

KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE KULLANILAN
FARKLI KARMAŞIK ELEMANLARIN ÇUBUK
KUVVETLERİNE ETKİSİNİN STATİK ANALİZİ

YELDA AKAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2011

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE KULLANILAN FARKLI KARMAŞIK
ELEMENLARIN ÇUBUK KUVVETLERİNE ETKİSİNİN
STATİK ANALİZİ

YELDA AKAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
DOÇ.DR.SAHAVAT HANALİ

SİVAS
2011

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Bu çalışma Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanmış ve jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Semiha BULUT

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet ŞENOL

Üye(Danışman): Doç. Dr. Sahavat HANALI

ONAY

Bu tez çalışması, “ 2011“ Tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

“ 2011”

Prof. Dr. Mustafa DEĞİRMENÇİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ

Bu tez Cumhuriyet Üniversitesi Senatosu'nun 24.09.2008 tarihli ve 7 sayılı toplantısında kabul edilen Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Tez Yazım Kılavuzu adlı yönergeye göre hazırlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜRLER.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
1.BÖLÜM. GİRİŞ	1
2. BÖLÜM. KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ	4
2.1. Giriş	4
2.2. Kafes Sistemlerle İlgili Genel Bilgiler	6
2.2.1.Kafes sistemlerin sınıflandırılması	6
2.2.2.Kafes kiriş çubuklarının isimleri ve gösterilişleri	7
2.3. Kafes Sistemlerle İzostatik Olma Şartı	8
2.4. Kendi İçinde Tam Bağlı Kafes Sistemler	8
2.4.1. Basit kafes sistemler	9
2.4.2. Bileşik kafes sistemler	9
2.4.3. Karmaşık kafes sistemler.....	10
2.5. Kafes Sistemlerin Sabit yüklere Göre Hesap Metotları	13
2.5.1.Tepkilerin bulunması	14
2.5.2. Çubuklardaki normal kuvvetlerin bulunması	14
2.5.3. Düğüm kesme metodu	15
2.5.4. Kesim (Ritter) yöntemi	16
2.5.5. Karmaşık kafes sistemlerin hesaplanması	17
2.6. Kafes Sistemlerin Hareketli Yüklere Göre Hesap Metotları	18
2.6.1. Tesir çizgileri	19
2.6.2. Tesir çizgilerinin tayini	20
2.6.3.Kafes sistemlerin tesir çizgileri.....	24
3. BÖLÜM. SABİT YÜK ETKİSİNDEN KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER	25
3.1 Çözüm Yaklaşımları	25
3.2. Sabit Yükler Etkisinde Esas Kafes Kirişin Çubuklarındaki Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması	27
3.3. Sabit Yükler Etkisinde Karmaşık Kafes Kirişin Çubuklarındaki Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması	31
3.3.1. $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	31
3.3.2. $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	34
3.3.3. $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	38
3.3.4. $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	42
3.3.5. Sabit yük etkisinde esas kafes kiriş ve karmaşık kafes kirişin çubuk kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması	47

4.BÖLÜM. HAREKETLİ YÜK ETKİSİNDE KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER	64
4.1. Hareketli Yüke Göre Esas Kafes Kirişin Çubuklarındaki Normal Kuvvetlerin Tesir Çizgilerinin Çizilmesi Ve Sabit Yüke Göre Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması	64
4.2. Hareketli Yüke göre Karmaşık Kafes Kirişin Çubuklarındaki Normal Kuvvetlerin Tesir Çizgilerinin Çizilmesi Ve Sabit Yüke Göre Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması	68
4.2.1. $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	68
4.2.2. $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	73
4.2.3. $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	79
4.2.4. $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması	84
4.2.5. Sabit ve hareketli yükler etkisinde karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri sonuçlarının karşılaştırılması	89
4.2.6. Matlab bilgisayar programı kullanılarak sabit yük etkisinden karmaşık kafes kirişlerde sayısal çözümler	91
5.SONUÇ VE ÖNERİ	92
6.KAYNAKLAR	94
7.ÖZGEÇMİŞ	95
8.EKLER	

ÖZET

KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE KULLANILAN FARKLI KARMAŞIK ELEMENLARIN ÇUBUK KUVVETLERİNE ETKİSİNİN STATİK ANALİZİ

Yelda AKAY

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sahavat HANALİ

2011, 95 sayfa

Bu çalışmada sabit ve hareketli yük etkisindeki karmaşık kafes kirişlerde farklı karmaşık elemanların kullanımının çubuk kuvvetlerine etkisinin statik analizinin yapılması amaçlanmıştır.

Esas sistem, $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması, $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması, $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması, $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hallerine göre; Ritter ve Simpson yöntemlerini uygulayarak kafes kirişlerde oluşan çubuk kuvvetleri değerleri bulunmuştur; incelemede MATLAB bilgisayar programı kullanılmıştır.

Dış ve iç karmaşık elemanlı karmaşık kafes kiriş çubuklarında sabit ve hareketli yüklerden oluşan çubuk kuvvetleri karşılaştırıldığında, dış karmaşık elemanlı kafes kirişin çubuklarındaki normal kuvvetlerin içtekilere göre önemli derecede (ortalama %23,8) azaldığı görülmektedir.

Kafes kirişlerde farklı karmaşık elemanlara göre bulunmuş çubuk kuvvet değerleri karşılaştırılmış; sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kafes kiriş, sabit yük, hareketli yük, karmaşık eleman, izostatik kafes kiriş, hiperstatik kafes kiriş, ritter yöntemi, simpson yöntemi.

ABSTRACT

STATIC ANALYSIS OF THE ROD FORCES OF THE LATTICE BEAMS IN THE FACE OF USING DIFFERENT COMPLEX ELEMENTS

Yelda AKAY

Master of Science Thesis, Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sahavat HANALI

2011, 95 pages

The main aim of this study is to analyse the rod forces of the lattice beams by using complex elements inside and outside of the lattice under stationary and moving loads.

The main lattice system is changed by adding complex elements inside and outside of the cage beam. Hence, four different lattice beams were made as follows: Lattice beam together with complex elements inside of the lattice in $h/2$ height; lattice beam together with complex elements of the lattice in $h/2$ height; lattice beam together with complex elements outside of the lattice in $h/4$ height; lattice beam together with complex triangular elements outside of the lattice in $h/4$ height lattice beams were computed in Matlab by using Ritter and Simpson methods.

Under stationary and moving loads the normal forces of the rods in different lattice beams were compared. It was seen that the normal forces of the bars of the lattice beams which has complex elements outside the lattice decreased significantly (average %23.8) in comparison with the lattice beams which has complex elements inside of it.

The rod load forces of the main lattice beam and lattice beams together with complex elements were compared and results were presented in tables and graphics.

Key words: Lattice beam, stationary load, moving load, complex element, isostatic lattice beam, hyperstatic lattice beam, Ritter method, Simpson Method.

TEŐEKKÖR

Bu alıőmada bana bilgi ve tecrübeleriyle yardımcı olan danışman hocam Doç.Dr.Sahavat HANALI'ye teőekkör ve saygılarımı sunarım.

Sivas-2011

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	a) Perçinli birleşim ve b) Kaynaklı birleşim	5
Şekil 2.2.	Şekillerine göre kafes sistemler	6
Şekil 2.3.	Dikim çubuklarına göre kafes sistemler	7
Şekil 2.4.	Tabliyenin yerine göre kafes kirişler	7
Şekil 2.5.	kafes kiriş elemanlarının adlandırılması	8
Şekil 2.6.	Başlangıç üçgeni ve kafes sistem	9
Şekil 2.7.	Dıştan statikçe belirsiz kafes sistem	9
Şekil 2.8.	İçten statikçe belirsiz kafes sistem	10
Şekil 2.9.	Dıştan ve içten statikçe belirsiz kafes sistem.....	10
Şekil 2.10.	a,b- Karmaşık kafes sistemler	10
Şekil 2.11.	a- Bir katlı karmaşık eleman(Şprengel), b- İki katlı karmaşık eleman(Şprengel), c- Üçgen şekilli karmaşık eleman (Şprengel)	11
Şekil 2.12.	a- Üst başlık üzerine yüklenmiş b- alt başlık üzerine yüklenmiş kafes sistem	12
Şekil 2.13.	a) Karmaşık kafes sistem; b) Esas kafes kiriş	12
Şekil 2.14.	a,b,c,d)şprengeller	13
Şekil 2.15.	Eksenel kuvvetlerde işaret kuralı	14
Şekil 2.16.	Kafes kirişte düğüm kesimi	15
Şekil 2.17.	A düğümü dengesi	16
Şekil 2.18.	kesim yöntemiyle hesaplanması	17
Şekil 2.19.	a)Karmaşık kafes sistem ; b) esas kafes sistem	17
Şekil 2.20	Karmaşık eleman	18
Şekil 2.21.	Birim düşey kuvvet etkisi	20
Şekil 2.22.	Birim moment etkisi	20
Şekil 2.23.	Düşey birim kuvvet için tesir çizgisi	22
Şekil 3.1.	a) Esas kafes kiriş; b,c,d,e) Karmaşık kafes kirişler.....	26
Şekil 3.2.	Sabit yük etkisinde esas kafes kirişte yük durumu	27
Şekil 3.3.	A düğümü dengesi	27
Şekil 3.4.	Esas kafes kirişin I-I kesimi	27
Şekil 3.5.	Esas kafes kirişin II-II kesimi	28
Şekil 3.6.	Esas kafes kirişin III-III kesimi	28
Şekil 3.7.	Esas kafes kirişin IV-IV kesimi	29
Şekil 3.8.	Esas kafes kirişin V-V kesimi	29
Şekil 3.9.	Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu	31
Şekil 3.10.	Karmaşık elemanın yük durumu	31
Şekil 3.11.	Karmaşık elemanda A düğümü dengesi	32
Şekil 3.12.	Karmaşık elemanın I-I kesimi	32
Şekil 3.13.	Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu	34
Şekil 3.14.	Karmaşık elemanın yük durumu	35
Şekil 3.15.	A düğümü dengesi	35
Şekil.3.16.	Karmaşık elemanın I-I kesimi	35
Şekil 3.17.	Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu	38
Şekil 3.18.	Karmaşık elemanın yük durumu	39
Şekil 3.19.	Karmaşık elemanın A düğümü dengesi	39
Şekil 3.20.	Karmaşık elemanın I-I kesimi	40
Şekil 3.21.	Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu	42
Şekil 3.22.	Karmaşık elemanın yük durumu	43
Şekil 3.23.	A düğümü dengesi	43
Şekil.3.24.	Karmaşık elemanın I-I kesimi	43

Şekil 3.25.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{A8} çubuklarının grafik olarak kıyaslaması	53
Şekil 3.26.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{A8} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması	55
Şekil 3.27.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması	57
Şekil 3.28.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması.....	59
Şekil 3.29.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması	61
Şekil 3.30.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması	63
Şekil 4.1.	Hareketli yük etkisinde esas kafes kiriş	64
Şekil 4.2.	a- Esas kafes kiriş; b,c,d,e,f -Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	65
Şekil 4.3.	a- Esas kafes kiriş; b,c,d,e,f,g- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	66
Şekil 4.4.	a- Esas kafes kiriş; b, c, d- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	67
Şekil 4.5.	Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş.....	68
Şekil 4.6.	Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman	69
Şekil 4.7.	a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g, -Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	69
Şekil 4.8.	a-Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	71
Şekil 4.9.	a-Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g, h, ı, i- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	72
Şekil 4.10.	Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş.....	73
Şekil 4.11.	Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman	74
Şekil 4.12.	a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	75
Şekil 4.13.	a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	77
Şekil 4.14.	a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	78
Şekil 4.15.	Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş.....	79
Şekil 4.16.	Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman	80
Şekil 4.17.	a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	80
Şekil 4.18.	a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	82
Şekil 4.19.	a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	83
Şekil 4.20.	Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş.....	84
Şekil 4.21.	Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman	85
Şekil 4.22.	a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g, h- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	85

Şekil 4.23.	a- Karmaşık kafes kiriş b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	87
Şekil 4.24.	a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri	88

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Esas kafes kirişin sayısal uygulaması	30
Çizelge 3.2.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.9'da görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	33
Çizelge 3.2' nin devamı;	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.9'da görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	34
Çizelge 3.3.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.13'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	37
Çizelge 3.3' nun devamı;	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.13'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	38
Çizelge 3.4.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.17'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	41
Çizelge 3.4' nün devamı;	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.17'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	42
Çizelge 3.5.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.21'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	45
Çizelge 3.5'in devamı;	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.21'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri	46
Çizelge 3.6.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması	47
Çizelge 3.7.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması	48
Çizelge 3.8.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması	49
Çizelge 3.9.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması	50
Çizelge 3.10.	Sabit yükler etkisinden karmaşık kafes kirişlerde alt başlık çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	51
Çizelge 3.11.	Şekil 3.1'de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{A8} çubuklarının kıyaslaması	52
Çizelge 3.12.	Şekil 3.1'de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{A8} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	54
Çizelge 3.13.	Şekil 3.1'de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	56
Çizelge 3.14.	Şekil 3.1'de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	58

Çizelge 3.15.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	60
Çizelge 3.16.	Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması	62
Çizelge 4.1.	Esas kafes kirişin alt başlık çubuklarının sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması	89
Çizelge 4.2.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması	89
Çizelge 4.3.	Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması	90
Çizelge 4.4.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması	90
Çizelge 4.5.	Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması	91

SİMGELER DİZİNİ

c	Çubuk sayısı
d	Düğümün sayısı
m	Mesnet bağları
D	Kafes kirişlerin diogonal çubuklar
U	Kafes kirişlerin alt başlık çubukları
U'	Karmaşık kafes kirişlerin alt başlık çubukları
V	Kafes kirişlerin dikme çubukları
\overline{O}	Kafes kirişlerin üst başlık çubukları
O'	Karmaşık kafes kirişlerin üst başlık çubukları
M_A	Eğilme momenti
V_A	Kesme kuvveti
N	Çubuk kuvvet değerleri,KN
P	Düğüm noktalarına etkiyen yük,KN
h	Kafes kirişin yüksekliği
L	Kafes kirişin açıklığı
η	Nümerik çarpan

1.BÖLÜM. GİRİŞ

Yapı ve köprü taşıyıcı sistemlerde açıklıklar büyüdükçe, sistem elemanlarına verilen kesitlerde büyümektedir. Dolu gövdeli sistemler belirli bir açıklığı geçince sadece kendi ağırlığından meydana gelen yükleri ancak taşıyabilirler hatta kendi ağırlıklarını dahi taşıyamazlar. Bu durumda kirişin zati ağırlığını azaltmak için çubuğun rijitliğini ve mukavemetini fazla etkilemeyen orta kısımlar boşaltılarak dolu gövdeli I kirişleri elde edilir. Daha büyük açıklıklarda kirişin boyuna doğrultularında da boşluklar oluşturularak petek kirişler ve bu boşluklar daha da genişletilerek kafes kirişler elde edilir [Çakıroğlu, Çetmeli, 1983].

Kafes kirişler doğru eksenli çubuk sistemlerin uçlarında momente karşı mukavemeti olmayan mafsallarda birleşiminden meydana gelen taşıyıcı sistemler olup dolu gövdeli kirişlere kıyasla daha hafif ve daha ekonomiktir [Chali,1977].

Kafes sistemler çoğunlukla çelik ve ahşap malzemedden inşa edilirler. Sistemlerde çubuklar, üçgen gözler oluşacak şekilde teşkil edilirler, zira dört düğüm noktası mafsallı olan bir dörtgen veya daha fazla kenarlı sistemler taşıyıcı stabil bir sistem değildir. Halbuki üç düğümü mafsallı bir üçgen sistem stabil bir sistemdir [Ekiz,2008].

Kafes sistemler köprülerde özellikle demiryolu köprülerinde yaygın olarak kullanılır. Büyük açıklıklı diğer yapı sistemlerinde de kullanıldığı gibi çatılarda sürekli olarak kullanılmaktadır. Ayrıca enerji nakil hattı direklerinde, mikro dalga antenlerinde v.s. de kullanılmaktadır.

Kafes kirişlerin çubukları düğümlerde rijit olarak kaynak veya perçinle birleştirilirler. Hesaplamaları basitleştirmek için çubukların düğümlerde mafsallarla birleştirildiği kabul edilir. Böylece kafes kirişin “hesaplama şeması” elde edilir. Deneylerden elde edilen bilgilere göre, hesaplama şeması çubuklarında oluşan çubuk kuvvetleri düğümlerde rijit olarak birleştirilen kafes kirişlerdekinden %15 kadar farklı olur. Öyleyse rijit düğümlerin mafsallı düğümlere değiştirilmesinde bir sakınca bulunmamaktadır [Butenko,1980].

Kafes kirişler projelendirildiğinde, düğüm birleşmelerinin karma alınmasına yol vermemek için, köşegen çubukları ile başlık çubuklarının 45° açığa yakın olması gerekmektedir. Buna göre açıklıkların uzunluğu kafes kirişin yüksekliğine bağlı olarak alınır [İnan,1986].

Yatay izdüşümünün uzunluğu 6 m’ yi geçen çubuklarda, çubukların kendi ağırlıklarından oluşan eğilme momentleri de göz önünde tutulmalıdır. Bu nedenle

çubukların arasındaki açılar çok küçük olmamalıdır. Dar açılar mümkün olduğunca 60° , değilse $30^\circ \sim 60^\circ$ arasında kalacak şekilde düzenlenmelidir [Ekiz,2008].

Dış münferit kuvvetler kafes kirişin hesaplama şemasında düğümlerin merkezine uygulandığı için, tüm çubuklarda çubuk kuvvetleri çubuk eksenleri doğrultusunda olup, çubuklarda basınç veya çekme oluşur [Aykurt,1973].

Düşey kuvvetler etkisinden kafes kirişlerin alt ve üst başlık çubuklarında dikim çubuklarına göre, değerce daha büyük normal kuvvetler oluşur. Büyük açıklıklı kafes kirişlerin başlık çubuklarındaki kuvvetleri azaltmak için, kafes kirişin yüksekliğini büyütme gerekir [Hanali,2003].

Konsollu karmaşık kafes kirişlerde, konsola uygulanmış kuvvetler etkisinden tepkilerde negatif (-) eğitici momentler oluştuğu için açıklık momentinin değerleri küçülür. Bundan kaçınmak yani konsollu kafes kirişlerin daha elverişli olması için mesnetlerde yüksekliği artırmaya, açıklıkta ise küçültmeye çalışılır [Kiselev,1986].

Düğümünden hariç yüklenmiş çatı makas kafes kirişlerde, eğilmeye yol vermemek için bazen üst başlık çubukları küçük kafes kirişler şeklinde yapılırlar. Böylece, kafes kirişin üst veya alt başlık çubuklarından bazılarının küçük kafes sistem ile değiştirilmesi sonucu karmaşık kafes sistemi elde edilir [Darkov,1986].

Kafes kirişlerde dış yükler etkisinden alt başlık çubuklarının eğilmemesi için, alt başlık çubuğunun her biri küçük kafes kirişler gibi projelendirilir ve enine kirişler bunların düğümleri üzerine yerleştirilir [Kasımzade,2004].

Köprü kafes kirişlerinde düğümler arası yatay uzaklıklar çok büyük olduğu için, kafes sistemin çok ağır olmasına neden olur. Bunu aradan kaldırmak için uzun bölge kafes kirişlerde ek düğümler oluşturmak için karmaşık elemanlar(şprengeller) kullanılır [Rabinoviç,1980].

Karmaşık kafes sistemlerde karma elemanların çubuklarındaki normal kuvvetler karmaşık elemanlara uygulanmış yerel kuvvetlerden ve onun oku doğrultusunda etki gösteren kuvvetlerden oluşur. Karmaşık elemana uygulanmış dış kuvvetler paralel olmadığında bunun uç düğümlerindeki tepkilere öyle yön verilmelidir ki, bu tepkiler karmaşık eleman kuvvetlerini dengeleyebilsin [Çetmeli,1983].

Karmaşık kafes sistemlerde alt veya üst başlık çubuklarından herhangi biri karmaşık eleman ile aynı doğrultuda olduğunda, karmaşık kafes kirişin hesaplanması belirli derecede basitleşir. Dış kuvvetler yalnız esas kafes sistem düğümlerine

uygulandığında, karma elemanın başlık çubuklarından başka diğer çubuklarda normal kuvvetler sifıra eşit olur [Murathanlı,1982].

Bu çalışmada karmaşık kafes kirişlerde kullanılan farklı karmaşık elemanların sistemin çubuk kuvvetlerine etkisinin statik analizi incelenmiştir. Konuyla ilgili literatür taraması yapılmış ve bazı yayınlar elde edilmiştir.

Sorunun çözümü RİTTER ve SİMPSON yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tez çalışması için mühendislik problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılan MATLAB paket programı kullanılmıştır.

Çalışmanın birinci bölümünde kafes kirişler hakkında bilgi verilerek, problemin tanımı ve konu ile ilgili çalışmalar analiz edilmiştir. İkinci bölümde basit ve karmaşık kafes kirişler analiz edilerek, kafes kirişlerde çubuk kuvvetlerinin hesaplanması yöntemleri incelenmiş, hesaplamada kullanılan Düğüm kesme yöntemi, RİTTER (kesim) yöntemi, Bileşke kesmeler yöntemi, Kapalı kesme yöntemi ve Hareketli yüklere göre SİMPSON hesaplama yöntemi özetlenmiştir. Üçüncü bölümde sabit yük etkisinden, dördüncü bölümde ise hareketli yüke göre farklı karmaşık kafes kirişlerde sayısal çözümler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde ise çalışmaya ait sonuçlar ve öneriler ortaya konulmuştur.

2. BÖLÜM. KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ

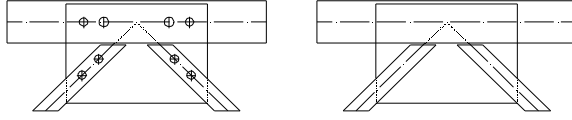
2.1. Giriş

Doğru eksenli çubukların düğümlerde birbirlerine uçlardan bağlanmasıyla oluşan geometrik değişmez sisteme kafes sistem denir.

Kafes sistemin çubuklarının birleşim yerlerine “düğüm noktaları” denir. Çubuk eksenlerini belirten doğru çizgilerden meydana gelen şekle “kafes kirişin sistem şekli” denir. Sistem çizgileri (çubuk eksenleri) düğüm noktalarında, geometrik anlamda bir noktadan kesiştirilerek çubuklara eksensel kuvvet gelmesi sağlanmış olur. Düğüm noktalarının teşkillerinde çubukların bileşimlerinin, kafes kiriş teorisindeki mafsal kabulüne uygun olmamasından dolayı meydana gelecek sekonder gerilmelerin ihmal edilebileceği teorik araştırmalar göstermiştir. [Deren,2002].

Kafes sistemin daha fazla yük taşıyabilmesi için yüklenmiş üst veya alt başlık çubuklarından bazılarının küçük kafes sistemi ile değiştirilmesi sonucu alınan sisteme “karmaşık kafes sistem” denir. Karmaşık sisteme geçmek için genel bir yol olarak; basit ya da bileşik esasla bir sistem kurulduktan sonra çubuk değiştirme kuralı ile bir ya da daha fazla sayıda çubuğun yeri değiştirilebilir. Şunu da hatırlatmak gerekir ki, bir basit ya da bileşik sistemin çubukları değiştirilirse daima karmaşık sistem doğmayabilir [Hanali,2003].

Kafes kiriş çubuklarının birbirine moment aktarmayan mafsalarda bağlı olduğu söylenmişse de bu ideal bir kafes sistem içindir. Gerçekte hemen hemen hiçbir düğüm sürtünmesiz mafsal değil, rijit bir düğüm noktasıdır. Çelik kafes kirişlerde çubuklar düğüm noktalarında perçin veya kaynaklarla birleşir ve bunlarda rijit düğüm noktalarıdır. Bu yüzden çubuklar moment tesirlerine de maruz kalırlar. Bu momentlerden meydana gelen gerilmelere sekonder gerilmeler denir. Ancak hesaplarda kolaylık bakımından çubukların sürtünmesiz mafsal ile birbirlerine bağlı olduğu kabul edilir. Bu kabul; eğer kafes sistemin çubukları arasındaki açılar 60° ise diğer bir deyişle kafes sistemi oluşturan paneller eşkenar üçgen ise ve çubuk elemanının kesiti kare veya daireye yakın ise gerçeğe çok yakındır. Fakat bu açılar 60° den farklı olması ve sistem de dar uzun kesitli çubukların kullanılması durumunda hatalı sonuçlar meydana gelmektedir. Fakat bazı kafes kirişlerde bu açılar konstrüksiyon gereği 20° ye kadar düşürülmektedir. Ancak bu türlü kafes sistemler daha ziyade hafif yük taşıyan çatı kafes kirişlerde kullanılmaktadır. Köprü kafes kirişlerde ise dikim çubukları arasındaki açı 30° den aşağı olmamalıdır [Ekiz,2008].



a) Perçinli birleşim

b) Kaynaklı birleşim

Şekil 2.1.a) Perçinli birleşim ve b) Kaynaklı birleşim

Kafes kirişlerde ikinci derece gerilmelerin meydana gelmemesi için:

- 1- Çubuk eksenleri ve dış kuvvetler aynı düzlem içinde bulunmalıdır.
- 2- Çubukların eksenleri doğru olmalıdır ve düğümdeki çubukların eksenleri bir noktada birleşmelidir. Büyük taşıyıcı sistemlerde, örneğin köprülerde, üst ve alt başlık çubuklarının kesitlerinin kademeli olarak değiştirilmesi durumunda bu şart her zaman sağlanmayabilir. Bu durumda başlık çubukları eksenlerinin ortalaması alınarak hesap yapılabilir.
- 3- Yükler ve mesnet tepkileri düğüm noktalarına yüklenmelidir. Kafes aşıklarda ve kafes kren kirişlerinde olduğu gibi bazı özel durumlarında yükler düğüm noktalarının arasında da tesir edebilir. Bu durumda iki ucu mafsallı çubukta meydana gelecek eğilme momentleride boyutlandırmada dikkate alınmalıdır. Yatay izdüşümünün boyu 6 m'yi geçen çubuklarda çubukların kendi ağırlıklarından meydana gelen eğilme momentleride göz önünde tutulmalıdır.
- 4- Çubukların aralarındaki açılar çok küçük olmamalıdır. Dar açılar mümkünse 60, değilse 30-60 arasında kalacak şekilde düzenleme yapılmalıdır.

Yukarıda belirtildiği gibi kafes giriş düğüm noktaları mafsallı kabul edildiğine ve kuvvetlerde düğüm noktalarına etkidiğine göre kafes giriş çubuklarında kesme kuvveti ve eğilme momenti sıfır olacak sadece eksenel normal kuvvet meydana gelecektir [Ekiz,2008].

Genel olarak, bir kafes sistemin elemanları narindir ve çok küçük yanal yükler taşıyabilir; bundan ötürü bütün yükler, çubukların kendilerine değil, düğüm noktalarına uygulanmalıdır. İki düğüm noktası arasına bir münferit yük uygulanacağı zaman, ya da bir köprü kafes sistemi durumunda olduğu gibi kafes sistem tarafından bir düzgün yayılı yük taşınacağı zaman, enleme ve boylama kirişleri vasıtasıyla yükleri düğüm noktalarına iletecek bir tabliye döşemesi sistemi yapılmalıdır [Beer; Johnston,1998].

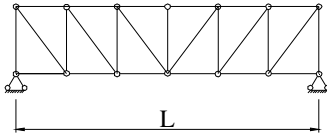
2.2. Kafes Sistemlerle İlgili Genel Bilgiler

2.2.1.Kafes sistemlerin sınıflandırılması;

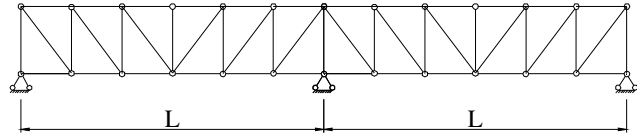
1- Düzlem kafes sistemler şekillerine göre ;

- kafes kirişler(basit kafes kiriş, konsol kafes kiriş, gerber kafes kiriş ve sürekli kafes kiriş) (Şekil 2.2.a,b)
- kafes kemer(Şekil 2.2.c)
- kafes çerçeveler(Şekil 2.2.d)

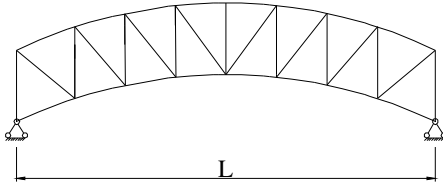
Bunların yükseklikleri sabit veya değişken olabilir.



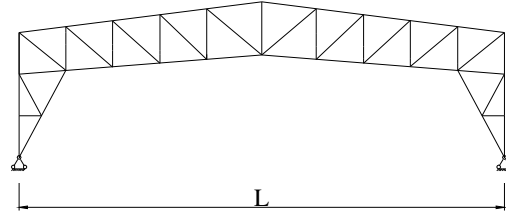
a)Basit kafes kiriş



b)Sürekli kafes kiriş



c)Kafes kemer

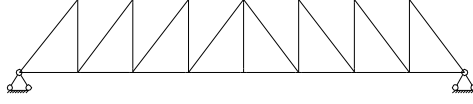


d)Kafes çerçeve

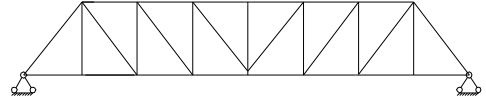
Şekil 2.2. Şekillerine göre kafes sistemler

2- Dikim çubuklarının teşkil tarzına göre ;

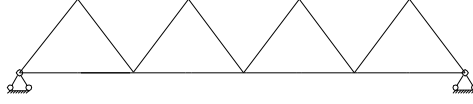
- Howe kafes kiriş (Şekil 2.3.a)
- N kafes kiriş (Şekil 2.3.b)
- Warren kafes kiriş (Şekil 2.3.c)
- K kafes kiriş (Şekil 2.3.d)
- Birleşik kafes kirişler (Şekil 2.3.e)
- Karmaşık kafes kirişler (Şekil 2.3.f)



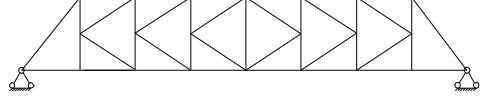
a)Howe kafes



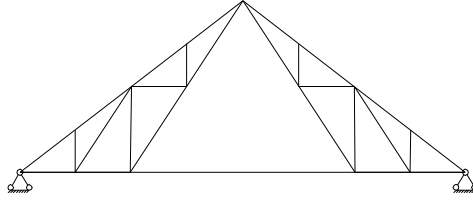
b)Pratt kafes



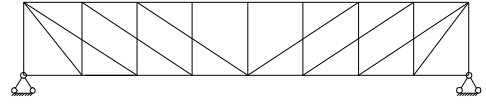
c)Warren kafes



d)K kafes



e)Birleşik kafes



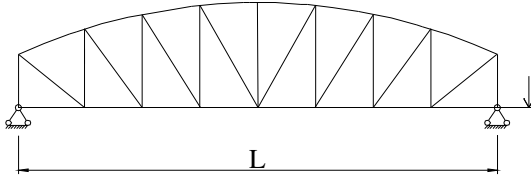
f)Karmaşık kafes

Şekil 2.3. Dikim çubuklarına göre kafes sistemler

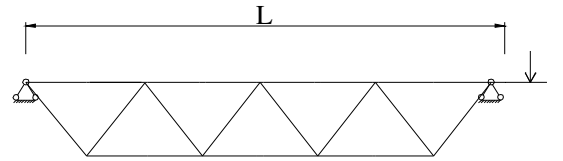
3- Köprü kafes kirişleri için tabliyenin (yolun) yerine göre ;

- Yolu alt başlıkta (Şekil 2.4.a)
- Yolu üst başlıkta (Şekil 2.4.b)

sınıflandırılabilir.



a) Yolu alt başlıkta



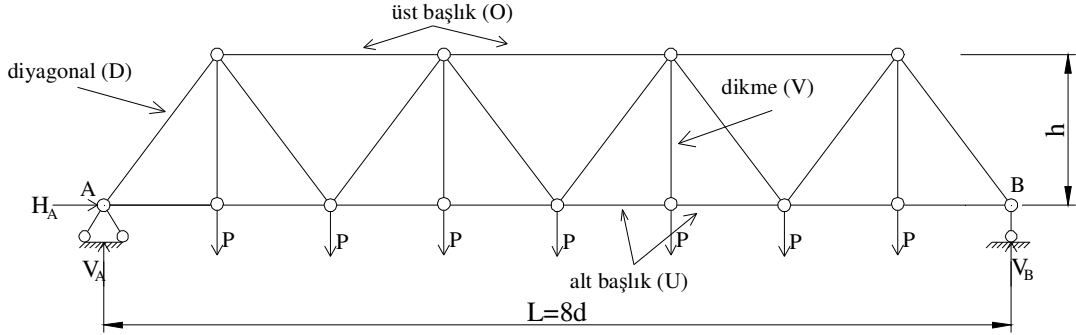
b) Yolu üst başlıkta

Şekil 2.4.Tabliyenin yerine göre kafes kirişler

2.2.2.Kafes kiriş çubuklarının isimleri ve gösterilişleri

Her kafes sistem, kendi düzleminde etkiyen yükleri taşıyacak şekilde projelenmiş olduğundan, ikiboyutlu bir sistem gibi ele alınabilir. Kafes sistemin açıklığı 'L', düğümler arası yatay uzaklık 'd' ile gösterilir. Üst başlık ve alt başlık çubukları arasında

kalan çubuklara dikim çubukları adı verilir. Bunlardan düşey olanlara dikme, eğim olanlara köşegen (diyagonal) denir. Kafes kirişlerin üst başlık çubukları 'O' ile, alt başlık çubukları 'U' ile, dikme çubukları 'V' ile, diyagonal çubuklar ise 'D' ile gösterilir. Kafes sistemin elemanlarının adlandırılması şekil 2.5. de gösterilmiştir [Hanali,2003].



