

34725

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ AÇIKLIKLI BETONARME DİKDÖRTGEN
KESİTLİ KİRİŞLERDE GUSE YAPIMININ
ÇEKME DONATISI TOPLAMINA ETKİSİ

İnş. Müh. Fatih ALTUN
F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programında Hazırlanan
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Naci YÜCEFER

İSTANBUL, 1994

34725

**Üç Açıklıklı Betonarme
Dikdörtgen Kesitli Kirişlerde Guse
Yapımının Çekme Donatısı Toplamına Etkisi**

**Fatih ALTUN
Yıldız Teknik Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Programı**

34725

**Anahtar Kelimeler : Tesir Çizgileri, Guse, Kinematik Yöntem,
Süperpozisyon İlkesi, Virtüel İş**

ÖZET

Doğada kısıtlı miktarlarda bulunan hammadde, insanoğlu tarafından sürekli olarak tüketilmektedir. Tüketimde ekonomi gözetilmediği takdirde israf önlenemez ve gelecek nesillere miras bırakılmadığı için bir toplumsal görev daha yerine getirilememiş olunur.

Her hangi bir mühendislik yapısında kullanılacak donatı miktarının en uygun ve en ekonomik olarak seçilmesi gereği açıktır. Köprülerde de guse yapımının donatı miktarı üzerindeki etkisinin, ihmal edilemeyecek düzeyde olması düşüncesinden hareketle ; guse parametrelerinin ne mertebede olmasının, araştırılması muhtemelen projeci ve yapımcıların ilgisini çekecektir.

Bu düşünceden hareketle, bu çalışmada ; " Üç Açıklıklı Betonarme Dikdörtgen Kesitli kirişlerde Guse Yapımının Çekme Donatısı Toplamına Etkisi " incelenmiştir. Bu kapsamda guseli ve gusesiz sürekli kirişlerde Moment Tesir Çizgisi yardımıyla donatı hesabı yapılmıştır. Tesir Çizgilerinin hesabı ; Önce Sabit Atalet Momentli Sürekli Kirişler bir başka deyişle gusesiz kirişler için sonra da Değişken Atalet Momentli Sürekli Kirişler yine bir başka deyişle guseli kirişler için yapılmıştır.

Model olarak Üç Açıklıklı Sürekli bir kiriş ele alınmış ve Tesir çizgileri bu Üç Açıklıklı Sürekli Kirişin, Birinci ve İkinci Açıklık Ortası ile Ara Mesnetleri için elde edilmiştir. Hesaplanan Tesir Çizgileri yardımı ile Zati Yük (g) ve Hareketli Yük (q), kirişe yüklenerken seçilen betonarme dikdörtgen kesite etkiyen Nihai (=Sonuç) Momentler bulunmuştur. Bu hesaplamalar, üç ana bölümde sunulmuştur.

Giriş bölümünde Amaç, Kapsam ve Yöntemler belirlenmiştir.

İkinci Bölümde ; Önce Sabit Atalet Momentli (gusesiz) kirişlerde Tesir Çizgileri ordinatları literatürde bilinen yöntemlerle hesaplanırken, Değişken Atalet Momentli Sürekli (guseli) kirişlere ait Tesir Çizgileri ordinatları guse boyuna ait (λ) oranı ile guse yüksekliği değişimini veren (h_m/h_0) parametrelerine göre Kinematik ve Gezici Birim Yük Yöntemi ile hesaplanarak sunulmuştur. Her iki kiriş durumunda da

Y. T. MÜHÜRÜ
BÖLÜM BAŞKANLIĞI

Tesir Çizgilerine ait ordinatlar belirlenen noktalar için hesaplanmış ve genel olması bakımından (L_1) kiriş açıklığına bağlı olarak verilmiştir.

Üçüncü Bölümde ; Önce Sabit Atalet Momentli (gusesiz) Sürekli kirişlerde belirli bir Kiriş açıklığına bağlı olarak Zati Yük (g) ve Hareketli Yük (q) yardımıyla maksimum zorlanmayı verecek şekilde yükleme yapılarak sonuç momentler bulunmuştur. Bu momentler yardımıyla donatı hesabı yapılarak gusesiz sistemde seçilen değişik kesitler için donatı değişimi incelenmiştir. Sonra Değişken Atalet Momentli (guseli) kirişlerde ise belirli bir (λ) ve (h_m/h_o) parametresine sahip guse dikkate alınarak Zati Yük (g) ve Hareketli Yük (q) için Tesir Çizgilerine yükleme yapılarak belirlenen noktalar için maksimum sonuç momentler bulunmuştur. Bu momentler yardımıyla sırasıyla $\lambda = 0.50, 0.40, 0.30, 0.20$ ve $h_m/h_o = 2.00, 1.75, 1.50, 1.25$ için donatı hesabına geçilmiştir. Donatı değerleri birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnette elde edilerek toplam donatı alanı A_{st} bulunmuş ve sürekli kiriş üzerindeki donatı değişimi bu A_{st} değerine göre incelenmiştir.

Sonuç Bölümde ise ; önce, betonarmeden bilindiği üzere belirli bir kesite kadar donatı miktarı momentte oluşan artma miktarına bağlı olarak artış gösterdiği ve kesit büyüdükçe donatı miktarındaki artma oranı, küçük kesitlere nazaran azalan bir değerde olduğu hususları üzerinde durulmuş sonra bu çalışmanın amacı doğrultusunda bilinen bu durum ile gusenin etkisi karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada üç açıklıklı guseli sürekli bir kiriş için açıklıklar eşit alındığı takdirde guseye ait $\lambda = 0.20$ ve $h_m/h_o = 1.75$ değerleri için A_{st} toplam donatı alanı optimum (=minimum) değerde olduğu bulunmuştur.

Hareketli yüklerde ise, yük değeri azaldıkça sonuç momentlerde azalmakta ve A_{st} toplam donatı miktarı $\lambda = 0.20$ ve $h_m/h_o = 1.50$ 'de minimum değerde çıkmaktadır.

**THE EFFECT OF TAPERING ON THE TOTAL AMOUNT OF TENSION
REINFORCING BARS IN A THREE SPAN REINFORCED CONCRETE
PRISMATIC BEAMS.**

*Fatih ALTUN _ (Civil Engineer, B.Sc)
Yıldız Technical University
Civil Engineering Post Graduate Studies
Structural Engineering Master of Science Programme
Master of Science Thesis.*

SUMMARY

The limited amount of natural resources have been continuously consumed by the human beings over the centuries. If economy is not considered in such consumption, not only wasteful expenditure can be prevented nor there could be a chance of leaving rich natural heritage to the coming generations, which is a social obligation of the mankind.

It is obvious that in an any reinforced concrete engineering structure, the amount of reinforcing material should be selected in the most economic and appropriate amount. Emerging from the thought that ; also in the bridge beams tapering would effect the total amount of reinforcement, this research is done to intend to take the attention of designers and constructors to this fact.

This research concentrates on " The Effect of Tapering on the total amount of tension Reinforcing Bars in a Three Span Reinforced Concrete Prismatic Beams." In this context, the amount of reinforcement in the continuous beams without tapering and with tapering is calculated by the method of Bending Moments Influence Lines (BMIL). First, BMIL for the prismatic concrete beams without tapering is calculated, then BMIL for the prismatic concrete beams with tapering is calculated.

The model taken is a three span continuous reinforced concrete prismatic beam and the mid-span nodes in the first and second spans and at the intermediate supports. then using these BMIL 's Dead Loads (g) and Live Loads (q) are loaded to the beams and for the rectangular cross sections at the chosen nodes, the Ultimate Bending Moments (UBM) are calculated. These Calculations are presented in three main sections.

In the Introduction Section, the objective, the contents and the Methods used is explained.

In the Second Section ; first the ordinates of the BMIL for the Continuous Beam without tapering is calculated with the known methods in the literature. Then the ordinates of the BMIL 's for the tapered beam is calculated with Kinematic and Moving Unit Load Method, taking in to the account, the (λ) ratio of the tapering length and the (h_m/h_o) parameter which gives the rate of change of BMIL 's are calculated for the specified nodes and for the sake of generality, they are given in terms of span length (L_i).

In the Third Section ; again first for the continuous beam without tapering, for a specified span length, Dead Loads (g) and Live Loads (q) are loaded in such a way to give the most unsuitable loading position and the Ultimate Bending Moments are calculated. Then these moments are used to calculate the reinforcement at the specified nodes along the beam and the rate of change of reinforcement in the beam is observed. Then calculations are carried out for the continuous beam with tapering, for the specified (λ) and (h_m/h_o) parameters of the tapering in such a way that the Dead Loads (g) and the live loads (q) are loaded again to the BMIL's in the most unsuitable loading position to obtain the ultimate Bending Moment. Using these moments, consecutively, for $\lambda = 0.50, 0.40, 0.30, 0.20$ and for $h_m/h_o = 2.00, 1.75, 1.50, 1.25$ the total A_{st} value of reinforcing bars are calculated at the mid points of the first and second span and at the intermediate support. The rate of change of reinforcement in the continuous beam is observed over this A_{st} value.

In the final section ; first, concentration is given to the fact that ; as known from the theory of reinforced concrete ; the area of reinforcement in as section increases proportional to the increase in the Bending Moment up to a curtain area of the concrete cross section. Then after , the increase in the area of reinforcement increases in a decreasing manner as the cross section of the concrete increases. Finaly , as the objective of this research , concentration is given to the comparision of this well known fact with the effect of tapering. As a result , it is found that , for a continuous three span tapered beam , if the spans are taken equal length , for $\lambda = 0.20$ and $h_m/h_o = 1.75$, the total area of reinforcement A_{st} is optimum (=minimum).

For the Live Loads , it is found that the decrease in the loads leads to decrease in the ultimate Moments and A_{st} total area of reinforcement is minimum for $\lambda = 0.20$ and $h_m/h_o = 1.50$.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÜÇ AÇIKLIKLI BETONARME
DİKDÖRTGEN KİRİŞLERDE GUSE
YAPIMININ ÇEKME DONATISI
TOPLAMINA ETKİSİ

İnş. Müh. Fatih ALTUN

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilimdalı

Yapı Programında Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Naci YÜCEFER

İSTANBUL , 1994

İÇİNDEKİLER

1. BÖLÜM GENEL GİRİŞ

2. BÖLÜM TESİR ÇİZGİSİNİN TAYİNİ İÇİN YÖNTEMLER

2.1. Giriş	2
2.2. Tesir Çizgileri	2
2.2.1. Tesir Çizgilerinin tayini için yöntemler	3
2.2.2. Tesir Çizgileri aranılan noktalar ve alanların hesabı	3
2.2.3. Tesir Çizgileri yardımı ile kesit tesirini maksimum yapan yükleme durumu ve momentlerin hesabı	4
2.3. Sürekli kirişlerde tesir çizgilerinin kinematik metotla tayini	7
2.3.1. Süreklilik denkleminin elde edilmesi	7
2.3.1.1. <i>Dış yük ve etkiler için yüklem terimleri</i>	8
2.3.1.2. <i>Birim yüklemeler ve sistem terimleri</i>	8
2.3.2. Süreklilik ve süperpozisyon denklemleri	8
2.3.2.1. <i>Süreklilik denkleminin mütemadi kirişlere uygulanması (Clapeyron Denklemi)</i>	10
2.3.3. Vitüel iş yöntemi yardımı ile elastik eğrinin tayini	10
2.3.3.1. <i>Elastik çubuklar için Vitüel iş</i>	11
2.3.4. Sürekli kirişlerde birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	14
2.3.5. Sürekli kirişlerde ara mesnete ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	18
2.3.6. Sürekli kirişlerde ikinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	19
2.4. Sürekli kirişlerde tesir çizgilerinin gezici birim yük yöntemi ile tayini	21
2.5. Değişken atalet momentli (guseli) sürekli kirişlerde tesir çizgilerinin tayini	23
2.6. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde tesir çizgilerinin kinematik yöntemle tayini	23
2.6.1. Guldand tablolarının kullanılması esasları	24
2.6.1.1. <i>Tek tarafı doğrusal guseli kirişler</i>	26
2.6.1.2. <i>Çift tarafı doğrusal guseli kirişler</i>	28
2.6.2. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	29

2.6.3. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde ara mesnete ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	33
2.6.4. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde ikinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin kinematik yöntemle tayini	36
2.7. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde Gezici Birim Yük yöntemi ile tesir çizgilerinin tayini	40

3.BÖLÜM SÜREKLİ KİRİŞ SİSTEMİNİN KİNEMATİK VE GEZİCİ BİRİM YÜK YÖNTEMİ YARDIMI İLE ÇÖZÜLMESİ

3.1. Giriş	42
3.2. Sürekli kirişlerde maksimum momentlerin hesaplanması	42
3.2.1. Sürekli kirişlerde hesaplanan momentlere göre donatı hesabı	45
3.3. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde maksimum momentlerin hesaplanması	49
3.3.1. Guseden dolayı oluşan ilave zati yükün sistem zati yüküne katkıları için yapılan kabul	51
3.3.2. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde hesaplanan momentler için : moment - λ grafikleri değişiminin incelenmesi	59
3.3.3. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde hesaplanan momentler için : moment - hm/h_0 grafikleri değişiminin incelenmesi	64
3.3.4. Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde hesaplanan momentlere göre donatı hesabı	69

SEMBOL LİSTESİ

- A_i : i açıklığında tesir çizgisi ile oluşan alan (m^2)
 A_o : Dikdörtgen kesitin kesit alanı (m^2)
 A_1 : Birinci açıklığa ait tesir çizgisi alanı (m^2)
 A_2 : İkinci açıklığa ait tesir çizgisi alanı (m^2)
 A_3 : Üçüncü açıklığa ait tesir çizgisi alanı (m^2)
 A_G : Guse kesit alanı(m^2)
 A_s : Çekme donatısı kesit alanı (cm^2)
 A_{s1} : Birinci açıklık ortasına ait donatı alanı (cm^2)
 A_{s2} : İkinci açıklık ortasına ait donatı alanı (cm^2)
 A_{sm} : Ara mesnete ait donatı alanı (cm^2)
 A_{st} : Üç açıklıklı sürekli sisteme ait toplam donatı alanı (cm^2)
 A_{smev} : Ek donatı alanı (cm^2)
 a : Sürekli kirişlerde mesnetten tesir çizgisi istenilen noktaya kadar mesafe (m)
 a_G : Tek tarafı doğrusal guseli kirişte guse boyu (m)
 b : Sürekli kirişlerde tesir çizgisi istenilen noktadan ara mesnete kadar olan mesafe
 b_o : Dikdörtgen kesitli kirişe ait genişlik (m)
 b_G : Çift tarafı guseli kirişte guse boyu (m)
 d : Faydalı yükseklik, etkili derinlik (m)
 d' : Pas payı (m)
 E : Malzemeye ait elastisite modülü (N/mm^2)
 F : 1 kN'luk kuvvet değeri (kN)
 F_i : i noktasına uygulanan kuvvetin değeri (kN)
 F_o : Dış yüke karşılık kuvvet değeri (kN)
 f_{yd} : Donatı akma hesap mukavemeti (N/mm^2)
 G : Malzemeye ait kayma modülü (N/mm^2)
 g : Zati yük değeri (kN/m)
 g_o : Dikdörtgen kesite ait zati yük değeri (kN/m)
 g_G : Guse zati yükü (kN/m)
 g^* : Guse katkısında dikkate alındığı zati yük değeri (kN/m)
 h_G : Guseye ait yükseklik (m)
 h_m : Mesnetteki kirişe ait yükseklik değeri (m)
 h_o : Dikdörtgen kesitli kırılte yükseklik değeri (m)
 J : Kesit atalet momenti (m^4)
 i : Yer veya nokta numarası ($i=0,1,2,3$)
 j : Yük etkiyen nokta numarası ($j=0,1,2,3$)

- J_m : h_m yüksekliğindeki kirişin $b_o=1$ m için atalet momenti (m^4)
 J_o : h_o yüksekliğindeki kirişin $b_o=1$ m için atalet momenti (m^4)
 K : $b_w \cdot d^2/M$ değerine karşılık katsayı (cm^2/kN)
 K_d : Sehim kontrolü gerekmeyecek sınır için $b_w \cdot d^2/M$ değeri (cm^2/kN)
 k : Moment tesir çizgileri ordinatları numarası ($k=0,1,2,3,\dots$)
 k_s : Donatı alanı katsayısı (cm^2/kN)
 L_i : i kirişine ait kiriş açıklığı (m)
 L_1 : Birinci kirişe ait kiriş açıklığı (m)
 L_2 : İkinci kirişe ait kiriş açıklığı (m)
 L_3 : Üçüncü kirişe ait kiriş açıklığı (m)
 M : Aranılan noktaya ait sonuç moment diyagramı değeri (kN.m)
 M : Fiktif yüklemenin neden olduğu moment diyagramı
 M_d : Hesap momenti (kN.m)
 M_i : i noktasındaki momentin değeri (kN.m)
 M_o : Dış yükün neden olduğu moment diyagramı
 M_1 : $X_1=1$ hiperstatik yüklemesine karşılık moment diyagramı
 M_2 : $X_2=1$ hiperstatik yüklemesine karşılık moment diyagramı
 M_{so} : İzostatik sistemde dış yükten dolayı moment diyagramı
 M_{s1} : 1 noktasındaki yükten dolayı moment diyagramı
 M_{si} : i noktasındaki fiktif yüklemeden dolayı s noktasında oluşan moment diyagramı
 M_{sg} : Zati yükten dolayı oluşan moment (kN.m)
 M_{sq} : Hareketli yükten dolayı oluşan moment (kN.m)
 $M_{s\xi}$: Aranılan noktaya ait sonuç moment (kN.m)
 M_{sg}^* : Guseli kirişlere ait sonuç zati yük momenti (kN.m)
 $M_{6\xi}$: Guseli kirişte birinci açıklık ortasına ait sonuç moment değeri (kN.m)
 $M_{12\xi}$: Guseli kirişte ara mesnete ait sonuç moment değeri (kN.m)
 $M_{18\xi}$: Guseli kirişte ikinci açıklık ortasına ait sonuç moment değeri (kN.m)
 $M_{4\xi}$: Gusesiz kirişte birinci açıklık ortasına ait sonuç moment değeri (kN.m)
 $M_{10\xi}$: Gusesiz kirişte ara mesnete ait sonuç moment değeri (kN.m)
 $M_{15\xi}$: Gusesiz kirişte ikinci açıklık ortasına ait sonuç moment değeri (kN.m)
 M_{4go} : Gusesiz kirişte birinci açıklık ortası zati yük moment değeri (kN.m)
 M_{10go} : Gusesiz kirişte ara mesnete ait zati yük moment değeri (kN.m)
 M_{15go} : Gusesiz kirişte ikinci açıklık ortası zati yük moment değeri (kN.m)
 M_{4q} : Sürekli kirişte birinci açıklık ortası hareketli yük moment değeri (kN.m)
 M_{10q} : Sürekli kirişte ara mesnete ait hareketli yük moment değeri (kN.m)
 M_{15q} : Sürekli kirişte ikinci açıklık ortası hareketli yük moment değeri (kN.m)
 $M_{12sağ}$: Kirişte sağ ankastrelik momenti değeri (kN.m)

- M_{12sol} : Kirişte sol ankastrelik momenti değeri (kN.m)
 M_{so}^o : İzostatik sistem için dış yük sonucunda s noktası moment değeri (kN.m)
 M_{sf}^o : İzostatik sistemde F kuvvetinin etkidiği noktaya karşılık moment tesir çizgisi ordinatı
 M_{2sf} : İkinci dereceden hiperstatik sistemde F kuvvetinin etkidiği noktaya karşılık moment tesir çizgisi ordinatı
 $M_{2s\xi}$: İkinci dereceden hiperstatik sistem için aranılan noktaya ait sonuç moment tesir çizgisi ordinatı
 N_o : Dış yükün neden olduğu normal kuvvet değeri (kN)
 N : Fiktif yüklemenin neden olduğu normal kuvvet diyagramı
 n : Hiperstatiklik derecesi
 q : Hareketli yük (kN.m)
 u : Guseli kirişte F yüküne karşılık sağ mesnette oluşan deplasman
 v : Guseli kirişte F yüküne karşılık sol mesnette oluşan deplasman
 v_o : Dış yükün neden olduğu kesme kuvveti değeri (kN)
 v : Fiktif yüklemenin neden olduğu kesme kuvveti diyagramı
 $W_{dış}$: Yükten dolayı oluşan dış iş
 $W_{iç}$: Yükten dolayı oluşan iç iş
 X_1 : 1 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen
 X_2 : 2 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen
 X_n : n noktasındaki hiperstatik bilinmeyen
 X_{1f} : F 'in bulunduğu noktaya karşılık 1 noktasında oluşan hiperstatik bilinmeyen
 X_{2f} : F 'in bulunduğu noktaya karşılık 2 noktasında oluşan hiperstatik bilinmeyen
 $X_{1\Delta}$: $\Delta=1$ birimlik zorlanma sonucunda 1 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen
 $X_{2\Delta}$: $\Delta=1$ birimlik zorlanma sonucunda 2 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen
 γ_{bet} : Betonun birim hacim ağırlığı (kN/m³)
 Δ : Virtüel yer değiştirme (1 birimlik dönme)
 Δ_g : Guseli kirişin guseden dolayı zati yüke katkısı (kN/m)
 Δ_{g1} : Tek tarafi doğrusal guseli kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda eşdeğer yayılı yük şiddeti (kN/m)
 Δ_{g2} : Çift tarafi doğrusal guseli kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda eşdeğer yayılı yük şiddeti (kN/m)
 δ_i : i noktasında dış yükten dolayı oluşan deformasyon
 δ_n : X_n hiperstatik bilinmeyen doğrultusundaki deformasyon
 δ_1 : X_1 hiperstatik bilinmeyen doğrultusundaki deformasyon
 δ_2 : X_2 hiperstatik bilinmeyen doğrultusundaki deformasyon
 δ_s : Fiktif yükleme yapılan noktaya ait deformasyon
 δ_{ik} : $X_k =1$ yüklemesinden dolayı i noktasında oluşan deformasyon

- δ_{no} : Dış yükten dolayı n noktasında oluşan deformasyon
 δ_{nn} : $X_n = 1$ yüklemesinden dolayı n noktasında oluşan deformasyon
 δ_{io} : Dış yükten dolayı i noktasında oluşan deformasyon
 δ_{1n} : $X_n = 1$ yüklemesinden dolayı 1 noktasında oluşan deformasyon
 δ_{2n} : $X_n = 1$ yüklemesinden dolayı 2 noktasında oluşan deformasyon
 δ_{1o} : Dış yükten dolayı 1 noktasındaki deformasyon
 δ_{2o} : Dış yükten dolayı 2 noktasındaki deformasyon
 δ_{11} : $X_1 = 1$ yüklemesinden dolayı 1 noktasında oluşan deformasyon
 δ_{12} : $X_2 = 1$ yüklemesinden dolayı 1 noktasında oluşan deformasyon
 δ_{21} : $X_1 = 1$ yüklemesinden dolayı 2 noktasında oluşan deformasyon
 δ_{22} : $X_2 = 1$ yüklemesinden dolayı 2 noktasında oluşan deformasyon
 $\delta_{1\Delta}$: $\Delta = 1$ birimlik zorlanma sonucunda 1 noktasındaki yer değiştirme
 $\delta_{2\Delta}$: $\Delta = 1$ birimlik zorlanma sonucunda 2 noktasındaki yer değiştirme
 δ^*_{ij} : j noktasındaki yükten dolayı i 'de oluşan deplasman
 $\delta^o_{s\Delta}$: İzostatik sistemde $\Delta = 1$ birimlik zorlanma sonucunda s noktasına ait tesir çizgisi ordinatı
 $\delta^2_{s\Delta}$: İkinci dereceden hiperstatik sistemde $\Delta = 1$ birimlik zorlanma sonucunda s noktasına ait tesir çizgisi ordinatı
 $\delta^*_{ij(1)}$: j noktasındaki etkiden dolayı birinci açıklıkta i noktasındaki deplasman
 $\delta^*_{ij(2)}$: j noktasındaki etkiden dolayı ikinci açıklıkta i noktasındaki deplasman
 $\delta^*_{ij(3)}$: j noktasındaki etkiden dolayı üçüncü açıklıkta i noktasındaki deplasman
 η_i : Moment tesir çizgisi ordinatı (m)
 η_{max} : Maksimum moment tesir çizgisi ordinatı (m)
 φ_i : i noktasına uygulanan momentten dolayı dönme
 φ_o : o noktasına uygulanan 1 birimlik zorlanmaya karşılık dönme
 φ_1 : 1 noktasına uygulanan 1 birimlik zorlanmaya karşılık dönme
 φ_2 : 2 noktasına uygulanan 1 birimlik zorlanmaya karşılık dönme
 λ : Guse boyunun kiriş açıklığına oranı
 ρ : Donatı oranı (cm^2/kN)
 ρ_d : Sehim kontrolü gerekmeyecek sınır için donatı oranı (cm^2/kN)
 ρ_{min} : Kullanılacak minimum donatı oranı (cm^2/kN)
 ϕ : Donatı çapı (cm)
 ϕ_{etr} : Etriye çapı (cm)
 χ : Kesme kuvvetini artırıcı yönde bir katsayı

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.	İncelemede esas alınan üç açıklıklı sürekli kiriş.	2
Şekil 2.2.1.	On eşit parçaya ayrılmış olan bir kirişte Tesir çizgisi ile oluşan alan	4
Şekil 2.2.2.	Elde edilen tesir çizgileri için sürekli kirişte zati yükün yüklenmiş hali.	5
Şekil 2.2.3.	Hareketli yükün her bir tesir çizgisi için maksimum moment elde edecek şekilde yüklenmiş hali.	6
Şekil 2.3.1.	Dört açıklıklı bir kiriş üzerinde mesnetlere yapılan birim yükleme	10
Şekil 2.3.2.	Bir ucundan 1 birimlik moment etkileyen kirişte elastik eğri tayini için fiktif yükün yüklenmesi.	12
Şekil 2.3.3.	Kirişe uygulanan 1 birimlik moment sonucundaki elastik eğri.	13
Şekil 2.3.4.	Sürekli kirişte tesir çizgisi istenilen birinci açıklık ortasına Virtüel deplasman uygulanmış hali.	15
Şekil 2.3.5.	Uygulanan $\Delta=1$ birimlik Virtüel dönme sonucunda 0 ve 1 nolu mesnetlerde oluşan dönme açıları.	15
Şekil 2.3.6.	İncelenen sistemde ara mesnet noktalarına yapılmış birim yükleme	16
Şekil 2.3.7.	Sürekli kirişte birim yükleme sonucundaki sehim eğrisi ile birinci açıklık ortasına ait izostatik esas sistem.	17
Şekil 2.3.8.	Sürekli kirişte tesir çizgisi istenilen ara mesnete Virtüel deplasman uygulanmış hali	18
Şekil 2.3.9.	İkinci kirişte tesir çizgisi istenilen ikinci açıklık ortasına Virtüel deplasman uygulanmış hali	19
Şekil 2.3.10.	Birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait tesir çizgileri	21
Şekil 2.6.1.	Değişken atalet momentli üç açıklıklı sürekli kiriş.	24
Şekil 2.6.2.	Parabolik ve doğrusal guseye sahip kiriş çeşitleri.	25
Şekil 2.6.3.	$X_1=1$ hiperstatik bilinmeyen değerinin tek tarafı doğrusal guseli kirişe etkimiş hali	26
Şekil 2.6.4.	On iki çeşit parçaya ayrılmış kirişte F yükünden dolayı oluşan u ve v deplasman değerleri	27
Şekil 2.6.5.	$X_1=1$ ve $X_2=1$ hiperstatik bilinmeyen değerlerinin çift tarafı doğrusal guseli kirişe etkimiş hali	28
Şekil 2.6.6.	İkinci açıklık ortasındaki kirişte $F=1\text{kN}$ luk birim yükten dolayı oluşan deplasmanlar	29
Şekil 2.6.7.	Birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin $\lambda=0.50$ ve h_m/h_0 oranına göre çizilmiş hali	39

Şekil 2.6.8.	Ara mesnete ait tesir çizgisinin $\lambda = 0.50$ ve h_m/h_0 oranına göre çizilmiş hali	39
Şekil 2.6.9.	İkinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin $\lambda = 0.50$ ve h_m/h_0 oranına göre çizilmiş hali	40
Şekil 3.2.1.	Kirişe ait seçilen bo genişliği ve h_0 yüksekliğini gösteren kesit	43
Şekil 3.2.2.	Maksimum momentlere göre moment diyagramı	45
Şekil 3.2.3.	İncelenen sürekli kirişte donatı durumunu gösteren kesit	46
Şekil 3.2.4.	Sürekli kirişte $L_1=L_2=L_3$ olması durumunda simetriden dolayı donatı alanlarının kiriş üzerindeki değerleri	49
Şekil 3.3.1.	Birinci açıklıktaki kirişte guse yükünden dolayı oluşan moment	51
Şekil 3.3.2.	Birinci açıklıktaki kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda oluşan moment	52
Şekil 3.3.3.	İkinci açıklıktaki kirişte guse yükünden dolayı oluşan moment	52
Şekil 3.3.4.	İkinci açıklıktaki kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda oluşan moment	53
Şekil 3.3.5.	Birinci açıklıktaki guseli kirişe ait parametreler	54
Şekil 3.3.6.	Guse zati yükünün hesabı için verilmiş olan guseye ait parametreler	54
Şekil 3.3.7.	İkinci açıklıktaki guseli kirişe ait parametreler	54
Şekil 3.3.2.1.	$q=30$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	59
Şekil 3.3.2.2.	$q=30$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi	60
Şekil 3.3.2.3.	$q=30$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	60
Şekil 3.3.2.4.	$q=50$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	61
Şekil 3.3.2.5.	$q=50$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi	61
Şekil 3.3.2.6.	$q=50$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	62
Şekil 3.3.2.7.	$q=70$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	62
Şekil 3.3.2.8.	$q=70$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi	63
Şekil 3.3.2.9.	$q=70$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi	63

