

KEMERLERDE BASIKLIK ORANI DEĐIŐİMİNİN İÇ
KUVVETLERE ETKİSİNİN STATİK ANALİZİ

PINAR YILDIRIM

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. SAHAVAT HANALI

SİVAS
2009

CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KEMERLERDE BASIKLIK ORANI DEĞİŞİMİNİN İÇ KUVVETLERE
ETKİSİNİN STATİK ANALİZİ

PINAR YILDIRIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI
DOÇ. DR. SAHAVAT HANALI

SİVAS
2009

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 HANALİ	_____

ONAY

Bu tez çalışması, 26/06/2009 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulu tarafından belirlenen ve yukarıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Sezai ELAGÖZ
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
SUMMARY.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER DİZİNİ.....	xi
1.BÖLÜM.GİRİŞ.....	1
2.BÖLÜM. İZOSTATİK VE HİPERSTATİK KEMERLERİN ANALİZİ.....	4
2.1.Giriş.....	4
2.2. İzostatik Kemerlerle İlgili Genel Bilgiler.....	6
2.3. İzostatik Kemerlerin Hesaplanmasında Kullanılan İç Kuvvet Bağıntıları.....	6
2.3.1.Üç mafsallı kemerler.....	6
2.4. Hiperstatik Kemerlerle İlgili Genel Bilgiler.....	10
2.4.1 İki mafsallı kemerler	10
2.4.2 Bir mafsallı kemerler.....	10
2.4.3 Ankastre kemerler.....	11
2.5. Hiperstatik Kemerlerin Hesaplanması.....	11
2.5.1. Hiperstatik kemerlerin hesaplama yöntemleri.....	11
2.5.2. İki mafsallı kemerlerin hesaplaması.....	15
2.5.3. Ankastre kemerlerin hesaplanması.....	19
3.BÖLÜM İZOSTATİK VE HİPERSTATİK KEMERLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER.....	24
3.1. Giriş.....	24
3.1.1. Çalışmanın amacı.....	24
3.2. 2° den Parabol Eksen Eğrili İzostatik Kemerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesabı ve Sonuçların Karşılaştırılması	24
3.2.1. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemer.....	24
3.2.2. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemer.....	30
3.3. 2° . den Parabol Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Sabit Yüklere Göre Hesabı ve Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	34
3.3.1. İki mafsallı parabol eksen eğrili kemer.....	34
3.3.2. Ankastre parabol eksen eğrili kemer.....	41
3.4. Daire Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Sabit Yüklere Göre Hesabı ve Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	49
3.4.1. İki mafsallı daire eksen eğrili kemer.....	49
3.4.2. Ankastre daire eksen eğrili hiperstatik kemer.....	55

3.5. 2^0 den Parabol ve Daire Eksen Eğrili İzostatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	64
3.6. 2^0 den Parabol ve Daire Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	68
3.6.1. 2^0 den Parabol ve daire eksen eğrili iki mafsallı kemerin farklı basıklık oranı değişimine göre hesap sonuçlarının karşılaştırılması.....	68
3.6.2. 2^0 den Parabol ve daire eksen eğrili ankastre kemerin farklı basıklık oranı değişimine göre hesap sonuçlarının karşılaştırılması	72
3.7. 2^0 den Parabol Eksen Eğrili İzostatik ve Hiperstatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	76
3.8. Daire Eksen Eğrili İzostatik ve Hiperstatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	80
4.SONUÇ ve ÖNERİ.....	84
5.KAYNAKLAR.....	86
6.ÖZGEÇMİŞ.....	87
7.EKLER	

ÖZET

KEMERLERDE BASIKLIK ORANI DEĞİŞİMİNİN İÇ KUVVETLERE ETKİSİNİN STATİK ANALİZİ

Pınar YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Sahavat HANALİ

2009, 83 sayfa

Bu çalışmada değişik basıklık oranına göre izostatik ve hiperstatik kemerlerde basıklık oranının değişiminin kemerdeki iç kuvvetlere etkisinin statik analizinin yapılması amaçlanmıştır.

2^0 den parabol ve daire eksen eğrili üç mafsallı, iki mafsallı ve ankastre kemerlerde basıklık oranının farklı değişimine ($f/L=0.2$, $f/L=0.22$, $f/L=0.24$, $f/L=0.26$, $f/L=0.28$, $f/L=0.3$) göre; Kuvvet ve Simpson yöntemlerini uygulayarak kemerlerde oluşan normal kuvvet, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri; FORTRAN ve MATLAB bilgisayar programları yardımıyla bulunmuştur.

İncelenmiş kemerlerde farklı basıklık oranına göre bulunmuş iç kuvvet değerleri karşılaştırılmış; sonuçlar tablo ve grafiklerle sunulmuştur.

Kemerlerde oluşan eğilme momenti değerleri karşılaştırıldığında $M_{\text{ank.}}^{\text{max}} < M_{\text{iki.maf.}}^{\text{max}} < M_{\text{üç.maf.}}^{\text{max}}$ olduğu görülmüştür. Aynı şekilde kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri de karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Kemer, basıklık oranı, kemer eksen eğrisi, itki kuvveti, izostatik kemer, hiperstatik kemer, kuvvet yöntemi.

ABSTRACT

THE STATIC ANALYSIS OF EFFECT OF RISE TO SPAN RATIO CHANGE ON INTERNAL FORCES AT ARCHES

Pınar YILDIRIM

Master of Science Thesis, Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sahavat HANALI

2009, 83 pages

In this study, it is aimed that static analysis of effect of rise to span ratio change to internal forces on isostatic and hyperstatic arches according to different rise to span ratios conditions.

According to different rise to span ratio changes ($f/L=0.2$, $f/L=0.22$, $f/L=0.24$, $f/L=0.26$, $f/L=0.28$, $f/L=0.3$) on arches which have second degree parabola axis curve and circle axis curve, normal force, shearing force and bending moment values were found with FORTRAN and MATLAB softwares by implementing force and simpson methods.

Internal force values which were found according to different rise to span ratios were compared and results were presented with tables and graphs.

When bending moment values were compared, it was observed that $M_{ancestry}^{max} < M_{two-joints}^{max} < M_{three-joints}^{max}$. Shearing force and normal force values were also compared in the same way.

Key words: Arch, rise to span ratio, arch axis curve, drive force, isostatic arch, hyperstatic arch, force method.

TEŞEKKÜR

Bu alıŐmayı bana önererek; alıŐmamın her aŐamasında öneri ve eleŐtirileri ile bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım danışman hocam **Do. Dr. Sahavat HANALI'** ye teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca alıŐmam süresince yardımlarından dolayı Öğr. Gör. Murat TONUS ve ArŐ. Gör. Murat BOSTANCIOĞLU 'na teŐekkürlerimi sunarım.

Sivas-2009

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1.	Üç mafsallı kemerde düşey yük etkimesi durumu.....	7
Şekil 2.2.	Kemerin K kesitindeki kesit tesirleri.....	8
Şekil 2.3.a.	İki mafsallı kemer	10
Şekil 2.3.b.	Bir mafsallı kemer	11
Şekil 2.3.c.	Ankastre kemer	11
Şekil 2.4.	İki mafsallı kemerde tepki kuvvetleri.....	15
Şekil 2.5.	a- Verilen iki mafsallı kemer; b,c- Esas sistemler.....	16
Şekil 2.6.	Esas sistemde $X_1 = 1$ etkisi.....	17
Şekil 2.7.	İki mafsallı kemer enine kesiti.....	18
Şekil 2.8.	Ankastre kemer.....	19
Şekil 2.9.	a- Esas sistem; b ,c ,d-Esas sistemdeki birim eğilme momenti diyagramları.....	21
Şekil 2.10.	Ankastre kemer enine kesiti.....	22
Şekil 3.1.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde yük durumu....	25
Şekil 3.2.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin karakter noktaları.....	26
Şekil 3.3.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	28
Şekil 3.4.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin karakter noktaları.....	30
Şekil 3.5.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	32
Şekil 3.6.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	32
Şekil 3.7.	Parabol eksen eğrili iki mafsallı kemer ve yükleme durumu.....	34
Şekil 3.8.	Parabol eksen eğrili iki mafsallı kemerde esas sistem seçim.....	35
Şekil 3.9.	Simpson yöntemi.....	36
Şekil 3.10.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	39
Şekil 3.11.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	39
Şekil 3.12.	Ankastre parabol eksenli kemerde yük durumu.....	41
Şekil 3.13.	Ankastre parabol eksenli kemerde esas sistem.....	42
Şekil 3.14.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde dış yük etkisinde tepki kuvvetleri.....	43
Şekil 3.15.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	47
Şekil 3.16.	İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde esas sistem seçimi.....	49

Şekil 3.17.	İki mafsallı daire eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	52
Şekil 3.18.	İki mafsallı daire eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 3.19.	Ankastre daire eğrili kemerde yükleme durumu....	55
Şekil 3.20.	Ankastre daire eğrili kemerde birim kuvvetlerin etkisi.....	56
Şekil 3.21.	Ankastre daire eğrili kemerde dış yük etkisi.....	56
Şekil 3.22.	Ankastre daire eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri.....	61
Şekil 3.23.	Ankastre daire eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.	61
Şekil 3.24.	Üç mafsallı dairesel ve üç masallı parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değerleri için moment değerlerinin karşılaştırılması.....	64
Şekil 3.25.	İki mafsallı daire ve iki masallı parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değerleri için moment değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Şekil 3.26.	Ankastre daire ve ankastre parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değerleri için moment değerlerinin karşılaştırılması	72
Şekil 3.27.	Üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değerleri için moment değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 3.28.	Üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre daire eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değerleri için moment değerlerinin karşılaştırılması.....	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemer için açı değerleri..	26
Çizelge 3.2.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri	27
Çizelge 3.3.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	28
Çizelge 3.4.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	29
Çizelge 3.5.	Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	29
Çizelge 3.6.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemer için açı değerleri ...	31
Çizelge 3.7.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri.....	31
Çizelge 3.8.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	33
Çizelge 3.9.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	33
Çizelge 3.10.	Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	34
Çizelge 3.11.	Karakter fonksiyon değerleri.....	37
Çizelge 3.12.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri.....	38
Çizelge 3.13.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Çizelge 3.14.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	40
Çizelge 3.15.	İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	41
Çizelge 3.16.	Karakter fonksiyon değerleri.....	44
Çizelge 3.17.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri.....	47
Çizelge 3.18.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	48

Çizelge 3.19.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	48
Çizelge 3.20.	Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Çizelge 3.21.	Karakter fonksiyon değerleri.....	51
Çizelge 3.22.	İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri.....	52
Çizelge 3.23.	İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Çizelge 3.24.	İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	54
Çizelge 3.25.	İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	54
Çizelge 3.26.	Karakter fonksiyon değerleri.....	55
Çizelge 3.27.	Karakter fonksiyon değerleri.....	57
Çizelge 3.28.	Karakter fonksiyon değerleri.....	58
Çizelge 3.29.	Ankastre daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri.....	60
Çizelge 3.30.	Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Çizelge 3.31.	Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	62
Çizelge 3.32.	Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	63
Çizelge 3.33.	Farklı basıklık oranlarına göre üç mafsallı dairesel eksenli ve üç mafsallı parabol eksenli kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması.....	64
Çizelge 3.34.	Farklı basıklık oranlarına göre üç mafsallı dairesel eksenli ve üç mafsallı parabol eksenli kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	66
Çizelge 3.35.	Farklı basıklık oranlarına göre üç mafsallı dairesel eksenli ve üç mafsallı parabol eksenli kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	67
Çizelge 3.36.	Farklı basıklık oranlarına göre iki mafsallı dairesel eksenli ve iki mafsallı parabol eksenli kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması.....	69
Çizelge 3.37.	Farklı basıklık oranlarına göre iki mafsallı dairesel eksenli ve iki mafsallı parabol eksenli kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması	70

Çizelge 3.38.	Farklı basıklık oranlarına göre iki mafsallı dairesel eksenli ve iki mafsallı parabol eksenli kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	71
Çizelge 3.39.	Farklı basıklık oranlarına göre ankastre dairesel eksenli ve ankastre parabol eksenli kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması.....	73
Çizelge 3.40.	Farklı basıklık oranlarına göre ankastre dairesel eksenli ve ankastre parabol eksenli kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Çizelge 3.41.	Farklı basıklık oranlarına göre ankastre dairesel eksenli ve ankastre parabol eksenli kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması.....	75
Çizelge 3.42.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre moment değerleri.....	77
Çizelge 3.43.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre kesme kuvveti değerleri.....	78
Çizelge 3.44.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre normal kuvvet değerleri.....	79
Çizelge 3.45.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre moment değerleri.....	81
Çizelge 3.46.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre kesme kuvveti değerleri.....	82
Çizelge 3.47.	Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksenli kemerlerde farklı basıklık oranına göre normal kuvvet değerleri.....	83

SİMGELER DİZİNİ

- P_1, P_2 : Kemer üzerine etkiyen tekil yük değeri, KN
 q_1, q_2 : Kemer üzerine etkiyen yayılı yük değeri, KN/m
 f : Anahtar noktasının özengi doğrusuna olan uzaklığı “kemer oku”, m
 L : Kemer açıklığı, m
 A : Kemerin enine kesit alanı, m^2
 r : Daire eksen eğrili kemerin yarıçapı, m
 V_A : A mesnetinde dış yük etkisinden oluşan tepki kuvveti, KN
 V_B : B mesnetinde dış yük etkisinden oluşan tepki kuvveti, KN
 H_A : A mesnetinde meydana gelen itki kuvveti, KN
 H_B : B mesnetinde meydana gelen itki kuvveti, KN
 M_A : A mesnetinde meydana gelen moment, KN/m
 M_B : B mesnetinde meydana gelen moment, KN/m
 α : Özengi eksenini ile yatay x eksenini arasındaki açı
 φ : Özengi eksenini ile K kesitindeki teğet arasındaki açı
 \bar{y} : K noktasının özengi eksenine uzaklığı, m
 δ_{11} : $X_1=1$ birim kuvveti etkisinden , X_1 doğrultusundaki yer değiştirme
 δ_{12} : $X_1=1$ birim kuvveti etkisinden , X_2 doğrultusundaki yer değiştirme
 δ_{22} : $X_2=1$ birim kuvveti etkisinden , X_2 doğrultusundaki yer değiştirme
 Δ_{1p} : Sabit dış yükler etkisinden X_1 doğrultusundaki yer değiştirme
 Δ_{2p} : Sabit dış yükler etkisinden X_2 doğrultusundaki yer değiştirme
 X_1 : Hiperstatik kemerde bilinmeyen kuvvet
 X_2 : Hiperstatik kemerde bilinmeyen kuvvet
 \bar{M}_1 : Birim yük etkisinde oluşan moment, KNm
 \bar{N}_1 : Birim yük etkisinde oluşan normal kuvvet, KN
 \bar{T}_1 : Birim yük etkisinde oluşan kesme kuvveti, KN
 E : Elastisite modülü, KN/m^2
 I : Atalet momenti
 M_p : Dış yük etkisinde oluşan moment, KNm
 N_p : Dış yük etkisinden oluşan normal kuvvet, KN
 T_p : Dış yük etkisinden oluşan kesme kuvveti, KN
 η : Nümerik çarpan (dikdörtgen kesit için $\eta=1.2$)
 G : Kayma modülü, KN/m^2
 b : Dikdörtgen kesitin genişliği, m
 h : Dikdörtgen kesitin yüksekliği, m
 yc : Esnek merkez yönteminde rijit çubukların uzunluğu, m
 n : Kemer sistemin belirsizlik derecesi
 m : Kemerde basit mafsalsayısı
 c : Kemerin mesnetlerindeki bağ sayısı
 d : Kemer sistemdeki çubuk sayısı
 Δ_x : Sonsuz küçük kemer elemanın x koordinat eksenini doğrultusundaki boyutu, m

- Z_x : Birim yük etkisindeki karakter fonksiyon değeri
 Z_p : Dış yük etkisindeki karakter fonksiyon değeri
 ψ_x : Birim yük etkisindeki karakter fonksiyon değeri

1. BÖLÜM. GİRİŞ

Kemer yapılar yüzyıllar boyunca başarılı bir tarihe sahip olmuştur. Ancak yapısal davranışlarının yaşları süresince biraz gizli kalması, ince işçilik gerektirmesi, mühendislerin günümüzde daha incelikli hesap yapmaları ve özellikleri daha iyi bilinen malzemeleri kullanmaları gibi bazı sebeplerden dolayı yakın zamanda yapımı pek olmamıştır. Son zamanlarda ise hesap yöntemlerinde ki gelişmeler ve kemer yapıların bazı sakıncalarının basık kemerlerle giderilmesi sonucu çeşitli ülkelerde özellikle köprülerde kemer tasarımı ve inşaatına yeniden başlanmıştır. İngiltere’de British Rail Transport’un sponsorluğunda, kemer köprülerdeki sırları çözmek, malzemeyi daha iyi tanımak için birçok deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır. [Begimgil, 1997]

Sabit veya ankastre mesnetler üzerine oturan eğri eksenli düzlem sistemlere kemer denir.

Betonarme ve çelik inşaatlar başlamadan önce tarih sırasına göre kemerlerde kullanılan başlıca yapı malzemeleri taş, tuğla ve betondur. Bu malzemelerin basınca karşı yeterli mukavemeti olmasına karşılık çekmeye karşı mukavemeti yok denecek kadar azdır ve genel olarak çekmeye karşı mukavemetinin olmadığı kabul edilir. Bu sebepten taş, tuğla ve betondan yapılan taşıyıcılarda hiçbir şekilde çekme gerilmesinin meydana gelmemesi gerekir. Bunun içinde taşıyıcı sistemin herhangi bir kesitinde ya sadece eksenel basınç kuvvetinin etkimesi ya da eksenel basınç kuvveti ile birlikte bir miktar eğilme momentinin etkimesi gerekir.

Kirişlerde etkin olan kesit tesiri eğilme momentidir, çerçevelerde de yatay elemanlarda eğilme momenti hakimdir, kemerlerde ise kemer eksenine uygun şekilde düzenlenerek hiçbir kesitte eğilme momentinin meydana gelmemesi veya normal kuvvetle birlikte etkiyecek eğilme momentinden çekme gerilmelerinin meydana gelmemesi sağlanabilir. [Ekiz, 2008]

Kemerler düşey reaksiyonların yanı sıra yatay reaksiyonlar tarafından da desteklenen yapılardır. Yatay reaksiyonlar belirgin bir itme uygulayacak kapasitede olmalıdır. Aksi halde kemer eğik giriş gibi davranır. Eğik kirişlerde yüksek eğilme momentleri oluşurken, kemerlerde düşük eğilme momentleri oluşur. Yatay itmeler düşey reaksiyonların oluşturduğu momentleri karşılar. Buna göre düzgün yayılı düşey

yük etkisi altında merkez eksenli parabol olan bir kemerde, eğilme momenti olmaz. [McCoullough, 1931]

Eski Mısır'da kemerler, taşıyıcı bir sistem olarak değil, mimari amaçlarla yapılmıştır. Babil döneminde kanalizasyon sistemiyle bağlantılı olarak kemer yapımı M. Ö. 1300 yıllarına kadar gitmektedir.

Gerçek kemer tipi bir yapının ilk kullanımı Romalılar zamanında olmuştur. Kemerleri köprü yapımında ilk Romalılar kullanmıştır. Roma dönemine ait kemer yapılar, kesme taş ve tuğladan yapılmıştır. Rönesans döneminde pek çok yığma kemer köprü inşa edilmiştir. Kemer yapılarında modern süreç 1700 lerde başlamıştır. Bu dönem bir ayak üzerinde birleşen iki kemerin itme kuvvetinin birbirini dengeleyeceği düşünülmüş, bu durumda köprü ayağının sadece düşey yük etkisinde bırakacağı görüşü, bu tip yapıların gerçekleştirilmesinde temel prensip kabul edilmiştir. Betonarmenin devreye girmesi kemer köprülerin yapımında büyük gelişme sağlanmasına neden olmuştur. [Erciyes, 2006]

18. yüzyılın ortalarında Peronet tarafından ayakların genişliği azaltılarak ve çok basık kemerler kullanılarak köprüler yapılmıştır. [Begimgil,1997] Basık kemer, Heyman tarafından "mükemmel yapı" olarak tanımlanır. [Heyman, 1982] Yani eğer mesnetler taşıma gücüne ulaşmazsa, malzemenin basınçta sonsuz dayanımlı olduğu varsayılır. Böyle bir yapının da göçmesi mümkün olamaz. Bolton Institute Prof.Dr. Clive Melbourne ve çalışma grubu tarafından yapılan model ve büyük ölçekli testlerden basık kemerlerin üç mafsallı (ikisi mesnette, biri uygulanan yükün altında) oluşarak göçtüğü belirlenmiştir. [Melbourne ve Ark., 1993] Bu çalışmalar göstermiştir ki mesnetler yatay yönde yeterince rijit olursa, basık kemer köprüler oldukça kuvvetli yapılara dönüşebilir. Ayrıca bu testlere göre basık kemerlerde basıklık oranının 0.10 'dan daha küçük olması durumunda en kesitin aşağı kısmının yapısal amaçlı herhangi bir servis yapmayıp, yapıya sadece ilave bir ölü yük getirdiği de belirlenmiştir. [Begimgil, 1997]

Açıklık ve diklik ordinatının değişimi ankastre kemerlerin yük taşımasına etki göstermektedir. Bu tür kemerlerin mesnetleri oluşabilecek yatay itkileri alabilmek için yeterince rijit olmalı; üniform değere yakın diklik ordinatı elde edilmelidir. [Heyman, 1996]

Kemerin basıklık oranı açıklığın 1/3 'den, enine kesitin yüksekliği ise açıklığın 1/10' dan küçük olduğunda hiperstatik kemerlerde birim yer değiştirmelerin

hesaplanmasında kesme kuvvetinin; yük yer değiştirmesinin hesaplanmasında ise kesme kuvveti ve normal kuvvetlerin etkisi ihmal edilebilir. [Kleyn, 1980]

Kemerin basıklık oranı $1/3$ ile $1/5$ arasında olduğunda hiperstatik kemerlerde birim ve yük yer değiştirmelerinin hesaplanmasında kesme ve normal kuvvetlerin etkileri eğilme momentine göre çok küçük oldukları için ihmal edilebilirler. [Hanali, 2003]

Farklı malzemelerden yapılan kemerlerin basıklık oranının değişiminin kemerde oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvetlere etkisinin incelenmesi hem malzeme hem de yapı maliyeti açısından önemlidir.

Bu çalışmanın amacı değişik basıklık oranına ve yüklemelere göre üç mafsallı, iki mafsallı ve ankastre kemerlerde basıklık oranının değişiminin kemerdeki iç kuvvetlere etkisinin statik analizini yapmak olup, bu kapsamda sorunun çözümü Kuvvet ve Simpson yöntemleri kullanılarak yapılmıştır. Tez çalışması içinde mühendislik problemlerinin çözümünde sıklıkla kullanılan FORTRAN ve MATLAB bilgisayar programlama dilleri kullanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar detaylı olarak ileriki bölümlerde verilmiş olup, izostatik ve hiperstatik kemerler hakkında genel bilgi verilerek parabol ve daire eksen eğrili kemerlerde iç kuvvetlerin hesaplanma denklemleri açıklanmış; her bir özel durum için kemerin basıklık oranının değişimi incelenmiş; değişik sınır şartları ve yükleme durumlarına göre analitik çözümlerle önemli sonuçlar ortaya konmuştur.

Çalışmanın birinci bölümünde kemerler hakkında bilgi verilerek, problemin tanımı ve konu ile ilgili çalışmalar analiz edilmiştir. İkinci bölümde izostatik ve hiperstatik kemerler analiz edilerek kemerlerde iç kuvvetlerin hesaplanması denklemleri incelenmiş, hesaplamalarda kullanılan Kuvvet yöntemi, Simetrik esnek merkez ve Simpson yöntemi özetlenmiştir. Üçüncü bölümde söz konusu yöntemler kullanılarak parabol ve daire eksen eğrili kemerlerin değişik basıklık oranı ve yüklemelere göre hesapları yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dördüncü bölümde ise çalışmaya ait sonuçlar ve öneriler ortaya konulmuştur.

2.BÖLÜM. İZOSTATİK VE HİPERSTATİK KEMERLERİN ANALİZİ

2.1.Giriş

İzostatik sistemler, yeter sayıda bağ ile bağlanmış, dış etkiler sonucu oluşan mesnet tepkisi, kesit zoru, şekil değiştirme ve yer değiştirmenin **denge** denklemleri ile hesaplandığı **sistemlerdir**. İzostatik kemerlerde basınç eğrisi ile kemer ekseninin çakışması en uygun durumdur. Bilinmeyen sayısı ve denklem sayısı eşittir. Bu ifadelerin hesaplanmasında denge denklemleri yeterli olmuyorsa, bu tip sistemlere de hiperstatik sistemler denir. [Koçoğlu, 1987]

Kemerleri de izostatik ve hiperstatik kemerler olmak üzere iki başlık altında inceleyebiliriz. Üç mafsallı kemer izostatik kemerdir. İki mafsallı kemer birinci dereceden, ankastre kemerde 3. dereceden hiperstatiktir. [Ekiz,2008]

Kemerlerde mesnetlerin bulunduğu kesitlere özengi noktaları ve bu özengi noktalarını birleştiren doğruya da özengi doğrusu denir. Kemerin tepe noktasına anahtar ve anahtar noktasının özengi doğrusuna olan uzaklığına kemer oku (f) denir. Özengi noktaları arasındaki yatay uzaklığa da kemerin açıklığı (L)denir. [Çetmeli ve Çakıroğlu, 2001] Mesnetlerde meydana gelen tepkilerin yatay bileşenlerine itki kuvvetleri denir. f/L kemerin basıklık oranını gösterir. (Şekil 2.1)

- $f/L=1/2$ ise Tam kemer (yarım daire),
- $f/L>1/2$ ise Sivri kemer,
- $f/L<1/2$ ise Basık kemer,
- $f/L>0.30$ ise Az basık kemer,
- $f/L<0.15$ ise Çok basık kemer

denir.

Kemer tipleri eski dönemlerde dairesel formlar kullanılmakla birlikte, daha sonra eliptik formlar ve başka formlar da devreye girmiştir. Özellikle günümüzün modern köprülerinde eliptik, parabolik, yarım daire ve poligon şeklinde kemerler kullanılır. En çok kullanılan kemer tipleri;

- Üç mafsallı kemer
- İki mafsallı kemer
- Bir mafsallı kemer

- İki ucu ankastre kemerlerdir.

Burada esneklik üç mafsallı kemreden her iki ucu ankastre kemere doğru gidildikçe azalmaktadır. Üç mafsallı kemerler köprü ve binaların yapımında kullanılmaktadır.

Üç mafsallı kemerlerde mesnetlerde aşırı çökme olabilir. Her iki ucu mafsallı kemerler ise daha rijit bir temel gerektirir. Rijitlik yüksek olduğundan temelde oluşacak farklı oturmalar, yüksek gerilmelere neden olabilir. Eğer yeterince rijit bir temel söz konusu olursa, her iki ucu ankastre kemer üç mafsallı kemere göre daha ekonomiktir ve daha az deplasman oluşturur. Üç mafsallı kemerin kirişten farklılığı düşey kuvvetler etkisinde kemer mesnetlerinde itki kuvvetleri oluşturmasıdır. Birçok halde üç mafsallı kemerlerde mesnetler gergi olarak adlandırılan çubukla birleştirilir ve kemere gergili kemer denir. [Hanali, 2003] Gergi çubuğu itki kuvvetini karşılar. Gergi çubuğu mesnetler seviyesinde veya ondan yukarıda olabilir. Gergili kemerlerde mesnetlerden biri sabit mafsallı diğeri ise kayıcı mafsallı olur.

Kemer Eksen Eğrisi

a- parabol olduğunda

$$y = \frac{4f}{L^2} \cdot x \cdot (L - x) \quad [2.1]$$

Burada x- aranan kesitin sol mesnete uzaklığı; y- aranan kesitin özengi doğrusuna olan uzaklığı; L- kemer açıklığı; f; kemer ok yüksekliği.

ile ifade edilir.

Buradan

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{4f}{L^2} \cdot (L - 2x) = \frac{2 \cdot (f - y)}{\frac{L}{2} - x} \quad [2.2]$$

$$\cos \varphi = 1 / \sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi} \quad [2.3]$$

$$\sin \varphi = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

b-daire eğrisi olduğunda;

$$y = \sqrt{r^2 - (L/2 - x)^2} - r + f \quad [2.4]$$

$$r = f/2 + L^2/8f \quad \cos \varphi = (y + r - f)/r \quad \sin \varphi = (L - 2x)/2r \quad [2.5]$$

2.2. İzostatik Kemerlerle İlgili Genel Bilgiler

Bu sistem yeterli sayıda bağ ile bağlanmış denge denklemleri yardımı ile çözülebilen optimum denge durumunda bir sistemdir. [Williams, 1987] Üç mafsallı kemer ve gergili üç mafsallı kemer izostatik kemer tiplerindedir. Üç mafsallı kemerde 4 mesnet tepkisi buna karşılık üç denge ve bir mafsal şartı olduğundan sistem izostatiktir.

2.3. İzostatik Kemerlerin Hesaplanmasında Kullanılan İç Kuvvet Bağlıları

2.3.1. Üç mafsallı kemerler

a) Düşey yük etkimesi durumu

Şekil 2.1 de görülen üç mafsallı kemerde mesnet tepkileri düşey (V_A, V_B) ve özengi hattı doğrultusunda (H_A, H_B) seçilmiştir. Burada dört mesnet tepkisi 3 denge şartı ve bir mafsal şartından bulunur. [Çetmeli ve Çakıroğlu, 2001]

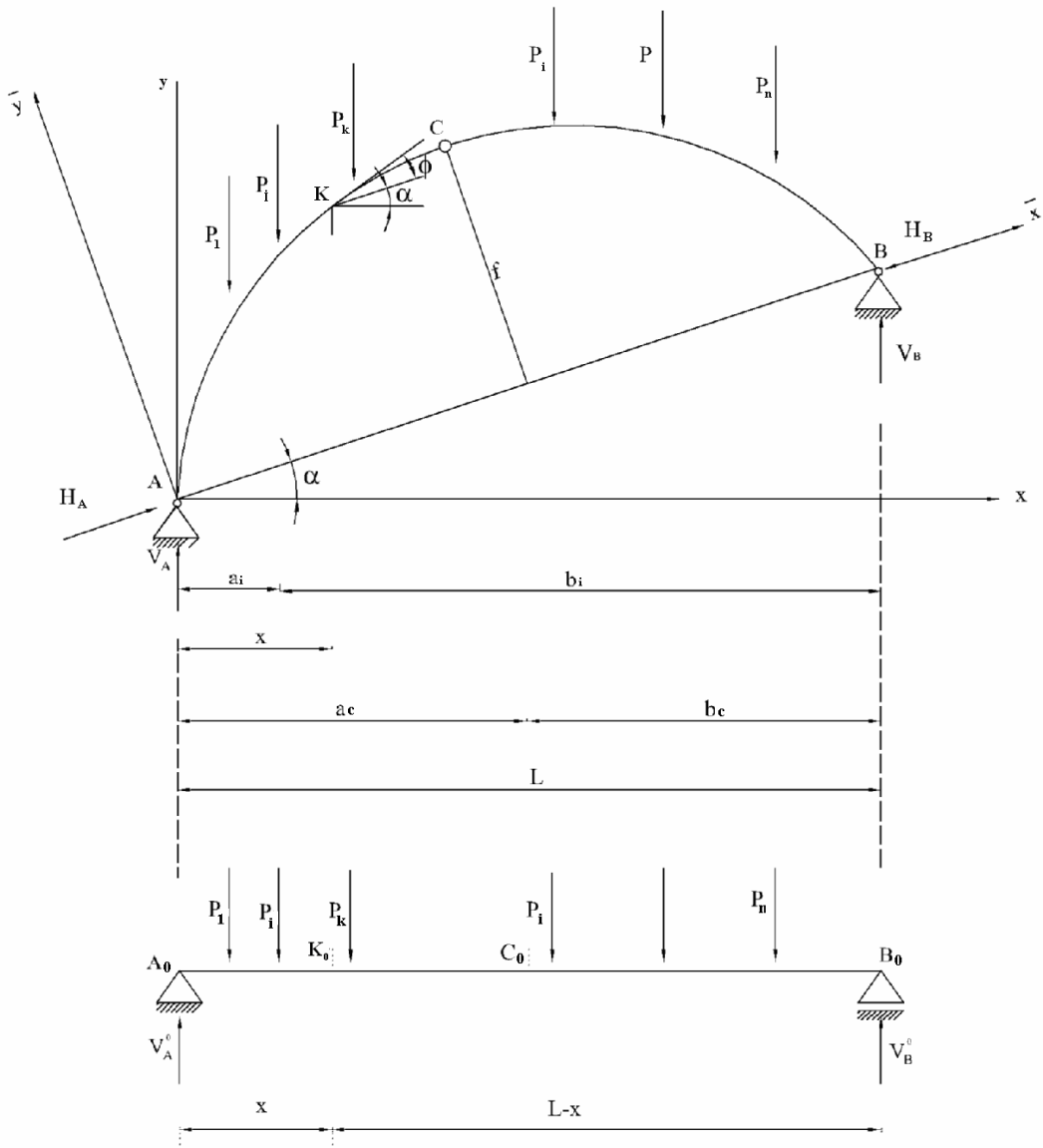
Tüm sistem için sırasıyla $\sum M_A = 0$ ve $\sum M_B = 0$ şartı yazılarak;

$$V_A = \left[\sum_{i=1}^n (P_i \cdot b_i) \right] / L; V_B = \left[\sum_{i=1}^k (P_i \cdot a_i) \right] / L \quad [2.6]$$

elde edilir.