Şekil 2.5. kafes kiriş elemanlarının adlandırılması

2.3. Kafes Sistemlerle İzostatik Olma Şartı

Kendi içinde tam bağlı her kafes sistemde, d toplam düğüm noktası sayısı ve c toplam çubuk sayısı olmak üzere ;

$$c=2d-3 \quad [2.1]$$

koşulu sağlanır. Dikkat edilirse bir basit kafes sisteme iki çubuk eklendiğinde düğüm noktası sayısı da bir tane artmaktadır. Ayrıca dışarıya mesnetleri ile bağlı bir rijit kafes sistemde düğüm noktası sayısı d, çubuk sayısı c ile bilinmeyen mesnet tepkisi sayısı m arasında yazılacak.

$$c=2d-m \quad [2.2]$$

eşitliğine rijitlik koşulu denir. Tam bağlı kafes sistemler $m=3$ için [2.1] ifadesini sağlar. Aynı şekilde tam bağlı bileşik ve karmaşık kafes sistemler içinde bu bağlantı geçerlidir [Çakıroğlu,1983].

2.4. Kendi İçinde Tam Bağlı Kafes Sistemler

Kendi aralarında tam bağlı kafes sistemlerin rijitlikleri kuruluş kuralları ile ilgilidir. Çünkü [2.1.] denklemi gerektir. Fakat yeter bir şart değildir. Rijit bir kafes sistem teşkil edebilmek için belli başlı üç yol vardır, bunlarla kurulan tam bağlı sistemlere

- Basit kafes sistemler

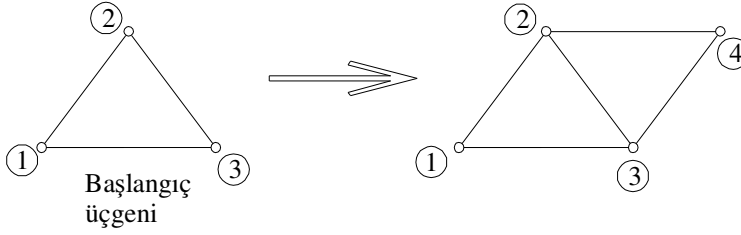
b) Hiperstatik kafes sistemler

c) Karmaşık kafes sistemler

adı verilir. [İnan,1999]

2.4.1. Basit kafes sistemler

Üç çubuk ile üç düğüm noktasından oluşan ve şekil 2.6.deki başlangıç üçgeninden hareketle, buna iki çubuk ile bir düğüm noktası ilave edilerek geliştirilen kafes sistemlere denir. Bu işlem yapılırken düğüm noktası ile çubukların bir doğru üzerinde olmamasına dikkat edilmelidir.

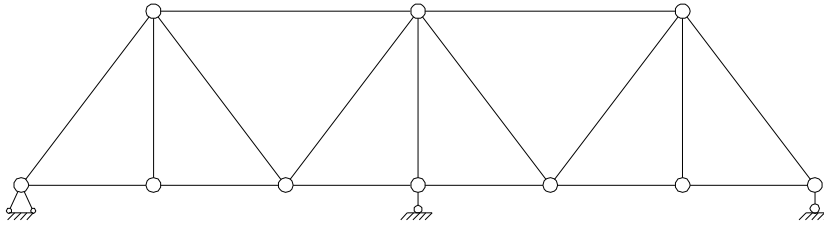


Şekil 2.6. Başlangıç üçgeni ve kafes sistem

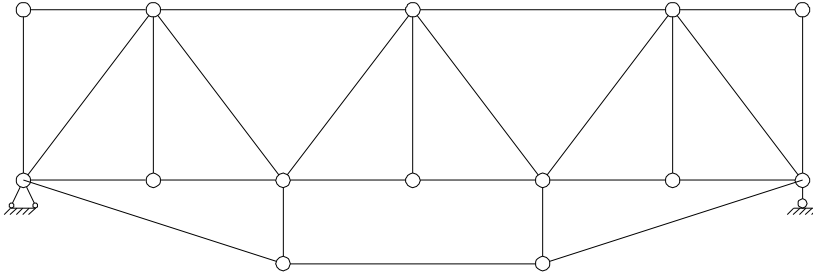
2.4.2. Hiperstatik kafes sistemler

Pratikte statikçe belirli kafes sistemlerle birlikte, statikçe belirsiz kafes sistemlerde geniş kullanılır. Bazı statikçe kafes kiriş türleri şekil 2.7, şekil 2.8, şekil 2.9'da gösterilmiştir.

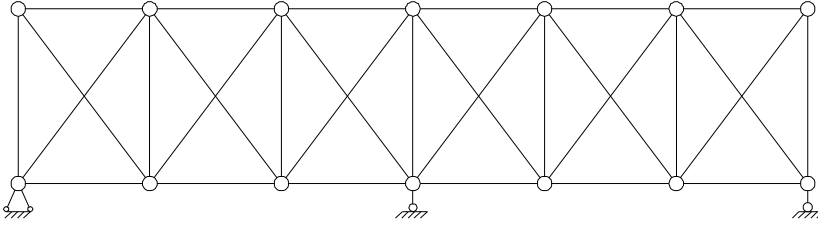
Görüldüğü gibi şekil 2.7'deki kafes kirişin benzer statikçe belirli kafes kirişden farkı fazla mesnet bağı şekil 2.8 de fazla çubukları şekil 2.9' de ise fazla mesnet bağları ve çubukları oluşmasıdır. Buna göre şekil 2.7'deki kafes kirişe dıştan statikçe belirsiz; şekil 2.8'dekine içten, şekil 2.9'dakine ise dıştan ve içten statikçe belirsiz kafes kirişler denir.



Şekil 2.7. Dıştan statikçe belirsiz kafes sistem



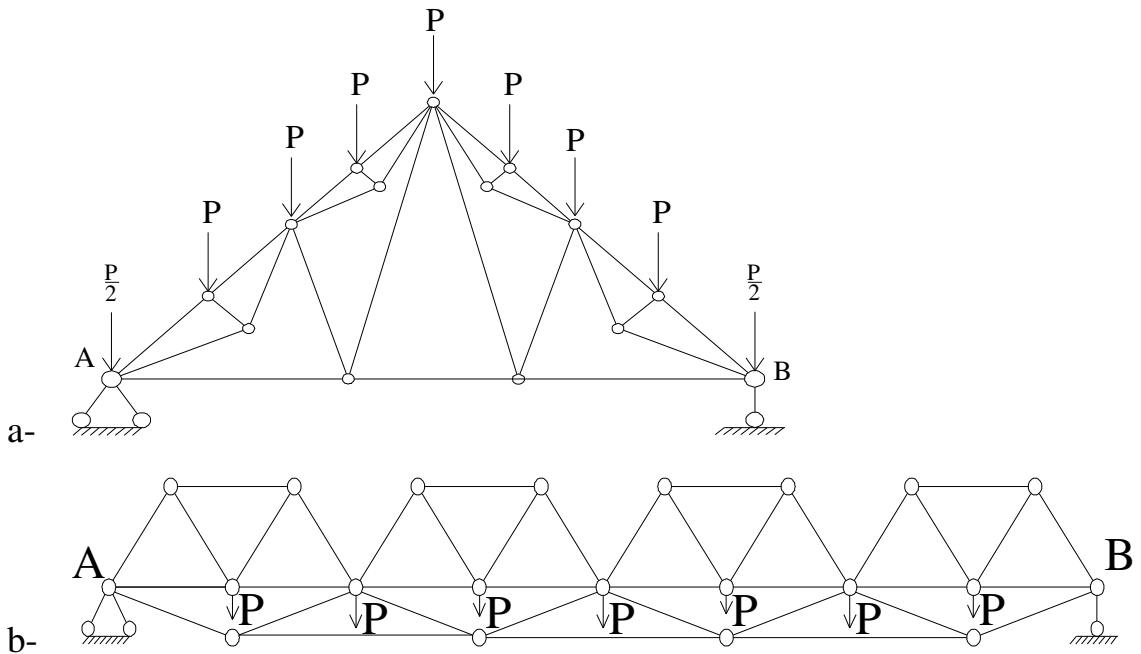
Şekil 2.8. İçten statikçe belirsiz kafes sistem



Şekil 2.9. Dıştan ve içten statikçe belirsiz kafes sistem

2.4.3. Karmaşık kafes sistemler

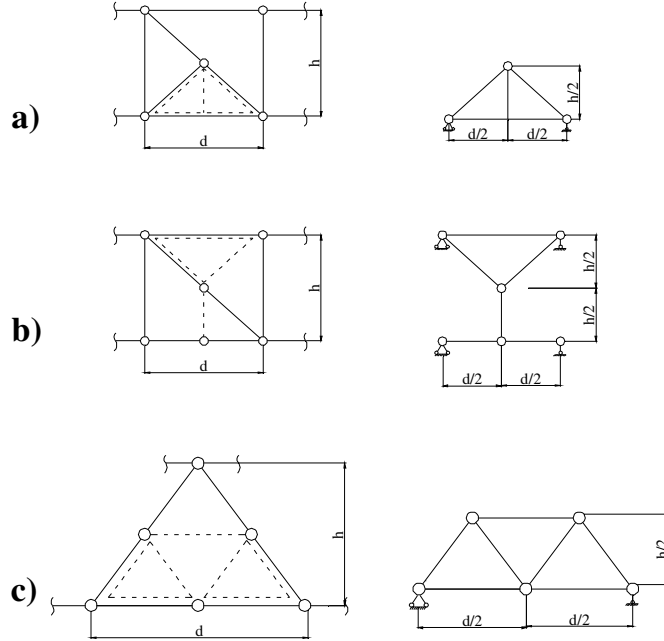
Kafes sistemin daha fazla yük taşıyabilmesi için yüklenmiş üst veya alt başlık çubuklarından bazılarının küçük kafes sistemi ile değiştirilmesi sonucu alınan sisteme karmaşık kafes sistem denir. Örnek olarak iki karmaşık kafes kiriş şekil 2.10'de gösterilmiştir.



Şekil 2.10. a,b- Karmaşık kafes sistemler

Karmaşık kafes sistemlerde kullanılan karmaşık elemanlar üç türe ayrılır; bir katlı, iki katlı ve üçgen şekilli olmak üzere karmaşık sistemlerin çubukları aşağıdaki türlere ayrılır:

- 1) Yalnız esas kafes sisteme ait olan çubuklar (Şekil 2.11’de düz çizgi ile gösterilmiştir). Bu çubuklara karmaşık elemanlar etki göstermezler;

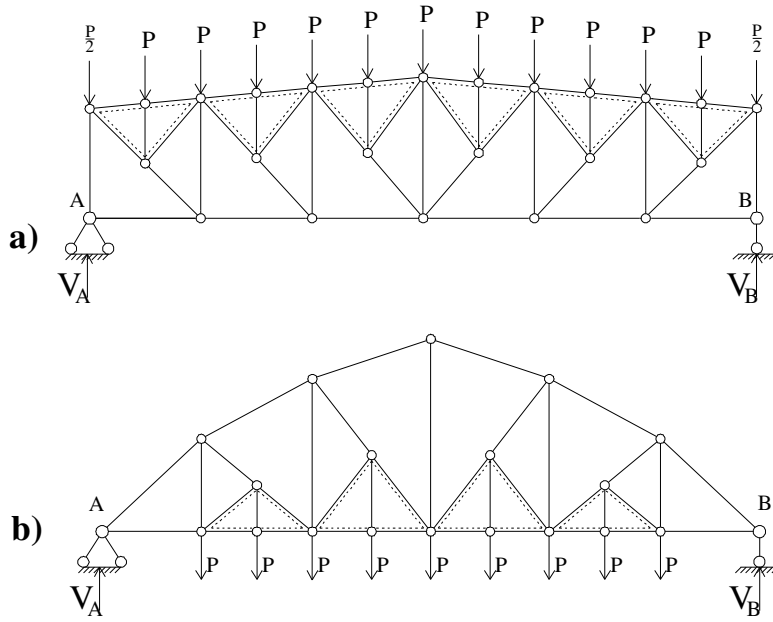


Şekil 2.11. a- Bir katlı karmaşık eleman(Şprengel), b- İki katlı karmaşık eleman(Şprengel), c- Üçgen şekilli karmaşık eleman (Şprengel)

- 2) Yalnız karmaşık elemana ait olan çubuklar (Şekil 2.11’de kesik çizgi ile gösterilmiştir);
- 3) Esas kafes sistem ve karmaşık eleman etkisinde birlikte bulunan çubuklar aralıksız ve aralıklı paralel çizgilerle gösterilmiştir(Şekil 2.11’de aralıksız ve aralıklı paralel çizgilerle gösterilmiştir);
- 4) İki katlı karmaşık elemanları olan karmaşık sistemlerin dikme çubukları.

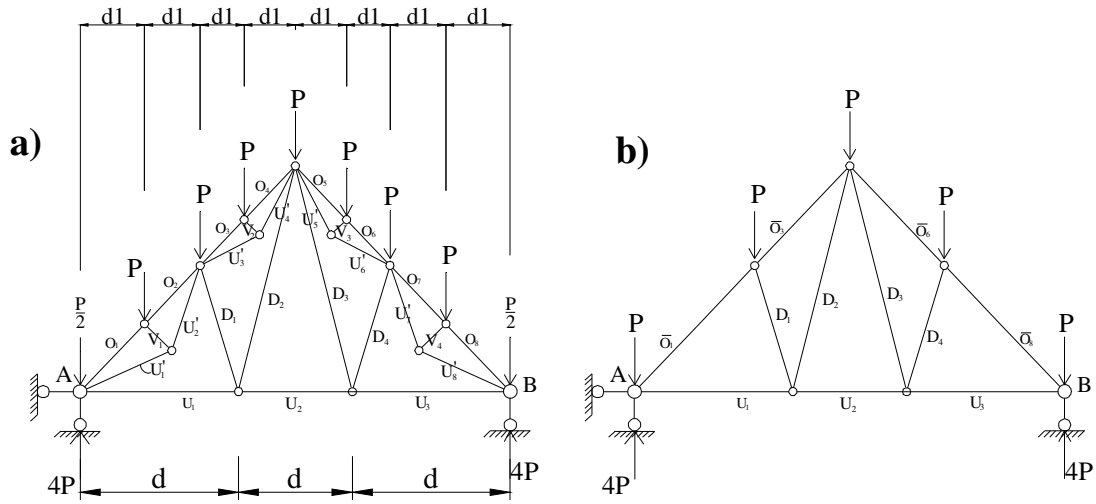
Karmaşık elemanlar yalnız yerel kuvvetler için çalışıp; yükleri sol ve sağ düğümlere aktarırlar. Karmaşık kafes sistemde karmaşık eleman doğru eksenli çubukla değiştirildiğinde, elde edilen sisteme esas kafes sistem denir.

Kafes sistemlerde yüklerin üst veya alt başlık düğümlerinden başka ara noktalara da eklenmesi gerektiğinde karmaşık kafes sistemler kullanılır(Şekil 2.12.).



Şekil 2.12. a- Üst başlık üzerine yüklenmiş b- alt başlık üzerine yüklenmiş kafes sistem

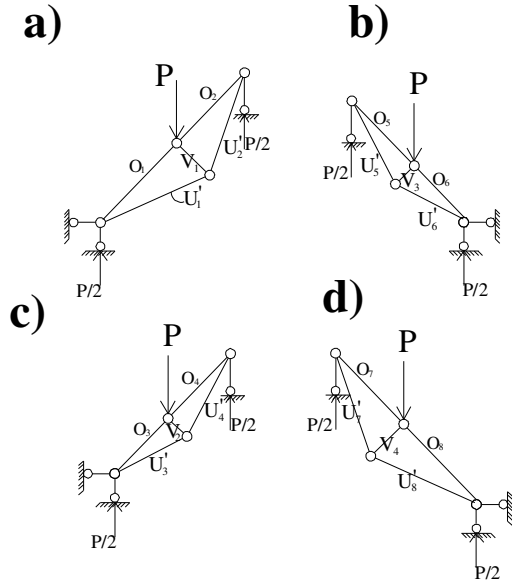
Karmaşık kafes sistemlerini analitik hesaplamak için; önce yerel kuvvet etkisinden doğan karmaşık elemanın tepkileri ve çubuk kuvvetleri bulunur. Sonra, esas kafes sisteme etki eden dış yüklerle birlikte karmaşık elemanların tepkilerine eşit yüklerin, uygun düğümlere ekleyip, çubuklardaki kuvvetler bulunur. Karmaşık kafes sistemin hesaplama düzeni Şekil 2.13 ve şekil 2.14'te gösterilmiştir.



Şekil 2.13. a) Karmaşık kafes sistem b) Esas kafes kiriş

Görüldüğü gibi, önce karmaşık sistem (Şekil 2.13-a), esas kafes sistem (Şekil-b) ve karmaşık elemanlara ayrılır(Şekil 2.14-a,b,c,d). Esas kafes sistem ve karmaşık

elemanları ayrı ayrı hesaplayarak çubuklardaki kuvvetler bulunur. Karmaşık sistemin çubuklarının türüne göre çubuklardaki kuvvetler bulunabilir:



Şekil 2.14. a,b,c,d)şprengeller

$U_1, U_2, U_3, D_1, D_2, D_3, D_4$, çubuk kuvvetleri esas kafes sistemin; $U'_1, U'_2, U'_3, \dots, U'_8$ ve V_1, V_2, V_3, V_4 çubuk kuvvetleri karmaşık elemanların hesaplanmasından bulunur.

Karmaşık elemanlar yerleştirilmiş üst başlık çubuklarındaki kuvvetler ise esas kafes sistemin ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplamı olarak;

$$\begin{aligned} O_1 &= \bar{O}_1 + O'_1 ; & O_5 &= \bar{O}_5 + O'_5 ; \\ O_2 &= \bar{O}_2 + O'_2 ; & O_6 &= \bar{O}_6 + O'_6 ; \\ O_3 &= \bar{O}_3 + O'_3 ; & O_7 &= \bar{O}_7 + O'_7 ; \\ O_4 &= \bar{O}_4 + O'_4 ; & O_8 &= \bar{O}_8 + O'_8 ; \end{aligned}$$

şeklinde bulunur.

2.5. Kafes Sistemlerin Sabit yüklere Göre Hesap Metodları

Kafes sistemin çubukları çekme veya basınç etkisinde olur. Dolayısıyla kafes sistemin çubuklarında yalnız normal kuvvetler meydana gelir. Dış yüklerin sadece sürtünmesiz kabul edilen mafsallara uygulanmaları ve genellikle çubuk ağırlığının da ihmal edilmesi nedeniyle kafes sistemlerde çubuk kuvvetleri aksenal normal kuvvet olmakta ve üzerlerinde de herhangi bir moment etkisi meydana gelmemektedir. Doğal olarak çubuk üstündeki aksenal kuvvetler de ya basınç ya da çekme olacaktır. Bu aşamada çubuk kuvvetleri için bir işaret kuralı vardır. Aksenal kuvvetlerde işaret

kuralına göre çekme kuvveti her zaman pozitif (+), basınç kuvveti de (-) alınır. Şekil 2.15 a ve b de gösterilmiştir [Hanali,2003].



Şekil 2.15. Eksenel kuvvetlerde işaret kuralı

Kafes sistem çubuklarının ağırlıklarının da, her çubuk ağırlığının yarısı çubuğun birleştirdiği iki düğüm noktasına gelecek şekilde, düğüm noktalarına uygulandığı kabul edilmiştir. Çubuklara gerçekte perçinli ya da kaynaklı birleşimlerle birleştirilmişlerse de çubukların mafsallı olarak birleştiğini kabul etmek adet olmuştur; bundan ötürü bir çubuğun her iki ucuna etkiyen kuvvetler bir tek eksenel kuvvet olur ve moment meydana gelmez. [Beer; Johnston,1998]

Çubukların eğilmemesi için:

- Çubukların eksenleri doğru olmalıdır.
- Çubuk eksenleri birbiriyle düğümün merkezinde birleşmelidir.
- Çubukların eksenleri ve dış kuvvetler aynı düzlem içinde bulunmalıdır.
- Dış kuvvetler düğüm noktalarına uygulanmalıdır.

Kafes sistemlerin çubuk kuvvetleri analitik ve grafik yöntemle hesaplanabilir.

2.5.1. Tepkilerin bulunması

Kafes kirişlerin mesnetlerinde oluşan tepkileri bulmak için statik denge denklemleri kullanılır. Yükler düşey olduğunda mesnetlere göre yazılmış $\sum M_A = 0$ ve $\sum M_B = 0$ denklemlerinden düşey V_A ve V_B tepkileri bulunur. Bulunmuş tepkilerin sağlaması için $\sum Y = 0$ denklemi kullanılır. Kafes kirişe etkiyen yük eğik olduğunda, onları düşey ve yatay bileşenlere ayırıp, $\sum X = 0$ denkleminde sabit mafsallı mesnetin tepkisinin yatay bileşeni bulunabilir.

2.5.2. Çubuklardaki normal kuvvetlerin bulunması

Kafes sistemin çubuklarındaki normal kuvvetleri bulmak için kesim metodu kullanılır; zihnen sistem kesilerek iki parçaya ayrılır. Parçalardan biri atılır. Dış kuvvetlerin ve atılan parçanın etkisini hesaba katmakla bilinmeyen kuvvetlerin etkisinde olan diğer parçanın dengesine bakılır, denge denklemi yazılır.

Denge denklemleri yazılırken, her denklemden birden fazla bilinmeyen olmamasını sağlamak gerekir.

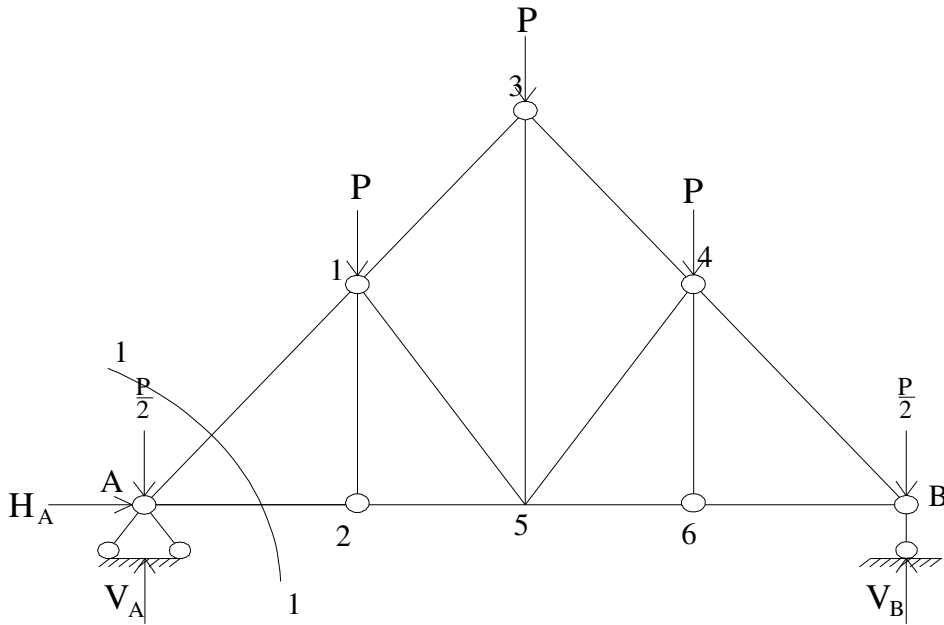
Kafes kirişin çubuklarındaki bilinmeyen normal kuvvetleri bulmak için;

- a-) Düğüm kesme yöntemi,
- b-) Kesim (RİTTER) yöntemi,
- c-) Bileşke kesmeler yöntemi,
- d-) Kapalı kesme yöntemi
- e-) Grafik yöntemler (Cremona- Maxwell ve Coulman yöntemi)

kullanılır.

2.5.3. Düğüm kesme yöntemi

Bu yöntem ile doğrultuları bir noktada bileşen dış ve iç kuvvetlerin dengesi incelenir. Skaler yönden düşünülürse, bir noktada kesişen kuvvetlerin denge şartı iki tanedir. Bu duruma göre, eğer bir düğüm noktasında nihayetlenen çubuklardan yalnız iki tanesi bilinmiyorsa onları sadece o noktanın denge şartlarından elde etmek mümkündür; problem, grafik yönden ele alınacak olursa, kapalı olması gereken bir kuvvetler çokgeninin, doğrultuları bilinen eksik iki kenarının belirtilmesinden ibarettir.



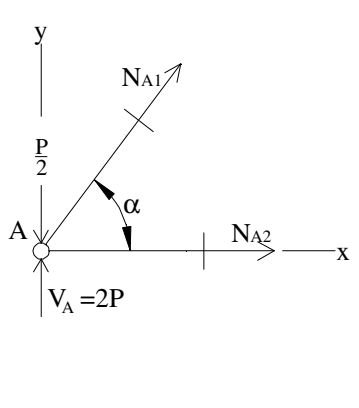
Şekil 2.16. Kafes kirişte düğüm kesimi

Bu yöntem basit bir tarzda kurulan kafes sistemlere uygulanacak olursa onlarda daima iki çubuklu bir düğüm noktasından çözüme başlamak ve bilinmeyen çubuk sayısı iki tane olan diğer bir düğüm noktasına geçmek ve bu suretle düğüm noktalarını

dolaşarak bütün çubuk kuvvetlerini ikişer ikişer çözmek mümkündür. Şekil 2.16. da A düğümü kesilerek dengesine bakılırsa ilk önce sistemin bilinmeyen tepkilerini bulmak gerekir.

$$\begin{aligned}\sum F_B = 0, & \quad H_A = 0, \\ \sum M_B = 0 & \quad V_A = 2P, \\ \sum M_A = 0 & \quad V_B = 2P\end{aligned}$$

Bu noktanın dengesi düşünüldüğünde A1 ve A2 çubuklarındaki kuvvetler bulunur.

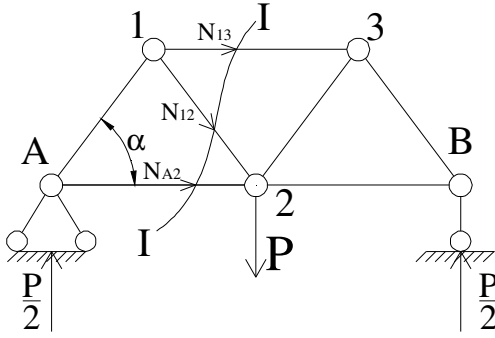


$$\begin{aligned}\sum Y = 0; & \quad N_{A1} \cdot \sin \alpha + V_A - \frac{P}{2} = 0 \\ & \quad N_{A1} = - \frac{V_A - \frac{P}{2}}{\sin \alpha} \\ \sum X = 0; & \quad N_{A2} + N_{A1} \cdot \cos \alpha = 0 \\ & \quad N_{A2} = \frac{V_A - \frac{P}{2}}{\cot \alpha}\end{aligned}$$

Şekil 2.17. A düğümü dengesi

2.5.4. Kesim (Ritter) yöntemi

Üç çubuğu keserek veya kaldırarak kafes sistemi iki rijit sisteme ayırmak ve kaldıran çubuk kuvvetlerini bu iki sisteme etkiyen dış kuvvet sayarak onların dengesini ayrıca incelemektir. Bu yöntem öncelikle birleşik sistemlere uygulanır. Çünkü bu kafes sistemler kuruluşu icabı üç çubuk kaldırılarak iki basit sisteme ayrılabilir. Mesela şekil 2.18. de görülen bileşik sistemin I-I kesimi ile onu rijit ve basit sisteme ayırmış oluruz. Şekil 2.18 de görüldüğü gibi kaldırılan çubuk kuvvetlerini düğüm noktalarına etkiyen kuvvetleri ile temsil edersek, dengede olması gerekir. Sistemin düzlemi üzerinde olan herhangi bir noktaya göre, dengede bulunan kafes sistem parçasına uygulanmış tüm kuvvetlerin momentlerinin toplamının sifıra eşit olması gerekir.



Şekil 2.18. kesim yöntemiyle hesaplama

Moment noktaları yöntemi ile şekil 2.18. de N_{13} , N_{A2} bulunur.

$$\sum M_2^{\text{sol}} = 0; \quad V_A \cdot d + N_{13} \cdot h = 0$$

$$N_{13} = -\frac{V_A \cdot d}{h}$$

$$\sum M_1^{\text{sol}} = 0; \quad V_A \cdot d/2 - N_{A2} \cdot h = 0$$

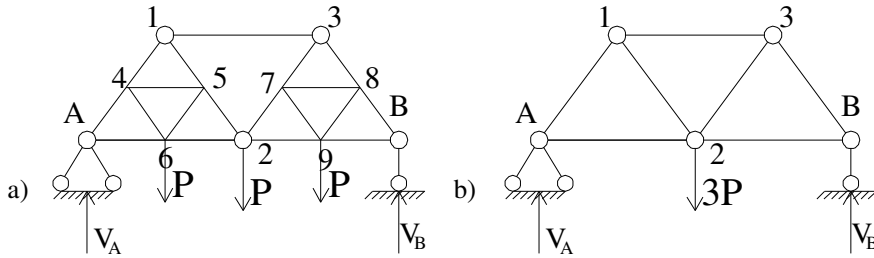
$$N_{A2} = \frac{V_A \cdot d}{2h}$$

İzdüşüm alma yöntemi ile şekil 2.18. de N_{12} bulunur.

$$\sum Y = 0; \quad V_A - N_{12} \cdot \sin \alpha = 0$$

$$N_{12} = \frac{V_A}{\sin \alpha}$$

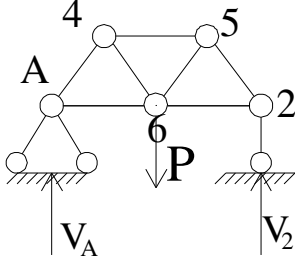
2.5.5. Karmaşık kafes sistemlerin hesaplanması



Şekil 2.19. a) Karmaşık kafes sistem b) esas kafes sistem

Karmaşık kafes sistemleri analitik hesaplamak için; önce onu basit sisteme getirmek gerekir. Dış yükler etkisinde esas kafes sistemde çubuk kuvvetleri bulunur. Karmaşık kafes giriş karmaşık elemanlarına ayrılarak dış yükler etkisinde karmaşık elemanlar çözülür. Şekil 2.19. a'da gösterilen karmaşık kafes sistem, Şekil 2.19. b de görülen esas sisteme getirilir. Dış yükler etkisindeki çubuk kuvvetleri N_{A1}^e , N_{A2}^e , N_{12}^e ,

N_{13}^e , N_{23}^e , N_{2B}^e , N_{3B}^e sayısal değerleri bulunur. Şekil 2.20. deki karmaşık elemanlara bölünerek N_{A4}^s , N_{A6}^s , N_{46}^s , N_{45}^s , N_{56}^s , N_{26}^s , N_{25}^s olarak normal kuvvetler bulunur.



Şekil 2.20 Karmaşık eleman

Esas kafes sistemin ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplamı olarak çubuk kuvvetleri;

$$N_{A1} = N_{A1}^e , N_{15} = N_{15}^e , N_{13} = N_{13}^e , N_{37} = N_{37}^e , N_{38} = N_{38}^e$$

$$N_{45} = N_{45}^s , N_{46} = N_{46}^s , N_{56} = N_{56}^s , N_{78} = N_{78}^s , N_{79} = N_{79}^s , N_{89} = N_{89}^s$$

$$N_{A4} = N_{A1}^e + N_{A4}^s , N_{25} = N_{12}^e + N_{25}^s , N_{A6} = N_{A2}^e + N_{A6}^s , N_{26} = N_{A2}^e + N_{26}^s$$

$$N_{27} = N_{23}^e + N_{27}^s , N_{B8} = N_{B3}^e + N_{B8}^s , N_{29} = N_{B2}^e + N_{29}^s , N_{B9} = N_{B2}^e + N_{B9}^s$$

bulunur.

2.6. Kafes Sistemlerin Hareketli Yüklere Göre Hesap Yöntemleri

Hareketli yük etkisine de maruz sistemlerin elemanları genel olarak iki şekilde boyutlandırılır.

- 1- Sistemin elemanları üzerinde yeteri kadar sık kesit göz önüne alınır ve her kesitte sabit ve hareketli yüklerden meydana gelen kesit tesirlerinin en büyük değerleri bulunur. Her kesit bulunan bu en büyük kesit tesirlerine göre boyutlandırılır. Doğal olarak bu durumda istemin elemanları değişken kesitli olur. Büyük açıklıklı sistemlerde bu yöntem kullanılır.
- 2- Sistemin herbir elemanında boyutlandırmaya esas olarak kesit tesirlerinin en büyük değeri bulunur ve eleman bu değer gözönüne alınarak boyutlandırılır. Bu durumda sistemin her bir elemanı sabit kesitli olur. Küçük açıklıklı sistemlerde bu yöntem kullanılır.

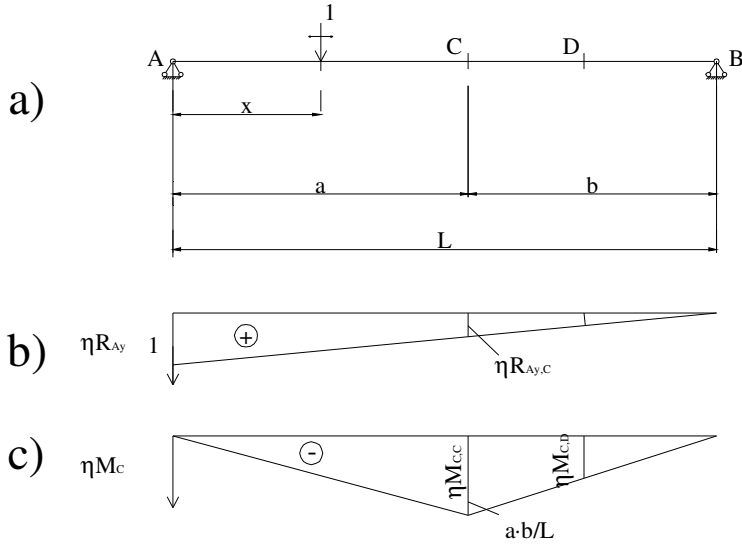
Burada en büyük veya en küçük mutlak değerce en büyük veya en küçük anlamındadır. Zira burada cebirsel işaretten çok elemana etkiyen statik büyüklüğün miktarı önemlidir. Örneğin aksenal kuvvet durumunda çekme veya basıncın en büyük değeri gözönüne alınır veya işaret değiştirilmesi durumunda diğer işaretli tesire göre de

sistem boyutlandırılacaktır. Örneğin betonarme bir kesitte en büyük eğilme momenti (+) işaretli ise donatı kesitin bakış yönü tarafına konur ancak en küçük eğilme momentide (+) ise bu değer göz önüne alınmayacak (-) işaretli ise bu değere göre kesitin bakış yönü tersi tarafına da donatı konulacaktır. Çoğu zaman en büyük anlamına maksimum ve en küçük anlamına minimum da kullanılır.