Şekil 3.3.3.1.	$q=30$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	64
Şekil 3.3.3.2	$q=30$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin hm/ho ile değişimi	65
Şekil 3.3.3.3.	$q=30$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	65
Şekil 3.3.3.4.	$q=50$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	66
Şekil 3.3.3.5.	$q=50$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin hm/ho ile değişimi	66
Şekil 3.3.3.6.	$q=50$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	67
Şekil 3.3.3.7.	$q=70$ kN/m hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	67
Şekil 3.3.3.8.	$q=70$ kN/m hareketli yük için ara mesnet momentinin hm/ho ile değişimi	68
Şekil 3.3.3.9.	$q=70$ kN/m hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi	68

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.3.1.	Kirişte oluşan elastik eğriye ait ordinat değerleri	14
Tablo 2.3.2.	Birinci açıklık ortasına ait herbir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları	18
Tablo 2.3.3.	Ara mesnete ait herbir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları	19
Tablo 2.3.4.	İkinci açıklık ortasına ait herbir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları	20
Tablo 2.6.1.	Guselerin incelenmesi için belirli bir guseye ait λ ve $n=J_0/J_m$ değerlerini veren tablo	25
Tablo 2.6.2.	Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatlarının, belirli bir λ ve n için üç açıklıkta kiriş açıklığına bağlı olarak değerleri	31
Tablo 2.6.3.	Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde ara mesnete ait tesir çizgisi ordinatlarının, belirli bir λ ve n için üç açıklıkta kiriş açıklığına bağlı olarak değerleri	34
Tablo 2.6.4.	Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde ikinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatlarının, belirli bir λ ve n için üç açıklıkta kiriş açıklığına bağlı olarak değerleri	37
Tablo 3.2.1.	Gusesiz kirişlerde tesir çizgisinden dolayı oluşan alanların her bir açıklıkta L_i kiriş açıklığına bağlı olarak değerleri	43
Tablo 3.2.2.	Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistemde zati yük momentleri	44
Tablo 3.2.3.	Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistemde hareketli yük momentleri	44
Tablo 3.2.4.	Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistemde aranan noktalara ait sonuç moment değerleri	45
Tablo 3.2.5.	Hesaplanan sonuç momentlerine göre sürekli kiriş boyunca donatı alanları	49
Tablo 3.3.1.	$\lambda=0.50$ ve değişik h_m/h_0 değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları	50
Tablo 3.3.2.	$\lambda=0.40$ ve değişik h_m/h_0 değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları	50
Tablo 3.3.3.	$\lambda=0.30$ ve değişik h_m/h_0 değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları	50
Tablo 3.3.4.	$\lambda=0.20$ ve değişik h_m/h_0 değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları	51
Tablo 3.3.5.	$\lambda=0.00$ ve değişik h_m/h_0 değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları	51
Tablo 3.3.6.	Belirli bir λ ve $n=J_0/J_m$ için guseden dolayı oluşan ilave zati yük değerleri	55

Tablo 3.3.7. $q=30$ kN/m hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri	56
Tablo 3.3.8. $q=50$ kN/m hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri	57
Tablo 3.3.9. $q=70$ kN/m hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri	58
Tablo 3.3.10. $q=30$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı	69
Tablo 3.3.11. $q=50$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı	69
Tablo 3.3.12. $q=70$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı	70
Tablo 3.3.13. $q=30$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait λ ve hm/ho oranına göre sonuç momentler	71
Tablo 3.3.14. $q=30$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait toplam donatı miktarı	71
Tablo 3.3.15. $q=50$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait λ ve hm/ho oranına göre sonuç momentler	72
Tablo 3.3.16. $q=50$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait toplam donatı miktarı	73

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamın her aşamasında sürekli ilgisini ve desteğini gördüğüm, bana değerli fikir ve görüşleri ile yol gösteren Sayın Prof. Naci YÜCEFER 'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımın her kademesinde sürekli ilgisini ve desteğini gördüğüm, çalışmama her zaman olanak sağlayan Sayın Yrd. Doç. Dr. Canan YILMAZ 'a, Sayın Öğr. Gör. Dr. H. Bekir KARA 'ya, Sayın Öğr. Gör. Yaşar UĞUR 'a teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin daktilo aşamasında yardımcı olan Sayın Gökhan DEDEOĞLU 'na, Sayın H. Mustafa PALANCIOĞLU 'na, Sayın Cemal ÇIRAK 'a ve Sayın R.Gökhan GÜNAL 'a teşekkür ederim.



ÖZET

Bu çalışmada ; " Üç Açıklıklı Betonarme Dikdörtgen Kesitli kirişlerde Guse Yapımının Çekme Donatısı Toplamına Etkisi " konusu incelenmiştir. Çalışmanın içeriği şu şekilde yürütülmüştür.

Sürekli sabit atalet momentli (gusesiz) kirişlerde tesir çizgilerinin Kinematik ve Gezici Birim Yük Yöntemi yardımı ile hesabı yapılmıştır. Bu işlemler değişken atalet momentli (guseli) sürekli kirişler içinde belirli bir (λ) ve (h_m/h_o) oranına göre yapılarak, tesir çizgilerinin Kinematik ve Gezici Birim Yük Yöntemi yardımı ile ordinatları elde edilmiştir.

Tesir çizgileri üç açıklıklı sürekli kirişte birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnet için elde edilmiştir. Hesaplanan tesir çizgileri yardımı ile (g) zati yükü ve (q) hareketli yükü sürekli kirişe yüklenerek, seçilen betonarme bir dikdörtgen kesite etkilenen sonuç momentler bulunmuştur. Momentler yardımıyla guseye ait belirli bir (λ) ve (h_m/h_o) oranı için belirtilen noktalarda donatı miktarı hesaplanmıştır. Bulunan donatı miktarları yardımı ile A_{st} toplam donatı alanı elde edilerek sürekli kiriş üzerinde donatı miktarı değişimi incelenmiştir.

Sonuç olarak üç açıklıklı sürekli bir guseli kirişte açıklıklar birbirine eşit olarak alınır, guseye ait $\lambda=0.20$ ve $h_m/h_o=1.75$ değerlerinde minimize edilmiş donatı miktarı bulunmaktadır. Hareketli yük değeri azaldıkça sonuç momentlerde azalmış olup minimize donatı miktarı A_{st} guseye ait belirli bir (λ) ve (h_m/h_o) =1.50 'da minimum olmaktadır.

Üç açıklıklı gusesiz kirişlerde ise, belirli bir kesite kadar donatı miktarı momentte oluşan artma miktarına bağlı olarak artış göstermektedir. Ancak kesit büyüdükçe donatı miktarındaki artma oranı, küçük kesitlere nazaran azalan bir değerde olmaktadır.

SUMMARY

In this research, " The Effect of Tapering on the total amount of Tension Reinforcing Bars in a Three Span Reinforced Concrete Prismatic Beams. " is studied.

The contents of the research is ; First Ordinates of the Bending Moments Influence Lines of Continious Prismatic Beams without tapering is calculated using the Kinematic and Moving Unit Load Method. Simillar calculations are carried out for the Continious Prismatic Beams with tapering with the same method taking in to the account, the (λ) ratio of the tapering length and the (h_m/h_o) parameter which gives the rate of change of tapering height.

Influence Lines are calculated in a three span continious beam for the mid-span nodes at the first and second span and at the intermediate support. Then dead Loads (g) and Live Loads (q) are loaded in the most unsuitable loading position and the Ultimate Bending Moments are calculated for a chosen rectangular cross section. These moments are then used for the specified (λ) and (h_m/h_o) values to calculate the area of reinforcement at the chosen nodes. Then the rate of change of reinforcement in the continious beam is observed over the total area of reinforcement A_{st} .

As a result, it is found that, for a continious three span tapered beam, if the spans are taken equal length, for $\lambda = 0.20$ and $h_m/h_o = 1.75$, the total area of reinforcement A_{st} is minimum. For the continious three span beam without tapering, the area of reinforcement in a section increases proportional to the increase in the Bending Moment. However after a certain increase in the cross section, the area of reinforcement increases in a decreasing manner as the cross section of the concrete increases.

1. BÖLÜM

GENEL GİRİŞ

Sürekli kirişlerde tesir çizgileri ordinatlarının Kinematik ve Gezici Birim yük yöntemi ile hesabı yapılacaktır. Ayrıca değişken atalet momentli sürekli kirişler için Kinematik ve Gezici Birim Yük Yöntemi ile tesir çizgileri ordinatları hesabı verilecektir. Hesaplarda Gezici Birim Yük Yöntemi Kinematik Yöntem ile elde edilen tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü olması açısından kullanılmıştır. İnceleme üç açıklıklı üç açıklıklı eşit sürekli kiriş üzerinde yapılmıştır.

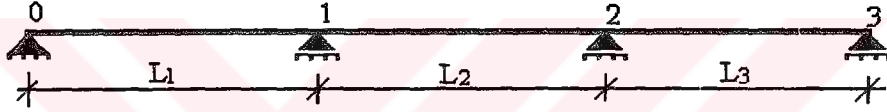


2. BÖLÜM

TESİR ÇİZGİSİNİN TAYİNİ İÇİN YÖNTEMLER

2.1. GİRİŞ

Tez konusunun esası, üç açıklıklı sürekli kirişlerde tesir çizgilerinin kinematik ve gezici birim yük yöntemi ile hesabı verilecektir. Daha sonra üç açıklıklı değişken atalet momentli yani guseli sistemlerin tesir çizgilerinin elde edilmesi anlatılacaktır. Bulunan her bir tesir çizgisi yardımı ile momentlerin hesabı ve bu momentler yardımı ile de donatı hesabı yapılarak, guse yapımından oluşacak toplam donatı değişiminin incelenmesi verilecektir. İncelenecek olan sistem Şekil 2.1'de verilen sistem olup,



Şekil 2.1. : İnceleme de esas alınan üç açıklıklı sürekli kiriş

tesir çizgilerinin elde edilmesinde esas olarak kinematik yöntem ele alınmış ve gezici birim yük yöntemi yardımı ile elde edilmiş olan tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü yapılmıştır.

2.2. TESİR ÇİZGİLERİ

Sistemlerin çoğunda birçok yükleme şartı vardır. Trafik yükü (hareketli yük) köprü elemanlarında yükün köprü üzerindeki konumuna göre, farklı büyüklükte kesit tesirinin oluşmasına neden olur. Böyle bir durumda kesit tesirleri üzerinde kritik olabilecek yük pozisyonu araştırılmalıdır. Bunun tespiti içinde genel olarak tesir çizgileri kullanılmaktadır.

Tesir çizgileri, sistem üzerinde belirli bir doğrultuda hareket eden 1 birimlik bir F kuvvetinden dolayı belli bir kesitteki kesit tesirlerinin (mesnet tepkisi, kesme kuvveti, eğilme momenti gibi) değerini veren diyagramlardır.

Tesir çizgileri birim yüklemeye karşılık çizilmiş olduğu için hakiki yüklemeden dolayı meydana gelen kesit tesirlerini bulmak amacı ile tesir çizgisi ordinatlarını hakiki yüklemenin değeri ile çarpmak gerekir.

Genel olması açısından 1 birimlik düşey kuvvet etkisinde mesnet tepkileri, kesme kuvvetleri ve normal kuvvetlere ait tesir çizgisi ordinatları boyutsuz, eğilme momentine ait tesir çizgisi ordinatları birimi metredir.

Tesir çizgileri yardımı ile söz konusu kesitteki kesit tesirlerini maksimum yapan yükleme durumlarını bulmak mümkün olmaktadır. Burada verilen maksimum mutlak değerce en büyük kesit tesiri anlamındadır.

2.2.1. Tesir Çizgilerinin Tayini İçin Yöntemler

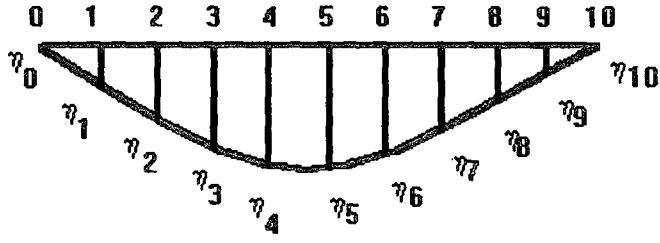
Tesir çizgilerinin tanımını bu şekilde verdikten sonra, Şekil 2.1'de verilen ikinci dereceden hiperstatik sistemin tesir çizgileri tayini yapılmıştır. Esas olarak Kinematik yöntemle tesir çizgileri aranılan noktalar için tesir çizgisi elde edilirken Gezici birim yük yöntemi ise bulunan ordinatların kontrolü olması açısından kullanılmıştır.

Tesir çizgilerinin tayini rasgele seçilen noktalar için hesaplanmamış olup, kritik denebilecek yani en fazla zorlanmanın olduğu kesitler için hesaplanmıştır.

2.2.2. Tesir Çizgileri Aranılan Noktalar ve Alanlarının Hesabı

Tesir çizgileri aranılan noktalar, donatı hesabı için gerekli olması nedeni ile en fazla zorlanma olan kesitlerde dikkate alınmıştır. Bu noktalar Şekil 2.1'de verilen sistemde birinci açıklık ortası, ara mesnet ve ikinci açıklık ortasına ait noktalardır. Eğilme donatıları hesabında kullanılacağı için belirtilen noktalarda momentlere ait tesir çizgisi ordinatları hesaplanmıştır. İncelenen sistemde kiriş açıklıkları $L_1=L_2=L_3$ olarak alındığı için sistem simetriktir. Bu sebepten dolayı inceleme sürekli kirişin yarısına kadar yapılmış simetrik olan diğer noktalarda hesap tekrarlanmamıştır.

Tesir çizgilerinin istenilen noktalar için kinematik ve gezici birim yük yöntemi yardımı ile elde ettikten sonra herbir kirişte tesir çizgisine ait alanlar hesaplanmıştır. Bu alanların hesabında esas alınan kaide, parçalara ayrılmış olan kirişin herbir parçasının trapezden oluştuğu kabul edilmektedir. Sonuçta herbir trapez alanının toplanması sureti ile, bu aralık için tesir çizgisinin kiriş eksenine meydana getirdikleri alan elde edilmektedir. Şekil 2.2.1'de verildiği gibi on eşit parçaya ayrılmış olan



Şekil 2.2.1 : On eşit parçaya ayrılmış olan bir kirişte tesir çizgisi ile oluşan alan

bir kirişte bu aralık için alan değeri İfade 2.2.1 yardımı ile

$$A_i = \frac{L_i}{10} \left(\frac{\eta_0}{2} + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 + \eta_6 + \eta_7 + \eta_8 + \eta_9 + \frac{\eta_{10}}{2} \right) \quad (\text{İfade 2.2.1})$$

olarak hesaplanmaktadır.

A_i : istenilen açıklığa ait alanın değeri (m^2)

L_i : i kirişine ait kiriş açıklığı (m)

Kiriş oniki eşit parçaya ayrılmış olması durumunda alan değeri İfade 2.2.2 yardımı ile

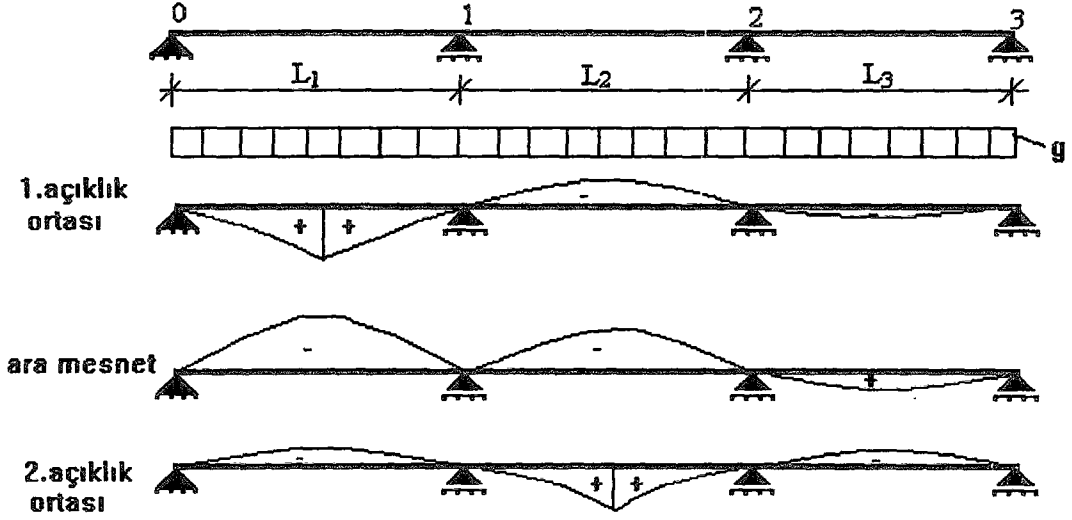
$$A_i = \frac{L_i}{12} \left(\frac{\eta_0}{2} + \eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 + \eta_5 + \eta_6 + \eta_7 + \eta_8 + \eta_9 + \eta_{10} + \eta_{11} + \frac{\eta_{12}}{2} \right) \quad (\text{İfade 2.2.2})$$

olarak elde edilmektedir. İncelenen sistemde , daha önce belirtilmiş noktalara ait tesir çizgileri için her bir açıklıkta alanlar, sürekli kirişlerde İfade 2.2.1 ve değişken atalet momentli kirişlerde İfade 2.2.2 yardımı ile hesaplanarak bulunmuştur.

2.2.3. Tesir Çizgileri Yardımı ile Kesit Tesirini Maksimum Yapan Yükleme Durumu ve Momentlerin Hesabı

Tesir çizgisi alanları her bir açıklık için hesaplandıktan sonra diyagramlara yapılacak yüklemelere göre aranılan noktaya ait maksimum kesit tesiri hesaplanmış olmaktadır. Maksimum ifadesi söz konusu açıklıkta veya mesnetteki kesitlerde meydana gelebilecek en büyük kesit tesiri anlamındadır. Belirtilen noktalara ait tesir çizgilerine en büyük zorlanmayı verecek şekilde yükleme yapmak suretiyle bu noktalara ait maksimum momentler hesaplanmış olmaktadır.

Bu momentlerin hesaplanması g zati yükü ve q hareketli yükü için olmaktadır. İşlem olarak ilk önce Şekil 2.2.2'de verildiği gibi g zati yükü sistemde tamamen



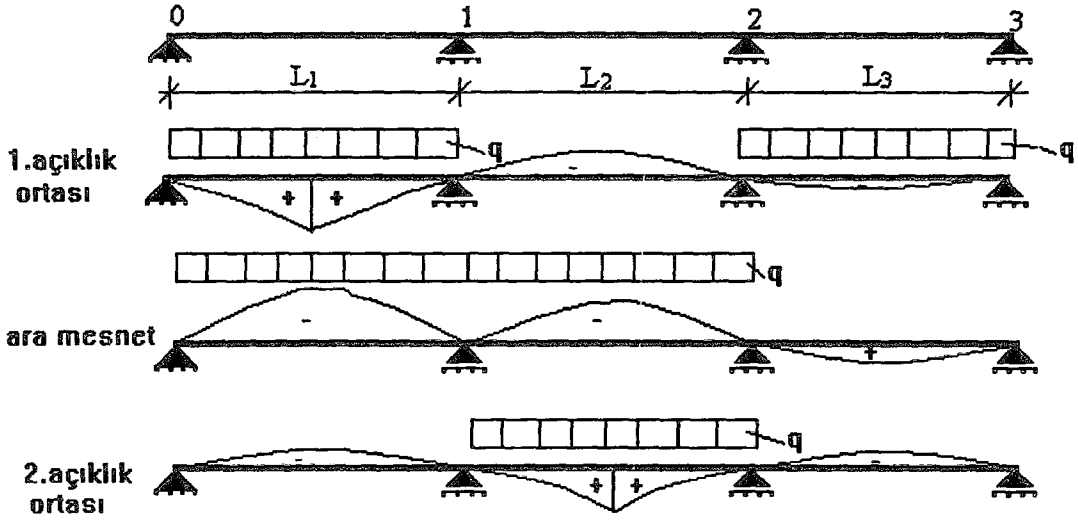
Şekil 2.2.2 : Elde edilen tesir çizgileri için sürekli kirişte zati yükün yüklenmiş hali

yüklenerek Mg zati yük momenti İfade 2.2.3 de verildiği gibi birinci ve ikinci açıklık

$$Mg = g * (A_1 + A_2 + A_3) \quad (\text{İfade 2.2.3})$$

ortası ile mesnet için hesaplanmış olmaktadır.

Hareketli q yükü için aranılan en büyük momentin hesabı ise, mutlak değerce büyük aralığa q hareketli yükünün yüklenmesi sonucunda M_{sq} hareketli yük momenti hesaplanmış olmaktadır. Bu yükleme durumu her bir noktaya ait hareketli yük momenti için Şekil 2.2.3 de verilmiştir.



Şekil 2.2.3 : Hareketli yükün her bir tesir çizgisi için maksimum moment elde edecek şekilde yüklenmiş hali

Hareketli yükten dolayı meydana gelen momentler sırası ile

$$\text{Birinci açıklık ortası} \quad : \quad M_{sq} = q * (A_1 + A_3) \quad (\text{İfade 2.2.4})$$

$$\text{Ara mesnet} \quad : \quad M_{sq} = q * (A_1 + A_2) \quad (\text{İfade 2.2.5})$$

$$\text{İkinci açıklık ortası} \quad : \quad M_{sq} = q * A_2 \quad (\text{İfade 2.2.6})$$

ifadeleri sonucunda hesaplanmıştır.

Bulunan zati yük momenti M_{sg} ile hareketli yük momenti M_{sq} süperpoze ifadesi olarak verilen İfade 2.2.7 yardımı ile

$$M_{s\xi} = 1.4 M_{sg} + 1.6 M_{sq} \quad (\text{İfade 2.2.7})$$

M_{sg} : Zati yükten dolayı oluşan moment (kN.m)

M_{sq} : Hareketli yükten dolayı oluşan moment (kN.m)

$M_{s\xi}$: Aranılan nokta için sonuç moment (kN.m)

bulunarak sonuç momentler istenilen noktalar için hesaplanmış olmaktadır.

Sürekli kirişlerin tesir çizgilerinin tayini sırası ile kinematik ve gezici birim yük yöntemi yardımı sonucunda şu şekilde olmuştur.

2.3. SÜREKLİ KİRİŞLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN KİNEMATİK METOTLA TAYİNİ

Sürekli kirişlerde kinematik metot özellikle hareketli yüklerin etkili olduğu yapı tipleri kullanılmaktadır. Ayrıca, kinematik metotla tesir çizgilerinin tayini şu sebeplerden dolayı daha elverişli olmaktadır.

- _ Sistemde sadece bir kesit tesirinin tesir çizgisi isteniyor ise,
- _ Tesir çizgisini hesaplamadan önce şeklini tahmin etmek gerekiyor ise,
- _ Mütemedi kirişlere ait tesir çizgisi çiziliyor ise.

Kinematik yöntemle çözümde sağlanan avantajları bu şekilde sıraladıktan sonra tesir çizgisi tayininde gerekli olan süreklilik denklemleri ve sistemdeki kirişlere ait elastik eğri değerleri sırası ile şu şekilde elde edilmiştir.

2.3.1. Süreklilik Denkleminin Elde Edilmesi

Hiperstatik olan bir sistemi çözebilmek için evvela hiperstatiklik derecesi olan n tespit edilmelidir. Daha sonra bu n hiperstatiklik derecesi kadar mafsal oluşturmak suretiyle sistem izostatik hale getirilir. Bu mafsal koyduğumuz noktalarda, hiperstatik sisteme nazaran süreklilik şartları bozulmuştur ; mafsalın iki tarafındaki kesitler mafsal konmadan önce sürekli iken, mafsalın konması ve dış yüklerin etkisi ile birbirlerine nazaran dönebilmektedirler. Bozulan süreklilik şartlarını tekrar gerçekleştirebilmek için, mafsallara $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ kuvvet çiftlerinin etkidiği düşünülür. Bu etkiyen $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ kuvvet çiftlerinin değerleri ilk başlangıçta bilinmemektedir.

$$\begin{array}{ll}
 X_1' \text{ in tatbik noktası ve doğrultusundaki deformasyon} & \delta_1 \\
 X_2' \text{ in tatbik noktası ve doğrultusundaki deformasyon} & \delta_2 \\
 \cdot & \cdot \\
 \cdot & \cdot \\
 X_n' \text{ in tatbik noktası ve doğrultusundaki deformasyon} & \delta_n
 \end{array}$$

ile gösterilir ise, hiperstatik sisteme ait süreklilik şartlarının gerçekleşmesi için $\delta_1=0, \delta_2=0, \delta_3=0, \dots, \delta_n=0$ olmak zorundadır. $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots, \delta_n$ deformasyonları $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 'e bağlı olarak hesaplandığında oluşan denklem sistemlerinden $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ 'ler çözülür.

Hiperstatik sistemi izostatik hale getirmek için ortadan kaldırılan iç kuvvetler veya mesnet reaksiyon kuvvetleri $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ olarak sembollendirilir. Bu kuvvet çiftleri hiperstatik bilinmeyen olarak adlandırılmaktadır.

2.3.1.1. Dış Yük ve Etkiler İçin Yükleme Terimleri

Hiperstatik bilinmeyenlerin yüklenmesi sonucunda seçilen izostatik esas sistemde, bütün hiperstatik bilinmeyenlerin sifıra eşit kılınıp sadece dış tesirlerle (dış yük, sıcaklık farkı, mesnet hareketi) yüklenmesine dış yükleme denir.

Hiperstatik bilinmeyenlerin tatbik noktalarında ve doğrultularında meydana gelen yer değiştirmeler ise yük terimi olarak isimlendirilir.

δ_{i0} : X_i 'nin tatbik noktası ve doğrultusunda dış yüklerin sebep olduğu yer değiştirme (yük terimi).

2.3.1.2. Birim Yükleme ve Sistem Terimleri

Hiperstatik bilinmeyenlere birim değer vererek izostatik esas sistemin bu değerlerle tek tek yüklenmesine birim yükleme denir. $X_1=1, X_2=1, X_3=1, \dots, X_k=1, \dots, X_n=1$ olmak üzere kaç tane hiperstatik bilinmeyen varsa o kadar birim yükleme yapılacak demektir. Birim yüklemelerden dolayı hiperstatik bilinmeyenlerin tatbik noktaları ve doğrultularında meydana gelen yer değiştirmeler sistem terimi olarak isimlendirilirler. Bu yer değiştirmelerin değeri dış yüklerle ilgili olmayıp sadece izostatik sistemin geometrisine bağlıdır.

δ_{ik} : $X_k=1$ yüklemesinden dolayı $i=1,2,3, \dots$ noktalarında kiriş eksenine dik olarak ($F=1$ doğrultusunda) meydana gelen yer değiştirme

k : Sebep olup birim yükleme yapılan noktadır

i : Adres veya yer olup $i=1,2,3, \dots$ değerini alır

2.3.2. Süreklilik ve Süperpozisyon Denklemleri

İzostatik esas sistemde bozulan süreklilik şartlarının gerçekleşebilmesi için $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i, \dots, X_n$ hiperstatik bilinmeyenleri öyle değerler olmalıdır ki $\delta_1=0, \delta_2=0, \delta_3=0, \dots, \delta_i=0, \dots, \delta_n=0$ olsun.

İzostatik sistemde X_i 'nin tatbik noktası ve doğrultusunda meydana gelen yer değiştirmeler

Dış yüklerden dolayı : δ_{i0}

$X_k=1$ birim yüklemesinden dolayı : δ_{ik}

X_k yüklemesinden dolayı : $\delta_{ik} \cdot X_k$

hiperstatik bilinmeyenlerden meydana gelen toplam yer değiştirmeler İfade 2.3.1'de

$$\delta_i = \delta_{i0} + \sum_{k=1}^n \delta_{ik} X_k \quad (\text{İfade 2.3.1})$$

olarak yazılabilmektedir.