Kemerin C mafsalına göre sol ve sağ tarafın dengesine bakılırsa;

$$\sum M_C^{sol} = 0 \text{ şartı yazılarak;}$$



Şekil 2.1 Üç mafsallı kemerde düşey yük etkimesi durumu

$$\left. \begin{aligned} H_A &= [V_A \cdot a_C - \sum_{i=1}^n P_i \cdot (a_C - a_i)] / f \\ H_B &= [V_B \cdot b_C - \sum_{i=1}^n P_j \cdot (b_C - b_i)] / f \end{aligned} \right\} [2.7]$$

elde edilir.

Diğer yandan şekilde görüldüğü gibi kemer açıklığındaki basit kiriş üzerine kemerdeki yükler aynı doğrultuda ve yerde yüklenirse kemerde oluşan düşey mesnet tepkileri basit kirişlerin tepkilerine eşit olur ($V_A = V_A^0$, $V_B = V_B^0$).

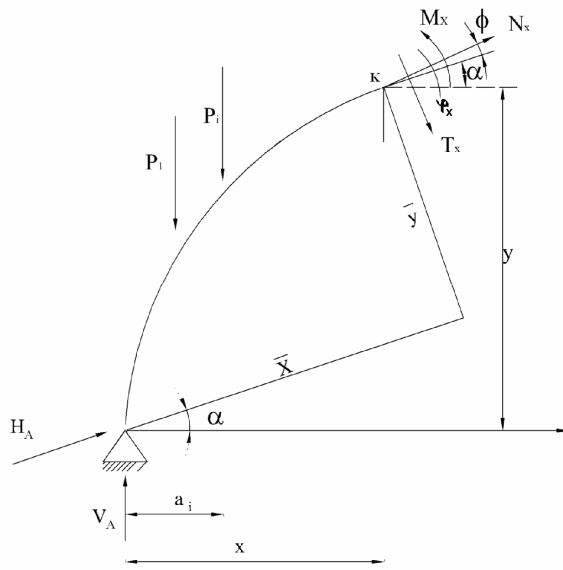
Yüklerin düşey olması halinde [2.7] bağıntılarına göre bulunmuş H_A ve H_B itki kuvvetleri eşit olup;

$$H_A = H_B = H = M_C^0 / f \quad [2.8]$$

şeklinde olur.

b) Kesit tesirleri

Kemerde bakış yönü kemer içinden dışına doğru alınır. Başka bir deyişle lifleri uzatmaya çalışan eğilme momenti pozitif olacak şekilde seçilir.



Şekil 2.2. Kemerin K kesitindeki kesit tesirleri

Kemerin herhangi bir K kesitinde (Şekil2.2)teğet doğrultusunda N_x normal kuvveti, teğete dik doğrultuda T_x kesme kuvveti ve M_x eğilme momenti oluşur:

$$\left. \begin{aligned} N_x &= -H \cdot \cos \varphi_x - T_x^0 \sin(\alpha + \varphi_x) \\ T_x &= -H \cdot \sin \varphi_x + T_x^0 \cos(\alpha + \varphi_x) \\ M_x &= -H \cdot \bar{y} + M_x^0 \end{aligned} \right\} \quad [2.9]$$

Burada α açısı özengi eksenini ile x eksenini arasındaki , φ_x özengi eksenini ile K noktasında ki teğet arasındaki açı \bar{y} , K noktasının özengi eksenine uzaklığıdır.

Kemerin iki özengisinin de aynı seviyede olması durumunda [2.9] bağıntılarından;

$$\left. \begin{aligned} N_x &= -[H \cdot \cos \varphi_x + T_x^0 \sin \varphi_x] \\ T_x &= -H \cdot \sin \varphi_x + T_x^0 \cos \varphi_x \\ M_x &= M_x^0 - H \cdot y \end{aligned} \right\} \quad [2.10]$$

şeklini alır.

Yukarıdaki ifadelerden anlaşılacağı gibi yük etkisindeki üç mafsallı kemerdeki kesit tesirlerini bulmak için özet olarak;

1-Dış yükler aynı açıklıklı basit kirişe yüklenerek basit kiriş düşey mesnet tepkileri, basit kirişte C mafsalının izdüşüm noktasındaki M_c^0 eğilme momenti ve kesit tesiri aranan kesitin izdüşüm noktasında ki T_x^0 kesme kuvveti ve M_x^0 eğilme momenti hesaplanır.

2-Kemer itkisi [2.8] bağıntısından bulunur.

3-Aranılan kesitteki normal kuvvet ve kesme kuvveti H kemer itkisi, basit kirişte aranan kesit izdüşümünün deki T_x^0 kesme kuvvet, özengi eksenini ile yatay eksen arasındaki α açısı ve teğetin eğimi olan φ_x açısına bağlı olarak [2.9] bağıntılarından hesaplanır.

4-Aranılan kesitteki eğilme momenti, H kemer itkisi, basit kirişte aranan kesitin izdüşümündeki M_x^0 eğilme momenti ve aranan kesitin özengi eksenine uzaklığı olan \bar{y} 'ye bağlı olarak [2.9] bağıntısından bulunur.

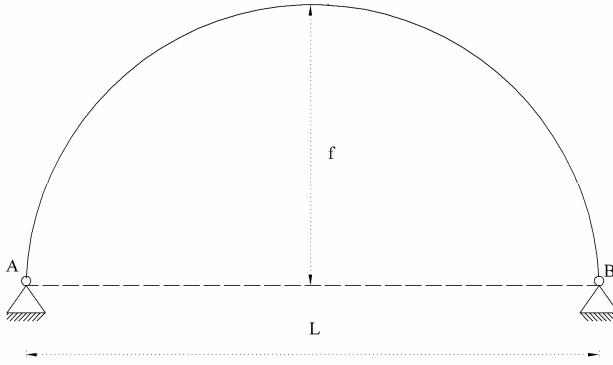
2.4. Hiperstatik Kemerlerle İlgili Genel Bilgiler

Statikçe belirsiz kemerler aşağıdaki gibi üç türe ayrılır:

- İki mafsallı kemerler (Şekil 2.3.a)
- Bir mafsallı kemerler (Şekil 2.3.b)
- Ankastre kemerler (Şekil 2.3.c)

2.4.1 İki mafsallı kemerler

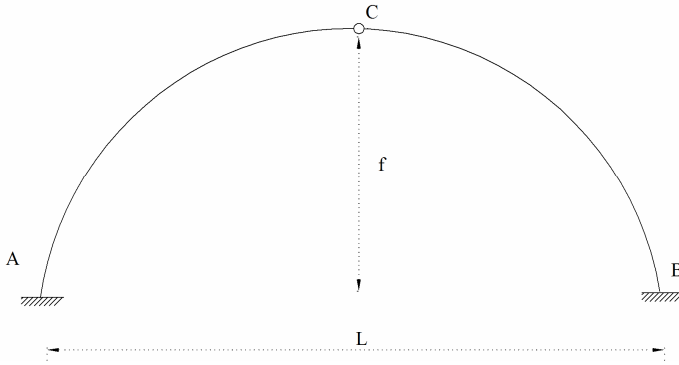
Bu kemerler sabit mafsallı mesnetlerden oluşmuştur; dolayısıyla bilinmeyen tepkilerin sayısı dörde eşit, statığın denge denklemlerinin sayısı da üçe eşit olduğundan, iki mafsallı kemerler 1. dereceden hiperstatiktir. (şekil 2.3.a)



Şekil 2.3.a İki mafsallı kemer

2.4.2 Bir mafsallı kemerler

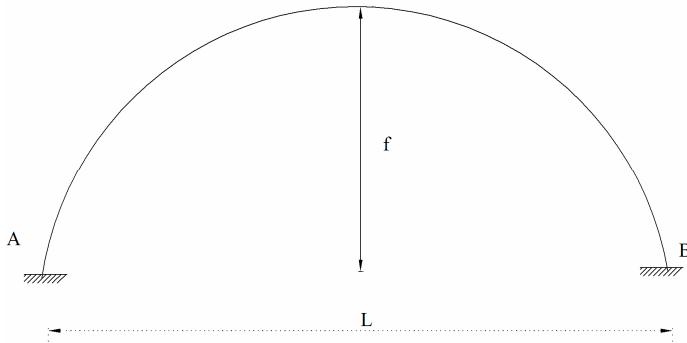
Bu kemerlerin uçları ankastre bağlanıp, bir tanede aralık mafsalı mevcuttur. Bir mafsallı kemerler 2. dereceden hiperstatiktir. (şekil 2.3.b)



Şekil 2.3.b Bir mafsallı kemer

2.4.3 Ankastre kemerler

Uçları ankastre bağlanmış bu kemerlerde aralık mafsalı bulunmaz. Kemerin mesnetlerindeki tepkilerin sayısı altı olduğundan, kemer 3. dereceden hiperstatiktir. (şekil 2.3.c)



Şekil 2.3.c Ankastre kemer

Statikçe belirsiz kemerler inşaatta geniş kullanılır.(köprüler, sanayi ve hidrolik yapılarında vb.) Kemerler betonarmeden, çelikten vb. malzemelerden yapılabilir.

2.5. Hiperstatik Kemerlerin Hesaplanması

2.5.1. Hiperstatik kemerlerin hesaplama yöntemleri

Statikçe belirsiz sistemleri hesaplamak için farklı yöntemler kullanılır.

1. Kuvvet yöntemi;
2. Yer değiştirmeler yöntemi (Cross);
3. Karışık yöntem;
4. Kombine edilme yöntemi
5. Yaklaşık yöntemler:
 - a) Moment dağıtım yolu;
 - b) Düşey yüke göre hesaplama;
 - c) Yatay yüke göre hesaplama;
6. Sayısal hesaplama yöntemleri;

- a) Sonlu elemanlar yöntemi;
- b) Sonlu farklar yöntemi;
- c) İterasyon yöntemleri;

A. Hiperstatik sistemlerin kuvvet yöntemine göre hesaplanması

Bu yöntemde statikçe belirsiz sistemin tepkileri ve iç kuvvetleri fazla bilinmeyen olarak kabul edildiği için, bu yöntemde kuvvet yöntemi denir. Statikçe belirsiz sistemlerin Kuvvet yöntemi ile hesabına statikçe belirsizlik derecesinin saptanması ile başlanır.

Statikçe belirsizlik derecesi;

$$n=c+2m-3d \quad [2.11]$$

formülü ile bulunur.

Burada c- Mesnetlerdeki bağların sayısı; m- Basit mafsalsal sayısı; d- Çubukların sayısıdır.

Hiperstatik sistemden statikçe belirsizlik derecesinin sayısı kadar fazla bağlar kaldırılıp, kaldırılmış bağlar doğrultusunda bilinmeyen X_1, X_2, \dots, X_n kuvvetleri uygulanarak geometrik değişmez ve statikçe belirli esas sistem elde edilir.

Fazla bilinmeyenlerin belirlenmesi için kuvvet yönteminin kanonik denklemleri;

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \delta_{12} \cdot X_2 + \delta_{13} \cdot X_3 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{21} \cdot X_1 + \delta_{22} \cdot X_2 + \delta_{23} \cdot X_3 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{31} \cdot X_1 + \delta_{32} \cdot X_2 + \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad [2.12]$$

yazılır.

Kanonik denklemlerin katsayıları δ_{ik} ve yükleme terimleri Δ_{ip} Maxwell-Mohr

formülü ile;

$$\left. \begin{aligned} \delta_{ii} &= \sum_0^s \frac{\overline{M}_i^2}{EI} \cdot ds \\ \delta_{ik} &= \sum_0^s \frac{\overline{M}_i \cdot \overline{M}_k}{EI} \cdot ds \\ \Delta_{ip} &= \sum_0^s \frac{\overline{M}_i \cdot \overline{M}_p}{EI} \cdot ds \end{aligned} \right\} \quad [2.13]$$

şeklinde bulunur.

X_1, X_2, \dots, X_n bilinmeyen kuvvetleri bulunduktan sonra hiperstatik sistem statikçe belirli sisteme dönüşür. Sistemin karakter kesitlerinde oluşan eğilme momentleri;

$$M = \overline{M}_1 \cdot X_1 + \overline{M}_2 \cdot X_2 + \dots + \overline{M}_n \cdot X_n + M_p \quad [2.14]$$

bağıntısına göre bulunurlar. Kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri statikçe belirli sistemde olduğu gibi bulunurlar.

B. Simetrik esnek merkez seçimi

Statikçe belirsiz sistem için seçilmiş elverişli esas sisteme bağlı olarak [2.12] kanonik denklemleri belirli derecede basitleşebilir. Esas sistemin elverişli olup olmaması o kanonik denklemlerin yardımcı δ_{ik} katsayısının belirli sayısının sıfıra eşit olmasına bağlıdır.

Statikçe belirsiz sistemler hesaplandığında simetrik esas sistemin seçimi kanonik denklemlerin daha basit şekle getirilmesini sağlar.

Örneğin, ankastre kemerler için esas sistem simetrik esnek merkeze göre seçildiğinde (Şekil 2.9) [2.12] kanonik denklemlerin basitleşip,

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1P} &= 0 \\ \delta_{22} \cdot X_2 + \Delta_{2P} &= 0 \\ \delta_{33} \cdot X_3 + \Delta_{3P} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad [2.15]$$

şeklinde olur.

Statikçe belirsiz simetrik ankastre kemerin simetri okuna göre kesilmiş uçlarına, rijitliği sonsuz olan çubuklar bağlanıp (Şekil 2.9), çubukların uçlarına X_1, X_2, X_3 bilinmeyenleri etki ettirilir. [Smirnov ve Ark., 1984]

Rijit çubukların uzunluğu;

$$y_c = \frac{\int_0^{L/2} (f - y) \cdot ds / EI_x}{\int_0^{L/2} ds / EI_x} \quad [2.16]$$

bağıntısına göre bulunur.

C. Simpson yöntemi

Kuvvet yönteminin [2.12] kanonik denklemlerinin katsayıları (δ_{ik}) ve yükleme terimleri (Δ_{ip}) [2.13] formülleriyle bulunurlar. Bir defa statikçe belirsiz sistem için ;

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_0} \int_0^L \frac{y^2}{\cos \varphi} dx + \frac{1}{EF_0} \int_0^L \cos \varphi dx + \frac{k}{GF_0} \int_0^L \frac{\sin^2 \varphi}{\cos \varphi} dx \quad [2.17]$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_0} \int_0^L \frac{M^0(-y)}{\cos \varphi} dx + \frac{1}{EF_0} \int_0^L T^0 \sin \varphi dx + \frac{k}{GF_0} \int_0^L (-T^0 \sin \varphi) dx \quad [2.18]$$

şeklinde bulunurlar.

$$\begin{aligned} Z_x &= y^2 / \cos \varphi; & \psi_x &= \cos \varphi; & \omega_x &= \sin^2 \varphi / \cos \varphi \\ Z_p &= -M^0 \cdot y / \cos \varphi; & \psi_p &= T^0 \sin \varphi; & \omega_p &= -T^0 \sin \varphi \end{aligned} \quad [2.19]$$

Burada ; $Z_x, Z_p, \psi_x, \omega_x, \omega_p$ - karakter fonksiyonları, G- kayma modülü, E- elastisite modülü, F- kesit alanı.

[2.19] bağıntısında ki değerler [2.18] de yerine konulduğunda;

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_0} \int_0^L Z_x dx + \frac{1}{EF_0} \int_0^L \psi_x dx + \frac{k}{GF_0} \int_0^L \omega_x dx \quad [2.20]$$

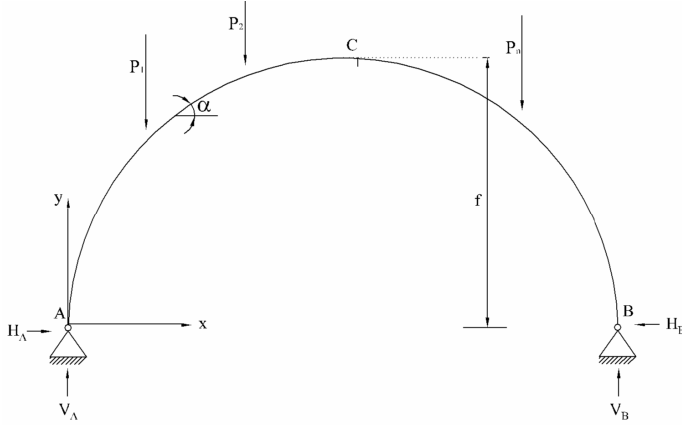
$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_0} \int_0^L Z_p dx + \frac{1}{EF_0} \int_0^L \psi_p dx + \frac{k}{GF_0} \int_0^L \omega_p dx \quad [2.21]$$

[2.20] ve [2.21] ve benzeri integrallerin kesin çözümü imkansız olduğu için bu tip sorular Simpson yöntemi kullanılarak çözülebilir. [Timoşenko ve Gudyer, 1975] Karakter noktalar hesaba katılarak açıklık Δ_x eşit parçaya bölünüp, birim kuvvet ve dış yük etkisinden \overline{M}_1 ve M_p diyagramları çizilerek simpson yöntemine göre ;

$$\Delta_i = \frac{\Delta_x}{3.EI} \cdot [y_0 + y_n + 4.(y_1 + y_3 + \dots) + 2.(y_2 + y_4 + \dots)] \quad [2.22]$$

Bağıntısı kullanılarak kanonik denklemlerin katsayısı ve yük terimi bulunabilir.

2.5.2. İki mafsallı kemerlerin hesaplaması



Şekil 2.4 İki mafsallı kemerde tepki kuvvetleri

İki mafsallı kemerler genellikle kuvvet yöntemi ile hesaplanır. Bir defa statikçe belirsiz kemerin esas sistemi, eğri eksenli çubuk veya üç mafsallı kemer şeklinde seçilebilir [Çetmeli ve Çakıroğlu, 2001] (Şekil 2.5 a,b,c).

Kuvvet yönteminin kanonik denklemi [2.15] kullanılır, bir defa statikçe belirsiz kemer için kanonik denklem;

$$\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1P} = 0 \quad [2.23]$$

şeklinde olacaktır.

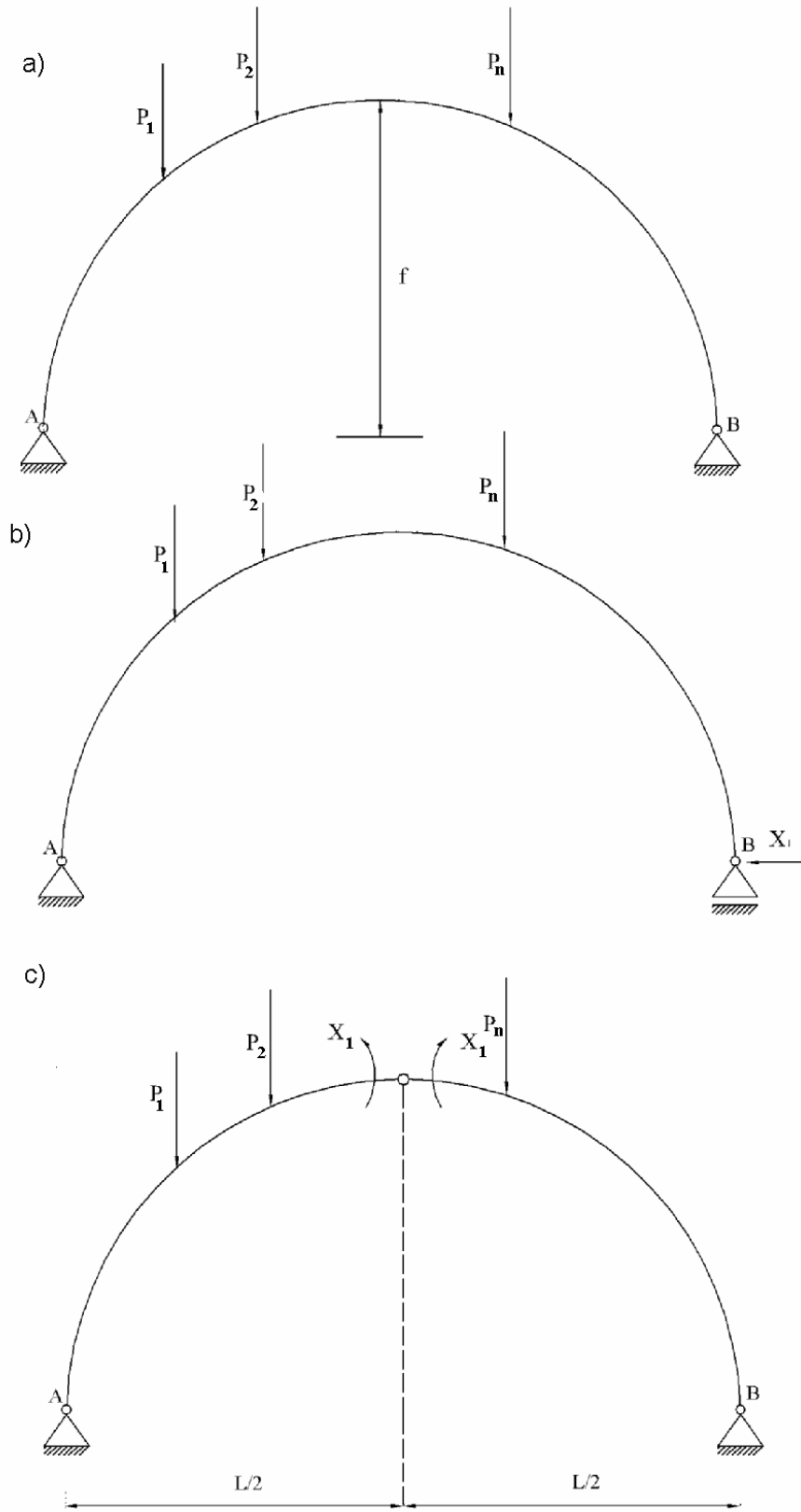
Buradan;

$$X_1 = -\frac{\Delta_{1P}}{\delta_{11}} \quad [2.24]$$

şeklinde bulunur.

δ_{11} : $X_1 = 1$ birim kuvveti etkisinden X_1 doğrultusundaki yer değiştirme,

Δ_{1P} : Sabit dış yükler etkisinden X_1 doğrultusundaki yer değiştirmedir.



Şekil 2.5 a- Verilen iki mafsallı kemer; b,c- Esas sistemler

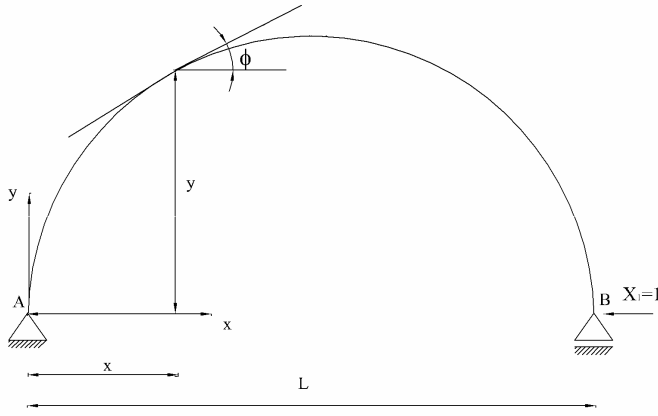
Birim ve yük yer değiştirmeleri bulmak için yer değiştirme [2.13] (Mohr denklemleri) kullanılır;

$$\delta_{11} = \sum_0^L \int \overline{M}_1^2 / EI_x . ds + \sum_0^L \int \overline{N}_1^2 / EA_x . ds + \sum_0^L \int \eta (\overline{T}_1^2 / G.A_x) . ds \quad [2.25]$$

$$\Delta_{1P} = \sum_0^L \int (M_P . \overline{M}_1 / EI_x) . ds + \sum_0^L \int (N_P . \overline{N}_1 / EA_x) . ds + \sum_0^L \int \eta (\overline{T}_1 . T_P / G.A_x) . ds \quad [2.26]$$

Burada; M_P - dış yük etkisinde oluşan eğilme momenti, N_P - dış yük etkisinde oluşan normal kuvvet, T_P - dış yük etkisinde oluşan kesme kuvveti, \overline{M}_1 - birim yük etkisinde oluşan eğilme momenti, \overline{T}_1 -birim yük etkisinde oluşan kesme kuvveti, \overline{N}_1 -birim yük etkisinde oluşan normal kuvvet.

Şekil 2.6 da gösterilen esas sistemde $X_1 = 1$ olduğunda :



Şekil 2.6 Esas sistemde $X_1 = 1$ etkisi

$$\begin{aligned} \overline{M}_1 &= -1.y \\ \overline{N}_1 &= -1.\cos\alpha \\ \overline{T}_1 &= -1.\sin\alpha \end{aligned} \quad [2.27]$$

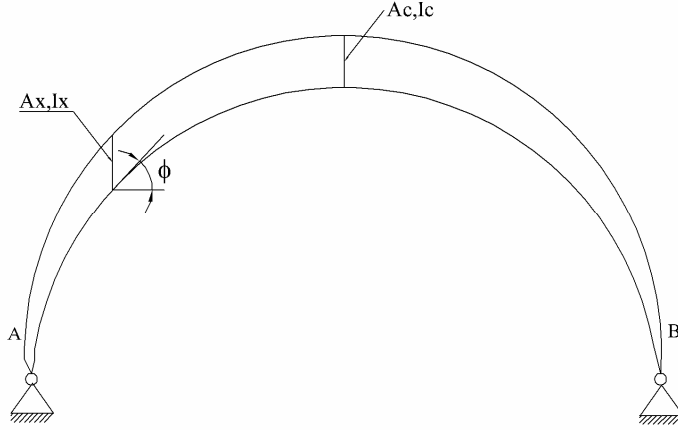
[2.27] bağıntılarına göre ;

$$\delta_{11} = \sum_0^L \int (y^2 / EI_x) . ds + \sum_0^L \int (\cos^2 \varphi / EA_x) . ds + \sum_0^L \int \eta (\sin^2 \varphi / G.A_x) . ds \quad [2.28]$$

ve

$$\Delta_{1P} = -\sum_0^L \int (M_P . y / EI_x) . ds - \sum_0^L \int (N_P . \cos \varphi / EA_x) . ds - \sum_0^L \int \eta . (T_P . \sin \varphi / G.A_x) ds \quad [2.29]$$

bulunur.



Şekil 2.7 İki mafsallı kemerde en kesit alanı

Kemerin enine kesitinin alanı ve x eksenine göre atalet momenti sırasıyla;

$$A_x = A_c \cdot \cos \varphi \quad [2.30]$$

$$I_x = I_c \cdot \cos \varphi \quad [2.31]$$

Dikdörtgen kesit için $\eta = 1.2$

$$I_c = bh^3/12$$

$$\cos \varphi = \frac{dx}{ds} \quad ds = \frac{dx}{\cos \varphi} \quad [2.32]$$

dir.

Kesme kuvvetinin etkisi çok küçük olduğu için ihmal edilip, Mohr denklemine göre δ_{11} ve Δ_{1P} yer değiştirmeleri aşağıdaki gibi bulunur.

$$\delta_{11} = \sum \int_0^L (y^2/EI_x) \cdot ds + \sum \int_0^L (\cos^2 \varphi/EA_x) \cdot ds \quad [2.33]$$

$$\Delta_{1P} = -\sum \int_0^L (M_P \cdot y/EI_x) \cdot ds - \sum \int_0^L (N_P \cdot \cos \varphi/EA_x) \cdot ds \quad [2.34]$$

Kemerin basıklık oranı (f/L) $1/3$ ile $1/5$ arasında olduğunda, [2.33] ve [2.34] bağıntılarında normal kuvvetin etkisi ihmal edilebilir [Çakıroğlu, 1984] ve X_1 bilinmeyi [2.24] denkleminde göre aşağıdaki gibi bulunur

$$X_1 = H = \int_0^s (M_p \cdot y / EI_x) \cdot ds / \int_0^s (y^2 / EI_x) \cdot ds \quad [2.35]$$

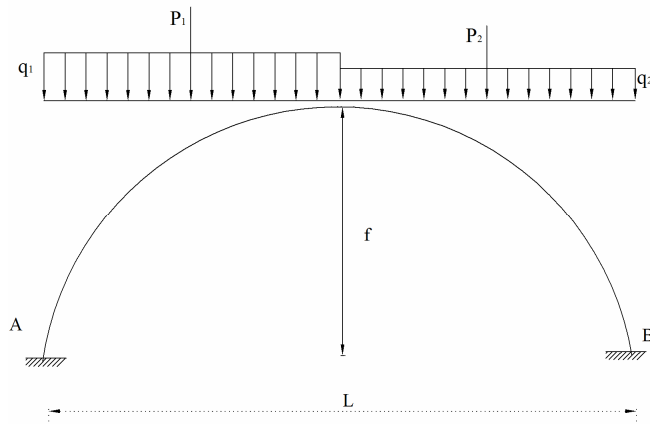
$$X_1 = H = \int_0^s (M_p \cdot y \cdot ds) / \int_0^s y^2 / d \quad [2.36]$$

X_1 bilinmeyi bulduktan sonra iki mafsallı kemerin herhangi bir kesitindeki eğilme momenti, kesme kuvveti ve normal kuvvet aşağıdaki denklemlerle bulunur:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_x^0 - X_1 \cdot y \\ T_x &= -X_1 \cdot \sin \varphi_x + T_x^0 \cos \varphi_x \\ N_x &= -[X_1 \cdot \cos \varphi_x + T_x^0 \sin \varphi_x] \end{aligned} \right\} \quad [2.37]$$

2.5.3 Ankastre kemerlerin hesaplanması

3. dereceden hiperstatik kemerlerdir. Ankastre kemeri (Şekil 2.8) kuvvet yöntemi ile hesaplamak; yani X_1, X_2 ve X_3 bilinmeyenlerini bulmak için [2.12] bağıntıları kullanılır.



Şekil 2.8 Ankastre kemer

Kemerlerin hesaplanması simetrik esnek merkez yolu ile yapılır. Esas sistemde sırasıyla $\overline{X}_1 = 1, \overline{X}_2 = 1$ ve $\overline{X}_3 = 1$ birim kuvvetlerinin ve dış yüklerin etkisinden oluşan eğilme momenti diyagramları çizilir. (Şekil 2.9 a, b, c, d)

Diyagramlardan da görüldüğü gibi, kemerin simetri okuna göre \overline{M}_3 diyagramı ters simetrik, \overline{M}_1 ve \overline{M}_2 ise simetriktir. Simetrik diyagram ters simetrik diyagramla çarpıldığında yer değiştirme sıfıra eşit olduğundan;

$$\delta_{13} = \delta_{31} = 0 \quad \delta_{23} = \delta_{32} = 0 \text{ olur}$$

\overline{M}_2 diyagramının ağırlık merkezine denk gelen \overline{M}_1 diyagramının ordinatı sıfıra eşittir [Stressner, 1957; Hanali, 2003].; yani, diyagramların çarpımı yoluna göre;

$$\delta_{12} = \delta_{21} = 0 \text{ olur.}$$

Sonuçta [2.15] bağıntıları elde edilir.

