

46201

**KİRİŞSİZ DÖŞEMELERDE EFFEKTİF DÖŞEME GENİŞLİKLERİN ARAŞTIRILMASI
YAPI SİSTEMLERİNİN HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mulu DEJENE

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih :16 Ocak 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 3 Şubat 1995

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ahmet I. SAYGUN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Sumru PALA

: Doç. Dr. Metin AYDOĞAN

**F.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ŞUBAT 1995

ÖNSÖZ

Zamanımızda her sektörde olduğu gibi yapı mühendisliğinde de ekonomi şartları yapı güvenliği ile birlikte önem kazanmaktadır. Yapı güvenliği ile ekonomi koşullarının detaylı olarak incelenebilmesinin ana sebebi de bilgisayar teknolojisinin getirmiş olduğu kolaylıklar ve hesap yöntemlerindeki gelişmelerdir. Bu kolaylıklar yapıların gerçek davranışlarının incelenmesine imkan sağlamaktadır. Yapılara uygulanan dış etkiler altında ortaya çıkacak iç kuvvetlerin ve yapıların davranışlarının elde edilmesi de ekonomik yapıların gerçekleştirilmesine geniş bir yol açmaktadır.

Bu tezin hazırlanmasında bana imkan sağlayan ve yol gösteren değerli hocam sayın Prof.Dr.Ahmet I. SAYGUN'a ve yardımlarını esirgemeyen Araş.Gör. sayın Mecit ÇELİK'e, ayrıca öğrenimim sırasında değerli bilgilerinden yararlandığım başta Prof.Dr.Adnan ÇAKIROĞLU, Prof.Dr. Erkan ÖZER, Doç.Dr.Sumru PALA olmak üzere Yapı Statiği Çalışma Grubu'nun tüm elemanlarına sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 1995

Mulu DEJENE

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖZET	ii
SUMMARY	vi
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. KİRİŞSİZ DÖŞEMELERDE PERDE VE KOLON ÇERÇEVE SİSTEMLERİN YATAY YÜKLERE GÖRE HESABINDA ÇALIŞAN EFFEKTİF DÖŞEME GENİŞLİKLERİN SONLU ELEMANLAR METODUYLA ARAŞTIRILMASI	3
2.1. Giriş	3
2.2. Verilen Sistem	4
2.3. Sistemin İdialize Edilmesi	5
2.4. Eleman Rijitlik Matrisi	6
2.5. Sistem Rijitlik Matrisin Kurulması	
2.6. Hazır Bilgisayar Programıyla Sistemin İncelenmesi	10
2.6.1. Gözönüne Alınan Sistem İç Aks Ve $L_x=L_y=5.00m$ İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Durum	10
2.6.1.1. Birinci Düğüm Noktasında Noktasal Kolon Varken Çözüm.....	12
2.6.1.2. Perde Genişliği $W=1.00$ m İken Durum ..	17
2.6.1.3. Perde Genişliği 2 m İken Durum ..	
2.6.1.4. Perde Genişliği 3 m İken Çözüm	23
2.6.2. Gözönüne Alınan Sistem İç Aks Ve $L_x=5m$, $L_y=4m$ İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Çözüm	26
2.6.2.1. Birinci Düğüm Noktada Kolon Varken Çözüm..	26
2.6.2.2. Perde Genişliği 1m İken Çözüm	33
2.6.2.3. Perde Genişliği $W=2m$ İken Çözüm	33
2.6.2.4. Perde Genişliği 3 m İken Çözüm	37
2.6.3. Kenar Mesnetteki Perdeye Bağlanan Döşeme Hali	38
2.6.3.1. Sistem X Doğrultusunda Tek Açıklıklı Kenarda Ve $L_x=L_y=5$ m İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Durum	41

2.6.3.1.1. 1 Noktalarında Naktasasal Kolon İçin Çözüm	42
2.6.3.1.2. Perde Genişliği 0.5m İken Çözüm	44
2.6.3.1.3. Perde Genişliği 1.00m İken Çözüm	48
2.6.3.1.4. Perde Genişliği 1.5m İken Çözüm	51
2.6.3.2. Gözönüne Alınan Sistem Kenarda ve $L_x=5m$, $L_y=4m$ İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Durum	55
2.6.3.2.1. Birinci Düğüm Noktada Kolon Var İken Çözüm	56
2.6.3.2.2. Perde Genişliği 0.50m İken Çözüm	59
2.6.3.2.3. Perde Genişliği 1m İken Çözüm	62
2.6.3.2.4. Perde Genişliği 1.5m İken Çözüm	66
BÖLÜM 3 YAPI SİSTEMLERİN HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	71
3.1. Giriş	71
3.2. Seçilen Sistemin Geometrik Özellikleri ve İşletme Yükleri	72
3.3. Yapının Ön Boyutlandırılması	73
3.3.1. Döşeme Hesapları	73
3.3.2. Çerçeve Ön Boyutlandırılması	77
3.3.2.1. Ön Boyutlandırılmada İzlenen Yol	77
3.4. Sabit Yükler İçin AÇI Yöntemiyle M, N, T, Diyagramlarının Çizilmesi	78
3.4.1. Açı Yöntemiyle Hesap	79
3.4.2. Birim Deplasman Sabitleri	79
3.4.3. Ankastrelik Momentlerin Hesabı	83
3.4.4. Denklem Takımı ve Çözümü	84
3.4.5. Süperpozisyon Denklemiyle Uç Momentlerin Hesabı	84
3.4.6. K.S.D. Kontrolü	86
3.4.7. Normal Kuvvet Ve Kesme Kuvvetinin Hesabı....	87
3.4.8. Kesit Tahkiki	89
3.5. P_1 , P_2 ve P_3 Yükleri İçin Ayrı Ayrı Matris Kuvvet Yöntemi İle M, N, T, Diyagramlarının Çizimi	92
3.5.1. Grup Yükleme ve Moment Diyagramları	98
3.5.2. P_1 Yükleme İçin	99
3.5.3. P_2 Ve P_3 Yükleme İçin Hesap	108
3.5.3.1. P_2 Yükleme İçin δ_{io} nin Hesabı	110
3.5.3.2. P_3 Yükleme İçin δ_{io} nin Hesabı	110
3.5.4. Kritik Noktadaki Momentlerin Hesabı	111
3.5.5. Normal ve Kesme Kuvvetlerin Hesabı	112

3.6. W Yüğü İçin Cross Yöntemiyle M, T, N, Diyagramlarının Çizimi	118
3.7. $t=20^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Değişmesi ve Şekilde Verilen Mesnet Çökmeleri İçin Ayrı Ayrı Matris Deplasman Yöntemiyle M, N, T, Diyagramlarının Çizilmesi	125
3.7.1. $t=20^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Değişmesi İçin Matris Deplasman Yöntemi İle M, N, T, Diyagramlarının Çizilmesi	146
3.7.1.1. $t=20^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Değişmesinden Meydana Gelen Yükleme Matrisleri	148
3.8. Kritik Kesitlerde En Elverişsiz Tesislere Göre Kesit Hesabı	157
3.9. Endirekt Deplasman Metoduyla Tesir Çizgilerinin Çizilmesi	166
3.9.1. Endirekt Bir AÇI Metodu	166
3.9.2. Tesir Çizgilerinin Çiziminde İzlenen Yol ...	169
3.9.3. Bilinmeyenlerin Tayini	171
3.9.3.1. Süreklilik Denklemleri İle Bağımsız Uç Deplasmanlarının Belirlenmesi	171
3.9.4. Denklem Takımı	173
3.9.4.1. $M_1=1$ kNm İçin Çözüm ve Gerekli Kuvvetleri.	173
3.9.4.2. $M_2=1$ kNm İçin Çözüm ve Gerekli Kuvvetleri.	175
3.9.4.3. $M_2=1$ kNm İçin d Kesidindeki Kuvvetler	176
3.9.4.4. $X_1=1$ kN İçin Çözüm ve Gerekli Kuvvetleri..	176
BÖLÜM 4. SONUÇLAR	201
4.1. Kirişsiz Döşemelerde Perde ve Kolon Çerçeve Sistemlerinin Yatay Yüklere Göre Hesabında Çalışan Etketif Döşeme Genişliklerin Sonlu Elemanlar Metodu İle Araştırılması	201
4.2. Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması	202

KAYNAKLAR

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Yüksek Lisans Arastırma Tezi olarak hazırlanan bu çalışma iki bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, kolon veya perde düşey taşıyıcı elemanları, katlar hizasında kirişsiz döşemelerle bağlanan çok katlı yapıların yatay yüklere göre hesabında, çalışan efektif döşeme genişliği Sonlu Elemanlar Yöntemi ile araştırılmıştır.

İkinci bölümde, üç açıklı kırık çubuklu bir sistem üzerinde farklı hesap yöntemlerinin uygulanması ve karşılaştırılması yapılmıştır.

İkinci bölümün sonunda Endirekt Deplasman metoduyla iki kesitte M, T, N kesit tesirlerine ait tesir çizgileri çizilmiştir.

Önce açı yöntemi ile yapı ön boyutlandırılmış daha sonra aynı yöntem ile, sabit yüklere göre kesin hesap yapılmıştır. Kare kesiti (P_1 , P_2 , P_3) yükleri için ayrı ayrı Matris Kuvvet Yöntemi, yatay w yükleri için Cross Yöntemi' t düzgün sıcaklık değişmesi ve mesnet çökmeleri için ayrı ayrı Matris Deplasman Yöntemiyle sistemin hesabı yapılmıştır ve M, N, T diyagramları çizilmiştir.

Daha sonra en elverişsiz kesit zorlarına göre betonarme sistemin kesit hesabı yapılmıştır.

Önce verilen sistemin idialize edilmiştir. Bu sistem sonlu elemanlar metoduyla incelenmek üzere 20 eşit elemana ayrılmıştır. Daha sonra eleman rijitlik matrisi kurulmuştur. Bu eleman rijitlik matrisinden sistem rijitlik matrisine geçilmiştir. Sistem değişik perde genişlikleri ve sınır şartları altında incelenmiştir. Araştırmada plak birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanmıştır. Ayrıca plaktaki eğilme moment dağılımı da çizilmiştir.

Effektif döşeme genişlikleri ile plak birim deplasman sabitleri Kaynak [8] ve [9]'daki verilen formüllerden bulunan değerlerle karşılaştırılmıştır.

SUMMARY

DETERMINATION OF THE EFFECTIVE DISTANCE OF A FLAT SLAB WITH COLUMN AND THEAR WALL UNDERN LATERAL FORCE

This study prepared as a masters thesis,, consists of four sections: These are,

I Introduction

II. Determination of the effective distance of a flat slab with column and shear wall under lateral force.

III. Comparision of methods of structural analysis.

IV. The final results of the research.

In the introduction the general condition of the given system is defined.

In section two the effective distance of a flat slab with column and thear wall has been researched under diferent lengths of shear which has lateral external force wall. The method used to research the given system is "The finite element methods in engineering science". This method is useful for analysing the internal forces of the plate at every point. The structural system analyzed in flat slab. The effective distance of the flat slab with column and shear wall has been researched under different structural conditions. These are:

1. The flat slab is multi-spanned in every direction which has two dimentions. These dimentions are.

- The distance of the spans in every direction is 5 m.

- The distance of the spans at x direction in 5 m and at y diretion 4 m.

2. The flat slab is single-spaned of x direction and multi-spanned at y direction. The spans have two dimensions which are

- The distance of the spans in every direction is 5 m.
- The distance of the spans at x direction is 5 m and at y direction 4 m.

As we have seen in section 2.2 the given system and the subject of the research have been explained.

In section number 2.3 of this part the given flat slab system has been idealized. The system is symmetrical according to 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 25, 26, 27, 28, 29, 30 axes. Also non symmetrical according to 1, 2, 13, 19, 25 and 6, 12, 18, 24, 30 axes. (see fig. 2.2) This system is divided into 20 sub-structural elements or members. Each member can have two dimensions, which are $0.5 \text{ m} \times 0.625 \text{ m}$ when $L_x = L_y = 5 \text{ m}$ and $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ when $L_x = 5 \text{ m}$ and $L_y = 4 \text{ m}$. In this system there are 30 joints. (see fig. 2.3)

In section 2.4 of this part the stiffness matrix of the element has been calculated. The system stiffness matrix has been also calculated from the element stiffness matrix. This stiffness matrix of the system has 90 unknowns and 90 linear equations. The band width of this matrix is 24. The linear simultaneous equations have been solved by computer using packed program. The given system has been analysed 16 times for two structural conditions and 16 different widths of the shear wall. For each analysis.

- The effective width of the flat slab and the unit stiffness constant have been calculated.
- The distribution of the bending moment along the 1, 7, 13, 19, 25 axis and 1, 2, 3, 4, 5, 6 axis has been drawn on the diagram. Comparison of methods structural analysis.

The third chapter covers the preliminary and final designs of a reinforced concrete frame by various analysis methods under different external loading conditions.

The preliminary design of the system has been done by the slope-deflection method under both dead and live loads. In the preliminary design of the structural system realistic member sizes can be obtained by decreasing the characteristic strengths of material in some proportion since only the dead loads and live loads are considered.

The final design of the system has been solved using the slope-deflection method under dead load only. The analysis by the slope-deflection method is in fact an application of the more general displacement method of analysis to plane frames in which only the bending deformations are considered. There is no inherent

advantage in using the slope-deflection technique but a general outline of slope-deflection procedure is considered useful.

In chapter number 3.5 the final design of the system has been analysed using matrix force method. Under the live load. In the matrix force method the unknowns are the end forces of members which forms the structure. In this method first the number of forces which are equal to the number of unknown (the degree of indeterminacy) are released. Each release can be made by the removal of either support reactions or internal forces.

In this method analysis can be made with less unknowns for the system having more members in a frame. Further it is possible to obtain equations with sufficient stability with narrow band width by means of the freedom in choosing unknowns.

In the chapter number 3.6 the system has been solved or analyzed by moment distribution (cross) method under horizontal force which can come from wind or earthquake. In the moment distribution method the joint displacements are first assumed restrained. The effect of joint displacements is then introduced by successive iterations, which can be continued to any desired precision.

In moment distribution generally no equations are solved to find the joint displacements, instead these displacements are allowed to take place in succession and their effect on the end moments is introduced as a series of successive conversions has made the moment distribution method an extremely popular one, especially when the calculations are done by a slide rule.

The moment distribution procedure yields bending moments, and it is the value of the moments that are generally needed for design; thus we avoid the tedious procedure of first finding the joint displacements and then calculating the moments. A further advantage of the moment distribution procedure is that it is easily remembered and easily applied.

In the chapter number 3.7 of this part the uniform temperature changes have been taken into account as an external effect on the structure. Uniform change of temperature is the change of temperature at the centerline of members. Because of this effect the internal forces occur in statically indeterminate structures. In order to determine these internal forces matrix displacement method is used. Additionally the structural system has been analyzed using the same method for

different support settlements. In the matrix displacement method the unknowns are the joint translations and rotations. This method is more convenient for those systems having high degree of statical indeterminacy. In other words, for systems which have more members of the structural elements meeting at joints, this method enables designer to deal with less unknowns. Although the band width of simultaneous equations is limited and there is no elasticity in choosing the unknowns, generation of the stiffness matrix is usually practical because of localized effect, that is a displacement of a joint effects only the matrix displacement method and thus method is more suitable for computer programming.

At the end of analysis calculations the dimensions of the critical cross-sections obtained from the preliminary analysis are checked under the most unsuitable loading conditions. These loading conditions are several combinations which consider different external effects acting in certain proportions according to Turkish Design code.

In this study, it is observed that the most unsuitable loading condition is obtained from the following combination.

$$1.4G + 1.6Q$$

where

G : Dead load

Q : Live load

Finally in the chapter numbered 3.9 of this part the effect of live loads which can have different positions on a structure can be conveniently analyzed and succinctly described in graphical form by the use of influence lines. An influence line shows the value of any action due to a unit point load moving across the structure. For example, the influence line for the bending moment at a section of a continuous beam shows the variation in the bending moment at this section as a unit transverse load transverse the beam.

The influence lines for bending moment, axial force and their force of two given section are obtained by means of Endirect Displacement Method which is an efficient and reliable method.

The final results of the research has been explained under chapter 4. In this chapter the result consists two chapters. Which are chapter 2 and chapter 3.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Pek çok yapıda taşıyıcı perdelerin bağlantıları yalnız kat döşemeleri ile sağlanır. Bu durumda, yanal yük analizinde kat döşemelerinin eğilme rijitliğinin ihmal edilmesi yanal yükler altında düşey taşıyıcıların konsol giriş gibi davrandığı kabulüne neden olmaktadır.

Gerçekte ise, plan ve boyutlara bağlı olarak, kat döşemeleri, duvar kalınlığından daha büyük olan bir etkili genişliğe sahip olabilir ve kat döşemelerinin eğilme rijitliği ihmal edilemeyecek değerlere ulaşır. Bu da perde momentlerinde azalma ve tüm binanın yanal rijitliğinin önemli bir şekilde artışını sağlar. Bu davranış, kiriş ile bağlanan boşluklu perdelerde eğilme momentlerinin azalmasına benzerdir.

Diğer yandan, düşey taşıyıcılar civarındaki döşemelerde yatay yükler altında eğilme ve ek kayma gerilmeleri ortaya çıkacaktır.

[8]'de döşemenin ne kadarlık bir genişliğinin perdelerle birlikte çalışacağını belirlemek için, kirişsiz döşemenin, perde genişliği kadar kısmı, burulma rijitliği olan bir yastık kiriş gibi düşünülmüş, perdeler arasındaki serbest açıklık hizasındaki kısım ise bu yastık kirşilere oturan nervürler şeklinde idealize edilmiştir. Bu kabuller altında efektif döşeme genişliğini veren formüller elde edilebilmektedir. Aynı makalede efektif genişlik için daha basit ampirik formüller de önerilmiştir.

Tezin birinci bölümünde farklı aks aralıkları, sınır şartları ve perde genişlikleri için, döşeme plağı sonlu elemanla idealize edilecek, perdenin birim dönmesi bu plağın perdeye oturduğu noktalarda mesnet çökmesi şeklinde göz önüne alınacak, sonlu eleman çözümünden elde edilen değerlerle döşeme plağının birim dönmeye karşı gelen $m_{\theta i}$ birim deplasman sabiti bulunacaktır. Döşeme ile aynı yükseklikte eşdeğer birim deplasman sabiti olan kirişin genişliği bulunarak çalışan efektif döşeme genişliğine geçilecektir. Sonlu elemanlar yöntemi ile bulunan değerler [8]'de verilen formüllerden elde edilenlerle karşılaştırılacaktır.

Tezin ikinci bölümünde üç açıklıklı, kırık çubuklu, tek katlı bir çerçeve sisteminin değişik yükler altında çözümü, farklı hesap yöntemleri kullanılarak yapılmıştır.

BÖLÜM 2. KİRİŞSİZ DÖŞEMELERLE BAĞLANMIŞ PERDE ve KOLON ÇERÇEVE SİSTEMLERİN YATAY YÜKSLERE GÖRE HESABINDA ÇALIŞAN EFFEKTİF DÖŞEME GENİŞLİKLERİN SONLU ELEMANLAR METODUYLA ARAŞTIRILMASI

2.1. Giriş

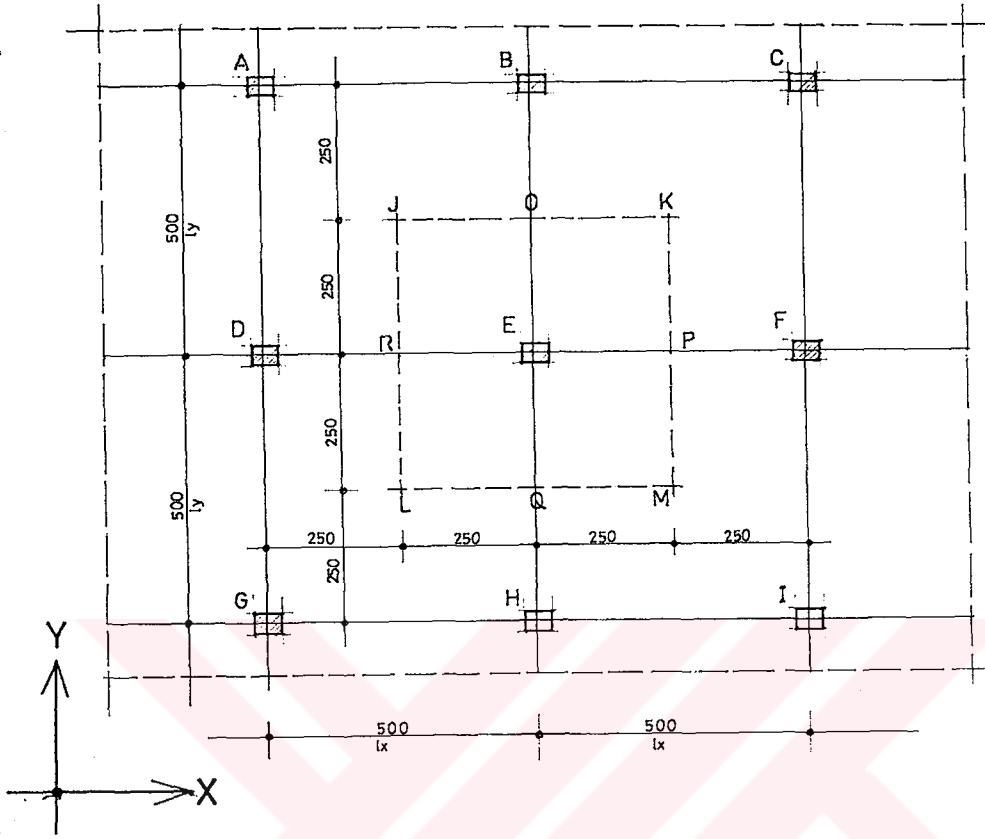
Kirişsiz döşemelerde perde ve kolon çerçeve sistemlerin yatay yüklere göre hesabında çalışan efektif döşeme genişliklerinin sonlu elemanlar metoduyla araştırılması çeşitli aks aralıkları ve perde genişlikleri altında yapılacaktır.

1. Hem perde doğrultusunda, hem perdeye dik doğrultuda çok sayıda eşit açıklıklı olduğu kabul edilen sistemin bir iç açıklığı için,

2. Perde doğrultusunda tek açıklıklı, perdeye dik doğrultuda çok açıklıklı olduğu kabul edilen sistemin bir ara açıklığı için, çalışan efektif döşeme genişlikleri ve plak birim deplasman sabitleri çeşitli perde boyları için hesaplanacaktır.

Bulunan sonuçlar [8]'de verilmiş formüllerden elde edilenlerle karşılaştırılacaktır.

2.2. Verilen Sistem



Şekil 2.1. Verilen Sistem ve Parametreleri

İstenenler

Kirişsiz döşemelerde perde ve kolon çerçeve sistemlerin yatay yüklere göre hesabında çalışan efektif döşeme genişliklerin sonlu elemanlar metoduyla araştırılması aşağıdaki özel haller için yapılacaktır:

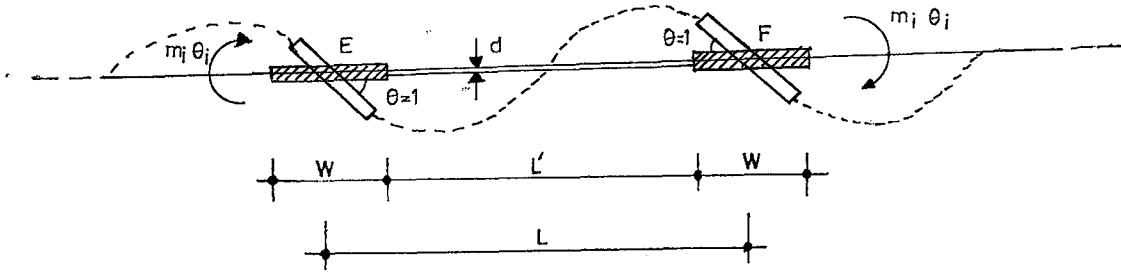
1- Her iki doğrultuda sistem çok açıklıklı ve eşit aralıklı kabul edilecektir. Bütün çözümlerde

$L_x = 5 \text{ m}$ alınacaktır.

$L_y = 5 \text{ m}$ ve 4 m olması için ayrı ayrı çözümler bulunacaktır.

2- Aynı hesaplanan sistemin x doğrultusunda tek açıklıklı y doğrultusunda çok açıklıklı olması halinde herhangi bir

ara aks için tekrarlanacaktır.



Her iki halde de W/L ve L_y/L_y 'lerin çeşitli oranları için L_{effektif} genişlikleri hesaplanacaktır.

Tablo 2.1. $W/2$ ve L' Sayısal Değerleri

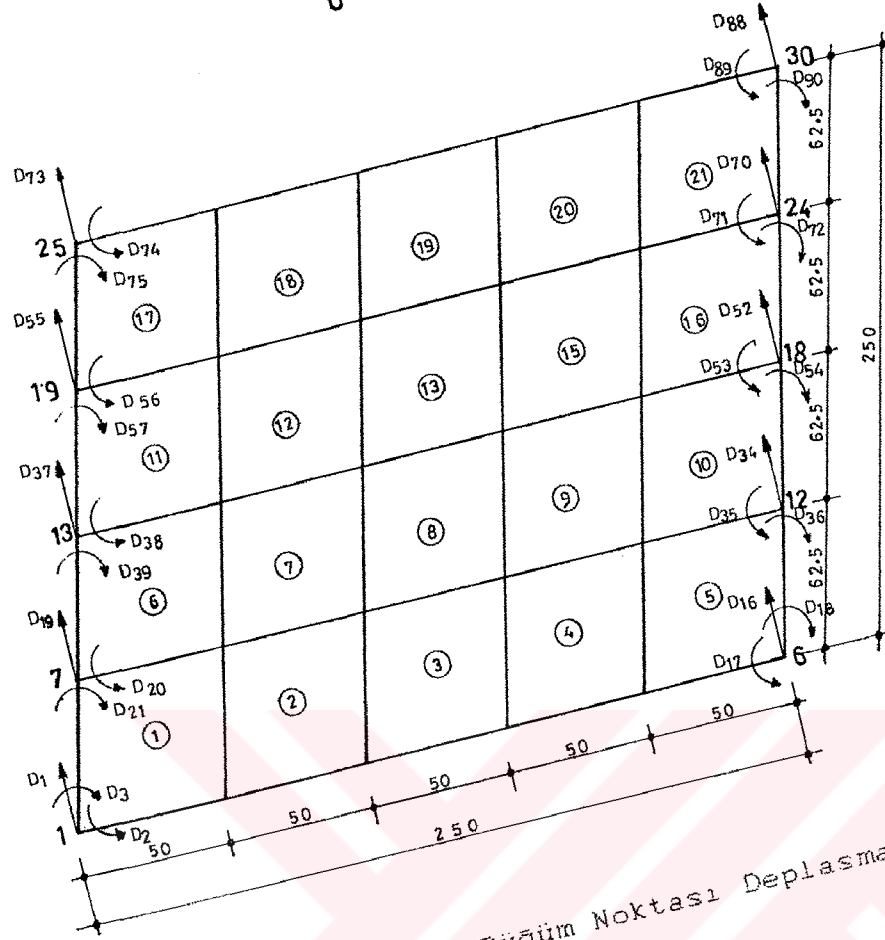
$W/2$	L'
0	5.00
0.5	4.00
1.00	3.00
1.5	2.00

($L_x = L_y = 5 \text{ m}$)

($L_x = 5 \text{ m}, L_y = 4 \text{ m}$)

2.3. Sistemin İdealize edilmesi

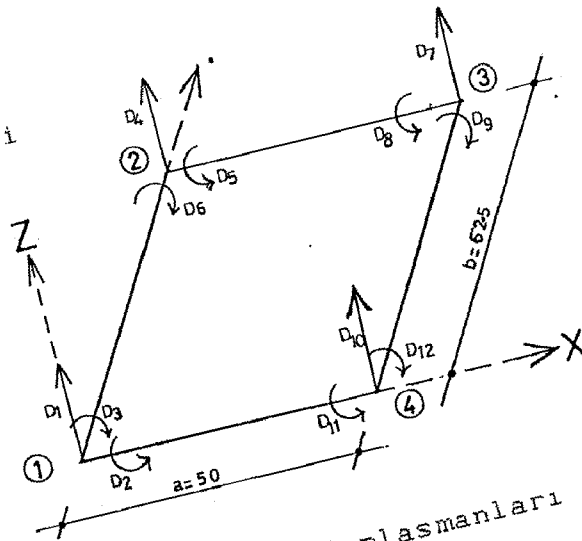
Şekil 2.1'de verilen sistemde JKLM dikdörtgen bölgesi E noktasında kolon ve çeşitli genişlikte perde var iken ayrı ayrı incelenecektir. Bu sistem JOK ile REP eksenlere göre simetrik, QEO ile MPK eksenlere göre de antimetrik olduğu için sistemin dörtte birini yani EPKO dikdörtgeni gözönüne alıp incelemek yeterlidir. Bu sistem sonlu elemanlar metoduyla incelenmek üzere 20 eşit elemanla bölünmüş, sistemin her düğüm noktasında meydana gelecek deplasmanlar ile beraber Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Rijit perde veya kolonun bulunduğu E noktasında birim dönme verilir. Bu kabul altında çeşitli perde genişlikleri için inceleme yapılacaktır.



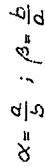
Sekil 2.2. Sistem Düzüm Noktası Deplasmanları

Bölünmüş sistemde bulunan 20 eleman birbirlerine eşit oldukları için tek bir eleman rijitlik matrisinden sistem rijitlik matrisini kurmak mümkündür.

2.4. Eleman Rijitlik Matrisi



Sekil 2.3. Eleman Düzüm Noktası Deplasmanları



Örnek 2.4 İki Birim Deplasman Matrisi:

Yukarda β , α ve γ cinsinden formul olarak ifade edilen eleman rijitlik matrisi $a=0.5m$ ve $b=0.625m$ için sayısal olarak aşağıdaki gibidir. Matrisin simetrik olması nedeniyle yalnız esas köşegenin altındaki terimlerin değerleri verilmiştir.

[K]_e=Eh³ /12

1	37.708												
2	3.300	1.382											
3	-5.670	-0.164	1.894										
4	-6.920	-2.972	-2.027	37.70									
5	2.972	0.476	0	-3.300	1.382								
6	-2.027	0	0.671	-5.670	0.164	1.894							
7	-5.691	-0.969	2.290	-25.097	-0.640	5.407	37.708						
8	0.969	0.346	0	-0.640	0.260	0	-3.300	1.382					
9	-2.290	0	0.474	-5.407	0	0.809	5.670	-0.164	1.894				
10	0.640	0.260	5.407	-5.691	0.969	2.290	-6.920	2.972	2.027	37.708			
11	0.640	0.260	0	-0.969	0.346	0	-2.972	0.476	0	3.300	1.382		
12	-5.407	0	0.809	-2.290	0	0.474	2.027	0	0.671	5.670	0.164	1.894	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	

Şekil 2.5. Eleman Rijitlik Matrisi

2.5. Sistem Rijitlik Matrisinin Kurulması

Şekil 2.5'te bulunan eleman rijitlik matrisinden sistem rijitlik matrisine geçilebilir. Bu işi kolaylaştırmak için Tablo 2.1 hazırlanmıştır.

Tablo 2. . Eleman rijitik matrisinden Sistem rijitlik matrisini kurmak için hazırlanan tablo.

Elemanda Param.No	SISTEMDE PARAMETRE NO:																			
	Ele. I	El. II	El. III	El. IV	El. V	El. VI	El. VII	El. VIII	El. IX	El. X	El. XI	El. XII	El. XIII	El. XIV	El. XV	El. XVI	El. XVII	El. XVIII	El. XIX	El. XX
1	1	4	7	10	13	19	22	25	28	31	37	40	43	46	49	55	58	61	64	67
2	2	5	5	11	14	20	23	26	28	32	38	41	44	47	50	56	59	62	65	68
3	3	6	8	12	15	21	24	27	29	33	39	42	45	48	51	57	60	63	66	69
4	19	22	25	28	31	37	40	43	46	48	55	58	61	64	67	73	71	79	82	85
5	20	23	26	29	32	38	41	44	47	50	56	59	62	65	68	74	77	80	83	86
6	21	24	27	30	33	39	42	45	48	51	57	60	63	66	69	75	78	81	84	87
7	22	25	28	31	34	40	43	46	49	52	58	61	64	67	70	76	79	82	85	88
8	23	26	29	32	35	41	44	47	50	53	59	62	65	68	71	77	80	83	86	89
9	24	27	30	33	36	42	45	48	51	54	60	63	66	69	72	78	81	84	87	90
10	4	7	10	13	16	22	25	28	31	34	40	43	46	49	52	58	61	64	67	70
11	5	8	11	14	17	23	26	29	32	35	41	44	47	50	53	59	62	65	68	71
12	6	9	12	15	18	24	27	30	33	36	42	45	48	51	54	60	63	66	69	72

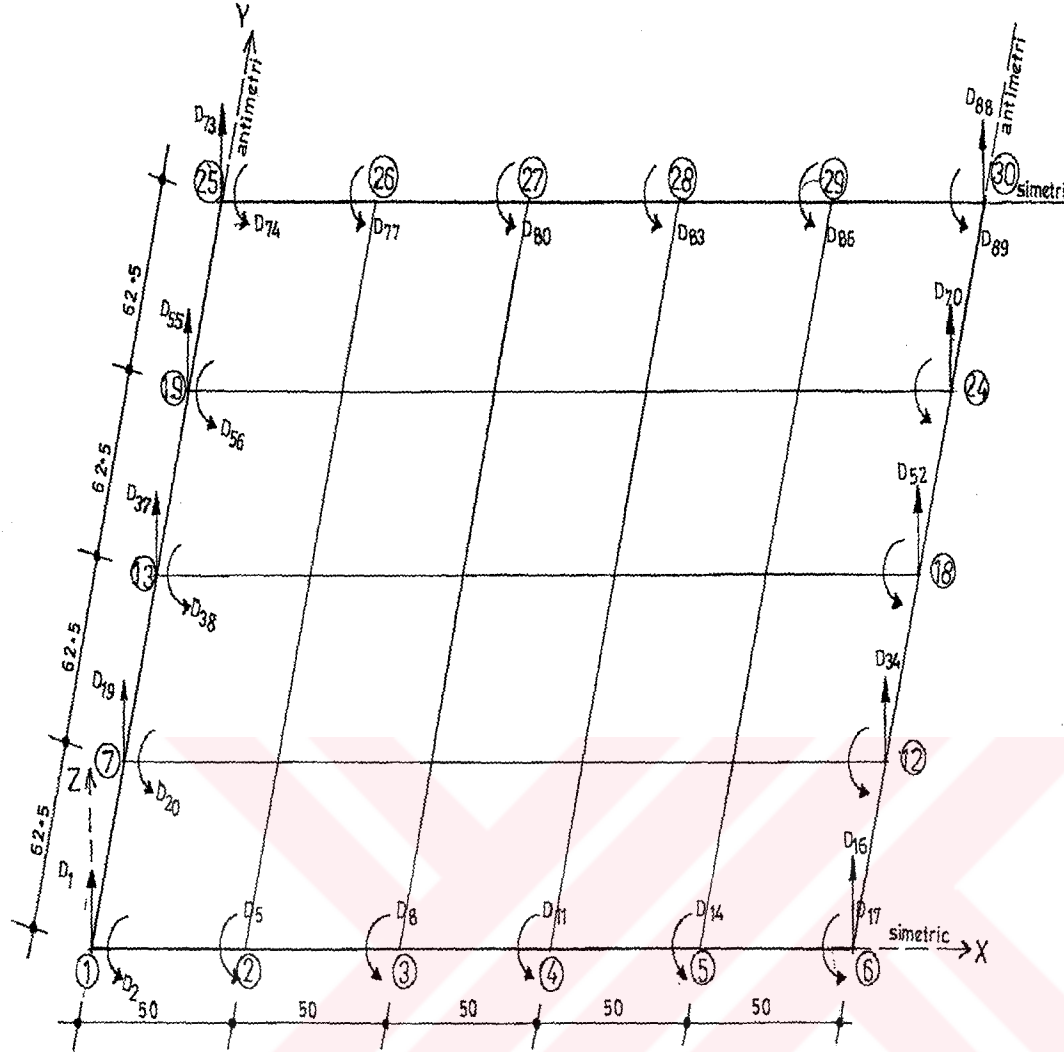
Şekil 2.5. ile Tablo 2.1'i kullanarak sistem rijitlik matris kuruldu. Bölünmüş Sistem 30 düğüm noktasına sahip olduğundan sistem rijitlik matrisi $30 \times 3 = 90$ kolon, satırdan oluşmaktadır. Boyuna 90×90 olan bu matris bant şeklindedir. Bant genişliği ise 24 tür. Bu matris sayısal olarak kurulup denklem takımı çözümü hazır bir bilgisayar programı ile yapıldı.

2.6. Hazır Bilgisayar Programıyla Sistemin İncelenmesi

Sistem rijitlik matrisinin elde kurulması tek bir özel hal için yapılmıştır. Çok sayıda farklı boyutlar ve sınır şartları için hesapların tekrarında, plak sonlu elemanlar rijitlik matrislerini hesaplayıp, sistem rijitlik matrisini otomatik olarak kuran denklem takımı çözen, ayrıca sistem üzerinde moment ve gerilme yayılımını veren hazır bu programdan yararlanılmıştır. Bilgisayardan alınan çıkışlara göre kirişsiz döşemeli kolon ve perde çerçevelerin yatay yüklere göre hesabında çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanmıştır. Bulunan efektif genişlikler referans [8]'den alınan formüllerle bulunan sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Alınan bilgisayar çıkışlarından ayrıca plak üzerinde moment yayılımı da incelenmiştir.

2.6.1. Gözönüne Alınan Sistem İç Aks ve $L_x=L_y=5.00$ m İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Durum

Şekil 2.6.'daki sistem 1.7.13.19 ve 25. ile 6.12.18.24 ve 30 eksenlere göre antimetriktir. Ayrıca 1.2.3.4.5. ve 6 ile 25.26.27.28.29 ve 30 eksenlere göre sistem simetriktir. Simetri ve antimetri nedeni ile 0 olan deplasmanlar Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Simetri ve Antimetri Nedeniyle Sıfır Olan
Düğüm Noktası Deplasman Parametreleri

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi:

- 1.7.13.19.25 eksenine göre antimetri nedeniyle:

$$D_1 = D_{19} = D_{37} = D_{55} = D_{73} = 0 \text{ olur. Ayrıca } D_{20} = D_{38} = D_{56} = 0$$

olacaktır.

- 6.12.18.24 ve 30 eksenine göre antimetri nedeniyle:

$$D_{16} = D_{34} = D_{52} = D_{70} = D_{88} = 0 \text{ olur. Ayrıca } D_{35} = D_{53} = D_{71} = 0$$

olmalıdır.

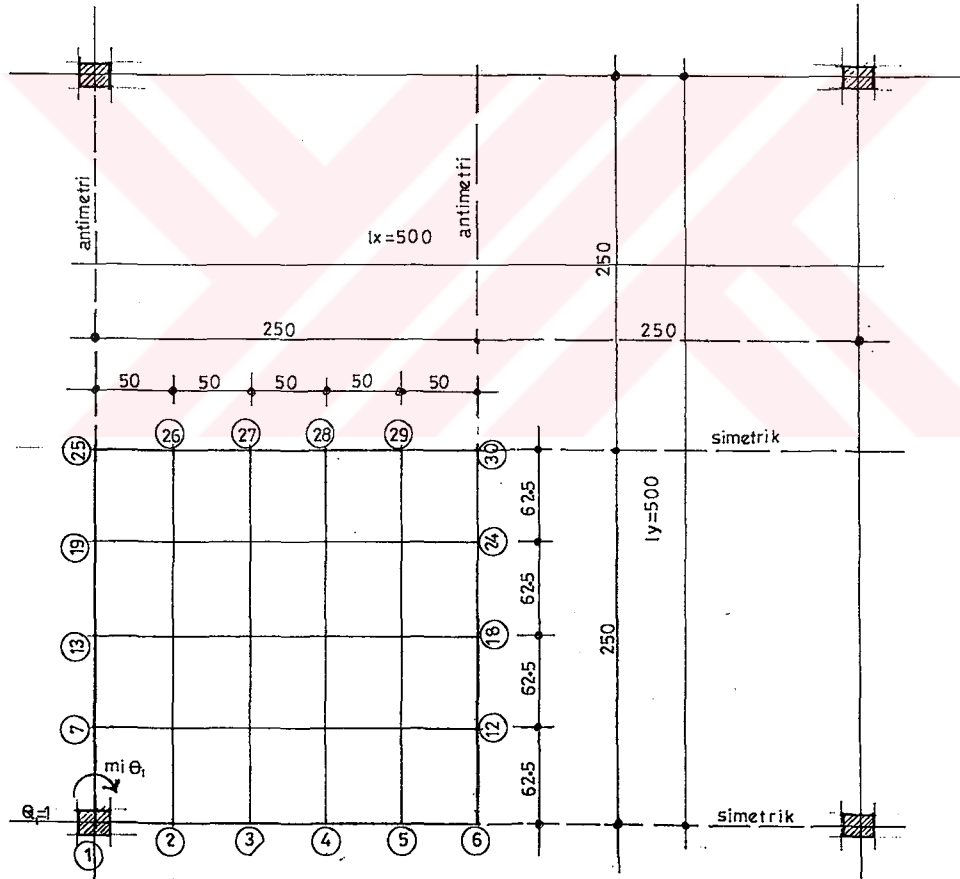
- 1.2.3.4.5 ve 6 eksenine göre simetri nedeniyle:

$$D_2 = D_5 = D_8 = D_{11} = D_{14} = D_{17} = 0 \text{ olur.}$$

- 25.26.27.28.29 ve 30 eksenine göre simetri nedeniyle:

$$D_{74} = D_{77} = D_{80} = D_{83} = D_{86} = D_{89} = 0 \text{ olacaktır.}$$

2.6.1.1. Birinci Düğüm Noktasında Noktasal Kolon Varken Çözüm



Şekil 2.7. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu sistemde perde genişliği sıfır, yani 1.düğüm noktada kolon varken ve bu noktasal kolona birim dönme

verildiğinde, 6.12.18.24.30 mesnetlerinde oluşan mesnet tepkilerinin 1-7 aksına göre momenti $m_{i\theta_i}$ 'yi verecektir.

Hesaplanan sistem gerçek sistemin dörtte biri olduğuna göre tüm plağa ait değer bu değerın 4 katıdır. Bu sisteme ait hazır programa uygun data hazırlanırken döşeme kalınlığı h ve elastisite modülü E , birim genişliğine eğilme rijitliği;

$$D = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} = 1$$

şeklinde seçilmiştir.

Çalışan Effektif Döşeme Genişliği ile Plak Birim Deplasman Sabitin Hesaplanması

Şekil 2.7'de verilen sistemin 1.7.13.19 ve 25 eksenine göre plak birim deplasman sabiti 6.12.18.24 ve 30 eksen boyunca oluşan düşey moment tepkilerin toplamı ile $Lx/2$ 'nin çarpımıdır. Yani mesnet;

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * p * \frac{L}{2} * D \dots\dots\dots (2.1)$$

olarak ifade edilebilir. Burada p Şekil 2.7'deki sistemin 6.12.18.24 ve 30 noktalarında oluşan düşey mesnet tepkileri toplamıdır.

Kullanılan bilgisayar programında sınır şartı olarak herhangi bir deplasman bileşenlerinin sıfırlanması istendiğinde, sistem rijitlik matrisinde o deplasman bileşenine ait esas köşegene 10^{50} gibi büyük bir katsayı konmaktadır. Bunun sonucu bu deplasman için 10^{-50} mertebesinde çok küçük bir sayı elde edilmektedir.

Yapılan bu sayısal işlem, sistemde o deplasman bileşeni doğrultusunda yay katsayısı 10^{50} olan bir

elastik yay koymaya karşı gelmektedir. Bu nedenle denklem takımı çözüldükten sonra o deplasman bileşeni için elde edilmiş 10^{-50} mertebesindeki değer in yay katsayısı ile çarpılması doğrudan o doğrultudaki mesnet tepkisini verecektir.

Buna göre düşey mesnet tepkileri toplamı

$P=10^{50}[d_{1.6}+d_{1.12}+d_{1.18}+d_{1.24}+d_{1.30}]$ şeklinde ifade edilir.

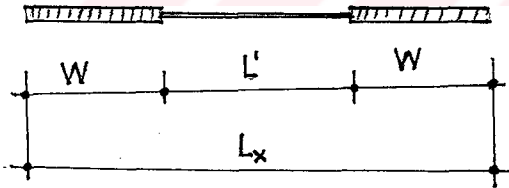
$L/2 = 5/2 = 2.5$ m ve $D = Eh^3/12(1-\nu^2)$ olmak üzere incelenmesi gereken şeklin birim deplasman sabiti

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4p \times 2.5D \quad (2.2)$$

P'nin sayısal değeri

$$P=10^{50}[0.988693 \times 10^{-51} + 0.157295 \times 10^{-50} + 0.808738 \times 10^{-51} + 0.280441 \times 10^{-51} + 0.577885 \times 10^{-52}] = 0.370861$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 \times 0.370861 \times 2.5 \times D = 3.70861D$$



Döşeme kalınlığı ile aynı yüksekliği olan l_e genişlikli, aritmetik şekil değiştiren bir kirişin birim deplasman sabiti ise bilindiği gibi,

$$m_{i\theta_i} = \frac{6 \cdot EI \cdot L_e}{L_x} X_1$$

formülü ile ifade edilebilir. Burada X_1 , kirişin perde içinde kalan kısmının sonsuz rijid gibi davranmasından kaynaklanmakta olup

$$X_1 = (L/L')^3$$

formülüyle hesaplanır.

Sonlu elemanlarla, çözümden elde edilen birim deplasman sabiti bir kolonun sol ve sağ açıklıklarından gelen tesirlerin toplamı olduğundan, elde edilen $m_{i\theta i}$ değerinden efektif genişliğe geçebilmek için

$$m_{i\theta i}(\text{plak}) = 3.70861D = 1 \times \frac{6EI}{L_x} L_e \times X_1$$

eşitliği kullanılarak

$$L_e = \frac{m_{i\theta i}(\text{plak}) L_x}{12 \times X_1 \times EI}$$

formülünü uygulamak gerekir.

$D = EI$ ve noktasal kolonda $X_1 = 1$ olduğundan

$$L_e = \frac{3.70861}{12} \times L_x = 1.545 \text{ m}$$

bulunur.

Karşılaştırma

I. [11]'deki Ampirik Formülle Karşılaştırma

$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(wL'/2)} \right] =$$

$$\frac{5}{2} \left[\frac{5/2}{5(0+5/2)} - \frac{5/2}{1.5(0+5/2)} \right] = 0.75$$

$$L_e = 1.50 \text{ m}$$

$$\frac{m_{i\theta_i}(\text{plak})}{2} = \frac{6L_e x_1 D}{L} = \frac{6 \times 1.50 \times 1 \times D}{5} = 1.80D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.60D$$

II. [11]'deki Nervürlü Kiriş Analogisi Yapılarak Bulunan
Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/5)^3 = 1.00$$

$$x_2 = 1 + 4.9(e/L)^2 = 1.00$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \cdot \frac{x_1}{x_2} \cdot \frac{P^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{1} \times \frac{5^2}{5 \times 0.12} = 31.25$$

$$\beta_1 = 5.59$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 7.904$$

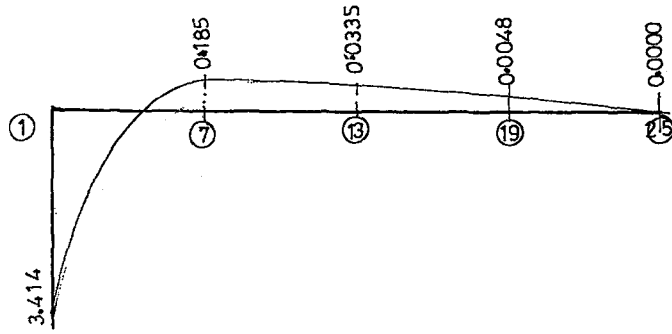
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{5 \tanh 5.4772}{5.4772} = 0.9128$$

$$L_e = 1.265 \text{ m}$$

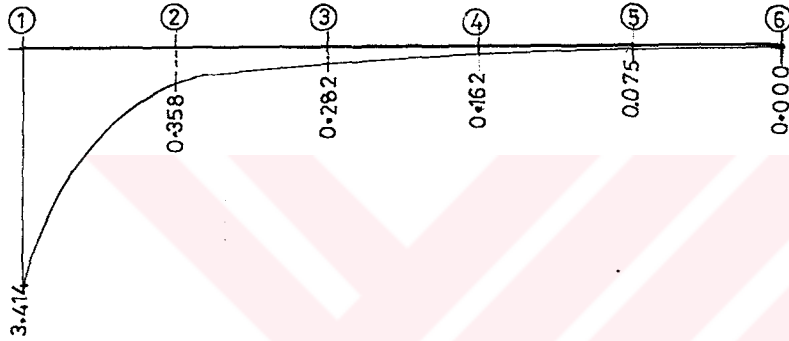
$$\frac{m_{i\theta_i}(\text{plak})}{2} = \frac{6L_e x_1 D}{L} = \frac{6 \times 1.265 \times 1 \times D}{5} = 1.518 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.034 D$$

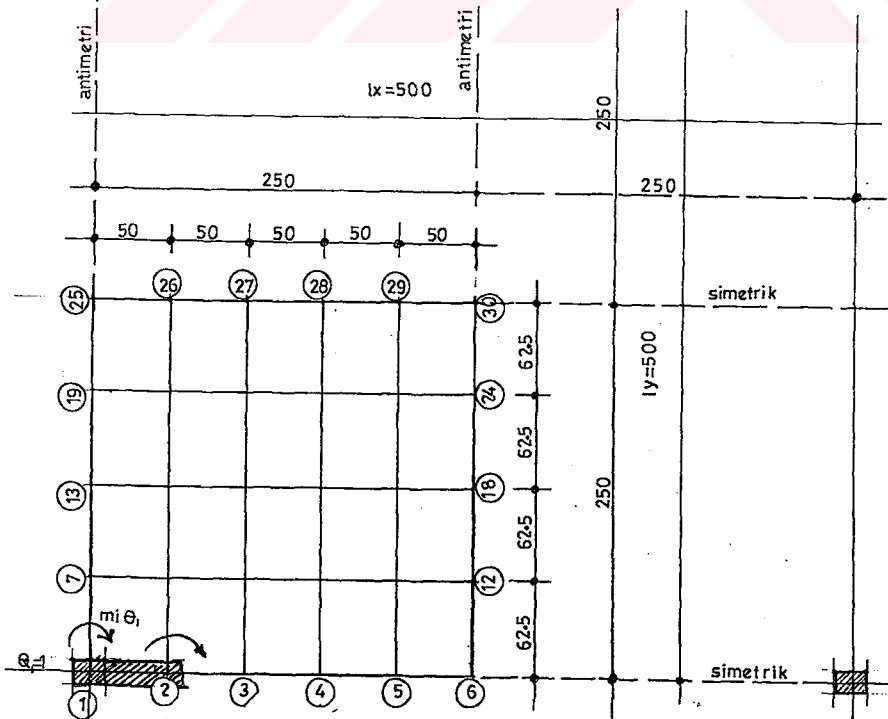
m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Ekseni Boyunca Değişimin Çizilmesi



m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi



2.6.1.2. Perde Genişliği $W = 1.00$ m İken Durum



Şekil 2.8. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu durumda birinci düğüm noktadan ikinci düğüm noktaya kadar rijit perde bulunur. 2.6.1'de verilen sistem özellikleri aynıdır. Ancak genişliği 1m olan rijit perde bulunmasından dolayı perdeye brim dönme verilmesi halinde, mesnet çökmesi olarak verilen yüklemde değişiklik olur.

1 noktası ile beraber 2 noktasının da birim döndüğü 2 noktasının ayrıca eksenden uzaklığı ile orantılı 0.5×1 kadar çöktüğü gözönüne alınacaktır.

Alınan bilgisayar çıktılarından yararlanarak 1.7.13.19 ve 25 eksene göre plak birim deplasman sabiti yani $m_{i\theta_i}$ (plak) hesaplanır. m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 eksene boyunca 1.2.3.4.5 ve 6 eksene boyunca değişimi çizilir.

Plak Birim Deplasman Sabiti Hesaplanması

Plak birim deplasman sabiti hesaplanması için (2.2)'de verilen formül geçerlidir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.318433 * 10^{-50} + 0.489592 * 10^{-50} + 0.233322 * 10^{-50} + 0.742197 * 10^{-51} + 0.139468 * 10^{-51}] = 1.1295$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 1.1295 * 2.5 * D = 11.295 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 11.295 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i} * L}{2 * 6 * x_1} = \frac{11.295 * 5}{2 * 6 * 1.9531} = 2.4096 \Rightarrow L_e = 2.4096 \text{ m.}$$

Karşılaştırma

I. [11]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(wtL'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(wtL'/2)} \right] =$$

$$\frac{4}{2} \left[0.90 + \frac{5/2}{5(1+4/2)} - \frac{4/2}{1.5(1+4/2)} \right] = 1.2445$$

$$L_e = 2.488 D$$

$$\frac{m_{i\theta_i}(\text{plak})}{2} = \frac{6L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 2.4889 \times 1.9531 \times D}{5} = 5.8333D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 11.667D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yapılarak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e D x_1}{L}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4)^3 = 1.9531$$

$$e = 1/3 \times 1 = 0.3333$$

$$x_2 = 1 + 4.9 \times (e/L)^2 = 1 + 4.9 \times (0.3333/5)^2 = 1.0218$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \times \frac{x_1}{x_2} \times \frac{P^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{1.9531}{1.0218} \times \frac{5^2}{5 \times 1} = 7.168$$

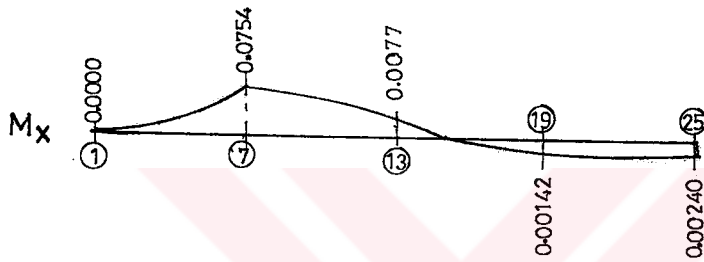
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{5 \tanh 3.786}{3.786} = 1.319$$

$$L_e = 2.638 \text{ m}$$

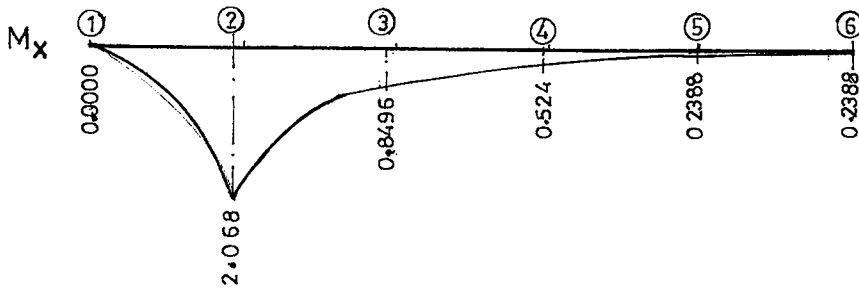
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2*6L_e D}{L} = \frac{2*6*2.638}{5} * 1.8531 = 12.367 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 12.367 \text{ D}$$

m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi

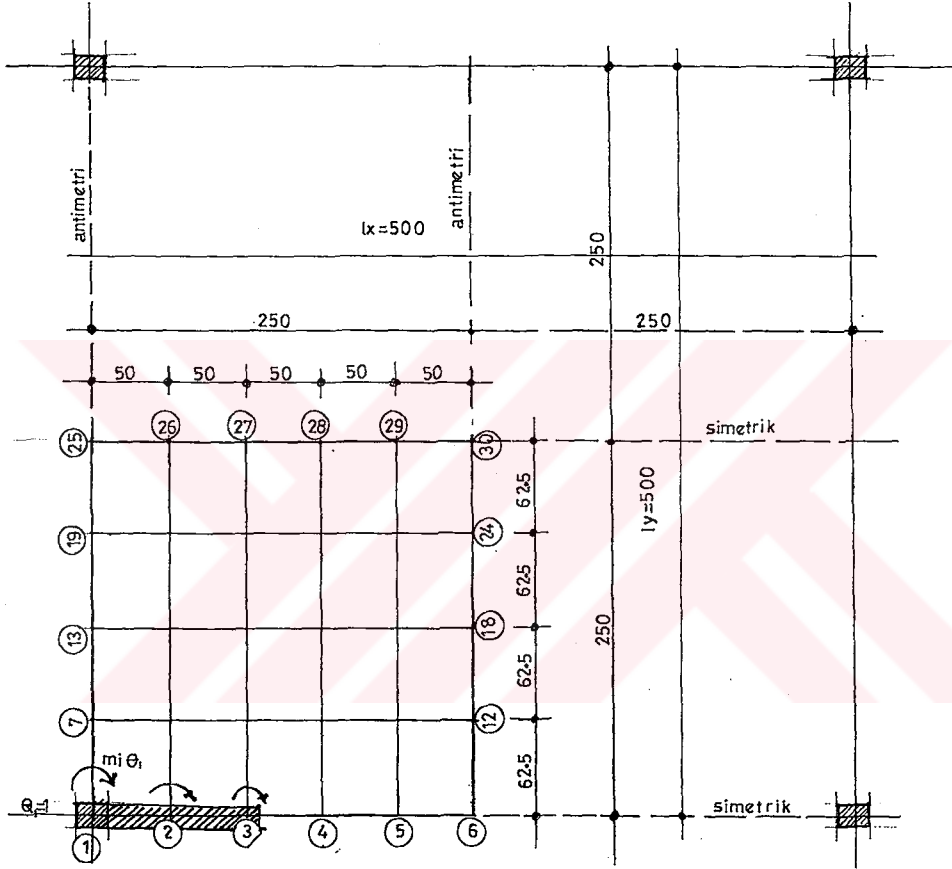


2.6.1.3. Perde Genişliği 2.00 m İken Durum

Bu durumda birinci düğüm noktasından üçüncü düğüm noktasına kadar rijit perde var. Buna göre sınır şartlarında ve yüklemede değişiklik yapılacaktır. Bu değişikliklere uygun olan giriş datası hazırlanıp çözüm

değişikliklere uygun olan giriş datası hazırlanıp çözüm yapıldı. ($d_3=d_6=d_9=1$; $d_1=0$; $d_4=-0.5$; $d_7=-1.0$)

Alınan bilgisayar çıktılarından yararlanılarak 1.7.13. 19 ve 25 aksına göre plak birim deplasman sabiti hesaplanır. Ayrıca aynı aksa ve 1.2.3.4.5 ve 6 aksı boyunca m_x 'in değişimi çizilir.