Süreklielik şartı gereği $\delta_i=0$ olması nedeni ile ifade 2.3.1 olarak düzenlenecek

$$\delta_{i0} + \sum_{k=1}^n \delta_{ik} X_k = 0 \quad (\text{İfade 2.3.2})$$

olursa, genel bir sonuç elde edilmiş olmaktadır. i kesiti için yazılan bu denklem n 'inci dereceden hiperstatik bir sistem için $i=1,2,3,\dots,n$ olmak üzere İfade 2.3.3' deki gibi n tane yazılırsa,

$$\begin{aligned} \delta_{10} + \delta_{11}.X_1 + \delta_{12}.X_2 + \dots + \delta_{1n}.X_n &= 0 \\ \delta_{20} + \delta_{21}.X_1 + \delta_{22}.X_2 + \dots + \delta_{2n}.X_n &= 0 \\ \dots & \\ \delta_{i0} + \delta_{i1}.X_1 + \delta_{i2}.X_2 + \dots + \delta_{in}.X_n &= 0 \\ \dots & \\ \delta_{n0} + \delta_{n1}.X_1 + \delta_{n2}.X_2 + \dots + \delta_{nn}.X_n &= 0 \end{aligned} \quad (\text{İfade 2.3.3})$$

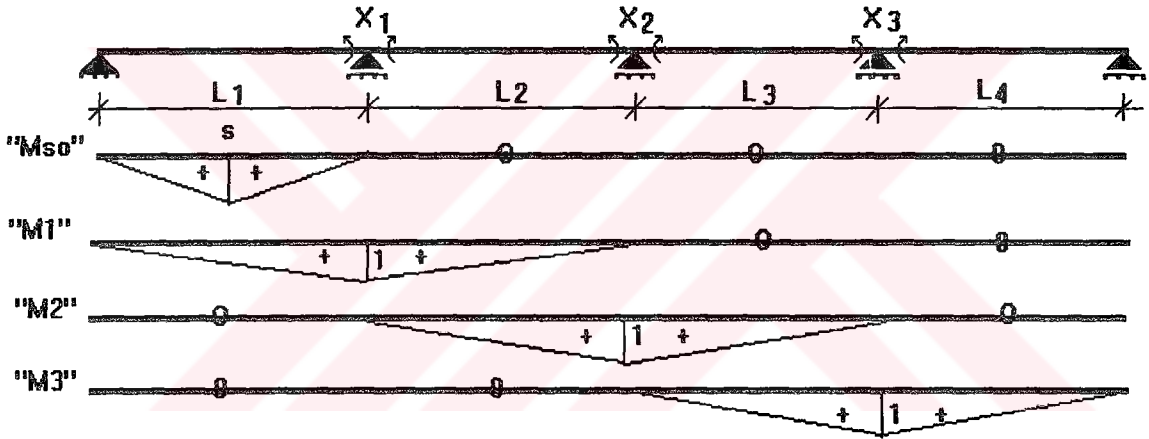
olacak şekilde denklem sistemi elde edilir. Süreklielik denklemleri olarak isimlendirilen bu denklemlerden $X_1, X_2, X_3,\dots,X_i,\dots,X_n$ hiperstatik bilinmeyenleri çözümlenir. Hesaplanan hiperstatik bilinmeyenler yardımı ile hiperstatik sistemin kesit tesirleri, sıfır yüklemesinden ve birim yüklemelerden hesaplanan kesit tesirlerinin süperpozisyonu ile bulunur. Sonuç kesit tesirleri ise İfade 2.3.4' de verilen süperpozisyon ifadesi yardımıyla

$$\begin{aligned} M &= M_0 + M_1.X_1 + M_2.X_2 + \dots + M_n.X_n \\ Q &= Q_0 + Q_1.X_1 + Q_2.X_2 + \dots + Q_n.X_n \\ N &= N_0 + N_1.X_1 + N_2.X_2 + \dots + N_n.X_n \end{aligned} \quad (\text{İfade 2.3.4})$$

olarak bulunmaktadır.

2.3.2.1. Süreklilik Denklemine Mütemadi Kirişlere Uygulanması (CLAPEYRON DENKLEMİ)

Mütemadi kirişleri çözerken hiperstatik bilinmeyen olarak mesnet momentlerinin seçilmesi hesaplarda kolaylık sağlamaktadır. Bu durumda izostatik esas sistem basit kirişlerden meydana gelen bir sistem olacağından, sıfır yüklemesine ait olan moment diyagramını her açıklık için basit kirişte olduğu gibi kolayca hesaplanabilir. Birim yüklemelere ait olan moment diyagramında sadece birim yükleme yapılan mesnedin iki tarafındaki açıklıkta devam edeceğinden bütün δ_{ik} 'lar $i - k \geq 2$ için sıfır olacaktır. Zira söz konusu bu mesnetlerde yapılan yüklemenin etkisi kalmamıştır. Şekil 2.3.1' de dört açıklıklı bir kiriş üzerinde bu durum gösterilmiştir.



Şekil 2.3.1 : Dört açıklıklı bir kiriş üzerinde mesnetlere yapılan birim yükleme

Şekildeki örnek kesitten görüldüğü gibi, mütemadi kirişlerde hiperstatik bilinmeyen olarak mesnetlerin seçilmesi halinde süreklilik denklemindeki bilinmeyen sayıları azalmaktadır. Zira $\delta_{13} = \delta_{31} = 0$ olup, süreklilik denklemindeki bilinmeyen sayısı azalmıştır.

Süreklilik denkleminin bu şekilde tespiti ve sürekli kirişlere uygulanmasında dikkat edilecek noktalar verildikten sonra, sistemdeki kirişlere ait elastik eğri ordinatları şu şekilde hesaplanmıştır.

2.3.3. Virtüel İş Yöntemi Yardımıyla Elastik Eğrinin Tayini

Tesir çizgilerine ait ordinatları elde etmek için yapılacak işlem, elastik eğri ordinatlarını hiperstatik bilinmeyenler ile süperpoze etmekten ibarettir. Bundan dolayı

belirli bir L_i kiriş açıklığına göre elastik eğri değerlerinin hesaplanarak hazır bulunması gerekmektedir. Elastik eğri, kiriş üzerindeki yüklerden dolayı belirli bir aralık boyunca alınan noktalar için hesaplanan deplasmanların düşey yönde bir ölçüğe bağlı olarak taşınıp birleştirilmesi sonucunda oluşan eğrilerdir.

İşlem olarak çubuklar yeteri kadar eşit aralıklara bölünecektir. Yapılan çalışmalar boyunca gusesiz kirişler on eşit parçaya, guseli kirişler de oniki parçaya bölünmüş olarak dikkate alınmıştır. Guseli kirişlerin oniki eşit parçaya bölünmüş olma nedeni, guldan tablolarının kirişleri oniki eşit parçaya bölünmüş olarak dikkate almasından kaynaklanmaktadır. Gusesiz sistemde kontrol olması açısından oniki eşit parçaya göre incelenmiş ancak sonucu etkileyecek derecede bir değerle karşılaşmamıştır.

Elastik eğrinin tayini Virtüel iş ve Mohr metodu yardımıyla yapılabilmektedir. Ancak çözümde daha kısa ve yeni olması bakımından Virtüel iş yöntemi kullanılmıştır. Virtüel iş yöntemi yardımı ile kirişe ait elastik eğrinin hesabı şu şekilde olmuştur.

2.3.3.1. Elastik Çubuklar İçin Virtüel İş

Katı olmayan bir cisme gerçekte etki eden kuvvet ve eğilme momentlerinden dolayı şekil değişikliği olacaktır. Cisim şekil değiştirirken bazı kabuller yapmak gerekmektedir.

Bu kabuller :

- _ Şekil değiştirmeler cisim uzunluklarına nazaran hatırı sayılır derecede küçük,
- _ Cisimler için Hook kanunu geçerlidir. Birim şekil değiştirmelerle yada kuvvetlerle deplasmanlar ve momentlerle de dönme açıları doğrusal (orantılı)'dır,
- _ Katı cismin bir yerinden kesim yapılarak bu kesim yapılan noktanın elastik olduğu varsayılır.

Bu varsayımla elde edilen sonucu bütün kesitlerin elastik olması ile genelleştirebiliriz.

Bir cisme küçük bir dönme uygulanınca kuvvetler yer değiştirmeleri ile orantılı olarak, diğer taraftan momentler dönmeleri ile orantılı olarak iş yapar. Bunun sonucunda ifade 2.3.5 ile cisme uygulanan dış yükler sonunca yapılan dış iş,

$$W_{dış} = \sum F_i \cdot \delta_i + \varphi \sum M_i \quad (\text{İfade 2.3.5})$$

olarak verilir. Bu ifadede ,

F_i : i noktasına uygulanan kuvvetin değeri

δ_i : F_i kuvvetinden dolayı i noktasında oluşan deplasman

φ : i noktasına uygulanan momentten dolayı oluşan dönme

M_i : i noktasındaki momentin değerini göstermektedir.

Virtüel deformasyon işi ise, F_o yüklemesinden meydana gelen kesit tesirlerinin \bar{F} fiktif yüklemesindeki deformasyon dolayısı ile yaptıkları iştir.

F_o yüklemesinden meydana gelen kesit tesirleri N_o, V_o, M_o

\bar{F} yüklemesinden meydana gelen kesit tesirleri $\bar{N}, \bar{V}, \bar{M}$

ile gösterilirse, sonsuz küçük ds çubuk elemanındaki virtüel deformasyon sonuçta çubuk boyunca İfade 2.3.6' da verilmektedir.

$$W_{i\checkmark} = \int_0^L \frac{N_o \cdot \bar{N}}{E \cdot A} ds + \int_0^L \chi \frac{V_o \cdot \bar{V}}{G \cdot A} ds + \int_0^L \frac{M_o \cdot \bar{M}}{E \cdot I} ds \quad (\text{İfade 2.3.6})$$

olarak verilmektedir. Bu ifadede kesme kuvvetinden dolayı oluşan deformasyon çok küçük olup ihmal edilir. Normal kuvvet etkisi ise incelenen sistemde olmadığı için sonuçta virtüel iş teoreminin çubuk sistemlerdeki genel denklemi $W_{i\checkmark}$ ve $W_{dış}$ işinin eşitliğinden İfade 2.3.7' de

$$\sum F_i \cdot d_i + \varphi \cdot \sum M_i = \int_0^L \frac{M_o \cdot \bar{M}}{E \cdot I} ds \quad (\text{İfade 2.3.7})$$

verilmiştir. İfadede verilen parametreler,

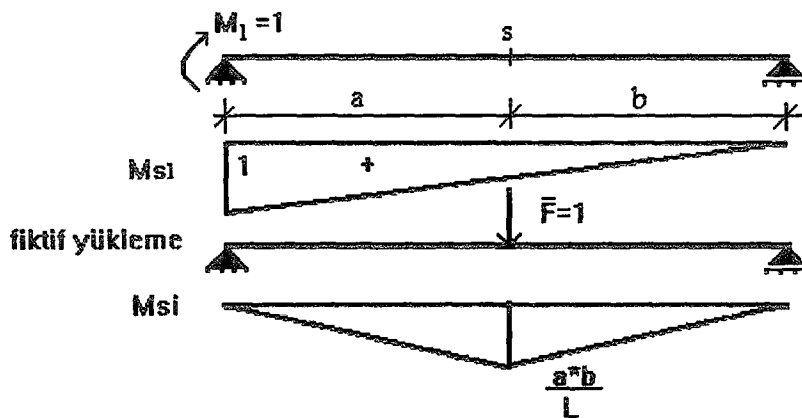
M_o : Dış yükten dolayı meydana gelen moment diyagramı (kN.m)

\bar{M} : Fiktif yükleden dolayı meydana gelen moment diyagramı (kN.m)

E : Kullanılan malzeme elastisite modülü (N / mm²)

I : Hesap edilen kesit atalet momenti (m⁴)

göstermektedir. İncelenen sistemde bir uçundan 1 birimlik moment etkileyen kiriş için elastik eğri değeri Şekil 2.3.2' de verildiği gibi,



Şekil 2.3.2 : Bir uçundan 1 birimlik moment etkileyen kirişte elastik eğri tayini için fiktif yükün yüklenmesi

dış yük moment diyagramı ile fiktif yükten dolayı oluşan moment diyagramının çarpımı sonucunda hesaplanmaktadır. Sonuçta İfade 2.3.7' de verilen denklemin Şekil 2.3.2' deki sistem için düzenlenmesi sonucunda elastik eğriye ait ordinat değerleri genel olarak İfade 2.3.8' de verilmiştir.

$$F_s \cdot ds = \int_0^L \frac{M_{s1} \cdot M_{si}}{E \cdot I} ds \quad (\text{İfade 2.3.8})$$

M_{s1} : 1 noktasındaki dış yükten dolayı moment diyagramı (kN.m)

M_{si} : Fiktif yükleme sonucundaki moment diyagramı (kN.m)

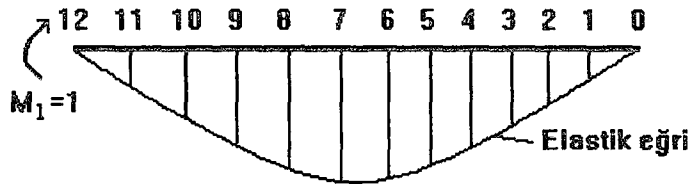
δ_s : Fiktif yükleme yapılan noktaya karşılık aranılan s noktasına ait ordinat değeri (m)

\bar{F}_s : Ordinatu istenilen noktaya yapılan 1 kN 'luk fiktif yükleme' yi

göstermektedir.

$\bar{F}_s=1$ değeri yerine konularak sonuçta integral işlemi iki eğilme momenti alanının çarpımına indirgenmiştir. Bu çarpım da atalet momenti sabit ve doğru eksenli çubuklara ait verilmiş olan moment alanı çarpım tabloları Tablo E.1 yardımı ile s noktasına ait deplasmanlar elde edilmektedir. Tablo E.1' de değişik moment diyagramlarının çarpımı sonucunda integral sonuçları hazır bir şekilde hesaplanmış olarak verilmektedir. Fiktif yükleme yapılırken hangi noktaya ait elastik eğri ordinatı isteniyor ise yükleme o noktaya yapılmıştır.

Sonuçta elastik eğriye ait ordinat değerleri Şekil 2.3.3'de verilen düzende kiriş on



Şekil 2.3.3 : Kirişe uygulanan 1 birimlik moment sonucundaki elastik eğri

veya oniki eşit parçaya ayrılmış olması durumunda Tablo 2.3.1' de kiriş açıklığı $L_1=10m$ için verilmiştir.

Tablo 2.3.1 : Kirişte oluşan elastik eğriye ait ordinat değerleri

Nokta no n	L=10 m.	
	n=10	n=12
1	1.65	1.33
2	3.20	2.75
3	4.55	3.91
4	5.60	4.90
5	6.25	5.77
6	6.40	6.25
7	5.95	6.42
8	4.80	6.15
9	2.85	5.47
10	0.00	4.30
11	—	2.36
12	—	0.00

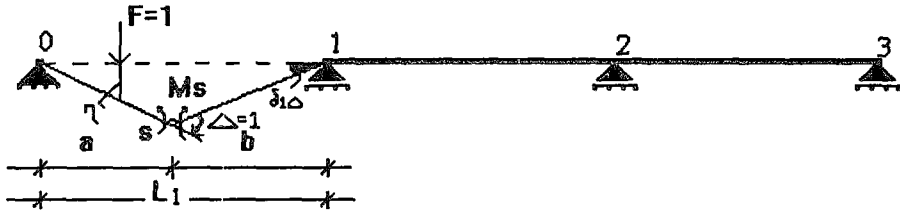
Tablo da verilen n değeri kirişin ayrılmış olduğu parça sayısını göstermektedir. Kirişlere ait elastik eğrinin belirlenmesinden sonra Kinematik yöntemle tesir çizgisi tayinindeki düşünce tarzı tesir çizgisi istenilen noktalarda şu şekilde olmaktadır.

2.3.4. Sürekli Kirişlerde Birinci Açıklık Ortasına Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Tayini

Üç açıklı olan sürekli sistemde birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatlarının tayini için sırası ile şu işlemler yapılmaktadır.

a) Kiriş evvela belirli sayıda aralığa bölünerek tesir çizgisi aranılan s noktası tespit edilir.

b) Elde edilen s noktasına bu noktadaki moment kesit tesirini geçici olarak açığa çıkartaçak şekilde bir mekanizma takıldığı düşünülür. Neticede n 'inci dereceden hiperstatik bir sistem yerine (n-1) inci dereceden hiperstatik bir sistem elde edilir. Bu sistemde eklenen mekanizma ile ortadan kaldırılan s noktasına ait M_s kesit tesiri bir dış yük gibi tekrar etki ettirilirse, kesit tesirleri ve deformasyonlar yönünden esas sistemle eşdeğer bir sistem elde edilir. Moment tesir çizgisi arandığı için s noktasına mafsal takılmaktadır. Mekanizmanın bulunduğu s kesitine mekanizmanın cinsine ve buradaki moment kesit tesiri ile ters yönde olmak üzere $\Delta = 1$ birimlik bir Virtüel yer değiştirme (dönme) uygulanır. Bunun sonucunda Şekil 2.3.4' de verilen sistem oluşmaktadır.



Şekil 2.3.4 : Sürekli kirişte tesir çizgisi istenilen birinci açıklık ortasına Virtüel deplasman uygulanmış hali

Uygulanan virtüel deplasman $\Delta = 1$ birimlik dönme olup katı bir cisim için dış işlerin dengesini yazacak olursak,

$$W_{dış} = 0$$

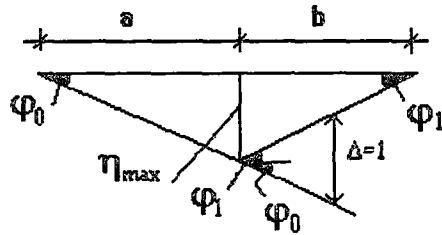
$$W = F \cdot \eta - M \cdot \Delta \text{ 'dan } F=1, \Delta = 1$$

$$M = \eta$$

olarak bulunmaktadır. Buradan $\Delta = 1$ için oluşan sehim eğrisi, $F=1$ için s noktasındaki momenti vermektedir. Oluşan diyagram M_{s0} yani dış yükten dolayı oluşan moment diyagramıdır. Bu diyagramın en büyük ordinatı İfade 2.3.9 yardımı ile hesaplanarak ,

$$\eta_{max} = \frac{a \cdot b}{L_1} \quad (\text{İfade 2.3.9})$$

diğer noktalara ait ordinatlar Tales benzerlik teoremi yardımı ile bulunur. Ayrıca Şekil 2.3.5' de verilen açılardan $\varphi_1 + \varphi_2$ 'in toplanarak Δ 'ya eşitlenmesi

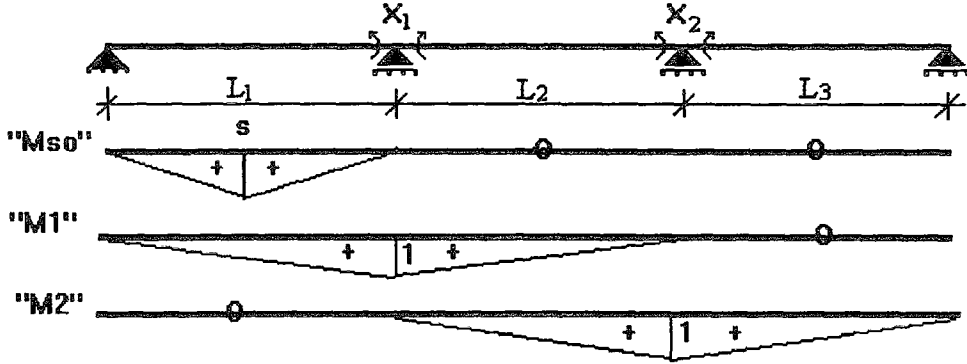


Şekil 2.3.5 : Uygulanan $\Delta=1$ birimlik Virtüel dönme sonucunda 0 ve 1 nolu mesnetlerde oluşan dönme açıları

sonucunda şekilde η_{max} elde edilmektedir.

c) Seçilen sistem ikinci dereceden hiperstatik bir sistem olup ara mesnet noktalarına gelecek şekilde mafsal koymak suretiyle izostatik bir sistem elde edilir.

Netice olarak basit kirişlerden meydana gelen bir sistem elde edilmiş olup Şekil 2.3.6'da hiperstatik bilinmeyenler ve bunun sonucunda oluşan M_1 ile M_2 diyagramları verilmiştir.



Şekil 2.3.6 : İncelenen sistemde ara mesnet noktalarına yapılmış birim yükleme

$X_1 = 1$ yüklemesine karşılık elde edilen diyagram M_1

$X_2 = 1$ yüklemesine karşılık elde edilen diyagram M_2

Süreklilik denklemini bu üç açıklıklı kiriş için ve $\Delta = 1$ zorlanmasına göre düzenlenerek İfade 2.3.10' daki denklem sistemi elde edilir.

$$\delta_{1\Delta}^* + \delta_{11}^* X_{1\Delta} + \delta_{12}^* X_{2\Delta} = 0 \quad (\text{İfade 2.3.10})$$

$$\delta_{2\Delta}^* + \delta_{21}^* X_{1\Delta} + \delta_{22}^* X_{2\Delta} = 0$$

Denklem sisteminin çözümü yardımıyla uygulanan $\Delta = 1$ birimlik dönme sonucunda

$X_{1\Delta}$: 1 nolu noktadaki hiperstatik bilinmeyen

$X_{2\Delta}$: 2 nolu noktadaki hiperstatik bilinmeyen

değerleri elde edilir.

Denklem sisteminin çözümü için şekilde verilen hiperstatik bilinmeyenlere karşılık bulunan M_1 ve M_2 diyagramı ile $\Delta = 1$ birimlik bir dış etki sonucunda elde edilen M_{s0} diyagramları kullanılmaktadır. Süreklilik denklemindeki δ_{11}^* , δ_{22}^* , δ_{12}^* ve δ_{21}^* deplasmanları moment alanları çarpım tablosu ile Tablo E.1' den elde edilirken, $\delta_{1\Delta}^*$ ile $\delta_{2\Delta}^*$ değerleri uygulanan $\Delta = 1$ birimlik dönme sonucunda şu şekilde bulunur. Tesir çizgisi istenilen s noktasına virtüel deplasman uygulanması sonucunda değerimiz

$$\delta_{1\Delta}^* = \frac{\eta \max}{b} = \frac{a}{l_1} \quad \text{ve} \quad \delta_{2\Delta}^* = 0$$

olarak elde edilir.

a : Mesnetten tesir çizgisi aranılan noktaya kadar ki mesafe (m)

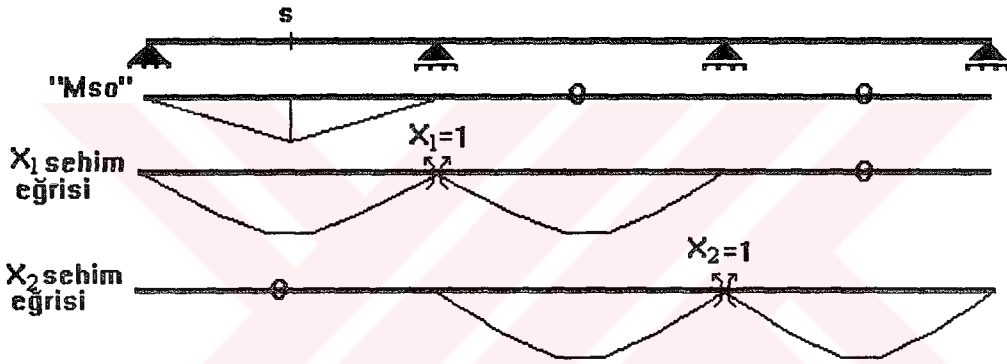
l_1 : Tesir çizgisi aranılan kiriş açıklığı (m)

Mesafe olarak a degeri tam kiriş orta noktası olup $\delta^*_{1\Delta} = 0.5$ dir. Dış etki Δ' dan dolayı 2 nolu mesnette bir etki olmayıp $\delta^*_{2\Delta} = 0$ olmuştur. Deplasman değerleri δ_{ij} ' nin yıldızlı olarak gösterilmesi nedeni, E.I ile δ_{ij} değerinin çarpılmış olduğunu

$$\delta^*_{ij} = \delta_{ij} \cdot E.I$$

vermek içindir. Hesaplanan deplasman değerlerinin süreklilik denkleminde yerlerine konulup denklem sisteminin çözülmesi ile $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hiperstatik bilinmeyenleri hesaplanır.

d-) Dahâ önce hesaplanmış olan, birim yüklemeye karşılık sehîm eğrisi ile $\Delta=1$ birimlik dış etkiden dolayı oluşan M_{s0} diyagramı Şekil 2.3.7' de verilmiştir.



Şekil 2.3.7 : Sürekli kirişte birim yüklemeye karşılık sehîm eğrisi ile birinci açıklık ortasına ait izostatik esas sistem

Bu değerleri kullanmak suretiyle süperpozisyon ifadesi $M = \eta$ eşitliğinden dolayı İfade 2.3.11' de düzenlenmiş

$$M_{s\xi}^2 = M_{s0}^0 + M_{s1} \cdot X_{1\Delta} + M_{s2} \cdot X_{2\Delta} \quad (\text{İfade 2.3.11})$$

$$\delta_{s\Delta}^2 = \delta_{s\Delta}^0 + X_{1\Delta} \cdot \delta_{s1} + X_{2\Delta} \cdot \delta_{s2}$$

olarak elde edilir.

$\delta_{s\Delta}^{(2)}$: ikinci dereceden hiperstatik sistemin s noktasına ait tesir çizgisi ordinatları

$\delta_{s\Delta}^{(0)}$: izostatik sistemin ordinatları

δ_{s1} : X_1 hiperstatik yüklemesinden dolayı elastik eğri ordinatları

δ_{s2} : X_2 hiperstatik yüklemesinden dolayı elastik eğri ordinatları

$X_{1\Delta}$: $\Delta=1$ dış yükünden dolayı 1 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen

$X_{2\Delta}$: $\Delta=1$ dış yükünden dolayı 2 noktasındaki hiperstatik bilinmeyen

Bu ifade yardımı ile her bir ordinat için süperpoze yapılarak birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları elde edilir. Birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları Tablo 2.3.2' de her bir açıklıkta genel olması açısından L_i giriş açıklığına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3.2 : Birinci açıklık ortasına ait her bir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları

Açıklık Nokta no	1.Açıklık	2. Açıklık	3.Açıklık
0	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0494.L ₁	-0.0156.L ₂	0.0046.L ₃
2	0.0995.L ₁	-0.0256.L ₂	0.0077.L ₃
3	0.1509.L ₁	-0.0308.L ₂	0.0095.L ₃
4	0.2042.L ₁	-0.0320.L ₂	0.0102.L ₃
5	0.1600.L ₁	-0.0300.L ₂	0.0100.L ₃
6	0.1190.L ₁	-0.0256.L ₂	0.0090.L ₃
7	0.0819.L ₁	-0.0196.L ₂	0.0073.L ₃
8	0.0490.L ₁	-0.0128.L ₂	0.0051.L ₃
9	0.0218.L ₁	-0.0060.L ₂	0.0026.L ₃
10	0.0000	0.0000	0.0000

2.3.5. Sürekli Kirişlerde Ara Mesnete Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Hesabı

Bu nokta için tesir çizgisi tayininde $\Delta = 1$ birimlik dönme ara mesnete uygulanmaktadır. Bunun sonucunda dış yükten dolayı meydana gelen M_{s0} diyagramının değeri sıfırdır. Uygulanan dönmeden dolayı 1 noktasındaki yer değiştirme $\delta_{1\Delta}=1$ ve 2 noktasındaki yer değiştirme $\delta_{2\Delta}=0$ olmaktadır. Bu zorlanma Şekil 2.3.8' de verilmiş olup, 1 noktasına uygulanan $\Delta = 1$ birimlik dönmeden dolayı oluşan deplasman değerleri gösterilmiştir.



Şekil 2.3.8 : Sürekli kirişte tesir çizgisi istenilen ara mesnete Virtüel deplasman uygulanmış hali

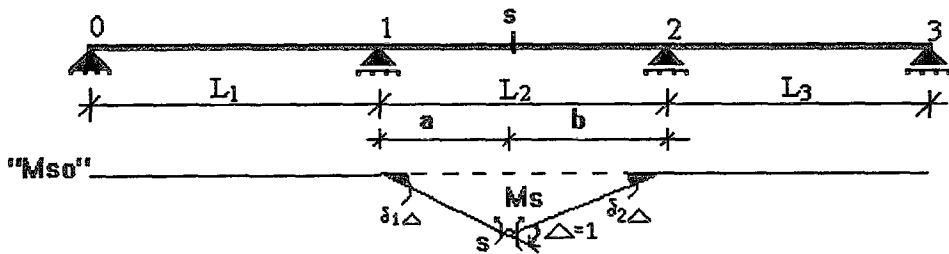
Birinci açıklık ortası tesir çizgisi tayininde olduğu gibi süreklilik denklemi İfade 2.3.10 yardımı ile $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hiperstatik bilinmeyen değerleri elde edilmektedir. Süperpozisyon ifadesi İfade 2.3.11 ile elastik eğri ordinatlarının süperpozisi sonucunda ara mesnete ait tesir çizgisi ordinatları hesaplanmış olmaktadır. Ara mesnete ait tesir çizgisi ordinatları Tablo 2.3.3' de her bir açıklık için genel olması bakımından L_i giriş açıklığına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3.3 : Ara mesnete ait her bir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları

Açıklık Nokta no	1.Açıklık	2. Açıklık	3.Açıklık
0	0.0000	0.0000	0.0000
1	-0.0264. L_1	-0.0390. L_2	0.0114. L_3
2	-0.0512. L_1	-0.0640. L_2	0.0192. L_3
3	-0.0700. L_1	-0.0770. L_2	0.0238. L_3
4	-0.0896. L_1	-0.0800. L_2	0.0256. L_3
5	-0.1000. L_1	-0.0750. L_2	0.0250. L_3
6	-0.1024. L_1	-0.0640. L_2	0.0224. L_3
7	-0.0952. L_1	-0.0490. L_2	0.0182. L_3
8	-0.0728. L_1	-0.0320. L_2	0.0128. L_3
9	-0.0456. L_1	-0.0150. L_2	0.0066. L_3
10	0.0000	0.0000	0.0000

2.3.6. Sürekli Kirişlerde İkinci Açıklık Ortasına Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Tayini

Bu nokta için tesir çizgisini elde etmek amacıyla $\Delta = 1$ birimlik dönme değeri ikinci açıklık ortasına uygulanmaktadır. Bu durumda dış yükten dolayı meydana gelen M_{s0} diyagramı Şekil 2.3.9' da verildiği gibi olmaktadır.