[2.15] denklemlerinden;

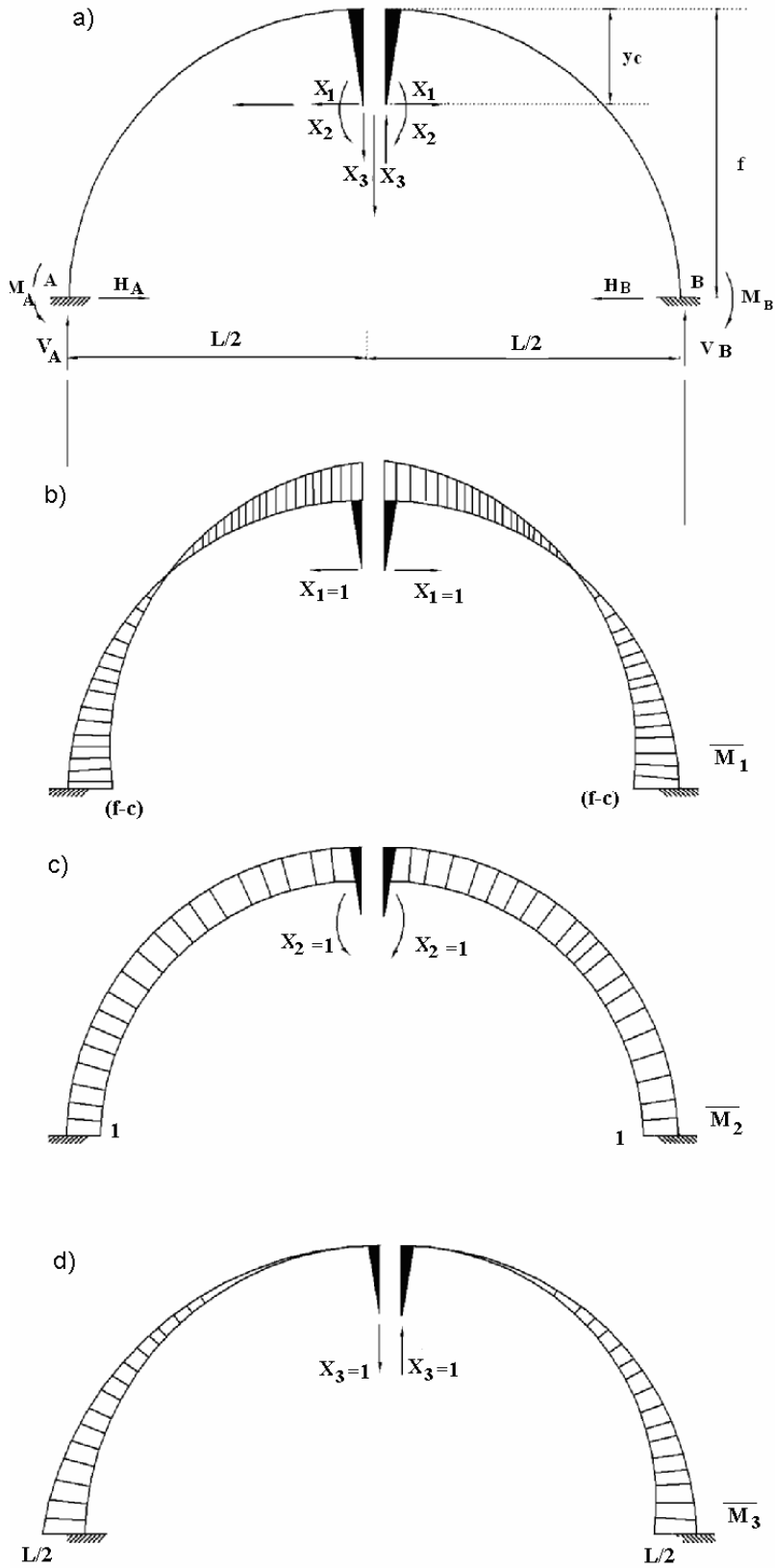
$$\left. \begin{aligned} \overline{X}_1 &= -\Delta_{1P} / \delta_{11} \\ \overline{X}_2 &= -\Delta_{2P} / \delta_{22} \\ \overline{X}_3 &= -\Delta_{3P} / \delta_{33} \end{aligned} \right\} \quad [2.38]$$

bilinmeyenleri bulunur.

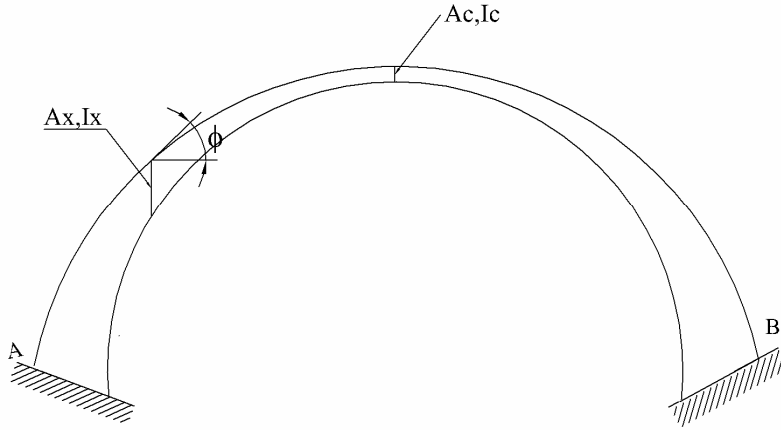
Şekil 2.9.a.b.c.d' den görüldüğü gibi;

$$\left. \begin{aligned} \overline{M}_1 &= -1.y \\ \overline{M}_2 &= 1 \\ \overline{M}_3 &= -1.x \\ \overline{N}_1 &= -1.\cos \varphi \end{aligned} \right\} \quad [2.39]$$

dir.



Şekil 2.9 a- Esas sistem ; b ,c, d-Esas sistemdeki birim eğilme momenti diyagramları



Şekil 2.10 Ankastre kemerde en kesit alanı

Dikdörtgen kesit için $\eta = 1.2$, $I_c = bh^3/12$;

$$A_x = \frac{A_c}{\cos \varphi} ; I_x = \frac{I_c}{\cos \varphi} \quad [2.40]$$

[2.39] ve [2.40] değerleri [2.25] ve [2.26] Mohr denklemlerinde yerine konulup;

$$\left. \begin{aligned} \delta_{11} &= \int_0^s (y^2/EI).ds + \int_0^s (\cos^2 \varphi EA).ds \\ \delta_{22} &= \int_0^s 1/EI).ds \\ \delta_{33} &= \int_0^s x^2/EI).ds \end{aligned} \right\} \quad [2.41]$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{1P} &= -\int_0^s (M_P \cdot y/EI).ds \\ \Delta_{2P} &= -\int_0^s (M_P/EI).ds \\ \Delta_{3P} &= -\int_0^s (M_P \cdot x/EI).ds \end{aligned} \right\} \quad [2.42]$$

bulunur.

[2.38] denklemlerine göre X_1 , X_2 ve X_3 bilinmeyenleri bulunduktan sonra; ankastre kemerin herhangi bir kesitindeki M, T, N değerleri aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$\left. \begin{aligned} M_x &= M_x^0 - y.X_1 + X_2 - x.X_3 \\ T_x &= T_k^0 + X_3.\cos\varphi + X_1.\sin\varphi \\ N_x &= -(T_x^0 + X_3.\sin\varphi - X_1.\cos\varphi) \end{aligned} \right\} \quad [2.43]$$

3.BÖLÜM İZOSTATİK VE HİPERSTATİK KEMERLERDE SAYISAL ÇÖZÜMLEMELER

3.1. Giriş

Dairesel ve parabol eksen eğrili kemerlerin çeşitli mesnetlenme durumlarında (üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre) farklı basıklık oranlarına ($f/L=0.20$ ve $f/L=0.30$ arasında) göre iç kuvvetlerdeki değişimler incelenmekte ve karşılaştırılmaktadır. Problemin çözümünde FORTRAN ve MATLAB bilgisayar programından yararlanılmıştır.

3.1.1. Çalışmanın amacı

Çalışmada $q_1 = 1\text{KN/m}^2$, $q_2 = 1.5\text{KN/m}^2$ yayılı yükleri ve $P_1 = 16\text{KN}$, $P_2 = 14\text{KN}$ tekil yükleri etkisinde farklı mesnetlenmiş (üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre) parabol eksen eğrili ve daire eksen eğrili kemerlerin farklı basıklık oranlarına ($f/L=0.2$, $f/L=0.22$, $f/L=0.24$, $f/L=0.26$, $f/L=0.28$, $f/L=0.3$) göre moment, normal kuvvet ve kesme kuvveti değerlerinin FORTRAN ve MATLAB bilgisayar programı ile çözülerek; meydana gelen maksimum moment değerlerinin tablo ve grafiklerle karşılaştırılması;

3.2. 2°den Parabol Eksen Eğrili İzostatik Kemerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesabı ve Sonuçların Karşılaştırılması

3.2.1 Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemer

Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemer için çözülecek örnekteki yük değerleri ve mesafeler aşağıda verilmiştir.

$$q_1 = 1\text{KN/m}$$

$$a_1 = 6\text{m}$$

$$q_2 = 1.5\text{KN/m}$$

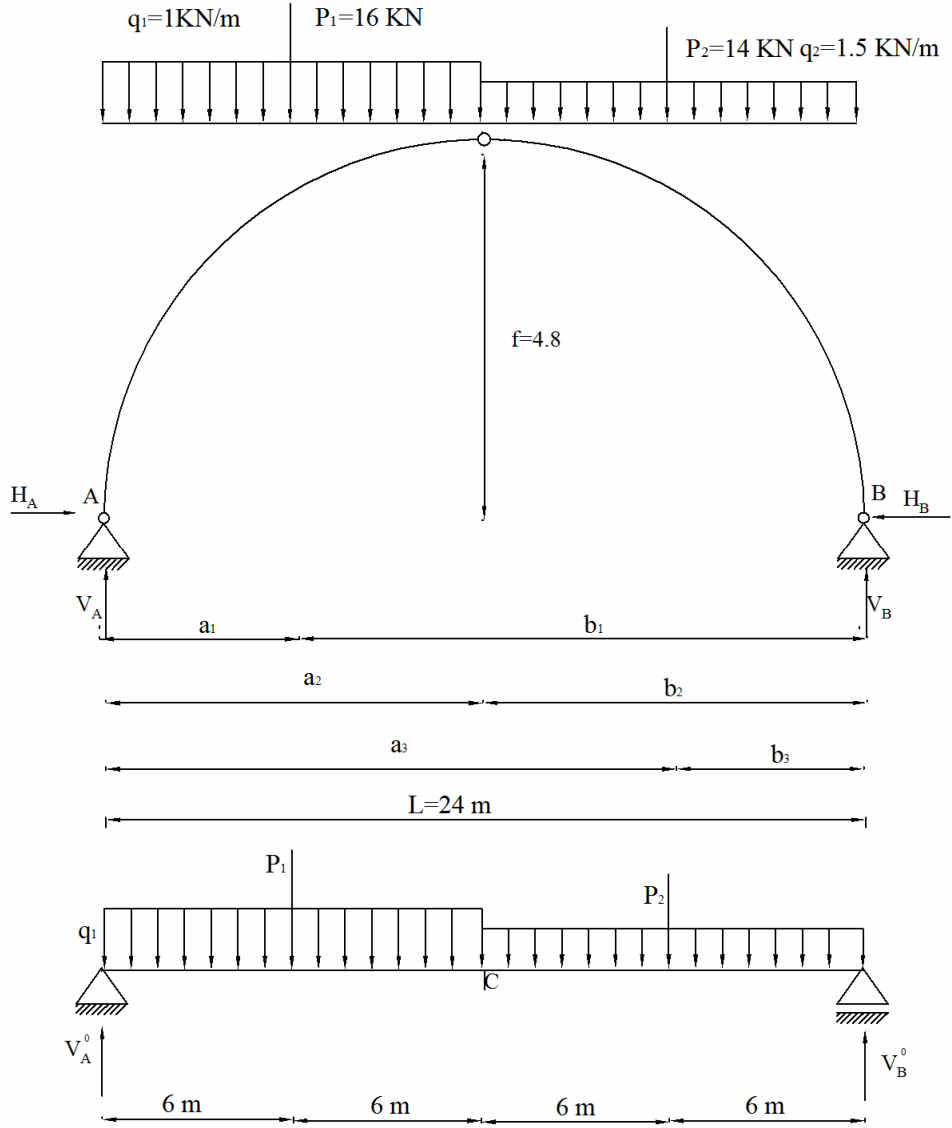
$$a_2 = 12\text{m}$$

$$P_1 = 16\text{KN}$$

$$a_3 = 18\text{m}$$

$$P_2 = 14\text{KN}$$

$$L = 24\text{m}$$



Şekil 3.1. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde yük durumu

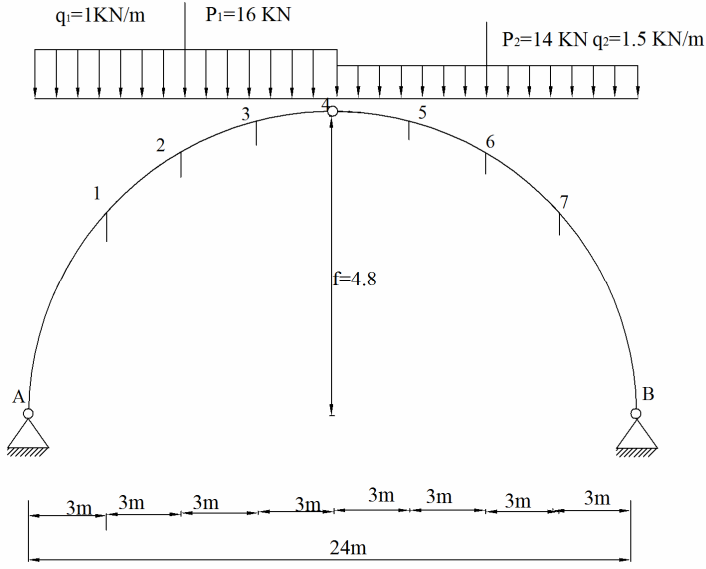
Öncelikle [2.6], [2.7] formülleri kullanılarak kemerin A ve B mesnetlerinde dış yüklerden oluşan düşey V_A, V_B ve yatay H_A, H_B tepkileri hesaplanır.

$$V_A = 29\text{KN}$$

$$V_B = 31\text{KN}$$

$$H = 180/4.8 = 37,5\text{KN}$$

M, T, N değerlerinin bulunması;



Şekil 3.2. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin karakter noktaları

Şekilde görülen dokuz karakter noktasında $f=4.8$ değeri için parabol eksen eğrili kemerde [2.1], [2.2] ve [2.3] bağıntılarından x , y , $\tan \varphi$, $\sin \varphi$, $\cos \varphi$ değerleri hesaplanıp Çizelge 3.1 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemer için açı değerleri

Kesit No	x , m	y , m	$\tan \varphi$	$\cos \varphi$	$\sin \varphi$
A	0	0	0,8	0,7810	0,6247
1	3	2,1	0,6	0,8575	0,5145
2	6	3,6	0,4	0,9285	0,3714
3	9	4,5	0,2	0,9806	0,1961
4	12	4,8	0	1,0000	0,0000
5	15	4,5	-0,2	0,9806	-0,1961
6	18	3,6	-0,4	0,9285	-0,3714
7	21	2,1	-0,6	0,8575	-0,5142
B	24	0	-0,8	0,7810	-0,6247

Yükleme durumuna göre dört bölge için moment ve kesme kuvveti değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

1.Bölge için $0 \leq x \leq 6$

$$M^0 = V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 \quad M^0 = 29 \cdot x - 0,5 \cdot x^2 \quad [3.1]$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x \quad T^0 = 29 - x$$

2. Bölge için $6 \leq x \leq 12$

$$M^0 = V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) \quad M^0 = -0,5 \cdot x^2 + 13 \cdot x + 96 \quad [3.2]$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x - P_1 \quad T^0 = 13 - x$$

3.Bölge için $12 \leq x \leq 18$

$$M^0 = V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2/2$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 19 \cdot x + 60 \quad [3.3]$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) \quad T^0 = 1,5 \cdot x - 19$$

4.Bölge için $18 \leq x \leq 24$

$$M^0 = V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2/2 - P_2$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 5 \cdot x + 312$$

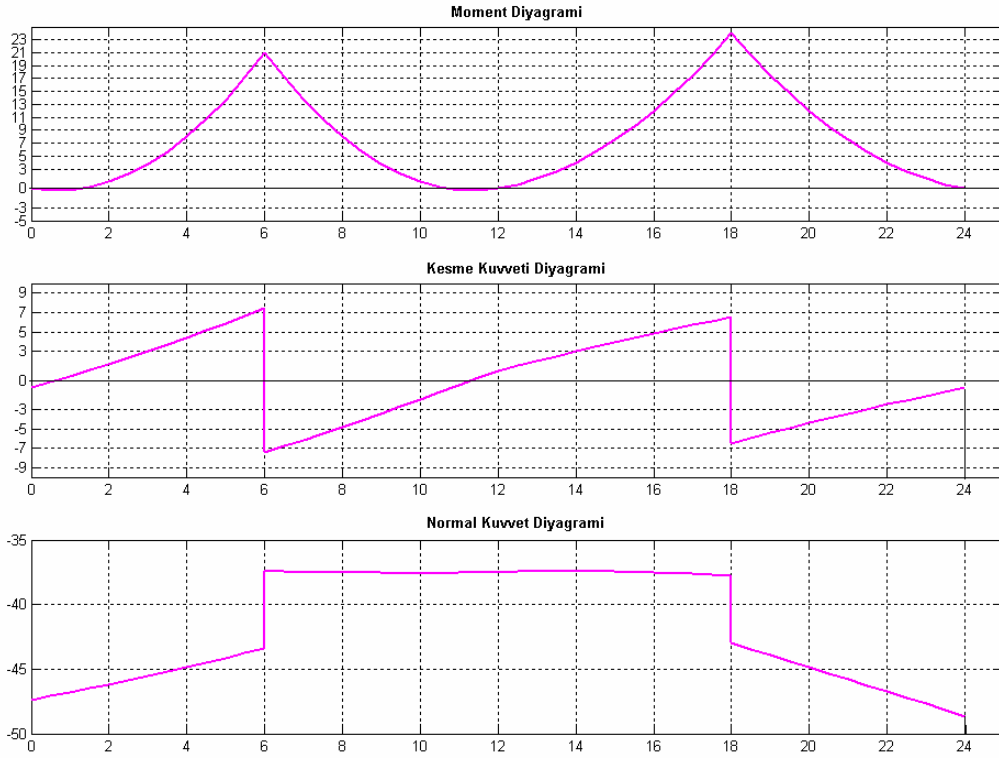
$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) - P_2 \quad [3.4]$$

$$T^0 = 1,5 \cdot x - 5$$

[2.10] bağıntıları kullanılarak tüm kesitlerdeki M, N, T değerleri hesaplanıp Çizelge 3.2 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri

Kesit No	M^0	H.y	M KN.m	T^0	$T^0 \cdot \cos \varphi$	H. $\sin \varphi$	T KN	$T^0 \sin \varphi$	H. $\cos \varphi$	N KN
A	0	0	0	29	22,69	23,84	-0,77	18,116	29,28	-47,39
1	82,5	78,75	3.750	26	22,29	19,29	3,00	13,34	32,15	-45,53
2	156	135	21.00	23 7	21,35 6,49	13,93	7,53 -7,47	8,54 2,59	34,82	-43,36 -37,42
3	172	168,2	3.750	4	3,92	7,35	-3,43	0,78	36,77	-37,56
4	180	180	0.000	1	1	0	1	0	37,5	-37,5
5	176,2	168,2	7.500	-3,5	-3,43	-7,35	3,92	0,68	36,77	-37,46
6	159	135	24.00	-8 -22	-7,43 -20,43	-13,93	6,49 -6,51	2,97 8,17	34,82	-37,79 -42,99
7	86,25	78,25	7.500	-26,5	-22,72	-19,29	-3,43	13,63	32,15	-45,8
B	0	0	0	-31	-24,21	-23,84	-0,78	19,36	29,28	-48,65



Şekil 3.3 Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri

Çizelge 3.3. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	$f/L=0,20$	$f/L=0,22$	$f/L=0,24$	$f/L=0,26$	$f/L=0,28$	$f/L=0,30$
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750
2	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00	21.00
3	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750	3.750
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
6	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
7	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500	7.500
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde basıklık oranı değişiminin moment değerleri üzerinde bir etkisi yoktur.

Çizelge 3.4. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kederde farklı basıkklık oranı değışimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-0.781	-0.751	-0.721	-0.693	-0.666	-0.640
1	3.001	2.921	2.840	2.759	2.680	2.601
2	7.428 -7.428	7.323 -7.323	7.212 -7.212	7.098 -7.098	6.980 -6.980	6.860 -6.860
3	-3.432	-3.418	-3.403	-3.387	-3.370	-3.352
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	3.922	3.907	3.889	3.871	3.852	3.831
6	6.499 -6.499	6.407 -6.407	6.311 -6.311	6.210 -6.210	6.107 -6.107	6.003 -6.003
7	-3.430	-3.338	-3.246	-3.154	-3.063	-2.973
B	-0.781	-0.751	-0.721	-0.693	-0.666	-0.640

f/L=0.20 olduğunda üç mafsallı parabol eksen eğrili kederin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30 da ki kesme kuvveti değerinden %7.6 fazladır.

Çizelge 3.5. Üç mafsallı parabol eksen eğrili kederde farklı basıkklık oranı değışimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-47.40	-44.75	-42.63	-40.90	-39.47	-38.28
1	-45.53	-42.77	-40.55	-40.27	-37.23	-35.97
2	-43.35 -37.42	-40.46 -34.02	-38.12 -31.20	-38.51 -28.82	-34.60 -26.79	-33.27 -25.04
3	-37.56	-34.15	-31.32	-28.92	-26.87	-25.09
4	-37.50	-34.09	-31.25	-28.85	-26.78	-25.00
5	-37.46	-34.05	-31.20	-28.80	-26.74	-24.95
6	-37.79 -42.99	-34.43 -40.06	-31.63 -37.69	-29.28 -35.74	-27.28 -34.12	-25.55 -32.75
7	-45.79	-43.05	-40.84	-39.04	-37.55	-36.31
B	-48.65	-46.07	-44.01	-42.34	-40.96	-39.82

f/L=0.20 olduğunda üç mafsallı parabol eksen eğrili kederin max normal kuvvet değeri f/L=0.30 da ki normal kuvvet değerinden %18 fazladır.

3.2.2. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemer

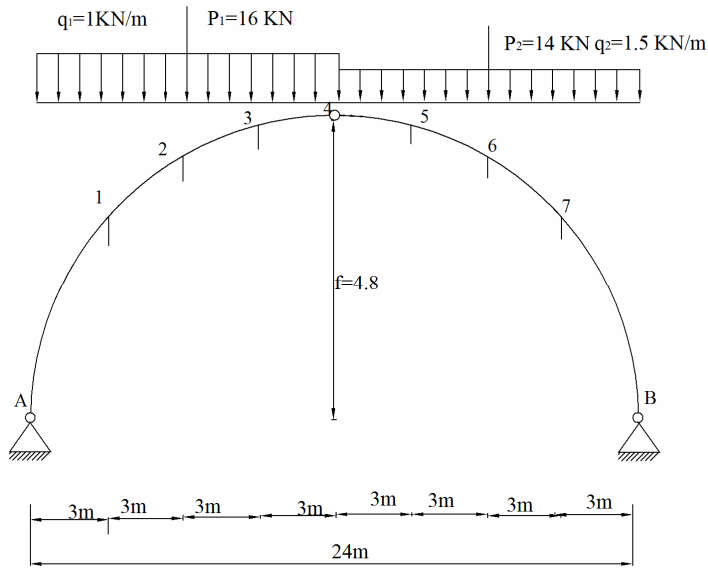
Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde aynı yük değerleri için hesap yapılmıştır. Kemerin A ve B mesnetlerinde dış yüklerden oluşan düşey V_A, V_B ve yatay H_A, H_B tepkileri;

$$V_A = 29 \text{ KN}$$

$$V_B = 31 \text{ KN}$$

$$H = 180/4.8 = 37,5 \text{ KN}$$

M, T, N değerlerinin bulunması;



Şekil 3.4. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin karakter noktaları

Şekil 3.4 de görülen karakter noktasında $f=4.8$ değeri için daire eksen eğrili kemerde [2.4], [2.5] bağıntılarından $x, y, \tan \varphi, \sin \varphi, \cos \varphi$ değerleri hesaplanıp Çizelge 3.6 da gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemer için açı değerleri

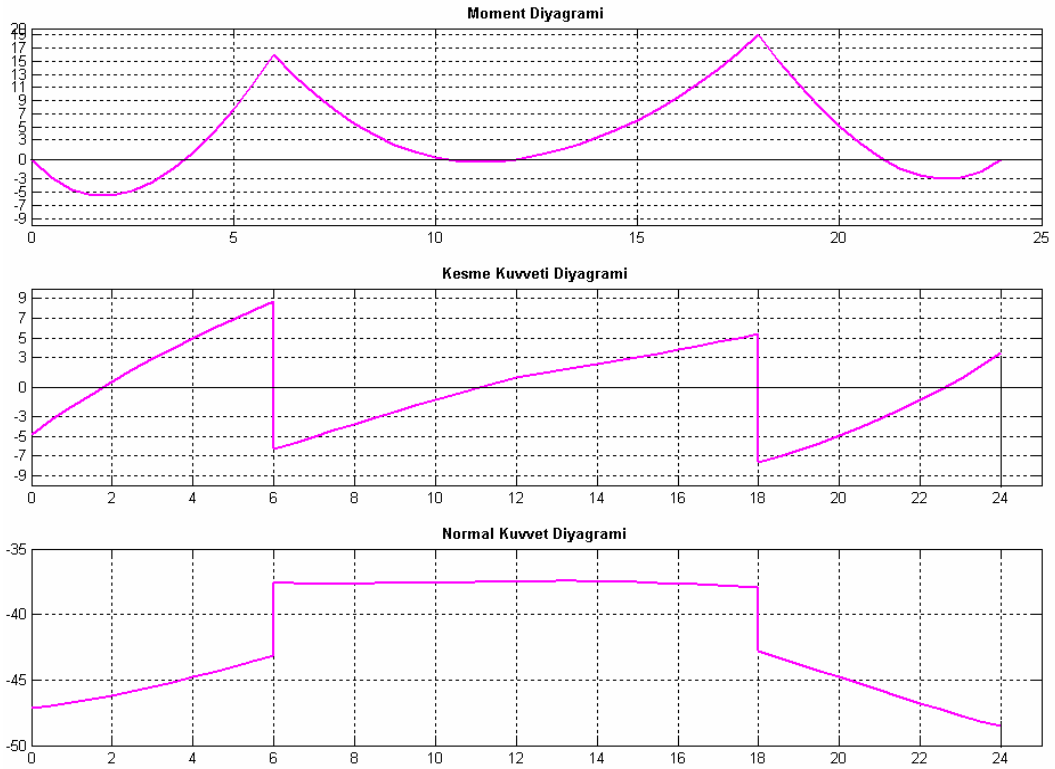
Kesit No	x, m	y, m	cos φ	sin φ
A	0	0	0,724	0,689
1	3	2,29	0,856	0,517
2	6	3,73	0,938	0,345
3	9	4,54	0,985	0,172
4	12	4,8	1,000	0,000
5	15	4,54	0,985	-0,172
6	18	3,73	0,938	-0,345
7	21	2,29	0,856	-0,517
B	24	0	0,7824	-0,689

Bölgelere göre kemere benzer basit kirişin kesitlerinde oluşan M^0 ve T^0 ifadeleri [3.1], [3.2], [3.3], [3.4] bağıntılarından alınmıştır.

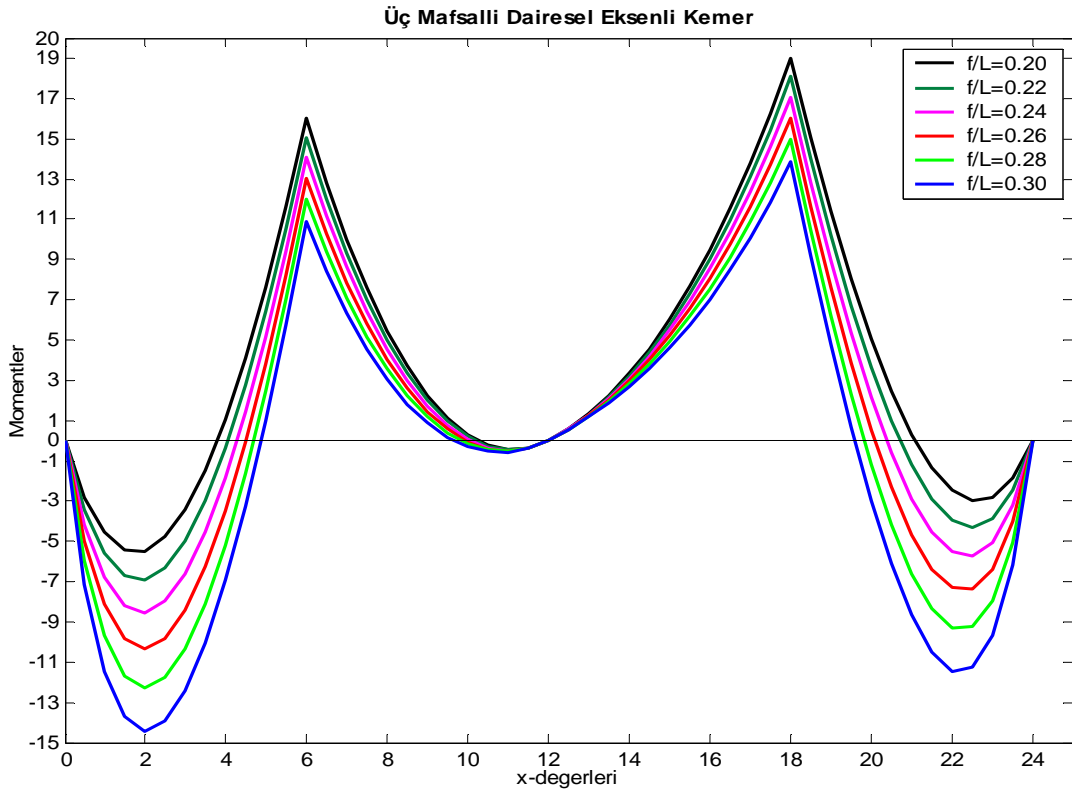
[2.10] Formülleri kullanılarak tüm kesitlerdeki M, N, T değerleri hesaplanıp Çizelge 3.7 de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri

Kesit No	M^0	H.y	M KN.m	T^0	T^0 cos φ	H. sin φ	T KN	T^0 sin φ	H. cos φ	N KN
A	0	0	0.00	29	20,99	25,84	-4.862	19,98	27,15	-47.15
1	82,5	85,87	-3.435	26	22,25	19,38	2.855	13,42	32,1	-45.54
2	156	139,8	16.020	23 7	21,57 6,556	12,94	8.658 -6.360	7,93 2,42	35,17	-43.13 -37.61
3	172	170,2	2.271	4	3,94	6,45	-2.525	0,68	36,94	-37.63
4	180	180	0.000	1	1	0	1.000	0	37,5	-37.50
5	176,2	170,2	6.021	-3,5	-3,44	-6,45	3.018	0,60	36,94	-37.54
6	159	139,8	19.020	-8 -22	-7,50 -20,64	-12,94	5.422 -7.719	2,76 7,59	35,17	-37.96 -42.79
7	86,25	85,87	0.315	-26,5	-22,68	-19,38	-3.283	13,7	32,1	-45.80
B	0	0	0.000	-31	-22,44	-25,84	3.414	21,36	27,15	-48.53



Şekil 3.5. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri



Şekil 3.6. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.8. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	-3.435	-4.955	-6.617	-8.417	-10.35	-12.40
2	16.020	15.077	14.082	13.045	11.973	10.877
3	2.271	2.007	1.732	1.450	1.164	0.875
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	6.021	5.757	5.482	5.200	4.914	4.625
6	19.020	18.077	17.082	16.045	14.973	13.877
7	0.315	-1.205	-2.867	-4.667	-6.598	-8.652
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

f/L=0.20 olduğunda üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin max moment değeri f/L=0.30 da ki moment değerinden %27.04 fazladır.