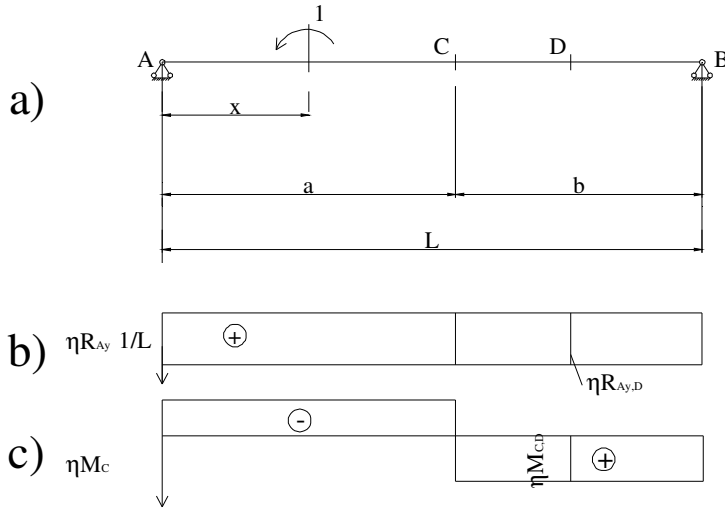
Sistemlerin çoğunda birçok yükleme şartı vardır. Örneğin hareketli trafik yükü köprünün elemanlarında yükün köprü üzerindeki konumuna göre farklı büyüklükte kesit tesirlerinin oluşmasına neden olur. Benzer şekilde ağır hareketli yük taşıyan yapı sistemi projelendirilirken, bu yükün farklı zamanlarda aynı kattaki farklı açıklıklara ve farklı katlara yüklenmelidir. Çoğunlukla bir elemanın aranılan kesit tesirinin en büyük değerinin hangi yükleme durumunda meydana geleceği açıkça belli değildir. Böyle bir durumda projeyi yapan kesit tesirleri üzerinde kritik olabilecek yük pozisyonunu ve kombinasyonunu araştırmalıdır. Bunun tespitinde genel olarak tesir çizgileri kullanılmaktadır.

2.6.1. Tesir çizgileri

Matematikte Green fonksiyonu olarak tanımlanan tesir fonksiyonu, sistem üzerinde belirli doğrultuda hareket eden 1 birimlik bir kuvvetten dolayı belirli bir kesitteki statik büyüklüğün (mesnet tepkisi, kesme kuvveti, eğilme momenti, normal kuvvet, deplasman) değişimini gösterir. Örneğin, basit kirişte mesnet tepkisi sadece yükün yerinin fonksiyonu olacaktır. Tesir fonksiyonu diyagramına “Tesir Çizgisi” denir. Tesir çizgisi sistem üzerinde belirli doğrultuda hareket eden kuvvetten belirli kesitte meydana gelen statik büyüklük bir birimlik yük hizasında ordinat olarak alınarak elde edilir. Şekil 2.21. ve Şekil 2.22’de birim düşey kuvvet etkisinde R_{AY} mesnet tepkisi ve C kesitindeki eğilme momenti tesir çizgisi verilmiştir. Şekil 2.21.b’de C kesiti hizasındaki $\eta_{R_{AY}C}$ bir birimlik düşey kuvvet C kesitinde iken A mesnedinde meydana gelen mesnet tepkisini, şekil 2.21.c.’de D kesiti hizasındaki $\eta_{M_{C,D}}$ bir birimlik düşey kuvvet D kesitinde iken C kesitinde meydana gelen eğilme momentini göstermektedir.



Şekil 2.21. Birim düşey kuvvet etkisi



Şekil 2.22. Birim moment etkisi

1 birimlik düşey kuvvet tesiri etkisinde mesnet tepkileri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetlerin tesir çizgileri boyutsuz moment mesnet tepkisi ve eğilme momentleri tesir çizgisi ordinatlarının birimi m'dir. Birim moment tesiri etkisinde, mesnet tepkileri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetlerin tesir çizgisi ordinatlarının birimleri 1/m, moment mesnet tepkisi ve eğilme momentinin birimleri boyutsuzdur.

2.6.2. Tesir çizgilerinin tayini

İzostatik sistemlerde kuvvetler için tesir çizgileri basit statik yöntemle bulunabilir. Analitik yöntem;

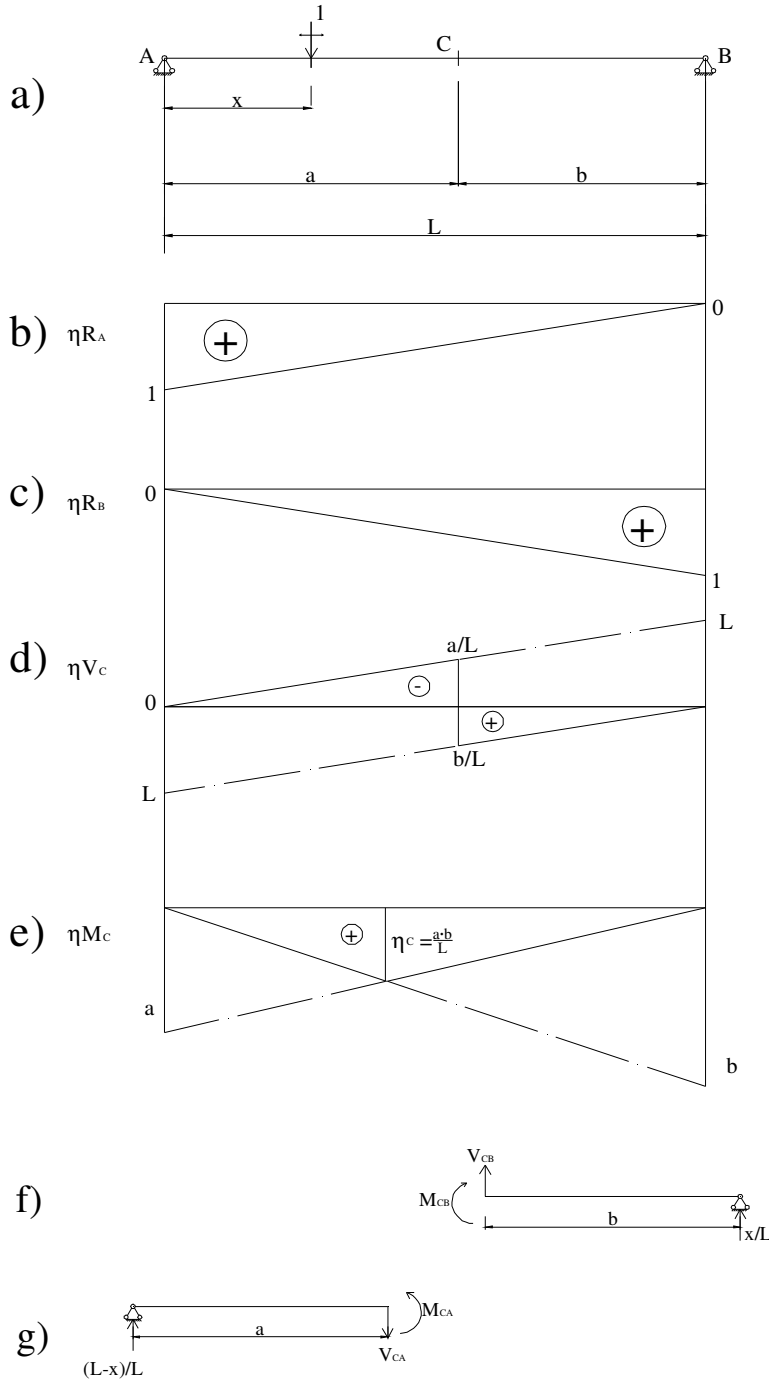
Belirli bir kesitteki bir statik büyüklüğe ait tesir çizgisini elde etmek için sistem üzerinde belirli bir doğrultuya paralel 1 birim şiddetinde bir kuvvet alınır ve bu kuvvetin yeri sistemde herhangi bir noktadan x uzaklığı ile belirlenir. Bu 1 birim yük-sabit yükümü gibi düşünülerek aranılan kesitteki statik büyüklük x 'e bağlı olarak yazılır. 1 birimlik kuvvet kendisine paralel olarak hareket ettiği zaman x değişken olacağından x 'e bağlı statik büyüklük tesir çizgisinin fonksiyonunu vereceğinden bu fonksiyon çizilerek tesir çizgisi elde edilir. Çoğu kez statik büyüklükler bir tek fonksiyonla ifade edilemezler. Bundan dolayı bu fonksiyon geçerli olacağı her bölge için ayrı ayrı yazılmalıdır.

Statik büyüklüğe ait tesir fonksiyonu yazılırken sistem statik büyüklüğü aranılan kesitten ikiye ayrılmış gibi düşünülür. Dış etki kesim yapılan kesitin solunda ise, denge sağda kalan kısım üzerinde düşünülür ve böylece solda kalan kısmın tesir çizgisi bulunur. Dış etki kesim yapılan kısmının sağında ise denge solda kalan kısım üzerinde düşünülerek sağdaki kısma ait tesir çizgisi elde edilir. Ancak konsol kirişlerde her zaman için kesim yapılan kesit ile serbest uç arasındaki kısmın dengesi düşünülmelidir. Zira mesnetle kesim yapılan kısım arasında denge düşünülürken kirişin mesnet tepkileride hesaba dahil olacak halbuki diğer durumda sadece dış kuvvetle işlem yapılacaktır.

İzostatik sistemlerde kesit tesirleri ve mesnet tepkilerinin tesir çizgileri doğrusal (lineer) olduğundan tesir çizgilerinin belirlenmesinde birkaç özel kesitte ordinatların hesaplanması yeterlidir.

Diyagramlar genellikle pozitif ordinatlar bakış yönü tarafında olacak şekilde çizilir.

Şekil 2.22'de görülen basit kirişte düşey birim kuvvet için R_A , R_B mesnet tepkisi, V_C kesme kuvveti ve M_C eğilme momenti tesir çizgisi çizilmiştir.



Şekil 2.23. Düşey birim kuvvet için tesir çizgisi

Mesnet tepkileri;

$$\sum M_B = 0 \text{ şartından}$$

$$R_A = \frac{L-x}{L}$$

$$\eta R_{AY} = \frac{L-x}{L}$$

yazılır.

Burada $x=0$ için $n_A=1$

$x=L$ için $n_B=0$ bulunur. A mesnedinden 1 ve B mesnedinden sıfır alınıp iki nokta birleştirilerek ηR_A elde edilir.(şekil 2.23.b)

$\sum M_A = 0$ şartından

$$R_B=1 \cdot \frac{x}{L}; \eta R_B = \frac{x}{L}$$

$x=0$ için

$n_A=0$; $x=L$ için $n_B=1$

bulunur. Bunlara göre ηR_B diyagramı şekil 2.23.c.'de görüldüğü gibi çizilir.

Kesme kuvveti ve eğilme momenti

Yük AC arasında ($0 < x < a$) iken C kesitinden kesim yapılır ve sağdaki CB sisteminde (şekil 2.23.f) denge şartı yazılarak

$$V_{CB} = -R_B$$

$$\eta V_{CB} = -\frac{x}{L}$$

$$M_{CB} = R_B \cdot b \text{ ve } \eta M_{CB} = \left(\frac{x}{L}\right) \cdot b$$

elde edilir.

Kesme kuvvetinde

$x=0$ için; $\eta V_{CB,A} = 0$

$$x=a \text{ için; } \eta V_{CB,C} = -\frac{a}{L}$$

$x=L$ için; $\eta V_{CB,B} = -1$ (geçersiz)

elde edilir ve bu değerlere göre V_C kesme kuvvetinin A ile C arasındaki tesir çizgisi şekil 2.23.d'de görüldüğü gibi çizilir.

Eğilme momenti

$x=0$ için; $\eta M_{CB,A} = 0$

$$x=a \text{ için; } \eta M_{CB,C} = \frac{ab}{L}$$

$x=L$ için; $\eta V_{CB,B} = -b$ (geçersiz)

elde edilir ve bu değerlere göre M_C eğilme momentinin A ile C arasındaki tesir çizgisi şekil 2.23.e'de görüldüğü gibi çizilir.

Yük CB arasında ($a < x < L$) iken C kesitinden kesim yapılır ve soldaki AC sisteminde (şekil 2.23.g) denge şartı yazılarak

$$V_{CA} = R_A; \eta V_{CA} = \frac{L-x}{L}$$

$$M_{CA} = R_A \cdot a; \eta M_{CA} = \frac{L-x}{L} \cdot a$$

bulunur.

Kesme kuvvetinde

$x=0$ için $\eta V_{CA,A}=1$ (geçersiz)

$x=a$ için $\eta V_{CA,C}=\frac{b}{L}$

$x=L$ için $\eta V_{CA,B}=0$

eğilme momentinde

$x=0$ için; $\eta M_{CA,A}=a$ (geçersiz)

$x=a$ için; $\eta M_{CA,C}=\frac{a \cdot b}{L}$

$x=L$ için; $\eta V_{CA,B}=0$

dır. Bu değerlere göre V_C kesme kuvveti ve M_C eğilme momentinin C ile B arasındaki tesir çizgileri şekil 2.23.d ve e'de görüldüğü gibi çizilir.

2.6.3.Kafes sistemlerin tesir çizgileri

Kafes sistemlerin mesnet tepkilerinin tesir çizgileri aynı mekanik özellikteki dolu gövdeli sistemin mesnet tepkisi tesir çizgisi gibi çizilir. Çubukların tesir çizgileri de düşey yüklerin tesiri altındaki kafes kirişlerin hesabında anlatılan esaslar uygulanarak aynı açıklıklı indirekt yüklü sistemin kesme kuvveti ve eğilme momenti tesir çizgilerinden yararlanılarak bulunur.

Tesir çizgilerini kullanıp, sabit yükler etkisinden kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin değerleri;

$$N_i = \sum P_i \cdot y_i \quad [2.3]$$

bağıntısı ile bulunurlar.

3. BÖLÜM. SABİT YÜK ETKİSİNDE KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER

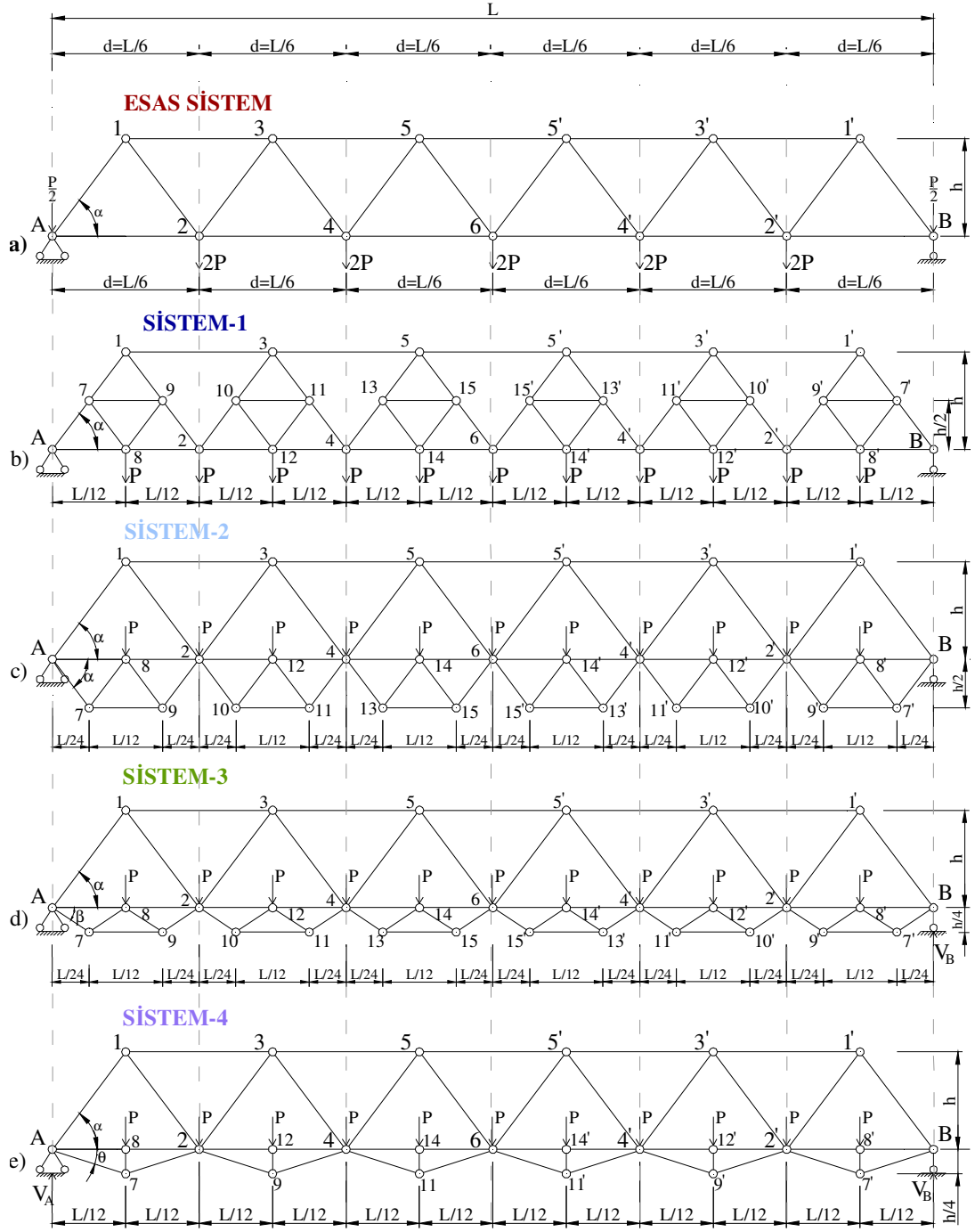
3.1 Çözüm Yaklaşımları

Sabit yük yük etkisindeki karmaşık kafes kirişin çubuklarında oluşan çubuk kuvvetleri aşağıda gösterilen ardışıklıkla hesaplanmışlardır;

- a) Esas kafes kirişin hesaplanması,
- b) $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması,
- c) $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması,
- d) $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması,
- e) $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması.

Yukarıda gösterilmiş haller için kafes kirişin hesaplama şemaları Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Sayısal hesaplamalarda $P=24$ KN, $h=4$ m, $L=36$ m, $d=6$ m alınmıştır. Bulunmuş değerlere göre esas kafes kiriş ve karmaşık kafes kirişlerin çubuk kuvvetleri değerleri tablo ve grafiklerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 3.1. a) Esas kafes kiriş; b,c,d,e) Karmaşık kafes kirişler ;

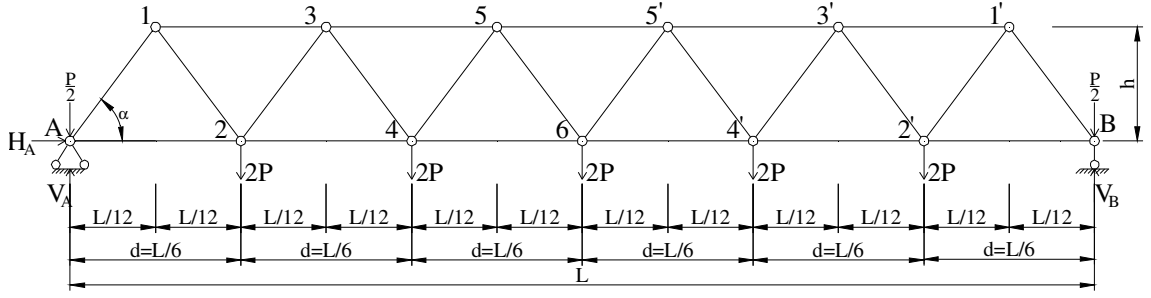
sistem-1 $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması halı;

sistem-2 $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması halı;

sistem-3 $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması halı;

sistem-4 $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması halı

3.2. Sabit Yükle Etkisinde Esas Kafes Kirişin Çubuklarındaki Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması



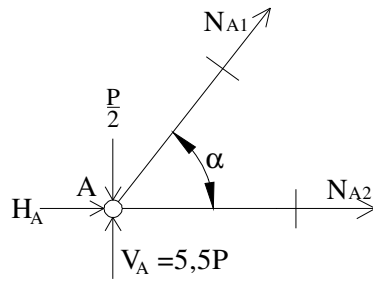
Şekil 3.2. Sabit yük etkisinde esas kafes kirişte yük durumu

Sistemin bilinmeyen tepkileri bulunur.

$$\sum X=0; \quad H_A=0$$

$$\sum Y=0; \quad V_A = V_B = 5,5P$$

A düğümü dengesi ile N_{A1}^e , N_{A2}^e bulunur.

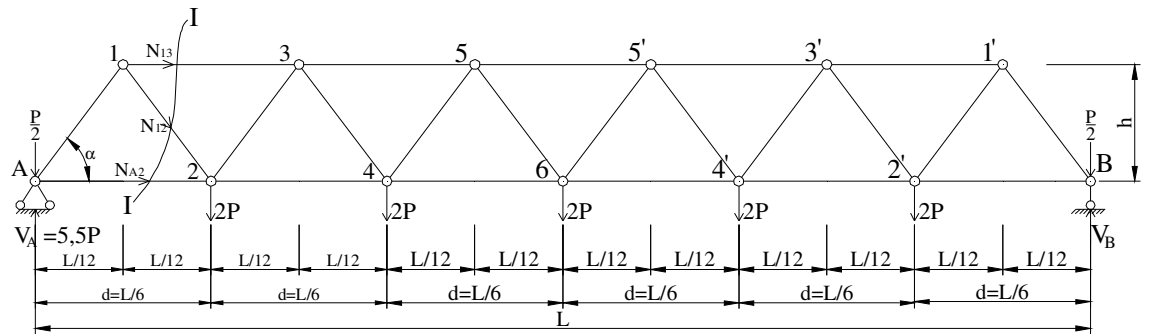


$$\sum Y=0; \quad N_{A1}^e = -\frac{5P}{\sin\alpha}$$

$$\sum X=0; \quad N_{A2}^e = \frac{5P}{\sin\alpha} \cdot \cos\alpha \quad N_{A2}^e = 5P \cdot \cot\alpha$$

Şekil 3.3. A düğümü dengesi

Kafes kiriş I-I kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{12}^e , N_{13}^e bulunur.

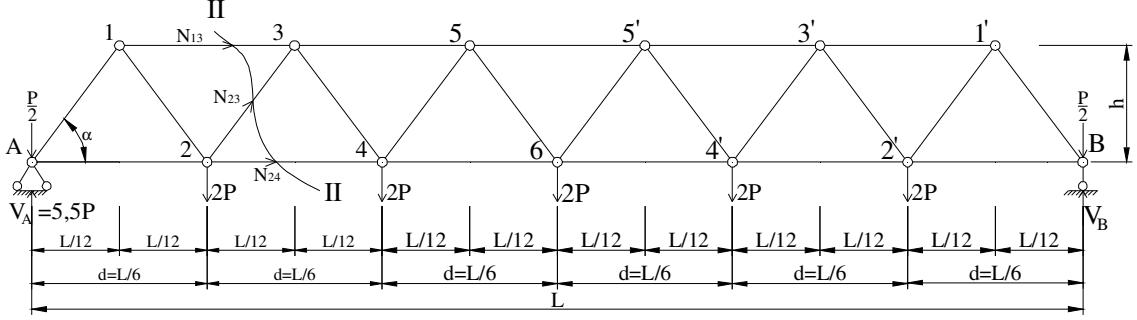


Şekil 3.4. Esas kafes kirişin I-I kesimi

$$\sum Y=0; \quad N_{12}^e = \frac{5P}{\sin\alpha}$$

$$\sum M_2^{\text{sol}}=0; \quad N_{13}^e = -\frac{5Pd}{h}$$

Kafes kiriş II- II kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{23}^e , N_{24}^e bulunur.

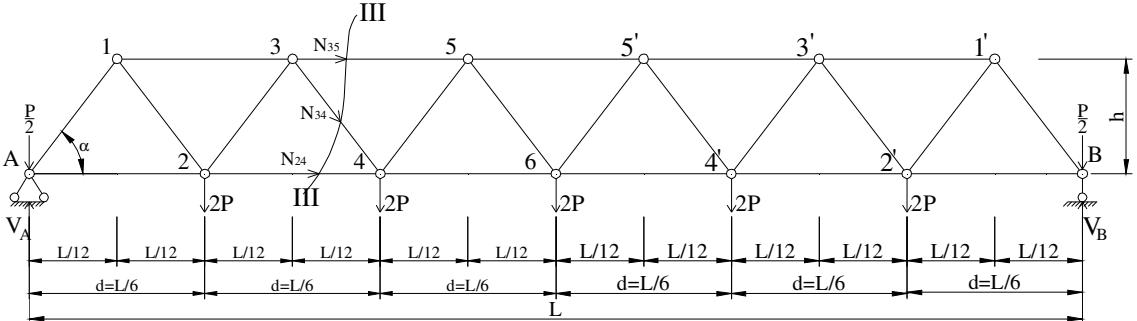


Şekil 3.5. Esas kafes kirişin II-II kesimi

$$\sum Y=0; \quad N_{23}^e = -\frac{3P}{\sin\alpha}$$

$$\sum M_3^{\text{sol}}=0; \quad N_{24}^e = \frac{13Pd}{2h}$$

Kafes kiriş III- III kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{34}^e , N_{35}^e bulunur.

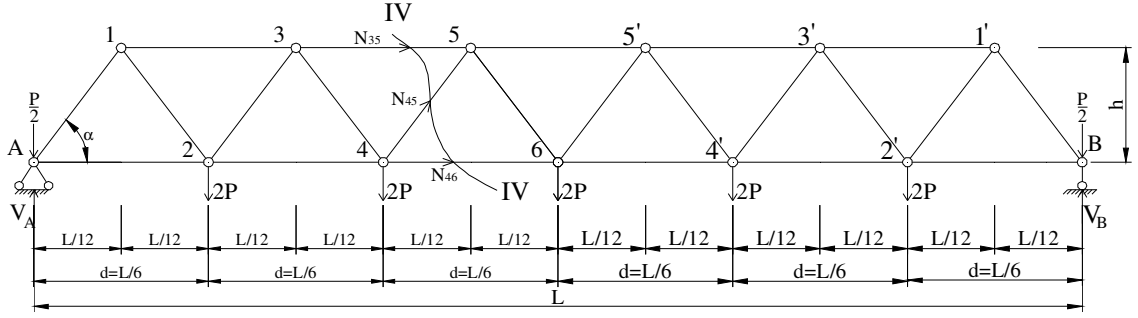


Şekil 3.6. Esas kafes kirişin III-III kesimi

$$\sum Y=0; \quad N_{34}^e = \frac{3P}{\sin\alpha}$$

$$\sum M_4^{\text{sol}}=0; \quad N_{35}^e = -\frac{8Pd}{h}$$

Kafes kiriş IV- IV kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{45}^e , N_{46}^e bulunur.

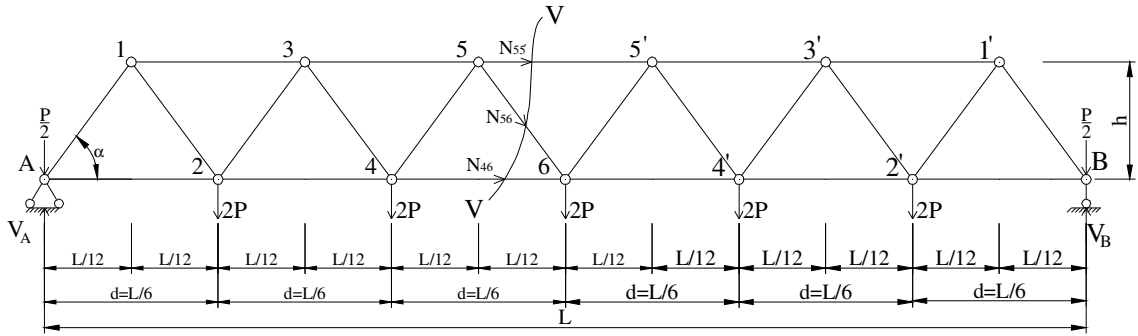


Şekil 3.7. Esas kafes kirişin IV-IV kesimi

$$\sum Y=0; \quad N_{45}^e = -\frac{P}{\sin\alpha}$$

$$\sum M_5^{\text{sol}}=0; \quad N_{46}^e = \frac{17Pd}{2h}$$

Kafes kiriş V- V kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{56}^e , N_{55}^e bulunur.



Şekil 3.8. Esas kafes kirişin V-V kesimi

$$\sum Y=0; \quad N_{56}^e = \frac{P}{\sin\alpha}$$

$$\sum M_6^{\text{sol}}=0; \quad N_{55}^e = -\frac{9Pd}{h}$$

Esas kafes kiriş 6 düğümüne göre simetrik olduğundan;

$$N_{A1}^e = N_{B1'}^e$$

$$N_{A2}^e = N_{B2'}^e$$

$$N_{12}^e = N_{1'2'}^e$$

$$N_{13}^e = N_{1'3'}^e$$

$$N_{23}^e = N_{2'3'}^e$$

$$N_{24}^e = N_{2'4'}^e$$

$$N_{34}^e = N_{3'4'}^e$$

$$N_{35}^e = N_{3'5'}^e$$

$$N_{45}^e = N_{4'5'}^e$$

$$N_{46}^e = N_{4'6'}^e$$

$$N_{56}^e = N_{5'6'}^e \quad \text{'tir.}$$

$$\cot\alpha = \frac{d}{2h}; \quad N_{A2}^e = 5P\cot\alpha$$

$$N_{A2}^e = \frac{5Pd}{2h}$$

Bulunmuş çubuk kuvvetleri çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

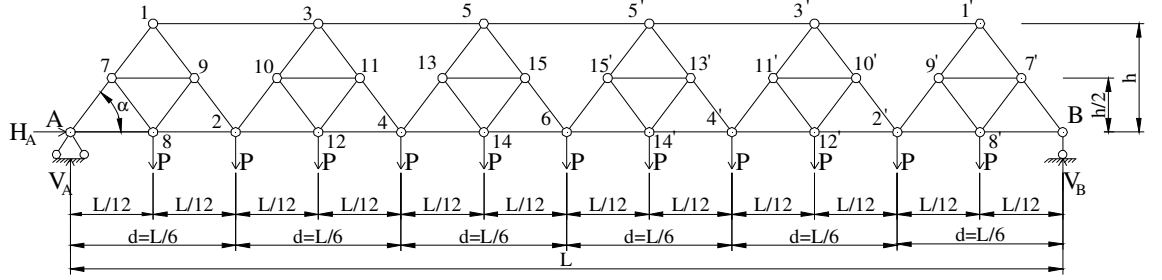
Çizelge 3.1. Esas kafes kirişin sayısal uygulaması

$h = 4(m)$
$P = 24(KN)$
$L = 36m$
$d = 6 m$
$\alpha = 53,13^\circ$

Çubuk Kuvveti	Basınç	Çekme	Basınç(KN)	Çekme(KN)
$N_{A1}^e = N_{B1'}^e$	$-5P/\sin\alpha$		-150,00	
$N_{A2}^e = N_{B2'}^e$		$5Pd/2h$		90,00
$N_{12}^e = N_{1'2'}^e$		$5P/\sin\alpha$		150,00
$N_{13}^e = N_{1'3'}^e$	$-5Pd/h$		-180,00	
$N_{23}^e = N_{2'3'}^e$	$-3P/\sin\alpha$		-90,00	
$N_{24}^e = N_{2'4'}^e$		$13Pd/2h$		234,00
$N_{34}^e = N_{3'4'}^e$		$3P/\sin\alpha$		90,00
$N_{35}^e = N_{3'5'}^e$	$-8Pd/h$		-288,00	
$N_{45}^e = N_{4'5'}^e$	$-P/\sin\alpha$		-30,00	
$N_{46}^e = N_{4'6'}^e$		$17Pd/2h$		306,00
$N_{56}^e = N_{5'6'}^e$		$P/\sin\alpha$		30,00
N_{55}^e	$-9Pd/h$		-324,00	

3.3 Sabit Yükler Etkisinde Karmaşık Kafes Kirişin Çubuklarındaki Çubuk Kuvvetlerin Bulunması

3.3.1 $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kiriş içinde olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması



Şekil 3.9. Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu

Karmaşık eleman ve esas kafes kiriş hesaplanarak çubuklardaki kuvvetler bulunur. Esas kafes kiriş ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplanması ile karmaşık kafes kirişin çubuklarında oluşan kuvvetler bulunur.

$$N_{A7} = N_{A1}^e + N_{A7}^s$$

$$N_{A8} = N_{A2}^e + N_{A8}^s$$

$$N_{28} = N_{A2}^e + N_{28}^s$$

$$N_{29} = N_{2-10}^e + N_{29}^s$$

$$N_{2-10} = N_{23}^e + N_{2-10}^s$$

$$N_{2-12} = N_{24}^e + N_{2-12}^s$$

$$N_{4-12} = N_{24}^e + N_{4-12}^s$$

$$N_{4-11} = N_{34}^e + N_{4-11}^s$$

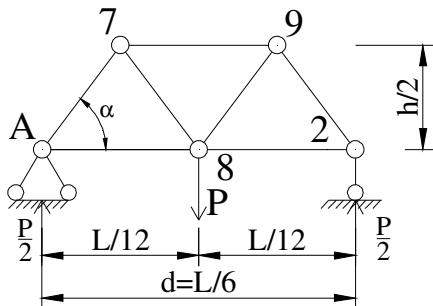
$$N_{4-13} = N_{45}^e + N_{4-13}^s$$

$$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$$

$$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$$

$$N_{6-15} = N_{56}^e + N_{6-15}^s$$

Karmaşık elemanın bilinmeyen tepkileri bulunur.

