22)$$

Çubuklardan oluşan bir çubuk sistemde bulunan, bütün çubuklar için yukarıda belirtilen işlemlerin sırayla ve özellikle bilgisayar ile yapılması mümkündür. Çubuklara ait boyuna uzama eğrileri, iç normal kuvvet fonksiyonları yerel koordinatlarda, çubukların bağlı oldukları düğümlerin deplasmanları, çubukların malzeme ve geometrik özelliklerine bağlı olarak elde edilmiştir. Bunlar uygun birer dizide saklanabilirler. Çubuk uç normal kuvvetleri ise hem yerel hem de global koordinat takımında çubukların bağlı oldukları düğümlerin deplasmanları, çubukların malzeme ve geometrik özelliklerine bağlı elde edilmiştir. Düğüm deplasmanlarının bilinmesi halinde çubuk boyuna uzama eğrisi, iç normal kuvvet değişimi ve uç kuvvetleri hesaplanmış olacaktır.

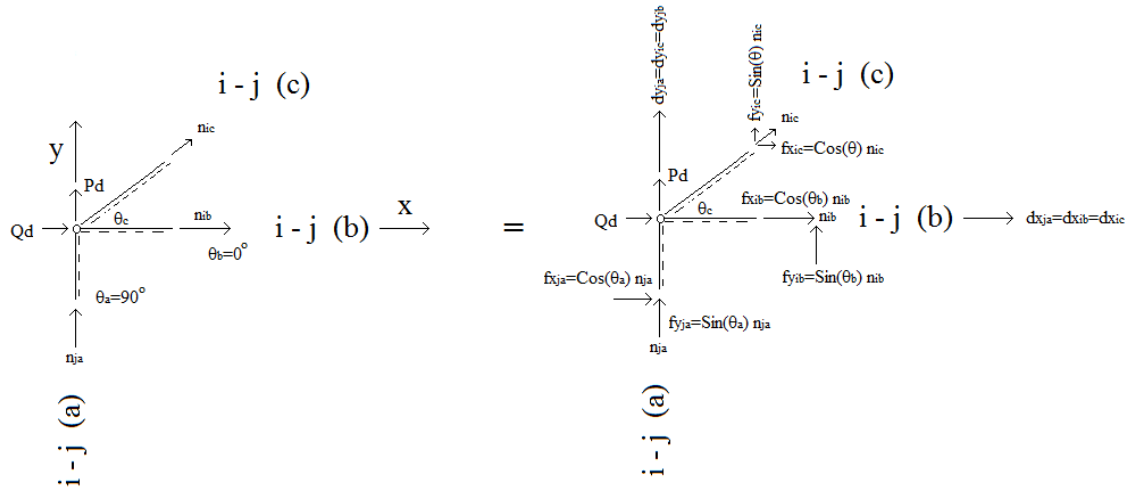
Düğüm deplasmanlarının hesabında ise global eksenlere dönüştürülmüş olan, ve düğüm deplasmanları ile çubuk malzeme ve geometrik özelliklerine bağlı olarak elde edilen, çubuk uç kuvvetlerinden faydalanılacaktır.

2.2.3. Tüm Sistemi Birbirine Bağlayan Denge Denklemlerinin Oluşturulması

Bu kısımda tüm sistemi birbirine bağlayan denge denklemlerinin nasıl oluşturulacağı ifade edilmektedir. Çubuklardan oluşan tüm sistem dengede olduğundan, sistemin her bir parçasının ayrı ayrı dengede olması gerekmektedir. Yukarıda her bir çubuk eleman için çubuk uç kuvvetlerinin hesabı global koordinatlarda bulunan düğüm deplasmanlarına bağlı olarak ifade edilmiş, ayrıca çubuk yerel koordinat takımında hesaplanan uç kuvvetlerinin global koordinat takımında nasıl hesaplandığı verilmiştir.

Daha önce belirtildiği üzere sistemi oluşturan çubuklar düğüm noktalarında birleşmektedirler. Düğüm noktaları da sistemin bir parçası olduğundan, dengede olması gerekmektedir. Tüm sistemi birbirine bağlayan denklemlerde düğüm noktalarının dengesinden elde edilmektedir. Sadece normal kuvvet taşıyan elemanlardan oluşan çubuk sisteminin bağlantı noktalarının mafsallı olduğu daha önce belirtilmiştir. Bu nedenle düğümlerde moment olmayacağından, her bir düğüm için düğümde bulunan kuvvetlerin dengesini yazmak gerekmektedir. Kuvvetlerin dengesi global koordinat takımında yazılacağından düğümde bulunan kuvvetlerin global koordinat takımı olan X ve Y yönlerindeki bileşenleri için ayrı ayrı iki adet denklem yazılması anlamına gelmektedir.

Denge denklemi yazılan düğümünde iki adet deplasman bileşeni bulunmaktadır. Denklemler bu deplasman bileşenleri için ayrı ayrı yazılmaktadır. Böylece düğümlerde bulunan toplam deplasman sayısı kadar denklem elde edilebilmektedir. Bu denklemler de düğüm deplasmanları cinsinden yazılmış olmaktadır. Elde edilen lineer denklem takımı düğüm deplasmanları için çözülebilir. Çözüm sonucunda global koordinatlarda tanımlanan düğüm deplasmanları bulunmuş olmaktadır. Düğümlerde bulunan deplasmanların numarası yazılan denklemin deplasman yönünü işaret etmektedir. Aşağıda Şekil 2.4.'de genel bir düğüm noktası tasarlanmış olup, bu düğüm için iki adet denge denkleminin nasıl yazılacağı ve denklemin numarasının ne olacağı açıklanmaktadır.



Şekil 2.4. Genel bir düğüm noktası, bağlanan çubuk uç kuvvetleri ve tekil dış kuvvetler

Şekil 2.4.'den anlaşılacağı üzere düğüme üç adet çubuk eleman bağlıdır. Çubukları isimleri sırasıyla "a", "b" ve "c" olarak seçilmiştir. Tüm çubuklar "i" ucundan "j" ucuna doğru yönlenmiştir. Çubuk uç kuvvetleri bulundukları uçlarda bulunan düğüm deplasmanlarına bağlı olarak elde edilmiş olup, denge denklemleri de kapalı formda verilmektedir. Sol tarafta çubuk uç kuvvetleri yerel çubuk koordinatlarında verilmekte olup, sağ tarafta ise global takımdaki değerleri yerel çubuk ekseninin global eksenle yaptığı açıya bağlı olarak verilmektedir.

Düğüm dengesi ise global takımda yazılmaktadır. Denge denklemlerinin yazılması esnasında gerekli işaret düzeltilmesi yapılmaktadır. Şekil 2.4.'te görülen, Q_d ve P_d dış tekil kuvvetleri, fx_{ja} ve fy_{ja} sırasıyla "a" çubuğunun global koordinat takımıdaki "j"

ucunun kuvvetlerini, fx_{ib} ve fy_{ib} sırasıyla “b” çubuğunun global koordinat takımındaki “i” ucuna ait kuvvetleri, fx_{ic} ve fy_{ic} ise sırasıyla “c” çubuğunun global koordinat takımındaki “i” ucuna ait kuvvetleri göstermektedir. İlaveten, θ_a , θ_b ve θ_c açıları da sırasıyla söz konusu elemanların yerel çubuk eksenlerinin global “X” eksenindeki açığı göstermektedir. Benzer şekilde; dx_{ja} , dx_{ib} , dx_{ic} deplasmanları sırasıyla, “a” elemanının “j” ucundaki ve global “X” yönündeki, “b” elemanının “i” ucundaki ve global “X” yönündeki, “c” elemanının “i” ucundaki ve global “X” yönündeki deplasmanı ve deplasman numarasını temsil etmektedir. Deplasman değerleri ve numaraları eşittir. Numaraların elde edilişleri farklı elemanlardandır.

Şekil 2.4.’den, global “X” ve “Y” yönünde yazılacak denge denklemleri aşağıda Denklem 2.23 ve Denklem 2.24.’de verilmektedir.

$$\text{denklem}(dx_{ja} = dx_{ib} = dx_{ic}) = Q_d + fx_{ja} + fx_{ib} + fx_{ic} = 0 \quad (2.23)$$

$$\text{denklem}(dy_{ja} = dy_{ib} = dy_{ic}) = P_q + fy_{ja} + fy_{ib} + fy_{ic} = 0 \quad (2.24)$$

Denklem 2.23 ve 2.24.’den görüleceği üzere, denge denklemi bir toplamdan ibarettir. Toplamı elde etmek için tüm elemanların uç kuvvetlerini aynı anda bulmaya gerek yoktur. Her elemandan gelecek katkı elemanın sırası geldiğinde hesaplanıp, ilgili denkleme (çubuğun ucunda bulunan deplasman numarası ile ilgili) kümülatif olarak üst üste eklenebilir. Tüm çubuk elemanların taranması bittiğinde denklemlerin tamamı da kurulmuş olur. Burada tekil dış kuvvetlerin denklemlere, çubuk elemanların taranmasından önce ya da tarama işlemi bittikten sonra eklenmesi gerekmektedir. Bunun nedeni ise tekil dış kuvvetlerin lokasyonu çubuk numaralarına değil, doğrudan düğüm deplasmanlarına ve dolayısıyla düğüm numaralarına bağlı olmasındandır. Düğüm dengesinden elde edilen ve sayısı deplasman sayısına eşit olup, bilinmeyen deplasmanlara bağlı olan lineer denklem takımı çözüldüğünde, daha önce belirtildiği gibi düğüm deplasmanları bulunmuş olur.

Bulunan düğüm deplasmanları, daha önce bu büyüklüklere bağlı olarak elde edilen çubuk boyuna uzama elastik eğrisi, çubuk iç normal kuvvet dağılımı ve çubuk uç kuvvetlerinde yerine konulmak suretiyle; bu büyüklüklerde elde edilmiş olur. Bulunan büyüklükler vasıtasıyla çubuk iç normal kuvvet dağılımı diyagramları çizilebilmektedir. Ayrıca, çubuklardan oluşan sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hallerinin

çizimi elde edilebilmektedir. Yukarıda sunulan bilgiler ışığında bilgisayar programı yapılarak normal kuvvete çalışan çubuk sistemlerin çözümü ileriki kısımlarda verilmektedir.

2.3. Bilgisayar Programlanması İçin İzlenecek Yol Haritası

2.3.1. Çubuk ve Düğüm Verilerinin Bilgisayara Tanıtılması

Çubuklardan oluşan sistemin verilerinin hem elemanlar hem de düğümler için ayrı ayrı tanımlanarak bilgisayara girilmesi gerekmektedir. Aşağıda buna ait yol haritası verilmektedir. Bu kısım verilerin bilgisayara girilmesi ile ilgilidir.

- 1-Çubuk eleman numaralarının ve sayısının tespiti yapılır.
- 2-Düğüm numaralarının ve sayısının tespiti yapılır.
- 3-Çubuk elemanların tarifi, çubukların “i” ve “j” uçlarının bağlı olduğu düğüm numaralarının iki sütunlu ve eleman sayısı adedince satırlı bir matriste tanımlanarak depolanması yapılır.
- 4-Çubuk elemanlara ait kesit alanlarının eleman sayısınca boyutu olan bir dizide tanımlanarak depolanması yapılır.
- 5-Çubuk elemanlara ait elastisite modüllerinin eleman sayısınca boyutu olan bir dizide tanımlanarak depolanması yapılır.
- 6-Çubuk elemanlara ait eksene paralel yayılı normal kuvvetlerin sabit ya da “z” ye bağlı değişken olarak eleman sayısınca boyutu olan bir dizide tanımlanarak depolanması yapılarak yayılı yük yok ise değerinin sıfır olarak tanımlanması gerekir.
- 7-Çubuk elemanlara ait sıcaklık genleşme katsayılarının eleman sayısınca boyutu olan bir dizide tanımlanarak depolanması yapılır.
- 8-Çubuk elemanlara ait düzgün sıcaklık değişimlerinin eleman sayısınca boyutu olan bir dizide tanımlanarak depolanması yapılır.
- 9-Düğümlere ait koordinatların “x” ve “y” değerlerinin iki sütunlu ve düğüm adedi sayısınca satırı olan bir matriste tanımlanarak depolanması yapılır.
- 10-Düğümlere ait serbestlik durumunun (sınır koşullarının) tanımlanması için düğümün yer değiştirme yapıp, yapmadığının tespiti “dx” ve “dy” lere tekabül etmektedir. Burada

veriler iki sütunlu ve düğüm sayısı adedince satırı bulunan bir matriste tanımlanmaktadır. Düğümler “x” yönünde serbestçe deplasman yapabilir ise o düğüme ait “dx” verisi “0” olarak tanımlanmaktadır. Düğümler “y” yönünde serbestçe deplasman yapabilir ise o düğüme ait “dy” verisi “0” olarak tanımlanmaktadır. Düğüm herhangi bir yönde deplasman yapamıyor ise o yöndeki deplasman verisi, “1” olarak tanımlanmaktadır. Bilgisayar programı icrası sırasında “0” ve “1” verilerinden faydalanarak deplasmanlara birden başlayarak sırayla düğüm deplasmanlarını birer artarak numaralayacaktır. Düğümlere deplasman numarası verme işi bilgisayar tarafından yapılarak hataları minimum seviyede tutmaktadır.

11-Düğümlere ait tekil kuvvetlerin değerlerinin “Fx” ve “Fy” değerlerinin iki sütunlu ve düğüm adedi sayısınca satırı olan bir matriste tanımlanarak depolanması yapılarak, tekil kuvvet yoksa değeri sıfır olarak tanımlanmalıdır.

12-Düğümlere ait mesnet yer değiştirmeleri değerlerinin “ δx ” ve “ δy ” değerlerinin iki sütunlu ve düğüm adedi sayısınca satırı olan bir matriste tanımlanarak depolanması yapılarak, mesnet yer değiştirmesi ya da çökmesi yoksa değerleri sıfır olarak tanımlanmalıdır.

Yukarıdaki veri girişi yol haritası iki boyutlu kafes çubuk sistem için açıklanmıştır. Bir boyutlu sistemler için koordinat depolanması için bir sütunlu matris yeterli olmaktadır. Üç boyutlu sistemler için ise koordinat depolanması üç sütunlu matriste tanımlanmaktadır. Bir boyutlu sistemler için düğümlerin serbestliğinin tanımlanması için bir sütunlu matris yeterli olmaktadır. Üç boyutlu sistemler için ise düğümlerin serbestliğinin tanımlanması için üç sütunlu matris gerekmektedir. Bir boyutlu sistemler için düğümlerde bulunan dış tekil kuvvetlerin tanımlanması için bir sütunlu matris yeterli olmaktadır. Üç boyutlu sistemler için ise düğümlerde bulunan dış tekil kuvvetlerin tanımlanması için üç sütunlu matris gerekmektedir. Bir boyutlu sistemler için düğümlerde bulunan mesnet çökmesi tanımlanması için bir sütunlu matris yeterli olmaktadır. Üç boyutlu sistemler için ise mesnet çökmesi tanımlanması için üç sütunlu matris gerekmektedir. Sıcaklık değişimi hesaba katılmayacak ise sıcaklıkla ilgili büyüklüklerin sıfır olarak tanımlanması gerekir.

Bundan sonra bilgisayar yardımıyla denklemlerin oluşturulması, çözümü, sunumu ve grafik çizimi gelmektedir.

2.3.2. Bilgisayar Yardımıyla Verilerin İşlenmesi

Bu kısımda çubuk sistemi oluşturan, çubuklar ve düğüm noktaları için gerekli verilerin uygun isimlendirilmiş dizi ve matrisler içinde depolanarak girildiği varsayımıyla bilgisayarın nasıl programlanacağı ve verilerin nasıl işleneceği açıklanmaktadır. Çubuk eleman sayısı ve düğüm sayısı bilinmektedir.

İlk olarak toplam deplasman sayısını bulmak ve düğüm noktalarındaki deplasmanları numaralandırmak için, düğüm sayısı adedince bir döngü içinde düğüm serbestliklerini içeren dizi yada matrisin değerleri tek tek kontrol edilir. Toplam deplasman sayısı için bir değişken belirlenir ve başlangıç değeri sıfır alınır. Düğüm noktası serbestlikleri döngü içinde kontrol edilirken “sıfır” değerine rastlandığında ilgili değişkenin değeri bir artırılır, ve bu değer sıfır değerinin görüldüğü yere o düğümün ilgili yönündeki deplasmanının numarası olarak atanır. Serbestlik değerlerini taşıyan dizi yada matris döngü sonunda deplasman numaralarını taşır. Düğüm noktasının ilgili yönündeki serbestlik “1” ile tanımlanmışsa, o yönde deplasman olmadığı ve tutulu olduğu anlaşıldığından o yöndeki deplasman numarası için sıfır değeri verilerek, hem onun mesnet olduğu ve değerinin de sıfır olduğu anlaşılır. Bu durumda deplasmanları numaralayan değişkenin değeri de artırılmadan döngü devam eder.

İkinci olarak tüm elemanlar için bir döngü kurularak, çubuklara ait boyuna uzama eğrisinin hesabı için hazırlık yapılır. Boyuna uzama eğrisinin hesabı için, çubuk eksenine paralel yayılı yük, çubuk elastisite modülü, çubuk kesit alanı, sıcaklık genleşme katsayısı, sıcaklık değişimi, çubuğun bağlı olduğu “i” ve “j” uçlarının değerleri tespit edilerek lokal değişkenlere aktarılır. Ayrıca, “i” ve “j” uçları yardımıyla ilgili düğümlerin “x” ve “y” koordinatları, düğüm deplasmanlarının değerleri, düğümde bulunan tekil yük değerleri ve düğümde bulunacak elastik mesnetlerin yay katsayıları ve düğümde bulunabilecek mesnet çökmeleri değerleri ilgili dizi ve matrislerden alınarak lokal değişkenlere aktarılır.

Çubuk boyu daha önce formüle edildiği çubuk uç noktalarının koordinatları vasıtasıyla hesaplanır. Çubuğun lokal eksenini ile sistemin global eksenini olan “x” eksenini arasındaki açının sinüs ve kosinüs değerleri de benzer şekilde hesaplanır. Global koordinatlarda tanımlı bulunan çubuk uç deplasmanları, elde edilen trigonometrik değerler yardımıyla çubuk yerel koordinatlarına dönüştürülerek çubuk ucundaki “ u_{im} ” ve “ u_{jm} ” yerel

yerdeğiştirmeler hesaplanır. Bu değerler çubuk için yerel sınır koşullarını oluşturmaktadır. Çubuk yayılı yükü ve malzeme özellikleri ile birlikte çubuk boy değişimini idare eden diferansiyel denklem oluşturulup, iki kez integral alınarak integral sabitleriyle birlikte bulunur. Çubuk boyuna uzama fonksiyonun çubuk “i” ucundaki değeri “ u_{im} ” değerine, çubuk “j” ucundaki değerinde “ u_{jm} ” değerine eşitlenerek integral sabitlerini tespit edecek denklemler yazılmış olur. Elde edilen denklemler integral sabitleri için çözülr, elde edilen integral sabitleri çubuk boyuna uzama eğrisinde yerine konularak, eğrinin ifadesi çubuğun ucunda bulunan global takımdaki düğüm deplasmanları cinsinden yazılmış olur. Yine bu eğri vasıtasıyla, çubuk iç normal kuvvet dağılımının fonksiyonu bulunur, çünkü bu iki fonksiyon arasında bir ilişki mevcuttur ve daha önce tanımlanmıştır. Çubuk iç normal kuvvet dağılımının değeri çubuk “i” ucu ve “j” ucu için hesaplanarak ilgili elemanın yerel koordinatlardaki normal uç kuvvetleri hesaplanır. Çubuk için tespit edilen trigonometrik değerler vasıtasıyla yerel koordinatlarda bulunan uç kuvvetleri global takımdaki bileşenlerine ayrılarak, çubuk uçlarında bulunan ilgili düğümlerin deplasmanları yönünde elde edilecek denge denklemlerine gönderilecek katkılar olarak hesap edilmiş olur. İlgili düğüm ve deplasmanı yönünde tanımlanış olan dizi içine birikmiş toplam olarak atanır. Bir elemandan global düğüm denklemlerine gönderilmesi gereken tüm katkılar gönderilir. Ayrıca, isteğe bağlı olarak programın ileriki aşamalarında kullanılmak üzere, çubuk uzunlukları, çubuk boyuna uzama eğrileri, çubuk iç normal kuvvet dağılımları, çubuk uç kuvvetleri, çubuğa ait trigonometrik büyüklükler birer dizi veya matriste saklanabilirler. Ham halleriyle bütün büyüklükler düğüm noktasında bulunan düğüm deplasmanlarına, çubuk malzeme özellikleri, çubuk yükleri ve trigonometrik büyüklüklerine bağlıdır. Çubuk deplasmanları hariç diğer büyüklükler bilinmektedir. Bir eleman için yapılması gereken işlemler tamamlandıktan sonra, diğer elemana geçilebilir. Çubuk elemanların tamamı tarandığında, düğüm deplasmanları yönünde yazılarak elde edilen denklemler ortaya çıkar. Denklemler düğüm deplasmanlarına bağlıdır. Son olarak denklemlerin üzerine düğümlerde bulunan tekil kuvvetler düğüm deplasmanları numarası vasıtaıyla ilave edilirler. Elde edilen son denklemlerin sıfıra eşitleneceği daha önce belirtilmiştir. Son olarak elde edilen denklemler düğüm noktası deplasmanlarını bilinmeyen olarak alınıp, çözüldüklerinde düğüm deplasmanları global takımda bulunmuş olur. Düğüm deplasmanları daha önce ham halde kendilerine bağlı olan diğer büyüklüklerde; örneğin çubuk boyuna uzama eğrisi, çubuk normal kuvvet

fonksiyonu veya çubuk uç kuvvetlerinde yerine konulduğunda, o büyüklükler de hesap edilmiş olur. Böylece çubuklardan oluşan sitemin çözümü ve kuvvet dağılımı bulunmuş olur. Bunların değerleri uygun şekilde sunulabilir ve grafikleri elde edilebilir.

Yukarıda açıklanan bilgiler genel olarak verilmiştir. Açıklamalar bir boyutlu normal kuvvet taşıyan problemlerin çözümü için hazırlanan program için geçerli olmakla birlikte, iki ve üç boyutlu sadece normal kuvvet taşıyan çubuk kafes sistemleri ve uzay kafes sistemleri içinde geçerlidir. Yukarıdaki açıklamaların ışığı altında aşağıda bir boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu sadece normal kuvvet taşıyan çubuk sistem problemlerinin çözümü için geliştirilen programlar sunulmaktadır. Bu programlar, grafik kısmı hariç olmak üzere, aşamalar halinde değişkenleri ile birlikte açıklanmaktadır. Takiben de programlarla literatürden alınan çeşitli problemler çözülerek sunulmaktadır.

3. BÖLÜM

PROGRAM KODLAMA VE BULGULAR

3.1. Bir Boyutlu Sistemler İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar

3.1.1. Bilgisayar Programı 1D ve Açıklaması

Bir boyutlu normal kuvvet taşıyan çubuk sistemlerin çözümü için hazırlanan program aşağıda sunulmakta ve açıklanmaktadır. Bu program geliştirilirken aşağıdaki değişken isimleri seçilmiştir. Eleman sayısının göstermek üzere “nel”, düğüm sayısını göstermek üzere “nod” değişkeni seçilmiştir. Sırasıyla koordinat takımı, düğüm serbestlikleri, düğüm tekil kuvvetleri, mesnet çökmeleri ise “xc”, “retstraints”, “jload”, “SupportDisp” değişken isimleri seçilmiş olup, değişkenler düğüm sayısınca elemanı olan dizilerdir. Koordinat olarak sadece bir boyut olduğundan “xc” dizisinde depolanmaktadır. Çubuk boyuna yayılı yük değerleri için “nqz”, elastik modülü için “EMod”, kesit alanı için “area”, sıcaklık genleşme katsayısı için “TEC”, sıcaklık değişimi için “DeltaT” isimleri seçilmiş olup, değişkenler çubuk sayısınca elemanı olan birer dizidir. Çubuk elemanların “i” ve “j” uçlarının düğüm numarasını depolamak üzere “defIJ” isimli iki sütunlu ve çubuk sayısınca elemanı olan bir matris seçilmiştir.

Aşağıda gerekli verilerin tanımlandığı varsayılarak, program parça parça sunulmakta olup, her parçadan sonra programın açıklaması verilmektedir.

3.1.1.1. Program Parçası 1:

$dispN = 0;$

$Do[If[restraints[[i]] == 0, dispN = dispN + 1; restraints[[i]] = dispN;], restraints[[i]] = 0], \{i, 1, nod\}];$

```
Print["Total displacement=", dispN];
Print["Displacement number or boundary conditions=", MatrixForm[restraints]];
```

Burada deplasman numaraları dispNnumaratörü ile isimlendirilmiş olup, her serbestlik için birer artarak deplasmanları numaralandırmaktadır. Düğüm sayısı kadar bir döngü kurularak serbestlikler taranmakta serbest düğümlere deplasman numarası verilmekte, tutulu olanlara ise daha önce belirtildiği üzere “0” değeri atanmaktadır. “dispN” değişkeninin son değeri ise toplam deplasman değerine eşit olmaktadır.

3.1.1.2. Program Parçası 2:

```
SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
Do[ If[restraints[[i]] > 0, SysEq[[restraints[[i]]]] = -jload[[i]], {i, 1, nod}];
Print["Beginning of SysEq=", MatrixForm[SysEq]];
```

Bu program parçasında, toplam deplasman sayısı belirlendiğinden, elde edilecek denklemleri depolamak üzere deplasman sayısı adedince elemanı olan “SysEq” isimli sistem denklemlerini çağrıştıran bir dizi “Table” komutuyla tanımlanmaktadır. Daha sonra düğüm sayısı adedince döngü kurularak serbestliklerin olduğu yere tekabül eden tekil kuvvetler sistem denklemine eklenmektedir. Denklemlerin başlangıç değerleri ekranda görüntülenmektedir.

3.1.1.3. Program Parçası 3:

```
u[0] = 0;
lengthEl = Table[0, {i, 1, nel}];
EEndForI = Table[0, {i, 1, nel}];
EEndForJ = Table[0, {i, 1, nel}];
uCurve = Table[0, {i, 1, nel}];
NforceF = Table[0, {i, 1, nel}];
```

Üçüncü program parçasında ileride hesaplanacak bazı değerlerin saklanması için başlangıç değerleri sıfır olan değişkenler “Table” komutuyla tanımlanmaktadır. Sırasıyla hesaplandıktan sonra, çubuk boyları için “lengthEl”, “i” ucundaki ve “j” ucundaki yerel koordinatlarda uç normal kuvvetleri için “EEndForI”, ve “EEndForJ” değişkenleri, çubuk boyunca uzama elastik eğrisi için “uCurve”, çubuk normal kuvvet

dağılımı fonksiyonu için “NforceF” değişken isimleri uygun görülerek seçilmiştir. Bahsi geçen değişkenlerin tamamı birer dizi olup eleman sayıları ise çubuk elemanı sayısına eşittir. İleri kısımlarda kendilerine ait değerler hesaplandıkça daha sonra kaybolmamaları için değişkenlerin içinde depolanacaktır. İlaveten, sıfır deplasman numarasının karşılık geldiği deplasmanın değerinin de sıfır olduğu, Program Parçası 3’ün ilk satırında tanımlıdır.

3.1.1.4. Program Parçası 4:

Aşağıdaki program parçasında her bir eleman için hesap yapılacağından çubuk elemanı sayısınca bir döngü kuruldu. Döngü sırası geldikçe her bir eleman için gerekli işlemler yapılmaktadır. Bu işlemler program satırları yanında veya altında (* açıklama yazısı *) şeklinde açıklanmaktadır. Program işlemlerin başladığını ve hangi elemanın işlemde olduğunu sırayla ekrana yazmaktadır. Daha sonra çubuğa ait “i” ve “j” ucunun değerleri “defIJ” isimli eleman tarifi dizinden alınarak lokal değişkenlere aktarılmaktadır. Lokal değişkenle yardımıyla da çubuk ucuna ait koordinatlar elde edilip, lokal değişkenlere aktarılmakta olup, ardından çubuk uzunluğu hesaplanmaktadır. Daha sonra çubuğa ait elastisite modülü, kesit alanı, sıcaklık genleşme katsayısı, yayılı yük, sıcaklık değişimi değerleri çubuk numarası ile bağlantılı olduğundan ilgili diziden alınıp, lokal değişkenlere aktarılmaktadır. Çubuk uç düğümüne bağlı olarak çubuk ucunda bulunan deplasmanların numarası belirlenmekte ve “codei” ve “codej” yerel değişkenlerine aktarılmaktadır. Bu değerler kullanılarak sınır şartları belirlenmektedir. Sınır şartı olarak varsa mesnet çökmesi atanmakta yok ise deplasmanların değişkenleri bilinmeyen deplasmanların ismi olarak atanmaktadır. Daha sonra iki kez integral işlemi ile “u0” olarak seçilen değişkeni üzerinde integral sonucu integral sabitleriyle hesaplanmaktadır. Burada integral işlemi için “Integrate” komutu kullanılmaktadır. Hemen ardından “i” ucundaki sınır şartı ve “j” ucundaki sınır şartı uygulanmaktadır, “z” nin sıfır olması “i” ucu için; çubuk uzunluğuna eşit olması ise “j” ucu için sınır koşulunu uygulamaktadır. Sınır koşullarının çözümü “Solve” komutuyla yapılmakta olup, çözüm sonucunda integral sabitleri elde edilmektedir. İntegral sabitleri boyuna uzama elastik eğrisini temsil eden “u0” değişkeninde yerine konularak, boyuna uzama elastik eğrisi elde edilir. Ham halde düğüm deplasmanlarına bağlıdır. Peşinden, çubuk boyuna elastik eğrisine ve sıcaklık değişimine bağlı olan normal kuvvet fonksiyonu hesap edilip, Nforce yerel değişkenine aktarılmaktadır. Fonksiyonun sınırlardaki yani uçlardaki değerleri

hesaplanarak “ni” ve “nj” lokal değişkenlerinde tutulmaktadır. Elde edilen bu değerler daha sonra kullanılabilmesi için sırasıyla, “NforceF”, “EEndForI”, “EEndForJ” isimli dizilere eleman numarası ile bağlantılı olarak depolanmaktadır. Ayrıca benzer şekilde, çubuk boyu “length” değeri ve elastik eğri fonksiyonu “u0” da sırasıyla “lengthEl” ve “uCurve” isimli değişkenlere eleman numarasıyla bağlantılı olarak depolanmaktadır. Buraya kadar bir çok işlem yapılmış oldu ve bir çok hesap sonucu elde edilen veriler depolandı.

Elde edilen verilerden elemandan düğüm dengesine katkı yapacak değerlerin deplasmanların gösterdiği yönde denge denklemlerine katkılar yapılması gerekmektedir. Elemanlardan denge denklemlerine katkı yapılması için düğüm deplasmanlarının numarasını taşıyan sırasıyla “i” ucu ve “j” ucundaki deplasmanı temsil eden codei ve codej değişkenlerinden faydalanılır. “codei” değişkeni “i” ucundaki deplasmanı ve ayrıca “codei” numaralı denklemleri göstermektedir, sonundaki “i” ise “i” ucuna ait olan “ni” uç kuvvetinin ilgili denkleme ilave edileceğini gösterir. Benzer açıklama “j” ucu ve “codej” değişkeni ve “nj” uç kuvveti içinde geçerlidir. “codei” veya “codej” değişkenlerinden sıfır olanın denklemlere katkısı yok demektir. “If” komutu yardımıyla bu durum ayarlanmaktadır. Eleman sayısınca döngü tamamlandığında düğüm dengeleri vasıtasıyla denge denklemleri yazılmış olur. Aşağıdaki program parçası açıklanan işlemleri icra etmektedir.

```
Print["Calculations are in progress"];(* Ekrana işlemlerin yapıldığını yazmaktadır. *)
Do[Print[nn, " th element in progress"]; (* İşlenen eleman belirtilmektedir. *)
i = defIJ[[nn, 1]];
j = defIJ[[nn, 2]]; (*Çubuğun “i” ucu ve “j” ucu düğüm numaraları
belirlenmektedir. *)
xi = xc[[i]]; xj = xc[[j]]; (* Çubuk ucuna ait koordinatlar belirlenmektedir. *)
length = xj - xi; (* Çubuk uzunluğu belirlenmektedir. *)
EM = EMod[[nn]]; (* Çubuk elastisite modülü belirlenmektedir. *)
alfaT = TEC[[nn]]; (* Çubuk sıcaklık genleşme katsayısı belirlenmektedir. *)
A = area[[nn]]; (* Çubuğa ait malzeme özellikleri ve kesit alanı belirlenmektedir. *)
dTn = DeltaTn[[nn]]; (*Çubuktaki sıcaklık değişim belirlenmektedir.)
nz = nqz[[nn]]; (*Çubuk boyunca yayılı yük değeri belirlenmektedir.)
codei = restraints[[i]]; (* Çubuk “i” ucu düğüm deplasman numarası
```

belirlenmektedir. *)

codej = restraints[[j]]; (Çubuk “j” ucu düğüm deplasman numarası belirlenmektedir. *)*

If[SupportDisp[[i]] != 0, ui = SupportDisp[[i]], ui = u[codei]];

If[SupportDisp[[j]] != 0, uj = SupportDisp[[j]], uj = u[codej]];

*(*Üstteki iki satırda mesnet yer değiştirme değerlerine, sınır şartı başlangıç değeri atanmaktadır. *)*

*u0 = Integrate[(Integrate[-nz, z] + c1)/(EM*A), z] + c2;*

bi = u0 /. z -> 0; bj = u0 /. z -> length; (sınır koşulları oluşturuldu *)*

sol = Solve[{bi == ui, bj == uj}, {c1, c2}]; (integral sabitleri elde edildi *)*

u0 = u0 /. sol[[1]]; (boyuna uzama eğrisi düğüm deplasmanlarına bağlı hesaplandı *)*

*Nforce = EM*A (D[u0, z] - alfaT*dTn); (* iç normal kuvvet fonksiyonu hesaplandı *)*

ni = -Nforce /. z -> 0; (çubuk “i” ucu için normal kuvvet değeri hesaplandı *)*

nj = Nforce /. z -> length; (çubuk “j ” ucu için normal kuvvet değeri hesaplandı *)*

EEndForI[[nn]] = ni; (çubuk “i” ucu için bulunan normal kuvvet değeri depolandı *)*

EEndForJ[[nn]] = nj; (çubuk “j” ucu için bulunan normal kuvvet değeri depolandı *)*

uCurve[[nn]] = u0; (çubuk boyuna uzama eğrisi depolandı *)*

lengthEl[[nn]] = length; (çubuk uzunluğu depolandı *)*

NforceF[[nn]] = Nforce; (çubuk normal kuvvet fonksiyonu depolandı *)*

If[codei>0 , SysEq[[codei]] = SysEq[[codei]] + ni];

If[codej>0 , SysEq[[codej]] = SysEq[[codej]] + nj];, {nn, 1, nel}}

3.1.1.5. Program Parçası 5:

Bu program paçasında elde edilen denge denklemleri ekranda sunulmaktadır. Ekranda düğümlerde bulunan deplasmanlara bağlı olarak denklemler analitik olarak görülecektir. Ardından, düğüm deplasmanlarının bilinmeyen olarak isimleri “unk” isimli bir diziye “Table” komutu ve deplasman sayısı kullanılarak aktarılmaktadır. “Solve” komutu kullanılarak elde edilen “SysEq” değişkeninde bulunan denge denklemleri bilinmeyen düğüm deplasmanları “unk” için çözülmektedir. Çözülen değerler çıkartılarak, bilinmeyen deplasmanların içine aktarılmakta ve bilinmeyen deplasmanlar bilinen olmaktadır. Bunlarda otomatik olarak program hafızasında bulunan diğer büyüklüklerde yerine konulmaktadır.

```

Print[MatrixForm[SysEq], " = 0"];(* Denge denklemleri ekrana verilmektedir. *)
unk = Table[u[i], {i, 1, dispN}];(* Bilinmeyenlerin isimleri bir diziye aktarılmaktadır.
*)
Print["unk=", unk];(* Bilinmeyenlerin dizisi ekrana verilmektedir. *)
lsol = Flatten[ Solve[SysEq == 0, unk]]; (*Denklemler deplasmanlar için
çözülmektedir. *)
Print["last sol for u displacement =", lsol]; (* Çözüm sonucu ekrana verilmektedir. *)
Do[u[i] = lsol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];(* Çözüm sonucu ekrana verilmektedir. *)
Print["Elasti cLongitudina lcurves are =", MatrixForm[uCurve]];
Print["End forces for EndI are =", MatrixForm[EEndForI]];
Print["End forces for EndJ are =", MatrixForm[EEndForJ]];
Print["Element force function are =", MatrixForm[NforceF]];
Print[" Calculations are completed "];
Print["Graphs are in progress "];

```

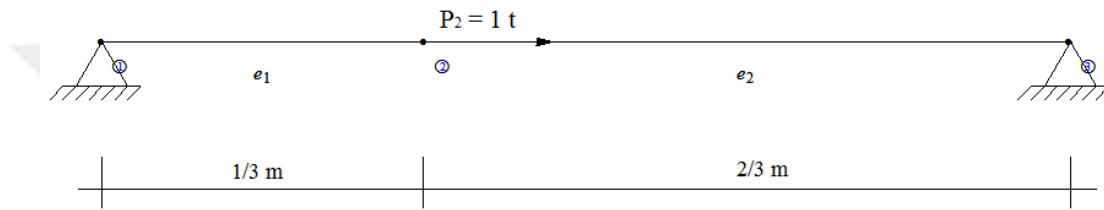
Yukarıda yanına açıklama yazılmamış satırlarda yapılan işlemler şunlardır. Çubuk elastik eğrisi hesaplanır ve bilinen olarak ekrana yazılır. Benzer şekilde “i” ve “j” uçlarına ait uç kuvvetleri ile çubuk iç normal kuvvet değişiminin fonksiyonu ekranda görülür. Hesapların tamamlandığı bundan sonra da grafiklerin çizileceği yazısı ekranda belirir. Grafik kısımları çalışmanın ana temasını içermediğinden sadece program olarak eklerde sunulacak olup, açıklanması verilmeyecektir.

Yukarıda verilen program parçaları uygun bir şekilde Mathematica ortamına aktarılarak, çözülecek sistemin çözümü elde edilir. Eklerde verilen grafik kısmını içeren program kullanıldığı takdirde, ilgilenilen sistemin kuvvet dağılımı, çubuk uç kuvvetleri ile beraber çizilmekte olup, ilaveten sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali mesnetleriyle beraber çizilerek ekranda sunulmaktadır. Bir boyutlu problemlerde çubuk yerel eksen ve global eksen açı yapmadan çakışmaktadır dolayısıyla herhangi bir eksen dönüşümü olmadığından trigonometrik dönüşümlere ihtiyaç duyulmamaktadır, yerel eksen ile global eksen arasında öteleme farkı olmaktadır.

3.1.2. Bir Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Sistem Örnekleri

3.1.2.1. Uygulama 1:

İki ucundan basit mesnetlenmiş ve çubuk boyunca ilk mesnedinden $1/3$ metre uzakta, yatay 1 tonluk tekil kuvvet uygulanmıştır. Toplam çubuk uzunluğu 1 metre olup, sistemin mesnetli ve yük yüklenmiş şekli aşağıda Şekil 3.1.'de verilmektedir. Çubukta sıcaklık değişimi ve yatay yayılı yük olmayıp, elastisite modülü 21000000 t/m^2 ve kesit alanı 0.001 m^2 dir.



Şekil 3.1. İki ucundan mesnetli, ara noktasından yatay tekil yüklü çubuk sistem

Yukarıda verilen çubuk sistemin çözümü için veri dosyası hazırlamak gerekmektedir. Çubuğun yük yüklenen noktadan önce ve sonra olmak üzere iki elemandan oluştuğu görülmektedir. Mesnet noktalarıyla birlikte toplam üç düğüm noktası bulunmaktadır. Düğüm noktaları ve çubuk elemanları numaralandırılmıştır. Yukarıda verilen çubuk sistemin çözümü için hazırlanan veri dosyası aşağıda sunulmuştur. Çubuk eleman sayısı ve düğüm sayısı atanmıştır. Düğüm koordinatları dizisi hazırlanmıştır, “xc” dizisinde tanımlanmıştır. Düğüm serbestlikleri “1” ve “3” numaralı düğümler tutulu olup, “2” numaralı düğüm serbest olarak “restraint” dizisinde tanımlıdır. Düğüm tekil kuvvetleri mesnetlerde olmayıp, sadece “2” numaralı düğümde bir tonluk tekil yük bulunmaktadır, “jload” dizisinde tanımlıdır. Yatay yayılı yük değerleri olmayıp, “nqz” dizisinde sıfır olarak tanımlıdır. Çubuk elastisite modülleri ve kesit alanları “EMod” ve “area” dizilerinde tanımlanmıştır. Sıcaklık yüklemesi ve mesnet çökmeleri olmadığından ilgili dizilerin içine sıfır değerleri atanmıştır. “DeltaTn”, “TEC”, ve “SupportDisp” dizilerinin değerleri tamamen sıfırdır. Eleman tarifleri “i” ucundan “j” ucuna doğru tanımlanmış olup, birinci eleman için “1,2” ve ikinci eleman için “2,3” olarak “defIJ” iki boyutlu dizisinde tanımlanmıştır. Veri dosyası aşağıda yanlarında açıklama satırlarıyla beraber verilmektedir.