Çizelge 3.9. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-4.862	-5.542	-6.243	-6.960	-7.684	-8.412
1	2.855	2.813	2.797	2.811	2.861	2.948
2	8.658	8.813	8.986	9.178	9.386	9.611
	-6.360	-6.060	-5.746	-5.420	-5.087	-4.747
3	-2.525	-2.352	-2.172	-1.988	-1.801	-1.613
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	3.018	2.844	2.663	2.478	2.290	2.101
6	5.422	5.130	4.825	4.508	4.182	3.850
	-7.719	-7.884	-8.066	-8.265	-8.482	-8.714
7	-3.283	-3.230	-3.202	-3.206	-3.245	-3.323
B	3.414	4.190	4.992	5.811	6.639	7.471

f/L=0.20 olduğunda üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30 da ki moment değerinden %25 fazladır.

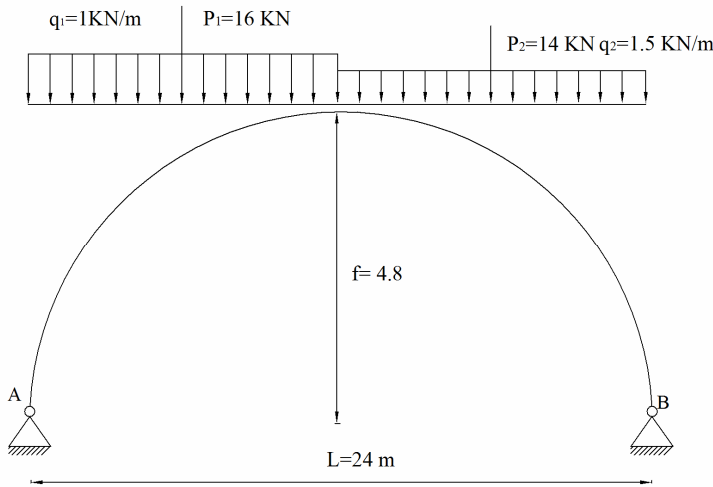
Çizelge 3.10. Üç mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler , KN					
	$f/L=0,20$	$f/L=0,22$	$f/L=0,24$	$f/L=0,26$	$f/L=0,28$	$f/L=0,30$
A	-47.15	-44.41	-42.17	-40.31	-38.72	-37.35
1	-45.54	-42.78	-40.55	-38.73	-37.22	-35.95
2	-43.13	-40.17	-37.75	-35.73	-34.03	-32.58
	-37.61	-34.27	-31.50	-29.18	-27.21	-25.52
3	-37.63	-34.24	-31.43	-29.05	-27.02	-25.27
4	-37.50	-34.09	-31.25	-28.85	-26.78	-25.00
5	-37.54	-34.15	-31.33	-28.95	-26.92	-25.16
6	-37.96	-34.64 -39.80	-31.89	-29.59	-27.64	-25.96
	-42.79		-37.36	-35.32	-33.61	-32.14
7	-45.80	-43.06	-40.85	-39.04	-37.54	-36.28
B	-48.53	-45.89	-43.73	-41.94	-40.43	-39.12

$f/L=0.20$ olduğunda üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin max normal kuvvet değeri $f/L=0.30$ da ki normal kuvvet değerinden %19.4 fazladır.

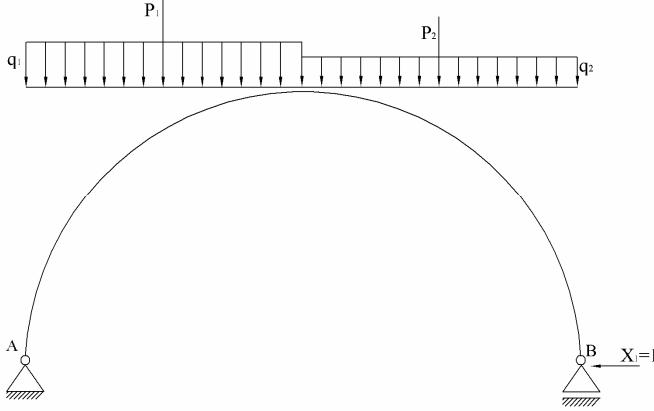
3.3. 2° den Parabol Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Sabit Yüklere Göre Hesabı ve Sonuçlarının Karşılaştırılması.

3.3.1 İki mafsallı parabol eksen eğrili kemer



Şekil 3.7. Parabol eksen eğrili iki mafsallı kemer ve yükleme durumu

Sistem 1. dereceden hiperstatiktir. Öncelikle uygun bir esas sistem seçilir.



Şekil 3.8. Parabol eksen eğrili iki mafsallı kemerde esas sistem seçim

[2.23], [2.24] Kuvvet yönteminin kanonik denklemlerinden X_1 bilinmeyenini elde etmek için [2.33] ve [2.34] bağıntılarından faydalanılarak öncelikle δ_{11} ve Δ_{1p} değerleri bulunur.

Kesme kuvvetinin etkisi çok küçük olduğundan ve kemerin basıklık oranı (f/L) 0,2 ile 0,3 arasında olduğunda bağıntılardaki normal kuvvet ve kesme kuvveti etkisi ihmal edilir.

$$\delta_{11} = \sum_0^L \int \frac{\overline{M}_1 \cdot ds}{EI} + \sum_0^L \int \frac{\overline{N}_1 \cdot ds}{EA} \quad \Delta_{1p} = \sum_0^L \int \frac{\overline{M}_1 \cdot M_p \cdot ds}{EI}$$

$$\overline{M}_1 = -1 \cdot y$$

Dikdörtgen kesit için $b=0,50m$ $h=0,80m$ 'dir.

[2.30] ve [2.31] bağıntılarından;

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot \cos \varphi \quad bh = \frac{12 \cdot I_x}{h^2 \cdot \cos \varphi}$$

$$A_x = b \cdot h \cdot \cos \varphi \quad A_x = \frac{12 \cdot I_x}{h^2} = 18,75 \cdot I_c \text{ elde edilir.}$$

$$\cos \varphi = \frac{dx}{ds} \quad ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \int_0^L \frac{(-y)^2 \cdot dx}{\cos^2 \varphi} + \frac{1}{18,75 \cdot EI_c} \int_0^L dx$$

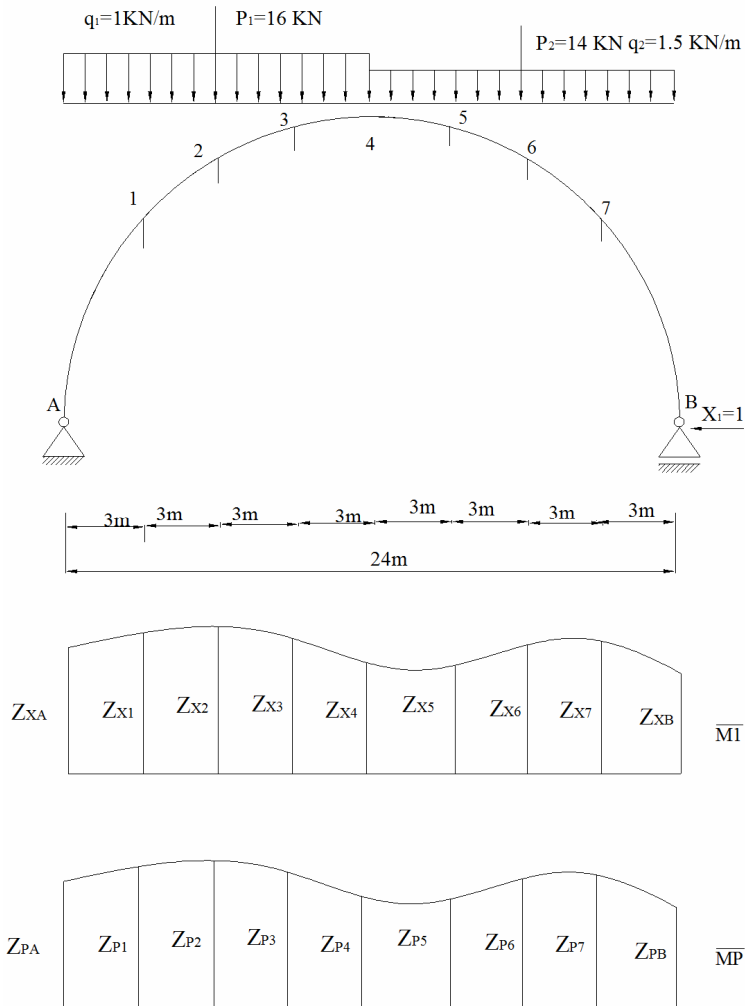
Parabol eksenli kemerde [2.1] bağıntısından y değeri formülde yerine konursa;

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_C} \int_0^{24} \frac{\left(\frac{-4f}{L^2} \cdot x \cdot (x-L)\right)^2 \cdot dx}{\cos^2 \varphi} + \frac{1}{18,75 \cdot EI_C} \int_0^L dx$$

$$\Delta_{1P} = \frac{1}{EI_C} \sum \int_0^L \frac{(-y) \cdot M_p^0 ds}{\cos^2 \varphi}$$

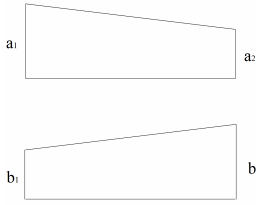
İntegrallerin çözümünden δ_{11} , Δ_{1P} değerleri bulunur ve kanonik denklemde yerine konularak X_1 değeri elde edilir.

İntegral çözümünde [2.22] Simpson yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 3.9. Simpson yöntemi

Yamuk çarpımından ;



$$\Delta = \frac{L}{6} \cdot (2 \cdot a_1 \cdot a_2 + 2 \cdot b_1 \cdot b_2 + a_1 \cdot b_2 + a_2 \cdot b_1) \quad \Delta_x = \frac{L}{8}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{\Delta_x}{3} \cdot (Z_{XA} + 4 \cdot Z_{X1} + 2 \cdot Z_{X2} + 4 \cdot Z_{X3} + 2 \cdot Z_{X4} + 4 \cdot Z_{X5} + 2 \cdot Z_{X6} + 4 \cdot Z_{X7} + Z_{XB})$$

$$+ \frac{1}{k \cdot EI_c} \cdot \frac{\Delta_x}{3} \cdot (\psi_{XA} + 4 \cdot \psi_{X1} + 2 \cdot \psi_{X2} + 4 \cdot \psi_{X3} + 2 \cdot \psi_{X4} + 4 \cdot \psi_{X5} + 2 \cdot \psi_{X6} + 4 \cdot \psi_{X7} + \psi_{XB}) \quad [3.5]$$

$$\Delta_{IP} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{\Delta_x}{3} \cdot (Z_{PA} + 4 \cdot Z_{P1} + 2 \cdot Z_{P2} + 4 \cdot Z_{P3} + 2 \cdot Z_{P4} + 4 \cdot Z_{P5} + 2 \cdot Z_{P6} + 4 \cdot Z_{P7} + Z_{PB}) \quad [3.6]$$

$$Z_x = \frac{y^2}{\cos^2 \varphi} \quad Z_P = -\frac{y \cdot M_P^0}{\cos^2 \varphi}$$

Çizelge 3.11. Karakter fonksiyon değerleri

Kesit No	x	y	cos φ	sin φ	M_P^0	y^2	cos φ^2	Z_x	ψ_x	Z_P
A	0	0	0,781	0,625	0	0	0.610	0	1	0
1	3	2.1	0,857	0,514	82,5	4.41	0.735	5.99	1	-235.6
2	6	3.6	0,928	0,371	156	12.96	0.862	15.03	1	-651.4
3	9	4.5	0,980	0,196	172	20.25	0.962	21.06	1	-807.33
4	12	4.8	1,000	0,000	180	23.04	1	23.04	1	-864
5	15	4.5	0,980	-0,196	176,2	20.25	0.962	21.06	1	-833.8
6	18	3.6	0,928	-0,371	159	12.96	0.862	15.03	1	-663.9
7	21	2.1	0,857	-0,514	86,25	4.41	0.735	5.99	1	-246.3
B	24	0	0,781	-0,625	0	0	0.610	0	1	0

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (0 + 4 \times 5,99 + 2 \times 15,03 + 4 \times 21,06 + 2 \times 23,04 + 4 \times 21,06 + 2 \times 15,03 + 4 \times 5,99 + 0) + \frac{1}{18,75 \cdot EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (1 + 4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 1) = 322,670 + 1,28 = \frac{323,90}{EI_c}$$

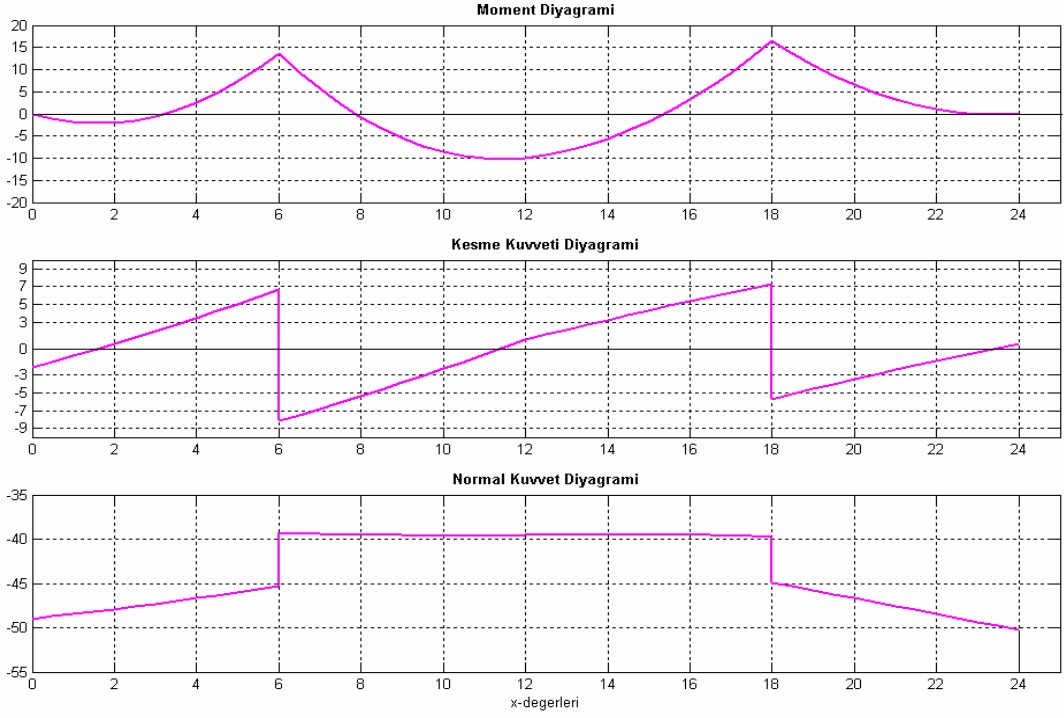
$$\Delta_{IP} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (0 + 4 \times (-253,62) + 2 \times (-651,4) + 4 \times (-807,33) + 2 \times (-864) + 4 \times (-833,8) + 2 \times (-663,9) + 4 \times (-246,3) + 0) = \frac{-12778,1}{EI_c}$$

$$X_1 = -\frac{-12778,1}{323,90} = 39,44$$

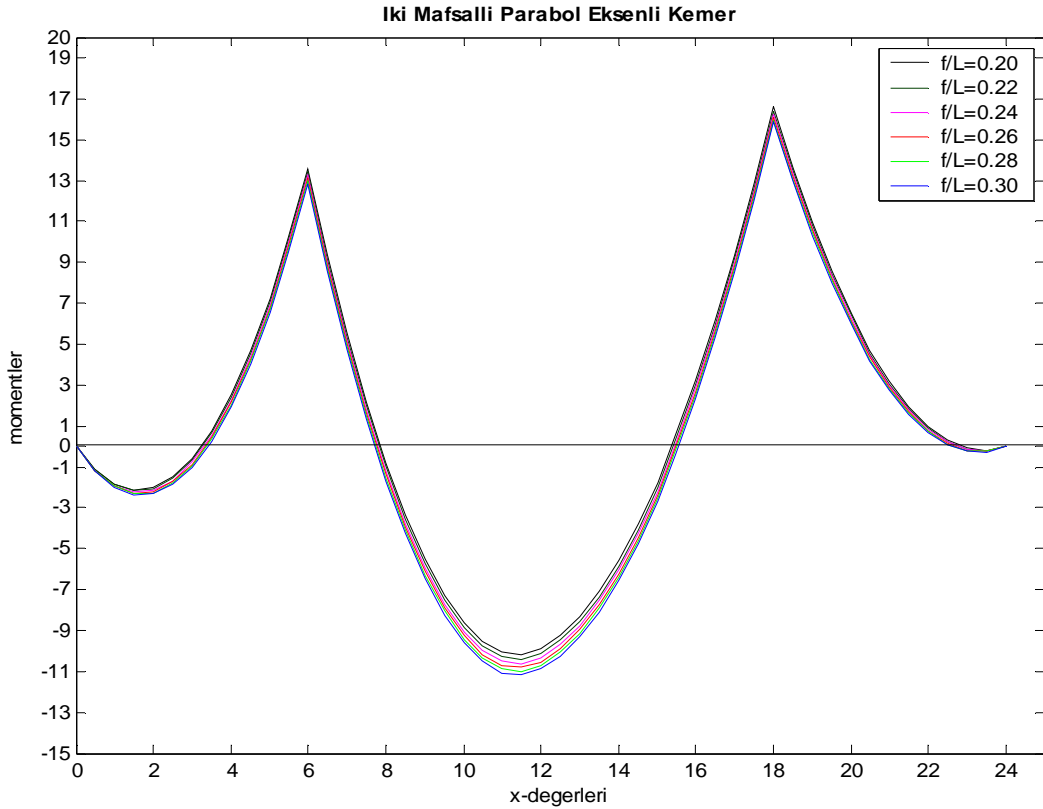
$$X_1 = H = 39,44$$

Çizelge 3.12. İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde f=4.8 için M,N,T değerleri

Kesit No	M ⁰	H.y	M KN.m	T ⁰	T ⁰ cos φ	H. sin φ	T KN	T ⁰ sin φ	H. cos φ	N KN
A	0	0	0.000	29	22,65	24,64	-2.067	18.12	30,80	-49.01
1	82,5	82,82	-0.57	26	22,29	20,29	1.942	13,38	33,82	-47.30
2	156	141,98	13.588	23 7	21,35 6,50	14,65	6.663 -8.192	8,54 2,60	36,62	-45.27 -39.33
3	172	177,48	-5.515	4	3,92	7,73	-3.836	0,78	38,67	-39.57
4	180	189,88	-9.88	1	1	0	1.000	0	39,44	-39.56
5	176,25	177,48	-1.765	-3,5	-3,443	-7,73	4.326	0,68	38,67	-39.48
6	159	141,91	16.588	-8 -22	-7,40 -20,43	-14,65	7.264 -5.735	2,97 8,17	36,62	-39.70 -44.90
7	86,25	82,82	3.176	-26,5	-22,51	-20,29	-2.371	13,63	33,82	-47.56
B	0	0	0.000	-31	-24,21	-2464	0.505	19,36	30,80	-50.26



Şekil 3.10. İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri



Şekil 3.11. İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.13.İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	0.000	0.000	0,000	0.000	0.000	0.000
1	-0.574	-0.679	-0.773	-0.858	-0.938	-1.013
2	13.588	13.406	13.246	13.099	12.963	12.834
3	-5.515	-5.742	-5.942	-6.125	-6.296	-6.457
4	-9.882	-10.13	-10.34	-10.53	-10.72	-10.89
5	-1.765	-1.99	-2.192	-2.375	-2.546	-2.707
6	16.588	16.406	16.246	16.099	15.963	15.834
7	3.176	3.070	2.977	2.891	2.812	2.737
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerin max moment değeri f/L=0.30da ki moment değerinden %4.5 fazladır.

Çizelge 3.14.İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-2.067	-2.017	-1.964	-1.910	-1.855	-1.802
1	1.942	1.865	1.792	1.722	1.654	1.590
2	6.663 -8.192	6.550 -8.095	6.435 -7.989	6.319 -7.876	6.201 -7.759	6.082 -7.638
3	-3.836	-3.830	-3.822	-3.812	-3.800	-3.787
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	4.326	4.319	4.308	4.296	4.282	4.266
6	7.264 -5.735	7.179 -5.635	7.087 -5.534	6.989 -5.432	6.887 -5.328	6.780 -5.225
7	-2.371	-2.282	-2.197	-2.116	-2.037	-1.962
B	0.505	0.516	0.522	0.524	0.523	0.521

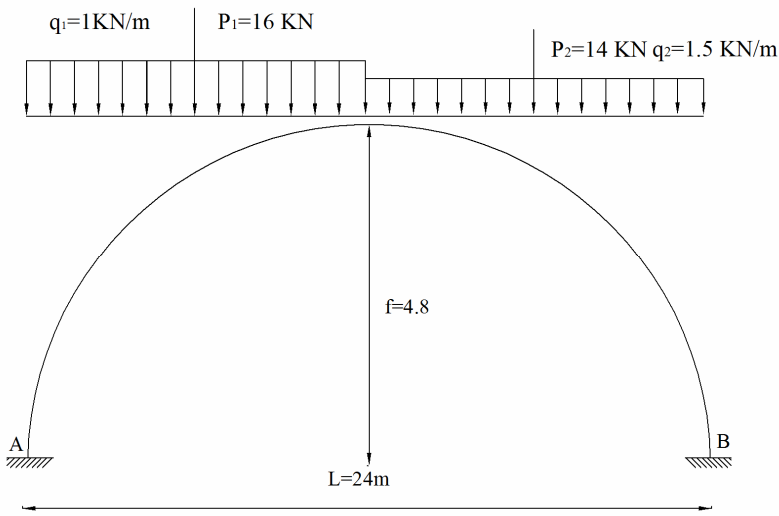
f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30 da ki kesme kuvveti değerinden %6.8 fazladır.

Çizelge 3.15. İki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-49.01	-46.19	-43.92	-42.07	-40.53	-39.25
1	-47.30	-44.37	-42.01	-40.07	-38.45	-37.10
2	-45.27 -39.33	-42.22 -35.78	-39.74 -32.82	-37.70 -30.32	-35.99 -28.18	-34.57 -26.34
3	-39.57	-36.03	-33.06	-30.56	-28.41	-26.54
4	-39.56	-36.01	-33.04	-30.53	-28.38	-26.51
5	-39.48	-35.92	-32.95	-30.43	-28.27	-26.40
6	-39.70 -44.90	-36.18 -41.82	-33.25 -39.31	-30.78 -37.24	-28.67 -35.51	-26.85 -34.05
7	-47.56	-44.65	-42.30	-40.37	-38.78	-37.43
B	-50.26	-47.51	-45.31	-43.51	-42.03	-40.79

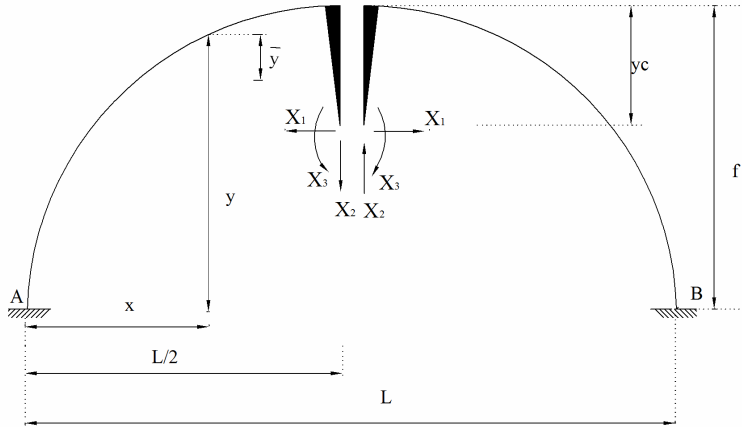
f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerin max normal kuvvet değeri f/L=0.30 da ki normal kuvvet değerinden % 18.8 fazladır.

3.3.2 Ankastre parabol eksen eğrili kemer



Şekil 3.12. Ankastre parabol eksenli kemerde yük durumu

Ankastre parabol eksen eğrili kemerin hesabı için simetrik esnek merkez yolu kullanılır. Esas sistem seçilir.



Şekil 3.13. Ankastre parabol eksenli kemerde esas sistem

Kuvvet yönteminin [2.12], [2.38] kanonik denklemleri kullanılarak X_1, X_2, X_3 bilinmeyenleri hesaplanır.

Parabol eksen eğrili ankastre kemerde y değeri bulunurken [2.1] bağıntısı kullanılır. [2.40] bağıntılarından A_x ve I_x değerleri hesaplanıp formülde yerine konularak [2.16] formülüne göre ;

$$y_c = \frac{\int_0^{L/2} (f - y).ds/EI_x}{\int_0^{L/2} ds/EI_x}$$

$$y_c = \frac{\int_0^{L/2} f.dx - \frac{4f}{L^2} \cdot \int_0^{L/2} (Lx - x^2).dx}{\int_0^{L/2} dx} = \frac{f}{3}$$

$\bar{X}_1 = 1$ $\bar{X}_2 = 1$ $\bar{X}_3 = 1$ birim kuvvetleri etkisinde $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3$ momentleri bulunur.

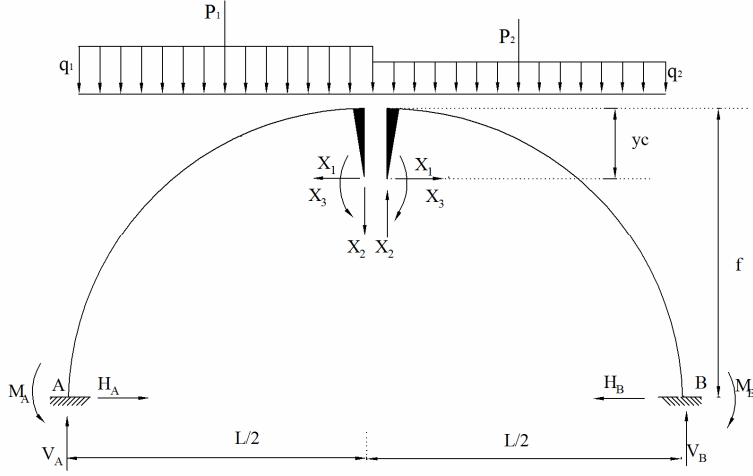
Kemerin sağ ve sol parçalarının denge şartından

$$\bar{M}_1^{\text{sol}} = \frac{2}{3}.f - y \quad \bar{M}_1^{\text{sağ}} = \frac{2}{3}.f - y \quad [3.7]$$

$$\bar{M}_2^{\text{sol}} = -\frac{L}{2} + x \quad \bar{M}_2^{\text{sağ}} = -\frac{L}{2} + x \quad [3.8]$$

$$\bar{M}_3^{\text{sol}} = 1 \quad \bar{M}_3^{\text{sağ}} = 1 \quad [3.9]$$

değerleri elde edilir.



Şekil 3.14. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde dış yük etkisinde tepki kuvvetleri

$$\sum y^{\text{sol}} = 0 \quad V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 = 0 \quad V_A = 16 + 12 = 28 \text{KN}$$

$$\sum y^{\text{sağ}} = 0 \quad -V_B + q_2 \cdot \frac{L}{2} + P_2 = 0 \quad V_B = 18 + 14 = 32 \text{KN}$$

$$\sum M_c^{\text{sağ}} = 0 \quad -M_A + V_A \cdot a_2 - q_1 \cdot a_2 \cdot a_1 - P_1 \cdot a_1$$

$$M_A = 28 \times 12 - 12 \times 6 - 16 \times 6 = 168 \text{KNm}$$

Bulunan bu değerlere göre ;

1. Bölge için $0 \leq x \leq 6$

$$M_p^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2$$

[3.10]

$$M_p^0 = -0,5 \cdot x^2 + 28 \cdot x - 168$$

2. Bölge için $6 \leq x \leq 12$

$$M_p^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 - P_1 \cdot (x - a_1)$$

[3.11]

$$M_p^0 = -0,5 \cdot x^2 + 12 \cdot x - 72$$

3. Bölge için $12 \leq x \leq 18$

$$M_p^0 = -q_2 \cdot (x - a_2)^2 / 2$$

[3.12]

$$M_p^0 = -0,75 \cdot x^2 + 18 \cdot x - 108$$

4.Bölge için $18 \leq x \leq 24$

$$M_P^0 = -q_2 \cdot (x - a_2)^2 / 2 - P_2 \cdot (x - 18)$$

[3.13]

$$M_P^0 = -0,75 \cdot x^2 + 54x + 144$$

$$\delta_{11} = \int \frac{\overline{M_1}^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{(\frac{2}{3} \cdot f - y)^2 \cdot dx}{EI_c} = \frac{4 \cdot f^2 \cdot L}{45 \cdot EI_c} = \frac{4 \times 4,8^2 \times 24}{EI_c} = \frac{49,152}{EI_c}$$

$$\delta_{22} = \int \frac{\overline{M_2}^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{(\frac{L}{2} - x)^2 \cdot dx}{EI_c} = \frac{L^3}{12 \cdot EI_c} = \frac{24^3}{12 \cdot EI_c} = \frac{1152}{EI_c}$$

$$\delta_{33} = \int \frac{\overline{M_3}^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{dx}{EI_c} = \frac{L}{EI_c} = \frac{24}{EI_c} = \frac{24}{EI_c}$$

$$\Delta_{IP} = \int \frac{\overline{M_1} \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} = \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5 \cdot x^2 + 28 \cdot x - 168) \cdot (\frac{2}{3} \cdot f - y) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5 \cdot x^2 + 12 \cdot x - 72) \cdot (\frac{2}{3} \cdot f - y) \cdot dx + \int_{12}^{18} (-0,75 \cdot x^2 + 18 \cdot x - 108) \cdot (\frac{2}{3} \cdot f - y) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75 \cdot x^2 + 4 \cdot x + 144) \cdot (\frac{2}{3} \cdot f - y) \cdot dx \right]$$