Şekil 2.3.9 : İkinci kirişte tesir çizgisi istenilen ikinci açıklık ortasına Virtüel deplasman uygulanmış hali

Uygulanan $\Delta = 1$ birimlik dönmeden dolayı oluşan deplasman η_{max} şekilde gösterildiği gibi olup değeri İfade 2.3.9' da verilmiştir.

$$\eta_{\max} = \frac{a \cdot b}{l_2}$$

Yine aynı düşünce ile deplasman değerleri s noktası tam orta nokta olduğu için ve sistemin simetrik olmasından dolayı eşit olup

$$\delta_{1\Delta} = \delta_{2\Delta} = \frac{\eta_{\max}}{a} = \frac{\eta_{\max}}{b} = 0.5$$

olarak bulunmaktadır.

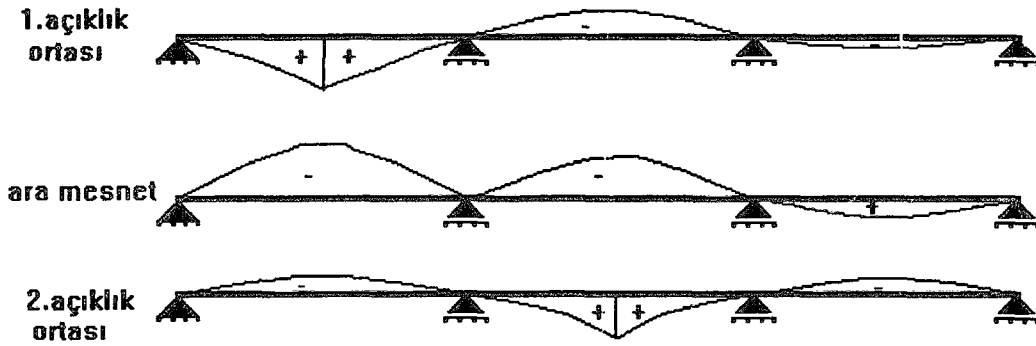
Diğer noktalara ait tesir çizgisi tayininde olduğu gibi süreklilik denklemi İfade 2.3.10 yardımı ile $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hiperstatik bilinmeyen değerleri bulunmaktadır. Elde edilen hiperstatik bilinmeyen değerlerini elastik eğri ordinatları ile süperpoze ederek ikinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları hesaplanmış olmaktadır.

İkinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları Tablo 2.3.4' de her bir açıklık için genel olması bakımından L_i kiriş açıklığına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 2.3.4 : İkinci açıklık ortasına ait her bir açıklıktaki tesir çizgisi ordinatları

Açıklık Nokta no	1.Açıklık	2. Açıklık	3.Açıklık
0	0.0000	0.0000	0.0000
1	-0.0099.L ₁	0.0230.L ₂	-0.0171.L ₃
2	-0.0192.L ₁	0.0520.L ₂	-0.0288.L ₃
3	-0.0273.L ₁	0.0870.L ₂	-0.0357.L ₃
4	-0.0336.L ₁	0.1280.L ₂	-0.0384.L ₃
5	-0.0375.L ₁	0.1750.L ₂	-0.0375.L ₃
6	-0.0384.L ₁	0.1280.L ₂	-0.0336.L ₃
7	-0.0357.L ₁	0.0870.L ₂	-0.0270.L ₃
8	-0.0288.L ₁	0.0520.L ₂	-0.0192.L ₃
9	-0.0171.L ₁	0.0230.L ₂	-0.0099.L ₃
10	0.0000	0.0000	0.0000

Hesaplanmış olan tesir çizgisi ordinat değerleri kiriş ekseninden itibaren belirli bir ölçekle ve işaretleri dikkate alınarak taşınır. Oluşan noktaları birleştiren çizgi aranan noktaya ait $M_s\zeta$ tesir çizgisinin kendisi olmaktadır. Şekil 2.3.10' da birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait tesir çizgileri gösterilmiştir.



Şekil 2.3.10 : Birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait tesir çizgileri

2.4. SÜREKLİ KİRİŞLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN GEZİCİ BİRİM YÜK YÖNTEMİ İLE TAYİNİ

Gezici birim yük yöntemi zaman alıcı bir metot olmasına karşılık, kinematik yöntem yardımı ile hesaplanmış olan tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü olması açısından kullanılmıştır. Yöntemin esası sistem üzerinde her bir nokta için $F = 1$ kN değerinde birim yükün yüklenmesi neticesinde süreklilik denklemi yardımı ile elde edilen hiperstatik bilinmeyen değerlerinin M_{sf}^0 ile M_1 ve M_2 moment diyagramları ordinatlarının süperpozisi sonucunda tesir çizgisi ordinatlarının tayinine dayanmaktadır.

Birinci açıklık ortası için M_{sf}^0 moment diyagramı ile $M_1=0.5$ ve $M_2=0$ alınmak suretiyle Şekil 2.3.6'daki diyagramlar aynen kullanılmaktadır. Bu M_1 ve M_2 diyagramları sistemde ara mesnet noktalarına gelecek şekilde mafsal koymak suretiyle elde edilir. Diyagramlar yardımı ile süreklilik denklemi İfade 2.3.10 için gerekli olan δ_{11}^* , δ_{12}^* , δ_{22}^* ve δ_{21}^* deplasman değerleri integral alanları çarpımı ile Tablo E.1 yardımı sonucunda bulunur.

Sistem üzerinde kiriş boyunca F birim yükünün her bir noktada olması durumu için ayrı ayrı δ_{10}^* ve δ_{20}^* deplasman değerleri elde edilir. Bu değerler

Gezici birim yük birinci açıklıkta iken , $\delta_{10}^* \neq 0$ ve $\delta_{20}^* = 0$

Gezici birim yük ikinci açıklıkta iken , $\delta_{10}^* \neq 0$ ve $\delta_{20}^* \neq 0$

Gezici birim yük üçüncü açıklıkta iken , $\delta_{10}^* = 0$ ve $\delta_{20}^* \neq 0$

olarak verilmiştir. Bu dış etkiden dolayı oluşan δ_{10}^* ve δ_{20}^* deplasmanları, yükün kirişte belirlenen noktalarda olması durumunda oluşan yeni M_{sf}^0 moment diyagramı ile M_1 ve M_2 moment diyagramlarının çarpılması sonucunda moment alanları çarpım tablosu Tablo E.1 yardımı ile elde edilmektedir.

M_{sf}^0 : F kuvvetinin bulunduğu noktaya karşılık moment diyagramıdır.

Sonuçta her bir F yük konumuna karşılık değişik δ^*_{10} ve δ^*_{20} deplasman değerlerine göre yeni hiperstatik bilinmeyen değerleri süreklilik denklemi yardımı ile elde edilmiştir. Daha sonra süperpoze ifadesi İfade 2.3.12 yardımı ile her bir F yük

$$M_{sf}^{(2)} = M_{sf}^{(0)} + X_{1f} \cdot M_1 + X_{2f} \cdot M_2 \quad (\text{İfade 2.3.12})$$

konumu için süperpoze yapılarak istenen noktaya ait tesir çizgisi ordinatları hesaplanmış olmaktadır.

M_{sf}^2 : F kuvvetinin etkidiği noktaya karşılık tesir çizgisi ordinatı

M_{sf}^0 : s noktasındaki moment diyagramı

X_{1f} : F in bulunduğu nokta için 1 noktasında oluşan hiperstatik bilinmeyen

X_{2f} : F in bulunduğu nokta için 2 noktasında oluşan hiperstatik bilinmeyen

M_1 : 1 noktasındaki bir birimlik hiperstatik bilinmeyene ait moment diyagramı

M_2 : 2 noktasındaki bir birimlik hiperstatik bilinmeyene ait moment diyagramı

Ara mesnete ait gezici birim yük yöntemi ile tesir çizgisi için $M_{sf}^0 = 0$ olup süperpozisyon ifadesinde $M_1 = 1$ ve $M_2 = 0$ alınarak ordinatlar bulunur.

İkinci açıklık ortası tesir çizgisi için M_{sf}^0 moment diyagramı Şekil 2.3.9' daki gibi mevcut olup, süperpozisyon İfadesi için de $M_1 = M_2 = 0.5$ alınarak ordinatlar hesaplanır.

Sürekli kirişlerde tesir çizgilerine ait ordinatlar gezici birim yük yöntemi yardımı ile kinematik yöntemde olduğu gibi aynı sonuç olarak hesaplanıp Tablo 2.3.2, Tablo2.3.3 ve Tablo 2.3.4' de verilmiştir. Aranan noktalar için bulunmuş olan tesir çizgileri Şekil 2.3.10' da verilmiştir.

2.5. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ (GUSELİ) SÜREKLİ KİRİŞLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN TAYİNİ

Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde tesir çizgilerini elde etmek için Kinematik yöntem ile Gezici birim yük yöntemi kullanılmıştır. Kinematik yöntem daha önce gusesiz sistemlerde değinilmiş olup, guseli sistemlere ait tesir çizgileri tayini için de ayrıca değinilecektir. Gezici birim yük yöntemide gusesiz sistemlerde verilmiş olmasına karşılık, guseli sistemlerde Kinematik yöntem ile hesaplanmış olan tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü olması açısından sağlıklı ve kesin doğru sonuç elde etmek için kullanılmıştır. Bu iki yöntemin aşağıda sırası ile değişken atalet momentli sürekli kirişlere uygulanması verilecektir.

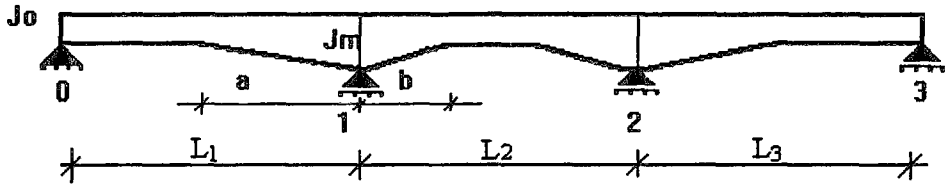
2.6. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE TESİR ÇİZGİLERİNİN KİNEMATİK YÖNTEMLE TAYİNİ

Bu yöntem gusesiz kirişlerde tesir çizgisi tayini için verilmişti. Kinematik yönteminin esası, tesir çizgisi istenilen noktaya $\Delta = 1$ birimlik dönme uygulanması sonucunda, süreklilik denkleminde dış etkiden dolayı meydana gelen δ^*_{10} ve δ^*_{20} deplasman değerleri yerine bu dönme etkisinden dolayı oluşan $\delta^*_{1\Delta}$ ve $\delta^*_{2\Delta}$ deplasman değerlerinin kullanılarak hiperstatik bilinmeyen değerlerinin hesaplanmasından ibarettir. Daha sonra tesir çizgilerine ait ordinatları elde etmek için yapılacak işlem, elastik eğri ordinatlarının hiperstatik bilinmeyenler ile süperpozesine dayanmaktadır. Bundan dolayı belirli bir L_i kiriş açıklığına göre elastik eğri değerlerinin hesaplanarak hazır bulunması gerekmektedir. Ayrıca birim yüklemeler neticesinde oluşan δ^*_{ij} deplasmanları da süreklilik denklemi için gerekmektedir.

Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde atalet momentlerinin sabit olmaması nedeni ile birim yüklemelerden oluşan deplasman değerleri ile elastik eğri ordinatları belirli bir guse için Guldán tarafından çözümlenerek tablo halinde verilmiştir. Değişken atalet momentli sürekli kiriş sistemler için tesir çizgilerinin tayini amacıyla Guldán tabloları şu şekilde kullanılmaktadır.

2.6.1. GULDAN TABLolarININ KULLANILMASI ESASLARI

Guldan tablolarının kullanılması esaslarına değinilmeden önce, guseli bir sistem için guseye ait parametreler Şekil 2.1' deki sürekli kiriş sistemin değışken atalet momentli olması durumunda Şekil 2.6.1' deki şekil üzerinde verilmiştir. İncelenen guse doğrusal bir guse olup,



Şekil 2.6.1 : Değışken atalet momentli üç açıklıklı sürekli kiriş

şekildeki guseye ait parametrelerimiz ise,

ho : kirişte guse hariç yükseklik değeridir.

Jo : ho yüksekliğindeki kirişin bo = 1 m için atalet momenti

hm : mesnetteki kirişe ait yükseklik değeri

Jm : hm yüksekliğindeki kirişin bo = 1 m için atalet momenti

a : tek tarafı doğrusal guseli kirişte guse boyu

b : çift tarafı doğrusal guseli kirişte guse boyu

olarak verilmiştir. Bu parametrelerden

$$\lambda = \frac{\text{guse boyu}}{\text{iki mesnet arası açıklık}} = \frac{a_G}{L_i}$$

değeri, guse uzunluğunun dikkate alınan guseye ait kiriş açıklığına oranıdır. Ayrıca

$$\frac{h_m}{h_0} = \frac{\text{guse maksimum yüksekliği}}{\text{gusesiz kiriş yüksekliği}}$$

oranında, guseye ait en büyük yüksekliğin gusesiz kirişe ait yükseklik oranıdır. Ancak Guldan tablolarının düzenlenmesinde esas alınan oran

$$n = \frac{J_0}{J_m} = \frac{\text{gusesiz kiriş atalet momenti}}{\text{mesnetteki guseli kiriş atalet momenti}}$$

olmaktadır. Bu oranın hesabı ise açıklıktaki kesitin genişliği $bo = 1m$ ve yüksekliği $ho=1m$ alınarak Jo atalet momenti hesaplanmaktadır. Mesnete ait atalet momenti Jm ise, açıklıkta $ho = 1m$ alınıp mesnette seçilen hm/ho oranı yardımı ile hm mesnet yüksekliği bulunarak Jm atalet momenti bulunmaktadır. Kesit dikdörtgen bir kesit olduğu için bu yüksekliklere bağlı olarak atalet momentleri,

$$\text{kiriş ortasında} \quad Jo = (bo \cdot ho^3) / 12$$

$$\text{mesnetteki kirişte} \quad Jm = (bo \cdot hm^3) / 12$$

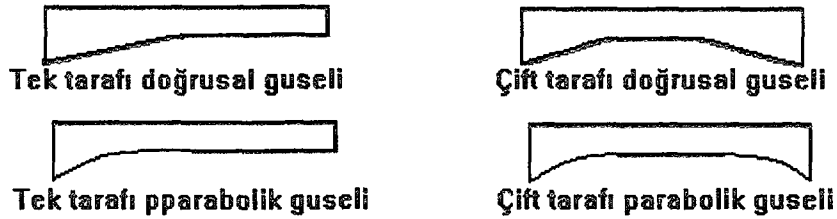
olarak hesaplanmaktadır.

Guselerin incelenmesi için seçilen belirli bir λ değeri ve hm/ho oranına göre bulunan n değerleri düzenlenerek Tablo 2.6.1' de verilmiştir.

Tablo 2.6.1 : Guselerin incelenmesi için belirli bir guseye ait λ ve n değerlerini veren tablo

$\lambda = a/Li$	hm/ho	$n = Jo/Jm$
0.50	2.00	0.12
0.40	1.75	0.19
0.30	1.50	0.30
0.20	1.25	0.50
0.00	1.00	1.00

Değişken atalet momentli sürekli bir sistemin çözümü için Guldani tabloları tek tarafı doğrusal guseli, çift tarafı doğrusal guseli, tek tarafı parabolik guseli ve çift tarafı parabolik guseli olarak düzenlenmiştir. Bu guseli kiriş çeşitleri Şekil 2.6.2' de



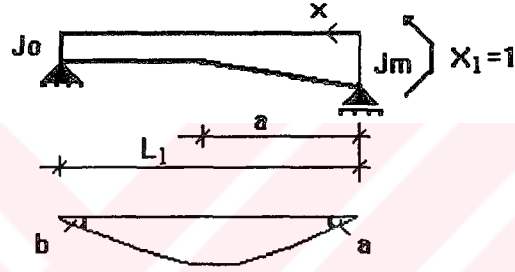
Şekil 2.6.2 : Parabolik ve doğrusal guseye sahip kiriş çeşitleri

olarak verilmiştir. Guldani tabloları Şekil 2.6.2' de verilen ve belirli bir λ ve n değerine sahip guseli kirişlerde, dış yük F 'den dolayı her bir nokta için oluşan elastik eğri ordinat değerleri ve guseli kirişe hiperstatik bilinmeyen olarak etki ettirilen birim yük sonucunda oluşan δ_{ij} deplasman değerlerine göre oluşturulmuştur. İncelemelerde esas

olarak düz guse ile düz guseli kirişler dikkate alınmıştır. Değişken atalet momentli sistemler için tabloların kullanılması değişik guselere ait λ ve n için şu şekilde olmaktadır.

2.6.1.1. Tek Taraflı Doğrusal Guseli Kirişler

Bu tür kirişler bir yönden gusenin bulunduğu kirişlerdir. İncelenen değişken atalet momentli sürekli sistemde Şekil 2.6.1'de birinci ve üçüncü açıklıkta tek taraflı doğrusal guseli olan kirişlerdir. Bu kirişlere hiperstatik bilinmeyen Şekil 2.6.3'de verildiği gibi etkimesi sonucunda δ^*_{ij} deplasmanlarının belirli bir λ ve n için a ve b olarak verilmesinden ibarettir.



Şekil 2.6.3 : $X_1 = 1$ hiperstatik bilinmeyen değerinin tek taraflı doğrusal guseli kirişe etkimiş hali

Elde edilen a ve b parametrelerinin, gusesiz sistemlerde belirlenmesi atalet momentleri sabit olmasından dolayı moment alanları çarpım tablosu Tablo E.1 yardımıyla bulunmuştur. Guseli yani atalet momentleri değişken olan sistem için, moment diyagramlarının çarpım tablosu yardımıyla çarpmak suretiyle direk hesabı mümkün olmamaktadır. Çünkü moment alanı çarpım tablosu atalet momentleri sabit ve doğru eksenli çubuklar için düzenlenmiştir. Bu sebepten dolayı a ve b parametrelerinin integral bir ifadeye göre tanımlanması İfade 2.6.4' deki gibi olmaktadır. İntegrallere ait sonuç her bir guse boyu ve guse yüksekliği değişimine göre farklı olmaktadır.

$$a = \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{dx}{EJ}$$

$$b = \int_0^L \left(1 - \frac{x}{L}\right) \cdot \frac{x}{L} \frac{dx}{EJ} \quad (\text{ifade 2.6.4})$$

Guldan tablolarında tanımlanmış c parametresi de bulunmaktadır. Bu c parametresi uç kısmı boşta yani konsol kiriş durumundaki kirişlerde deplasman değeri olup, seçilmiş olan sistemde böyle bir kirişle karşılaşmadığı için verilmemiştir.

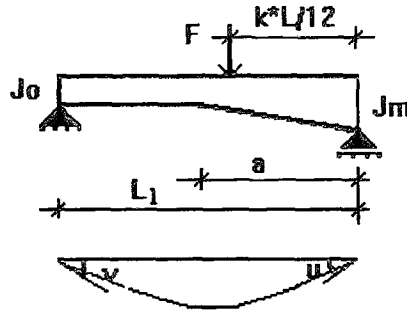
Deplasmanlara ait a ve b parametreleri bu şekilde verildikten sonra Guldan tablolarının esasıda, guldan tarafından bu integraller değerlerinin çözülmesi sonucunda kirişe etkiyen hiperstatik bilinmeyen yükü sonucunda oluşan δ^*_{ij} deplasman değerlerinin belirli bir λ ve n için tayininden ibarettir. Bu değerler Tablo E.2' de belirli bir guseye göre λ ve n için,

$$\text{üst satır} \quad (E.I_0).a / L$$

$$\text{alt satır} \quad (E.I_0).b / L$$

olarak verilmiştir. Ordinat değerleri tek tarafı doğrusal guseli kirişte ve hiperstatik bilinmeyen olarak bir birim yük yüklenmesi neticesinde elde edilmiş olan değerlerdir.

Guldan tablolarında dış yükleme olarak F yükünün neden olduğu ve İfade 2.3.3' deki süreklilik denkleminin çözümünde gerekli olan δ^*_{10} ve δ^*_{20} deplasman değerleri şu şekilde verilmiştir. Kiriş oniki eşit aralığa bölünerek ve seçilen $F=1\text{kN}$ birim yükünün belirlenmiş olan her bir noktaya yüklenmesi neticesinde, her bir nokta için ordinatların belirli bir λ ve n değerine sahip guseli kirişe göre verilmesinden ibarettir. Şekil 2.6.4' de kiriş oniki eşit aralığa bölünerek ve seçilen $F=1\text{kN}$ birim yükünün belirlenmiş olan her bir noktaya yüklenmesi neticesinde oluşan deplasmana ait ordinat değerleri u ve v olarak gösterilmiştir. Guseli kirişte deplasman ordinat değerleri k nokta sayısı olmak



Şekil 2.6.4 : Oniki eşit parçaya ayrılmış kirişte F yükünden dolayı oluşan u ve v deplasman değerleri

üzere $k = 1,2,3,\dots,11,12$ için verilmiştir. Bu değerler Tablo E.3' de belirli bir λ ve $n = J_0/J_m$ 'e göre k nokta sayısı için aşağıdaki düzende

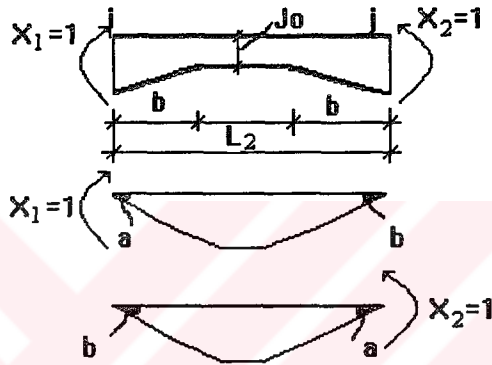
$$\text{üst satır} \quad \eta_1 = ((E.I_0).U / (F.L^2))$$

$$\text{alt satır} \quad \eta_2 = ((E.I_0).V / (F.L^2))$$

olarak verilmektedir.

2.6.1.2. Çift Taraflı Doğrusal Guseli Kirişler

Tip olarak iki yönden eşit gusenin bulunduğu kiriş sistemlerdir. İncelenen değişken atalet momentli sürekli kiriş sistemde Şekil 2.6.1' de ikinci açıklıktaki çift taraflı doğrusal guseli olan kirişlerdir. Bu kiriş Şekil 2.6.5' de, sistemden ayrılmış olarak ve hiperstatik bilinmeyen etkimesi durumunda verilmiştir. Kirişe hiperstatik bilinmeyen i ve j noktasına olmak üzere iki adet olarak etkimektedir.



Şekil 2.6.5 : $X_1 = 1$ ve $X_2 = 1$ hiperstatik bilinmeyen değerinin çift taraflı doğrusal guseli kirişe etkimesi hali

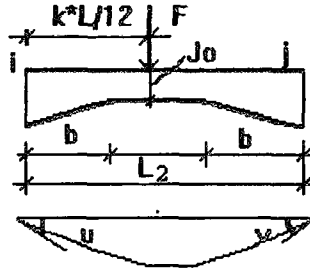
Guldan tablolarında bu kiriş için düzenleme, hiperstatik bilinmeyen yüklerinin ayrı ayrı olarak etkimesi durumunda δ^*_{ij} değerleri belirli bir guseye göre λ ve n için elde edilmiştir. Guseli kiriş için esas alınan kaide, belirli bir λ ve n 'e göre i 'de hiperstatik bilinmeyen yükü varken j 'de hiperstatik bilinmeyen yükünün olmaması için deplasmanlar a ve b olarak düzenlenmiştir. Aynı şekilde j 'de hiperstatik bilinmeyen yükü varken i 'de hiperstatik bilinmeyen yükünün olmaması durumunda oluşan deplasmanlar a ve b olarak verilmiştir. Bu değerler Tablo E.4' de belirli bir guseye göre λ ve n için,

$$\text{üst satır } ((E.I_0).a) / L$$

$$\text{alt satır } ((E.I_0).b) / L$$

olarak verilmiştir. Bu hiperstatik değerleri çift taraflı doğrusal guseli kirişte ve hiperstatik bilinmeyen olarak 1 birim yük yüklenmesi neticesinde elde edilmiş olan değerlerdir.

Guldan tablolarında dış yük etkimesi neticesindeki δ^*_{10} ve δ^*_{20} değerleri çift taraflı doğrusal guseli kirişte şu şekilde verilmiştir. Kiriş oniki eşit parçaya bölünerek ve seçilen $F=1\text{kN}$ 'luk birim yükün her bir noktaya yüklenmesi neticesinde oluşan deplasmanlar Şekil 2.6.6' da gösterilmiştir.



Şekil 2.6.6 : İkinci açıklık ortasındaki kirişte $F=1\text{kN}$ 'luk birim yükten dolayı oluşan deplasmanlar

Guseli kirişe etkiyen F yükünden dolayı oluşan deplasman değerleri Şekil 2.6.6' da u ve v olarak gösterilmiştir. Bu deplasman ordinat değerleri k nokta sayısı ve $k = 1,2,3,\dots,11,12$ olacak şekilde verilmiştir. Değerler Tablo E.5' de belirli bir λ ve n 'e göre k nokta sayısı için aşağıdaki düzende,

$$\text{üst satır} \quad \eta_1 = ((E.I_0).U / (F.L^2))$$

$$\text{alt satır} \quad \eta_2 = ((E.I_0).V / (F.L^2))$$

olarak verilmiştir.

Guldan tablolarının kullanılması esaslarını her bir guseli kiriş için bu şekilde verdikten sonra, tesir çizgisi istenilen noktaya ait tayini şu şekilde olmuştur.

2.6.2. Değişken Atalet Momentli Sürekli Kirişlerde Birinci Açıklık Ortasına Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Tayini

Birinci açıklık ortasında Kinematik yöntemle tesir çizgisi tayini için sırası ile şu işlemler yapılmaktadır.

- Guseye ait λ ve n değeri seçilerek inceleme yapılacak guse tespit edilir.
- Guldan tablolarının kullanılabilmesi için kiriş oniki aralığa bölünerek tesir çizgisi istenilen s noktası bulunur.
- Değişken atalet momentli sürekli kiriş sisteminde Şekil 2.6.1' de verilmiş olup, ara mesnetlere mafsal takıldığı düşünülerek hiperstatik bilinmeyen yüklemesi sonucunda izostatik sistem elde edilir. Yapılan birim yüklemeler neticesinde oluşan deplasmanlara ait δ^*_{ij} yani $\delta^*_{11(1)}$, $\delta^*_{11(2)}$, $\delta^*_{12(2)}$, $\delta^*_{21(2)}$, $\delta^*_{22(2)}$ ve $\delta^*_{22(3)}$ değerleri belirlenmiş olan guse için Tablo E.2 ve Tablo E.4 yardımıyla bulunmaktadır.

d) Süreklilik denklemi için δ^*_{ij} 'lerin elde edilmesinden sonra gerekli olan $\delta^*_{1\Delta}$ ve $\delta^*_{2\Delta}$ değerleri şu şekilde elde edilir. Tesir çizgisi aranan noktaya $\Delta = 1$ birimlik dönme uygulanarak Şekil 2.3.4' de olduğu gibi $\delta^*_{1\Delta} = 0.5$ ve $\delta^*_{2\Delta} = 0$ olarak bulunur.

e) Süreklilik denklemi İfade 2.3.10 değişken atalet momentli sürekli kirişler için düzenlenerek açık halde yazılırsa İfade 2.6.5

$$(\delta^*_{11(1)} + \delta^*_{11(2)}) \cdot X_1 + \delta^*_{12(2)} \cdot X_2 + \delta^*_{1\Delta} = 0$$

(İfade 2.6.5)

$$\delta^*_{21(2)} \cdot X_1 + (\delta^*_{22(2)} + \delta^*_{22(3)}) \cdot X_2 + \delta^*_{2\Delta} = 0$$

elde edilmektedir.