Veri dosyası 1:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> ""]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 2; (*çubuk sayısı*)
nod = 3; (*düğüm sayısı*)
xc = {0, 1/3, 1}; (*düğüm koordinatları*)
restraints = {1, 0, 1}; (*düğüm serbestlikleri*)
jload = {0, 1, 0}; (*düğüm noktası tekil yükleri*)
nqz = {0, 0}; (*çubuk yatay yayılı yükü*)
EMod = {21000000, 21000000}; (*çubuk elastisite modülleri*)
area = {0.001, 0.001}; (*çubuk kesit alanları*)
DeltaTn = {0, 0}; (*çubuk sıcaklık değişimleri*)
TEC = {0, 0}; (*çubuk sıcaklık genleşme katsayıları*)
SupportDisp = {0, 0, 0}; (*mesnet yer değiştirmeleri*)
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}}; (*çubuk eleman tarifleri*)
OneD; (*analiz programının icrası*)

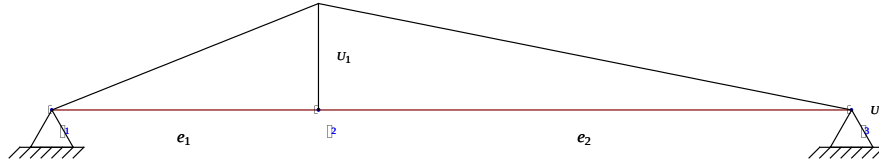
```

Veri dosyasının başında tüm değişkenlerin temizlenmesini yapan bir terim bulunmaktadır. Peşinden analizi yapacak olan Mathematica ortamında kodlanmış ve “1DModul.txt” isimli dosyaya kaydedilmiş olan program, ilgili klasörden Mathematica ortamına yüklenmektedir. Verilerin girişi ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşağıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Tablo 3.1.’de gerekli bilgiler özetlenmiştir.

Tablo 3.1. Örnek 1 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler

Büyüklik adı	Değeri
İki nolu düğümün deplasmanı	0.000010582 m
Birinci çubuğun elastik eğrisi	0.000031746 z
İkinci çubuğun elastik eğrisi	0.000010582 - 0.000015873 z
Birinci çubuk normal kuvveti	0.666 ton
İkinci çubuk normal kuvveti	0.333 ton

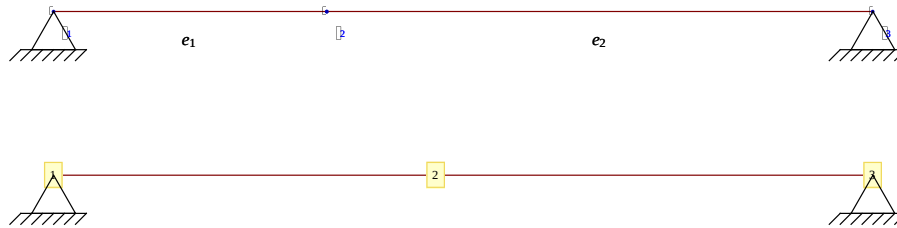
Ayrıca, çözüm sonucu elde edilen çubuk boyuna uzama değişim grafiği (Şekil 3.2.), normal kuvvet değişim grafiği (Şekil 3.3.), deformasyonlu ve deformasyonsuz sistemin karşılaştırılması (Şekil 3.4.) sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Sistemde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği



Şekil 3.3. Sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği



Şekil 3.4. Deformasyonlu ve deformasyonsuz sistemlerin karşılaştırılması

Şekil 3.2.'den görüleceği üzere "2" düğümünün deplasman değeri " u_1 " kadar yani 0.000010582 m olmaktadır. Şekil 3.3.'de ise birinci çubuk kuvvetinin 0.666 ton, ikinci çubukta ise 0.333 ton olduğu görülür. Şekil 3.4.'de ise "2" numaralı serbest olan düğüm, tekil yükün çekip onu sürüklemesi sonucu ileriye doğru gitmektedir. Birinci çubuk uzamakta, ikinci çubuk kısalmakta; fakat tüm çubukta boy değişimi olmamaktadır. Aynı, problem mekanik kurallarınca el ile çözüldüğünde de bire bir aynı sonuçlar elde edilmektedir.

3.1.2.2. Uygulama 2:

Yukarıda verilen aynı sistem, fakat burada yük olarak sadece “1” numaralı çubukta 2 t/m’lik pozitif yönde yatay yayılı yük bulunmaktadır. Çubuk sistem aşağıda Şekil 3.5.’de sunulmaktadır.



Şekil 3.5. Örnek 1 ile aynı sistem, birinci çubukta düzgün yatay yayılı yük mevcut

Bu problem için aynı veri dosyası değişime uğratılarak verilmektedir. Düğüm tekil yükü olmadığı için “jload” dizisinin tüm elemanları sıfır olacaktır. Yatay yayılı yük olarak sadece “1” numaralı çubuk için 2 t/m değeri göz önüne alınmaktadır. Diğer veriler yukarıdakiler ile aynıdır. Aşağıda ikinci örnek için veri dosyası verilmektedir.

Veri dosyası 2:

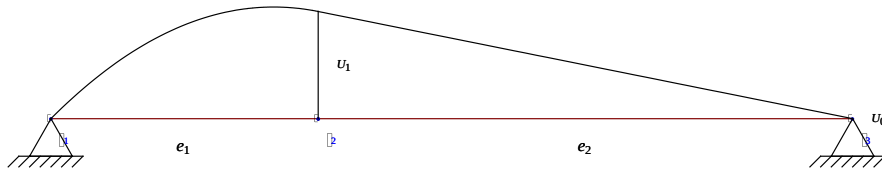
```
Clear[Evaluate[Context[] <> ""]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 2; (*çubuk sayısı*)
nod = 3; (*düğüm sayısı*)
xc = {0, 1/3, 1}; (*düğüm koordinatları*)
restraints = {1, 0, 1}; (*düğüm serbestlikleri*)
jload = {0, 0, 0}; (*düğüm noktası tekil yükleri*)
nqz = {2, 0}; (*çubuk yatay yayılı yükü*)
EMod = {21000000, 21000000}; (*çubuk elastisite modülleri*)
area = {0.001, 0.001}; (*çubuk kesit alanları*)
DeltaTn = {0, 0}; (*çubuk sıcaklık değişimleri*)
TEC = {0, 0}; (*çubuk sıcaklık genleşme katsayıları*)
SupportDisp = {0, 0, 0}; (*mesnet yer değiştirmeleri*)
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}}; (*çubuk eleman tarifleri*)
OneD; (*analiz programının icrası*)
```

Verilerin girişı ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşağıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Aşağıda Tablo 3.2.’de gerekli bilgiler özetlenmiştir.

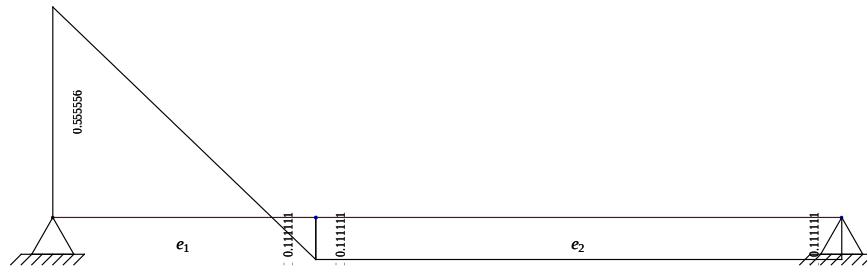
Tablo 3.2. Örnek 2 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler

Büyüklik adı	Değeri
İki nolu düğümün deplasmanı	$3.52734 \times 10^{-6} \text{m}$
Birinci çubuğun elastik eğrisi	$0.000047619 (0.555556 z - z^2)$
İkinci çubuğun elastik eğrisi	$3.52734 \times 10^{-6} - 5.29101 \times 10^{-6} z$
Birinci çubuk normal kuvveti doğrusal değişmektedir	“i” ucunda; 0.55555 ton “j” ucunda; -0.11111 ton
İkinci çubuk normal kuvveti sabittir	-0.11111 ton

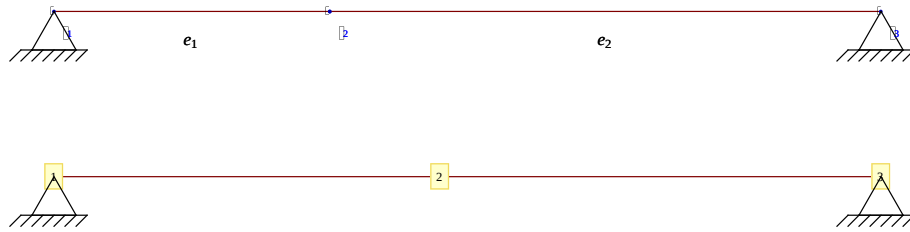
Ayrıca, çözüm sonucu elde edilen çubuk boyuna uzama değişim grafiğı (Şekil 3.6.), normal kuvvet değişim grafiğı (Şekil 3.7.), deformasyonlu ve deformasyonsuz sistemin karşılaştırılması (Şekil 3.8.) sunulmaktadır.



Şekil 3.6. Örnek 2 sisteminde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiğı



Şekil 3.7. Örnek 2 sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiğı



Şekil 3.8. Örnek 2 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği

Şekil 3.6.’dan da görüleceği üzere “2” düğümünün deplasman değeri “u1” kadar yani 3.52734×10^{-6} m olmaktadır. Şekil 3.7.’de ise birinci çubuk kuvvetinin çubuk boyunca doğrusal değişken olduğu; “i” ucunda 0.5555 ton değerini, “j” ucunda ise -0.1111 ton değerini aldığı görülür. İkinci çubukta ise normal kuvvet sabit olup, -0.1111 ton olmaktadır. Birinci çubuğun büyük bir kısmı çekmeye çalışmakta, küçük bir kısmı ise basınç kuvvetine maruz olmaktadır. İkinci çubuk ise tamamen basınç zorlaması altında kalmaktadır. Şekil 3.8.’de ise “2” numaralı serbest olan düğüm, birinci çubukta bulunan yatay yayılı yükün itmesi sonucu ileriye doğru gitmektedir. Birinci çubuk uzamakta, ikinci çubuk kısalmakta; fakat tüm çubukta boy değişimi olmamaktadır. Aynı, problem mekanik kurallarınca el ile çözüldüğünde de bire bir aynı sonuçlar elde edilmektedir.

3.1.2.3. Uygulama 3:

Yukarıda verilen aynı sistem, fakat burada yük olarak sadece “2” numaralı çubukta -20 derecelik sıcaklık değişimi bulunmaktadır. Sıcaklık genleşme katsayısı $0.000012/C^{\circ}$ olarak verilmektedir.

Bu problem için aynı veri dosyası değişime uğratarak verilmektedir. Düğüm tekil yükü olmadığı için “jload” dizisinin tüm elemanları sıfır olacaktır. Yatay yayılı yük değerleri de sıfır olmaktadır. Sıcaklık genleşme katsayıları iki eleman içinde eşit olarak, “TEC” dizisi içinde tanımlanmaktadır. Diğer veriler yukarıdakiler ile aynıdır. Sıcaklık değişim değeri sadece “2” numaralı çubukta olduğundan, “DeltaTn” dizisinde; “1” numaralı eleman için sıfır, “2” numaralı eleman için -20 değeri tanımlanmaktadır. Üçüncü örnek için veri dosyası aşağıda verilmektedir.

Veri dosyası 3:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> ""]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 2; (*çubuk sayısı*)
nod = 3; (*düğüm sayısı*)
xc = {0, 1/3, 1}; (*düğüm koordinatları*)
restraints = {1, 0, 1}; (*düğüm serbestlikleri*)
jload = {0, 0, 0}; (*düğüm noktası tekil yükleri*)
nqz = {0, 0}; (*çubuk yatay yayılı yükü*)
EMod = {21000000, 21000000}; (*çubuk elastisite modülleri*)
area = {0.001, 0.001}; (*çubuk kesit alanları*)
DeltaTn = {0, -20}; (*çubuk sıcaklık değişimleri*)
TEC = {0.000012, 0.000012}; (*çubuk sıcaklık genleşme katsayıları*)
SupportDisp = {0, 0, 0}; (*mesnet yer değiştirmeleri*)
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}}; (*çubuk eleman tarifleri*)
OneD; (*analiz programının icrası*)

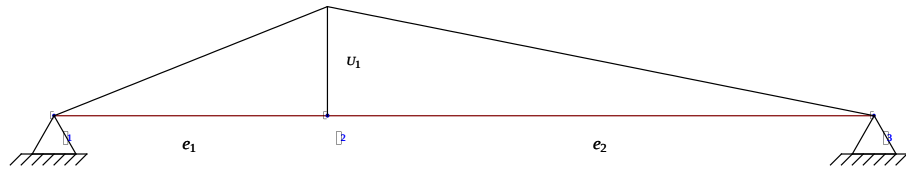
```

Verilerin girişi ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşağıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Aşağıda Tablo 3.3’de gerekli bilgiler özetlenmiştir.

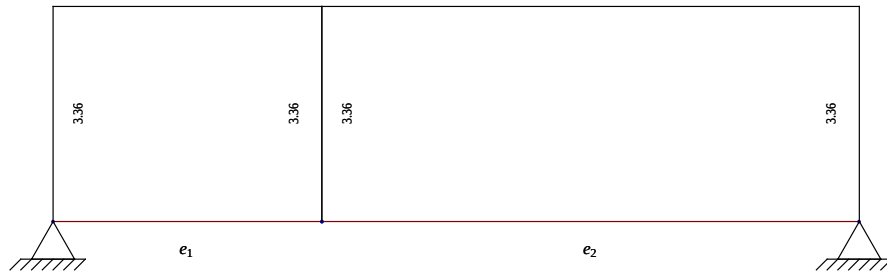
Tablo 3.3. Örnek 3 de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler

Büyüklik adı	Değeri
İki nolu düğümün deplasmanı	0.00053333 m
Birinci çubuğun elastik eğrisi	0.00016 z
İkinci çubuğun elastik eğrisi	0.00053333 -0.00008 z
Birinci çubuk normal kuvveti sabit	3.36 ton
İkinci çubuk normal kuvveti sabittir	3.36 ton

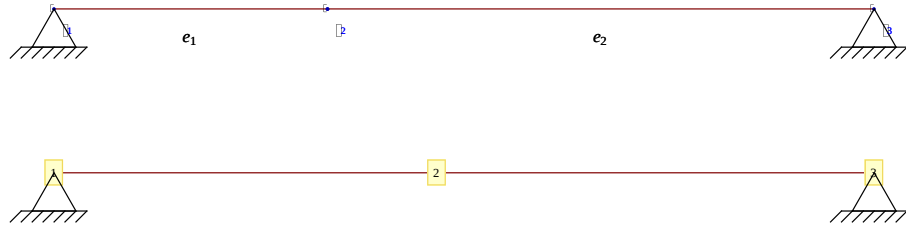
Ayrıca, çözüm sonucu elde edilen çubuk boyuna uzama değişim grafiği (Şekil 3.9.), normal kuvvet değişim grafiği (Şekil 3.10.) ve deformasyonlu ve deformasyonsuz sistemin karşılaştırılması (Şekil 3.11.) sunulmaktadır.



Şekil 3.9. Örnek 3 sisteminde her bir noktaya ait boy uzama miktarı grafiği



Şekil 3.10. Örnek 3 sistemde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği

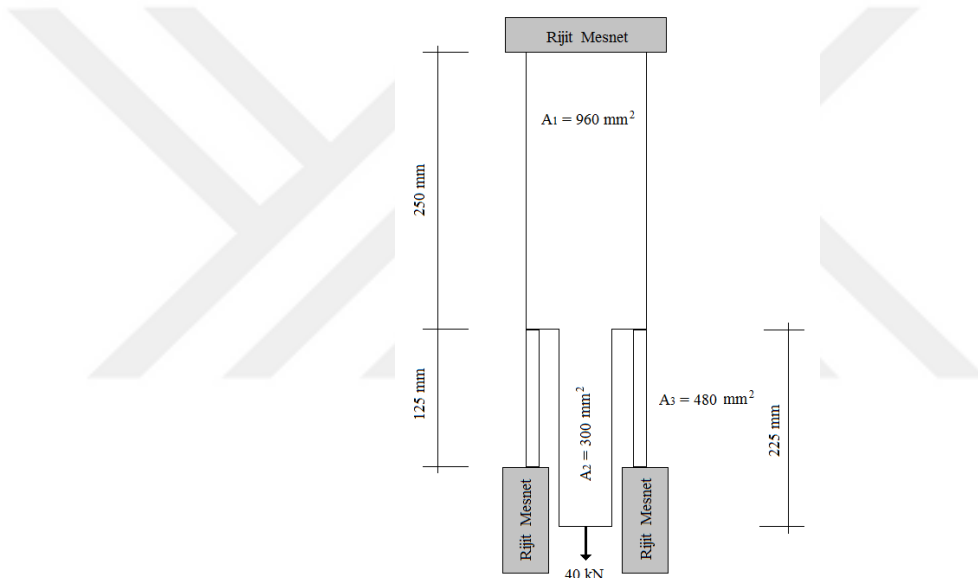


Şekil 3.11. Örnek 3 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği

Şekil 3.9.'dan görüleceği üzere “2” düğümünün deplasman değeri “ u_1 ” kadar yani 0.00053333 m olmaktadır. Şekil 3.10.'da ise birinci çubuk kuvvetinin çubuk boyunca sabit olduğu ve 3.36 ton değerini aldığı görülür. İkinci çubukta ise normal kuvvet yine sabit olup, değeri 3.36 ton olmaktadır. Birinci çubuk çekmeye çalışmakta, olup ikinci çubukta çekmeye çalışmaktadır. Şekil 3.11'de ise “2” numaralı serbest olan düğüm, ikinci çubuğun negatif sıcaklık değişimi sonrası kısalmasıyla ikinci çubuğa doğru çekildiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle iki çubukta da karşılıklı çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Birinci çubuk uzamakta, ikinci çubuk kısalmakta; fakat tüm çubukta boy değişimi olmamaktadır. Aynı, problem mekanik kurallarınca el ile çözüldüğünde de bire bir aynı sonuçlar elde edilmektedir.

3.1.2.4. Uygulama 4:

Dördüncü örnek olarak, literatürden alınan bir problem sunulmaktadır [22]. Çubuk sistem aşağıda Şekil 3.12.'de verilmiştir. Rijit bir mesnede bağlı olan silindirik A1 çubuğunun kesiti, A2 kısmına geçtiğinde değişmektedir. A1 çubuğu kesit değiştirdiği noktada, yaka denilen A3 isimli silindirik bir boru parçasından geçip A2 kesitine dönüşmektedir. A1 kısmının A2 ye geçtiği noktada A3 yakasına oturmaktadır. A3 yakasıda rijit dairesel kenar mesnede rahatça oturmaktadır. Yakanın ne kadar kısaldığı ve A1-A2 bileşik çubuğunun boyunun ne kadar uzadığının hesaplanması istenmektedir. Malzeme çelik olup, elastisite modülü 200 GPa'dır.



Şekil 3.12. Uygulama 4 literatürden alınan çubuk sistem problemi [22]

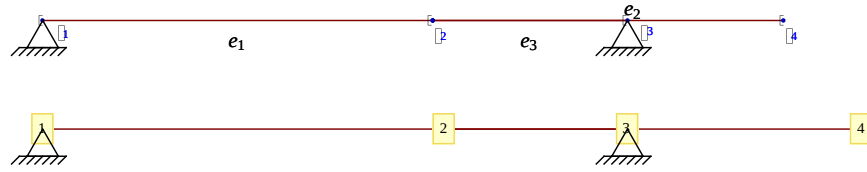
Yukarıda tanımlanan problemi çözmek amacıyla, aşağıdaki veri dosyası hazırlanmıştır. Burada A₁ çubuğunun üst mesnede bağlandığı noktanın düğüm numarası "1" olarak verilmiştir. A₁, A₂ ve A₃ çubuklarının birleşim noktasına "2" düğüm numarası verilmiştir. A₃ yakası ile mesnetlendiği dairesel noktalar kümesi "3" düğüm numarası ile adlandırılmış olup, tekil kuvvetin uygulandığı A₂ çubuğunun alt ucu "4" düğüm numarası ile belirlenmiştir. "X" eksenini olarak düşey eksen alınmış olup, başlangıç noktası A₁ çubuğunun üst ucu alınmıştır. A₁, A₂ ve A₃ çubukları da isimleri ile uyumlu olması amacıyla, sırasıyla "1", "2", "3" değerleriyle numaralandırılmıştır. Buna göre aşağıdaki veri dosyası ortaya çıkmıştır. Sistemde 3 çubuk eleman ve 4 düğüm noktası bulunmaktadır. Çubuk boyunca yayılı yük, sıcaklık verisi ve mesnet çökmesi yoktur, dolayısıyla bu veriler sıfır olarak girilmektedir. Mesnetler "1" ve "3" numaralı

düğümelerde olduğundan, serbestlikleri “restraint” dizisinde “1” olarak tanımlanmıştır. Diğer iki düğüm serbest olduğundan ilgili değerler “0” olarak atanmıştır. Tekil kuvvet “4” nolu düğümde bulunduğundan, “jload” dizisinin sadece dördüncü elemanına tekil kuvvet değeri girilmiş, diğerleri sıfır olarak atanmıştır. Elastisite modülleri üç eleman içinde 200 GPa olarak girilmiş olup, kesit alanları sırasıyla 960, 300 ve 480 mm² olarak atanmıştır. Çubuk eleman tarifleri ise A1 çubuğu, üst ucu ve alt ucunun bağlı olduğu “1-2” düğüm numaraları ile tanımlanmıştır. A1 in devamı olan A2 çubuğu da kendi üst ve alt ucunun bağlandığı “2-4” düğümleri ile tanımlanmıştır. A3 çubuğu da benzer şekilde kendi üst ve alt ucunun bağlı olduğu “2-3” düğüm numaraları ile tanımlanmıştır. Çubuk sistemin bilgisayar programı için modeli elde edilmiş olup, aşağıdaki veri dosyası oluşmuştur.

Veri dosyası 4:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 3;
nod = 4;
xc = {0, 250, 375, 475};
restraints = {1, 0, 1, 0};
jload = {0, 0, 0, 40};
nqz = {0, 0, 0};
EMod = {200, 200, 200};
area = {960, 300, 480};
DeltaTn = {0, 0, 0};
TEC = {0, 0, 0};
SupportDisp = {0, 0, 0, 0};
defIJ = {{1, 2}, {2, 4}, {2, 3}};
OneD;
```

Verilerin girişi ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşağıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Aşağıda Tablo 3.4.’de gerekli bilgiler özetlenmiştir.

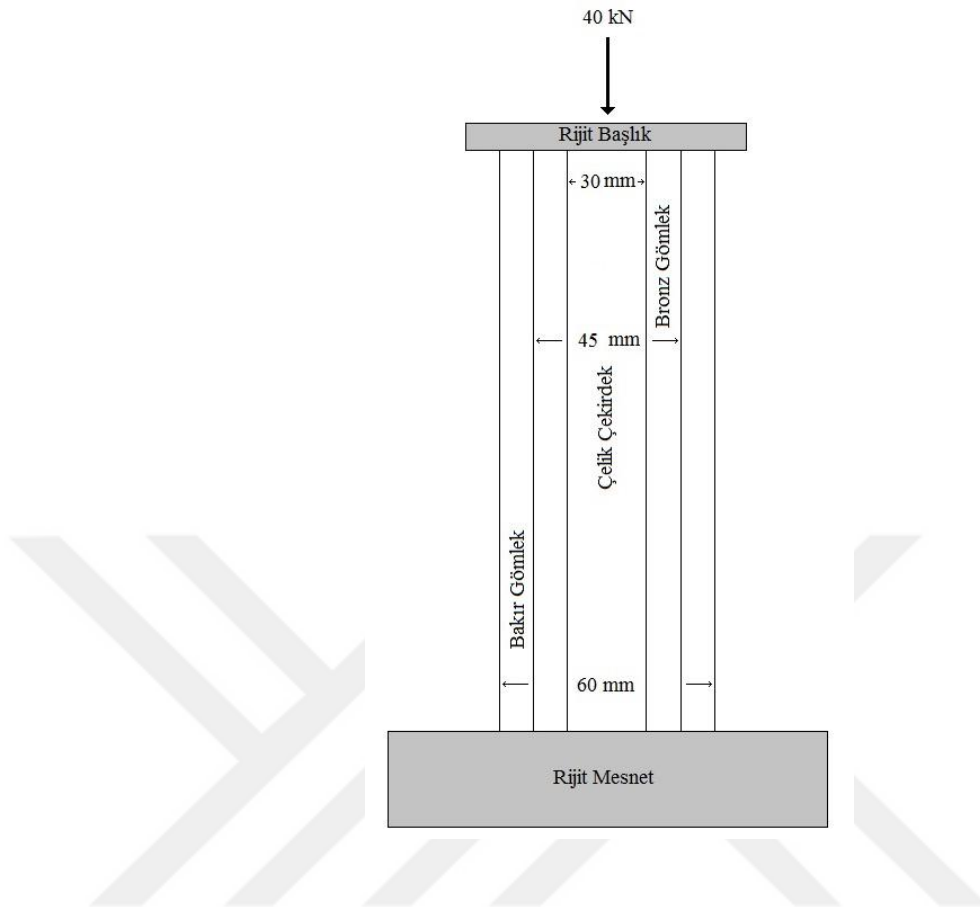


Şekil 3.15. Uygulama 4 sisteminde her bir noktaya ait normal kuvvet değeri grafiği

Şekil 3.13. ve Tablo 3.4.'den görüleceği üzere “2” ve “4” numaralı serbest düğümlerin deplasman değeri “u1” ve “u2” sırasıyla 0.026 ve 0.176 mm olmuştur. Elde edilen değerler kaynakta verilen değerler ile birebir aynıdır. Şekil 3.14.'de ise A1 çubuğunun normal kuvvet değeri çubuk boyunca sabit olup, 20 kN olarak hesaplanmıştır. A2 çubuğunun normal kuvvet değeri beklendiği gibi 40 kN olup, çubuk boyunca sabittir. A3 çubuğunun normal kuvvet değeri -20 kN olarak elde edilmiştir. A1 ve A2 çubukları çekme, A3 çubuğu ise basınca maruz kalmaktadır. Deformasyonsuz ve deformasyonlu sistemin karşılaştırıldığı Şekil 3.15.'de ise “2” ve “4” nolu serbest hareket edebilen düğümlerin çubuk uç kuvveti yönünde sağa doğru (problemin verildiği ilk şekildeki resme göre ise aşağı yönde) yer değiştirdiği görülmektedir.

3.1.2.5. Uygulama 5:

Beşinci örnek olarak, yine literatürden alınan bir problem sunulmaktadır [22]. Çubuk sistem aşağıda Şekil 3.16.'da verilmiştir. Burada üç metalden oluşan bir çubuk sistemi verilmektedir. Çelik çekirdekten oluşan silindirik bir çubuk, bronz ve bakır tüpler ile sarılmıştır. Çelik, bronz ve bakır kısmın çapları sırasıyla; 30, 45 ve 60 mm olarak verilmektedir. Çelik, bronz ve bakırın elastisite modülleri de sırasıyla 210, 100, 120 GPa olarak verilmektedir. Üçlü metalden oluşan çubuk sistemi bir ucundan rijit bir zemine mesnetlenen çubuk, serbest ucundan rijit bir uç başlığı ile değeri 40 kN olan tekil bir kuvvet ile baskılanmaktadır. Uygulanan yük nedeniyle çelik, bronz ve bakırda oluşan normal gerilmelerin hesabı istenmektedir.



Şekil 3.16. Uygulama 5 literatürden alınan çubuk sistem problemi [22]

Yukarıda verilen beşinci örnek için veri dosyası hazırlanmıştır. Veri dosyası için gerekli açıklama aşağıda verilmektedir. Üç farklı metal birbirine paralel çubuk sistemi oluşturulmuştur. Çubukların alt ucuna “1” düğüm numarası verilmiş olup, üst ucuna “2” düğüm numarası verilmiştir. Üç çubukta aynı düğüm noktaları ile “1-2” tarif edilmektedir. Alt uç tutulu üst uç ise serbest olarak “restraint” dizisinde tanımlanmıştır. Çelik çekirdek olan eleman “1” ile, bronz gömlek eleman “2” ile, ve bakır gömlek eleman ise “3” ile numaralandırılmıştır. Toplam eleman sayısı “3” ve düğüm sayısı ise “2” olmuştur. İlgili elemanların elastisite modülleri “EMod” dizisinde sırayla tanımlanmıştır. Kesit alanları da “area” dizisi içinde uygun şekilde hesaplanmaktadır. Çubuk boyunca yatay yayılı yük ve sıcaklık değişimi yüklemesi olmadığından ilgili büyüklükler sıfır olarak tanımlanmıştır. Mesnet yer değiştirme yüklemesi olmadığından ilgili büyüklük sıfır olarak atanmıştır. Düğüm tekil yükü olarak “jload” dizinin “2 inci” elemanına “2” nolu düğümü temsilen -40 kN’luk yük basınç olduğu için negatif olarak tanımlanmıştır. Literatürde çubuk boyları; hesabı etkilemediği verilmemiş olmakla

birlikte, bu çalışmada “1” olarak alınmıştır. Gerilmelerin hesabı istendiğinden, programın hesapladığı normal kuvvet değerleri veri dosyasının en sonunda çubuk alanlarına bölünerek; gerilme değerleri hesaplanmıştır. Aşağıda veri dosyası görülmektedir.

Veri dosyası 5:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 3;
nod = 2;
xc = {0, 1};
restraints = {1, 0};
jload = {0, -40};
nqz = {0, 0, 0};
EMod = {210, 100, 120};
area = {Pi*30^2/4., Pi*(45^2 - 30^2)/4., Pi*(60^2 - 45^2)/4.};
DeltaTn = {0, 0, 0};
TEC = {0, 0, 0};
SupportDisp = {0, 0};
defIJ = {{1, 2}, {1, 2}, {1, 2}};
OneD;
Do[Print["Sigma(", i, ")=", 1000 N[EEndForJ[[i]]/area[[i]]]], {i, 1, nel}];
```

Verilerin girişi ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşağıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Tablo 3.5.’de gerekli bilgiler özetlenmiştir.

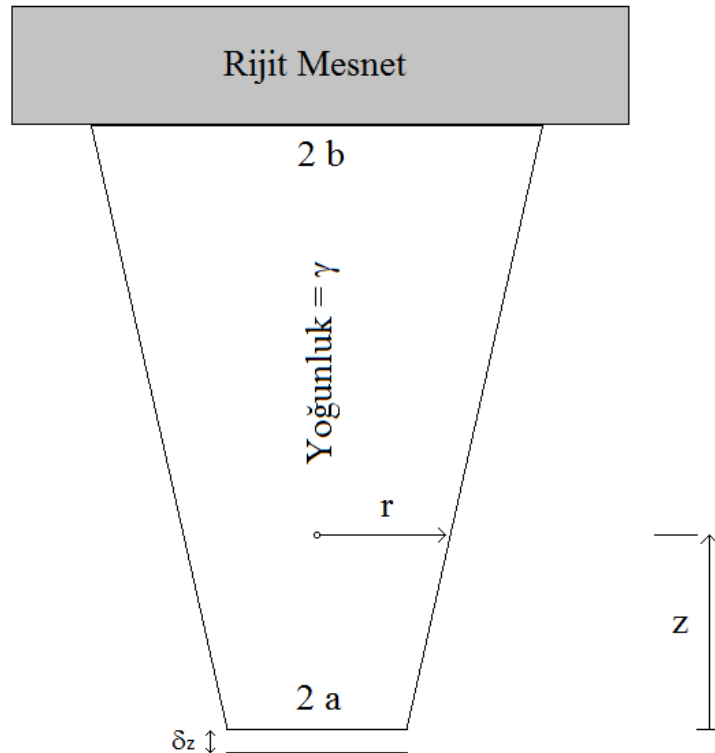
Tablo 3.5. Uygulama 5’ de verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler

Eleman-Büyüklik adı	Normal kuvvet	Gerilme
Çelik çubuk	-15.4128kN	-21.8047 MPa
Bronz çubuk	-9.17431kN	-10.3832 MPa
Bakır çubuk	-15.4128kN	-12.4598Mpa

Tablo 3.5.'den görüleceği üzere, çelik, bronz ve bakır üzerinde tekil yükten dolayı sırasıyla 21.8, 10.38 ve 12.46 MPa basınç gerilmeleri oluşmaktadır. Elde edilen bu değerler problemin alındığı kaynakla uyumludur. Bu problemin çalışmada geliştirilen program ile çözülmesi, programın farklı malzemelerden oluşan ve paralel olarak birleştirilmiş çubuk sistemlerinin de çözecek şekilde çok yönlü ve genel olarak kodlandığının göstergesi olmaktadır.

3.1.2.6. Uygulama 6:

Altıncı örnek olarak, literatürden alınan [37], rijit mesnetten sarkıtılmış kesik koni. Kesik koninin kısa ve uzun çaplarının değeri sembolik olarak sırasıyla “ $2a$ ” ve “ $2b$ ” olarak verilmekte olup, elastisite modülü “ E ”, uzunluğu “ L ”, yoğunluğu “ γ ” olarak verilmektedir. Kesik koninin serbest ucunun kendi ağırlığı altında ne kadar uzama yapacağı belirlenmek istemektedir. Bu örnekte çubuk kesit alanı değişken olup yarıçapın karesiyle yani parabolik olarak değişmektedir. Aynı zamanda çubuk boyuna yayılı yük olarak etki eden öz ağırlığı da kesitten kesite değişmektedir. Aşağıda kesik koninin Şekil 3.17.'de gerekli bilgileri verilmektedir.



Şekil 3.17. Kendi ağırlığı altında kesik koni problemi [37]

Yukarıda verilen altıncı örnek için veri dosyası hazırlanmıştır. Veri dosyası için gerekli açıklama aşağıda verilmektedir. Kesik koni bir parçadan oluşmaktadır. Üst ucu rijit alt ucu serbesttir. Çubuk eksenini başlangıcı alt uca konulmuştur. Bu nedenle alt uca “1” düğüm numarası, üst uca “2” düğüm numarası verilmiştir. Tek çubuk olduğundan alttan üste doğru tanımlanmış olup, tarifi “1-2” olarak ilgili diziye atanmıştır. Düğüm koordinatları için “1 inci” düğüm için “0” olmakta ve “2 inci” düğüm için sembolik olarak “L” olmaktadır. Program sembolik işlem yeteneğine sahip olduğundan değerler sembolik olarak da atanabilmektedir. Yarıçapı değişimi bulunarak, kesit alanı yarıçapa bağlı bulunarak, ilgili dizide tanımlanmıştır. Ağırlık değişimi de kesit alanı ve yoğunluğun çarpımı olarak çubuk eksenine paralel yayılı yük olarak tanımlanmıştır. Elastisite modülü sembolik olarak “E” girilmiştir. Sıcaklık değişimi, tekil yük ve mesnet yer değiştirmesi olmadığından ilgili dizilere sıfır atanmıştır. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.

Veri dosyası 6:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
nel = 1;
nod = 2;
xc = {0, L};
restraints = {0, 1};
jload = {0, 0};
 $r = a + (z/L) (b - a)$ 
nqz = {g*Pi r^2};
EMod = {E};
area = {Pi r^2};
DeltaTn = {0};
TEC = {0};
SupportDisp = {0, 0};
defIJ = {{1, 2}};
OneD;
```

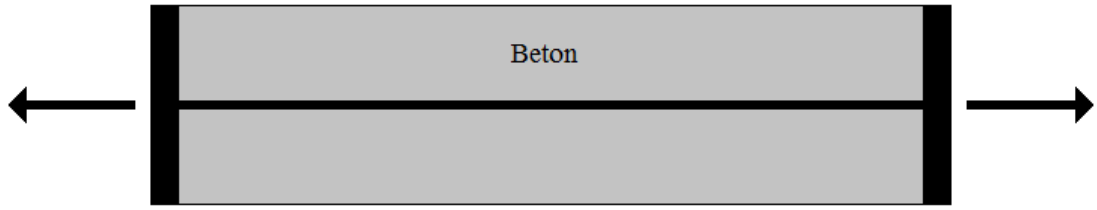
Verilerin girişı ve tanıtların yapılmasından sonra, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra aşığıdaki sonuçlar ekrana düşmüştür. Tablo 3.6.’da gerekli bilgiler özetlenmiştir. Tablo 3.6.’dan görüleceğı üzere serbest uç normal kuvvet değeri sıfırdır ve açıkça görülmektedir. Mesnetteki değeri ise tüm kesik koninin ağırlığına eşit olmuştur. Serbest uçtaki boy uzaması elde edilmiştir, literatürde [37] de aynı sonuç elde edilmiştir. Geliştirilen program ile hem kesit alanı hem de yayılı yükü değışken problemler çözülebilmektedir. İlâveten işlemler istendiğinde sembolik veri ile de yapılabilir. Benzer problem başka bir literatürde de bulunmaktadır [29].

Tablo 3.6. Uygulama 6 da verilen sistemin çözümü sonucu elde edilen özet bilgiler

Büyükük adı	Değeri
Boy uzaması	$\frac{(2a + b)\gamma L^2}{6bE}$
Boyuna elastik eğri	$\frac{\gamma(L - z)(2a^2L^2 + b^2z(L + z) + ab(L^2 + 2Lz - z^2))}{6bE(a(L - z) + bz)}$
N fonksiyonu	$-\frac{\gamma\pi z(ab(3L - 2z)z + b^2z^2 + a^2(3L^2 - 3Lz + z^2))}{3L^2}$
Serbest uçtaki N	0
Mesnet reaksiyonu	$-\frac{1}{3}(a^2 + ab + b^2)\gamma L\pi$

3.1.2.7. Uygulama 7:

Yedinci örnek olarak yine literatürden [22] alınan bir örnek sunulmuştur. Bu problem ilginç örnek oluşturması açısından önemlidir. Aşığıda Şekil 3.18.’de verilen örnek öngerilmeli betonarme problemidir. Çelik öngerme başlıkları ile çekilen öngerme donatısı 6200 kgf’lık kuvvet ile çekilerek tutulmuş ve beton kalıbı içinde yer almıştır. Daha sonra, çelik kalıp içinde çekili iken, üzerine beton doldurularak, priz alması ve 28 gün sonuna kadar dayanım kazanması için beklenmiştir. Beton dayanımını kazandıktan sonra, çelik başlıklar serbest bırakılarak beton içinde çekili bulunan çeliğin beton üzerine basınç gerilmesi oluşması sağlanmıştır. Çeliğe ait elastisite modülü ile beton elastisite modülü oranı 12/1 olup, çelik alanı ile beton alanı arasındaki oran ise 1/50 olduğu bilinmektedir. Öngerme çeliği serbest bırakıldığında çelik ve beton üzerinde oluşacak gerilme değerlerinin belirlenmesi istenmektedir.



Şekil 3.18. Öngermeli betonarme çubuk

Problemin geliştirilen program ile çözülebilmesi için bir benzetme geliştirilmiştir. Uzayan çeliğin uzadığı kadar kısalması için gerekli sıcaklık değişimi, çeliğin ısı genleşme katsayısı “1” alınarak hesap edilmiştir. Bu hesap aşağıdaki ifade (Denklem 3.1) yardımıyla yürütülmüştür. Oranlar ise doğrudan malzeme değerleri olarak alınmıştır.

$$\Delta L = \frac{N_{\text{ç}} L_{\text{ç}}}{E_{\text{ç}} A_{\text{ç}}} = \alpha \cdot \Delta t \cdot L_{\text{ç}} \quad (3.1)$$

Uzunluklar elimine olmaktadır. Malzeme değerleri olarak oranlar yerine konulduğunda. Denklem 3.1., Denklem 3.2. halini almaktadır.

$$\Delta t = \frac{6200}{12} = 51.6666 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3.2)$$

Böylece problem ısı genleşme problemi gibi çözülebilir. Kirişin boyutu sonuçlardan elimine olduğundan, hesaplarda bilgisayarın kullanması için “1” metre olarak girilmektedir. Çubuğun bir ucu tutulu diğer ucu serbest olarak bırakılmıştır. Sol ucu “1” düğüm numarası, diğer ucu ise “2” ile numaralandırılmıştır. Bir numaralı düğümün koordinatı “0” olarak, “2” numaralı düğümün koordinatı çubuk boyunu sembolik olarak “1” değeri girilmiştir. Beton elaman “1” numarası ile çelik eleman ise “2” numarası ile kodlanmıştır. İkisinin tanımı ise “1-2” olarak verilmiştir. Tekil yük, yayılı yük, ve mesnet hareketleri olmadığından sıfır olarak girilmiş olup, beton genleşme katsayısı “0”, çelik genleşme katsayısı “1” olarak girilmiştir. Benzer şekilde beton sıcaklık değişimi sıfır olup, çelikte sıcaklık değişimi Denklem 3.2.’de elde edilen, 51.666 $^{\circ}\text{C}$ değeri girilmiştir. Problem için hazırlanan veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.

Veri dosyası 7:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<<"C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
(*eksenel öngerme problemi sıcaklık değişimi analojisi ile çözülmektedir*)
nel=2;
nod=2;
xc = {0,1};
restraints= {1,0};
jload={0,0};
nqz= {0,0};
EMod={1,12};
area={50,1};
DeltaTn={0,-6200/12};
TEC={0,1};
SupportDisp={0,0};
defIJ={{1,2}, {1,2}};
OneD;
Do[Print["Sigma(",i,")=",N[EEndForJ[[i]]/area[[i]]/10];,{i,1,nel}];

```

Yukarıda verilen dosyanın icrasından sonra ve arkasından gelen, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra bilgisayardan elde edilen gerilme değerleri aşağıda Tablo 3.7.’de sunulmuştur.