Çizelge 3.16. Karakter fonksiyon değerleri

Kesit No	x, m	y, m	M_P^0	$(\frac{2}{3} \cdot f - y)$	Z_P
A	0	0	-168	3,2	-537,6
1	3	2,1	-88,5	1,1	-97,35
2	6	3,6	-18	-0,4	7,2
3	9	4,5	-4,5	-1,3	5,85
4	12	4,8	0	-1,6	0
5	15	4,5	-6,75	-1,3	5,77
6	18	3,6	-27	-0,4	10,8
7	21	2,1	-102,75	1,1	-113,02
B	24	0	-192	3,2	-614,4

$$\Delta_{1P} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{\Delta_x}{3} \cdot (Z_{PA} + 4Z_{P1} + 2Z_{P2} + 4Z_{P3} + 2Z_{P4} + 4Z_{P5} + 2Z_{P6} + 4Z_{P7} + Z_{PB})$$

$$\Delta_{1P} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (-537,6 + 4 \times (-97,35) + 2 \times 7,2 + 4 \times 5,85 + 2 \times 0 + 4 \times 8,77 + 2 \times 10,8 + 4 \times (-113,02) - 614,4) = \frac{-1899}{EI_c}$$

$$X_1 = -\frac{-1899}{49,152} = 38,635$$

$$\Delta_{2P} = \int \frac{\overline{M}_2 \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} = \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5x^2 + 28x - 168) \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5x^2 + 12x - 72) \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) \cdot dx + \int_{12}^{18} (-0,75x^2 + 18x - 108) \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75x^2 + 4x + 144) \cdot \left(x - \frac{L}{2}\right) \cdot dx \right]$$

$$\Delta_{2P} = -\frac{936}{EI_c}$$

$$X_2 = -\frac{-936}{1152} = 0,8125$$

$$\Delta_{3P} = \int \frac{\overline{M}_3 \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} = \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5x^2 + 28x - 168) \cdot (1) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5x^2 + 12x - 72) \cdot (1) \cdot dx + \int_{12}^{18} (-0,75x^2 + 18x - 108) \cdot (1) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75x^2 + 4x + 144) \cdot (1) \cdot dx \right]$$

$$\Delta_{3P} = \frac{1}{EI_c} \left[\left(\frac{-0,5x^3}{3} + \frac{28x^2}{2} - 168x \right) I_0^6 + \left(\frac{-0,5x^3}{3} + \frac{12x^2}{2} - 72x \right) I_6^{12} + \left(\frac{-0,75x^3}{3} + \frac{18x^2}{2} - 108x \right) I_{12}^{18} + \left(\frac{-0,75x^3}{3} + \frac{4x^2}{2} + 144x \right) I_{18}^{24} \right]$$

$$\Delta_{3P} = -\frac{1260}{EI_c}$$

$$X_3 = -\frac{-1260}{24} = 52,5$$

$$\sum y^{\text{sol}} = 0 \quad V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 - X_2 = 0 \quad V_A = 16 + 12 + 0,8125 = 28,81 \text{KN}$$

$$\sum y^{\text{sag}} = 0 \quad -V_B + q_2 \cdot \frac{L}{2} + P_2 - X_2 = 0 \quad V_B = 18 + 14 - 0,8125 = 31,19 \text{KN}$$

$$\sum x = 0 \quad H_A = H_B = X_1 = 38,635 \text{KN}$$

$$\sum M_A^{\text{sol}} = 0$$

$$-M_A + q_1 \cdot a_2 \cdot a_1 - P_1 \cdot a_1 - X_1 \cdot (f - y_c) + X_2 \cdot a_2 - X_3$$

$$M_A = 16 \times 6 + 12 \times 6 - 38,635 \times (4,8 - 1,6) + 0,8125 \times 12 - 52,5 = 1,618$$

$$\sum M_B^{\text{sag}} = 0$$

$$-M_B + q_2 \cdot b_3 \cdot b_1 - P_2 \cdot b_3 - X_1 \cdot (f - y_c) - X_2 \cdot b_2 - X_3$$

$$M_B = 14 \times 6 + 1,5 \times 12 \times 6 - 28,635 \times (4,8 - 1,6) - 0,8125 \times 12 - 52,5 = 6,118$$

1. Bölge için $0 \leq x \leq 6$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 \quad M^0 = -0,5 \cdot x^2 + 28,81 \cdot x - 1,618$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x \quad T^0 = 28,81 - x$$

2. Bölge için $6 \leq x \leq 12$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 - P_1 \cdot (x - a_1) \quad M^0 = -0,5 \cdot x^2 + 12,81 \cdot x + 94,382$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x - P_1 \quad T^0 = 12,81 - x$$

3. Bölge için $12 \leq x \leq 18$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2 / 2$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 18,81 \cdot x + 58,382$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) \quad T^0 = -1,5 \cdot x - 18,81$$

4. Bölge için $18 \leq x \leq 24$

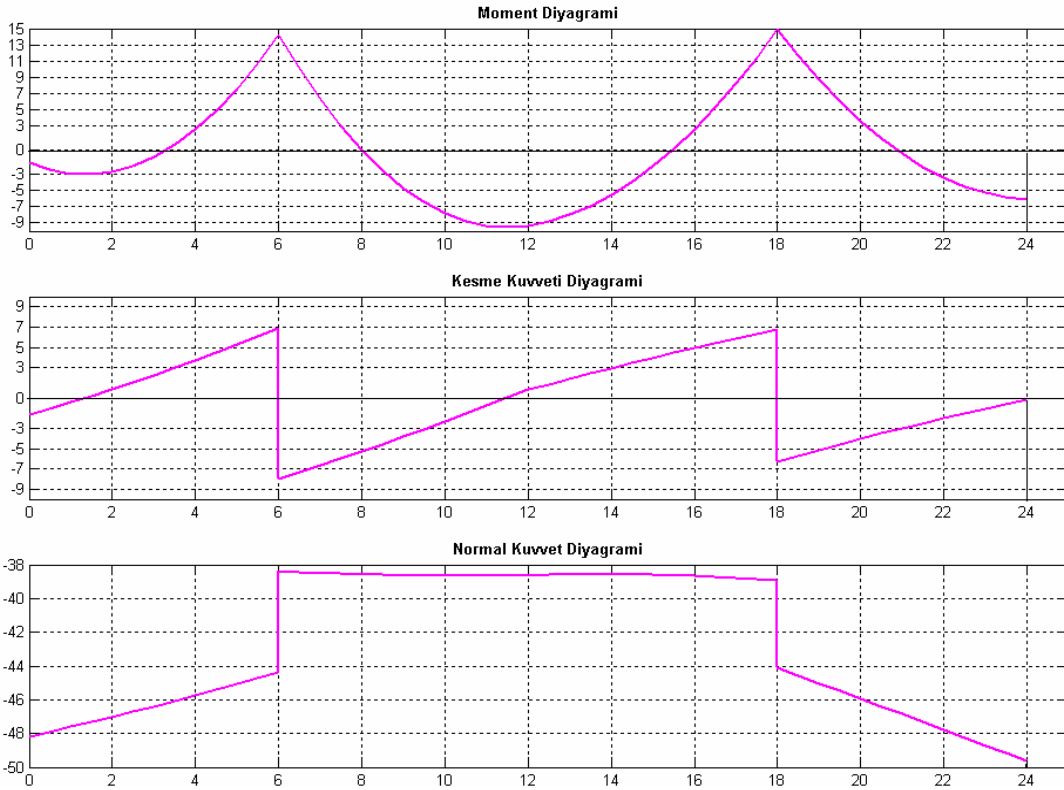
$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2 / 2 - P_2 \cdot (x - a_3)$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 4,81x + 310,382$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) - P_2 \quad T^0 = -1,5 \cdot x + 4,81$$

Çizelge 3.17. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri

Kesit No	M^0	H.y	M KN.m	T^0	T^0 $\cos \varphi$	H. $\sin \varphi$	T KN	T^0 $\sin \varphi$	H. $\cos \varphi$	N KN
A	-1,617	0	-1.617	28,81	22,77	24,13	-1.636	17,55	29,963	-48.17
1	80,31	81,13	-0.814	25,81	22,13	19,877	2.256	12,91	33,129	-46.41
2	153,2	139,0	14.171	22,81 6,81	21,18 6,32	14,35	6.832 -8.023	7,866 2,529	35,87	-44.34 -38.40
3	169,1	173,8	-4.663	3,81	3,736	7,576	-3.838	0,747	37,88	-38.63
4	176,1	185,4	-9.316	0,81	0,81	0	0.812	0	38,63	-38.63
5	171,8	173,8	-2.038	-3,69	-3,618	-7,576	3.961	0,196	37,88	-38.61
6	154,0	139,0	14.921	-8,19 -22,2	-7,604 -20,60	-14,35	6.747 -6.252	3,041 8,241	35,87	-38.91 -44.11
7	80,69	81,13	-0.439	-26,7	-22,88	-19,87	-3.007	13,73	33,13	-46.86
B	-6,117	0	-6.117	-31,2	-24,36	-24,13	-0.218	19,48	30,17	-49.65



Şekil 3.15. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri

Çizelge 3.18. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-1.617	-1.617	-1.617	-1.617	-1.617	-1.617
1	-0.814	-0.813	-0.813	-0.813	-0.813	-0.813
2	14.171	14.171	14.171	14.171	14.171	14.171
3	-4.663	-4.663	-4.663	-4.663	-4.663	-4.663
4	-9.316	-9.316	-9.316	-9.316	-9.316	-9.316
5	-2.038	-2.038	-2.038	-2.038	-2.038	-2.038
6	14.921	14.921	14.921	14.921	14.921	14.921
7	-0.439	-0.439	-0.439	-0.439	-0.439	-0.439
B	-6.117	-6.117	-6.117	-6.117	-6.117	-6.117

Ankastre parabol eksen eğrili kemerde basıklık oranı değişiminin moment değerleri üzerinde belirli bir etkisi yoktur.

Çizelge 3.19. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-1.636	-1.573	-1.512	-1.452	-1.396	-1.341
1	2.256	2.196	2.135	2.075	2.015	1.956
2	6.832 -8.023	6.735 -7.909	6.634 -7.791	6.528 -7.667	6.420 -7.540	6.310 -7.410
3	-3.838	-3.823	-3.806	-3.788	-3.769	-3.749
4	0.812	0.812	0.812	0.812	0.812	0.812
5	3.961	3.945	3.928	3.909	3.889	3.869
6	6.747 -6.252	6.651 -6.163	6.551 -6.070	6.447 -5.974	6.340 -5.875	6.231 -5.774
7	-3.007	-2.926	-2.845	-2.765	-2.685	-2.606
B	-0.218	-0.209	-0.201	-0.194	-0.186	-0.178

f/L=0.20 olduğunda ankastre parabol eksen eğrili kemerin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30da ki kesme kuvveti değerinden %7.6 fazladır.

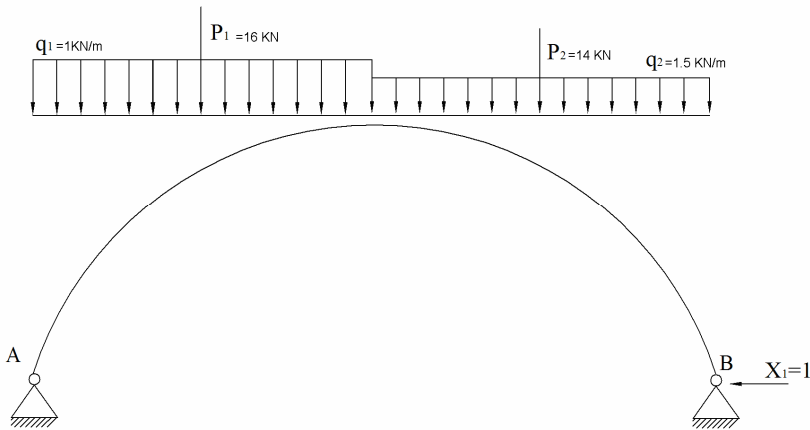
Çizelge 3.20. Ankastre parabol eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler , KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-48.17	-45.40	-43.18	-41.37	-39.87	-38.62
1	-46.41	-43.53	-41.21	-39.31	-37.73	-36.41
2	-44.34 -38.40	-41.33 -34.89	-38.89 -31.97	-36.89 -29.51	-35.22 -27.41	-33.82 -25.59
3	-38.63	-35.12	-32.19	-29.72	-27.60	-25.76
4	-38.63	-35.12	-32.19	-29.72	-27.60	-25.76
5	-38.61	-35.09	-32.17	-29.69	-27.57	-25.73
6	-38.91 -44.11	-35.45 -41.08	-32.57 -38.63	-30.14 -36.60	-28.08 -34.92	-26.30 -33.50
7	-46.86	-44.02	-41.72	-39.85	-38.29	-36.99
B	-49.65	-46.97	-44.82	-43.08	-41.64	-40.45

f/L=0.20 olduğunda ankastre parabol eksen eğrili kemerin max normal kuvvet değeri f/L=0.30 da ki normal kuvvet değerinden % 18.5 fazladır.

3.4. Daire Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Sabit Yüklere Göre Hesabı ve Sonuçlarının Karşılaştırılması

3.4.1 İki mafsallı daire eksen eğrili kemer



Şekil 3.16. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde esas sistem seçimi

Sistemimiz bir bilinmeyenli hiperstatik bir sistemdir. Esas sistemi Şekil 3.16 da gösterildiği gibi seçilmiştir.

[2.23], [2.24] Kuvvet yönteminin kanonik denklemlerinden x_1 bilinmeyenini elde etmek için [2.33] ve [2.34] bağıntılarından faydalanılarak öncelikle δ_{11} ve Δ_{1p} değerleri bulunur.

Kesme kuvvetinin etkisi çok küçük olduğundan ve kemerin basıklık oranı (f/L) 0,2 ile 0,3 arasında olduğunda bağıntılardaki normal kuvvet ve kesme kuvveti etkisi ihmal edilir.

$$\delta_{11} = \sum_0^L \int \frac{\overline{M}_1 \cdot ds}{EI} + \sum_0^L \int \frac{\overline{N}_1 \cdot ds}{EA} \quad \Delta_{1p} = \sum_0^L \int \frac{\overline{M}_1 \cdot M_p \cdot ds}{EI}$$

$$\overline{M}_1 = -1 \cdot y$$

Dikdörtgen kesit için $b=0,50m$ $h=0,80m$;

[2.30] ve [2.31] bağıntılarından;

$$I_x = I_c \cdot \cos \varphi \quad I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} \cdot \cos \varphi \quad bh = \frac{12 \cdot I_x}{h^2 \cdot \cos \varphi}$$

$$A_x = A_c \cdot \cos \varphi \quad A_x = b \cdot h \cdot \cos \varphi \quad A_x = \frac{12 \cdot I_x}{h^2} = 18,75 \cdot I_c$$

elde edilir.

$$\cos \varphi = \frac{dx}{ds} \quad ds = \frac{dx}{\cos \varphi}$$

Bu değerler [2.33] bağıntısında yerine konulduğunda;

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \int_0^L \frac{(-y)^2 \cdot dx}{\cos^2 \varphi} + \frac{1}{18,75 \cdot EI_c} \int_0^L dx$$

Dairesel eksenli kemerde [2.4], [2.5] bağıntılarından y değeri yukarıdaki denklemde yerine konulduğunda ;

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \int_0^L \frac{(r^2 - (L/2 - x)^2)^{\frac{1}{2}} - r + f)^2 \cdot dx}{\cos^2 \varphi} + \frac{1}{18,75 \cdot EI_c} \int_0^L dx$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_c} \sum_0^L \int \frac{(-y) \cdot M_p^0 \cdot ds}{\cos^2 \varphi}$$

denklemleri elde edilir.

İntegrallerin çözümü için simpson yöntemiyle [3.5], [3.6] bağıntıları kullanılıp elde değerler çizelge 3.21 de gösterilmiştir.

$$Z_x = \frac{y^2}{\cos^2 \varphi} \quad Z_p = -\frac{y \cdot M_p^0}{\cos^2 \varphi}$$

Çizelge 3.21. Karakter fonksiyon değerleri

Kesit No	x, m	y, m	cos φ	sin φ	M_p^0	y^2	cos φ^2	Z_x	Ψ_x	Z_p
A	0	0	0,724	0,689	0	0	0,524	0	1	0
1	3	2.29	0,856	0,517	82,5	5.24	0,733	7.15	1	-257.74
2	6	3.73	0,938	0,345	156	13.91	0,882	15.77	1	-659.73
3	9	4.54	0,985	0,172	172	2061	0,970	21.25	1	-807.37
4	12	4.8	1,000	0,000	180	23.04	1	23.04	1	-864
5	15	4.54	0,985	-0,172	176,2	20.61	0,970	21.25	1	-824.9
6	18	3.73	0,938	-0,345	159	13.91	0,882	15.77	1	-672.41
7	21	2.29	0,856	-0,517	86,25	5.24	0,733	7.15	1	-269.46
B	24	0	0,7824	-0,689	0	0	0,524	0	1	0

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (0 + 4 \times 7,15 + 2 \times 15,77 + 4 \times 21,25 + 2 \times 23,04 + 4 \times 21,25 + 2 \times 15,77 + 4 \times 7,15 + 0) + \frac{1}{18,75 \cdot EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (1 + 4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 2 + 4 + 1) = 336,36 + 1,28 = \frac{337,64}{EI_c}$$

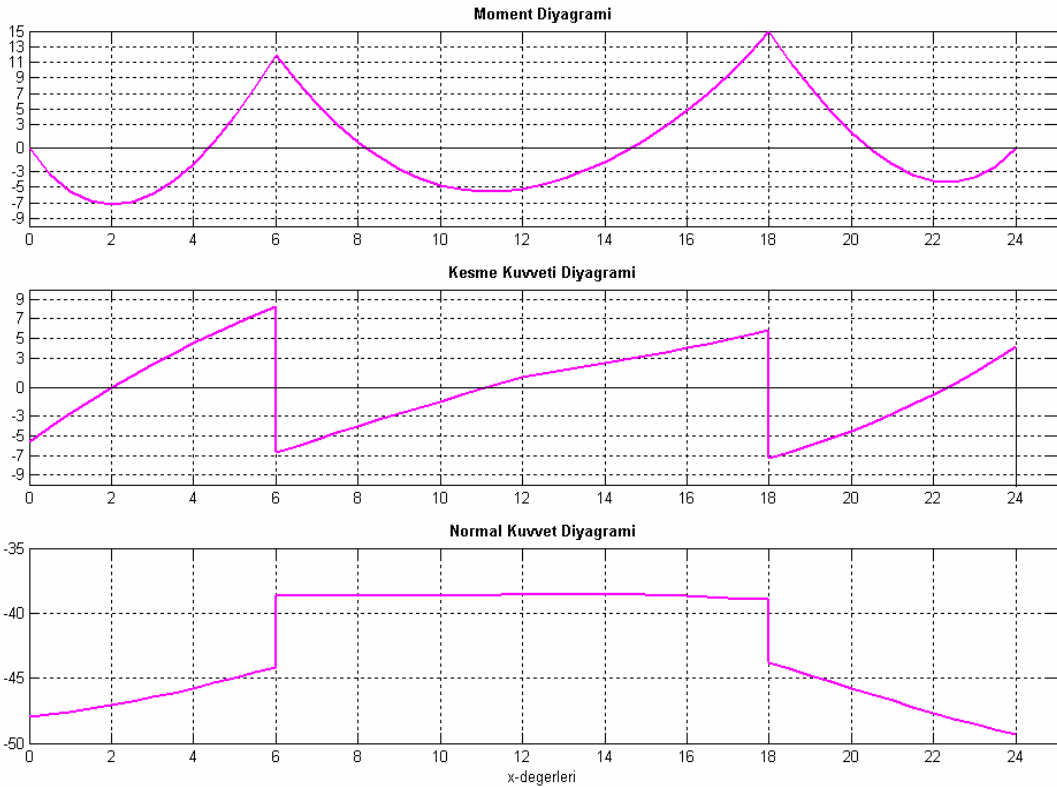
$$\Delta_{1P} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (0 + 4 \times (-257,74) + 2 \times (-659,73) + 4 \times (-807,37) + 2 \times (-864) + 4 \times (-824,9) + 2 \times (-672,41) + 4 \times (-269,46) + 0) = \frac{-13030,24}{EI_c}$$

$$X_1 = -\frac{-13030,24}{337,64} = 38,59$$

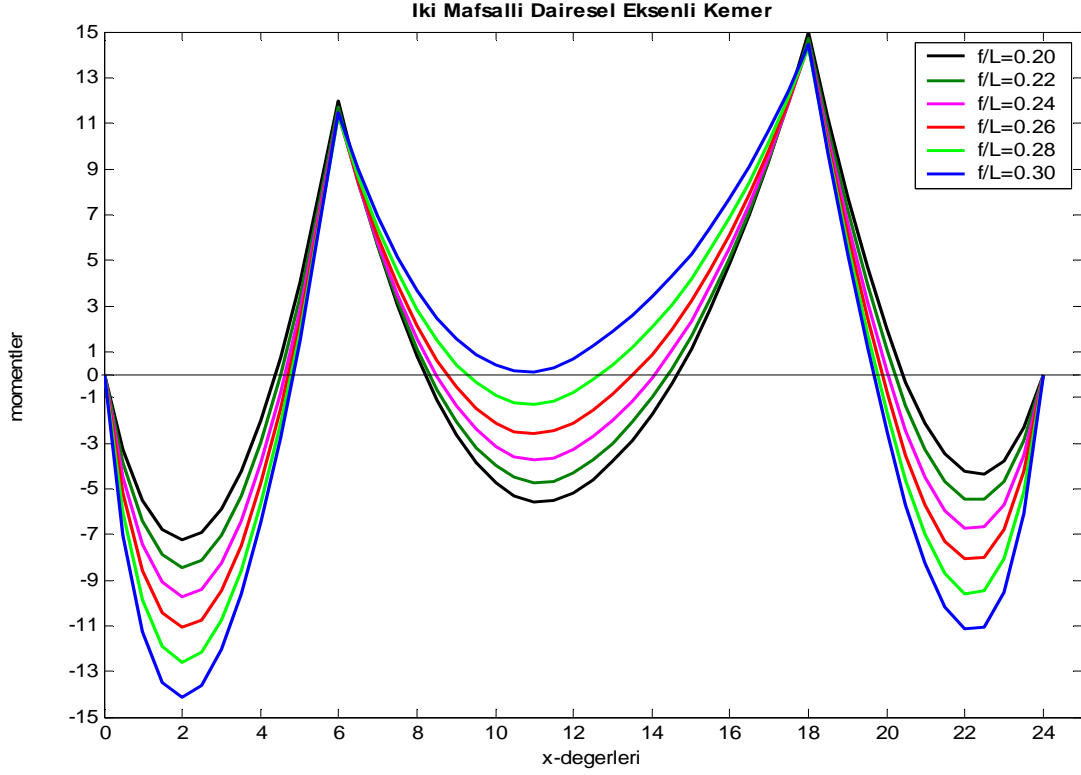
$$X_1 = H = 38.59$$

Çizelge 3.22. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri

Kesit No	M^0	H.y	M KN.m	T^0	$T^0 \cos \varphi$	H. $\sin \varphi$	T KN	$T^0 \sin \varphi$	H. $\cos \varphi$	N KN
A	0	0	0	29	20,99	26,62	-5,607	20,0	27,94	-47,94
1	82,5	88,41	-5,91	26	22,25	19,96	2,29	13,45	33,02	-46,46
2	156	144,05	11,987	23 7	21,59 6,57	13,31	8,28 -6,73	7,93 2,41	36,22	-44,14 -38,63
3	172	175,16	-2,63	4	3,94	6,65	-2,71	0,69	38,01	-38,69
4	180	185,23	-5,18	1	1	0	1	0	38,59	-38,59
5	176,25	175,16	-1,12	-3,5	-3,44	-6,65	3,20	0,60	38,01	-38,61
6	159	144,05	14,98	-8 -22	-7,51 -20,6	-13,31	5,79 -7,35	2,76 7,58	36,22	-38,97 -43,8
7	86,25	88,41	-2,16	-26,5	-22,68	-19,96	-2,74	13,7	33,02	-46,78
B	0	0	0	-31	-22,45	-26,62	4,16	21,38	27,94	-49,32



Şekil 3.17. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri



Şekil 3.18. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.23. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	-5.911	-7.056	-8.245	-9.484	-10.75	-12.032
2	11.987	11.691	11.482	11.367	11.353	11.443
3	-2.633	-2.089	-1.397	-0.557	0.425	1.544
4	-5.186	-4.325	-3.298	-2.112	-0.776	0.702
5	1.117	1.660	2.353	3.193	4.175	5.294
6	14.987	14.491	14.182	14.067	13.810	13.653
7	-2.161	-3.306	-4.499	-5.734	-6.998	-8.282
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin max moment değeri f/L=0.30 da ki moment değerinden %8.9 fazladır.

Çizelge 3.24. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-5.607	-6.145	-6.690	-7.237	-7.783	-8.326
1	2.296	2.360	2.462	2.604	2.787	3.013
2	8.286 -6.733	8.511 -6.362	8.763 -5.969	9.039 -5.559	9.337 -5.136	9.654 -4.705
3	-2.712	-2.503	-2.284	-2.057	-1.826	-1.592
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	3.204	2.995	2.775	2.547	2.315	2.079
6	5.794 -7.347	5.432 -7.582	5.048 -7.842	4.647 -8.127	4.232 -8.433	3.807 -8.757
7	-2.724	-2.777	-2.867	-2.998	-3.171	-3.388
B	4.159	4.794	5.439	6.088	6.738	7.385

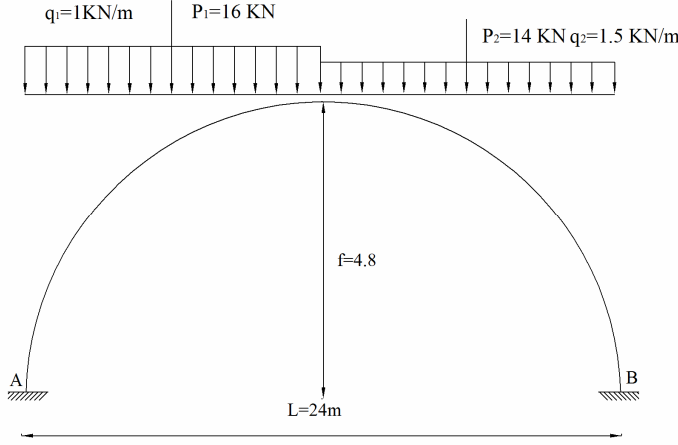
f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30 da ki kesme kuvveti değerinden %30 fazladır.

Çizelge 3.25. İki mafsallı daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-47.94	-44.97	-42.53	-40.50	-38.78	-37.31
1	-46.47	-43.46	-41.02	-38.99	-37.31	-35.88
2	-44.15 -38.63	-40.93 -35.03	-38.27 -32.03	-36.04 -29.49	-34.14 -27.32	-32.49 -25.44
3	-38.69	-35.05	-31.99	-29.39	-27.14	-25.17
4	-38.58	-34.91	-31.82	-29.18	-26.90	-24.90
5	-38.61	-34.96	-31.89	-29.28	-27.03	-25.06
6	-38.97 -43.80	-35.40 -40.56	-32.42 -37.88	-29.90 -35.63	-27.74 -33.71	-25.88 -32.05
7	-46.73	-43.74	-41.31	-39.31	-37.63	-36.21
B	-49.32	-46.44	-44.09	-42.14	-40.49	-39.07

f/L=0.20 olduğunda iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin max normal kuvvet değeri f/L=0.30 da ki normal kuvvet değerinden %20.8 fazladır.

3.4.2 Ankastrre daire eksen eğrili hiperstatik kemer



Şekil 3.19. Ankastrre daire eksen eğrili kemerde yükleme durumu

Ankastrre parabol eksen eğrili kemerin hesabı için simetrik esnek merkez yolu kullanılır. Esas sistem seçilir.

Kuvvet yönteminin [2.12], [2.38] kanonik denklemleri kullanılarak X_1, X_2, X_3 bilinmeyenleri hesaplanır.

Dairesel eksen eğrili kemerde [2.4], [2.5] bağıntıları kullanılarak y ve açı değerleri hesaplanır.

$$y = \sqrt{r^2 - (L/2 - x)^2} - r + f$$

$$r = f/2 + L^2/8f = 4,8/2 + 24^2 / 8 \times 4,8 = 17,4 \text{ bulunur.}$$

[2.40] bağıntılarından elde edilen A_x, I_x değerleri denklemde yerine konularak $f=4,8$

İçin y_c değeri hesaplanır.

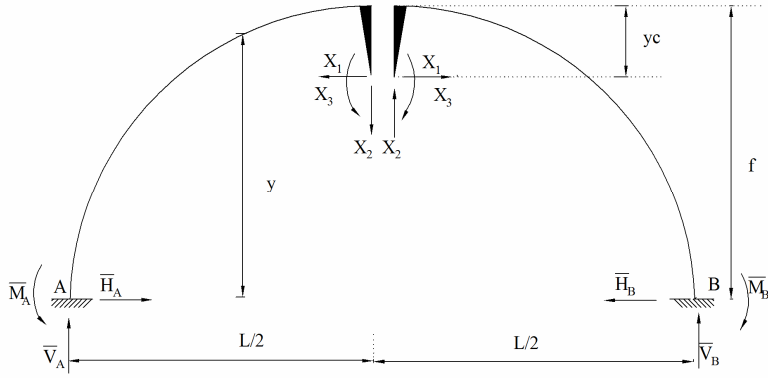
[2.16] Simpson yöntemiyle integral çözümlerek;

Çizelge 3.26 Karakter fonksiyon değerleri

x,m	y,m	f	(f-y)
0	0	4,8	4,8
3	2,29	4,8	2,509
6	2,733	4,8	1,067
9	4,539	4,8	0,261
12	4,8	4,8	0

$$y_c = \frac{\frac{1}{EI_c} \cdot (4,8 + 4 \times 2,509 + 2 \times 1,067 + 4 \times 0,261 + 0)}{\frac{12}{EI_c}} = 1,501$$

y_c değeri elde edilir.



Şekil 3.20. Ankastre daire eksen eğrili kemerde birim kuvvetlerin etkisi

$\bar{X}_1 = 1$ $\bar{X}_2 = 1$ $\bar{X}_3 = 1$ birim kuvvetleri etkisinde $\bar{M}_1, \bar{M}_2, \bar{M}_3$ momentleri bulunur.

$$\sum \bar{M}_A = 0 \quad -M_A - X_1 \cdot (f - yc) = 0 \quad H_A = X_1 = 1$$

$$M_A = -X_1 \cdot (f - yc) = yc - f$$

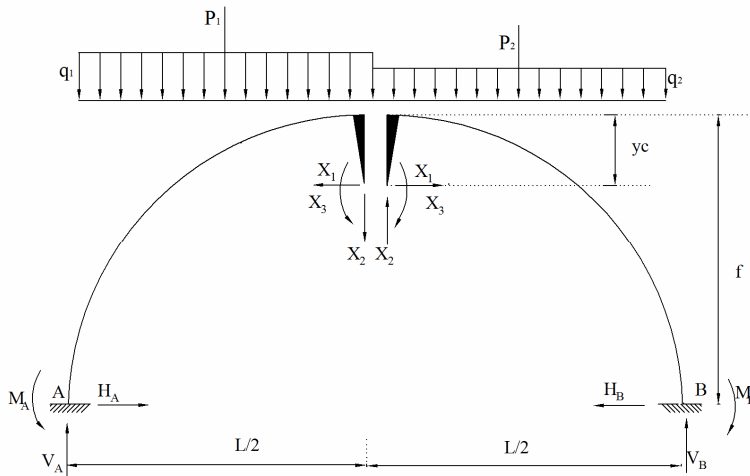
$$\bar{M}_1 = -M_A - H \cdot y = (f - yc) - y$$

$$\bar{V}_A = X_2 \quad \sum \bar{M}_A = 0 \quad -\bar{M}_A + \bar{V}_A \cdot x = 0 \quad \bar{M}_A = \frac{L}{2}$$

$$\bar{M}_2 = -M_A + \bar{V}_A \cdot x = x - \frac{L}{2}$$

$$\sum \bar{M}_A = 0 \quad -\bar{M}_A - X_3 = 0 \quad \bar{M}_A = -X_3$$

$$\bar{M}_3 = -\bar{M}_A = 1$$



Şekil 3.21. Ankastre daire eksen eğrili kemerde dış yük

$$V_A = 16 + 12 = 28 \text{KN}$$

$$V_B = 18 + 14 = 32 \text{KN}$$

$$M_A = 28 \times 12 - 12 \times 6 - 16 \times 6 = 168 \text{KNm}$$

$$\delta_{11} = \int \frac{\overline{M}_1^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{(3,3 - y)^2 \cdot dx}{EI_c} \text{ integrali simpson yöntemi ile çözülür.}$$

Çizelge 3.27 Karakter fonksiyon değerleri

x, m	y, m	(3,3-y)	(3,3-y) ²
0	0	3,3	10,89
3	2,29	1,009	1,018
6	2,733	-0,433	0,187
9	4,539	-1,239	1,535
12	4,8	-1,5	2,25

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_c} \cdot (10,89 + 4 \times 1,018 + 2 \times 0,187 + 4 \times 1,535 + 2,25) = 23,994$$

$$\delta_{11} = 23,994 \times 2 = 47,99$$

$$\delta_{22} = \int \frac{\overline{M}_2^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{\left(\frac{L}{2} - x\right)^2 \cdot dx}{EI_c} = \frac{L^3}{12 \cdot EI_c} = \frac{24^3}{12 \cdot EI_c} = \frac{1152}{EI_c}$$

$$\delta_{33} = \int \frac{\overline{M}_3^2 \cdot ds}{EI_x} = 2 \cdot \int_0^{L/2} \frac{dx}{EI_c} = \frac{L}{EI_c} = \frac{24}{EI_c} = \frac{24}{EI_c}$$

$$\begin{aligned} \Delta_{1P} &= \int \frac{\overline{M}_1 \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} \\ &= \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5 \cdot x^2 + 28 \cdot x - 168) \cdot (3,3 - y) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5 \cdot x^2 + 12 \cdot x - 72) \cdot (3,3 - y) \cdot dx + \right. \\ &\quad \left. \int_{12}^{18} (-0,75 \cdot x^2 + 18 \cdot x - 108) \cdot (3,3 - y) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75 \cdot x^2 + 4 \cdot x + 144) \cdot (3,3 - y) \cdot dx \right] \end{aligned}$$

Çizelge 3.28. Karakter fonksiyon değerleri

Kesit No	x, m	y, m	M_P^0	$(\frac{2}{3}.f - y)$	Z_P
A	0	0	-168	3,3	-554,4
1	3	2,291	-88,5	1,009	-89,29
2	6	3,733	-18	-0,433	7,79
3	9	4,539	-4,5	-1,239	5,57
4	12	4,8	0	-1,5	0
5	15	4,539	-6,75	-1,239	8,36
6	18	3,733	-27	-0,433	11,69
7	21	2,291	-102,75	1,009	-103,67
B	24	0	-192	3,3	-633,6

[3.6] bağıntısından Δ_{1p} hesaplanır.