Şekil 2.9. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Plak Birim Deplasman Sabitinin Hesaplanması

Daha önce (2.6.11)'de verilen formül kullanılarak hesap yapılmıştır.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

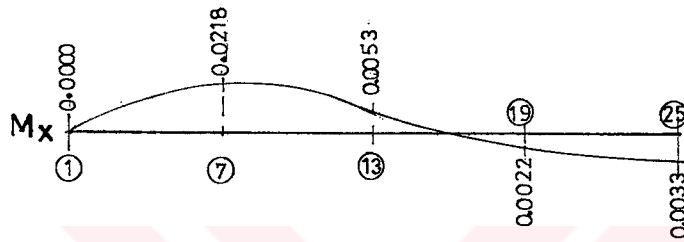
$$P=10^{50}[d_{1.0}+d_{1.12}+d_{1.18}+d_{1.24}+d_{1.30}]$$

$$P=10^{50}[0.824778 \times 10^{-50}+0.112844 \times 10^{-49}+0.421779 \times 10^{-50}+0.104341 \times 10^{-51}+0.141385 \times 10^{-51}]=2.4934765$$

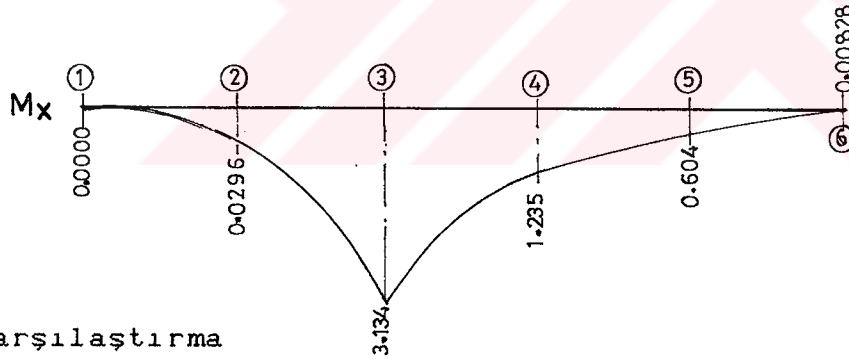
$$m_{i\theta_i}(\text{plak})=4 \times 2.4934765 \times 2.5 \times D = 24.9348D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak})=24.9348D$$

m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi



Karşılaştırma

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] =$$

$$= 3 \left[0.90 + \frac{5/2}{5(2+3/2)} - \frac{3/2}{1.5(2+3/2)} \right] = 2.2714$$

$$L_e = 2.2714$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2 \times 6 L_e \times D}{L} = \frac{2 \times 6 \times 2.2714 \times 4.6296 \times D}{5} = 25.238D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 25.238 \text{ D}$$

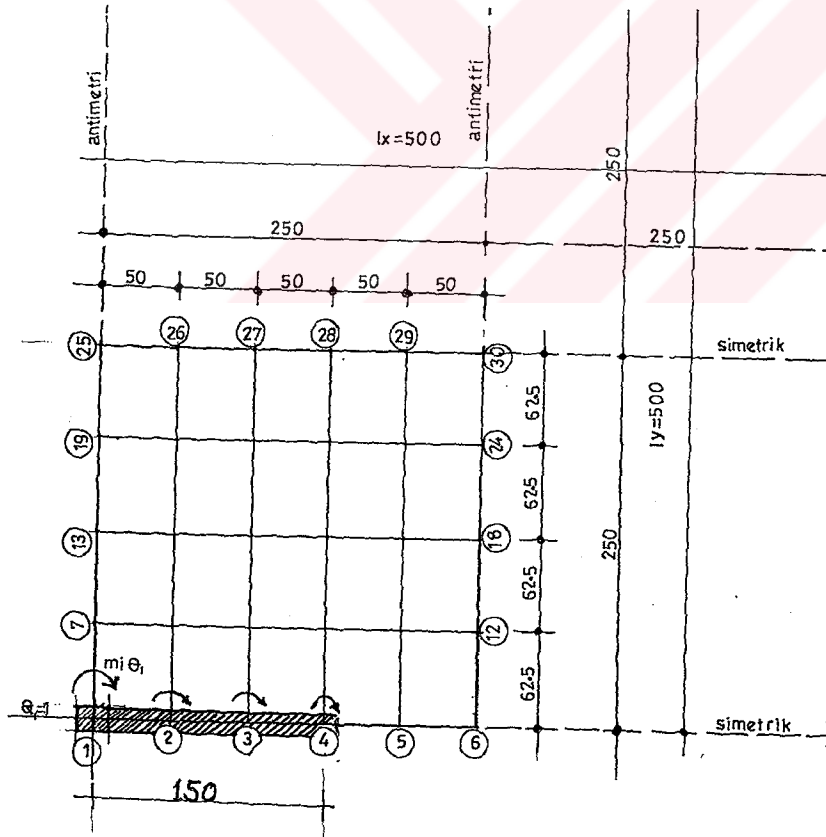
II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yapılarak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$L_e = 2.501$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 27.7830$$

2.6.1.4. Perde Genişliği 3m İken

Sistemde 1.düğüm noktasından 4. düğüm noktasına kadar perde var şken ve bu düğüm noktalarında birim dönme verildiğinde sistem çözüldü. Bu çözümden yararlanarak 1.7.13.19 ve 25 aksına göre plağın birim deplasman sabiti $\langle m_{i\theta_i}(\text{plak}) \rangle$ hesaplanır. ayrıca aynı aksa ve 1.2.3.4.5 ve 6 aksına m_x 'ın değişimi çizildi.



Şekil 2.10. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

1. $m_{i\theta_i}$ (plak)'ın Hesaplanması

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

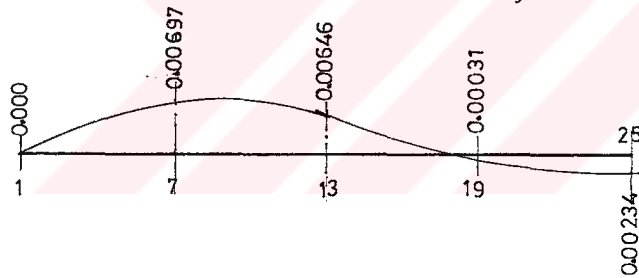
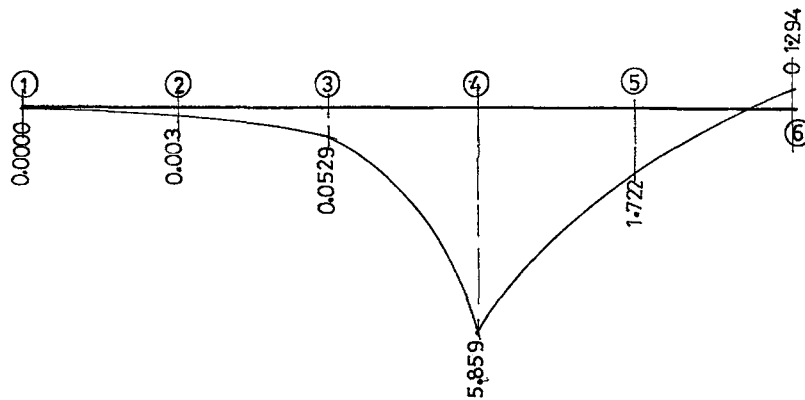
$$P = 10^{50} [0.283974 * 10^{-49} + 0.289595 * 10^{-49} + 0.626938 * 10^{-50} + 0.978175 * 10^{-51} + 0.229225 * 10^{-52}] = 6.462738$$

$$P = 6.462738$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 2.5 * 6.6273 * D = 64.62738D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 64.62738 D$$

$$L_e = \frac{64.62738 / 2 * 5}{6 * 15.625} = 1.723 \text{ m} \Rightarrow L_e = 1.723 \text{ m}$$

2. m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi3. m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi

Karşılaştırma

I. [8]'de Verilen Formüller ile Karşılaştırma

$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] =$$

$$\frac{2}{2} \left[0.90 + \frac{2.5}{5(3+1)} - \frac{2/2}{1.5(3+2/2)} \right] = 0.858$$

$$L_e = 1.717 D$$

$$\frac{m_{i\theta_i}(\text{plak})}{2} = \frac{6L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 1.717}{5} \times 15.625 \times D = 32.194D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 64.3875 D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e D x_1}{L}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/2)^3 = 15.625$$

$$e = w/3 = 3/3 = 1$$

$$x_2 = 1 + 4.9 \times (e^2/L^2) = 1 + 4.9 \times (1/25) = 1.196$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \times \frac{x_1}{x_2} \times \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{15.625}{1.196} \times \frac{5^2}{5 \times 3} = 16.3305$$

$$\beta_1 = 4.0411$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 5.7150$$

$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{5 \tanh 5.7150}{5.7150} = 0.8749$$

$$L_e = 1.7498 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e D}{L} = \frac{6 \times 1.7498 \times 15.625}{5} \times D = 32.8078 D$$

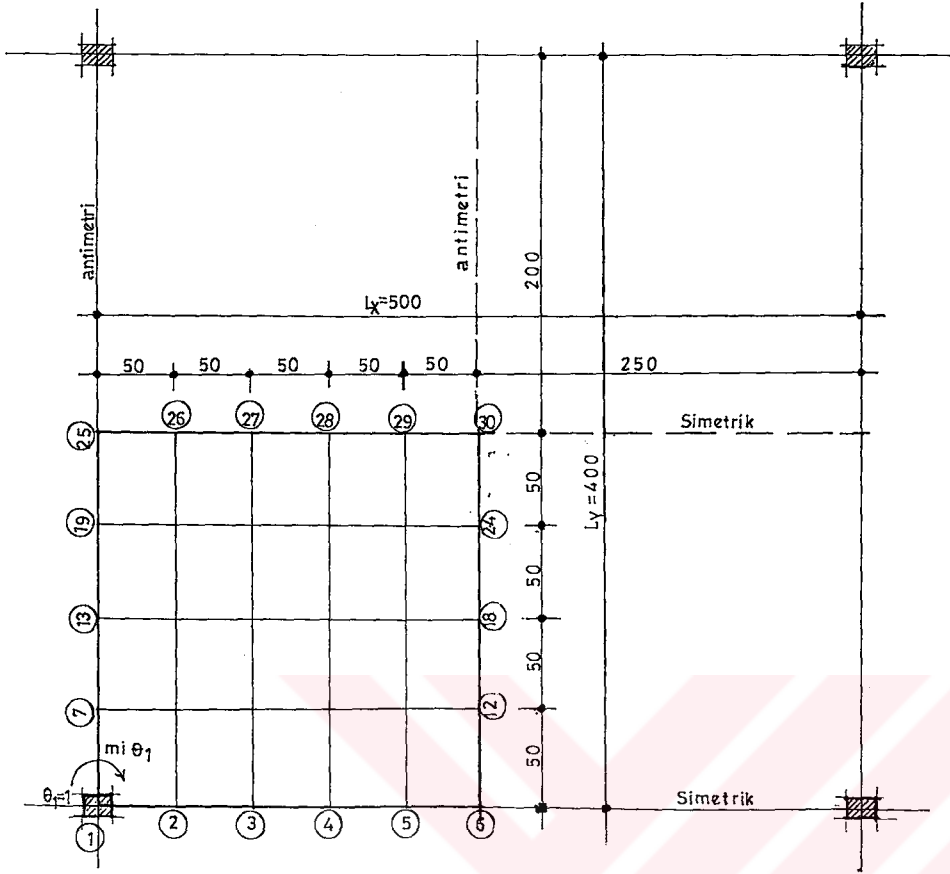
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 65.6156 D$$

2.6.2. Gözönüne Alınan Sistem İç Aks ve $L_x = 5 \text{ m}$, $L_y = 4 \text{ m}$ İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Çözüm

Burada gözönüne alınacak sistemin tek farkı $L_y = 4 \text{ m}$ olmasıdır. Sistemin özelliği, sınır şartları ve bölünmüş eleman sayısı aynıdır. Dolayısıyla 2.6.1'de açıklanan simetri ve antimetri nedenlerle sıfır olan deplasmanlar aynen geçerlidir. Her elemanın boyutu aynı olmak üzere $a = b = 0.5 \text{ m}$ olacaktır.

2.6.2.1. Birinci Düğüm Noktada Kolon Var İken Çözüm

Bu sistemde perde genişliği yaklaşık olarak sıfır kabul edilmiştir. 1. düğüm noktada kolon vardır. bu rijit kolonda birim dönme verildiğinde 6.12.18.24 ve 30 mesnetlerinde oluşan mesnet tepkilerinin 1.7.13.19 ve 25 aksına göre momenti plak birim deplasman sabitini ($m_{i\theta_i}(\text{plak})$) verecektir.



Şekil 2.11 Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Alınan bilgisayar çıktılarından yararlanarak

- Birim dönmeye çalışan efektif döşeme genişliğiyle plak birim deplasman sabiti hesaplanacaktır.

- Plak eğilme moment yayılımı 1.7.13.19 ve 25 ile 1.2.3.4 5 ve 6 eksenlere boyunca değişimi çizilecektir.

Çalışan Efektif Döşeme Genişliği ile Plak Birim Deplasman Sabitinin Hesaplanması

Bu durumda da (2.2)'de verilen formülü plak birim deplasman sabitini hesaplaması için geçerlidir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.746434 * 10^{-51} + 0.128568 * 10^{-50} + 0.840744 * 10^{-51} + 0.465879 * 10^{-51} + 0.164506 * 10^{-51}] = 0.3503243$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 2.5 * 0.35032 * D = 3.503243 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.503243$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i} / 2 * L}{6 * x_1} = \frac{3.503243 / 2 * 5}{6 * 1} = 1.4597 \text{ m}$$

$$L_e = 1.4597 \text{ m}$$

Karşılaştırma

I.[1]'de Verilen Ampirik Formülllerle Karşılaştırma

$$\begin{aligned} \frac{L_e}{2} &= \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] = \\ &= \frac{5}{2} \left[0.90 + \frac{4/2}{5(0+5/2)} - \frac{5/2}{1.5(0+5/2)} \right] = 0.65 \end{aligned}$$

$$L_e = 1.30 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2 * 6 L_e * x_1 * D}{L} = \frac{2 * 6 * 1.30 * 1 * D}{5} = 3.12 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.12 D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yapılarak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/5)^3 = 1.00$$

$$e = w/3$$

$$x_2 = 1 + 4.9 * (0/4)^2 = 1.00$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \cdot \frac{x_1}{x_2} \cdot \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} * \frac{1}{1} * \frac{4^2}{5 * 0.25} = 9.6$$

$$\beta_1 = 3.09839$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 4.3818$$

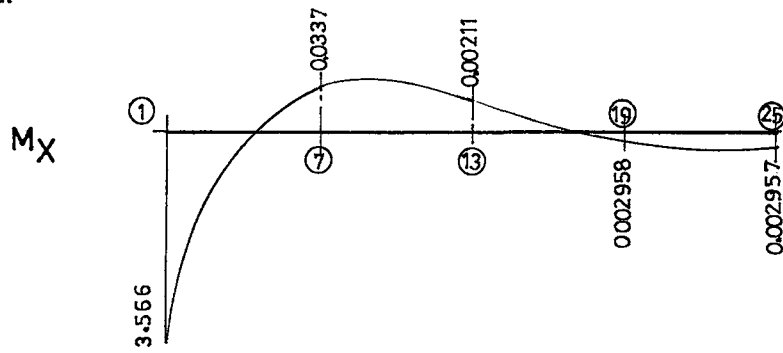
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \tanh 4.3818}{4.3818} = 0.9126$$

$$L_e = 1.8252m$$

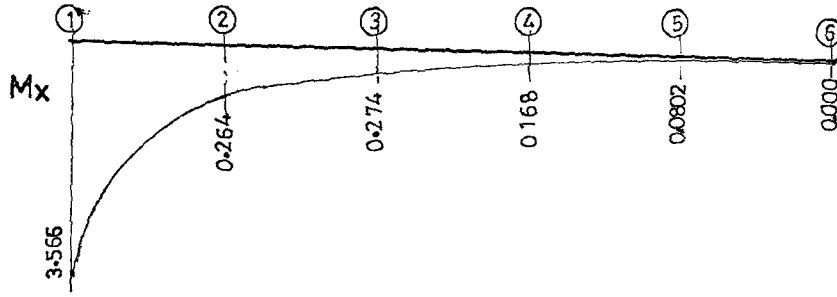
$$m_{i\theta i}(\text{plak}) = \frac{2 * 6 L_e * D}{L} = \frac{2 * 6 * 1.8252 * 1}{5} * D = 4.3804 D$$

$$m_{i\theta i}(\text{plak}) = 4.3804 D$$

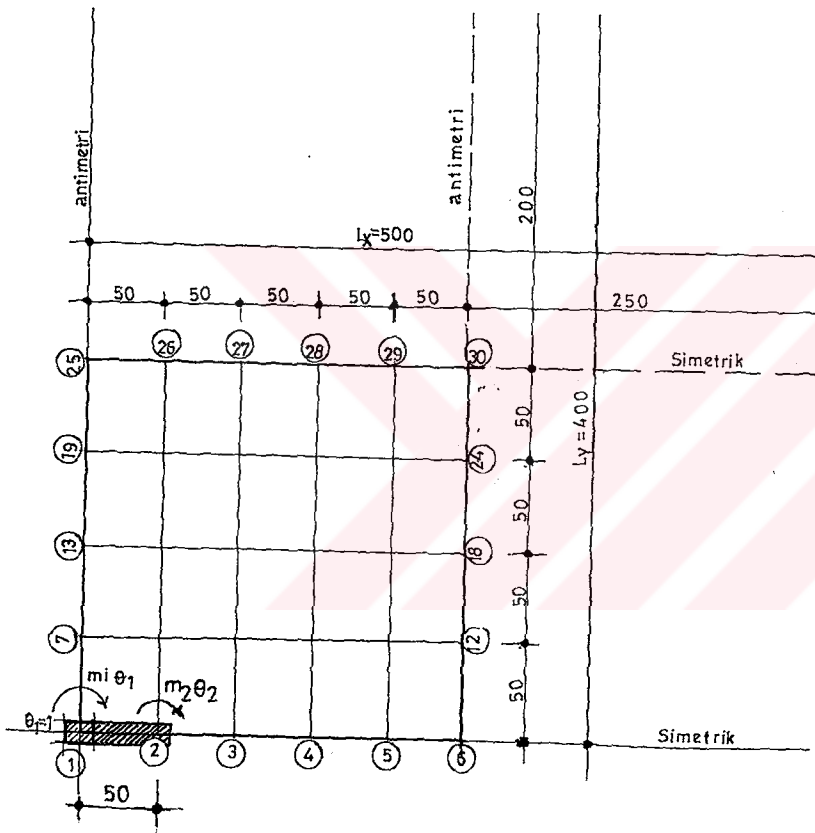
m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksenine Boyunca Değişimin Çizilmesi



m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi



2.5.2.2. Perde Genişliği $w = 1.00$ İken Çözüm



Şekil 2.14. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi 1. düğüm noktadan 2. düğüm noktaya kadar rijit perde bulunmuştur. Birinci ve ikinci düğüm noktalarca birim dönme verildiğinde

sisteme ait bilgisayar giriş dataları hazırlanmıştır. Buna göre denklem takımı çözülüp çıkış alınmıştır.

Alınan bilgisayar çıktılarından yararlanarak

- Birim dönmede çalışan efektif döşeme genişliğiyle plak birim deplasman sabiti hesaplanacaktır.

- Plak eğilme moment yayılımı 1.7.13.19 ve 25 ile 1.2.3.4 5 ve 6 eksenlere boyunca değişimi çizilecektir.

a) Çalışan Effektiv Döşeme Genişliği ile Plak Birim Deplasman Sabitinin Hesaplanması

Plak birim deplasman sabitini hesaplaması için (2.6.1.1)'de verilen formül geçerlidir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.243589 * 10^{-50} + 0.409387 * 10^{-50} + 0.251984 * 10^{-50} + 0.129639 * 10^{-50} + 0.436912 * 10^{-51}] = 1.0789$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 10.829 * 2.5 * D = 10.7829 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 10.7829 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i} / 2 * L}{6 * x} = \frac{10.7829 / 2 * 5}{6 * 1.9531} = 2.3004 \text{ m}$$

1

$$L_e = 2.3004 \text{ m}$$

Karşılaştırma

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] =$$

$$= \frac{4}{2} \left[0.90 + \frac{4/2}{5(1+4/2)} - \frac{4/2}{1.5(1+4/2)} \right] = 1.1778$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2 \times 6 L_e \times D}{L} = \frac{2 \times 6 \times 2.3556 \times 1.9531}{5} = 11.0417 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 11.0417 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4)^3 = 1.9531$$

$$e = 1/3 \times 1 = 0.3333$$

$$x_2 = 1 + 4.9 \times (0.3333/4)^2 = 1.034$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \times \frac{x_1}{x} \times \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{1.9531}{1.034} \times \frac{4^2}{5 \times 1} = 4.5333$$

$$\beta_1 = 2.1292$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 3.0111$$

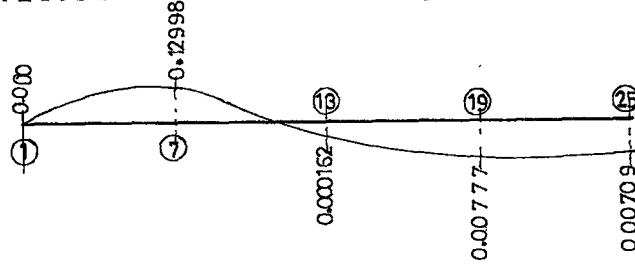
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \tanh 3.0111}{3.0111} = 1.322$$

$$L_e = 2.644 \text{ m}$$

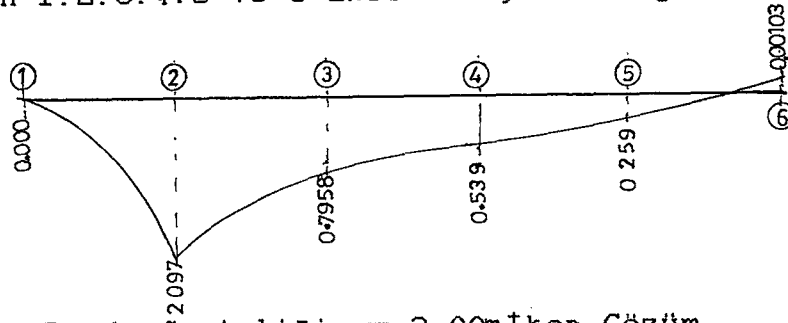
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2 \times 6 \times L_e \times D}{L} = \frac{2 \times 6 \times 2.644 \times 1.6531}{5} \times D = 12.3936 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 12.3936 \text{ D}$$

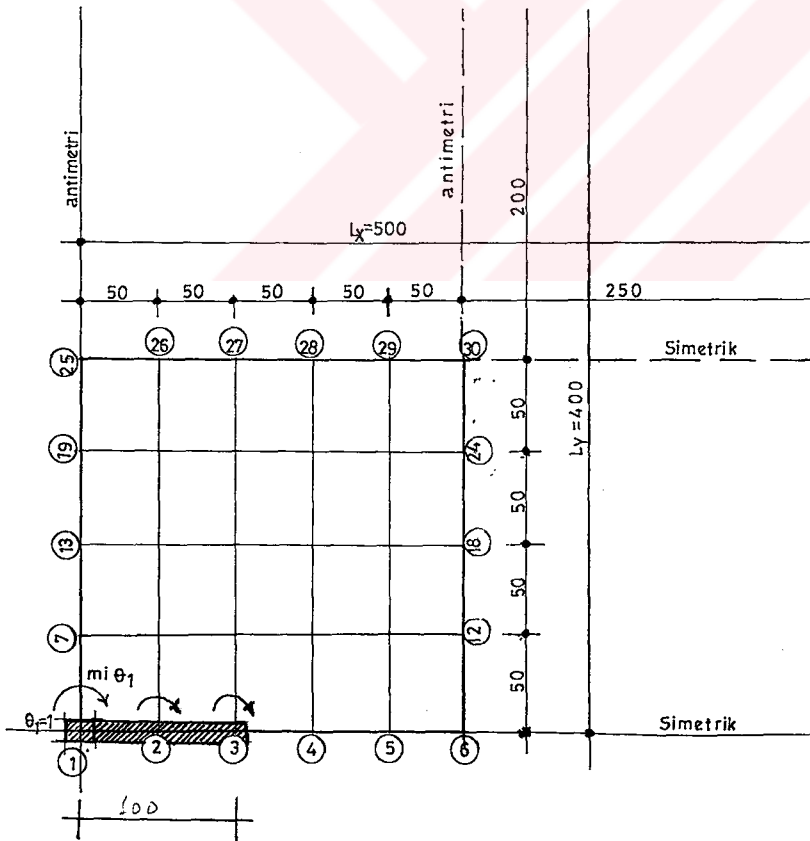
b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi



2.6.2.3. Perde Genişliği $w = 2.00m$ iken Çözüm



Şekil 2.13. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu durumda 1. düğüm noktasından 3. düğüm noktasına kadar rijit perde bulunur. 1.2. ve 3. düğüm noktasında birim dönme verildiğinde sisteme ait bilgisayar giriş data hazırlanmıştır. Buna göre denklem takımı çözülmüştür.

Bilgisayar çıkışlardan yararlanarak 1.7.13.19 ve 25 eksenine göre plak birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır. Ayrıca aynı eksenine ve 1.2.3.4.5 ve 6 eksenine boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a) Çalışan Effektif Döşeme Genişliği ile Plak Birim Deplasman Sabitinin Hesaplanması

Şekil 2.10'da görüldüğü gibi verilen birim dönmelerden dolayı 6.12.18.24 ve 30 mesnetlerde mesnet tepkileri oluşacaktır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'nin çarpımı 1.7.13.19 ve eksen göre plağın dörtte biri olan birim deplasman verilecektir. Bu hesap için (2.2)'de verilen formül geçerlidir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.635869 * 10^{-50} + 0.979557 * 10^{-50} + 0.493983 * 10^{-50} +$$

$$+ 0.202824 * 10^{-50} + 0.592250 * 10^{-51}] = 2.371458$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 2.371458 * 2.5 * D = 23.7146 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 23.7146 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak})/2 * L}{6 * x_1} = \frac{23.7146 * 5}{2 * 6 * 4.6296} = 2.1343 m$$

$$L_e = 2.1343 m$$

Karşılaştırma

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] =$$

$$= \frac{3}{2} \left[0.90 + \frac{4/2}{5(1+3/2)} - \frac{3/2}{1.5(1+3/2)} \right] = 1.0929$$

$$L_e = 2.1857 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2*6L_e * x_1 D}{L} = \frac{2*6*2.1857*4.6296}{5} * D = 24.2855 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 24.2855 D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/3)^3 = 4.6296$$

$$e = 1/3w = 1/3*2 = 0.6667$$

$$x_2 = 1 + 4.9*(0.6667/4)^2 = 1.1361$$

$$\beta_1^2 = 3/4 * \frac{4.6296}{1.1361} * \frac{4^2}{5*2} = 4.8899$$

$$\beta_1 = 2.2113$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 3.1273$$

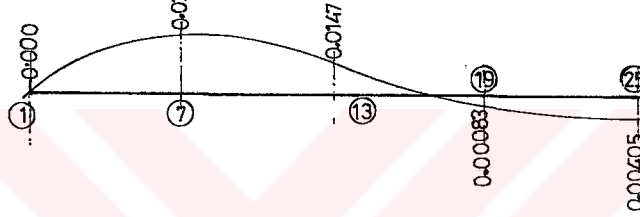
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \tanh 3.1273}{3.1273} = 1.2742$$

$$L_e = 2.5473 \text{ m}$$

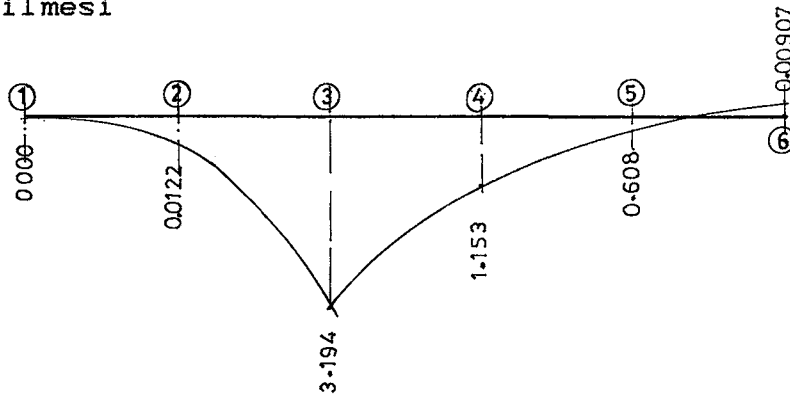
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2 \times 6 \times L_e \times D}{L} = \frac{2 \times 6 \times 2.5483 \times 4.6296}{5} D = 28.3146 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 28.3146 D$$

b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi

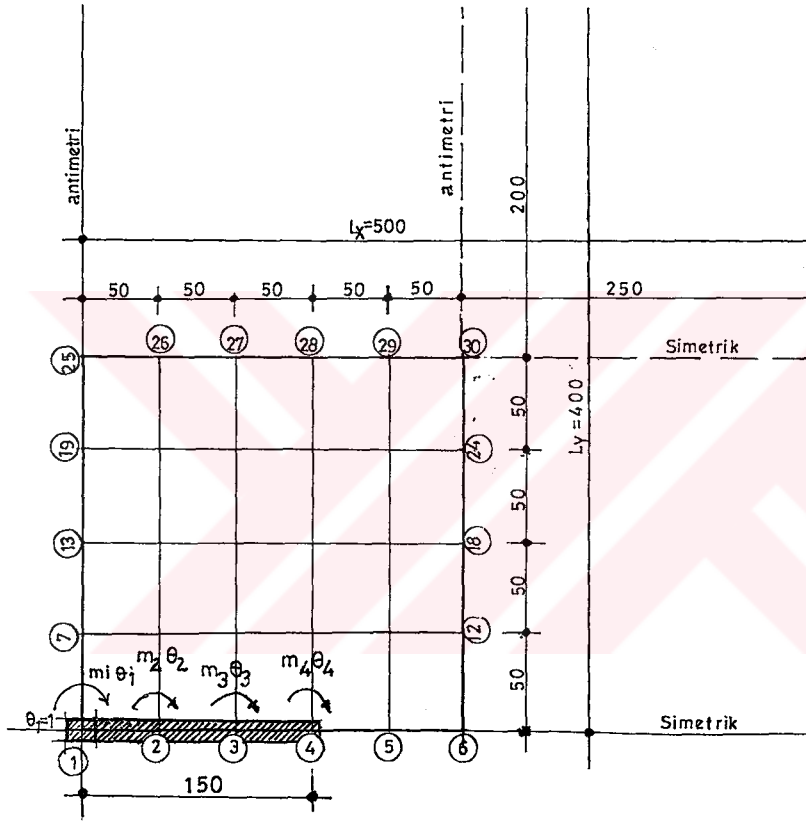


c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



2.6.2.4. Perde Genişliği 3 m İken Çözüm

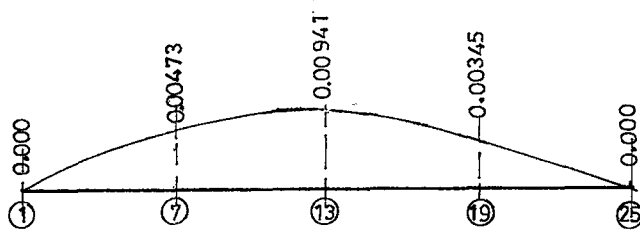
Bu durumun bir önceki adımdan tek farkı perde genişliğin 3 m olmasıdır. Şekil. 2.14'de gösterildiği gibi 1.düğüm noktadan 4.düğüm noktasına kadar rijit perde bulunur.



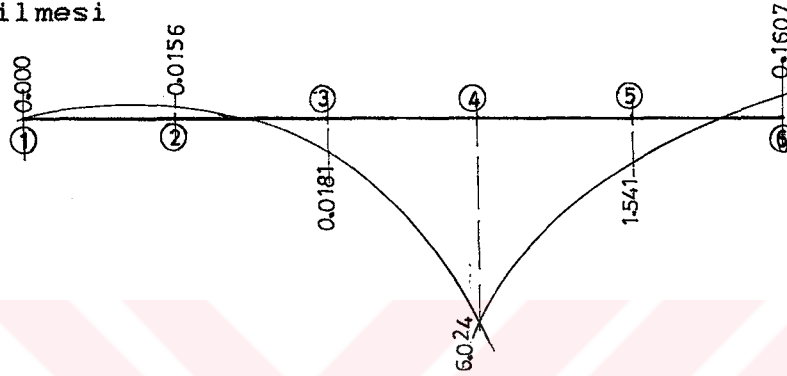
Şekil 2.14. Perde Genişliği 3m İken Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu sisteme ait bilgisayar giriş data hazırlanıp çözülmüştür.

b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi

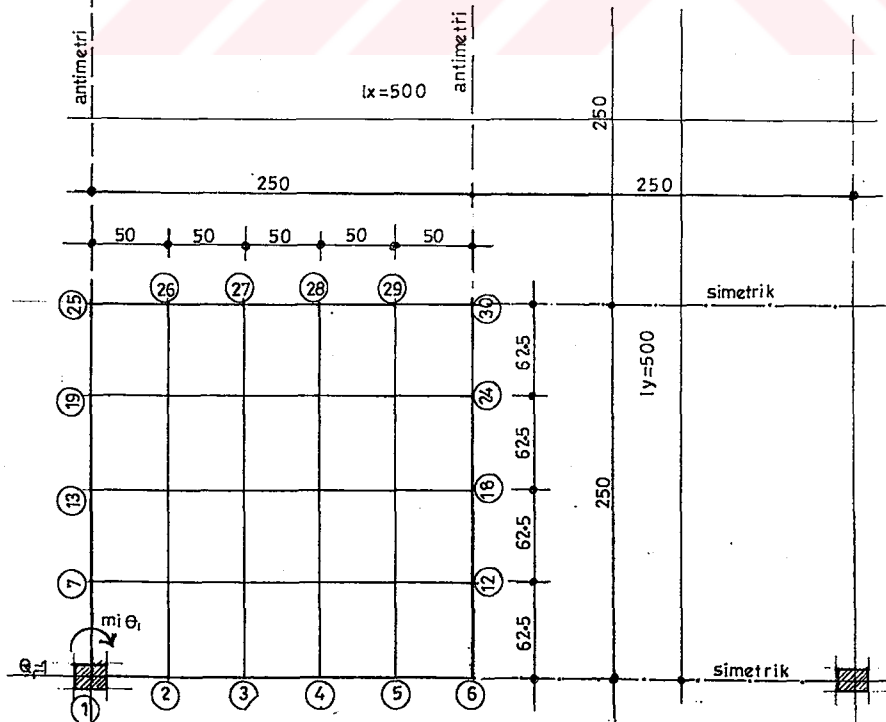


c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



2.6.3. Kenar Mesnetteki Perdeye Bağlanan Döşeme Hali

Bu aşamada sistem x doğrultusunda tek açıklık y doğrultusunda ise çok açıklık olarak göze alınmıştır.



Şekil 2.15. Gözönüne Alınan Sistem Kenardayken

Bu çıkışlardan yararlanarak 1.7.13.19 ve 25 eksene göre plağın dörtte biri olan birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır. Ayrıca aynı eksene ve 1.2.3.4.5 ve 6 eksene boyunca m_x 'in değişimi gösterilir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'ın Hesaplanması

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * P * 2.5 * D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.227033 * 10^{-49} + 0.277155 * 10^{-49} + 0.877676 * 10^{-50} + 0.234736 * 10^{-50} + 0.514776 * 10^{-51}] = 6.2057696$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4 * 2.5 * 6.2057696 * D = 62.057696 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 62.057696 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) / 2 * L}{6 * x_1} = \frac{62.057696 * 5}{2 * 6 * 15.625} = 1.6549 \text{ m}$$

$$L_e = 1.6549 \text{ m}$$

Karşılaştırma

I. [1] Ampirik Formül ile Karşılaştırm

$$\begin{aligned} \frac{L_e}{2} &= \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y/2}{5(w+L'/2)} - \frac{L'/2}{1.5(w+L'/2)} \right] = \\ &= \frac{2}{2} \left[0.90 + \frac{4/2}{5(3+1)} - \frac{2/2}{1.5(3+1)} \right] = 0.8333 \end{aligned}$$

$$L_e = 1.6667 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2*6L_e x_1 D}{L} = \frac{2*6*1.6667*15.625}{5} * D = 62.501 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 62.501 D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/3)^3 = 15.625$$

$$e = 1/3w = 1/3*3 = 1.00$$

$$x_2 = 1 + 4.9*(e/L)^2 = 1 + 4.9*(1/4)^2 = 1.3063$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \frac{x_1}{x_2} \frac{P^2}{LW} = 3/4 * \frac{15.625}{1.3063} * \frac{4^2}{5*3} = 9.5690$$

$$\beta_1 = 3.0934$$

$$\beta = \sqrt{2} \beta_1 = 4.3744$$

$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{2*4 \tanh 4.3744}{4.3744} = 1.8281$$

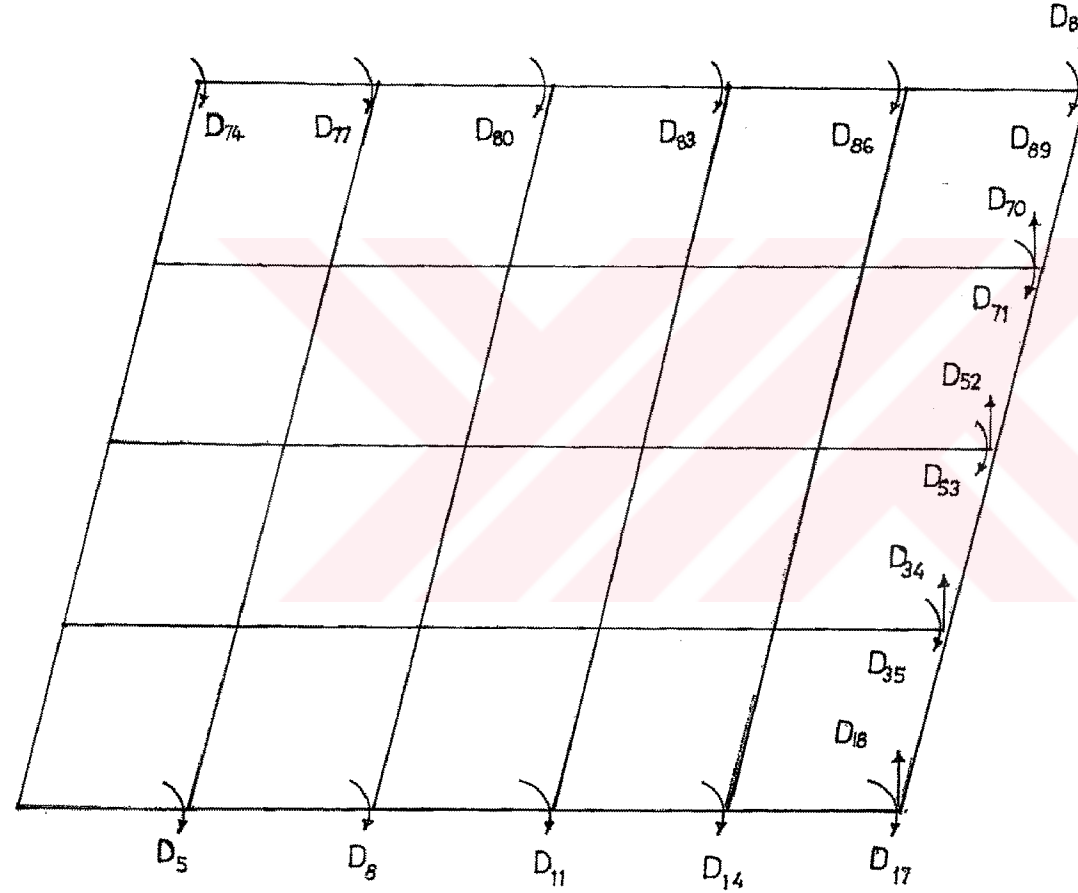
$$L_e = 1.8281m$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{2*6*L_e x_1 D}{L} = \frac{2*6*1.8281*15.625}{5} = 68.5543 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 68.5543 D$$

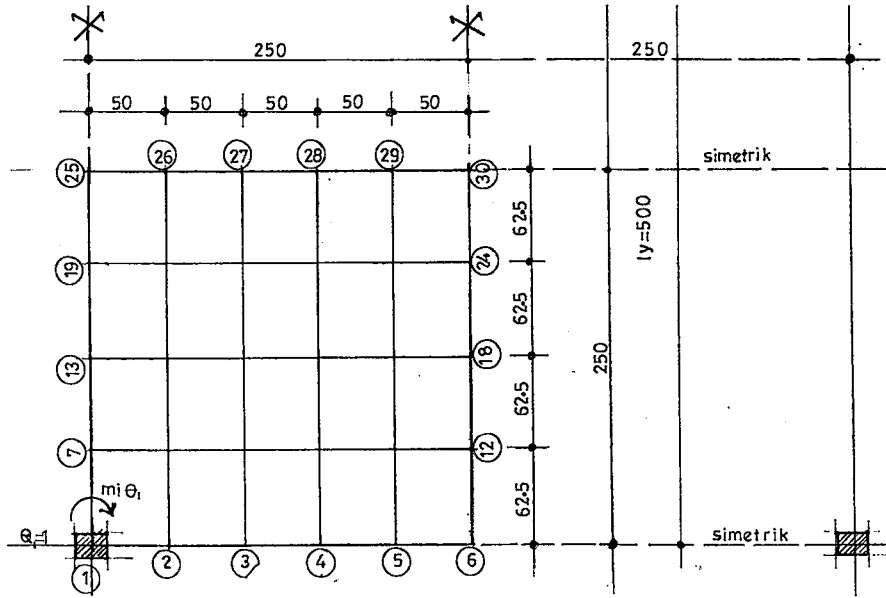
2.6.3.1. Sistem X Doğrultusunda Tek Açıklıklı Kenarda ve
 $L_x=L_y=5$ m İken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin
 Durum

Sistemin 6.12.18.24 ve 30 eksenine göre antimetrik-
 tir. 1.2.3.4.5 ve 6 ile 25.26.27.28.29 ve 30 eksenlerine
 göre simetridir. Sistemde simetri ve antimetri nedenler-
 le sıfır olan deplasmanlar Şekil 2.13'de gösterilmiştir.



Şekil 2.24. Simetri ve Antimetri Nedenlerle Sıfır Olan
 Düğüm Noktaları Deplasmanları

2.6.3.1.1. 1 Noktalarında Noktasal Kolon İçin Çözüm



Şekil 2.25. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu sistemde 1.düğüm noktasında noktasal kolon var. Kolon genişliği perde genişliğine göre çok az olduğundan bir nokta olarak, yani yaklaşık olarak sıfır kabul edilmiştir. Bu rijit kolona birim dönme verildiğinde sisteme ait giriş datası hazırlanıp çözülmüştür.

Bu bilgisayar çıktılarından yararlanarak

- Plağın birim deplasman sabitleri ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır.

- Aynı eksen ve 1.2.3.4 5 ve 6 eksen boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a. $m_i \theta_i$ (plak)'ın Hesaplanması

Sistemin 1.düğüm noktasında birim dönme verildiğinde 6.12.18.24 ve 30 düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşacaktır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $Lx/2$ çarpımı 1.7.13.19 eksenine göre plağın yarısına ait birim deplasman sabitini verecektir.

Gözönüne alınan bölüm sistemin yarısı olduğundan plak toplam birim deplasman sabiti

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 * P * 2.5 * D$$

Burada P mesnet tepkilerin toplamıdır.

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.712332 * 10^{-51} + 0.118292 * 10^{-50} + 0.715948 * 10^{-51} + 0.378371 * 10^{-51} + 0.134110 * 10^{-51}] = 0.312368$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 * P * 2.5D = 2 * 0.312368 * 2.5 * D = 1.562 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 1.562 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) * L}{6 * x_1} = \frac{1.562 * 5}{6 * 1} = 1.302 \text{ m}$$

$$L_e = 1.302 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesabı

I. [1]'deki Ampirik Formülle Karşılaştırma

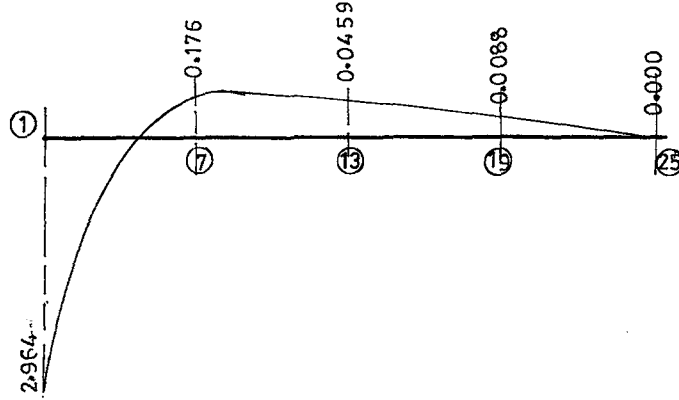
$$\frac{L_e}{2} = \frac{L'}{2} \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 5 \left[0.90 + \frac{5}{5 * 5} - \frac{5}{1.5 * 5} \right]$$

$$L_e = 2.17 \text{ m}$$

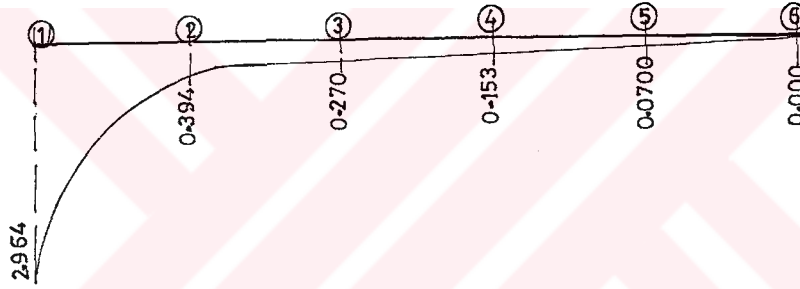
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e * x_1 * D}{L} = \frac{6 * 2.17 * 1}{5} * D = 2.60 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2.60 D$$

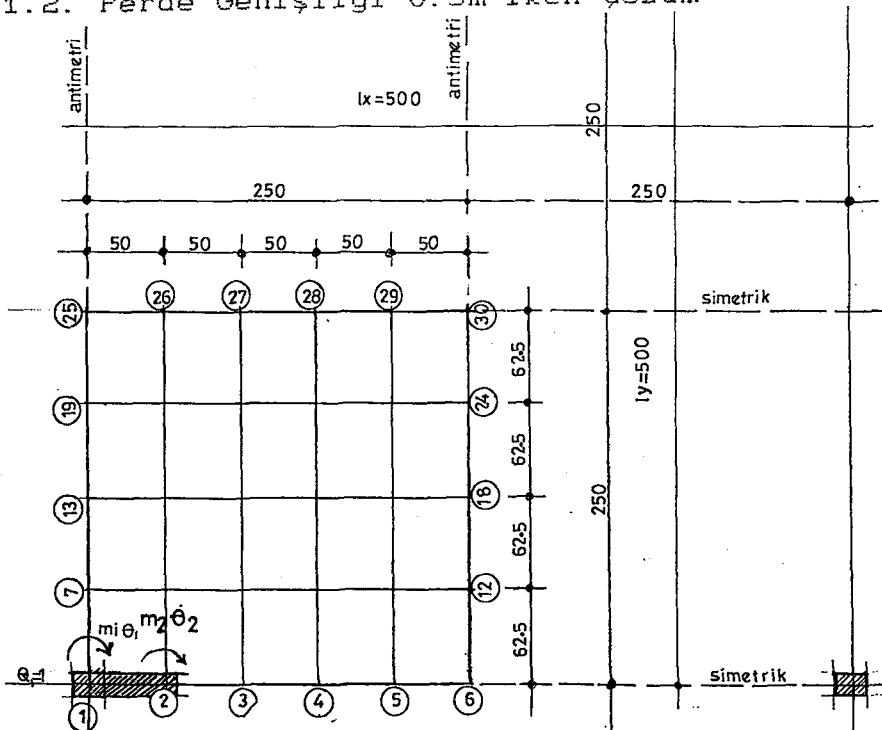
b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimi Çizilmesi



c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimi Çizilmesi



2.6.3.1.2. Perde Genişliği 0.5m İken Çözüm



Şekil 2.28. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu durumda 1.düğüm noktadan 2.düğüm noktaya kadar genişliği 0.5 m olan rijit perde bulunmaktadır. Sistemin özelliği daha önce 2.4.3.1'de anlatılanın aynısıdır. Bu sistemin yükleme durumu rijit perde bulunduğu düğüm noktalarda yani birinci ve ikinci düğüm noktalarda birer birim dönme verilecektir. Sisteme ve yüklemeye ait giriş data hazırlanıp çözülmüştür.

Yukarıda gördüğümüz bilgisayar çıkışlardan yararlanarak

- Çalışan efektif döşeme genişliği ile 1.7.13.19 ve 25 eksene göre plak birim deplasman sabiti hesaplanacaktır.

- Aynı eksene ve 1.2.3.4.5 ve 6 eksene boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'ın Hesaplanması

Birinci ve ikinci düğüm noktalarda birer dönme verildiğinde 6.12.18.24 ve 30 düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşmaktadır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'nin çarpımı plağın yarısı olan 1.7.13.19 ve 25 eksene göre birim deplasman sabitini verecektir. Gözönüne alınan sistemin tüm $m_{i\theta_i}$ (plak) bulmak için bulduğumuz değerin iki katını almak yeterlidir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 PL_x / 2 D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.185124 \times 10^{-50} + 0.303340 \times 10^{-50} + 0.179366 \times 10^{-50} +$$

$$+ 0.945985 \times 10^{-51} + 0.339703 \times 10^{-51}] = 0.796399$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 0.796399 \times 2.5 \times D = 3.982 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.982 \text{ D}$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) * L}{6 * x_1} = \frac{3.982 * 5}{6 * 1.3717} = 2.419 \text{ m}$$

$$L_e = 2.419 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesabı

I. [1]'deki ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 4.50 \left[0.90 + \frac{5}{5 * 5.5} - \frac{4.5}{1.5 * 5.5} \right] = 2.414 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e * x_1 * D}{L} = \frac{6 * 2.17 * 1}{5} * D = 2.60 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e * x_1 * D}{L} = \frac{6 * 2.4136 * 1.3717}{5} * D = 3.9723 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.9723 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analogisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$w = 0.50 \text{ m}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4.5)^3 = 1.3717$$

$$e = 1/3 * 0.5 = 0.16667$$

$$x_2 = 1 + 4.9 * (0.16667/5)^2 = 1.0151$$

$$\beta^2 = 3/4 * \frac{x_1}{x_2} * \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} * \frac{1.3717}{1.151} * \frac{5^2}{5 * 0.5} = 9.789$$

$$\beta_1 = 3.1988$$

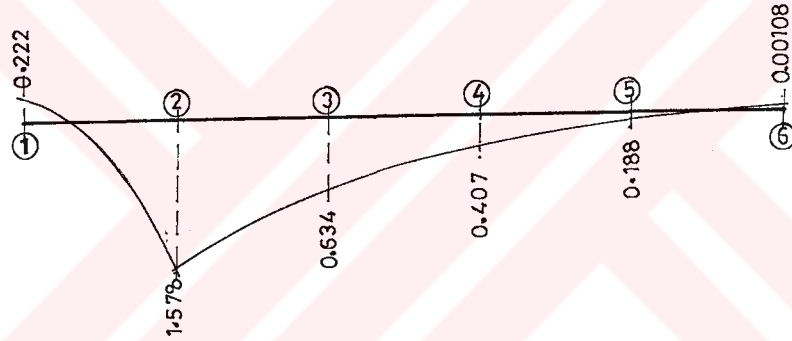
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{5 \tanh 3.1988}{3.1988} = 1.592$$

$$L_e = 3.184$$

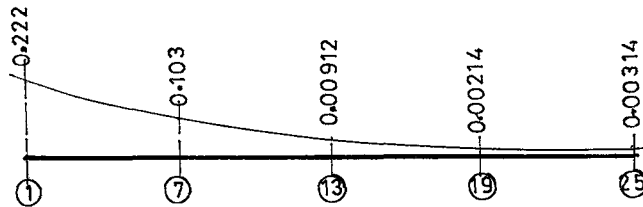
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6 * L_e * x_1^D}{L} = \frac{6 * 3.184 * 1.3717}{5} D = 5.241 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 5.241 D$$

b) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimin Çizilmesi



c) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimi Çizilmesi



Bilgisayar çıkışlardan yararlanarak

- 1.7.13.19 ve 25 eksene göre plak birim sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır.

- 1.7.13.19 ve 25 ile 1.2.3.4.5 ve 6 eksenlere boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'ın Hesaplanması

Birinci, ikinci ve üçüncü düğüm noktalarda birer birim dönme verildiğinde 6.12.18.24 ve 30 düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşmaktadır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'nin çarpımı 1.7.13.19 ve 25 aksına göre plağın yarısı için birim deplasman sabitini verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 PL_x/2 D$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.377877 \times 10^{-50} + 0.581802 \times 10^{-50} + 0.299375 \times 10^{-50} +$$

$$+ 0.137441 \times 10^{-50} + 0.462554 \times 10^{-51}] = 1.4427604$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 1.4427604 \times 2.5 \times D = 7.213802 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 7.2138 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) \times L}{6 \times x_1} = \frac{7.2138 \times 5}{6 \times 1.9531} = 3.078 \text{ m}$$

$$L_e = 3.078 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesapları

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 4 \left[0.90 + \frac{5}{5 \times 6} - \frac{4}{1.5 \times 6} \right] =$$

$$= 2.489 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 2.6133 \times 1.9531}{5} \times D = 5.834 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 4.834 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$w = 1.00 \text{ m}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4)^3 = 1.9531$$

$$e = 1/3w = 1/3 \times 1 = 0.3333$$

$$x_2 = 1 + 1.51 \times (e/L)^2 = 1 + 4.9 \times (0.3333/5)^2 = 1.064$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \times \frac{x_1}{x_2} \times \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{1.9531}{1.064} \times \frac{5^2}{5 \times 1} = 6.883$$

$$\beta_1 = 2.624$$

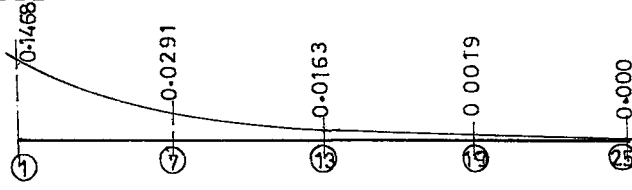
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{5 \tanh 2.624}{2.624} = 1.8855$$

$$L_e = 3.771 \text{ D}$$

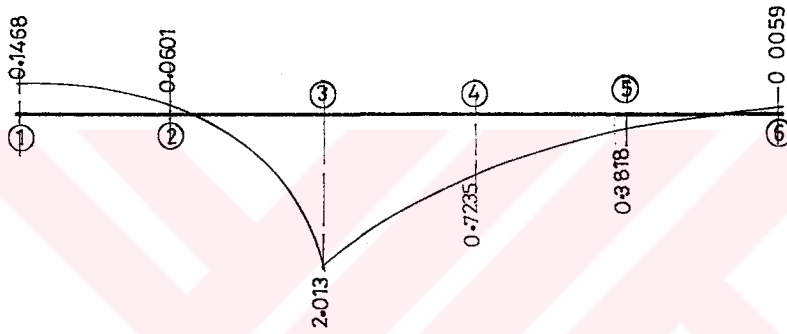
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6 \times L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 3.771 \times 1.9531}{5} \text{ D} = 8.838 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 8.838 \text{ D}$$

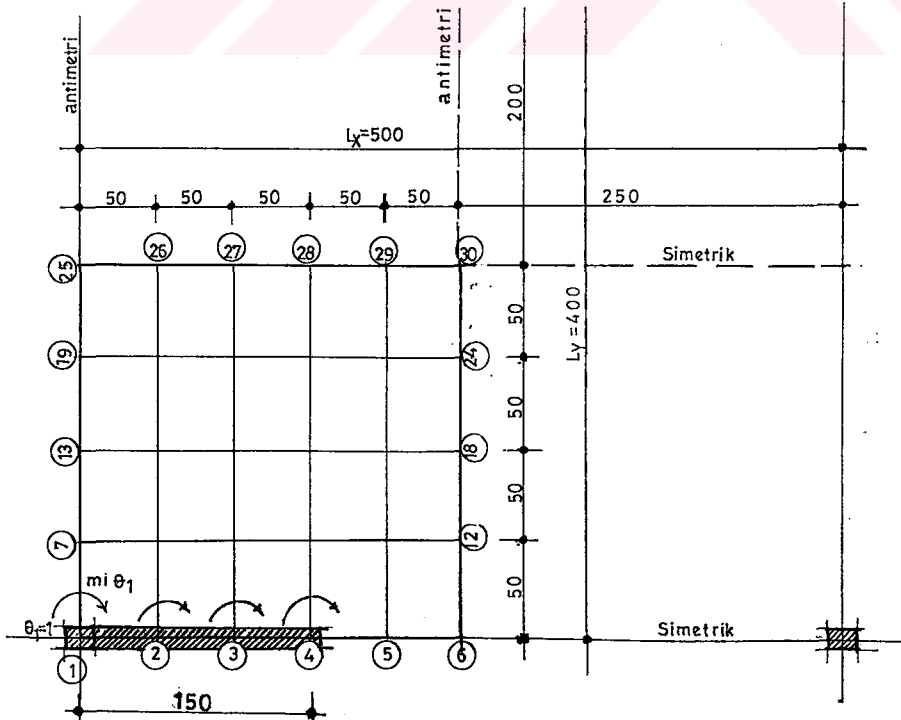
b) 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca m_x 'in Değişiminin Çizilmesi



c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi Çizilmesi



2.6.3.1.4. Perde Genişliği 1.50m İken Çözüm



Şekil 2.20. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu adımda perde genişliği bir öncekine yarım metre eklenecektir. Sistem özelliği 2.4.3.1'de anlatılandan bir tek farkı rijit perde bulunmasıdır. Bu perde 1.düğüm noktasından 4.düğüm noktasına kadar oluşmaktadır. Yükleme durumu ise 1.2.3. ve 4. düğüm noktalarda birer birim dönme verilecektir. Sistem ile yüklemeye ait hazır bilgisayar programa uygun giriş data hazırlanıp çözülmüştür.