Tablo 3.7. Öngerme sonucu beton ve çelikte oluşan gerilmeler

Eleman	Gerilme değeri
Çelik	500 MPa (çekme)
Beton	10 MPa (basınç)

Elde edilen değerlerin literatürde verilen değerlerle aynı olması, öngerme problemlerini çözerken uzama miktarlarının ısı genleşme katsayı ve sıcaklık değişimi ile ilişkilendirerek, çözümlerin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

3.1.2.8. Uygulama 8:

Örnek yedide verilen problem, mesnet yer değiştirmesi eşdeğeri kullanılarak tekrar çözülmektedir. Burada verilerin tamamı aynıdır, sadece sıcaklık yüklemesi yapılmayacak olup, sıcaklık yüklemesi sıfır olmaktadır. Yükleme, mesnet yer değişim şeklide yapılmaktadır. Bu mesnet değişiminin oluşması ise öngermenin çeliği geriye çekmesine bağlandığından, çeliğin bağlandığı mesnede yer değiştirme tanımlanmaktadır. Bu nedenle beton ve çelik elemanın sabit olarak bağlandığı mesnet noktaları koordinatları aynı olmakla beraber farklı düğüm olarak tanımlanmaktadır. Böylece ilave bir düğüm daha oluşarak toplam düğüm sayısı “3” olmaktadır. Beton ve çeliğin ilk düğümleri sırasıyla “1” ve “2” olmakta, ikinci düğüm ise ikisi içinde “3” olmaktadır. Beton elaman “1” numaralı eleman olarak “1 den 3e” ile tarif edilirken, çelik eleman “2” numaralı eleman olarak “2 den 3 e” tanımlanmaktadır. İlk iki düğümün koordinatı aynı olmakta, üçüncü düğümün koordinatı ise çubuk boyu olmaktadır. İlk iki düğüm sabit tutulmakta üçüncü düğüm ise serbest bırakılmaktadır. Çeliğin bulunduğu mesnet ise ön germeyi temsilen geriye doğru çekme oluşturması maksadıyla, geriye doğru yer değiştirmeye maruz bırakılmıştır. Yer değiştirme miktarı da çeliğe uygulanan kuvvet ve malzeme özellikleri ile hesaplanmıştır (Denklem 3.1. kullanılarak, ΔL olarak hesaplanmıştır). Çelikteki ilk uzama çok küçük olduğundan ihmal edilerek geometrik uzunluklara dâhil edilmemiştir. Aşağıda hazırlanan yeni veri dosyası sunulmaktadır.

Veri dosyası 8:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
(*eksenel öngerme problemi mesnet yer değiştirmesi analojisi ile çözülmektedir*)
nel = 2;
nod = 3;
xc = {0, 0, 1};
restraints = {1, 1, 0};
jload = {0, 0, 0};
nqz = {0, 0};
EMod = {1, 12};
area = {50, 1};
```

```

DeltaTn = {0, 0};
TEC = {0, 1};
SupportDisp = {0, -6200/12, 0};
defIJ = {{1, 3}, {2, 3}};
OneD;
Do[Print["Sigma(", i, ")=", N[EEndForJ[[i]]/area[[i]]/10];, {i, 1, nel}];

```

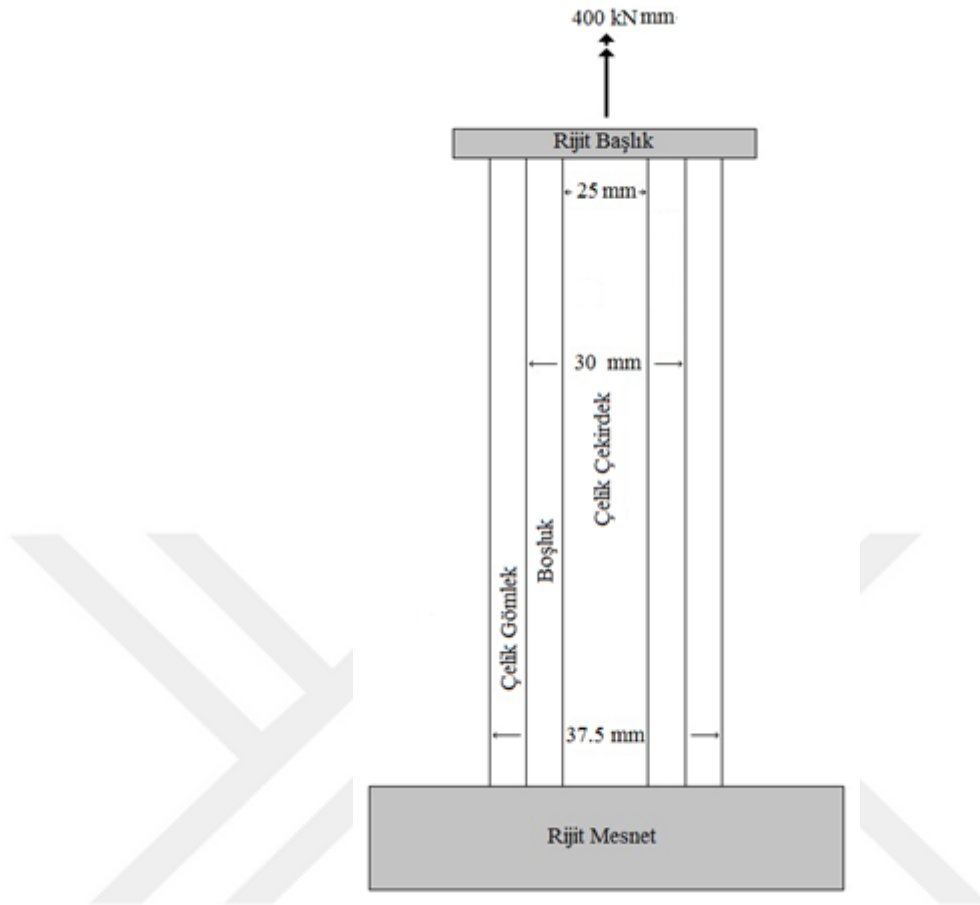
Yukarıda verilen dosyanın icrasından sonra ve arkasından gelen, analiz programı modülü olan OneD icra edilmektedir. “OneD” modülü icra edildikten sonra bilgisayardan elde edilen gerilme değerleri daha önce yedinci örnekte bulunan ve literatürle eşit bulunmuştur. Öngerme problemlerini çözerken yedinci örnekte olduğu gibi uzama miktarlarının ısı genleşme katsayı ve sıcaklık değişimi ile ilişkilendirerek, ya da mesnet yer değiştirmesi analojisi ile çözmenin mümkün olduğu anlaşılmıştır.

3.1.2.9. Dairesel Çubukta Oluşan Burulma Problemi

Bir boyutlu normal kuvvet içeren problemleri çözmek için geliştirilen program, çubukta burulmayı idare eden diferansiyel denklemin normal kuvvet için olan denkleme benzer olmasından dolayı, burulmaya maruz çubuk sistemler içinde geçerlidir. Burada eksenel rijitlik; burulma rijitliğine karşılık gelmektedir. Serbestlik ise uzama yerine açı dönmesine tekabül etmektedir. Tekil yatay kuvvet, tekil burulma momentine karşılık olup, yayılı normal kuvvette, yayılı burulma momentinin eşdeğeridir. Mesnet yer değiştirmesi ise eksenel mesnet dönmesinin benzeridir. Bu nedenle bir adet literatürden alınan dairesele çubukta burulma problemi çözümlere sunulmuştur.

3.1.2.9.1. Uygulama 9:

Aşağıda dairesele kesite sahip (Şekil 3.19.) 550 mm net açıklıklı çelik çekirdek, çelik bir boru gömlek içine arada boşluk olacak şekilde yerleştirilmiştir. Çelik gömlek ve çelik çekirdek alt ucundan rijit bir mesnede üst ucundan ise rijit uç başlığına bağlanmıştır. Üst ucundan 400 kN.mm burulma momentine maruz kalan sistemin üst başlığının dönme açısının hesaplanması istenmektedir. Ayrıca, çelik çekirdek ve çelik gömlekte oluşacak en büyük kayma gerilmelerinin bulunması istenmektedir. Kayma modülü 80 000 MPa’dır [22].



Şekil 3.19. Dairesel kesite sahip çelik gömlek ve silindirik çelik çekirdek [22]

Problemin çözümü için veri dosyası oluşturulmuştur. Sistemin alt ve üst ucu “1” ve “2” düğüm numaraları ile numaralandırılış olup eksen takımı alt uca oturtulmuştur. Çubuk eleman numaraları çelik çekirdek ve gömlek için sırasıyla “1” ve “2” olarak tanımlanmıştır. Çubuklara ait polar atalet momentleri hesaplanarak, “area” dizisinde tanımlanmıştır. Tekil moment tekil yük gibi verilmiştir. Yayıllı yük, mesnet yer değiştirmesi ve sıcaklık ile ilgili yüklemeler sıfır olarak tanımlanmıştır. Çubuk alt ucu tutulu ve üst ucu serbest olarak girilmiştir. Aşağıda hazırlanan veri dosyası sunulmaktadır.

Veri dosyası 9:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
(*burulma problemi eksenel normal kuvvet gibi çözülebilmektedir*)
```

```

nel = 2;
nod = 2;
xc = {0, 550};
restraints = {1, 0};
jload = {0, 400};
nqz = {0, 0};
EMod = {80000, 80000};
Ibar = (Pi /2.) (25/2)^4;
Itube = (Pi/2.) ((37.5/2)^4 - (30/2)^4);
area = {Ibar, Itube};
DeltaTn = {0, 0};
TEC = {0, 0};
SupportDisp = {0, 0};
defIJ = {{1, 2}, {1, 2}};
OneD;
(25/2)EEndForJ[[1]]/Ibar
(37.5/2) EEndForJ[[2]]/Itube

```

Yukarıda verilen veri dosyası Mathematica ortamında icra edildiğinde, bulunması istenen dönme açısı ve gerilmeler, Tablo 3.8.'de özetlenmiştir. Burulma momenti sonucu rijit başlığın dönme açısı 1.030^0 olmuştur. Dönme açısı ve en büyük gerilmeler literatürde verilen değerlere eşit olarak bulunmuştur.

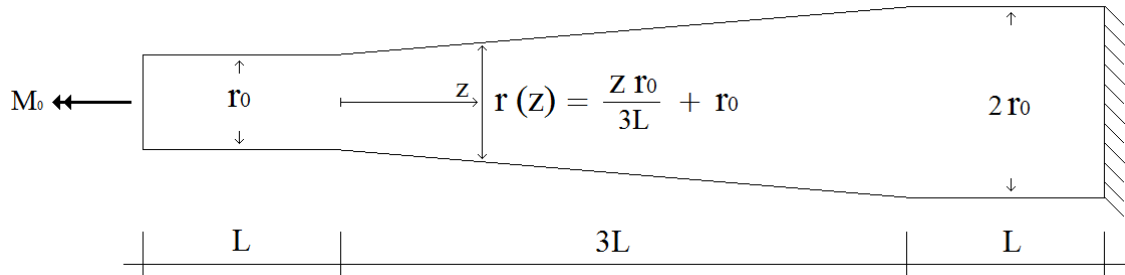
Tablo 3.8. Burulma sonucu oluşan en büyük kayma gerilmeleri

Eleman	En büyük kayma gerilmesi değeri
Çelik çekirdek	32.68 MPa
Çelik boru gömlek	49.03 MPa

3.1.2.9.2. Uygulama 10:

Bir boyutlu hal için örnek olarak literatürde bulunan [18], burulma ile ilgili problem ele alınmıştır. Uzunluğu 5L olan silindirik bir shafta serbest ucundan, M_0 burulma momenti uygulanmaktadır. Diğer ucu dönmeye karşı tutuludur. Çubuğun Şekil 3.20.'de verildiği

gibi, serbest uç kısmında L kadarlık bir bölgede çapı r_0 olup, mesnet bölgesinde yine L kadarlık bir kısmında çapı $2r_0$ dır. Bu iki bölge arasında kalan kısımda ise çap doğrusal olarak değişmektedir. Değişimin fonksiyonu orta bölgede kalan çubuk için yerel koordinatlarda verilmektedir. Kayma modülü ise G olarak verilmektedir. Uygulanan burulma momenti nedeniyle serbest ucun ne kadar döneceğinin hesabı istenmektedir.



Şekil 3.20. Literatürden alınan değişken kesitli çubuk

Problemin çözümü için veri dosyası hazırlanmıştır. Global koordinat takımı serbest uca oturtularak koordinat değerleri tespit edilmiştir. Serbest uca “1” numarası verilerek süretiyle mesnete kadar numara verilmiş olup, mesnet düğüm numarası “4” olmuştur. Benzer şekilde serbest uca yakın bölge “1” ile çubuk numarası verilmiş, orta bölgeye “2” numarası verilmiş ve son olarak son bölgeye “3” çubuk numarası verilmiştir. Çubukların tanımları buna göre yapılarak, “defIJ” dizisi tespit edilmiştir. Serbest uca M_0 momenti uygulanmış olup, mesnet dönmesi ve sıcaklık bilgileri sıfır tanımlanmıştır. Mesnedin bulunduğu ucun dışında kalan düğümler serbesttir. Yayılı burulma momenti çubukların hepsi için sıfır olarak tanımlanmıştır. Elastisite modülü yerine G değeri girilmiş, alan değerleri yerine polar atalet momentinin değerleri hesaplanarak tanımlanmıştır. Kesit değişen bölgede polar atalet momentinin mukavemet ve matematik kurallarına göre tanımlanmıştır. Aşağıda veri dosyası sunulmaktadır.

Veri Dosyası 10:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> ""]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
(*burulma problemi *)
nel = 3;
```

```

nod = 4;
xc = {0, L, 4 L, 5 L};
restraints = {0, 0, 0, 1};
jload = {M0, 0, 0, 0};
nqz = {0, 0, 0};
EMod = {G, G, G};
area = {(Pi /2) (r0/2)^4, (Pi/2) ((z r0/(3/L) + r0)/2)^4, (Pi /2) (2 r0/2)^4};
DeltaTn = {0, 0, 0, 0};
TEC = {0, 0, 0, 0};
SupportDisp = {0, 0, 0, 0};
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}, {3, 4}};
OneD;

```

Hazırlanan veri dosyası daha önceki problemlerde anlatıldığı şekilde icra edildiğinde serbest uçtaki dönme açısı deplasman olarak hesaplanmış olur. Çalışmada bulunan dönme açısı, kaynakta verilen dönme açısının aynısı olarak bulunmuş olup, aşağıda Denklem 3.3.'de sunulmaktadır.

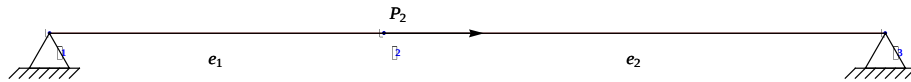
$$\varphi = \frac{62 M_0 L}{G \pi r_0^4} \quad (3.3)$$

Çalışmada geliştirilen bir boyutlu normal kuvvet taşıyan çubuk sistemlerin çözümünde kullanılan programın, benzer şekilde bir boyutlu burulma problemlerini de çözebildiği son iki örnek ile gösterilmiştir. Normal kuvvet halinde olduğu gibi sadece sabit kesit hali için değil, değişken kesit hali içinde program burulma problemlerinde kullanılabilmektedir.

3.1.2.10. Uygulama 11.

Bu örnekte Felippa (2016) den alınan problem çözülmüştür [38]. Problem sürekli bir çubuktan oluşmaktadır, çubuk başlangıç ve bitişinde sabit mesnetli olup, orta kısmında çubuğu ikiye ayıran kayıcı mesnet bulunmaktadır. Çubuk iki parçadan oluşmakta, başlangıç mesnet düğümü “1”, kayıcı mesnet düğümü “2” ve bitiş mesnet düğümü “3” ile numaralandırılmıştır. Toplam düğüm sayısı “3” olup, çubuk sayısı “2” dir. İki çubuğunda kesit alanı “12”, elastisite modülü “1000” olarak verilmiş olup, sıcaklık

genleşme katsayıları da aynı ve $0.0005/^{\circ}\text{C}$ 'dir. Birinci ve ikinci çubuğun boyu, "4 " ve "6 " dır. Birinci çubukta 25°C derece sıcaklık artışı, ikinci çubukta ise 10°C derece sıcaklık düşüşü mevcuttur. Kayıcı mesnette çubuk eksenini doğrultusunda "90" değerinde tekil kuvvet bulunmaktadır. Çubuk eksenini boyunca yayılı yük yoktur. Mesnet yerdeğiştirmesi bulunmamaktadır. Tarif edilen çubuk sistem Şekil 3.21.'de numaralandırılma ile birlikte sunulmaktadır.



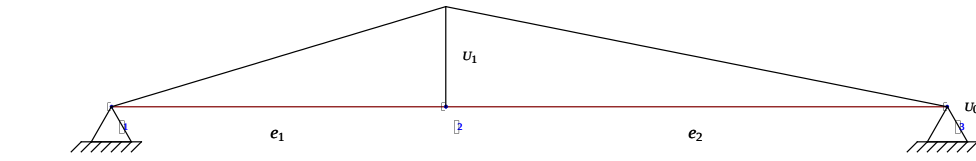
Şekil 3.21. Sıcaklık değişimi ve tekil kuvvete maruz çubuk sistem [38]

Daha önce anlatılan kurallara göre, yukarıda verilen sistemin çözümü için veri dosyası hazırlanmış ve aşağıda verilmiştir.

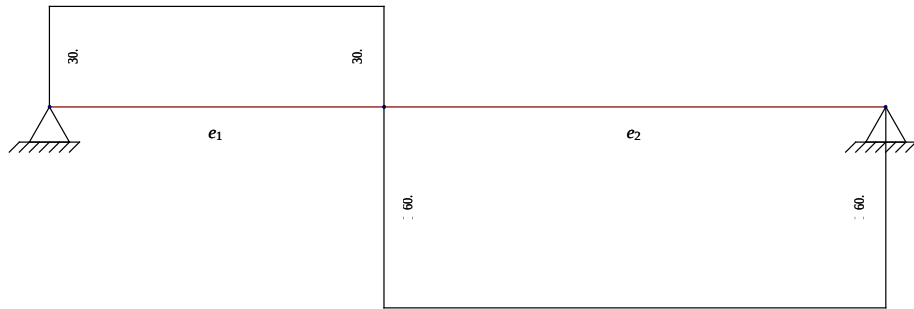
Veri Dosyası 11:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]];
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\1DModul\\1DModul.txt"
(*ifemcolorado*)
nel = 2;
nod = 3;
xc = {0, 4, 10};
restraints = {1, 0, 1};
jload = {0, 90, 0};
nqz = {0, 0};
EMod = {1000, 1000};
area = {12, 12};
DeltaTn = {25, -10};
TEC = {0.0005, 0.0005};
SupportDisp = {0, 0, 0};
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}};
OneD;
NforceF/area
```

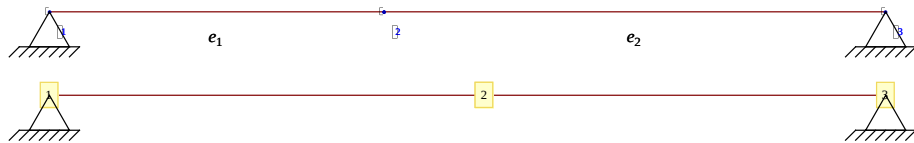
Yukarıda oluşturulan veri dosyası icra edildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmektedir. Şekil 3.22.'de boyuna uzama dağılımı, Şekil 3.23.'de normal kuvvet dağılımı verilmektedir. Şekil 3.24.'de ise çubuk sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali verilmektedir. Şekil 3.22.'den görüleceği üzere, birinci çubuğun sonunda boy değişimi en fazla olmaktadır ($u_1=0.06$). Birinci çubukta oluşan çekme normal kuvveti “30”, ikinci çubukta oluşan basınç normal kuvvet, “60” olmakta, iki çubuğun birleştiği yerde tekil kuvvet kadar sıçramaktadır (Şekil 3.23). Gerilmelerde sırasıyla “2.5” ve “-5” değerlerini almaktadır. Çubuk sistemin “2” numaralı düğümü duruma uygun olarak, “3” numaralı düğüme yaklaşmıştır. Buradan da birinci çubuğun uzadığı ikinci çubuğun kısaldığı anlaşılmaktadır. Sonuçlar alınan kaynakla uyum içindedir. Bu problemde iki farklı sıcaklık değişimi ve tekil kuvvet birlikte çözülmüştür. Ayrı ayrı çözülüp, süperpozisyon kuralı uygulandığında da aynı sonuçlar elde edilmektedir.



Şekil 3.22. Çubuk sistemin boyuna uzama dağılımı



Şekil 3.23. Çubuk sistemin normal kuvvet dağılımı



Şekil 3.24. Çubuk sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali

3.2. İki Boyutlu Sistemler İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar

3.2.1. Bilgisayar Programı 2D ve Açıklaması

İki boyutlu normal kuvvet taşıyan çubuk sistemlerin çözümü için hazırlanan program aşağıda sunulmakta ve açıklanmaktadır. Bu program geliştirilirken aşağıdaki değişken isimleri seçilmiştir. Eleman sayısının göstermek üzere “nel”, düğüm sayısını göstermek üzere “nod” değişkeni seçilmiştir. Koordinat takımı, düğüm serbestlikleri, düğüm tekil kuvvetleri, mesnet çökmeleri ve elastik mesnet için sırasıyla “xy”, “restraints”, “jload”, “SupportDisp”, “ElasticSupport” değişken isimleri seçilmiş olup, değişkenler düğüm sayısınca satırı ve iki sütünü olan matrislerdir. Çubuk elastisite modülü için “EMod”, kesit alanı için “area”, sıcaklık genleşme katsayısı için “TEC”, sıcaklık değişimi için “DeltaT” isimleri seçilmiş olup, değişkenler çubuk sayısınca elemanı olan birer dizidir. Çubuk elemanların “i” ve “j” uçlarının düğüm numarasını depolamak üzere “defIJ” isimli iki sütunlu ve çubuk sayısınca satır elemanı olan bir matris seçilmiştir. Aşağıda gerekli verilerin tanımlandığı varsayılarak, program parça parça sunulmakta olup, her parçadan sonra programın açıklaması verilmektedir.

3.2.1.1. Program Parçası 1:

```
dispN = 0;
Do[ If[restraints[[i, j]] == 0,
dispN = dispN + 1; restraints[[i, j]] = dispN;, restraints[[i, j]] = 0], {i, 1, nod}, {j, 1, 2}];
Print["total displacement=", dispN];
Print["displacement number coding for each joint=", Matrix Form[restraints]];
```

Burada deplasman numaraları dispN numaratorü ile isimlendirilmiş olup, her serbestlik için birer artarak deplasmanları numaralandırmaktadır. Düğüm sayısı kadar bir döngü kurularak serbestlikler, serbestliklerin tanımlandığı “restraints” matrisinin her iki sütünü için taranmakta, serbest olan düğüme ait sütündeki tanım kısmına deplasman numarası verilmekte, tutulu olanlara ise daha önce belirtildiği üzere “0” değeri atanmaktadır. “dispN” değişkeninin son değeri ise toplam deplasman değerine eşit olmaktadır. Bu program parçasının sonunda toplam deplasman sayısı ve deplasman numaralarını saklayan matrisin değerleri görüntülenmektedir.

3.2.1.2. Program Parçası 2:

```
d[0] = 0;
NForce = Table[0, {i, 1, nel}];
SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
Lengt = Table[0, {i, 1, nel}];
```

Bu program parçasında, toplam deplasman sayısı belirlendiğinden, elde edilecek denklemleri depolamak üzere deplasman sayısı adedince elemanı olan “SysEq” isimli sistem denklemlerini çağrıştıran bir dizi “Table” komutuyla tanımlanmaktadır. Ayrıca, her çubuk boyunun ve çubuk kuvvetinin hesaplandıktan sonra saklanması için sırasıyla “Lengt” ve “Nforce” isimli diziler “Table” komutuyla tanımlanmıştır. Bu dizilerin eleman sayısı çubuk sayısı adedince dir.

3.2.1.3. Program Parçası 3:

```
Do[
codeix = restraints[[i, 1]];
codeiy = restraints[[i, 2]];
If[codeix > 0, SysEq[[codeix]] = jload[[i, 1]] - d[codeix]*ElasticSupport[[i, 1]];
If[codeiy > 0, SysEq[[codeiy]] = jload[[i, 2]] - d[codeiy]*ElasticSupport[[i, 2]];
, {i, 1, nod}];
```

Üçüncü program parçasında, daha önce tanımlanan “SysEq”, sistem denklemlerinin depolandığı dizinin başlangıç değerleri tespit edilmektedir. Burada “restraints” dizisi içinde saklanan deplasman numaralarından faydalanılmaktadır. Düğümlere ait deplasmanların tespiti için düğüm sayısınca bir döngü kurulmuştur. Deplasman numarası her düğüme ait “restraint” iki sütunlu dizisinden alınmaktadır. Birinci sütun “x” eksen yönündeki, ikinci sütun “y” eksen yönündeki deplasmanı temsil etmektedir. “x” yönündeki” deplasman sıfırdan farklı ise o yönde deplasman olduğu açıktır, numarasının değeri ise “codeix” değişkenine ilgili matrsten aktarılmıştır. “y” yönündeki” deplasman sıfırdan farklı ise o yönde deplasman olduğu açıktır, numarasının değeri ise “codeiy” değişkenine ilgili matrsten aktarılmıştır. “codeix” ve “codeiy” değişkenlerinin deplasman numarası değeri elde edilmesi planlanan sistem denkleminin numarasını da oluşturmaktadır. Sistem denkleminin başlangıcı ise dış

yüklemelerden oluşmaktadır. Bunlardan biri dış tekil kuvvet diğeri ise mesnet çökmesidir. Mesnet çökmesi halinde tekil düğüm yükü sıfırdır, benzer şekilde tekil yük olması halinde düğüm mesnet değildir, yani mesnet çökmesi yoktur ve temsilen değeri de sıfırdır. Tekil yük olması halinde ve “x” yönünde deplasman olması halinde, o düğümün tekil kuvvetinin denklem sistemine başlangıç değeri olarak eklenmesi gerekmektedir, bu durumda denklem sisteminin numarası daha önce belirtildiği gibi “codeix” değişkeninde bulunmaktadır. Tekil yük olması halinde ve “y” yönünde deplasman olması halinde, o düğümün tekil kuvvetinin denklem sistemine başlangıç değeri olarak eklenmesi gerekmektedir. Bu durumda denklem sisteminin numarası daha önce belirtildiği gibi “codeiy” değişkeninde bulunmaktadır. Bu bilgiler ışığında tekil kuvvetlerin sistem denkleminde eklenmesi işi üçüncü program parçasının içinde bulunan iki adet “If” komutuyla icra edilmektedir. Aynı “If” komutları benzer bilgiler ışığında elastik mesnet değerleri ilgili deplasman ile mesnede ait elastik mesnet yay katsayısıyla çarparak iç kuvvete dönüştürmekte ve elde edilen kuvveti sistem denklemlerinin başlangıcına eklemektedir. Burada eklenme yerine çıkarılmaktadır, çünkü bulunan kuvvet yay ucundadır ve düğüme negatif olarak yansımaktadır. Bu nedenle çıkarılmıştır. Böylece mesnet çökmelerinin oluşturacağı kuvvet sisteme etkiletilmiş olmaktadır. İşlemler tüm serbestlikler, diğer bir deyişle tüm deplasmanlar için yapıldığında sistem denklemlerini oluşturan “SysEq” dizisinin başlangıç değerleri tespit edilmiş olur. Sonra iç kuvvetlerin etkilerinin de toplama dahil edilmesi işi diğer dördüncü program parçası içinde gerçekleştirilmektedir. Denklemlerin başlangıç değerleri istenirse ekranda görüntülenebilir.

3.2.1.4. Program Parçası 4:

Bu program parçasında her bir çubuk için işlem yapıldığından işlemlerin tamamı çubuk sayısı kadar işlem yapan bir döngü içine konulmuştur. Çubuk numaralarını temsil eden döngü değişkeni ise “nn” olarak seçilmiştir. Her bir çubuğa ait, elastisite modülü, kesit alanı, sıcaklık genleşme katsayısı, sıcaklık değişimi değeri, “i” ve “j” ucunun bağlı olduğu düğüm numaraları, “i” ve “j” ucunun koordinatları; sırasıyla “EM”, “csa”, “alfaT”, “dTn”, “ii”, “jj”, “xi”, “yi”, “xj”, “yj” isimli yerel değişkenlere ilgili dizi ve matrislerden alınarak, atanmaktadır. Bu yazım tarzı programın anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Çubuğa ait veriler yerel değişkenlere aktarıldıktan sonra, çubuk uzunluğu ve global eksenlerle yaptığı açılarının kosinüs doğrultmanlarının değerlerini

hesaplamak üzere; “i” ve “j” ucunun koordinatları kullanılarak, “i” ve “j” düğüm noktaları arasında bir yer vektörü yazılmaktadır [36]. Oluşan vektörün normu çubuk uzunluğunu vermektedir. Vektörün normu ile normalize edilmiş bileşenleri kosinüs doğrultmanlarını verdiğinden aşağıdaki satırlarda, kosinüs doğrultmanları hesaplanmaktadır. Çubuğun “x” eksenini ile yaptığı açının kosinüs değeri “csx” yerel değişkenine; “y” eksenini ile yaptığı açının kosinüs değeri “csy” yerel değişkenine aktarılmaktadır.

Çubuğun “i” ucunun bağlı olduğu düğümün deplasman numaraları “x” yönü için “codeix” yerel değişkenine aktarılmakta olup, “y” yönü için “codeiy” yerel değişkenine aktarılmaktadır. Benzer şekilde, çubuğun “j” ucunun bağlı olduğu düğümün deplasman numaraları “x” yönü için “codejx” yerel değişkenine aktarılmakta olup, “y” yönü için “codejy” yerel değişkenine aktarılmaktadır. Bu yerel değişkenler çubuğun bağlı olduğu uçlarında bulunan global bilinmeyen deplasmanların numaralarını göstermekte olup, o yönde yazılan sisteme ait denge denkleminin numarasını da işaret etmektedir. Çubuğun ucunda bulunduğu bilinen global bilinmeyen deplasmanlar; çubuk kosinüs doğrultmanları vasıtasıyla çubuk yerel koordinatlarına dönüştürülmektedir. Çubuk yerel koordinatlarına dönüştürülen global deplasmanlar “u_i” ve “u_j” yerel değişkenleri üzerinde saklanmaktadır. Aynı satırlarda, varsa global mesnet çökmeleri değerleri de çubuk yerel koordinat takımına aynı değişkenler üzerine aktarılmaktadır. Mesnet çökmesi olan düğümlerde bilinmeyen deplasman olmadığından işin içine girmemektedir. Düğümde bilinmeyen deplasman olduğunda ise düğüm mesnet olmaktan çıktığı için mesnet çökmesi durumu ortadan kalkmaktadır. Çubuk ucunda mesnet çökmesi değeri ya da bilinmeyen deplasmanlar yerel koordinatlarda bulundukları için, daha sonraki aşamada çubuk boyuna uzamasını idare eden diferansiyel denklemin çözümü sırasında sınır koşulları olarak istihdam edilmektedir.

Kafes sistem çözümünde genellikle kesit değişimi olmadığından ve çubuk eksenine paralel iç normal yayılı yük ihmal edildiğinden, çubuk boyuna uzamasını idare eden diferansiyel denklem; boyuna uzama eğrisinin fonksiyonunun ikinci türevinin sıfır olmasına dönüşür. Bu durumda iki kez geri integral alındığında uzama eğrisinin fonksiyonu doğrusal bir hal alarak iki sabitli bir doğru denklemine eşit olur. Sabitler, sınır koşullarından elde edilerek boyuna uzama eğrisinin fonksiyonunda yerine konular; böylece boyuna uzama eğrisinin denklemi bulunmuş olur. Çubuk normal kuvvet

değişimi boyuna uzama eğrisine bağlı olduğundan, eksenel rijitlik ve boyuna uzama eğrisinin türevi ile çarpılarak bulunur.

Normal kuvvet ifadesinin çubuk uçlarındaki değerleri de çubuk sınırları yerine konularak bulunmaktadır, “ n_i ”, “ n_j ”. Programda elde edilen çubuk “ n_i ” ve “ n_j ” yerel çubuk uç kuvvetleri kosinüs doğrultmaları yardımıyla global koordinat takımına dönüştürülerek; çubuk ucunda bulunan uç kuvvetlerinin global takımdaki bileşenleri bulunmuş olur. Bu bileşenler “ i ” ucunda “ fx_i, fy_i ” olup, “ j ” ucunda ise “ fx_j ve fy_j ” dir. Bu bileşenler sistem denklemine aktarılacak bileşenler olup, katkı yapılacak denklemin numarası ise bulundukları düğümün deplasman yönüdür. Bu yönler ise “ i ” düğümünde “ x ” yönü için “codeix” değişkeninde saklı olup, “codeix” numaralı sistem denklemine “ fx_i ” bileşeninin eklenmesini gerektirir; “ y ” yönü için “codeiy” değişkeninde saklı olup, “codeiy” numaralı sistem denklemine “ fy_i ” bileşeninin eklenmesini gerektirir.

Benzer şekilde “ j ” düğümünde “ x ” yönü için “codejx” değişkeninde saklı olup, “codejx” numaralı sistem denklemine “ fx_j ” bileşeninin eklenmesini gerektirir; “ y ” yönü için “codejy” değişkeninde saklı olup, “codejy” numaralı sistem denklemine “ fy_j ” bileşeninin eklenmesini gerektirir. Bu işlemler program tarafından aşağıda dört adet “If” komutu ile ilgili satırda yapılmaktadır. Bu işlemler tüm çubuklar için yapıldığında sistem için gerekli olan denklemler elde edilmiş olur. Program parçası en sonunda elde edilen denklemleri “Expand” komutuyla genişleterek sadeleştirmektedir.

Do[

*Print["Element number [", nn, "] is in progress;"]; (*İşlem sırası gelen çubuk numarası*)*

*(*Çubuğa ait bilgilerin yerel değişkenlere aktarılması*)*

EM = EMod[[nn]];

csa = area[[nn]];

alfaT = TEC[[nn]];

dTn = DeltaTn[[nn]];

ii = defIJ[[nn, 1]];

jj = defIJ[[nn, 2]];

xi = xy[[ii, 1]]; yi = xy[[ii, 2]];

xj = xy[[jj, 1]]; yj = xy[[jj, 2]];

*(*kosinüs doğrulmanlarının hesabı*)*

$\text{vektor} = \{x_j - x_i, y_j - y_i\};$

$\text{Lengt}[[nn]] = \text{length} = \text{Norm}[\text{vektor}];$

$\text{csx} = \text{Normalize}[\text{vektor}][[1]];$

$\text{csy} = \text{Normalize}[\text{vektor}][[2]];$

*(*Çubuk uçlarında bulunan global deplasmanların tespiti*)*

$\text{codeix} = \text{restraints}[[ii, 1]];$

$\text{codeiy} = \text{restraints}[[ii, 2]];$

$\text{codejx} = \text{restraints}[[jj, 1]];$

$\text{codejy} = \text{restraints}[[jj, 2]];$

*(*Çubuk uçlarında bulunan global deplasmanların yerel koordinatlara dönüşümü*)*

$ui = d[\text{codeix}] * \text{csx} + d[\text{codeiy}] * \text{csy} + \text{SupportDisp}[[ii, 1]] * \text{csx} + \text{SupportDisp}[[ii, 2]] * \text{csy};$

$uj = d[\text{codejx}] * \text{csx} + d[\text{codejy}] * \text{csy} + \text{SupportDisp}[[jj, 1]] * \text{csx} + \text{SupportDisp}[[jj, 2]] * \text{csy};$

*(*Boyuna uzamayı idare eden diferansiyel denklemin integral ile çözümü*)*

$uu = c1 z + c2;$

*(*Sınır koşullarının tespiti ve integral sabitlerinin çözümü*)*

$b1 = uu /. z \rightarrow 0;$

$b2 = uu /. z \rightarrow \text{length};$

$\text{sol} = \text{Flatten}[\text{Solve}[\{b1 == ui, b2 == uj\}, \{c1, c2\}]];$

*(*İntegral sabitlerinin boyuna uzama fonksiyonunda yerine konulması*)*

$uu = uu /. \text{sol};$

*(*Normal kuvvet fonksiyonunun tespiti ve çubuk uçundaki değerlerin hesabı*)*

$NF = EM * csa (D[uu, z] - \alpha T * dTn);$

$ni = NF /. z \rightarrow 0;$

$nj = NF /. z \rightarrow \text{length};$

*(*Çubuk uç kuvvetinin saklanması ve global koordinat takımına dönüşümü*)*

$NForce[[nn]] = nj;$

$fxi = -ni * \text{csx};$

$fyi = -ni * \text{csy};$

$fxj = nj * \text{csx};$

$fyj = nj * \text{csy};$

(*Global koordinatlara dönüşen çubuk uç kuvvetlerinin denge denklemlerine aktarımı*)

If[codeix> 0, SysEq[[codeix]] = SysEq[[codeix]] - fxi];

If[codeiy> 0, SysEq[[codeiy]] = SysEq[[codeiy]] - fyi];

If[codejx> 0, SysEq[[codejx]] = SysEq[[codejx]] - fxj];

If[codejy> 0, SysEq[[codejy]] = SysEq[[codejy]] - fyj];

, {nn, 1, nel}];

(*Denge denklemlerinin bilinmeyenlere bağlı olarak toplu gösterimi*)

SysEq = Expand[SysEq];

3.2.1.5. Program Parçası 5:

Print["syseq=", MatrixForm[SysEq], "=0"];

unk = Table[d[i], {i, 1, dispN}];

sol = Flatten[Solve[SysEq == 0, unk]];

Print["solution=", MatrixForm[sol]];

Do[d[i] = sol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];

Print[MatrixForm[NForce]];

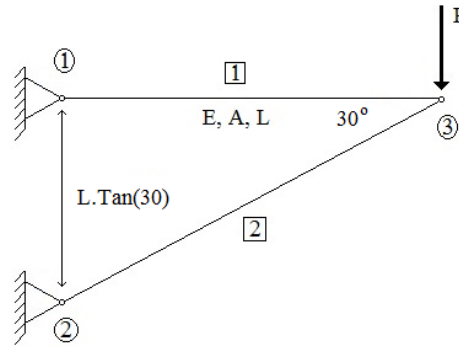
Bu program paçasında elde edilen denge denklemleri ekranda sunulmaktadır. Ekranda düğümlerde bulunan deplasmanlara bağlı olarak denklemler analitik olarak görülecektir. Ardından, düğüm deplasmanlarının bilinmeyen olarak isimleri “unk” isimli bir diziye “Table” komutu ve deplasman sayısı kullanılarak aktarılmaktadır. “Solve” komutu kullanılarak, elde edilen “SysEq” değişkeninde bulunan denge denklemleri bilinmeyen düğüm deplasmanları “unk” için çözülmektedir. Çözülen değerler çıkartılarak, bilinmeyen deplasmanların içine aktarılmakta ve bilinmeyen deplasmanlar bilinen olmaktadır. Bunlarda otomatik olarak program hafızasında bulunan diğer büyüklüklerde yerine konulmaktadır. Program parçasının son satırında ise çubuk kuvvetleri sırasıyla alt alta yazılmaktadır.

3.2.2. İki Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Kafes Sistem Örnekleri

3.2.2.1. Uygulama 1:

İlk örnek olarak basit iki elemanlı literatürden alınan [19] bir kafes sistem ele alınmaktadır. Kafes sistem aşağıda Şekil 3.25.’de sunulmuştur. Geometrik ve malzeme

ile ilgili bilgiler ilgili şekilde bulunmaktadır. Tekil kuvvetin uygulandığı “3” numaralı düğümün yatay ve düşey deplasman bileşenlerinin bulunması istenmektedir.



Şekil 3.25. Basit kafes sistem[19]

Bu kafes sistem bilgisayar programına tanıtılırken, global eksen takımı “1” nolu düğüme oturtulmuştur. Buna göre diğer düğümün koordinatları tespit edilmiştir. Eleman numara ve uç bağlantıları şekilde görüldüğü gibi alınmıştır. Sıcaklık değişimi, mesnet çökmesi ve elastik mesnet olmadığından, ilgili değişkenler sıfır alınmıştır. Kuvvetin uygulandığı düğüm serbest diğerleri is tutuludur. Kuvvetin uygulandığı “3” numaralı düğüme “x” yönündeki kuvvet bileşeni sıfır olup, “y” yönündeki kuvvet bileşeni “-P” dir. Değerler “jload” matrisi içinde ilgili düğümün satırına girilmiştir. Çubuk elemanları alan ve elastisite modülü değerleri değişken olarak “A” ve “E” girilmiştir. Tekil kuvvette aynı şekilde “P” olarak girilmiştir. Hazırlanan veri dosyası aşağıda sunulmuştur.