$\delta^*_{11(1)}$: 1 noktasındaki yükten dolayı birinci açıklıkta 1 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{11(2)}$: 1 noktasındaki yükten dolayı ikinci açıklıkta 1 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{12(2)}$: 2 noktasındaki yükten dolayı ikinci açıklıkta 1 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{21(2)}$: 1 noktasındaki yükten dolayı ikinci açıklıkta 2 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{22(2)}$: 2 noktasındaki yükten dolayı ikinci açıklıkta 2 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{22(3)}$: 2 noktasındaki yükten dolayı üçüncü açıklıkta 2 noktasında oluşan deplasman

$\delta^*_{1\Delta}$: Δ' dan dolayı 1 noktasındaki deplasman

$\delta^*_{2\Delta}$: Δ' dan dolayı 2 noktasındaki deplasman

Guldan tablolarında hiperstatik bilinmeyen etkisinden dolayı oluşan deplasmanlar her bir kirişte ayrı ayrı verilmiştir. Bu sebep' ten dolayı 1 yada 2 nolu mafsalda mafsalin sağındaki ve solundaki deplasmanları toplaya bilmek amacıyla değişken atalet momentli sürekli kirişlerde İfade 2.6.5 bu şekilde düzenlenmiştir. Bulunan bu değerler yardımı ile süreklilik denklemi çözülerek hiperstatik bilinmeyen $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ bulunur.

f) Tek veya Çift doğrusal guseli kirişler için elastik eğri ordinat değerleri Tablo E.3 ve Tablo E.5 ' den alınmaktadır.

Elde edilmiş olan hiperstatik bilinmeyen değerleri $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ ile Guldan tablolarından belirli bir guse için okunmuş olan elastik eğri ordinatları süperpozisyon ifadesi İfade 2.3.11 yardımı ile her bir nokta için süperpoze edilerek birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları bulunmuştur. Tesir çizgisi ordinatları tablo halinde her bir açıklıkta belirli bir λ ve n' e göre Tablo 2.6.2 'de verilmiştir. Tesir çizgisi ordinatları her bir açıklıkta o açıklığa ait L_i kiriş açıklığı değerine bölünmüştür. Gerçek değerleri elde etmek için her bir ordinatı L_i kiriş açıklığı ile çarpmak gerekir. Tablo da $\lambda = 0.00'$ a karşılık n değerleri verilmemiştir. Çünkü bu değerler gusesiz sistemin kendisi olup ordinatlar Tablo 2.3.2, Tablo 2.3.3 ve Tablo 2.3.4 ' de verilmiştir.

2.6.3. Değişken Atalet Momentli Sürekli Kirişlerde Ara Mesnete Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Tayini

Ara mesnete ait tesir çizgisi tayininde, tesir çizgisi istenilen nokta ile incelenecek olan guseye ait λ ve n değerleri tespit edilir. Tek yada Çift doğrusal guseli kirişler için elastik eğriye ait ordinat değerleri Tablo E.3 ve Tablo E.5 'den alınır. Süreklilik denkleminin çözümü için gerekli olan birim yüklemeler neticesindeki deplasman değerleri δ^*_{ij} 'lerde $\delta^*_{11(1)}$, $\delta^*_{11(2)}$, $\delta^*_{12(2)}$, $\delta^*_{21(2)}$, $\delta^*_{22(2)}$ ve $\delta^*_{22(3)}$ Tablo E.2 ve Tablo E.4 yardımıyla bulunur.

Tesir çizgisi için $\Delta = 1$ birimlik dönme değeri ara mesnete uygulanması sonucunda gusesiz sistemde Şekil 2.3.8 'de olduğu gibi $\delta^*_{1\Delta}=1$ ve $\delta^*_{2\Delta}=0$ olarak elde edilmektedir. Bulunan bu değerlerin süreklilik denklemi İfade 2.6.5 'de yerlerine konması sonucunda, denklemin çözülerek hiperstatik bilinmeyen $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hesaplanmış olmaktadır. Hiperstatik bilinmeyen değerleri $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ ile Guldan tablolarından belirli bir guse için okunmuş olan elastik eğri ordinatları İfade 2.3.11 'deki süperpozisyon ifadesi yardımı ile her bir nokta için süperpoze edilerek ara mesnete ait tesir çizgisi ordinatları bulunur.

Ara mesnete ait tesir çizgisi ordinatları tablo halinde her bir açıklık için belirli bir λ ve n 'e göre Tablo 2.6.3 'de verilmiştir.

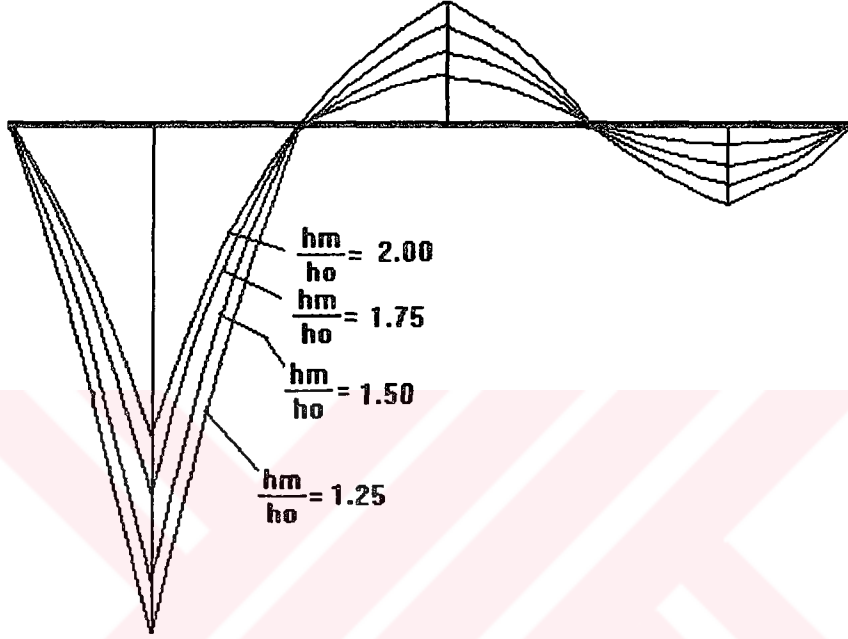
2.6.4. Değişken Atalet Momentli Sürekli Kirişlerde İkinci Açıklık Ortasına Ait Tesir Çizgisinin Kinematik Yöntemle Tayini

İkinci açıklık ortası tesir çizgisi tayininde tesir çizgisi istenilen nokta ile guseye ait λ ve n değerleri tespit edilmektedir. Guldun tabloları Tablo E.2 ve Tablo E.4 'den δ^*_{ij} 'ler yani $\delta^*_{11(1)}$, $\delta^*_{11(2)}$, $\delta^*_{12(2)}$, $\delta^*_{21(2)}$, $\delta^*_{22(2)}$ ve $\delta^*_{22(3)}$ değerleri alınmaktadır. Tesir çizgisi için $\Delta = 1$ birimlik dönme ikinci açıklık ortasına uygulanarak Şekil 2.3.9 'da olduğu gibi $\delta^*_{1\Delta} = \delta^*_{2\Delta} = 0.5$ olarak bulunmaktadır. Bu değerlerin süreklilik denklemini İfade 2.6.5 'de yerlerine konulup çözülmesi sonucunda $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hiperstatik bilinmeyen değerleri elde edilmektedir.

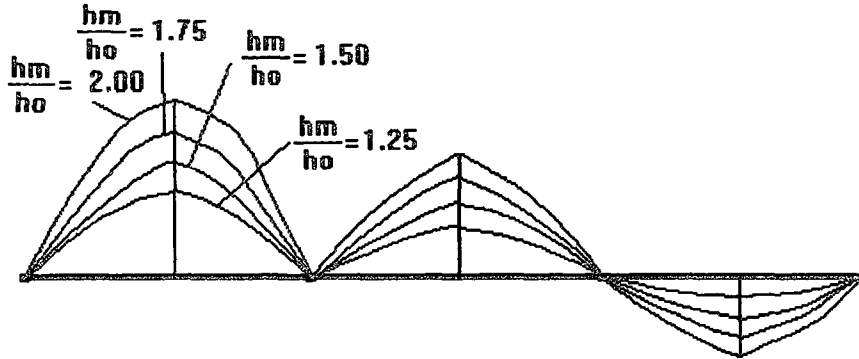
Hiperstatik bilinmeyen değerleri $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ ile Guldun tablolarından belirli bir guse için Tablo E.3 ve Tablo E.5 'den okunmuş olan elastik eğri ordinatları İfade 2.3.11 'deki süperpozisyon ifadesi yardımı ile her bir nokta için süperpoze edilerek ikinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları bulunur.

İkinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi ordinatları tablo halinde her bir açıklık için belirli bir λ ve n 'e göre Tablo 2.6.4 'de verilmiştir.

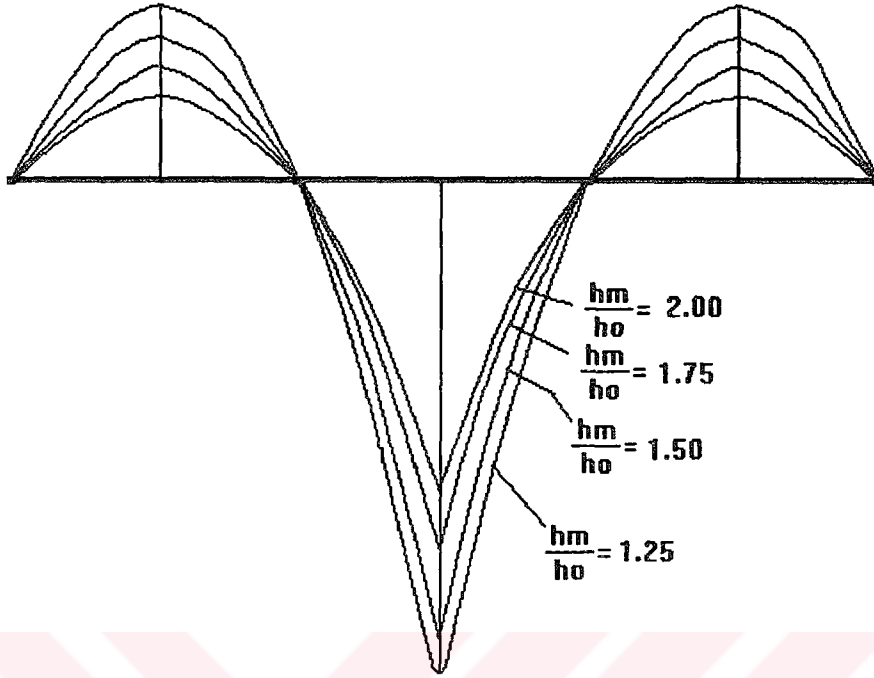
Hesaplanmış olan tesir çizgisi ordinat değerleri kiriş ekseninden itibaren belirli bir ölçekte ve işaretleri dikkate alınarak taşınır. Oluşan noktaları birleştiren çizgi aranan oktaaya ait $M_{s\epsilon}$ tesir çizgisinin kendisi olmaktadır. Şekil 2.6.7, Şekil 2.6.8 ve Şekil 2.6.9'da birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait tesir çizgileri λ ve hm/ho oranına göre çizilmiştir.



Şekil 2.6.7 : Birinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin $\lambda = 0.50$ ve hm / ho oranına göre çizilmiş hali



Şekil 2.6.8 : Ara mesnete ait tesir çizgisinin $\lambda = 0.50$ ve hm / ho oranına göre çizilmiş hali



Şekil 2.6.9 : İkinci açıklık ortasına ait tesir çizgisinin $\lambda = 0.50$ ve hm / ho oranına göre çizilmiş hali

2.7. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE GEZİCİ BİRİM YÜK YÖNTEMİ İLE TESİR ÇİZGİLERİNİN TAYİNİ

Gezici birim yük yöntemi değişken atalet momentli sürekli kirişlerde Kinematik yöntem ile bulunmuş olan tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü olması açısından kullanılmıştır. Yöntemin esası belirli bir λ ve n değerine sahip guse de dış yük F konumu için bulunan δ^*_{10} ve δ^*_{20} değerleri yardımı ile süreklilik denklemleri çözülerek her bir noktaya ait hiperstatik bilinmeyen değerleri hesaplanır. Daha sonra M^o_{sf} ile M_1 ve M_2 moment diyagramları ordinatlarının süperpozitesi sonucunda tesir çizgisi ordinatları bulunur.

Tesir çizgisi ordinatlarının tayini için tesir çizgisi aranılan nokta ve guseye ait belirli bir λ ve n değeri tespit edilir. Guldand tabloları Tablo E.2 ve Tablo E.4 'den δ^*_{ij} 'ler yani $\delta^*_{11(1)}$, $\delta^*_{11(2)}$, $\delta^*_{12(2)}$, $\delta^*_{21(2)}$, $\delta^*_{22(2)}$ ve $\delta^*_{22(3)}$ değerleri alınır. Sistem üzerinde kiriş boyunca F birim yükünün her bir noktada olması durumu için ayrı ayrı δ^*_{10} ve δ^*_{20} değerleri bulunur. Her bir yük konumuna karşılık elde edilen δ^*_{10} ve δ^*_{20} deplasmanları süreklilik denklemleri İfade 2.6.5 'de yerine konulup çözülmesi neticesinde $X_{1\Delta}$ ve $X_{2\Delta}$ hiperstatik bilinmeyenler elde edilir.

Birinci açıklık ortası tesir çizgisi için M_{sf}^0 diyagramı mevcut olup, $M_1 = 0.5$ ve $M_2 = 0$ alınarak İfade 2.3.12 'deki süperpozisyon ifadesi yardımı ile süperpozisyon yapılması sonucunda tesir çizgisi ordinatları hesaplanmış olmaktadır.

Ara mesnete ait tesir çizgisi tayini için aynı işlemler yapılmakta sadece süperpozisyon ifadesinde $M_{sf}^0 = 0$, $M_1 = 1$ ve $M_2 = 0$ alınarak ordinatlar bulunur.

İkinci açıklık ortasına ait tesir çizgisi tayininde de aynı işlemler yapılmakta tek fark süperpozisyon ifadesinde M_{sf}^0 diyagramı mevcut olup $M_1 = M_2 = 0.5$ alınarak ordinatlar hesaplanır.

Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde tesir çizgilerine ait ordinatlar Gezici Birim Yük Yöntemi yardımı ile Kinematik Yöntemde olduğu gibi aynı sonuç olarak bulunmuş Tablo 2.6.2, Tablo 2.6.3 ve Tablo 2.6.4 'de verilmiştir. Ayrıca hesaplanmış olan tesir çizgisi ordinatları guseye ait belirli bir λ ve n için Şekil 2.6.7 'de çizildiği gibi oluşmaktadır.



3. BÖLÜM

SÜREKLİ KİRİŞ SİSTEMİNİN KİNEMATİK VE GEZİCİ BİRİM YÜK YÖNTEMİ TARDIMI İLE ÇÖZÜLMESİ

3.1 GİRİŞ

Üç açıklıklı sabit ve değişken atalet momentli sürekli kirişlerde tesir çizgileri birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnette hesaplanmıştır. İncelenen üç açıklıklı sürekli kiriş sisteminin üç açıklığıda eşit $L_1 = L_2 = L_3$ olması durumunda tesir çizgisi ordinatları tablo düzeninde verilmiştir.

Bu aşamada ise elde edilen tesir çizgileri yardımı ile yapılacak g zati yükü ve q hareketli yükü yüklemesi için maksimum moment hesaplanacaktır. Hesaplanan bu momentlerden değişken atalet momentli sürekli kirişler için bulunan değerlerin değişimi moment - λ ve moment - hm / ho için incelenecektir. Ayrıca bu bölümün son kısmında elde edilen momentlere karşı gerek sabit atalet momentli, gerekse değişken atalet momentli sürekli kirişlerde donatı hesabı verilecektir. Donatı miktarlarına göre donatı değişimi incelenecektir.

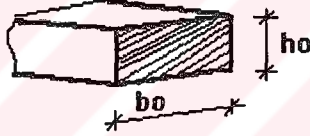
3.2. SÜREKLİ KİRİŞLERDE MAKSİMUM MOMENTLERİN HESAPLANMASI

Tesir çizgilerini Kinematik Yöntemi ve Gezici Birim Yük Yöntemi yardımı sonucunda hesapladıktan sonra, birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait tesir çizgileri ordinatlarından yararlanarak alanların hesabı İfade 2.2.1 'de yapılmıştır. Sürekli kirişlerde tesir çizgisi tayinin de kiriş on eşit parçaya ayrılmış olması nedeni ile İfade 2.2.1 kullanıldı. Alanların hesabı sürekli kiriş için her bir açıklıkta yapılarak Tablo 3.2.1 'de her bir momente karşılık değerleri , genel olması bakımından L_i kiriş açıklığına bağlı olarak verilmiştir.

Tablo 3.2.1 : Gusesiz kirişlerde tesir çizgisinden dolayı oluşan alanların her bir açıklıkta L_i kiriş açıklığına bağlı olarak değerleri

$L_i = L$	$A_1 \text{ (m}^2\text{)}$	$A_2 \text{ (m}^2\text{)}$	$A_3 \text{ (m}^2\text{)}$
$M_{4\xi}$	$0.0936 * L_1^2$	$-0.0198 * L_2^2$	$0.0066 * L_3^2$
$M_{10\xi}$	$-0.066 * L_1^2$	$-0.0495 * L_2^2$	$0.0165 * L_3^2$
$M_{15\xi}$	$-0.0248 * L_1^2$	$0.0755 * L_2^2$	$-0.0248 * L_3^2$

Kiriş için $bo = 1\text{m}$ genişlik ve $ho = 1\text{m}$ yükseklik alınarak kiriş zati yükü hesaplanmıştır. Seçilen kesit de $bo = 1\text{m}$ yanında donatı değişiminin incelenmesi için $ho=1.2\text{m}$, 1.4m alınarak zati yük değerleri hesap edilmiştir. Kirişe ait kesit Şekil 3.2.1 'de verilmiş olup, her bir kiriş yüksekliği için zati yük değeri İfade 3.2.1 'den



Şekil 3.2.1 : Kirişe ait seçilen bo genişliği ve ho yüksekliğini gösteren kesit

Kesit alanı $A_o = bo \cdot ho = 1\text{m}^2$ (İfade 3.2.1)

Zati yük $go = A_o \cdot \gamma_{bet}$

bo : Kirişin genişliği olup kiriş boyunca sabit (m)

ho : Kirişin yüksekliği olup kiriş boyunca sabit (m)

A_o : Kirişin kesit alanı (m^2)

go : Zati yükün seçilen kesit için değeri (kN / m)

γ_{bet} : Kullanılan betonun birim hacim ağırlığı (25 kN / m^3)

olarak hesaplanmaktadır. Zati yük momenti M_{sg} , zati yükün Şekil 2.2.2 'de olduğu gibi sistem boyunca yüklenmesi sonucunda İfade 2.2.3 yardımıyla hesaplanır. Üç açıklıkta eşit sürekli kiriş sistem de seçilen kesitler için hesaplanan zati yük momentleri Tablo 3.2.2 'de verilmiştir.

Tablo 3.2.2 : Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistem de zati yük momentleri

$L_i=10m$		ΣA (m^2)	8.04	-9.90	2.59
h_o (m)	g_o (kN.m)	$M_4 g_o$ (kN.m)	$M_{10} g_o$ (kN.m)	$M_{15} g_o$ (kN.m)	
1	25	201	-247.5	65	
1.2	30	241.2	-297	78	
1.4	35	281.4	-346.5	91	

Hareketli yük olarak $q = 30, 50$ ve 70 kN / m 'lik değerler alınmıştır. Hareketli yük değerleri katar yüküne karşılık seçilmiş değerler olup, bu yükten dolayı oluşan M_{sq} hareketli yük momentleri q yükünün Şekil 2.2.3 'deki gibi yüklenmesi sonucunda her bir noktada İfade 2.2.4, İfade 2.2.5 ve İfade 2.2.6 yardımıyla bulunur. Tablo 3.2.3 'de incelenen sürekli kirişte oluşan M_{sq} momentleri verilmiştir. Hareketli yük sonucundaki

Tablo 3.2.3 : Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistem de hareketli yük momentleri

$L_i=10m$		$M_4 q$ (kN.m)			$M_{15} q$ (kN.m)			$M_{10} q$ (kN.m)		
		$A_1 + A_3 = 10.02 m^2$			$A_1 + A_2 = 11.55 m^2$			$A_2 = 7.55 m^2$		
h_o (m)	b_o (m)	$q=30$	$q=50$	$q=70$	$q=30$	$q=50$	$q=70$	$q=30$	$q=50$	$q=70$
1	1	300.6	501	701.4	-346.5	-577.5	-808.5	226.5	377.5	528.5
1.2										
1.4										

moment değerleri, zati yük ile ilgili olmadığı için kesitin değişmesi hareketli yük momentini etkilememiştir.

Zati yük momenti M_{sg} ile hareketli yük momenti M_{sq} 'nun, İfade 2.2.7 yardımı ile süperpozitesi sonucunda aranan noktalara ait $M_{s\xi}$ sonuç momentleri hesaplanmış olmaktadır. Hesaplanan sonuç moment değerleri Tablo 3.2.4 'de verilmiştir.

Tablo 3.2.4 : Üç açıklığıda eşit sürekli kiriş sistem de aranan noktalara ait sonuç moment değerleri

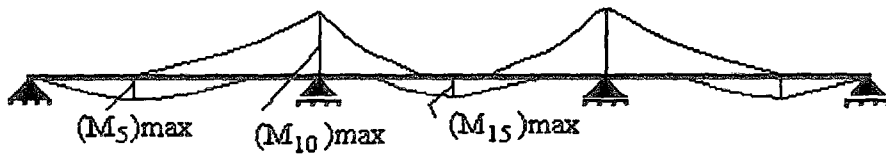
g_0 (kN.m)	25 ($b_0=1m, h_0=1m$)			30 ($b_0=1m, h_0=1.2$)			35 ($b_0=1m, h_0=1.4m$)			
	q (kN.m)	30	50	70	30	50	70	30	50	70
$M_{4\xi}$		763	1083	1404	819	1140	1460	875	1196	1516
$M_{10\xi}$		-901	-1271	-1640	-970	1340	1710	-1040	-1409	-1779
$M_{15\xi}$		454	695	937	472	713	955	490	731	973

Sürekli kirişin simetrik olması nedeni ile moment değerleri ikinci açıklık ortasından sonra hesaplanmamıştır. Bu noktalara ait moment değerleri simetriden yararlanılmak suretiyle tespit edilmiştir. Sonuç değerler, seçilen g_0 ve q yükleri için sistemin yüklenip Cross Yöntemi yardımı ile kontrol olması amacıyla çözümlenerek aynı moment değerleri elde edilmiştir. Tespit edilen noktalar için sonuç momentlerin hesaplanmasından sonra donatı hesabına geçilmiştir.

3.2.1. Sürekli Kirişlerde Hesaplanan Momentlere Göre Donatı Hesabı

Bulunan maksimum momentlere göre donatı hesabında sırasıyla şu işlemler takip edilmiştir.

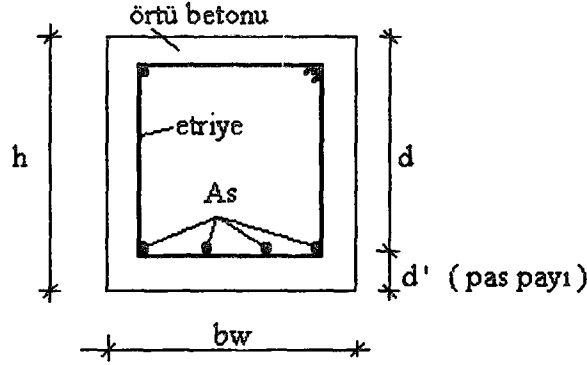
a) Kiriş üzerinde belirli bir g_0 ve q yükü için hesaplanmış olan birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait momentler alınarak Şekil 3.2.2 'de maksimum moment değerlerinden oluşan moment diyagramı çizilmiştir.



Şekil 3.2.2 : Maksimum momentlere göre moment diyagramı

Herbir noktaya ait momentler o nokta için maksimum moment değerlerine göre çizildiğinden dolayı diyagram kesikli olarak verilmiştir.

b) Birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait kesit durumu tespit edilir. Bu kesit Şekil 3.2.3 'de verilmiştir.



Şekil 3.2.3 : İncelenen sürekli kirişte donatı durumunu gösteren kesit

Toplam kiriş yüksekliğinin belirli bir değerini dikkate alarak etkili derinlik elde edilmiştir. Kesit mukavemeti için önemli olan kesit yüküğü h olmayıp d 'dir. Verilen d değeri etkili derinlik yada faydalı yükseklik olarak adlandırılmaktadır. Çekme donatısı çekme yüzüne olabildiğince yakın yerleştirilir. Böylece hem moment kolu büyür, hem de donatı maksimum birim deformasyon bölgesine yakın yerleştirildiğinden dolayı akma gerilmesine kolayca ulaşır. Sonuçta donatı etkinliği artmış olup kesit tam kapasite ile çalışmış olmaktadır.

Pas payı olarak verilen d' değeri etkili derinlikten sonra çekme donatısı ağırlık merkezinin çekme yüzüne uzaklığıdır. Kesit yüksekliği ile etkili derinlik arasında İfade 3.2.2 'de verilen bağıntı vardır.

$$h = d + d' \quad (\text{İfade 3.2.2})$$

Pas payı d' : örtü betonunun kalınlığı, etriye çapı ve çekme donatısı yarıçapının toplamına eşit olup ifade 3.2.3 'de

$$d' = 2 \text{ cm} + \phi_{\text{etr}} + \phi/2 \quad (\text{İfade 3.2.3})$$

ϕ_{etr} : Etriye çapı (cm)

ϕ : Kullanılan donatı çapı (mm)

olarak verilir. İfade 3.2.3 'de verilen 2 cm 'lik değer ise, dış ortamlarda bulunan elemanlara ait beton örtüsüdür. Açıklanan h ve d arasında İfade 3.2.4 'de verilen sonuç değeri kullanılmıştır. Kesit için verilmiş olan b_w ise kirişin genişliği olup $b_o = 100 \text{ cm}$

$$d = 0.92.h \quad (\text{İfade 3.2.4})$$

olarak alınmıştır. Donatı hesabı için dikkate alınan tabloların uzunluk birimi cm olup betonarme kesit hesabı için dikkate alınan kaynak 1.1'deki (*) tabloların $b_o = 100$ cm 'ye göre hazırlanmış olması nedenidir. Hesaplarda C 25 / S 420 malzemesine ait Çizelge 5.10'daki tablo kullanılmıştır.

c) Kullanılacak olan kesitin ve malzemenin belirlenmesinden sonra, donatı hesabı yapılacak olan kesitin çalışma şekli tespit edilmelidir. Kesitin çalışma şekli seçilen sistem için tek yada çift donatılı kesit olmaktadır. Bunun için İfade 3.2.5 'deki K değerinin hesabı yapılmalıdır. Bu değer,

$$K = (bw.d^2) / M_d \quad (\text{İfade 3.2.5})$$

olarak verilmiştir. K değeri moment ve etkili derinlik belirli olduğu için İfade 3.2.5 'den hesaplanmıştır. Bulunan K değeri, seçilmiş olan malzeme C 25 / S 420 'ye ait Kaynak 1.1'de Çizelge 5.10 'a göre sehim kontrolü gerekmeyecek sınır olan $K_d = 2.91$ için kıyaslama yapılır. Yapılan kıyaslamaya göre kesitin çalışma şekli tespit edilir.

$K \geq K_d$ ise tek donatılı kesit hesabı yapılmalı

$K < K_d$ ise çift donatılı kesit hesabı yapılmalı

Elde edilen $K \geq K_d$ durumunda tek donatılı kesit hesabı yapılırken ρ donatı oranı kontrol edilmelidir. Bunun içinde İfade 3.2.6 'da verilen ρ_{min} değeri

$$\rho_{min} = 1.2 / f_{yd} \quad (\text{İfade 3.2.6})$$

ρ_{min} : Kullanılacak minimum donatı oranı

f_{yd} : Kullanılan donatının akma hesap mukavemeti (N/mm^2)yardımı
ile $\rho_{min} = 0.0033$ olarak hesaplanır.

M_d 'yi karşılamak için gerekli donatı oranı ρ_d ile gösterilir ise İfade 3.2.7 yardımı ile

$$1.30. \rho_d \quad (\text{İfade 3.2.7})$$

ρ_{min} bulunur. Burada ρ_d değeri Çizelge 5.10 'dan K 'ya göre okunarak %30 artırılmış değeri alınır.