Bu çıkışlardan yararlanarak

- 1.7.13.19. ve 25. eksene göre plak birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır.
- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksenlere boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a. $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Rijit perde bulunduğu, 1.2.3. ve 4. düğüm noktalarda, birer birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30. düğüm noktalarda mesnet tepki oluşacaktır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'nin çarpımı 1.7.13.19. ve 25. aksına göre plağın yarısı olan birim deplasman sabitini verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 PL_x / 2 D$$

$$L_x = 5 \text{ m}$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.948728 \times 10^{-50} + 0.125787 \times 10^{-49} + 0.479835 \times 10^{-50} +$$

$$+ 0.165 \times 10^{-50} + 0.478547 \times 10^{-51}] = 2.8992877$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.8992877 \times 2.5D = 14.496 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 14.496 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) * L}{6 * x_1} = \frac{14.496 * 5}{6 * 2.9155} = 4.1434 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesapları

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 3.5 \left[0.90 + \frac{5}{5 * 6.5} - \frac{3.5}{1.5 * 6.5} \right] =$$

$$= 2.432 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e * D}{L} = \frac{6 * 2.432 * 2.9155}{5} * D = 8.60 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 8.60 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$w = 1.50 \text{ m}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/3.5)^3 = 2.9155$$

$$e = 1/3w = 1/3 * 1.50 = 0.50$$

$$x_2 = 1 + 1.51 * (e/L)^2 = 1 + 1.51 * (1.50/5)^2 = 1.1359$$

$$\beta_1^2 = 3/4 * \frac{x_1}{x_2} * \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} * \frac{2.9155}{1.1359} * \frac{5^2}{5 * 1.50} = 6.416$$

$$\beta_1 = 2.533$$

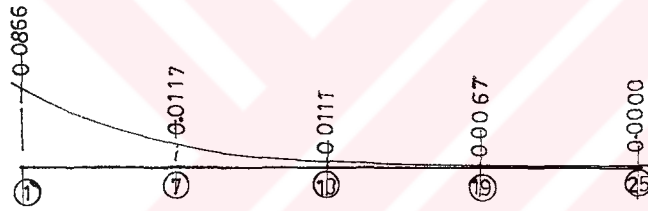
$$L_e/2 = \frac{\tanh \beta}{\beta} = \frac{2 \cdot 5 \tanh 2.533}{2.533} = 1.849$$

$$L_e = 3.896 D$$

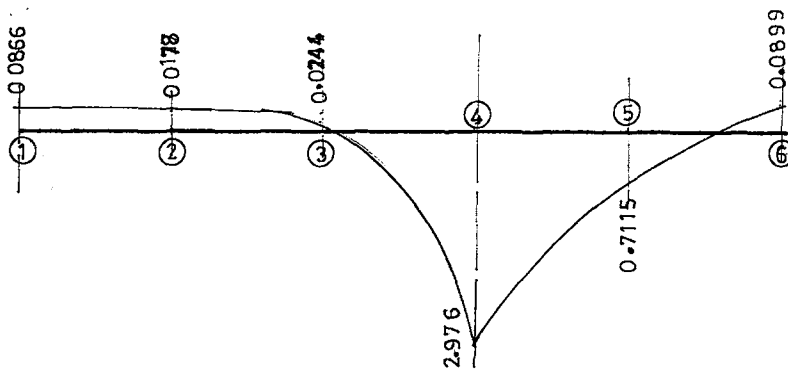
$$m_i \theta_i (\text{plak}) = \frac{6 \cdot L_e \cdot D}{L} = \frac{6 \cdot 3.896 \cdot 2.9155}{5} D = 13.6305 D$$

$$m_i \theta_i (\text{plak}) = 13.6305 D$$

b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi

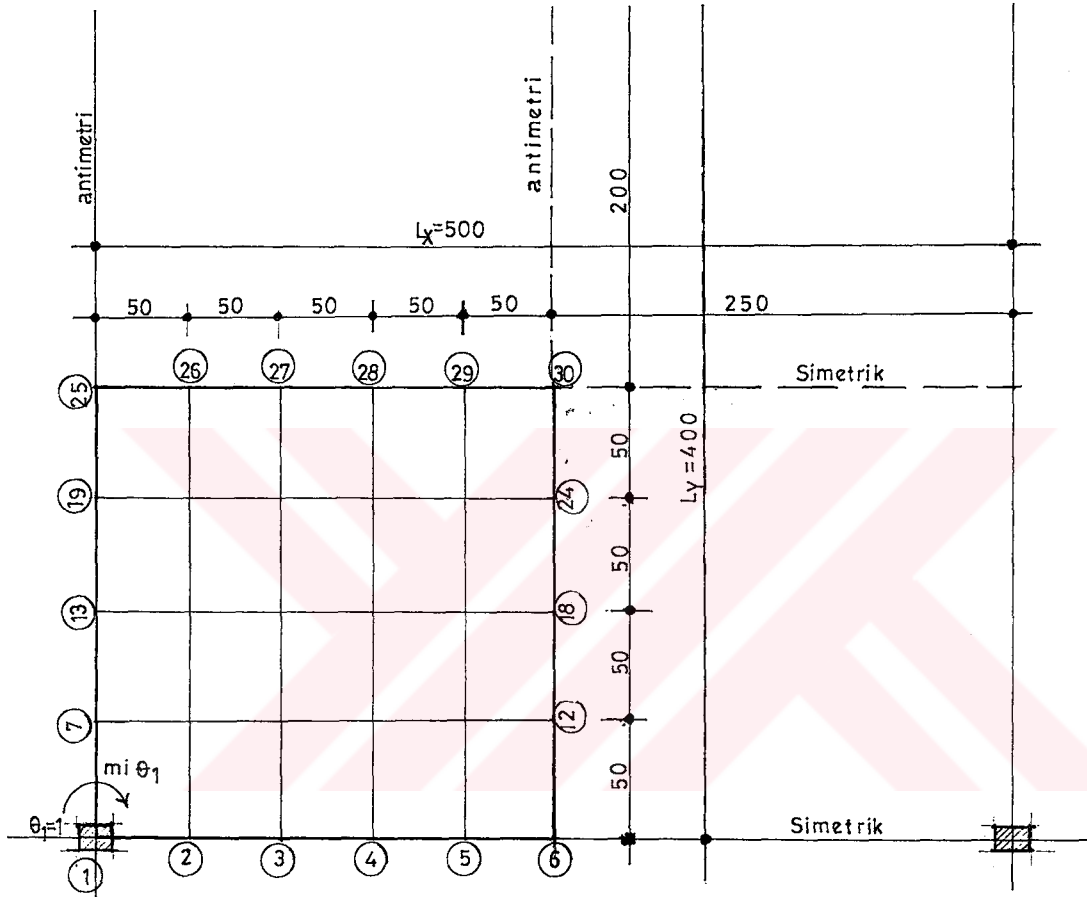


c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi Çizilmesi



2.6.3.2. Gözönüne Alınan Sistem Kenarda ve $L_x=5m$, $L_y=4m$ iken Çeşitli Perde Genişlikleri İçin Durum

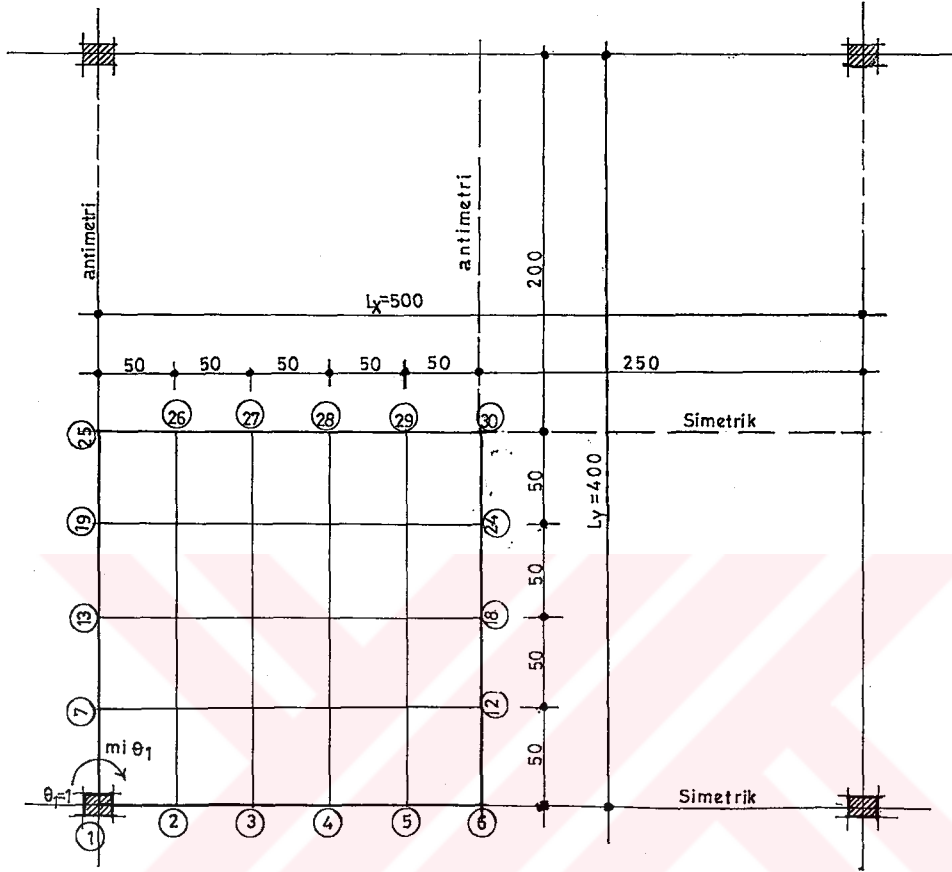
Sistemin özelliği daha önce çözüldüğü sistemden tek farkı $L_x \neq L_y$ olmasıdır. Bu sistem Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.21 Gözönüne Alınan Sistem Özelliği ve Parametreleri

Bu verilen sistemin (2.4.3.1)'de anlatılan sistemden farklı olan tek özelliği $L_x=L_y$ olmasından ortaya çıkan elemanların büyüklüklerin değişmeleridir. Dolayısıyla simetri ve antimetri nedenlerle sıfır olan düğüm parametreleri Şekil 2.13'te gösterilenin aynısıdır.

2.6.3.2.1. Birinci Düğüm Noktada Kolon Var İken Çözüm



Şekil 2.22. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu sistemde 1.düğüm noktada kolon var. Kolon genişliği perde genişliğine göre çok küçük olduğundan bir nokta olarak kabul edilmiştir. Genişliği yaklaşık olarak sıfır kabul edilen rijit kolona birim dönme verildiğinde sisteme ait giriş data hazırlanmıştır.

Bu bilgisayar çıktılarından yararlanarak
 - Plâğın yarısı olan 1.7.13.19. ve 25. eksene göre birim deplasman sabitleri ile çalışan efektif döşeme genişliği

hesaplanacaktır.

- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksenlere boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Sistemin 1.düğüm noktasında birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30. düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşmaktadır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'in çarpımı 1.7.13.19. ve 25 eksene göre plağın yarısı olan birim deplasman sabitini ($1/2 m_{i\theta_i}$ (plak)) verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 PL_x / 2 D$$

Burada $L_x = 5/2 = 2.5$ m

P: mesnet tepkilerin toplamı

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.542482 \times 10^{-51} + 0.966116 \times 10^{-51} + 0.709086 \times 10^{-51} + 0.489498 \times 10^{-51} + 0.204160 \times 10^{-51}] = 0.291132$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.5 \times 0.291132 D = 1.4557 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 1.4557 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) \times L_x}{6 \times x_1} = \frac{1.4557 \times 5}{6 \times 1} = 1.2131 \text{ m}$$

$$L_e = 1.2131 D$$

- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksenlere boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a. $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Sistemin 1.düğüm noktasında birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30. düğüm noktalarında mesnet tepkileri oluşmaktadır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'in çarpımı 1.7.13.19. ve 25 eksene göre plağın yarısı olan birim deplasman sabitini ($1/2 m_{i\theta_i}$ (plak)) verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 PL_x / 2 D$$

Burada $L_x = 5/2 = 2.5 \text{ m}$

P: mesnet tepkilerin toplamı

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.542482 \times 10^{-51} + 0.966116 \times 10^{-51} + 0.709086 \times 10^{-51} + 0.489498 \times 10^{-51} + 0.204160 \times 10^{-51}] = 0.291132$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.5 \times 0.291132 D = 1.4557 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 1.4557 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) \times L}{6 \times x_1} = \frac{1.4557 \times 5}{6 \times 1} = 1.2131 \text{ m}$$

$$L_e = 1.2131 D$$

Karşılaştırma Hesapları

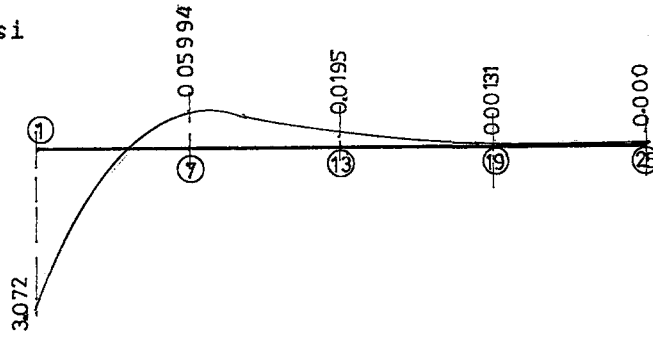
I. [8]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 5 \left[0.90 + \frac{5}{5 \times 5} - \frac{5}{1.5 \times 5} \right] = 1.9667 \text{ m}$$

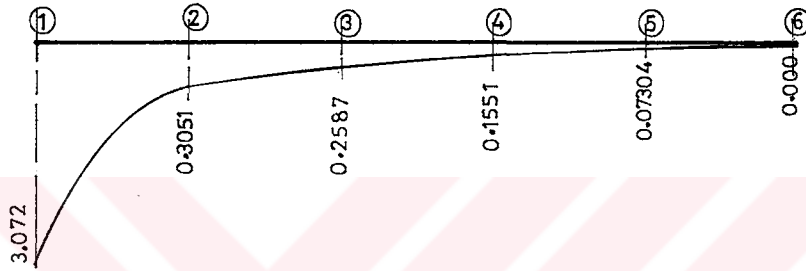
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 1.9667 \times 1}{5} \times D = 2.360 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2.360 D$$

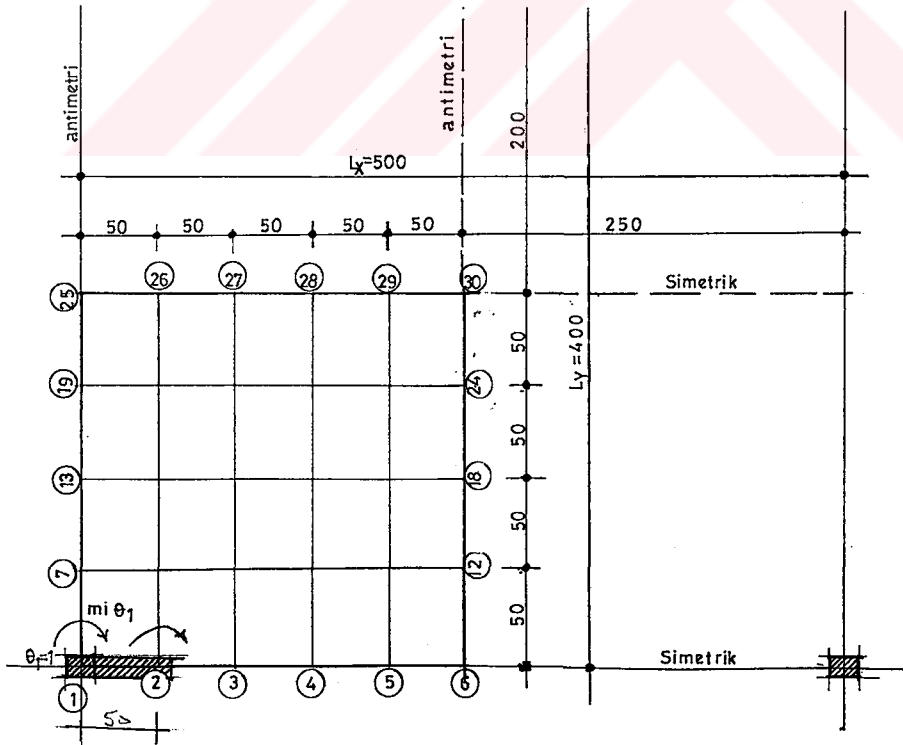
b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimi Çizilmesi



2.6.3.2.2. Perde Genişliği 0.50 m iken Çözüm



Şekil 2.23. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu durum sistemin özelliği (2.4.3.1.2)'de açıklanan sistemden bir tek farkı $L_x=L_y$ olmasıdır. Geri kolon özellikleri ile yükleme durumu aynıdır.

Bilgisayar çıkışlardan yararlanarak

- Çalışan efektif döşeme genişlikleri ile plak birim deplasman sabiti hesaplanacaktır.

- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksene boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Birinci ve ikinci düğüm noktalarda birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30. düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşacaktır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'in çarpımı plağın yarısı olan birim deplasman sabitini verecektir.

$$1/2m_{i\theta_i}(\text{plak}) = PL_x/2 D \quad \Rightarrow \quad m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2PL_x/2D$$

$$L_x/2 = 5/2 = 2.5 \text{ m}$$

P: 6,12,18,24 ve 30 eksene boyunca mesnet tepkilerin toplamı

$$P=10^{50}[d_{1.6}+d_{1.12}+d_{1.18}+d_{1.24}+d_{1.30}]$$

$$P=10^{50}[0.143657 \times 10^{-50} + 0.253431 \times 10^{-50} + 0.182312 \times 10^{-50} + 0.123988 \times 10^{-50} + 0.515240 \times 10^{-51}] = 0.754912$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.5 \times 0.754912D = 3.77456D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.77456D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) \times L}{6 \times x_1} = \frac{3.77456 \times 5}{6 \times 1.3717} = 2.2931 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad L_e = 2.2931 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesapları

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 4.50 \left[0.90 + \frac{4}{5 \times 5.5} - \frac{4.50}{1.5 \times 5.5} \right] =$$

$$= 2.25 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e x_1 D}{L} = \frac{6 \times 2.25 \times 1.3717}{5} \times D = 3.7037 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.7037 D$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4.5)^3 = 1.3717$$

$$e = 1/3w = 1/3 \times 0.50 = 0.16667$$

$$x_2 = 1 + 1.51(e/1)^2 = 1 + 1.51 \left(\frac{0.16667^2}{4} \right) = 1.0236 \text{ m}$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \frac{x_1}{x_2} \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} \times \frac{1.3717}{1.0236} \times \frac{4^2}{5 \times 0.5} = 6.932$$

$$\beta_1 = 2.536$$

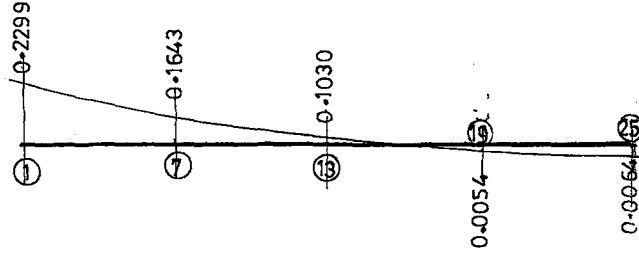
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \times 5 \tanh 2.536}{2.536} = 1.5575$$

$$L_e = 3.115 \text{ m}$$

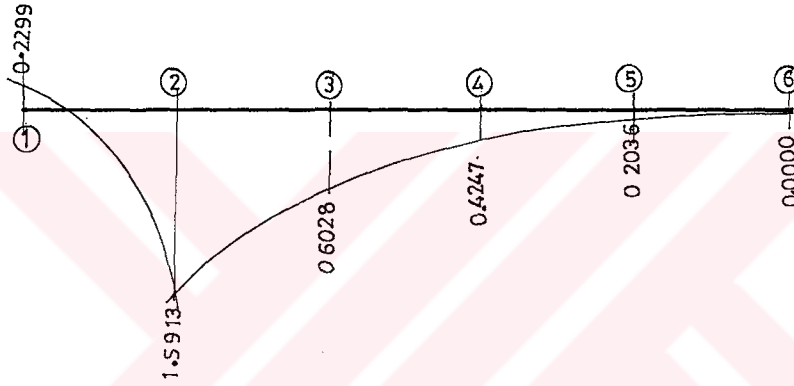
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6 \times L_e x_1 D}{L} = \frac{6 \times 3.115 \times 1.3717}{5} D = 5.1274 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 5.1274 D$$

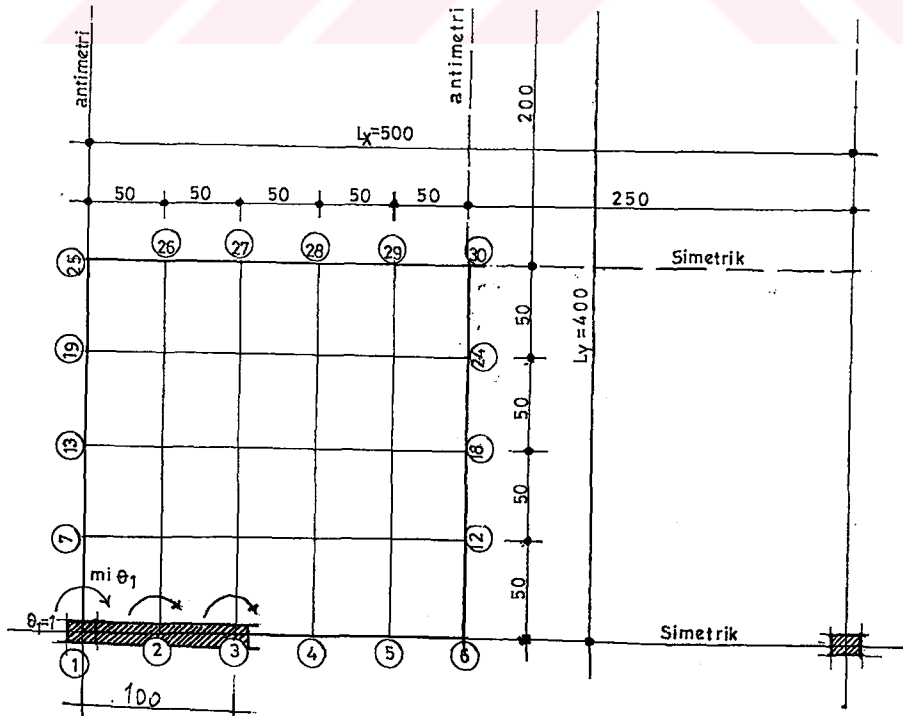
b) m_x 'in 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



c) m_x 'in 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca Değişimin Çizilmesi



2.6.3.2.3. Perde Genişliği 1 m iken Çözüm



Şekil 2.24. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Bu durumda birinci düğüm noktadan üçüncü düğüm noktaya kadar rijit bir perde bulunmaktadır. Sistemin özelliği ise aynıdır. Değişiklik sınır şartlar ve yükleme durumundadır. Yükleme durumu 1.2. ve 3. düğüm noktalarda birer birim dönme verilecektir. Bu şartlara uygun olan giriş data hazırlanıp hazır bir bilgisayar programla çözüldü.

Alınan bilgisayar çıktılarından yararlanarak

- 1.7.13.19. ve 25 eksene göre plak birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır.

- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksene boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a. $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Birinci ve ikinci düğüm noktalarda birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30. düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşacaktır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'in çarpımı plağın 1.7.13.19. ve 25 aksına göre plağın yarısı olan birim deplasman sabitini verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2PL_x/2 D$$

$$L_x/2 = 5/2 = 2.5 \text{ m}$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

$$P = 10^{50} [0.289551 \times 10^{-50} + 0.486576 \times 10^{-50} + 0.311667 \times 10^{-50} + 0.185223 \times 10^{-50} + 0.71830 \times 10^{-51}] = 1.344867$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.5 \times 1.344867D = 6.724D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 6.724D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) * L}{6 * x_1} = \frac{6.724 * 5}{6 * 1.9531} = 2.867 \text{ m} \Rightarrow L_e = 2.867 \text{ m}$$

Karşılaştırma Hesabı

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L' \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 4 \left[0.90 + \frac{4}{5*6} - \frac{4}{1.5*6} \right] = 2.3556$$

$$= 2.3556 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6L_e * x_1 * D}{L} = \frac{6 * 2.3556 * 1.9531}{5} * D = 5.5208 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 5.5208 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analogisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$W = 1.00 \text{ m}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/4)^3 = 1.9531$$

$$e = 1/3w = 1/3 * 1 = 0.3333$$

$$x_2 = 1 + 1.51(e/1)^2 = 1 + 1.51 \left(\frac{0.3333}{4} \right)^2 = 1.0944 \text{ m}$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \cdot \frac{x_1}{x_2} \cdot \frac{L^2}{LW} = \frac{3}{4} * \frac{1.9531}{1.0944} * \frac{4^2}{5 * 1} = 4.283$$

$$\beta_1 = 2.070$$

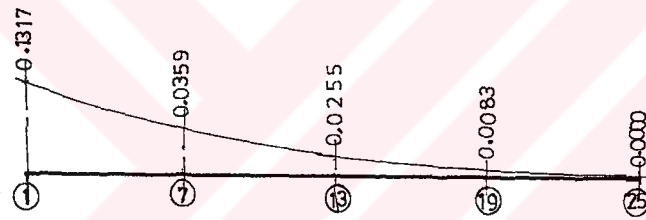
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \tanh 3.743}{2.070} = 1.8715$$

$$L_e = 3.743 \text{ m}$$

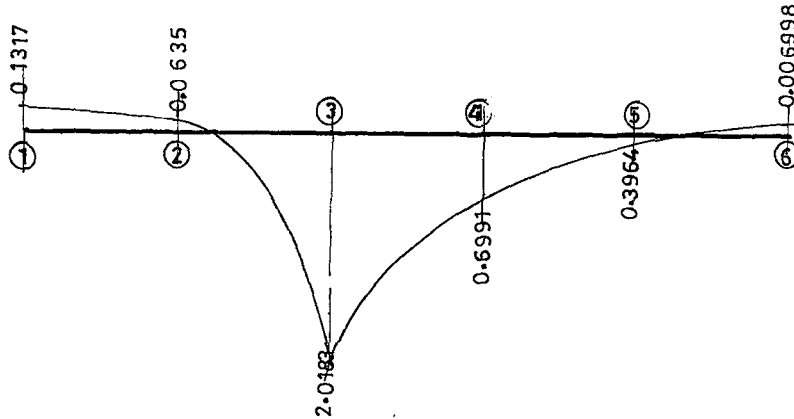
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{6 \times L_e \times D}{L} = \frac{6 \times 3.743 \times 1.9531}{5} D = 8.7725 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 3.7725 D$$

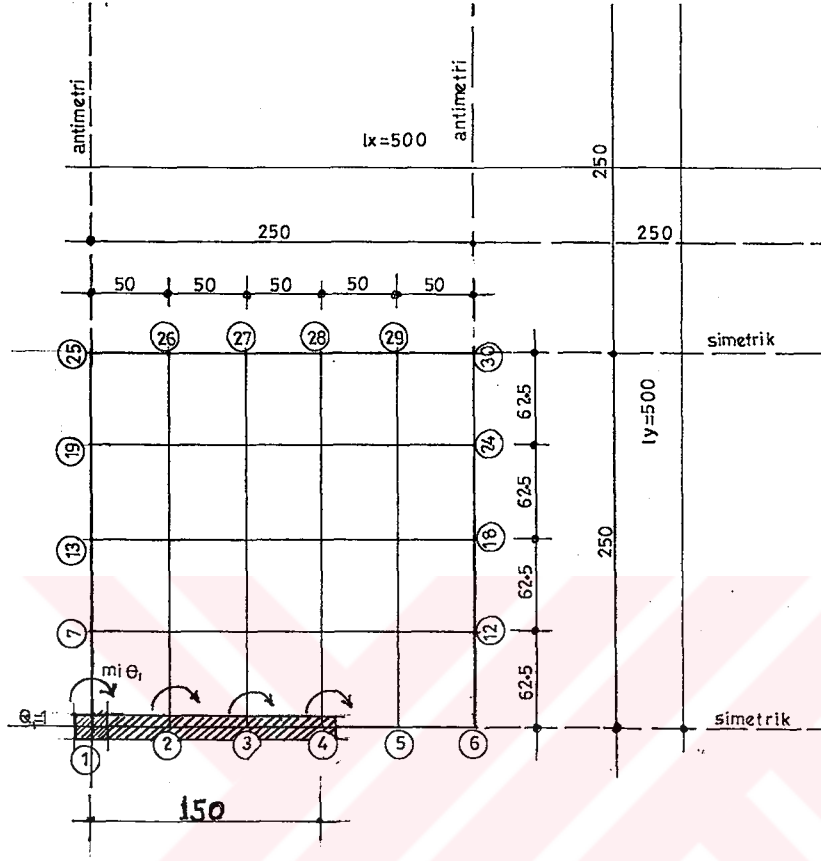
- b) 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimin Çizilmesi



- c) 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimin Çizilmesi



2.6.3.2.4. Perde Genişliği 1.50 m iken Çözüm



Şekil 2.25. Gözönüne Alınan Sistem ve Yükleme Durumu

Genişliği 1.5 m olan rijit perde birinci düğüm noktasından dördüncü düğüm noktasına kadarbulunmaktadır. Sistem özelliği aynıdır. Ancak sınır şartlar ile yükleme durumlarda değişiklik yapılmıştır. Bu değişikliklere bağlı olarak giriş data hazırlanıp çözülmüştür. Hazır bir bilgisayar programa uygun giriş data ile bilgisayar çıktıları aşağıda gösterilmiştir.

Bu çıkışlardan yararlanarak

- 1.7.13.19. ve 25 eksene göre plak birim deplasman sabiti ile çalışan efektif döşeme genişliği hesaplanacaktır.

- Aynı eksene ile 1.2.3.4.5. ve 6. eksene boyunca m_x 'in değişimi çizilecektir.

a, $m_{i\theta_i}$ (plak)'in Hesaplanması

Rijit perde bulunduğu, yani 1.2.3. ve 4. düğüm noktalarda birer birim dönme verildiğinde 6.12.18.24. ve 30 düğüm noktalarda mesnet tepkileri oluşmaktadır. Bu mesnet tepkilerin toplamı ile $L_x/2$ 'nin çarpımı 1.7.13.19. ve 25 eksene göre plağın yarısı olan birim deplasman sabitini verecektir.

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2PL_x/2 D$$

Burada

$$L_x/2 = 5/2 = 2.5 \text{ m}$$

$$P = 10^{50} [d_{1.6} + d_{1.12} + d_{1.18} + d_{1.24} + d_{1.30}]$$

dır. Sayısal olarak

$$P = 10^{50} [0.742726 \times 10^{-50} + 0.109980 \times 10^{-49} + 0.546930 \times 10^{-50} + 0.246743 \times 10^{-50} + 0.820884 \times 10^{-51}] = 2.7183$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 2 \times 2.5 \times 2.7183 D = 13.5914 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 13.5914 D$$

$$L_e = \frac{m_{i\theta_i}(\text{plak}) * L}{5 * x_1} = \frac{13.5914 * 5}{5 * 2.9155} = 3.8848$$

$$L_e = 3.8848$$

Karşılaştırma Hesabı

I. [1]'deki Ampirik Formül ile Karşılaştırma

$$L_e = L \left[0.90 + \frac{y}{5x} - \frac{L'}{1.5x} \right] = 3.50 \left[0.90 + \frac{4}{5 * 6.5} - \frac{3.50}{1.5 * 6.5} \right] = 2.3244 \text{ m}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{5L_e * x_1^2}{L} = \frac{5 * 2.3244 * 2.9155}{5} * D = 8.1320 \text{ D}$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 8.1320 \text{ D}$$

II. Nervürlü Kiriş Analojisi Yaparak Bulunan Effektif Genişlik ve Birim Deplasman Sabiti

$$W = 1.50 \text{ m}$$

$$x_1 = (L/L')^3 = (5/3.5)^3 = 2.9155$$

$$e = 1/3w = 1/3 * 1.50 = 0.50$$

$$x_2 = 1 + 1.51(e/1)^2 = 1 + 1.51 \left(\frac{0.50}{4} \right)^2 = 1.212 \text{ m}$$

$$\beta_1^2 = 3/4 \frac{x_1}{x_2} \frac{L}{LW} = \frac{3}{4} * \frac{2.9155}{1.212} * \frac{4^2}{5 * 1.50} = 3.849$$

$$\beta_1 = 1.962$$

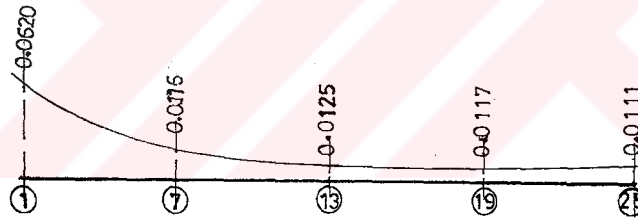
$$L_e/2 = \frac{1 \tanh \beta}{\beta} = \frac{4 \tanh 1.962}{1.962} = 1.9595 \text{ m}$$

$$L_e = 3.919 \text{ m}$$

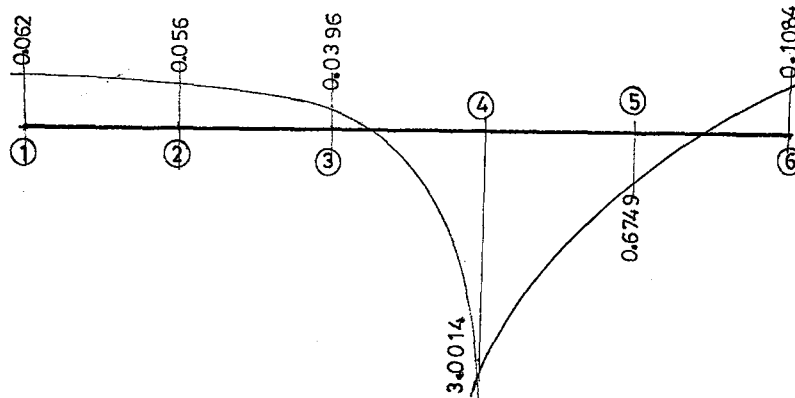
$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = \frac{5 * L_e * D}{L} = \frac{5 * 3.919 * 2.9155}{5} D = 13.7110 D$$

$$m_{i\theta_i}(\text{plak}) = 13.7110 D$$

- b) 1.7.13.19 ve 25 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimin Çizilmesi



- c) 1.2.3.4.5 ve 6 Eksene Boyunca m_x 'in Değişimin Çizilmesi



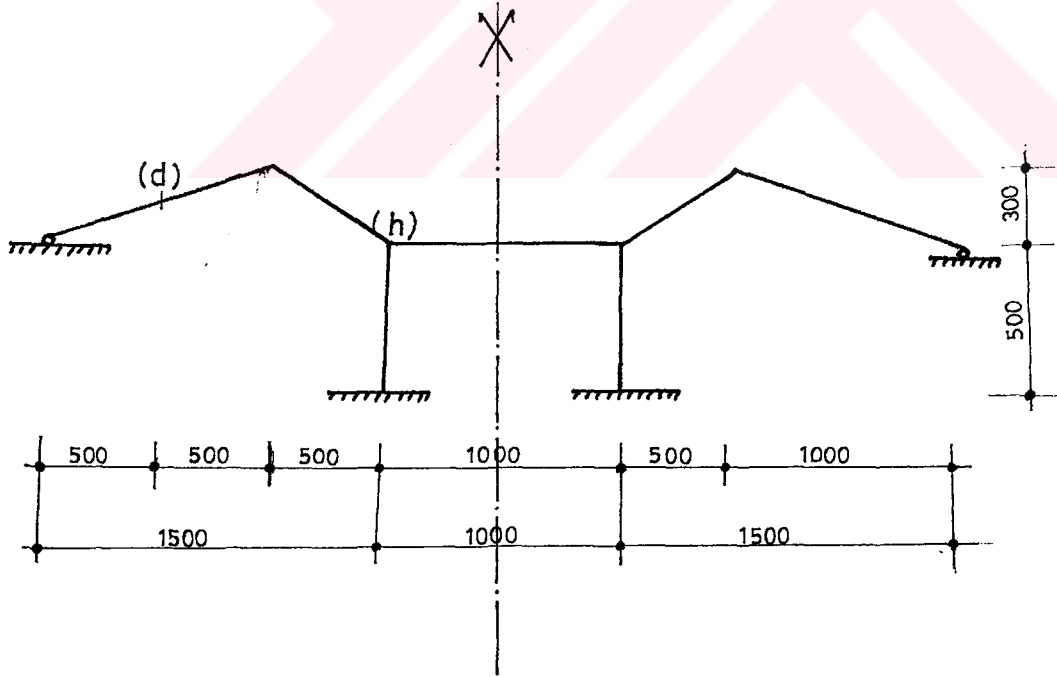
Lx	Ly	PERDE GENİŞLİĞİ (w)	SONLU ELEMANLAR METODU İLE BULUNAN SONUÇ		AMPİRİK FORMÜLÜNÜN SONUÇLARI		NERVÜRLÜ KIRIŞ ANALOJİ FORMÜLÜNÜN SONUÇLARI	
			EFFKTİF Geni Le (m)	PLAK BİRİM DEPLAŞMAN SABİTİ m ₀ (plak)	Le	PLAK BİRİM DEPLAŞMA SABİTİ m ₀ (plak)	Le	PLAK BİRİM DEPLAŞMAN SABİTİ m ₀ (plak)
5 m	5 m	0	1.55	m ₀ (plak)=3.708D	1.50	m ₀ (plak)=5.20D	1.826	m ₀ (plak)=4.382D
5 m	5 m	1.00 m	2.41	m ₀ (plak)=11.295D	2.489	m ₀ (plak)=11.667D	2.638	m ₀ (plak)=12.367D
5 m	5 m	2.00 m	2.24	m ₀ (plak)=24.935D	2.271	m ₀ (plak)=25.238D	2.501	m ₀ (plak)=27.783D
5 m	5 m	3.00 m	1.72	m ₀ (plak)=64.627D	1.717	m ₀ (plak)=64.388D	1.750	m ₀ (plak)=65.616D
5 m	4 m	0	1.45	m ₀ (plak)=3.503D	1.300	m ₀ (plak)=3.12D	1.825	m ₀ (plak)= 4.38 D
5 m	4 m	1.00 m	2.30	m ₀ (plak)=10.783D	2.356	m ₀ (plak)=11.042D	2.644	m ₀ (plak)=12.394D
5 m	4 m	2.00 m	2.13	m ₀ (plak)=23.715D	2.186	m ₀ (plak)=24.286D	2.548	m ₀ (plak)=27.315D
5 m	4 m	3.00 m	1.65	m ₀ (plak)=62.058D	1.667	m ₀ (plak)=62.501D	1.823	m ₀ (plak)=68.554D
5 m	5 m	0	1.302	m ₀ (plak)=1.562D				
5 m	5 m	0.50 m	2.419	m ₀ (plak)=3.982D	2.414	m ₀ (plak)=3.972D	3.184	m ₀ (plak)=5.241D
5 m	5 m	1.00 m	3.078	m ₀ (plak)=7.214D	2.489	m ₀ (plak)=5.824D	3.771	m ₀ (plak)=8.838D
5 m	5 m	1.50 m	4.143	m ₀ (plak)=7.25D	2.432	m ₀ (plak)=8.299D	3.998	m ₀ (plak)=13.6305D
5 m	4 m	0	1.213	m ₀ (plak)=1.456D				
5 m	4 m	0.50 m	2.293	m ₀ (plak)=3.775D	2.250	m ₀ (plak)=3.704D	3.115	m ₀ (plak)=5.1274D
5 m	4 m	1.00 m	2.869	m ₀ (plak)=6.724D	2.336	m ₀ (plak)=5.833D	3.743	m ₀ (plak)=8.7725D
5 m	4 m	1.50 m	3.885	m ₀ (plak)=13.591D	2.325	m ₀ (plak)=8.509D	3.818	m ₀ (plak)=13.7110D

iç
açıklıkkenar
açıklık

BÖLÜM III. YAPI SİSTEMLERİNİN HESAP YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

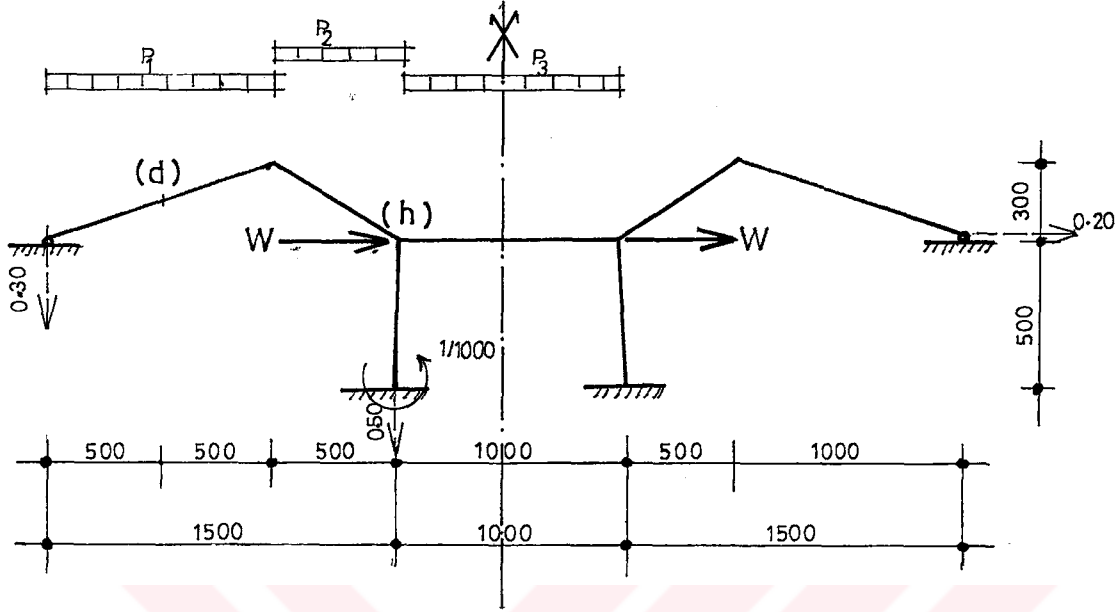
3.1. Giriş

Bu bölümde, geometrik özellikleri Şekil 2.1'de verilen tek katlı üç açıklıklı sanayi yapısı ele alınarak önce boyutlandırılması yapıldı. Daha sonra değişik yükleme durumları için çeşitli hesap yöntemleri uygulanarak kesin statik hesabı yapılmıştır. Bu hesaplar sonucunda elde edilen kesit zorlarının en elverişsiz kombinasyonları gözönüne alınarak kesit hesapları yapılmıştır. Ayrıca d' ve h' kesitlerine ait M.N.T. tesir çizgileri çizilmiştir.



Şekil 3.1. İncelenen Sistemin Tipik Çerçevesi

3.2. Seçilen Sistemin Geometrik Özellikleri ve İşletme Yükleri



Şekil 3.2. Sistemin Geometrik Özellikleri ve İşletme Yükleri

Malzeme : Betonarme BS25, BÇIII

Çerçeve aralığı : 5 m

İlave yükleri : $P_1 = P_2 = P_3 = 12 \text{ kN/m}$

Deprem yükleri : $w = 40 \text{ kN}$

Yükleme durumları ve kullanılacak hesap yöntemleri:

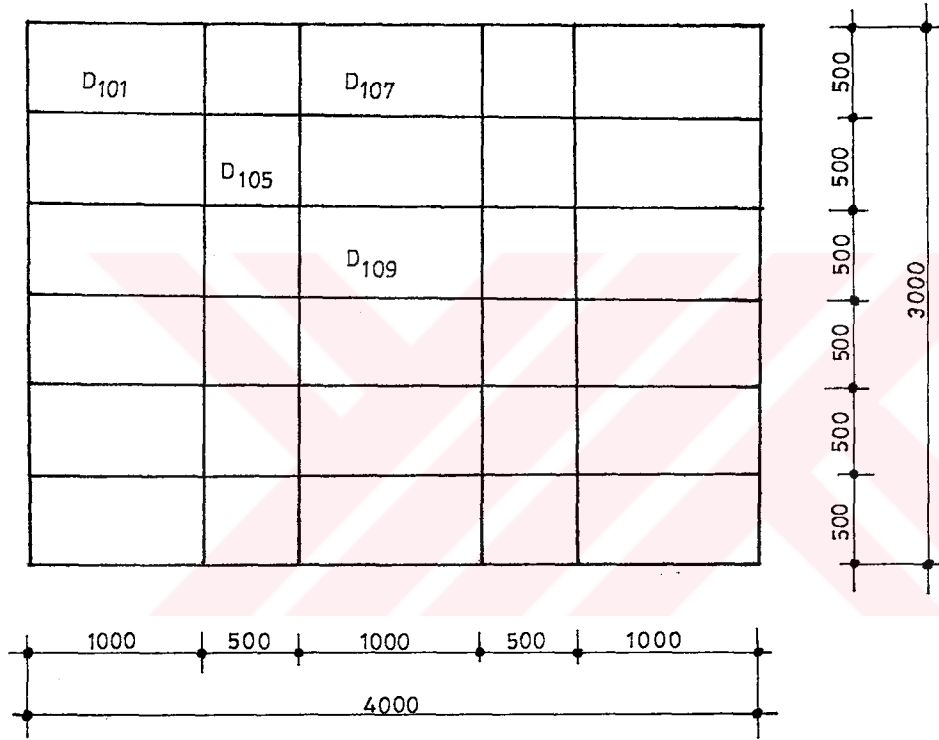
1. Ön boyutlandırma : AÇ yöntemi
2. Sabit yükleri : AÇ yöntemi
3. İlave yükleri için ayrı ayrı : Matris kuvvet yöntemi
4. Deprem yükü için : Cross yöntemi
5. $a, t = \pm 20^\circ$ sıcaklık değişmesi için : Matris deplasman yöntemi
6. b, verilen mesnet çökmeleri için : Matris deplasman yöntemi

Bu hesaplar sonucunda elde edilecek kesit tesirlerinin en elverişsiz durumlarına göre kesit hesapları yapılacaktır. Ayrıca (d) ve (h) kesitlerinde M, N, T tesir

çizgileri Endirekt Deplasman Yöntemi kullanılarak çizilecektir.

3.3. Yapının Ön Boyutlandırılması

3.3.1. Döşeme Hesapları



Şekil 3.3. Döşeme Planı

D_{101} - D_{107} döşemeleri

$$L_{uzun} = 10 \text{ m}$$

$$L_{kisa} = 5 \text{ m}$$

$$m = \frac{L_{uzun}}{L_{kisa}} = \frac{10}{5} = 2.00$$

Yukarıda görüldüğü gibi $m = 2.00$ olduğundan tek doğrultuda çalışan döşeme olarak kabul edilebilir. Bu durumda döşeme kalınlığı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$h_f = \frac{L_p}{35}, \quad L_p = 4/5 L_{kisa} = 4/5 \times 500 = 400 \text{ cm}$$

$$h_{f1} = \frac{400}{35} = 11.43 \text{ cm.}$$

Bu döşeme çift doğrultusunda çalışan döşeme olarak da kabul edilebilir. Bu durumda döşeme kalınlığı, h_f aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$h_{f2} = \frac{L_{yn} (800 + \beta f_{yd})}{3600 + 5000 \times m \times (1 + \alpha_p)}$$

l_{yn} = uzun kenarın net açıklığı = 980 cm

f_{yd} = 3650 kg/cm²

β = 0.07

α_p = sürekli kenarların toplam uzunluğunun döşeme çevresi uzunluğuna oranı

$$h_{f2} = \frac{980 (800 + 0.07 \times 3650)}{3600 + 5000 \times 2 \times (1 + 1)} = 18.47$$

$m = 2.00$ olduğundan döşeme hem çift doğrultuda hem de tek doğrultuda çalışan döşeme olarak kabul edilebilir. Dolayısıyla döşeme kalınlığının ikisinin kalınlıklarının ortalaması olarak alınması daha uygun ve ekonomik olur.

$$h_f = \frac{h_{f1} + h_{f2}}{2} = \frac{11.43 + 18.47}{2} = 14.95 \text{ cm.}$$

$h_f = 15 \text{ cm}$ olarak kabul edildi.

D_{104} , D_{105} ve D_{106} Döşemelerin Kalınlıklarının Hesabı

$L_{uzun} = L_{kisa} = 500 \text{ cm}$

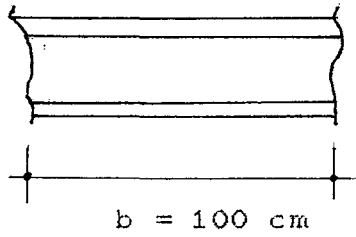
$$m = \frac{500}{500} = 1.00$$

Bu döşeme çift doğrultuda çalışan döşeme olarak kabul edilir.

$$h_f = \frac{480 (800 + 0.07 \times 3650)}{3650 + 5000 \times 1 (1+1)} = 11.02 \text{ cm.}$$

Bütün döşemeler için kalınlık olarak $h_f = 15.00 \text{ cm}$ kabul edildi.

Yük analizi



Tesviye beton ve şap ağırlığı	$= g_1 = 0.05 \times 2.20 = 0.110 \text{ t/m}^2$
Betonarme döşeme ağırlığı	$= g_2 = 0.15 \times 2.5 = 0.375 \text{ t/m}^2$
Sıva kendi ağırlığı	$= g_3 = 0.02 \times 2.0 = 0.04 \text{ t/m}^2$
Toplam sabit yük	$= g = g_1 + g_2 + g_3 = 0.525 \text{ t/m}^2$
Faydalı ve hareketli yük	$= g = 0.100 \text{ t/m}^2$
Hesap yükü	$= p = 2.4 g + 1.6 g = 1.4 \times 0.525 + 1.6 \times 0.100 = 0.895 \text{ t/m}^2$
	$p = 0.895 \text{ t/m}^2$

olarak alınmıştır.

Döşeme kesit hesabında kullanılacak momentleri TS500'de verilen formüller yardımıyla hesaplanmıştır. Statik ve betonarme hesap sonuçları Tablo 3.1.de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Döşeme Eğilme Momentleri ve Seçilen Donatıları

Tablo 3.1. Döşeme Eğilme Momentleri ve Seçilen Donatıları Malzeme : RS25/BÇIII

Doğrultu	Döşeme	Yer	Moment tcm(m)	b (cm)	d (cm)	K cm ² /t	Ks cm ² /t	As cm ²	Mevcut donatı	Ek donatı
x	D ₁₀₁ D ₁₀₇	AÇIKLIK	203	100	13.5	89.78	0.303	4.56	Φ10/17 (4.62)	-
		MESNET	-249	100	13.5	73.19	0.306	5.64	Φ10/34+ 10/40 (4.28)	Φ8/20 (2.51)
x	D ₁₀₂ D ₁₀₃ D ₁₀₈ D ₁₀₉	AÇIKLIK	149	100	13.5	122.32	0.300	3.31	Φ10/20 (3.93)	Φ8/20 (2.51)
		MESNET	-224	100	13.5	81.36	0.304	5.04	2Φ10/20 (3.31)	-
x	D ₁₀₄	SÜREKLİ MESNET	-46.99	100	13.5	387.85	0.294	1.02	Φ8/40 (1.26)	-
		AÇIKLIK	69.36	100	13.5	262.76	0.295	1.52	Φ8/40+Φ8/40 (2.51)	-
		SÜREKLİ MESNET	-91.74	100	13.5	198.66	0.297	2.02	Φ8/20 (2.51)	-
	D ₁₀₅ D ₁₀₆	SÜREKLİ MESNET	-73.84	100	13.5	246.82	0.296	1.62	2Φ8/40 (2.51)	-
		AÇIKLIK	55.94	100	13.5	325.30	0.294	1.22	2Φ8/40 (2.51)	-
y	D ₁₀₄	SÜREKLİ MESNET	-91.74	100	12	156.97	0.298	2.28	2Φ8/40 (2.51)	-
		AÇIKLIK	69.36	100	12	207.61	0.296	1.71	Φ8/20 (2.51)	-
y	D ₁₀₅ D ₁₀₆	SÜREKLİ MESNET	-73.84	100	12	195.02	0.297	1.83	2Φ8/40 (2.51)	-
		AÇIKLIK	55.94	100	12	257.42	0.295	1.38	Φ8/20 (2.51)	-

$$t \text{ donatı aralığı} \leq 1.5 h_f = 1.5 \times 15 = 22.5$$

$$t = 20 < 22.5 \text{ olduğu için uygundur.}$$

Dağıtma donatısı

$$\text{- Mesnete } A_{sd} = 0.60 \times \max A_s = 0.60 \times 5.64 = 3.38 \text{ cm}^2$$

$$\phi 10/20$$

$$\text{- Açıklıkta } A_{sd} = 1/5 \max A_s = 1/5 \times 4.56 = 0.912 \text{ cm}^2$$

$$\phi 8/20 (2.51 \text{ cm}^2)$$

$$t \text{ dağıtma donatısı aralığı } t \leq 2 h_f = 2 \times 15 = 30$$

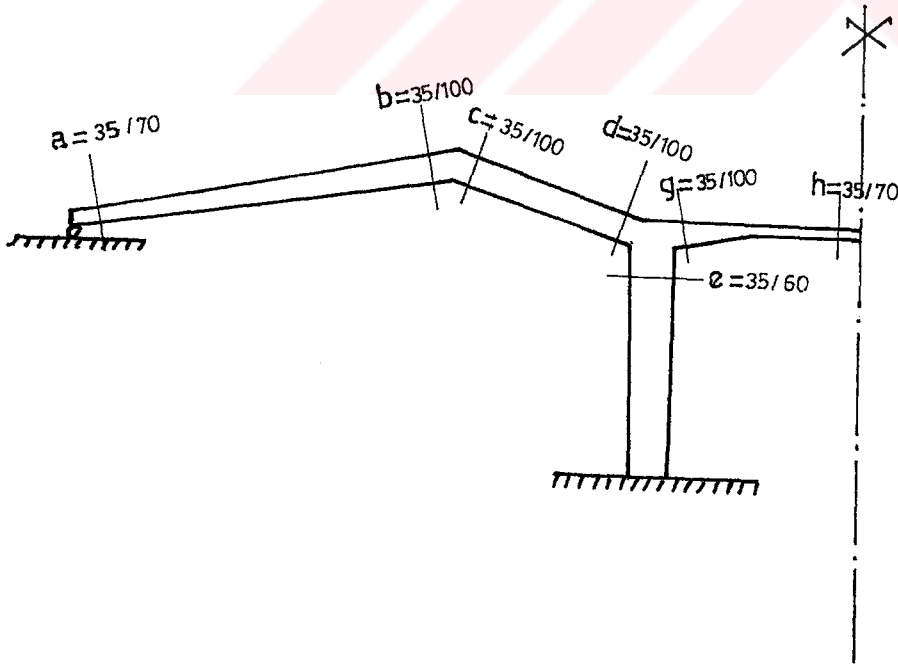
$$t = 20 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

3.3.2. Çerçeve Ön Boyutlandırılması

3.3.2.1. Ön Boyutlandırılmada İzlenen Yol

Önce bütün çubukların atalet momentleri oranı seçilip $g = 10 \text{ kN/m}$ için açılı yöntemiyle sistemin statik hesabı yapılarak kesit tesirlere göre betonarme kesit hesabı yapılarak kontrol edilir ve çubuklara boyut verilir. Verilen yeni boyutlara göre atalet momentleri yeniden hesaplanarak bu yeni atalet momentlerine göre sistemin statik hesabı yeniden yapılır. Bir sonraki adımda bulunan atalet momentleri oranı bir önceki adımda bulunanlara yeter derecede yaklaşıncaya kadar hesaplar ardışık olarak yenilenir.

Sistemin her adımda açılı yöntemiyle yeniden çözülerek yapı elemanlarının boyutları belirlendi. Boyutlandırmanın sonucu Şekil 3.4. ve Tablo 3.2'de çerçeve detayı olarak gösterildi.