Veri dosyası 1:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
```

```
nod = 3;
```

```
nel = 2;
```

```
defIJ = {{1, 3}, {2, 3}};
```

```
area = {A, A};
```

```
EMod = {E, E};
```

```
TEC = {0, 0};
```

```
DeltaTn = {0, 0};
```

```

xy = {{0, 0}, {0, L Tan[30 Degree]}, {L, 0}};
restraints = {{1, 1}, {1, 1}, {0, 0}};
jload = {{0, 0}, {0, 0}, {0, -P}};
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
ElasticSupport = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
TwoD;

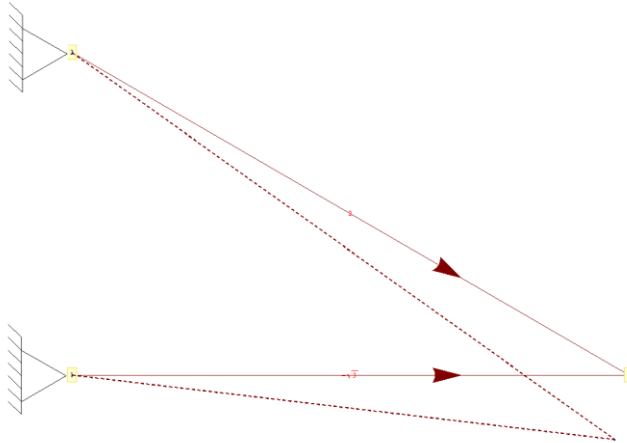
```

Yukarıda verilen veri dosyası icra edildiğinde, iki boyutlu program tarafından veriler işlenmekte ve sonuç alınmaktadır. İstenen deplasman değerleri Tablo 3.9.'da sunulmuştur. Sonuçlar problemin alındığı kaynakla birebir aynı bulunmuştur.

Tablo 3.9. Kafes sistemin yüklü ucunda deplasman bileşenleri

Düğüm No	“x” yönü deplasman değeri	“y” yönü deplasman değeri
3	$-\frac{\sqrt{3}P}{AE}$	$-\frac{(9 + 8\sqrt{3})P}{3AE}$

Yukarıdaki problem için elastsite modülü, kesit alanı, çubuk boyu ve tekil kuvvet değeri sabit “1” verilerek deformasyonsuz ve deformasyonlu sistem çizilmiştir (Şekil 3.26).

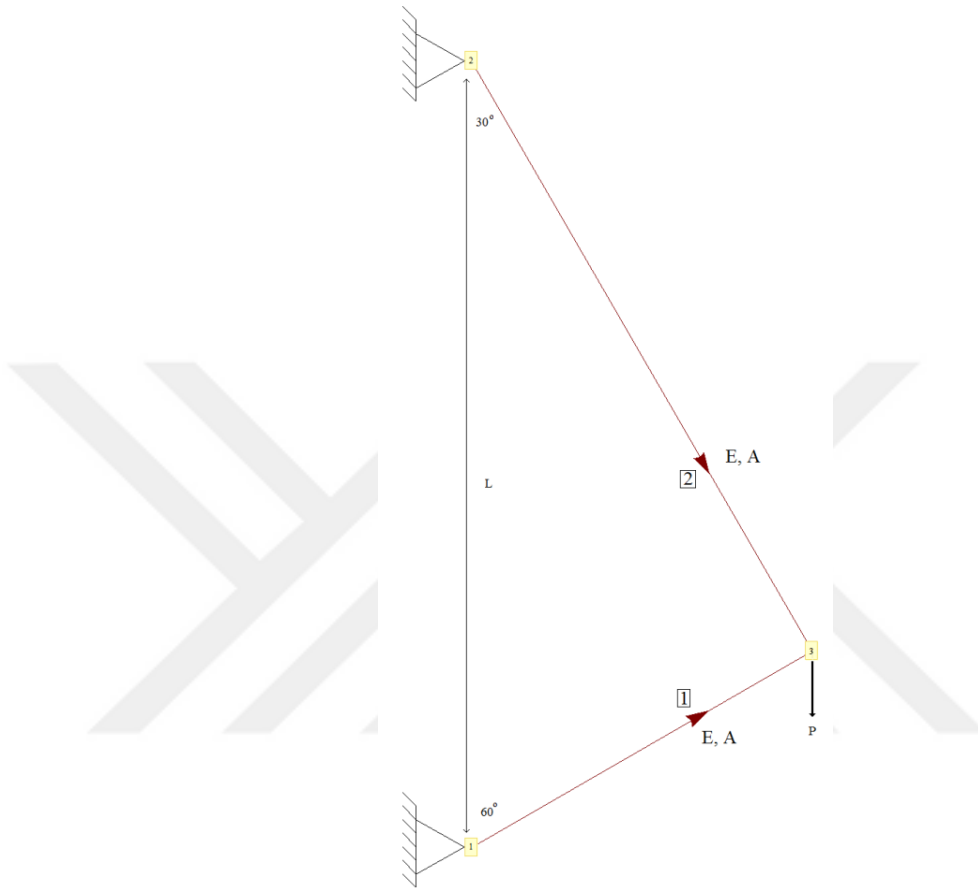


Şekil 3.26. Birinci örnek için seçilen sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali

3.2.2.2. Uygulama 2:

İkinci örnek olarak yine basit iki elemanlı literatürden alınan [19] bir kafes sistem ele alınmaktadır. Kafes sistem aşağıda Şekil 3.27.'de sunulmuştur. Geometrik ve malzeme

ile ilgili bilgiler şekilde mevcuttur. Tekil kuvvetin uygulandığı “3” numaralı düğümün yatay ve düşey deplasman bileşenlerinin bulunması istenmektedir.



Şekil 3.27. İki elemanlı basit kafes sistem

Bu kafes sistem bilgisayar programına tanıtılırken, global eksen takımı “1” nolu düğüme oturtulmuştur. Buna göre diğer düğümlerin koordinatları tespit edilmiştir. Eleman numara ve uç bağlantıları şekilde görüldüğü gibi alınmıştır. Sıcaklık değişimi, mesnet çökmesi ve elastik mesnet olmadığından, ilgili değişkenler sıfır alınmıştır. Kuvvetin uygulandığı düğüm serbest diğerleri ise tutuludur. Kuvvetin uygulandığı “3” numaralı düğümde “x” yönündeki kuvvet bileşeni sıfır olup, “y” yönündeki kuvvet bileşeni “-P” dir. Değerler “jload” matrisi içinde ilgili düğümün satırına girilmiştir. Çubuk elemanları alan ve elastisite modülü değerleri değişken olarak “A” ve “E” girilmiştir. Tekil kuvvette aynı şekilde “P” olarak girilmiştir. Hazırlanan veri dosyası aşağıda sunulmuştur.

Veri Dosyası 2:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> ""]]
nod = 3;
nel = 2;
defIJ = {{1, 3}, {2, 3}};
area = {A, A};
EMod = {E, E};
TEC = {0, 0};
DeltaTn = {0, 0};
xy = {{0, 0}, {0, L}, {Sqrt[3] L/4., L/4}};
restraints = {{1, 1}, {1, 1}, {0, 0}};
jload = {{0, 0}, {0, 0}, {0, -P}};
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
ElasticSupport = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
TwoD;

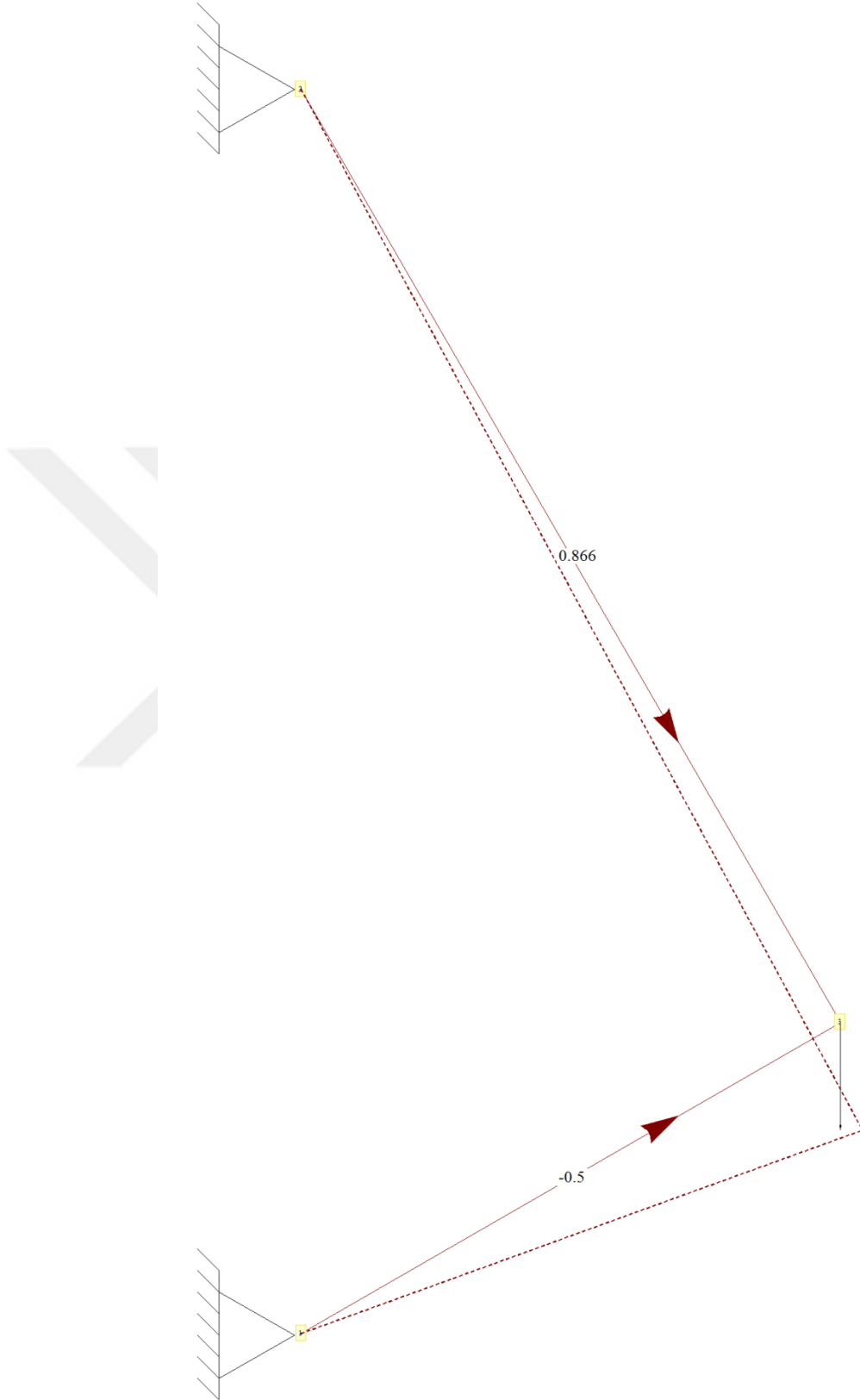
```

Yukarıda verilen veri dosyası icra edildiğinde, iki boyutlu program tarafından veriler işlenmekte ve sonuç alınmaktadır. İstenen deplasman değerleri Tablo 3.10.'da sunulmuştur. Sonuçlar problemin alındığı kaynakla birebir aynı bulunmuştur.

Tablo 3.10. Örnek 2 de verilen kafes sistemin yüklü ucunda deplasman bileşenleri

Düğüm No	“x” yönü deplasman değeri	“y” yönü deplasman değeri
3	$\frac{PL (3 - \sqrt{3})}{8 AE}$	$-\frac{PL (9 + \sqrt{3})}{8\sqrt{3}AE}$

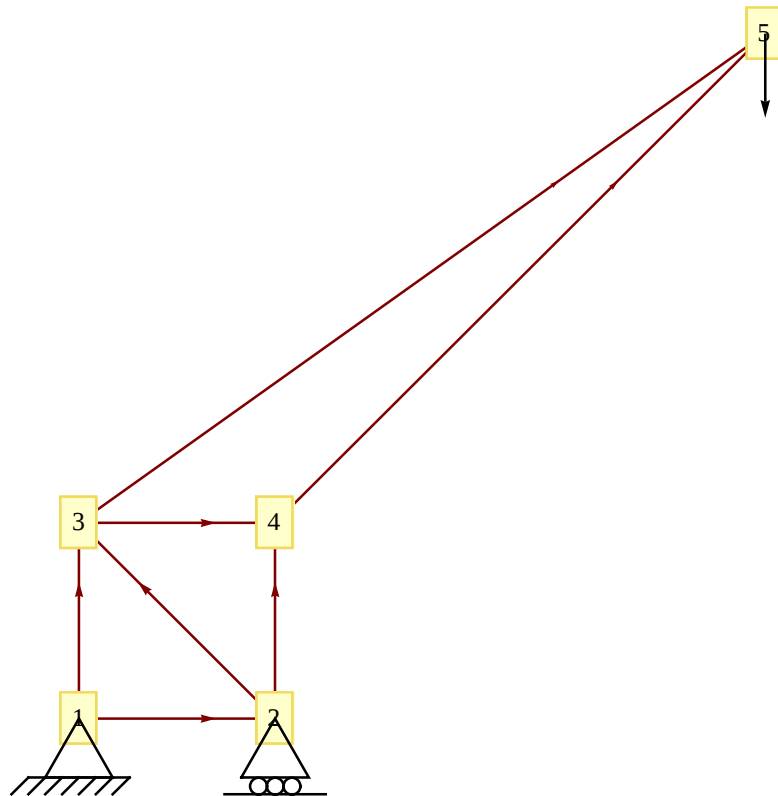
Yukarıdaki problem için elastisite modülü, kesit alanı, çubuk boyu ve tekil kuvvet değeri sabit “1” verilerek deformasyonsuz ve deformasyonlu sistem çizilmiştir (Şekil 3.28.). Şekil 3.28.'de çubuklar üzerinde çubuk kuvveti değerleri sayısal olarak yazılmıştır.



Şekil 3.28. İkinci örnek için seçilen sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali

3.2.2.3. Uygulama 3:

Üçüncü örnek olarak “Derrick Tip” olarak adlandırılan kafes sistem ele alınmaktadır [33]. Sistemin görünüşü aşağıda Şekil 3.29.’de verilmektedir. Sistem izostatik olduğundan çözümde malzeme özellikleri ve eksenel rijitlik rol oynamayacağından, program için herhangi sabit değerler alınabilir. Sıcaklık ve mesnet çökmeleri oluşmadığı ve elastik mesnet bulunmadığından ilgili değişkenler sıfır olarak alınmaktadır. Sistem düğümleri numaralandırıldığından, “5” düğüm noktası bulunmakta olup, toplam “7” adet çubuktan teşkil edilmiştir. Bir ve iki numaralı düğümlerinde sırasıyla, sabit ve “x” yönünde kayıcı mevcuttur. Global koordinat takımı “1” numaralı düğüme oturtulmuştur. Düğüm çubuk numaraları ile ilgili bilgiler aşağıda Tablo 3.11.’de sunulmaktadır. Düşey tekil yük “5” numaralı düğüme uygulanmış olup, değeri 10 ton dur. Sistemde, ana kısım kenarı 10 m olan karedir. Yükün uygulandığı “5” numaralı düğümün ile “1” numaralı düğümden düşey ve yatay uzaklığı 25 metredir.



Şekil 3.29. Derrick tip kafes sistem [33]

Tablo 3.11. Derrick tip kafes için çubuk elemanların tarifleri ve normal kuvvetler

Çubuk No	“i” ucu	“j” ucu	Normal Kuvvet (ton)
1	1	2	0
2	1	3	25
3	2	3	0
4	2	4	-35
5	3	4	-35
6	3	5	43.0116
7	4	5	-49.4975

Yukarıda verilen Derrick tip kafes için veri dosyası hazırlanmış olup, aşağıda sunulmaktadır.

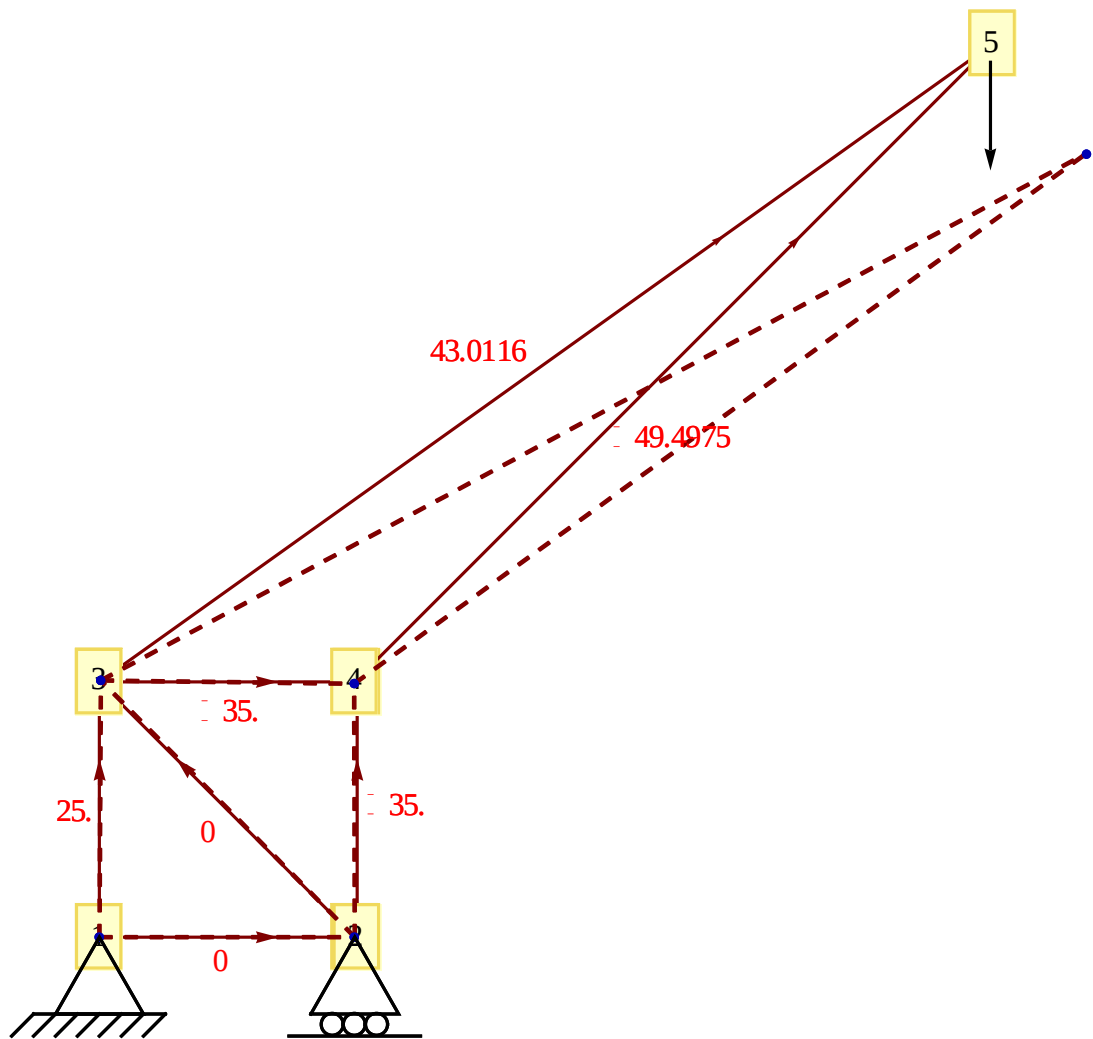
Veri Dosyası 3:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nod = 5;
nel = 7;
(*çubuk bilgileri*)
defIJ = {{1, 2}, {1, 3}, {2, 3}, {2, 4}, {3, 4}, {3, 5}, {4, 5}};
area = {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1};
EMod = {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1};
TEC = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
DeltaTn = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
(*düğüm bilgileri*)
xy = {{0., 0.}, {10., 0.}, {0., 10.}, {10., 10.}, {35., 35}};
restraints = {{1, 1}, {0, 1}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
jload = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, -10}};
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
ElasticSupport = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
(* buradan itibaren program 2D*)
TwoD
GrTwoD

```

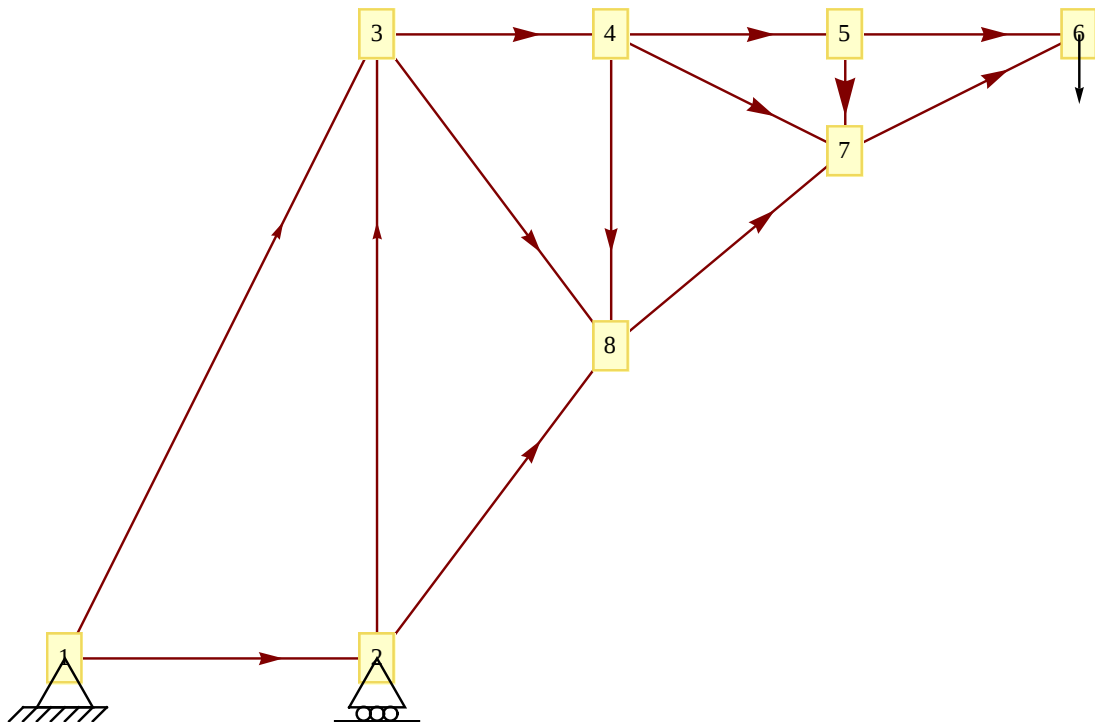
Yukarıda verilen veri dosyası icra edildiğinde, iki boyutlu program tarafından veriler işlenmekte ve sonuç alınmaktadır. Bilgilerin hafızaya alınmasından sonra “TwoD” isimli analiz modülü icra edilip, çözüm yapılmaktadır. Peşinden “GrTwoD” isimli grafik modülü icra edilip, sistemin deformasyonsuz ve deformasyonlu hali çizilmektedir. Programın icrası sonucu elde edilen çubuk kuvvetleri ve sistemin grafiği elde edilmiş, olup aşağıda (Şekil 3.30.) da sunulmuştur. Sistem izostatik olduğundan, el ile çözüm yapılarak, programdan elde edilen değerlerin doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 3.30. Derrick tip kafes sistemin çubuk kuvvetleri ve deformasyonlu hali [33]

3.2.2.4. Uygulama 4:

Dördüncü örnek olarak Girgin vd. (2011) den alınan bir kafes sistem ele alınmıştır [40]. Ele alınan kafes sistem “8” düğüm ve “13” çubuktan oluşmaktadır, görünüşü ve yüklemesi Şekil 3.31.’de verilmektedir. Bir sabit bir de “x” yönünde kayıcı mesnedi bulunmaktadır. Sistem yine izostatik olup, malzeme ve kesit özelliklerinden bağımsız çözülebilir. Program dosyası hazırlamak amacıyla, global koordinat takımı sabit mesnede oturtulmuştur. “3-6” numaralı düğümlerin yüksekliği 16m dir. “7” ve “8” numaralı düğümlerin yüksekliği ise 13 m ve 8m dir. Mesnetleri birbirine bağlayan çubuğun boyu 8m olup, yukarıda bulunan üç yatay çubuğun boyu 6m dir. Verilen bilgiler düğüm koordinatlarını oluşturmak için yeterlidir. Mesnet çökmesi ve sıcaklık bilgileri sıfır alınmaktadır. Düşey 120 kN’luk tekil yük “6” numaralı düğüme uygulanmıştır. Sisteme ait veri dosyası hazırlanarak aşağıda sunulmaktadır. Çubuk numaraları ve bağlandığı düğümler aşağıda Tablo 3.12.’de sunulmaktadır.



Şekil 3.31. On üç elemanlı kafes örneği [41]

Tablo 3.12. Girgin vd. (2011) den alınan kafes sistem çubuk tarifi ve normal kuvvetler [40]

Çubuk numarası	“i” ucu	“j” ucu	Normal Kuvvet (kN)
1	1	2	-135.00
2	2	3	-210.00
3	1	3	301.87
4	3	4	180.00
5	4	5	240.00
6	5	6	240.00
7	7	6	-268.33
8	5	7	0.00
9	4	7	-67.08
10	8	7	-234.31
11	4	8	30.00
12	2	8	-225.00
13	3	8	-75.00

Yukarıda sunulan kafes problemi için veri dosyası hazırlanarak aşağıda sunulmuştur.

Veri dosyası 4:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nod = 8;
nel = 13;
(*eleman bilgileri*)
defIJ = {{1, 2}, {2, 3}, {1, 3}, {3, 4}, {4, 5}, {5, 6}, {7, 6}, {5, 7}, {4, 7}, {8, 7}, {4, 8},
{2, 8}, {3, 8}};
area = {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1};
EMod = {1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1};
TEC = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
DeltaTn = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
(*düğüm bilgileri*)

```

```

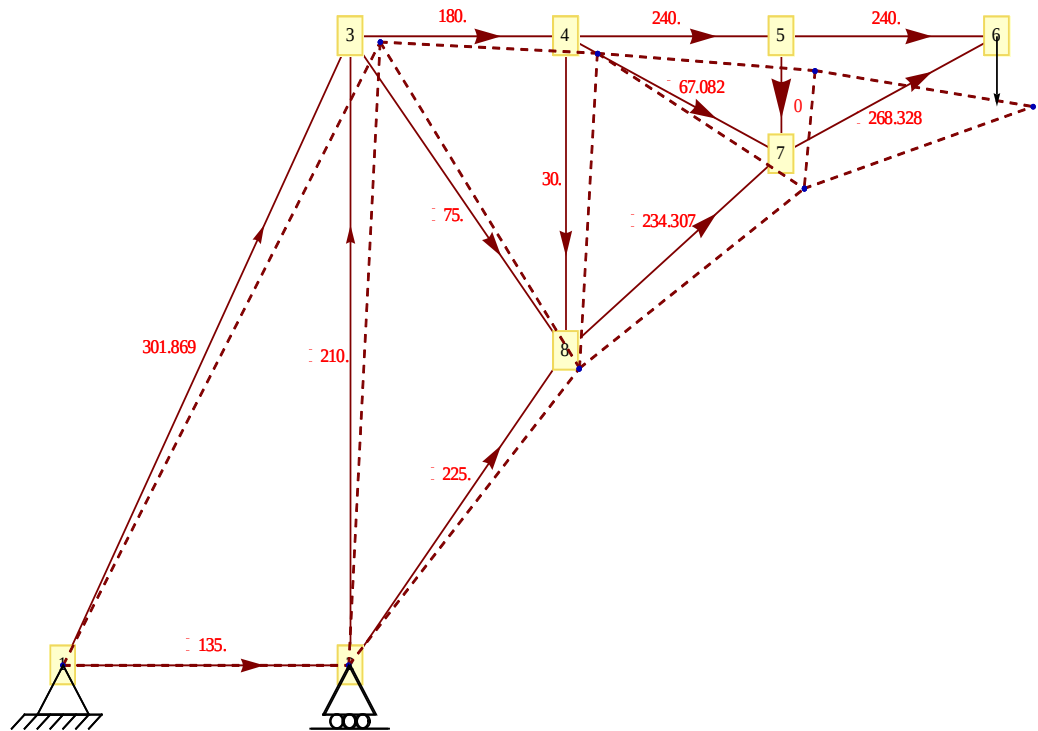
xy = {{0., 0.}, {8., 0.}, {8., 16.}, {14., 16.}, {20., 16.}, {26., 16.}, {20., 13.}, {14., 8.}};
restraints = {{1, 1}, {0, 1}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
jload = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, -120}, {0, 0}, {0, 0}};
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
ElasticSupport = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
(* buradan itibaren program 2D*)

```

TwoD

GrTwoD

Veri dosyası bilgisayar programı yardımıyla işlendiğinde, çubuk kuvvetleri ve sistemin deformasyonlu grafiği elde edilir (Şekil 3.32.). Elde edilen değerler kaynakta sunulan değerlerle bire bir aynıdır.

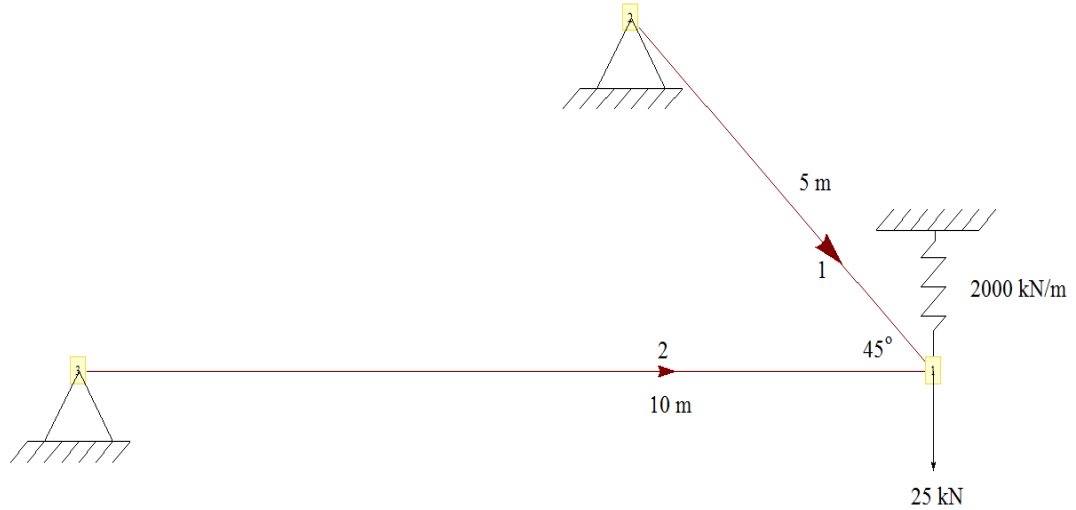


Şekil 3.32. Girgin vd. (2011) den alınan kafes sistem ve deformasyonlu hali [40]

3.2.2.5. Uygulama 5:

Şimdiye kadar ele alınan örnekler izostatik örneklerdir. Beşinci örnek olarak yine literatürden alınan fakat statikçe belirsiz ve düğümlerden birine yay bağlanmış

(hiperstatik) bir kafes kiriş ele alınmaktadır. Kafes sistem Logan (2007)'den alınmıştır [39]. İki çubuktan oluşan sistem aşağıda Şekil 3.33' de numaralandırılma ile verilmektedir. İki çubuk arasındaki açı 45° derecedir. Kısa çubuk "1" ile numaralandırılmış olup, boyu "5" metredir. Uzun çubuk "2" ile numaralandırılmış olup, boyu "10" metredir. Çubuk alanları ve elastisite modülleri eşit olup, sırasıyla 0.0005 m^2 ve 210 GPa 'dır. İki çubuğun birleşim noktasında düşey doğrultuda "25 kN"luk tekil kuvvet mevcuttur. Aynı yönde sistem yay katsayısı "2000 kN/m" olan elastik mesnet (yay) ile desteklenmiştir. Sıcaklık değişimi ve mesnet çökmesi yüklemesi yoktur. Çubuklarda oluşan çubuk kuvvetleri ve gerilmeler ile "1" numaralı düğümde oluşan deplasman bileşenlerinin hesabı istenmektedir. Çubuk numaralandırılma yönleri şekilde mevcuttur.



Şekil 3.33.Elastik mesnetli basit kafes sistem [39]

Verilen sistemin çözümü için veri dosyası hazırlanmıştır. Daha önce anlatılan kurallara uygun olarak hazırlanan dosya aşağıda sunulmaktadır. Global eksen "3" numaralı düğüme oturtulmuş olup, buna göre düğüm koordinatları belirlenmiştir. Mesnetler "2" ve "3" numaralı düğümdedir. Elastik mesnet "1" numaralı düğümdedir ve "y" yönünde elastik olup, diğer yönde serbesttir. Bununla birlikte "1" numaralı düğüm tamamen serbest tanımlanmakta ve elastik mesnet yay katsayısı ise "ElastikSupport" matrisinde tanımlanmaktadır. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.

Veri Dosyası 5:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nod = 3;
nel = 2;
(*eleman bilgileri eleman tarifleri, alanları, elastik modulleri, sıcaklık genleşme
katsayıları, sıcaklık değişimleri*)
defIJ = {{3, 1}, {2, 1}};
area = {0.0005, 0.0005};
EMod = {210000000000, 210000000000};
TEC = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
DeltaTn = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0};
(*düğüm bilgileri koordinatları, serbestlikleri, düğüm yükleri, mesnet çökmeleri, elastik
mesnetlenmeler*)
xy = {{10, 0}, {10 - 5*Cos[45 Degree], 5*Cos[45 Degree]}, {0., 0.}};
restraints = {{0, 0}, {1, 1}, {1, 1}};
jload = {{0, -25000}, {0, 0}, {0, 0}};
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
ElasticSupport = {{0, 2000000}, {0, 0}, {0, 0}};
(* buradan itibaren program 2D*)
TwoD
GrTwoD
NForce/area

```

Yukarıda verilen dosya hazırlanırken, birimlerin birbiri ile uyumlu olması gerektiğinden, kuvvetler “Newton” cinsinden, uzunluklar “m” cinsinden yazılmıştır. Veri dosyası icra edildiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. “1” numaralı düğüm deplasman bileşenleri Tablo 3.13’de mevcuttur. Aynı tabloda elastik mesnet desteğinin olmaması hali, yani yay katsayısının “0” olması haline ait deplasmanlar kıyaslanmak için verilmektedir. Çubuk kuvvetleri ve gerilmeler Tablo 3.14.’da sunulmaktadır, benzer şekilde elastik mesnet olmaması halinde gerilme ve kuvvetlerin farkı da kıyaslanmaktadır.

Tablo 3.13. Elastik mesnet bulunan düğümde deplasman bileşenleri

Düğüm no	dx	dy
“1” elastik mesnet var	-0.00172414	-0.00344828
“1” elastik mesnet yok	-0.00238095	-0.0047619
Rölatif fark	%27.586	%27.586

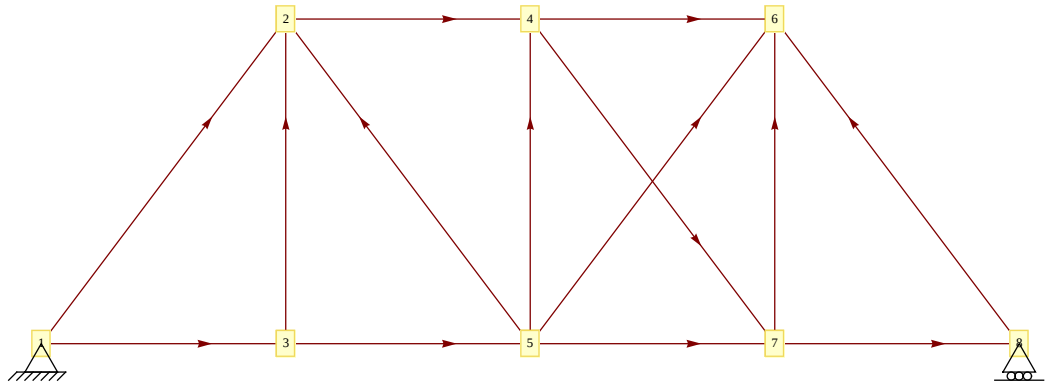
Tablo 3.14. Çubuk kuvvetleri (N) ve gerilmeler (MPa) (elastik mesnetli ve mesnetsiz)

	N ₁	N ₂	σ ₁	σ ₂
Elastik mesnet var	25602.1	-18103.4	51.2043	-36.2069
Elastik mesnet yok	35355.3	-25000.	70.7107	-50
Rölatif fark	%27.586	%27.586	%27.586	%27.586

Tablo 3.13. ve Tablo 3.14.’da verilen ve elastik mesnetli sonuçlar kaynakta verilen değerler ile aynı bulunmuştur. Buna ilaveten elastik mesnetsiz hal ile karşılaştırılınca deplasman, kuvvet ve gerilmeler artmıştır. Elastik mesnet konulduğu durumdaki büyüklüklerde mesnetsiz duruma göre ciddi azalmalar olmaktadır. Bu değer ise elastik mesnedin yay katsayısına bağlıdır. Elastik mesnet katsayısı çok artırılırsa çubuk kuvvetleri sıfıra gitmekte, düşey tekil kuvvet elastik mesnet tarafından taşınmaktadır. Bu durum beklenen bir durumdur.

3.2.2.6. Uygulama 6:

Altıncı örnekte de hiperstatik bir kafes sistem literatürden alınmıştır [42]. Kafes sistemin görünüşü Şekil 3.34.’da düğüm numaraları ile birlikte verilmektedir. Çubuk eleman tarifleri hazırlanan veri dosyası içinde mevcut olduğundan burada tekrar verilmemiştir. Alt ve üstte bulunan çubukların boyu eşit olup, 24 feet’dir. Kafes yüksekliği ise 32 feet olup, tüm çubuklarda elastisite modülü 30000000 lb/in²’dir. Çubuk kesit alanları alt ve üstteki çubuklar için 24, düşey çubuklar için 32 ve son olarak diyagonal çubuklar için 40 in²’dir. Sıcaklık genleşme katsayısı tüm çubuklar için 0.0000065 1/°F’dır. Sadece üst çubuklarda sıcaklık değişimi mevcut olup, sıcaklık artışı 50 °F’dır. Sıcaklık değişimine maruz kalan elemanlardan dolayı, tüm sistem çubuk kuvvetlerinin bulunması istenmektedir. Bir numaralı düğüme global koordinat sistemi oturtularak diğer düğümlerin koordinatları tespit edilerek, veri dosyası oluşturulmuştur. Kafesin mesnetlenmesi “1” numaralı düğümde basit olarak, “9” numaralı düğümde ise “x” eksen yönünde kayıcı, “y” eksen yönünde tutulu olarak yapılmıştır. Diğer düğümler iki yönde de serbesttir. Düğümlerde tekil kuvvet yoktur, elastik mesnet uygulanmamıştır, düğüm yer değiştirmesi sıfırdır.



Şekil 3.34. Hiperstatik kafes sistem [42]

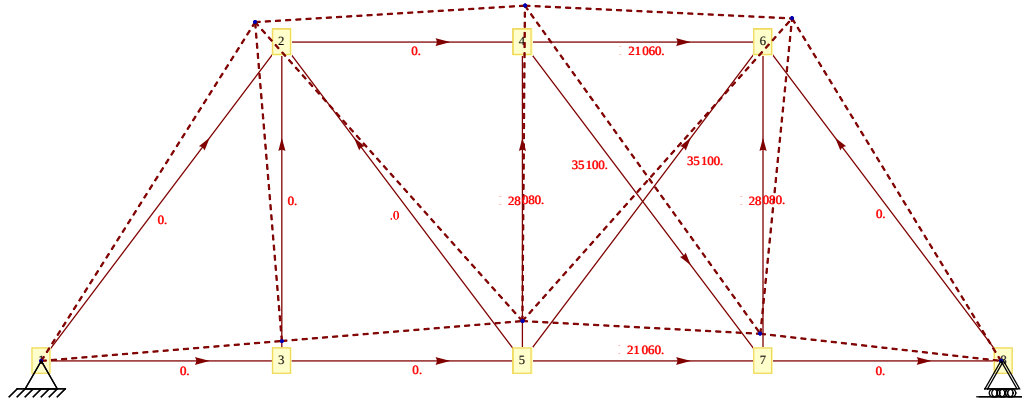
Daha önce anlatılan kurallara uygun olarak hazırlanan dosya aşağıda sunulmaktadır.

Veri Dosyası 6:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nel = 14; nod = 8;
xy = {{0, 0}, {24, 32}, {24, 0}, {48, 32}, {48, 0}, {72, 32}, {72, 0}, {96, 0}}*12;
SupportDisp = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}];
ElasticSupport = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}];
restraints = {{1, 1}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 1}}
jload = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}];
defIJ = {{1, 3}, {3, 5}, {5, 7}, {7, 8}, {1, 2}, {3, 2}, {5, 2},
{5, 4}, {5, 6}, {4, 7}, {7, 6}, {8, 6}, {2, 4}, {4, 6}};
area = {24, 24, 24, 24, 40, 32, 40, 32, 40, 40, 32, 40, 24, 24};
EMod = Table[30000000, {i, 1, nel}];
DeltaTn = {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 50, 50};
TEC = Table[0.0000065, {i, 1, nel}];
TwoD
GrTwoD
```

Yukarıda verilen dosya hazırlanırken, birimlerin birbiri ile uyumlu olması gerektiğinden, kuvvetler “libre” cinsinden, uzunluklar “inch” cinsinden yazılmıştır. Veri dosyası icra edildiğinde aşağıdaki çubuk kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edile çubuk kuvvetleri Tablo 3.15.’de Hsieh’in (1970) ve Larsa 4D (2016) programının sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde değerler her iki literatür ile uyum içindedir.

Sadece, Hsieh (1970)'in sonuçlarından çok az farklı çıkmıştır, bunun sebebi ise Hsieh (1970)'in sonuçlarını yuvarlatarak sunması olduğu düşünülmektedir. Kafes sistemin deformasyonlu ve deformasyonsuz hali çubuk kuvvetleri ile birlikte Şekil 3.35.'de sunulmaktadır [42, 43].



Şekil 3.35. Hsieh (1970)'den alınan örneğin deformasyonlu ve deformasyonsuz hali [42]

Şekil 3.35. incelendiğinde sonuçların beklendiği yönde olduğu görülür. Üstteki iki çubuk ısı nedeniyle genişince sistemde yukarı doğru deplasman yapılmış olur. Çift çapraz çubuk bulunan kısım hiperstatik kısım olduğundan, çubuklar serbestçe hareket etmiş olup, üzerlerinde kuvvet oluşmuştur.

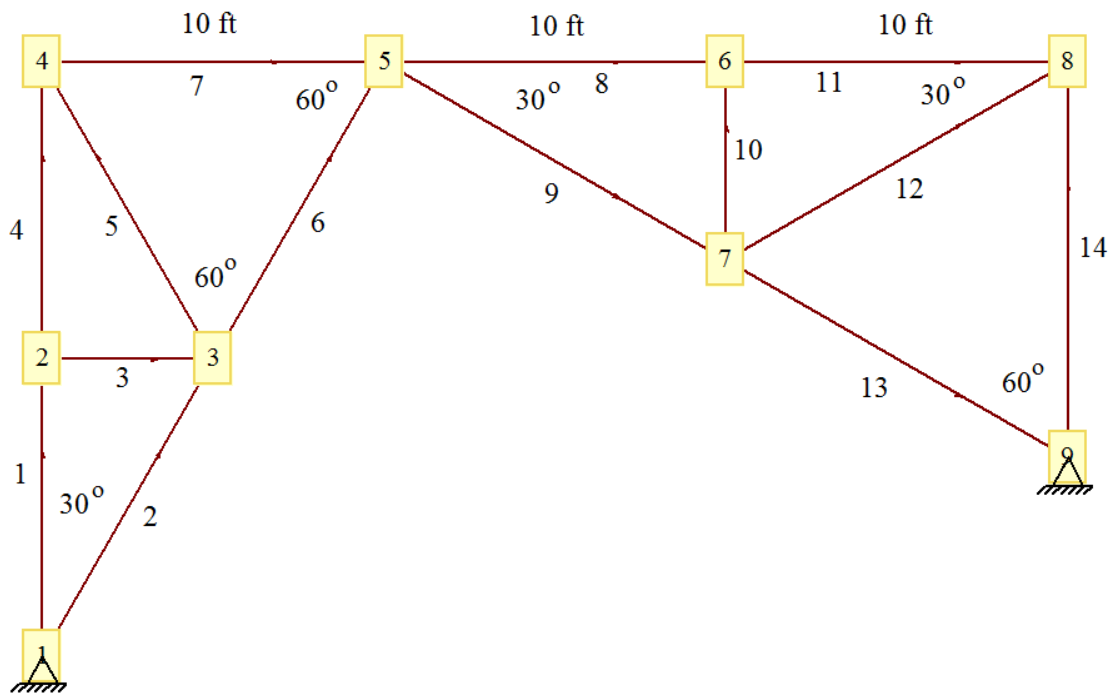
Tablo 3.15. Kafes sistem çubuk kuvvetlerinin karşılaştırılması

Çubuk no	2D	Hsieh (1970)	Larsa 4D (2016)
1	0	0	0
2	0	0	0
3	-21060	-21100	-21060
4	0	0	0
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0	0	0
8	-28080.	-28100	-28080.
9	35100.	35100.	35100.
10	35100.	35100.	35100.
11	-28080.	-28100.	-28080.
12	0	0	0
13	0	0	0
14	-21060.	-21100.	-21060.