Sonuçta İfade 2.3.6 ve İfade 3.2.7 'de verilen donatı oranlarından küçük olanı alınır. Ancak küçük olarak seçilen bu ρ_{min} oranı S 420 donatısı için sınır olan $\rho_{min} = 0.0015$ 'den büyük olmalıdır. M_d 'ye karşılık elde edilen donatı oranı $\rho_{min} < 0.0015$ ise hesaplarda $\rho_{min} = 0.0015$ olan değere karşı Çizelge 5.10 'dan okunan $k_s = 0.0279$ alınarak donatı kesit alanı hesaplanmıştır.

d) Betonarme hesaplarda esas alınan Kaynak 1.1 Çizelge 5.10 yardımıyla k_s değeri okunarak bu değer İfade 3.2.7 'de yerine konularak A_s donatı kesit alanı hesaplanır.

$$A_s = (k_s \cdot M_d) / d \quad (\text{İfade 3.2.7})$$

k_s : Donatı alanı katsayısı

M_d : Hesap momentini (kN.cm)

d : Etkili derinlik (cm)

A_s : Donatı kesit alanı (cm^2)

Hesaplanan A_{s1} donatı alanı, sistemde birinci açıklık ortasına ait bulunmuş olan maksimum momente göre yapılır. A_{s1} donatı alanına göre Kaynak 1.1 'den yararlanılarak ek Çizelge 1 ve ek Çizelge 2 yardımıyla uygun donatı seçilir. Donatı seçiminde kiriş için donatı çapı olarak minimum $\phi 12$ sınırı dikkate alınmıştır. Birinci açıklık ortasında seçilmiş olan donatının yarısı düz ve yarısı da pliye olarak kırılmıştır. Pliye 'ler 45° 'lik bükülme ile oluşurlar ve kesme kuvvetine karşı koyma donatısı işlevini de üstlenirler. Aynı zamanda mesnette donatı kazancı sağlamaktadır.

e) Sistemde ikinci açıklık ortası için belirlenen maksimum momente göre İfade 3.2.7 ile gerekli donatı alanı A_{s2} hesaplanır. İkinci açıklık ortası donatı alanı A_{s2} 'ye göre de, birinci açıklık ortasında olduğu gibi uygun donatı seçilir. Ağırlık olarak her bir kiriş sistemi için Montaj donatısı $2\phi 12$ aynı kaldığı için hesaplarda kesit alanları dikkate alınmamıştır.

f) Mesnet için hesaplanan maksimum momente göre İfade 3.2.7 yardımıyla mesnet donatı alanı A_{sm} hesaplanmış olur.

Birinci açıklık ortasında seçilen donatıların bir kısmı pliye olarak kırılmıştı. Bu pliyeler açıklıkta altta, mesnette ise üstte çekme donatısı işlevini yapar. Birinci açıklık ortasından gelen pliye mesnet için $A_{s(mev)1}$ olarak gösterilmiş olsun. Aynı zamanda ikinci açıklık ortasından gelen pliye $A_{s(mev)2}$ olarak gösterilir ise, mesnet için gerekli olan ek donatı $A_{s(ek)}$

$$A_{s(ek)} = A_s - (A_{s(mev)1} + A_{s(mev)2})$$

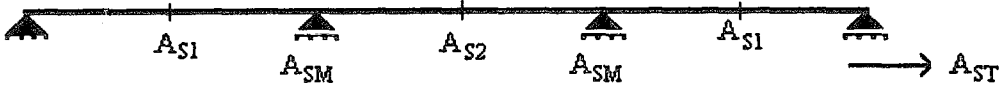
olup, mesnete ait donatı seçimi $A_{s(ek)}$ donatı alanına göre yapılmalıdır. Seçilen bu donatı ek donatı olarak adlandırılır. Ek donatı seçimi Kaynak 1.1 'den Çizelge 1 ve Çizelge 2 'ye göre yapılır. Ek donatı düz donatı olup mesnette kiriş üst yüzüne yerleştirilmektedir.

Donatı miktarları her bir açıklık ve ara mesnet için bu şekilde hesaplandıktan sonra, değişik $q = 30, 50$ ve 70 kN / m 'lik hareketli yükler için hesaplanmış olan sonuç

momentlere göre donatı alanları toplamı A_{st} Tablo 3.2.5 'de verilmiştir. Toplam donatı alanı A_{st} İfade 2.3.8 'de verilmiş olup

$$A_{st} = 2 A_{s1} + 2 A_{sm} + A_{s2} \quad (\text{İfade 2.3.8})$$

olarak elde edilmektedir. Zira Şekil 3.2.4 'de $L_1 = L_2 = L_3$ alındığı için simetriden dolayı birinci ve üçüncü açıklık ortası ile ara mesnete ait donatı alanları eşit olmakta ve sonuç



Şekil 3.2.4 : Sürekli kirişte $L_1 = L_2 = L_3$ olması durumunda simetriden dolayı donatı alanlarının giriş üzerindeki değerleri

olarakta İfade 2.3.8 elde edilmektedir.

Tablo 3.2.5 : Hesaplanan sonuç momentlere göre sürekli kiriş boyunca donatı alanları

g_0 (kN.m)	25 ($b_0=1m, h_0=1m$)			30 ($b_0=1m, h_0=1.2$)			35 ($b_0=1m, h_0=1.4m$)		
	30	50	70	30	50	70	30	50	70
q (kN.m)	30	50	70	30	50	70	30	50	70
A_{st} (cm^2)	117	170	223	104	146	190	94	130	167
A_{sek} (cm^2)	5.31	13.07	16.43	11.22	12.11	13.11	9.04	8.36	12.24

3.3. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE MAKSİMUM MOMENTLERİN HESAPLANMASI

Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde değişik λ ve n değerlerine sahip guseler için tesir çizgileri ordinatları Kinematik yöntem ve kontrol olması için Gezici Birim Yük yöntemi ile hesaplanmıştır. Tesir çizgisi ordinatlarına göre guseli sistemlerde kiriş oniki eşit parçaya ayrılmış olarak İfade 2.2.2 yardımı ile tesir çizgisi alanları hesaplanmıştır. Bu alan değerleri değişken atalet momentli sürekli kirişte her bir açıklık için A_1 , A_2 ve A_3 olarak verilmiştir. Sonuç alan değerleri momenti hesaplanan noktalara

göre sırasıyla Tablo 3.3.1, Tablo 3.3.2, Tablo 3.3.3, Tablo 3.3.4 ve Tablo 3.3.5 'de verilmiştir.

Tablo 3.3.1 : $\lambda=0.50$ ve değişik hm/ho değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları

λ	0.50														
$\frac{hm}{ho}$	2.00			1.75			1.50			1.25			1.00		
ξ	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}
A_1	6.65	-11.71	-3.96	7.29	-10.45	-3.60	7.98	-9.15	-3.22	8.47	-8.08	-2.91	9.20	-6.60	-2.48
A_2	-2.99	-5.99	6.52	-2.94	-5.88	6.63	-2.84	-5.58	6.93	-2.72	-5.44	7.07	-2.48	-4.95	7.55
A_3	1.89	3.79	-3.96	1.62	3.24	-3.60	1.30	2.72	-3.22	1.13	2.26	-2.91	0.83	1.65	-2.48

Tablo 3.3.2 : $\lambda=0.40$ ve değişik hm/ho değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları

λ	0.40														
$\frac{hm}{ho}$	2.00			1.75			1.50			1.25			1.00		
ξ	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}
A_1	6.93	-11.15	-3.62	7.43	-10.1	-3.39	7.98	-9.06	-3.12	8.55	-8.02	-2.86	9.20	-6.60	-2.48
A_2	-3.20	-6.40	6.13	-3.09	-6.18	6.34	-2.91	-5.82	6.69	-2.80	-5.53	6.98	-2.48	-4.95	7.55
A_3	1.95	3.90	-3.62	1.68	3.37	-3.39	1.41	2.82	-3.12	1.18	2.30	-2.86	0.83	1.65	-2.48

Tablo 3.3.3 : $\lambda=0.30$ ve değişik hm/ho değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları

λ	0.30														
$\frac{hm}{ho}$	2.00			1.75			1.50			1.25			1.00		
ξ	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}
A_1	7.32	-10.38	-3.37	7.72	-9.58	-3.22	8.12	-8.78	-3.02	8.57	-7.88	-2.81	9.20	-6.60	-2.48
A_2	-3.21	-6.43	6.08	-3.11	-6.22	6.29	-2.94	-5.87	6.64	-2.77	-5.54	6.97	-2.48	-4.95	7.55
A_3	1.82	3.58	-3.37	1.57	3.13	-3.22	1.37	2.75	-3.02	1.13	2.26	-2.81	0.83	1.65	-2.48

Tablo 3.3.4 : $\lambda=0.20$ ve değişik hm/ho değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları

λ	0.20														
$\frac{hm}{ho}$	2.00			1.75			1.50			1.25			1.00		
ξ	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}
A_1	7.85	-9.31	-3.12	8.10	-8.83	-3.02	8.38	-8.26	-2.89	8.70	-7.61	-2.74	9.20	-6.60	-2.48
A_2	-3.07	-6.13	6.38	-2.97	-5.95	6.56	-2.85	-5.70	6.81	-2.71	-5.42	7.07	-2.48	-4.95	7.55
A_3	1.54	3.08	-3.12	1.40	2.79	-3.02	1.24	2.48	-2.89	1.07	2.14	-2.74	0.83	1.65	-2.48

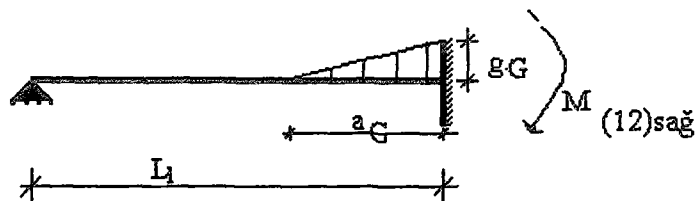
Tablo 3.3.5 : $\lambda=0.00$ ve değişik hm/ho değerlerine sahip guseli sistemin tesir çizgisi alanları

λ	0.00														
$\frac{hm}{ho}$	2.00			1.75			1.50			1.25			1.00		
ξ	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}	M_6	M_{12}	M_{18}
A_1	9.20	-6.60	-2.48	9.20	-6.60	-2.48	9.20	-6.60	-2.48	9.20	-6.60	-2.48	9.20	-6.60	-2.48
A_2	-2.48	-4.95	7.55	-2.48	-4.95	7.55	-2.48	-4.95	7.55	-2.48	-4.95	7.55	-2.48	-4.95	7.55
A_3	0.83	1.65	-2.48	0.83	1.65	-2.48	0.83	1.65	-2.48	0.83	1.65	-2.48	0.83	1.65	-2.48

Sistemi inceleyebilmek için hareketli yük olarak $q = 30, 50$ ve 70 kN / m alınmıştır. Ancak gusesiz sistemlere nazaran guseli kirişlerin zati yükünün tespiti için aşağıdaki kabul yapılmıştır.

3.3.1. Guseden Dolayı Oluşan İlave Zati Yükün Sistem Zati Yüküne Katkısı İçin Yapılan Kabul

Guseden dolayı oluşan ilave zati yükün katkısının hesabı için Şekil 3.3.1 'de verilen birinci açıklığa ait kirişte,



Şekil 3.3.1 : Birinci açıklıktaki kirişte guse yükünden dolayı oluşan moment

sadece guse yükünden dolayı meydana gelen $M_{12sağ}$ momentinin değeri İfade 3.3.1 'de verilmiştir.

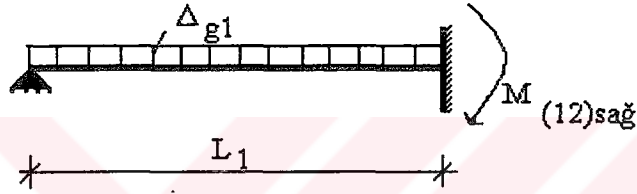
$$M_{12sağ} = \frac{g_G \cdot a^2}{120 \cdot L_1^2} \cdot (20 \cdot L_1^2 - 15 \cdot L_1 a + 3 \cdot a^2) \quad (\text{ifade 3.3.1})$$

a : Birinci açıklıktaki guse uzunluğu (m)

g_G : Guse yükünün şiddeti (kN / m)

L_1 : Birinci kirişe ait açıklık değeri (m)

Şekil 3.3.2 'de ise bu guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda eşdeğer yayılı yükün şiddeti Δ_{g1} ve bu yükten dolayı,



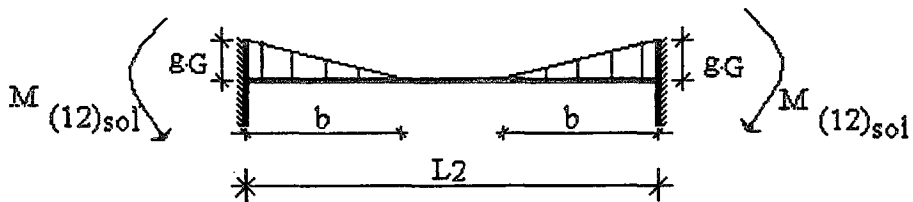
Şekil 3.3.2 : Birinci açıklıktaki kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda oluşan moment

meydana gelen uç ankastrelik momenti $M_{12sağ}$ ise İfade 3.3.2 'de gösterilmiştir.

$$M_{12sağ} = \frac{\Delta_{g1} \cdot L_1^2}{8} \quad (\text{ifade 3.3.2})$$

Meydana gelen iki ankastrelik uç momentlerinin eşit olduğu düşünülerek İfade 3.3.1 ve İfade 3.3.2 eşitlenerek Δ_{g1} değeri bulunmaktadır. Hesap edilen Δ_{g1} değeri birinci açıklıkta guse ağırlığına karşılık eşdeğer yayılı yükün şiddetini göstermektedir.

İkinci açıklıktaki kirişe ait guse yükleri Şekil 3.3.3 'de gösterilmiştir.



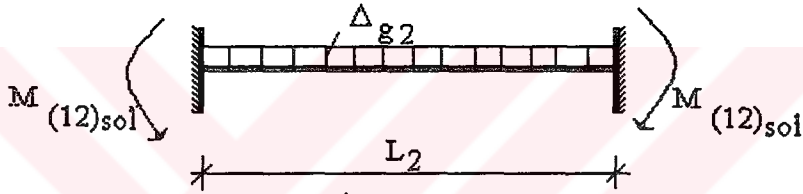
Şekil 3.3.3 : İkinci açıklıktaki kirişte guse yükünden dolayı oluşan moment

Bu yükten dolayı meydana gelen ankastrelik momenti İfade 3.3.3 'de,

$$M_{12sol} = \frac{g_G \cdot b^2}{60 \cdot L_2^2} \cdot (10 \cdot L_2^2 - 10 \cdot L_2 \cdot b + 3 \cdot b^2) \quad (\text{ifade 3.3.3})$$

- b : İkinci açıklıktaki guse uzunluğu (m)
 g_G : Guse yükünün şiddeti (kN / m)
 L_2 : İkinci kirişe ait açıklık değeri (m)

olarak verilmiştir. Bu açıklıktaki kirişte guse yüklerinin eşdeğer yayılı yük olarak dağıtılması sonucunda Şekil 3.3.4 elde edilerek, bu yük durumuna karşılık oluşan



Şekil 3.3.4 : İkinci açıklıktaki kirişte guse yükünün kiriş boyunca dağıtılması sonucunda oluşan moment

ankastrelik uç momentleri İfade 3.3.4 'de

$$M_{12sol} = \frac{\Delta_{g2} \cdot L_2^2}{12} \quad (\text{ifade 3.3.4})$$

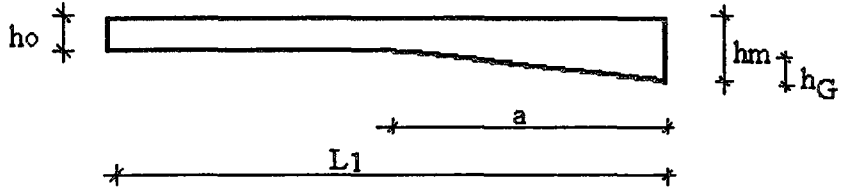
olarak verilmiştir. İfade 3.3.3 ve İfade 3.3.4 'deki ankastrelik uç momentlerinin bu yük durumları için aynı moment değeri olduğu düşüncesi ile eşitlenerek Δ_{g2} değeri hesaplanmış olmaktadır. Hesap edilen Δ_{g2} değeri, ikinci açıklıktaki kiriş için guse ağırlığına karşılık eşdeğer yayılı yükün şiddetini göstermektedir.

Guseli kirişlerin zati yüke katkısı olan Δ_g değeri ise İfade 3.3.5 yardımıyla,

$$\Delta_g = \frac{\Delta_{g1} + \Delta_{g2}}{2} \quad (\text{ifade 3.3.5})$$

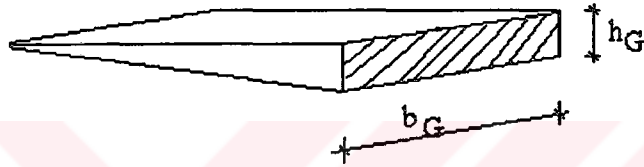
olarak hesaplanmaktadır.

Herbir guseli kirişte ise bu değerler şu şekilde hesaplanmaktadır. Şekil 3.3.5 'de verilen guse durumunda zati yükümüz g_0 Şekil 3.2.1 'deki kesit gibi belirli bir b_0 ve h_0 'a göre hesaplanmış olan g_0 zati yükü gibi olmaktadır.



Şekil 3.3.5 : Birinci açıklıktaki guseli kirişe ait parametreler

Gusenin katkısı olan Δ_{g1} zati yük değerinin hesabı şu şekilde olmaktadır. Evvela $h_G = h_m - h_o$ yardımıyla guse yüksekliği elde edilerek bu guse Şekil 3.3.6 'da verilmiş olup,



Şekil 3.3.6 : Guse zati yükünün hesabı için verilmiş olan guseye ait parametreler

sırasıyla verilen

$$A_G = h_G \cdot b_G$$

$$g_G = \gamma_{bet} \cdot A_G = 25 \text{ kN / m}$$

A_G : Guse kesit alanı (m^2)

b_G : Guse genişliği (m)

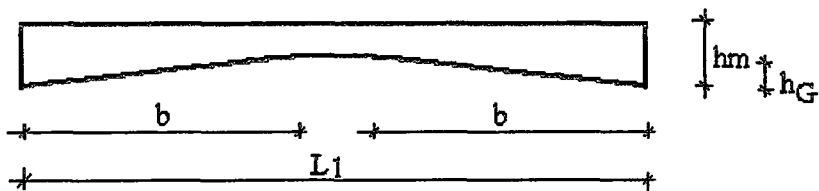
γ_{bet} : Kullanılan betonun birim hacim ağırlığı (25 kN / m^3)

h_G : Guse 'ye ait yükseklik (m)

g_G : Guse yükünün şiddeti (kN / m)

yardımıyla g_G değeri hesaplanarak İfade 3.3.1 ve İfade 3.3.2 'de yerlerine konulup eşitlenmesi sonucunda Δ_{g1} hesaplanmaktadır.

İkinci açıklıktaki guseli giriş Şekil 3.3.7 'deki gibi olmaktadır.



Şekil 3.3.7 : İkinci açıklıktaki guseli girişe ait parametreler

Gusesiz kirişe ait zati yükümüz g_0 Şekil 3.2.1 'deki kesitte olduğu gibi hesaplanmıştır. Gusenin katkısı olan Δ_{g2} zati yükünün hesabı ise $h_G = h_m - h_0$ yardımıyla guseye ait yükseklik elde edilerek,

$$A_G = h_G \cdot b_G$$

$$g_G = \gamma_{bet} \cdot A_G$$

değerleri sonucunda guseye ait yükün şiddeti elde edilmiştir. İkinci açıklıktaki guseli kiriş için elde edilen bu değerlerin, İfade 3.3.3 ve İfade 3.3.4 'de yerine koyularak eşitlenmesi sonucunda Δ_{g2} zati yük değeri hesaplanmıştır.

Hesap edilen Δ_{g1} ve Δ_{g2} değerlerinin İfade 3.3.5 'de yerlerine konması sonucunda gusenin zati yüke katkısı olan Δ_g değeri hesaplanmış olmaktadır. Gusesiz sistemin zati yük değeri g_0 ve gusenin katkısı olan yük Δ_g toplanarak g^* değeri elde edilmektedir.

$$g^* = g_0 + \Delta_g$$

g^* : Guseli kirişlere ait sonuç zati yük değeri

Hesap edilmiş olan Δ_{g1} , Δ_{g2} , Δ_g ve g^* değerleri tablo olarak Tablo 3.3.6 'da sabit h_0 kesitine karşılık, değişik guse sistemleri için verilmiştir.

Tablo 3.3.6 : Belirli λ ve n için guseden dolayı oluşan ilave zati yük değerleri

h_0	1.00									
λ	0.50					0.40				
$\frac{h_m}{h_0}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
g_G	25	18.75	12.5	6.25	-----	25	18.75	12.5	6.25	-----
Δ_{g1}	5.52	4.14	2.76	1.38	-----	3.86	2.90	1.93	0.97	-----
Δ_{g2}	7.18	5.39	3.59	1.80	-----	5.18	3.89	2.59	1.30	-----
Δ_g	6.35	4.77	3.18	1.59	-----	4.52	3.40	2.26	1.14	-----
g^*	31.25	29.77	28.18	26.59	-----	29.52	28.40	27.26	26.14	-----

ho	1.00									
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
g_G	25	18.75	12.5	6.25	-----	25	18.75	12.5	6.25	-----
Δg_1	2.37	1.77	1.18	0.59	-----	1.14	0.86	0.57	0.29	-----
Δg_2	3.27	2.45	1.64	0.82	-----	1.62	1.22	0.81	0.41	-----
Δg	2.82	2.11	1.41	0.71	-----	1.38	1.04	0.69	0.35	-----
g^*	27.82	27.11	26.41	25.71	-----	26.38	26.04	25.69	25.35	-----

Her bir guseli sistem için g^* toplam zati yükümüz elde edildikten sonra, guseli kirişlere ait momentlerin hesabı şu şekilde olmaktadır. Hesaplanan g^* zati yükünden dolayı oluşan M_{sg^*} zati yük momenti, zati yükün sistem boyunca Şekil 2.2.2 'de olduğu gibi yüklenmesi sonucunda ve hesabı ise İfade 2.2.3 'de verildiği gibi yapılarak bulunmaktadır.

Hareketli yük q 'dan dolayı meydana gelen momentler M_{sq} olup, yükün guseli kiriş sistemine yüklenmesi her bir açıklıkta Şekil 2.2.3 'de verildiği gibi ve hesabı ise her bir açıklık için İfade 2.2.4, İfade 2.2.5 ve İfade 2.2.6 yardımıyla yapılmaktadır.

Hareketli ve zati yük momentlerini bu şekilde tespit ettikten sonra, süperpozisyon ifadesi İfade 2.2.7 yardımıyla bu momentler süperpoze edilerek aranan noktalara ait sonuç momentler $M_{s\zeta}$ hesaplanmış olmaktadır. Zati yük g^* 'dan dolayı oluşan M_{sg^*} ile hareketli yük q için bulunan M_{sq} sonuç momentleri Tablo 3.3.7, Tablo 3.3.8 ve Tablo 3.3.9 'da $q = 30, 50$ ve 70 kN / m için verilmiştir.

Tablo 3.3.7 : $q = 30$ kN/m hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri

ho	1.00									
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\zeta}$	654	677	700	717	746	661	677	698	712	746
$M_{12\zeta}$	-1460	-1330	-1181	-1068	-901	-1407	-1300	-1175	-1062	-901
$M_{18\zeta}$	252	295	352	386	454	249	287	338	381	454

ho	1.00									
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	670	681	698	715	746	684	694	706	720	746
$M_{12\xi}$	-1322	-1240	-1143	-1046	-901	-1198	-1146	-1083	-1012	-901
$M_{18\xi}$	266	296	341	383	454	311	334	364	396	454

Tablo 3.3.8 : $q = 50 \text{ kN/m}$ hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri

ho	1.00									
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	927	962	998	1024	1067	945	968	998	1021	1067
$M_{12\xi}$	-2026	-1852	-1652	-1501	-1271	-1968	-1822	-1651	-1496	-1271
$M_{18\xi}$	460	507	574	612	695	445	490	553	605	695

ho	1.00									
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	962	978	1001	1026	1067	985	998	1013	1032	1067
$M_{12\xi}$	-1860	-1745	-1612	-1476	-1271	-1692	-1620	-1530	-1430	-1271
$M_{18\xi}$	461	498	554	606	695	516	544	582	622	695

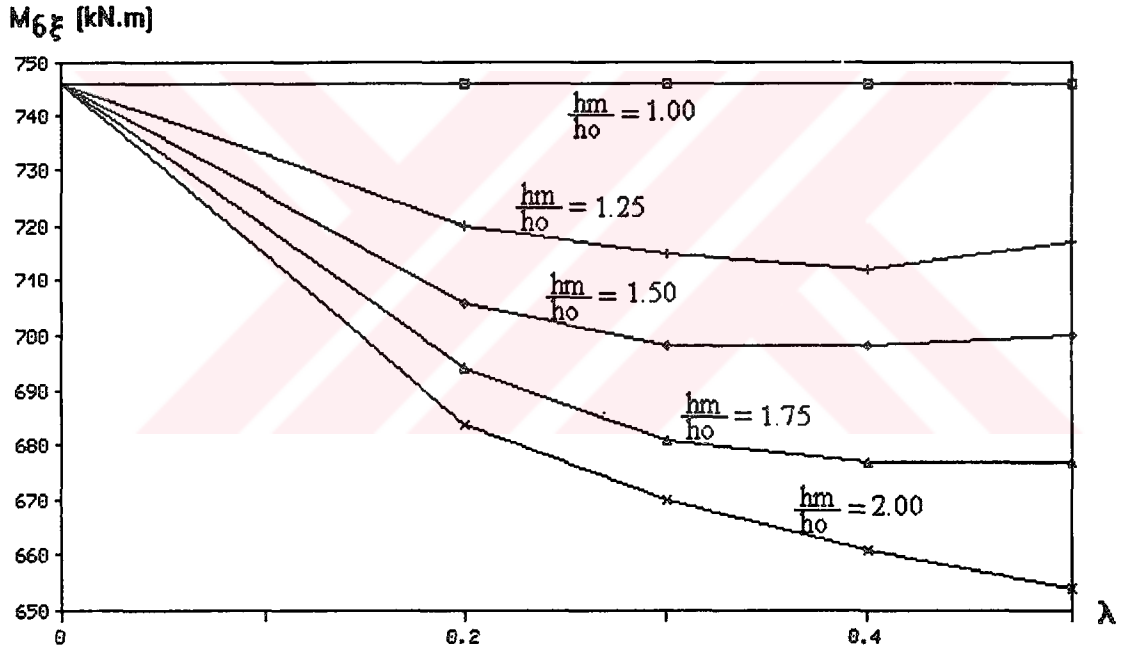
Tablo 3.3.9 : $q = 70 \text{ kN/m}$ hareketli yük için değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç moment değerleri

ho	1.00									
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	1200	1247	1297	1331	1388	1229	1260	1299	1330	1388
$M_{12\xi}$	-2593	-2374	-2124	-1933	-1640	-2530	-2344	-2127	-1929	-1640
$M_{18\xi}$	670	719	796	838	937	641	693	767	828	937

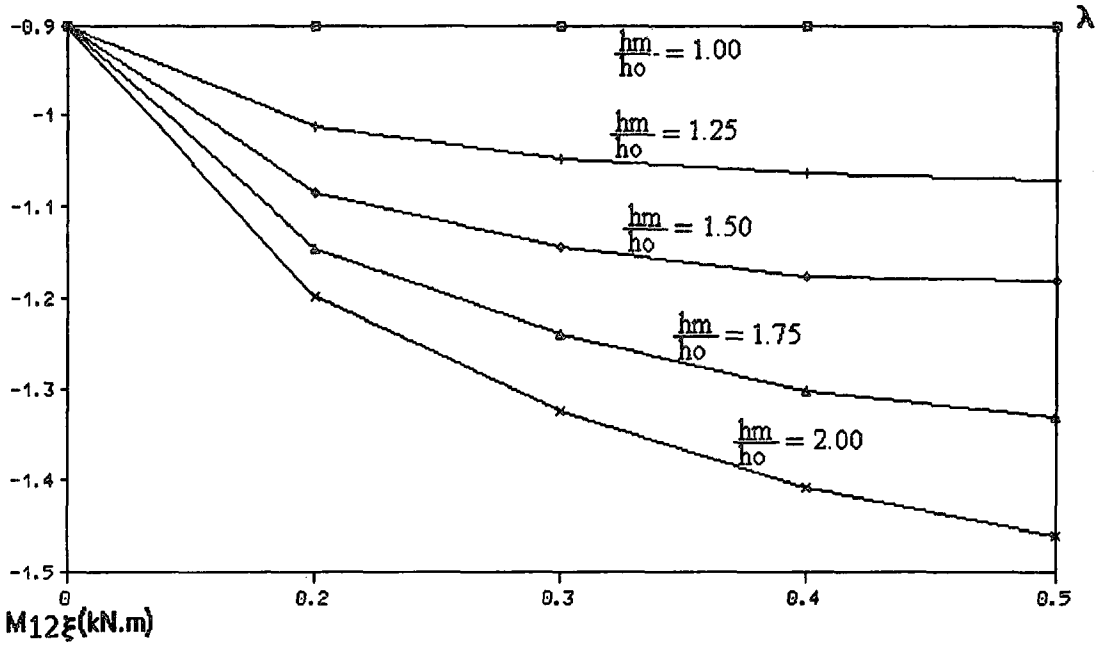
ho	1.00									
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	1255	1275	1305	1336	1388	1285	1302	1321	1345	1388
$M_{12\xi}$	-2398	-2251	-2081	-1905	-1640	-2186	-2092	-1977	-1846	-1640
$M_{18\xi}$	655	699	766	829	937	720	754	800	848	937

3.3.2. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE HESAPLANAN MOMENTLER İÇİN : MOMENT - λ GRAFİKLERİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

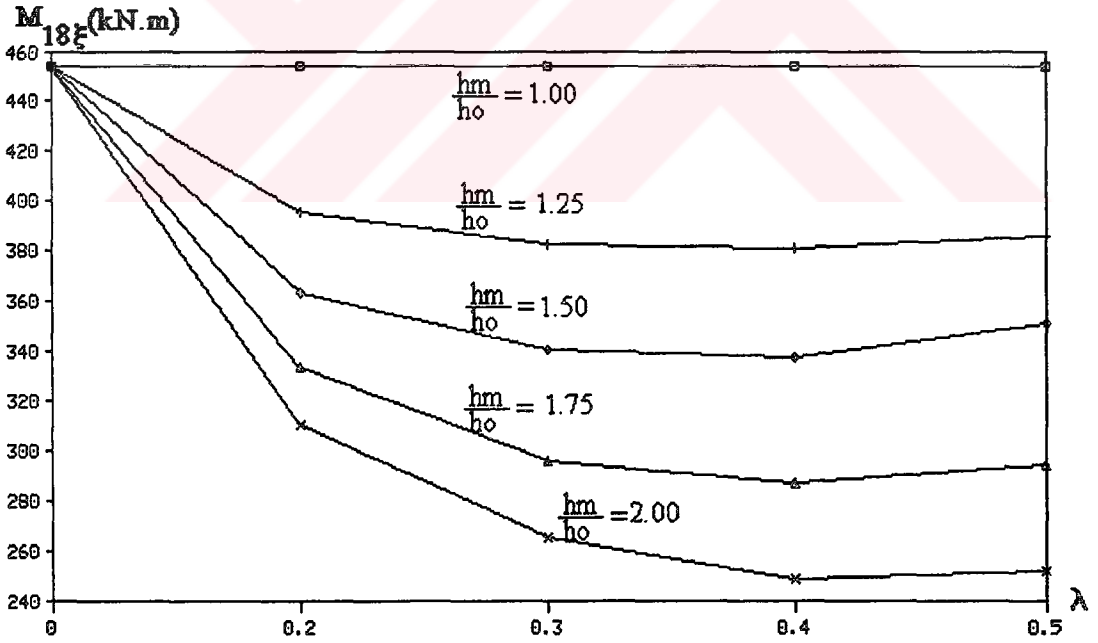
İnceleme için grafikler belirli bir q hareketli yükü için birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnete ait momentlere göre çizilerek incelenmiştir. Grafiklerin dikey eksenleri moment, yatay eksenleri λ ve çizilen eğriler ise her bir guse sistemi için h_m / h_o değerlerinin değişimini göstermektedir.