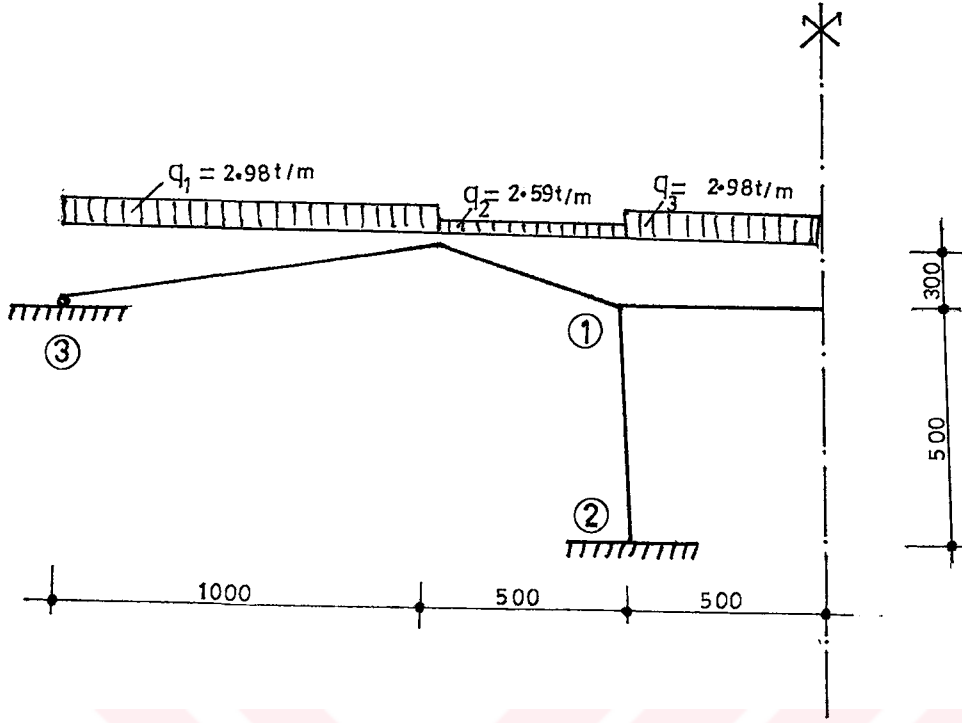
Şekil 3.4. Sistem ve Kesitleri

Tablo 3.2. Kesitlerin Boyutları ve Atalet Momentleri

Kesit	Kesire boyutlar (cm)	$I \text{ m}^4$
a	35/70 (Tablalı)	0.0153
b	35/100 (Tablalı)	0.0342
c	35/100 (Tablalı)	0.0342
d	35/100 (Tablalı)	0.0342
e	35/60 (Dikdörtgen)	0.0063
f	35/60 (Dikdörtgen)	0.0063
g	35/100 (Tablalı)	0.0342
h	35/70 (Tablalı)	0.0153

3.4. Sabit Yükle İçin Açık Yöntemiyle M, N, T Diyagramlarının Çizimi

Çerçeve yük analizinin ayrıntılı hesabı yapıldı. Sonuç olarak bulunan düzgün yayılı yük değerleri sistemde gösterildiği gibidir. Enine doğrultudaki kirişlerden sisteme etkiyen tekil yükler gözönüne alınmadı. Sistem hem boyutları hem de yükleme olarak simetrik olduğundan sistemin yarısı ile hesap yapıldı.



Şekil 3.5. Sistemi Etkiyen Sabit Yükler

3.4.1. Açı Yöntemiyle Hesap

Sistem hem boyutları hem de yükleme olarak simetrik olduğundan düğüm noktası sabit sistem olarak düşünülebilir. Bu durumda;

Bilinmeyen : 1. düğüm noktasındaki dönme yani θ_1

Denklemler : $\sum M_1 = 0$ dır.

3.4.2. Birim Deplasman Sabitleri

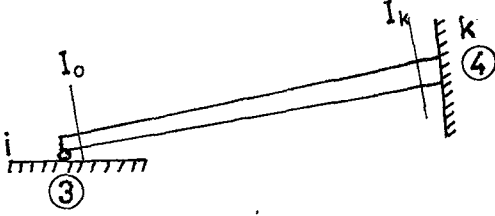
a, Sabit Kesitli Kolonlar İçin

$$m_{1\theta 1}^{12} = \frac{4EI}{L} = \frac{4 \times 0.0063}{5} E = 0.00504 E$$

$$m_{1\theta 2}^{12} = \frac{2EI}{L} = \frac{2 \times 0.0063}{5} = 0.00252 E$$

b, Sabit Kesitli Olmayan Kırık Kirişler İçin Birim
Deplasman Sabitleri

b.1 (3-4) Kirişi İçin Birim Deplasman Sabitleri



$$\lambda = 1.00$$

$$I_o = 0.0153 \text{ m}^4$$

$$I_k = 0.03417 \text{ m}^4$$

$$n = \frac{I_o}{I_k} = \frac{0.0153}{0.03417} = 0.40$$

$\lambda=1.00$ ve $n=0.40$ için C_1, C_2, C_3, a_1 ve a_2 'lerin değerleri

$$C_1 = 0.2637$$

$$a_1 = 0.0286$$

$$C_2 = 0.1668$$

$$a_2 = 0.0238$$

$$C_3 = 0.1047$$

$$\alpha_i = \frac{1}{EI_o} \cdot C_1 = \frac{10.44}{EI_o} \times 0.2637 = \frac{2.75302}{EI_o}$$

$$\alpha_k = \frac{L}{EI_o} \cdot C_2 = \frac{10.44}{EI_o} \times 0.1668 = \frac{1.7414}{EI_o}$$

$$\beta = \frac{L}{EI_o} \cdot C_3 = \frac{10.44}{EI_o} \times 0.1047 = 1.093/EI_o$$

$$\alpha_{io} = \frac{L^3}{EI_o} \cdot a_1 = \frac{(10.44)^3}{EI_o} \times 0.0286 = 32.5437/EI_o$$

$$\alpha_{ko} = \frac{L^3}{EI_o} \cdot a_2 = \frac{(10.44)^3}{EI_o} \times 0.0238 = 27.0819/EI_o$$

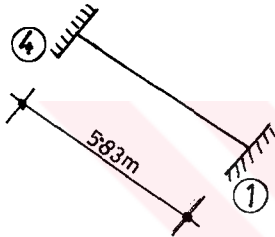
$$m_{i\Theta i} = \frac{\alpha_k}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{1.7414}{2.75302 \times 1.7414 - (1.0931)^2} EI_o = 0.4838 EI_o = 0.0074 E$$

$$m_{k\theta i} = \frac{\beta}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{1.7414}{2.75302 \times 1.7414 - (1.0931)^2} EI_o = 0.3037 EI_o = 0.00465 E$$

$$m_{k\theta k} = \frac{\alpha_i}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{1.7414}{2.75302 \times 1.7414 - (1.0931)^2} EI_o = 0.76489 EI_o = 0.011703 E$$

$$\bar{m}_{k\theta k} = m_{k\theta k} - \frac{m_{k\theta i}^2}{m_{i\theta i}} = 0.011703 - \frac{(0.00465)^2}{0.0074} = 0.00878 E$$

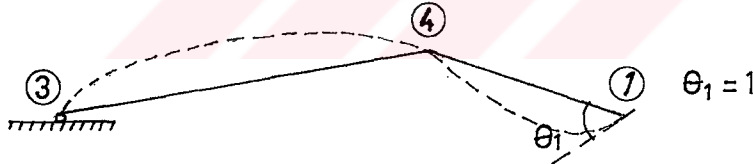
b.2 (4-1) Sabit Kesitli Kirişin Birim Deplasman Sabiti Hesabı



$$m_{4\theta 4} = m_{1\theta 1} = \frac{4EI}{L} = \frac{4 \times 0.03417}{5.83} E = 0.02344 E$$

$$m_{1\theta 4} = m_{4\theta 1} = \frac{2EI}{L} = 0.01172 E$$

b.3 (1-3) Kırık Kirişinin Tek Çubuk Olarak Birim Deplasman Sabitlerinin Bulunması



$$\Sigma M_4 = 0 \quad 1 \times m_{4\theta 1}^{41} + \theta_4 (m_{4\theta 4}^{41} + m_{4\theta 4}^{41}) = 0$$

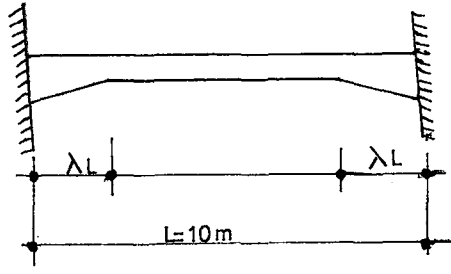
$$\theta_4 = -\frac{m_{4\theta 1}^{41}}{(m_{4\theta 4}^{43} + m_{4\theta 4}^{41})} = -\frac{0.01172 E}{(0.00878 + 0.02344)} = -0.36374$$

$$\bar{m}_{1\theta 1}^{13} = m_{1\theta 1}^{14} + m_{1\theta 4}^{14} \theta_4 = 0.02344 E - 0.01172 \times 0.36374 = 0.01918 E$$

b.4 Ortadaki Güseli Kirişin Birim Deplasman Sabitlerinin Hesabı

$$I_o = 0.0153 \text{ m}^4$$

$$I_k = 0.03417 \text{ m}^4$$



$$n = \frac{I_o}{I_k} = \frac{0.0153}{0.03417} = 0.40$$

$n = 0.40$ ve $\lambda = 0.20$ için C_1 , C_2 , C_3 , a_1 ve a_2 'lerin değerleri

$$C_1 = 0.2707 \quad a_1 = a_2 = 0.0393$$

$$C_2 = 0.2707$$

$$C_3 = 0.1573$$

$$\alpha_i = \alpha_k = \frac{L}{EI_o} C_1 = \frac{10 \times 0.2707}{EI_o} = 2.707/EI_o$$

$$\beta = L/EI_o = C_3 \frac{10 \times 0.1573}{EI_o} = 1.573/EI_o$$

$$\alpha_{io} = \alpha_{ko} = \frac{L^3}{EI_o} a_1 = \frac{10^3}{EI_o} \times 0.0393 = 39.3/EI_o$$

$$m_{iei} = m_{kek} = \frac{\alpha_i}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{\alpha_k}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{2.707}{(2.707)^2 - (1.573)^2} \times EI_o = 0.55774 EI_o$$

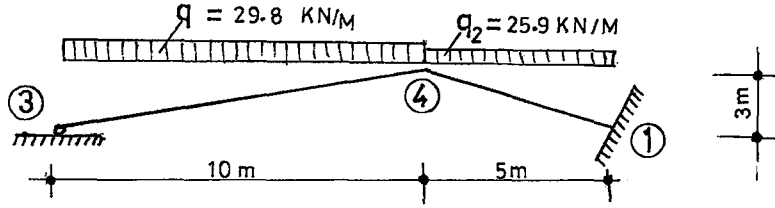
$$m_{iei} = m_{kek} = 0.00853 E$$

$$m_{iek} = m_{kei} = \frac{\beta}{\alpha_i \alpha_k - \beta^2} = \frac{1.573}{(2.707)^2 - (1.573)^2} = 0.32409 EI_o$$

$$m_{iek} = m_{kei} = 0.00496 E$$

3.4.3. Ankastrelik Momentlerinin Hesabı

1-3 çubuğunda;



$$\sum M_4 = 0 \quad M_{43} + M_{41} + \theta_4 (m_{44}^{41} + m_{44}^{43}) = 0$$

$$\theta_4 = \frac{(M_{43} + M_{41})}{(m_{44}^{43} + m_{44}^{41})}$$

$$M_{34} = 0$$

$$\begin{aligned} \bar{M}_{43} &= M_{43} \alpha_{10} - m_{44} \alpha_{k0} = [0 \times 2127.04 - 0.00878 \times 1770.056/E] \times 10 \\ &= -155.4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$\bar{M}_{43}$ momenti birim yayılı yükten dolayı meydana gelen momenttir. $g = 2.98 \text{ t/m}$ yükleme için ise bunun çarpımı olarak bulunur.

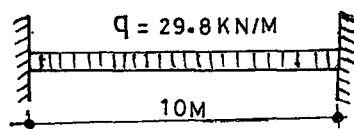
$$\bar{M}_{43}' = g \times \bar{M}_{43} = [2.98 \times 15.54 \times 100^2 \theta] \times 10 = -425.1 \text{ kN/m}$$

$$M_{41} = -M_{14} = \left[\frac{gL^2}{12} \right] \times 10 = \left[\frac{2.59}{12} \right] \times 10 = 53.98 \text{ kN/m}$$

$$\theta_4 = -\frac{(\bar{M}_{43}' + M_{41})}{(m_{44}^{43} + m_{44}^{41})} = \frac{-(-42.51 + 5.40)}{(0.00878 + 0.02344)} = 1151.77/E$$

$$\bar{M}_{13} = M_{14} + m_{14} \theta_4 = [-5.40 + 1151.77 \times 0.01172] \times 10 = 81 \text{ kN/m}$$

1-1 çubuğunda;



$$m_{iei} = m_{kek} = 0.00853 E$$

$$m_{iek} = m_{kei} = 0.00495 E$$

$$\alpha_{io} = \alpha_{ko} = \frac{2568.6275}{E}$$

Simetrik yükleme için

$$\bar{m}_{iei} = m_{iei} - m_{iek} = (0.00853 - 0.00495)E$$

$$\bar{m}_{iei} = 0.00357 E$$

Antimetrik yükleme için

$$\bar{m}_{iei} = m_{iei} + m_{iek} = (0.00853 + 0.00495)E$$

$$\bar{m}_{iei} = 0.01349 E$$

$$M_{ik} = m_{iei} \alpha_{io} - m_{iek} \alpha_{ko} = \frac{0.00853E \times 2568.6275}{E} - 0.00495E \times \frac{2568.6275}{E}$$

$$M_{ik} = -M_{ki} = 91.7 \text{ kN/m}$$

$$M_{11} = M_{ik} \times g = [9.17 \times 2.98] \times 10 = 273.4 \text{ kN/m}$$

3.4.4. Denklem Takımı ve Çözümü

$$\Sigma M_1 = 0$$



$$M_{13} + M_{12} + M_{11} = 0$$

$$M_{13} = \bar{M}_{iei}^{13} \theta_1 + \bar{M}_{13} = 0.0192 \theta_1 + 8.10$$

$$M_{12} = M_{iei}^{12} \theta_1 = 0.00504 \theta_1$$

$$M_{11} = \bar{M}_{iei}^{12} \theta_1 + M_{11} = 0.00357 \theta_1 + 27.345 = 0$$

$$0.0278 \theta_1 + 35.45 = 0$$

$$\theta_1 = -1275/E$$

3.4.5. Süperpozisyon Denklemiyle Uç Momentlerin Hesabı

$$M_{13} = [0.0192 \times (-1275) + 8.10] \times 10 = 163.8 \text{ kN/m}$$

$$M_{12} = [0.00504 \times (-1275)] \times 10 = -64.3 \text{ kN/m}$$

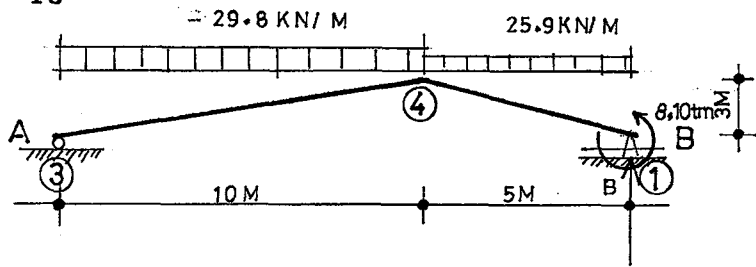
$$M_{21} = [0.00252 \times (-1275)] \times 10 = 32.1 \text{ kN/m (+)}$$

$$M_{23} = [0.0235 \times 1149.034 + 5.398] \times 10 = 324.0 \text{ kN/m (-)}$$

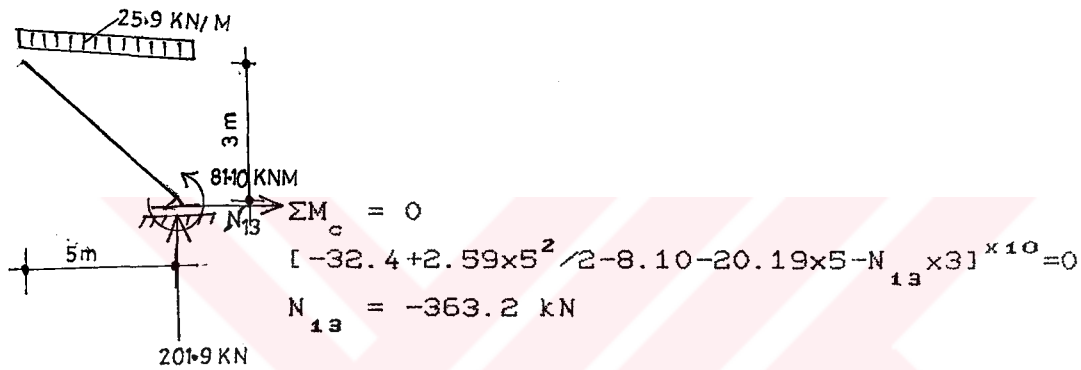
$$M_{11} = [0.00357 \times (-1275) + 27.345] \times 10 = 227.7 \text{ kN/m}$$

M_4 'ün bulunması

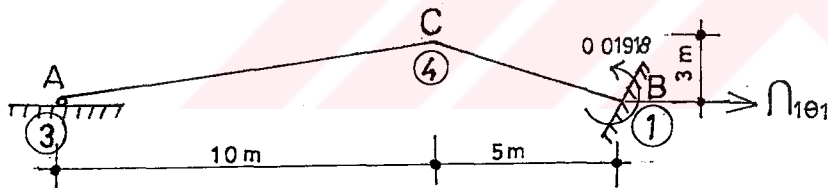
N_{13} 'nin bulunması



$$\sum M_A = 0 \quad [2.98 \times 10^2 / 2 + 2.59 \times 5 \times 12.5 - 8.10 + 8 \times 15] \times 10^0 = 0$$



$n_{1\theta_1}$ 'nin bulunması

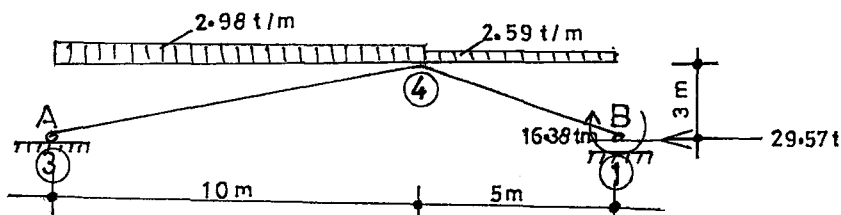


$$M_4 = \theta_4 \times m_{4\theta_4}^{\text{CA}} = -0.3637 \times 0.00878 = -0.0031937$$

$$M_4 = \bar{m}_{1\theta_1}^{13} \times \frac{L_1}{4 + L_2} + n_{1\theta_1} \times f = 0.01918 \times \frac{10}{5 + 10} + n_{1\theta_1} \times 3 = -0.0031937$$

$$n_{1\theta_1} = -0.005327$$

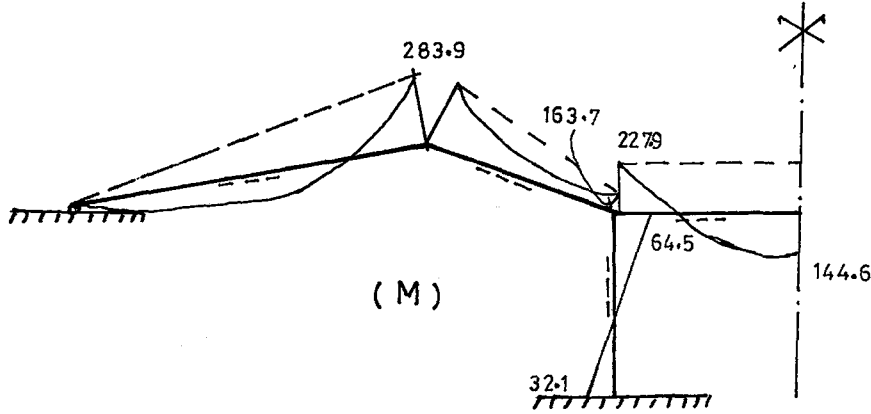
$$N_{13} = N_{13} + n_{1\theta_1} \times \theta_1 = [-36.32 - 0.005327 \times (-1275)] \times 10^0 = -295.7 \text{ kN/m}$$



$$\Sigma M_A = 0 [2.98 \times 10^2 / 2 + 2.59 \times 5 \times 12.5 + 16.38 - B \times 15] \times 10 = 0$$

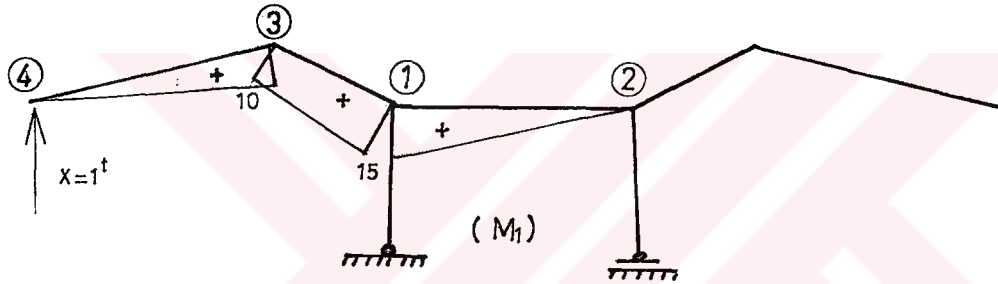
$$B = 218.17 \text{ kN}$$

$$M_C = [-16.38 - 2.59 \times 5^2 / 2 - 29.57 \times 3 + 21.817 \times 5] \times 10 = 283.8 \text{ kN/m}$$



Şekil 3.6 Sabit Yüklemeleri İçin M Diyagramı

3.4.6. K, S, D Kontrolü



1-2 Kirişi için

$$\alpha_i = \alpha_k = 2.7071 / EI_o$$

$$\beta = -1.573 / EI_o$$

$$\alpha_{io} = \alpha_{ko} = 39.3 / EI_o$$

3-4 Kirişi için

$$\alpha_i = 2.753 / EI_o$$

$$\alpha_k = 1.7414 / EI_o$$

$$\beta = 1.0931 / EI_o$$

$$\alpha_{io} = 32.5437 / EI_o$$

$$\alpha_{ko} = 27.082 / EI_o$$

$$E \int M_1 M_2 \frac{\delta s}{EI} = [2.707 + 1.573] \times 15 \times (-22.79) \times 1 / 0.0153 + 8 / 15^2 \times$$

$$39.3 \times 37.25 \times 15 \times 1 / 0.0153 + 5.83 / 6 \times [-2 \times 10 \times 28.39 - 15 \times 28.39 -$$

$$-16.36 \times 10 - 2 \times 16.36 \times 15] \times 1 / 0.0342 + 5.83 / 3 \times 8.097 \times (15 + 10) \times$$

$$1 / 0.0342 + 1.7414 \times 10 \times (-28.39) \times 1 / 0.0153 + 8 / 10.44^2 \times 27.08 \times 10 \times$$

$$37.25 \times 1.0.0153] \times 10$$

$$\Sigma(+) = 1747118.4$$

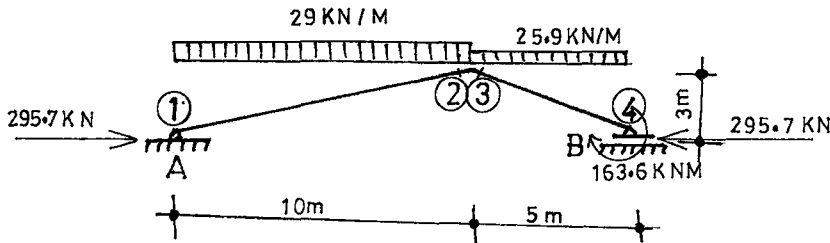
$$\Sigma(-) = -1747645.2$$

$$\Delta = \Sigma(+) + \Sigma(-) = [174711.84 - 174764.52] \times 10 = -526.8$$

$$R_h = \frac{526.8}{1747381.8} = 0.009301$$

$$R_h = \%0.0901$$

3.4.7. Normal Kuvvet ve Kesme Kuvvetinin Hesabı



$$\Sigma M_B = 0 [-2.98 \times 10^{-2} - 2.59 \times 5^2 / 2 + B \times 15 + 16.36] \times 10 = 0$$

$$B = 209.3 \text{ kN}$$

$$\Sigma y = 0 [20.93 + A] \times 10 = [2.98 \times 10 + 2.59 \times 5] \times 10$$

$$A = 218.2 \text{ kN}$$

1. Kesitte

$$\cos \theta = 0.9578$$

$$\sin \theta = 0.2873$$

$$T_1 = [21.82 \times 0.2873 - 29.57 \times 0.9578] \times 10 = -220.5 \text{ kN}$$

$$N_1 = [21.82 \times 0.9578 - 29.57 \times 0.2873] \times 10 = 124.0 \text{ kN}$$

2. Kesitte

$$T_2 = [-8.87 \times 0.2873 - 29.57 \times 0.9578] \times 10 = -308.7 \text{ kN}$$

$$N_2 = [8.87 \times 0.9578 - 29.57 \times 0.2873] \times 10 = 0$$

3. Kesitte

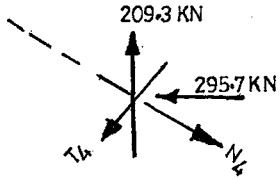
$$\cos \theta = 0.8575$$

$$\sin \theta = 0.5145$$

$$T_3 = [8.87 \times 0.8575 - 29.57 \times 0.5145] \times 10 = -76.1 \text{ kN}$$

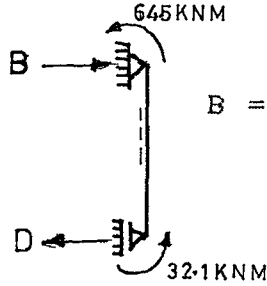
$$N_3 = [-8.87 \times 0.5145 - 29.57 \times 0.8575] \times 10 = -29.92 \text{ t}$$

4. Kesitte

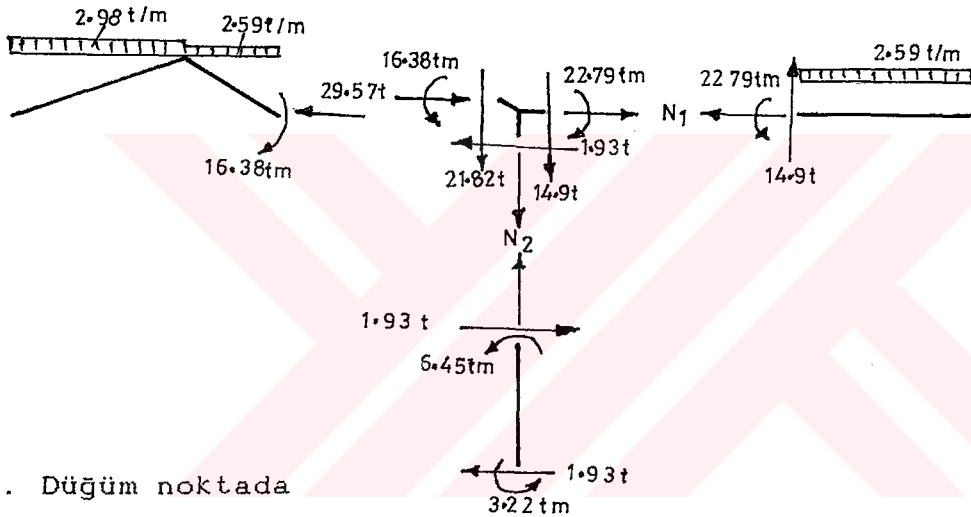


$$T_4 = [0.8575 \times 20.93 - 27.57 \times 0.5145] \times 10 = 27.3 \text{ kN}$$

$$N_4 = [-20.93 \times 0.5145 - 29.57 \times 0.8575] \times 10 = -361.2 \text{ kN}$$



$$B = -D = \frac{(6.45 + 3.21) \times 10}{5} = 19.5 \text{ kN}$$



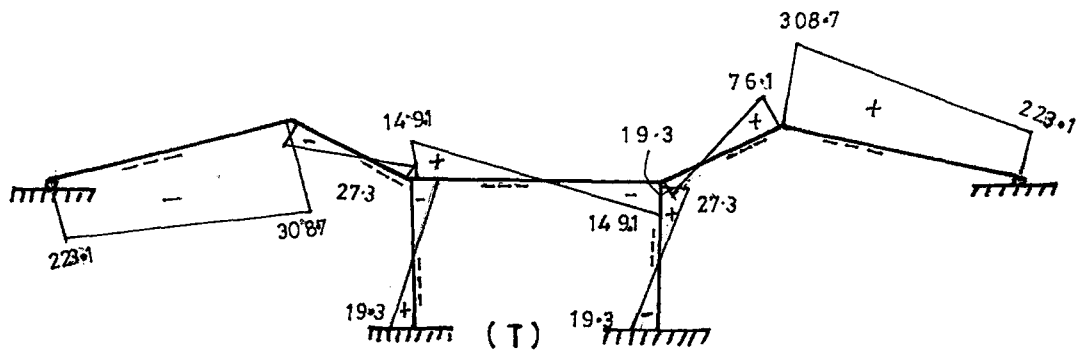
1. Düğüm noktada

$$\Sigma x = 0 \quad 29.57 - 1.93 + N_1 = 0$$

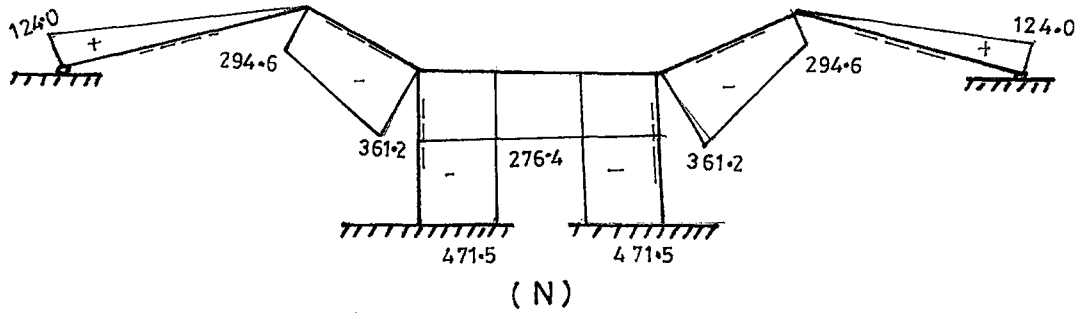
$$N_1 = -27.64 \text{ t} \Rightarrow N_1 = -276.4 \text{ kN}$$

$$\Sigma y = 0 \quad -21.82 - 14.9 - N_2 = 0$$

$$N_2 = -47.15 \text{ t} \Rightarrow N_2 = -471.5 \text{ kN}$$

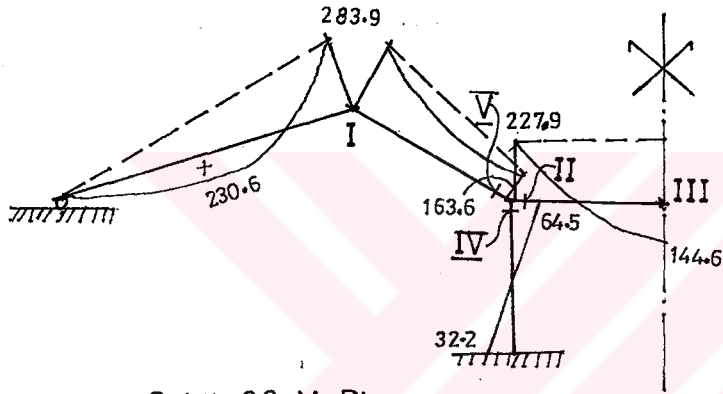


Şekil 3.7 Sabit Yüklemeleri İçin T Diyagramı



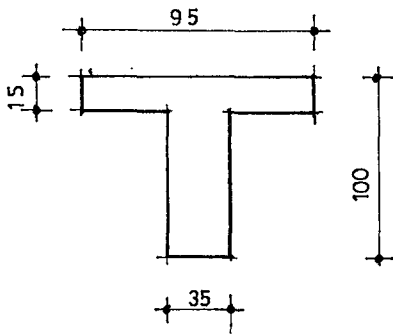
Şekil 3.8 Sabit Yüklemeleri İçin N Diyagramı

3.4.8. Kesit Tahkiki



Şekil 3.9 M Diyagramı

I. kesitte



$$M = -28.39$$

$$M_d = 15 \times (-28.39) = [-42.585 \text{ tm}] \times 10$$

$$= -42585 \text{ kN/m}$$

$$b = 35 \text{ tm}$$

$$\alpha = 97$$

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{4258.5} = 77.33 \text{ cm}^2/\text{kN}$$

$$K_x = 0.153 \quad K_s = 0.305 \text{ cm}^2/\text{kN}$$

$$x = 0.153 \times 95 = 14.54 \text{ cm} < h_f = 85 \text{ cm}$$

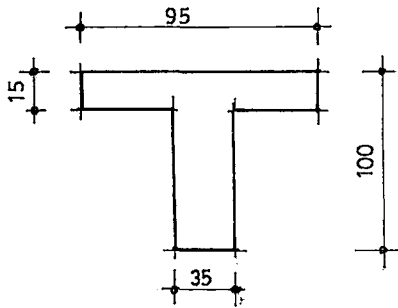
$$A_s = \frac{K_s M_d}{d} = \frac{0.305 \times 4258.5}{97} = 13.39 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{min} = \frac{12}{f_{yd}} = \frac{12}{3650} = 0.0033$$

$$\rho = \frac{13.39}{35 \times 97} = 0.0039$$

$\rho > \rho_{min}$ olduğundan kesit
 uygundur.
 $6\phi 18$ (15.26 cm²)

II Kesitte



$$M = -22.79$$

$$M_d = [-1.5 \times 22.79] \times 10 = [-34.185 \text{ tm}] \times 10 = 3418.50 \text{ kN/m}$$

$$d = 97 \text{ cm}$$

$$b = 35 \text{ cm}$$

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{3418.5} = 96.33 \text{ cm}^2/\text{kN}$$

$$K_x = 0.130$$

$$K_s = 0.302$$

$$x = 0.130 \times 97 = 12.61 \text{ cm} < h_f = 85 \text{ cm}$$

$$A_s = \frac{0.302 \times 3418.5}{97} = 10.64 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{10.64}{35 \times 97} = 0.0031$$

$\rho < \rho_{min}$ olduğundan $A_s = A_{smin}$ olmalıdır.

$$\min A_s = \frac{12}{3650} \times 35 \times 97 = 11.20 \text{ cm}^2$$

mevcut donatısı

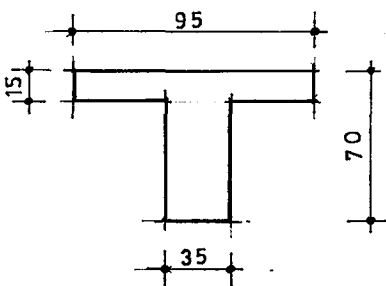
$$\text{Açıklıklardan gelen pilye donatısı} = 2\phi 18 = 8.91 \text{ cm}^2$$

$$\text{Montaj donatısı} = 2\phi 12 = 2.26$$

$$\text{Toplam donatısı} = \frac{8.91 + 2.26}{11.17 \text{ cm}^2}$$

ek donatısı gerekmez.

III Kesitte



$$M = 144.6 \text{ kN/m}$$

$$M_d = 1.5 \times 144.6 = 216.9 \text{ tm} = 21690 \text{ kN/m}$$

$$d = 67 \text{ cm}$$

$$b = 95 \text{ cm}$$

$$K = \frac{95 \times 67^2}{2169} = 196.61 \text{ cm}^2/t$$

$$K_x = 0.091 \text{ cm}^2/t$$

$$K_s = 0.297 \text{ cm}^2/t$$

$$x = 0.091 \times 67 = 6.10 \text{ cm} < h_f = 15 \text{ cm}$$

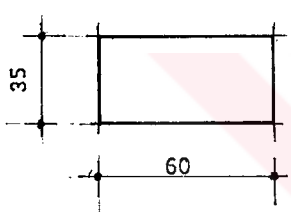
$$\rho = \frac{9.61}{35 \times 67} = 0.0041 < \rho_{\min} \text{ olduğundan uygundur.}$$

4 ϕ 18 (10.18 cm²)

2 ϕ 18 düz donatı

2 ϕ 18 pilye donatısı

IV Kesitte



$M = 64.5 \text{ kN/m}$
 $N = 462.7 \text{ kN}$
 $M_d = [1.5 \times 6.45] \times 10 = [9.675 \text{ tm}] \times 10 = 0.967.5 \text{ kN/m}$
 $N_d = [1.5 \times 46.27] \times 10 = 694.1 \text{ kN}$

$$m = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{96.75}{35 \times 60^2 \times 0.17} = 0.045$$

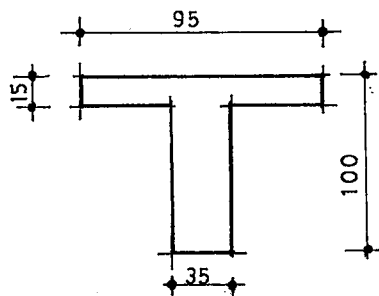
$$n = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{694.1}{35 \times 60 \times 0.17} = 0.20$$

$$\left. \begin{array}{l} m = 0.045 \\ n = 0.20 \end{array} \right\} W_1 = W_2 = 0.05$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{w \cdot b h}{f_{yd} / f_{cd}} = \frac{0.05 \times 35 \times 60}{20.5} = 5.12 \text{ cm}^2$$

$$\rho = \frac{2A_s}{bh} = \frac{2 \times 5.12}{35 \times 60} = 0.0049 < \rho_{\min} \text{ olduğundan kesit uygundur.}$$

V Kesitte



$M = -163.6 \text{ kN/m}$
 $M_d = 1.4 \times 1636 = 2290.4 \text{ kN/cm}$
 $b = 35 \text{ cm}$
 $d = 97 \text{ cm}$

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{2290.4} = 143.78 \text{ cm}^2/t$$

$$K = 0.107 \quad K_s = 0.279 \text{ cm}^2/t$$

$$x = 0.107 \times 97 = 10.38 \text{ cm} < h_f = 15 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.299 \frac{2290.4}{97} = 7.06 \text{ cm}^2 \quad 3 \phi 18 (7.63)$$

$\rho = \frac{7.06}{35 \times 97} = 0.0021 < \rho_{\min} = 0.0033$ olduğu için kesit uygundur. Kesit I'de koyulacak donatılardan uzatılarak gereken donatı koyulur.

3.5. P_1 , P_2 ve P_3 Yükleri İçin Ayrı Ayrı Matris Kuvvet Yöntemi İle M, N, T Diyagramlarının Çizimi

Sistemde dış etkenlerden meydana gelen iç kuvvet ve deformasyonların çözüm olabilmeleri için aşağıdaki şartları sağlamaları gerekir.

- a. Denge denklemleri
 - Çubukların denge denklemleri
 - Düğüm noktaların denge denklemleri
- b. İç Kuvvet-deformasyon bağıntıları (Bünye denklemleri)
- c. Geometrik uygunluk koşulları: Düğüm noktaları ve mesnetlerdeki geometrik koşullarıdır [3].

Matris kuvvet metodunun esası önce yalnız denge şartlarını sağlayan bütün iç kuvvet durumlarının belirlenmesi, daha sonra bunların arasından deformasyon-gerilme bağıntıları ile geometrik uygunluk şartlarını sağlayan durum tayin edilerek sistemde dış etkenlerden meydana gelen iç kuvvetlerin elde edilmesidir. Sistemin iç kuvvetleri bu şekilde bulduktan sonra deplasmanlar da bilinen metodlardan biri ile tayin edilebilir [3].

Her elemanın denge şartları dolayısıyla, çok defa uç kuvvetlerinin hepsinin bilinmesine gerek yoktur. Sistem elemanının düzlem bir çubuk olması halinde altı tane uç

kuvvetinden çeşitli şekilde seçilebilen yalnız üç tanesinin gözönüne alınması yetmektedir. Bunlara Bağımsız Uç kuvvetleri denilmektedir. Diğerleri bunlara bağlı olarak denge denklemleri ile tayin edilebilir [3].

Her elemana ait bağımsız uç kuvvetlerin alt alta gelmelerinden oluşan kolon matrisi $[P]$ ile gösterilecektir [3].

$$[P] = \begin{bmatrix} [P]_1 \\ [P]_2 \\ \vdots \\ [P]_r \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.1)$$

$[P]$ matrisi sistemin uç kuvvetlerine ait denge şartlarını sağlayan genel çözümdür. Dış etkiler sıfır iken denge şartlarını sağlayan uç kuvvet durumları homojen çözümleri denilmektedir. Dış etkiler var iken denge şartlarını sağlayan bir uç kuvvet durumu da özel bir çözümü denilir. Bunların bağıntıları ise aşağıdaki gibi yazılabilir [3].

$$[P] = [P_x][X] + [P_q] \dots\dots\dots (3.2)$$

Burada

$$[P_x] = [[P_x]_1, [P_x]_2, \dots, [P_x]_n] \dots\dots\dots (3.3)$$

matrisindeki n tane alt matrisin herbiri, sırası ile n tane birbirinden lineer olarak bağımsız homojen çözüme ait bağımsız uç kuvvetlerinden oluşan bir kolon matrisi

$[X]$: n tane $x_1, x_2, \dots, x_n$ hiperstatik bilinmeyen katsayılarından oluşan bir kolon matrisi,

$[P_q]$: herhangi bir özel çözüme ait bağımsız uç kuvvetlerinden oluşan bir kolon matrisi göstermektedir.

(3.2) denklemi her eleman gözönünde tutularak daha açık olarak yazılırsa [3];

$$[P] = \begin{bmatrix} [P]_1 \\ [P]_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ [P]_r \end{bmatrix} \dots\dots\dots (3.1)$$

[P] matrisi sistemin uç kuvvetlerine ait denge şartlarını sağlayan genel çözümdür. Dış etkiler sıfır iken denge şartlarını sağlayan uç kuvvet durumları homojen çözümleri denilmektedir. Dış etkiler var iken denge şartlarını sağlayan bir uç kuvvet durumu da özel bir çözümü denilir. Bunların bağıntıları ise aşağıdaki gibi yazılabilir [3].

$$[P] = [P_x][X] + [P_q] \dots\dots\dots (3.2)$$

Burada

$$[P_x] = [[P_{x1}], [P_{x2}], \dots\dots [P_{xn}]] \dots\dots\dots (3.3)$$

matrisindeki n tane alt matrisin herbiri, sırası ile n tane birbirinden lineer olarak bağımsız homojen çözüme ait bağımsız uç kuvvetlerinden oluşan bir kolon matrisi

[X] : n tane $x_1, x_2, \dots x_n$ hiperstatik bilinmeyen katsayılarından oluşan bir kolon matrisi,

$[P_q]$: herhangi bir özel çözüme ait bağımsız uç kuvvetlerinden oluşan bir kolon matrisi göstermektedir.

(3.2) denklemi her eleman gözönünde tutularak daha açık olarak yazılırsa [3];

$$[P] = \begin{bmatrix} [P]_1 \\ [P]_2 \\ . \\ . \\ . \\ [P]_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [P_{x1}]_1 & [P_{x2}]_1 & \dots & [P_{xn}]_1 \\ [P_{x1}]_2 & [P_{x2}]_2 & \dots & [P_{xn}]_2 \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ . & . & . & . \\ [P_{x1}]_r & [P_{x2}]_r & \dots & [P_{xn}]_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ . \\ . \\ . \\ x_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [P_g]_1 \\ [P_g]_2 \\ . \\ . \\ . \\ [P_g]_r \end{bmatrix} \quad (3.2')$$

şeklini alır. Denge denklemlerinde, deforme olmuş sistem gözönüne alındığı zaman (3.2) bağıntısı kesin olur. Bunun deformasyon-gerilme bağıntıları ile doğrudan doğruya bir ilişki yoktur. Bu denklemde bulunan;

$[P]$ 'ye genel çözüm matrisi

$[P_x]$ 'e homojen çözüm matrisi

$[P_g]$ 'ya özel çözüm matrisi

$[x]$ 'e bilinmeyenler kolon matrisi denilecektir.

$[p]$ matrisinin sistemde dış etkinlerden doğan uç kuvvetler matrisine eşit olabilmesi için $[x]$ bilinmeyenler matrisinin gerilme-deformasyon bağıntıları ile geometrik uygunluk şartlarının gerçekleşmelerini sağlayacak şekilde tayin edilmeleri gerekmektedir. Herhangi bir çubukta bağımsız uç kuvvetleri doğrultularındaki bağımsız uç deplasman

$$[V]_i = [f]_i [P]_i + [V_o]_i \dots \dots \dots (3.3)$$

bağıntısı ile elde edilir. Burada

$[V_o]_i$: yükleme matrisini

$[f]_i$: eleman fleksibite matrisini göstermektedir.

Bütün sistem için bu bağıntı

$$[V] = [f][P] + [V_o] \dots \dots \dots (3.4)$$

şeklını alır.

Yükleme durumuna ait iç kuvvetlerin deformasyon durumunda da yaptıkları deformasyon işi virtuel iş teoremi dolayısı ile karşılıklı uç kuvvetleri ile uç deplasmanlarının çarpımlarının toplamına eşit olacaktır.

$$[P_x]^T [V] = 0 \dots\dots\dots (3.5)$$

Bu denklemde $[V]$ ve $[P]$ 'nin (3.4) ve (3.2)'deki ifadeleri yerlerine konularak yapıldığında

$$[P_x]^T [f][P_x][x] + [P_x]^T [f][P_q] + [P_x]^T [V_o] = 0 \dots\dots\dots (3.6)$$

şeklını alır. Bu denklemde

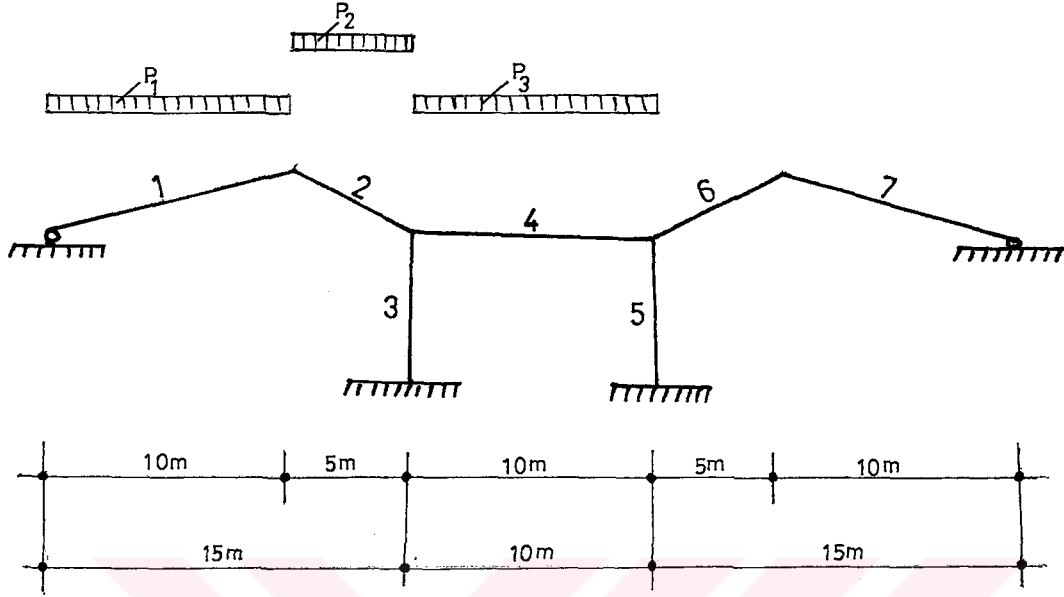
$$\delta_{11} = [P_x]^T [f][P_x]$$

$$\delta_{10} = [P_x]^T [f][P_q] + [P_x]^T [V_o] \dots\dots\dots (3.7)$$

göstermek üzere (3.6) denklem

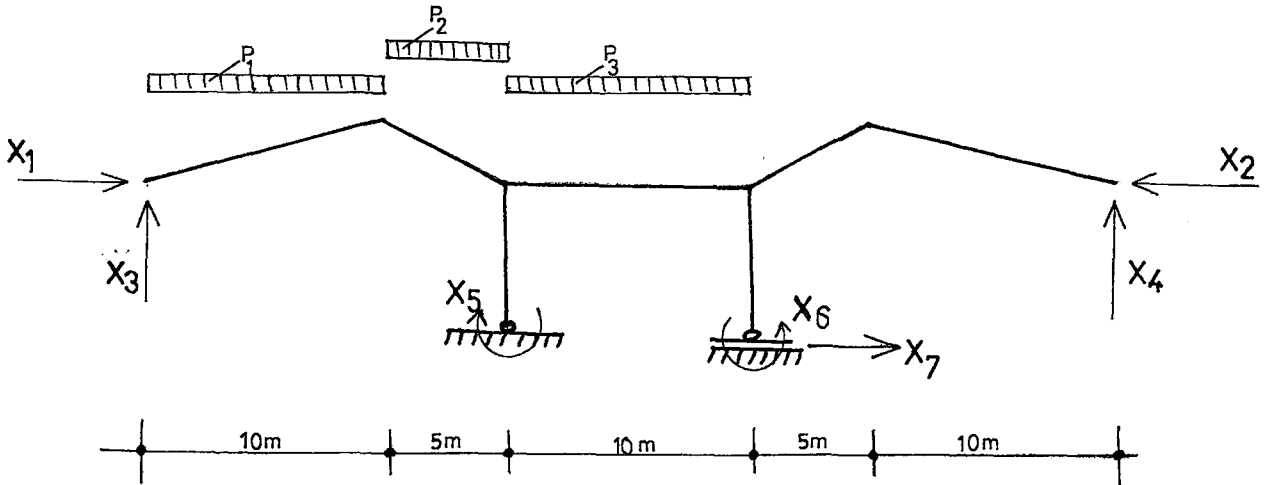
$$[\delta_{11}][x] + [\delta_{10}] = 0 \dots\dots\dots (3.8)$$

şeklını alan süreklilik denklemleri elde edilir ve bu denklem takımının çözümü ile $[x]$ bilinmeyen matrisi bulunur [3].



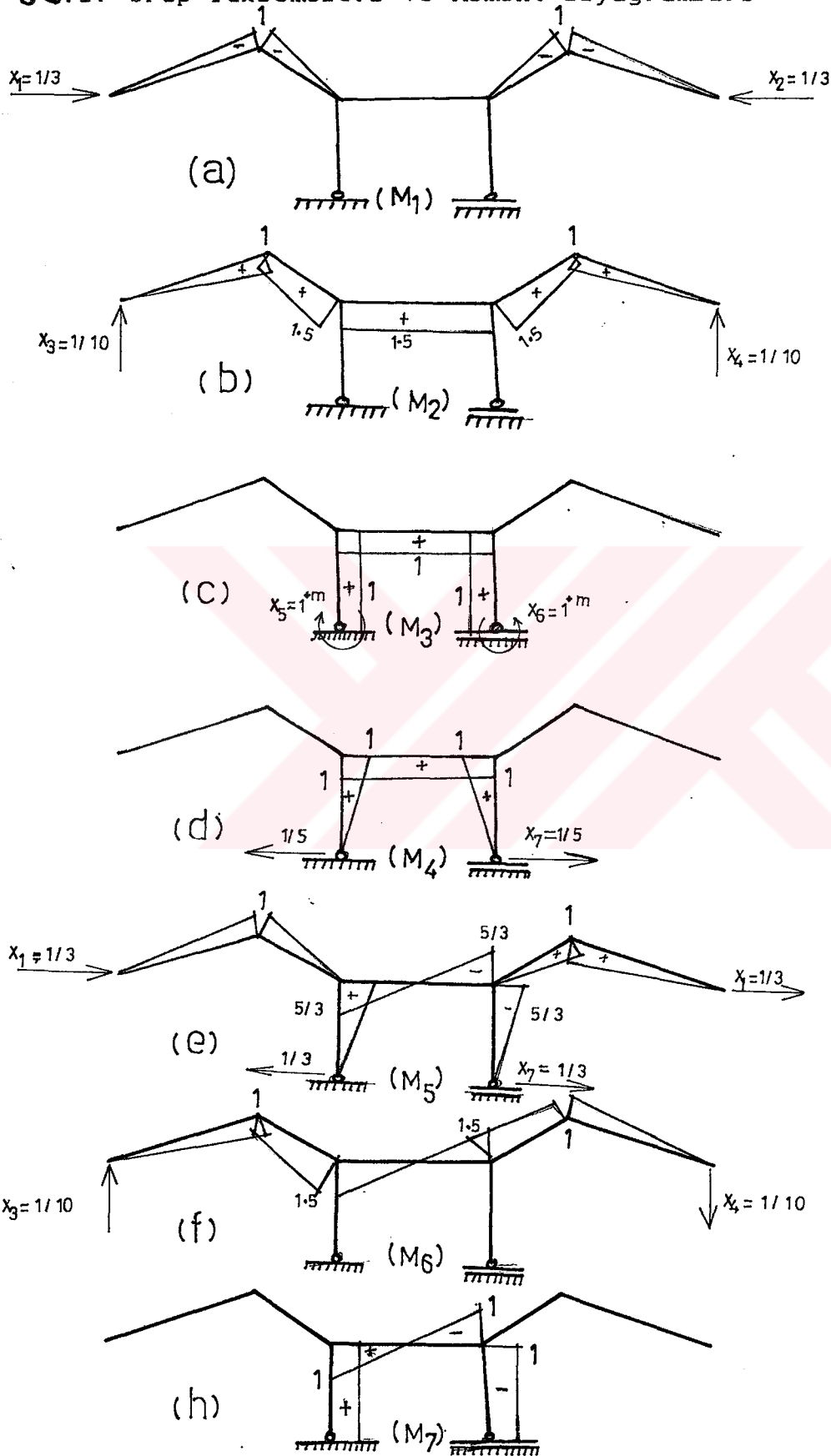
Şekil 3.10. Hesapta Gözönüne Alınan Elemanlar ile Dış Yükler

Sistemin hesapları bu yöntem için hazırlanmış bir aloritmadan yararlanarak (Tablo 3.1) ve (Tablo 3.2) yapılmıştır.

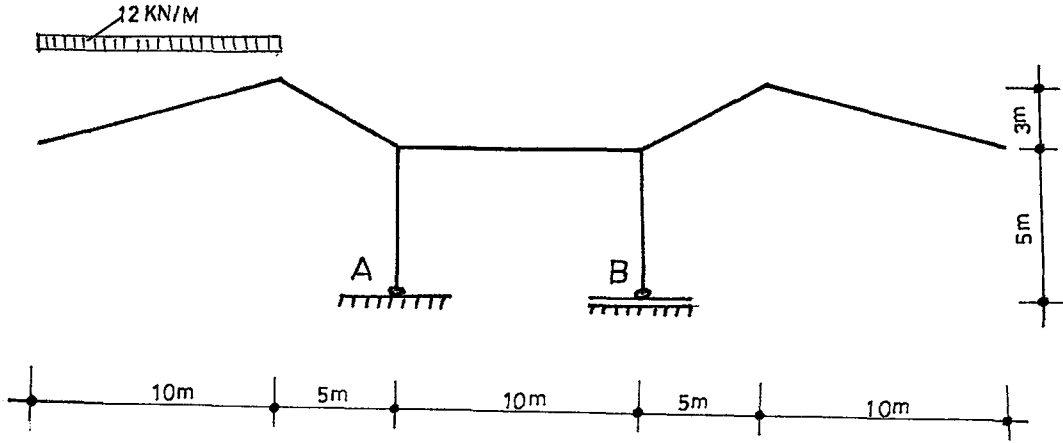


Şekil 3.11. İzostatik Esas Sistem (I.E.S.)