3.2.2.7. Uygulama 7:

Uygulama 7 ye ait kafes sistemin görünüşü düğüm numaraları ile birlikte, Şekil 3.36’da verilmiştir. Çubuk ile ilgili geometrik bilgiler şekilde bulunmaktadır. Tüm çubuklarda elastisite modülü 30000000 lb/in^2 ’dir. Çubukların tamamı aynı malzemeden imal edilmiş olup, sıcaklık genleşme katsayısı $0.0000065 \text{ } 1/^{\circ}\text{F}$ ’dir. Çubuk kesit alanları sabit olup, 2 in^2 ’dir. Kafes sistemin tamamında $70 \text{ } ^{\circ}\text{F}$ ’lık sıcaklık artışı mevcuttur [44].

Sıcaklık değişiminden dolayı, “5” numaralı düğümün düşey deplasman bileşeninin bulunması istenmektedir. Kafes sistem “1” ve “9” numaralı düğümlerinde sabit mesnetlenmiş, diğer düğümler ise serbesttir. Mesnet çökmesi ve elastik mesnet hali bulunmamakla birlikte, düğümlerde tekil kuvvet yüklenmemiştir. Global eksenler “1” numaralı düğüme oturtularak diğer düğümlerin koordinatları buna göre belirlenmiştir. Kafes sistem için veri dosyası hazırlanarak, çubuk tarifleri şekil üzerinde ve dosyada verilmiştir.



Şekil 3.36. Timoshenko ve Young (1965), sayfa 266’dan alınan kafes sistem [44]

Daha önce anlatılan kurallara uygun olarak hazırlanan dosya aşağıda sunulmaktadır.

Veri Dosyası 7:

```

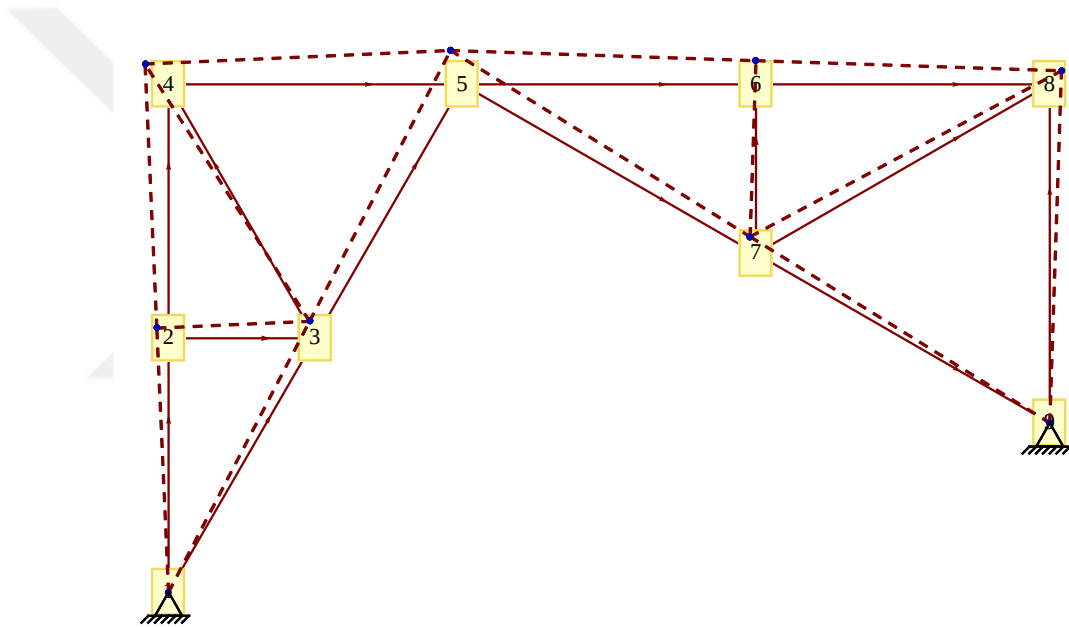
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nel = 14;
nod = 9;
xy = {{0, 0},
{0, 10. Cos[30 Degree]},
{5, 10. Cos[30 Degree]},
{0, 2*10. Cos[30 Degree]},
{10, 2*10. Cos[30 Degree]},
{20, 2*10. Cos[30 Degree]},
{20, 2*10. Cos[30 Degree] - 5/Cos[30 Degree]},
{30, 2*10. Cos[30 Degree]},
{30, 2*10. Cos[30 Degree] - 10/Cos[30 Degree]}}*12;
ElasticSupport = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}]
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
restraints = {{1, 1}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {1, 1}};
jload = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
defIJ = {{1, 2}, {1, 3}, {2, 3}, {2, 4}, {3, 4}, {3, 5}, {4, 5},
{5, 6}, {5, 7}, {7, 6}, {6, 8}, {7, 8}, {7, 9}, {9, 8}};
area = Table[2, {i, 1, nel}];
EMod = Table[30000000, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[70, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0.0000065, {i, 1, nel}];
TwoD
GrTwoD

```

Yukarıda verilen dosya hazırlanırken, birimlerin birbiri ile uyumlu olması gerektiğinden, kuvvetler “libre” cinsinden, uzunluklar “inch” cinsinden yazılmıştır. Veri dosyası icra edildiğinde çubuk kuvvetlerinin tamamı sıfır bulunmuştur. “5” numaralı düğümün düşey deplasmanı yukarı doğru “0.157617inch” olarak bulunmuştur. Kaynakta bu değeri yuvarlatarak “0.158 inch” olarak vermiştir. Sonuç tamamen aynı denilebilir. Çubuk kuvvetlerinin tamamının sıfır olması durumuna gelince, göz önüne

alınan kafes sistem incelendiğinde 14 çubuk ve 4 mesnet reaksiyonu bilinmemekte, toplam 18 bilinmeyen bulunmaktadır. Düğüm sayısı ise 9 olup, düğüm sayısının iki katı kadar denklem yazılabilmektedir.

Toplam denklem sayısı 18 olup, bilinmeyenlere eşittir. Dolayısı ile göz önüne alınan sistem izostatik olup, sadece denge denklemleri ile çözüldüğünden, sıcaklık değişimleri ve mesnet çökmeleri sistem üzerinde herhangi bir kuvvet oluşmasına sebep olamazlar, sadece sistemin deformasyona uğramasına sebep olurlar [19, 30, 45]. Kafes sistemin deformasyonlu ve deformasyonsuz hali Şekil 3.37.'de sunulmaktadır.



Şekil 3.37. Timoshenko ve Young(1965)'den sıcaklık değişiminden sonraki hali [44]

3.2.2.8. Uygulama 8:

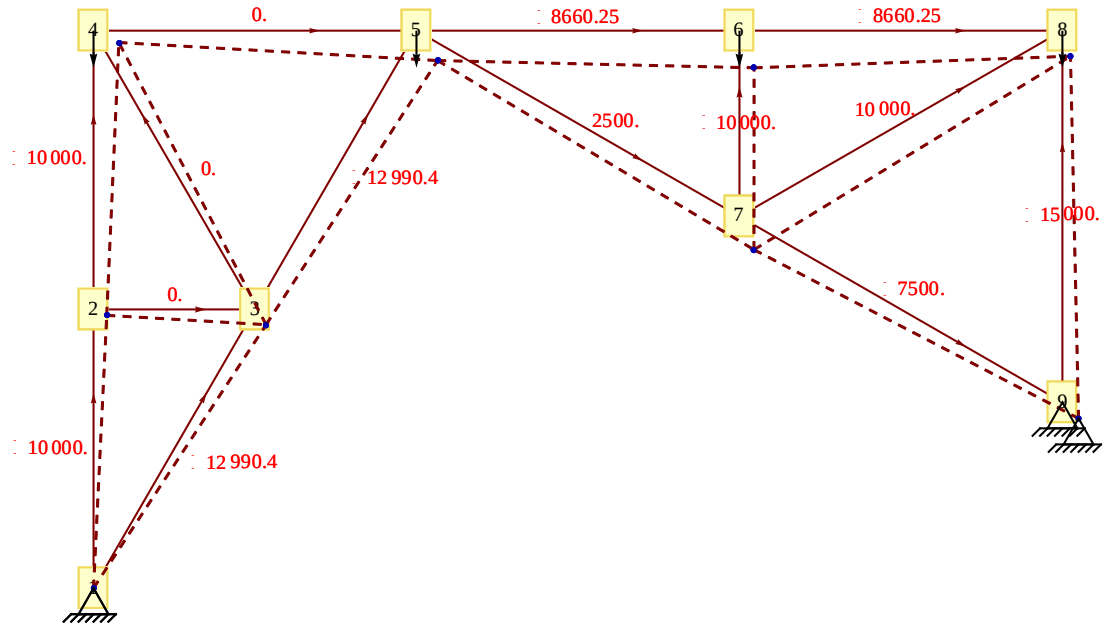
Yedinci örnekte verilen sistemin farklı bir yükleme durumu için tekrar çözülmesi istenmektedir. Burada, tüm çubuklarda 40 °F'lık sıcaklık düşmesi mevcuttur. Kafesin üst kısmında bulunan “4, 5, 6 ve 8” numaralı düğümlerinde düşey yönde 10000 librelilik tekil yük uygulanmaktadır. Aynı zamanda, “9” numaralı mesnet olan tutulu düğümünde yer değiştirme yani mesnet çökmesi bulunmaktadır. Mesnet çökmesi olan “9” numaralı düğümde yatay pozitif yönde 0.01 ft olmak üzere, düşey yönde aşağı doğru 0.01 ft mesnet hareketi oluşmuştur.

Sıcaklık değişimi, mesnet çökmesi ve tekil kuvvetlerin aynı anda uygulanması sonucu, “5” numaralı düğümde düşey deplasman bileşeninin değerinin hesaplanması istenmektedir. Sistem tamamen aynı olduğundan, daha önce hazırlanan veri dosyası değiştirilerek yeni yüklemeye uygun hale getirilmiştir. Hazırlanan veri dosyası aşağıda mevcuttur.

Veri Dosyası 8:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nel = 14; nod = 9;
xy = {{0, 0},
      {0, 10. Cos[30 Degree]},
      {5, 10. Cos[30 Degree]},
      {0, 2*10. Cos[30 Degree]},
      {10, 2*10. Cos[30 Degree]},
      {20, 2*10. Cos[30 Degree]},
      {20, 2*10. Cos[30 Degree] - 5/Cos[30 Degree]},
      {30, 2*10. Cos[30 Degree]},
      {30, 2*10. Cos[30 Degree] - 10/Cos[30 Degree]}}*12;
ElasticSupport = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}]
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0.01, -
0.01}}*12;
restraints = {{1, 1}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {1, 1}};
P=10000;
jload={{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, -P}, {0, -P}, {0, -P}, {0, 0}, {0, -P}, {0, 0}};
defIJ = {{1, 2}, {1, 3}, {2, 3}, {2, 4}, {3, 4}, {3, 5}, {4, 5},
          {5, 6}, {5, 7}, {7, 6}, {6, 8}, {7, 8}, {7, 9}, {9, 8}};
area = Table[2, {i, 1, nel}];
EMod = Table[30000000, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[-40, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0.0000065, {i, 1, nel}];
TwoD
GrTwoD
```

Yukarıda verilen dosya hazırlanırken, birimlerin birbiri ile uyumlu olması gerektiğinden, kuvvetler “libre” cinsinden, uzunluklar “inch” cinsinden yazılmıştır. Bu nedenle koordinat ve mesnet çökmesi değerleri 12 ile çarpılmıştır, “foot” olarak verilen değerler, 12 ile çarpılınca inch değerine dönüşmektedir. Veri dosyası icra edildiğinde, “5” numaralı düğümün düşey deplasmanı aşağı doğru “0.222802 inch” olarak bulunmuştur. Kaynakta bu değeri yuvarlatarak “0.223 inch” olarak vermiştir. Sonuç tamamen aynı denilebilir. Sistemde tekil yükler tarafından çubuk kuvvetleri oluşturulmaktadır. Sistemin deformasyonlu hali ve çubuk kuvvetleri aşağıda Şekil 3.38 da sunulmaktadır. Çubukların ortasında bulunan oklar çubuk tarif yönünü “i ve j” ucu yönlenmesini göstermektedir. Şekil 3.38.’de “4, 5, 6 ve 8” numaralı düğümlerde bulunan tekil kuvvetlerde görülmektedir. Ayrıca, “9” numaralı çökme yapan mesnetin yer değişmiş hali de şekilde görülmektedir.

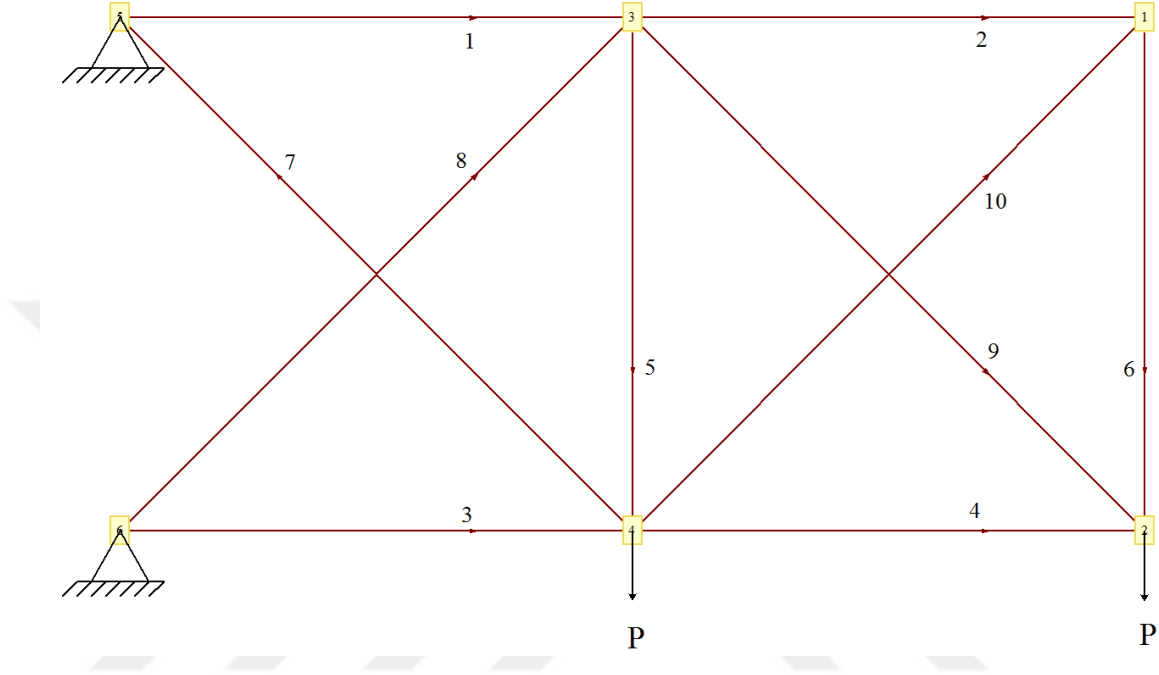


Şekil 3.38 Timoshenko ve Young (1965),kafes sistem üç yükleme sonucu [44]

3.2.2.9. Uygulama 9:

Son örnek olarak literatürde [46] kesit alanı optimizasyonu yapılan bir kontrol örneği alınmıştır. Örneğin geometrik bilgileri, düğüm ve eleman numaraları, yük değerleri, mesnetlenme durumu Şekil 3.39’da sunulmaktadır. Çubuklar aynı malzemeden yapılmış olup, kesit alanlarının optimum değeri sistemin ölü ağırlığını minimize edecek şekilde

istenmektedir. Kullanılan malzeme elastisite modülü 10000000 psi, yoğunluk ise 0.1 lb/in³ olarak verilmiştir. Kesit alanlarının optimizasyonu istenmektedir. Emniyet gerilmesi ise 25000 psi'dir. Yatay ve düşey çubuk uzunlukları 360 inch'dir. Şelikde görülen "2" ve "4" düğümlerinde düşey kuvvetlerin değeri 100000 lb'dir.



Şekil 3.39. Auer (2005) ten alınan kafes optimizasyon problemi [46]

Problemi çözmek üzere, öncelikle veri dosyası hazırlanmıştır. Veri dosyasında düğüm sayısı, çubuk sayısı, düğüm koordinat, serbestlik ve tekil kuvvetleri tanımlanmıştır. Şekil 3.39' daki gibi çubuk elemanlar tanımlanmış olup, elastisite modülü değerleri girilmiştir. Düğümlerde yer değiştirme ve elastik mesnetlenme yoktur. Sıcaklık değişimi de bulunmamaktadır. Bu nedenle değerleri sıfır tutulmuştur. Kesit alanları ise hepsi sıfırdan farklı herhangi değerler girilmiştir. Örneğin birinci çubuk alanı "1", ikinci "2" ve sonuncu "10" in² olarak girilmiştir. Daha önce anlatılan kurallara uygun olarak hazırlanan dosya aşağıda sunulmaktadır. Optimizasyon için icra dileycek programda küçük değişiklikler yapılarak çözüm yapılmıştır.

Veri Dosyası 9:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> ""]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\2DModul\\Modul2D.txt"
nel = 10;
```

```

nod = 6;
xy = {{720, 360},{720, 0},{360, 360},{360, 0},{0, 360},{0, 0}}*1.;
ElasticSupport = Table[{0, 0}, {i, 1, nod}];
SupportDisp = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}};
restraints = {{0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {0, 0}, {1, 1}, {1, 1}};
P = 100000;
jload = {{0, 0}, {0, -P}, {0, 0}, {0, -P}, {0, 0}, {0, 0}};
defIJ = {{5, 3}, {3, 1}, {6, 4}, {4, 2}, {3, 4}, {1, 2}, {4, 5}, {6, 3}, {3, 2}, {4, 1}};
EMod = Table[10000000, {i, 1, nel}];
area = Table[i, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];

```

Yukarıda verilen dosyayı icra eden "Modul2.txt" dosyasında optimizasyon için küçük bir değişiklik yapılarak, mevcut alan verileri ile çubuk kuvvetleri elde edilmiştir. Elde edilen kuvvetler emniyet gerilmelerine bölünerek, yeni emniyetli çubuk alanları bulunmuştur. En küçük kesit alanı ise minimum 0.1 in^2 ile sınırlandırılmıştır. Yeni bulunan alanlar ile mevcut alanların arasındaki rölatif fark yani hata belirli bir hata yüzdesi için karşılaştırılmıştır. Rölatif farkın, hatanın belli bir değerin üzerinde kalması halinde, yeni hesap edilen alanlar mevcut alan olarak kabul edilip, yeni alanlarla problem tekrar çözülmüştür. Tekrar çözüm işlemi 20'nin üzerinde tekrarlanınca, çubuk alan değerleri olması gereken minimum duruma gelmiştir.

Aşağıda Tablo 3.16 ve 3.17' de elde edilen optimum kesit alanları ve çubuklarda oluşan gerilmeler karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Auer (2005)'in çalışmasına çok yakın bulunmuş olup, bu çalışmanın sonuçları Auer (2005)'in sonuçlarından daha iyidir. Çünkü sistem kütlesi daha düşüktür. Bu çalışma ile Romero (2004)'ün çalışması hemen hemen aynıdır [47]. Karşılaştırma sonucunda bu çalışmada kullanılan iteratif yönteminde uygun sonuç verdiği kanaatine varılmış olup, elde edilen sonucun tam sonuç olduğu söylenebilir.

Tablo 3.16. Örnek 9 için elde edilen çubuk alanları (in²)ve karşılaştırılması

Çubuk no	Bu çalışma	Auer (2005)	Romero (2004)
1	7.93787	7.9324	7.9378
2	0.1	0.1	0.1
3	8.06213	8.0678	8.0625
4	3.93787	3.9329	3.9378
5	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1
7	5.74472	5.7527	5.7447
8	5.56899	5.5611	5.5689
9	5.56899	5.5611	5.5689
10	0.1	0.1164	0.1
Toplam kütle (lb)	1593.18090911	1593.42	1594.179622

Tablo 3.17. Örnek 9 için çubuklarda oluşan gerilmeler (psi)

Çubuk no	Bu çalışma	Auer (2005)	Romero (2004)
1	25000.	24999.6	25000.2
2	15533.	16932.7	15533.4
3	-25000.	-24999.7	-25000.1
4	-25000.	-25000	-25000.4
5	-5.50116*10 ⁻⁷	-0.5	-0.6
6	15533.	16932.7	15533.4
7	25000.	24999.7	25000.1
8	-25000.	-25000	-25000.4
9	25000.	-25000	-25000.4
10	-21967.	-20567.5	-21967.5

3.3. Üç Boyutlu Hal İçin Geliştirilen Program Açıklaması ve Örnek Uygulamalar

3.3.1. Bilgisayar Programı 3D ve Açıklaması

Üç boyutlu normal kuvvet taşıyan çubuk sistemlerin çözümü için hazırlanan program aşağıda sunulmakta ve açıklanmaktadır. Bu program geliştirilirken aşağıdaki değişken isimleri seçilmiştir. Eleman sayısının göstermek üzere “nel”, düğüm sayısını göstermek üzere “nod” değişkeni seçilmiştir. Sırasıyla koordinat takımı, düğüm serbestlikleri, düğüm tekil kuvvetleri, mesnet çökmeleri, elastik mesnet ise “xyz”, “restraints”, “jload”, “SupportDisp”, “ElasticSupport” değişken isimleri seçilmiş olup, değişkenler düğüm sayısınca satırı ve üç sütünü olan matrislerdir. Çubuk elastik modülü için “EMod”, kesit alanı için “area”, sıcaklık genleşme katsayısı için “TEC”, sıcaklık değişimi için “DeltaT” isimleri seçilmiş olup, değişkenler çubuk sayısınca elemanı olan birer dizidir. Çubuk elemanların “i” ve “j” uçlarının düğüm numarasını depolamak üzere “defIJ” isimli iki sütunlu ve çubuk sayısınca satır elemanı olan bir matris seçilmiştir.

Aşağıda gerekli verilerin tanımlandığı varsayılarak, “3D” program parça parça sunulmakta olup, her parçadan sonra programın açıklaması verilmektedir.

3.3.1.1. Program Parçası 1:

```
dispN = 0;
Do[ If[restraints[[i, j]] == 0,
dispN = dispN + 1; restraints[[i, j]] = dispN;, restraints[[i, j]] = 0], {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
Print["total displacement=", dispN];
Print["displacement number coding for each joint=", MatrixForm[restraints]];
```

Burada deplasman numaraları dispN numaratorü ile isimlendirilmiş olup, her serbestlik için birer artarak deplasmanları numaralandırmaktadır. Düğüm sayısı kadar bir döngü kurularak serbestlikler, serbestliklerin tanımlandığı “restraints” matrisinin her üç sütünü için taranmakta, serbest olan düğüme ait sütundaki tanım kısmına deplasman numarası verilmekte, tutulu olanlara ise daha önce belirtildiği üzere “0” değeri atanmaktadır. “dispN” değişkeninin son değeri ise toplam deplasman değerine eşit olmaktadır. Bu

program parçasının sonunda toplam deplasman sayısı ve deplasman numaralarını saklayan matrisin değerleri görüntülenmektedir.

3.3.1.2. Program Parçası 2:

```
d[0] = 0;
NForce = Table[0, {i, 1, nel}];
SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
Lengt = Table[0, {i, 1, nel}];
```

Bu program parçasında, toplam deplasman sayısı belirlendiğinden, elde edilecek denklemleri depolamak üzere deplasman sayısı adedince elemanı olan “SysEq” isimli sistem denklemlerini çağrıştıran bir dizi “Table” komutuyla tanımlanmaktadır. Ayrıca, her çubuk boyunun ve çubuk kuvvetinin hesaplandıktan sonra saklanması için sırasıyla “Lengt” ve “Nforce” isimli diziler “Table” komutuyla tanımlanmıştır. Bu dizilerin eleman sayısı çubuk sayısı adedince dir.

3.3.1.3. Program Parçası 3:

```
Do[
codeix = restraints[[i, 1]];
codeiy = restraints[[i, 2]];
codeiz = restraints[[i, 3]];
If[codeix > 0, SysEq[[codeix]] = jload[[i, 1]] - d[codeix]*ElasticSupport[[i, 1]];
If[codeiy > 0, SysEq[[codeiy]] = jload[[i, 2]] - d[codeiy]*ElasticSupport[[i, 2]];
If[codeiz > 0, SysEq[[codeiz]] = jload[[i, 3]] - d[codeiz]*ElasticSupport[[i, 3]];
, {i, 1, nod}];
```

Üçüncü program parçasında, daha önce tanımlanan “SysEq”, sistem denklemlerinin depolandığı dizinin başlangıç değerleri tespit edilmektedir. Burada “restraints” dizisi içinde saklanan deplasman numaralarından faydalanılmaktadır. Düğümlere ait deplasmanların tespiti için düğüm sayısınca bir döngü kurulmuştur. Deplasman numarası her düğüme ait “restraint” üç sütunlu dizisinden alınmaktadır.

Birinci sütun “x” eksen yönündeki, ikinci sütun “y” eksen yönündeki, üçüncü sütun “z” yönündeki deplasmanı temsil etmektedir. “x” yönündeki” deplasman sıfırdan farklı ise o yönde deplasman olduğu açıktır, numarasının değeri ise “codeix” değişkenine ilgili matrizen aktarılmıştır. “y” yönündeki” deplasman sıfırdan farklı ise o yönde deplasman olduğu açıktır, numarasının değeri ise “codeiy” değişkenine ilgili matrizen aktarılmıştır. “z” yönündeki” deplasman sıfırdan farklı ise o yönde deplasman olduğu açıktır, numarasının değeri ise “codeiz” değişkenine ilgili matrizen aktarılmıştır. “codeix” ve “codeiy” ve “codeiz” değişkenlerinin deplasman numarası değeri elde edilmesi planlanan sistem denkleminin numarasını da oluşturmaktadır.

Sistem denkleminin başlangıcı ise dış yüklemelerden oluşmaktadır. Bunlardan biri dış tekil kuvvet değeri ise mesnet çökmesidir. Mesnet çökmesi halinde tekil düğüm yükü sıfırdır, benzer şekilde tekil yük olması halinde düğüm mesnet değildir, yani mesnet çökmesi yoktur ve temsilen değeri de sıfırdır. Düğümde “x” yönünde tekil yük olması halinde ve “x” yönünde deplasman olması halinde, o düğümün “x” yönündeki tekil kuvvetinin denklem sistemine başlangıç değeri olarak eklenmesi gerekmektedir, bu durumda denklem sisteminin numarası daha önce belirtildiği gibi “codeix” değişkeninde bulunmaktadır ve tekil kuvvetin değeri de “jload” matrisinin ilgili düğüm numaralı satırının “1” sütununda bulunmaktadır. Düğümde “y” yönünde tekil yük olması halinde ve “y” yönünde deplasman olması halinde, o düğümün “y” yönündeki tekil kuvvetinin denklem sistemine başlangıç değeri olarak eklenmesi gerekmektedir, bu durumda denklem sisteminin numarası daha önce belirtildiği gibi “codeiy” değişkeninde bulunmaktadır ve tekil kuvvetin değeri de “jload” matrisinin ilgili düğüm numaralı satırının “2” sütununda bulunmaktadır. Düğümde “z” yönünde tekil yük olması halinde ve “z” yönünde deplasman olması halinde, o düğümün “z” yönündeki tekil kuvvetinin denklem sistemine başlangıç değeri olarak eklenmesi gerekmektedir, bu durumda denklem sisteminin numarası daha önce belirtildiği gibi “codeiz” değişkeninde bulunmaktadır ve tekil kuvvetin değeri de “jload” matrisinin ilgili düğüm numaralı satırının “3” sütununda bulunmaktadır.

Bu bilgiler ışığında tekil kuvvetlerin sistem denklemine eklenmesi işi üçüncü program parçasının içinde bulunan üç adet “If” komutuyla icra edilmektedir. Aynı “If” komutları benzer bilgiler ışığında elastik mesnet değerlerini ilgili deplasman ile mesnede ait elastik mesnet yay katsayısıyla çarparak iç kuvvete dönüştürmekte ve elde edilen

kuvveti sistem denklemlerinin başlangıcına eklemektedir. Burada eklenme yerine çıkarılmaktadır, çünkü bulunan kuvvet yay ucundadır ve düğüme negatif olarak yansımaktadır. Bu nedenle çıkarılmıştır. Böylece mesnet çökmelerinin oluşturacağı kuvvet sisteme etkiletilmiş olmaktadır. İşlemler tüm serbestlikler, diğer bir deyişle tüm deplasmanlar için yapıldığında sistem denklemlerini oluşturan “SysEq” dizisinin başlangıç değerleri tespit edilmiş olur. Sonra iç kuvvetlerin etkilerinin de toplama dahil edilmesi işi diğer dördüncü program parçası içinde gerçekleşmektedir. Denklemlerin başlangıç değerleri istenirse ekranda görüntülenebilir.

3.3.1.4. Program Parçası 4:

Bu program parçasında her bir çubuk için işlem yapıldığından işlemlerin tamamı çubuk sayısı kadar işlem yapan bir döngü içine konulmuştur. Çubuk numaralarını temsil eden döngü değişkeni ise “nn” olarak seçilmiştir. Her bir çubuğa ait, elastisite modülü, kesit alanı, sıcaklık genleşme katsayısı, sıcaklık değişimi değeri, “i” ve “j” ucunun bağlı olduğu düğüm numaraları, “i” ve “j” ucunun koordinatları; sırasıyla “EM”, “csa”, “alfaT”, “dTn”, “ii”, “jj”, “xi”, “yi”, “zi”, “xj”, “yj”, “zj” isimli yerel değişkenlere ilgili dizi ve matrislerden alınarak, atanmaktadır. Bu yazım tarzı programın anlaşılmasını kolaylaştırmaktadır. Çubuğa ait veriler yerel değişkenlere aktarıldıktan sonra, çubuk uzunluğu ve global eksenlerle yaptığı açıların kosinüs doğrultmanlarının değerlerini (Sezginman ve Abacı, 1985) hesaplamak üzere; “i” ve “j” ucunun koordinatları kullanılarak, “i” ve “j” düğüm noktaları arasında bir yer vektörü yazılmaktadır. Oluşan vektörün normu çubuk uzunluğunu vermektedir. Vektörün normu ile normalize edilmiş bileşenleri kosinüs doğrultmanlarını verdiği için aşağıdaki satırlarda, kosinüs doğrultmanları hesaplanmaktadır. Çubuğun “x” eksenine ile yaptığı açının kosinüs değeri “csx” yerel değişkenine; “y” eksenine ile yaptığı açının kosinüs değeri “csy” yerel değişkenine; “z” eksenine ile yaptığı açının kosinüs değeri “csz” yerel değişkenine aktarılmaktadır.

Çubuğun “i” ucunun bağlı olduğu düğümün deplasman numaraları “x” yönü için “codeix” yerel değişkenine aktarılmakta ve “y” yönü için “codeiy” yerel değişkenine aktarılmakta olup, “z” yönü için “codeiz” yerel değişkenine aktarılmaktadır. Benzer şekilde, çubuğun “j” ucunun bağlı olduğu düğümün deplasman numaraları “x” yönü için “codejx” yerel değişkenine aktarılmakta ve “y” yönü için “codejy” yerel

değişkenine aktarılmakta olup, “z” yönü için “codejz” yerel değişkenine aktarılmaktadır. Bu yerel değişkenler çubuğun bağlı olduğu uçlarında bulunan global bilinmeyen deplasmanların numaralarını göstermekte olup, o yönde yazılan sisteme ait denge denkleminin numarasını da işaret etmektedir. Çubuğun ucunda bulunduğu bilinen global bilinmeyen deplasmanlar; çubuk kosinüs doğrultmanları vasıtasıyla çubuk yerel koordinatlarına dönüştürülmektedir. Çubuk yerel koordinatlarına dönüştürülen global deplasmanlar “ui” ve “uj” yerel değişkenleri üzerinde saklanmaktadır. Aynı satırlarda, varsa global mesnet çökmeleri değerleri de çubuk yerel koordinat takımına aynı değişkenler üzerine aktarılmaktadır. Mesnet çökmesi olan düğümlerde bilinmeyen deplasman olmadığından işin içine girmemektedir. Düğümde bilinmeyen deplasman olduğunda ise düğüm mesnet olmaktan çıktığı için mesnet çökmesi durumu ortadan kalkmaktadır. Çubuk ucunda mesnet çökmesi değeri yada bilinmeyen deplasmanlar yerel koordinatlarda bulundukları için, daha sonraki aşamada çubuk boyuna uzamasını idare eden diferansiyel denklemin çözümü sırasında sınır koşulları olarak istihdam edilmektedir.

Kafes sistem çözümünde genellikle kesit değişimi olmadığından ve çubuk eksenine paralel iç normal yayılı yük ihmal edildiğinden, çubuk boyuna uzamasını idare eden diferansiyel denklem; boyuna uzama eğrisinin fonksiyonunun ikinci türevinin sıfır olmasına dönüşür. Bu durumda iki kez geri integral alındığında uzama eğrisinin fonksiyonu doğrusal bir hal alarak iki sabitli bir doğru denklemine eşit olur. Sabitler, sınır koşullarından elde edilerek boyuna uzama eğrisinin fonksiyonunda yerine konulur; böylece boyuna uzama eğrisinin denklemi bulunmuş olur. Çubuk normal kuvvet değişimi boyuna uzama eğrisine bağlı olduğundan, eksenel rijitlik ve boyuna uzama eğrisinin türevi ile çarpılarak bulunur. Normal kuvvet ifadesinin çubuk uçlarındaki değerleri de çubuk sınırları yerine konularak bulunmektedir, “ni”, “nj”. Programda elde edilen çubuk “ni” ve “nj” yerel çubuk uç kuvvetleri kosinüs doğrultmaları yardımıyla global koordinat takımına dönüştürülerek; çubuk ucunda bulunan uç kuvvetlerinin global takımdaki bileşenleri bulunmuş olur. Bu bileşenler “i” ucunda “fxi, fyi, ve fzi” olup, “j” ucunda ise “fxj, fyj ve fzj” dir. Bu bileşenler sistem denklemine aktarılacak bileşenler olup, katkı yapılacak denklemin numarası ise bulundukları düğümün deplasman yönüdür. Bu yönler ise “i” düğümünde “x” yönü için “codeix” değişkeninde saklı olup, “codeix” numaralı sistem denkleminde “fxi” bileşeninin eklenmesini

gerektirir; “y” yönü için “codeiy” değişkeninde saklı olup, “codeiy” numaralı sistem denklemine “fyi” bileşeninin eklenmesini gerektirir; “z” yönü için “codeiz” değişkeninde saklı olup, “codeiz” numaralı sistem denklemine “fzi” bileşeninin eklenmesini gerektirir.

Benzer şekilde “j” düğümünde “x” yönü için “codejx” değişkeninde saklı olup, “codejx” numaralı sistem denklemine “fxj” bileşeninin eklenmesini gerektirir; “y” yönü için “codejy” değişkeninde saklı olup, “codejy” numaralı sistem denklemine “fyj” bileşeninin eklenmesini gerektirir; “z” yönü için “codejz” değişkeninde saklı olup, “codejz” numaralı sistem denklemine “fzj” bileşeninin eklenmesini gerektirir. Bu işlemler program tarafından aşağıda altı adet “If” komutu ile ilgili satırlarda yapılmaktadır. Bu işlemler tüm çubuklar için yapıldığında sistem için gerekli olan denklemler elde edilmiş olur. Program parçası en sonunda elde edilen denklemleri “Simplify” komutuyla sadeleştirmektedir.

```
Do[
Print["Element number [", nn, "] is in progress;"];
EM = EMod[[nn]];
csa = area[[nn]];
alfaT = TEC[[nn]];
dTn = DeltaTn[[nn]];
ii = defIJ[[nn, 1]];
jj = defIJ[[nn, 2]];
xi = xyz[[ii, 1]]; yi = xyz[[ii, 2]]; zi = xyz[[ii, 3]];
xj = xyz[[jj, 1]]; yj = xyz[[jj, 2]]; zj = xyz[[jj, 3]];
vector = {xj - xi, yj - yi, zj - zi};
length[[nn]] = lengthL = Norm[vector];
csx = Normalize[vector][[1]];
csy = Normalize[vector][[2]];
csz = Normalize[vector][[3]];
codeix = restraints[[ii, 1]];
codeiy = restraints[[ii, 2]];
codeiz = restraints[[ii, 3]];
```

```

codejx = restraints[[jj, 1]];
codejy = restraints[[jj, 2]];
codejz = restraints[[jj, 3]];
ui = d[codeix]*csx + d[codeiy]*csy + d[codeiz]*csz +
SupportDisp[[ii, 1]]*csx + SupportDisp[[ii, 2]]*csy + SupportDisp[[ii, 3]]*csz;
uj = d[codejx]*csx + d[codejy]*csy + d[codejz]*csz +
SupportDisp[[jj, 1]]*csx + SupportDisp[[jj, 2]]*csy + SupportDisp[[jj, 3]]*csz;
uu = c1 z + c2;
b1 = uu /. z -> 0;
b2 = uu /. z -> lengthL;
sol = Flatten[Solve[{b1 == ui, b2 == uj}, {c1, c2}]];
uu = uu /. sol;
NF = EM*csa (D[uu, z] - alfaT*dTn);
ni = NF /. z -> 0;
nj = NF /. z -> lengthL;
NForce[[nn]] = nj;
fxi = -ni*csx;
fyi = -ni*csy;
fzi = -ni*csz;
fxj = nj*csx;
fyj = nj*csy;
fzj = nj*csz;
If[codeix > 0, SysEq[[codeix]] = SysEq[[codeix]] - fxi];
If[codeiy > 0, SysEq[[codeiy]] = SysEq[[codeiy]] - fyi];
If[codeiz > 0, SysEq[[codeiz]] = SysEq[[codeiz]] - fzi];
If[codejx > 0, SysEq[[codejx]] = SysEq[[codejx]] - fxj];
If[codejy > 0, SysEq[[codejy]] = SysEq[[codejy]] - fyj];
If[codejz > 0, SysEq[[codejz]] = SysEq[[codejz]] - fzj];
, {nn, 1, nel}];
SysEq = Simplify[SysEq];

```

3.3.1.5. Program Parçası 5:

```
Print["syseq=", MatrixForm[SysEq], "=0"];
unk = Table[d[i], {i, 1, dispN}];
sol = Flatten[Solve[SysEq == 0, unk]];
Print["solution=", MatrixForm[sol]];
Do[d[i] = sol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];
Print[MatrixForm[NForce]];
```

Bu program paçasında elde edilen denge denklemleri ekranda sunulmaktadır. Ekranda düğümlerde bulunan deplasmanlara bağlı olarak denklemler analitik olarak görülecektir. Ardından, düğüm deplasmanlarının bilinmeyen olarak isimleri “unk” isimli bir diziye “Table” komutu ve deplasman sayısı kullanılarak aktarılmaktadır. “Solve” komutu kullanılarak, elde edilen “SysEq” değişkeninde bulunan denge denklemleri bilinmeyen düğüm deplasmanları “unk” için çözülmektedir. Çözülen değerler çıkartılarak, bilinmeyen deplasmanların içine aktarılmakta ve bilinmeyen deplasmanlar bilinen olmaktadır. Bunlarda otomatik olarak program hafızasında bulunan diğer büyüklüklerde yerine konulmaktadır. Program parçasının son satırında ise çubuk kuvvetleri sırasıyla alt alta yazılmaktadır.