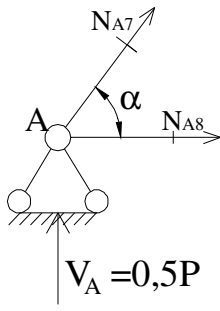


$$\sum Y = 0; V_A = V_2 = \frac{P}{2} = 0,5P$$

$$\sum X = 0; H_A = 0$$

Şekil 3.10. Karmaşık elemanın yük durumu

Karmaşık elemanın A düğümü kesilip dengesinden N_{A7}^s , N_{A8}^s bulunur.

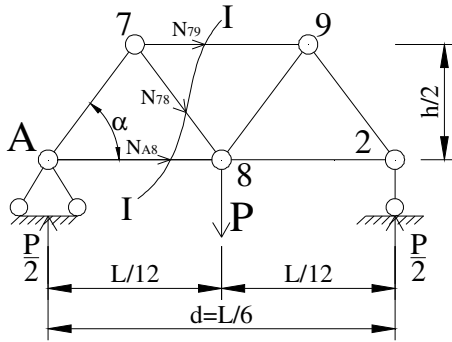


$$\sum Y = 0; \quad N_{A7}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$\sum X = 0; \quad N_{A8}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot \cos \alpha \quad N_{A8}^s = \frac{P}{2} \cdot \cot \alpha$$

Şekil 3.11. Karmaşık elemanda A düğümü dengesi

Karmaşık eleman I-I kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{78}^s , N_{79}^s bulunur.



$$\sum Y = 0; \quad N_{78}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$\sum M_8^{\text{sol}} = 0; \quad V_A \cdot \frac{d}{2} + N_{79}^s \cdot \frac{h}{2} = 0$$

$$N_{79}^s = -\frac{P \cdot d}{2 \cdot h}$$

Şekil 3.12. Karmaşık elemanın I-I kesimi

Karmaşık kafes kiriş simetrik olduğundan;

$$N_{A7}^s = N_{29}^s = N_{2-10}^s = N_{4-11}^s = N_{4-13}^s = N_{6-15}^s = N_{6-15'}^s = N_{4'-13}^s = N_{4'-11}^s =$$

$$N_{2'-10}^s = N_{2'9}^s = N_{B7}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$N_{A8}^s = N_{28}^s = N_{2-12}^s = N_{4-12}^s = N_{4-14}^s = N_{6-14}^s = N_{6-14'}^s = N_{4'-14}^s = N_{4'-12}^s =$$

$$N_{2'-12}^s = N_{2'8}^s = N_{B8}^s = \frac{P}{2} \cdot \cot \alpha; \quad \cot \alpha = d/2h = \frac{Pd}{4h}$$

$$N_{78}^s = N_{89}^s = N_{10-12}^s = N_{11-12}^s = N_{13-14}^s = N_{14-15}^s = N_{14'-15}^s = N_{13'-14}^s = N_{11'-12}^s =$$

$$N_{10'-12}^s = N_{8'9}^s = N_{7'8}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$N_{79}^s = N_{10-11}^s = N_{13-15}^s = N_{13'-15}^s = N_{10'-11}^s = N_{7'9}^s = -\frac{P \cdot d}{2 \cdot h} \quad \text{olacaktır.}$$

Bulunmuş çubuk kuvvetleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

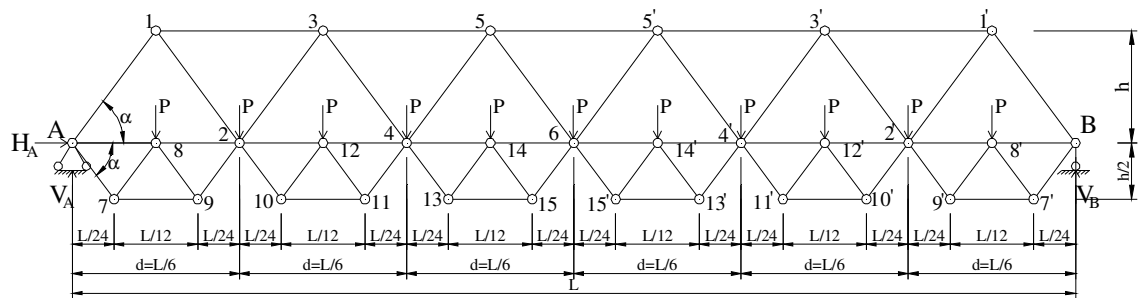
Çizelge 3.2. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.9'da görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N ^c		N ^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{A1}^c	-5P/sin α					
N_{A7}^s			-P/2sin α			
$N_{17} = N_{A1}^c$					-5P/sin α	
$N_{A7} = N_{A1}^c + N_{A7}^s$					-5,5P/sin α	
N_{79}^s			-Pd/2h			
$N_{79} = N_{79}^s$					-Pd/2h	
N_{78}^s				P/2sin α		
$N_{78} = N_{78}^s$						P/2sin α
N_{89}^s				P/2sin α		
$N_{89} = N_{89}^s$						P/2sin α
N_{A2}^c		5Pd/2h				
N_{A8}^s				Pd/4h		
$N_{A8} = N_{A2}^c + N_{A8}^s$						5,5Pd/2h
N_{28}^s				Pd/4h		
$N_{28} = N_{A2}^c + N_{28}^s$						5,5Pd/2h
N_{12}^c		5P/sin α				
$N_{19} = N_{12}^c$						5P/sin α
N_{29}^s			-P/2sin α			
$N_{29} = N_{12}^c + N_{29}^s$						4,5P/sin α
N_{13}^c	-5Pd/h					
$N_{13} = N_{13}^c$					-5Pd/h	
N_{23}^c	-3P/sin α					
$N_{3-10} = N_{23}^c$					-3P/sin α	
N_{2-10}^s			-P/2sin α			
$N_{2-10} = N_{23}^c + N_{2-10}^s$					-3,5P/sin α	
N_{10-11}^s			-Pd/2h			
$N_{10-11} = N_{10-11}^s$					-Pd/2h	
N_{10-12}^s				P/2sin α		
$N_{10-12} = N_{10-12}^s$						P/2sin α
N_{11-12}^s				P/2sin α		
$N_{11-12} = N_{11-12}^s$						P/2sin α
N_{24}^c		13Pd/2h				
N_{2-12}^s				Pd/4h		
$N_{2-12} = N_{24}^c + N_{2-12}^s$						13,5Pd/2h
N_{4-12}^s				Pd/4h		
$N_{4-12} = N_{24}^c + N_{4-12}^s$						13,5Pd/2h
N_{34}^c		3P/sin α				
$N_{3-11} = N_{34}^c$						3P/sin α
N_{4-11}^s			-P/2sin α			
$N_{4-11} = N_{34}^c + N_{4-11}^s$						2,5P/sin α
N_{35}^c	-8Pd/h					
$N_{35} = N_{35}^c$					-8Pd/h	

Çizelge 3.2' nin devamı; Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.9' da görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N^e		N^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{45}^e	$-P/\sin\alpha$					
$N_{5-13} = N_{45}^e$					$-P/\sin\alpha$	
N_{4-13}^s			$-P/2\sin\alpha$			
$N_{4-13} = N_{45}^e + N_{4-13}^s$					$-1,5P/\sin\alpha$	
N_{13-15}^s			$-Pd/2h$			
$N_{13-15} = N_{13-15}^s$					$-Pd/2h$	
N_{13-14}^s				$P/2\sin\alpha$		
$N_{13-14} = N_{13-14}^s$					$P/2\sin\alpha$	
N_{14-15}^s				$P/2\sin\alpha$		
$N_{14-15} = N_{14-15}^s$					$P/2\sin\alpha$	
N_{46}^e		$17Pd/2h$				
N_{4-14}^s				$Pd/4h$		
$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$					$17,5Pd/2h$	
N_{6-14}^s				$Pd/4h$		
$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$					$17,5Pd/2h$	
N_{56}^e		$P/\sin\alpha$				
$N_{5-15} = N_{56}^e$					$P/\sin\alpha$	
N_{6-15}^s			$-P/2\sin\alpha$			
$N_{6-15} = N_{56}^e + N_{6-15}^s$					$0,5P/\sin\alpha$	
$N_{55'}^e$	$-9Pd/h$					
$N_{55'} = N_{55'}^e$					$-9Pd/h$	

3.3.2 $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması



Şekil 3.13. Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu

Esas kafes kiriş ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplanması ile karmaşık kafes kirişin çubuklarında oluşan kuvvetler bulunur.

$$N_{A8} = N_{A2}^e + N_{A8}^s$$

$$N_{28} = N_{A2}^e + N_{28}^s$$

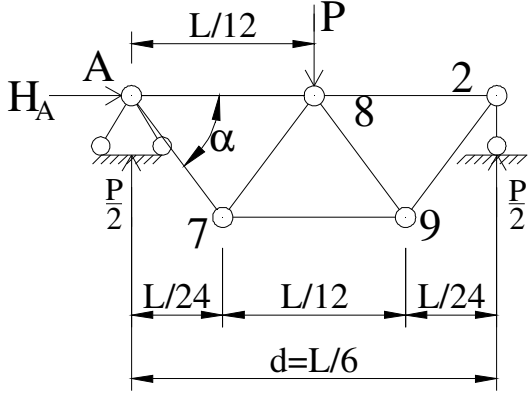
$$N_{2-12} = N_{24}^e + N_{2-12}^s$$

$$N_{4-12} = N_{24}^e + N_{4-12}^s$$

$$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$$

$$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$$

Karmaşık elemanın bilinmeyen tepkilerinin bulunması

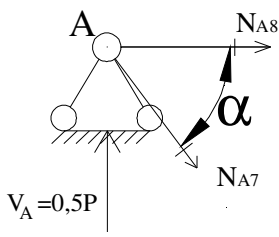


$$\sum Y = 0; V_A = V_2 = \frac{P}{2} = 0,5P$$

$$\sum X = 0; H_A = 0$$

Şekil 3.14. Karmaşık elemanın yük durumu

Karmaşık elemanın A düğümü kesilip dengesine bakılırsa N_{A7}^s, N_{A8}^s ; bulunur.



$$\sum Y = 0;$$

$$N_{A7}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

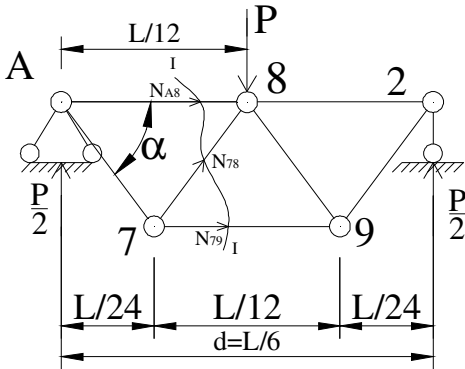
$$\sum X = 0;$$

$$N_{A8}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \alpha} \cdot \cos \alpha$$

$$N_{A8}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot \alpha$$

Şekil 3.15. A düğümü dengesi

Karmaşık eleman I-I kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{78}^s, N_{79}^s bulunur.



$$\sum Y = 0; N_{78}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$\sum M_8^{sol} = 0; N_{79}^s = \frac{P \cdot d}{2 \cdot h}$$

Şekil.3.16. Karmaşık elemanın I-I kesimi

Karmaşık kafes giriş simetrik olduğundan;

$$N_{A7}^s = N_{29}^s = N_{2-10}^s = N_{4-11}^s = N_{4-13}^s = N_{6-15}^s = N_{6-15'}^s = N_{4'-13}^s = N_{4'-11'}^s =$$
$$N_{2'-10'}^s = N_{2'9'}^s = N_{B7'}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$N_{A8}^s = N_{28}^s = N_{2-12}^s = N_{4-12}^s = N_{4-14}^s = N_{6-14}^s = N_{6-14'}^s = N_{4'-14}^s = N_{4'-12}^s =$$
$$N_{2'-12'}^s = N_{2'8'}^s = N_{B8'}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot \alpha ; \cot \alpha = d/2h = -\frac{Pd}{4h}$$

$$N_{78}^s = N_{89}^s = N_{10-12}^s = N_{11-12}^s = N_{13-14}^s = N_{14-15}^s = N_{14'-15}^s = N_{13'-14}^s = N_{11'-12}^s =$$
$$N_{10'-12'}^s = N_{8'9'}^s = N_{7'8'}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \alpha}$$

$$N_{79}^s = N_{10-11}^s = N_{13-15}^s = N_{13'-15}^s = N_{10'-11'}^s = N_{7'9'}^s = \frac{Pd}{2h}$$

olacaktır.

Bulunmuş çubuk kuvvetleri Çizelge 3.3.'de gösterilmiştir.

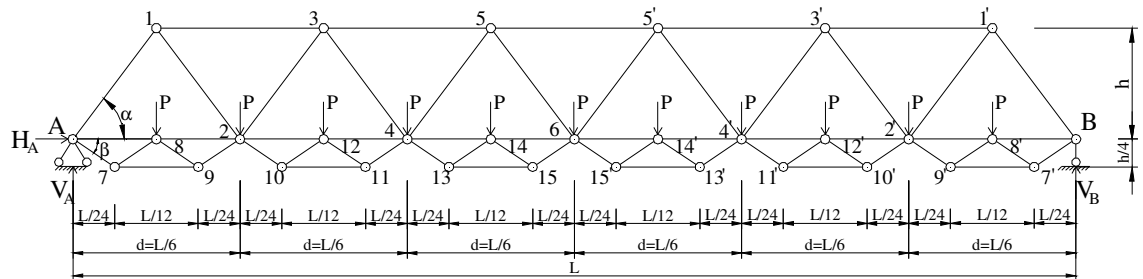
Çizelge 3.3. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.13’de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N ^c		N ^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N _{A1} ^e	-5P/sinα					
N _{A1} = N _{A1} ^e					-5P/sinα	
N _{A7} ^s				P/2sinα		
N _{A7} = N _{A7} ^s						P/2sinα
N ₇₉ ^s				Pd/2h		
N ₇₉ = N ₇₉ ^s						Pd/2h
N ₇₈ ^s			-P/2sinα			
N ₇₈ = N ₇₈ ^s					-P/2sinα	
N ₈₉ ^s			-P/2sinα			
N ₈₉ = N ₈₉ ^s					-P/2sinα	
N _{A2} ^c		5Pd/2h				
N _{A8} ^s			-Pd/4h			
N _{A8} = N _{A2} ^e + N _{A8} ^s						9Pd/4h
N ₂₈ ^s			-Pd/4h			
N ₂₈ = N _{A2} ^e + N ₂₈ ^s						9Pd/4h
N ₁₂ ^c		5P/sinα				
N ₁₂ = N ₁₂ ^c						5P/sinα
N ₂₉ ^s				P/2sinα		
N ₂₉ = N ₂₉ ^s						P/2sinα
N ₁₃ ^e	-5Pd/h					
N ₁₃ = N ₁₃ ^e					-5Pd/h	
N ₂₃ ^e	-3P/sinα					
N ₂₃ = N ₂₃ ^e					-3P/sinα	
N ₂₋₁₀ ^s				P/2sinα		
N ₂₋₁₀ = N ₂₋₁₀ ^s						P/2sinα
N ₁₀₋₁₁ ^s				Pd/2h		
N ₁₀₋₁₁ = N ₁₀₋₁₁ ^s						Pd/2h
N ₁₀₋₁₂ ^s			-P/2sinα			
N ₁₀₋₁₂ = N ₁₀₋₁₂ ^s					-P/2sinα	
N ₁₁₋₁₂ ^s			-P/2sinα			
N ₁₁₋₁₂ = N ₁₁₋₁₂ ^s					-P/2sinα	
N ₂₄ ^e		13Pd/2h				
N ₂₋₁₂ ^s			-Pd/4h			
N ₂₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₂₋₁₂ ^s						25Pd/4h
N ₄₋₁₂ ^s			-Pd/4h			
N ₄₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₄₋₁₂ ^s						25Pd/4h
N ₃₄ ^e		3P/sinα				
N ₃₄ = N ₃₄ ^e						3P/sinα
N ₄₋₁₁ ^s				P/2sinα		
N ₄₋₁₁ = N ₄₋₁₁ ^s						P/2sinα
N ₃₅ ^e	-8Pd/h					
N ₃₅ = N ₃₅ ^e					-8Pd/h	

Çizelge 3.3' ün devamı; Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.13'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N^e		N^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{45}^e	$-P/\sin\alpha$					
$N_{45} = N_{45}^e$					$-P/\sin\alpha$	
N_{4-13}^s				$P/2\sin\alpha$		
$N_{4-13} = N_{4-13}^s$						$P/2\sin\alpha$
N_{13-15}^s				$Pd/2h$		
$N_{13-15} = N_{13-15}^s$						$Pd/2h$
N_{13-14}^s			$-P/2\sin\alpha$			
$N_{13-14} = N_{13-14}^s$					$-P/2\sin\alpha$	
N_{14-15}^s			$-P/2\sin\alpha$			
$N_{14-15} = N_{14-15}^s$					$-P/2\sin\alpha$	
N_{46}^e		$17Pd/2h$				
N_{4-14}^s			$-Pd/4h$			
$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$						$33Pd/4h$
N_{6-14}^s			$-Pd/4h$			
$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$						$33Pd/4h$
N_{56}^e		$P/\sin\alpha$				
$N_{56} = N_{56}^e$						$P/\sin\alpha$
N_{6-15}^s				$P/2\sin\alpha$		
$N_{6-15} = N_{6-15}^s$						$P/2\sin\alpha$
$N_{55'}^e$	$-9Pd/h$					
$N_{55'} = N_{55'}^e$					$-9Pd/h$	

3.3.3 $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması halini için çubuk kuvvetlerinin bulunması

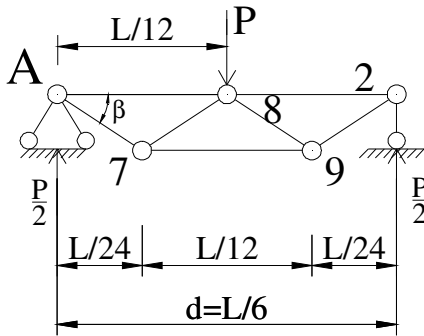


Şekil 3.17. Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu

Esas kafes kiriş ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplanması ile karmaşık kafes kirişin çubuklarında oluşan kuvvetler bulunur.

$$\begin{aligned} N_{A8} &= N_{A2}^e + N_{A8}^s & N_{28} &= N_{A2}^e + N_{28}^s \\ N_{2-12} &= N_{24}^e + N_{2-12}^s & N_{4-12} &= N_{24}^e + N_{4-12}^s \\ N_{4-14} &= N_{46}^e + N_{4-14}^s & N_{6-14} &= N_{46}^e + N_{6-14}^s \end{aligned}$$

Karmaşık elemanın bilinmeyen tepkilerinin bulunması

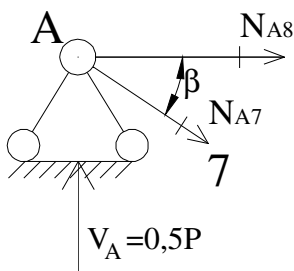


$$\sum Y = 0; V_A = V_2 = \frac{P}{2} = 0,5P$$

$$\sum X = 0; H_A = 0$$

Şekil 3.18. Karmaşık elemanın yük durumu

Karmaşık elemanın A düğümü kesilip dengesine bakılırsa N_{A7}^s, N_{A8}^s ; bulunur.



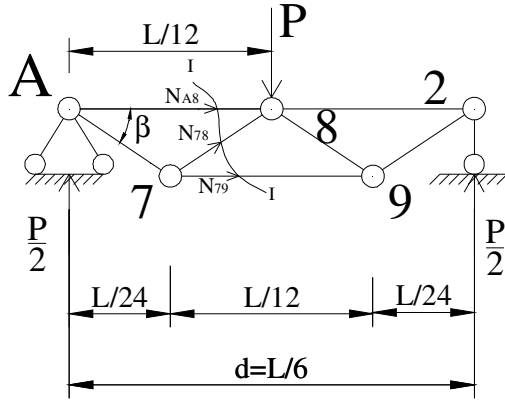
$$\sum Y = 0; N_{A7}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \beta}$$

$$\sum X = 0; N_{A8}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \beta} \cdot \cos \beta$$

$$N_{A8}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot \beta$$

Şekil 3.19. Karmaşık elemanın A düğümü dengesi

Karmaşık eleman I-I kesimi ile kesilip sol parçanın dengesine bakılırsa N_{78}^s, N_{79}^s bulunur.



$$\sum Y=0; \quad N_{78}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \beta}$$

$$\sum M_8^{\text{sol}}=0; \quad N_{79}^s = \frac{P \cdot d}{h}$$

Şekil 3.20. Karmaşık elemanın I-I kesimi

Karmaşık kafes kiriş simetrik olduğundan;

$$N_{A7}^s = N_{29}^s = N_{2-10}^s = N_{4-11}^s = N_{4-13}^s = N_{6-15}^s = N_{6-15'}^s = N_{4'-13}^s = N_{4'-11'}^s =$$

$$N_{2'-10'}^s = N_{2'9'}^s = N_{B7'}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \beta}$$

$$N_{A8}^s = N_{28}^s = N_{2-12}^s = N_{4-12}^s = N_{4-14}^s = N_{6-14}^s = N_{6-14'}^s = N_{4'-14'}^s = N_{4'-12'}^s =$$

$$N_{2'-12'}^s = N_{2'8'}^s = N_{B8'}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot \beta; \quad \cot \beta = d/h = -\frac{Pd}{2h}$$

$$N_{78}^s = N_{89}^s = N_{10-12}^s = N_{11-12}^s = N_{13-14}^s = N_{14-15}^s = N_{14'-15'}^s = N_{13'-14'}^s = N_{11'-12'}^s =$$

$$N_{10'-12'}^s = N_{8'9'}^s = N_{7'8'}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \beta}$$

$$N_{79}^s = N_{10-11}^s = N_{13-15}^s = N_{13'-15'}^s = N_{10'-11'}^s = N_{7'9'}^s = \frac{P \cdot d}{h}$$

olacaktır.

Bulunmuş çubuk kuvvetleri Çizelge 3.4' de gösterilmiştir.

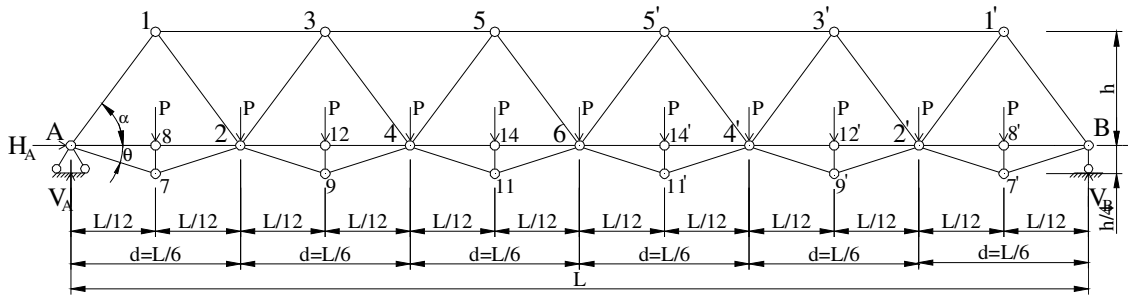
Çizelge 3.4. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.17’de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N ^c		N ^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N _{A1} ^e	-5P/sinα					
N _{A1} = N _{A1} ^e					-5P/sinα	
N _{A7} ^s				P/2sinβ		
N _{A7} = N _{A7} ^s						P/2sinβ
N ₇₉ ^s				Pd/h		
N ₇₉ = N ₇₉ ^s						Pd/h
N ₇₈ ^s			-P/2sinβ			
N ₇₈ = N ₇₈ ^s					-P/2sinβ	
N ₈₉ ^s			-P/2sinβ			
N ₈₉ = N ₈₉ ^s					-P/2sinβ	
N _{A2} ^e		5Pd/2h				
N _{A8} ^s			-Pd/2h			
N _{A8} = N _{A2} ^e + N _{A8} ^s						2Pd/h
N ₂₈ ^s			-Pd/2h			
N ₂₈ = N _{A2} ^e + N ₂₈ ^s						2Pd/h
N ₁₂ ^e		5P/sinα				
N ₁₂ = N ₁₂ ^e						5P/sinα
N ₂₉ ^s				P/2sinβ		
N ₂₉ = N ₂₉ ^s						P/2sinβ
N ₁₃ ^e	-5Pd/h					
N ₁₃ = N ₁₃ ^e					-5Pd/h	
N ₂₃ ^e	-3P/sinα					
N ₂₃ = N ₂₃ ^e					-3P/sinα	
N ₂₋₁₀ ^s				P/2sinβ		
N ₂₋₁₀ = N ₂₋₁₀ ^s						P/2sinβ
N ₁₀₋₁₁ ^s				Pd/h		
N ₁₀₋₁₁ = N ₁₀₋₁₁ ^s						Pd/h
N ₁₀₋₁₂ ^s			-P/2sinβ			
N ₁₀₋₁₂ = N ₁₀₋₁₂ ^s					-P/2sinβ	
N ₁₁₋₁₂ ^s			-P/2sinβ			
N ₁₁₋₁₂ = N ₁₁₋₁₂ ^s					-P/2sinβ	
N ₂₄ ^e		13Pd/2h				
N ₂₋₁₂ ^s			-Pd/2h			
N ₂₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₂₋₁₂ ^s						6Pd/h
N ₄₋₁₂ ^s			-Pd/2h			
N ₄₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₄₋₁₂ ^s						6Pd/h
N ₃₄ ^e		3P/sinα				
N ₃₄ = N ₃₄ ^e						3P/sinα
N ₄₋₁₁ ^s				P/2sinβ		
N ₄₋₁₁ = N ₄₋₁₁ ^s						P/2sinβ
N ₃₅ ^e	-8Pd/h					
N ₃₅ = N ₃₅ ^e					-8Pd/h	

Çizelge 3.4' ün devamı; Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.17'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N^e		N^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{45}^e	$-P/\sin\alpha$					
$N_{45} = N_{45}^e$					$-P/\sin\alpha$	
N_{4-13}^s				$P/2\sin\beta$		
$N_{4-13} = N_{4-13}^s$						$P/2\sin\beta$
N_{13-15}^s				Pd/h		
$N_{13-15} = N_{13-15}^s$						Pd/h
N_{13-14}^s			$-P/2\sin\beta$			
$N_{13-14} = N_{13-14}^s$					$-P/2\sin\beta$	
N_{14-15}^s			$-P/2\sin\beta$			
$N_{14-15} = N_{14-15}^s$					$-P/2\sin\beta$	
N_{46}^e		$17Pd/2h$				
N_{4-14}^s			$-Pd/2h$			
$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$						$8Pd/h$
N_{6-14}^s			$-Pd/2h$			
$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$						$8Pd/h$
N_{56}^e		$P/\sin\alpha$				
$N_{56} = N_{56}^e$					$P/\sin\alpha$	
N_{6-15}^s				$P/2\sin\beta$		
$N_{6-15} = N_{6-15}^s$						$P/2\sin\beta$
$N_{55'}^e$	$-9Pd/h$					
$N_{55'} = N_{55'}^e$					$-9Pd/h$	

3.3.4 $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması



Şekil 3.21. Karmaşık kafes kirişte yükleme durumu

Esas kafes kiriş ve karmaşık elemanların hesaplanmasından elde edilen kuvvetlerin cebirsel toplanması ile karmaşık kafes kirişin çubuklarında oluşan kuvvetler bulunur.

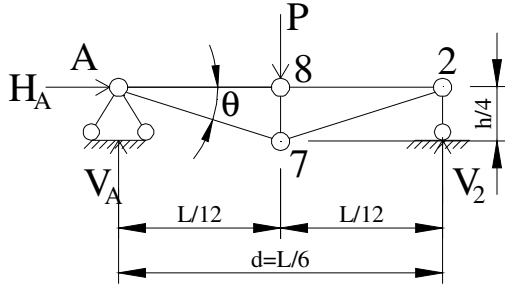
$$N_{A8} = N_{A2}^e + N_{A8}^s$$

$$N_{28} = N_{A2}^e + N_{28}^s$$

$$N_{2-10} = N_{24}^e + N_{2-10}^s \quad N_{4-10} = N_{24}^e + N_{4-10}^s$$

$$N_{4-12} = N_{46}^e + N_{4-12}^s \quad N_{6-12} = N_{46}^e + N_{6-12}^s$$

Karmaşık elemanın bilinmeyen tepkilerinin bulunması

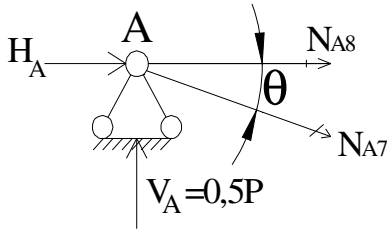


$$\sum Y = 0; V_A = V_2 = \frac{P}{2} = 0,5P$$

$$\sum X = 0; H_A = 0$$

Şekil 3.22. Karmaşık elemanın yük durumu

Karmaşık elemanın A düğümü kesilip dengesine bakılırsa N_{A7}^s, N_{A8}^s ; bulunur.



$$\sum Y = 0; V_A - N_{A7}^s \cdot \sin \theta = 0; \quad N_{A7}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin \theta}$$

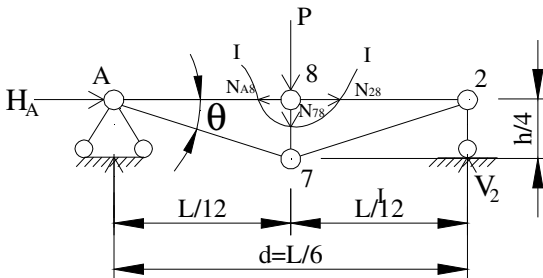
$$\sum X = 0; N_{A8}^s + N_{A7}^s \cdot \cos \theta = 0$$

$$N_{A8}^s = -\frac{P}{2 \cdot \sin \theta} \cdot \cos \theta$$

$$N_{A8}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot \theta$$

Şekil 3.23. A düğümü dengesi

Karmaşık eleman I-I kesimi ile kesilip 8 düğümü dengesine bakılırsa N_{78}^s bulunur.



$$\sum Y = 0;$$

$$N_{78}^s = -P$$

Şekil.3.24. Karmaşık elemanın I-I kesimi

Karmaşık kafes kiriş simetrik olduğundan;

$$N_{A8}^s = N_{28}^s = N_{2-12}^s = N_{4-12}^s = N_{4-14}^s = N_{6-14}^s = N_{6-14'}^s = N_{4'-14'}^s = N_{4'-12'}^s =$$
$$N_{2'-12'}^s = N_{2'8'}^s = N_{B2'}^s = -\frac{P}{2} \cdot \cot\theta; \cot\theta = 2d/h = -\frac{Pd}{h}$$

$$N_{A7}^s = N_{27}^s = N_{29}^s = N_{49}^s = N_{4-11}^s = N_{6-11}^s = N_{6-11'}^s = N_{4'-11'}^s = N_{4'9'}^s = N_{2'9'}^s =$$
$$N_{2'7'}^s = N_{B7'}^s = \frac{P}{2 \cdot \sin\theta}$$

$$N_{78}^s = N_{9-12}^s = N_{11-14}^s = N_{11'-14'}^s = N_{9'-12'}^s = N_{7'-8'}^s = -P$$

olacaktır.