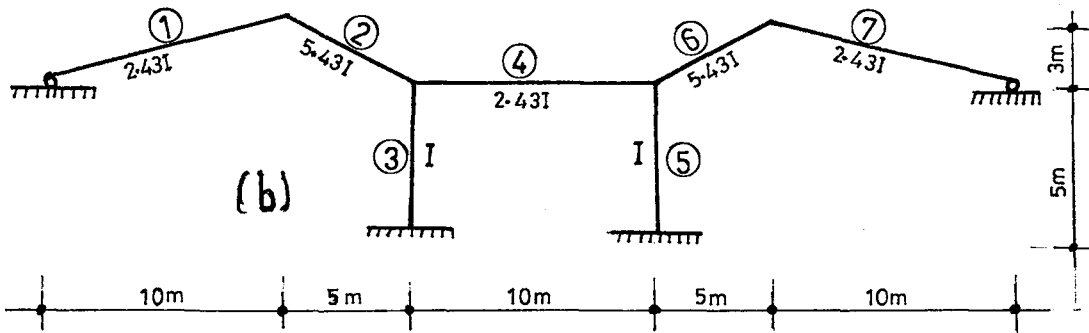
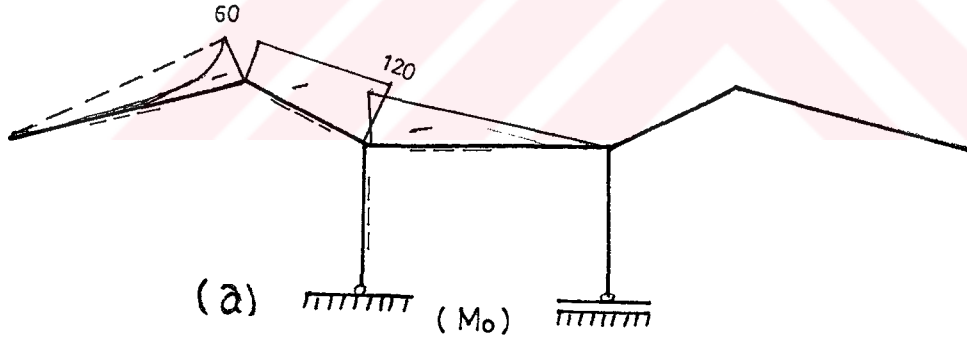
3.5.1. Grup Yüklemleri ve Moment Diyagramları



Şekil 3.12. Grup Yüklemleri

3.5.2. P_1 Yükleme İçin HesapŞekil 3.13. P_1 Yüklemesi

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 & -1.2 \times 10 \times 20 + A \times 10 &= 0 \\ & & A &= 24^t \rightarrow A = 240 \text{ kN} \\ \Sigma y &= 0 & A + B &= 1.2 \times 10 \\ & & B + 24 &= 12 \rightarrow B = 12^t \rightarrow B = 120 \text{ kN} \end{aligned}$$



$$I = 0.0063 \text{ m}^4$$

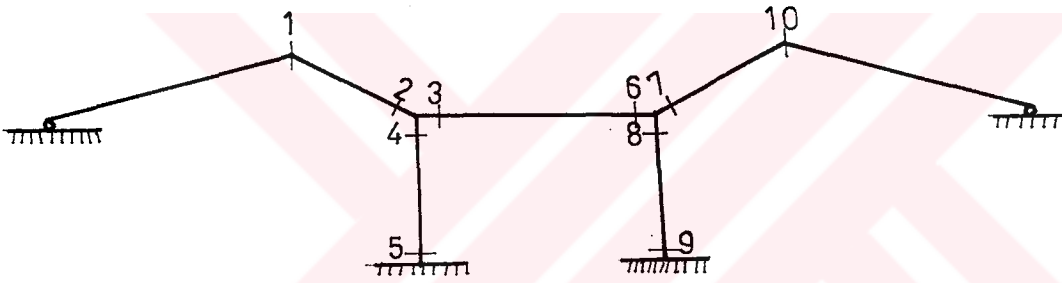
Şekil 3.14 M_0 Diyagramı İle Sistemin Yapı Elemanları

Tablo 3.3. P Yükleme İçin Hazırlanan Algoritma

I	II	a	b	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Q1	Q2	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	Q1'	Q2'	
[P]	[f]	[Px]									[Pg]	[Vo]	[f] [Px]								[f] [Pg]	Q1 +Q2
		[Px1]	[Px2]	[Px3]	[Px4]	[Px5]	[Px6]	[Px7]														
1		179.93	71.44	0	0	0	0	0	0	0	0	2341.69	-71.44	71.44	0	0	-71.44	71.44	0	-4286.48	-1944.71	
		71.44	113.82	-1	1	0	0	-1	1	0	-60	1948.75	-113.82	113.82	0	0	-113.82	113.82	0	-6829.20	-4880.50	
2		56.82	28.41	-1	1	0	0	-1	1	0	-60	0	-56.82	99.44	0	0	-56.82	99.44	0	-6818.40	-6818.40	
		28.41	56.82	0	1.5	0	0	0	1.5	0	-120	0	-28.41	113.64	0	0	-28.41	113.64	0	-8523.00	-8523.00	
3		264.55	132.28	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	396.83	132.28	220.47	0	396.83	0	0	
		132.28	264.55	0	0	1	1	5/3	0	1	0	0	0	0	396.83	264.55	440.92	0	396.83	0	0	
4		176.93	102.81	0	1.5	1	1	5/3	1.5	1	0	0	0	419.61	279.74	279.74	123.53	111.18	74.12	-21231.60	-21231.60	
		102.81	176.93	0	1.5	1	1	-5/3	-1.5	-1	0	0	0	0	279.74	279.74	-123.53	-111.18	-74.12	-12337.20	-12337.20	
5		264.55	132.28	0	0	1	1	-5/3	0	-1	0	0	0	0	396.83	264.55	-440.92	0	-396.83	0	0	
		132.28	264.55	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	396.83	132.28	-220.47	0	-396.83	0	0	
6		56.82	28.41	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	-28.41	113.64	0	0	28.41	-113.64	0	0	0	
		28.41	56.82	-1	1	0	0	1	-1	0	0	0	-56.82	99.44	0	0	56.82	-99.44	0	0	0	
7		113.82	71.44	-1	1	0	0	1	-1	0	0	0	-113.82	113.82	0	0	113.82	-113.82	0	0	0	
		71.44	179.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-71.44	71.44	0	0	71.44	-71.44	0	0	0	

$$\begin{bmatrix}
 341.28 & -426.51 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -426.51 & 2026.27 & 839.22 & 839.22 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 839.22 & 2146.78 & 1353.13 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 839.22 & 1353.13 & 1088.58 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 2222.77 & -55.92 & 1569.81 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -55.92 & 1100.98 & 222.35 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1569.81 & 222.35 & 1735.54
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x_1 \\
 x_2 \\
 x_3 \\
 x_4 \\
 x_5 \\
 x_6 \\
 x_7
 \end{bmatrix}
 +
 \begin{bmatrix}
 11698.90 \\
 -74836.95 \\
 -33568.63 \\
 -33568.63 \\
 -3124.61 \\
 -37825.19 \\
 -8894.12
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}
 \quad I$$

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 16.514 & x_5 &= 5.224 \\
 x_2 &= 40.643 & x_6 &= 35.458 \\
 x_3 &= 0.282 & x_7 &= -4.143 \\
 x_4 &= -0.847
 \end{aligned}$$



Şekil 3.15. Sistem ile Kritik Noktaları

$$M_i = M_1 x_1 + M_2 x_2 + M_3 x_3 + \dots + M_7 x_7 + M_0$$

$$M_1 = (-1) \times 16.514 + 1 \times 40.643 + (-1) \times 5.224 + 1 \times (+35.458) - 60 = -5.64 \text{ t m} \rightarrow -56.4 \text{ kNm}$$

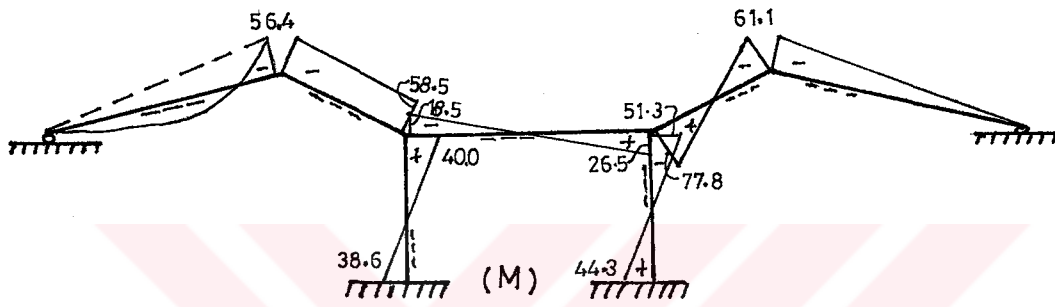
$$M_2 = 1.5 \times 40.643 + 1.5 \times (+35.458) + (-120) \dots = -5.85 \text{ t m} \rightarrow -58.50 \text{ kNm}$$

$$M_3 = 1.5 \times 40.643 + 1 \times 0.282 + 1 \times (-0.847) + 5/3 \times 5.224 + 1.5 \times 35.458 + 1 \times (-4.143) - 120 = -1.85 \text{ t m} \rightarrow 18.5 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 1 \times 0.282 + 1 \times (-0.847) + 5/3 \times 5.224 + 1 \times (-4.443) + 0 = 4.00 \text{ t m} \rightarrow 40 \text{ kNm}$$

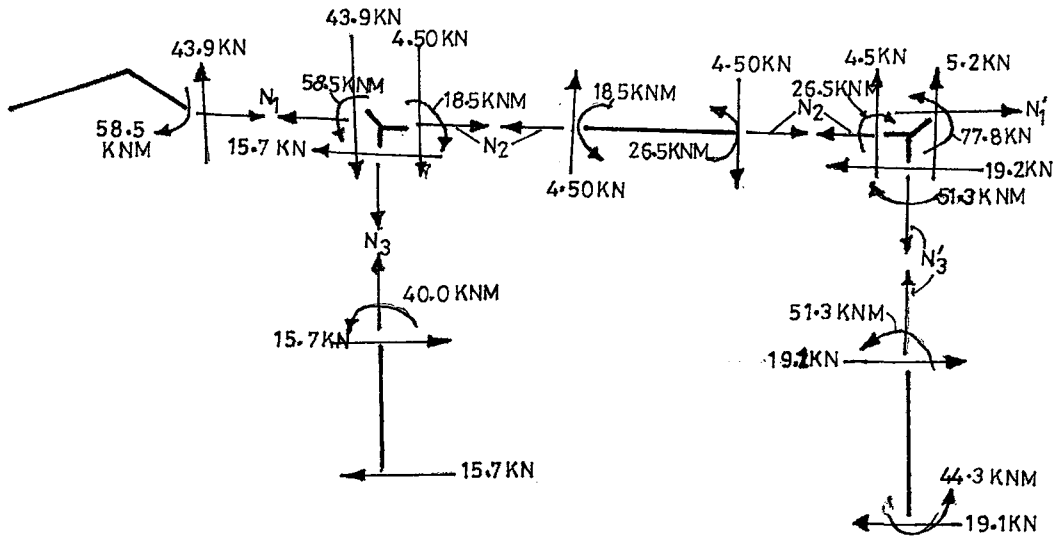
$$M_5 = 1 \times 0.282 + 1 \times (-4.143) + 0 = -3.86 \text{ t m} \rightarrow 38.6 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned}
 M_6 &= 1.5 \times 40.643 + 1 \times 0.282 + 1 \times (-0.847) + (-5/3) \times 5.224 + \\
 &\quad (-1.5 \times 35.458 - 1 \times (-4.143) + 0) = 2.65 \text{ } ^t\text{m} \longrightarrow 26.5 \text{ kNm} \\
 M_7 &= 1.5 \times 40.643 + (-1.5) \times 35.458 + 0 = 7.78 \text{ } ^t\text{m} \longrightarrow 77.8 \text{ kNm} \\
 M_8 &= 1 \times 0.282 + 1 \times (-0.847) + (-5/3) \times 4.224 + (-1) \times (4.143) = \\
 &\quad = 5.13 \text{ } ^t\text{m} \longrightarrow 51.3 \text{ kNm} \\
 M_9 &= 1 \times 0.282 + (-1) \times (-4.143) + 0 = 4.43 \text{ } ^t\text{m} \longrightarrow 44.3 \text{ kNm} \\
 M_{10} &= (-1) \times 16.514 + 1 \times 40.643 + 1 \times 5.224 + (-1) \times 35.458 + 0 = \\
 &\quad = -6.11 \text{ } ^t\text{m} \longrightarrow -61.1 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



Şekil 3.16 M Diyagramı

Normal ve Kesme Kuvvetlerin Hesabı



1. Dügüm Noktasında

 N_1 'nin bulunması

$$\Sigma M_C = 0 \quad -5.64 + 5.85 - 4.39 \times 5 - N_1 \times 3 = -$$

$$N_1 = -7.25^t \rightarrow -72.5 \text{ kN}$$

1 düğüm noktasında

$$\Sigma x = 0 \quad +7.25 - 1.57 + N_2 = 0$$

$$N_2 = -5.68^t \rightarrow -56.8 \text{ kN}$$

$$\uparrow \Sigma y = 0 \quad -4.39 - 0.45 - N_3 = 0$$

$$N_3 = -4.84 \rightarrow -48.4 \text{ kN}$$

2. Dügüm noktasında

$$\Sigma x = 0 \quad +5.68 + 1.92 + N'_1 = 0$$

$$N'_1 = -7.60^t \rightarrow 76.0 \text{ kN}$$

$$\uparrow \Sigma y = 0 \quad 0.45 + 0.52 - N'_3 = 0$$

$$N'_3 = 0.97^t \rightarrow 9.7 \text{ kN}$$

Kırık Çubuklarında N,T Hesabı

$$\cos \theta = 0.9578$$

$$\sin \theta = 0.2873$$

I. Kesitte

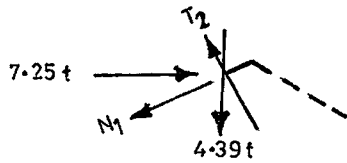
$$T_1 = 7.61 \times 0.2873 - 7.25 \times 0.9578 =$$

$$= -4.76^t \rightarrow -47.6 \text{ kN}$$

$$N_1 = -7.61 \times 0.9578 - 7.25 \times 0.2873 =$$

$$= -9.37^t \rightarrow 93.7 \text{ kN}$$

II. Kesitte



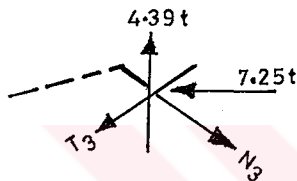
$$T_2 = -4.39 \times 0.2873 - 7.25 \times 0.9578 = -8.21^t \rightarrow 82.1 \text{ kN}$$

$$N_2 = 4.39 \times 0.9578 - 7.25 \times 0.2873 = 2.12^t \rightarrow 21.2 \text{ kN}$$

III. Kesitte

$$\cos \theta = 0.8575$$

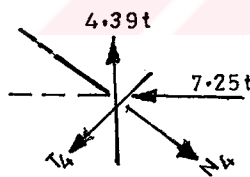
$$\sin \theta = 0.5145$$



$$T_3 = -4.39 \times 0.8575 + 7.25 \times 0.5145 = -0.03^t \rightarrow 0.30 \text{ kN}$$

$$N_3 = -4.39 \times 0.5145 - 7.25 \times 0.8575 = -8.48^t \rightarrow 84.8 \text{ kN}$$

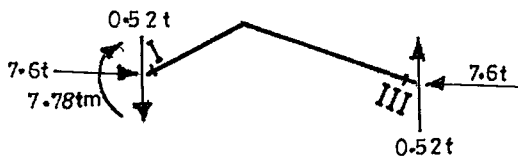
IV. Kesitte



$$T_4 = T_3 = -0.03^t$$

$$N_4 = N_3 = -8.48^t$$

I. Kesitte



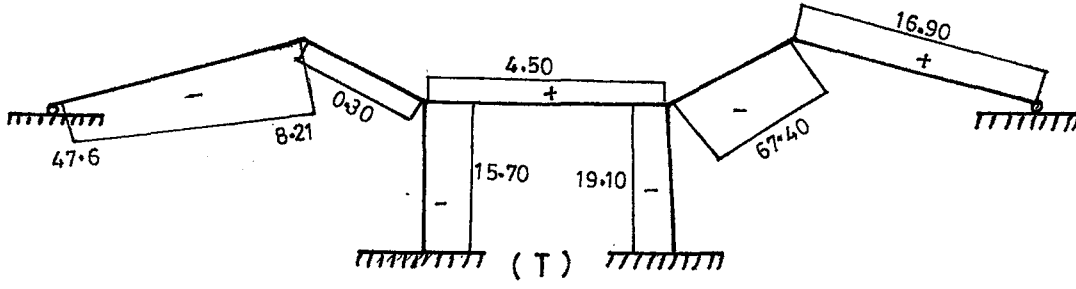
$$T_2 = -0.52 \times 0.5145 - 7.6 \times 0.8575 = -6.74^t \rightarrow 67.4 \text{ kN}$$

$$N_2 = 0.52 \times 0.8575 - 7.6 \times 0.5145 = -3.46^t \rightarrow 34.6 \text{ kN}$$

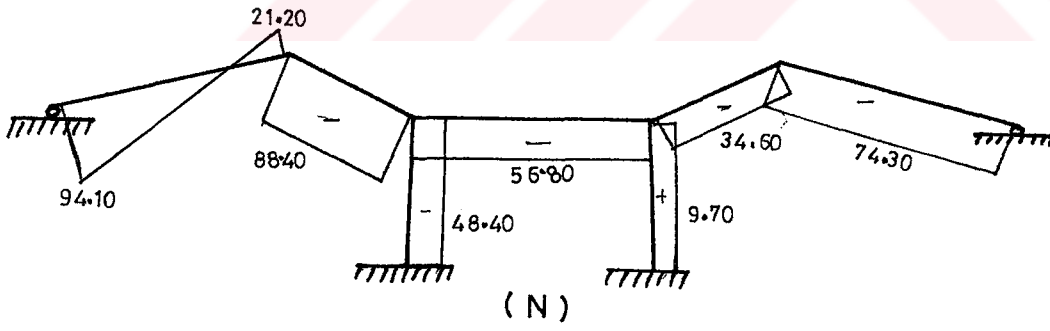
III Kesitte

$$T_2 = -0.52 \times 0.9578 + 7.6 \times 0.2873 = 1.69^t \rightarrow 16.9 \text{ kN}$$

$$N_2 = -0.52 \times 0.2873 - 7.60 \times 0.9578 = -7.43^t \rightarrow -74.3 \text{ kN}$$

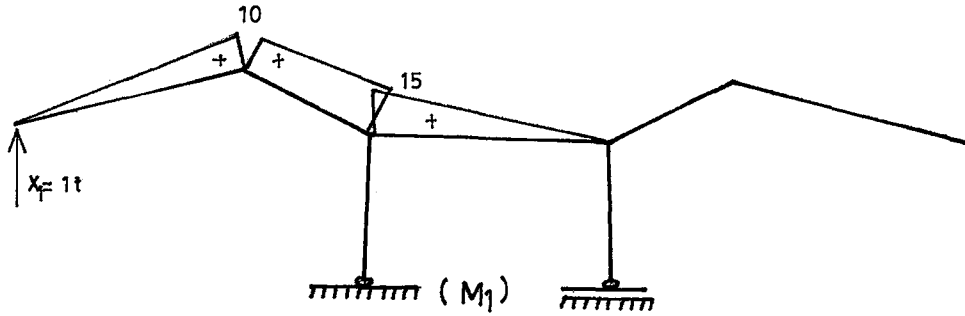


Sekil 3.17 P Yükleme İçin T Diyagramı



Şekil 3.18 P₁ Yükleme İçin N Diyagramı

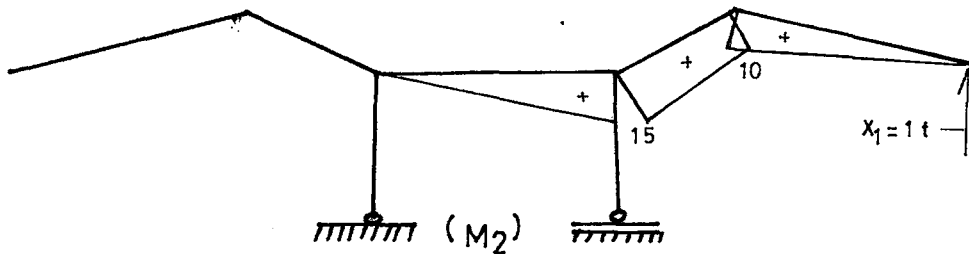
K,S,D Kontrolu

Şekil 3.19 M_1 Diyagramı

$$E \int M_1 \frac{ds}{I} = 1.7414 \times 10 \times (-5.64) \frac{1}{0.0153} + \frac{8}{10.44^2} \times 27.082 \times 10 \times 15 \times \frac{1}{0.0153} + \frac{5.83}{6} (2 \times 10 \times (-5.64) - 5.64 \times 15 - 5.85 \times 10 - 2 \times 5.85 \times 15) \times \frac{1}{0.0342} + [2.707 \times (-1.85) + 1.573 \times (2.65) \times 15] \times \frac{1}{0.0153} =$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(+) = 19488.10 \\ \Sigma(-) = -19498.96 \end{array} \right\} \Delta = -10.85$$

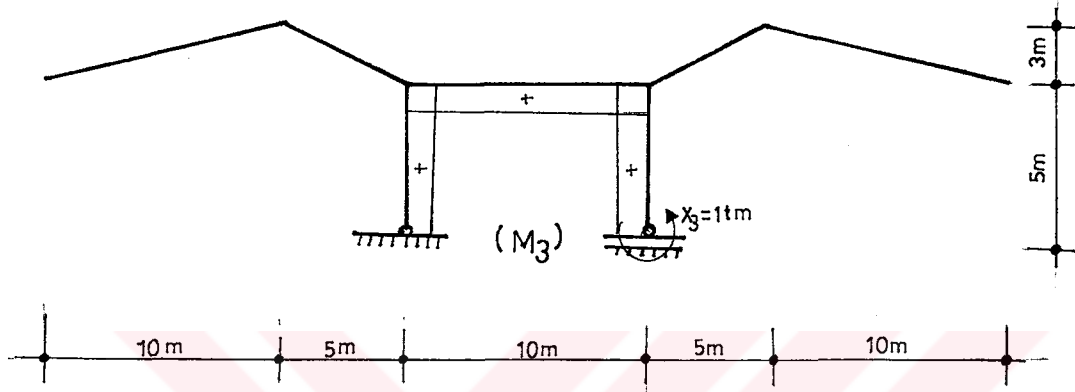
$$R_h = \frac{10.85}{19493.53} = 0.0056 = \%0.056$$

Şekil 3.20 M_2 Diyagramı

$$E \int M_2 \frac{ds}{I} = [(2.707 + 1.573) \times (-1.85) \times \frac{1}{0.0153} + \frac{5.83}{6} [2 \times 10 \times (-6.11) + (-6.11) \times 15 \times 7.78 \times 10 + 2 \times 7.78 \times 15] \times \frac{1}{0.0342} + [1.573 \times (-1.85) + 2.707 \times 2.65] \times 15 \times \frac{1}{0.0153}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(+) = 6945.74 \\ \Sigma(-) = -6954.22 \end{array} \right\} \Delta = -8.48 \rightarrow R_h = \frac{8.48}{6949.98} = 0.0012$$

$$R_h = \%0.12$$

Şekil 3.21 . M_3 Diyagramı

$$E \int M_2 M_3 \frac{ds}{I} = 1.7414 \times 10 \times (-6.11) + (2.707 + 1.573) \times (2.65) \times \frac{1}{0.0153} +$$

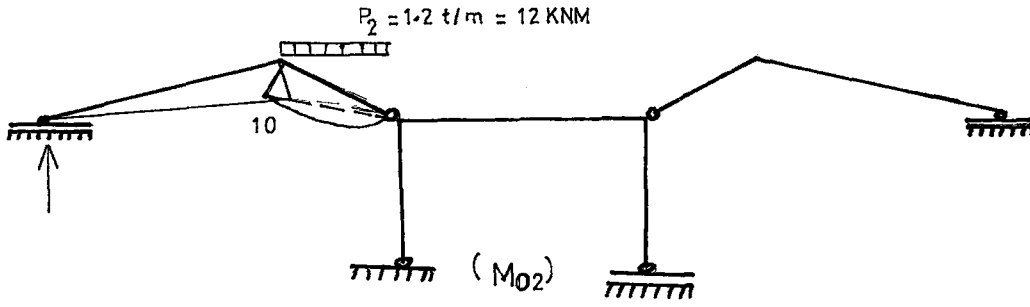
$$+ \frac{1}{2} \times 5 \times (-3.86 + 4.00) \times \frac{1}{0.0063} + \frac{1}{2} \times 5 \times (-5.13 + 4.43) \times \frac{1}{0.0063} =$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(+) = 279.35 \\ \Sigma(-) = -277.78 \end{array} \right\} \Delta = 1.568$$

$$R_h = \frac{1.568}{278.57} = 0.0056$$

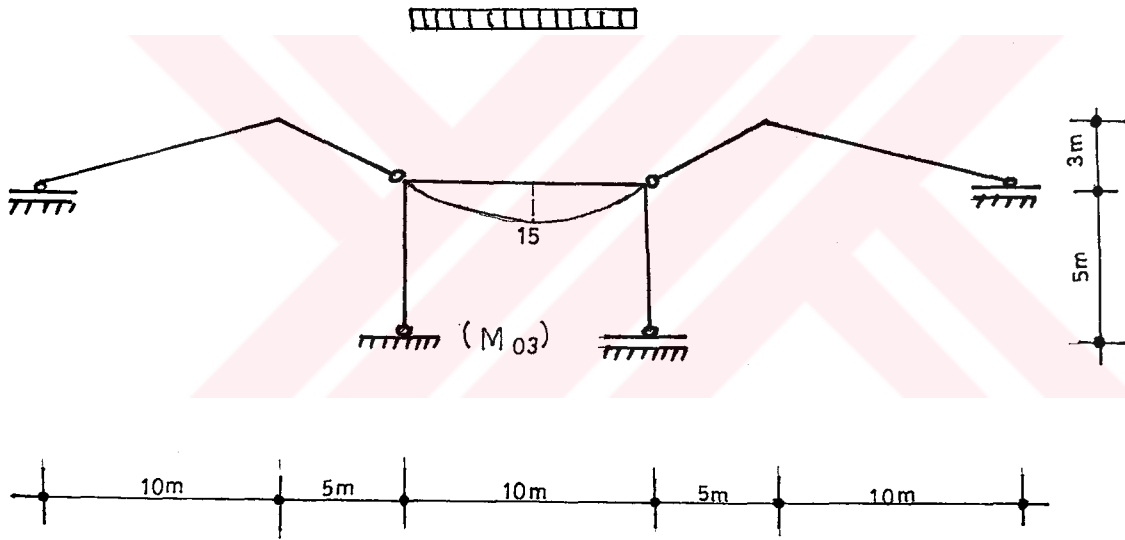
$$R_h = \%0.56$$

3.5.3. P_2 ve P_3 Yüklemeleri İçin Hesap



Şekil 3.22. M_{02} Diyagramı

$$\sum M_A = 0 \quad A \times 15 - 1.2 \times \frac{5^2}{2} = 0 \quad A = 1^t$$



Şekil 3.23. M_{03} Diyagramı

I. yükleme için

$$V_{10} = V_{20} = \frac{gl^3}{24EI} = \frac{1.2 \times 5.83^3}{24 \times 0.0342 \times 1} = 289.70$$

II. yükleme için

$$V_{10} = V_{20} = (\alpha_i = \alpha_{k0})g = \frac{39.3}{0.0153} \times 1.2 = 3082.35$$

Tablo 3.4. P_2 ve P_3 Yüklemleri İçin Hazırlanan Algoritma

I	II	I	a	b	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	01'	02'	03	04		
[P ₁] [P ₂] [F]												[P ₁] [P ₂]		[F] [P ₁]		V	
[P ₁] [P ₂] [P ₃] [P ₄] [P ₅] [P ₆] [P ₇] [P ₈] [P ₉] [P ₁₀] [P ₁₁] [P ₁₂]												n ₁ [F] [P _{q1}]	n ₂ [F] [P _{q2}]	[F] [P ₁₁]	[F] [P ₁₁]		
1	0	179.93	71.44	0	0	0	0	0	0	0	0	714.40	0	18.57	90.73	18.57	90.73
	0.26	71.44	113.82	-1	1	0	0	-1	1	0	10	0	0	29.59	144.55	29.59	144.55
	0.26	56.82	28.41	-1	1	0	0	-1	1	0	10	0	0	-101.14	413.08	-101.14	413.08
2	-4.08	28.41	56.82	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	284.10	0	717.92	65.26	717.92	
	1.52	264.55	132.28	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	674.61	-0.01	674.61	
3	2.06	132.28	264.55	0	0	1	1	5/3	0	1	0	0	0	746.04	-396.82	746.04	
	-2.52	176.93	102.81	0	1.5	1	1	5/3	1.5	1	0	0	0	-2517.66	2834.91	564.69	
4	1.93	102.81	176.93	0	1.5	1	1	-5/3	-1.5	-1	0	0	0	3164.74	564.69		
	-1.22	264.55	132.28	0	0	1	1	-5/3	0	-1	0	0	0	-177.24	-396.82	-177.24	
5	1.10	132.28	264.55	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	0	129.62	-0.01	129.62	
	2.14	56.82	28.41	0	1.5	0	0	0	1.5	0	0	0	0	101.14	-396.32	101.14	
6	-1.72	28.41	56.82	-1	1	0	0	1	-1	0	0	0	0	-22.73	-144.04	-22.73	
	-1.72	113.82	71.44	-1	1	0	0	1	-1	0	0	0	0	-195.77	144.55	-195.77	
7	0	71.44	179.93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-122.88	90.73	-122.88	

3.5.3.1. P_2 Yükleme için δ_{i_o} 'nin Hesabı

$$\delta_{i_o} = \begin{bmatrix} -1138.20 \\ 1138.20 \\ 0 \\ 0 \\ -1138.20 \\ 1138.20 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -857.90 \\ 1718.60 \\ 0 \\ 0 \\ -857.90 \\ 1718.60 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -1996.10 \\ 2856.80 \\ 0 \\ 0 \\ -1996.10 \\ 2856.80 \\ 0 \end{bmatrix}$$

3.5.3.2. P_3 yükleme için δ_{i_o} 'nin Hesabı

$$\delta_{i_o} = \begin{bmatrix} -1138.20 \\ 1138.20 \\ 0 \\ 0 \\ -1138.20 \\ 1138.20 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Denklemler Takımları ve Çözümleri

P_2 Yükleme için

$$\begin{bmatrix} 341.28 & -426.52 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -426.51 & 2026.27 & 839.22 & 839.22 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 839.22 & 2146.80 & 1353.14 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 839.22 & 1353.14 & 1088.58 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2222.79 & -55.92 & 1569.84 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -55.92 & 1100.98 & 222.36 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1569.84 & 222.36 & 1735.89 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \\ x_7 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -1996.10 \\ 2856.80 \\ 0 \\ 0 \\ -1996.10 \\ 2856.80 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$x_1 = 5.251$$

$$x_2 = -0.479$$

$$x_3 = -0.210$$

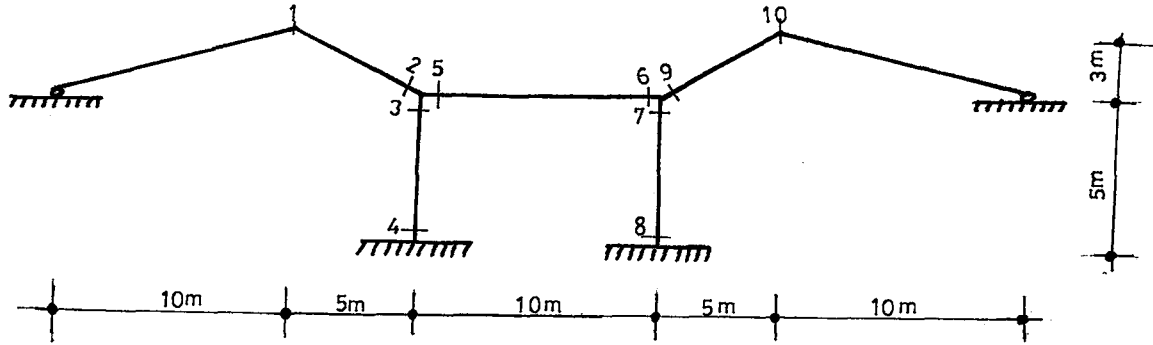
$$x_4 = 0.630$$

$$x_5 = 1.769$$

$$x_6 = -2.240$$

$$x_7 = -1.313$$

3.5.4. Kritik Noktadaki Momentlerin Hesabı



Şekil 3.24 Sistemin Kritik Noktaları

$$M_i = M_1 \times_1 + M_2 \times_2 + \dots + M_7 \times_7 + M_0$$

$$M_1 = (-1) \times 5.251 + (1) \times (-0.479) + (-1) \times 1.769 + 1 \times (-2.240) + 10 = 0.26^{tm} \rightarrow 2.6 \text{ kNm}$$

$$M_2 = 1.5 \times (-0.479) + 1.5 \times (-2.24) + \dots = -4.08^{tm} \rightarrow -40.8 \text{ kNm}$$

$$M_3 = (1) \times (-0.210) + (1) \times 0.630 + 5/3 \times (1.769) + 1 \times (-1.313) + \dots = 2.06^{tm} \rightarrow 20.6 \text{ kNm}$$

$$M_4 = 1 \times (-0.210) + 1 \times (-1.313) + 0 \dots = 1.52^{tm} \rightarrow 15.2 \text{ kNm}$$

$$M_5 = 15 \times (-0.479) + 1 \times (-0.210) + 1 \times (0.630) + 5/3 \times 1.469 + 1.5 \times (-2.24) + \dots + 1 \times (-1.313) = 2.52^{tm} \rightarrow 25.2 \text{ kNm}$$

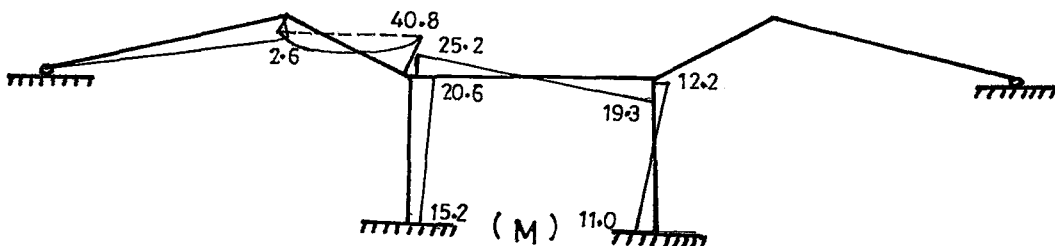
$$M_6 = 1.5 \times (-0.479) + 1 \times (-0.210) + 1 \times 0.63 + (-5/3) \times 1.469 + \dots + (-1.5) \times (-2.240) + (-1) \times (-1.313) = 1.93^{tm} \rightarrow 19.3 \text{ kNm}$$

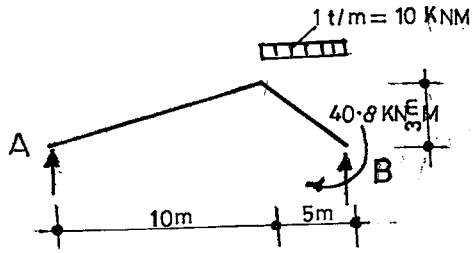
$$M_7 = 1 \times (-0.21) + 1 \times 0.630 + (-5/3) \times 1.769 + (-1) \times (-1.313) = -1.22^{tm} \rightarrow 12.2 \text{ kNm}$$

$$M_8 = 1 \times (-0.210) + (-1) \times (-1.313) \dots = 1.10 \rightarrow 11 \text{ kNm}$$

$$M_9 = 1.5 \times (-0.479) + (-1.5) \times (-2.240) + \dots = 2.64^{tm} \rightarrow 26.4 \text{ kNm}$$

$$M_{10} = (-1) \times 5.251 + 1 \times (-0.479) + 1 \times 1.769 + (-1) \times (-2.240) = -1.72^{tm} \rightarrow -17.2 \text{ kNm}$$

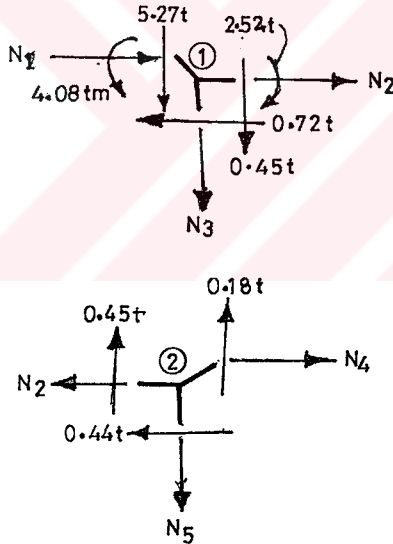
Şekil 3.25 P₂ Yüklemeleri İçin M Diyagramı



3.5.5. Normal ve Kesme Kuvvetlerinin Hesabı

$$\begin{aligned}\Sigma M_A = 0 \quad 1.2 \times 5 \times 12.5 - B \times 15 + 4.08 &= 0 \\ B &= 5.272^t \rightarrow 52.72 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Sigma M_B = 0 \quad -1.2 \times 5 \times 2.5 + 4.08 + A \times 15 &= 0 \\ A &= 0.728^t \rightarrow 7.28 \text{ kN}\end{aligned}$$



N_1 'nin bulunması

$$\begin{aligned}\Sigma M_C = 0 \quad 0.26 + 1.2 \times 5 \times 2.5 + 4.08 - 5.272 \times 5 \dots \\ N_1 \times 3 &= 0 \\ N_1 &= 2.34^t \rightarrow 23.4 \text{ kN}\end{aligned}$$

1. düğüm noktasında

$$\Sigma x = 0 \quad 2.34 - 0.716 + N_2 = 0 \rightarrow N_2 = -1.62^t$$

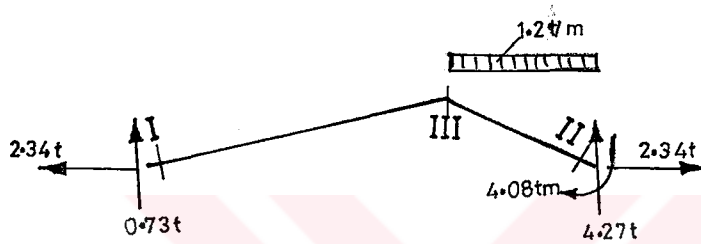
$$\Sigma y = 0 \quad -5.272 - 0.45 - N_3 = 0 \rightarrow N_3 = -5.72^t$$

2. Dügüm noktasında

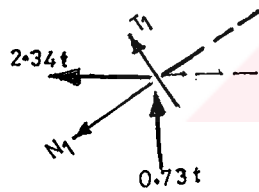
$$\Sigma x = 0 \quad 1.62 - 0.44 + N_4 = 0 \quad \rightarrow N_4 = -1.18^t \rightarrow -11.8 \text{ kN}$$

$$\Sigma y = 0 \quad 0.45 + 0.18 - N_5 = 0 \quad \rightarrow N_5 = 0.63^t \rightarrow 6.3 \text{ kN}$$

Kırık Çubuklardaki N, T'lerin Hesabı



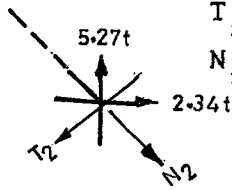
I. kesitinde



$$T_1 = 0.73 \times 0.2873 + 0.9578 \times 2.34 = 2.45^t \rightarrow 24.5 \text{ kN}$$

$$N_1 = -0.73 \times 0.9578 + 0.2873 \times 2.34 = -0.03^t \rightarrow 0.3 \text{ kN}$$

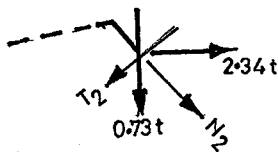
II. kesitte



$$T_2 = -5.27 \times 0.8575 - 2.34 \times 0.5145 = -5.72^t \rightarrow 57.2 \text{ kN}$$

$$N_2 = -5.27 \times 0.5145 + 2.34 \times 0.8575 = -0.70^t \rightarrow 7 \text{ kN}$$

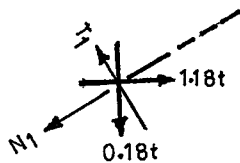
III. kesitte



$$T_3 = 0.73 \times 0.8575 - 2.34 \times 0.5145 = -0.58^t \rightarrow 5.8 \text{ kN}$$

$$N_3 = 0.73 \times 0.5145 + 2.34 \times 0.8575 = 2.38^t \rightarrow 3.8 \text{ kN}$$

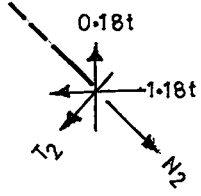
I. kesitte



$$T_1 = -0.18 \times 0.5145 - 0.8575 \times 1.18 = -1.10^t \rightarrow 11.0 \text{ kN}$$

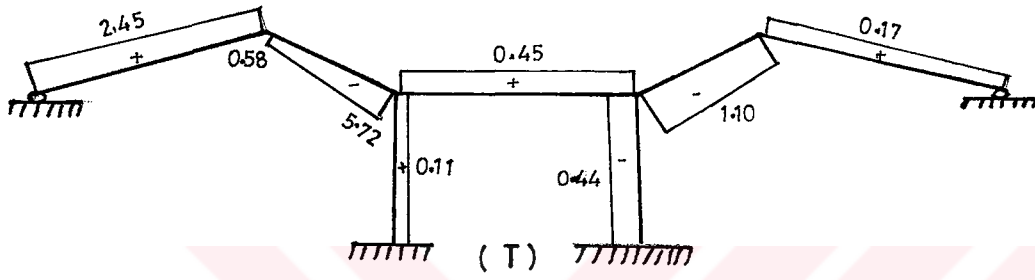
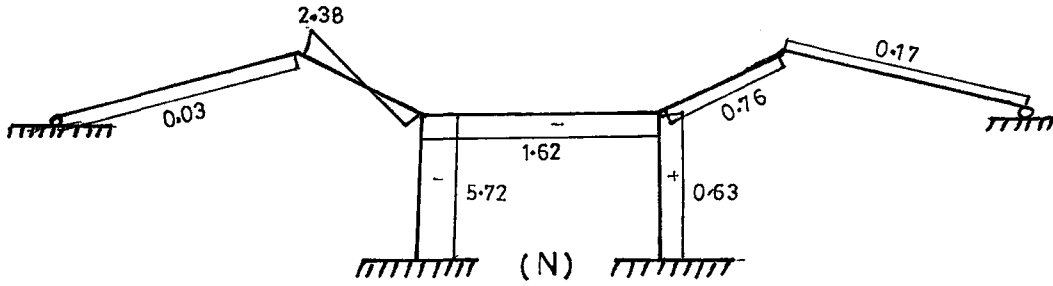
$$N_1 = -0.18 \times 0.8575 - 0.5145 \times 1.18 = -0.76^t \rightarrow 7.6 \text{ kN}$$

II kesitte



$$T_2 = -0.18 \times 0.9578 + 1.18 \times 0.2873 = 0.17^t \rightarrow 1.70 \text{ kN}$$

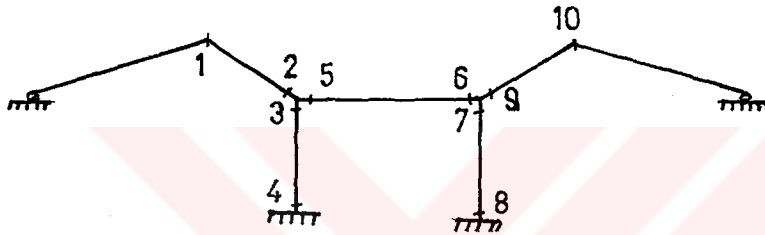
$$N_2 = -0.18 \times 0.2873 - 1.18 \times 0.9578 = 1.18^t \rightarrow 11.8 \text{ kN}$$

Şekil 3.26 P_2 Yüklmeleri İçin T DiyagramıŞekil 3.27 P_2 Yüklmeleri İçin N Diyagramı

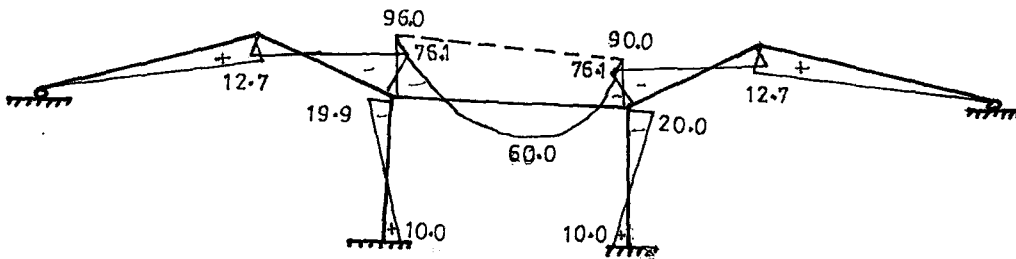
P3 yükleme için

$$\begin{bmatrix}
 341.28 & -426.52 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -426.51 & 2026.27 & 839.22 & 839.22 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 839.22 & 2146.80 & 1353.14 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 839.22 & 1353.14 & 1088.58 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 2222.79 & -55.92 & 1569.84 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -55.92 & 1100.98 & 222.36 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1569.84 & 222.36 & 1735.89
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 x_1 \\
 x_2 \\
 x_3 \\
 x_4 \\
 x_5 \\
 x_6 \\
 x_7
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 0 \\
 9247.05 \\
 6164.70 \\
 6164.70 \\
 0 \\
 0 \\
 0
 \end{bmatrix}$$

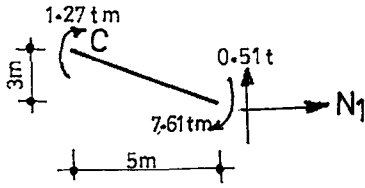
$$\begin{aligned}
 x_1 &= -6.337 & x_5 &= 0 \\
 x_2 &= -5.071 & x_6 &= 0 \\
 x_3 &= 0.998 & x_7 &= 0 \\
 x_4 &= -2.995
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M_i &= \sum_{i=1}^n M_i \cdot x_i + M_o = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 + M_3 \cdot x_3 + M_4 \cdot x_4 + M_5 \cdot x_5 + M_6 \cdot x_6 + M_7 \cdot x_7 + M_o \\
 M_1 &= (-1) \times (-6.337) + 1 \times (-5.071) = 1.27 \text{ t.m} \rightarrow 12.7 \text{ kNm} \\
 M_2 &= 1.5 \times (-5.071) = -7.61 \text{ t.m} \rightarrow -76.1 \text{ kNm} \\
 M_3 &= 1 \times (0.998) + 1 \times (-2.995) = -2.00 \text{ t.m} \rightarrow -20 \text{ kNm} \\
 M_4 &= 1 \times (0.998) = 0.998 \text{ t.m} \rightarrow 10 \text{ kNm} \\
 M_5 &= 1.5 \times (-5.071) + 1 \times (0.998) + 1 \times (-2.995) = -9.60 \text{ t.m} \rightarrow -96 \text{ kNm} \\
 M_6 &= 1.5 \times (-5.071) + 1 \times (0.998) + 1 \times (-2.995) = -9.60 \text{ t.m} \rightarrow -96 \text{ kNm} \\
 M_7 &= 1 \times (0.998) + 1 \times (-2.995) = -2.00 \text{ t.m} \rightarrow -20 \text{ kNm} \\
 M_8 &= 1 \times (0.998) = 1.00 \text{ t.m} \rightarrow 10 \text{ kNm} \\
 M_9 &= 1.5 \times (-5.071) + 1 \times (0.998) + 1 \times (-2.995) = -9.60 \text{ t.m} \rightarrow -96 \text{ kNm} \\
 M_{10} &= (-1) \times (-6.337) + 1 \times (-5.071) + 0 = 1.27 \text{ t.m} \rightarrow 12.7 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Şekil 3.28 P₃ Yüklemeleri İçin M Diyagramı

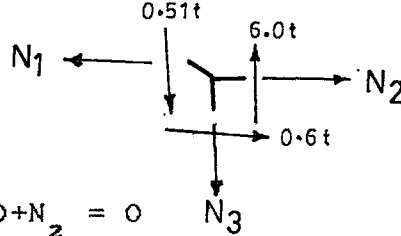
N_1 'nin bulunması



$$\sum M_C = 0 \quad 1.27 + 7.61 - 0.51 \times 5 - N_1 \times 3 = 0$$

$$N_1 = 2.11^t \rightarrow 21.1 \text{ kN}$$

1. Düğüm noktasında



$$\sum X = 0 \quad -2.11 + 0.60 + N_2 = 0$$

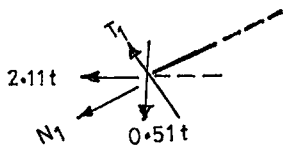
$$N_2 = 5.49^t \rightarrow 54.9 \text{ kN}$$

$$\sum Y = 0 \quad -0.51 + 6 - N_3 = 0 \Rightarrow N_3 = 5.49^t (N_3 = 54.9 \text{ kN})$$

Kırık çubuğundaki N, T'lerin Hesabı



I. Kesitte



$$T_1 = -0.51 \times 0.2875 + 2.11 \times 0.9578 =$$

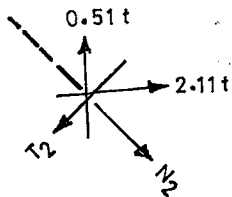
$$= 1.87^t \rightarrow 18.7 \text{ kN}$$

$$N_1 = 0.51 \times 0.9578 + 2.11 \times 0.2873 =$$

$$= 1.09^t \rightarrow 10.9 \text{ kN}$$

$$T_4 = T_1 = 1.87^t \rightarrow 18.7 \text{ kN}$$

$$N_4 = N_1 = 1.09^t \rightarrow 10.9 \text{ kN}$$



$$T_2 = -0.51 \times 0.8575 - 2.11 \times 0.5145 =$$

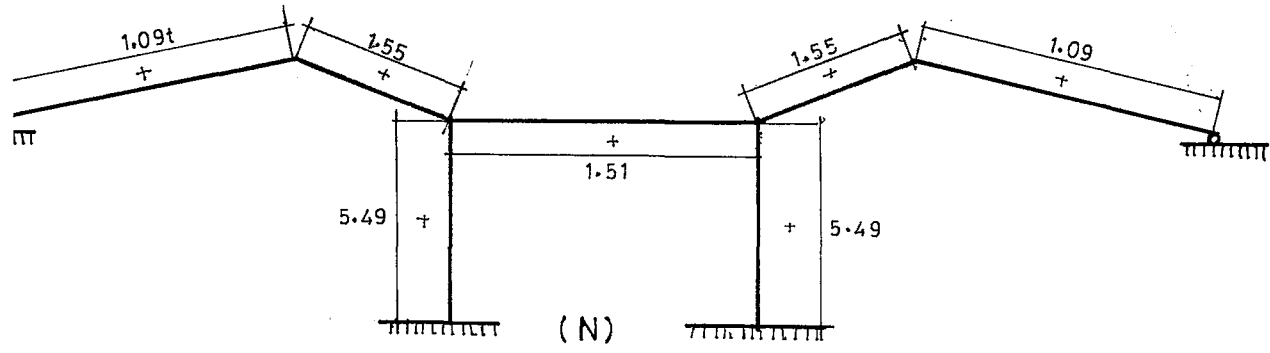
$$= -1.52^t \rightarrow -15.2 \text{ kN}$$

$$N_2 = -0.51 \times 0.5145 + 2.11 \times 0.8575 =$$

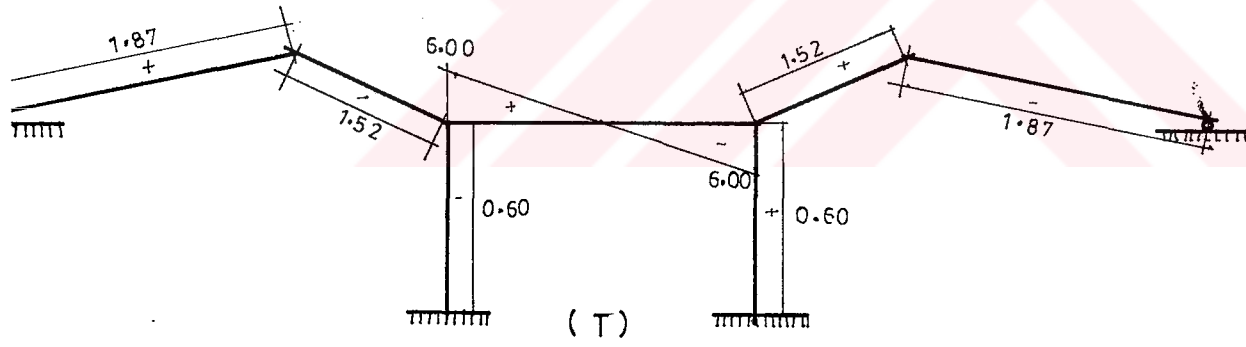
$$= 1.55^t \rightarrow 15.5 \text{ kN}$$

$$T_3 = T_2 = -1.52^t \rightarrow -15.2 \text{ kN}$$

$$N_3 = N_2 = 1.55^t \rightarrow 15.5 \text{ kN}$$

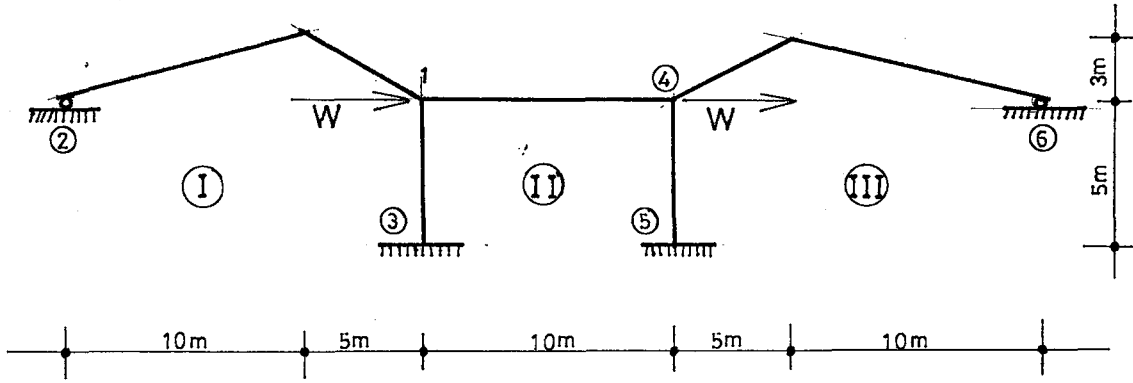


Şekil 3.29 P_3 Yüklemeleri İçin N Diyagramı



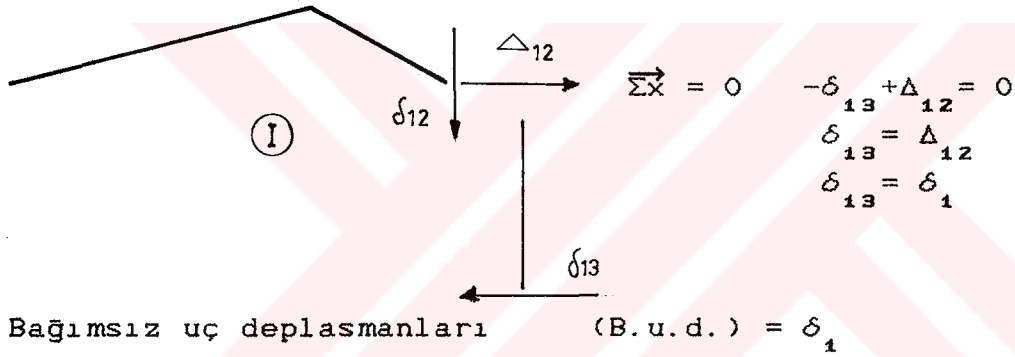
Şekil 3.30 P_3 Yüklemeleri İçin T Diyagramı

3.6. W Yüğü İçin Cross Yöntemiyle M, T, N Diyagramlarının Çizimi



Şekil 3.31 Verilen Sistem ve Uygulanan Yatay Kuvvet

* Bilinmeyenlerin tayini



* Dağıtma Katsayılarının Hesabı

$$m_{1\theta 1}^{12} = 0.01918$$

$$m_{1\theta 1}^{13} = 0.0504$$

$$m_{1\theta 1}^{14} = m_{1\theta 1}^{14} + m_{1\theta 1}^{14} = 0.00853 + 0.00496 = 0.01349$$

$$\Sigma m_{i\theta i} = 0.03771$$

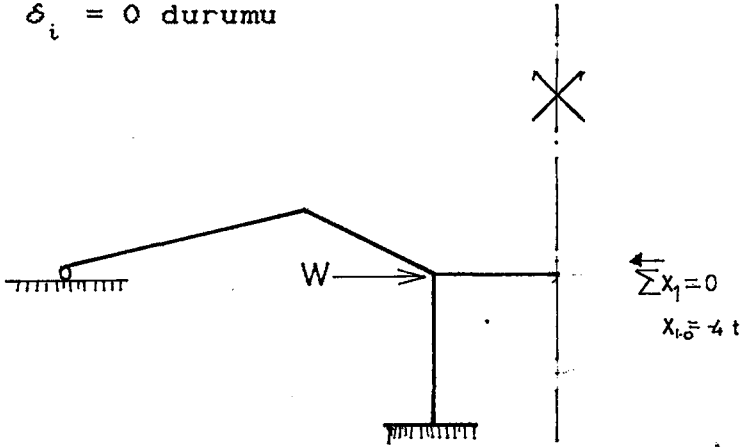
$$\Gamma_{12} = \frac{0.01918}{0.03771} = 0.5086$$

$$\Gamma_{14} = \frac{0.01349}{0.03771} = 0.3577$$

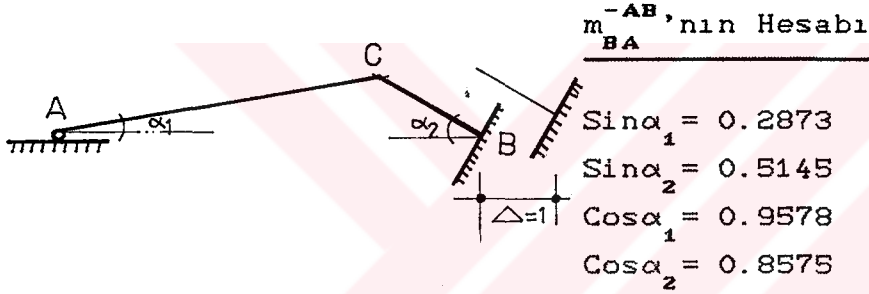
$$\Gamma_{13} = \frac{0.00504}{0.03771} = 0.1337$$

$$\Sigma \Gamma_{ij} = \dots = 1.000$$

$\delta_i = 0$ durumu



Şekil 3.32 Verilen Sistemin Yarısı ile Yatay Kuvveti



m_{BA}^{-AB} , nın Hesabı

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= 0.2873 \\ \sin \alpha_2 &= 0.5145 \\ \cos \alpha_1 &= 0.9578 \\ \cos \alpha_2 &= 0.8575 \end{aligned}$$

Süreklilik Denklemleri

$$\begin{cases} \sum X=1 \quad \delta_{AC} \sin \alpha_1 - \delta_{CB} \sin \alpha_2 = 1 \rightarrow 0.2873 \delta_{AC} - 0.5145 \delta_{CB} = 1 \\ \sum Y=0 \quad \delta_{AC} \cos \alpha_1 - \delta_{CB} \cos \alpha_2 = 0 \rightarrow 0.9578 \delta_{AC} + 0.8575 \delta_{CB} = 0 \end{cases} \begin{cases} \delta_{AC} = 1.1601 \\ \delta_{CB} = -1.2958 \end{cases}$$

$$\sum m_c = 0 \quad (m_{c\delta}^{AC} \delta_A) + (m_{c\delta}^{CB} \delta_{BC}) + \theta_c (m_{c\theta c}^{-CA} + m_{c\theta c}^{CB}) = 0$$

$$\theta_c = - \frac{m_{c\delta}^{AC} \delta_{AC} + m_{c\delta}^{CB} \delta_{CB}}{(m_{c\theta c}^{-CA} + m_{c\theta c}^{CB})}$$

$$m_{c\delta}^{AC} = \frac{\bar{m}_{K\theta K}}{L} = \frac{0.00878}{10.44} = 0.000841E$$

$$m_{q\delta}^{CB} = \frac{6EI}{L^2} = \frac{(0.01172 + 0.02344)}{5.83} = 0.006031$$

$$m_{c\theta c}^{-CA} = 0.00878$$

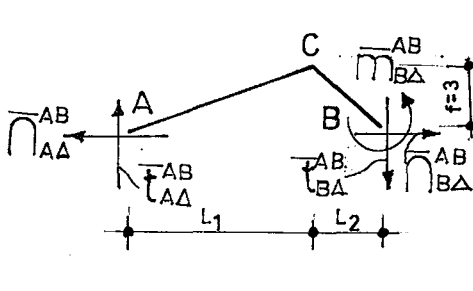
$$m_{c\theta c}^{CB} = 0.02344$$

$$\theta_c = - \frac{[0.000841 \times 1.1601 + 0.006031 (-1.2958)]}{(0.00878 + 0.02344)} = 0.2123$$

$$\bar{m}_{BA} = m_{Bq} \cdot \delta_{CB} + \theta_c m_{c\theta c}^{CB} = 0.006031 \times (-1.2958) + 0.2123 \times 0.01172$$

$$m_{BA}^{-AB} = -0.005327$$

n_{BA} 'nin Hesabı



$$t_{AA}^{-AB} = t_{BA}^{-AB} = \frac{m_{BA}^{-AB}}{L} = \frac{-0.0053}{15} = -0.000353$$

$$M_{CB} = m_{c\theta c}^{CB} \delta_{CB} + \theta_c m_{c\theta c}^{CB}$$

$$M_{CB} = 0.006031 \times (-1.2958) + (0.2123) \times 0.02344 = -0.002839$$

$$n_{BA}^{-AB} = \frac{1}{f} [L_2 t_{BA}^{-AB} - (m_{BA}^{-AB} + m_c)] = \frac{1}{3} [-5 \times 0.000353 - (-0.0053 + (-0.00284))] = 0.002125$$

$$n_{BA}^{-AB} = 0.002125$$

$$\delta_1 = 1 \text{ Durumu}$$

$$M_{31} = M_{13} = M_{1\delta}^{13} \delta = \frac{6 \times 0.0063}{5^2} \times 1E = 1.512^{tm} \quad E = 1000$$

$$\bar{M}_{12} = m_{BA}^{-AB} \Delta = -0.005327 \times 1E = -5.327^{tm}$$

$$\bar{N}_{12} = n_{BA} \Delta = 0.002125 \times 1 \times 1000 = 2.125$$

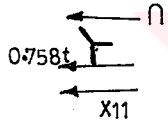
Tablo 3.1. Dağıtma Kat Sayıları

	1			
Γ_{12}	Γ_{14}	Γ_{13}		Γ_{31}
0.5086	0.3577	0.1337		
-5.327		1.512		1.512
1.94	1.36	0.51		0.26
-3.39	1.36	2.022		-1.77