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_c} \cdot \frac{3}{3} \cdot (-537,6 + 4 \times (-97,35) + 2 \times 7,2 + 4 \times 5,85 + 2 \times 0 + 4 \times 8,77 + 2 \times 10,8 + 4 \times (-113,02) - 614,4) = \frac{-1899}{EI_c}$$

$$X_1 = -\frac{-1899}{49,152} = 38,635$$

$$\Delta_{2p} = \int \frac{\overline{M}_2 \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} = \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5 \cdot x^2 + 28 \cdot x - 168) \cdot (x - \frac{L}{2}) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5 \cdot x^2 + 12 \cdot x - 72) \cdot (x - \frac{L}{2}) \cdot dx + \int_{12}^{18} (-0,75 \cdot x^2 + 18 \cdot x - 108) \cdot (x - \frac{L}{2}) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75 \cdot x^2 + 4 \cdot x + 144) \cdot (x - \frac{L}{2}) \cdot dx \right]$$

$$\Delta_{2p} = -\frac{936}{EI_c}$$

$$X_2 = -\frac{-936}{1152} = 0,8125$$

$$\Delta_{3p} = \int \frac{\overline{M}_3 \cdot M_P^0 \cdot ds}{EI_x} = \frac{1}{EI_c} \left[\int_0^6 (-0,5 \cdot x^2 + 28 \cdot x - 168) \cdot (1) \cdot dx + \int_6^{12} (-0,5 \cdot x^2 + 12 \cdot x - 72) \cdot (1) \cdot dx + \int_{12}^{18} (-0,75 \cdot x^2 + 18 \cdot x - 108) \cdot (1) \cdot dx + \int_{18}^{24} (-0,75 \cdot x^2 + 4 \cdot x + 144) \cdot (1) \cdot dx \right]$$

$$\Delta_{3P} = \frac{1}{EI_c} \left[\left(\frac{-0,5 \cdot x^2}{3} + \frac{28 \cdot x^2}{2} - 168 \cdot x \right) I_0^6 + \left(\frac{-0,5 \cdot x^3}{3} + \frac{12 \cdot x^2}{2} - 72 \cdot x \right) I_6^{12} + \left(\frac{-0,75 \cdot x^3}{3} + \frac{18 \cdot x^2}{2} - 108 \cdot x \right) I_{12}^{18} \right. \\ \left. + \left(\frac{-0,75 \cdot x^3}{3} + \frac{4 \cdot x^2}{2} + 144 \cdot x \right) I_{18}^{24} \right]$$

$$\Delta_{3P} = -\frac{1260}{EI_c}$$

$$X_3 = -\frac{-1260}{24} = 52,5$$

(2.38) bağıntılarından;

$$X_1 = 39,3 \quad X_2 = 0,8125 \quad X_3 = 52,5 \text{ değerleri elde edilir.}$$

Bulunan bu değerlere göre önce kemerin tepki kuvvetleri bulunur, daha sonra bölgelere göre M_x^0 değerleri hesaplanıp formüllerde yerine koyularak moment kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri hesaplanır.

$$\sum y^{sol} = 0 \quad V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} + X_2 - P_1 = 0 \quad V_A = 16 + 12 + 0,81 = 28,81 \text{KN}$$

$$\sum y^{sağ} = 0 \quad -V_B + q_2 \cdot \frac{L}{2} + P_2 - X_2 = 0 \quad V_B = 18 + 14 - 0,8125 = 31,19 \text{KN}$$

$$\sum x = 0 \quad H_A - H_B = X_1 = 39,3 \text{KN}$$

$$\sum M_A^{sol} = 0 \quad -M_A + q_1 \cdot a_2 \cdot a_1 + P_1 \cdot a_1 - X_1 \cdot (f - yc) + X_2 \cdot a_2 - X_3 = 0$$

$$M_A = -16 \times 6 - 12 \times 6 + 39,3 \times (4,8 - 1,5) - 0,8125 \times 12 + 52,5$$

$$M_A = -4,44 \text{KNm}$$

$$\sum M_B^{sağ} = 0 \quad -M_B + q_2 \cdot b_2 \cdot b_3 + P_2 \cdot b_3 - X_1 \cdot (f - yc) - X_2 \cdot b_2 - X_3 = 0$$

$$M_A = -14 \times 6 - 12 \times 1,5 \times 6 + 39,3 \times (4,8 - 1,5) + 0,8125 \times 12 + 52,5$$

$$M_B = -0,12 \text{KNm}$$

1.Bölge için $0 \leq x \leq 6$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2 / 2 \quad M^0 = -0,5 \cdot x^2 + 28,81 \cdot x + 4,44$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x \quad T^0 = 28,81 - x$$

2. Bölge için $6 \leq x \leq 12$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) \quad M^0 = -0,5 \cdot x^2 + 12,81 \cdot x + 100,44$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot x - P_1 \quad T^0 = 12,81 - x$$

3. Bölge için $12 \leq x \leq 18$

$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2/2$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 18,81 \cdot x + 64,44$$

$$T^0 = V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) \quad T^0 = 1,5 \cdot x - 18,81$$

4. Bölge için $18 \leq x \leq 24$

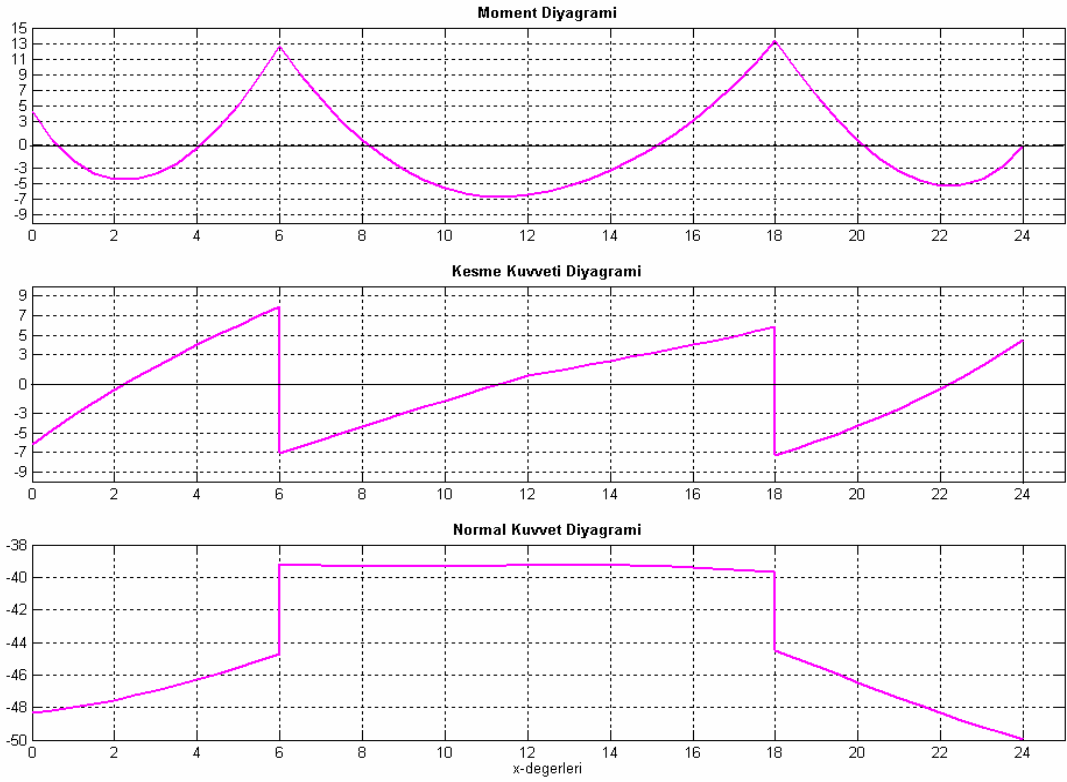
$$M^0 = -M_A + V_A \cdot x - q_1 \cdot x^2/2 - P_1 \cdot (x - a_1) - q_2 \cdot (x - a_2)^2/2 - P_2 \cdot (x - a_3)$$

$$M^0 = -0,75 \cdot x^2 + 4,81x + 316,44$$

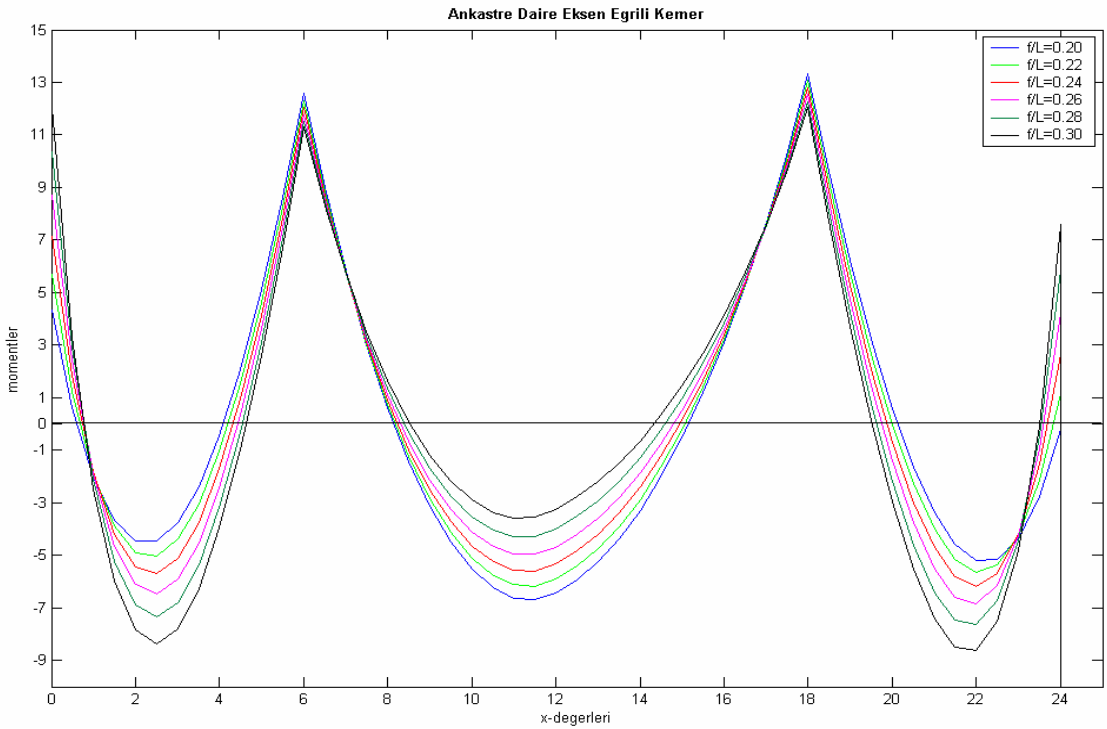
$$T^0 = V_A - q_1 \cdot \frac{L}{2} - P_1 - q_2 \cdot (x - a_2) - P_2$$

Çizelge 3.29. Ankastre daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,N,T değerleri

Kesit No	M^0	H.y	M KN,m	T^0	$T^0 \cdot \cos \varphi$	H. $\sin \varphi$	T KN	$T^0 \sin \varphi$	H. $\cos \varphi$	N KN
A	4,44	0	4.315	28,81	20,86	27,07	-6.220	19,85	28,45	-48.31
1	86,33	90,03	-3.744	25,81	22,09	20,32	1.778	13,343	33,64	-46.96
2	159,3	146,9	12.595	22,81 6,81	21,39 6,387	13,558	7.871 -7.147	7,869 2,349	36,86	-44.73 -39.21
3	175,28	178,3	-3.146	3,81	3,752	6,759	-3.016	0,655	38,71	-39.34
4	182,16	188,6	-6.442	0,81	0,81	0	0.813	0	39,3	-39.27
5	177,84	178,3	-0.522	-3,69	-3,634	-6,759	3.139	0,634	38,71	-39.32
6	160,02	146,9	13.345	-8,19 -22,2	-7,682 -20,82	-13,558	5.857 -7.284	2,825 7,659	36,86	-39.69 -44.51
7	86,94	90,03	-3.369	-26,7	-22,85	20,32	-2.527	13,803	33,64	-47.41
B	-0,12	0	-0.185	-31,2	-22,58	27,07	4.500	21,49	28,45	-49.95



Şekil 3.22. Ankastre daire eksen eğrili kemerde $f=4.8$ için M,T, N grafikleri



Şekil 3.23. Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.30. Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre moment değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Momentler, KN.m					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	4.315	5.679	7.149	8.714	10.360	12.068
1	-3.744	-4.377	-5.094	-5.898	-6.794	-7.782
2	12.595	12.318	12.043	11.776	11.524	11.291
3	-3.146	-2.849	-2.508	-2.121	-1.685	-1.196
4	-6.442	-5.912	-5.327	-4.689	-3.994	-3.241
5	-0.522	-0.224	0.116	0.5036	0.940	1.429
6	13.345	13.068	12.793	12.526	12.274	12.041
7	-3.369	-4.002	-4.718	-5.523	-6.419	-7.406
B	-0.185	1.179	2.649	4.214	5.860	7.568

f/L=0.20 olduğunda ankastre daire eksen eğrili kemerin max moment değeri f/L=0.30 da ki moment değerinden %9.8 fazladır.

Çizelge 3.31. Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Kesme Kuvvetleri, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-6.220	-6.973	-7.746	-8.531	-9.318	-10.10
1	1.778	1.679	1.606	1.566	1.565	1.607
2	7.871 -7.147	7.987 -6.886	8.121 -6.611	8.275 -6.323	8.449 -6.024	8.643 -5.716
3	-3.016	-2.862	-2.703	-2.537	-2.368	-2.196
4	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813	0.813
5	3.139	2.985	2.825	2.660	2.491	2.318
6	5.857 -7.284	5.608 -7.406	5.345 -7.546	5.069 -7.705	4.781 -7.883	4.482 -8.082
7	-2.527	-2.408	-2.315	-2.257	-2.238	-2.264
B	4.500	5.368	6.260	7.167	8.077	8.983

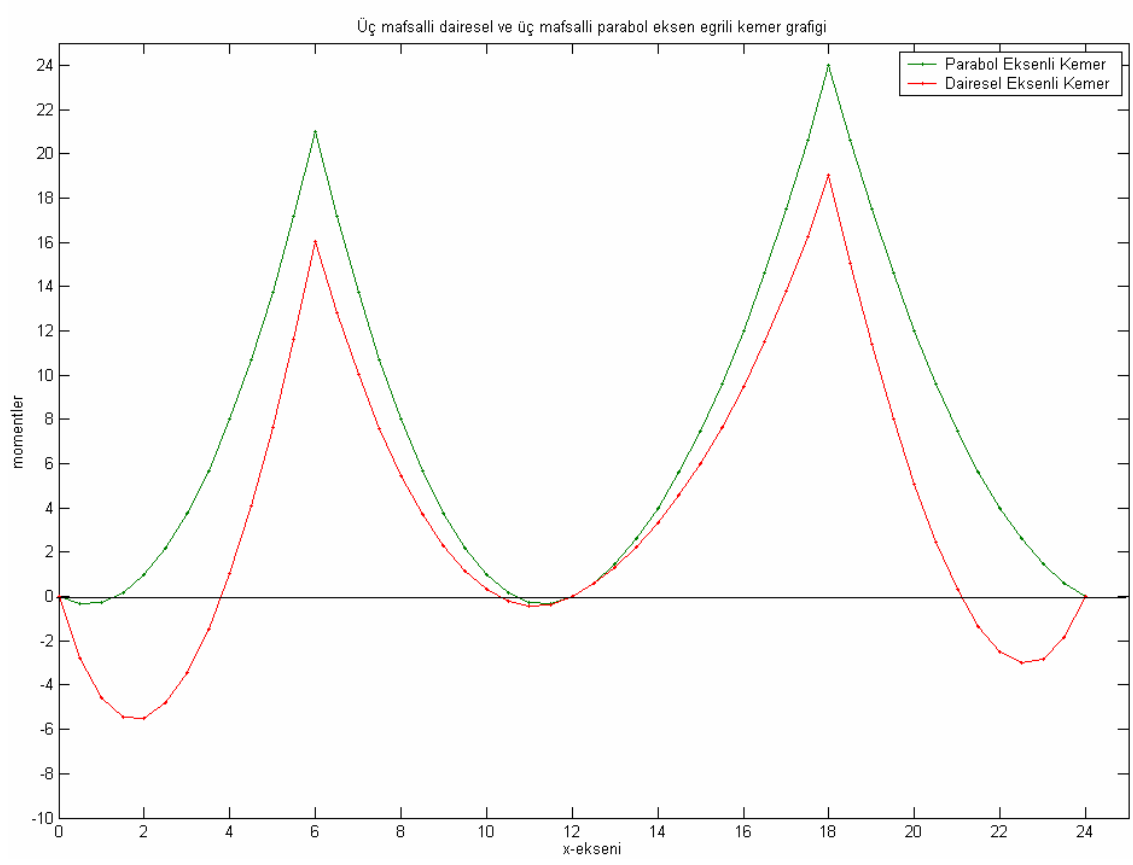
f/L=0.20 olduğunda ankastre daire eksen eğrili kemerin max kesme kuvveti değeri f/L=0.30 da ki kesme kuvveti değerinden %20 fazladır.

Çizelge 3.32. Ankastre daire eksen eğrili kemerde farklı basıklık oranı değişimlerine göre normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

Kesit No	Normal Kuvvetler, KN					
	f/L=0,20	f/L=0,22	f/L=0,24	f/L=0,26	f/L=0,28	f/L=0,30
A	-48.31	-45.47	-43.14	-41.18	-39.50	-38.04
1	-46.96	-44.15	-41.89	-40.03	-38.48	-37.18
2	-44.73 -39.21	-41.74 -35.85	-39.31 -33.07	-37.29 -30.74	-35.58 -28.76	-34.13 -27.07
3	-39.34	-35.95	-33.13	-30.76	-28.74	-26.99
4	-39.27	-35.86	-33.03	-30.63	-28.59	-26.81
5	-39.32	-35.93	-33.11	-30.74	-28.72	-26.97
6	-39.69 -44.51	-36.35 -41.51	-33.60 -39.06	-31.30 -37.03	-29.35 -35.32	-27.68 -33.85
7	-47.41	-44.64	-42.39	-40.56	-39.04	-37.76
B	-49.95	-47.22	-44.99	-43.12	-41.53	-40.14

f/L=0.20 olduğunda ankastre daire eksen eğrili kemerin max normal kuvvet değeri f/L=0.30 da ki normal kuvvet değerinden %19.6 fazladır.

3.5.2⁰den Parabol ve Daire Eksen Eğrili İzostatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 3.24. Üç mafsallı dairesel ve üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değeri için moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.33. Farklı basıklık oranlarına göre üç mafsallı daire eksen eğrili ve üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması

MOMENTLER, KN.m												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	-3.435	3.750	-4.955	3.750	-6.617	3.750	-8.417	3.750	-10.35	3.750	-12.40	3.750
2	16.020	21.00	15.077	21.00	14.082	21.00	13.045	21.00	11.973	21.00	10.877	21.00
3	2.271	3.750	2.007	3.750	1.732	3.750	1.450	3.750	1.164	3.750	0.875	3.750
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	6.021	7.500	5.757	7.500	5.482	7.500	5.200	7.500	4.914	7.500	4.625	7.500
6	19.020	24.00	18.077	24.00	17.082	24.00	16.045	24.00	14.973	24.00	13.877	24.00
7	0.315	7.500	-1.205	7.500	-2.867	7.500	-4.667	7.500	-6.598	7.500	-8.652	7.500
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili üç mafsallı kemerin maksimum moment değeri üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değerinden %20.75 fazla iken, bu oran f/L=0.30 değerinde %42.21' e çıkmaktadır.

Çizelge 3.34. Farklı basıkklık oranlarına göre üç mafsallı daire eksen eğrili ve üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

KESME KUVVETİ DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-4.862	-0.781	-5.542	-0.751	-6.243	-0.721	-6.960	-0.693	-7.684	-0.666	-8.412	-0.640
1	2.855	5.145	2.813	5.008	2.797	4.869	2.811	4.731	2.861	4.594	2.948	4.459
2	8.658 -6.360	12.07 -7.428	8.813 -6.060	11.899 -7.323	8.986 -5.746	11.720 -7.212	9.178 -5.420	11.534 -7.098	9.386 -5.087	11.343 -6.980	9.611 -4.747	11.147 -6.860
3	-2.525	-3.432	-2.352	-3.418	-2.172	-3.403	-1.988	-3.387	-1.801	-3.370	-1.613	-3.352
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	3.018	3.922	2.844	3.907	2.663	3.889	2.478	3.871	2.290	3.852	2.101	3.831
6	5.422 -7.719	6.499 -6.499	5.130 -7.884	6.407 -6.407	4.825 -8.066	6.311 -6.311	4.508 - 8.265	6.210 -6.210	4.182 -8.482	6.107 -6.107	3.850 -8.714	6.003 -6.003
7	-3.283	-3.430	-3.230	-3.338	-3.202	-3.246	-3.206	-3.154	-3.245	-3.063	-3.323	-2.973
B	3.414	-0.781	4.190	-0.751	4.992	-0.721	5.811	-0.693	6.639	-0.666	7.471	-0.640

f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili üç mafsallı kemerin maksimum kesme kuvveti değeri üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değerinden %20 fazla, f/L=0.30 değerinde ise % 14 fazladır.

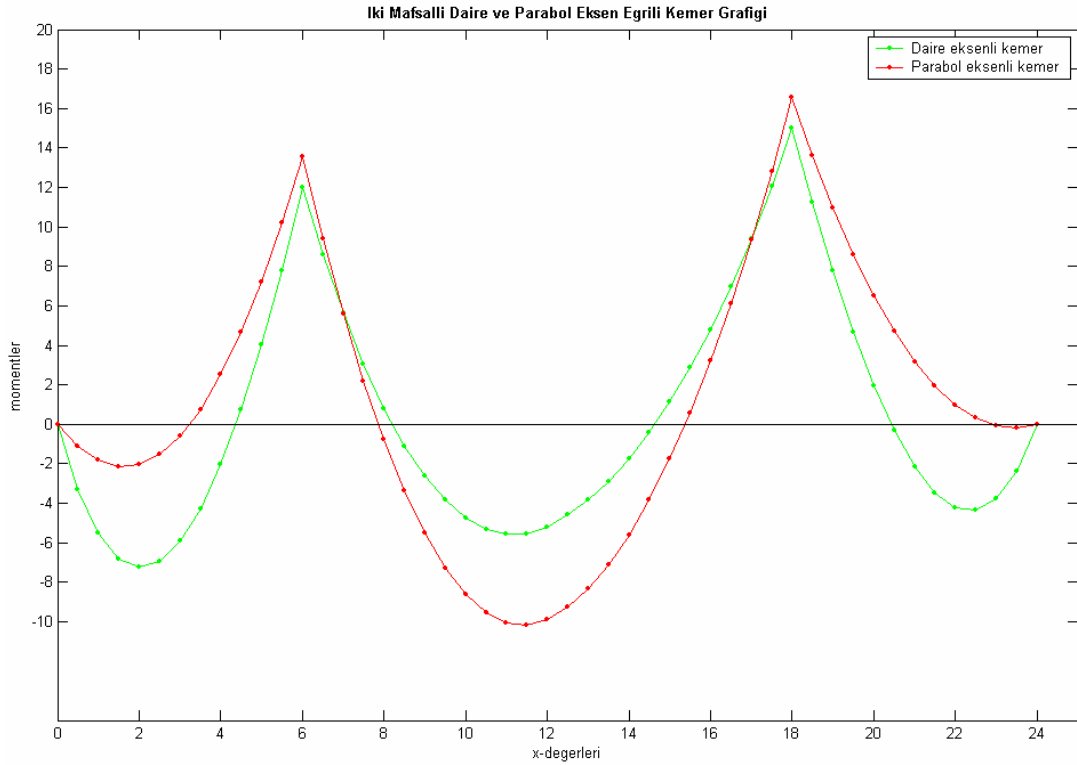
Çizelge 3.35. Farklı basıkkık oranlarına göre üç mafsallı daire eksen eğrili ve üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

NORMAL KUVVET DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-47.15	-47.40	-44.41	-44.75	-42.17	-42.63	-40.31	-40.90	-38.72	-39.47	-37.35	-38.28
1	-45.54	-46.82	-42.78	-44.15	-40.55	-42.01	-38.73	-40.27	-37.22	-38.84	-35.95	-37.65
2	-43.13	-45.22	-40.17	-42.48	-37.75	-40.29	-35.73	-38.51	-34.03	-37.05	-32.58	-35.84
	-37.61	-37.42	-34.27	-34.02	-31.50	-31.20	-29.18	-28.82	-27.21	-26.79	-25.52	-25.04
3	-37.63	-37.56	-34.24	-34.15	-31.43	-31.32	-29.05	-28.92	-27.02	-26.87	-25.27	-25.09
4	-37.50	-37.50	-34.09	-34.09	-31.25	-31.25	-28.85	-28.85	-26.78	-26.78	-25.00	-25.00
5	-37.54	-37.46	-34.15	-34.05	-31.33	-31.20	-28.95	-28.80	-26.92	-26.74	-25.16	-24.95
6	-37.96	-37.79	-34.64 -	-34.43	-31.89	-31.63	-29.59	-29.28	-27.64	-27.28	-25.96	-25.55 -
	-42.79	-42.99	39.80	-40.06	-37.36	-37.69	-35.32	-35.74	-33.61	-34.12	-32.14	32.75
7	-45.80	-45.79	-43.06	-43.05	-40.85	-40.84	-39.04	-39.04	-37.54	-37.55	-36.28	-36.31
B	-48.53	-48.65	-45.89	-46.07	-43.73	-44.01	-41.94	-42.34	-40.43	-40.96	-39.12	-39.82

Normal kuvvet değerlerinde belirli bir değişiklik olmamıştır.

3.6. 2^o den Parabol ve Daire Eksen Eğrili Hiperstatik Kemerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması

3.6.1. 2^o den Parabol ve daire eksen eğrili iki mafsallı kemerin farklı basıklık oranı değişimine göre hesap sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.25. İki mafsallı daire ve iki masallı parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değeri için moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.36. Farklı basıkkık oranlarına göre iki mafsallı daire eksen eğrili ve iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması

MOMENTLER, KN.m												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0,000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	-5.911	-0.574	-7.056	-0.679	-8.245	-0.773	-9.484	-0.858	-10.75	-0.938	-12.03	-1.013
2	11.987	13.588	11.691	13.406	11.482	13.246	11.367	13.099	11.353	12.963	11.344	12.834
3	-2.633	-5.515	-2.089	-5.742	-1.397	-5.942	-0.557	-6.125	0.425	-6.296	1.544	-6.457
4	-5.186	-9.882	-4.325	-10.13	-3.298	-10.34	-2.112	-10.53	-0.776	-10.72	0.702	-10.89
5	1.117	-1.765	1.660	-1.99	2.353	-2.192	3.193	-2.375	4.175	-2.546	5.294	-2.707
6	14.987	16.588	14.691	16.406	14.482	16.246	14.367	16.099	14.353	15.963	14.344	15.834
7	-2.161	3.176	-3.306	3.070	-4.499	2.977	-5.734	2.891	-6.998	2.812	-8.282	2.737
B	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili iki mafsallı kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değerinden %9.6 fazla, f/L=0.30 değerinde %9.4 fazladır.

Çizelge 3.37. Farklı basıklık oranlarına göre iki mafsallı daire eksen eğrili ve iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

KESME KUVVETİ DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-5.607	-2.067	-6.145	-2.017	-6.690	-1.964	-7.237	-1.910	-7.783	-1.855	-8.326	-1.802
1	2.296	1.942	2.360	1.865	2.462	1.792	2.604	1.722	2.787	1.654	3.013	1.590
2	8.286	6.663	8.511	6.550	8.763	6.435	9.039	6.319	9.337	6.201	9.654	6.082
3	-6.733	-8.192	-6.362	-8.095	-5.969	-7.989	-5.559	-7.876	-5.136	-7.759	-4.705	-7.638
4	-2.712	-3.836	-2.503	-3.830	-2.284	-3.822	-2.057	-3.812	-1.826	-3.800	-1.592	-3.787
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	3.204	4.326	2.995	4.319	2.775	4.308	2.547	4.296	2.315	4.282	2.079	4.266
7	5.794	7.264	5.432	7.179	5.048	7.087	4.647	6.989	4.232	6.887	3.807	6.780
8	-7.347	-5.735	-7.582	-5.635	-7.842	-5.534	-8.127	-5.432	-8.433	-5.328	-8.757	-5.225
9	-2.724	-2.371	-2.777	-2.282	-2.867	-2.197	-2.998	-2.116	-3.171	-2.037	-3.388	-1.962
B	4.159	0.505	4.794	0.516	5.439	0.522	6.088	0.524	6.738	0.523	7.385	0.521

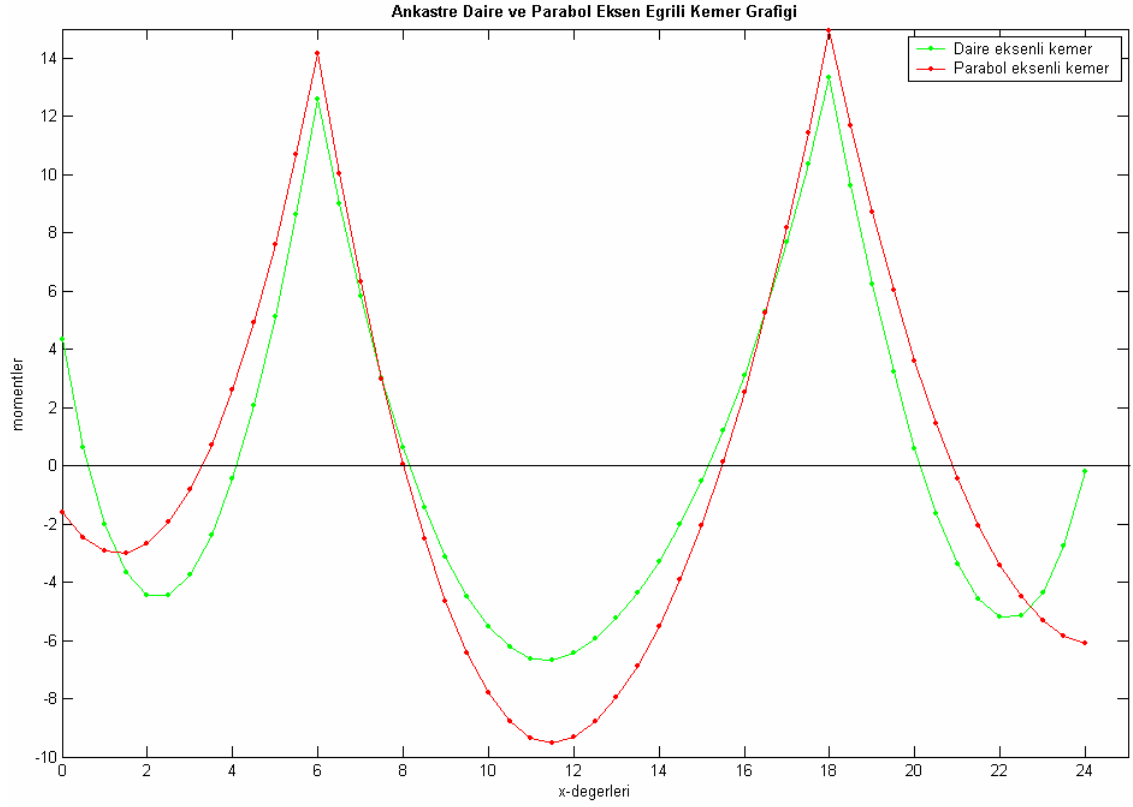
f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili iki mafsallı kemerin maksimum kesme kuvveti değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değerinden %17 fazla, f/L=0.30 değerinde %38 fazladır.