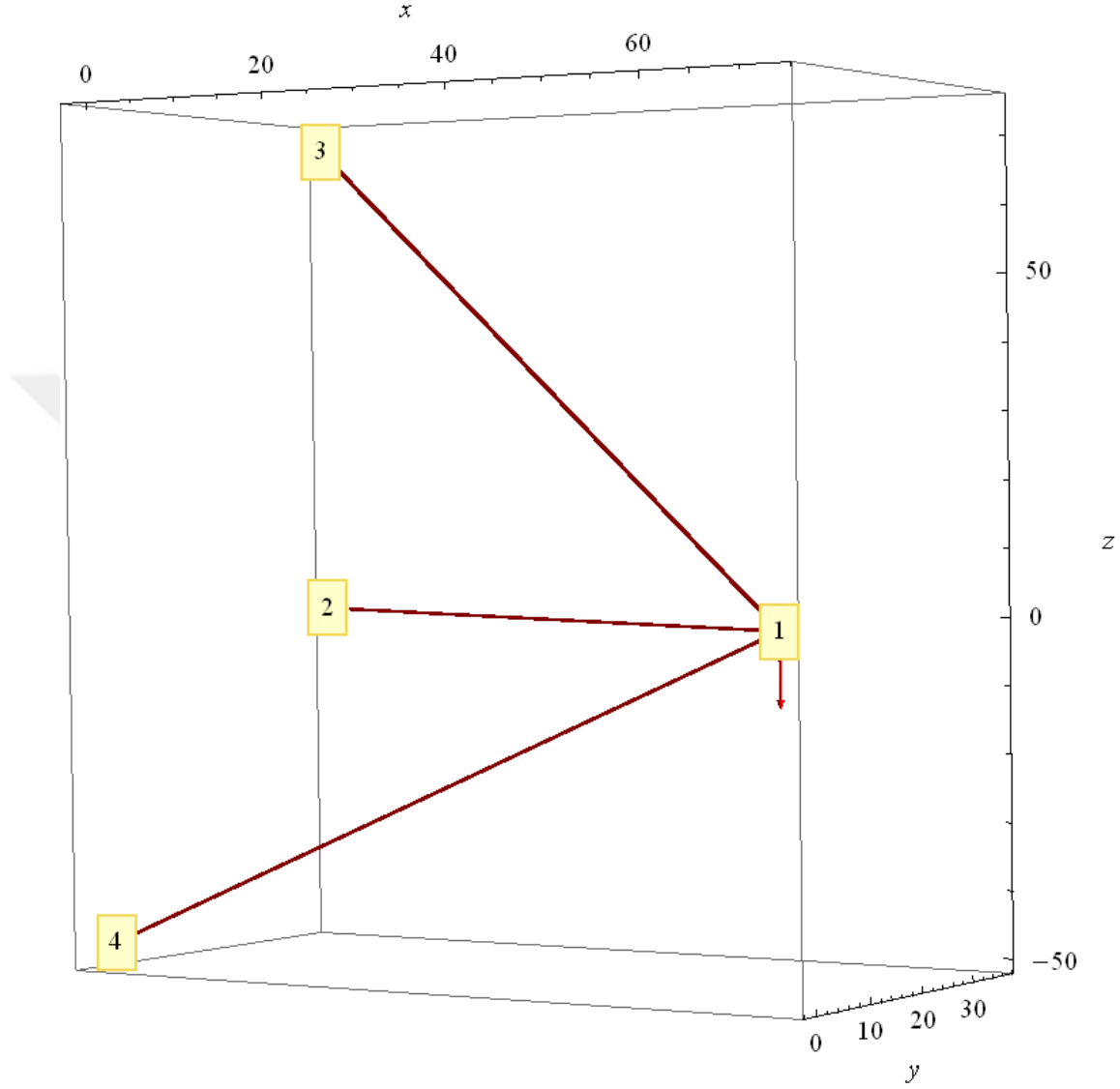
3.3.2. Üç Boyutlu Normal Kuvvet Taşıyan Kafes Sistem Örnekleri

3.3.2.1. Uygulama 1:

Üç boyutlu kafes sistemi için ilk örnek olarak küçük bir sistem Logan (2007) dan alınmıştır [39]. Aşağıda kafes sistem Şekil 3.40.’da global koordinatlarda sunulmaktadır. Şekil 3.40.’da düğümlere ait numaralar ve uygulanan kuvvet bulunmaktadır. Düğümlere ait koordinatlar “1, 2, 3 ve ” numaralı düğüm için sırasıyla (72, 0, 0), (0, 36, 0), (0, 36, 72), (0, 0, -48) olarak verilmektedir. Mesnet olarak “2, 3, 4” numaralı düğümler sabit mesnet olarak tanımlanmakta, “1” numaralı düğüm ise sadece “y” yönünde tutulu, diğer yönlerde serbesttir.

Tekil kuvvet ise sadece “1” numaralı düğümde “z” yönünde aşağı doğru 1000 lb olarak belirtilmiştir. Birinci, ikinci ve üçüncü çubuk sırasıyla “1-2”, “1-3” ve “1-4” düğüm numaralı uçlar arasında tanımlanmaktadır. Çubuk alanları sırasıyla “1, 2, 3” numaralı

çubuklar için 0,302, 0.729, 0.187 “inch²” dir. Tüm çubuklar için elastisite modülü 1.2×10^6 dır. Çubuklarda oluşacak kuvvet ve gerilmelerin hesabı istenmektedir.



Şekil 3.40. Logan (2007) dan alınan dört düğüm üç çubuklu kafes sistem [39]

Örnek problem için yukarıda verilen bilgilere dayanarak bir veri dosyası oluşturulup, aşağıda sunulmaktadır.

Veri Dosyası 1:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
nod = 4;
nel = 3;
```

```

xyz = {{72, 0, 0},{0, 36, 0},{0, 36, 72},{0, 0, -48}};
jload = {{0, 0, -1000},{0, 0, 0},{0, 0, 0},{0, 0, 0}};
restraints = {{0, 1, 0},{1, 1, 1},{1, 1, 1},{1, 1, 1}};
defIJ = {{1, 2},{1, 3},{1, 4}};
area = {0.302, 0.729, 0.187};
EMod = Table[1.2*10^6, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
ThreeD
NForce/area

```

Veri dosyasında, çubuk sayısı ve düğüm sayısı “nel” ve “nod” değişkenlerine atanmış olup, düğüm koordinatları, serbestlikler, düğüm tekil kuvvetler, “xyz”, “restraints” ve “jload” matrislerine atanmıştır. Çubuk tanımları, alanlar, elastisite modülleri ise “defIJ”, “area”, “EMod” matris ve dizilerine atanmıştır. Sıcaklık yüklemesi olmadığından ilgili büyüklükler “Table” komutuyla sıfır olarak tanımlanmıştır. Elastik mesnet ve mesnet çökmesi bulunmadığından yine ilgili büyüklükler “Table” komutuyla sıfır olarak tanımlanmıştır. Üç boyutlu analiz modülü icra edilerek sonuçlar elde edilmiş olup, elde edilen çubuk kuvvetleri çubuk alanlarına bölünerek gerilmeler bulunmuştur. Elde edilen büyüklükler Tablo 3.18’de sunulmaktadır. “y” yönünden deplasman tutulu olduğu için “1” numaralı düğümde “x” ve “z” yönünde deplasman oluşmuş olup, değerleri Tablo 3.19.’da sunulmuştur. Tablolarda sunulan değerler kaynakta verilen sonuçlarla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.18. Örnek 1 için elde edilen çubuk kuvvetleri ve gerilmeler

Çubuk No.	Normal Kuvvet (lb)	Normal Gerilme (psi)
1	-286.35	-948.20
2	1053.67	1445.36
3	-536.42	-2868.54

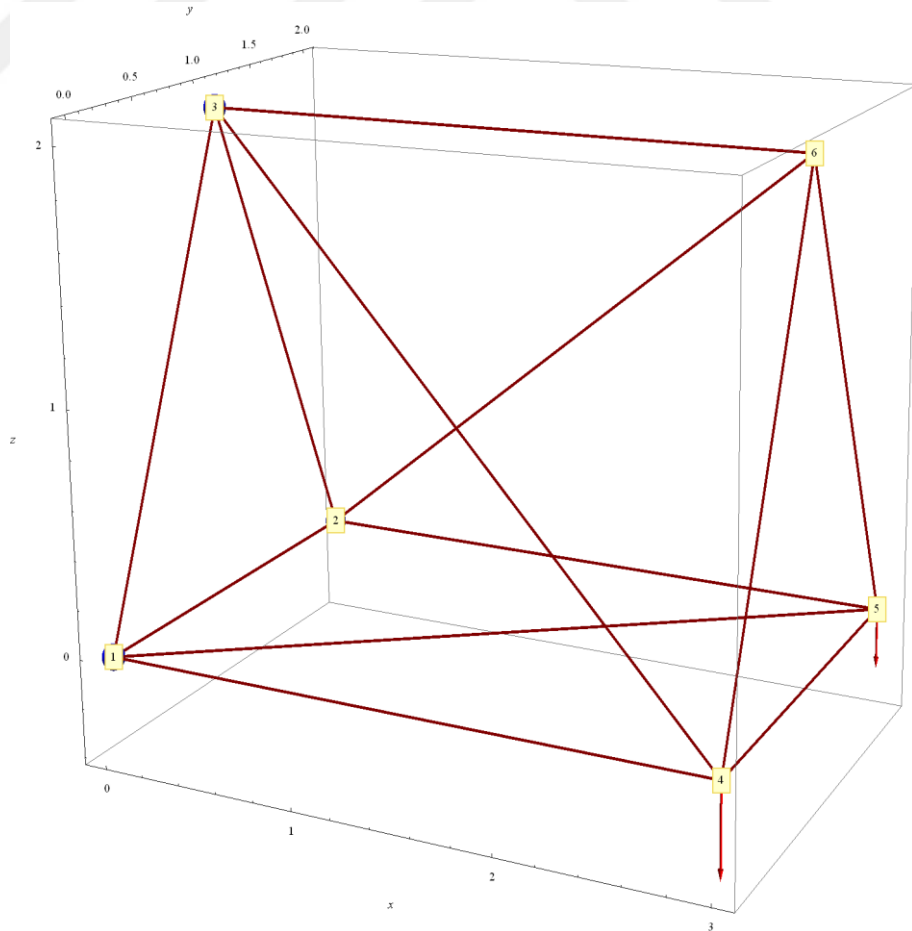
Tablo 3.19. Örnek 1 için elde edilen “1” numaralı düğüm deplasmanları

Düğüm No.	Deplasman (inch)
1	-0.0711144
2	-0.2662390

3.3.2.2. Uygulama 2:

İkinci örnek olarak Farajzadeh (2012) nin çalışmasından alınmış olup, 6 düğümlü ve 12 elemanlı üç boyutlu kafes sistemdir [48]. Tüm çubuklar için alanlar eşit olup, 0.003 m^2 dir. Aynı şekilde elastisite modülünde $2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ dir. Sıcaklık değişimi sıfır olup, elastik mesnet ve mesnet çökmesi yoktur, bu nedenle hazırlanacak dosyada ilgili değerler sıfır olmaktadır.

Kafes sistemin şekli düğüm numaraları ile birlikte aşağıda Şekil 3.41.’da sunulmuştur. Çubuk düğüm numaraları, düğüm koordinatları (m), düğüm serbestlikleri ve düğüm yükleri (kN) Tablo 3.20. ve Tablo 3.21.’de verilmektedir.



Şekil 3.41 Farajzadeh (2012) nin çalışmasından alınan 12 çubuklu 6 düğümlü kafes [48]

Literatürden alınan problemin çubuk kuvvetlerin bulunması istenmektedir. Çözüm için veri dosyası hazırlanarak aşağıda sunulmuştur. Veri dosyasında çubuk sayısı, düğüm sayısı, düğümle ilgili koordinatlar, serbestlikler, tekil düğüm yükleri ile çubuklarla ilgili çubuk tarifleri, alan ve elastik modüller birinci örnekte belirtildiği gibi ilgili değişkenlere aktarılmıştır. Sıcaklık ile ilgili bilgiler, elastik mesnet hali ve mesnet çökmesi olmadığından sıfır olarak ilgili değişkenlere aktarılmıştır. Veri dosyası aşağıda sunulmuştur.

Tablo 3.20. Çubuk uç bağlantı düğümleri, alan ve elastisite modülleri

Çubuk No	“i” ucu	“j” ucu	Alan (m ²)	EM (kN/m ²)
1	1	2	0.003	2x10 ⁸
2	1	3	0.003	2x10 ⁸
3	2	3	0.003	2x10 ⁸
4	1	4	0.003	2x10 ⁸
5	1	5	0.003	2x10 ⁸
6	2	5	0.003	2x10 ⁸
7	2	6	0.003	2x10 ⁸
8	3	6	0.003	2x10 ⁸
9	3	4	0.003	2x10 ⁸
10	5	6	0.003	2x10 ⁸
11	4	6	0.003	2x10 ⁸
12	4	5	0.003	2x10 ⁸

Tablo 3.21. Kafes sitem düğüm koordinat, serbestlik ve tekil yükleri

Düğüm No	Koordinatlar (m)			Serbestlikler			Düğüm Yükleri (kN)		
	“x”	“y”	“z”	“x”	“y”	“z”	“x”	“y”	“z”
1	0	0	0	1	1	1	0	0	0
2	0	2	0	1	0	1	0	0	0
3	0	1	2	1	1	1	0	0	0
4	3	0	0	0	0	0	0	0	-45
5	3	2	0	0	0	0	0	0	-30
6	3	1	2	0	0	0	0	0	0

Veri dosyası 2:

```

Clear[Evaluate[Context[] <> ""]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
nod = 6; nel = 12;
xyz = {{0, 0, 0}, {0, 2, 0}, {0, 1, 2}, {3, 0, 0}, {3, 2, 0}, {3, 1, 2}};
jload = {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, -45}, {0, 0, -30}, {0, 0, 0}};
restraints = {{1, 1, 1}, {1, 0, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
defIJ = {{1, 2}, {1, 3}, {2, 3}, {1, 4}, {1, 5}, {2, 5}, {2, 6}, {3, 6}, {3, 4}, {5, 6}, {4, 6}, {4,
5}};
area = Table[0.003, {i, 1, nel}];
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
ThreeD

```

Yukarıda verilen dosyası uygun ortamda icra edildiğinde çubuk kuvvetleri, düğüm deplasmanları ve sistem denklemleri hesaplanmaktadır. Burada sadece düğüm deplasmanları Tablo 3.22.'de, çubuk kuvvetleri Tablo 3.23.'de sunulmuştur. Elde edilen değerler kaynakta verilen değerler ile tamamen aynıdır.

Tablo 3.22. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

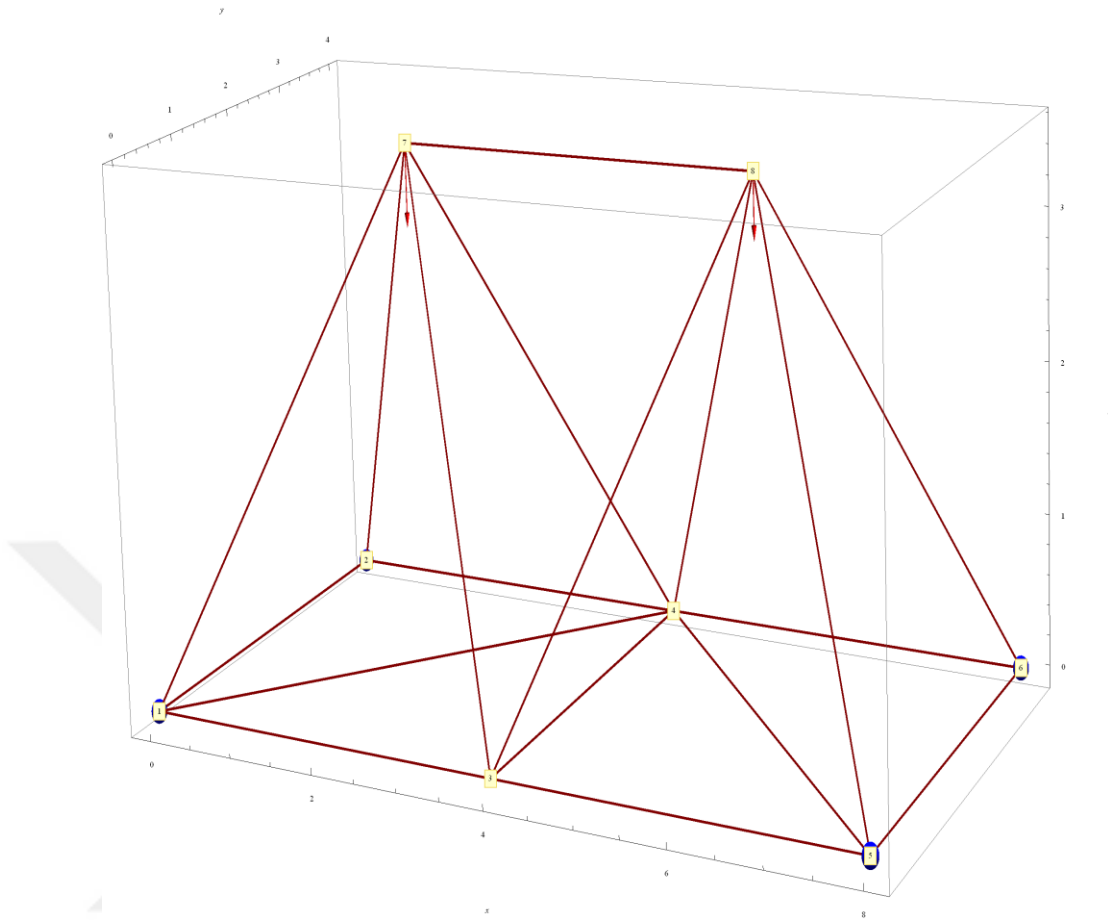
Düğüm no	dx	dy	dz
1	0	0	0
2	0	0.0000424129	0
3	0	0	0
4	-0.00033750	0.000305851	-0.00164136
5	-0.00005625	0.000230851	-0.00103783
6	0.00022500	-0.000474939	-0.00125097

Tablo 3.23. Çubuk kuvvetleri

Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)
1	12.72
2	0.00
3	5.09
4	-67.5
5	13.52
6	-11.25
7	-56.12
8	45.00
9	84.18
10	33.54
11	0.00
12	-22.5

3.3.2.3. Uygulama 3:

Üçüncü örnek olarak, Farajzadeh (2012) nin çalışmasından 18 çubuklu 8 düğümlü kafes örneği alınmıştır [48]. Kafes sisteme Şekil 3.42.'de sunulmakta olup, düğümleri numaralandırılmıştır. Bütün çubukların kesit alanı ve elastisite modülü eşit olup, sırasıyla 0.002 m^2 ve $2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ dir. Çubukların numaralandırılma işlemleri, çubuk düğümleri tarifinde veri dosyasının içinde mevcuttur. Düğüm koordinatları veri dosyası içinde verildiğinden tekrar tablo olarak düzenlenmemiştir. Alt dört köşesinde bulunan ve “1, 2, 5, 6” ile numaralandırılan düğümlerinde üç ekseninde basit mesnetlendirilmiştir. Uygulanan düğüm tekil yükleri “z” yönünde aşağı doğru olup, “7” ve “8” düğümlerinde değerleri de sırasıyla 35 kN ve 45 kN'dur. Mesnet düğümlerinin dışında kalan düğümler üç ekseninde de serbest bırakılmıştır. Hazırlanan veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 3.42. Farajzadeh (2012) nin çalışmasından alınan 18 çubuklu 8 düğümlü kafes [48]

Veri Dosyası 3;

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
```

```
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
```

```
nod = 8;
```

```
nel = 18;
```

```
xyz =
```

```
{ {0, 0, 0}, {0, 4, 0}, {4, 0, 0}, {4, 4, 0}, {8, 0, 0}, {8, 4, 0}, {2, 2, 3.5}, {6, 2, 3.5}};
```

```
jload = { {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, -45}, {0, 0, -35}};
```

```
restraints = { {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
```

```
defIJ = { {1, 2}, {2, 4}, {3, 4}, {1, 3}, {1, 4}, {4, 6}, {5, 6}, {3, 5}, {4, 5},
```

```
{1, 7}, {2, 7}, {3, 7}, {4, 7}, {3, 8}, {4, 8}, {6, 8}, {5, 8}, {7, 8}};
```

```
area = Table[0.002, {i, 1, nel}];
```

```
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
```

$TEC = Table[0, \{i, 1, nel\}];$

$DeltaTn = Table[0, \{i, 1, nel\}];$

$ElasticSupport = Table[0, \{i, 1, nod\}, \{j, 1, 3\}];$

$SupportDisp = Table[0, \{i, 1, nod\}, \{j, 1, 3\}];$

$ThreeD$

Yukarıda verilen veri dosyası uygun ortamda icra edildiğinde, veriler işlenmekte ve çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Elde edilen düğüm deplasmanları ve çubuk kuvvetleri aşağıda Tablo 3.24. ve Tablo 3.25.'de sunulmaktadır. Tablolarda sunulan değerler örneğin alındığı kaynakla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.24. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

Düğüm no	dx	dy	dz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0.00000706	0	-0.000502551
4	0.00000533	0	-0.000502551
5	0	0	0
6	0	0	0
7	0.000117386	-0.0000004333	-0.000462263
8	-0.000111186	-0.0000004333	-0.000412227

Tablo 3.25. Çubuk kuvvetleri

Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)	Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)
1	0	10	-27.3385
2	0.533333	11	-27.3043
3	0	12	-1.59002
4	0.706677	13	-1.62426
5	0.266667	14	1.59002
6	-0.533333	15	1.62426
7	0	16	-24.1243
8	-0.706677	17	-24.0900
9	-0.266667	18	-22.8571

3.3.2.4. Uygulama 4:

Dördüncü örnek olarak, Farajzadeh (2012) nin çalışmasından 25 çubuklu 10 düğümlü kafes örneği alınmıştır. Kafes sistem Şekil 3.43.'de düğüm numaraları ve uygulanan tekil yüklerle birlikte sunulmaktadır [48]. Çubukların kesit alanı çubukların tamamı için 0.0025 m^2 alınmış olup, aynı şekilde elastisite modülleride $2 \times 10^8 \text{ kN}$ 'dur. Sistemin en altında bulunan ve "7, 8, 9, 10" sayıları ile numarandırılan düğümler üç yönde de basit olarak mesnetlendirilmiştir. Tekil kuvvetler ise "1" numaralı düğümde "z" yönünde düşey olarak 60 kN, "2" numaralı düğümde "y" yönünde pozitif yönde 75 kN ile yüklenmiştir. Mesnet dışında kalan düğümler mafsal olarak tasarlanmış ve her üç yönde serbest bırakılmıştır. Düğüm koordinatları hazırlanan veri dosyası içinde sunulduğundan tablo olarak düzenlenmemiştir. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.

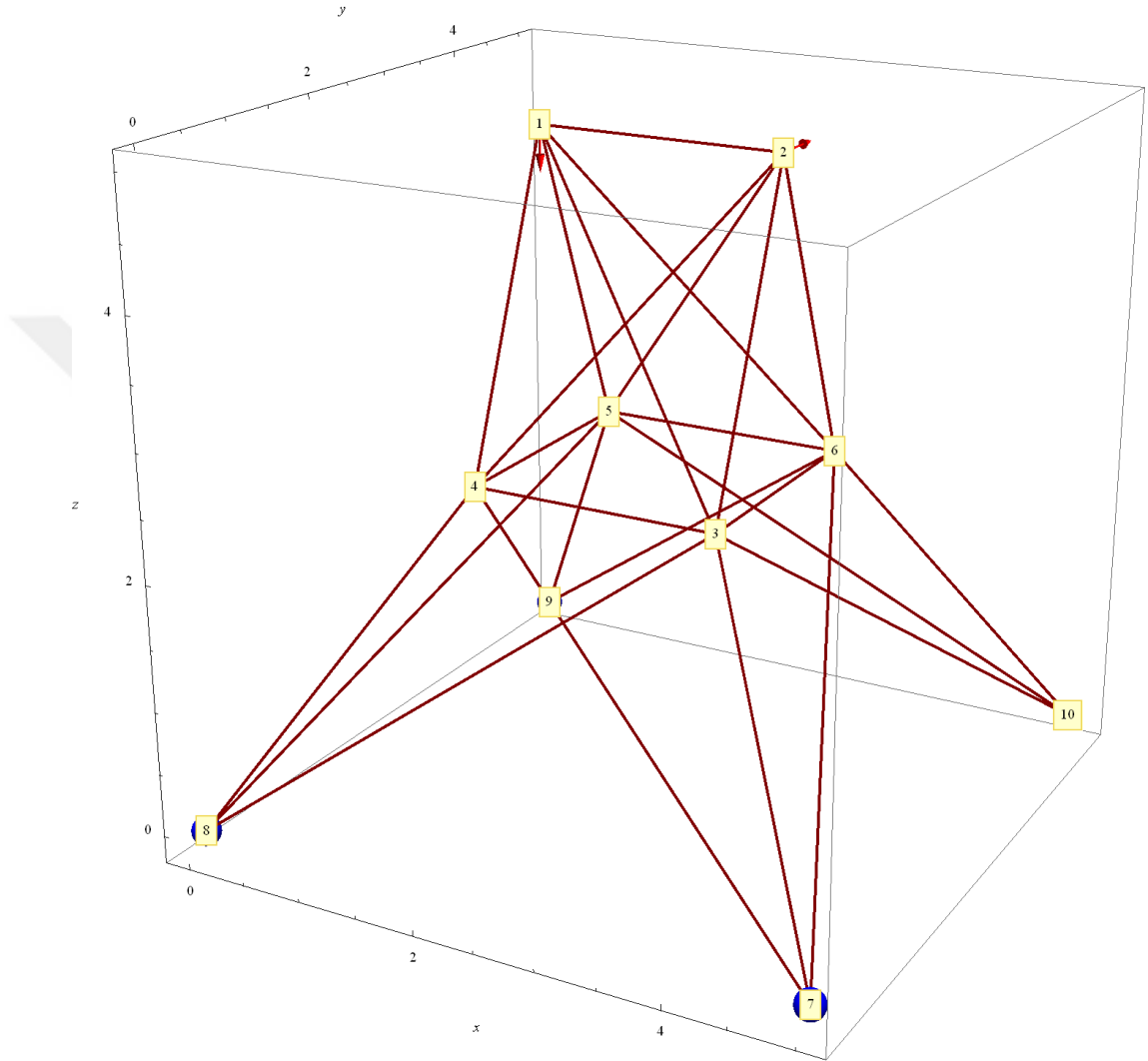
Veri Dosyası 4:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> ""]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
nod = 10;
nel = 25;
xyz = {{1.5, 2.5, 5}, {3.5, 2.5, 5}, {3.5, 1.5, 2.5}, {1.5, 1.5, 2.5}, {1.5, 3.5, 2.5},
      {3.5, 3.5, 2.5}, {5, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 5, 0}, {5, 5, 0}};
jload = {{0, 0, -60}, {0, 75, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
        {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
restraints = {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
             {0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}};
defIJ = {{1, 2}, {1, 5}, {1, 4}, {1, 3}, {1, 6}, {2, 5}, {2, 4}, {2, 6}, {2, 3}, {4, 5},
        {5, 6}, {3, 6}, {3, 4}, {5, 8}, {4, 8}, {3, 8}, {4, 7}, {6, 7}, {3, 7}, {5, 9},
        {6, 9}, {4, 9}, {5, 10}, {6, 10}, {3, 10}};
area = Table[0.0025, {i, 1, nel}];
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
```

ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];

SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];

ThreeD



Şekil 3.43. Farajzadeh (2012) nin çalışmasından alınan 25 çubuklu 10 düğümlü kafes [48]

Yukarıda verilen veri dosyası uygun ortamda icra edildiğinde, veriler işlenmekte ve çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Elde edilen düğüm deplasmanları ve çubuk kuvvetleri aşağıda Tablo 3.26. ve Tablo 3.27.'de sunulmaktadır. Tablolarda sunulan değerler örneğin alındığı kaynakla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.26. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

Düğüm no	dx	dy	dz
1	(-0.000362652	0.000637831	-0.000359737
2	-0.000334382	0.0019673	0.0000317329
3	0.000178055	0.0000817108	0.000384351
4	0.00019841	0.000118159	-0.000010546
5	-0.000154678	0.000138682	-0.000381099
6	-0.000127015	0.0000840978	-0.000375119
7	0	0	0
8	0	0	0
9	0	0	0
10	0	0	0

Tablo 3.27. Çubuk kuvvetleri

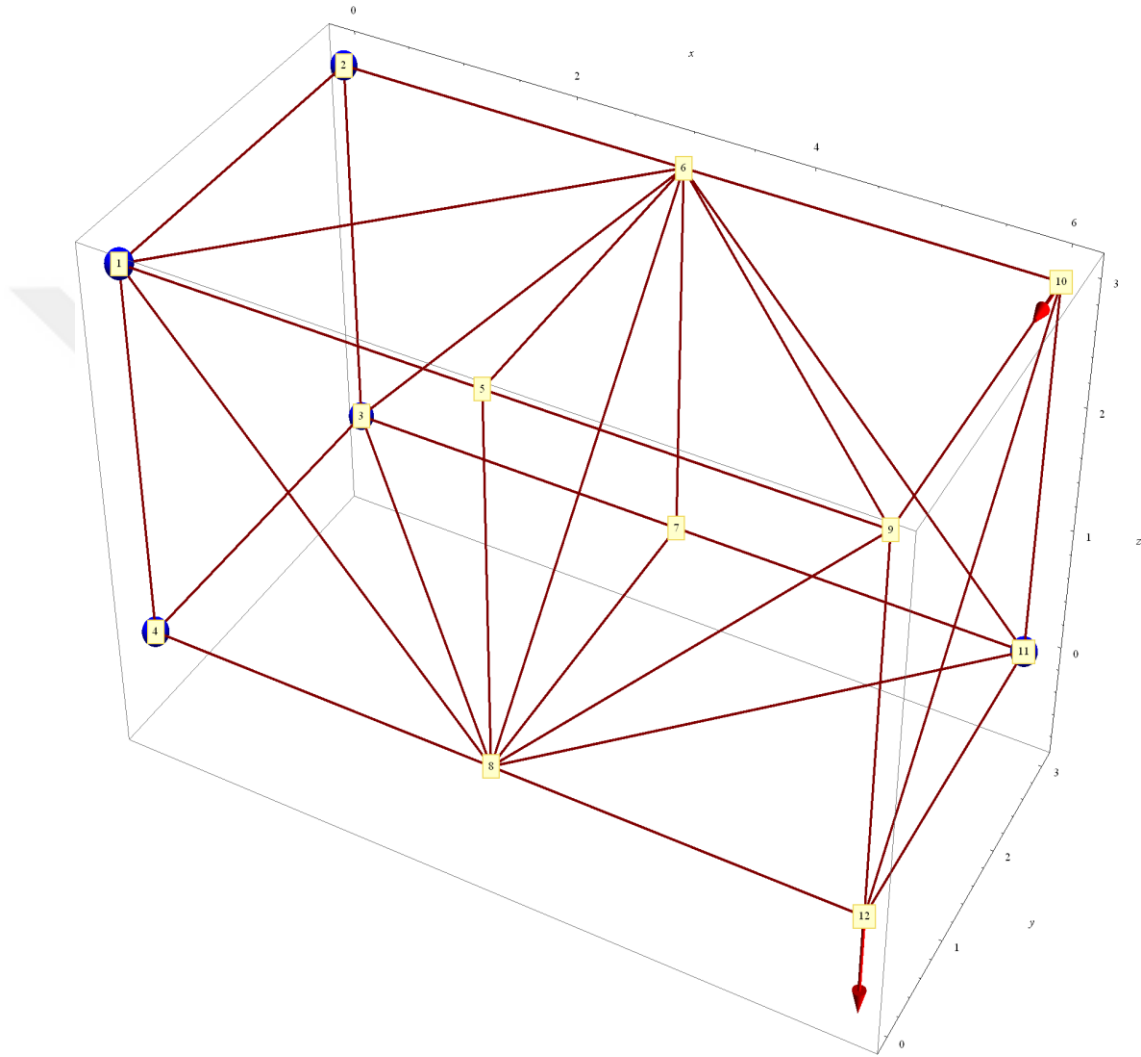
Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)	Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)
1	7.06769	14	-16.8524
2	-30.741	15	20.8599
3	-24.3658	16	41.1237
4	-9.89715	17	-13.0978
5	-1.95573	18	-10.914
6	-51.3753	19	37.9703
7	39.5224	20	-64.7808
8	-59.7291	21	-36.3493
9	69.2443	22	-3.42906
10	5.13092	23	-14.9253
11	6.9158	24	-40.6242
12	0.596746	25	9.82671
13	-5.08876		

3.3.2.5. Uygulama 5:

Beşinci örnek olarak, Farajzadeh (2012) nin çalışmasından 30 çubuklu 12 düğümlü kafes örneği alınmıştır. Kafes sistem Şekil 3.44.'de düğüm numaraları ve uygulanan tekil yüklerle birlikte sunulmaktadır. Çubukların kesit alanı, çubukların tamamı için 0.002 m^2 alınmış olup, aynı şekilde elastisite modülleride $2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 'dir [48].

Kafes sistemin “1, 2, 3, 4,11” sayıları ile numarandırılan düğümler üç yönde de basit olarak mesnetlendirilmiştir. Tekil kuvvet ise “10” numaralı düğümde “y” yönünde

negatif yönde olarak 40 kN, “12” numaralı düğümde “z” yönünde negatif yönde 60 kN ile yüklenmiştir. Mesnet dışında kalan düğümler mafsalsal olarak tasarlanmış ve her üç yönde serbest bırakılmıştır. Düğüm koordinatları hazırlanan veri dosyası içinde sunulduğundan tablo olarak düzenlenmemiştir. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 3.44. Farajzadeh (2012)’nin çalışmasından alınan 30 çubuklu 12 düğümlü kafes [48]

Veri Dosyası 5:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
nod = 12;
nel = 30;
xyz = {{0, 0, 3}, {0, 3, 3}, {0, 3, 0}, {0, 0, 0}, {3, 0, 3}, {3, 3, 3},
```

```

{3, 3, 0}, {3, 0, 0}, {6, 0, 3}, {6, 3, 3}, {6, 3, 0}, {6, 0, 0}};
jload = {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, -40, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, -60}};
restraints = {{1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}};
defIJ = {{1, 4}, {1, 2}, {2, 3}, {3, 4}, {3, 7}, {3, 6}, {2, 6}, {1, 6}, {1, 5}, {1, 8},
{4, 8}, {3, 8}, {5, 8}, {5, 6}, {6, 7}, {6, 8}, {7, 8}, {8, 12}, {8, 11}, {8, 9},
{5, 9}, {6, 9}, {6, 11}, {6, 10}, {7, 11}, {9, 12}, {10, 12}, {11, 12}, {10, 11}, {9, 10}};
area = Table[0.002, {i, 1, nel}];
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
ThreeD

```

Yukarıda verilen veri dosyası uygun ortamda icra edildiğinde, veriler işlenmekte ve çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Elde edilen düğüm deplasmanları ve çubuk kuvvetleri aşağıda Tablo 3.28. ve Tablo 3.29.'da sunulmaktadır. Tablolarda sunulan değerler örneğin alındığı kaynakla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.28. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

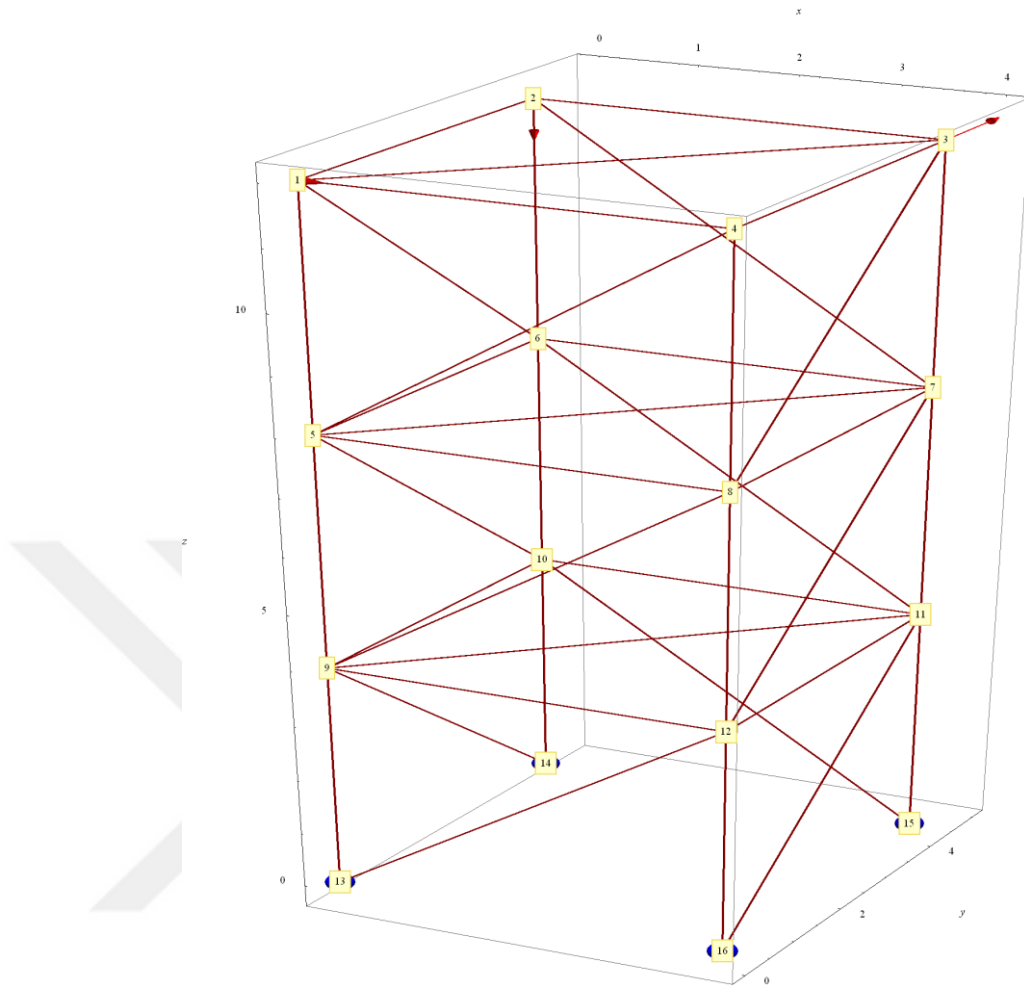
Düğüm no	dx	dy	dz
1	0	0	0
2	0	0	0
3	0	0	0
4	0	0	0
5	0.0000281789	-0.0014744700	-0.0015255300
6	0.0004281210	-0.0014744700	-0.0000127673
7	0	0.0000127673	-0.0000127673
8	-0.0004505580	0.0000127673	-0.0015255300
9	0.0000563577	-0.0028670400	-0.0031329600
10	0.0004281210	-0.0032279500	-0.0000609106
11	0	0	0
12	-0.0004505580	0.0000609106	-0.0035220500

Tablo 3.29. Çubuk kuvvetleri

Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)	Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)
1	0	16	1.70231
2	0	17	0
3	0	18	0
4	0	19	29.1861
5	0	20	-73.3674
6	27.6903	21	3.75718
7	57.0829	22	68.0539
8	-69.7563	23	-29.3926
9	3.75718	24	0
10	71.6651	25	0.
11	-60.0744	26	51.8786
12	-30.8884	27	11.4854
13	0	28	-8.12141
14	0	29	-8.12141
15	0	30	-48.1214

3.3.2.6. Uygulama 6

Altıncı örnek olarak Farajzadeh (2012) nin çalışmasından 39 çubuklu 16 düğümlü kafes örneği alınmıştır. Kafes sistem Şekil 3.45.'de düğüm numaraları ve uygulanan tekil yüklerle birlikte sunulmaktadır [48]. Çubukların kesit alanı, çubukların tamamı için 0.0015 m^2 alınmış olup, aynı şekilde elastisite modülleri de $2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ 'dir. Kafes sistemin "13, 14, 15, 16" sayıları ile numarandırılan düğümleri üç yönde de basit olarak mesnetlendirilmiştir. Tekil kuvvetler ise "1" numaralı düğümde "x" yönünde 10 kN, "2" numaralı düğümde "z" yönünde negatif yönde 25 kN, "3" numaralı düğümde "y" yönünde 40 kN ile yüklenmiştir. Mesnet dışında kalan düğümler mafsal olarak tasarlanmış ve her üç yönde serbest bırakılmıştır. Düğüm koordinatları hazırlanan veri dosyası içinde sunulduğundan tablo olarak düzenlenmemiştir. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 3.45. Farajzadeh (2012) nin çalışmasından alınan 39 çubuklu 16 düğümlü kafes [48]

Veri Dosyası 6:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
```

```
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
```

```
nod = 16;
```

```
nel = 39;
```

```
xyz = {{0, 0, 12}, {0, 4, 12}, {4, 4, 12}, {4, 0, 12}, {0, 0, 8}, {0, 4, 8}, {4, 4, 8}, {4, 0, 8},  
       {0, 0, 4}, {0, 4, 4}, {4, 4, 4}, {4, 0, 4}, {0, 0, 0}, {0, 4, 0}, {4, 4, 0}, {4, 0, 0}};
```

```
jload = {{10, 0, 0}, {0, 0, -25}, {0, 40, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},  
         {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
```

```
restraints = {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0,  
0},
```