2.023 tm
 1.766 tm
 $T = \frac{2.023 + 1.768}{5}$
 $T = 0.757$

$$m_{B\Theta B}^{-\alpha B} \Theta_B = M'$$

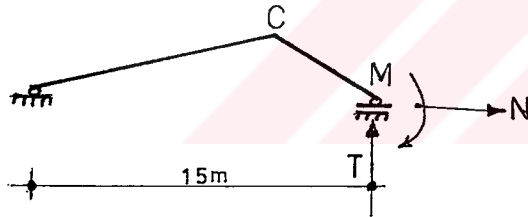
$$0.01918 \Theta_B = 1.940 \rightarrow \Theta_B = 101.15$$



$$\bar{n} = \bar{n}_{BA} \Delta + \bar{n}_{B\Theta B} \Theta_B = 2.125 - 0.005327 \times 101.15 = 1.586$$

$$x_{11} = 1.586 + 0.758 = 2.344$$

$$x_{11} \delta_1 + \delta_{10} = 2.344 - 4. = 0 \quad \delta_1 = 1.706$$



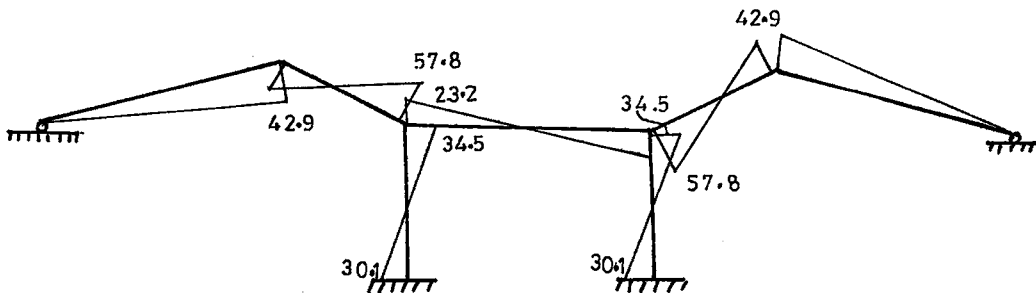
$$M = -5.78 \text{ tm} \rightarrow -57.8 \text{ kNm}$$

$$T = \frac{5.78}{15} = 0.38 \text{ t} \rightarrow 3.8 \text{ kN}$$

$$N = (0.002125 \times 1000 - 0.005327 \times 101.15) \times 1.706$$

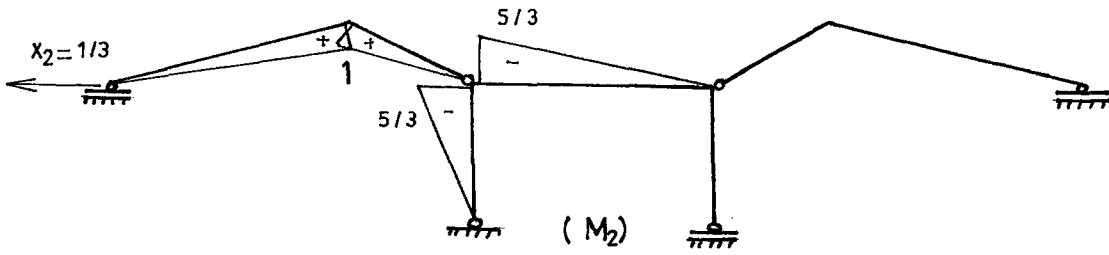
$$N = 2.706 \text{ t} \rightarrow 27.06 \text{ kN}$$

$$M_C = -5.78 + 0.38 \times 5 + 2.706 \times 3 = 4.29 \text{ tm} \rightarrow 42.9 \text{ kNm}$$



Şekil 3.33 Yatay w Yükleme İçin (M) Diyagramı

K.S.D. Kontrolü

Şekil 3.34 K.S.D. Kontrolü İçin (M_2) Diyagramı

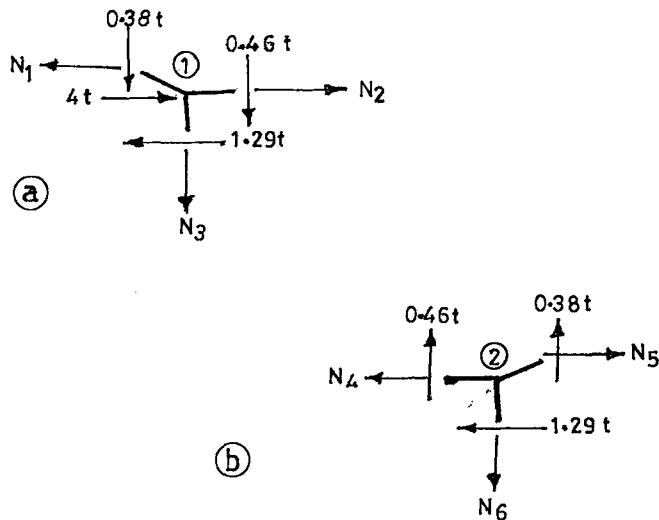
$$\delta = \int M_2 \frac{ds}{I} = 1.7414 \times 4.29 \times \frac{1}{0.0153} + \frac{1}{6} \times 5.83 \times 1 \times (2.4 \times 2.9 - 5.78) \times \frac{1}{0.0342} + \frac{1}{6} \times 5 \left(\frac{-5}{3} \right) \times (-3.01 + 2 \times 3.45) \times \frac{1}{0.0063} + [2.707 \times (-2.32 + 1.573 \times 2.32) \times \left(\frac{5}{3} \right) \times \frac{1}{0.0153}] =$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(+) = 854.41 \\ \Sigma(-) = -857.58 \end{array} \right\} \Delta = -3.16$$

$$R_h = \frac{3.16}{855.00} = 0.00369$$

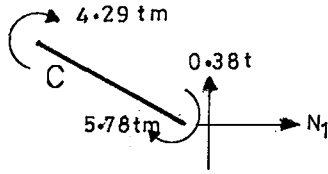
$$R_h = \%0.369$$

Normal ve Kesme Kuvvetlerin Hesabı



Şekil 3.35 Düğüm Noktasındaki Uç Kuvvetleri

N_1 'nin bulunması



$$\Sigma M_c = 0$$

$$4.29 + 5.78 - 0.38 \times 5 - N_1 \times 3 = 0$$

$$N_1 = 2.72^t \rightarrow 27.2 \text{ kN}$$

1. Düğüm noktasında

$$\Sigma x = 0 \quad -2.72 + 1.29 + 4 \cdot N_2 = 0$$

$$N_2 = -2.57^t \rightarrow -25.7 \text{ kN}$$

$$\Sigma y = 0 \quad -(0.38 + 0.46) - N_3 = 0$$

$$N_3 = -0.84^t \rightarrow -8.4 \text{ kN}$$

2. Düğüm noktasında

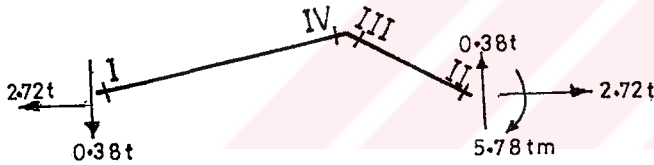
$$\Sigma x = 0 \quad 2.57 + 1.29 + 4 \cdot N_5 = 0$$

$$N_5 = 5.27^t \rightarrow 52.7 \text{ kN}$$

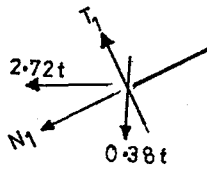
$$\Sigma y = 0 \quad 0.46 + 0.38 - N_6 = 0$$

$$N_6 = -0.84^t \rightarrow 8.4 \text{ kN}$$

Kırık Çubuktaki N, T'lerin hesabı



I. kesitte



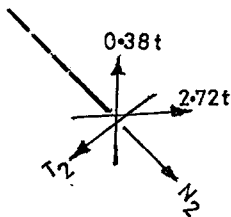
$$T_1 = 2.72 \times 0.9578 - 0.38 \times 0.2873 = 2.50^t \rightarrow 25 \text{ kN}$$

$$N_1 = 2.72 \times 0.2873 + 0.38 \times 0.9578 = 1.15^t \rightarrow 11.5 \text{ kN}$$

$$T_4 = T_1 = 2.50^t \rightarrow 25 \text{ kN}$$

$$N_4 = N_1 = 1.15^t \rightarrow 11.5 \text{ kN}$$

II. kesitte



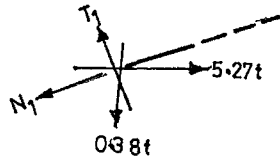
$$T_2 = -0.38 \times 0.8575 - 2.72 \times 0.5145 = -1.73^t \rightarrow -17.3 \text{ kN}$$

$$N_2 = 0.38 \times 0.5145 + 2.72 \times 0.8575 = 2.14^t \rightarrow 21.4 \text{ kN}$$

$$T_3 = T_2 = -1.73^t \rightarrow -17.3 \text{ kN}$$

$$N_3 = N_2 = 2.14^t \rightarrow 21.4 \text{ kN}$$

I. kesitte



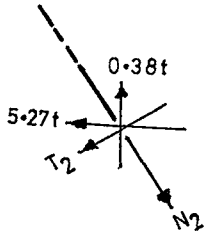
$$T_1 = -0.38 \times 0.5145 - 5.27 \times 0.8575 = -4.71^t \rightarrow -47.1 \text{ kN}$$

$$N_1 = 0.38 \times 0.8575 - 5.27 \times 0.5175 = -2.39^t \rightarrow -23.9 \text{ kN}$$

$$T_4 = T_1 = -4.71^t \rightarrow -47.1 \text{ kN}$$

$$N_4 = N_1 = -2.39^t \rightarrow -23.9 \text{ kN}$$

II. kesitte

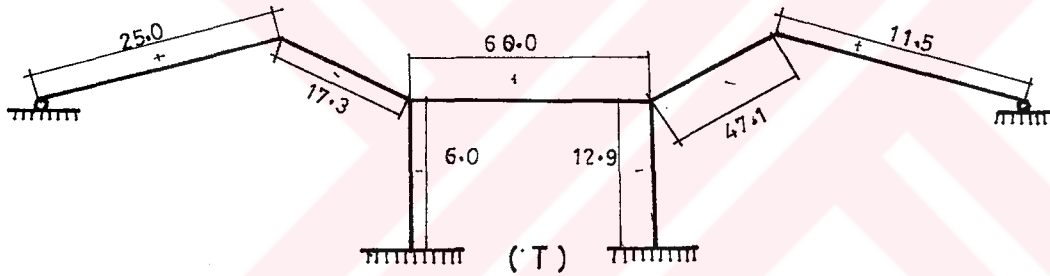


$$T_2 = 5.27 \times 0.2873 - 0.38 \times 0.9578 = 1.15^t \rightarrow 11.5 \text{ kN}$$

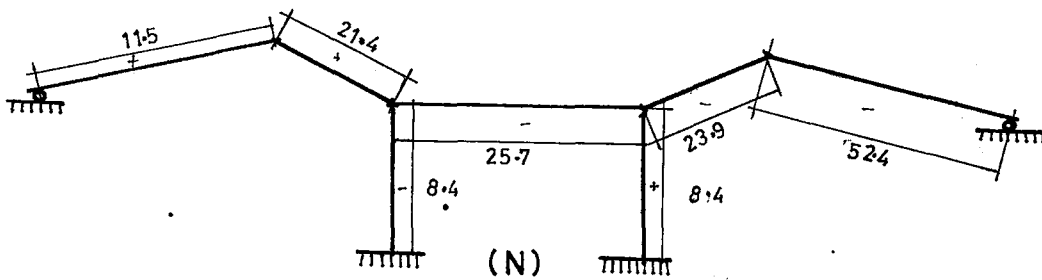
$$N_2 = -5.27 \times 0.9578 - 0.38 \times 0.5145 = -5.24^t \rightarrow -52.4 \text{ kN}$$

$$N_3 = N_2 = -5.24^t \rightarrow -52.4 \text{ kN}$$

$$T_3 = T_2 = 1.15^t \rightarrow 11.5 \text{ kN}$$

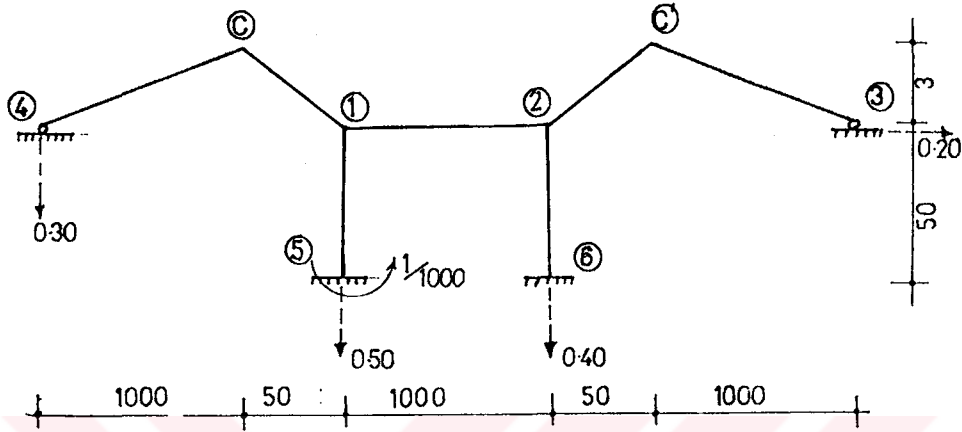


Şekil 3.36. w Yatay Yükleme İçin (T) Diyagramı



Şekil 3.37. w Yatay Yükleme İçin (N) Diyagramı

3.7. $t=20^{\circ}\text{C}$ Düzgün Sıcaklık Değişmesi ve Şekilde Verilen Mesnet Çökmeleri İçin Ayrı Ayrı Matris Deplasman Yöntemiyle M, T, N Diyagramlarının Çizilmesi



Şekil 3.38. Verilen Sistem İle Mesnet Çökmeleri

* Doğru Eksenli Çubuklarda [K] Matrisinin Elemanları

$$[K] = \begin{bmatrix} [K]_{ii} & [K]_{ij} \\ [K]_{ji} & [K]_{jj} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} & \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{EF}{L} & 0 & 0 & \frac{EF}{L} & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} \\ \hline \frac{2EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^3} & \frac{4EI}{L} & 0 & \frac{6EI}{L^2} \\ 0 & \frac{EI}{L} & 0 & 0 & \frac{EF}{L} & 0 \\ \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} & \frac{6EI}{L^2} & 0 & \frac{12EI}{L^3} \end{bmatrix}$$

* Doğru Eksenli Olmayan Çubuklarda

$$[K] = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & . & . & . & K_{16} \\ K_{21} & K_{22} & . & . & . & K_{26} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ K_{61} & K_{62} & . & . & . & . \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_i \\ e_j \\ \Delta_j \\ \delta_j \\ \Delta_i \\ \delta_i \end{bmatrix}$$

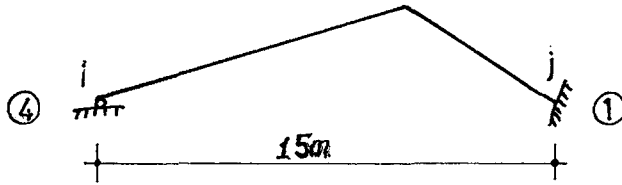


Tablo 3.5. 4-1 Çubuğu İçin Rijitlik Matrisi

	e_i	e_j	Δ_j	δ_j	Δ_i	δ_i
M_{ij}	m_{iei} 0	m_{iej} 0	$m_{i\Delta}$ 0	$m_{i\delta}$ 0	0	0
M_{ji}	m_{jei} 0	m_{jej} 38360	$m_{j\Delta}$ -10654	$m_{j\delta}$ 2557.33	-10654	2557.33
N_{ji}	n_{jei} 0	$n_{j\Delta}$ -10654	$n_{i\delta}$ 4250	-710.27	4250	-710.27
T_{ji}	t_{iei} 0	t_{iej} 2557.33	$t_{i\Delta}$ -170.27	$t_{i\delta}$ 170.49	-710.27	170.49
N_{ij}	n_{iei} 0	n_{iej} -10654	$n_{i\Delta}$ 4250	$n_{i\delta}$ -710.27	4250	-710.27
T_{ij}	t_{iei} 0	t_{jej} 2557.33	$t_{i\Delta}$ -710.27	$t_{i\delta}$ 170.49	-710.27	170.49

Tablo 3.6 23 Çubuğu İçin Rijitlik Matrisi

	e_i	e_j	Δ_j	δ_j	Δ_i	δ_i
P_1	m_{ie_i} 38360	m_{ie_j} 0	$m_{i\Delta}$ 10654	$m_{i\delta}$ 2557.33	10654	2557.33
P_2	m_{je_i} 0	m_{je_j} 0	$m_{j\Delta}$ 0	$m_{j\delta}$ 0	0	0
P_3	n_{je_i} 10654	$n_{j\Delta}$ 0	$n_{i\delta}$ 4250	710.27	4250	710.27
P_4	t_{ie_i} 2557.33	t_{ie_j} 0	$t_{i\Delta}$ 710.27	$t_{i\delta}$ 170.49	710.27	170.49
P_5	n_{ie_i} 10654	n_{ie_j} 0	$n_{i\Delta}$ 4250	$n_{i\delta}$ 710.27	4250	710.27
P_6	t_{ie_i} 2557.33	t_{je_j} 0	$t_{i\Delta}$ 710.27	$t_{i\delta}$ 170.49	710.27	170.49

(4-1) Kırık Çubuğun Rijitlik Matrislerinin Bulunması

$$[K]_{jj} = [K]_{11} = \begin{bmatrix} m_{1e1}^{-14} & m_{1\Delta}^{-14} & m_{1\delta}^{-14} \\ n_{1e1}^{-14} & n_{1\Delta}^{-14} & n_{1\delta}^{-14} \\ \bar{t}_{1e1} & t_{1\Delta} & t_{1\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & 2557.33 \\ -10654 & 4250 & -170.27 \\ 2556.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{44} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{15} & K_{16} \\ K_{51} & K_{55} & K_{56} \\ K_{61} & K_{65} & K_{66} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4250 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{41} = [K]_{14} = [T_1]^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4150 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 15 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{41} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{14} = [K]_{41}^T = \begin{bmatrix} 0 & -10.654 & 2557.33 \\ 0 & 4150 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

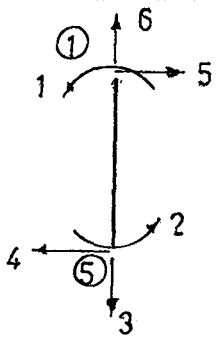
$$[K]_{1 \times 1 \times} = [K]_{11} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & 2557.33 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2556.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$[T_2]_1 = [I]$ olduğundan dönüştürme yok.

$$K_{1 \times 4 \times} = [T_2]_1 [K]_{11} [T_2]_4 = [K]_{11} [T_2]_4$$

$$[K]_{1 \times 4 \times} = \begin{bmatrix} 0 & -10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 10654 & -2557.33 \\ 0 & -4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & -170.49 \end{bmatrix}$$

1-5 Çubuğun Rijitlik Matrisleri

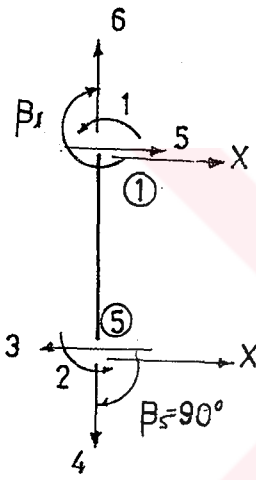


$$\left. \begin{aligned} I &= 0.0063 \text{ m}^4 \\ F &= 0.60 \times 0.35 = 0.21 \\ E &= 2 \times 10^6 \text{ t/m}^2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} EI &= 12600 \text{ tm}^2 \\ EF &= 420000 \text{ t} \\ L &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

$$[K]_{11} = [K]_{55} = \begin{bmatrix} 10080 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.60 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{15} = \begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix}$$

(1-5) Çubuğun Rijitlik Matrislerinin Sistem Eksene Dönüştürülmesi



$$\begin{aligned} \sin \beta_1 &= -1 \\ \cos \beta_1 &= 0 \end{aligned} \quad [T_2]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} \sin \beta_5 &= -1 \\ \cos \beta_5 &= 0 \end{aligned} \quad [T_2]_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & +1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{1 \times 1 \times} = [T_2]_1 [K]_{11} [T_2]_1^T$$

$$\begin{bmatrix} 10080 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \\ 3024 & -1209.60 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.60 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{1 \times 5 \times} = [T]_{2 \times 1} [K]_{15} [T]_{2 \times 5}^T$$

$$\begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5040 & -3024 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \\ 3024 & 1209.60 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5040 & -3024 & 0 \\ 3024 & -1209.60 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \end{bmatrix}$$

1-2 Çubuğun Rijitlik Matrisleri

$$\textcircled{1} \text{-----} \textcircled{2}$$

$$EF = 2 \times 10^6 \times 0.335$$

$$= 670000 \text{ t}$$

$$[K]_{11} = [K]_{22} = \begin{bmatrix} m_{1\theta 1} & m_{1\Delta} & m_{1\delta} \\ n_{1\theta 1} & \frac{EF}{L} & n_{1\delta} \\ t_{1\theta 1} & t_{1\Delta} & t_{1\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 17060 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2698 & 0 & 539.60 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{12} = [K]_{21} = \begin{bmatrix} 9920 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2698 & 0 & 539.60 \end{bmatrix}$$

(1-2) Çubuğun Rijitlik Matrislerin Sistem Eksene Dönüştürülmesi

$$[T_z]_z = [I]$$

$$[T_z]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$



$$[K]_{1 \times 1 \times} = [T_z]_1 [K]_{11} [T_z]_1^T$$

$$\begin{bmatrix} 17060 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2698 & 0 & 539.60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 17060 & 0 & -2698 \\ 0 & -67000 & 0 \\ 2698 & 0 & -539.6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 17060 & 0 & -2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ -2698 & 0 & 539.60 \end{bmatrix}$$

$[K]_{2 \times 2x} = [K]_{22} \rightarrow [T_2]_2 = [I]$ olduğundan dönüştürme yoktur.

$$[K]_{2 \times 1x} = [T_2]_1 [K]_{11} [T_2]_1^T$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 9920 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2698 & 0 & 539.6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 9920 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2692 & 0 & 539.6 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 9920 & 0 & 2692 \\ 0 & -67000 & 0 \\ -2698 & 0 & -539.60 \end{bmatrix}$$

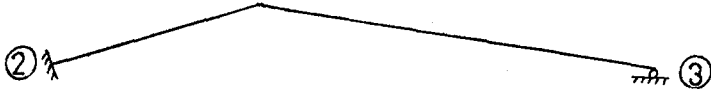
$$[K]_{2 \times 1x} = [K]_{1 \times 2x}^T = \begin{bmatrix} 9920 & 0 & -2698 \\ 0 & -67000 & 0 \\ 2698 & 0 & -539.60 \end{bmatrix}$$

2-6 Çubuğun Rijitlik Matrislerin Sistem Eksene Dönüştürülmesi

$$[K]_{2 \times 2x}^{26} = [K]_{1 \times 1x}^{15} = \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{2 \times 6x}^{26} = [K]_{1 \times 5x}^{15} = \begin{bmatrix} 5040 & -3024 & 0 \\ 3024 & -1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \end{bmatrix}$$

2-3 Çubuğun Rijitlik Matrisleri



$$[K]_{zz} = \begin{bmatrix} \bar{m}_{z\theta z} & \bar{m}_{z\Delta} & \bar{m}_{z\delta} \\ \bar{n}_{z\theta z} & \bar{n}_{z\Delta} & \bar{n}_{z\delta} \\ \bar{t}_{z\theta z} & \bar{t}_{z\Delta} & \bar{t}_{z\delta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 38360 & 10654 & 2557.33 \\ 10654 & 4250 & 710.27 \\ 2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{zs} = \begin{bmatrix} 0 & 10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \quad [K]_{sz} = [K]_{zs}^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 10654 & 4250 & 710.27 \\ 2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{ss} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

(2-3) Çubuğun Rijitlik Matrislerin Sistem Matrislerine Dönüştürülmesi

$$[K]_{2 \times 2} = [T]_2^T [K]_{22} [T]_2$$

$$\begin{bmatrix} 38360 & 10654 & 2557.33 \\ 10654 & 4250 & 710.27 \\ 2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & -2557.33 \\ 10654 & -4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & -170.49 \end{bmatrix}$$

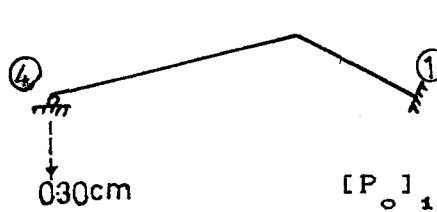
$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & -2557.33 \\ -10654 & 4250 & 710.27 \\ -2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{2 \times 3} = [T]_2^T [K]_{23} [I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{2 \times 3} = \begin{bmatrix} 0 & 10654 & 2557.33 \\ 0 & -4250 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & -170.49 \end{bmatrix}$$

Mesnet Çökmeleri İçin Yükleme Kolon Matrisleri

4-1 Çubuğunun 4 ucundaki oluşan deplasmandan dolayı 1'de meydana gelen yükleme matrisi

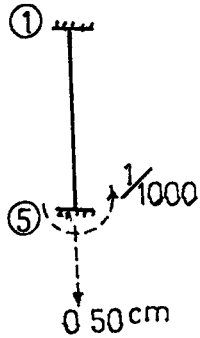


$$[d_o]_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.003 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_1 = [K]_{14} [d_o]_4$$

$$[P_o]_{1x} = [P_o]_1 = \begin{bmatrix} 0 & -10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.003 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -7.6270 \\ 2.1308 \\ -0.5115 \end{bmatrix}$$

1-5 Çubuğu için

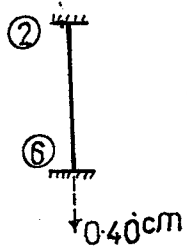


$$[P_o]_1 = [K]_{15} [d_o]_5$$

$$[P_o]_{1x} = [T_z]_1 [K]_{15} [d_o]_5$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.001 \\ 0.005 \\ 0.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.04 \\ 3.024 \\ -420 \end{bmatrix}$$

2-6 Çubuğu için

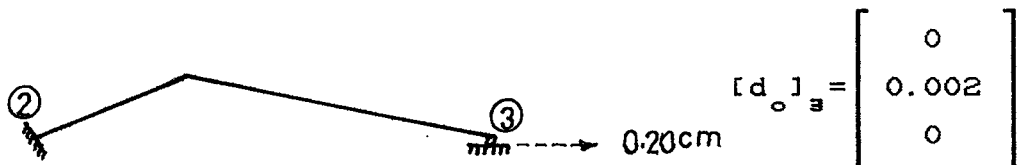


$$[d_o]_6 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [K]_{26} = \begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_{2x} = [T_z]_2 [K]_{26} [d_o]_6$$

$$[P_o]_{2x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -336 \end{bmatrix}$$

2-3 Çubuğu için



$$[d_o]_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.002 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{0 \times 3} = [T]_z [K]_{3 \times 3} [d]_3$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.2 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0.002 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 21.308 \\ -8.50 \\ -1.42054 \end{bmatrix}$$

Denklem Takımı ve Çözümü

$$\begin{bmatrix} 65500 & -7630 & -140.67 & 9920 & 0 & 2698 \\ -7630 & 72459.60 & -710.27 & 0 & -67000 & 0 \\ -140.67 & -710.27 & 84710.11 & -2698 & 0 & -539.6 \\ 9920 & 0 & -2698 & 65500 & -7630 & 140.67 \\ 0 & -67000 & 0 & -7630 & 72459.60 & 710.27 \\ 2698 & 0 & -539.60 & 140.67 & 710.27 & 84710.11 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d1 \\ d2 \\ d3 \\ d4 \\ d5 \\ d6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -2.632 \\ -5.1548 \\ -420.5115 \\ -21.308 \\ -8.500 \\ -337.421 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[d]_{1 \times} = \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix}$$

$$[d]_{2 \times} = \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix}$$

1-2 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1 \times} = [K]_{1 \times 1 \times} [d]_{1 \times} + [K]_{1 \times 2 \times} [d]_{2 \times}$$

$$\begin{aligned} [P]_{1 \times}^{12} &= \begin{bmatrix} 17060 & 0 & -2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ -2698 & 0 & 539.60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} + \\ &+ \begin{bmatrix} 9920 & 0 & 2698 \\ 0 & -67000 & 0 \\ -2698 & 0 & -539.60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -4.73313 \\ -3.45328 \\ 0.95331 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$[P]_1^{12} = [T_z]_1^T [P]_{1x}^{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -4.73313 \\ 3.45328 \\ 00.95331 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.73313 \\ 3.45328 \\ 00.95331 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{zx}^{21} = [K]_{zxzx} [d]_{zx} + [K]_{zx1x} [d]_{1x}$$

$$[P]_{zx} = \begin{bmatrix} 17060 & 0 & 2698 \\ 0 & 67000 & 0 \\ 2698 & 0 & 539.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 9920 & 0 & -2698 \\ 0 & -67000 & 0 \\ 2698 & 0 & -539.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} =$$

$$[P]_z = [P]_{zx} = \begin{bmatrix} -4.8000 \\ 3.4533 \\ -0.9533 \end{bmatrix}$$

1-5 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1x}^{15} = [K]_{1x1x}^{15} [d]_{1x}^{15} + [P_o]_{1x}$$

$$[P]_{1x} = \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 5.04 \\ 3.024 \\ -420 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.9728 \\ 3.0803 \\ -0.9358 \end{bmatrix}$$

$$[P]_1 = [T_2]_1^T [P]_{1x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4.9728 \\ 3.0803 \\ -0.9358 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.9728 \\ 0.9358 \\ 3.0803 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{5x} = [K]_{5x1x} [d]_{1x} + [P_o]_{5x}$$

$$[P_o]_{5x} = [T]_5 [K]_{55} [d_o]_5$$

$$[P_o]_{5x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10080 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.001 \\ 0.005 \\ 0.000 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.08 \\ -3.024 \\ 420 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{5x} = \begin{bmatrix} 5040 & 3024 & 0 \\ -3024 & -1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 10.08 \\ -3.024 \\ 420.00 \end{bmatrix} =$$

$$[P]_{5x} = \begin{bmatrix} 10.4088 \\ -3.08032 \\ 0.9358 \end{bmatrix}$$

$$[P]_5 = [T_2]_5^T [P]_{5x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10.4088 \\ -3.08032 \\ 0.9358 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.4088 \\ 0.9358 \\ 3.08032 \end{bmatrix}$$

1-4 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1x}^{14} = [K]_{1x1x} [d]_{1x} + [P_o]_{1x} \quad [P_o]_{1x} = \begin{bmatrix} -7.6720 \\ 2.1308 \\ -0.5115 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{1x}^{14} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & 2557.33 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -7.6720 \\ 2.1308 \\ -0.5115 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.2596 \\ 0.3730 \\ -0.0173 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{4x}^{14} = [K]_{4x1x} [d]_{1x} + [P_o]_{4x} \quad [d_o]_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.003 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_{4x}^{14} = [T_2]_4 [K]_{44} [d_o]_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4250 & -710.27 \\ 0 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -0.003 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -2.1308 \\ 0.5115 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{4x1x} = [T_2]_4 [K]_{41} [I] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

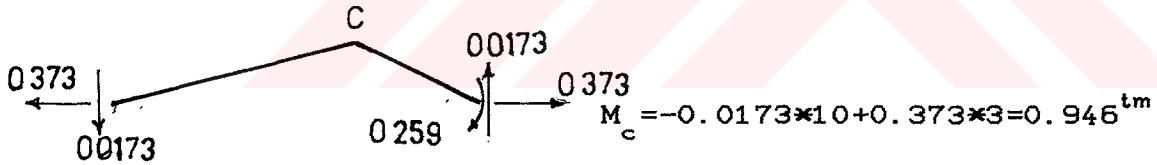
$$= \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 10654 & -4250 & 710.27 \\ -2557.33 & -710.27 & -170.49 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{4x} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 10654 & -4250 & 710.27 \\ -2557.33 & -710.27 & -170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000746173 \\ 0.000233101 \\ 0.00498886 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ -2.1308 \\ 0.5115 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -0.373 \\ 0.0173 \end{bmatrix}$$

$$[P]_4 = [T]_4^T [P]_{4x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -0.373 \\ 0.0173 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.373 \\ -0.0173 \end{bmatrix}$$

C' Dügüm Noktasındaki Moment Değerinin Hesabı



2-6 Çubuğun Uç Kuvvetlerin Hesabı

$$[P]_{2x}^{26} = [K]_{2x2x} [d]_{2x} + [P_o]_{2x} = \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.60 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -336 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0142 \\ 0.0903 \\ 1.2726 \end{bmatrix}$$

$$[P]_z^{2\sigma} = [T_z]_z^T [P]_{2x}^{2\sigma} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.0142 \\ 0.0903 \\ 1.2726 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0142 \\ -1.2726 \\ 0.0903 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{\sigma}^{2\sigma} = [K]_{\sigma\sigma} [d]_{\sigma} + [P_o]_{\sigma}$$

$$[P_o]_{\sigma} = [K]_{\sigma\sigma} [d_o]_{\sigma} = \begin{bmatrix} 10080 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.60 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0.004 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 336 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[d]_z = [T_z]_z^T [d]_{2x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.004015151 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ -0.00401515 \\ 0.000284643 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{\sigma}^{2\sigma} = \begin{bmatrix} 5040 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 1209.6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ -0.00401515 \\ 0.000284643 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 336 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.4375 \\ -1.2726 \\ 0.0903 \end{bmatrix}$$

2-3 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{2x}^{2\sigma} = [K]_{2x2x} [d]_{2x} + [P_o]_{2x}$$

$$[P_o]_{2x} = [T_z]_z [K]_{z\sigma} [d_o]_{\sigma}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 & 10654 & 2557.33 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0.002 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 21.308 \\ -8.50 \\ -1.4205 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{zx}^{23} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & -2557.33 \\ -10654 & 4250 & 710.27 \\ -2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 21.308 \\ -8.50 \\ -1.4205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.7858 \\ -3.5437 \\ -0.3190 \end{bmatrix}$$

$$[P]_z^{23} = [T_z]_z^T [P]_{zx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 4.7858 \\ -3.5437 \\ -0.3190 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4.7858 \\ 3.5437 \\ 0.3190 \end{bmatrix}$$

$$[P]_3 = [K]_{32} [d]_z + [P_o]_3$$

$$[d]_z = [T_z]_z [d]_{zx} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ 0.000284643 \\ 0.00401515 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ -0.00284643 \\ -0.00401515 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_3 = [K]_{33} [d_o]_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4250 & 710.27 \\ 0 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ 0.002 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 8.5 \\ 1.4205 \end{bmatrix}$$

$$[P]_3 = [K]_{32} [d]_z + [P_o]_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 10654 & 4250 & 710.27 \\ 2557.33 & 710.27 & 170.49 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000839824 \\ -0.00284643 \\ -0.00401515 \end{bmatrix} +$$

$$+ \begin{bmatrix} 0 \\ 8.5 \\ 1.4205 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 3.5437 \\ 0.3190 \end{bmatrix}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(+)=591.0748 \\ \Sigma(-)=-592.383 \end{array} \right\} \Delta = -1.308 \quad R_n = \frac{1.308}{591.7289} = 0.00221$$

$$R_n = \% 0.221$$

Kırık Çubuklardaki N, T Değerlerinin Hesabı



$$\begin{array}{ll} \sin \alpha_1 = 0.2873 & \sin \alpha_2 = 0.5145 \\ \cos \alpha_1 = 0.9578 & \cos \alpha_2 = 0.9638 \end{array}$$

$$\begin{aligned} N_I &= 0.373 \times 0.9638 - 0.0173 \times 0.5145 = 0.35^t \\ T_I &= -0.373 \times 0.5145 - 0.0173 \times 0.9638 = 0.21^t \\ N_I &= N_{II} = 0.35^t \\ T_I &= T_2 = 0.21^t \end{aligned}$$

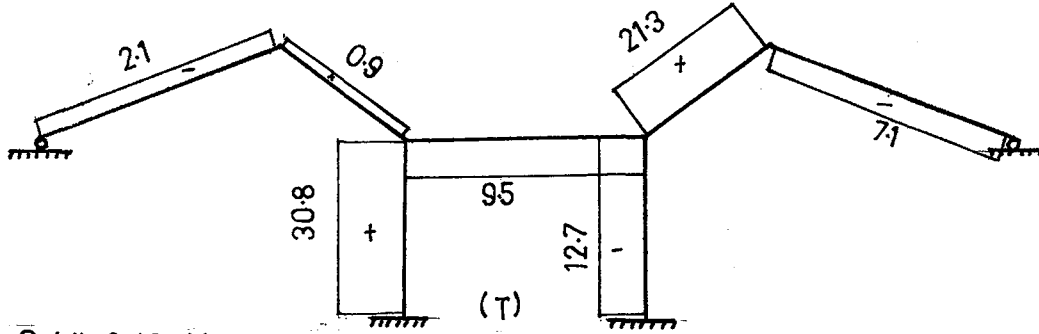
$$\begin{aligned} N_{IV} &= 0.373 \times 0.9578 + 0.0173 \times 0.2873 = 0.36^t \\ T_{IV} &= 0.373 \times 0.2873 - 0.0173 \times 0.9578 = 0.09^t \\ N_{III} &= N_{IV} = 0.36^t \\ T_{III} &= T_{IV} = 0.09^t \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} \sin \alpha_2 = 0.5145 & \sin \alpha_1 = 0.2873 \\ \cos \alpha_2 = 0.9638 & \cos \alpha_1 = 0.9578 \end{array}$$

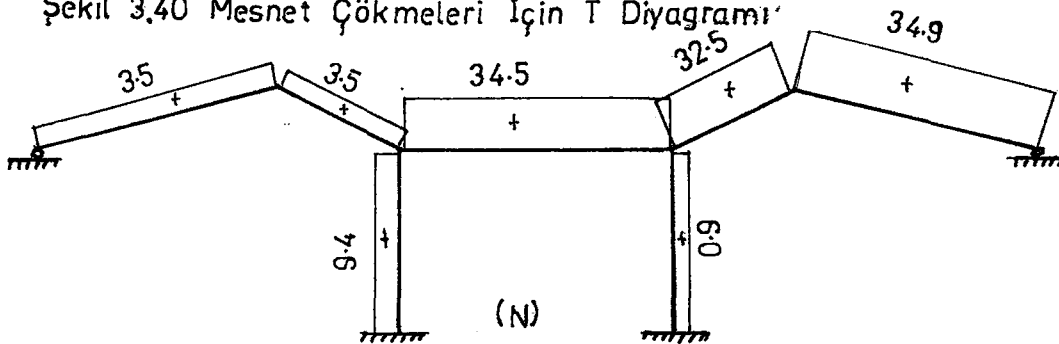
$$\begin{aligned} N_I &= 0.9878 \times 3.5437 + 0.2873 \times 0.319 = 3.49^t \\ T_I &= -0.2873 \times 3.5437 + 0.9578 \times 0.9578 = -0.71^t \\ N_I &= N_{IV} = 3.49^t \\ T_I &= T_{IV} = -0.71^t \end{aligned}$$

II Kesitte

$$\begin{aligned} N_{II} &= 3.5437 \times 0.9638 - 0.5145 \times 0.319 = 3.25^t \\ T_{II} &= 3.5437 \times 0.5145 + 0.9638 \times 0.319 = 2.13^t \\ N_{III} &= N_{II} = 3.25^t \\ T_{III} &= T_{II} = 2.13^t \end{aligned}$$

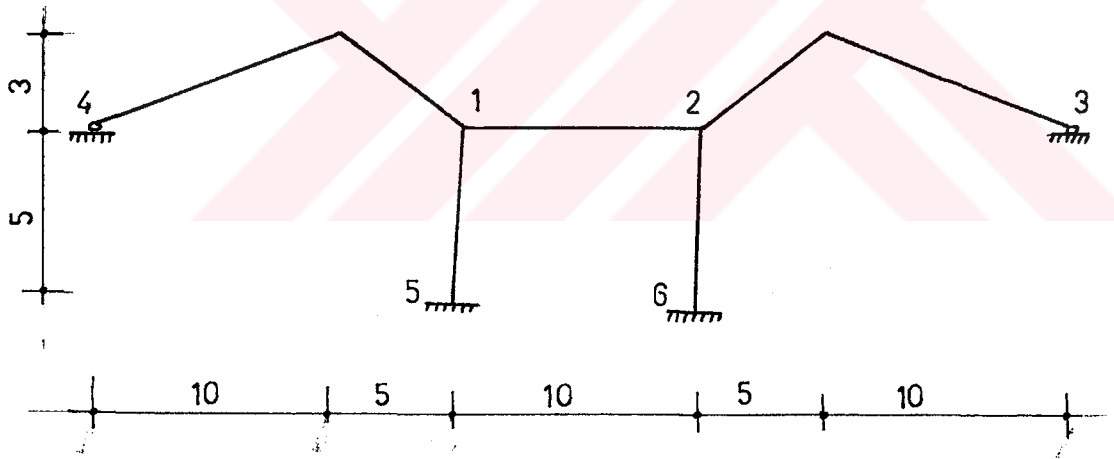


Şekil 3.40 Mesnet Çökmeleri İçin T Diyagramı



Şekil 3.41 Mesnet Çökmeleri İçin N Diyagramı

3.7.1. $t=20^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Değişmesi İçin Matris Deplasman Yöntemi ile M, T, N Diyagramlarının Çizilmesi



Şekil 3.42 Uygulanan Sistem

Sistem simetrik olduğundan sistemin yarısıyla hesap yapılabilir. Bu durumda (4-1) ve (1-5) elemanların rijitlik matrisleri daha önce elde edildikleri için tekrar hesaplamaya gerek yoktur.

$$[K]_{1 \times 1}^{41} = [K]_{11}^{41} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & 2557.33 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{41}^{41} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{11}^{15} = \begin{bmatrix} 10080 & 0 & 3024 \\ 0 & 84000 & 0 \\ 3024 & 0 & 120.6 \end{bmatrix} \quad [K]_{1 \times 1x}^{15} = \begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix}$$

$$[K]_{5 \times 1x} = [K]_{1 \times 5x}^T = \begin{bmatrix} 5040 & 3024 & 0 \\ -3024 & -1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \end{bmatrix}$$

1-2 Elemanı İçin

$$[K]_{11}^{12} = \begin{bmatrix} K_{11} & -K_{12} & 2K_{13} & 0 \\ 2K_{13} & 2K_{33} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7140 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 134000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

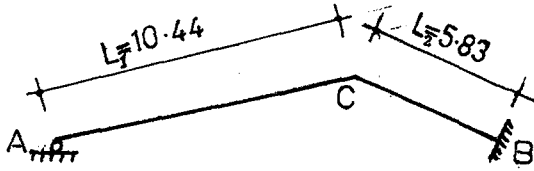
$$[K]_{1 \times 1x}^{12} = [T_z]_1 [K]_{11} [T_z]_1^T =$$

$$\begin{bmatrix} 7140 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 134000 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix} \begin{bmatrix} 7140 & 0 & 0 \\ 0 & -134000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = [K]_{1 \times 1x}^{12}$$

3.7.1.1. $t=20^{\circ}\text{C}$ Sıcaklık Değişmesinden Meydana Gelen Yükleme Matrisleri

4-1 Kırık Çubuğu İçin



$$t=20^{\circ}\text{C}$$

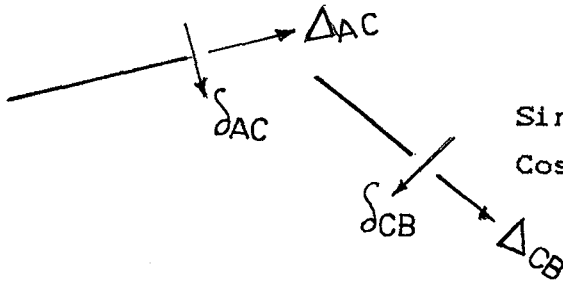
$$\Sigma=10^{-5}$$

$$E=2 \times 10^6 \text{ t/m}^2$$

$$\Delta_{AC} = \epsilon t L_1 = 10^{-5} \times 20 \times 10.44 = 0.002088 \text{ m}$$

$$\Delta_{CB} = \epsilon t L_2 = 10^{-5} \times 20 \times 5.83 = 0.001166 \text{ m}$$

Süreklilik Denklemleri



$$\sin \theta_1 = 0.2873$$

$$\sin \theta_2 = 0.5145$$

$$\cos \theta_1 = 0.9578$$

$$\cos \theta_2 = 0.8575$$

$$\sum \vec{x} = 0 \quad \delta_{AC} \sin \theta_1 - \delta_{CB} \sin \theta_2 + \Delta_{AC} \cos \theta_1 + \Delta_{CB} \cos \theta_2 = 0$$

$$\sum \vec{y} = 0 \quad \delta_{AC} \cos \theta_1 - \delta_{CB} \cos \theta_2 + \epsilon t (-L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin \theta_2) = 0$$

$$\left. \begin{aligned} 0.2873 \delta_{AC} - 0.5145 \delta_{CB} + 0.0029997 &= 0 \\ 0.9578 \delta_{AC} + 0.8575 \delta_{CB} + 0 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} \delta_{AC} &= -0.00348001 \\ \delta_{CB} &= 0.00388706 \end{aligned}$$

$$\theta_C = - \frac{M_{cd} \delta_{AC} + M_{cd}^{CB} \delta_{CB}}{(M_{c\theta C}^{CA} + M_{c\theta C}^{CB})}$$

$$\theta_C = - \frac{0.000840996 * (-0.00348001) + 0.0060308748 * 0.00388706}{(0.00878 + 0.02344)}$$

$$\theta_C = -0.000724645$$

$$M_{AB}^{-+} = M_{A\delta}^{-AC} \delta_{AC} + \theta_C M_{C A \theta C} = 0$$

$$M_{BA}^{-+} = M_{A\delta}^{-BC} \delta_{CB} + \theta_C M_{C B \theta C} = E[0.0060308748 * 0.00388706 + (-0.000724645) * 0.01172]$$

$$M_{BA}^{-+} = 29.8991 \text{ } ^{tm}$$

$$\tau_{BA}^{-+} = \frac{\mu_{AB}^{-+} + \mu_{BA}^{-+}}{L} = \frac{0 + 29.8991}{15} = 1.9933 \text{ } ^t$$

$$M_C = M_{C\delta}^{CB} \delta_{CB} + \theta_C M_{C \theta C} = E(0.0060308748 * 0.00388706 + (-0.000724645) * 0.02344)$$

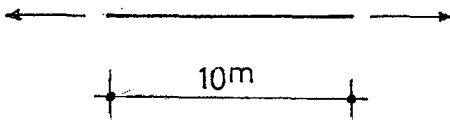
$$M_C = 12.9134 \text{ } ^{tm}$$

$$N_{BA}^{-+} = \frac{1}{f} [L_2 * \tau_{BA}^{-+} - (M_{BA}^{-+} + M_{CB})]$$

$$N_{BA}^{-+} = \frac{1}{3} [5.83 * 1.9933 - (29.8991 + 12.9134)] = -10.3972 \text{ } ^t$$

$$[P_o]_1^{14} = [P_o]_{2x} = \begin{bmatrix} 29.8991 \\ -10.3972 \\ 1.9933 \end{bmatrix}$$

1-2 Çubuğu İçin



$$F = 0.335 \text{ m}^2$$

$$N_{12} = N_{21} = -EF\epsilon t = 2 \times 10^6 \times 0.335 \times 10^{-5} \times 20 = -134^t$$

$$[P_o]_1^{12} = \begin{bmatrix} 0 \\ -134 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_{1x}^{12} = [T_z]_1 [P_o]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -134 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 134 \\ 0 \end{bmatrix}$$

1-5 Çubuğu İçin

$$F = 0.21 \text{ m}^2$$

$$N_{15} = N_{51} = -EF\epsilon t = -2 \times 10^6 \times 10^{-5} \times 0.21 \times 20 = -84^t$$

$$[P_o]_1^{15} = \begin{bmatrix} 0 \\ -84 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[P_o]_{1x}^{15} = [T_z]_1 [P_o]_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -84 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 840 \end{bmatrix}$$

55580	-7630	2557.33
-7630	139459.60	-710.27
2557.33	-710.27	84170.50

d_{1x}
d_{2x}
d_{3x}

 $+$

29.8991
123.603
85.9933

 $=$

0
0
0

$$[d]_{1x} = \begin{bmatrix} -0.000618467 \\ -0.000925284 \\ -0.00101067 \end{bmatrix}$$

4-1 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1x}^{14} = [K]_{1x1x} [d]_{1x} + [P_o]_{1x} = \begin{bmatrix} 38360 & -10654 & 2557.33 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & -170.49 \end{bmatrix}$$

$$+ \begin{bmatrix} -0.000618467 \\ -0.000925284 \\ -0.00101067 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 29.8991 \\ -10.3972 \\ 1.9933 \end{bmatrix}$$

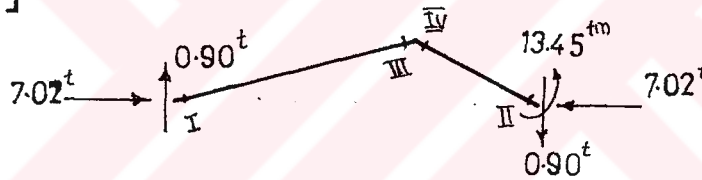
$$[P]_{1x}^{14} = \begin{bmatrix} 13.4481 \\ -7.0227 \\ 0.8966 \end{bmatrix} = [P]_1^{14}$$

$$[d]_1 = [d]_{1x}$$

$$[P]_4 = [K]_{41} [d]_1 + [P_0]_4 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -10654 & 4250 & -710.27 \\ 2557.33 & -710.27 & 170.49 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.000618467 \\ -0.000925284 \\ -0.00101067 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ -10.3972 \\ 1.9933 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ -7.0227 \\ 0.8966 \end{bmatrix}$$



$$M_c = 13.4481 - 7.0227 \times 3 - 0.8966 \times 5 = -12.103^{tm}$$

I Kesitte

$$N_I = -7.02 \times 0.9578 - 0.90 \times 0.2873 = -6.98$$

$$T_I = -7.02 \times 0.2873 + 0.9578 \times 0.90 = -1.15$$

$$N_{III} = N_I = -6.98^t$$

$$T_{III} = T_I = -1.15^t$$

II. Kesitte

$$\begin{aligned}
 N_{II} &= -7.02 \times 0.9638 + 0.90 \times 0.5145 = -6.30^t \\
 T_{II} &= 7.02 \times 0.5145 + 0.90 \times 0.9638 = 4.48^t \\
 N_{IV} &= N_{II} = -6.30^t \\
 T_{IV} &= T_{II} = 4.48^t
 \end{aligned}$$

1-5 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1x}^{15} = [K]_{1x1x} [d]_{1x} =$$

$$\begin{bmatrix} 10080 & 3024 & 0 \\ 3024 & 1209.60 & 0 \\ 0 & 0 & 84000 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.0000618467 \\ -0.000925284 \\ -0.00101067 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 84 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -9.0322 \\ -2.9894 \\ -0.8963 \end{bmatrix}$$

$$[P]_1^{15} = [T_2]_1^T [P]_{1x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -9.0322 \\ -2.9894 \\ -0.8963 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -9.0322 \\ 0.8963 \\ -2.9894 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{5x}^{15} = [K]_{5x1x} [d]_{1x} + [P_o]_{5x}$$

$$[P_o]_{5x} = [T_2]_5 [P_o]_5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ -84 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -84 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{5x} = \begin{bmatrix} 5040 & 3024 & 0 \\ -3024 & -1209.6 & 0 \\ 0 & 0 & -84000 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -0.0000618467 \\ -0.000925284 \\ 0.00101067 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -84 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -5.9151 \\ 0.8963 \\ -2.9895 \end{bmatrix}$$

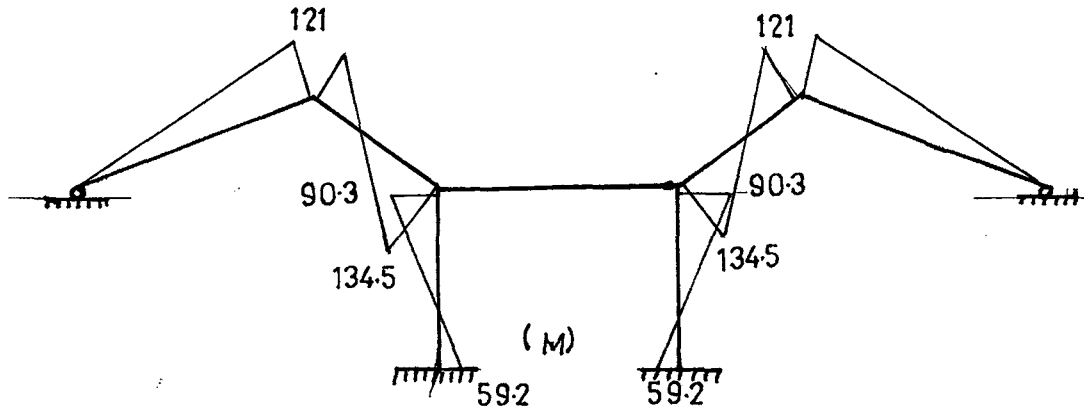
$$[P]_5 = [T_2]_5^T [P]_{5x} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 10.4088 \\ -3.08032 \\ 0.9358 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.4088 \\ 0.9358 \\ 3.08032 \end{bmatrix}$$

1-2 Çubuğun Uç Kuvvetleri

$$[P]_{1x}^{12} = [K]_{1x1x}^{12} [d]_{1x}^{12} + [P_o]_{1x} = \begin{bmatrix} 7140 & 0 & 0 \\ 0 & 134000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

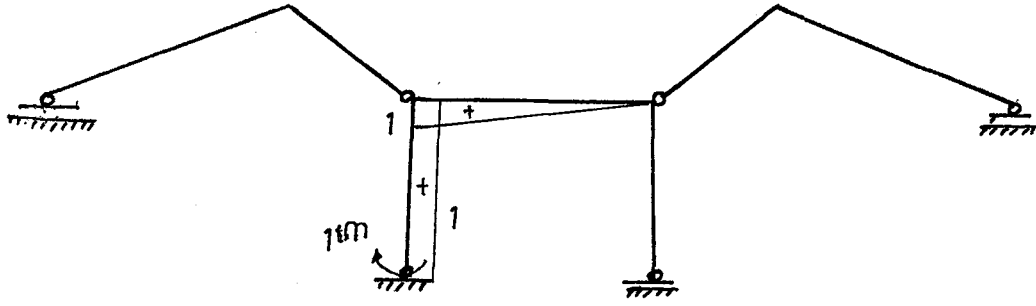
$$\begin{bmatrix} 7140 & 0 & 0 \\ 0 & 134000 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -0.000618467 \\ -0.000925284 \\ -0.00101067 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 134 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$[P]_{1x}^{12} = \begin{bmatrix} -4.4159 \\ 10.0119 \\ 0 \end{bmatrix} \quad [P]_1^{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -4.4159 \\ 10.0119 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4.4159 \\ -10.0119 \\ 0.000 \end{bmatrix}$$



Şekil 4.43 Sıcaklık Değişmesi İçin M Diyagramı

K.S.D. Kontrolu

(M₁)Şekil 3.44 M₁ Diyagramı

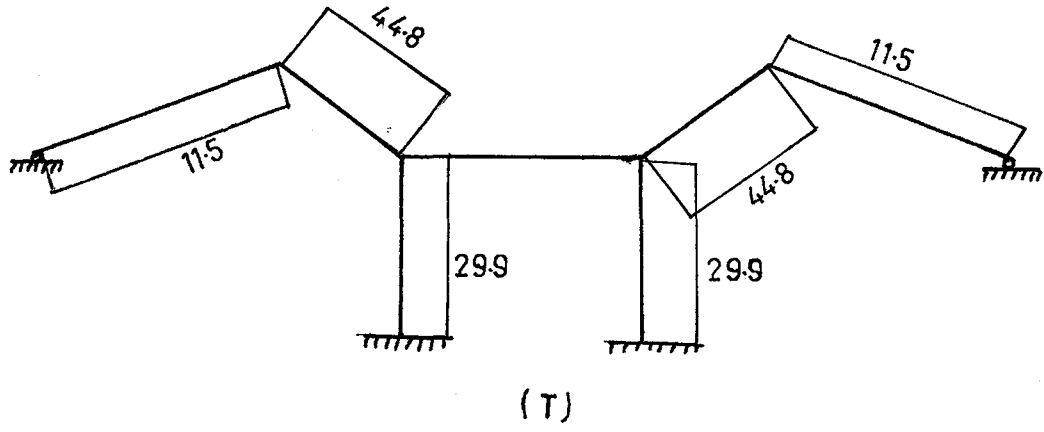
$$\int M_i M_i \frac{ds}{I} + \int N_i \epsilon_i ds = 0$$

$$\int M_i M_i \frac{ds}{I} + E \int N_i \epsilon_i ds = \frac{1}{2} * 5 * (5.92 - 9.03) * \frac{1}{0.0063} + (2.707 + 1.573)$$