Bulunmuş çubuk kuvvetleri Çizelge 3.5.'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.21’de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N^c		N^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{A1}^c	-5P/sin α					
$N_{A1} = N_{A1}^c$					-5P/sin α	
N_{A7}^s				P/2sin θ		
$N_{A7} = N_{A7}^s$						P/2sin θ
N_{78}^s			-P			
$N_{78} = N_{78}^s$					-P	
N_{A2}^c		5Pd/2h				
N_{A8}^s			-Pd/h			
$N_{A8} = N_{A2}^c + N_{A8}^s$						3Pd/2h
N_{28}^s			-Pd/h			
$N_{28} = N_{A2}^c + N_{28}^s$						3Pd/2h
N_{12}^c		5P/sin α				
$N_{12} = N_{12}^c$						5P/sin α
N_{27}^s				P/2sin θ		
$N_{27} = N_{27}^s$						P/2sin θ
N_{13}^c	-5Pd/h					
$N_{13} = N_{13}^c$					-5Pd/h	
N_{23}^c	-3P/sin α					
$N_{23} = N_{23}^c$					-3P/sin α	
N_{29}^s				P/2sin θ		
$N_{29} = N_{29}^s$						P/2sin θ
N_{24}^c		13Pd/2h				
N_{2-12}^s			-Pd/h			
$N_{2-12} = N_{24}^c + N_{2-12}^s$						11Pd/2h
N_{4-12}^s			-Pd/h			
$N_{4-12} = N_{24}^c + N_{4-12}^s$						11Pd/2h
N_{9-12}^s			-P			
$N_{9-12} = N_{9-12}^s$					-P	
N_{49}^s				P/2sin θ		
$N_{49} = N_{49}^s$						P/2sin θ
N_{34}^c		3P/sin α				
$N_{34} = N_{34}^c$						3P/sin α
N_{35}^c	-8Pd/h					
$N_{35} = N_{35}^c$					-8Pd/h	

Çizelge 3.5'in devamı; Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan sabit yükler etkisinden Şekil 3.21'de görülen karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri

Çubuk Kuvveti	N^c		N^s		N	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{45}^c	$-P/\sin\alpha$					
$N_{45} = N_{45}^c$					$-P/\sin\alpha$	
N_{4-11}^s				$P/2\sin\theta$		
$N_{4-11} = N_{4-11}^s$						$P/2\sin\theta$
N_{46}^c		$17Pd/2h$				
N_{4-14}^s			$-Pd/h$			
$N_{4-14} = N_{46}^c + N_{4-14}^s$						$15Pd/2h$
N_{6-14}^s			$-Pd/h$			
$N_{6-14} = N_{46}^c + N_{6-14}^s$						$15Pd/2h$
N_{11-14}^s			$-P$			
$N_{11-14} = N_{11-14}^s$					$-P$	
N_{6-11}^s				$P/2\sin\theta$		
$N_{6-11} = N_{6-11}^s$						$P/2\sin\theta$
N_{56}^c		$P/\sin\alpha$				
$N_{56} = N_{56}^c$						$P/\sin\alpha$
N_{55}^c	$-9Pd/h$					
$N_{55} = N_{55}^c$					$-9Pd/h$	

3.3.5 Sabit yük etkisinde esas kafes kiriş ve karmaşık kafes kirişin çubuk kuvveti sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 3.6. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması
 $h=4m$, $P=24KN$, $L=36m$, $d=6m$, $\alpha=53,13^\circ$

Çubuk Kuvveti	N ^e		N ^e (KN)		N		N(KN)	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N_{A1}^e	$-5P/\sin\alpha$		-150,00					
$N_{17} = N_{A1}^e$					$-5P/\sin\alpha$		-150,00	
$N_{A7} = N_{A1}^e + N_{A7}^s$					$-5,5P/\sin\alpha$		-165,00	
$N_{79} = N_{79}^s$					$-Pd/2h$		-18,00	
$N_{78} = N_{78}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
$N_{89} = N_{89}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
N_{A2}^e		$5P\cot\alpha$	90,00					
$N_{A8} = N_{A2}^e + N_{A8}^s$						$5,5Pd/2h$		99,00
$N_{28} = N_{A2}^e + N_{28}^s$						$5,5Pd/2h$		99,00
N_{12}^e		$5P/\sin\alpha$	150,00					
$N_{19} = N_{12}^e$					$5P/\sin\alpha$		150,00	
$N_{29} = N_{12}^e + N_{29}^s$					$4,5P/\sin\alpha$		135,00	
N_{13}^e	$-5Pd/h$		-180,00					
$N_{13} = N_{13}^e$					$-5Pd/h$		-180,00	
N_{23}^e	$-3P/\sin\alpha$		-90,00					
$N_{3-10} = N_{23}^e$					$-3P/\sin\alpha$		-90,00	
$N_{2-10} = N_{23}^e + N_{2-10}^s$					$-3,5P/\sin\alpha$		-105,00	
$N_{10-11} = N_{10-11}^s$					$-Pd/2h$		-18,00	
$N_{10-12} = N_{10-12}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
$N_{11-12} = N_{11-12}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
N_{24}^e		$13Pd/2h$	234,00					
$N_{2-12} = N_{24}^e + N_{2-12}^s$						$13,5Pd/2h$		243,00
$N_{4-12} = N_{24}^e + N_{4-12}^s$						$13,5Pd/2h$		243,00
N_{34}^e		$3P/\sin\alpha$	90,00					
$N_{3-11} = N_{34}^e$					$3P/\sin\alpha$		90,00	
$N_{4-11} = N_{34}^e + N_{4-11}^s$					$2,5P/\sin\alpha$		75,00	
N_{35}^e	$-8Pd/h$		-288,00					
$N_{35} = N_{35}^e$					$-8Pd/h$		-288,00	
N_{45}^e	$-P/\sin\alpha$		-30,00					
$N_{5-13} = N_{45}^e$					$-P/\sin\alpha$		-30,00	
$N_{4-13} = N_{45}^e + N_{4-13}^s$					$-1,5P/\sin\alpha$		-45,00	
$N_{13-15} = N_{13-15}^s$					$-Pd/2h$		-18,00	
$N_{13-14} = N_{13-14}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
$N_{14-15} = N_{14-15}^s$						$P/2\sin\alpha$		15,00
N_{46}^e		$17Pd/2h$	306,00					
$N_{4-14} = N_{46}^e + N_{4-14}^s$						$17,5Pd/2h$		315,00
$N_{6-14} = N_{46}^e + N_{6-14}^s$						$17,5Pd/2h$		315,00
N_{56}^e		$P/\sin\alpha$	30,00					
$N_{5-15} = N_{56}^e$					$P/\sin\alpha$		30,00	
$N_{6-15} = N_{56}^e + N_{6-15}^s$					$0,5P/\sin\alpha$		15,00	
N_{55}^e	$-9Pd/h$		-324,00					
$N_{55} = N_{55}^e$					$-9Pd/h$		-324,00	

Çizelge 3.7. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması

$$h=4m, P=24KN, L=36m, d=6m, \alpha=53,13^\circ$$

Çubuk Kuvveti	N ^e		N ^e (KN)		N		N(KN)	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N _{A1} ^e	-5P/sinα		-150,00					
N _{A1} = N _{A1} ^e					-5P/sinα		-150,00	
N _{A7} = N _{A7} ^s						P/2sinα		15,00
N ₇₉ = N ₇₉ ^s						Pd/2h		18,00
N ₇₈ = N ₇₈ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N ₈₉ = N ₈₉ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N _{A2} ^e		5Pd/2h		90,00				
N _{A8} = N _{A2} ^e + N _{A8} ^s						9Pd/4h		81,00
N ₂₈ = N _{A2} ^e + N ₂₈ ^s						9Pd/4h		81,00
N ₁₂ ^e		5P/sinα		150,00				
N ₁₂ = N ₁₂ ^e						5P/sinα		150,00
N ₂₉ = N ₂₉ ^s						P/2sinα		15,00
N ₁₃ ^e	-5Pd/h		-72,00					
N ₁₃ = N ₁₃ ^e					-5Pd/h		-180,00	
N ₂₃ ^e	-3P/sinα		-90,00					
N ₂₃ = N ₂₃ ^e					-3P/sinα		-90,00	
N ₂₋₁₀ = N ₂₋₁₀ ^s						P/2sinα		15,00
N ₁₀₋₁₁ = N ₁₀₋₁₁ ^s						Pd/2h		18,00
N ₁₀₋₁₂ = N ₁₀₋₁₂ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N ₁₁₋₁₂ = N ₁₁₋₁₂ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N ₂₄ ^e		13Pd/2h		234,00				
N ₂₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₂₋₁₂ ^s						25Pd/4h		225,00
N ₄₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₄₋₁₂ ^s						25Pd/4h		225,00
N ₃₄ ^e		3P/sinα		90,00				
N ₃₄ = N ₃₄ ^e						3P/sinα		90,00
N ₄₋₁₁ = N ₄₋₁₁ ^s						P/2sinα		15,00
N ₃₅ ^e	-8Pd/h		-288,00					
N ₃₅ = N ₃₅ ^e					-8Pd/h		-288,00	
N ₄₅ ^e	-P/sinα		-30,00					
N ₄₅ = N ₄₅ ^e					-P/sinα		-30,00	
N ₄₋₁₃ = N ₄₋₁₃ ^s						P/2sinα		15,00
N ₁₃₋₁₅ = N ₁₃₋₁₅ ^s						Pd/2h		18,00
N ₁₃₋₁₄ = N ₁₃₋₁₄ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N ₁₄₋₁₅ = N ₁₄₋₁₅ ^s					-P/2sinα		-15,00	
N ₄₆ ^e		17Pd/2h		306,00				
N ₄₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₄₋₁₄ ^s						33Pd/4h		297,00
N ₆₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₆₋₁₄ ^s						33Pd/4h		297,00
N ₅₆ ^e		P/sinα		30,00				
N ₅₆ = N ₅₆ ^e						P/sinα		30,00
N ₆₋₁₅ = N ₆₋₁₅ ^s						P/2sinα		15,00
N ₅₅ ^e	-9Pd/h		-324,00					
N ₅₅ = N ₅₅ ^e					-9Pd/h		-324,00	

Çizelge 3.8. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması

$$h=4\text{m} , P=24\text{KN} , L=36\text{m} , d=6\text{m} , \alpha=53,13^\circ , \beta=33,69^\circ$$

Çubuk Kuvveti	N ^e		N ^e (KN)		N		N(KN)	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N _{A1} ^e	-5P/sinα		-150,00					
N _{A1} = N _{A1} ^e					-5P/sinα		-150,00	
N _{A7} = N _{A7} ^s						P/2sinβ		21,63
N ₇₉ = N ₇₉ ^s						Pd/h		36,00
N ₇₈ = N ₇₈ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N ₈₉ = N ₈₉ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N _{A2} ^e		5Pd/2h		90,00				
N _{A8} = N _{A2} ^e + N _{A8} ^s						2Pd/h		72,00
N ₂₈ = N _{A2} ^e + N ₂₈ ^s						2Pd/h		72,00
N ₁₂ ^e		5P/sinα		150,00				
N ₁₂ = N ₁₂ ^e						5P/sinα		150,00
N ₂₉ = N ₂₉ ^s						P/2sinβ		21,63
N ₁₃ ^e	-5Pd/h		-72,00					
N ₁₃ = N ₁₃ ^e					-5Pd/h		-72,00	
N ₂₃ ^e	-3P/sinα		-90,00					
N ₂₃ = N ₂₃ ^e					-3P/sinα		-90,00	
N ₂₋₁₀ = N ₂₋₁₀ ^s						P/2sinβ		21,63
N ₁₀₋₁₁ = N ₁₀₋₁₁ ^s						Pd/h		36,00
N ₁₀₋₁₂ = N ₁₀₋₁₂ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N ₁₁₋₁₂ = N ₁₁₋₁₂ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N ₂₄ ^e		13Pd/2h		234,00				
N ₂₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₂₋₁₂ ^s						6Pd/h		216,00
N ₄₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₄₋₁₂ ^s						6Pd/h		216,00
N ₃₄ ^e		3P/sinα		90,00				
N ₃₄ = N ₃₄ ^e						3P/sinα		90,00
N ₄₋₁₁ = N ₄₋₁₁ ^s						P/2sinβ		21,63
N ₃₅ ^e	-8Pd/h		-288,00					
N ₃₅ = N ₃₅ ^e					-8Pd/h		-288,00	
N ₄₅ ^e	-P/sinα		-30,00					
N ₄₅ = N ₄₅ ^e					-P/sinα		-30,00	
N ₄₋₁₃ = N ₄₋₁₃ ^s						P/2sinβ		21,63
N ₁₃₋₁₅ = N ₁₃₋₁₅ ^s						Pd/h		36,00
N ₁₃₋₁₄ = N ₁₃₋₁₄ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N ₁₄₋₁₅ = N ₁₄₋₁₅ ^s					-P/2sinβ		-21,63	
N ₄₆ ^e		17Pd/2h		306,00				
N ₄₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₄₋₁₄ ^s						8Pd/h		288,00
N ₆₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₆₋₁₄ ^s						8Pd/h		288,00
N ₅₆ ^e		P/sinα		30,00				
N ₅₆ = N ₅₆ ^e						P/sinα		30,00
N ₆₋₁₅ = N ₆₋₁₅ ^s						P/2sinβ		21,63
N ₅₅ ^e	-9Pd/h		-324,00					
N ₅₅ ' = N ₅₅ ^e					-9Pd/h		-324,00	

Çizelge 3.9. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması haline göre esas kafes kiriş ile karmaşık kafes kirişin kıyaslaması

$$h=4\text{m}, P=24\text{KN}, L=36\text{m}, d=6\text{m}, \alpha=53,13^\circ, \theta=18,43^\circ$$

Çubuk Kuvveti	N ^c		N ^c (KN)		N		N(KN)	
	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme	basınç	çekme
N _{A1} ^e	-5P/sinα		-150,00					
N _{A1} = N _{A1} ^e					-5P/sinα		-150,00	
N _{A7} = N _{A7} ^s						P/2sinθ		37,95
N ₇₈ = N ₇₈ ^s					-P		-24,00	
N _{A2} ^e		5Pd/2h		-90,00				
N _{A8} = N _{A2} ^e + N _{A8} ^s						3Pd/2h		54,00
N ₂₈ = N _{A2} ^e + N ₂₈ ^s						3Pd/2h		54,00
N ₁₂ ^e		5P/sinα		150,00				
N ₁₂ = N ₁₂ ^e						5P/sinα		150,00
N ₂₇ = N ₂₇ ^s						P/2sinθ		113,84
N ₁₃ ^e	-5Pd/h		-180,00					
N ₁₃ = N ₁₃ ^e					-5Pd/h		-180,00	
N ₂₃ ^e	-3P/sinα		-90,00					
N ₂₃ = N ₂₃ ^e					-3P/sinα		-90,00	
N ₂₉ = N ₂₉ ^s						P/2sinθ		37,95
N ₂₄ ^e		13Pd/2h		234,00				
N ₂₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₂₋₁₂ ^s						11Pd/2h		198,00
N ₄₋₁₂ = N ₂₄ ^e + N ₄₋₁₂ ^s						11Pd/2h		198,00
N ₉₋₁₂ = N ₉₋₁₂ ^s					-P		-24,00	
N ₄₉ = N ₄₉ ^s						P/2sinθ		37,95
N ₃₄ ^e		3P/sinα		90,00				
N ₃₄ = N ₃₄ ^e						3P/sinα		90,00
N ₃₅ ^e	-8Pd/h		-288,00					
N ₃₅ = N ₃₅ ^e					-8Pd/h		-288,00	
N ₄₅ ^e	-P/sinα		-30,00					
N ₄₅ = N ₄₅ ^e					-P/sinα		-30,00	
N ₄₋₁₁ = N ₄₋₁₁ ^s						P/2sinθ		37,95
N ₄₆ ^e		17Pd/2h		306,00				
N ₄₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₄₋₁₄ ^s						15Pd/2h		270,00
N ₆₋₁₄ = N ₄₆ ^e + N ₆₋₁₄ ^s						15Pd/2h		270,00
N ₁₁₋₁₄ = N ₁₁₋₁₄ ^s					-P		-24,00	
N ₆₋₁₁ = N ₆₋₁₁ ^s						P/2sinθ		37,95
N ₅₆ ^e		P/sinα		30,00				
N ₅₆ = N ₅₆ ^e						P/sinα		30,00
N ₅₅ ^e	-9Pd/h		-324,00					
N ₅₅ ' = N ₅₅ ^e					-9Pd/h		-324,00	

Çizelge 3.10. Sabit yükler etkisinden karmaşık kafes kirişlerde alt başlık çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

sistem-1 $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali;

sistem-2 $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali;

sistem-3 $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali;

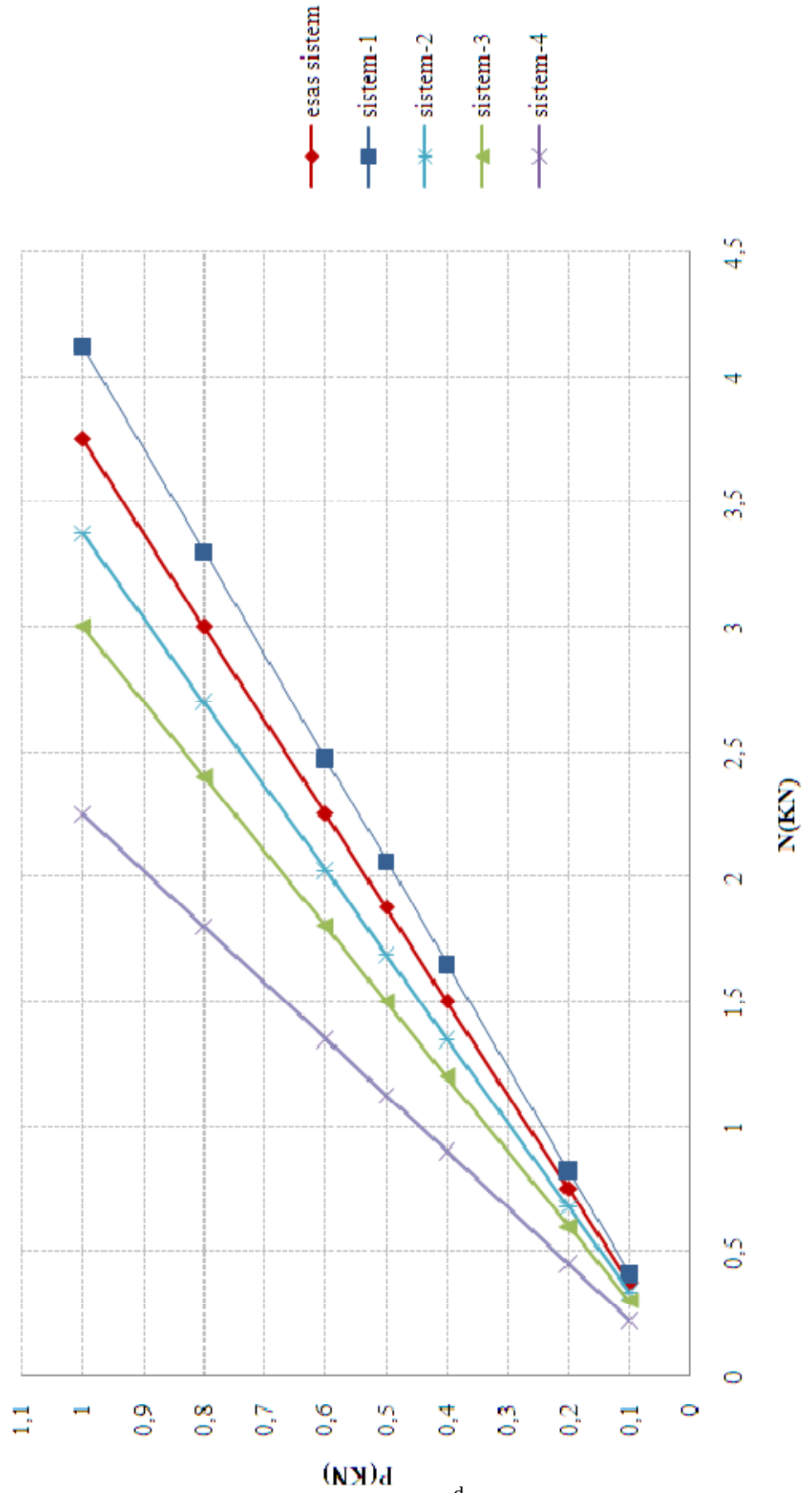
sistem-4 $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali

Çubuk kuvveti	N ^c		N							
	esas sistem		sistem-1		sistem-2		sistem-3		sistem-4	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A2}	5Pd/2h	90								
N _{A8}			5,5Pd/2h	99	9Pd/4h	81	2Pd/h	72	3Pd/2h	54
N ₂₈			5,5Pd/2h	99	9Pd/4h	81	2Pd/h	72	3Pd/2h	54
N ₂₋₄	13Pd/2h	234								
N ₂₋₁₂			13,5Pd/2h	243	25Pd/4h	225	6Pd/h	216	11Pd/2h	198
N ₄₋₁₂			13,5Pd/4h	243	25Pd/4h	225	6Pd/h	216	11Pd/2h	198
N ₄₋₆	17Pd/2h	306								
N ₄₋₁₄			17,5Pd/2h	315	33Pd/4h	297	8Pd/h	288	15Pd/2h	270
N ₆₋₁₄			17,5Pd/2h	315	33Pd/4h	297	8Pd/h	288	15Pd/2h	270
N ₄₋₆	17Pd/2h	306								
N _{6-14'}			17,5Pd/2h	315	33Pd/4h	297	8Pd/h	288	15Pd/2h	270
N _{4-14'}			17,5Pd/2h	315	33Pd/4h	297	8Pd/h	288	15Pd/2h	270
N _{2-4'}	13Pd/2h	234								
N _{4-12'}			13,5Pd/2h	243	25Pd/4h	225	6Pd/h	216	11Pd/2h	198
N _{2-12'}			13,5Pd/2h	243	25Pd/4h	225	6Pd/h	216	11Pd/2h	198
N _{B2'}	5Pd/2h	90								
N _{2'8'}			5,5Pd/2h	99	9Pd/4h	81	2Pd/h	72	3Pd/2h	54
N _{B8'}			5,5Pd/2h	99	9Pd/4h	81	2Pd/h	72	3Pd/2h	54

Çizelge 3.11: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{A8} çubuklarının kıyaslaması

		çubuk kuvveti N_{A8}	d=6m h=4m d/h=1,5	P						
				0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
N^e	esas sistem	5Pd/2h	3,75P	0,375	0,75	1,5	1,875	2,25	3	3,75
N^s	sistem-1	5,5Pd/2h	4,125P	0,4125	0,825	1,65	2,0625	2,475	3,3	4,125
	sistem-2	9Pd/4h	3,375P	0,3375	0,675	1,35	1,6875	2,025	2,7	3,375
	sistem-3	2Pd/h	3P	0,3	0,6	1,2	1,5	1,8	2,4	3
	sistem-4	3Pd/2h	2,25P	0,225	0,45	0,9	1,125	1,35	1,8	2,25

$\frac{d}{h} = 1,5$ değeri için N_{A8} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %10 artmış, sistem-2’de %10 azalmış, sistem-3’de %20 azalmış, sistem-4’de %40 azalmıştır.

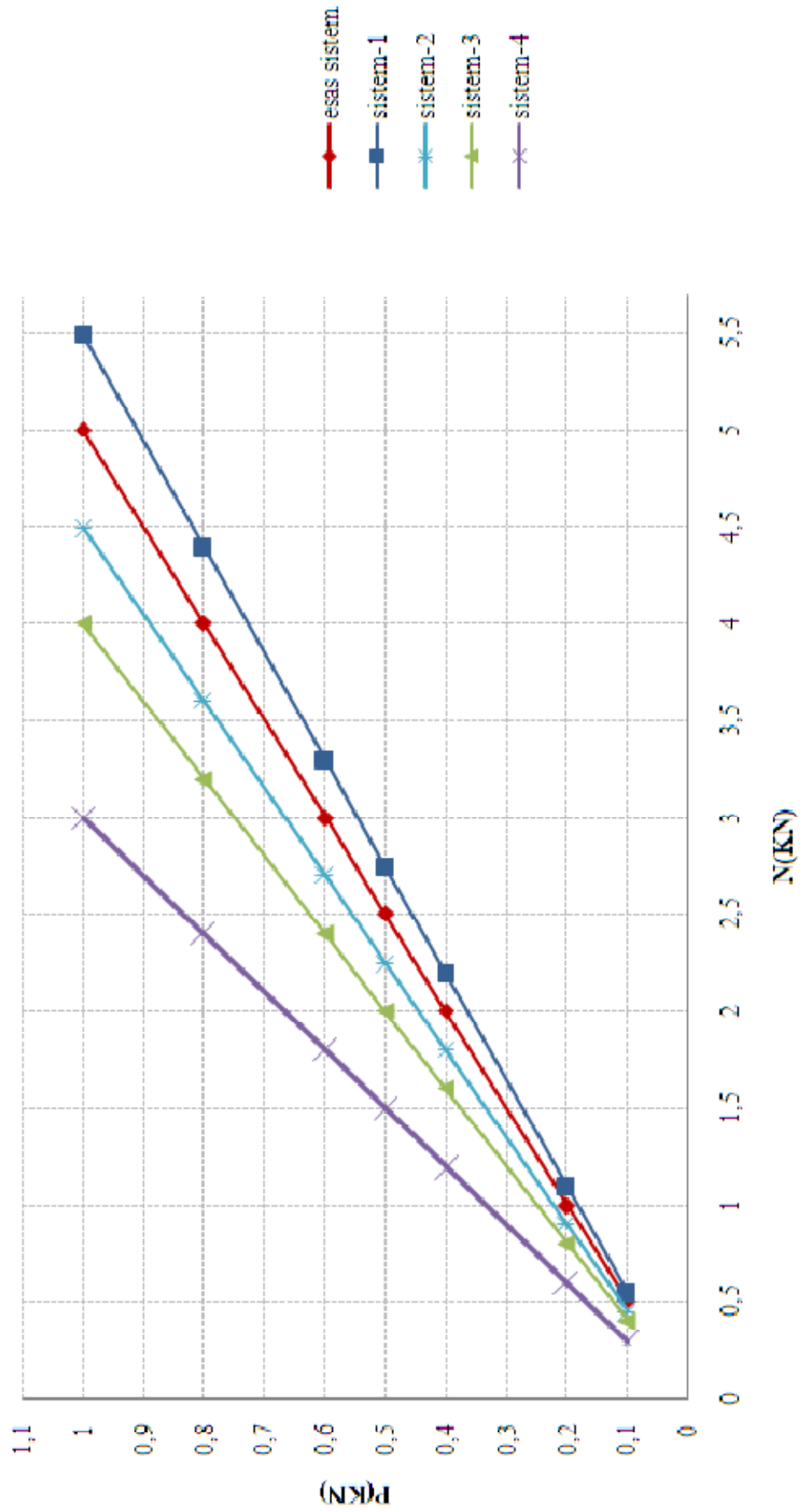


Şekil 3.25: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{A8} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

Çizelge 3.12: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{A8} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

		çubuk kuvveti	d=8m h=4m	P						
				N_{A8}	d/h=2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
N^e	esas sistem	$5Pd/2h$	5,0P	0,5	1	2	2,5	3	4	5
N^s	sistem-1	$5,5Pd/2h$	5,5P	0,55	1,1	2,2	2,75	3,3	4,4	5,5
	sistem-2	$9Pd/4h$	4,5P	0,45	0,9	1,8	2,25	2,7	3,6	4,5
	sistem-3	$2Pd/h$	4,0P	0,4	0,8	1,6	2	2,4	3,2	4
	sistem-4	$3Pd/2h$	3,0P	0,3	0,6	1,2	1,5	1,8	2,4	3

$\frac{d}{h} = 2$ değeri için N_{A8} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %10 artmış, sistem-2’de %10 azalmış, sistem-3’de %20 azalmış, sistem-4’de %40 azalmıştır.

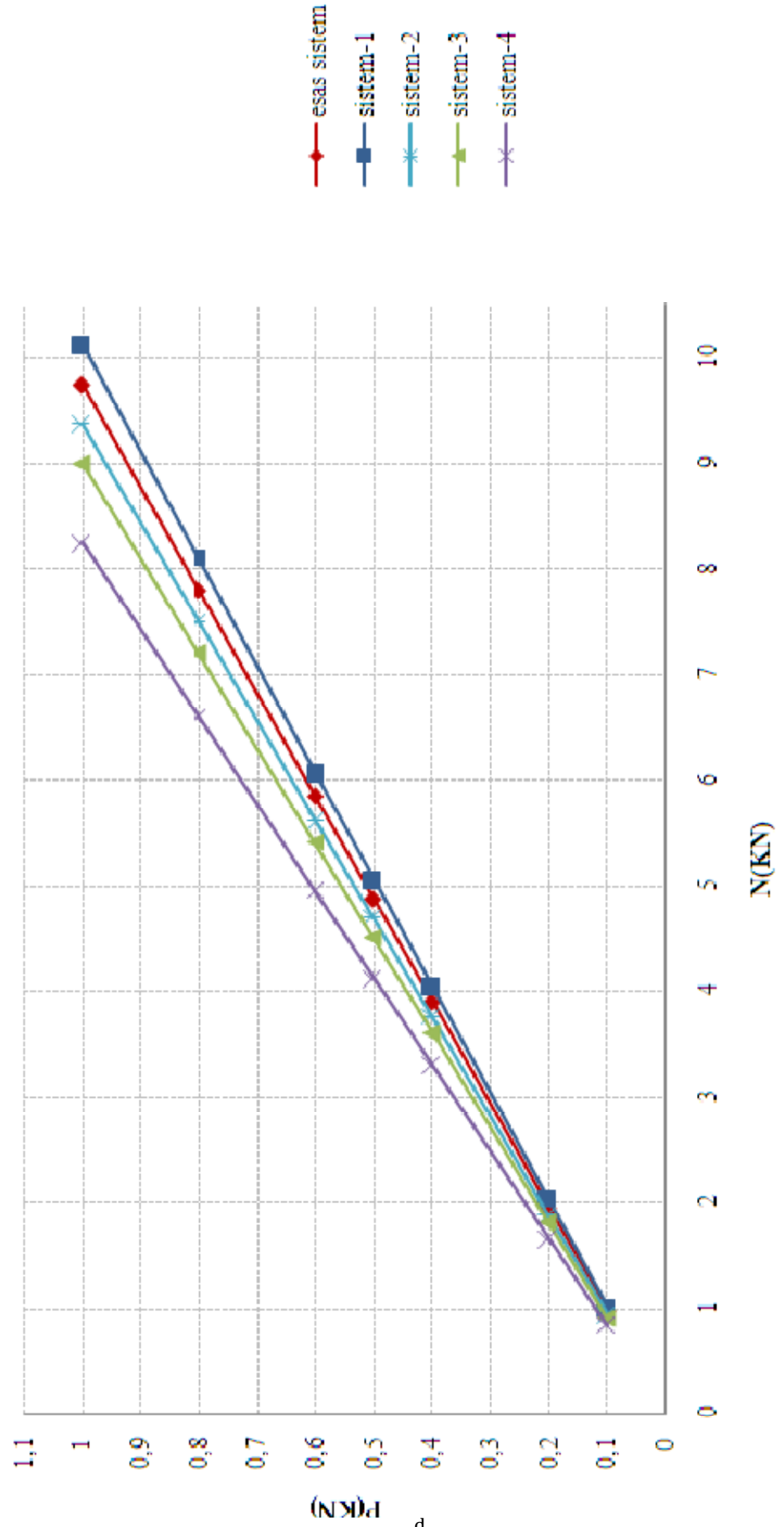


Şekil 3.26: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{A8} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

Çizelge 3.13: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

		çubuk kuvveti N_{2-12}	d=6m h=4m d/h=1,5	P						
				0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
N^e	esas sistem	13Pd/2h	9,75P	0,975	1,95	3,9	4,875	5,85	7,8	9,75
N^s	sistem-1	13,5Pd/2h	10,125P	1,0125	2,025	4,05	5,0625	6,075	8,1	10,125
	sistem-2	25Pd/4h	9,375P	0,9375	1,875	3,75	4,6875	5,625	7,5	9,375
	sistem-3	6Pd/h	9P	0,9	1,8	3,6	4,5	5,4	7,2	9
	sistem-4	11Pd/2h	8,25P	0,825	1,65	3,3	4,125	4,95	6,6	8,25

$\frac{d}{h} = 1,5$ değeri için N_{2-12} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %3,85 artmış, sistem-2 %3,85’de azalmış sistem-3’de %7,69 azalmış, sistem-4’de %15,38 azalmıştır.

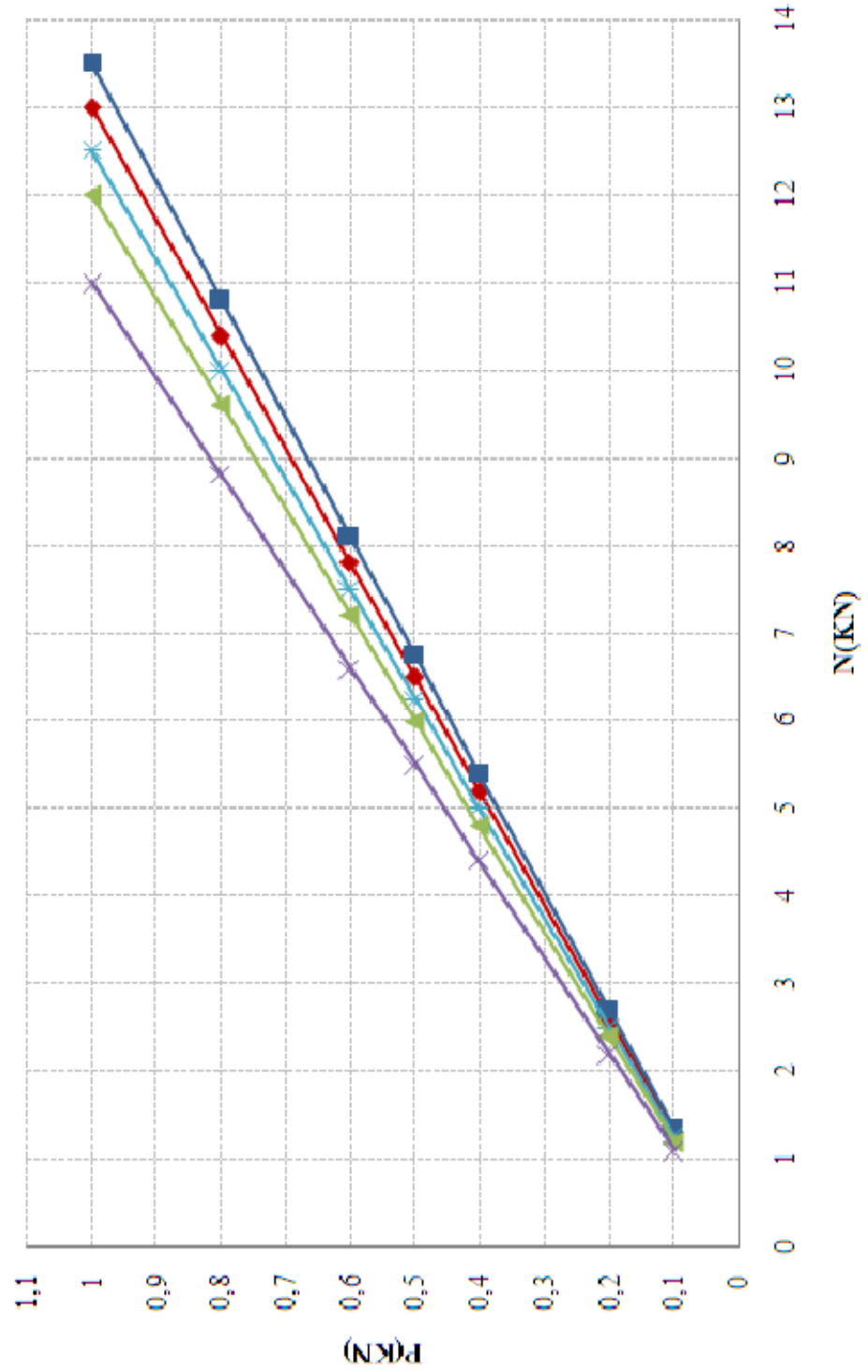


Şekil 3.27: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

Çizelge 3.14: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

		çubuk kuvveti	d=8m h=4m	P						
		N_{2-12}	d/h=2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
N^e	esas sistem	$13Pd/2h$	13P	1,3	2,6	5,2	6,5	7,8	10,4	13
N^s	sistem-1	$13,5Pd/2h$	13,5P	1,35	2,7	5,4	6,75	8,1	10,8	13,5
	sistem-2	$25Pd/4h$	12,5P	1,25	2,5	5	6,25	7,5	10	12,5
	sistem-3	$6Pd/h$	12P	1,2	2,4	4,8	6	7,2	9,6	12
	sistem-4	$11Pd/2h$	11P	1,1	2,2	4,4	5,5	6,6	8,8	11

$\frac{d}{h} = 2$ değeri için N_{2-12} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %3,85 artmış, sistem-2’de %3,85 azalmış sistem-3’de %7,69 azalmış, sistem-4’de %15,38 azalmıştır.