Çizelge 3.38. Farklı basıklık oranlarına göre iki mafsallı daire eksen eğrili ve iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

NORMAL KUVVET DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-47.94	-49.01	-44.97	-46.19	-42.53	-43.92	-40.50	-42.07	-38.78	-40.53	-37.31	-39.25
1	-46.47	-47.30	-43.46	-44.37	-41.02	-42.01	-38.99	-40.07	-37.31	-38.45	-35.88	-37.10
2	-44.15 -38.63	-45.27 -39.33	-40.93 -35.03	-42.22 -35.78	-38.27 -32.03	-39.74 -32.82	-36.04 - 29.49	-37.70 -30.32	-34.14 -27.32	-35.99 - 28.18	-32.49 -25.44	-34.57 -26.34
3	-38.69	-39.57	-35.05	-36.03	-31.99	-33.06	-29.39	-30.56	-27.14	-28.41	-25.17	-26.54
4	-38.58	-39.56	-34.91	-36.01	-31.82	-33.04	-29.18	-30.53	-26.90	-28.38	-24.90	-26.51
5	-38.61	-39.48	-34.96	-35.92	-31.89	-32.95	-29.28	-30.43	-27.03	-28.27	-25.06	-26.40
6	-38.97 -43.80	-39.70 -44.90	-35.40 -40.56	-36.18 -41.82	-32.42 -37.88	-33.25 - 39.31	-29.90 -35.63	-30.78 - 37.24	-27.74 -33.71	-28.67 -35.51	-25.88 -32.05	-26.85 -34.05
7	-46.73	-47.56	-43.74	-44.65	-41.31	-42.30	-39.31	-40.37	-37.63	-38.78	-36.21	-37.43
B	-49.32	-50.26	-46.44	-47.51	-44.09	-45.31	-42.14	-43.51	-40.49	-42.03	-39.07	-40.79

f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili iki mafsallı kemerin maksimum normal kuvvet değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum normal kuvvet değerinden %2 fazla, f/L=0.30 değerinde %4.2 fazladır.

3.6.2 2^o den Parabol ve daire eksen eğrili ankastre kemerin farklı basıklık oranı değişimine göre hesap sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 3.26. Ankastre daire ve ankastre parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değeri için moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.39. Farklı basıklık oranlarına göre ankastre daire eksen eğrili ve ankastre parabol eksen eğrili kemerde moment değerlerinin karşılaştırılması

MOMENTLER, KN.m												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	4.315	-1.617	5.679	-1.617	7.149	-1.617	8.714	-1.617	10.360	-1.617	12.068	-1.617
1	-3.744	-0.814	-4.377	-0.813	-5.094	-0.813	-5.898	-0.813	-6.794	-0.813	-7.782	-0.813
2	12.595	14.171	12.318	14.171	12.043	14.171	11.776	14.171	11.524	14.171	11.291	14.171
3	-3.146	-4.663	-2.849	-4.663	-2.508	-4.663	-2.121	-4.663	-1.685	-4.663	-1.196	-4.663
4	-6.442	-9.316	-5.912	-9.316	-5.327	-9.316	-4.689	-9.316	-3.994	-9.316	-3.241	-9.316
5	-0.522	-2.038	-0.224	-2.038	0.116	-2.038	0.5036	-2.038	0.940	-2.038	1.429	-2.038
6	13.345	14.921	13.068	14.921	12.793	14.921	12.526	14.921	12.274	14.921	12.041	14.921
7	-3.369	-0.439	-4.002	-0.439	-4.718	-0.439	-5.523	-0.439	-6.419	-0.439	-7.406	-0.439
B	-0.185	-6.117	1.179	-6.117	2.649	-6.117	4.214	-6.117	5.860	-6.117	7.568	-6.117

f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili ankastre kemerin maksimum moment değeri ankastre daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değerinden % 10.56 fazla iken, bu oran f/L=0.30 değerinde % 19.3' e çıkmaktadır.

Çizelge 3.40. Farklı basıklık oranlarına göre ankastre daire eksen eğrili ve ankastre parabol eksen eğrili kemerde kesme kuvveti değerlerinin karşılaştırılması

KESME KUVVETİ DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-6.220	-1.636	-6.973	-1.573	-7.746	-1.512	-8.531	-1.452	-9.318	-1.396	-10.10	-1.341
1	1.778	2.256	1.679	2.196	1.606	2.135	1.566	2.075	1.565	2.015	1.607	1.956
2	7.871 -7.147	6.832 -8.023	7.987 -6.886	6.735 -7.909	8.121 -6.611	6.634 -7.791	8.275 -6.323	6.528 -7.667	8.449 -6.024	6.420 -7.540	8.643 -5.716	6.310 -7.410
3	-3.016	-3.838	-2.862	-3.823	-2.703	-3.806	-2.537	-3.788	-2.368	-3.769	-2.196	-3.749
4	0.813	0.812	0.813	0.812	0.813	0.812	0.813	0.812	0.813	0.812	0.813	0.812
5	3.139	3.961	2.985	3.945	2.825	3.928	2.660	3.909	2.491	3.889	2.318	3.869
6	5.857 -7.284	6.747 -6.252	5.608 -7.406	6.651 -6.163	5.345 -7.546	6.551 -6.070	5.069 -7.705	6.447 -5.974	4.781 -7.883	6.340 -5.875	4.482 -8.082	6.231 -5.774
7	-2.527	-3.007	-2.408	-2.926	-2.315	-2.845	-2.257	-2.765	-2.238	-2.685	-2.264	-2.606
B	4.500	-0.218	5.368	-0.209	6.260	-0.201	7.167	-0.194	8.077	-0.186	8.983	-0.178

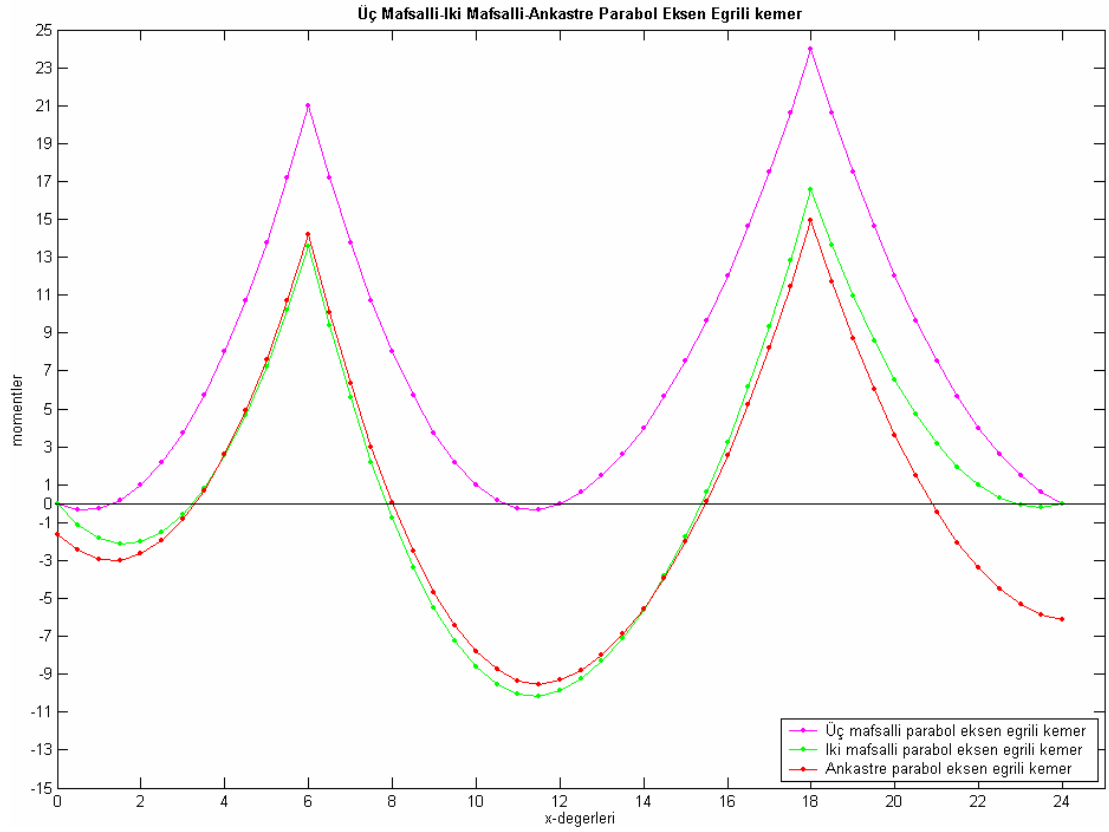
f/L=0.20 değerinde parabol eksen eğrili ankastre kemerin maksimum kesme kuvveti değeri ankastre daire eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değerinden %11 fazla, f/L=0.30 değerinde %23 fazladır.

Çizelge 3.41. Farklı basıklık oranlarına göre ankastre daire eksen eğrili ve ankastre parabol eksen eğrili kemerde normal kuvvet değerlerinin karşılaştırılması

NORMAL KUVVET DEĞERLERİ, KN												
Kesit No	f/L=0,20		f/L=0,22		f/L=0,24		f/L=0,26		f/L=0,28		f/L=0,30	
	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli	Dairesel Eksenli	Parabol Eksenli
A	-48.31	-48.17	-45.47	-45.40	-43.14	-43.18	-41.18	-41.37	-39.50	-39.87	-38.04	-38.62
1	-46.96	-46.41	-44.15	-43.53	-41.89	-41.21	-40.03	-39.31	-38.48	-37.73	-37.18	-36.41
2	-44.73 -39.21	-44.34 -38.40	-41.74 -35.85	-41.33 -34.89	-39.31 -33.07	-38.89 -31.97	-37.29 -30.74	-36.89 -29.51	-35.58 -28.76	-35.22 -27.41	-34.13 -27.07	-33.82 -25.59
3	-39.34	-38.63	-35.95	-35.12	-33.13	-32.19	-30.76	-29.72	-28.74	-27.60	-26.99	-25.76
4	-39.27	-38.63	-35.86	-35.12	-33.03	-32.19	-30.63	-29.72	-28.59	-27.60	-26.81	-25.76
5	-39.32	-38.61	-35.93	-35.09	-33.11	-32.17	-30.74	-29.69	-28.72	-27.57	-26.97	-25.73
6	-39.69 -44.51	-38.91 -44.11	-36.35 -41.51	-35.45 -41.08	-33.60 -39.06	-32.57 -38.63	-31.30 -37.03	-30.14 -36.60	-29.35 -35.32	-28.08 -34.92	-27.68 -33.85	-26.30 -33.50
7	-47.41	-46.86	-44.64	-44.02	-42.39	-41.72	-40.56	-39.85	-39.04	-38.29	-37.76	-36.99
B	-49.95	-49.65	-47.22	-46.97	-44.99	-44.82	-43.12	-43.08	-41.53	-41.64	-40.14	-40.45

Normal kuvvet değerlerinde belirli bir değişiklik olmamıştır.

3.7 2^oden Parabol Eksen Eğrili İzostatik ve Hiperstatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 3.27.Üç mafsalli, iki mafsalli, ankastre parabol eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değeri için moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.42. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksen eğrili kemerlerde farklı basırlık oranına göre moment değerleri

MOMENTLER, KN.m																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	0.000	0.000	-1.617	0.000	0.000	-1.617	0.000	0.000	-1.617	0.000	0.000	-1.617	0.000	0.000	-1.617	0.000	0.000	-1.617
1	3.750	-0.574	-0.814	3.750	-0.679	-0.814	3.750	-0.773	-0.814	3.750	-0.858	-0.814	3.750	-0.938	-0.814	3.750	-1.013	-0.814
2	21.00	13.588	14.171	21.00	13.406	14.171	21.00	13.246	14.171	21.00	13.099	14.171	21.00	12.963	14.171	21.00	12.834	14.171
3	3.750	-5.515	-4.663	3.750	-5.742	-4.663	3.750	-5.942	-4.663	3.7500	-6.125	-4.663	3.7500	-6.296	-4.663	3.7500	-6.457	-4.663
4	0.000	-9.882	-9.316	0.000	-10.13	-9.316	0.000	-10.34	-9.316	0.0000	-10.53	-9.316	0.0000	-10.72	-9.316	0.0000	-10.89	-9.316
5	7.500	-1.765	-2.038	7.500	-1.99	-2.038	7.500	-2.192	-2.038	7.500	-2.375	-2.038	7.500	-2.546	-2.038	7.500	-2.707	-2.038
6	24.00	16.588	14.921	24.00	16.406	14.921	24.00	16.246	14.921	24.00	16.099	14.921	24.00	15.963	14.921	24.00	15.834	14.921
7	7.500	3.176	-0.439	7.500	3.070	-0.439	7.500	2.977	-0.439	7.500	2.891	-0.439	7.500	2.812	-0.439	7.500	2.737	-0.439
B	0.000	0.000	-6.117	0.000	0.000	-6.117	0.000	0.000	-6.117	0.000	0.000	-6.117	0.000	0.000	-6.117	0.000	0.000	-6.117

f/L=0.20 değeri için üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %30.88 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerden ise %37.83 fazladır.

f/L=0.30 değeri için üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %34 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerden ise %37.83 fazladır.

Çizelge 3.43. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksen eğrili kemerlerde farklı basıklık oranına göre kesme kuvveti değerleri

KESME KUVVETİ DEĞERLERİ, KN																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	-0.781	-2.067	-1.64	-0.751	-2.017	-1.573	-0.721	-1.964	-1.51	-0.693	-1.910	-1.452	-0.666	-1.85	-1.39	-0.640	-1.802	-1.341
1	3.001	1.942	2.256	2.921	1.865	2.196	2.84	1.792	2.135	2.759	1.722	2.075	2.680	1.654	2.015	2.601	1.590	1.956
2	7.428 -7.428	6.663 -8.192	6.832 -8.02	7.32 -7.32	6.550 -8.095	6.735 -7.909	7.212 -7.212	6.435 -7.989	6.634 -7.79	7.098 -7.098	6.319 -7.876	6.528 -7.667	6.980 -6.980	6.201 -7.75	6.420 -7.54	6.860 -6.860	6.082 -7.638	6.310 -7.410
3	-3.432	-3.836	-3.83	-3.418	-3.830	-3.823	-3.403	-3.822	-3.806	-3.387	-3.812	-3.788	-3.370	-3.80	-3.77	-3.352	-3.787	-3.749
4	1.000	1.000	0.812	1.000	1.000	0.812	1.000	1.000	0.812	1.000	1.000	0.812	1.000	1.000	0.812	1.000	1.000	0.812
5	3.922	4.326	3.961	3.907	4.319	3.945	3.889	4.308	3.928	3.871	4.296	3.909	3.852	4.282	3.889	3.831	4.266	3.869
6	6.499 -6.499	7.264 -5.735	6.747 -6.25	6.407 - 6.407	7.179 -5.635	6.651 -6.163	6.311 -6.311	7.087 -5.534	6.551 -6.07	6.210 -6.21	6.989 -5.432	6.447 -5.974	6.107 -6.107	6.887 -5.33	6.340 -5.87	6.003 -6.003	6.780 -5.225	6.231 -5.774
7	-3.430	-2.371	-3.01	-3.338	-2.282	-2.926	-3.246	-2.197	-2.84	-3.154	-2.116	-2.765	-3.063	-2.04	-2.68	-2.973	-1.962	-2.606
B	-0.781	0.505	-0.22	-0.751	0.516	-0.209	-0.721	0.522	-0.20	-0.693	0.524	-0.194	-0.666	0.523	-0.18	-0.640	0.521	-0.178

f/L=0.20 değeri için üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %10 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerden ise %8 fazladır.

f/L=0.30 değeri için üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %11.3 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerden ise %8 fazladır.

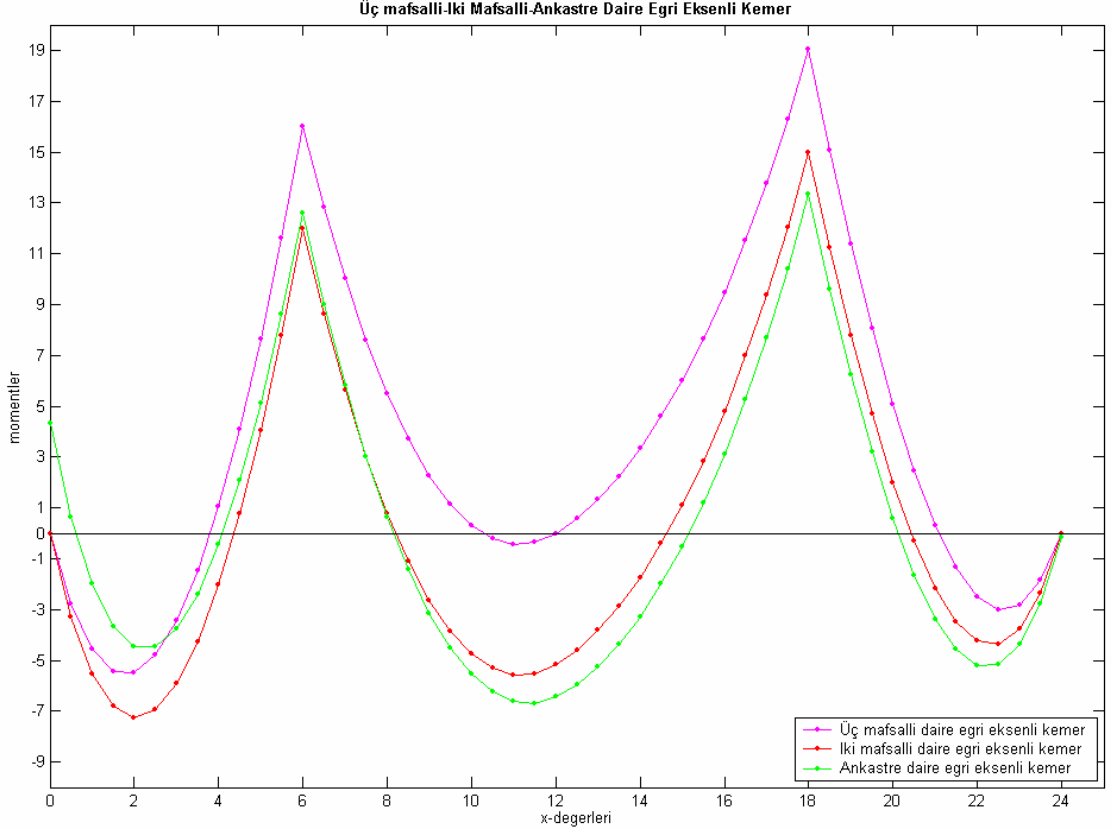
Çizelge 3.44. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre parabol eksen eğrili kemerlerde farklı basıklık oranına göre normal kuvvet değerleri

NORMAL KUVVET DEĞERLERİ, KN																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	-47.40	-49.01	-48.17	-44.75	-46.19	-45.40	-42.63	-43.92	-43.18	-40.90	-42.07	-41.37	-39.47	-40.53	-39.87	-38.28	-39.25	-38.62
1	-45.53	-47.30	-46.41	-42.77	-44.37	-43.53	-40.55	-42.01	-41.21	-40.27	-40.07	-39.31	-37.23	-38.45	-37.73	-35.97	-37.10	-36.41
2	-43.35	-45.27	-44.34	-40.46	-42.22	-41.33	-38.12	-39.74	-38.89	-38.51	-37.70	-36.89	-34.60	-35.9	-35.22	-33.27	-34.57	-33.82
	-37.42	-39.33	-38.40	-34.02	-35.78	-34.89	-31.20	-32.82	-31.97	-28.82	-30.32	-29.51	-26.79	-28.18	-27.41	-25.04	-26.34	-25.59
3	-37.56	-39.57	-38.63	-34.15	-36.03	-35.12	-31.32	-33.06	-32.19	-28.92	-30.56	-29.72	-26.87	-28.41	-27.60	-25.09	-26.54	-25.76
4	-37.50	-39.56	-38.63	-34.09	-36.01	-35.12	-31.25	-33.04	-32.19	-28.85	-30.53	-29.72	-26.78	-28.38	-27.60	-25.00	-26.51	-25.76
5	-37.46	-39.48	-38.61	-34.05	-35.92	-35.09	-31.20	-32.95	-32.17	-28.80	-30.43	-29.69	-26.74	-28.27	-27.57	-24.95	-26.40	-25.73
6	-37.79	-39.70	-38.91	-34.43	-36.18	-35.45	-31.63	-33.25	-32.57	-29.28	-30.78	-30.14	-27.28	-28.67	-28.08	-25.55	-26.85	-26.30
	-42.99	-44.90	-44.11	-40.06	-41.82	-41.08	-37.69	-39.31	-38.63	-35.74	-37.24	-36.60	-34.12	-35.51	-34.92	-32.75	-34.05	-33.50
7	-45.79	-47.56	-46.86	-43.05	-44.65	-44.02	-40.84	-42.30	-41.72	-39.04	-40.37	-39.85	-37.55	-38.78	-38.29	-36.31	-37.43	-36.99
B	-47.40	-50.26	-49.65	-46.07	-47.51	-46.97	-44.01	-45.31	-44.82	-42.34	-43.51	-43.08	-40.96	-42.03	-41.64	-39.82	-40.79	-40.45

f/L=0.20 değeri için iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum normal kuvvet değeri üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %5.7 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemere göre ise belirli bir değişiklik yoktur.

f/L=0.30 değeri için iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum normal kuvvet değeri üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %2.4 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemere göre ise belirli bir değişiklik yoktur.

3.8 Daire Eksen Eğrili İzostatik ve Hiperstatik Kemerlerin Farklı Basıklık Oranı Değişimine Göre Hesap Sonuçlarının Karşılaştırılması



Şekil 3.28. Üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre daire eksen eğrili kemerlerin $f=4.8$ değeri için moment değerlerinin karşılaştırılması

Çizelge 3.45. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksen eğrili kemerlerde farklı basıklık oranına göre moment değerleri

MOMENTLER, KN.m																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	0.000	0.000	4.315	0.000	0.000	5.679	0.000	0.000	7.149	0.000	0.000	8.714	0.000	0.000	10.360	0.000	0.000	12.068
1	-3.435	-5.911	-3.744	-4.955	-7.056	-4.377	-6.617	-8.245	-5.094	-8.417	-9.484	-5.898	-10.35	-10.75	-6.794	-12.40	-12.03	-7.782
2	16.020	11.987	12.595	15.077	11.691	12.318	14.082	11.482	12.043	13.045	11.367	11.776	11.973	11.353	11.524	10.877	11.443	11.291
3	2.271	-2.633	-3.146	2.007	-2.090	-2.849	1.732	-1.397	-2.508	1.450	-0.557	-2.121	1.164	0.425	-1.685	0.875	1.544	-1.196
4	0.000	-5.186	-6.442	0.000	-4.325	-5.912	0.000	-3.298	-5.327	0.000	-2.112	-4.689	0.000	-0.776	-3.994	0.000	0.702	-3.241
5	6.021	1.117	-0.522	5.757	1.660	-0.224	5.482	2.353	0.116	5.200	3.193	0.5036	4.914	4.175	0.940	4.625	5.294	1.429
6	19.020	14.987	13.345	18.077	14.491	13.068	17.082	14.182	12.793	16.045	14.067	12.526	14.973	13.810	12.274	13.877	13.653	12.041
7	0.315	-2.161	-3.369	-1.205	-3.306	-4.002	-2.867	-4.499	-4.718	-4.667	-5.734	-5.523	-6.598	-6.998	-6.419	-8.652	-8.282	-7.406
B	0.000	0.000	-0.185	0.000	0.000	1.179	0.000	0.000	2.649	0.000	0.000	4.214	0.000	0.000	5.860	0.000	0.000	7.568

f/L=0.20 değeri için üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerinkinden %21.2 fazla, ankastre daire eksen eğrili kemerden ise %29.84 fazladır.

f/L=0.30 değeri için üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerinkinden %1.6 fazla, ankastre daire eksen eğrili kemerden ise %13.2 fazladır.

Çizelge 3.46. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksen eğrili kemerlerde farklı basıklık oranına göre kesme kuvveti değerleri

KESME KUVVETİ DEĞERLERİ, KN																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	-4.86	-5.60	-6.22	-5.542	-6.145	-6.973	-6.243	-6.690	-7.746	-6.960	-7.237	-8.531	-7.684	-7.783	-9.318	-8.412	-8.326	-10.10
1	2.855	2.296	1.778	2.813	2.360	1.679	2.797	2.462	1.606	2.811	2.604	1.566	2.861	2.787	1.565	2.948	3.013	1.607
2	8.658 -6.36	8.286 -6.73	7.871 -7.15	8.813 -6.060	8.511 -6.36	7.987 -6.886	8.986 -5.746	8.763 -5.969	8.121 -6.611	9.178 -5.420	9.039 -5.559	8.275 -6.323	9.386 -5.087	9.337 -5.136	8.449 -6.024	9.611 -4.747	9.654 -4.705	8.643 -5.716
3	-2.52	-2.71	-3.02	-2.352	-2.503	-2.862	-2.172	-2.284	-2.703	-1.988	-2.057	-2.537	-1.801	-1.826	-2.368	-1.613	-1.592	-2.196
4	1.000	1.000	0.813	1.000	1.000	0.813	1.000	1.000	0.813	1.000	1.000	0.813	1.000	1.000	0.813	1.000	1.000	0.813
5	3.018	3.204	3.139	2.844	2.995	2.985	2.663	2.775	2.825	2.478	2.547	2.660	2.290	2.315	2.491	2.101	2.079	2.318
6	5.422 -7.72	5.794 -7.34	5.857- 7.28	5.130 -7.884	5.432 -7.582	5.608 -7.406	4.825 -8.066	5.048 -7.842	5.345 -7.546	4.508 -8.265	4.647 -8.127	5.069 -7.705	4.182 -8.482	4.232 -8.433	4.781 -7.883	3.850 -8.714	3.807 -8.757	4.482 -8.082
7	-3.28	-2.72	-2.53	-3.230	-2.777	-2.408	-3.202	-2.867	-2.315	-3.206	-2.998	-2.257	-3.245	-3.171	-2.238	-3.323	-3.388	-2.264
B	3.414	4.159	4.500	4.190	4.794	5.368	4.992	5.439	6.260	5.811	6.088	7.167	6.639	6.738	8.077	7.471	7.385	8.983

f/L=0.20 değeri için üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerinkinden %4.3 fazla, ankastre daire eksen eğrili kemerden ise %9 fazladır.

f/L=0.30değeri için üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum kesme kuvveti değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemere göre belirli bir değişiklik göstermemiştir, ankastre daire eksen eğrili kemere göre ise %10 fazladır.

Çizelge 3.47. Üç mafsallı-iki mafsallı ve ankastre dairesel eksen eğrili kemerlerde farklı basıklık oranına göre normal kuvvet değerleri

NORMAL KUVVET DEĞERLERİ, KN																		
Kesit No	f/L=0,20			f/L=0,22			f/L=0,24			f/L=0,26			f/L=0,28			f/L=0,30		
	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.	3.M	2.M	ANK.
A	-47.15	-47.94	-48.31	-44.41	-44.97	-45.47	-42.17	-42.53	-43.14	-40.31	-40.50	-41.18	-38.72	-38.78	-39.50	-37.35	-37.31	-38.04
1	-45.54	-46.47	-46.96	-42.78	-43.46	-44.15	-40.55	-41.02	-41.89	-38.73	-38.99	-40.03	-37.22	-37.31	-38.48	-35.95	-35.88	-37.18
2	-43.13	-44.15	-44.73	-40.17	-40.93	-41.74	-37.75	-38.27	-39.31	-35.73	-36.04	-37.29	-34.03	-34.14	-35.58	-32.58	-32.49	-34.13
3	-37.61	-38.63	-39.21	-34.27	-35.03	-35.85	-31.50	-32.03	-33.07	-29.18	-29.49	-30.74	-27.21	-27.32	-28.76	-25.52	-25.44	-27.07
3	-37.63	-38.69	-39.34	-34.24	-35.05	-35.95	-31.43	-31.99	-33.13	-29.05	-29.39	-30.76	-27.02	-27.14	-28.74	-25.27	-25.17	-26.99
4	-37.50	-38.58	-39.27	-34.09	-34.91	-35.86	-31.25	-31.82	-33.03	-28.85	-29.18	-30.63	-26.78	-26.90	-28.59	-25.00	-24.90	-26.81
5	-37.54	-38.61	-39.32	-34.15	-34.96	-35.93	-31.33	-31.89	-33.11	-28.95	-29.28	-30.74	-26.92	-27.03	-28.72	-25.16	-25.06	-26.97
6	-37.96	-38.97	-39.69	-34.64	-35.40	-36.35	-31.89	-32.42	-33.60	-29.59	-29.90	-31.30	-27.64	-27.74	-29.35	-25.96	-25.88	-27.68
7	-42.79	-43.80	-44.51	-39.80	-40.56	-41.51	-37.36	-37.88	-39.06	-35.32	-35.63	-37.03	-33.61	-33.71	-35.32	-32.14	-32.05	-33.85
7	-45.80	-46.73	-47.41	-43.06	-43.74	-44.64	-40.85	-41.31	-42.39	-39.04	-39.31	-40.56	-37.54	-37.63	-39.04	-36.28	-36.21	-37.76
B	-48.53	-49.32	-49.95	-45.89	-46.44	-47.22	-43.73	-44.09	-44.99	-41.94	-42.14	-43.12	-40.43	-40.49	-41.53	-39.12	-39.07	-40.14

f/L=0.20 değeri için ankastre daire eksen eğrili kemerin maksimum normal kuvvet değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemere göre belirli bir değişiklik göstermemiştir, üç mafsallı daire eksen eğrili kemerden ise %2.9 fazladır.

4.SONUÇ ve ÖNERİ

Bu çalışmada değişik basıklık oranına ve yüklemelere göre izostatik ve hiperstatik kemerlerde basıklık oranının değişiminin kemerdeki iç kuvvetlere etkisinin statik analizi yapılmıştır. İzostatik olarak 2⁰ den parabol ve daire eksen eğrili üç mafsallı kemerler; hiperstatik olarak 2⁰ den parabol ve daire eksen eğrili iki mafsallı ve ankastre kemerler incelenmiştir. Hesaplar $f/L=0.20$; $f/L=0.22$; $f/L=0.24$; $f/L=0.26$; $f/L=0.28$; $f/L=0.30$ basıklık oranlarına göre yapılmıştır.

İncelemede; FORTRAN ve MATLAB bilgisayar programları kullanılmış olup elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca verilmiştir.

1. Üç mafsallı daire ve parabol eksen eğrili kemerde belirtilmiş basıklık oranı $f/L=0.20$ olduğunda max normal kuvvet değeri $f/L=0.30$ da ki normal kuvvet değerinden sırasıyla %19.4 ve %18 fazladır; kesme kuvveti değeri %25 ve %7.6 fazladır; eğilme momenti değeri ise dairesel eksen eğrili kemerde % 27.04 fazla olduğu halde parabol eksen eğrili kemerde belirli bir değişiklik olmamıştır.

2. İki mafsallı daire ve parabol eksen eğrili kemerde belirtilmiş basıklık oranı $f/L=0.20$ olduğunda max normal kuvvet değeri $f/L=0.30$ da ki normal kuvvet değerinden sırasıyla %20.8 ve %18.8 fazladır; kesme kuvveti değeri %30 ve %6.8 fazladır; eğilme momenti değeri ise %8.9 ve %4.5 fazladır.

3. Ankastre daire ve parabol eksen eğrili kemerde belirtilmiş basıklık oranı $f/L=0.20$ olduğunda max normal kuvvet değeri $f/L=0.30$ da ki normal kuvvet değerinden sırasıyla %19.6 ve %18.5 fazladır; kesme kuvveti değeri %20 ve %7.6 fazladır; eğilme momenti değeri ise dairesel eksen eğrili kemerde % 9.8 fazla olduğu halde parabol eksen eğrili kemerde yük durumuna bağlı olarak belirli bir değişiklik olmamıştır.