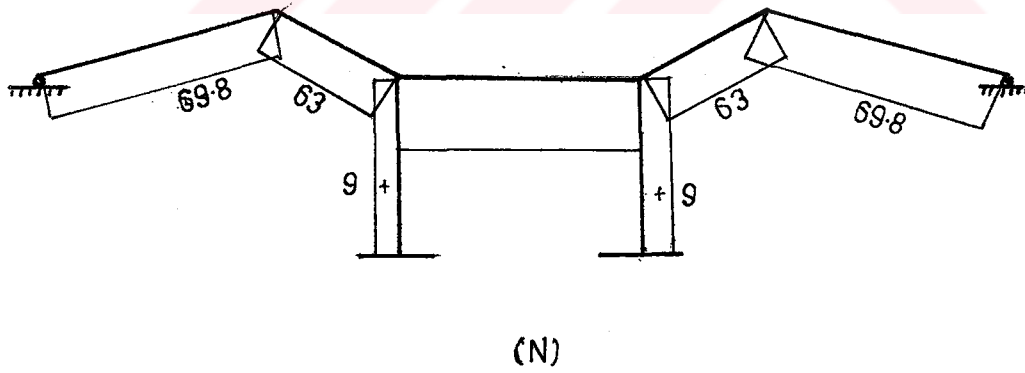
$$* 4.42 * \frac{1}{0.0153} + \dots$$

$$\left. \begin{array}{l} \Sigma(-) = -12344.127 \\ \Sigma(+) = 1236.4444 \end{array} \right\} \Delta = 2.3174$$

$$R_n = \frac{2.3174}{1235.285} = 0.00187 = \%0.18$$



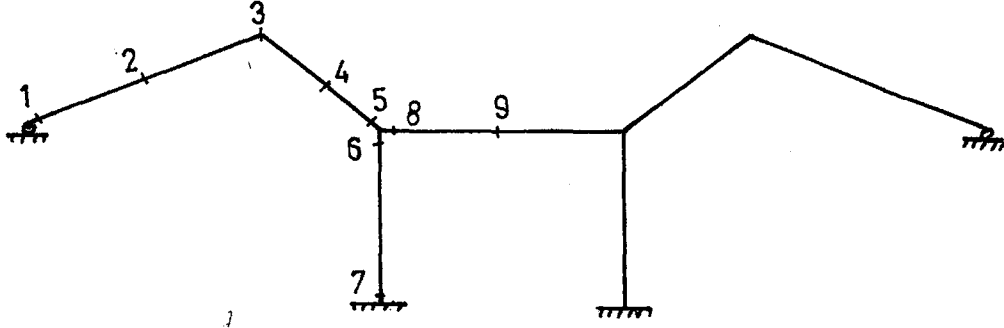
Şekil 3.45 Sıcaklık Değişmesi İçin T Diyagramı



Şekil 3.46 Sıcaklık Değişmesi İçin N Diyagramı

3.8 Kritik Kesitlerde En Elverişsiz Tesirlere Göre Kesit Hesabı

Kritik Kesitler



Şekil 3.47 Sistemin Kritik Noktaları

Yüklemeler

- | | |
|---------------------|-----------|
| 1. Sabit Yükler | G |
| 2. Hareketli Yükler | $P_1 (Q)$ |
| 3. Düzgün Sıcaklık | $\pm T$ |
| 4. Yatay yükleri | E |

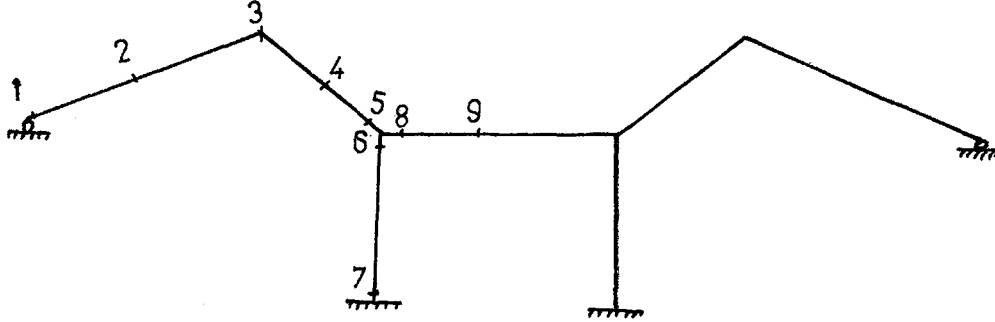
Yük Kombinasyonları

1. Durum: Sabit ve hareketli yük hali $1.4G + 1.6Q$
2. Durum: Sabit yük, hareketli yük ve sıcaklık yükleri hali $G + 1.2Q + 1.2t$
3. Durum: Sabit yük hareketli yük ve yatay yükleri hali (Deprem) $G + Q + E$

Tablo 37 En Elverişsiz Yüklemlerin kombine zonları

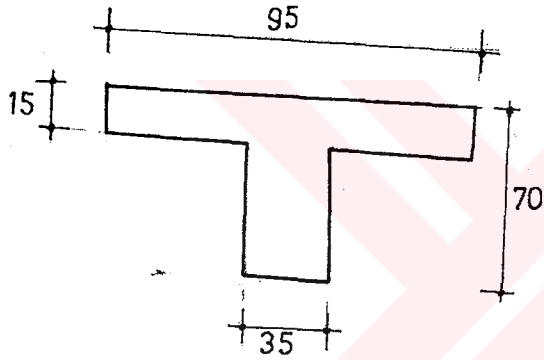
K e s i t	M N T	G (t) (tm)	Elverişsiz Yükleme Q(t,tm)				Sıcaklık Yatay Değişmesi Yük			1. Durum		2. Durum		3. Durum		Açıklamalar	
						t=20°C	t=20°	w=4°	1.4G+1.6xQ		G+1.2Q +1.2*t		1G+1Q+1E		Seçilen kuvvetler		
									min	max	min	max	min	max	min	max	
1	M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	N	12.40	5.21	-0.03	1.09	-6.98	6.98	1.15	17.310	25.70	4.06	27.03	13.52	18.76	4.06	27.03	
	T	-20.05	4.76	2.45	1.87	-1.15	1.15	2.50	-25.08	-20.45	-16.43	-12.96	15.68	-12.79	-25.08	15.68	
2	M	23.06	12.18	0.13	0.64	-6.05	6.05	2.15	32.49	51.77	15.96	44.94	25.34	37.39	15.96	51.77	
	N	6.20	3.67	-0.03	1.09	-6.98	6.98	1.15	8.63	14.55	-2.12	8.98	7.32	11.02	-2.12	14.55	
	T	-26.46	-6.49	2.45	1.87	-1.15	1.15	2.50	-47.43	-33.12	-35.63	22.14	-30.45	-21.51	-47.43	-21.51	
3	M	-28.39	-5.64	0.26	1.27	-12.10	12.10	4.29	-48.77	-37.71	-49.68	12.35	-29.74	-21.83	-49.68	-12.35	
	N	29.46	-8.48	2.36	1.55	-6.98	6.98	2.14	-27.68	45.02	10.93	40.67	23.12	33.96	10.93	40.67	
	T	30.87	-8.21	2.45	1.87	4.48	-4.48	2.50	-56.35	-39.30	-46.10	20.55	-36.58	-25.92	-56.35	-29.55	
4	M	5.43	-5.75	1.84	4.44	0.68	-0.68	-0.75	-16.80	-4.66	-13.15	2.41	-11.93	-4.34	-16.80	-2.41	
	N	32.79	-8.48	0.84	1.56	-6.30	6.30	2.14	-59.47	-43.43	-50.53	23.37	-39.13	-29.10	-59.47	-23.37	
	T	2.82	-0.03	-3.15	1.52	4.48	-4.48	-1.73	-1.09	6.38	6.34	10.02	1.04	2.61	-6.34	10.02	
5	M	16.38	-5.85	-4.08	7.61	13.45	13.45	-5.78	-35.11	-29.46	-41.65	5.14	-28.01	-26.24	-41.65	-5.14	
	N	36.12	-8.48	-0.70	1.55	-6.30	6.30	2.14	-64.14	-48.12	-53.86	26.70	-42.46	-32.43	-53.86	-26.70	
	T	2.73	-0.03	-5.72	1.52	4.48	-4.48	-1.73	-12.97	-1.39	-14.97	4.47	-10.18	-2.94	-14.97	4.47	
6	M	6.45	4.00	2.06	2.00	-9.03	9.03	3.45	-12.23	-2.63	-19.69	9.19	-5.00	1.00	-19.69	9.19	
	N	47.15	-4.34	-5.72	5.49	0.50	-0.90	-0.84	-75.16	-57.23	-55.09	39.43	-53.71	-42.50	-55.09	-39.43	
	T	1.93	-1.57	0.11	-0.60	-2.99	2.99	-0.60	-5.24	-2.53	-7.40	1.90	-4.10	-2.42	-7.40	1.90	
7	M	3.21	-3.86	1.52	1.00	5.92	-5.92	3.01	-1.68	6.93	-8.53	18.14	2.36	7.94	-8.53	12.14	
	N	47.15	-4.84	-5.72	5.49	0.90	-0.90	-0.84	-75.16	-57.23	-55.09	39.16	-53.71	-42.50	-55.09	-39.16	
	T	1.93	-1.57	0.11	-0.60	-2.99	2.99	-0.60	0.19	2.88	-3.54	5.76	-0.24	1.44	-3.54	5.76	
8	M	22.79	-1.85	-2.52	-9.00	4.42	-4.42	2.32	-46.31	-34.87	-38.89	-19.33	-29.47	-22.32	-46.31	-19.33	
	N	27.46	-5.68	-1.62	1.51	-10.01	10.01	-2.57	29.36	40.86	8.63	41.28	19.21	26.40	41.28	19.21	
	T	14.91	0.45	0.45	6.00	0	0	6.00	21.59	30.47	16.65	22.11	21.36	26.91	16.65	30.47	
9	M	14.46	0.40	0.30	6.00	4.42	-4.42	0	20.72	29.840	9.52	26.94	10.30	24.86	10.30	29.84	
	N	27.46	-5.68	-1.62	1.51	-10.01	10.01	-2.57	29.06	40.86	8.63	41.28	19.21	26.40	19.21	40.86	
	T	0	0	0.45	0	0	0	6.00	0	0.72	0.00	0.54	0	6.45	0.00	6.45	

KESİT HESABI



Şekil 3.48 Kontrol Edilecek Kritik Noktaları

2. Kesitinde



Malzeme BS 25 BÇIII, Etriye BÇI

$$M_d = 51.77 \text{ t.m} = 5177 \text{ tcm}$$

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{95 \times 67^2}{5177} = 82.37 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_x = 0.145 \text{ cm}^2/\text{t} \quad K_s = 0.304 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$x = K_x d = 0.145 \times 67 = 9.72 \text{ cm} < h_f = 15 \text{ cm}$ olduğundan
dikdörtgen kesit olarak betonarme hesabı yapılabilir.

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d} = 0.304 \times \frac{5177}{67} = 23.49 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = \frac{12}{f_{yd}} \times bwd = \frac{12}{3650} \times 35 \times 67 = 7.71 \text{ cm}^2 < A_s = 23.49 \text{ cm}^2$$

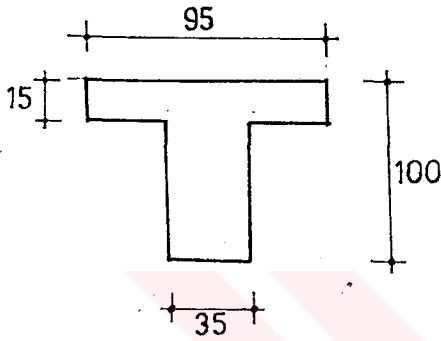
Seçilen doantı 10#18 (25.45 cm²)

3#18 Birinci sınır pilye

2#18 İkinci sınır pilye

Gövde donatı $\frac{A_s}{4} = \frac{23.49}{4} = 5.87 \text{ cm}^2$ $2 \times 2 \text{ } \Phi 14 (6.16 \text{ cm}^2)$
 Kirişin ortasında kesme kuvveti az olduğu için kesme kuvvet tahkikisi mesnette yapmayı yeterli görünür. Kirişin ortasında konstraktif esaslara göre etriye seçilir.

3. Kesitinde



$$M_d = -4968 \text{ tcm}$$

$$d = 97 \text{ cm}$$

$$b = 95 \text{ cm}$$

$$b_w = 35 \text{ cm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{4968} = 66.29 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_x = 0.167 \text{ cm}^2/\text{t}$$

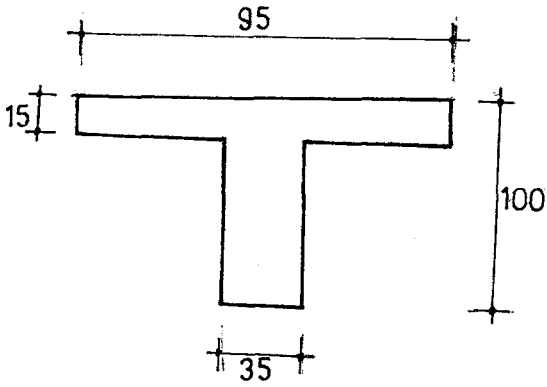
$$K_s = 0.307 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$x = K_x d = 0.167 \times 97 = 16.20 \text{ cm} < h_f = 85 \text{ cm}$ olduğundan genişliği $b_w = 35 \text{ cm}$ olan dikdörtgen kesit gibi hesap yapılabilir.

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d} = 0.30 \times \frac{4968}{97} = 15.72 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = \frac{12}{f_y d} b_w d = \frac{12}{3650} \times 35 \times 97 = 11.16 \text{ cm}^2 < A_s = 15.72 \text{ cm}^2$$

Bu kesitteki mevcut donatı alanını elde etmek için 4. kesitindeki yani sağı açıklıktan gelecek piliye donatı alanı bulmak lazım.

4. Kesitinde

$$M_d = -1680 \text{ tcm}$$

$$d = 97 \text{ cm}$$

$$b = 95 \text{ cm}$$

$$b_v = 35 \text{ cm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{1680} = 196.02 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_x = 0.091 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_s = 0.297 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$x = x K_x = 97 \times 0.091 = 8.83 \text{ cm} < h_f = 85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.297 \times \frac{1680}{97} = 5.14 \text{ cm}^2$$

$$\min A_s = \frac{12}{f_{yd}} b_w d = \frac{12}{3650} \times 35 \times 97 = 11.16 \text{ cm}^2 < A_s \text{ olduğundan}$$

seçilen donatı alanı $A_s = \min A_s = 11.16 \text{ cm}^2$ olmalı $6\Phi 16$ (12.06 cm^2)

$$\text{Gövde donatı} = \frac{11.16}{4} = 2.79 \text{ cm}^2 \quad 1 \times 2\Phi 14 \quad (3.08 \text{ cm}^2)$$

3. Kesidinde mevcut donatı

$$\text{Soldan gelen pilye } 5\Phi 18 = 11.75 \text{ cm}^2$$

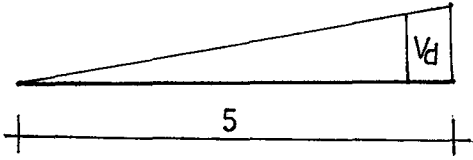
$$\text{Sağdan gelen pilye } 6\Phi 16 = 12.06 \text{ cm}^2$$

$$\text{Montaj donatı } 2\Phi 12 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$\text{Toplam donatı alanı} = 26.07 \text{ cm}^2 > A_s \text{ olduğundan ek donatı gerekmez.}$$

3. Kesidinde Kesme Kuvveti Tahkiki

56.22



$$V_d = \frac{56.22}{5} \times 4.00 = 44.98^t$$

$$V_{cr} = 0.65 \cdot f_{ctd} \cdot b_w \cdot d = 0.65 \times 0.0115 \times 35 \times 97 = 25.38^t$$

Etriye aralığı 15 cm

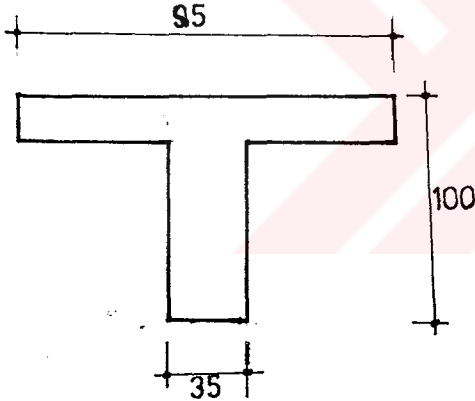
$$A_{sv} = 2 \times \frac{(1.2)^2}{4} \times \pi = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$V_{vs} = A_{sv} \cdot d \cdot f_{yv} \theta / s = 2.26 \times 97 \times \frac{1.91}{15} = 27.91 \text{ cm}^2$$

$$V_c = 0.80 \times V_{cr} = 0.80 \times 25.38 = 20.30^t$$

$$V_r = V_c + V_{vs} = 20.30 + 27.91 = 48.21^t > V_d = 44.98^t$$

5. Kesitinde



$$M_d = -4165 \text{ tcm}$$

$$d_v = 35 \text{ cm}$$

$$b = 95 \text{ cm}$$

$$b_v = 97 \text{ cm}$$

$$K = \frac{b_w d^2}{M_d} = \frac{35 \times 97^2}{4165} = 79.07 \text{ cm}^2/t$$

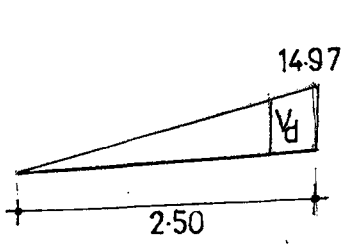
$$K_x = 0.153$$

$$K_s = 0.305 \text{ cm}^2/t$$

$$x = K_x d = 0.153 \times 97 = 14.84 \text{ cm} > h_f = 85 \text{ cm}$$

$$A_s = 0.305 \times \frac{4165}{97} = 13.10 \text{ cm}^2 > \min A_s = 11.16 \text{ cm}^2$$

Bu mesnette yanlış soldan gelen piliye donatı ile montaj donatı alanı gereken donatı alandan fazla olduğundan ek donatı gerekmez.

Kesme kuvvet tahkiki

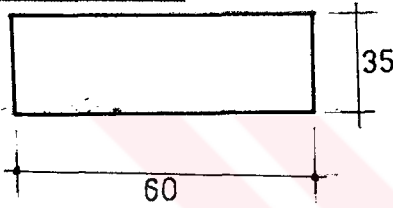
$$V_d = \frac{14.97}{2.5} * 1.25 = 7.49^t$$

Etriye aralığı 15 cm

$$V_{vs} = A_{sv} \cdot d \cdot f_{yvd} / s = 2.26 * 97 * \frac{1.91}{15} = 27.91^t$$

$$V_c = 0.80 V_{cr} = 0.80 * 25.38 = 20.30^t$$

$$V_r = V_c + V_{vs} = 20.30 + 27.91 = 48.21^t > V_d = 7.49^t$$

6. Kesitinde

$$M_d = -1969^{tcm}$$

$$N_d = -55.09^t$$

$$m = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \frac{-1969}{35 * 60^2 * 0.17} = -0.01$$

$$n = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \frac{-55.09}{35 * 60 * 0.17} = -0.15$$

$$W_1 = W_2 = 0.15$$

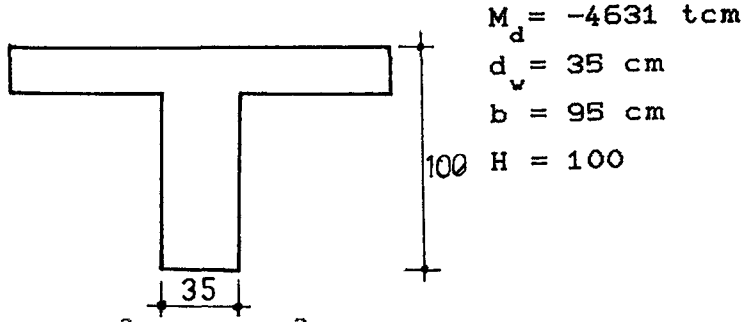
$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{w b h}{f_{yd} f_{cd}} = \frac{0.15 * 35 * 60}{20.5} = 15.37 \text{ cm}^2$$

$$5\Phi 20 (15.71 \text{ cm}^2)$$

$$\text{gövde donatı } \frac{A_{s1}}{5} = \frac{15.37}{4} = 3.84 \text{ cm}^2$$

$$2\Phi 16 (4.02 \text{ cm}^2)$$

Açıklama: Bu yapı elemandaki meydana gelen momentlerden kesit 6'daki daha büyük olduğu halde normal kuvvet sabittir. Dolayısıyla moment büyük olduğu yerde donatı hesabı yapmak yeterlidir.

8. Kesitinde

$$M_d = -4631 \text{ tcm}$$

$$d_v = 35 \text{ cm}$$

$$b = 95 \text{ cm}$$

$$H = 100$$

$$K = \frac{bwd^2}{M_d} = \frac{35 \cdot 97^2}{4631} = 71.11 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_x = 0.160$$

$$K_s = 0.306 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$x = K_x d = 0.160 \cdot 97 = 15.52 \text{ cm} < h_f = 85 \text{ cm}$$

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d} = \frac{0.306 \cdot 4631}{97} = 14.61 \text{ cm}^2$$

mevcut donatı

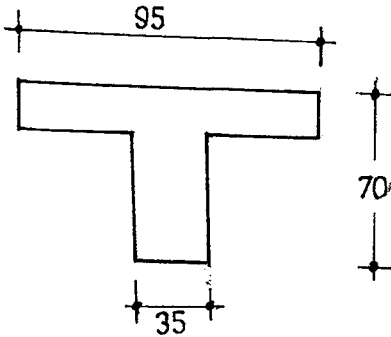
$$\text{Soldan gelen pilye } 6\Phi 16 = 12.06 \text{ cm}^2$$

$$\text{Sağdan gelen pilye } 3\Phi 18 = 7.63 \text{ cm}^2$$

$$\text{Montaj donatı } 2\Phi 12 = 2.26 \text{ cm}^2$$

$$\text{Toplam donatı alanı} = 21.95 \text{ cm}^2 > A_s = 14.61 \text{ olduğundan}$$

ek donatı gerekmez.

9. Kesitinde

$$M_d = -29.84 \text{ tcm} = 2984 \text{ tcm}$$

$$b = 95$$

$$b_v = 35 \text{ cm}$$

$$H = 70$$

$$K = \frac{bd^2}{M_d} = \frac{95 \cdot 67^2}{2984} = 142.91 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_x = 0.107 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$K_s = 0.299 \text{ cm}^2/\text{t}$$

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d} = 0.299 \frac{2984}{67} = 13.32 \text{ cm}^2$$

6Φ18 (15.26 cm²)

3Φ18 pilye donatı

3Φ18 düz donatı

$$\text{Gövde donatı} = \frac{A_s}{4} = \frac{13.32}{4} = 3.33 \text{ cm}^2 \quad 2*2\Phi12$$

8. Kesitte Kesme Kuvvet Tahkikisi

$$V_d = \frac{30.47}{5} * 4 = 24.38^t$$

$$V_{cr} = 0.65 * f_{ctd} * b_w * d =$$

$$= 0.65 * 0.0115 * 35 * 97 = 25.38$$

$$V_{cr} = 25.38^t > V_d = 24.38^t$$

olduğundan kesidin güvenliği meydana gelen 24.38^t luk kesme kuvveti karşılayabilmektedir. Bunun yanında etriyeler φ8/20 aralıkta koyulursa daha güvenli olur. Bu durum da

$$\phi 8 \quad A_{sv} = \frac{2 * (0.8)^2 \pi}{4} = 1 \text{ cm}^2$$

$$V_{vs} = A_{sv} * d * f_{yvd} / s = 1 * 97 * \frac{1.91}{20} = 9.26^t$$

$$V_c = 0.8 * V_{cr} = 0.8 * 25.38 = 20.30^t$$

$$V_r = V_c + V_{vs} = 20.30 + 9.26 = 29.56^t > V_d = 24.38^t$$

3.9. Endirek Depalsman Metoduyla Tesir Çizgilerinin Çizilmesi

3.9.1. Endirek Bir Açı Metodu:

Bilinmeyenler düğüm noktalarının θ dönmeleri ile bağımsız uç deplasmanlarıdır. Bunların sayısının düzlem sistemlerde $n = 3(d-m)-\epsilon$ olduğu biliniyor. Burada

- d : düğüm noktalarının sayısı (mesnetlerle birlikte)
 m : mesnet sayısını
 ϵ : Doğru eksenli çubuk sayısını ($\Delta = 0$ kabulünde) göstermektedir [10].

Bilinmeyenleri $x_1, x_2, \dots, x_n$ ile gösterelim.

Verilmiş dış kuvvetler yerine, sistemde aynı uç deplasman ve uç kuvvetlerini meydana getirecek olan düğüm noktalarına etkiyen dış kuvvetler kullanılacaktır. Düğüm noktalarına indirgenmiş diyeceğimiz bu kuvvetler, iki ucu ankastre çubuklarda dış kuvvetlerden meydana gelen uç kuvvetlerine eşittir. Çift olan bu uç kuvvetlerinden düğüm noktalarına etkileyenler gözönüne alınacaktır [10].

Sistemde meydana gelen uç deplasmanlarının, aşağıda tarif edeceğimiz çeşitli adımların süperpozisyonu sonucunda meydana geldiklerini gözönüne alacağız [10].

$x = 0$ durumu

$x_1 = x_2 = \dots = x_n = 0$, yani θ dönmeleri ve δ, Δ bağımsız uç deplasmanları sıfıra eşittir. Dış kuvvetler ve sıcaklık değişimleri vardır. Bu durumu meydana getirmek için düğüm noktalarına dışarıdan tatbik edilecek kuvvetler indirgenmiş kuvvetlere eşittirler [10].

$x_1 = 1, x_2 = 1, \dots, x_n = 1$ durumları

n tane olan bu durumlarda $x_i = 1$ durumunu görelim. Diğerleri de i yerine $1, 2, \dots, n$ koyarak elde edilir.

$x_i = 1$ durumu

$x_i = 1$, diğer x ler sıfırdır ve dış kuvvetler yoktur. Bu durumu meydana getirmek için düğüm noktalarına dışardan tatbiki gereken kuvvetler, bu birim duruma ait uç kuvvet çiftlerinden çubuk uçlarına etkiyenlerdir. Eğer $x_i = \theta_i$ ise düğüm noktalarına $\theta_i = 1$ den meydana gelen birim deplasman sabitleri tatbik edilir. $x_i = \delta_i$ ise süreklilik denklemlerinde $\delta_i = 1$ ve diğer bağımsız uç deplasmanlarının sıfıra eşit oldukları hesaba katılarak diğer Δ, δ uç deplasmanları tayin edilir. uçları dönmekten önlenmiş çubuklarda bunlardan meydana gelen uç kuvvetleri düğüm noktalarına dış kuvvet olarak tatbik edilir. $x_1 = 1, x_2 = 1, \dots, x_n = 1$ durumlarında meydana gelen tesirleri sırasıyla (1), (2), ..., (n) indisleri ile göstereceğiz [10].

$x_1 = 1, x_2 = 1, \dots, x_n = 1$ bilinmeyenlerini tayin etmek için kullanılacak denklem takımı [10].

Bu denklemleri elde etmek için Betti karşılıklık teoremin-den faydalanacağız. Bunun için $x_1 = 1, x_2 = 1, \dots, x_n = 1$ durumlarını sırayla gerçek durumda karşılaştırarak n tane denklem elde edilir. Burada $x_i = 1$ durum ile gerçek durumu karşılaştırarak (i) denkleminin nasıl elde edildiğini göreceğiz. Diğer denklemler i yerine $1, 2, \dots, n$ konarak elde edilir [10].

Betti teoremine göre:

$x_i = 1$ durumunda dış kuvvetlerin gerçek detarmisyonda yaptıkları iş, gerçek sistemde düğüm noktalarına indirgenmiş kuvvetlerin $x_i = 1$ durumundaki formasyonda yaptıkları işe eşittir [10].

Gerçek deformasyon durumunun yukarıda anlatılan durumların süperpozisyon olduğunu düşünerek $x_i = 1$ durumundaki dış kuvvetlerin her adımda yaptıkları işi sıra ile yazalım [10].

$x = 0$ deformasyonda: $x_i = 1$ kuvvetlerinin yaptığı iş sıfıra eşittir. Çünkü bütün uç deplasmanları sıfıra eşittir.

$x = 1$ deformasyonda: x_i dış kuvvetlerinin yaptığı iş I_{it} dir. Betti teoreminden $I_{it} = I_{ti}$ dir. İndislerden birincisi kuvvet durumunu, ikincisi de deformasyon durumunu göstermektedir.

$x = \omega$ deformasyonda: $x_i = 1$ dış kuvvetlerinin yaptığı iş $I_{i\omega}$ dir. Betti teoreminden $I_{i\omega} = I_{\omega i}$ dir.

$x_1 = 1$ deformasyonda: $x_i = 1$ dış kuvvetlerinin yaptığı iş I_{i1} dir. Betti teoreminden $I_{i1} = I_{1i}$ dir.

$x_1 = x_1$ deformasyonunda: $x_i = 1$ dış kuvvetlerinin yaptığı iş $X_1 \cdot I_{i1}$ dir.

$x_n = 1$ deformasyonunda: $x_i = 1$ dış kuvvetlerinin yaptığı iş I_{in} dir. $I_{in} = I_{ni}$ dir.

$x_n = x_n$ deformasyonunda: $x_i = 1$ dış kuvvetlerinin yaptığı iş $X_n \cdot I_{in}$ dir. $x_i = 1$ kuvvetlerinin yaptıkları işlerin toplamı:

$$I_{it} + I_{i\omega} + I_{i1}x_1 + \dots + I_{in}x_n \text{ dir}$$

Gerçek sistemde düğüm noktalarına indirgenmiş dış kuvvetlerin $X_i = 1$ deformasyonunda yaptıkları iş I_{oi} dir. Çünkü düğüm noktalarına indirgenmiş dış kuvvetler, $x = 0$ durumundaki dış kuvvetlere zıt işaretlerle eşittirler. Bu iki iş Betti teoreminden dolayı birbirine eşit olduklarından:

$I_{i1}x_1 + I_{i2}x_2 + \dots + I_{in}x_n + I_{oi} + I_{it} + I_{iv} = 0$ dir. i yerine sırayla 1,2,3,...,n koyarak n tane denklemi elde edilir.

3.9.2. Tesir Çizgilerinin Çiziminde İzlenen Yol

1. 1 kN'luk Düşey Kuvvet Sabit iken

1a, uç deplasmanları sıfır iken (m) kesidinde 1kN'luk düşey kuvvetten meydana gelen M_m , N_m , T_m kesit zorları bulunur. Bu durumda bilinmeyenlerin tayininde kullanılan denge denklemlerinin yazıldığı doğrultu ve yönde uç kuvvetleri

M_{ij} , M_{ji} , x_i , y_i , x_j , y_j sisteme etkiyen dış kuvvetleri 1kN, $-M_{ij}$, $-M_{ji}$, $-x_i$, $-y_i$, $-x_j$, $-y_j$ olacaktır.

1b, Düğüm noktaları serbest bırakılacak sisteme M_{ij} , M_{ji} , x_i , y_i , x_j , y_j dış kuvvetleri etkitilir ve sistem hesaplanır.

1c, 1a ve 1b durumlarının toplamı bulunur. Bu durumda dış kuvvetler sadece 1'tir. (m) kesitinde iç kuvvetler ise

$$\begin{aligned} M_m &= M_m + M_{ij} [M_m (M_i = 1)] + M_{ji} [M_m (M_j = 1)] + x_i [M_m (x_i = 1)] + y_i [M_m (y_i = 1)] \\ &+ x_j [M_m (x_j = 1)] + y_j [M_m (y_j = 1)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N_m &= N_m + M_{ij} [N_m (M_i = 1)] + M_{ji} [N_m (M_j = 1)] + x_i [N_m (x_i = 1)] + y_i [N_m (y_i = 1)] \\ &+ x_j [N_m (x_j = 1)] + y_j [N_m (y_j = 1)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_m &= T_m + M_{ij} [T_m (M_i = 1)] + M_{ji} [T_m (M_j = 1)] + x_i [T_m (x_i = 1)] + y_i [T_m (y_i = 1)] \\ &+ x_j [T_m (x_j = 1)] + y_j [T_m (y_j = 1)] \end{aligned}$$

2. 1kN'luk Düşey Kuvvetin Sistem Üzerinde Hareket etmesi Hali

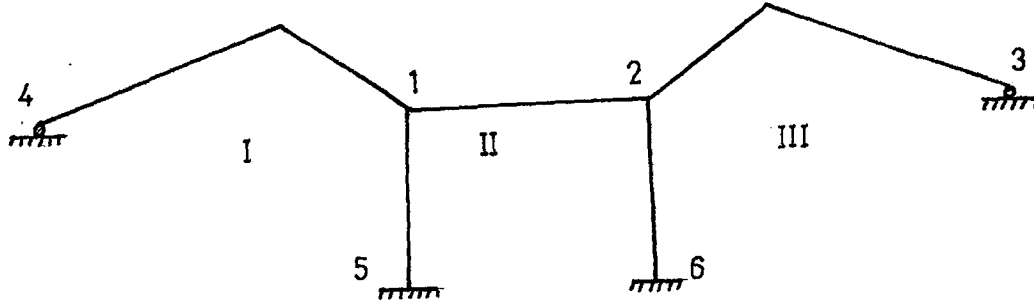
1'luk kuvvet hareketi olması durumunda (1C)'deki ifadeler tesir çizgilerini verecekler.

Sabit katsayıların bulunması için Endirekt Deplasman yöntemi kullanılmıştır [10]. Bu yöntemin bilinmeyenleri, düğüm noktalarının dönmeleri ile bağımsız uç deplasmanlarıdır. Bilinmeyenler $x_1, x_2, \dots, x_n$ ile gösterilir. Verilmiş dış kuvvetler yerine, sistemde aynı uç deplasman ve uç kuvvetlerini meydana getirecek olan, düğüm noktalarına indirgenmiş kuvvetler, iki ucu ankastre çubuklarda dış yüklerden meydana gelen iç kuvvetlerine eşittir [10].

Sistemde meydana gelen uç deplasmanları bilinmeyenler sıfır iken dış yüklerden meydana gelen uç deplasmanları ile bilinmeyenlerin birim değerlerinden oluşan uç deplasmanlarının süperpozisyonu ile elde edilir. Bilinmeyenleri bulmak için Betti karşılıklı teoreminden yararlanılır [10].

İstenen kesitlerdeki tesir çizgilerini çizmek için gerekli sabit katsayıları belirlemek için dış yük olarak düğüm noktalarına veya gruplarına uygulanan birim kuvvetler alınacaktır. İki ucu ankastre çubuklara ait tesir çizgileri de belirlendikten sonra tesir çizgileri çizilecek büyüklüklerin fonksiyonları oluşturulur ve tesir çizgileri diyagramları çizilir [10].

3.9.3. Bilinmeyenlerin Tayini



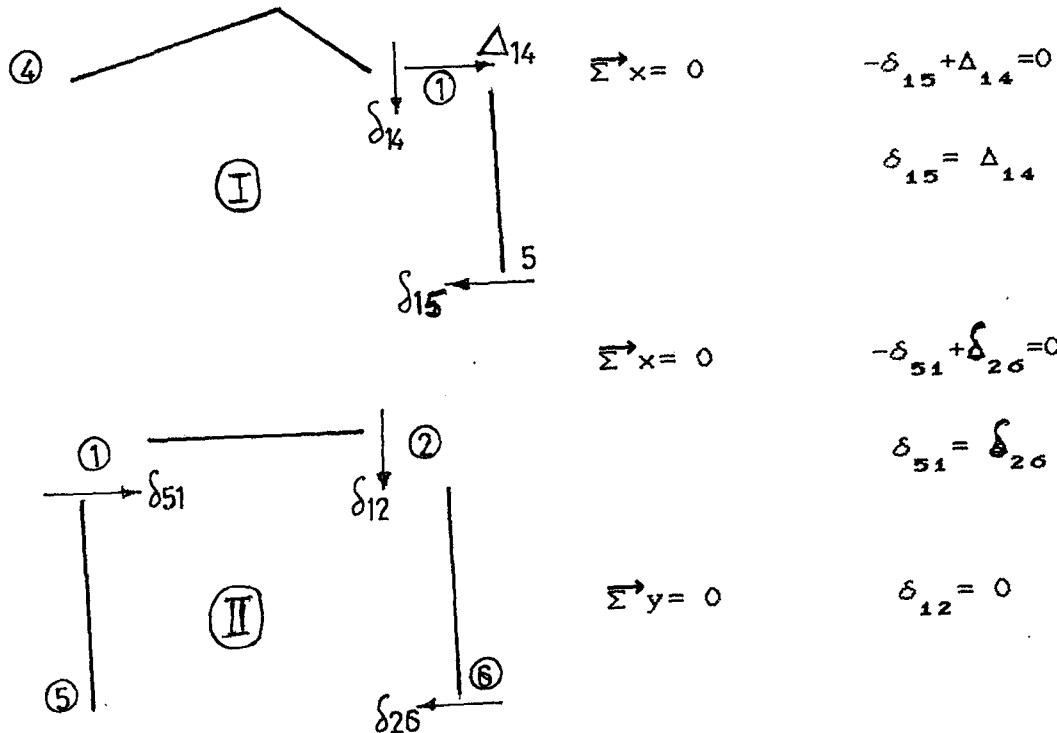
Şekil 3.49 Sistem elemanları ile çerçeve sayısı.

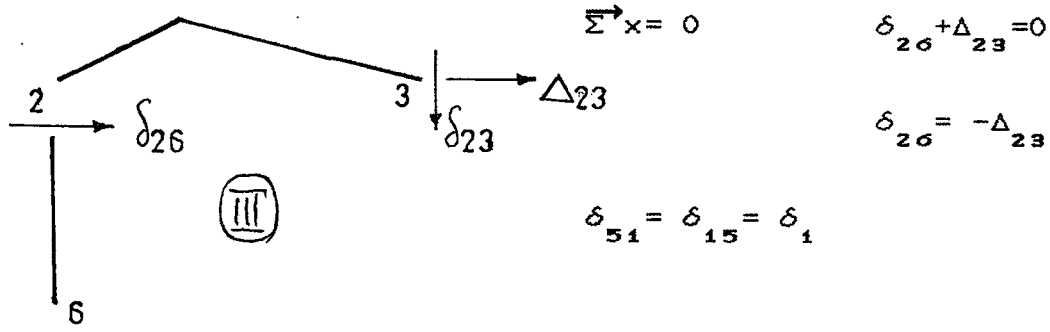
Düğüm noktaları dönmeleri: θ_1, θ_2

Bağımsız uç deplasmanları süreklilik denklemleriyle belirlenir. Doğru eksenli çubuklarda $\Delta_{ij}=0$ kabul edildi.

Bağımsız uç deplasmanları $n=3(d-m)-e$
 $n=3(6-4)-3=3$

3.9.3.1. Süreklilik Denklemleri ile Bağımsız Uç Deplasmalarının Belirlenmesi

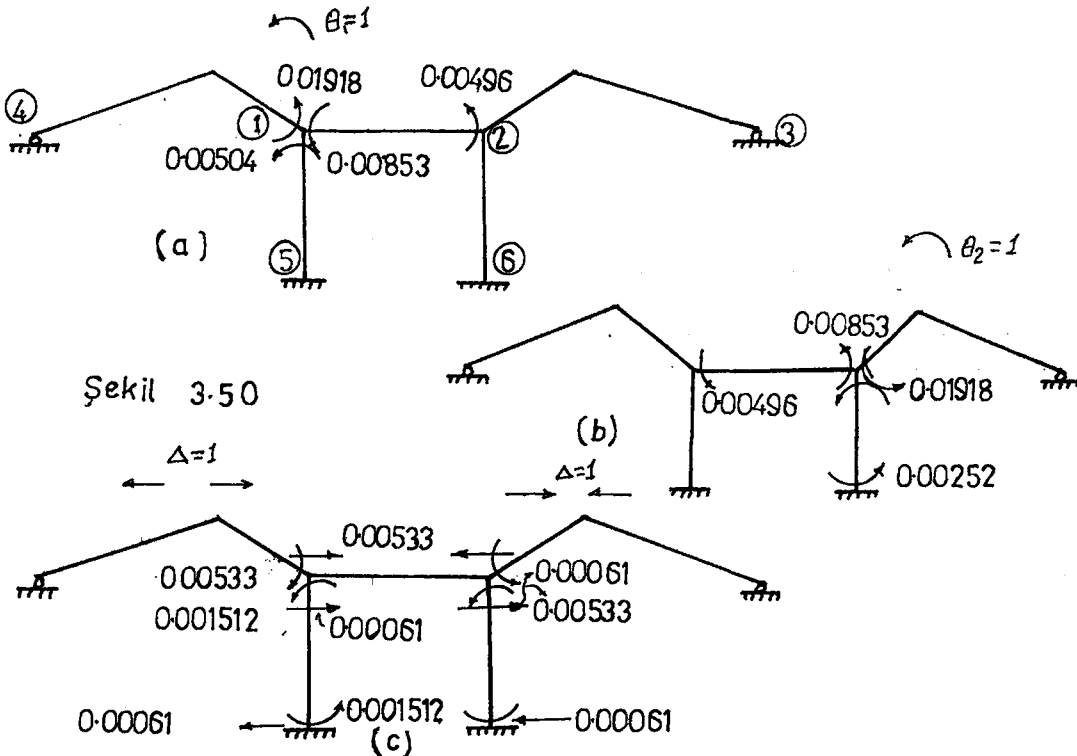




Bilinmeyenler: $\theta_1, \theta_2, \delta_1$ ($x_1 = \theta_1, x_2 = \theta_2, x_3 = \delta_1$)

$x_1 = 1, x_2 = 1$ durumları

Bunlar $\theta_1 = 1$ ve $\theta_2 = 1$ durumları olduğundan kendilerine ait birim deplasman sabitleri düğüm noktalarına dışardan tatbik edilmiştir. (t) kuvvetleri, hesabı basitleştirmek için şekil üzerine yazılmamıştır. $I_{ij} = I_{ji}$ den faydalanarak $\theta_i = 1$ durumları daima deformasyon durumları olarak seçilir ve (t) kuvvetlerinin bilinmesi gerekli olmaz. Doğru eksenli çubuklarda (m) momentlerinin düğüm noktalarını daima saat akrebinin zıt yönünde çevirmekte olduklarına dikkat edilmelidir. Buna göre elde edilen $x_1 = 1, x_2 = 1, x_3 = 1$ durumları sıra ile Şekil 1 ve Şekil 2 ve Şekil 3 üzerinde gerçek yönleriyle gösterilmişlerdir.



I İşlerinin Tayini

$$I_{11} = 0.01918 + 0.00504 + 0.00853 = 0.03275$$

$$I_{12} = I_{21} = 0.00495$$

$$I_{13} = I_{31} = 0.001512 - 0.00533 = -0.00382$$

$$I_{22} = 0.00853 + 0.00504 + 0.01918 = 0.03275$$

$$I_{23} = I_{32} = 0.001512 - 0.00533 = -0.00382$$

$$I_{33} = 0.00533 + 0.00061 + 0.00533 + 0.00061 = 0.011874$$

3.9.4. Denklem Takımı

$$\begin{bmatrix} I_{11}x_1 + I_{12}x_2 + I_{13}x_3 \\ I_{21}x_1 + I_{22}x_2 + I_{23}x_3 \\ I_{31}x_1 + I_{32}x_2 + I_{33}x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.03275 & +0.00495 & -0.00382 \\ 0.00495 & +0.03275 & -0.00382 \\ -0.00382 & -0.00382 & +0.01187 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix}$$

3.9.4.1. $M_1 = 1$ kNm İçin Çözüm ve Gerekli Kuvvetler

$$\left. \begin{aligned} 0.03275x_1 + 0.00495x_2 - 0.00382x_3 + 1 &= 0 \\ 0.00495x_1 + 0.03275x_2 - 0.00382x_3 + 0 &= 0 \\ -0.00382x_1 - 0.00382x_2 + 0.01187x_3 + 0 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} x_1 &= 32.176 \\ x_2 &= 3.80821 \\ x_3 &= -9.1293 \end{aligned}$$

Gerekli kuvvetler

$$M_{14}(M_1=1) = \bar{m}_{1\Theta 1}^{14} \Theta_1 + m_{1\Delta}^{14} \Delta = 0.01918 * (-32.176) -$$

$$-0.005327 * (-9.1293) = -0.568504 \text{ kNm}$$

$$N_{14}(M_1=1) = \bar{n}_{1\Theta 1}^{14} \Theta_1 + n_{1\Delta}^{14} \Delta = -0.005327 * (-32.176) +$$

$$+0.002125 * (-9.1293) = 0.152002 \text{ kNm}$$

$$M_{12}(M_1=1) = m_{1\theta_1}^{12} \theta_1 + m_{1\theta_2}^{12} \theta_2 = 0.00853 * (-32.176) + \\ + 0.00496 * 3.80821 = -0.255573 \text{ kNm}$$

$$M_{21}(M_1=1) = m_{1\theta_2}^{12} \theta_1 + m_{2\theta_2}^{12} \theta_2 = 0.00496 * (-32.176) + \\ + 0.00853 (3.80821) = -0.130245 \text{ kNm}$$

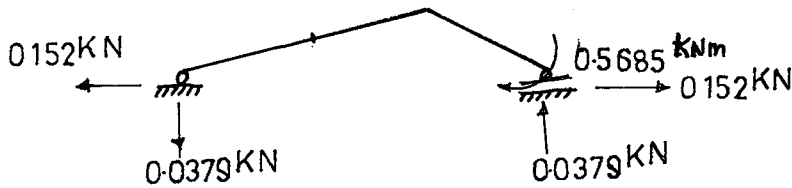
$$M_{15}(M_1=1) = m_{1\theta_1}^{15} \theta_1 + m_{1\delta}^{12} \delta = 0.00504 * (-32.176) + \\ + 0.001512 * (-9.1293) = -0.175971 \text{ kNm}$$

$$M_{51}(M_1=1) = m_{1\theta_1}^{15} \theta_1 + m_{5\delta}^{12} \delta = 0.00252 * (-32.176) + \\ + 0.001512 (-9.1293) = -0.094887 \text{ kNm}$$

$M_1 = 1 \text{ kNm}$ İçin d Kesitindeki Kuvvetler

$$\cos \theta = 0.9578$$

$$\sin \theta = 0.2873$$



$$\tau_{14} = \tau_{41} = \frac{M_{14}(M=1)}{L} = - \frac{0.568504}{15} = -0.037900 \text{ kNm}$$

$$f' = 5 \tan \theta = 5 \times 0.299999 = 1.5 \text{ m}$$

$$M_d(M_1=1) = 0.152002 \times 1.5 - 0.0379 \times 5 = 0.038503 \text{ kNm}$$

$$N_d(M_1=1) = 0.152002 \times 0.9578 + 0.0379 \times 0.2873 = 0.156476 \text{ kNm}$$

$$T_d(M_1=1) = 0.152002 \times 0.2873 - 0.0379 \times 0.9578 = 0.00737 \text{ kNm}$$

$M_1=1$ kNm için h kesitindeki kuvvetler

$$M_h(M_1=1) = -M_{12}(M_1=1) = 0.255573 \text{ kNm}$$

$$T_h(M_1=1) = + \frac{M_{12}(M_1=1) + M_{21}(M_1=1)}{L} = \frac{(0.0255573 + 0.130245)}{10} = -0.038582 \text{ kN}$$

$$N_h(M_1=1) = 0.054172 - 0.152002 = -0.097830 \text{ kN}$$

3.9.4.2. $M_2=1$ kNm için Çözüm ve Gerekli Kuvvetler

$$\left. \begin{array}{l} 0.03275x_1 + 0.00496x_2 - 0.00382x_3 + 0 = 0 \\ 0.00496x_1 + 0.03275x_2 - 0.00382x_3 + 1 = 0 \\ -0.00382x_1 - 0.00382x_2 + 0.01187x_3 + 0 = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_1 = 3.80821 \\ x_2 = -32.176 \\ x_3 = -9.1293 \end{array}$$

Gerekli kuvvetler

$$M_{14}(M_2=1) = m_{1\theta 1}^{-14} \theta_1 + m_{1\Delta}^{14} \Delta = 0.01918 \times 3.80821 - 0.005327(-9.1293) = +0.121673 \text{ kNm}$$

$$N_{14}(M_2=1) = n_{1\theta 1}^{-14} \theta_1 + n_{1\Delta}^{14} \Delta = -0.005327 \times 3.80821 + 0.002125(-9.1293) = -0.039686 \text{ kNm}$$

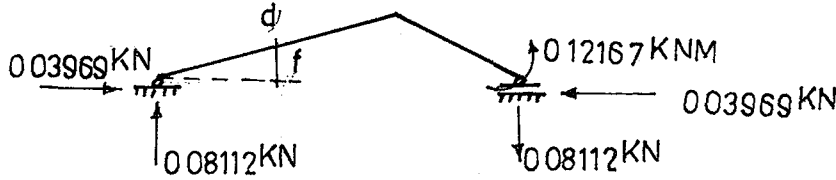
$$M_{12}(M_2=1) = m_{2\theta 1}^{12} \theta_1 + m_{2\theta 2}^{12} \theta_2 = 0.00496 \times 3.80821 + 0.00496 \times (-32.176) = -0.127109 \text{ kNm}$$

$$M_{21}(M_2=1) = m_{2\theta 1} \theta_1 + m_{2\theta 2} \theta_2 = 0.00496 \times 3.80821 + 0.00853(-32.176) = -0.255573 \text{ kNm}$$

$$M_{15}(M_2=1) = m_{1\theta 1}^{15} \theta_1 + m_{1\delta}^{15} \delta = 0.00504 \times 3.80821 + 0.001512(-9.1293) = 0.005390 \text{ kNm}$$

$$M_{51}(M_2=1) = m_{5\theta_1} \theta_1 + m_{5\delta} \delta = 0.00252 \times 3.80821 + 0.001512(-9.1293) = -0.004207 \text{ kNm}$$

3.9.4.3. $M_2 = 1$ kNm İçin d Kesitindeki Kuvvetleri



$$M_d(M_2=1) = -0.039686 \times 1.5 + 0.08112 \times 5 = -0.018969 \text{ kNm}$$

$$N_d(M_2=1) = -0.039686 \times 0.9578 - 0.008112 \times 0.2873 = 0.040342 \text{ kNm}$$

$$T_d(M_2=1) = -0.039686 \times 0.2873 + 0.008112 \times 0.9578 = -0.003632 \text{ kNm}$$

$M_2 = 1$ kNm için h kesitindeki kuvvetler

$$M_h(M_2=1) = -M_{12}(M_2=1) = 0.127109 \text{ kNm}$$

$$T_h(M_2=1) = + \frac{M_{12}(M_2=1) + M_{21}(M_2=1)}{L} = \frac{0.127109 + 0.255573}{10} = -0.038268 \text{ kN}$$

$$N_h(M_2=1) = 0.039686 - 0.0002372 = 0.039449 \text{ kN}$$

3.9.4.4. $x_1 = 1$ kN İçin Çözüm ve Gerekli Kuvvetler

$$\left. \begin{aligned} 0.03275x_1 + 0.00496x_2 - 0.00382x_3 + 0 &= 0 \\ 0.00496x_1 + 0.03275x_2 - 0.00382x_3 + 0 &= 0 \\ -0.00382x_1 - 0.00382x_2 + 0.01187x_3 + 1 &= 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} x_1 &= -9.1293 \\ x_2 &= -9.1293 \\ x_3 &= -90.122 \end{aligned}$$

Gerekli uç kuvvetler

$$M_{14}(x_1=1) = m_{1\theta_1}^{-14} \theta_1 + m_{1\Delta}^{14} \Delta = 0.01918(-9.1293) - 0.005327(-90.122) = 0.304980 \text{ kNm}$$

$$N_{14}(x_1=1) = n_{1\Theta_1}^{-14} \Theta_1 + n_{1\Delta}^{14} \Delta_{14} = -0.005327(-9.1293) + 0.002125(-90.122) = -0.142877 \text{ kN}$$

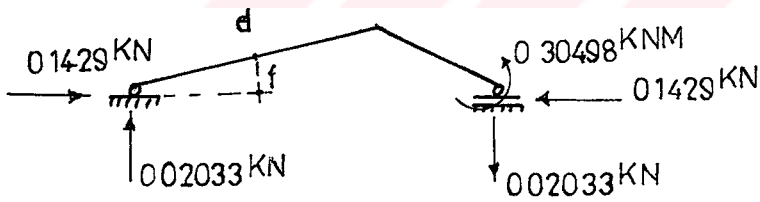
$$M_{12}(x_1=1) = m_{2\Theta_1}^{12} \Theta_1 + m_{2\Theta_2}^{12} \Theta_2 = 0.00853(-9.1293) + 0.00496(-9.1293) = -0.123154 \text{ kNm}$$

$$M_{21}(x_1=1) = m_{2\Theta_1} \Theta_1 + m_{2\Theta_2} \Theta_2 = 0.00496(-9.1293) + 0.00853(-9.1293) = -0.123154 \text{ kNm}$$

$$M_{15}(x_1=1) = m_{1\Theta_1}^{15} \Theta_1 + m_{1\delta} \delta = 0.00504(-9.1293) + 0.001512(-9.122) = -0.182276 \text{ kNm}$$

$$M_{51}(M_2=1) = m_{5\Theta_1} \Theta_1 + m_{5\delta} \delta = 0.00252(-9.1293) + 0.001512(-90.122) = -0.159270 \text{ kNm}$$

$x_1=1$ kN için d kesitindeki kuvvetleri



$$M_d(x_1=1) = 0.020332 \times 5 - 0.142877 \times 1.5 = -0.11656 \text{ kNm}$$

$$N_d(x_1=1) = -0.122877 \times 0.9578 - 0.0020332 \times 0.2873 = -0.142689 \text{ kNm}$$

$$T_d(x_1=1) = -0.142877 \times 0.2873 + 0.020332 + 0.09578 = -0.021575 \text{ kNm}$$

$M_2=1$ kNm için h kesitindeki kuvvetler

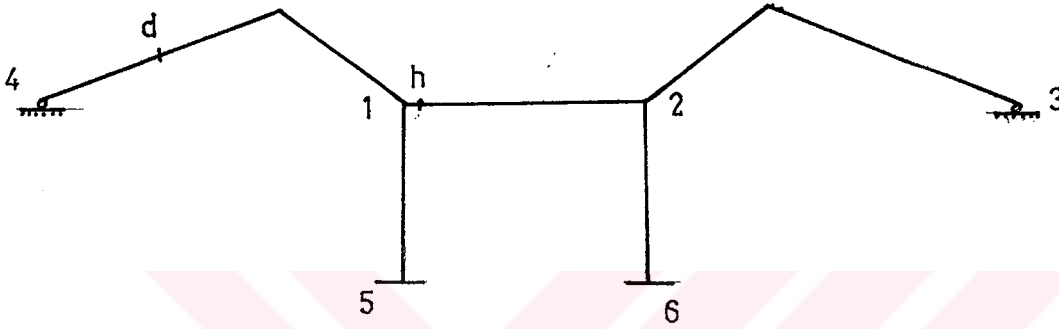
$$M_h(x_1=1) = -M_{12}(x_1=1) = 0.123154 \text{ kNm}$$

$$T_h(x_1=1) = + \frac{M_{12}(x_1=1) + M_{21}(x_1=1)}{L} = \frac{0.123154 \times 2}{10} = -0.246308 \text{ kN}$$

$$T_{15} = + \frac{M_{15}(x_1=1) + M_{51}(x_1=1)}{L} = \frac{0.182276 \times 0.159270}{10} = 0.034155 \text{ kN}$$

$$N_h(x_1=1) = 0.142877 + 0.034155 = 0.177032 \text{ kN}$$

3.9.5. Tesir Çizgisi Fonksiyonları



Şekil 3.51 Uygulanan Sistem

1 kN'lık Kuvvet 1-4 arasındayken

(d) Kesiti için

$$M_d = M_d + M_{14} [M_d(M_1=1) + N_{14}(M_d(x_1=1))]$$

$$N_d = N_d + M_{14} [N_d(M_1=1) + N_{14}(N_d(x_1=1))] \dots \dots \dots (3.9)$$

$$T_d = T_d + M_{14} [T_d(M_1=1) + N_{14}(T_d(x_1=1))]$$

h kesiti için

$$M_n = M_{14} [M_n(M_1=1)] + N_{14} [M_n(x_1=1)]$$

$$N_n = M_{14} [N_n(M_1=1)] + N_{14} [N_n(x_1=1)] \dots \dots \dots (3.10)$$

$$T_n = M_{14} [T_n(M_1=1)] + N_{14} [T_n(x_1=1)]$$

1 kN'luk kuvvet 1-2 arasındayken(d) Kesiti için

$$M_d = M_{12} [M_d(M_1=1)] + M_{21} [M_d(M_2=1)]$$

$$N_d = M_{12} [N_d(M_1=1)] + M_{21} [N_d(M_2=1)] \dots\dots\dots (3.11)$$

$$T_d = M_{12} [T_d(M_1=1)] + M_{21} [T_d(M_2=1)]$$

h kesiti için

$$M_n = M_n + M_{12} [M_n(M_1=1) + N_{21} (M_n(M_2=1))]$$

$$N_n = N_n + M_{12} [N_n(M_1=1) + M_{22} (N_n(M_2=1))] \dots\dots\dots (3.12)$$

$$T_n = T_n + M_{12} [T_n(M_1=1) + M_{21} (T_n(M_2=1))]$$

1 kN'luk kuvvet 2-3 arasındayken(d) Kesiti için

$$M_d = M_{23} [M_d(M_2=1)] - N_{23} [M_d(x_1=1)]$$

$$N_\theta = M_{23} [N_d(M_2=1)] - N_{23} [N_d(x_1=1)] \dots\dots\dots (3.13)$$

$$T_z = M_{23} [T_d(M_2=1)] - N_{23} [T_d(x_1=1)]$$

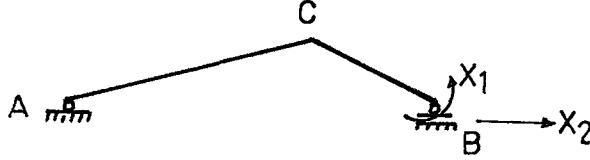
h kesiti için

$$M_n = M_{23} [M_n(M_2=1)] - N_{23} [M_n(x_1=1)]$$

$$N_n = N_{23} [N_n(M_2=1)] - N_{23} [N_n(x_1=1)] \dots\dots\dots (3.14)$$

$$T_n = M_{23} [T_n(M_2=1)] - N_{23} [T_n(x_1=1)]$$

Bu fonksiyonlarda yer alan M_d , N_d , T_d , M_{14} , N_{14} , M_{12} , M_{21} , M_h , N_h , T_h , M_{23} ve N_{23} terimleri tesir çizgileridirler. Şimdi bunları tayin edelim.