```

{0, 0, 0},{0, 0, 0},{0, 0, 0},{0, 0, 0},{1, 1, 1},{1, 1, 1},{1, 1, 1},{1, 1, 1}};
defIJ = {{1, 2},{2, 3},{3, 4},{1, 4},{1, 3},{1, 6},{2, 7},{4, 5},{3, 8},{1, 5},
{2, 6},{3, 7},{4, 8},{5, 6},{6, 7},{7, 8},{5, 8},{5, 7},{5, 10},{6, 11},
{7, 12},{8, 9},{5, 9},{6, 10},{7, 11},{8, 12},{9, 10},{10, 11},{11, 12},{9, 12},
{9, 11},{9, 14},{10, 15},{11, 16},{12, 13},{9, 13},{10, 14},{11, 15},{12, 16}}};
area = Table[0.0015, {i, 1, nel}];
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
ThreeD

```

Yukarıda verilen veri dosyası uygun ortamda icra edildiğinde, veriler işlenmekte ve çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Elde edilen düğüm deplasmanları ve çubuk kuvvetleri aşağıda Tablo 3.30. ve Tablo 3.31.'de sunulmaktadır. Tablolarda sunulan değerler örneğin alındığı kaynakla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.30. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

Düğüm no	dx	dy	dz
1	0.00355298	0.00574146	0.00111499
2	-0.00141711	0.00574146	-0.00171499
3	-0.00148828	0.010984	-0.00248501
4	0.00334848	0.010984	0.0000850094
5	0.00181124	0.00304351	0.00104382
6	-0.00143067	0.00311468	-0.00131049
7	-0.00152366	0.00644014	-0.00202285
8	0.00158491	0.00690231	0.000289514
9	0.000559124	0.00090185	0.00067515
10	-0.000968517	0.000994845	-0.000741816
11	-0.00104867	0.00247331	-0.00119152
12	0.00034564	0.00291365	0.000258184
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0
16	0	0	0

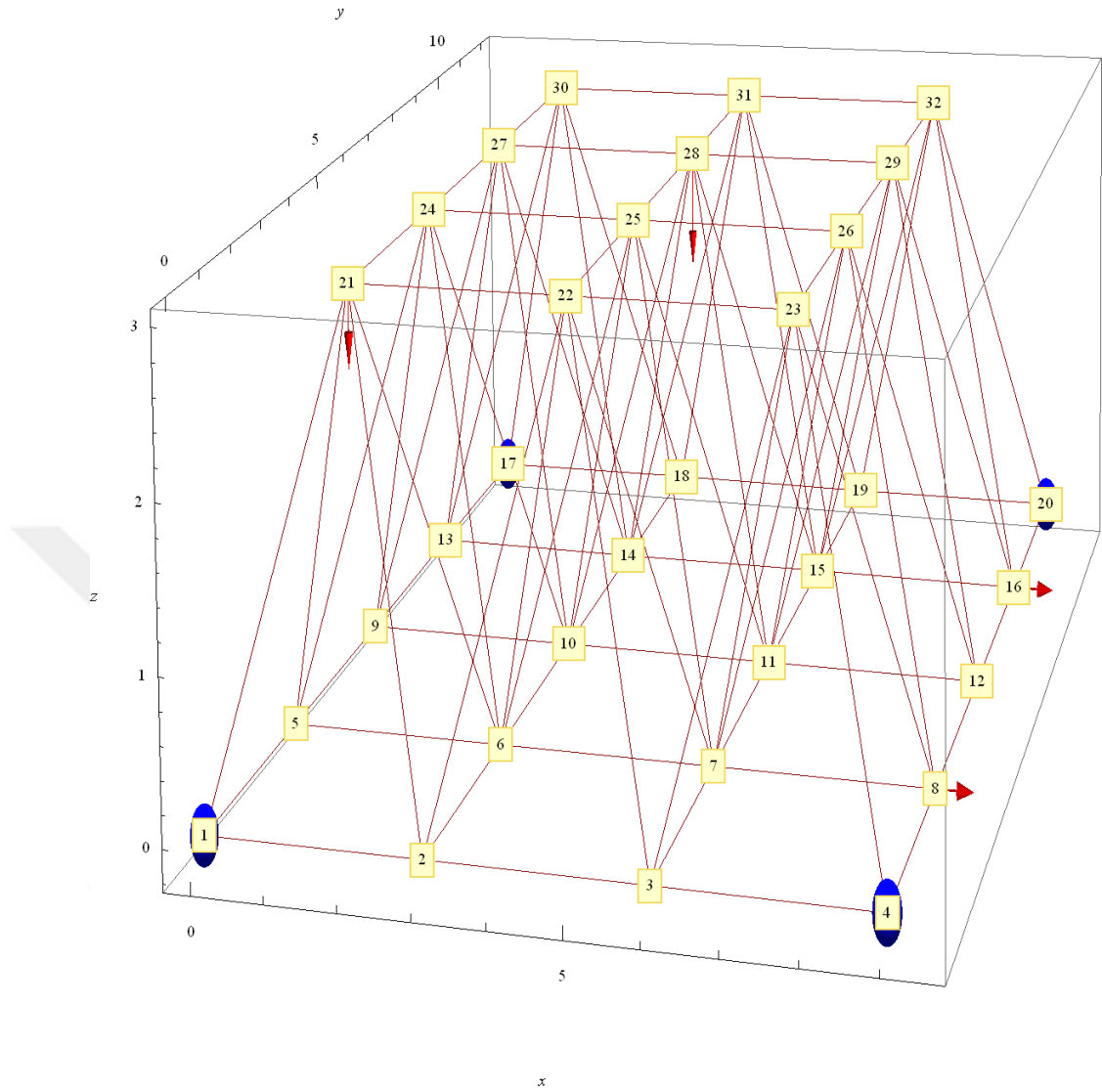
Tablo 3.31. Çubuk kuvvetleri

Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)	Çubuk no	Normal Kuvvet (kN)
1	0	21	46.7049
2	-5.33781	22	24.0058
3	0	23	27.6503
4	-15.3378	24	-42.6503
5	7.54881	25	-62.3497
6	-7.54881	26	2.34973
7	7.54881	27	6.97464
8	21.6909	28	-6.0113
9	49.0197	29	-33.0254
10	5.33781	30	-16.0113
11	-30.3378	31	-1.36237
12	-34.6622	32	-8.50126
13	-15.3378	33	8.50126
14	5.33781	34	48.0673
15	-6.97464	35	22.6434
16	-34.6622	36	50.6362
17	-16.9746	37	-55.6362
18	2.31482	38	-89.3638
19	-9.86363	39	19.3638
20	9.86363		

3.3.2.7. Uygulama 7:

Yedinci örnek olarak Farajzadeh (2012) nin çalışmasından 96 çubuklu 32 düğümlü kafes örneği alınmıştır. Kafes sistem Şekil 3.46.'da düğüm numaraları ve uygulanan tekil yüklerle birlikte sunulmaktadır. Çubukların kesit alanı, çubukların tamamı için 0.002 m^2 alınmış olup, aynı şekilde elastisite modülleride $2 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ dir. Kafes sistemin “1, 4, 17, 20” sayıları ile numarandırılan düğümleri üç yönde de basit olarak mesnetlendirilmiştir. Tekil kuvvetler ise “8” numaralı düğümde “x” yönünde 35 kN, “16” numaralı düğümde “x” yönünde 40 kN, “21” numaralı düğümde “z” yönünde negatif yönde 35 kN, “28” numaralı düğümde “z” yönünde negatif yönde 50 kN ile yüklenmiştir [48].

Mesnet dışında kalan düğümler mafsalsal olarak tasarlanmış ve her üç yönde serbest bırakılmıştır. Düğüm koordinatları hazırlanan veri dosyası içinde sunulduğundan tablo olarak düzenlenmemiştir. Veri dosyası aşağıda sunulmaktadır.



Şekil 3.46. Farajzadeh (2012)'nin çalışmasından alınan 96 çubuklu 32 düğümlü kafes [48]

Veri Dosyası 7:

```
Clear[Evaluate[Context[] <> "*"]]
```

```
<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3D.txt"
```

```
nod = 32;
```

```
nel = 96;
```

```
xyz = {{0, 0, 0}, {3, 0, 0}, {6, 0, 0}, {9, 0, 0}, {0, 3, 0}, {3, 3, 0}, {6, 3, 0}, {9, 3, 0},  
       {0, 6, 0}, {3, 6, 0}, {6, 6, 0}, {9, 6, 0}, {0, 9, 0}, {3, 9, 0}, {6, 9, 0}, {9, 9, 0},  
       {0, 12, 0}, {3, 12, 0}, {6, 12, 0}, {9, 12, 0}, {1.5, 1.5, 3}, {4.5, 1.5, 3},  
       {7.5, 1.5, 3}, {1.5, 4.5, 3}, {4.5, 4.5, 3}, {7.5, 4.5, 3}, {1.5, 7.5, 3},
```

```

{4.5, 7.5, 3}, {7.5, 7.5, 3}, {1.5, 10.5, 3}, {4.5, 10.5, 3}, {7.5, 10.5, 3}};
jload = {{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {35, 0,
0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {40, 0, 0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, -35}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, -50}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
restraints = {{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0,
0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
{1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {1, 1, 1}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0},
{0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}, {0, 0, 0}};
defIJ = {{1, 2}, {2, 6}, {5, 6}, {1, 5}, {1, 21}, {2, 21}, {6, 21}, {5, 21},
{6, 10}, {9, 10}, {5, 9}, {5, 24}, {6, 24}, {10, 24}, {9, 24}, {10, 14},
{13, 14}, {9, 13}, {9, 27}, {13, 27}, {14, 27}, {10, 27}, {14, 18}, {17, 18},
{13, 17}, {13, 30}, {14, 30}, {18, 30}, {17, 30}, {2, 3}, {3, 7}, {6, 7},
{2, 22}, {3, 22}, {7, 22}, {6, 22}, {7, 11}, {10, 11}, {6, 25}, {7, 25},
{11, 25}, {10, 25}, {11, 15}, {14, 15}, {10, 28}, {11, 28}, {15, 28}, {14, 28},
{15, 19}, {18, 19}, {14, 31}, {15, 31}, {19, 31}, {18, 31}, {3, 4}, {4, 8},
{7, 8}, {3, 23}, {4, 23}, {8, 23}, {7, 23}, {8, 12}, {11, 12}, {7, 26},
{8, 26}, {12, 26}, {11, 26}, {12, 16}, {15, 16}, {11, 29}, {12, 29}, {16, 29},
{15, 29}, {16, 20}, {19, 20}, {15, 32}, {16, 32}, {20, 32}, {19, 32}, {21, 22},
{24, 25}, {27, 28}, {30, 31}, {21, 24}, {24, 27}, {27, 30}, {22, 25}, {25, 28},
{28, 31}, {22, 23}, {25, 26}, {28, 29}, {31, 32}, {23, 26}, {26, 29}, {29, 32}};
area = Table[0.002, {i, 1, nel}];
EMod = Table[2*10^8, {i, 1, nel}];
TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
ThreeD

```

Yukarıda verilen veri dosyası uygun ortamda icra edildiğinde, veriler işlenmekte ve çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Elde edilen düğüm deplasmanları ve çubuk kuvvetleri aşağıda Tablo 3.32. ve Tablo 3.33.'de sunulmaktadır. Tablolarda sunulan değerler örneğin alındığı kaynakla tamamen uyum içindedir.

Tablo 3.32. Rölatif düğüm deplasmanları (m)

Düğüm no	dx	dy	dz
1	0	0	0
2	0.00016496	-0.0000058138	-0.000669505
3	0.000180408	-0.0000137148	-0.000281531
4	0	0	0
5	0.00147637	0.0000122176	-0.00167606
6	0.00147637	-0.0000058138	-0.000996862
7	0.00160374	-0.0000137148	-0.000305443
8	0.00186624	-0.0000233667	0.000748146
9	0.00156004	0.000033646	-0.00184938
10	0.00156004	0.0000436846	-0.00118964
11	0.00163202	-6.83407*10 ⁻⁶	-0.000398237
12	0.00163202	-4.5108*10 ⁻⁶	0.000539577
13	0.00140255	0.0000417727	-0.00147433
14	0.00140255	0.000152077	-0.000963766
15	0.00160878	0.0000556728	-0.000371367
16	0.00190878	0.0000209389	0.000728973
17	0	0	0
18	0.000138984	0.000152077	-0.000461945
19	0.000165647	0.0000556728	-0.000256213
20	0	0	0
21	0.000545936	0.000443441	-0.000978315
22	0.000423144	0.000108712	-0.000581188
23	0.000358307	-0.000100958	0.0000329523
24	0.000814392	0.000161925	-0.00143685
25	0.000791879	0.0000623683	-0.000754512
26	0.000756251	-0.0000121613	0.000109981
27	0.000853973	-0.000142482	-0.00138384
28	0.000817376	-0.0000225682	-0.000959121
29	0.000764393	0.000030307	0.0000762418
30	0.000551122	-0.0003978	-0.000737163
31	0.000458025	-0.000102556	-0.000542434
32	0.000380223	0.0000984261	0.0000111715

Tablo 3.33. Çubuk kuvvetleri

Çubuk no	N.Kuvvet (kN)	Çubuk no	N. Kuvvet (kN)	Çubuk no	N. Kuvvet (kN)
1	21.9947	33	24.4152	65	-6.89494
2	0	34	-31.9832	66	1.07676
3	0	35	22.5191	67	6.48871
4	1.62902	36	-14.9511	68	3.39329
5	-42.9891	37	0.917426	69	40.
6	-24.4152	38	9.59728	70	5.26552
7	23.0341	39	-5.84902	71	-1.07676
8	1.50411	40	-0.45309	72	-7.57523
9	6.59978	41	2.595	73	3.38647
10	0	42	3.70711	74	-2.79185
11	2.85712	43	8.33424	75	-22.0863
12	-1.50411	44	27.4973	76	-18.699
13	-2.23402	45	-15.4613	77	7.57523
14	5.91029	46	-14.3492	78	-20.2803
15	-2.17216	47	-13.5938	79	31.4041
16	14.4524	48	-17.8329	80	-16.3723
17	0	49	0	81	-3.00166
18	1.08356	50	3.55503	82	-4.87969
19	2.17216	51	-15.8443	83	-12.413
20	-8.14854	52	28.9064	84	-37.5354
21	0.132446	53	-31.4041	85	-40.5876
22	5.84393	54	18.342	86	-34.0425
23	0	55	-24.0544	87	-6.17922
24	18.5312	56	-3.11557	88	-11.3249
25	-5.56969	57	35	89	-10.6651
26	8.14854	58	31.9832	90	-8.64488
27	33.5448	59	-17.4827	91	-4.75053
28	-18.342	60	6.89494	92	-7.06432
29	-23.3513	61	-21.3954	93	-10.3736
30	2.05974	62	2.51413	94	11.8396
31	0	63	0	95	5.66244
32	16.9832	64	-0.670523	96	9.08255

3.3.2.8. Uygulama 8:

Sekizinci ve son örnek olarak Jalilive Hosseinzadeh (2015) nin çalışmasından 120 çubuklu ve 49 düğümlü kafes kubbe örneği alınmıştır [49]. Kubbe kafes sistem Şekil 3.47.'de düğüm numaralarının belirgin şekilde görüldüğü, kafesin X-Y düzlemindeki

hali verilmiştir. X-Z düzlemindeki ise Şekil 3.48’de verilmektedir. Şekil 3.47’de ilave olarak elemanların numarası da verilmektedir. Bir numaralı düğüm kubbenin tepesi olup, global koordinat takımının x-y başlangıcı buradadır. Bu düğümün yüksekliği ise 275.59 inç’tir. Numarası 2-13 arası düğümlerin yüksekliği aynı olup, 196.85 inç dir. Benzer tarzda 14 düğümünden 37 düğümüne kadar olan düğümlerin yüksekliği ise 118.11 inç dir. 38-49 arası düğümlerin yüksekliği ise sıfırdır. Her düğüme ait yükseklikler ve diğer koordinatlar veri dosyası içinde verildiğinden burada tek tek verilmeyecektir.

Kubbe şekilden de görüleceği üzere simetriktir. Çubukların elastisite modülü 30450 ksi olarak verilmiş olup, malzeme akma dayanımı gerilmesi değeri (F_y) ise 58 ksidir. Kubbeye sadece düşey yük uygulanmış olup, bir numaralı düğümünde -13.49 kips düşey yük mevcuttur. İki numaralı düğümden on üç numaralı düğüme kadar -6.744 kips, on dört numaralı düğümden otuz yedi numaralı düğüme kadar ise -2.248 kips düşey yük yüklenmiştir. Kubbe kafes sistem otuz sekiz numaralı düğümden kırkdokuz numaralı düğüme kadar sabit olarak mesnetlenmiş olup, diğer düğümleri üç ekseninde de serbest bırakılmıştır. Örneğin alındığı kaynakta kubbe kafesin kesit alanlarının optimum değerinin bulunması istenmektedir.

Optimum değerlerin hesabının ise aşağıda verilen kriterlere göre yapılması gerekmektedir. Çekme çubuklarında emniyet gerilmesi değeri olarak akma dayanımının yüzde atmışı alınmaktadır. Basınç çubuklarında ise emniyet gerilmesi değerinin çubuğun elastik burkulma veya plastik burkulmaya maruz kalıp, kalmadığına göre hesaplanarak belirlenmektedir. Çubuğu elastik ya da plastik burkulmadan hangisine maruz olduğu ise belirli bir sınır narinlik değerine göre belirlenmektedir. Amerikan çelik yapı enstitüsüne göre [50, 51] elastik-plastik narinlik sınır değeri C_c ile isimlendirilerek değeri aşağıda (Denklem 3.4’ de) verilmiştir.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (3.4)$$

Çubuk narinlik değeri ise çubuk kesit yarıçapı ve boyu arasındaki oran Denklem 3.5’de (λ) olarak tarif edilmekle birlikte, Amerikan çelik yapı enstitüsüne göre [50, 51] çubuk kesit alanını ve yarıçap arasındaki ilişki ise boru kesitler için Denklem 3.6’da tarafından verilmektedir.

$$\lambda = \frac{\text{Çubuk Boyu}}{\text{Kesit Yarıçapı}} \quad (3.5)$$

$$r = 0.4993 A^{0.6777} \quad (3.6)$$

Basınç çubukları için emniyet gerilmesi değeri daha önce bahsedildiği üzere, çubuk narinliği (λ) ve elastik plastik narinlik sınırına göre belirlenmektedir. Çubuk narinliği sınır değeri (C_c) den küçükse emniyet gerilmesi için Denklem 3.7 kullanılır.

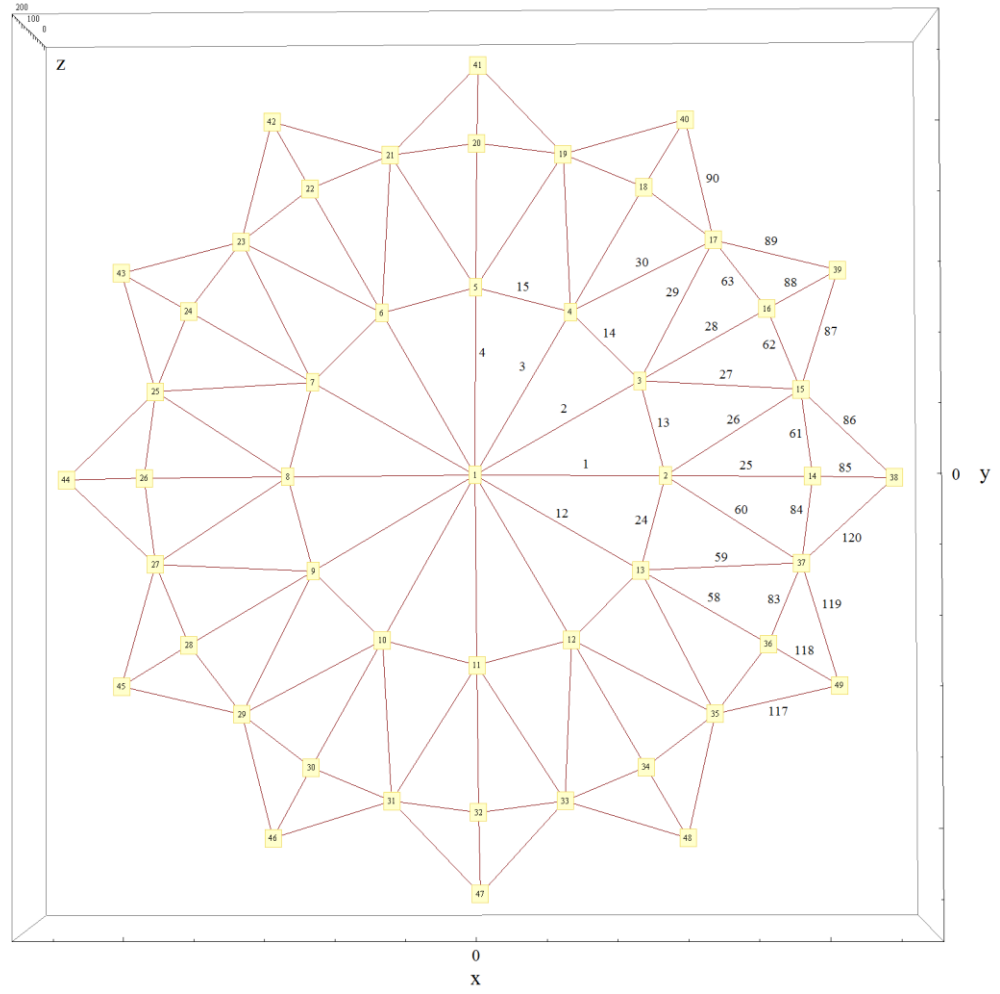
Aksi durumda Denklem 3.8 kullanılır. Minimum çubuk kesit alanı ise 0.775 in^2 den küçük olmayacaktır.

$$S_1 = \frac{\left(1 - \frac{\lambda^2}{2 C_c^2}\right) F_y}{\left(\frac{5}{3} + \frac{3\lambda}{8 C_c} - \frac{\lambda^3}{8 C_c^3}\right)} \quad (3.7)$$

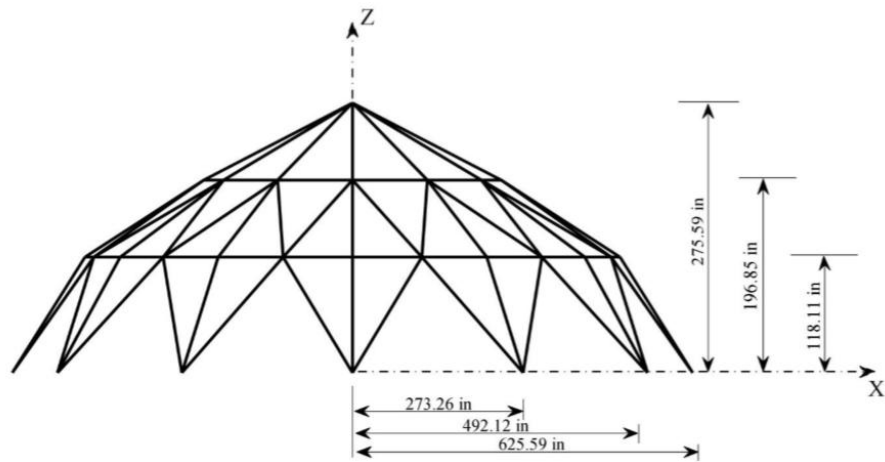
$$S_2 = \frac{12 P_i^2 E}{23 \lambda^2} \quad (3.8)$$

Yukarıda verilen bilgiler ışığı altında, problemi çözmek için veri dosyası oluşturulmuştur. Veri dosyasında sıcaklık ve mesnet çökmesi yüklemeleri olmadığından ilgili değerler sıfır girilmiştir. Sadece düşey yük yüklemesi yapılmıştır. Malzeme ile ilgili bilgiler ilgili matrislere aktarılmıştır. Düğüm sayısı ve elaman sayısı atandıktan sonra, düğüm serbestlikleri ve koordinatları tanımlanmıştır. Çubuk eleman tarifleri ve malzemeleri ile özellikler tanımlanmıştır.

Kesit alanı optimizasyonu yapılmak istendiğinden kesit alanı başlangıç değeri olarak tüm çubuklarda 0.775 in^2 atanmıştır. Statik çözümler için hazırlanan veri dosyasına ilave olarak dosya sonunda iterasyon yapacak şekilde ilaveler yapılarak kesit optimizasyonu yapılmıştır.



Şekil 3.47. Kubbe kafesin X-Y düzlemindeki görünüşü ve numaralandırmalar



Şekil 3.48. Kubbe kafesin X-Z düzlemindeki görünüşü ve geometrik veriler [49]

Veri Dosyası 8:

```

<< "C:\\Users\\CDA\\Desktop\\Yener-Prog\\3DModul\\Modul3Dopt.txt"
nod = 49;nel = 120;
xyz = {{0, 0, 275.59},{273.26, 0, 196.85},{236.65, 136.63, 196.85},
{136.63, 236.65, 196.85},{0, 273.26, 196.85},{-136.63, 236.65, 196.85},
{-236.65, 136.63, 196.85},{-273.26, 0, 196.85},{-236.65, -136.63, 196.85},
{-136.63, -236.65, 196.85},{0, -273.26, 196.85},{136.63, -236.65, 196.85},
{236.65, -136.63, 196.85},
{492.12, 0, 118.11},{475.35, 127.37, 118.11},{426.188, 246.06, 118.11},
{347.981, 347.981, 118.11},{246.06, 426.188, 118.11},{127.37, 475.351, 118.11},
{0, 492.12, 118.11},{-127.37, 475.351, 118.11},{-246.06, 426.188, 118.11},
{-347.981, 347.981, 118.11},{-426.188, 246.06, 118.11},{-475.35, 127.37, 118.11},
{-492.12, 0, 118.11},{-475.351, -127.37, 118.11},{-426.188, -246.06, 118.11},
{-347.981, -347.981, 118.11},{-246.06, -426.188, 118.11},
{-127.37, -475.351, 118.11},{0, -492.12, 118.11},{127.37, -475.351, 118.11},
{246.06, -426.188, 118.11},{347.981, -347.981, 118.11},{426.188, -246.06, 118.11},
{475.35, -127.37, 118.11},
{625.59, 0, 0},{541.777, 312.795, 0},{312.795, 541.777, 0},{0, 625.59, 0},
{-312.795, 541.777, 0},{-541.777, 312.795, 0},{-625.59, 0, 0},{-541.777, -312.795, 0},
{-312.795, -541.777, 0},{0, -625.59, 0},{312.795, -541.777, 0},{541.777, -312.795,
0}};
jload = Table[0, {j, 1, nod}, {i, 1, 3}];
restraints = Table[0, {j, 1, nod}, {i, 1, 3}];
definition = Table[0, {j, 1, nel}, {i, 1, 2}];
area = Table[0.775, {i, 1, nel}];
Do[restraints[[i, 1]] = 1; restraints[[i, 2]] = 1; restraints[[i, 3]] = 1;, {i, 38, 49}];
jload[[1, 3]] = -13.490;
Do[jload[[i, 3]] = -6.744;, {i, 2, 13}];
Do[jload[[i, 3]] = -2.248;, {i, 14, 37}];

```

```

defIJ = { {1, 2}, {1, 3}, {1, 4}, {1, 5}, {1, 6}, {1, 7}, {1, 8}, {1, 9}, {1, 10}, {1, 11},
{1, 12}, {1, 13}, {2, 3}, {3, 4}, {4, 5}, {5, 6}, {6, 7}, {7, 8}, {8, 9}, {9, 10}, {10, 11},
{11, 12}, {12, 13}, {13, 2},
{2, 14}, {2, 15}, {3, 15}, {3, 16}, {3, 17}, {4, 17}, {4, 18}, {4, 19}, {5, 19}, {5, 20},
{5, 21}, {6, 21}, {6, 22}, {6, 23}, {7, 23}, {7, 24}, {7, 25}, {8, 25}, {8, 26}, {8, 27},
{9, 27},
{9, 28}, {9, 29}, {10, 29}, {10, 30}, {10, 31}, {11, 31}, {11, 32}, {11, 33}, {12, 33},
{12, 34},
{12, 35}, {13, 35}, {13, 36}, {13, 37}, {2, 37},
{14, 15}, {15, 16}, {16, 17}, {17, 18}, {18, 19}, {19, 20}, {20, 21}, {21, 22}, {22,
23},
{23, 24}, {24, 25}, {25, 26}, {26, 27}, {27, 28}, {28, 29}, {29, 30}, {30, 31}, {31,
32},
{32, 33}, {33, 34}, {34, 35}, {35, 36}, {36, 37}, {37, 14},
{14, 38}, {15, 38}, {15, 39}, {16, 39}, {17, 39}, {17, 40}, {18, 40}, {19, 40}, {19,
41},
{20, 41}, {21, 41}, {21, 42}, {22, 42}, {23, 42}, {23, 43}, {24, 43}, {25, 43}, {25,
44},
{26, 44}, {27, 44}, {27, 45}, {28, 45}, {29, 45}, {29, 46}, {30, 46}, {31, 46}, {31,
47},
{32, 47}, {33, 47}, {33, 48}, {34, 48}, {35, 48}, {35, 49}, {36, 49}, {37, 49}, {37,
38}};
Fy=58.;
EM=30450.;
EMod = Table[EM, {i, 1, nel}];
Sigma=TEC = Table[0, {i, 1, nel}];
DeltaTn = Table[0, {i, 1, nel}];
ElasticSupport = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
SupportDisp = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
Do[ ThreeD;,area1 = area;cc = Sqrt[2*Pi*Pi*EM/Fy];sigma = NForce/area;

```

```

Do[If[NForce[[iger]] >= 0, area[[iger]] = NForce[[iger]]/(0.6Fy),
(ri = 0.4993 *area[[iger]]^0.6777; lambdai = length[[iger]]/ri;
s1 = ((1 - lambdai^2/2/cc^2)* Fy)/(5/3 + 3 lambdai/8/cc - lambdai^3/8/cc^3);
s2 = (12 Pi Pi EM/23/lambdai^2);
If[lambdai< cc, area[[iger]] = (Abs[NForce[[iger]])/s1;];
If[lambdai>= cc, area[[iger]] = (Abs[NForce[[iger]])/s2;];)];
If[area[[iger]] < 0.775, area[[iger]] = 0.775];
, {iger, 1, nel}];
area = (area + area1)/2.;, {j1,1,23}];
Print["toplam w=", Total[area1*length]*0.288];
Print[MatrixForm[area1]];

```

Yukarıda verilen veri dosyası uygun şekilde icra edildiğinde minimum sistem ağırlığı ve kesit alanları bulunmaktadır. ThreeD modülü sadece normal gerilmeleri döngü içerisinde tekraren hesaplayacak şekilde modifiye edilmiştir. Burada optimizasyon algoritması veri dosyasının son kısımlarındadır. Kullanılan algoritma iteratif bir algoritmadır. Başlangıçta kesit alanları minimum seçilerek ilk analiz yapılmaktadır. İlk analiz sonucu elde edilen çubuk normal kuvvetlerinden hareketle ve basınç veya çekme olmaları durumuna göre karşılaştırılacak emniyet gerilmeleri, narinlikler ve elastik – plastik burkulma halleri de gözetilerek, belirlenmektedir. Çubuklarda oluşan gerilmeler emniyet gerilmelerinden büyükse, kesit alanları daha önce belirlenen emniyet gerilmelerinden faydalanılarak hesaplanmaktadır. Hesaplanan yeni alanlar ve başlangıçta girilen alanlar ile toplamı, ikiye bölünerek analizde tekrar kullanılacak yeni çubuk alanları bulunmaktadır. Böylece analiz 23 kez tekrar edilmektedir. Sonuçta ise optimum ağırlık ve kesit alanları belirlenmektedir.

Yukarıda verilen kafes sistem Jalili ve Hosseinzadeh (2015) den önce diğer araştırmacılar tarafından [52, 53] partical swarm optimizasyonu (PSO) ile çözülerek optimum kesit alanları verilmiştir. Jalili ve Hosseinzadeh (2015) ise kültürel algoritma (CA) ile çözüme ulaşmışlardır. Kısıt olarak sadece gerilme değerleri göz önüne alınarak optimize edilen sonuçlar aşağıda Tablo 6.34’de sunulmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen optimum ağırlık ve kesit alanları da Tablo 6.34’de diğer araştırmacıların sonuçları ile karşılaştırılmaktadır. Diğer araştırmacılar kafes sistemde bulunan benzer çubukları gruplandırarak çözüme ulaşmışlardır.

Bu çalışmada ise 120 çubuğun alanı da değişken olarak alınmış ve çözüme böylece gidilmiştir. Tablo 3.34'den görüleceği üzere farklı araştırmacıların farklı yaklaşımlarına göre çeşitli sonuçlar bulunmaktadır. Bu çalışmadan elde edilen sonuç diğerleri ile karşılaştırıldığında, çalışmada elde edilen sonuçların diğerlerinden çok iyi sonuç verdiği görülmektedir. Diğerlerinin optimizasyon yaklaşımı esasen karmaşık bir yapıya sahip olmakla birlikte analiz sayısı da oldukça fazladır, bu çalışmada önerilen yaklaşım oldukça kolay anlaşılabilir ve daha hızlı ve daha iyi bir sonuç vermiştir. Yapı toplam ağırlığı olarak karşılaştırıldığında bu çalışma sonucu bulunan değer diğerlerinden %10 mertebesinde daha hafif olmuştur.

Tablo 3.34. Kubbe kafes sistemin optimum kesit alanlarının diğer çalışmalarla karşılaştırılması

	Kaveh ve Talatahari (2009) PSO	Kaveh ve Khayatad (2013) PSOPC	RO	Jalili ve Hosseinzadeh (2015) CA	Bu Çalışma
1	3.147	3.235	3.128	3.123	2.468
2	6.376	3.37	3.357	3.354	3.332
3	5.957	4.116	4.114	4.112	3.402
4	4.806	2.784	2.783	2.782	2.546
5	0.775	0.777	0.775	0.775	0.775
6	13.798	3.343	3.302	3.301	2.433
7	2.452	2.454	2.453	2.446	2.357
W (lb)	32432.9	19618.7	19476.2	19454.5	17143.2
Analiz Sayısı	N/A	125000	19950	4270	23

4. BÖLÜM

TARTIŞMA-SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Sonuç ve Öneriler

4.1.1. Sonuçlar

Bu tez çalışmasında sadece normal kuvvete çalışan çubukların iç kuvvetlerini elastik eğri yaklaşımıyla çözmek amacıyla formülasyon yapılmıştır. Normal kuvvete çalışan çubuğun boyuna uzama elastik eğrisi ile iç kuvvetler arasındaki ilişkinin diferansiyel denklemi elde edilmiştir. İlaveten, boyuna uzama elastik eğrisi ile uç deplasmanları sınır şartları arasındaki ilişkide tespit edilmiştir. Kodlama yöntemi tekniği kullanılarak, normal kuvvete çalışan çubuk sistemlerin düğüm deplasmanlarını ve iç kuvvetlerini tespit etmek üzere çubuk sisteme ait uç noktalarındaki denge denklemleri elde edilmiştir. Elde edile denklemlerin çözümü ile düğüm noktalarında bulunan deplasmanlar bulunup, iç kuvvetlerin hesabında kullanılmıştır. Üç ayrı durum olan bir boyutlu çubuk sistemler, iki boyutlu düzlemsel kafes çubuk sistemler ve üç boyutlu uzay kafes sistemleri için ayrı ayrı üç farklı bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çalışma sonucunda geliştirilen programlar tekil ve boyuna düzgün yayılı yükleri yanı sıra; sıcaklık değişimi, elastik mesnet durumu ve mesnet çökmelerini de göz önüne alabilmektedir. Her bir durum için geliştirilen programlar yardımıyla kaynaklar da bulunan çubuk sistem örnekleri çözülerek karşılaştırılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlar ile kaynaklarda verilen sonuçların birebir uyum içinde olduğu görülmüştür.

Bir boyutlu durum için geliştirilen program ile boyuna uzama eğrisinin diferansiyel denklemi ile burulmaya maruz çubukların diferansiyel denklemi benzeştirilerek, burulma problemlerinin de çözüldüğü görülmüştür. Ayrıca aynı program ile ön gerilmeli betonarme probleminin çözümünün de benzeştirme yoluyla çözülebildiği anlaşılmıştır. Öngerilme problemi, iki ayrı benzeştirme yoluyla çözülebilmektedir,

birincisinde düğüm noktasına verilen deplasman benzeştirmesi diğer ise sıcaklık farkı nedeniyle oluşacak deplasman benzeştirmesidir.

İki boyutlu durum için geliştirilen program yardımıyla da kaynaklardan alınan iki boyutlu düzlemsel kafes örneklerinin çözümleri elde edilmiş olup, sonuçların literatürde verilen çözümlerle uyum içinde olduğu görülmüştür. İki boyutlu kafes sistemlerin çözümünün yanı sıra, kafes sistemlerde kesit boyutlarının optimizasyonu için iteratif bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemle elde edilen optimum çubuk kesitlerinin literatür sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmüştür.

İlaveten, üç boyutlu durum için geliştirilen program yardımıyla da literatürden alınan üç boyutlu kafes örneklerinin çözümleri elde edilmiş olup, sonuçların literatürde verilen çözümlerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Üç boyutlu kafes sistemlerin çözümünün yanı sıra, kafes sistemlerde kesit boyutlarının optimizasyonu için iteratif bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemle elde edilen optimum çubuk kesitlerinin literatür sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmekle birlikte, önerilen iteratif yöntemle bulunan optimum çubuk kesitlerinin literatürde verilen değerlerden daha az olduğu, dolayısıyla da daha ekonomik çözümün elde edildiği görülmüştür.

KAYNAKÇA

1. Toker, S., Ü, A.İ., 2004 Mathematical Modeling and Finite Element Analysis of Masonry Arch Bridges, **G.Ü. Fen Bilimleri Dergisi**, 17(2): 129-139.
2. İnan, M., 1996 Cisimlerin Mukavemeti, İTÜ Yayınları, İstanbul.
3. Tamer İnşaat Çelik Ltd. Şti., **Yapi-öncesi-isler/kopru-ve-tunel-kaliplari/ tamer kalip-ve-iskele-sistemleri-tunel-kalip-sistemi**, <https://www.yapikatalogu.com/>, Ekim 2018.
4. Kabuklar, <http://www.insaatim.com/index.php?pid=yazidetay&yazi=218>, Ekim 2018.
5. Zeta Hafif Çelik Yapılar, Çelik Konstrüksiyon Nedir?, <http://www.zetacelik.com/celik-konstruksiyon/>, Ekim 2018.
6. Çizgi Mimarlık, Çelik Yapılar, <http://www.cizginsaat.com.tr/celik-yapilar.html>, Ekim 2018.
7. Kocabaş, Sinem, 2005, “Çelik yapıların SAP 2000 programı ile analiz ve tasarımı”, Yüksek Lisan Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
8. Kong, FK., Evans, RH., 1994, Reinforced and Prestressed Concrete, ISBN: 978-0-412-37760-0, Springer Publishing, London.
9. Özdemir, A., Ön Gerilmeli Beton Nedir?, https://www.aykut_ozdemir.com.tr/insaat/ongerilmeli-beton.html, Eylül 2018.
10. Topkaya, H., 1972, Yapı Statiği-İzostatik, AİTİA-Mühendislik Yüksekokulu Yayını, Adana.
11. Hibbeler R.C., 2012, Structural Analysis, Prentice Hall, ISBN-10:0-13-257053-X.
12. Whang, CK., 1974, Yapı Statiği-Hiperstatik, Güven Kitabevi, Ankara, Çeviren: Mustafa Kemal Tanrıkulu.
13. Artan, R., 2010, Statik, Nobel yayını, ISBN- 978-605-320-300-1, Ankara.

14. Öchsner, A., Merkel, M., 2013, One-Dimensional Finite Elements: An Introduction to the FE Method, Sprinder, ISBN 978-3-642-31796-5. Oñate, E., 2009, Structural Analysis with the Finite Element Method, Springer, ISBN:978-1-4020-8732-5.
15. Ghali, A., Neville, A.M., Brown, T.G., 2003, Structural Analysis, A Unified Classical and Matrix Approach, Spon Press, ISBN 0-419 24610-X.
16. Shiua, B., Yaoqing, G., 2005, Structural Mechanics, China, Wuhan Univesity of Technology Press.
17. Omurtag, M.H., 2007, Mukavemet, İstanbul, Birsen Yayınevi, ISBN 975-511-432-7.
18. Gross, D., Hauger, W., Schröder, J., Wall, W. A. Bonet, J., 2010, Engineering Mechanics 2, Mechanics of Materials, Springer, ISBN 978-3-642-12885-1.
19. Mengi, Y., 2016, Mukavemet Ders Notu, Çukurova Üniversitesi, Adana.
20. Sochor, M., 2011, Strength of Materials, ISBN 978-80-01-04933-4, Çekoslavya.
21. Silva, V. D., 2006, Mechanics and Strength of Materials, Netherlands, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.
22. Gere, J.M., 2004, Mechanics of Materials, ISBN 0-534-41793-0, Brooks/Cole-Thomson Learning, USA.
23. Beer FP, Johnston, ER, Dewolf, JT. And Mazurek DF. Jonston, 2012, Mechanics of Materials, ISBN 978-0-07-338028-5, Mc Grow Hill Publishing.
24. Low. B.B., 1955, Strength of Materials, Longmans, London.
25. Morley, A., 1942, Strength of Materials, Longmans, London.
26. Patnaik, SN., Hopkins, DA., 2003, Strength of Materials: Aunified theory, ISBN 0-7506-7403-4, Buttrworth-Heinemann, Elsevier, USA.
27. Borchardt, W:G., 1943, Mechanics and Hydrostatics, Ediburgh University Press, England.
28. Omurtag, M.H., 2003, Çubuk Sonlu Elemanlar, Birsen Yayınevi, ISBN 970-975-511-537-5, İstanbul.

29. Vable, M, 2012, Mechanics of Materials, 2nd Edition, <https://www.me.mtu.edu/~mavable/>. Michigan Technology University.
30. Özbek, T., 1996, Mukavemet, İstanbul, BirsenYayınevi.
31. Wolfram, 2016, Mathematica, <http://www.wolfram.com/mathematica/>.
32. Analysis de Matricia, Copyright 2010 Cengage Learning, (kodlama) https://www.academia.edu/8107965/Analisis_Matrical.
33. Logan DL., 2007, A First Course in the Finite Element Method, 4th Edition, ISBN: 0-534-55298-6, Thomson Canada Limited.
34. Kreyszig, E., 1962, Advanced Engineering Mathemeatics, John Wiley and Sons, London.
35. Omurtag, M.H., 2003, Statik ve Mukavemet, Beta Yayınları, ISBN 975-295-190-2, İstanbul.
36. Sezginman İ., Abacı, M., 1985, Düzlem Analitik Geometri, Uzay Analitik Geometri, Yıldız Üniversitesi Yayınları.
37. Erol, H., Şengel, H.S., Özçelikörs, Y., 2016, Mukavemet Ders Notları, Eskişehir OGÜ.
38. Felippa, CA., 2016, Lecturenotes, IFEM: Introduction to Finite Element Methods (ASEN 5007), Master Level, <http://www.colorado.edu/engineering/CAS/courses>.
39. Logan DL., 2007, A First Course in the Finite Element Method, 4th Edition, ISBN: 0-534-55298-6, Thomson Canada Limited.
40. Girgin K., Aksoylu M.G., Durgun Y., Darılmaz K., 2011, Yapı Statiği: İzostatik Sistemler, Çözümlü Problemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
41. Konuralp, G., Aksoylu, M.G., Darılmaz, K., Durgun, Y., 2017, Yapı Statiği İzostatik Sistemler, Birsen Yayınevi, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul
42. Hsieh, YY., 1970, Elementary theory of structures, Prentice-Hall, Inc., Newyork.
43. Larsa 4D, 2006, [http://larsa4d.com/download/LARSA4D_Verification Problems](http://larsa4d.com/download/LARSA4D_Verification_Problems)

44. Timoshenko, SP., Young, DH., 1965, Theory of Structures, 2nd Edition, McGraw-Hill, Newyork.
45. Omurtag, M.H., 2003, Statik, Beta Yayınları, ISBN 975-295-188-0, İstanbul.
46. Auer, BJ., 2005, Size and shape optimization frame and truss structures through evolutionary methods, MScThesis, Mechanical Engineering Department, University of Idaho.
47. Romero, J., P.C. Mappa, J. Herskovits, and C.M. MotaSoares, 2004, Optimal truss design including plastic collapse constraints. **Structural and Multidisciplinary Optimization**, 27: 20-26.
48. Farajzadeh, H., Investigation of Space Truss Using the Integrated Force Method 2012, Master Thesis, Eastern Mediterranean University, Civil Engineering Department, Kıbrıs.
49. Jalili, S., Hosseinzadeh, Y., 2015, A Cultural Algorithm for Optimal Design of Truss Structures, **Latin American Journal of Solids and Structures**, 12, 1721-1747.
50. American Institute of Steel Construction (AISC), 1989, Manual of steel construction allowable stress design, 9th ed. Chicago, IL.
51. Saka, MP., 1990, Optimum design of pin-jointed steel structures with practical applications, **Journal of Structural Engineering**, 116:2599-2620.
52. Kaveh, A., Talatahari, S., 2009, Particle swarm optimizer, ant colony strategy and harmony search schemehy bridized for optimization of truss structures. **Computers and Structures**, 87:276-283.
53. Kaveh, A., Khayatazad, M., 2013, Ray optimization for size and shape optimization of truss structures, **Computers and Structures**, 117:82-94.

EKLER

EK 1.