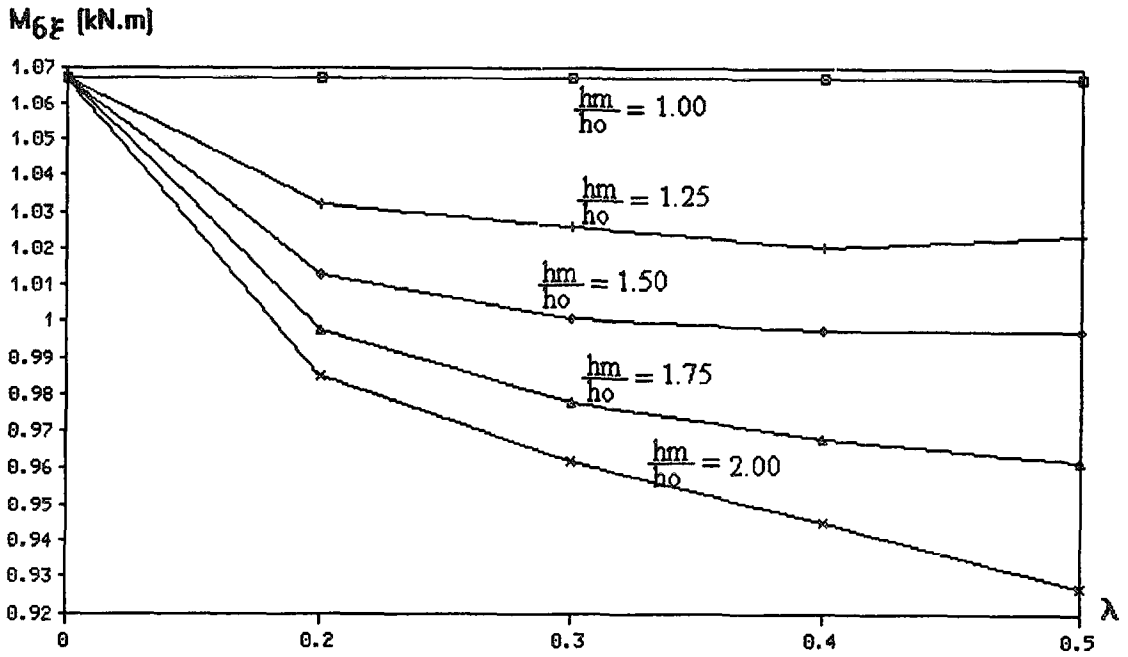
Şekil 3.3.2.1 : $q=30\text{kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi



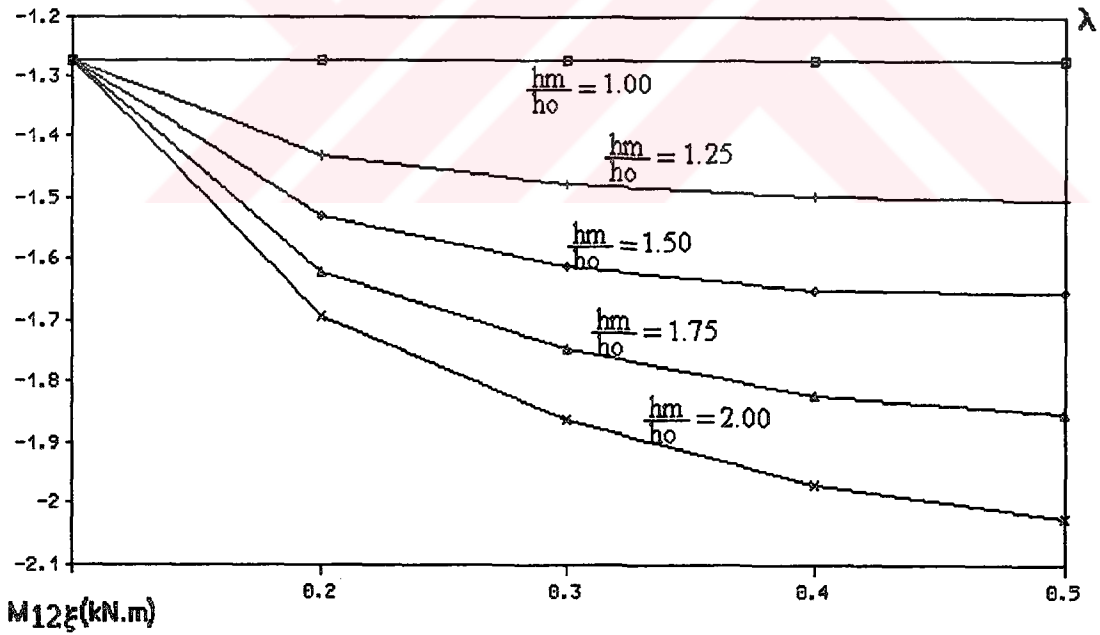
Şekil 3.3.2.2 : $q=30\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi



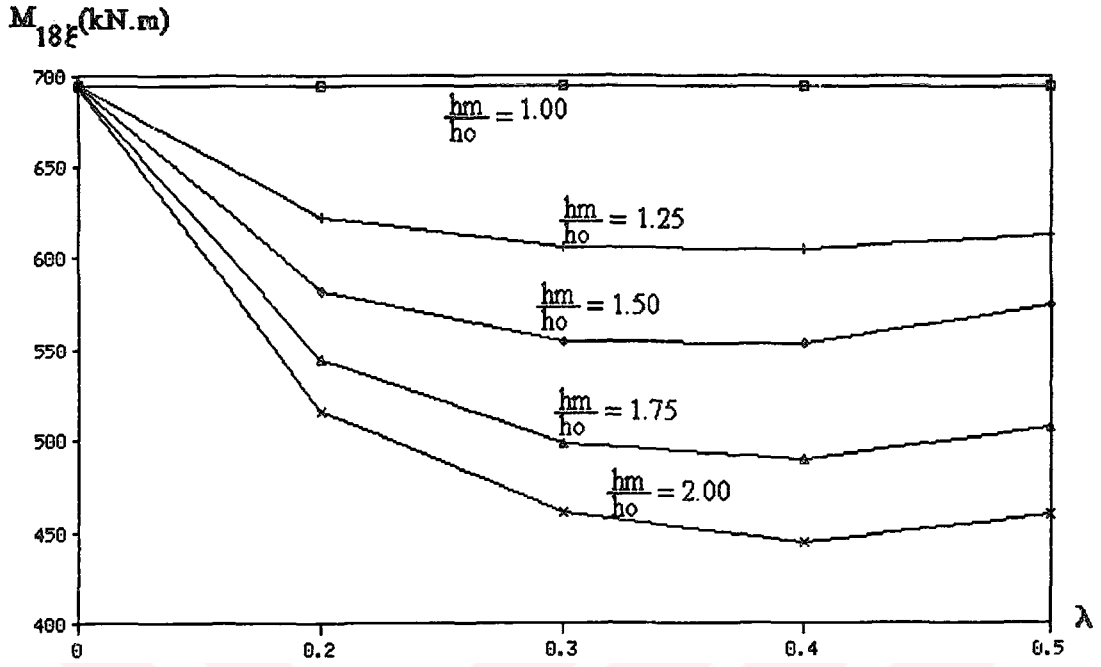
Şekil 3.3.2.3 : $q=30\text{kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi



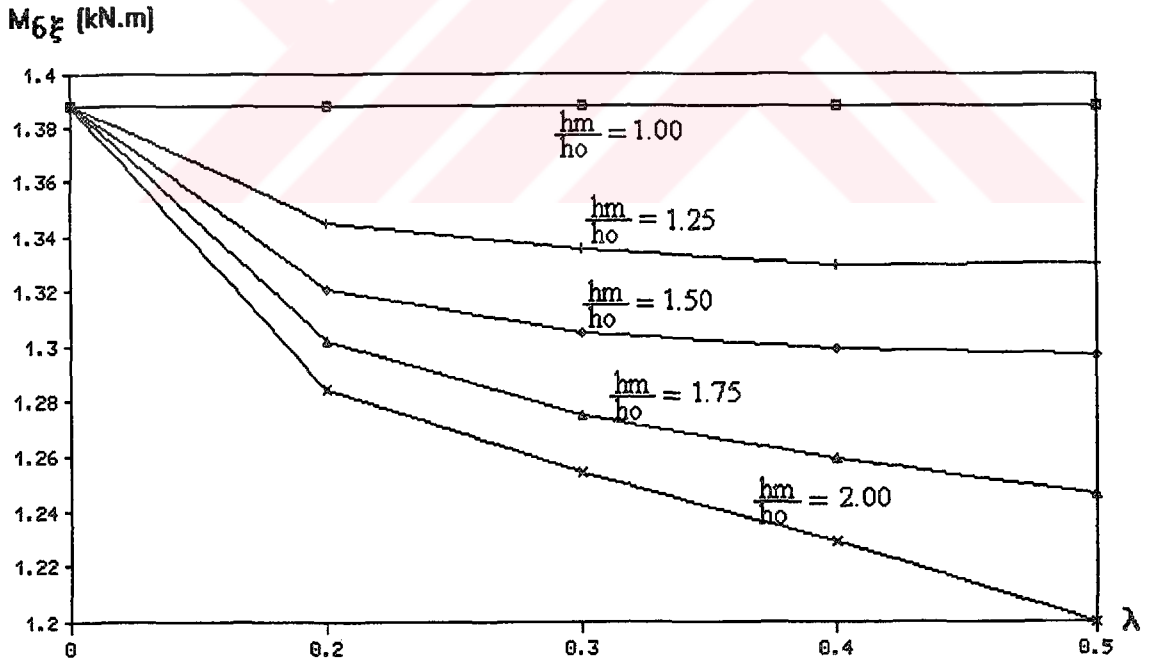
Şekil 3.3.2.4 : $q=50\text{kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi



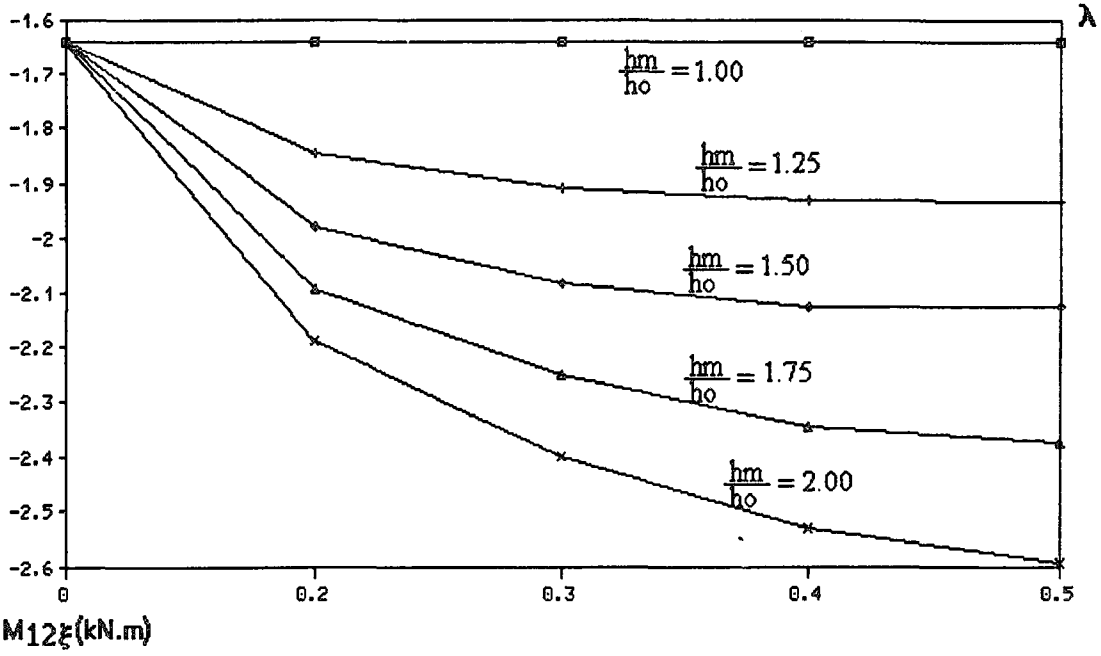
Şekil 3.3.2.5 : $q=50\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi



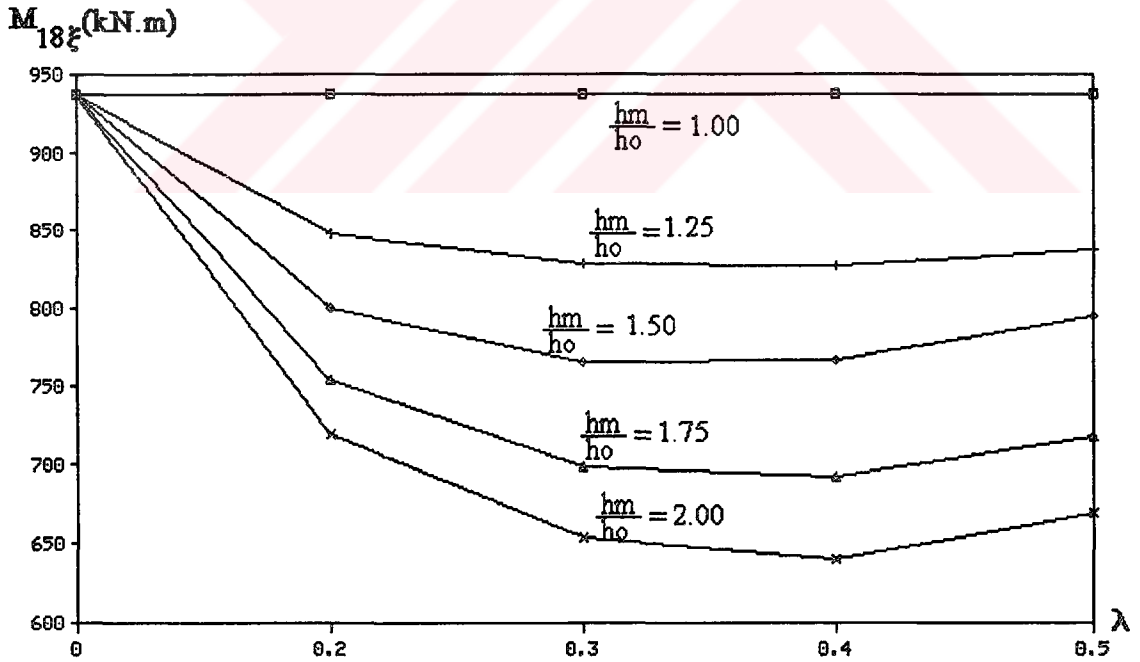
Şekil 3.3.2.6 : $q = 50 \text{ kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi



Şekil 3.3.2.7 : $q = 70 \text{ kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi



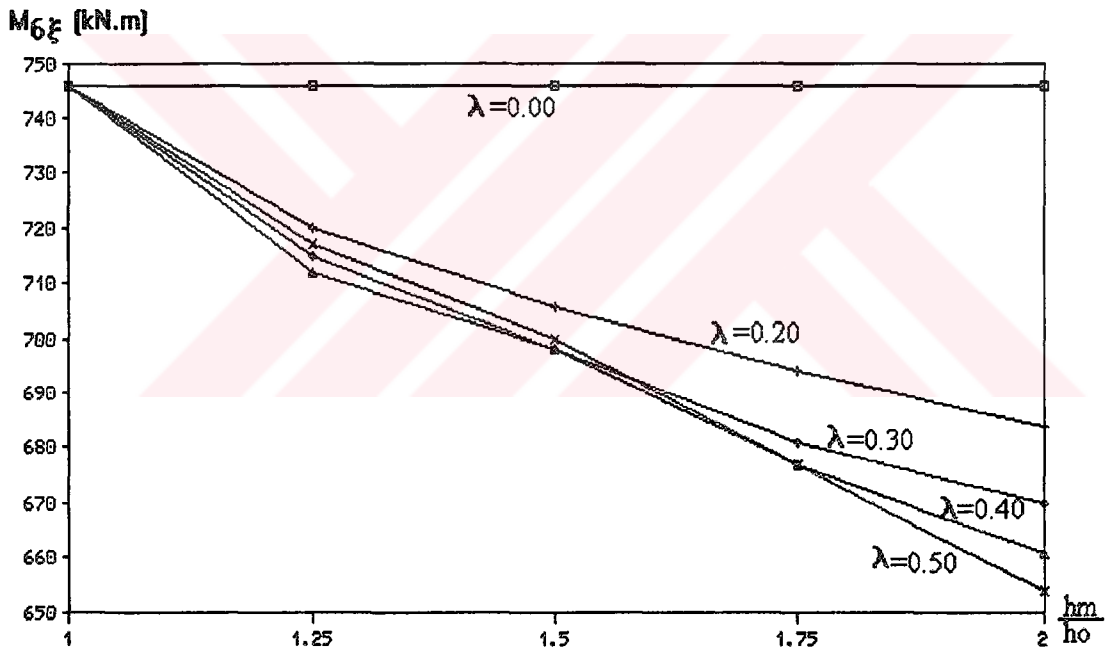
Şekil 3.3.2.8 : $q=70\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin λ ile değişimi



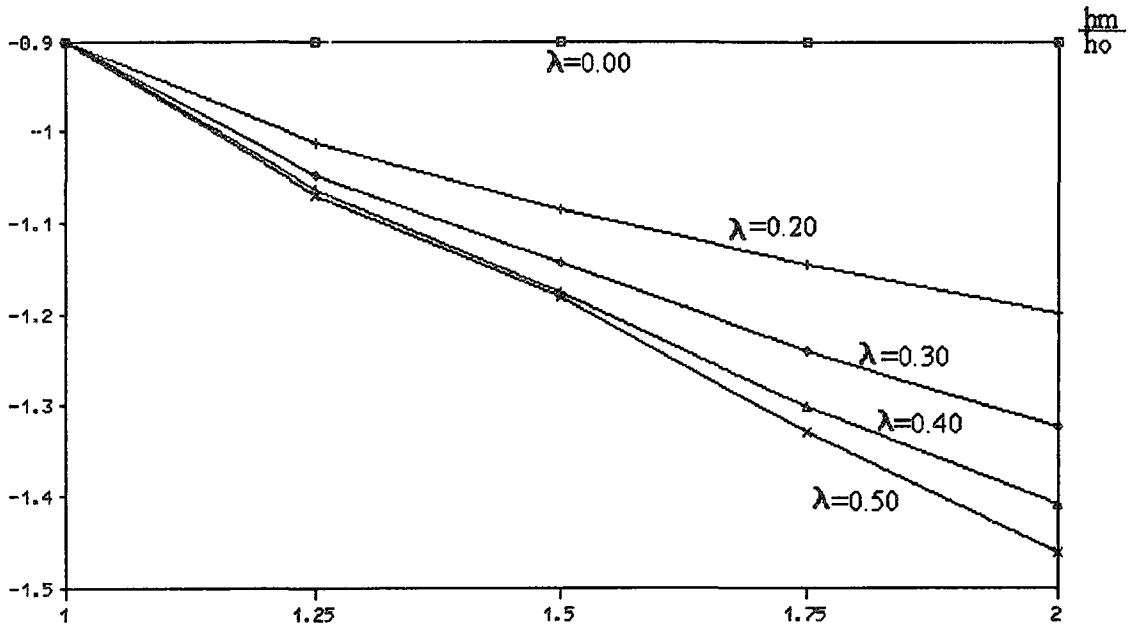
Şekil 3.3.2.9 : $q=70\text{kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin λ ile değişimi

3.3.3. DEĞİŞKEN TALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE HESAPLANAN MOMENTLER İÇİN MOMENT - hm / ho GRAFİKLERİ DEĞİŞİMİNİN İNCELENMESİ

Grafikler belirli bir q hareketli yükü için birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnetteki momentlere göre çizilerek incelenmiştir. Grafiklerin düşey eksenleri moment, yatay eksenleri hm / ho ve çizilen eğriler ise herbir guse sistemi için $\lambda = a / L_i$ değerlerinin değişimini göstermektedir. Aşağıda verilmiş olan grafikler, belirli bir q hareketli yükü ve moment için çizilmiş olan diyagramlardır.

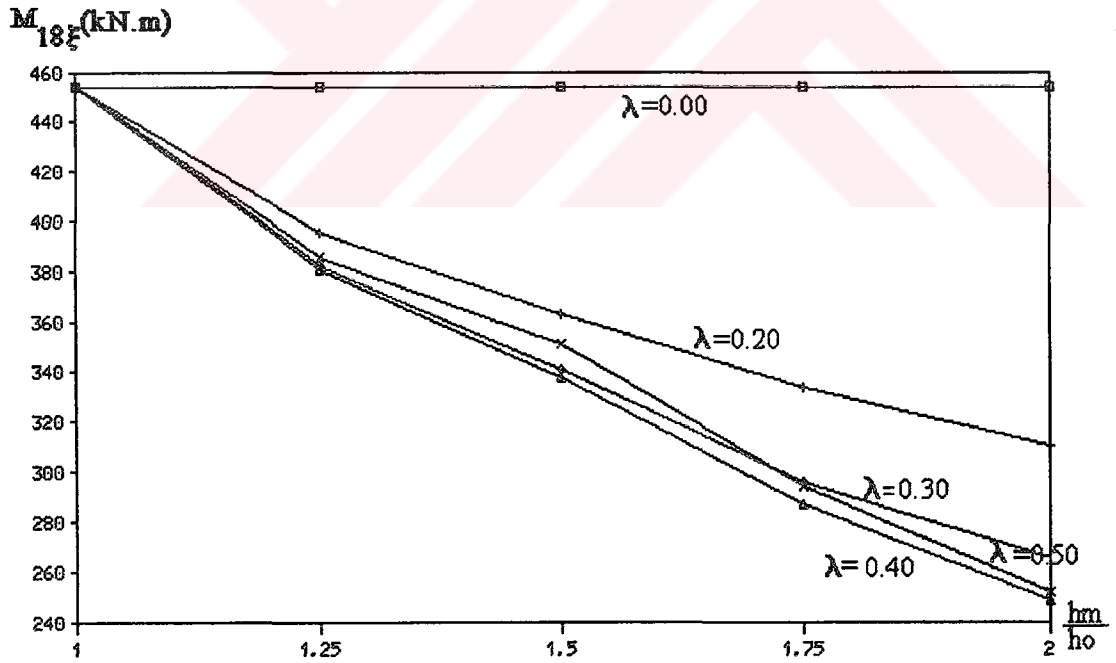


Şekil 3.3.3.1 : $q = 30 \text{ kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi



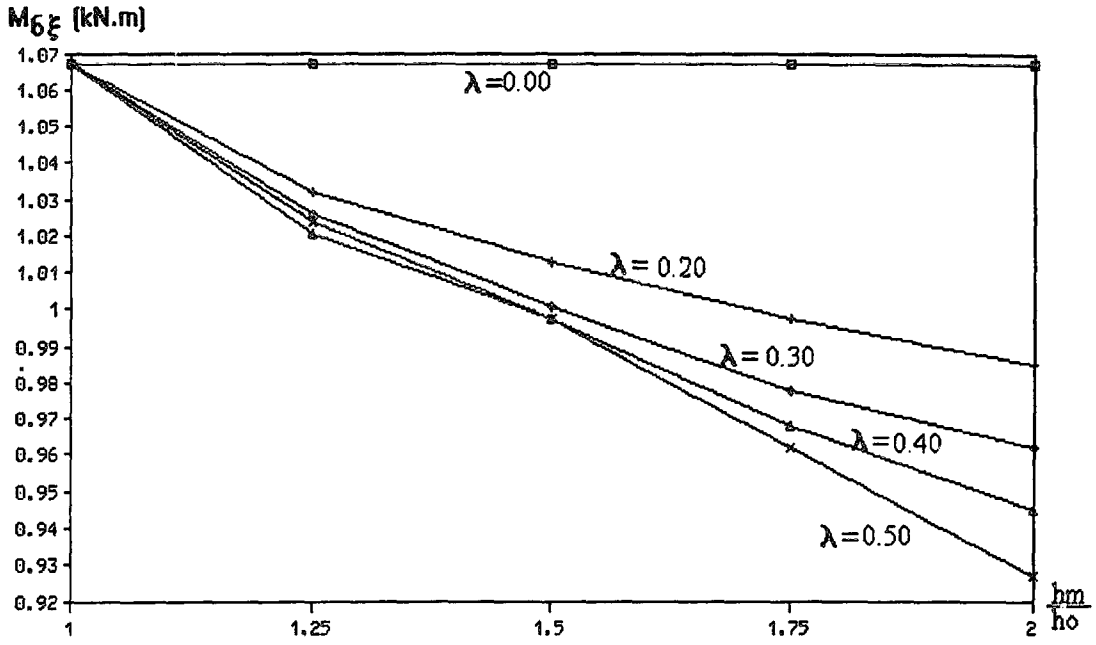
$M_{12\xi}$ (kN.m)

Şekil 3.3.3.2 : $q=30\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin $\frac{h_m}{h_o}$ ile değişimi

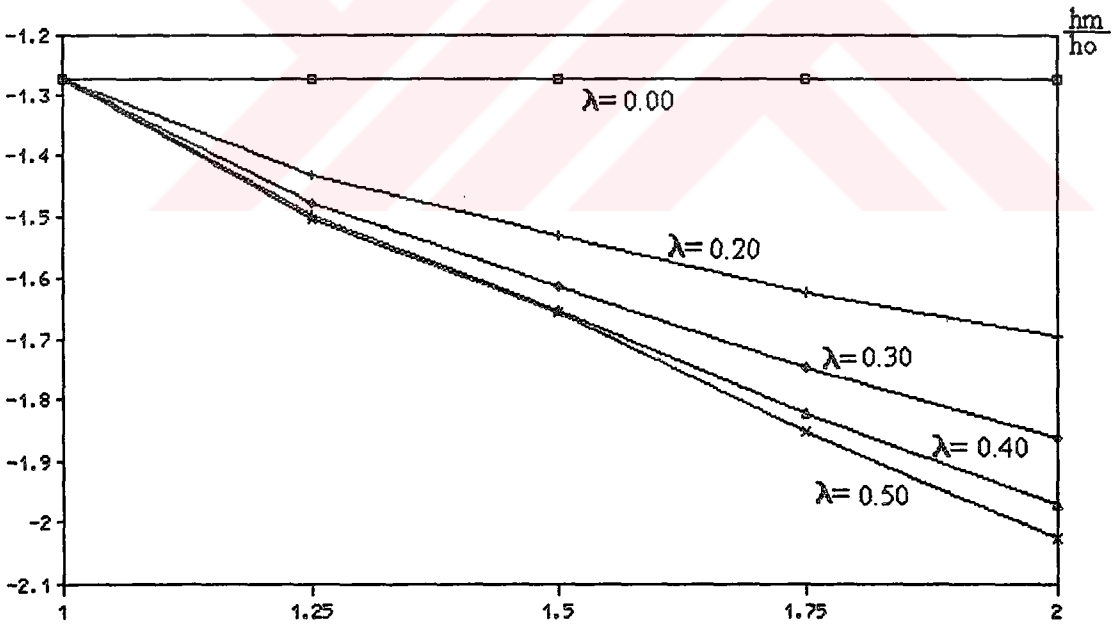


$M_{18\xi}$ (kN.m)