4. $f/L=0.20$ değerinde üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %30.88 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerinkinden %37.83 fazladır. $f/L=0.30$ değerinde üç mafsallı parabol eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı parabol eksen eğrili kemerinkinden %34 fazla, ankastre parabol eksen eğrili kemerinkinden %37.83 fazladır.

5. $f/L=0.20$ değerinde üç mafsallı daire eksen eğrili kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerinkinden %21.2 fazla, ankastre daire eksen eğrili kemerinkinden %29.84 fazladır. $f/L=0.30$ değerinde üç mafsallı daire eksen eğrili

kemerin maksimum moment değeri iki mafsallı daire eksen eğrili kemerinkinden %1.6 fazla, ankastre daire eksen eğrili kemerinkinden %13.2 fazladır.

6. $0,2 \leq f/L \leq 0,3$ basıklık oranı değerlerine göre kemerlerin farklı mesnet durumları için momentler karşılaştırıldığında $M_{\text{ank.}}^{\text{max}} < M_{\text{iki.maf.}}^{\text{max}} < M_{\text{üç.maf.}}^{\text{max}}$ olduğu görülür. Yani iki mafsallı kemerlerde oluşan iç kuvvetlerin max değeri aynı yükleme durumunda ki üç mafsallı kemerde oluşan iç kuvvetlerin max değerinden küçük; ankastre kemerdekinden ise büyüktür. Ayrıca kesme kuvveti ve normal kuvvet değerlerinin de benzer şekilde olduğu görülmektedir.

Parabol eksen eğrili ve daire eksen eğrili kemerlerde moment değerleri karşılaştırıldığında ise $M_{\text{daire}}^{\text{max}} < M_{\text{parabol}}^{\text{max}}$ olduğu görülmektedir.

7. Bu çalışmada, statik analiz; üç mafsallı, iki mafsallı, ankastre daire ve parabol eksen eğrili kemerlerde belirli bir kemer açıklığı, diklik ordinatı ve dış yüklere göre yapılmıştır. Kemer açıklıklarının, diklik ordinatlarının ve dış yüklerin diğer değişimlerine göre de, kemerlerde basıklık oranı değişiminin farklı eksen eğrili kemerlerde, iç kuvvetlere etkisi benzer şekilde bulunup karşılaştırılabilir.

5.KAYNAKLAR

- BEGİMGİL, M., Donatısız Kemer Köprülerin Tasarımı, Türkiye İnşaat Mühendisliği 14. Teknik Kongresi, İzmir, 273-279, 1997
- ÇAKIROĞLU, A., Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metotları, İstanbul, 1984
- ÇETMELİ, E., ÇAKIROĞLU, E., Yapı Statiği Cilt I, İstanbul, 2001
- ÇETMELİ, E., ÇAKIROĞLU, A., Yapı Statiği Cilt II, İstanbul , 2000
- EKİZ, İ., Yapı Statiği I, 2008
- ERCİYES, F., Çelik Kafes Kemerli Bir Köprünün Analizi ve Tasarımı , Yük.Lis. Tezi, 2006
- HANALİ, S., Yapı Statiği, Ankara, 2003
- HEYMAN, J., Arches, Voults and Buttesses Variorum, Cambridge, 1996
- HEYMAN, J., The Masonry Arch, Ellis Harwood Limited, United Kingdom, 1982
- KLEYN, G.K., RUKOVODSTVO, K., Praktiteskim Zanyatıyam Po Kursu Stroitelnoy Mekaniki, Moskova, 1980
- KOÇOĞLU, O., Çeşitli Kemerlerin Hesap Metotları, Yük.Lis. Tezi, 1987
- MC CULLOUGH, C.B., Elastic Arch Bridges Jon Wiley Sons, Newyork, 1931
- MELBOURNE, C., BEGİMGİL, M., GILBERT, M., Load Test to Collapse of 5m Span Brickwork Masonry Arch Bridge (Detached Spandrels, Tied Together), TRRL contractor report, Bolton Institute of Higher Education, School of Civil Engineering and Building, Bolton, England, volume1 page 65 and volume 2 page 274, 1993
- SMİRNOV, B.A., İVANOV, C.A., TİHONOV, M.A., Stroitelnaya Mekanika, Moskova, 1984
- STRESSNER, A., Yeni Metotlar Kemer ve Kemerli Köprü Statiği, İTÜ, 1957
- TİMOŞENKO, S.P., GUDYER, C., Teoriya Uprugosti, Moskova, 1975
- WILLIAMS, A., The Analysis of Indeterminante Structure, London, 1987

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Pınar YILDIRIM
Doğum Yeri ve Tarihi	Sivas, 24/05/1982
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 58140-Sivas
E-posta Adresi	pyildirim@cumhuriyet.edu.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Sivas Lisesi, 1999
Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2004
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2009

İş Tecrübesi

Cumhuriyet Üniversitesi Araştırma görevlisi, 2006-

EK: ÜÇ MAFSALLI DAİRE EKSEN EĞRİLİ KEMER ÇÖZÜMÜ İÇİN FORTRAN ve
MATLAB BİLGİSAYAR PROGRAMLARINDA YAZILAN KOD ve ÇÖZÜM ÖRNEĞİ

A- FORTRAN PROGRAM KODU

```
real fx,Va,Vb,H,R,Y,cosfi,sinfi,Mx,Tx,Nx
Integer x
real, parameter ::q1=1,q2=1.5
integer, parameter :: iter=3,L=24,a1=6,a2=12,a3=18,a4=24,p1=16,p2=14
print *, "Fx degerini giriniz"
read *,fx
Va=(q1*a2*(a4-a1)+p1*(a4-a1)+ q2*(a4-a2)*(a4-a3)+p2*(a4-a3))/L
Vb=q1*a2+p1+q2*(a4-a2)+p2-Va
H=(va*a2-q1*a2*(a2-a1)-p1*(a2-a1))/fx
R=fx/2+L**2/(8*fx)

print 11,"fx","Va","Vb","H","R"
11 format (A5,A15,A15,A15,A15)
print 10,Fx,Va,Vb,H,R
10 format (F6.2,F15.2,F15.2,F15.2,F15.2)

Open(unit=1,file='deneme.txt',status='unknown')

write (1,*)"Fx=",fx
write(1,60) " X ", "Mx", "Tx", "Nx"
print 60," X ", "Mx", "Tx", "Nx"
60 format (A3,A20,A20,A20)
do x=0,L,iter
Y=(R*R-(L/2-x)**2)**0.5-R+fx
cosfi=(y+r-fx)/R
sinfi=(L-2*X)/(2*R)
if (x>=0 .and. x<=6) then !1. aralik
Mx=Va*X-q1*x*x/2-h*y
Tx=(va-q1*x)*cosfi-h*sinfi
Nx=-1*((va-q1*x)*sinfi+h*cosfi)
else if (x>6 .and. x<=12) then !2. aralik
Mx=Va*x-q1*x*x/2-p1*(x-6)-h*y
Tx=(Va-q1*x-p1)*cosfi-h*sinfi
Nx=-1*((va-q1*x-p1)*sinfi+h*cosfi)
else if (x>12 .and. x<=18) then !3. aralik
Mx=Va*x-q1*12*(x-6)-p1*(x-6)-q2*(x-12)**2/2-h*y
Tx=(Va-q1*12-p1-q2*(x-12))*cosfi-h*sinfi
Nx=-1*(Va-q1*12-p1-q2*(x-12))*sinfi+h*cosfi)
else !4. aralik
Mx=Va*x-q1*12*(x-6)-p1*(x-6)-q2*(x-12)**2/2-p2*(x-18)-h*y
Tx=(Va-q1*12-p1-q2*(x-12)-p2)*cosfi-h*sinfi
Nx=-1*( Va-q1*12-p1-q2*(x-12)-p2)*sinfi+h*cosfi)
end if
write(1,50) x,mx,tx,nx
print 50,x,Mx,Tx,Nx
end do
50 format (I3,F20.3,F20.3,F20.3)
close(1)
```


B- MATLAB PROGRAM KODU

3 MAFSALLI DAİRESEL EKSENLİ KEMER

```
clc
clear
l=24;
p_1=16;
p_2=14;
q_1=1;
q_2=1.5;
f=input('f değerini giriniz ');
a_1=6;
a_2=12;
a_3=18;
a_4=24;
v_a=[q_1*a_2*(a_4-a_1)+p_1*(a_4-a_1)+q_2*(a_4-a_2)*(a_4-a_3)+p_2*(a_4-a_3)]/l;
v_a;
v_b=q_1*a_2+p_1+q_2*(a_4-a_2)+p_2-v_a;
v_b;
h=[v_a*a_2-q_1*a_2*(a_2-a_1)-p_1*(a_2-a_1)]/f;
h;
r=f/2+l^2/(8*f);
r;

%ARALIKLARIN HESABI%

%0-6 aralığı (x_1)
y=[];
for x_1=0:0.5:6
    k=[r^2-(1/2-x_1)^2]^0.5-r+f;
    y=[y;k];
end
y
cosfiat=[];
[j,g]=size(y);
for i=1:j
    cosfi=(y(i)+r-f)/r;
    cosfiat=[cosfiat;cosfi];
end
cosfiat;
sinfiat=[];
for x_1=0:0.5:6
    sinfi=(1-2*x_1)/(2*r);
    sinfiat=[sinfiat;sinfi];
end
sinfiat;
m_x_0_mat=[];
for x_1=0:0.5:6
    m_x_0=v_a*x_1-q_1*(x_1^2/2);
    m_x_0_mat=[m_x_0_mat;m_x_0];
end
m_x_0_mat;
t_x_0_mat=[];
for x_1=0:0.5:6
```

```

t_x_0=v_a-q_1*x_1;
t_x_0_mat=[t_x_0_mat;t_x_0];
end
t_x_0_mat;

m_x_mat=[];
for i=1:j
    m_x=m_x_0_mat(i)-h*y(i);
    m_x_mat=[m_x_mat;m_x];
end
m_x_mat;%%%%%%grafikte (0-6 aralığının momenti)
t_x_mat=[];
for i=1:j
    t_x=t_x_0_mat(i)*cosfimat(i)-h*sinfimat(i);
    t_x_mat=[t_x_mat;t_x];
end
t_x_mat;%%%%%%grafikte(0-6 aralığının kesme kuvveti)
n_x_mat=[];
for i=1:j
    n_x=-(t_x_0_mat(i)*sinfimat(i)+h*cosfimat(i));
    n_x_mat=[n_x_mat;n_x];
end
n_x_mat;%%%%%%grafikte (0-6 aralığının normal kuvveti)
%6-12 aralığı (x_2)
y=[];
for x_2=6:0.5:12
    k=[r^2-(1/2-x_2)^2]^0.5-r+f;
    y=[y;k];
end
y;
cosfimat=[];
[j,g]=size(y);
for i=1:j
    cosfi=(y(i)+r-f)/r;
    cosfimat=[cosfimat;cosfi];
end
cosfimat;
sinfimat=[];
for x_2=6:0.5:12
    sinfi=(1-2*x_2)/(2*r);
    sinfimat=[sinfimat;sinfi];
end
sinfimat;
m_x_0_mat_2=[];
for x_2=6:0.5:12
    m_x_0_2=v_a*x_2-q_1*(x_2^2/2)-p_1*(x_2-6);
    m_x_0_mat_2=[m_x_0_mat_2;m_x_0_2];
end
m_x_0_mat_2;
t_x_0_mat_2=[];
for x_2=6:0.5:12
    t_x_0_2=v_a-q_1*x_2-p_1;
    t_x_0_mat_2=[t_x_0_mat_2;t_x_0_2];
end
t_x_0_mat_2;

```

```

m_x_mat_2=[];
for i=1:j
    m_x_2=m_x_0_mat_2(i)-h*y(i);
    m_x_mat_2=[m_x_mat_2;m_x_2];
end
m_x_mat_2;%%%%%%%%%%%%grafikte (6-12 aralığının momenti)

t_x_mat_2=[];
for i=1:j
    t_x_2=t_x_0_mat_2(i)*cosfimat(i)-h*sinfimat(i);
    t_x_mat_2=[t_x_mat_2;t_x_2];
end
t_x_mat_2;%%%%%%%%%%%%grafikte(6-12 aralığının kesme kuvveti)

n_x_mat_2=[];
for i=1:j
    n_x_2=-(t_x_0_mat_2(i)*sinfimat(i)+h*cosfimat(i));
    n_x_mat_2=[n_x_mat_2;n_x_2];
end
n_x_mat_2;%%%%%%%%%%%%grafikte(6-12 aralığının normali)

% 12-18 aralığı (x_3)
y=[];
for x_3=12:0.5:18
    k=[r^2-(1/2-x_3)^2]^0.5-r+f;
    y=[y;k];
end
y;
cosfimat=[];
[j,g]=size(y);
for i=1:j
    cosfi=(y(i)+r-f)/r;
    cosfimat=[cosfimat;cosfi];
end
cosfimat;
sinfimat=[];
for x_3=12:0.5:18
    sinfi=(1-2*x_3)/(2*r);
    sinfimat=[sinfimat;sinfi];
end
sinfimat;
m_x_0_mat_3=[];
for x_3=12:0.5:18
    m_x_0_3=v_a*x_3-q_1*12*(x_3-6)-p_1*(x_3-6)-q_2*((x_3-12)^2/2);
    m_x_0_mat_3=[m_x_0_mat_3;m_x_0_3];
end
m_x_0_mat_3;

t_x_0_mat_3=[];
for x_3=12:0.5:18
    t_x_0_3=v_a-q_1*12-p_1-q_2*(x_3-12);
    t_x_0_mat_3=[t_x_0_mat_3;t_x_0_3];
end
t_x_0_mat_3;

```

```

m_x_mat_3=[];
for i=1:j
    m_x_3=m_x_0_mat_3(i)-h*y(i);
    m_x_mat_3=[m_x_mat_3;m_x_3];
end
m_x_mat_3;%%%%%%%%%%%%grafikte (12-18 aralığının momenti)

t_x_mat_3=[];
for i=1:j
    t_x_3=t_x_0_mat_3(i)*cosfimat(i)-h*sinfimat(i);
    t_x_mat_3=[t_x_mat_3;t_x_3];
end
t_x_mat_3;%%%%%%%%%%%%grafikte(12-18 aralığının kesme kuvveti)

n_x_mat_3=[];
for i=1:j
    n_x_3=-(t_x_0_mat_3(i)*sinfimat(i)+h*cosfimat(i));
    n_x_mat_3=[n_x_mat_3;n_x_3];
end
n_x_mat_3;%%%%%%%%%%%%grafikte(12-18 aralığının normali)

% 18-24 aralığı (x_4)
y=[];
for x_4=18:0.5:24
    k=[r^2-(1/2-x_4)^2]^0.5-r+f;
    y=[y;k];
end
y;
cosfimat=[];
[j,g]=size(y);
for i=1:j
    cosfi=(y(i)+r-f)/r;
    cosfimat=[cosfimat;cosfi];
end
cosfimat;
sinfimat=[];
for x_4=18:0.5:24
    sinfi=(1-2*x_4)/(2*r);
    sinfimat=[sinfimat;sinfi];
end
sinfimat;
m_x_0_mat_4=[];
for x_4=18:0.5:24
    m_x_0_4=v_a*x_4-q_1*12*(x_4-6)-p_1*(x_4-6)-q_2*((x_4-12)^2/2)-p_2*(x_4-18);
    m_x_0_mat_4=[m_x_0_mat_4;m_x_0_4];
end
m_x_0_mat_4;
t_x_0_mat_4=[];
for x_4=18:0.5:24
    t_x_0_4=v_a-q_1*12-p_1-q_2*(x_4-12)-p_2;
    t_x_0_mat_4=[t_x_0_mat_4;t_x_0_4];
end
t_x_0_mat_4;

```

```

m_x_mat_4=[];
for i=1:j
    m_x_4=m_x_0_mat_4(i)-h*y(i);
    m_x_mat_4=[m_x_mat_4;m_x_4];
end
m_x_mat_4;%%%%%%%%%%%%grafikte (18-24 aralığının momenti)
t_x_mat_4=[];
for i=1:j
    t_x_4=t_x_0_mat_4(i)*cosfimat(i)-h*sinfimat(i);
    t_x_mat_4=[t_x_mat_4;t_x_4];
end
t_x_mat_4;%%%%%%%%%%%%grafikte(18-24 aralığının kesme kuvveti)

n_x_mat_4=[];
for i=1:j
    n_x_4=-(t_x_0_mat_4(i)*sinfimat(i)+h*cosfimat(i));
    n_x_mat_4=[n_x_mat_4;n_x_4];
end
n_x_mat_4;%%%%%%%%%%%%grafikte(18-24 aralığının normali)

%%%---sonuçlar---%%%
momentler=[m_x_mat;m_x_mat_2;m_x_mat_3;m_x_mat_4];
kesme_kuvvetleri=[t_x_mat;t_x_mat_2;t_x_mat_3;t_x_mat_4];
normal_kuvvetler=[n_x_mat;n_x_mat_2;n_x_mat_3;n_x_mat_4];

% %%%---grafikler---%%%
taLlo=[momentler,kesme_kuvvetleri,normal_kuvvetler]
x_ekseni=[0;0.5;1;1.5;2;2.5;3;3.5;4;4.5;5;5.5;6;6.5;7;7.5;8;8.5;9;9.5;10;10.5;11;11.5;12;12;12
.5;13;13.5;14;14.5;15;15.5;16;16.5;17;17.5;18;18;18.5;19;19.5;20;20.5;21;21.5;22;22.5;23;23.5
;24];
subplot(3,1,1)
plot(x_ekseni,momentler)
title('Moment Diyagramı');
grid on;
subplot(3,1,2)
plot(x_ekseni,kesme_kuvvetleri)
title('Kesme Kuvveti Diyagramı');
grid on;
subplot(3,1,3)
plot(x_ekseni,normal_kuvvetler)
title('Normal Kuvvet Diyagramı');

```

C- ÖRNEK ÇÖZÜMLER

****f değerini giriniz 4.8****

f =

4.8000

v_a =

29

v_b =

31
h =

37.5000

r =

17.4000

MOM =

Columns 1 through 7

0.0000 -2.7980 -4.5690 -5.4299 -5.4768 -4.7896 -3.4353

Columns 8 through 14

-1.4708 1.0552 4.1011 7.6308 11.6129 16.0204 16.0204

Columns 15 through 21

12.8296 10.0200 7.5737 5.4754 3.7117 2.2714 1.1450

Columns 22 through 28

0.3247 -0.1959 -0.4215 -0.3555 0 0 0.5820

Columns 29 through 35

1.3285 2.2416 3.3247 4.5825 6.0214 7.6492 9.4754

Columns 36 through 42

11.5112 13.7700 16.2671 19.0204 19.0204 15.0504 11.3808

Columns 43 through 49

8.0386 5.0552 2.4667 0.3147 -1.3521 -2.4768 -2.9924

Columns 50 through 52

-2.8190 -1.8605 0.0000

K_Kuv =

Columns 1 through 7

-4.8621 -3.3965 -2.0120 -0.7008 0.5439 1.7276 2.8553

Columns 8 through 14

3.9313 4.9596 5.9434 6.8860 7.7901 8.6583 -6.3604

Columns 15 through 21

-5.6867 -5.0289 -4.3854 -3.7546 -3.1351 -2.5254 -1.9242

Columns 22 through 28

-1.3302 -0.7421 -0.1585 0.4218 1.0000 1.0000 1.3275

Columns 29 through 35

1.6560 1.9874 2.3236 2.6665 3.0179 3.3800 3.7546

Columns 36 through 42

4.1439 4.5500 4.9752 5.4217 -7.7196 -7.0944 -6.4282

Columns 43 through 49

-5.7178 -4.9596 -4.1495 -3.2832 -2.3559 -1.3622 -0.2960

Columns 50 through 52

0.8498 2.0832 3.4138

N_Kuv =

Columns 1 through 7

-47.1552 -46.9783 -46.7568 -46.4974 -46.2056 -45.8859 -45.5423

Columns 8 through 14

-45.1779 -44.7957 -44.3979 -43.9867 -43.5639 -43.1310 -37.6138

Columns 15 through 21

-37.6319 -37.6425 -37.6466 -37.6451 -37.6387 -37.6281 -37.6138

Columns 22 through 28

-37.5963 -37.5759 -37.5530 -37.5276 -37.5000 -37.5000 -37.4773

Columns 29 through 35

-37.4668 -37.4682 -37.4813 -37.5060 -37.5419 -37.5884 -37.6451

Columns 36 through 42

-37.7113 -37.7862 -37.8690 -37.9586 -42.7862 -43.2837 -43.7856

Columns 43 through 49

-44.2902 -44.7957 -45.3000 -45.8009 -46.2954 -46.7803 -47.2517

Columns 50 through 52

-47.7051 -48.1349 -48.5345

**** f değerini giriniz 6.24****

f =

6.2400

v_a =

29

v_b =

31

h =

28.8462

r =

14.6585

MOM =

Columns 1 through 7

0 -4.9842 -8.1409 -9.8352 -10.3261 -9.8046 -8.4167

Columns 8 through 14

-6.2766 -3.4752 -0.0866 3.8285 8.2197 13.0446 13.0446

Columns 15 through 21

10.2678 7.8590 5.7928 4.0476 2.6052 1.4502 0.5700

Columns 22 through 28

-0.0457 -0.4053 -0.5149 -0.3789 0 0 0.5586

Columns 29 through 35

1.2351 2.0322 2.9543 4.0075 5.2002 6.5427 8.0476

Columns 36 through 42

9.7303 11.6090 13.7053 16.0446 16.0446 11.6572 7.5785

Columns 43 through 49

3.8509 0.5248 -2.3391 -4.6667 -6.3671 -7.3261 -7.3977

Columns 50 through 52

-6.3909 -4.0467 0

K_Kuv =

Columns 1 through 7

-6.9597 -4.9581 -3.1398 -1.4738 0.0626 1.4865 2.8114

Columns 8 through 14

4.0481 5.2055 6.2911 7.3115 8.2720 9.1777 -5.4206

Columns 15 through 21

-4.7983 -4.1993 -3.6211 -3.0613 -2.5178 -1.9883 -1.4710

Columns 22 through 28

-0.9638 -0.4649 0.0275 0.5152 1.0000 1.0000 1.2338

Columns 29 through 35

1.4690 1.7084 1.9545 2.2100 2.4777 2.7605 3.0613

Columns 36 through 42

3.3831 3.7292 4.1030 4.5082 -8.2653 -7.5998 -6.8721

Columns 43 through 49

-6.0763 -5.2055 -4.2517 -3.2061 -2.0577 -0.7938 0.6015

Columns 50 through 52

2.1484 3.8729 5.8111

N_Kuv =

Columns 1 through 7

-40.3071 -40.2463 -40.0780 -39.8269 -39.5107 -39.1426 -38.7324

Columns 8 through 14

-38.2879 -37.8154 -37.3199 -36.8055 -36.2757 -35.7333 -29.1842

Columns 15 through 21

-29.1775 -29.1628 -29.1417 -29.1158 -29.0863 -29.0542 -29.0205

Columns 22 through 28

-28.9857 -28.9506 -28.9154 -28.8805 -28.8462 -28.8462 -28.8208

Columns 29 through 35

-28.8131 -28.8226 -28.8493 -28.8925 -28.9519 -29.0266 -29.1158

Columns 36 through 42

-29.2184 -29.3333 -29.4589 -29.5935 -35.3240 -35.9431 -36.5667

Columns 43 through 49

-37.1920 -37.8154 -38.4329 -39.0394 -39.6286 -40.1929 -40.7222

Columns 50 through 52

-41.2036 -41.6193 -41.9444

****f değerini giriniz 7.2****

f =

7.2000

v_a =

29

v_b =

31

h =

25

r =

13.6000

MOM =

Columns 1 through 7

0.0000 -7.1291 -11.4375 -13.7124 -14.4344 -13.9227 -12.4019

Columns 8 through 14

-10.0374 -6.9545 -3.2511 0.9953 5.7218 10.8771 10.8771

Columns 15 through 21

8.4188 6.3118 4.5265 3.0385 1.8271 0.8752 0.1689

Columns 22 through 28

-0.3034 -0.5507 -0.5796 -0.3951 0 0 0.5424

Columns 29 through 35

1.1704 1.8868 2.6966 3.6064 4.6252 5.7646 7.0385

Columns 36 through 42

8.4640 10.0618 11.8563 13.8771 13.8771 9.1593 4.7453

Columns 43 through 49

0.6864 -2.9545 -6.0999 -8.6519 -10.4852 -11.4344 -11.2749

Columns 50 through 52

-9.6875 -6.1916 0.0000

K_Kuv =

Columns 1 through 7

-8.4118 -5.9254 -3.7551 -1.8238 -0.0832 1.4997 2.9484

Columns 8 through 14

4.2809 5.5114 6.6510 7.7092 8.6937 9.6113 -4.7475

Columns 15 through 21

-4.1655 -3.6114 -3.0819 -2.5741 -2.0854 -1.6132 -1.1552

Columns 22 through 28

-0.7091 -0.2726 0.1564 0.5799 1.0000 1.0000 1.1689

Columns 29 through 35

1.3396 1.5150 1.6982 1.8925 2.1009 2.3270 2.5741

Columns 36 through 42

2.8459 3.1464 3.4796 3.8500 -8.7138 -8.0349 -7.2805

Columns 43 through 49

-6.4424 -5.5114 -4.4761 -3.3232 -2.0364 -0.5946 1.0294

Columns 50 through 52

2.8731 4.9912 7.4706

N_Kuv =

Columns 1 through 7

-37.3529 -37.4452 -37.3483 -37.1204 -36.7966 -36.4006 -35.9487

Columns 8 through 14

-35.4531 -34.9231 -34.3659 -33.7871 -33.1914 -32.5826 -25.5237

Columns 15 through 21

-25.4931 -25.4550 -25.4117 -25.3648 -25.3160 -25.2665 -25.2174

Columns 22 through 28

-25.1694 -25.1232 -25.0794 -25.0382 -25.0000 -25.0000 -24.9739

Columns 29 through 35

-24.9691 -24.9853 -25.0223 -25.0795 -25.1562 -25.2517 -25.3648

Columns 36 through 42

-25.4944 -25.6388 -25.7964 -25.9649 -32.1414 -32.8330 -33.5298

Columns 43 through 49

-34.2280 -34.9231 -35.6094 -36.2796 -36.9245 -37.5319 -38.0855

Columns 50 through 52

-38.5616 -38.9249 -39.1176

% %%% 2 Mafsallı Daire Eksen Eğrili Kemer %%% %

f değerini giriniz 4.8

v_a =

29

v_b =

31

r =

17.4000

h =

38.5804

MOM =

Columns 1 through 7

0.0000 -3.2928 -5.5217 -6.8072 -7.2480 -6.9264 -5.9112

Columns 8 through 14

-4.2611 -2.0260 0.7512 4.0332 7.7879 11.9875 11.9875

Columns 15 through 21

8.6075 5.6269 3.0273 0.7929 -1.0900 -2.6330 -3.8459

Columns 22 through 28

-4.7367 -5.3119 -5.5764 -5.5337 -5.1860 -5.1860 -4.5962

Columns 29 through 35

-3.8264 -2.8744 -1.7367 -0.4084 1.1170 2.8475 4.7929

Columns 36 through 42

6.9648 9.3769 12.0450 14.9875 14.9875 11.2254 7.7832

Columns 43 through 49

4.6887 1.9740 -0.3236 -2.1612 -3.4889 -4.2480 -4.3697

Columns 50 through 52

-3.7717 -2.3553 0.0000

K_Kuv =

Columns 1 through 7

-5.6072 -4.1105 -2.6950 -1.3527 -0.0771 1.1377 2.2964

Columns 8 through 14

3.4035 4.4628 5.4777 6.4513 7.3865 8.2857 -6.7329

Columns 15 through 21

-6.0282 -5.3394 -4.6648 -4.0030 -3.3524 -2.7117 -2.0795

Columns 22 through 28

-1.4544 -0.8352 -0.2206 0.3907 1.0000 1.0000 1.3585

Columns 29 through 35

1.7181 2.0806 2.4478 2.8217 3.2042 3.5973 4.0030

Columns 36 through 42

4.4233 4.8605 5.3167 5.7943 -7.3471 -6.6908 -5.9936

Columns 43 through 49

-5.2521 -4.4628 -3.6217 -2.7244 -1.7660 -0.7413 0.3560

Columns 50 through 52

1.5328 2.7972 4.1589

N_Kuv =

Columns 1 through 7

-47.9375 -47.7891 -47.5940 -47.3589 -47.0897 -46.7911 -46.4669

Columns 8 through 14

-46.1206 -45.7551 -45.3728 -44.9759 -44.5661 -44.1452 -38.6279

Columns 15 through 21

-38.6569 -38.6774 -38.6903 -38.6966 -38.6970 -38.6923 -38.6830

Columns 22 through 28

-38.6695 -38.6523 -38.6316 -38.6076 -38.5804 -38.5804 -38.5573

Columns 29 through 35

-38.5454 -38.5445 -38.5546 -38.5752 -38.6061 -38.6467 -38.6966

Columns 36 through 42

-38.7549 -38.8210 -38.8940 -38.9727 -43.8003 -44.2859 -44.7747

Columns 43 through 49

-45.2651 -45.7551 -46.2428 -46.7255 -47.2005 -47.6644 -48.1132

Columns 50 through 52

-48.5422 -48.9457 -49.3168

****f değerini giriniz 7.2****

v_a =

29

v_b =

31

r =

13.6000

h =

24.9025

MOM =

Columns 1 through 7

0.0000 -7.0453 -11.2818 -13.4937 -14.1598 -13.5979 -12.0320

Columns 8 through 14

-9.6265 -6.5064 -2.7691 1.5080 6.2623 11.4429 11.4429

Columns 15 through 21

9.0073 6.9207 5.1536 3.6816 2.4842 1.5443 0.8480

Columns 22 through 28

0.3839 0.1430 0.1185 0.3057 0.7018 0.7018 1.2432

Columns 29 through 35

1.8685 2.5805 3.3839 4.2855 5.2943 6.4217 7.6816

Columns 36 through 42

9.0911 10.6707 12.4448 14.4429 14.4429 9.6998 5.2580

Columns 43 through 49

1.1684 -2.5064 -5.6890 -8.2820 -10.1604 -11.1598 -11.0562

Columns 50 through 52

-9.5318 -6.1078 0.0000

K_Kuv =

Columns 1 through 7

-8.3258 -5.8430 -3.6763 -1.7486 -0.0115 1.5678 3.0129

Columns 8 through 14

4.3418 5.5687 6.7047 7.7593 8.7403 9.6543 -4.7045

Columns 15 through 21

-4.1261 -3.5756 -3.0496 -2.5454 -2.0603 -1.5917 -1.1373

Columns 22 through 28

-0.6948 -0.2619 0.1635 0.5835 1.0000 1.0000 1.1654

Columns 29 through 35

1.3324 1.5042 1.6839 1.8745 2.0794 2.3019 2.5454

Columns 36 through 42

2.8137 3.1106 3.4402 3.8070 -8.7568 -8.0815 -7.3306

Columns 43 through 49

-6.4962 -5.5687 -4.5370 -3.3877 -2.1044 -0.6663 0.9541

Columns 50 through 52

2.7942 4.9088 7.3846

N_Kuv =

Columns 1 through 7

-37.3071 -37.3931 -37.2910 -37.0585 -36.7306 -36.3308 -35.8756

Columns 8 through 14

-35.3770 -34.8443 -34.2846 -33.7035 -33.1058 -32.4951 -25.4363

Columns 15 through 21

-25.4040 -25.3644 -25.3197 -25.2717 -25.2218 -25.1715 -25.1216

Columns 22 through 28

-25.0730 -25.0263 -24.9822 -24.9408 -24.9025 -24.9025 -24.8765

Columns 29 through 35

-24.8719 -24.8885 -24.9259 -24.9837 -25.0612 -25.1575 -25.2717

Columns 36 through 42

-25.4024 -25.5482 -25.7073 -25.8775 -32.0539 -32.7473 -33.4462

Columns 43 through 49

-34.1467 -34.8443 -35.5333 -36.2065 -36.8547 -37.4659 -38.0235

Columns 50 through 52

-38.5043 -38.8729 -39.0718