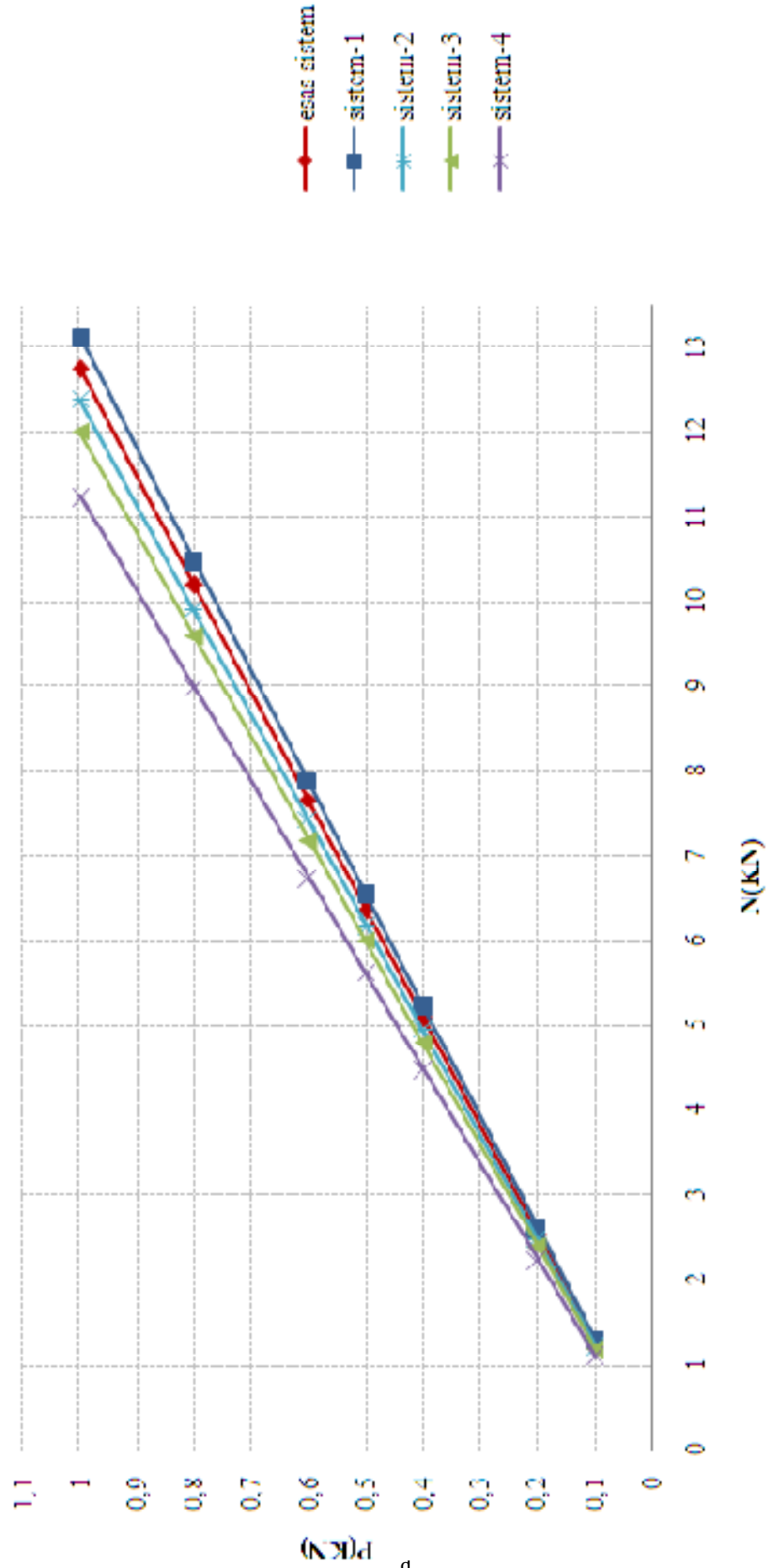


Şekil 3.28: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{2-12} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

Çizelge 3.15: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 1,5$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

		çubuk kuvveti N_{4-14}	d=6m h=4m d/h=1,5	P						
				0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
N^e	esas sistem	17Pd/2h	12,75P	1,275	2,55	5,1	6,375	7,65	10,2	12,75
N^s	sistem-1	17,5Pd/2h	13,125P	1,3125	2,625	5,25	6,5625	7,875	10,5	13,125
	sistem-2	33Pd/4h	12,375P	1,2375	2,475	4,95	6,1875	7,425	9,9	12,375
	sistem-3	8Pd/h	12P	1,2	2,4	4,8	6	7,2	9,6	12
	sistem-4	15Pd/2h	11,25P	1,125	2,25	4,5	5,625	6,75	9	11,25

$\frac{d}{h} = 1,5$ değeri için N_{4-14} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %2,94 artmış, sistem-2’de %2,94 azalmış, sistem-3’de %5,88 azalmış, sistem-4’de %11,76 azalmıştır.

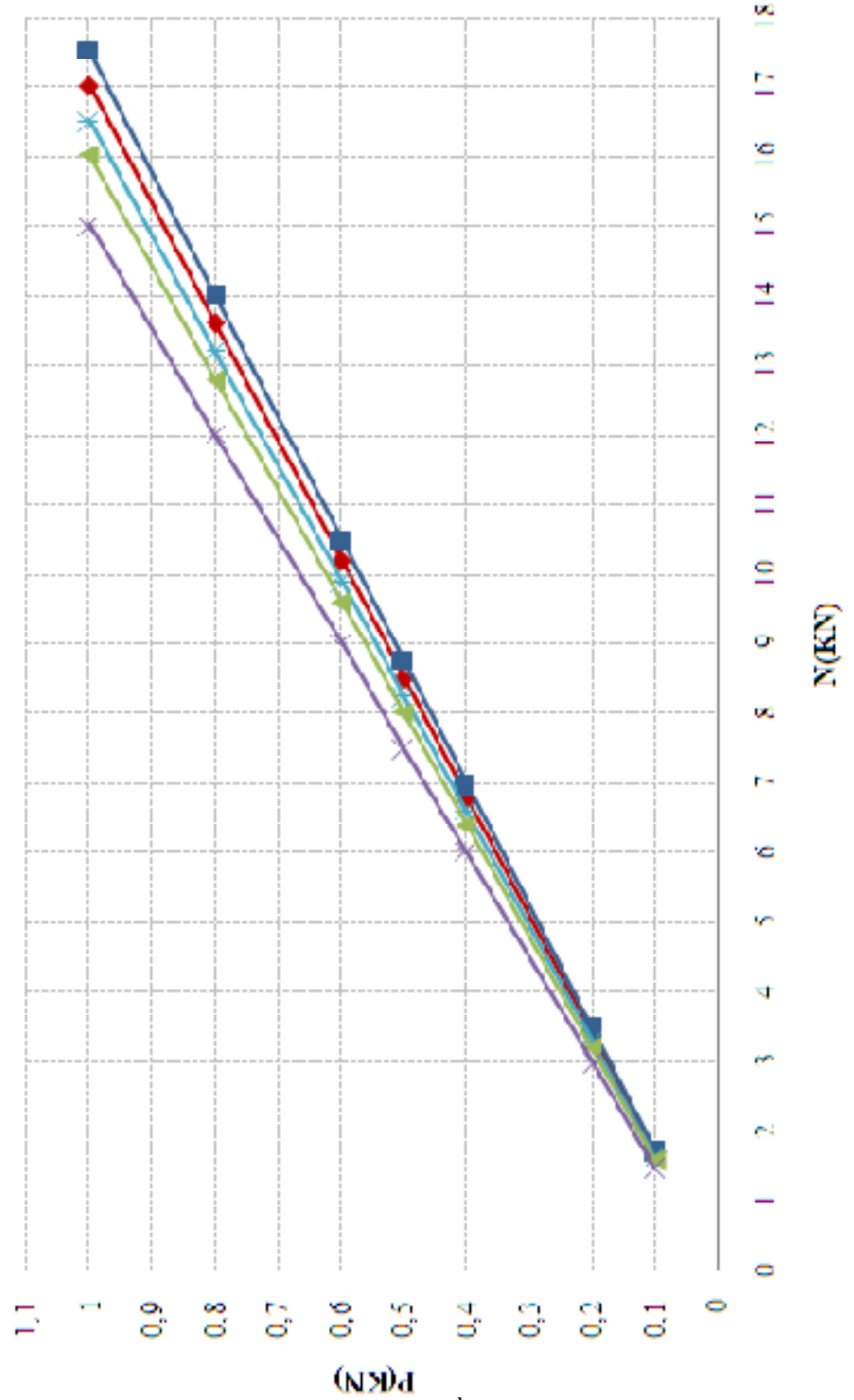


Şekil 3.29: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{a}{h} = 1,5$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

Çizelge 3.16: Şekil 3.1’de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin kıyaslaması

		çubuk adı	d=8m	P						
		N_{4-14}	h=4m d/h=2	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6	0,8	1
N^e	esas sistem	17Pd/2h	17,0P	1,7	3,4	6,8	8,5	10,2	13,6	17
N^s	sistem-1	17,5Pd/2h	17,5P	1,75	3,5	7	8,75	10,5	14	17,5
	sistem-2	33Pd/4h	16,5P	1,65	3,3	6,6	8,25	9,9	13,2	16,5
	sistem-3	8Pd/h	16,0P	1,6	3,2	6,4	8	9,6	12,8	16
	sistem-4	15Pd/2h	15,0P	1,5	3	6	7,5	9	12	15

$\frac{d}{h} = 2$ değeri için N_{4-14} çubuk kuvveti esas sisteme göre; sistem-1’de %2,94 artmış, , sistem-2’de %2,94 azalmış, sistem-3’de %5,88 azalmış, sistem-4’de %11,76 azalmıştır.

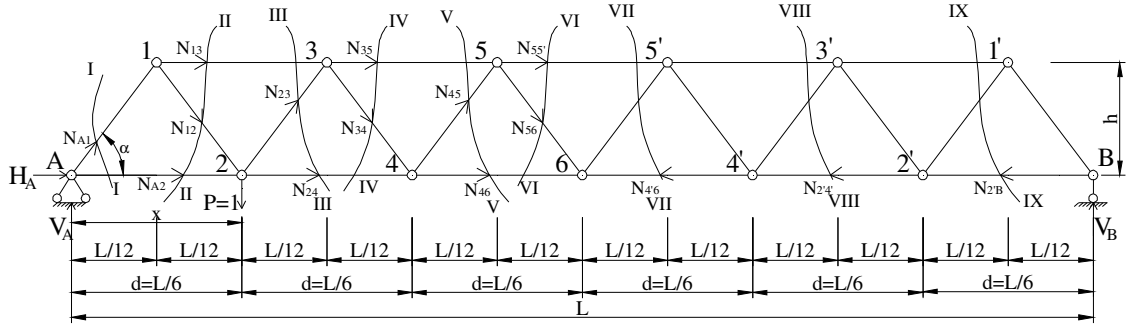


Şekil 3.30: Şekil 3.1'de görülen kafes kirişlerin $\frac{d}{h} = 2$ değerine göre N_{4-14} çubuk kuvvetlerinin grafik olarak kıyaslaması

4.BÖLÜM. HAREKETLİ YÜK ETKİSİNDE KARMAŞIK KAFES KİRİŞLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER

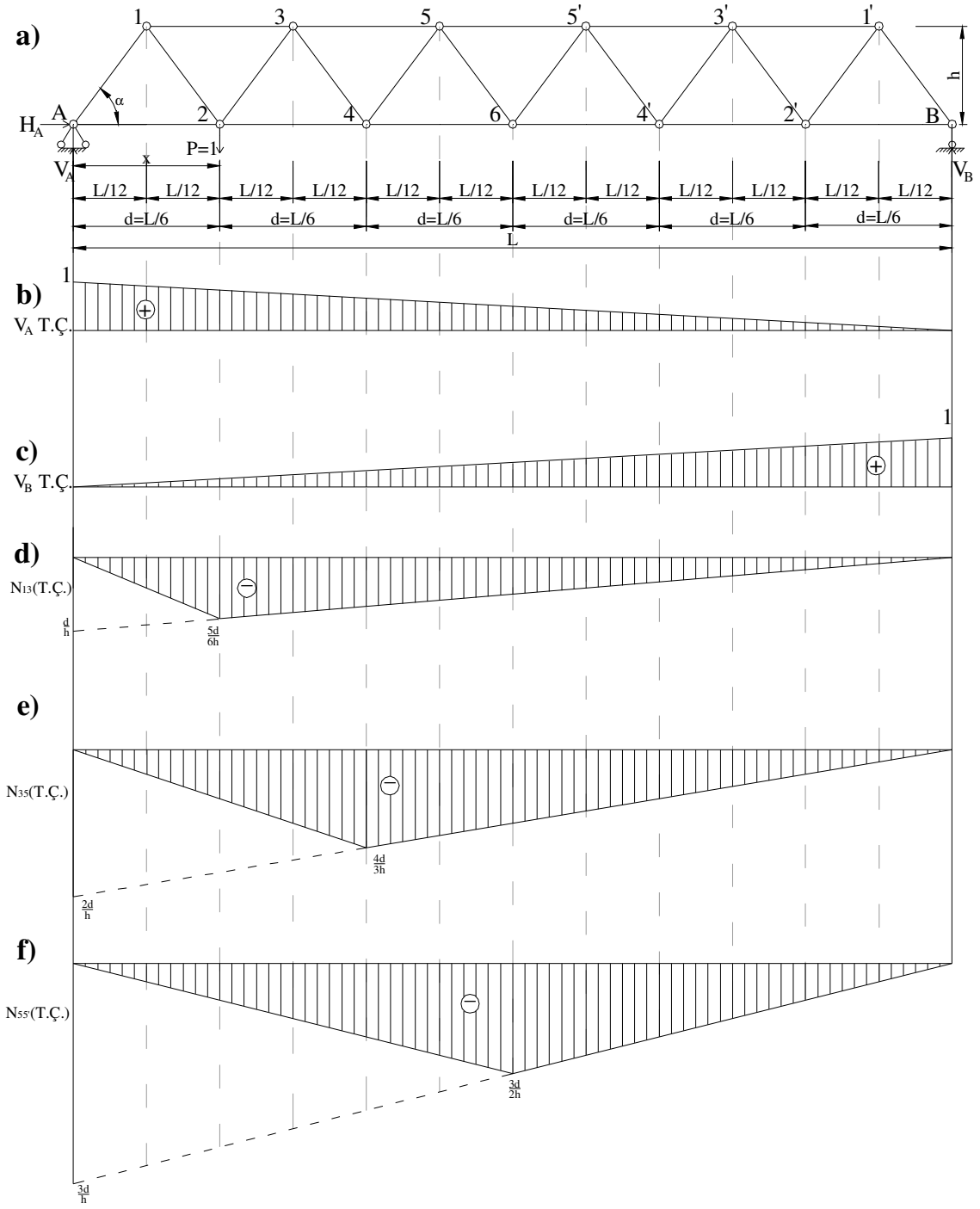
4.1. Hareketli Yüke Göre Esas Kafes Kirişin Çubuklarındaki Normal Kuvvetlerin Tesir Çizgilerinin Çizilmesi Ve Sabit Yüke Göre Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması

Kafes kirişleri hareketli yüklere göre hesaplamak için, $P=1$ yükü alt başlık düğümlerinde hareket ettirilip, çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri (T.Ç.) çizilir.

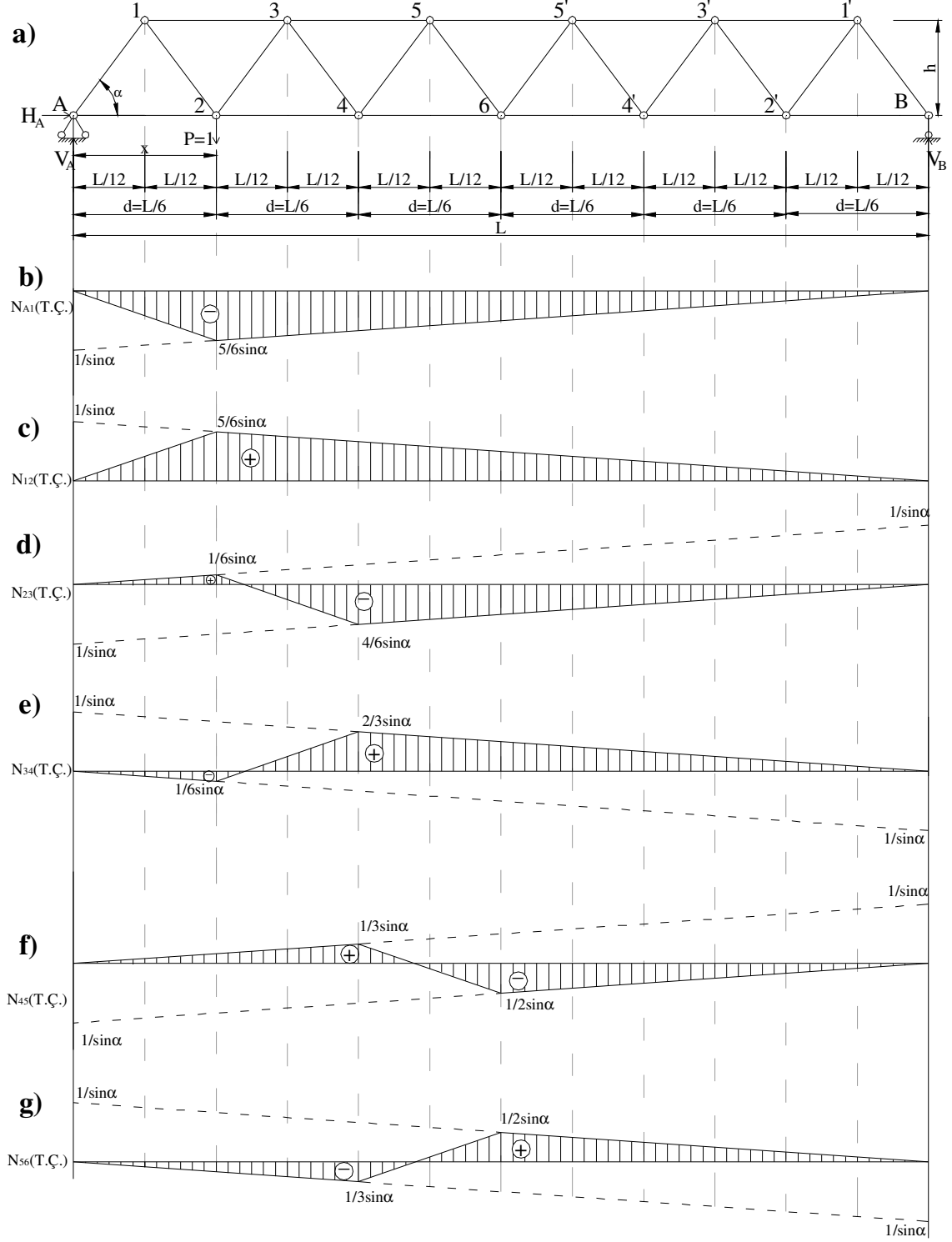


Şekil 4.1. Hareketli yük etkisinde esas kafes kiriş

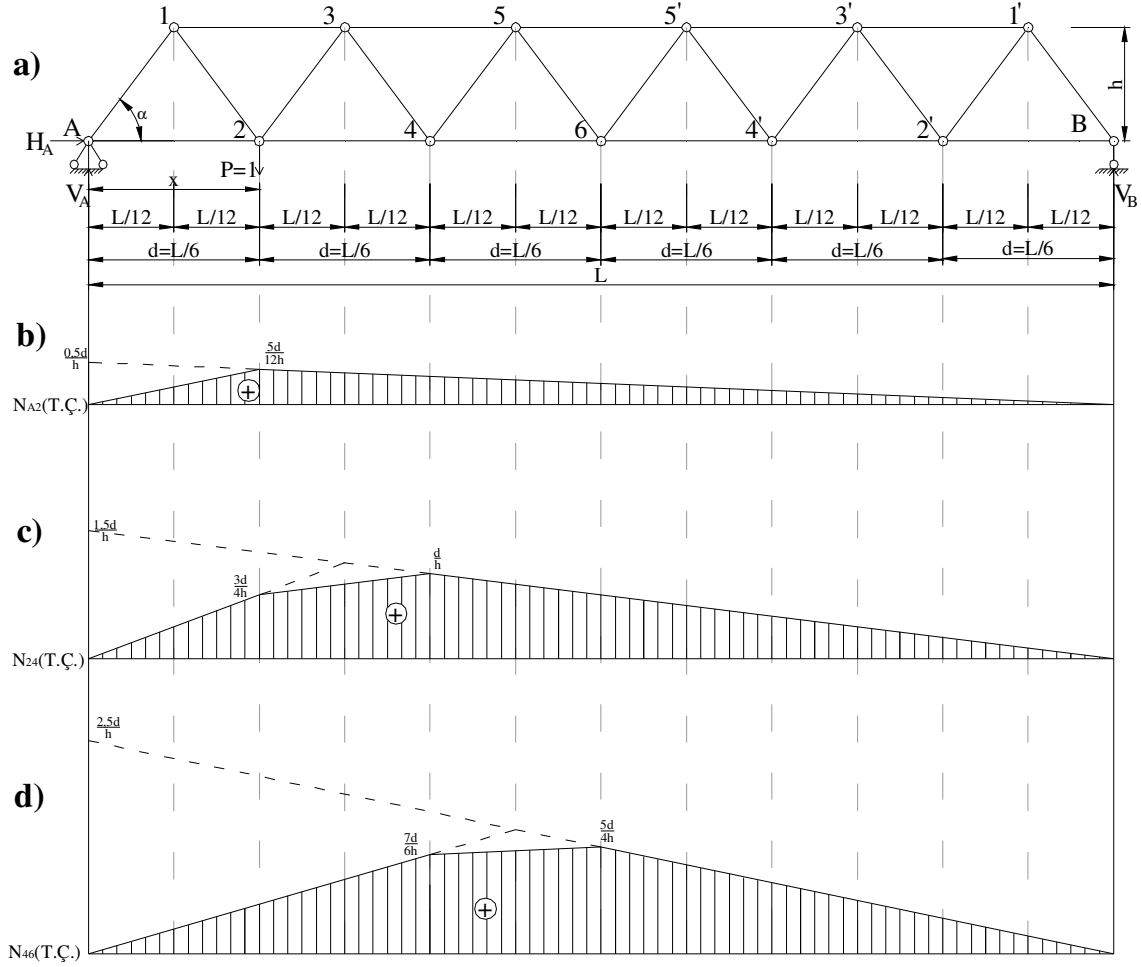
Esas kafes kirişin tepkilerinin ve çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri şekil 4.2 , şekil 4.3 ve şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. a- Esas kafes kiriş; b, c, d, e, f-Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.3. a- Esas kafes kiriş; b, c, d, e, f,g- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.4. a- Esas kafes kiriş; b, c, d- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

[2.3] bağıntısı kullanılarak, esas kafes kirişin çubuklarındaki normal kuvvetlerin tesir çizgileri sabit yüklerle yüklenip N_{13} , N_{35} , $N_{55'}$, N_{A1} , N_{12} , N_{23} , N_{34} , N_{45} , N_{56} , N_{A2} , N_{24} , N_{46} değerleri bulunur.

Şekil 4.2.de tesir çizgileri sabit $2P$ yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{13} = -\frac{5Pd}{h}; \quad N_{35} = -\frac{8Pd}{h}; \quad N_{55'} = -\frac{9Pd}{h}$$

Şekil 4.3.de tesir çizgileri sabit $2P$ yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A1} = -\frac{5P}{\sin\alpha}; \quad N_{12} = \frac{5P}{\sin\alpha}; \quad N_{23} = -\frac{3P}{\sin\alpha}$$

$$N_{34} = \frac{3P}{\sin\alpha}; \quad N_{45} = -\frac{P}{\sin\alpha}; \quad N_{56} = \frac{P}{\sin\alpha}$$

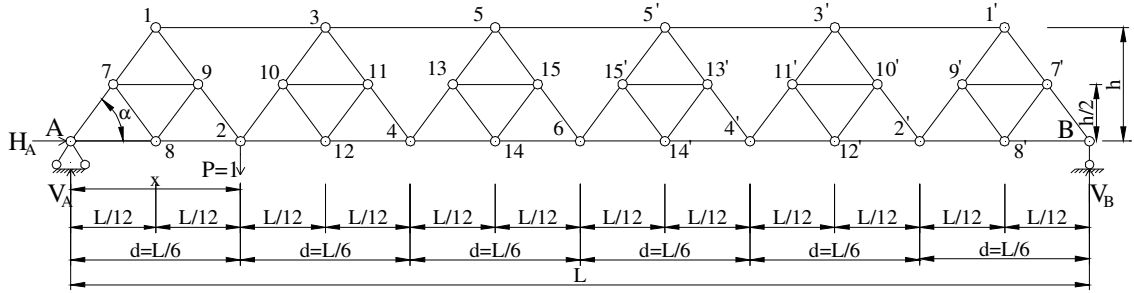
Şekil 4.4.de tesir çizgileri sabit $2P$ yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A2} = \frac{5Pd}{2h}; \quad N_{24} = \frac{13Pd}{2h}; \quad N_{46} = \frac{17Pd}{2h} \quad \text{bulunur.}$$

4.2 Hareketli Yüke göre Karmaşık Kafes Kirişin Çubuklarındaki Normal Kuvvetlerin Tesir Çizgilerinin Çizilmesi Ve Sabit Yüke Göre Çubuk Kuvvetlerinin Bulunması

4.2.1 $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması

Karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgilerini çizmek için esas ve karma eleman için çizilmiş tesir çizgilerini toplamak gerekir. Tesir çizgilerini çizmek için hareket eden $P=1$ yükü alt başlık düğümlerinde hareket ettirilir.



Şekil 4.5. Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş

$$N_{A7}(T.Ç.) = N_{A1}^e(T.Ç.) + N_{A7}^s(T.Ç.)$$

$$N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$$

$$N_{28}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{28}^s(T.Ç.)$$

$$N_{29}(T.Ç.) = N_{2-10}^e(T.Ç.) + N_{29}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-10}(T.Ç.) = N_{23}^e(T.Ç.) + N_{2-10}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{4-12}^s(T.Ç.)$$

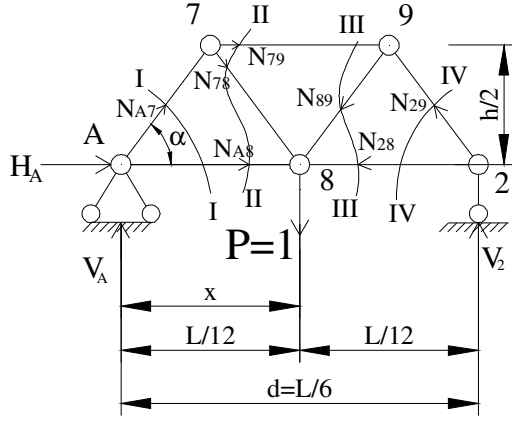
$$N_{4-11}(T.Ç.) = N_{34}^e(T.Ç.) + N_{4-11}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-13}(T.Ç.) = N_{45}^e(T.Ç.) + N_{4-13}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.)$$

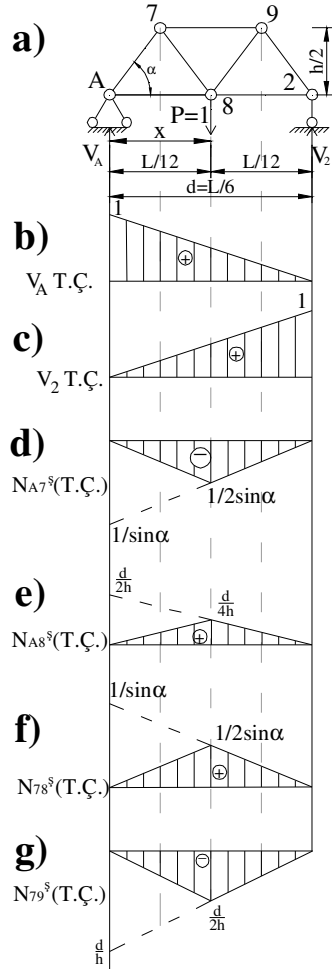
$$N_{6-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{6-14}^s(T.Ç.)$$

$$N_{6-15}(T.Ç.) = N_{56}^e(T.Ç.) + N_{6-15}^s(T.Ç.) \text{ olacaktır.}$$



Şekil 4.6. Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman

Hareket eden $P=1$ yükü alt başlık düğümlerine ekleyip karmaşık elemanın çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri çizilir (şekil 4.7.).



Şekil 4.7. a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g, -çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Şekil 4.7.deki tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A7}^s = -\frac{1}{2\sin\alpha} \cdot P = -\frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$N_{A8}^s = \frac{d}{4h} \cdot P = \frac{Pd}{4h}$$

$$N_{78}^s = \frac{1}{2\sin\alpha} \cdot P = \frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$N_{79}^s = -\frac{d}{2h} \cdot P = -\frac{Pd}{2h}$$

bulunur.

Süperpozisyon yöntemi kullanılarak karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri bulunur.

Şekil 4.8'de

c) de $N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$

e) de $N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$

g) de $N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.)$ gösterilmiştir.