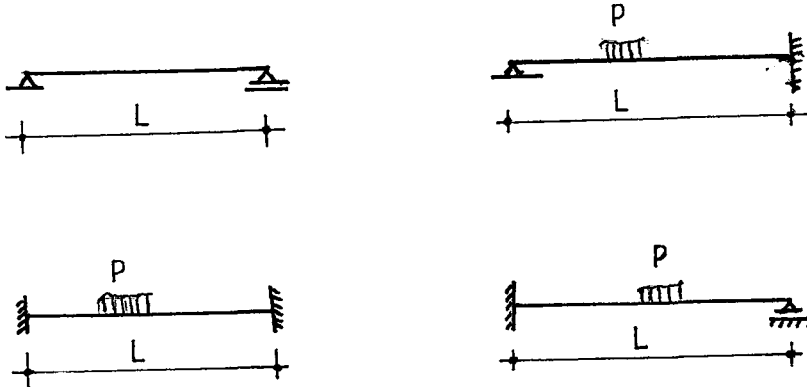
1 kN'luk kuvvet AB arasında dolaşırken x_1 ve x_2 'lerin değişimi incelenmesi AC çubuğu değişken kesitli olduğundan tablodan yararlanarak çözülür. Bu çubuğun birim deplasman sabitleri önceden hesaplandı. Şimdi α_{io} ve α_{ko} 'lerin hesaplanması ve bunlara bağlı olarak $\bar{M}_{CA}$ değişimini bulmak ve her adımda sistemin x_1 ve x_2 'lerin incelenmesi gerekir.

AC çubuğun iki ucu ankastre iken birim deplasman sabitleri

$$m_{i\theta i} = 0.4838 EI_o \quad m_{k\theta k} = 0.7649 \quad n = \frac{I_o}{I_k} = \frac{0.0153}{0.0342} = 0.45$$

$$m_{k\theta i} = 0.3037 EI_o \quad m_{i\theta k} = 0.3037$$

$$m_{k\theta k} = 0.5739$$



[1]

$$\alpha'_{io} = \frac{1^2}{EI_o} * a_i$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha'_{io} - M_{iak} \alpha'_{ko}$$

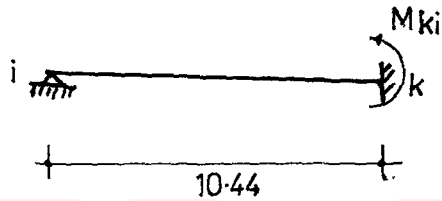
$$\alpha'_{ko} = \frac{1^2}{EI_o} * a_i$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha'_{io} - M_{kak} \alpha'_{ko}$$

$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta k}}{m_{i\theta i}}$$

$$\bar{M}_{ik} = M_{ik} - M_{ki} \frac{m_{k\theta i}}{m_{k\theta k}}$$

$$\frac{x}{L} = 0.20 \text{ için hesap}$$



$$a'_1 = 0.0381 \Rightarrow \alpha'_{io} = \frac{10.44^2}{EI_o} * 0.0381 = 4.152656 / EI_o$$

$$a'_2 = 0.0222 \Rightarrow \alpha'_{ko} = \frac{10.44^2}{EI_o} * 0.0222 = 2.419658 / EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha'_{io} - m_{i\theta k} \alpha'_{ko} = 0.4838 * 4.152656 - 0.3037 * 2.419658 = 1.274205 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha'_{io} - m_{k\theta k} \alpha'_{ko} = 0.3037 * 4.152656 - 0.7649 * 2.419658 = -0.589635 \text{ kNm}$$

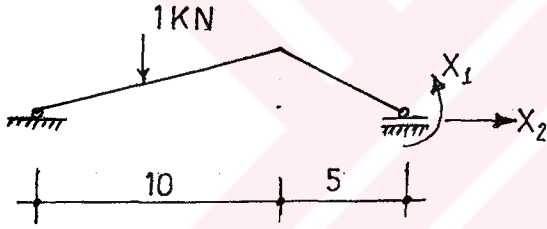
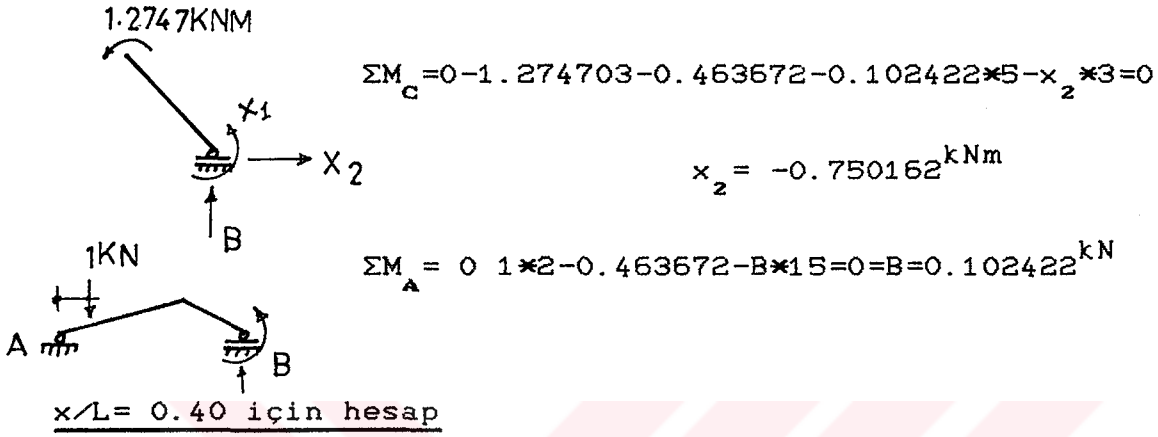
$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta k}}{m_{i\theta i}} = -0.589635 - 1.274205 * \frac{0.3037}{0.4838} = -1.389503 \text{ kNm}$$

P = kN için

$$\bar{M}'_{ki} = \bar{M}_{ki} * P \cos^2 \theta = -1.389503 * 1 * (0.9578) = -1.274703 \text{ kNm}$$

$$\theta_c = -\frac{(\bar{M}_{ki}' + M_{cb})}{(m_{k\theta k}^{ca} + m_{c\theta c}^{cb})} = -\frac{(-1.274703)}{(0.00878 + 0.02344)} = 39.5624677 \approx 41.305586$$

$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{B\theta c}^{cb} \theta_c = 0 + 0.01172 * 39.562477 = 0.463672 \text{ kNm}$$



$$a_1' = 0.0485 \Rightarrow \alpha_{i0}' = 10.44^2 / EI_0 * 0.0485 = 5.286190 / EI_0$$

$$a_2' = 0.0377 \Rightarrow \alpha_{k0}' = 10.44^2 / EI_0 * 0.0377 = 4.109059 / EI_0$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha_{i0}' - m_{i\theta k} \alpha_{k0}' = 0.4838 * 5.286190 - 0.3037 * 4.109059 = 1.309537 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha_{i0}' - m_{k\theta k} \alpha_{k0}' = 0.3037 * 5.286190 - 0.7649 * 4.109059 = 1.537603 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta k}}{m_{i\theta i}} = 1.537603 - 1.309537 * \frac{0.3037}{0.4838} = -2.359650 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki}^1 = \bar{M}_{ki} * 1 * \cos^2 \theta = -2.359650 * 1 * (0.9578)^2 = -2.164698 \text{ kNm}$$

$$\theta_c = - \frac{(M_{ki} + M_{cb})}{(\frac{CA}{m_{k\theta k}} + \frac{CB}{m_{c\theta c}})} = - \frac{(-2.164698)}{(0.00878 + 0.02344)} = 67.184916$$

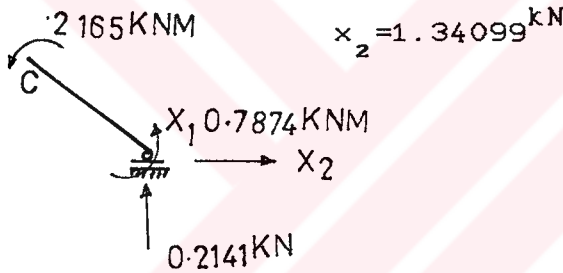
$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{BC}^{BC} \theta_c = 67.184916 * 0.01172 = 0.787407 \text{ kNm}$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad 4 * 1 - 0.7874 - B * 15 = 0$$

$$B = 0.214173 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_c = 0$$

$$-2.164698 - 0.787407 - 0.214173 * 5 - x_2 * 3 = 0$$



$x/L = 0.6$ için hesap

$$a_1' = 0.0409 \Rightarrow \alpha_{io}' = \frac{10.44^2}{EI_o} * 0.0409 = 4.457838/EI_o$$

$$a_2' = 0.0415 \Rightarrow \alpha_{ko}' = \frac{10.44^2}{EI_o} * 0.0415 = 4.523234/EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha_{io}' - m_{i\theta k} \alpha_{ko}' = 0.4838 * 4.457838 - 0.3037 * 4.523234 = 0.782996 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha_{io}' - m_{k\theta k} \alpha_{ko}' = 0.3037 * 4.457838 - 0.7649 * 4.523234 = -2.105976 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta k}}{m_{i\theta i}} = -2.105976 - 0.782996 * \frac{0.3037}{0.4838} = -2.597493 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki}^1 = \bar{M}_{ki} * P * \cos^2 \theta = -2.597493 * 1 * (0.9578)^2 = -2.382890 \text{ kNm}$$

$$\theta_c = - \frac{(-2.382890)}{(0.00878 + 0.02344)} = 73.956859$$

$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{BC}^{\theta_c} \theta_c = 73.956859 * 0.01172 = 0.866774 \text{ kNm}$$

$$B = \frac{1 * 6 - 0.866774}{15} = 0.342215$$

$$M_c = -2.38289 - 0.866774 - 0.342215 * 5 - x_2 * 3 = 0$$

$$x_2 = -1.653580 \text{ kN}$$

$x/L = 0.80$ için hesap

$$a_1' = 0.227 \Rightarrow \alpha_{io}' = 10.44^2 / EI_o * 0.0227 = 2.474155 / EI_o$$

$$a_2' = 0.0298 \Rightarrow \alpha_{ko}' = 10.44^2 / EI_o * 0.0298 = 3.248009 / EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha_{io}' - m_{i\theta k} \alpha_{ko}' = 0.4838 * 2.474155 - 0.3037 * 3.248009 = 0.210576 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha_{io}' - m_{k\theta k} \alpha_{ko}' = 0.3037 * 2.474155 - 0.7649 * 3.248009 = 1.733001 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta k}}{m_{i\theta i}} = 1.733001 - 0.210576 * \frac{0.3037}{0.4838} = -1.865188 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki}^1 = -1.865188 * 1 * (0.9578)^2 = -1.711087 \text{ tm}$$

$$\theta_c = - \frac{(M_{ki} + M_{CB})}{(-CA \frac{CB}{m_{k\theta k} + m_{c\theta c}})} = - \frac{(-1.711087)}{(0.00878 + 0.02344)} = 53.106363$$

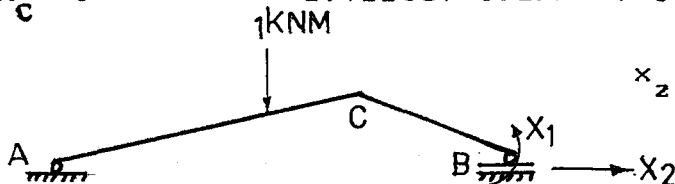
$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{BC}^{\theta_c} \theta_c = 0 + 0.01172 * 53.106363 = 0.622407 \text{ tm}$$

$$x_1 = 0.622407 \text{ tm}$$

$$\Sigma M_A = 0 \quad 1 * 8 - 0.622407 + B * 15 = 0 \Rightarrow B = -0.491840 \text{ t}$$

$$\Sigma M_C = 0 \quad -1.711087 - 0.622407 - 0.491840 * 5 - x_2 * 3 = 0$$

$$x_2 = -1.610842 \text{ t}$$



$x/L = 0.5$ için hesap

$$a'_1 = 0.0465 \Rightarrow \alpha'_{i_o} = 10.44^2 / EI_o * 0.0465 = 5.068202 / EI_o$$

$$a'_2 = 0.0413 \Rightarrow \alpha'_{k_o} = 10.44^2 / EI_o * 0.0413 = 4.501436 / EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta_i} \alpha'_{i_o} - m_{i\theta_k} \alpha'_{k_o} = 0.4838 * 5.068202 - 0.3037 * 4.501436 = 1.084910 \text{ kNm}$$

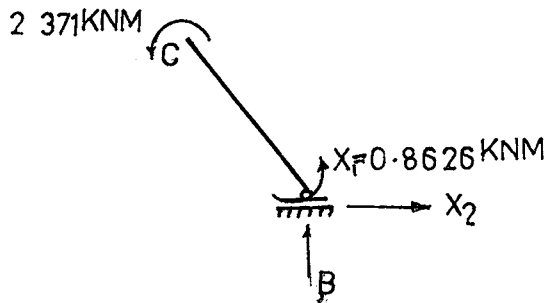
$$M_{ki} = m_{k\theta_i} \alpha'_{i_o} - m_{k\theta_k} \alpha'_{k_o} = 0.3037 * 5.068202 - 0.7649 * 4.501436 = 1.903935 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki} = M_{ki} - M_{ik} \frac{m_{i\theta_k}}{m_{i\theta_i}} = -1.903935 - 1.084910 * \frac{0.3037}{0.4838} = -2.584975 \text{ kNm}$$

$$\bar{M}_{ki}^1 = \bar{M}_{ki} * 1 * \cos^2 \theta = -2.584975 * 1 * (0.9578) = -2.371407$$

$$\theta_c = - \frac{(\bar{M}_{ki} + M_{CB})}{(\bar{m}_{k\theta_k} + m_{CB\theta_c})} = - \frac{(-2.371407)}{(0.00878 + 0.02344)} = 73.600466$$

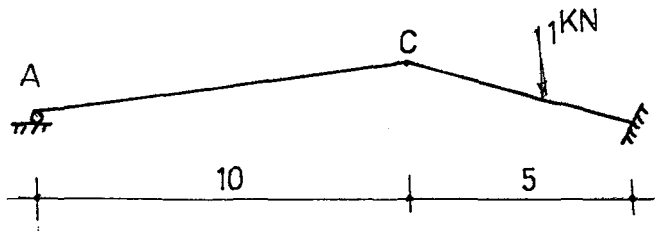
$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{B\theta_c}^{BC} \theta_c = 0 + 0.01172 * 73.600466 = 0.862597 \text{ kNm}$$



$$B = \frac{1 * 5 - 0.862597}{15} = 0.275827 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_c = 0 \quad -2.371407 - 0.862597 - 0.275827 * 5 - x_2 * 3 = 0$$

$$x_2 = -1.537713 \text{ kN}$$

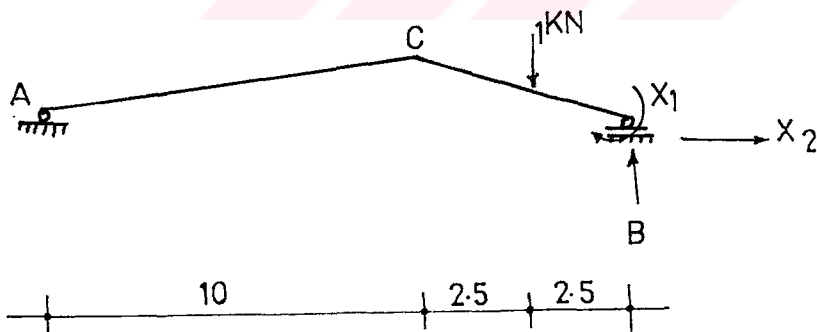


$$M_{CB} = -M_{BC} = \frac{PL}{8} = \frac{1 \times 5}{8} = 0.625 \text{ kNm}$$

$$\theta_C = - \frac{(\bar{M}_{ki} + M_{CB})}{(\bar{m}_{k\theta_k} + m_{C\theta_C})} = - \frac{(0 + 0.625)}{(0.00878 + 0.02344)} = -19.397890$$

$$x_1 = \bar{M}_{BA} = M_{BC} + m_{B\theta_C} \times \theta_C = -0.625 + 0.011732 \times (-19.397890)$$

$$x_1 = -0.852343 \text{ kN}$$

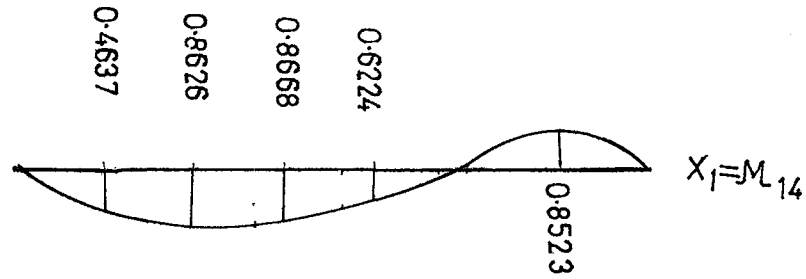


$$\Sigma M_A = 0 \quad 1 \times 12.5 + 0.852343 - B \times 15 = 0$$

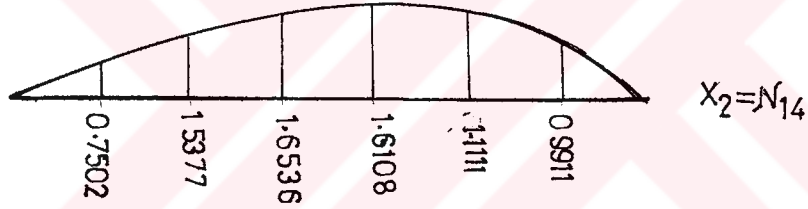
$$B = 0.890156 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_c = 0 + 0.625 + 0.852343 - 0.890156 * 5 - x_2 * 3 = 0$$

$$x_2 = -0.991146 \text{ kN}$$



Şekil 3.52 x_1 Tesir çizgisi Diyagramı



Şekil 3.53 x_2 Tesir çizgisi Diyagramı

$$m_{i\theta i} = m_{k\theta k} = 0.55774/EI_o$$

$$m_{i\theta k} = m_{k\theta i} = 0.32409/EI_o$$

$x/L = 0.20$ için

$$a_1^i = 0.0450 \Rightarrow \alpha_{io}^1 = \frac{10^{-2}}{EI_o} * 0.0450 = 4.5/EI_o$$

$$a_2^i = 0.0309 \Rightarrow \alpha_{ko}^1 = \frac{10^{-2}}{EI_o} * 0.0309 = 3.09/EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha'_{io} - m_{i\theta k} \alpha'_{ko} = 0.55774 * 4.5 - 0.32409 * 3.09 = 1.508392 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha'_{io} - m_{k\theta k} \alpha'_{ko} = 0.32409 \times 4.5 - 0.55774 \times 3.09 = -0.265012 \text{ kNm}$$

$x/L = 0.40$ için

$$a_1^i = 0.0616 \Rightarrow \alpha'_{io} = \frac{10^{-2}}{EI_o} \times 0.0616 = 6.16/EI_o$$

$$a_2^i = 0.0543 \Rightarrow \alpha'_{ko} = \frac{10^{-2}}{EI_o} \times 0.0543 = 5.43/EI_o$$

$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha'_{io} - m_{i\theta k} \alpha'_{ko} = 0.55774 \times 6.16 - 0.32409 \times 5.43 = 1.675870 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha'_{io} - m_{k\theta k} \alpha'_{ko} = 0.32409 \times 6.16 - 0.55774 \times 5.43 = -1.032134 \text{ kNm}$$

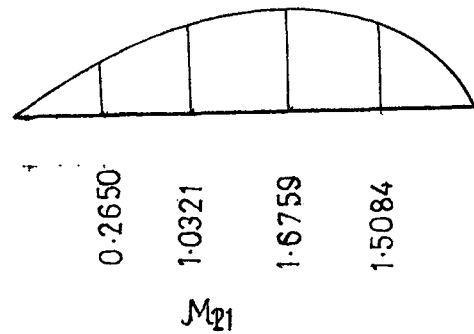
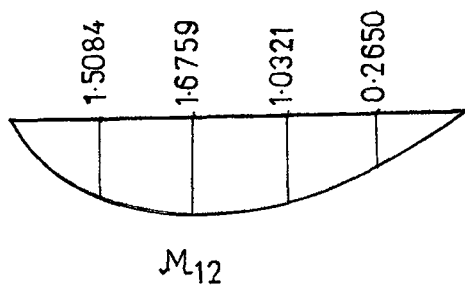
$x/L = 0.80$ için

$$a_1^i = 0.0309 \Rightarrow \alpha'_{io} = 0.0309 \times 10^{-2} / EI_o = 3.09/EI_o$$

$$a_2^i = 0.0450 \Rightarrow \alpha'_{ko} = 0.0450 \times 10^{-2} / EI_o = 4.50/EI_o$$

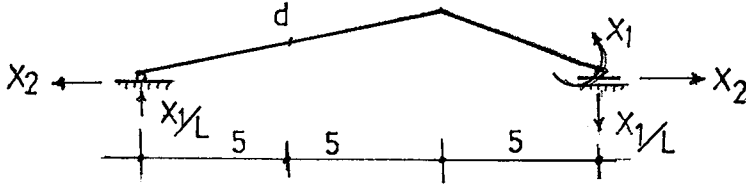
$$M_{ik} = m_{i\theta i} \alpha'_{io} - m_{i\theta k} \alpha'_{ko} = 0.55774 \times 3.09 - 0.32409 \times 4.5 = 0.265012 \text{ kNm}$$

$$M_{ki} = m_{k\theta i} \alpha'_{io} - m_{k\theta k} \alpha'_{ko} = 0.32409 \times 3.09 - 0.55774 \times 4.5 = -1.508392 \text{ kNm}$$



Şekil 3.54. M_{12} ve M_{21} tesir Çizgilerinin Diyagraamları

M_d , N_d ve T_d Tesir Çizgilerinin Çizilmesi



Sisteme ait çeşitli büyüklüklerin (kesit zorları, mesnet tepkileri) çeşitli çizimi için süperpozisyon denkliminden yararlanılır.

$$M_d = M_{od} + M_{1d}x_1 + M_{2d}x_2$$

$$N_d = N_{od} + N_{1d}x_1 + N_{2d}x_2$$

$$T_d = T_{od} + T_{1d}x_1 + T_{2d}x_2$$

* Burada M_d , N_d , T_d : Hierstatik sistemin d kesitinde kesit zorlarının tesir çizgileridir. Bunlar birer fonksiyonlardır.

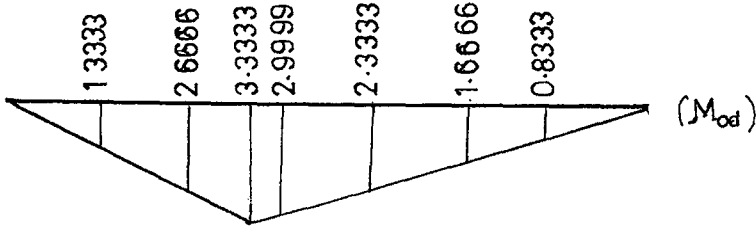
* M_{od} , N_{od} , T_{od} : İzostatik sistemde d kesitindeki kesit zorlarına ait tesir çizgileridir.

* x_1 , x_2 , ..., x_n : Bilinmeyen tesir çizgileridir.

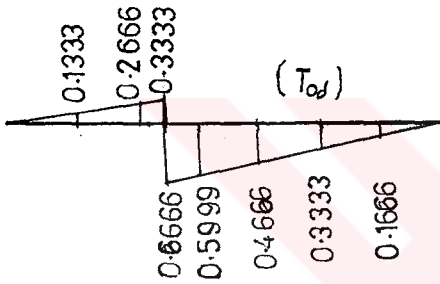
* M_{1d} , M_{2d} , N_{1d} , N_{2d} , T_{1d} , T_{2d} : $x_1 = 1$, $x_2 = 1$... birim yüklemeden dolayı d kesitindeki kesit zorlarının aldığı sayısal değerlerdir.

M_{od} 'nin çizimi

$$\frac{a*b}{L} = \frac{5*10}{15} = 3.333333$$



T_{od} 'nin çizimi

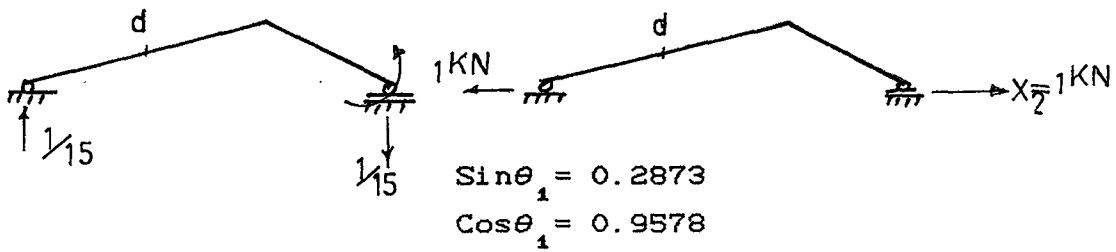


$$a/L = 5/15 = 0.333333$$

$$b/L = 10/15 = 0.666667$$

N_{od} sıfırdır

N_{1d} , N_{2d} , T_{1d} , T_{2d} 'lerin Hesabı



$$T_{1d} = \frac{1}{15} * 0.9578 = 0.0639 \text{ kN}$$

$$N_{1d} = -\frac{1}{15} * 0.2873 = -0.0192 \text{ kN}$$

$$M_{1d} = 0.3333 \text{ kNm}$$

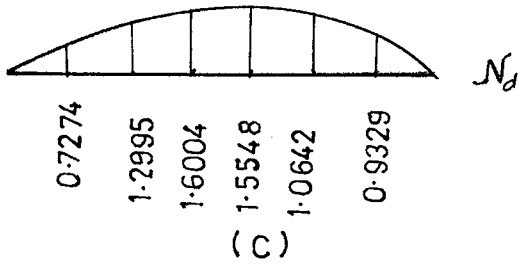
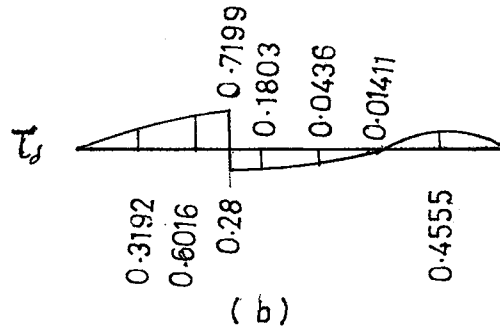
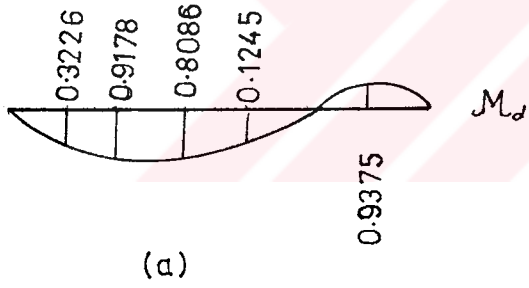
$$T_{2d} = 0.2873 \times 1 = 0.2873 \text{ kN}$$

$$N_{2d} = 0.9578 \times 1 = 0.9578 \text{ kN}$$

$$M_{2d} = 1.5000 \text{ kNm}$$

$$\left. \begin{aligned} M_d &= M_{0d} + 0.3333x_1 + 1.5x_2 \\ N_d &= -0.0192x_1 + 0.9578x_2 \\ T_d &= T_{0d} + 0.0639x_1 + 0.2873x_2 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} M_{14} &= x_1, N_{14} = x_2 \text{ tesir} \\ \text{çizgileri sayfa} & \quad \text{dadır.} \end{aligned}$$

M_d 'nin çizimi



Şekil 3.55 M_d T_d Ve N_d Tesir Çizgileri

(3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.14)'de bulunan fonksiyonların sayısal olarak ifade edelim. 1 tonluk kuvvet 1-4 arasındayken (d) kesiti için

$$M_d = M_d + 0.038503M_{14} - 0.112656N_{14}$$

$$N_d = N_d + 0.156476M_{14} - 0.142689N_{14}$$

$$T_d = T_d + 0.00737M_{14} - 0.021575N_{14}$$

(h) kesiti için

$$M_n = 0.255573M_{14} + 0.123154N_{14}$$

$$N_n = 0.09783M_{14} + 0.177032N_{14}$$

$$T_n = -0.038582M_{14} - 0.246308N_{14}$$

1 tonluk kuvvet 1-2 arasındayken (d) kesiti için

$$M_d = 0.038503M_{12} - 0.018969M_{21}$$

$$N_d = 0.156476M_{12} - 0.040342M_{21}$$

$$T_d = 0.00737M_{12} - 0.003632M_{14}$$

(h) kesiti için

$$M_n = -M_{12} + 0.255573M_{12} + 0.127109M_{21} = -0.744427M_{12} + 0.127109M_{21}$$

$$N_n = N_n + 0.097830M_{12} + 0.039449M_{21}$$

$$T_n = T_n - 0.038582M_{12} - 0.038268M_{21}$$

1 tonluk kuvvet 2-3 arasındayken (d) kesiti için

$$M_d = -0.018969M_{23} + 0.112656N_{23}$$

$$N_d = -0.040342M_{23} + 0.142689N_{23}$$

$$T_d = -0.003632M_{23} + 0.021575N_{23}$$

(h) kesiti için

$$M_h = 0.127109M_{23} - 0.123154N_{23}$$

$$N_h = 0.039449M_{23} - 0.0177032N_{23}$$

$$T_h = -0.038268M_{23} + 0.0246308N_{23}$$

Tablo 3-8 . Birim Yüklemelerinden Oluşan
Kesit Tesirleri

Yeri	Kesit Tesirleri	M ₁ =1.00	M ₂ =1.00	x ₁ =1.00
d	M _d	0.038503	-0.018969	-1.112656
	N _d	0.156476	-0.040342	-0.142689
	T _d	0.00737	-0.003632	-0.021575
h	M _h	0.255573	0.127109	0.123154
	N _h	0.097830	0.039449	0.177032
	T _h	-0.038582	-0.003632	-0.021575

Tablo 3-9 . İki Ucu Ankastre Çubuğa Ait
Tesir Çizgileri

Mesafe	x/L	M ₁₂	M ₂₁
0	0.00	0.0000	0.0000
2.00	0.20	1.508392	-0.26512
4.00	0.40	1.675870	-1.032134
6.00	0.60	-1.032134	-1.675870
8.00	0.80	-0.265120	-1.508392
1.00	1.00	0.000000	0.000000

Tablo 3-10: M_d , N_d , T_d 'lerin Değerleri

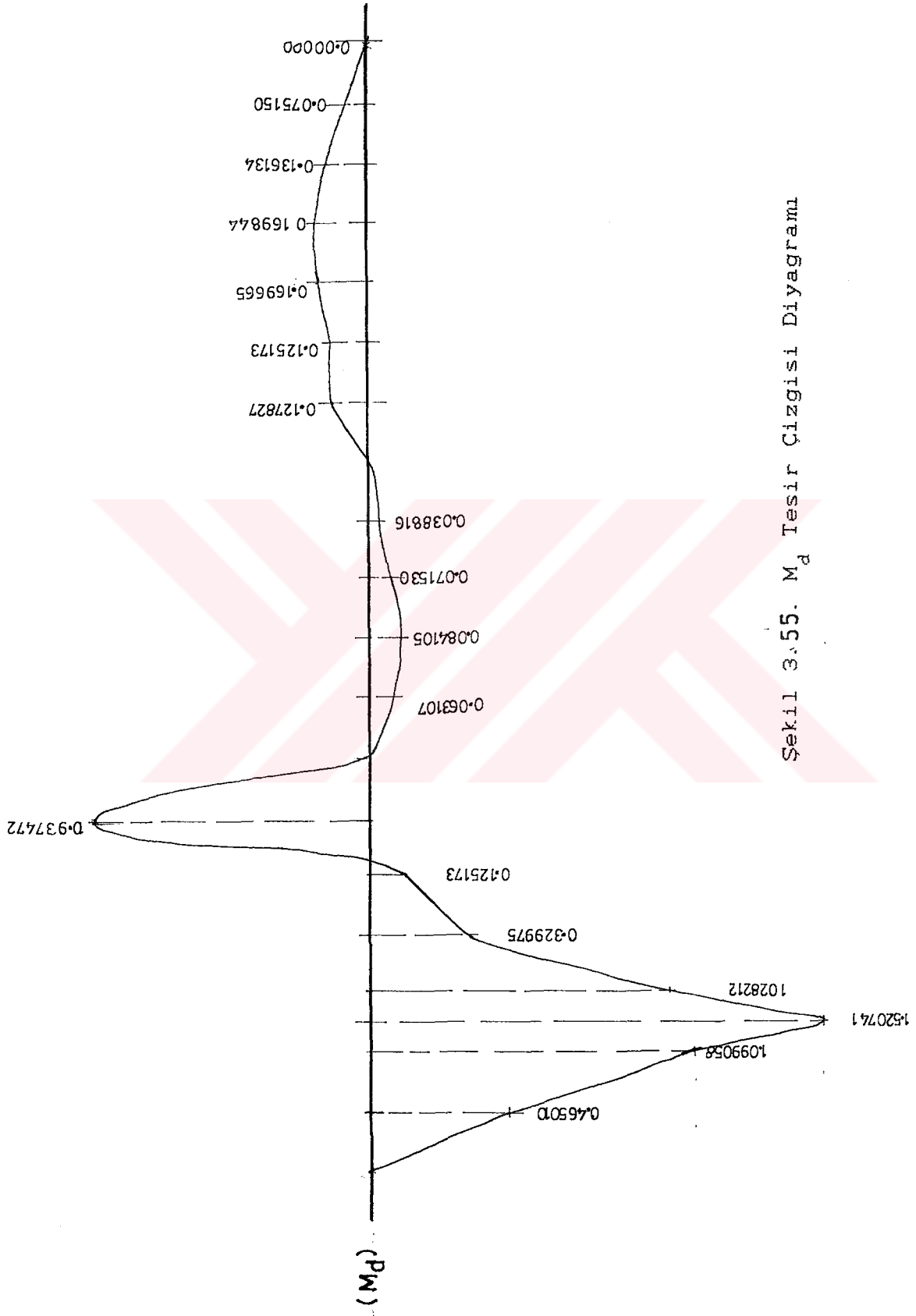
Mesafe	x/L	M_d	N_d	T_d
0.00	0.00	0.00000	0.00000	0.00000
2.00	0.20	0.352647	-0.727408	-0.319226
4.00	0.40	0.917670	-1.299518	-0.601617
5.00	0.50	1.314296	-1.489383	-0.719998 0.280001
6.00	0.60	0.808553	-1.600441	0.180312
8.00	0.80	0.124539	-1.554815	0.043643
10.00	1.00	0.0000	-1.064222	0.014111
12.5	---	-0.937500	-0.932955	-0.172555
15.00	---	-0.00000	0.00000	0.00000

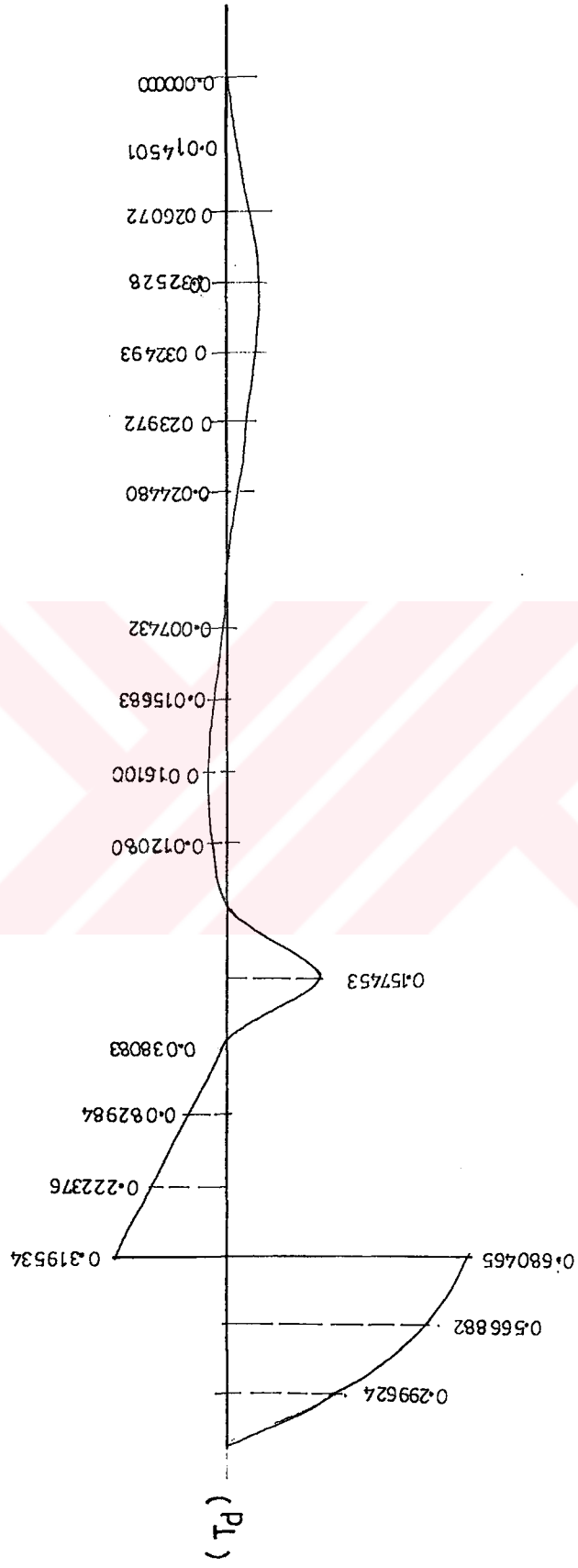
Tablo 3-10: 1-4 Kırık Çubuğun M_{14} , N_{14} Tesir Çizgileri

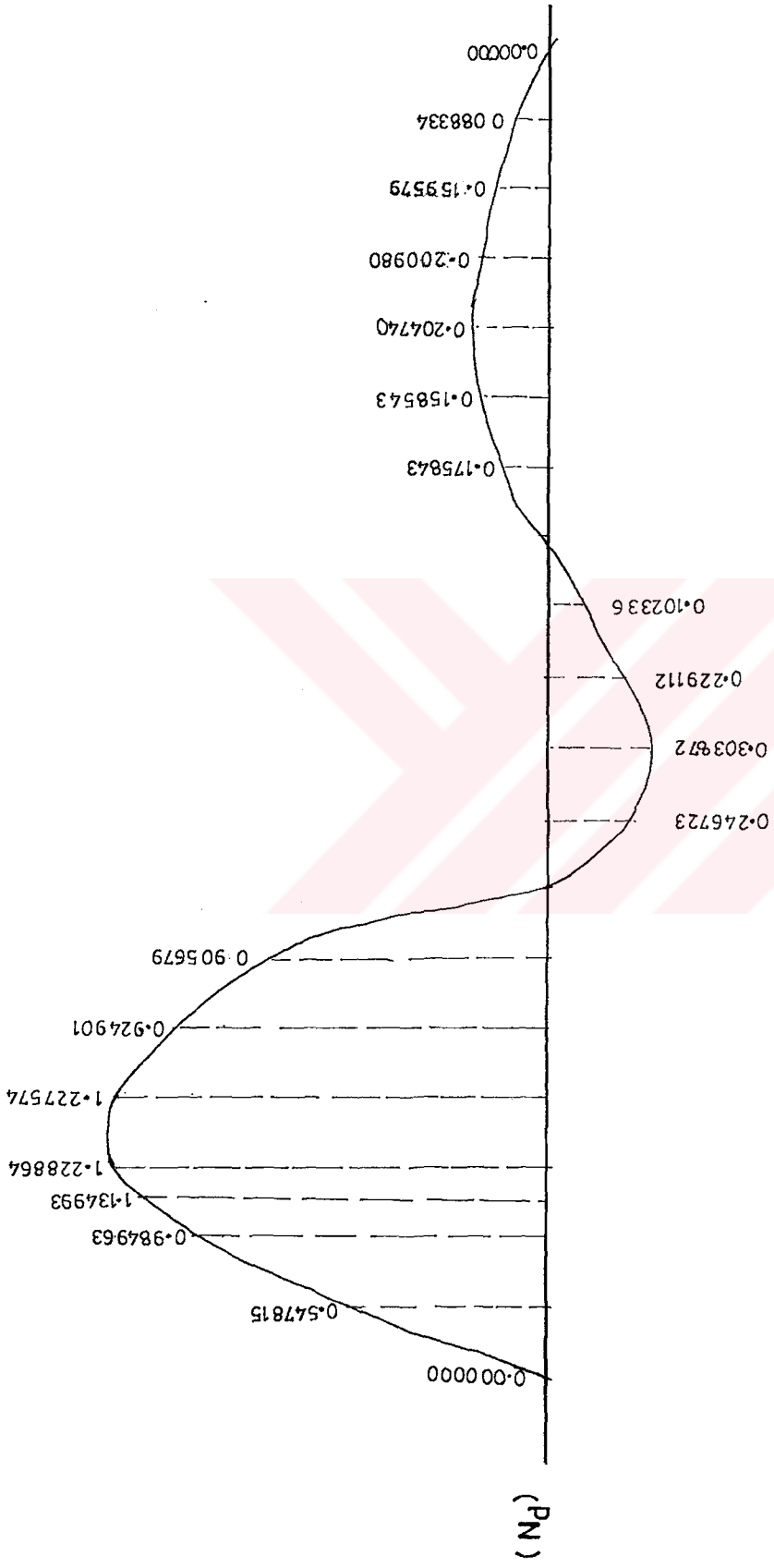
Mesafe	x/L	M_{14}	N_{14}
0.00	0.00	0.000	0.000
2.00	0.20	0.463672	-0.750162
4.00	0.40	0.787407	-1.34099
5.00	0.50	0.862597	-1.537713
6.00	0.60	0.866774	-1.653580
8.00	0.80	0.622407	-1.610842
10.00	1.00	0.00000	-1.111111
12.5	2.515	-0.852343	-0.991146

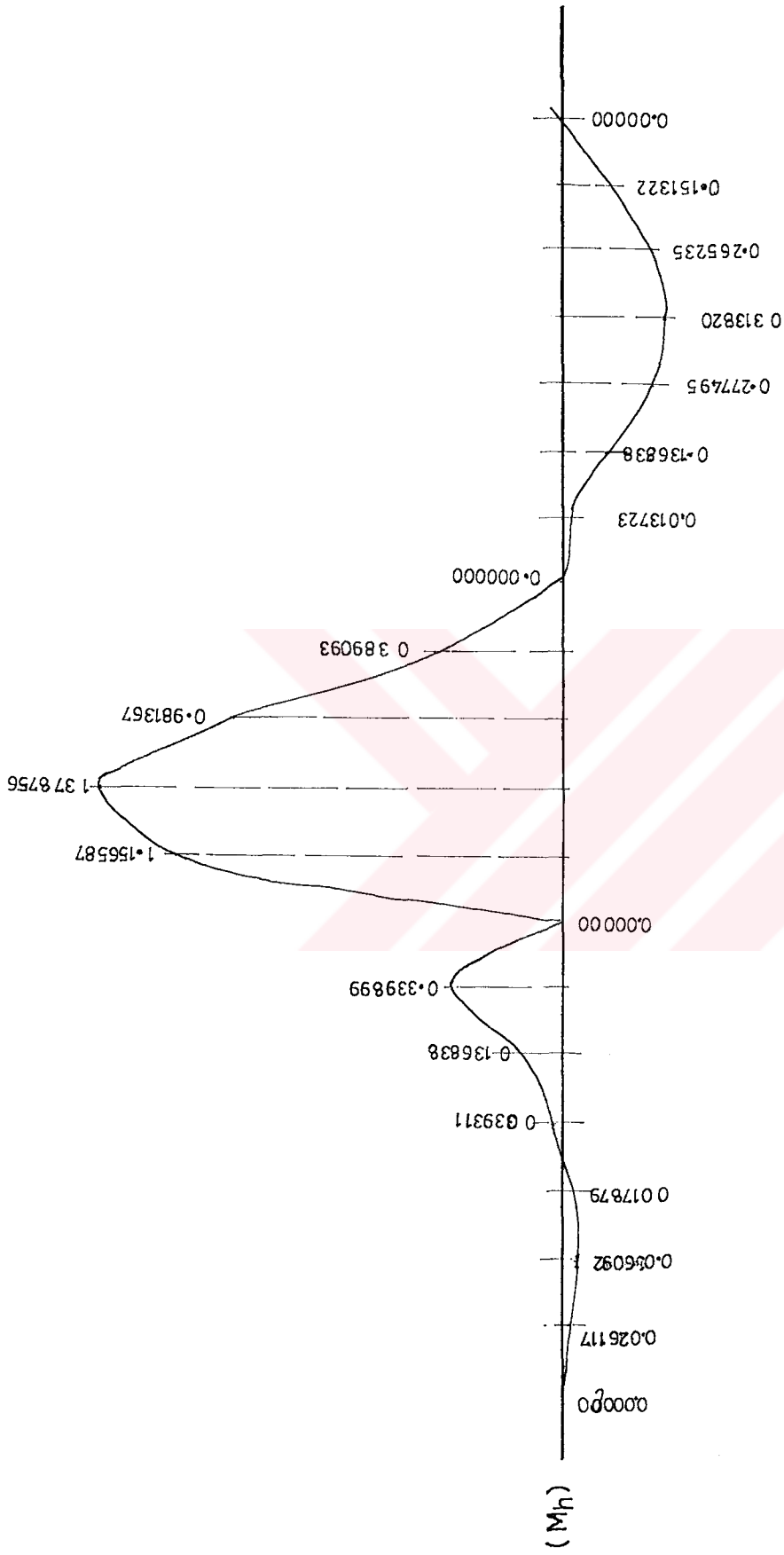
Tablo 3-12: 2-3 Çubuğun M_{23} , N_{23} Tesir Çizgileri

x/L	M_{23}	N_{23}
0.00	0.00	0.000
2.515	-0.852343	-0.991146
0.00	0.000000	-1.111111
0.20	0.622407	-1.610842
0.40	0.866774	-1.653580
0.60	0.787407	-1.34099
0.80	0.463672	-0.750162
1.00	0.000	0.000000

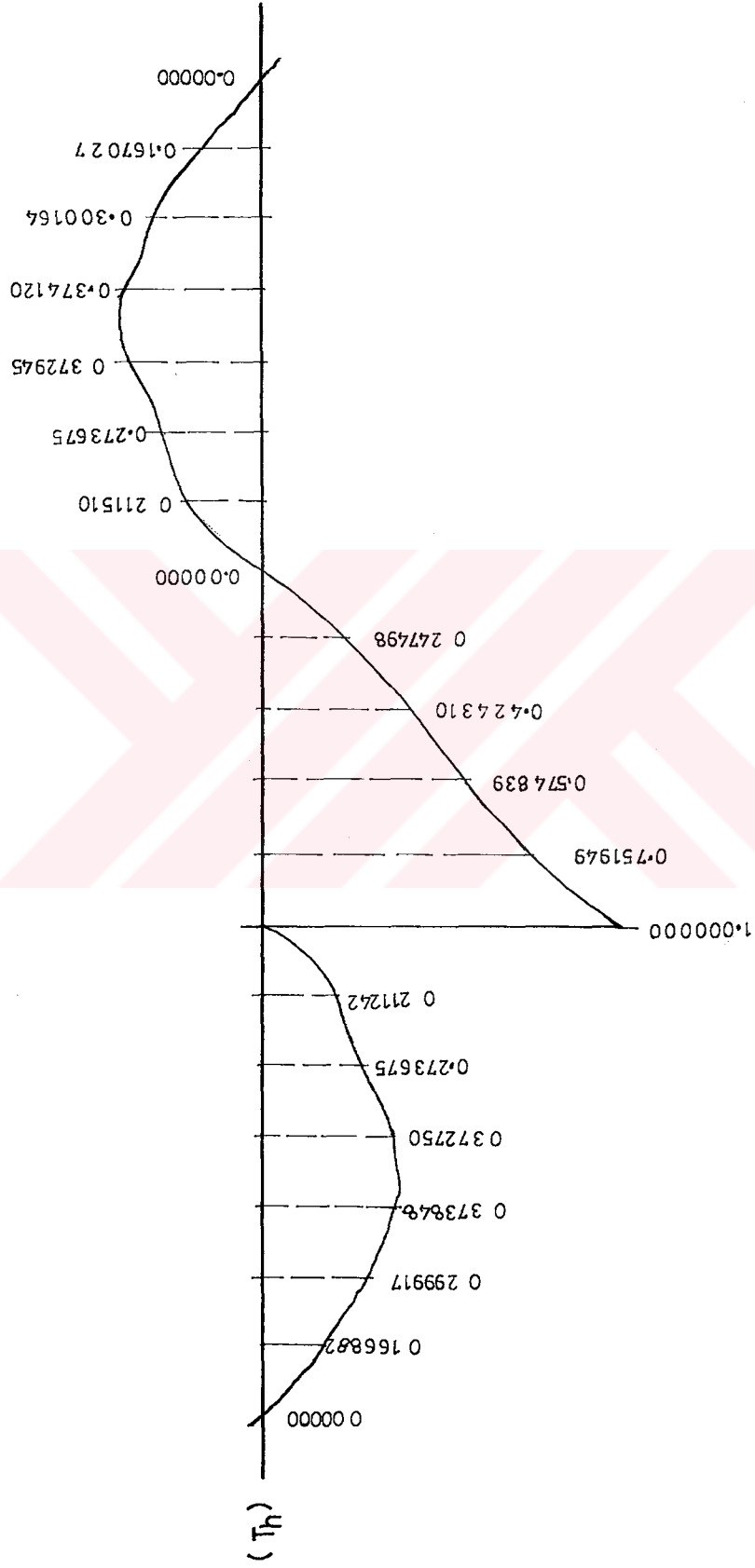
Şekil 3.55. M_d Tesir Çizgisi Diyagramı

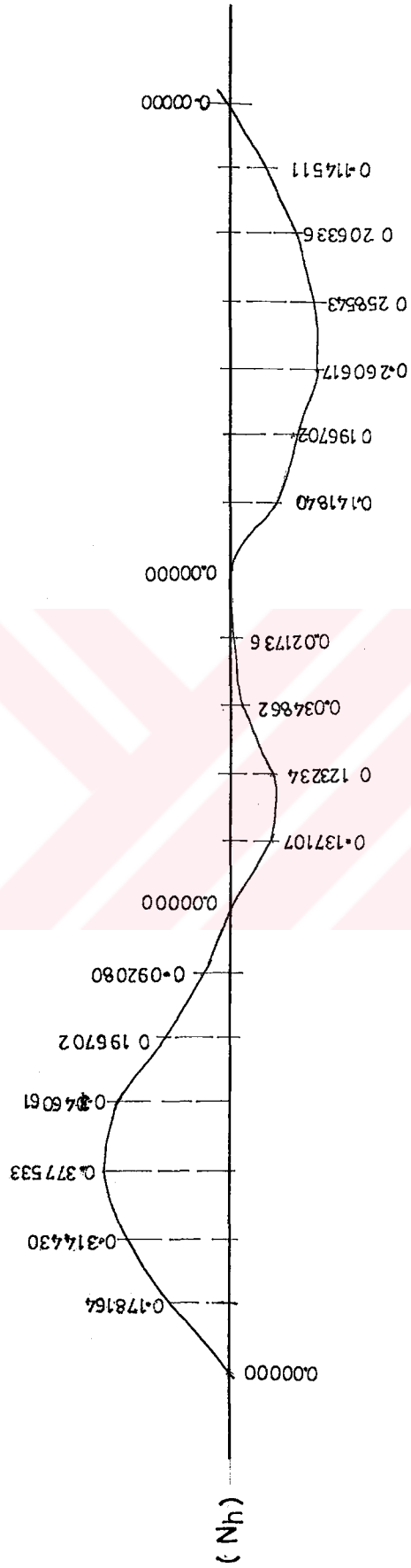
Şekil 3.56. T_d Tesir Cizgisi Diyagramı

Şekil 3.57. N_d Tesir Çizgisi Diyagramı



Sekil 3.58. M_H Tesir Çizgisi Diyagramı

Şekil 3.59. T_h Tesir Çizgisi Diyagramı



Şekil 3.60. N₄ Tesir Çizgisi Diyagramı

BÖLÜM 4. SONUÇLAR

4.1. Kirişsiz Döşemelerde, Perde ve Kolon Çerçeve Sistemlerin Yatay Yüklere Göre Hesabında Çalışan Etketif Döşeme Genişliklerin Sonlu Elemanlar Metodu İle Araştırılması

Bu çalışmanın birinci bölümünde kirişsiz döşemelerde, perde ve kolon çerçeve sistemlerin yatay yüklere göre hesabında çalışan etketif döşeme genişlikleri, plak birim rijitlik deplasman ve eğilme momentlerin plaktaki dağılımları sonlu elemanlar metoduyla incelenmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Kirişsiz döşemelerde perde çerçeve sistemlerin yatay yüklere göre hesabında perde uzunluğu artıp, serbest açıklık küçüldükçe plak birim deplasman sabiti artmaktadır.

2. Kirişsiz döşemelerde, perde ve kolon çerçeve sistemlerin yatay yüklere göre hesabında çalışan etketif döşeme genişlikleri perde uzunluklarına bağılı olarak değişmektedir. Perde uzunlukları belli bir değere kadar artarken çalışan etketif döşeme genişlikleri de beraber artmaktadır. Perde genişlikleri belli bir değeri aştıktan sonra çalışan döşeme etketif genişlikleri azalmaktadır.

3. Aynı boyutta ve ortada olan plağın birim deplasman sabiti kenardaki olan plağın birim rijitlik sabitinden daha yüksektir.

4. Çalışan efektif döşeme genişlikleri büyük ölçüde perdeler arası L' serbest açıklığa bağlı olarak değişmekte olup, perdeye dik doğrultuda ly aralığından fazla etkilenmemektedir.

5. Sonlu elemanlar yöntemiyle bulunan efektif perde genişlikleri, [1]'de veriler formüllerle verilen değerlerden noktasal kolon halinde farklı değerler vermekte, düşey taşıyıcılar perde formunda olunca bulunan değerler çok yakın olmaktadır.

4.2. Yapı Sistemlerinin Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bu çalışmanın ikinci bölümünü oluşturan ve yapı sistemlerinin hesap yöntemlerinin karşılaştırılmasını amaçlayan hesaplara dayanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Sabit ve ilave yüklerin gözönüne alınarak uygun bir donatı oranı ile yapılan ön boyutlandırma sonucunda elde edilen kesitlerin yeterli olduğu yapılan değişik yüklemelerle görülmüştür.

2. Matris deplasman yöntemi günümüzde yaygın olan bilgisayar programlara uygun bir yöntemdir. Bu yöntem, sistemi oluşturan düğüm noktalarında birleşen çubuk sayısı fazla sistemlerde daha az bilinmeyen ile çalışma imkanı sağlamaktadır. Fakat bilinmeyenlerin seçiminde esneklik bulunmamasından band genişliği belirli bir değer düşürülmeyen, ancak otomatik olarak yazılabilen denklem takımları elde edilebilmektedir.

3. Matris kuvvet yönteminde çubuk sayısı fazla olan çerçeve sistemlerin daha az bilinmeyen ile çalışması mümkün olmaktadır. Bilinmeyenlerin seçimindeki serbestlik sayesinde stabilitesi iyi olan ve band genişliği

küçük tutulabilen, ancak matris deplasman yöntemindeki kadar sistematik yazılmayan denklem takımları elde etmek mümkün olmaktadır.

4. En elverişsiz kesit tesirlerini veren yük kombinezonlarından " $1.4 \times G + 1.6 \times Q$ " yük kombinezonunun seçilmiş örnek sistemindeki gibi, büyük açıklıklı ve çok katlı olmayan yapılarda en elverişsiz tesirleri veren kombinezon olduğu görünmüştür.

5. Kullanılan metodlardan daha çok pratik ve bilgisayara bağlı olmadan kullanılabilecek yöntem "CROSS Yöntemi" dir. Bu yöntem çözülmesi gereken lineer denklem takımı olmayan bir yöntem olduğundan basit hesap makina ile çözüm yapılabilir. 

KAYNAKLAR

- [1] ÇAKIROĞLU, A. "Effective With Coupling Slabs in Sheir Walls Under Lateral Loads", İTÜ.
- [2] İPEK, M. "Approximate Consideration of Beam Stiffnesses in Shear Walled Structures".
- [3] ÇAKIROĞLU, A. "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları".
- [4] CELEP, Z., KUMBASAR, N., "Betonarme", İTÜ, 1991.
- [5] ÇAKIROĞLU, A. "Hiperstatik Sistemlerin Çözüm Yöntemleri", İTÜ.
- [6] ÖZDEN, K. "A Finit Element Methods In Engineering Science", İTÜ, Ders Notları.
- [7] ÇAKIROĞLU, A. "Yapı Statiği Cilt II"
- [8] ÇAKIROĞLU, A. ve ÇETMELİ, E., "Yapı Statiği Cilt I".
- [9] ÇAKIROĞLU, A. "Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metodları ve Elektronik Hesap Makinası Programları", Cilt I.
- [10] ÇAKIROĞLU, A. "Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metodları", İTÜ İnşaat Fakültesi, 1994.

**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ÖZGEÇMİŞ

Mulu DEJENE TEBO 1965 yılında Etopya'nın bir vilayeti olan Gojjam'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Debre Markos'ta tamamladı. Lise ve teknik yüksek okulu Addis Ababa'da bitirdi. 1987'de Ethiopia'dan Türkiye'ye ders görmek için geldi. Aynı senede Türçe dil kursu T.Ö.M.E.R'de 6 aylık dersi Ankara'da öğrendi. 1988 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesinde İnşaat Mühendisliği öğrenimine başlayıp 1992 yılında tamamladı. 1992 yılında İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalı'na bağlı Yapı Mühendisliği Analizi ve Boyutlandırılması programında öğrenimine başladı.

Mulu Dejene İngilizce, Türkçe ve kendi dilini bilmektedir.