```

OneD := Module[{dummy},
  (*From this part below, the calculation is going to take place*)
  dispN = 0;
  Print["boundary condition in the beginning for each joint=",
    MatrixForm[restraints]];
  Do[If[restraints[[i]] == 0, dispN = dispN + 1;
    restraints[[i]] = dispN;, restraints[[i]] = 0], {i, 1, nod}];
  Print["total displacement=", dispN];
  Print["displacement number for each joint (boundary condition \
after coding)=", MatrixForm[restraints]];

  SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
  Do[ If[restraints[[i]] > 0,
    SysEq[[restraints[[i]]]] = -jload[[i]], {i, 1, nod}];
  Print["Beginning of SysEq=", MatrixForm[SysEq]];

  u[0] = 0;
  lengthEl = Table[0, {i, 1, nel}];
  EEndForI = Table[0, {i, 1, nel}];
  EEndForJ = Table[0, {i, 1, nel}];

  uCurve = Table[0, {i, 1, nel}];
  NforceF = Table[0, {i, 1, nel}];
  Print[" ----- Calculations are in progress \
-----"];
  Do[
    i = defIJ[[nn, 1]]; j = defIJ[[nn, 2]];
    Print[nn, " th element in progress, and, its definion is from ",
      i, " to ", j];

```

```

xi = xc[[i]]; xj = xc[[j]];
length = xj - xi;
EM = EMod[[nn]];
nz = nqz[[nn]];
A = area[[nn]];
alfaT = TEC[[nn]];
dTn = DeltaTn[[nn]];

codei = restraints[[i]];
codej = restraints[[j]];
If[SupportDisp[[i]] != 0, ui = SupportDisp[[i]], ui = u[codei]];
If[SupportDisp[[j]] != 0, uj = SupportDisp[[j]], uj = u[codej]];
Print["displacements at i and j end of the current element are ",
      ui, " and ", uj, " nz=", nz];

u1 = (Integrate[-nz, z] + c1)/(EM*A);
u0 = Integrate[u1, z] + c2;
bi = u0 /. z -> 0; Print["bi=", bi];
bj = u0 /. z -> length; Print["bj=", bj];
sol = Solve[{bi == ui, bj == uj}, {c1, c2}]; Print[sol];
u0 = u0 /. sol[[1]];
Print["For element number ", nn, " longitudinal curve u0 =", u0];

Nforce = EM*A (D[u0, z] - alfaT*dTn);

ni = -Nforce /. z -> 0;
nj = Nforce /. z -> length;
Print["Normal forces at end ", i, " ; and at end ", j,
      " in terms of end displacement for element number ", nn,
      " are ", ni, " and ", nj];

EEndForI[[nn]] = ni;
EEndForJ[[nn]] = nj;

```

```

uCurve[[nn]] = u0;
lengthEl[[nn]] = length;
NforceF[[nn]] = Nforce;
If[codei > 0 , SysEq[[codei]] = SysEq[[codei]] + ni];
If[codej > 0 , SysEq[[codej]] = SysEq[[codej]] + nj];
Print[
  " -----"];
, {nn, 1, nel}]

Print[MatrixForm[SysEq, " = 0"];
Print[" \
-----"];
unk = Table[u[i], {i, 1, dispN}]; Print["unk=", unk];
Print[" \
-----"];
lsol = Flatten[Solve[SysEq == 0, unk]];
Print["lastsol for u displacement =", lsol];
Print[" \
-----"];
Do[u[i] = lsol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];
Print[" \
-----"];
Print["Elastic Longitudinal curves are =", MatrixForm[uCurve]];
Print[" \
-----"];
Print["end forces for EndI are =", MatrixForm[EEndForI]];
Print["end forces for EndJ are =", MatrixForm[EEndForJ]];
Print[" \
-----"];
Print["element force function are =", MatrixForm[NforceF]];

Print[" ----- Calculations are completed \
-----"];

```

```

Print[" ----- Graphs are in progress -----"];
Lv = 10^-15;
maxu = Max[{Abs[Isol[All, 2]], Lv}];
maxlng = Max[{lengthEl, Lv}];
maxN = Max[{Abs[EEndForI], Lv}];
ud = Table[0, {i, 1, nod}];
Do[If[restraints[[i]] > 0, ud[[i]] = u[restraints[[i]]],
  ud[[i]] = 0], {i, 1, nod}];
rateU = maxlng/maxu/5;
rateN = maxlng/maxN/2.5;
xcd = xc + ud*rateU;
punto0 = 10;
punto1 = 14;
Do[maxnqz =
  Max[{Lv, Abs[nqz[[ii]] /. z -> 0],
  Abs[nqz[[ii]] /. z -> lengthEl[[ii]]}];, {ii, 1, nel}];
Ratenqz = maxlng/maxnqz/2.5;

pltdgm0 = Table[Graphics[] 0, {i, 1, nod}];
pltdgm1 = Table[Graphics[] 0, {i, 1, nod}];
pltdgm2 = Table[Graphics[] 0, {i, 1, nod}];
pltmsnt = pltmsntd = Table[Graphics[], {i, 1, nod}];
plttyuk = Table[Graphics[], {i, 1, nod}];
plttyukVal = Table[Graphics[], {i, 1, nod}];
(*joints are numbered in graph*)

GrSt = maxlng/50;
SabitM[x_,
y_] := {Line[{x - 2 *GrSt, y - 3.5* GrSt}, {x, y}, {x + 2*GrSt,
  y - 3.5*GrSt}, {x - 2* GrSt, y - 3.5* GrSt}]},
Table[Line[{x + (Hsh - 1)*GrSt, y - 4.5*GrSt}, {x + Hsh*GrSt,
  y - 3.5*GrSt}]}, {Hsh, -3, 3}],
Line[{x - 3*GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x + 3*GrSt, y - 3.5*GrSt}]]];

```

```

KayiciM[x_,
y_] := {Line[{x - 2 * GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x,
y}, {x + 2 * GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x - 2*GrSt,
y - 3.5*GrSt}]},
Table[Circle[{x + Hsh* GrSt, y - 4*GrSt}, .5*GrSt], {Hsh, -1,
1}], Line[{x - 3*GrSt, y - 4.5*GrSt}, {x + 3*GrSt,
y - 4.5*GrSt}]]];
mxload = Max[{Abs[jload], Lv}];
RateLoad = maxlng/mxload/5;

Do[
  nxx = xc[[iin]]; nyy = -maxlng/50;
  pltdgm0[[iin]] =
ListPlot[{nxx + 1.5 GrSt, 2 nyy}, PlotRange -> All,
  Axes -> False, PlotMarkers -> {iin, 8},
  PlotStyle -> {Thick, Blue}];

  pltdgm1[[iin]] =
ListPlot[{nxx, 0}, PlotRange -> All, Axes -> False,
  PlotMarkers -> {\FilledSmallCircle, 10},
  PlotStyle -> {Thin, Black}];

  pltdgm2[[iin]] =
ListPlot[{nxx + 1.5 GrSt, 2 nyy}, PlotRange -> All,
  Axes -> False, PlotMarkers -> {\EmptyCircle, 16},
  PlotStyle -> {Thin, Black}];

  (*tekil yuk cizimi*)
  If[(restraints[[iin]] > 0 && jload[[iin]] != 0),
  plttyukVal[[iin]] =
ListPlot[{nxx - 1.5 nyy, -2 nyy}, PlotRange -> All,
  Axes -> False, PlotMarkers -> {Subscript[P, iin], punto1},

```

```
PlotStyle -> {Thin, Black}];
```

```
plTTYuk[[iin]] =  
Graphics[{Arrowheads[Medium],  
Arrow[{ {nxx, 0}, {nxx + jload[[iin]]*RateLoad, 0} }]}];
```

```
(*mesnet ayarlama*)  
If[restraints[[iin]] == 0,  
plTmsnt[[iin]] = Graphics[SabitM[nxx, 0]]];  
(* x eksenini boyunca kayici*)  
(*deformasyon sonrasini kayici mesnet yerleri*)  
nxx = xcd[[iin]]; nyy = -1;  
If[restraints[[iin]] == 0,  
plTmsntd[[iin]] = Graphics[SabitM[nxx, nyy]]];  
(* x eksenini boyunca kayici*)  
  
, {iin, 1, nod}];
```

```
grafEl = grafEld = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
grafLC = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
grafNf = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
grafnqz = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
plt3 = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucNi = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucNvali = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucNvalj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucNj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];
```

```
pltucnqzi = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucnqzvali = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucnqzvalj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
pltucnqzj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];  
graphLCvali = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];
```

```

graphLCvalj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];
graphLCuci = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];
graphLCucj = Table[Graphics[], {i, 1, nel}];
Do[
  ii = defIJ[[nn, 1]];
  jj = defIJ[[nn, 2]];
  xcii = xc[[ii]];
  ycii = ycjj = 0;
  xcjj = xc[[jj]];
  lng = xcjj - xcii;
  (*graph of u function*)
  ff = uCurve[[nn]];
  xx = z ;
  yy = rateU*ff;
  grafLC[[nn]] =
    ParametricPlot[{xx + xcii, yy}, {z, 0, lng}, PlotRange -> All,
      PlotStyle -> {Black}, Axes -> False];
  (*at the end of element drawing graph value at i for uCurve*)
  xxi1 = xcii;
  yyi1 = 0;

  xxi2 = xcii + xx /. z -> 0;
  yyi2 = yyi1 + yy /. z -> 0;

  graphLCuci[[nn]] =
    ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,
      Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];
  If[yyi2 != 0,
    graphLCvali[[nn]] =
      ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 + maxlng/20,
        yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4 } },
        PlotRange -> All, Axes -> False,
        PlotMarkers -> {Rotate[

```

```

Subscript[U, restraints[[defIJ[[nn, 1]]]], 0 Degree],
punto0}, PlotStyle -> Black];
];

```

(*drawing graph value at j for uCurve*)

```

If[nn == nel,
xxi1 = xcjj;
yyi1 = 0;
(xxi2 = xcii + xx /. z -> lng;
yyi2 = yyi1 + yy /. z -> lng;

graphLCucj[[nn]] =
ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,
Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];
If[yyi2 != 0,
graphLCvalj[[nn]] =
ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 + maxlng/20,
yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4 } },
PlotRange -> All, Axes -> False,
PlotMarkers -> {Rotate[
Subscript[U, restraints[[defIJ[[nn, 2]]]], 0 Degree],
punto0}, PlotStyle -> Black];
];)
];

```

(*graph of element*)

```

ikoor = { xc[[ii]], 0}; jkoor = {xc[[jj]], 0}; nyy = -1;
grafEl[[nn]] =
GraphPlot[{ii -> jj},
VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
VertexLabeling -> False];

```

```

ikoor = { xcd[[ii]], nyy}; jkooor = {xcd[[jj]], nyy};
grafEld[[nn]] =
  GraphPlot[{ii -> jj},
    VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkooor},
    VertexLabeling -> True];

```

(*el number in gaph*)

```

nxx = (xcii + xcjj)/2;
nyy = -maxlng/20;

```

```

plt3[[nn]] =
  ListPlot[{ {nxx, nyy} }, PlotRange -> All, Axes -> False,
    PlotMarkers -> {Subscript[e, nn], punto1},
    PlotStyle -> {Thin, Black}];

```

(*graph of normal force function*)

```
ff = NforceF[[nn]];
```

```
xx = z ;
```

```
yy = rateN*ff;
```

```
grafNf[[nn]] =
```

```

  ParametricPlot[{xx + xcii, yy}, {z, 0, lng}, PlotRange -> All,
    PlotStyle -> {Black}, Axes -> False];

```

(*at the end of element drawing graph value at i for normal force*)

```
xxi1 = xcii;
```

```
yyi1 = 0;
```

```
xxi2 = xcii + xx /. z -> 0;
```

```
yyi2 = yyi1 + yy /. z -> 0;
```

```

pltucNi[[nn]] =
  ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,
    Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];
If[EEndForI[[nn]] != 0,
  pltucNvali[[nn]] =
    ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 + maxlng/20,
      yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4 } }, PlotRange -> All,
      Axes -> False,
      PlotMarkers -> {Rotate[-EEndForI[[nn]], 90 Degree], punto0},
      PlotStyle -> Black];
];
(*drawing at j end*)
xxi1 = xcjj;
yyi1 = 0;

xxi2 = xcii + xx /. z -> lng;
yyi2 = yyi1 + yy /. z -> lng;
pltucNj[[nn]] =
  ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,
    Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];
If[EEndForJ[[nn]] != 0,
  pltucNvalj[[nn]] =
    ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 - maxlng/20,
      yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4 } }, PlotRange -> All,
      Axes -> False,
      PlotMarkers -> {Rotate[EEndForJ[[nn]], 90 Degree], punto0},
      PlotStyle -> Black];
];

(*graph of nqz*)

ff = nqz[[nn]];

```

```

xx = z ;
yy = Ratenqz*ff;
grafnqz[[nn]] =
  ParametricPlot[{xx + xcii, yy}, {z, 0, lng}, PlotRange -> All,
    PlotStyle -> {Black}, Axes -> False];
(*at the end of element drawing graph value at i for nqz*)

```

```

xxi1 = xcii;
yyi1 = 0;

```

```

xxi2 = xcii + xx /. z -> 0;
yyi2 = yyi1 + yy /. z -> 0;
nqz0 = nqz[[nn]] /. z -> 0;
pltucnqzi[[nn]] =
  ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,
    Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];

```

```

If[nqz0 != 0,
  pltucnqzvali[[nn]] =
    ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 + maxlng/20,
      yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4 } },
      PlotRange -> All, Axes -> False,
      PlotMarkers -> {Rotate[nqz0, 90 Degree], punto0},
      PlotStyle -> Black];
];

```

```

(*drawing at j end*)

```

```

xxi1 = xcjj;
yyi1 = 0;

```

```

xxi2 = xcii + xx /. z -> lng;
yyi2 = yyi1 + yy /. z -> lng;
nqzL = nqz[[nn]] /. z -> lng;
pltucnqzj[[nn]] =
  ListLinePlot[{ {xxi1, yyi1}, {xxi2, yyi2} }, PlotRange -> All,

```

```

    Axes -> False, PlotStyle -> {Black}];
If[nqzL != 0,
pltucnqzvalj[[nn]] =
    ListPlot[{ {xxi1 + 2 (-xxi1 + xxi2)/4 - maxlng/20,
        yyi1 + 2 (-yyi1 + yyi2)/4} },
    PlotRange -> All, Axes -> False,
    PlotMarkers -> {Rotate[nqzL, 90 Degree], punto0},
    PlotStyle -> Black];
];

, {nn, 1, nel}];

Print["Geometry and support conditions of system with its loads."];

size = 900;
Print[Show[grafEl, plt3, pltdgm0, pltdgm1, pltdgm2, pltmsnt,
    plttyuk, plttyukVal, grafnqz, pltucnqzi, pltucnqzj,
        pltucnqzvali, pltucnqzvalj,
    Axes -> {False, False}, AspectRatio -> Automatic,
    ImageSize -> size]];
Print["Graphical presentation of Longitudinal curve of system."];
Print[Show[grafEl, grafLC, plt3, pltmsnt, pltdgm0, pltdgm1,
    pltdgm2, graphLCuci, graphLCucj, graphLCvali, graphLCvalj,
    Axes -> {False, False}, AspectRatio -> Automatic,
    ImageSize -> size]];
Print["Graphical presentation of normal force distribution of \
system."]
Print[
    Show[grafEl, grafNf, plt3, pltucNi, pltucNj, pltucNvali,
        pltucNvalj, pltmsnt,
        Axes -> {False, False}, AspectRatio -> Automatic,
        ImageSize -> size]];
Print["Upper is the system before deformation, Lower is the system \

```

after deformation."]

```
Print[
```

```
Show[grafEl, grafEld, pltmsnt, pltmsntd, plt3, pltdgm0, pltdgm1,  
      pltdgm2, ImageSize -> size]];
```

```
];
```



EK 2.

```

TwoD := Module[{dummy},
  (* buradan itibaren program 2D*)
  dispN = 0;
  Print[MatrixForm[xy]];
  Print["definition of element=", MatrixForm[definition]];
  Print["boundary condition in the beginning for each joint=",
    MatrixForm[restraints]];
  Print["Elastic Support for each joint=",
    MatrixForm[ElasticSupport]];

  (*dugum elastik mesnete oturuyorsa,
  mesnetin elastik davrandığı yön için yay katsayısı
  verilir ve düğüm serbest bırakılır eger serbest değilse program \
  onu serbest bırakır, asagıdaki do loop bu isi yapmaktadır *)
  Do[
    If[(restraints[[i, j]] == 1 && ElasticSupport [[i, j]] != 0),
      restraints[[i, j]] = 0;
      If[j == 1,

        Print[i,
          " nolu düğüm x yönünde elastik mesnete oturduğu için düğüm \
          tutulu girilmiş, tutulu düğüm x yönünde serbest bırakıldı."],

        Print[i,
          " nolu düğüm y yönünde elastik mesnete oturduğu için düğüm \
          tutulu girilmiş, tutulu düğüm y yönünde serbest bırakıldı."]]], {i, 1,
      nod}, {j, 1, 2}];

  (*dugumde mesnet çökmesi varsa,
  o düğüm mesnet çökmesi yönünde tutulu olmalıdır asagıdaki do loop \

```

bu işi yapmaktadır*)

```

Do[
  If[(restraints[[i, j]] == 0 && SupportDisp [[i, j]] != 0),
    restraints[[i, j]] = 1;
    If[j == 1,

      Print[i,
        " nolu düğümde x yönünde mesnet çökmesi var, kendi serbest \
        bırakılmış; halbuki tutulu olması gerekir, düğüm x yönünde tutuldu."],

      Print[i,
        " nolu düğümde y yönünde mesnet çökmesi var, kendi serbest \
        bırakılmış; halbuki tutulu olması gerekir, düğüm y yönünde \
        tutuldu."]], {i, 1, nod}, {j, 1, 2}];

Do[ If[restraints[[i, j]] == 0, dispN = dispN + 1;
  restraints[[i, j]] = dispN; restraints[[i, j]] = 0], {i, 1,
  nod}, {j, 1, 2}];
Print["total displacement=", dispN];
Print["displacement number for each joint (boundary condition \
after coding)=", MatrixForm[restraints]];

d[0] = 0;
NForce = Table[0, {i, 1, nel}];
SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
Lengt = Table[0, {i, 1, nel}];

Do[
  (*dugumde mesnet çökmesi varsa,
  o düğüm mesnet çökmesi yönünde tutulu olmalıdır*)
  codeix = restraints[[i, 1]];

```

```
codeiy = restraints[[i, 2]];
```

```
If[codeix > 0,
```

```
  SysEq[[codeix]] =
```

```
    jload[[i, 1]] - d[codeix]*ElasticSupport[[i, 1]]];
```

```
If[codeiy > 0,
```

```
  SysEq[[codeiy]] =
```

```
    jload[[i, 2]] - d[codeiy]*ElasticSupport[[i, 2]]];
```

```
, {i, 1, nod}}];
```

```
Do[
```

```
  Print["Element number  ", nn, "] is in progress;"];

```

```
  EM = EMod[[nn]];

```

```
  csa = area[[nn]];

```

```
  alfaT = TEC[[nn]];

```

```
  dTn = DeltaTn[[nn]];

```

```
  ii = defIJ[[nn, 1]];

```

```
  jj = defIJ[[nn, 2]];

```

```
  xi = xy[[ii, 1]]; yi = xy[[ii, 2]];

```

```
  xj = xy[[jj, 1]]; yj = xy[[jj, 2]];

```

```
  vektor = {xj - xi, yj - yi};

```

```
  Lengt[[nn]] = length = Norm[vektor];

```

```
  (*Print[length];*)

```

```
  csx = Normalize[vektor][[1]];

```

```
  csy = Normalize[vektor][[2]];

```

```
  (*Print[" csx csy=",csx," ",csy];*)

```

```
  codeix = restraints[[ii, 1]];

```

```
  codeiy = restraints[[ii, 2]];

```

```
  codejx = restraints[[jj, 1]];

```

```

codejy = restraints[[jj, 2]];

ui = d[codeix]*csx + d[codeiy]*csy + SupportDisp[[ii, 1]]*csx +
    SupportDisp[[ii, 2]]*csy;
uj = d[codejx]*csx + d[codejy]*csy + SupportDisp[[jj, 1]]*csx +
    SupportDisp[[jj, 2]]*csy;

uu = c1 z + c2;
b1 = uu /. z -> 0;
b2 = uu /. z -> length;
sol = Flatten[Solve[{b1 == ui, b2 == uj}, {c1, c2}]];

uu = uu /. sol;

NF = csa*EM*D[uu, z];
NF = EM*csa (D[uu, z] - alfaT*dTn);

ni = NF /. z -> 0;
nj = NF /. z -> length;
NForce[[nn]] = nj;
fxi = -ni*csx;
fyi = -ni*csy;
fxj = nj*csx;
fyj = nj*csy;
If[codeix > 0, SysEq[[codeix]] = SysEq[[codeix]] - fxi];
If[codeiy > 0, SysEq[[codeiy]] = SysEq[[codeiy]] - fyi];
If[codejx > 0, SysEq[[codejx]] = SysEq[[codejx]] - fxj];
If[codejy > 0, SysEq[[codejy]] = SysEq[[codejy]] - fyj];
, {nn, 1, nel}];
SysEq = Expand[SysEq];

Print["syseq=", MatrixForm[SysEq], "=0"];

```

```

unk = Table[d[i], {i, 1, dispN}];
sol = Flatten[Solve[SysEq == 0, unk]];
Print["solution=", MatrixForm[sol]];
mxdisp = Max[Abs[sol[[All, 2]]]];
Do[d[i] = sol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];
Print[MatrixForm[NForce]];

];
(*graph modul*)
GrTwoD := Module[{dummy},
  mxlng = Max[Lengt];

  RateDisp = mxlng/mxdisp/10;
  disp2D = SupportDisp;
  Do[
    codeix = restraints[[ii, 1]];
    codeiy = restraints[[ii, 2]];

    If[codeix > 0, disp2D[[ii, 1]] = d[codeix]];
    If[codeiy > 0, disp2D[[ii, 2]] = d[codeiy]];

    , {ii, 1, nod}];
  Print[MatrixForm[disp2D]];
  xyd = xy + RateDisp*disp2D;
  Print[MatrixForm[xy]];
  Print[MatrixForm[xyd]];

  (* deformasyonlu ve deformasyonsuz hal grafiği*)
  grfk = grfkd = grBarForce = Table[Graphics[], {nn, 1, nel}];

  Do[
    ii = defIJ[[nn, 1]];
    jj = defIJ[[nn, 2]];

```

```
xi = xy[[ii, 1]]; yi = xy[[ii, 2]];
xj = xy[[jj, 1]]; yj = xy[[jj, 2]];
```

```
ikoor = { xi, yi};
jkoor = {xj, yj};
dnac = 0;
grfk[[nn]] =
GraphPlot[{ii -> jj},
VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
VertexLabeling -> True, DirectedEdges -> {True},
EdgeLabeling -> True];
```

```
ikoor = { xyd[[ii, 1]], xyd[[ii, 2]]};
jkoor = { xyd[[jj, 1]], xyd[[jj, 2]]};
```

```
grfkd[[nn]] =
GraphPlot[{ii -> jj},
VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
PlotStyle -> Dashed];
grBarForce[[nn]] =
ListPlot[{ {(xi + xj)/2, (yi + yj)/2}}, PlotRange -> All,
Axes -> False, PlotMarkers -> {Rotate[NForce[[nn]], dnac], 10},
PlotStyle -> Red];
, {nn, 1, nel}];
```

(* yuklerin yeri ve cizimi*)

```
mxload = Max[Abs[jload[[All, All]]]];
RateLoad = mxlng/mxload/10;
grload = Table[Graphics[], {i, 1, nod}, {j, 1, 2}];
Fsize = Small;
Do[
```

```
If[(restraints[[i, 1]] > 0 && jload[[i, 1]] != 0),
```

```

grload[[i, 1]] =
Graphics[{Arrowheads[Fsize],
  Arrow[{ {xy[[i, 1]],
    xy[[i, 2]]}, {xy[[i, 1]] + jload[[i, 1]]*RateLoad,
    xy[[i, 2]]}]}]];
Print["nod i=", i, " xi", xy[[i, 1]], " yi=", xy[[i, 1]], " xj=",
  xy[[i, 1]] + jload[[i, 1]]*RateLoad, " yj=", xy[[i, 2]]];
];

```

```

If[(restraints[[i, 2]] > 0 && jload[[i, 2]] != 0),

```

```

grload[[i, 2]] =
Graphics[{Arrowheads[Fsize],
  Arrow[{ {xy[[i, 1]], xy[[i, 2]]}, {xy[[i, 1]],
    xy[[i, 2]] + jload[[i, 2]]*RateLoad}]}]];
];
, {i, 1, nod}];

```

```
(*mesnet tipi*)
```

```
GrSt = mxlng/50;
```

```

SabitM[x_,
y_] := {Line[{ {x - 2 *GrSt, y - 3.5* GrSt}, {x, y}, {x + 2*GrSt,
  y - 3.5*GrSt}, {x - 2* GrSt, y - 3.5* GrSt} }],
Table[Line[{ {x + (Hsh - 1)*GrSt, y - 4.5*GrSt}, {x + Hsh*GrSt,
  y - 3.5*GrSt} }], {Hsh, -3, 3}],
Line[{ {x - 3*GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x + 3*GrSt, y - 3.5*GrSt} }]];

```

```
KayiciM[x_,
```

```

y_] := {Line[{ {x - 2 * GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x,
  y}, {x + 2 * GrSt, y - 3.5*GrSt}, {x - 2*GrSt,
  y - 3.5*GrSt} }],

```

```
Table[Circle[{x + Hsh* GrSt, y - 4*GrSt}, .5*GrSt], {Hsh, -1,
  1}], Line[{x - 3*GrSt, y - 4.5*GrSt}, {x + 3*GrSt,
  y - 4.5*GrSt}]]];
```

```
KayiciMr[x_,
y_] := {Line[{y - 3.5*GrSt, x - 2 * GrSt}, {y,
  x}, {y - 3.5*GrSt, x + 2 * GrSt}, {y - 3.5*GrSt,
  x - 2*GrSt}]],
Table[Circle[{y - 4*GrSt, x + Hsh* GrSt}, .5*GrSt], {Hsh, -1,
  1}], Line[{y - 4.5*GrSt, x - 3*GrSt}, {y - 4.5*GrSt,
  x + 3*GrSt}]]];
```

(* mesnetlerin ayarlanmasi*)

```
grmsnt = Table[Graphics[], {i, 1, nod}];
```

```
Do[
```

```
xi = xy[[i, 1]]; yi = xy[[i, 2]];

```

(*sabit mesnet*)

```
If[(restraints[[i, 1]] == 0 && restraints[[i, 2]] == 0),
```

```
grmsnt[[i]] = Graphics[SabitM[xi, yi]]];
```

(* x eksenini boyunca kayici*)

```
If[(restraints[[i, 1]] > 0 && restraints[[i, 2]] == 0),
```

```
grmsnt[[i]] = Graphics[KayiciM[xi, yi]]];
```

(* y eksenini boyunca kayici*)

```
If[(restraints[[i, 1]] == 0 && restraints[[i, 2]] > 1),
```

```
grmsnt[[i]] = {grmsnt[[i]], Graphics[KayiciMr[yi, xi]]};
```

```
];
```

```
, {i, 1, nod}];
```

(* mesnet cokmesi varsa mesnetlerin ayarlanmasi*)

```
grmsntd = Table[Graphics[], {i, 1, nod}];
```

```

Do[
  xi = xyd[[i, 1]]; yi = xyd[[i, 2]];
  (*sabit mesnet*)
  If[(restraints[[i, 1]] == 0 && restraints[[i, 2]] == 0),
    grmsntd[[i]] = Graphics[SabitM[xi, yi]];
  (* x ekseni boyunca kayici*)
  If[(restraints[[i, 1]] > 0 && restraints[[i, 2]] == 0),
    grmsntd[[i]] = Graphics[KayiciM[xi, yi]];
  (* y ekseni boyunca kayici*)
  If[(restraints[[i, 1]] == 0 && restraints[[i, 2]] > 1),
    grmsntd[[i]] = {grmsnt[[i]], Graphics[KayiciMr[yi, xi]]};

];

, {i, 1, nod}];
Print[Show[grfk, grload, grmsnt, Axes -> False, ImageSize -> 1000]];
Print[Show[grfk, grfkd, grload, grmsnt, grmsntd, grBarForce,
  Axes -> False, ImageSize -> 1000]]];

```

EK 3.

```

ThreeD := Module[{dummy},
  dispN = 0;
  (*Print[MatrixForm[xyz]];
  Print["definition of element=",MatrixForm[defIJ]];
  Print["boundary condition in the beginning for each joint=",
  MatrixForm[restraints]];*)

  (*dugum elastik mesnete oturuyorsa,
  mesnetin elastik davrandığı yön için yay katsayısı
  verilir ve düğüm serbest bırakılır eger serbest değilse program \
  onu serbest bırakır, asagıdaki do loop bu isi yapmaktadır *)
  Do[
    If[(restraints[[i, j]] == 1 && ElasticSupport [[i, j]] != 0),
    restraints[[i, j]] = 0;
    If[j == 1,
    Print[i,
    "nolu düğüm x yönünde elastik mesnete oturduğu için düğüm \
    tutulu girilmiş, tutulu düğüm x yönünde serbest bırakıldı."]];
    If[j == 2,
    Print[i,
    " nolu düğüm y yönünde elastik mesnete oturduğu için düğüm \
    tutulu girilmiş, tutulu düğüm y yönünde serbest bırakıldı."]];
    If[j == 3,
    Print[i,
    " nolu düğüm z yönünde elastik mesnete oturduğu için düğüm \
    tutulu girilmiş, tutulu düğüm z yönünde serbest bırakıldı."]];
    ], {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];

  (*dugumde mesnet çökmesi varsa,
  o düğüm mesnet çökmesi yönünde tutulu olmalıdır asagıdaki do loop \
  bu isi yapmaktadır*)

```

```

Do[
  If[(restraints[[i, j]] == 0 && SupportDisp [[i, j]] != 0),
    restraints[[i, j]] = 1;
    If[j == 1,
      Print[i,
        " nolu düğümde x yönünde mesnet çökmesi var, kendi serbest \
        bırakılmış; halbuki tutulu olması gerekir, düğüm x yönünde \
        tutuldu."]];

    If[j == 2,
      Print[i,
        " nolu düğümde y yönünde mesnet çökmesi var, kendi serbest \
        bırakılmış; halbuki tutulu olması gerekir, düğüm y yönünde tutuldu."]];

    If[j == 3,
      Print[i,
        " nolu düğümde z yönünde mesnet çökmesi var, kendi serbest \
        bırakılmış; halbuki tutulu olması gerekir, düğüm z yönünde tutuldu."]];

    ], {i, 1, nod}, {j, 1, 2}];

```

```

Do[

  If[restraints[[i, j]] == 0, dispN = dispN + 1;
  restraints[[i, j]] = dispN;, restraints[[i, j]] = 0], {i, 1,
  nod}, {j, 1, 3}];
Print["total displacement=", dispN];
(*Print[
  "displacement number for each joint (boundary condition after \
  coding)=", MatrixForm[restraints]];*)

d[0] = 0;
NForce = Table[0, {i, 1, nel}];

```

```

SysEq = Table[0, {i, 1, dispN}];
length = Table[0, {i, 1, nel}];
Do[

    codeix = restraints[[i, 1]];
    codeiy = restraints[[i, 2]];
    codeiz = restraints[[i, 3]];

    If[codeix > 0,
        SysEq[[codeix]] =
            jload[[i, 1]] - d[codeix]*ElasticSupport[[i, 1]];
    If[codeiy > 0,
        SysEq[[codeiy]] =
            jload[[i, 2]] - d[codeiy]*ElasticSupport[[i, 2]];
    If[codeiz > 0,
        SysEq[[codeiz]] =
            jload[[i, 3]] - d[codeiz]*ElasticSupport[[i, 3]];

    , {i, 1, nod}];

Do[
    Print["Element number  ", nn, "] is in progress;"];
    EM = EMod[[nn]];
        csa = area[[nn]];
        alfaT = TEC[[nn]];
        dTn = DeltaTn[[nn]];

    ii = defIJ[[nn, 1]];
    jj = defIJ[[nn, 2]];
    xi = xyz[[ii, 1]]; yi = xyz[[ii, 2]]; zi = xyz[[ii, 3]];
    xj = xyz[[jj, 1]]; yj = xyz[[jj, 2]]; zj = xyz[[jj, 3]];
    vector = {xj - xi, yj - yi, zj - zi};
    length[[nn]] = lengthL = Norm[vector];

```

```

csx = Normalize[vector][[1]];
csy = Normalize[vector][[2]];
csz = Normalize[vector][[3]];

```

```

codeix = restraints[[ii, 1]];
codeiy = restraints[[ii, 2]];
codeiz = restraints[[ii, 3]];
codejx = restraints[[jj, 1]];
codejy = restraints[[jj, 2]];
codejz = restraints[[jj, 3]];

```

```

ui = d[codeix]*csx + d[codeiy]*csy + d[codeiz]*csz +
    SupportDisp[[ii, 1]]*csx + SupportDisp[[ii, 2]]*csy +
    SupportDisp[[ii, 3]]*csz;
uj = d[codejx]*csx + d[codejy]*csy + d[codejz]*csz +
    SupportDisp[[jj, 1]]*csx + SupportDisp[[jj, 2]]*csy +
    SupportDisp[[jj, 3]]*csz;

```

```

uu = c1 z + c2;
b1 = uu /. z -> 0;
b2 = uu /. z -> lengthL;
sol = Flatten[Solve[{b1 == ui, b2 == uj}, {c1, c2}]];

```

```

uu = uu /. sol;

```

```

NF = csa*EM*D[uu, z];
NF = EM*csa (D[uu, z] - alfaT*dTn);

```

```

ni = NF /. z -> 0;
nj = NF /. z -> lengthL;
NForce[[nn]] = nj;

```

```

fxi = -ni*csx;
fyi = -ni*csy;
fzi = -ni*csz;
fxj = nj*csx;
fyj = nj*csy;
fzj = nj*csz;
If[codeix > 0, SysEq[[codeix]] = SysEq[[codeix]] - fxi];
If[codeiy > 0, SysEq[[codeiy]] = SysEq[[codeiy]] - fyi];
If[codeiz > 0, SysEq[[codeiz]] = SysEq[[codeiz]] - fzi];
If[codejx > 0, SysEq[[codejx]] = SysEq[[codejx]] - fxj];
If[codejy > 0, SysEq[[codejy]] = SysEq[[codejy]] - fyj];
If[codejz > 0, SysEq[[codejz]] = SysEq[[codejz]] - fzj];
, {nn, 1, nel}];
SysEq = Simplify[SysEq];

Print["syseq=", MatrixForm[SysEq], "=0"];

unk = Table[d[i], {i, 1, dispN}];
sol = Flatten[Solve[SysEq == 0, unk]];
Print["solution=", MatrixForm[sol]];
mxdisp = Max[Abs[sol[[All, 2]]]];
Do[d[i] = sol[[i, 2]], {i, 1, dispN}];
Print[MatrixForm[NForce]];
mxlng = Max[length];

RateDisp = mxlng/mxdisp/4;
disp3D = Table[0, {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
Do[
  codeix = restraints[[ii, 1]];
  codeiy = restraints[[ii, 2]];
  codeiz = restraints[[ii, 3]];
  If[codeix > 0, disp3D[[ii, 1]] = d[codeix]];
  If[codeiy > 0, disp3D[[ii, 2]] = d[codeiy]];

```

```

If[codeiz > 0, disp3D[[ii, 3]] = d[codeiz]];
, {ii, 1, nod}];
Print["düğüm koordinatlarına uyumlu deplasmanlar=",
MatrixForm[disp3D]];
xyzd = xyz + RateDisp*disp3D;
(*Print[MatrixForm[xyz]];
Print[MatrixForm[xyzd]];*)

```

```

grfk = grfkd = Table[0, {nn, 1, nel}];

Do[
  ii = defIJ[[nn, 1]];
  jj = defIJ[[nn, 2]];

  ikoor = { xyz[[ii, 1]], xyz[[ii, 2]], xyz[[ii, 3]]};
  jkoor = {xyz[[jj, 1]], xyz[[jj, 2]], xyz[[jj, 3]]};

  grfk[[nn]] =
    GraphPlot3D[{ii -> jj},
      VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
      VertexLabeling -> True,
      EdgeRenderingFunction -> (Cylinder[#1, mxlng/150] &),
      VertexRenderingFunction -> (Sphere[#1, mxlng/150] &)];

  grfk[[nn]] =
    GraphPlot3D[{ii -> jj},
      VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
      VertexLabeling -> True, PlotStyle -> Dashed];

```

```
grfk[[nn]] =
GraphPlot3D[{ii -> jj},
VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
VertexLabeling -> True, PlotStyle -> Thick];
```

```
ikoor = { xyzd[[ii, 1]], xyzd[[ii, 2]], xyzd[[ii, 3]]};
jkoor = { xyzd[[jj, 1]], xyzd[[jj, 2]], xyzd[[jj, 3]]};
```

```
grfkd[[nn]] =
GraphPlot3D[{ii -> jj},
VertexCoordinateRules -> {ii -> ikoor, jj -> jkoor},
VertexLabeling -> True,
EdgeRenderingFunction -> (Cylinder[#1, mxlng/150] &),
VertexRenderingFunction -> (Sphere[#1, mxlng/75] &);

, {nn, 1, nel}];
```

```
grfkmsnt = Table[Graphics3D, {i, 1, nod}];
```

```
Do[
ikoor = { xyz[[ii, 1]], xyz[[ii, 2]], xyz[[ii, 3]]};
grfkmsnt[[ii]] = Graphics3D[{Red, Sphere[{ikoor}, mxlng/100]}] ;
If[(restraints[[ii, 1]] == 0 \[Or] restraints[[ii, 2]] == 0 \[Or]
restraints[[ii, 3]] == 0),
(grfkmsnt[[ii]] =
Graphics3D[{Blue, Sphere[{ikoor}, mxlng/40]}]) ];
, {ii, 1, nod}];
```

(* düğüm teki yuklerinin yeri ve çizimi*)

```
mxload = Max[Abs[jload[[All, All]]]];
```

```
RateLoad = mxlng/mxload/6;
```

```

grload = Table[Graphics3D[], {i, 1, nod}, {j, 1, 3}];
(*Fsize=0.01;
tuber=0.005;*)
Print["fsize=", Fsize, " tuber=", tuber, " rate load=", RateLoad,
" mxlng=", mxlng];
Do[

    ikoor = { xyz[[ii, 1]], xyz[[ii, 2]], xyz[[ii, 3]]};
    If[(restraints[[ii, 1]] > 0 && jload[[ii, 1]] != 0),

        jkoor = { xyz[[ii, 1]] + jload[[ii, 1]]*RateLoad, xyz[[ii, 2]],
            xyz[[ii, 3]]};

        grload[[ii, 1]] =
            Graphics3D[{Red, Arrowheads[Fsize],
                Arrow[Tube[{ikoor, jkoor}, tuber]]}];

    ];

    If[(restraints[[ii, 2]] > 0 && jload[[ii, 2]] != 0),

        jkoor = { xyz[[ii, 1]], xyz[[ii, 2]] + jload[[ii, 2]]*RateLoad,
            xyz[[ii, 3]]};

        grload[[ii, 2]] =
            Graphics3D[{Red, Arrowheads[Fsize],
                Arrow[Tube[{ikoor, jkoor}, tuber]]}];

    ];

    If[(restraints[[ii, 3]] > 0 && jload[[ii, 3]] != 0),

        jkoor = { xyz[[ii, 1]], xyz[[ii, 2]],
            xyz[[ii, 3]] + jload[[ii, 3]]*RateLoad};

```

```

grload[[ii, 3]] =
  Graphics3D[{Red, Arrowheads[Fsize],
    Arrow[Tube[{ikoor, jkoor}, tuber]]}];
];

```

```

, {ii, 1, nod}];

```

```

Print[Show[grload, grfk, grfkmsnt, Axes -> True,
  AxesLabel -> {x, y, z}, ImageSize -> 500, AspectRatio -> asp]];
Print[Show[grfk, grfk, grfkmsnt, Axes -> True,
  AxesLabel -> {x, y, z}, ImageSize -> 500,
  AspectRatio -> Automatic]];
];

```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: YENER FİLİZ
Uyruğu: Türkiye (T.C. NO:63094152864)
Doğum Tarihi ve Yeri: 21.02.1977 - ÜRGÜP
Medeni Durum: EVLİ
e-mail: yenerfiliz@hotmail.com
Yazışma Adresi: Sakarya Mh. Doğanyurt Cd. Seyranlık Sk. No:30/28
 Melikgazi / KAYSERİ

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2009
Lisans	Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2001
Lise	Ankara Gazi Lisesi, ANKARA	1994

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2011- Halen	MF Yapı Denetim Ltd.Şti.	Firma Sahibi
2009-2011	Yener FİLİZ	Mühendis
2005-2009	Kayseri Şeker Fabrikası	İnşaat Şefi
2004-2005	Hava Lojistik Komutanlığı	İnşaat Mühendisi
2002-2003	Askerlik	Asker
2001-2002	Yurttaşlar Trade Company, Isreal	Şantiye Şefi

YABANCI DİL

İngilizce