Şekil 4.9'da

c) de $N_{A7}(T.Ç.) = N_{A1}^e(T.Ç.) + N_{A7}^s(T.Ç.)$

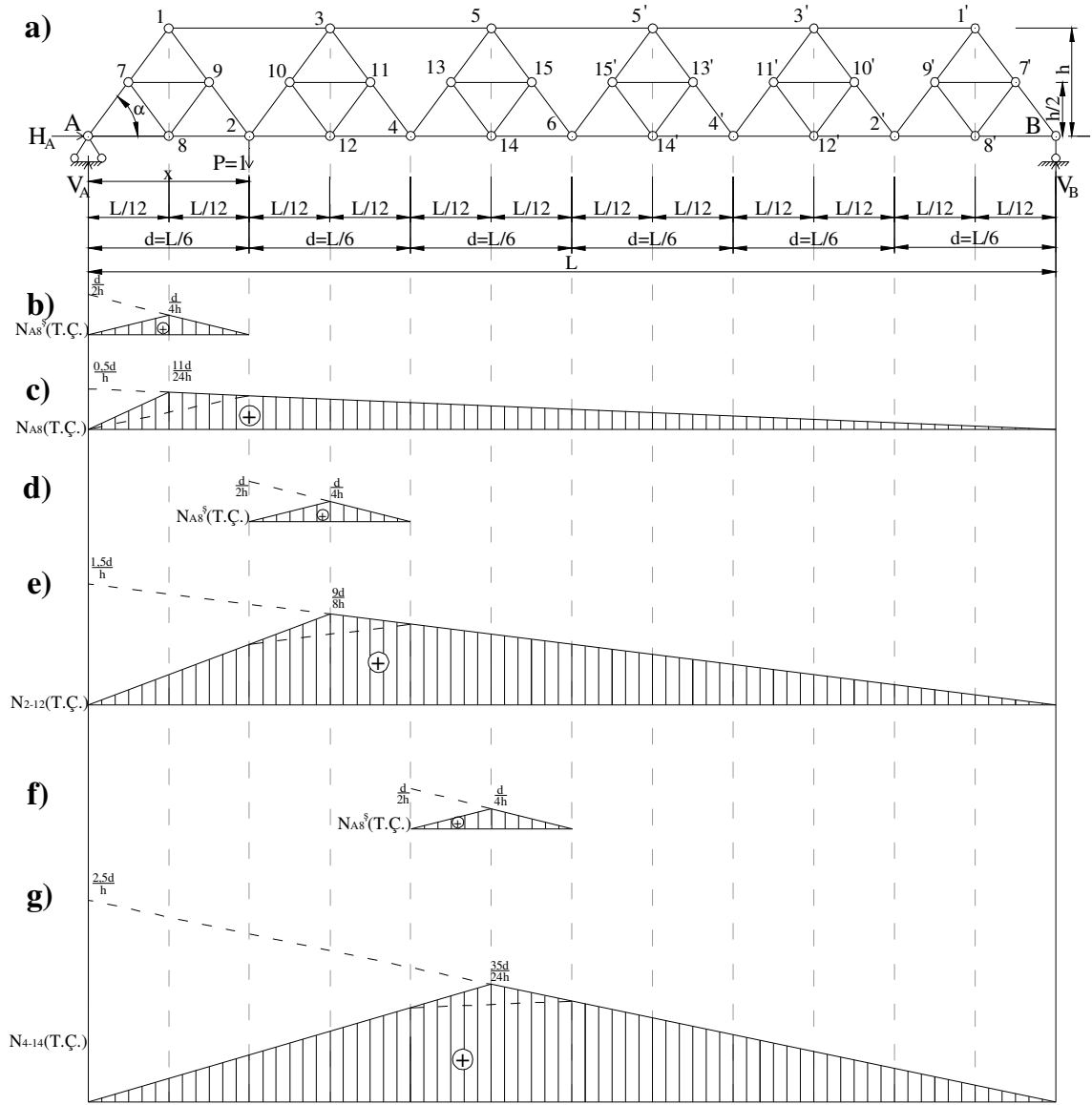
d) de $N_{29}(T.Ç.) = N_{12}^e(T.Ç.) + N_{29}^s(T.Ç.)$

f) de $N_{2-10}(T.Ç.) = N_{23}^e(T.Ç.) + N_{2-10}^s(T.Ç.)$

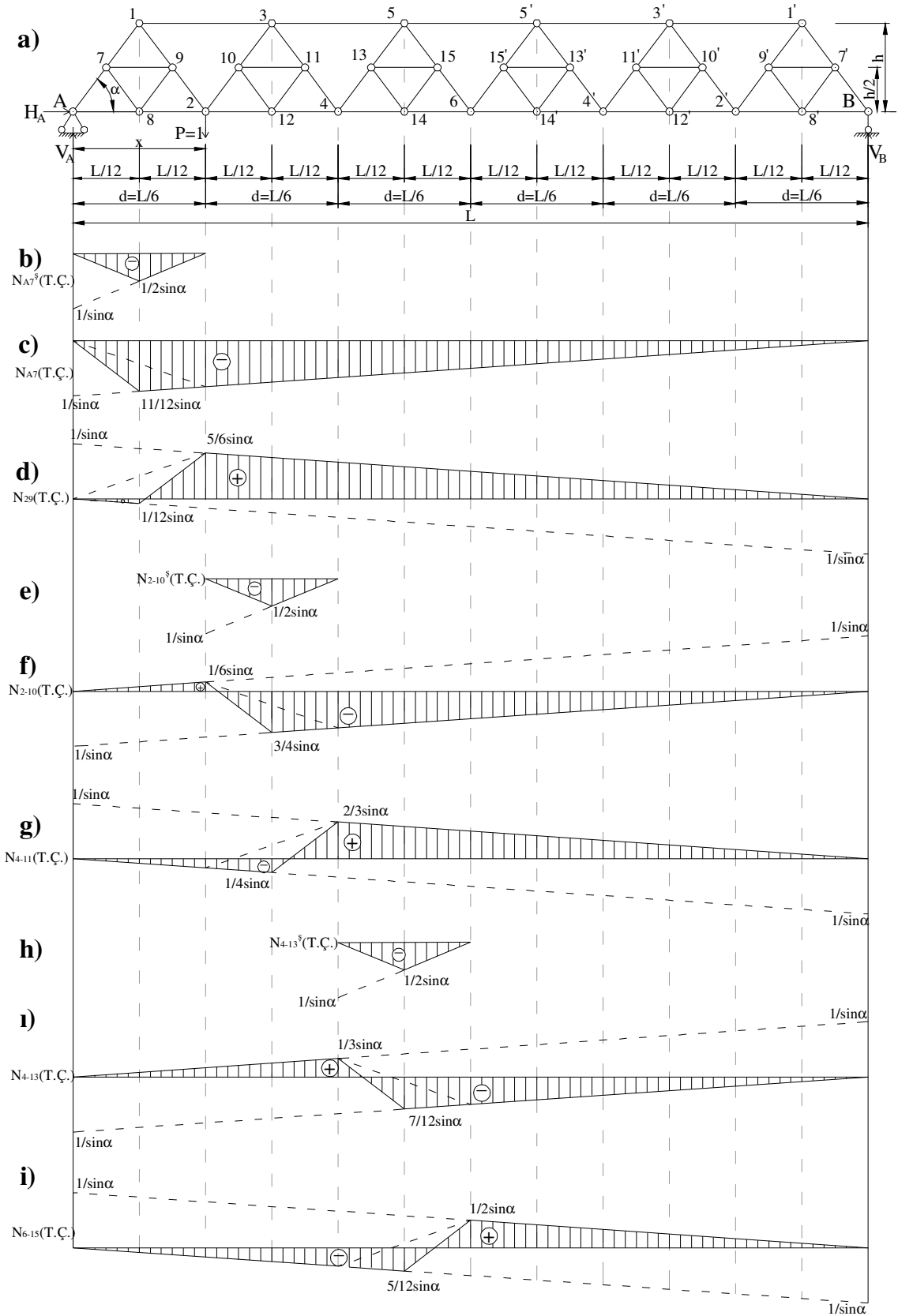
g) de $N_{4-11}(T.Ç.) = N_{34}^e(T.Ç.) + N_{4-11}^s(T.Ç.)$

ı) de $N_{4-13}(T.Ç.) = N_{45}^e(T.Ç.) + N_{4-13}^s(T.Ç.)$

i) de $N_{6-15}(T.Ç.) = N_{56}^e(T.Ç.) + N_{6-15}^s(T.Ç.)$ gösterilmiştir.



Şekil 4.8. a-Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.9. a-Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g, h, ı, i- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Bulunmuş tesir çizgileri sabit yüklerle yüklenip karmaşık kafes kiriş çubuk kuvvetlerinin değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.8.deki tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A8} = \frac{5,5Pd}{2h}; \quad N_{2-12} = \frac{13,5Pd}{2h}; \quad N_{4-14} = \frac{17,5Pd}{2h}$$

Şekil 4.9.daki tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

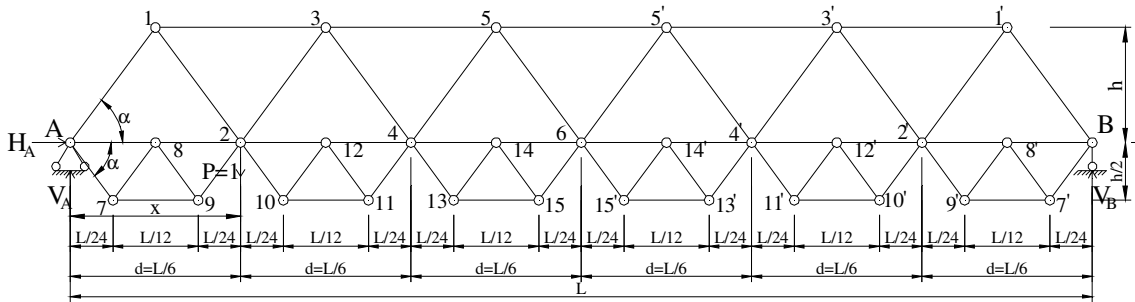
$$N_{A7} = -\frac{5,5P}{\sin\alpha}; \quad N_{29} = \frac{4,5P}{\sin\alpha}; \quad N_{2-10} = -\frac{3,5P}{\sin\alpha}$$

$$N_{4-11} = \frac{2,5P}{\sin\alpha}; \quad N_{4-13} = -\frac{1,5P}{\sin\alpha}; \quad N_{6-15} = \frac{0,5P}{\sin\alpha}$$

bulunur.

4.2.2 $\frac{h}{2}$ Yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kiriş dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması

Karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgilerini çizmek için esas ve karma eleman için çizilmiş tesir çizgilerini toplamak gerekir. Tesir çizgilerini çizmek için hareket eden $P=1$ yükü şekil 4.10' da görüldüğü gibi alt başlık düğümlerinde hareket ettirilir.



Şekil 4.10. Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş

$$N_{A7}(T.Ç.) = N_{A7}^s(T.Ç.)$$

$$N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$$

$$N_{28}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{28}^s(T.Ç.)$$

$$N_{29}(T.Ç.) = N_{29}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-10}(T.Ç.) = N_{2-10}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-12}(\text{T.Ç.}) = N_{24}^e(\text{T.Ç.}) + N_{4-12}^s(\text{T.Ç.})$$

$$N_{4-11}(\text{T.Ç.}) = N_{4-11}^s(\text{T.Ç.})$$

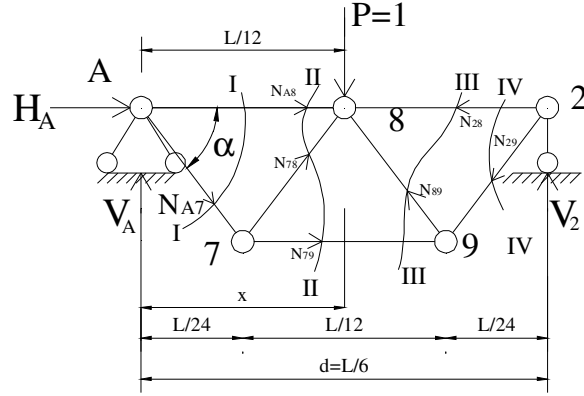
$$N_{4-13}(\text{T.Ç.}) = N_{4-13}^s(\text{T.Ç.})$$

$$N_{4-14}(\text{T.Ç.}) = N_{46}^e(\text{T.Ç.}) + N_{4-14}^s(\text{T.Ç.})$$

$$N_{6-14}(\text{T.Ç.}) = N_{46}^e(\text{T.Ç.}) + N_{6-14}^s(\text{T.Ç.})$$

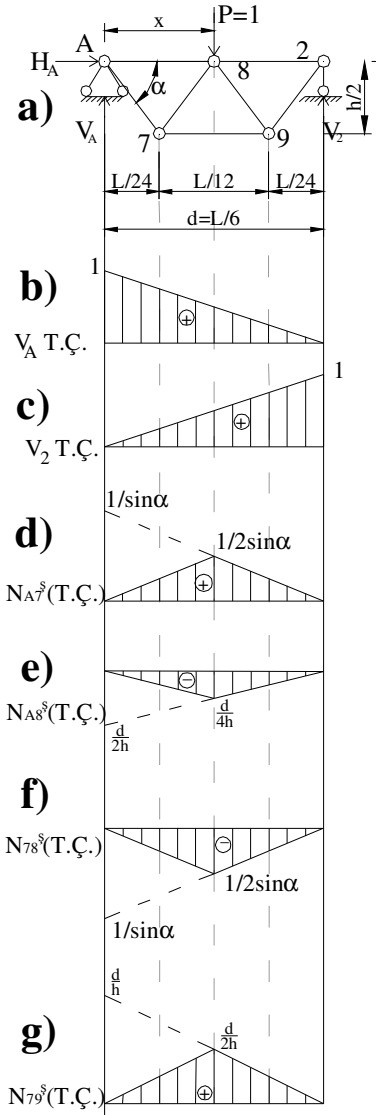
$$N_{6-15}(\text{T.Ç.}) = N_{6-15}^s(\text{T.Ç.})$$

olacaktır.



Şekil 4.11. Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman

Hareket eden $P=1$ yükünü “8” düğümüne uygulayıp, karmaşık elemanın çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri çizilir (şekil 4.12).



Şekil 4.12. a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Şekil 4.12.de görülen tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A7}^s = \frac{1}{2\sin\alpha} \cdot P = \frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$N_{A8}^s = -\frac{d}{4h} \cdot P = -\frac{Pd}{4h}$$

$$N_{78}^s = -\frac{1}{2\sin\alpha} \cdot P = -\frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$N_{79}^s = \frac{d}{2h} \cdot P = \frac{Pd}{2h}$$

bulunur.

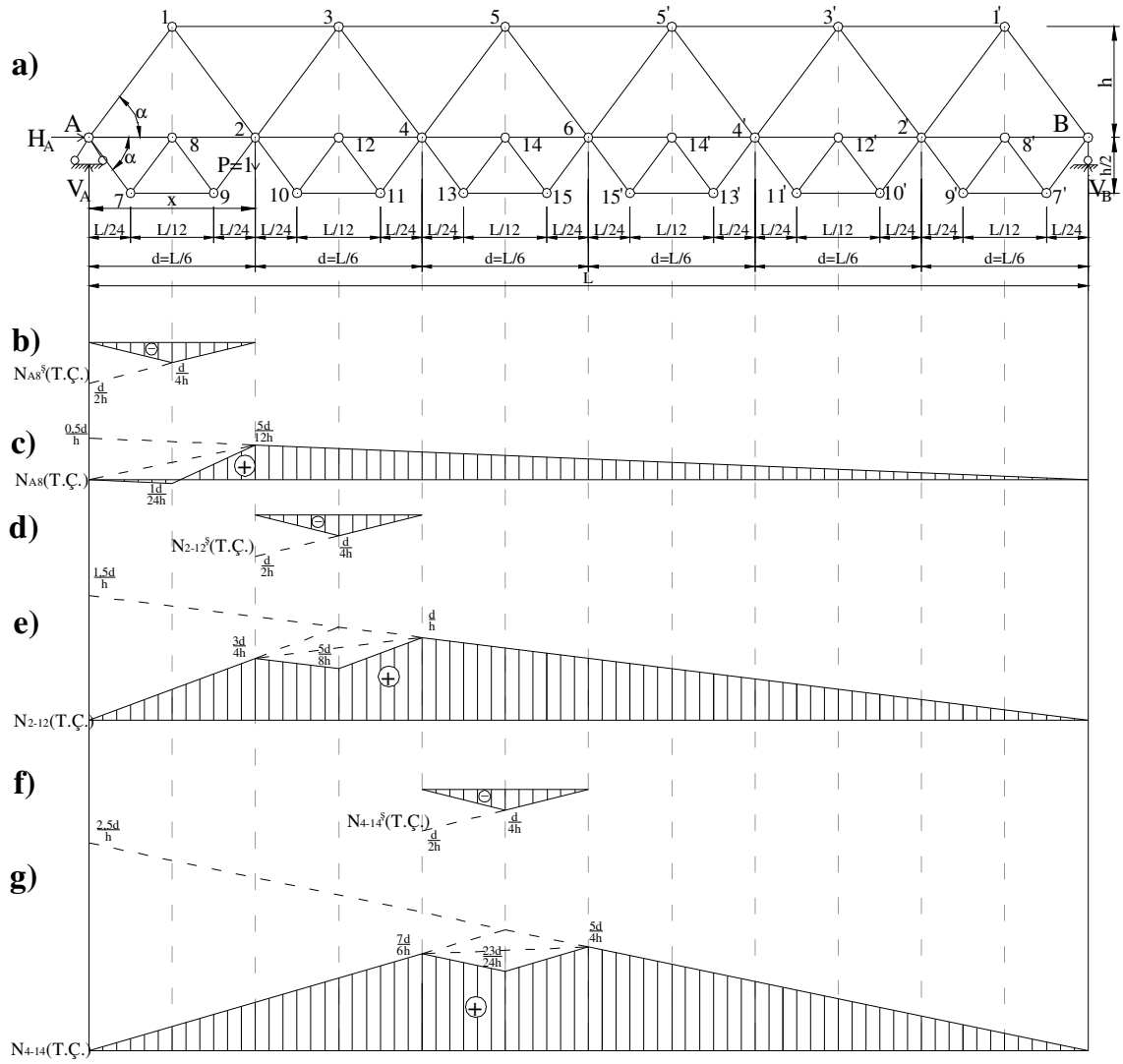
Süperpozisyon yöntemi kullanılarak karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri bulunur.

Şekil 4.13’de

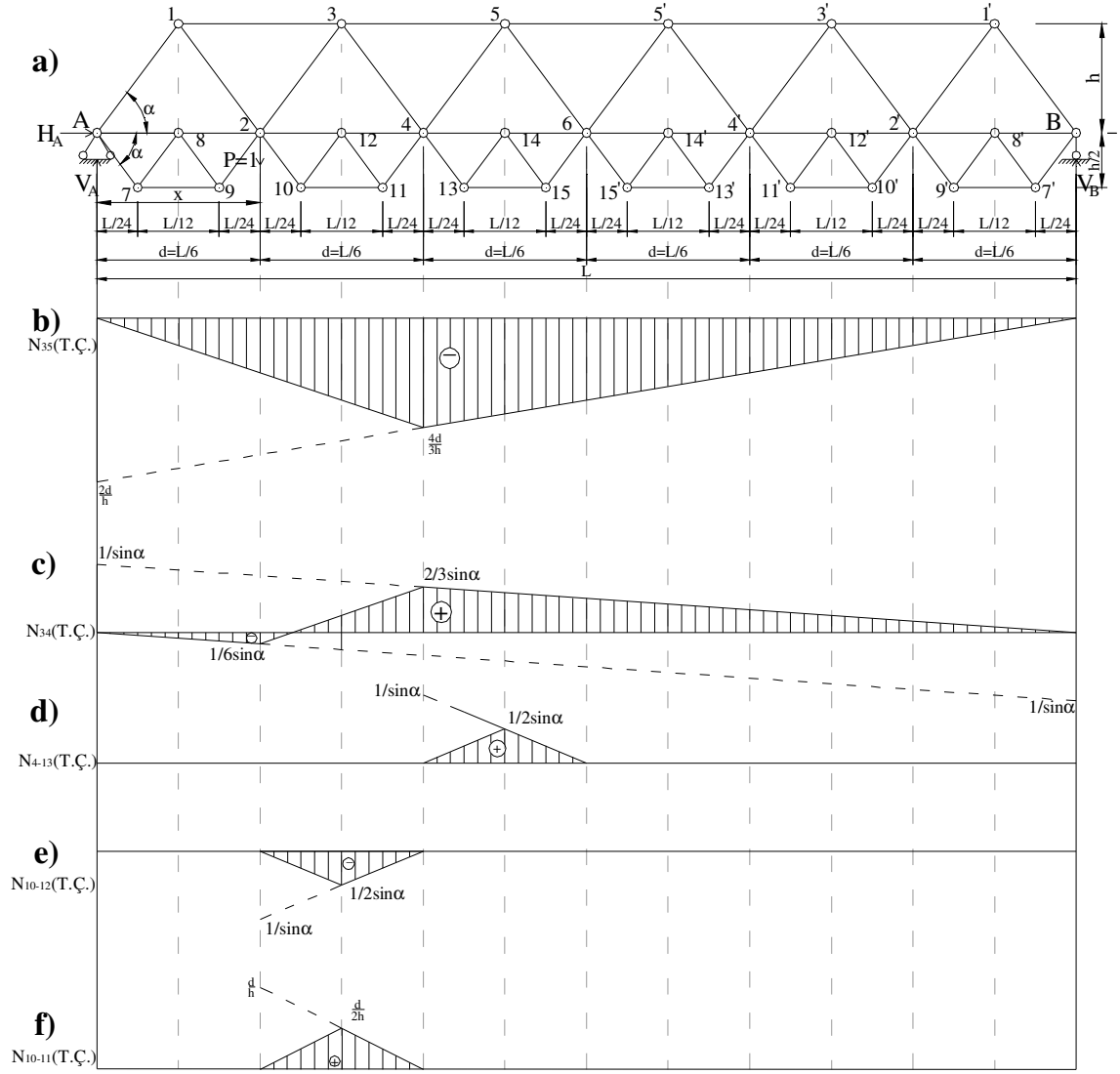
$$\begin{aligned} \text{c) de } N_{A8}(T.Ç.) &= N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.) \\ \text{e) de } N_{2-12}(T.Ç.) &= N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.) \\ \text{g) de } N_{4-14}(T.Ç.) &= N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.) \quad \text{gösterilmiştir.} \end{aligned}$$

Şekil 4.14’te

$$\begin{aligned} \text{b) de } N_{35}(T.Ç.) &= N_{35}^e(T.Ç.) \\ \text{c) da } N_{34}(T.Ç.) &= N_{34}^e(T.Ç.) \\ \text{d) de } N_{4-13}(T.Ç.) &= N_{4-13}^s(T.Ç.) \\ \text{e) de } N_{10-12}(T.Ç.) &= N_{10-12}^s(T.Ç.) \\ \text{f) de } N_{10-11}(T.Ç.) &= N_{10-11}^s(T.Ç.) \quad \text{gösterilmiştir.} \end{aligned}$$



Şekil 4.13. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f, g- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.14. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Bulunmuş tesir çizgileri sabit yüklerle yüklenip karmaşık kafes kiriş çubuk kuvvetlerinin değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.13.deki tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A8} = \frac{9Pd}{4h}; \quad N_{2-12} = \frac{25Pd}{4h}; \quad N_{4-14} = \frac{33Pd}{4h}$$

Şekil 4.14.deki alt tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

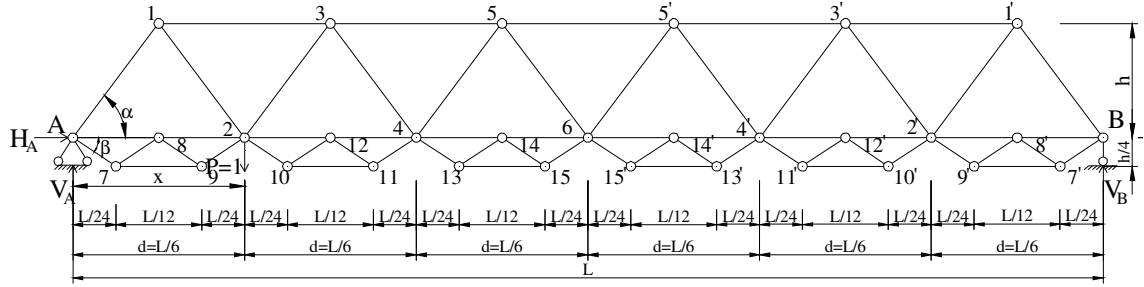
$$N_{35} = N_{35}^e = -\frac{8Pd}{h}; \quad N_{34} = N_{34}^e = \frac{3P}{\sin\alpha}$$

$$N_{4-13} = N_{4-13}^s = \frac{P}{2\sin\alpha}; \quad N_{10-12} = N_{10-12}^s = -\frac{P}{2\sin\alpha}$$

$$N_{10-11} = N_{10-11}^s = \frac{Pd}{2h} \quad \text{bulunur.}$$

4.2.3 $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması

Karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgilerini çizmek için esas ve karma eleman için çizilmiş tesir çizgilerini toplamak gerekir. Tesir çizgilerini çizmek için hareket eden $P=1$ yükü şekil 4.15’de görüldüğü gibi alt başlık düğümlerinde hareket ettirilir.



Şekil 4.15. Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş

$$N_{A7}(T.Ç.) = N_{A7}^s(T.Ç.)$$

$$N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$$

$$N_{28}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{28}^s(T.Ç.)$$

$$N_{29}(T.Ç.) = N_{29}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-10}(T.Ç.) = N_{2-10}^s(T.Ç.)$$

$$N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{4-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-11}(T.Ç.) = N_{4-11}^s(T.Ç.)$$

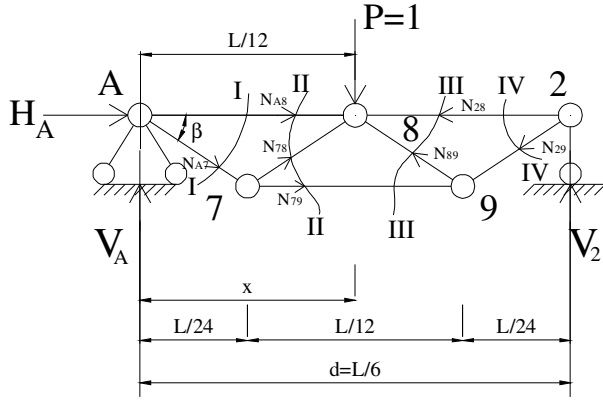
$$N_{4-13}(T.Ç.) = N_{4-13}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.)$$

$$N_{6-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{6-14}^s(T.Ç.)$$

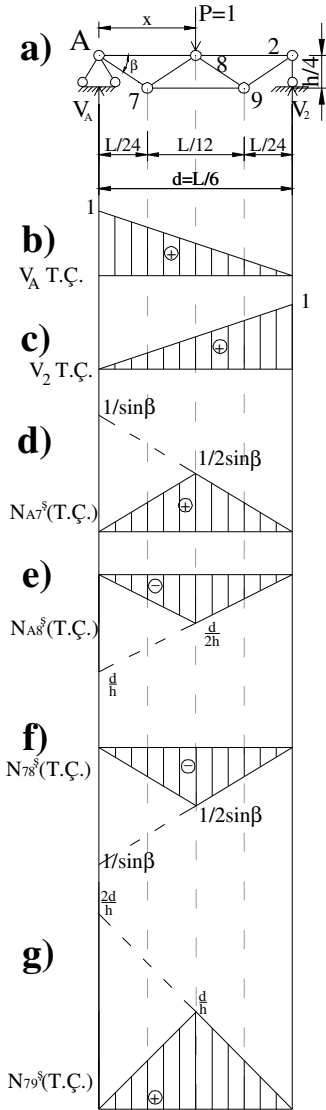
$$N_{6-15}(T.Ç.) = N_{6-15}^s(T.Ç.)$$

olacaktır.



Şekil 4.16. Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman

Hareket eden $P=1$ yükünü ‘‘8’’ düğümüne uygulayıp, karmaşık elemanın çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri çizilir (şekil 4.15).



Şekil 4.17. a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g - Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Şekil 4.17.de görülen tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A7}^s = \frac{1}{2\sin\beta} \cdot P = \frac{P}{2\sin\beta}$$

$$N_{A8}^s = -\frac{d}{2h} \cdot P = -\frac{Pd}{2h}$$

$$N_{78}^s = -\frac{1}{2\sin\beta} \cdot P = -\frac{P}{2\sin\beta}$$

$$N_{79}^s = \frac{d}{h} \cdot P = \frac{Pd}{h}$$

bulunur.

Süperpozisyon yöntemi kullanılarak karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri bulunur.

Şekil 4.18'de

$$c) \text{ de } N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$$

$$e) \text{ de } N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$$

$$g) \text{ de } N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.) \quad \text{gösterilmiştir.}$$

Şekil 4.19'da

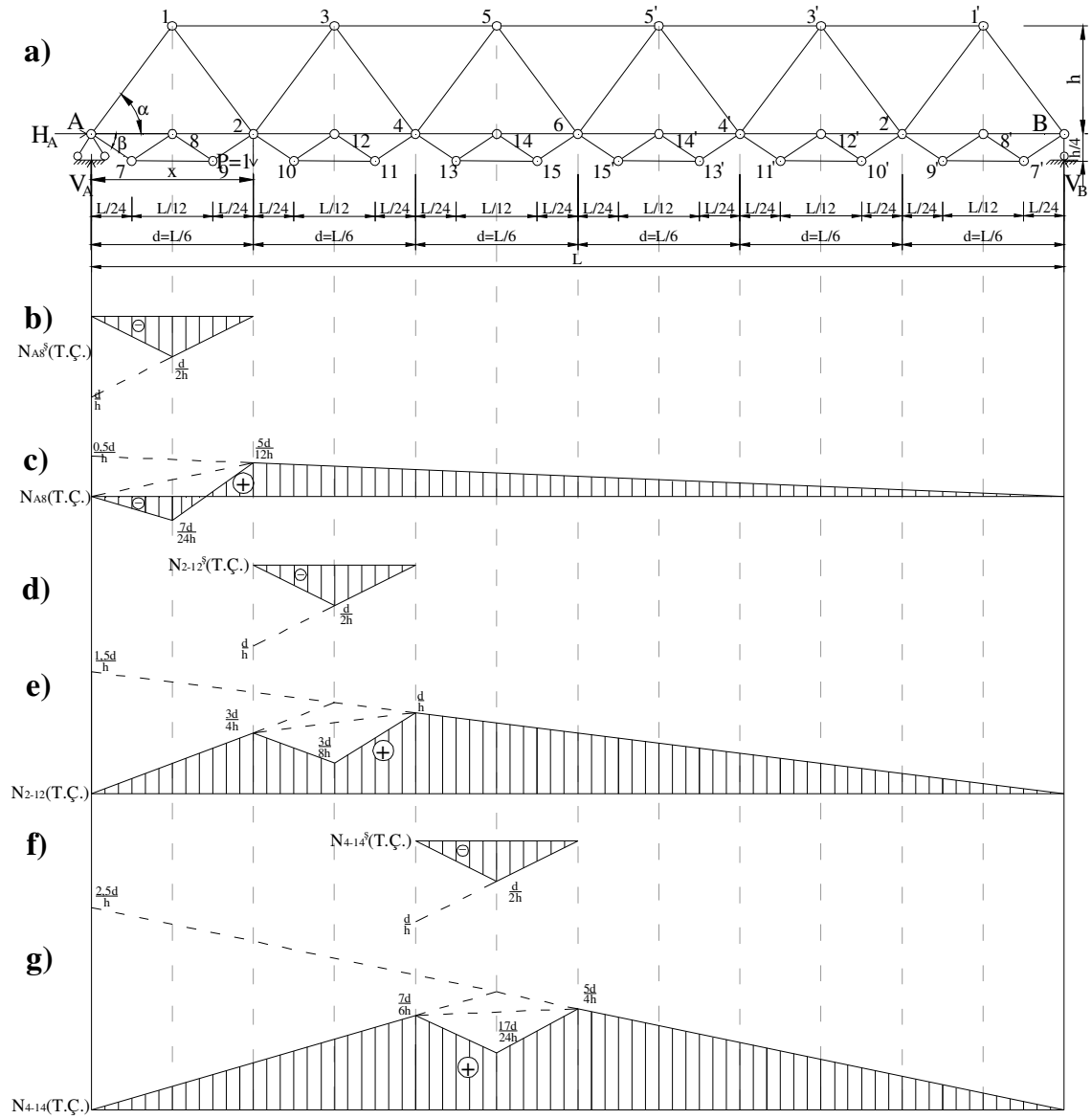
$$b) \text{ de } N_{13}(T.Ç.) = N_{13}^e(T.Ç.)$$

$$c) \text{ da } N_{A7}(T.Ç.) = N_{A7}^s(T.Ç.)$$

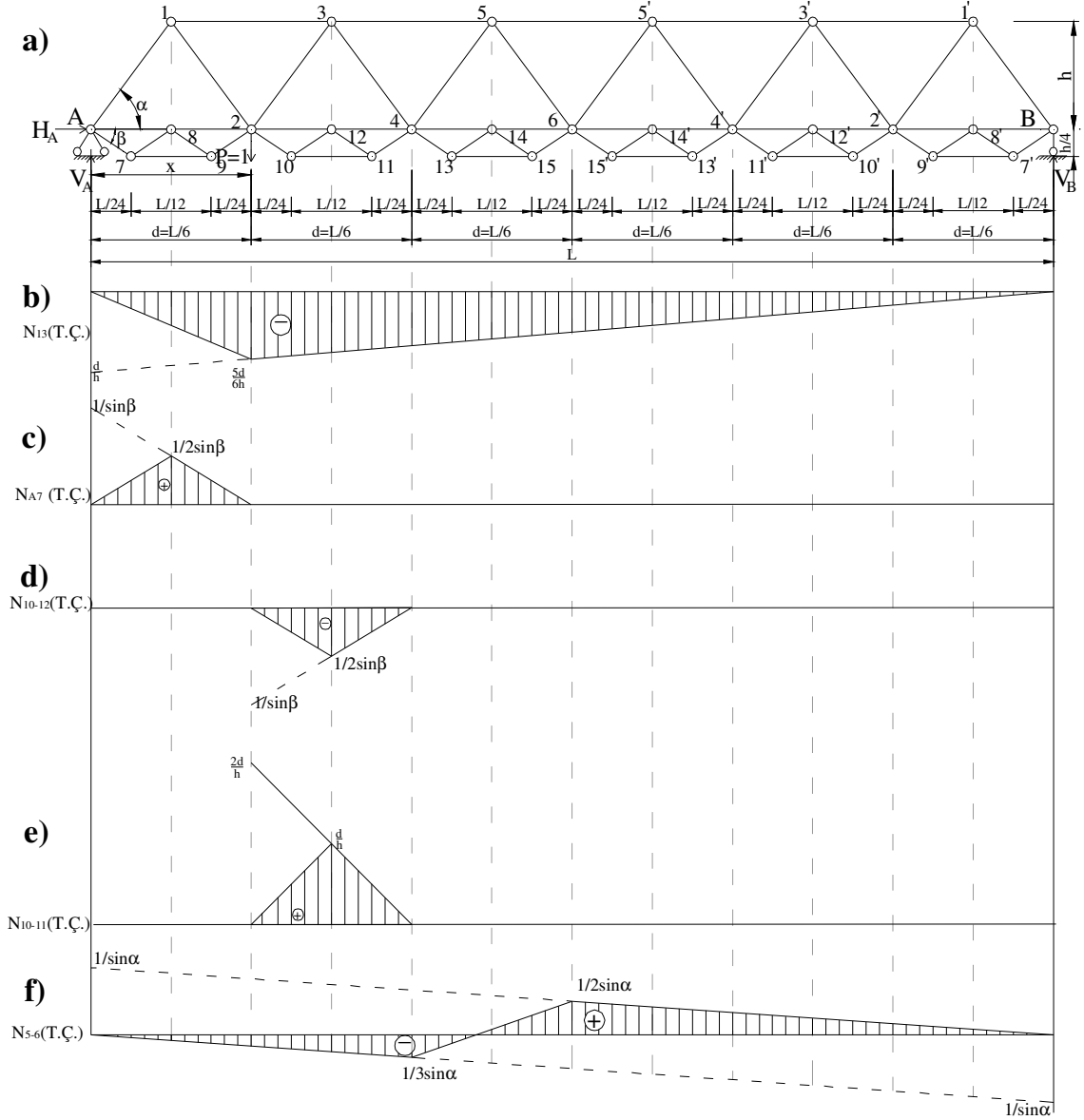
$$d) \text{ de } N_{10-12}(T.Ç.) = N_{10-12}^s(T.Ç.)$$

$$e) \text{ de } N_{10-11}(T.Ç.) = N_{10-11}^s(T.Ç.)$$

$$f) \text{ de } N_{56}(T.Ç.) = N_{56}^e(T.Ç.) \quad \text{gösterilmiştir.}$$



Şekil 4.18. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.19. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Bulunmuş tesir çizgileri sabit yüklerle yüklenip karmaşık kafes kiriş çubuk kuvvetlerinin değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.18'deki alt tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A8} = \frac{2Pd}{h} ; \quad N_{2-12} = \frac{6Pd}{h} ; \quad N_{4-14} = \frac{8Pd}{h}$$

Şekil 4.19.daki alt tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{13} = N_{13}^e = -\frac{5Pd}{h} ; \quad N_{A7} = N_{A7}^s = \frac{P}{2\sin\beta} ;$$

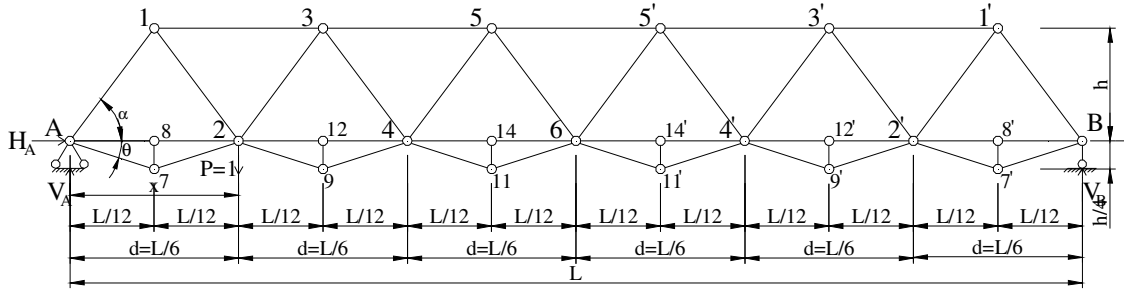
$$N_{10-12} = N_{10-12}^s = -\frac{P}{2\sin\beta}; \quad N_{10-11} = N_{10-11}^s = \frac{Pd}{h};$$

$$N_{56} = N_{56}^e = \frac{P}{\sin\alpha}$$

bulunur.

4.2.4 $\frac{h}{4}$ Yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için çubuk kuvvetlerinin bulunması

Karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgilerini çizmek için esas ve karma eleman için çizilmiş tesir çizgilerini toplamak gerekir. Tesir çizgilerini çizmek için hareket eden $P=1$ yükü alt başlık düğümlerinde hareket ettirilir.



Şekil 4.20. Hareketli yük etkisinde karmaşık kafes kiriş

$$N_{A7}(T.Ç.) = N_{A7}^s(T.Ç.)$$

$$N_{27}(T.Ç.) = N_{27}^s(T.Ç.)$$

$$N_{29}(T.Ç.) = N_{29}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-9}(T.Ç.) = N_{4-9}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-11}(T.Ç.) = N_{4-11}^s(T.Ç.)$$

$$N_{6-11}(T.Ç.) = N_{6-11}^s(T.Ç.)$$

$$N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$$

$$N_{28}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{28}^s(T.Ç.)$$

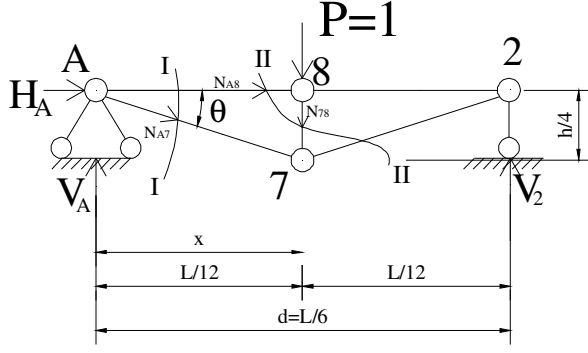
$$N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{4-12}^s(T.Ç.)$$

$$N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.)$$

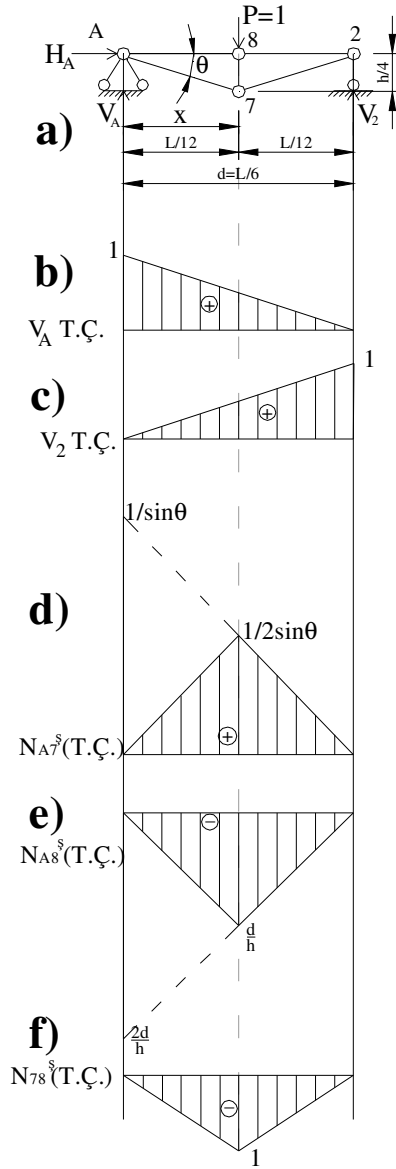
$$N_{6-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{6-14}^s(T.Ç.)$$

olacaktır.



Şekil 4.21 Hareketli yük etkisinde karmaşık eleman

Hareket eden $P=1$ yükünü Şekil 4.21’de görüldüğü gibi “8” düğümüne uygulayıp, karma eleman çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri çizilir (Şekil 4.20).



Şekil 4.22. a- Karmaşık eleman; b, c, d, e, f, g, h- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Şekil 4.22.de görülen tesir çizgileri sabit P yükü ile yüklendiğinde;

$$N_{A7}^s = \frac{1}{2\sin\theta} \cdot P = \frac{P}{2\sin\theta}$$

$$N_{A8}^s = -\frac{d}{h} \cdot P = -\frac{Pd}{h}$$

$$N_{78}^s = -1 \cdot P = -P$$

bulunur.

Süperpozisyon yöntemi kullanılarak karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri bulunur.

Şekil 4.23'te

c) de $N_{A8}(T.Ç.) = N_{A2}^e(T.Ç.) + N_{A8}^s(T.Ç.)$

e) de $N_{2-12}(T.Ç.) = N_{24}^e(T.Ç.) + N_{2-12}^s(T.Ç.)$

g) de $N_{4-14}(T.Ç.) = N_{46}^e(T.Ç.) + N_{4-14}^s(T.Ç.)$ gösterilmiştir.

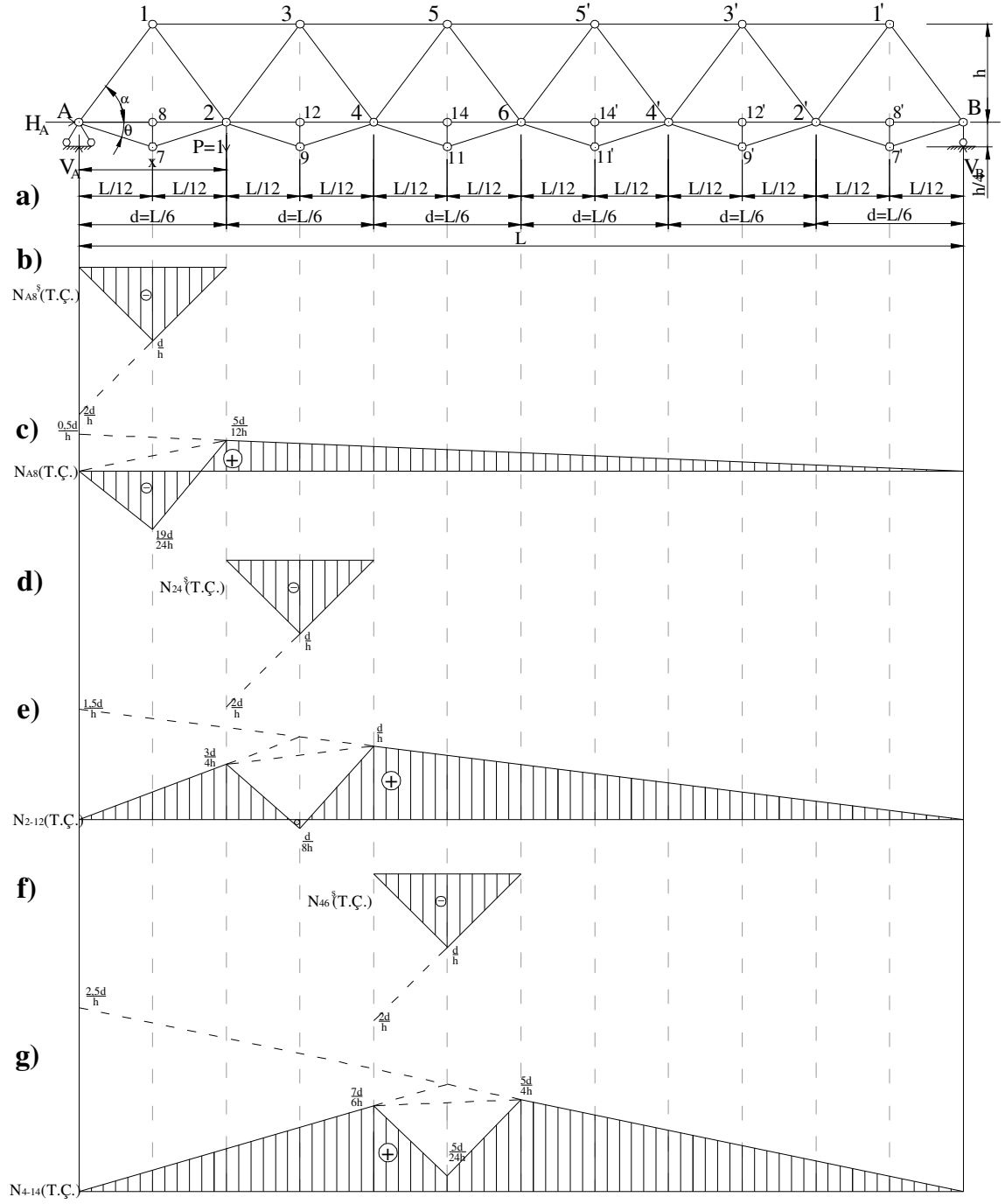
Şekil 4.24'de

b) de $N_{55}(T.Ç.) = N_{55}^e(T.Ç.)$

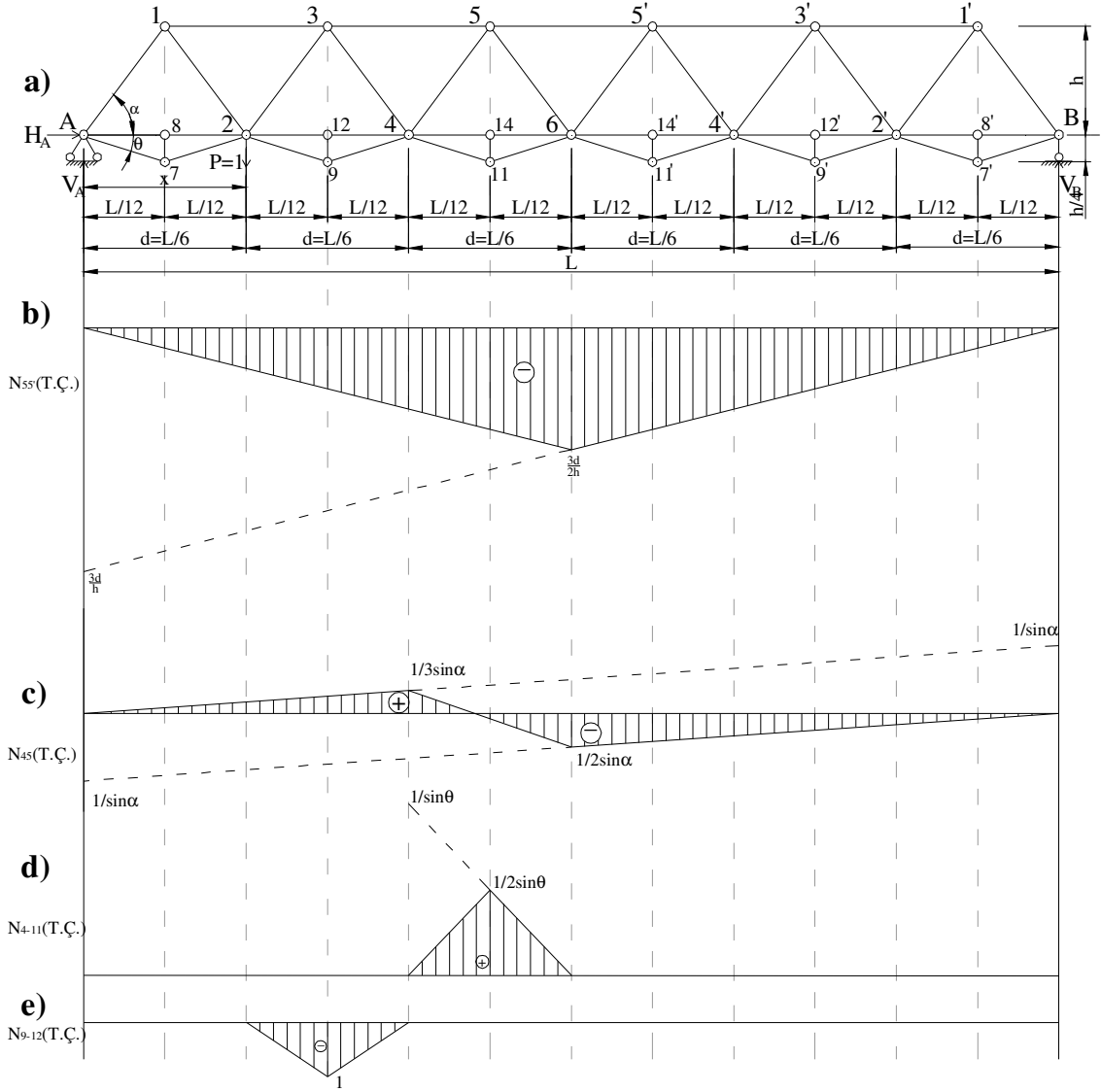
c) da $N_{45}(T.Ç.) = N_{45}^e(T.Ç.)$

d) de $N_{4-11}(T.Ç.) = N_{4-11}^s(T.Ç.)$

e) de $N_{9-12}(T.Ç.) = N_{9-12}^s(T.Ç.)$ gösterilmiştir.



Şekil 4.23. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri



Şekil 4.24. a- Karmaşık kafes kiriş; b, c, d, e, f- Çubuk kuvvetlerinin tesir çizgileri

Bulunmuş tesir çizgileri sabit yüklerle yüklenip karmaşık kafes kiriş çubuk kuvvetlerinin değerleri bulunmuştur.

Şekil 4.23.'e göre;

$$N_{A8} = \frac{3Pd}{2h}; \quad N_{2-12} = \frac{11Pd}{2h}; \quad N_{4-14} = \frac{15Pd}{2h}$$

Şekil 4.24. 'e göre;

$$N_{55'} = N_{55}^e = -\frac{9Pd}{h}; \quad N_{45} = N_{45}^e = -\frac{P}{\sin \alpha}$$

$$N_{4-11} = N_{4-11}^s = -\frac{P}{2\sin \theta}; \quad N_{9-12} = N_{9-12}^s = -P$$

bulunur.

4.2.5. Sabit ve hareketli yükler etkisinde karmaşık kafes kirişin çubuk kuvvetleri sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.1.Esas kafes kirişin alt başlık çubuklarının sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması

Çubuk kuvveti	Sabit Yüklere göre (N)		Hareketli Yüklere göre (N)	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A2}	5Pd/2h	90	5Pd/2h	90
N ₂₋₄	13Pd/2h	234	13Pd/2h	234
N ₄₋₆	17Pd/2h	306	17Pd/2h	306
N _{4'-6}	17Pd/2h	306	17Pd/2h	306
N _{2'-4'}	13Pd/2h	234	13Pd/2h	234
N _{B2'}	5Pd/2h	90	5Pd/2h	90

Çizelge 4.2. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması

Çubuk kuvveti	Sabit Yüklere göre (N)		Hareketli Yüklere göre (N)	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A8}	5,5Pd/2h	99	5,5Pd/2h	99
N ₂₈	5,5Pd/2h	99	5,5Pd/2h	99
N ₂₋₁₂	13,5Pd/2h	243	13,5Pd/2h	243
N ₄₋₁₂	13,5Pd/4h	243	13,5Pd/4h	243
N ₄₋₁₄	17,5Pd/2h	315	17,5Pd/2h	315
N ₆₋₁₄	17,5Pd/2h	315	17,5Pd/2h	315
N _{6-14'}	17,5Pd/2h	315	17,5Pd/2h	315
N _{4'-14'}	17,5Pd/2h	315	17,5Pd/2h	315
N _{4'-12'}	13,5Pd/2h	243	13,5Pd/2h	243
N _{2'-12'}	13,5Pd/2h	243	13,5Pd/2h	243
N _{2'8'}	5,5Pd/2h	99	5,5Pd/2h	99
N _{B8'}	5,5Pd/2h	99	5,5Pd/2h	99

Çizelge 4.3. Yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması

Çubuk kuvveti	Sabit Yüklere göre (N)		Hareketli Yüklere göre (N)	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A8}	9Pd/4h	81	9Pd/4h	81
N ₂₈	9Pd/4h	81	9Pd/4h	81
N ₂₋₁₂	25Pd/4h	225	25Pd/4h	225
N ₄₋₁₂	25Pd/4h	225	25Pd/4h	225
N ₄₋₁₄	33Pd/4h	297	33Pd/4h	297
N ₆₋₁₄	33Pd/4h	297	33Pd/4h	297
N _{6-14'}	33Pd/4h	297	33Pd/4h	297
N _{4'-14'}	33Pd/4h	297	33Pd/4h	297
N _{4'-12'}	25Pd/4h	225	25Pd/4h	225
N _{2'-12'}	25Pd/4h	225	25Pd/4h	225
N _{2'8'}	9Pd/4h	81	9Pd/4h	81
N _{B8'}	9Pd/4h	81	9Pd/4h	81

Çizelge 4.4. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması

Çubuk kuvveti	Sabit Yüklere göre (N)		Hareketli Yüklere göre (N)	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A8}	2Pd/h	72	2Pd/h	72
N ₂₈	2Pd/h	72	2Pd/h	72
N ₂₋₁₂	6Pd/h	216	6Pd/h	216
N ₄₋₁₂	6Pd/h	216	6Pd/h	216
N ₄₋₁₄	8Pd/h	288	8Pd/h	288
N ₆₋₁₄	8Pd/h	288	8Pd/h	288
N _{6-14'}	8Pd/h	288	8Pd/h	288
N _{4'-14'}	8Pd/h	288	8Pd/h	288
N _{4'-12'}	6Pd/h	216	6Pd/h	216
N _{2'-12'}	6Pd/h	216	6Pd/h	216
N _{2'8'}	2Pd/h	72	2Pd/h	72
N _{B8'}	2Pd/h	72	2Pd/h	72

Çizelge 4.5. Yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hali için sabit ve hareketli yüklere göre kıyaslaması

Çubuk kuvveti	Sabit Yüklere göre (N)		Hareketli Yüklere göre (N)	
	çekme	çekme (KN)	çekme	çekme (KN)
N _{A8}	3Pd/2h	54	3Pd/2h	54
N ₂₈	3Pd/2h	54	3Pd/2h	54
N ₂₋₁₂	11Pd/2h	198	11Pd/2h	198
N ₄₋₁₂	11Pd/2h	198	11Pd/2h	198
N ₄₋₁₄	15Pd/2h	270	15Pd/2h	270
N ₆₋₁₄	15Pd/2h	270	15Pd/2h	270
N _{6-14'}	15Pd/2h	270	15Pd/2h	270
N _{4'-14'}	15Pd/2h	270	15Pd/2h	270
N _{4'-12'}	11Pd/2h	198	11Pd/2h	198
N _{2'-12'}	11Pd/2h	198	11Pd/2h	198
N _{28'}	3Pd/2h	54	3Pd/2h	54
N _{B8'}	3Pd/2h	54	3Pd/2h	54

4.2.6. Matlab bilgisayar programı kullanılarak sabit yük etkisinden karmaşık kafes kirişlerde sayısal çözümler

Sabit yük etkisinden şekil 3.1'de gösterilmiş esas sistem, sistem-1, sistem-2, sistem-3, sistem-4 kafes kirişleri için Matlab bilgisayar programı kullanılmış olup, kafes kirişlerin alt başlık çubuklarında oluşan normal kuvvetler bulunmuştur (Ek-1).

Matlab bilgisayar programı kullanılarak bulunan çubuklardaki normal kuvvetlerin değerleri, analitik yöntemle bulunmuş normal kuvvetlerle karşılaştırıldığında çubuk kuvvetleri değerlerinin değişmediği görülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİ

Bu çalışmada karmaşık kafes kirişlerde kullanılan farklı karmaşık elemanların sistemin çubuk kuvvetlerine etkisinin statik analizi yapılmıştır. Esas kafes kiriş ve yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin içinde olması, yüksekliği $\frac{h}{2}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması, yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması, yüksekliği $\frac{h}{4}$ olan üçgen karmaşık elemanın esas kafes kirişin dışında olması hallerine göre karmaşık kafes kirişler incelenmiştir. Sayısal hesaplamalarda $h=4$ m, $P=24$ KN, $L=36$ m, $d= 6$ m alınmıştır. İncelemede MATLAB paket programı kullanılmıştır.

Elde edilen veriler aşağıda kısaca verilmiştir;

1. $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes sistemin içinde olması durumunda alt başlık çubuk kuvveti değeri esas kafes sisteme göre ortalama % 5,6 artmıştır.
2. $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes sistemin dışında olması durumunda alt başlık çubuk kuvveti değeri esas kafes sisteme göre ortalama % 5,6 azalmıştır.
3. $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes sistemin dışında olması durumunda alt başlık çubuk kuvveti değeri esas kafes sisteme göre ortalama % 11,5 azalmıştır.
4. $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes sistemin dışında olması durumunda alt başlık çubuk kuvveti değeri esas kafes sisteme göre ortalama % 23,8 azalmıştır.
5. $\frac{h}{4}$ yüksekliğinde üçgen karmaşık elemanın esas kafes sistemin dışında olması durumunda alt başlık çubuk kuvvetleri değerleri en küçük değeri alırken ortalama % 23,8 azalmış, $\frac{h}{2}$ yüksekliğinde karmaşık elemanın esas kafes sistemin içinde olması durumunda alt başlık çubuk kuvveti değeri ortalama % 5,6 artarak en büyük değeri almıştır.

6. Farklı karma elemanlar kullanılmış karmaşık kafes kirişlerin sabit ve hareketli yüklere göre hesaplamalarının sonuçları karşılaştırıldığında, çubuk kuvvetleri için bulunmuş değerlerin değişmediği, yapılan işlemlerin doğru olduğunu göstermektedir.

7. Bu çalışmada, kafes sistemin daha fazla yük taşıyabilmesi için yüklenmiş alt başlık çubuklarının karma elemanlarla(küçük kafes sistemlerle) değiştirilmesi sonucu alınan karmaşık kafes kirişin sabit ve hareketli yüklere göre statik analizi yapılmıştır. Farklı boyutlara, farklı karma elemanların yerleşimine ve yüklere göre karmaşık kafes kirişlerin çubuklarında oluşan normal kuvvetler benzer şekilde bulunup, karşılaştırılabilir.

6.KAYNAKLAR

1. Can H . Yapı Statiği , Birsen yayınevi , İst , 2008 .
2. Chali , A . , Neville , A . M . Struktural Analysis , London , 1977 .
3. Charon , F . La Metode de Cross , Paris 1985 .
4. Çakıroğlu , A . ,Çetmeli , E . Yapı Statiği , Cilt I ,İst , 1983 .
5. Çakıroğlu , A . ,Çetmeli , E . Yapı Statiği , Cilt II , İst , 2000 .
6. Çakıroğlu , A . Hiperstatik sistemlerin hesap metodları , İTÜ , 1992 .
7. Darkov , A . V . ,Şapoşnikov , N . N . Stroitel'naya Mekanika , Moskova , 1986 .
8. Darkov , A . V . , Kleyn , G . K . vb . Stroitel'naya Mekanika , Moskova , 1986 .
9. Ekiz , i . Yapı Statiği , İst . , 2008 .
10. Hanali S . Yapı Statiği , Ankara , 2003 .
11. Hanali S . A . İnşaat Mekanikası , Bakü , 1980 .
12. Hanali , S . A . , Memmedov , Z . A . İnşaat Mekanikası , 1988 .
13. İnan , M . Cisinlerin Mukavemeti , İst . , 1986 .
14. Kasımzade A . A . Yapı Statiği , İst . , 2004 .
15. Kiselev , V . A . Stroitel'naya Mekanika , Moskova , 1986 .
16. Kleyn , G . K . Rukovodstvo k praktičeskim zanyatijam po kursu Stroitel'noy Mekaniki , Moskova , 1980 .
17. Munin , N . V . , Perşin , A . N . , Şişman , B . A . Statika soorujeniy , Moskova , 1980 .
18. Muradhanli , H . Statik hell olunan sistemlerin İnşaat Mekanikası , Bakü , 1972 .
19. Pisarenko , G . S . vb Soprotivlenie Materialov , Kiev , 1986 .
20. Rabinoviç , İ . M . Osnovi Stroitel'noy Mekaniki sterjnevih sistem Moskova , 1980 .
21. Rjanitsın , A . R . Stroitel'naya Mekanika , Moskova , 1992 .
22. Sinitko , N . K . Stroitel'naya Mekanika , Moskova , 1980 .
23. Tuma , J . J Theory and Problems of Structural Analysis , MoGraw-Hill . Book Company .
24. Williams , A . The analysis of indeterminate structures , London , 1967 .
25. Yorulmaz , M . ÖZGEN , K . , Yapı Statiği İst , 1995 .

7.ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı	Yelda AKAY
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 20/11/1985
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü Tokat

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Lisesi, 2003
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2007

İş Tecrübesi

Sivas Aksu çevre düzenlemesi işi	Saha mühendisi,2007-2008
Garanti bankası çağrı merkezi inşaatı	Saha mühendisi,2008-2009
Tokat Bayındırlık ve iskan müdürlüğü	İnşaat mühendisi,2010-

EK. Karmaşık Kafes Kirişin Çözümü İçin MATLAB Bilgisayar Programında Yazılan Kod ve Çözüm Örneği

```

clear
clc
yuk=input('Sisteme etkiyen toplam yükü giriniz  ')
p=input('P değerini giriniz  ')
my=input('Mesnete etkiyen kuvveti giriniz  ')
h=input('Kafes yüksekliğini giriniz  ')
l=input('Kafes açıklığını giriniz  ')
z=h/(l/12)
alfa=atan(z)*180/pi
beta=atan((h/4)/(l/24))*180/pi
teta=atan((h/4)/(l/12))*180/pi
alfa
beta
teta
alfa_beta_teta=[alfa beta teta]

my
yuk
v_a=yuk/2
v_b=v_a
v_a
v_b
n_a_1_1=(-v_a+my)
sinalfa=sin(alfa*pi/180)

n_a_1=n_a_1_1/sinalfa*p
n_a_1
n_a_2=-n_a_1*cos(alfa*pi/180)
n_a_2
n_1_2=-n_a_1
n_1_2
n_1_3=(-v_a*p*(1/6)+my*p*(1/6))/h
n_1_3
n_2_3=-n_1_2+2*p/sin(alfa*pi/180)
n_2_3
n_2_4=((v_a*p-p/2)*3*l/6-2*p*l/6)/(2*h)
n_2_4
n_3_4=-n_2_3
n_3_4
n_3_5=(-v_a*p+my*p)*(2*l/6)+2*p*l/6/h
n_3_5
n_4_5=-n_3_4+2*p/sin(alfa*pi/180)
n_4_5
n_4_6=((v_a*p-my*p)*2.5*l/6-2*p*1.5*l/6-2*p*l/12)/h
n_4_6
n_5_6=-n_4_5
n_5_6
n_5_5_u=(-v_a*p+my*p)*3*l/6+2*p*2*l/6+2*p*l/6/h
n_5_5_u
v_a_s=p/2
v_2_s=p/2
n_a_7_s_1=-v_a_s/sin(alfa*pi/180)
n_a_7_s_1
n_a_8_s_1=-n_a_7_s_1*cos(alfa*pi/180)

```

```

n_a_8_s_1
n_a_7_s_2=v_a_s/sin(alfa*pi/180)
n_a_7_s_2
n_a_8_s_2=-n_a_7_s_2*cos(alfa*pi/180)
n_a_8_s_2
n_a_7_s_3=v_a_s/sin(beta*pi/180)
n_a_7_s_3
n_a_8_s_3=-n_a_7_s_3*cos(beta*pi/180)
n_a_8_s_3
n_a_7_s_4=v_a_s/sin(teta*pi/180)
n_a_7_s_4
n_a_8_s_4=-n_a_7_s_4*cos(teta*pi/180)
n_a_8_s_4
n_a_8_1=n_a_2+n_a_8_s_1
n_a_8_2=n_a_2+n_a_8_s_2
n_a_8_3=n_a_2+n_a_8_s_3
n_a_8_4=n_a_2+n_a_8_s_4
n_2_12_1=n_2_4+n_a_8_s_1
n_2_12_2=n_2_4+n_a_8_s_2
n_2_12_3=n_2_4+n_a_8_s_3
n_2_12_4=n_2_4+n_a_8_s_4
n_4_14_1=n_4_6+n_a_8_s_1
n_4_14_2=n_4_6+n_a_8_s_2
n_4_14_3=n_4_6+n_a_8_s_3
n_4_14_4=n_4_6+n_a_8_s_4

sonuc=[n_a_8_1 n_a_8_2 n_a_8_3 n_a_8_4; n_2_12_1 n_2_12_2 n_2_12_3
n_2_12_4; n_4_14_1 n_4_14_2 n_4_14_3 n_4_14_4]

n_a_8_cubuk_kuvvetleri=sonuc(1,:)
sistem_1_n_a_8=n_a_8_cubuk_kuvvetleri(:,1)
sistem_2_n_a_8=n_a_8_cubuk_kuvvetleri(:,2)
sistem_3_n_a_8=n_a_8_cubuk_kuvvetleri(:,3)
sistem_4_n_a_8=n_a_8_cubuk_kuvvetleri(:,4)

n_2_12_cubuk_kuvvetleri=sonuc(2,:)
sistem_1_n_2_12=n_2_12_cubuk_kuvvetleri(:,1)
sistem_2_n_2_12=n_2_12_cubuk_kuvvetleri(:,2)
sistem_3_n_2_12=n_2_12_cubuk_kuvvetleri(:,3)
sistem_4_n_2_12=n_2_12_cubuk_kuvvetleri(:,4)

n_4_14_cubuk_kuvvetleri=sonuc(3,:)
sistem_1_n_4_14=n_4_14_cubuk_kuvvetleri(:,1)
sistem_2_n_4_14=n_4_14_cubuk_kuvvetleri(:,2)
sistem_3_n_4_14=n_4_14_cubuk_kuvvetleri(:,3)
sistem_4_n_4_14=n_4_14_cubuk_kuvvetleri(:,4)

```


Sisteme etkiyen toplam yükü giriniz 11

yuk = 11

P değerini giriniz 24

p = 24

Mesnete etkiyen kuvveti giriniz 0.5

my = 0.5000

Kafes yüksekliğini giriniz 4

h = 4

Kafes açıklığını giriniz 36

l = 36

z = 1.3333

alfa = 53.1301

beta = 33.6901

teta = 18.4349

alfa = 53.1301

beta = 33.6901

teta = 18.4349

alfa_beta_teta = 53.1301 33.6901 18.4349

my = 0.5000

yuk = 11

v_a = 5.5000

v_b = 5.5000

v_a = 5.5000

v_b = 5.5000

$$n_{a_1_1} = -5$$

$$\text{sinalfa} = 0.8000$$

$$n_{a_1} = -150$$

$$n_{a_1} = -150$$

$$n_{a_2} = 90$$

$$n_{a_2} = 90$$

$$n_{1_2} = 150$$

$$n_{1_2} = 150$$

$$n_{1_3} = -180$$

$$n_{1_3} = -180$$

$$n_{2_3} = -90$$

$$n_{2_3} = -90$$

$$n_{2_4} = 234$$

$$n_{2_4} = 234$$

$$n_{3_4} = 90$$

$$n_{3_4} = 90$$

$$n_{3_5} = -288$$

$$n_{3_5} = -288$$

$$n_{4_5} = -30$$

$$n_{4_5} = -30$$

$$n_{4_6} = 306$$

$$n_{4_6} = 306$$

$$n_{5_6} = 30$$

$$n_{5_6} = 30$$

$$n_{5_5_u} = -324$$

$$n_{5_5_u} = -324$$

$$v_{a_s} = 12$$

$$v_{2_s} = 12$$

$$n_{a_7_s_1} = -15$$

$$n_{a_7_s_1} = -15$$

$$n_{a_8_s_1} = 9$$

$$n_{a_8_s_1} = 9$$

$$n_{a_7_s_2} = 15$$

$$n_{a_7_s_2} = 15$$

$$n_{a_8_s_2} = -9$$

$$n_{a_8_s_2} = -9$$

$$n_{a_7_s_3} = 21.6333$$

$$n_{a_7_s_3} = 21.6333$$

$$n_{a_8_s_3} = -18.0000$$

$$n_{a_8_s_3} = -18.0000$$

$$n_{a_7_s_4} = 37.9473$$

$$n_{a_7_s_4} = 37.9473$$

$$n_{a_8_s_4} = -36$$

$$n_{a_8_s_4} = -36$$

$$n_{a_8_1} = 99$$

$$n_{a_8_2} = 81$$

$$n_{a_8_3} = 72$$

$$n_{a_8_4} = 54$$

$$n_{2_12_1} = 243$$

$$n_{2_12_2} = 225$$

n_2_12_3 = 216

n_2_12_4 = 198

n_4_14_1 = 315

n_4_14_2 = 297

n_4_14_3 = 288

n_4_14_4 = 270

sonuc =

99 81 72 54

243 225 216 198

315 297 288 270

n_a_8_cubuk_kuvvetleri = 99 81 72 54

sistem_1_n_a_8 = 99

sistem_2_n_a_8 = 81

sistem_3_n_a_8 = 72

sistem_4_n_a_8 = 54

n_2_12_cubuk_kuvvetleri = 243 225 216 198

sistem_1_n_2_12 = 243

sistem_2_n_2_12 = 225

sistem_3_n_2_12 = 216

sistem_4_n_2_12 = 198

n_4_14_cubuk_kuvvetleri = 315 297 288 270

sistem_1_n_4_14 = 315

sistem_2_n_4_14 = 297

sistem_3_n_4_14 = 288

sistem_4_n_4_14 = 270

>>