Şekil 3.3.3.3 : $q=30\text{kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin $\frac{h_m}{h_o}$ ile değişimi

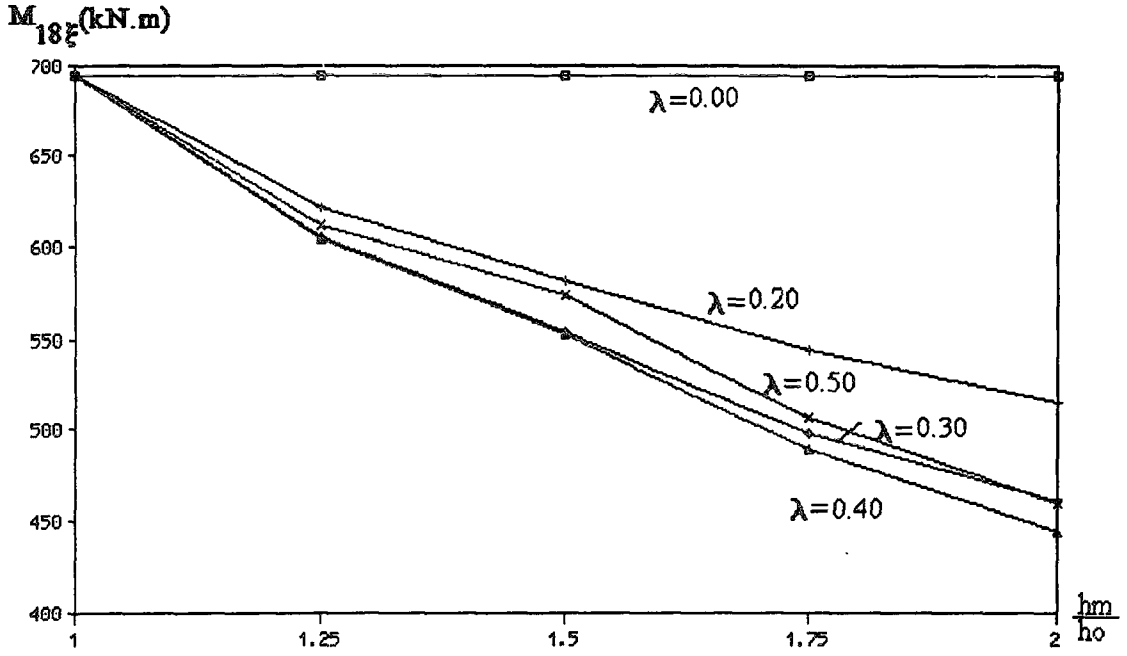


Şekil 3.3.3.4 : $q=50\text{kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin h_m/h_o ile değişimi

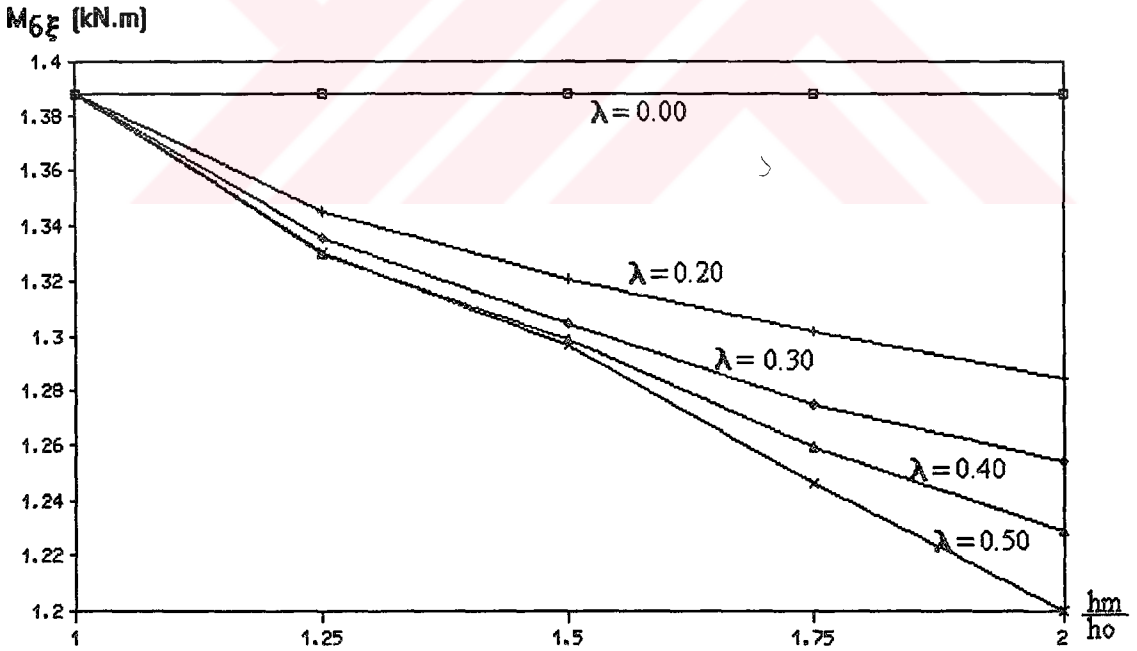


$M_{12\xi}$ (kN.m)

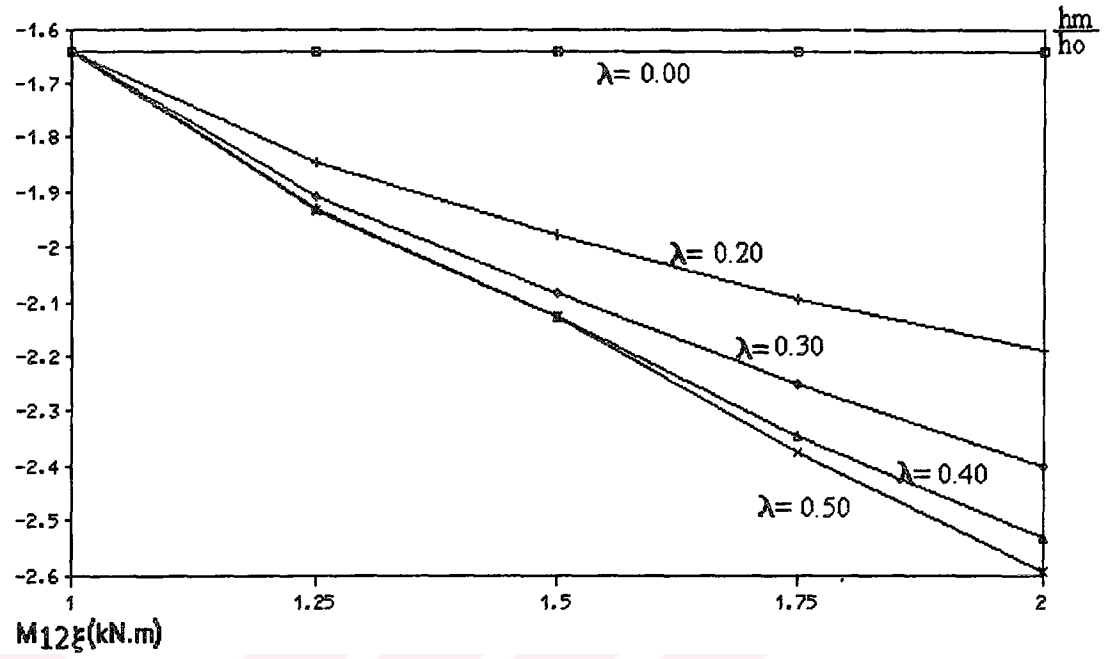
Şekil 3.3.3.5 : $q=50\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin h_m/h_o ile değişimi



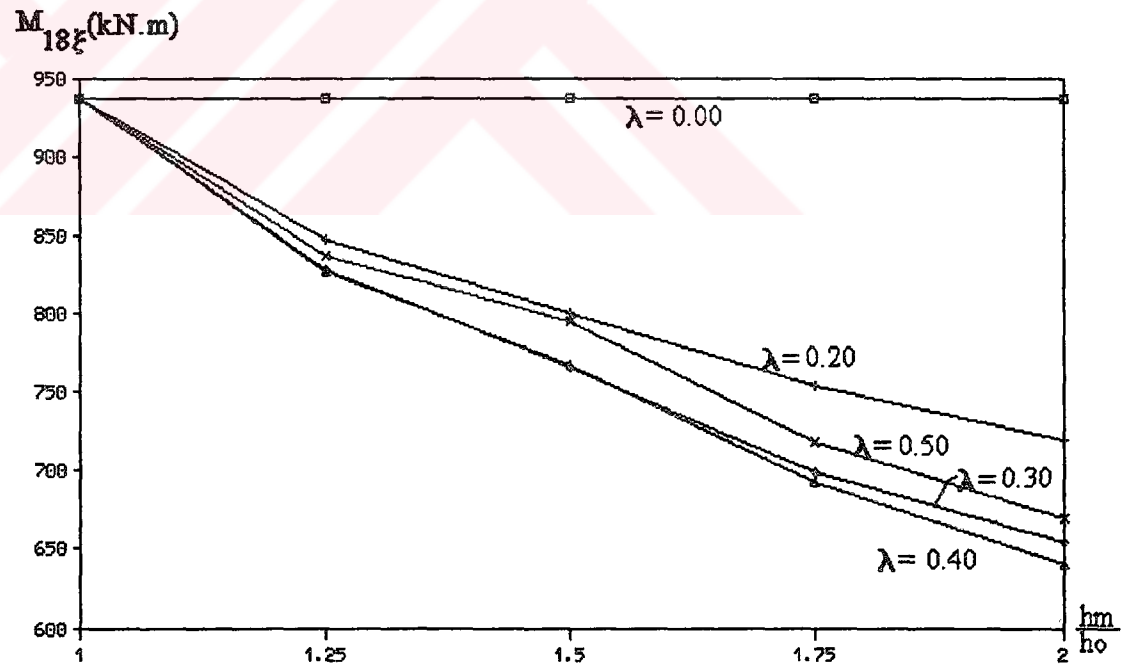
Şekil 3.3.3.6 : $q = 50 \text{ kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin $\frac{hm}{ho}$ ile değişimi



Şekil 3.3.3.7 : $q = 70 \text{ kN/m}$ hareketli yük için birinci açıklık ortası momentinin $\frac{hm}{ho}$ ile değişimi



Şekil 3.3.3.8 : $q=70\text{kN/m}$ hareketli yük için ara mesnet momentinin hm/ho ile değişimi



Şekil 3.3.3.9 : $q=70\text{kN/m}$ hareketli yük için ikinci açıklık ortası momentinin hm/ho ile değişimi

3.3.4. DEĞİŞKEN ATALET MOMENTLİ SÜREKLİ KİRİŞLERDE HESAPLANAN MOMENTLERE GÖRE DONATI HESABI

Değişken atalet momentli sürekli kirişlerde bulunan maksimum momentlere göre donatı hesabı, daha önce gusesiz sistemler için verilmiş olan donatı hesabı işlem sırası aynı şekilde uygulanarak bulunur. Donatı miktarlarında meydana gelen değişimleri inceleyebilmek için toplam donatı alanı her bir guseye ait λ ve h_m/h_o 'a göre İfade 3.2.8 'den hesaplanır. Toplam donatı alanı A_{st} tablo olarak gusesiz sistemlerde olduğu gibi $b_o = h_o = 1$ m 'lik bir kesit ve $q = 30, 50$ ve 70 kN/m 'lik yük değerleri için düzenlenerek, sırasıyla tablo 3.3.10, tablo 3.3.11 ve tablo 3.3.12 'de verilmiştir.

Tablo 3.3.10 : $q = 30$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı

bo=ho=1.00 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{h_m}{h_o}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	161	149.5	138	126.5	124.2	161	149.5	138	126.5	124.2

bo=ho=1.00 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{h_m}{h_o}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	161	149.5	138	126.5	124.2	161	149.5	138	126.5	124.2

Tablo 3.3.11 : $q = 50$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı

bo=ho=1.00 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{h_m}{h_o}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	173	164.2	154.5	162.9	169.6	173	164.2	154.5	162.9	169.6

bo=ho=1.00 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	173	164.2	154.5	160.6	169.6	176.6	166.1	155.5	153	169.6

Tablo 3.3.12 : $q = 70$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait donatı miktarlarının toplamı

bo=ho=1.00 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	190.4	184.6	194.1	206.5	223.5	192.5	184.5	194.7	206.1	223.5

bo=ho=1.00 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	194.1	184.5	191.9	206.6	223.5	196.5	186.5	188.4	203.5	223.5

Guseli kiriş sisteminde seçilmiş olan kesitin büyük olması nedeni ile donatı miktarındaki değişme incelenememektedir. Nedeni ise İfade 3.2.5 'e göre hesap edilmiş olan K değeri büyük bir değer olup, aralık olarak Kaynak 1.1 Çizelge 5.10 'daki tabloda yukarı kısımlara düşmektedir. Sonuçta kesit için minimum donatı oranı seçildiğinden dolayı A_{s1} , A_{s2} ve A_{sm} donatı alanları aynı değer olarak bulunmaktadır. Bu sebepten dolayı daha sağlıklı bilgi elde edebilmek amacıyla, $q = 30$ kN/m 'lik hareketli yük etkileyen kesitin bo genişliği %50 azaltılmıştır. Azaltmadan dolayı $bo = ho = 1$ m için her bir λ ve hm/ho 'a ait momentler değişmektedir. Yeni momentlerimiz M_{sg}^* zati yük momentinin %50 azaltılıp ve M_{sq} hareketli yük momentinin aynı şekilde alınması sureti ile İfade 2.2.7 'deki süperpozisyon denkleminde yerine konulup süperpoze edilerek tablo 3.3.13 'deki sonuç momentler elde edilmiştir.

Tablo 3.3.13 : $q = 30 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç momentler

bo=0.50 m ,ho=1 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	532	552	573	589	614	544	557	574	588	614
$M_{12\xi}$	-1155	-1057	-944	-859	-728	-1124	-1042	-944	-856	-728
$M_{18\xi}$	283	306	342	363	408	271	296	330	358	408

bo=0.50 m ,ho=1 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{6\xi}$	554	563	577	590	614	567	575	584	594	614
$M_{12\xi}$	-1064	-999	-923	-845	-728	-969	-928	-877	-819	-728
$M_{18\xi}$	279	299	330	359	408	309	324	345	368	408

Elde edilen momentler yardımıyla hesaplanmış olan toplam donatı miktarları tablo 3.3.14 'de verilmiştir.

Tablo 3.3.14 : $q = 30 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait toplam donatı miktarı

bo=0.50 m ,ho=1.00 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$A_{st} \text{ (cm}^2\text{)}$	90.62	85.8	84.92	90.90	97.06	91.36	86.44	85.20	90.62	97.06

bo=0.50 m, ho=1.00 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	91.82	86.70	84.40	90.30	97.06	92.70	87.60	83.40	89.40	97.06

Aynı düşünce ile $q = 50$ kN/m 'lik hareketli yük etkiyen kesitin b_o genişliği %25 azaltılmıştır. Azaltmanın bu kesit için %25 alınma nedeni, kesitin fazla küçütülmesi durumunda kesitin yetersiz kalmasından dolayı çift donatılı kesit hesabını önlemek içindir. Bu azaltma sonucunda $b_o = h_o = 1$ m 'lik kesite ait moment değerleri değişmektedir. Azaltılmış moment değerleri, M_{sg}^* zati yük momenti %25 azaltılıp ve M_{sq} hareketli yük momenti aynen alınıp İfade 2.2.7 'deki süperpozisyon denkleminde süperpoze edilerek tablo 3.3.15 'de verilmiştir.

Tablo 3.3.15 : $q = 50$ kN/m 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait değişik λ ve hm/ho oranına göre sonuç momentler

bo=0.75 m, ho=1 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{o\zeta}$	866	900	934	960	1001	886	908	937	959	1001
$M_{12\zeta}$	-1874	-1716	-1534	-1396	-1184	-1827	-1693	-1536	-1393	-1184
$M_{18\zeta}$	476	513	569	601	672	456	494	548	593	672

bo=0.75 m, ho=1 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
$M_{o\zeta}$	904	919	941	963	1001	926	939	952	970	1001
$M_{12\zeta}$	-1731	-1625	-1502	-1375	-1184	-1578	-1510	-1427	-1333	-1184
$M_{18\zeta}$	467	499	548	594	672	514	539	573	608	672

Hesaplanan momentler yardımıyla elde edilen toplam donatı miktarları tablo 3.3.16 'da gösterilmiştir.

Tablo 3.3.16 : $q = 50 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük için, birinci ve ikinci açıklık ortası ile mesnete ait toplam donatı miktarı

bo=0.75 m, ho=1.00 m										
λ	0.50					0.40				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	140	134.2	139.4	149.1	160.5	141.5	134.6	140.4	148.2	160.5

bo=0.75 m, ho=1.00 m										
λ	0.30					0.20				
$\frac{hm}{ho}$	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00	2.00	1.75	1.50	1.25	1.00
A_{st} (cm^2)	142.8	135.6	137.9	148.2	160.5	144.6	137	135.4	146.1	160.5

Hesaplamalar sonucunda $q = 70 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük durumunda $bo = ho = 1 \text{ m}$ 'lik kesitte bu yükten dolayı oluşan momentlerin büyük olması sebebiyle donatı değişimi incelenebilmiştir. Bu durumda toplam donatı alanı A_{st} guseye ait belirli bir λ için lineer olarak artış göstermektedir. Ancak donatıda oluşan bu artma miktarı belirli bir guseye ait $hm/ho = 1.75$ oranında azaldıktan sonra lineer olarak artışa geçmektedir.

Kesitin %50 azaltılması durumunda $q = 30 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük için belirli bir λ 'ya sahip gusede donatı miktarı artmaktadır. Ancak guse için belirli bir λ 'ya karşılık $hm/ho = 1.50$ değerinde donatı miktarı A_{st} minimum 'a indikten sonra artmaktadır. Bu artma miktarı hm/ho oranının azalmasına göre olmaktadır.

Kesit %25 azaltılıp $q = 50 \text{ kN/m}$ 'lik hareketli yük etkimesi sonucunda belirli bir λ için donatı miktarı hm/ho oranının küçülmesine bağlı olarak artmaktadır. Bu artma değeri $hm/ho = 1.75$ oranı için minimuma ulaşıldıktan sonra artışa geçmektedir.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Üç açıklıklı sabit atalet momentli sürekli kiriş üzerinde, üç açıklığında eşit olması durumunda tesir çizgilerinin hesabı yapılmıştır. Tesir çizgileri birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnette incelenmiştir. İncelemede esas olarak Kinematik Yöntem ele alınmış ve Gezici Birim yük yöntemi ile Kinematik yöntem sonucunda elde edilen tesir çizgisi ordinatlarının kontrolü yapılmıştır.

Değişken atalet momentli sürekli kiriş (guseli) olarak aynı sistem dikkate alınarak tesir çizgileri incelenmiştir. Yöntem olarak Kinematik Yöntem ve Gezici Birim Yük Yöntemi kullanılmıştır. Tesir çizgileri guseli sistem için birinci ve ikinci açıklık ortası ile ara mesnette hesaplanmıştır.

Guseli ve Gusesiz kiriş sistemler için g zati yükü ve q hareketli yükü yardımıyla maksimum zorlanmayı verecek şekilde yükleme yapılarak aranan noktalar için sonuç momentler elde edilmiştir. Bu momentler sabit atalet momentli sürekli kirişler için tek bir şekilde bulunurken, değişken atalet momentli sürekli kirişlerde her bir guseye ait λ ve J_0/J_m değerleri için hesaplanmıştır. İncelemede üç açıklığında eşit yani $L_1=L_2=L_3$ durumu için moment değerleri elde edilmiştir.

Gusesiz sistemlerde donatı miktarının değişimi birinci ve ikinci açıklık ortasında belirli bir sabit kesit için q hareketli yüküne bağlı olarak artmaktadır. Kesit büyüdükçe zorlanma arttığı için moment değeride büyümektedir. Donatı miktarı ise momente bağlı olarak aynı artışı göstermektedir. Ancak kesit büyüdükçe donatı miktarındaki artma oranı, küçük kesitlere nazaran azalan bir değerde olmaktadır. Mesnette ek donatı miktarı küçük kesitler için q 'ya bağlı artarken ($1*1.2$ m) 'lik kesitte q 'ya bağlı olarak değişmemekte ek donatı miktarı aynı kalmaktadır.

Değişken atalet momentli (guseli) kirişlerde guseye ait λ değeri arttıkça birinci açıklık ortası momentleri azalmakta, ikinci açıklık ortası momentleri değişkenlik gösterirken, mesnete ait moment değerleri artmaktadır. Guseye ait h_m/h_0 oranı arttıkça birinci ve ikinci açıklık ortası momentleri azalmamakta, mesnet momenti değerleri artış göstermektedir. Sonuçta guseli sistemler için açıklık momentleri genel olarak azalırken mesnet momentleri artmaktadır. Azalan moment değerleri nedeni ile değişken atalet momentli kirişlerde açıklıktaki kesitlerin büyük kalması sonucunda donatı miktarındaki değişim incelenmemektedir. Nedeni ise betonarme hesaplarda dikkate alınan K değeri büyük olup, donatı oranı için kullanılan tabloda yukarı kısımlara düşmektedir. Kesit için her bir momente göre minimum donatı oranı seçildiğinden dolayı A_{s1} , A_{s2} ve A_{sm} donatı alanları aynı değerde kalmaktadır. Donatı miktarı değişimini inceleyebilmek amacı ile kesitin b_0 genişliği %50 azaltılmıştır. Toplam donatı alanı A_{st} , guseye ait λ azaldıkça lineer olarak artmaktadır. Ancak donatıda oluşan bu artma miktarı belirli bir

$\lambda=0.20$ ve $hm/ho=1.75$. de azaldıktan sonra lineer olarak artan bir değer göstermektedir.  açıklıklı sürekli bir kirişte  açıklıkta eşit olarak alınırsa guse için $\lambda=0.20$ ve $hm/ho=1.75$ durumunda minimize edilmiş donatı miktarı kullanılmaktadır. Ancak  açıklıklı sürekli kirişe yüklenen q hareketli yük değerleri azaldıkça moment değerleride azalmakta ve buna bağlı olarak minimize donatı miktarı belirli bir guseye ait λ için hm/ho oranı 1.50 'ye düşmektedir.

Sonuç olarak  aıklıkıda eşit sürekli kirişler için guseye ait parametreler belirlenirken rasgele λ ve hm/ho oranı kullanılmamalıdır. Bunun için guse yapılacak kiriş sisteminin statik durumu (mesnette oluşacak zorlanma, aıklıkıa ait uzunluk değerleri) incelenerek, guseye ait uygun λ ve hm/ho parametreleri seçilmelidir.



KAYNAKLAR

- _BERKTAY İlhan : Betonarme 1, Taşıma Gücü ve Kesit Hesapları, İnşaat Mühendisler Odası İstanbul Şubesi, 1989 İSTANBUL
- _BİRO G. , RONAI G. : Mütemedi Kiriş ve Çerçevelerin Modern Hesap Metodları, 1972 ANKARA
- _CELASUN Hüseyin : Betonarme Köprüler ve Hesap Metodları, Çağlayan Kitabevi, 1974 İSTANBUL
- _CELASUN Hüseyin : Hiperstatik Sistemlerde Öngerilme Kuvvetleri, Arı Kitabevi, 1971 İSTANBUL
- _CELASUN Hüseyin : Çelik Köprüler, Çağlayan Kitabevi ,1974, İSTANBUL
- _ÇAKIROĞLU Adnan : Hiperstatik Sistemlerin Hesap Metotları, Arı Kitabevi, 1961 İSTANBUL
- _ÇAKIROĞLU A. , ÇETMELİ E. : Yapı Statiği Cilt 1, Beta Kitabevi, 1990 İSTANBUL
- _ÇAKIROĞLU A. , ÇETMELİ E. : Yapı Statiği Cilt 2, Beta Kitabevi, 1991 İSTANBUL
- _EKİZ İbrahim : Yapı Statiği 1, İzostatik Sistemler, Yıldız Üniversitesi Matbaası, 1992 İSTANBUL
- _EKİZ İbrahim : Çözümlü Köprü Problemleri, Çağlayan Kitabevi 2. Baskı, 1981 Beyoğlu-İSTANBUL
- _ERSOY Uğur : Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Matbaası, 2. Baskı, 1987 İSTANBUL

_GÖĞÜŞ İrdesel :Yapı Statiği, İzostatik Sistemlerde Şekil Değişirmeler, Hiperstatik Sistemlerin Kuvvet Metoduyla Çözümü, Matbaa Tek. Koll. Ş.T.İ, 1978 İSTANBUL

_GULDAN R. : Die Cross-Methode und Ihre Praktische Anwendung, Springer Verlag, 1955 WIEN

_GÜNDÜZ Altay : Betonarme - Taşıma Gücü İlkesine Göre, Kazmaz Matbaası, 1980 İSTANBUL

_KARAKAŞ Macit : Sürekli Kirişlerin Kısa ve Kesin Çözümü, Özarkadaş Matbaası, 1975 İSTANBUL

_RAMM Hermann : Praktische Baustatik, Verlagsgesellschaft, 1964 STUTTGART

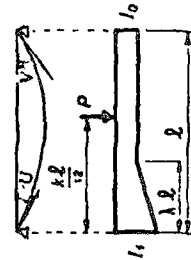


Tablo E.1 : Moment Alanı Çarpım Tablosu

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	k	l	
M	lMM	$\frac{l}{2}MM$	$\frac{l}{2}MM$	$\frac{l}{2}M(M_1+M_2)$	$\frac{l}{2}MM$	$\frac{l}{2}M(M_1-M_2)$	$\frac{2}{3}lMM$	$\frac{2}{3}lMM$	$\frac{2}{3}lMM$	$\frac{l}{3}MM$	$\frac{l}{3}MM$	$\frac{l}{3}MM$
\bar{M}	lMM	$\frac{l}{3}MM$	$\frac{l}{6}MM$	$\frac{l}{6}M(2M_1+M_2)$	$\frac{l}{6}MM(1+l)$	$\frac{l}{6}M(2M_1-M_2)$	$\frac{5}{12}lMM$	$\frac{5}{12}lMM$	$\frac{l}{4}MM$	$\frac{l}{4}MM$	$\frac{l}{12}MM$	$\frac{l}{12}MM$
			$\frac{l}{6}M$	$\frac{l}{6}[M_1(2\bar{M}_1+\bar{M}_2)+M_2(\bar{M}_1+2\bar{M}_2)]$	$\frac{l}{6}M[\bar{M}_1(1+l)+\bar{M}_2(1+l)]$	$\frac{l}{6}[M_1(2\bar{M}_1+\bar{M}_2)-M_2(\bar{M}_1+2\bar{M}_2)]$	$\frac{l}{12}M$	$\frac{l}{12}M$	$\frac{l}{12}M$	$\frac{l}{12}M$	$\frac{l}{12}M$	$\frac{l}{12}M$
M_2												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												
M_1												

Tablo E.3 : Tek Tarafı Düz Guseli Kirişte F=1 kN 'luk Dış Yükten Meydana Gelen (elastik eğri) deplasman değeri

TEK DÜZ GUSELİ KIRIŞ



$l/12, 2l/12 \dots 11l/12$ için

Üst satır $\gamma_1 = \frac{E I_0}{P l^2} U$

Alt satır $\gamma_2 = \frac{E I_0}{P l^2} V$

$n = \frac{h}{l} < 1$

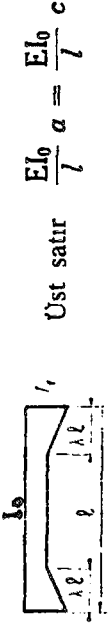
TEK DÜZ GUSELİ KIRIŞ
(devam)

λ	$\frac{h}{n}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.40	0.00	0.0060	0.0120	0.0180	0.0240	0.0295	0.0332	0.0358	0.0378	0.0390	0.0400	0.0408
	0.03	0.0092	0.0182	0.0266	0.0340	0.0397	0.0435	0.0459	0.0474	0.0484	0.0490	0.0494
	0.05	0.0101	0.0197	0.0285	0.0362	0.0415	0.0449	0.0468	0.0478	0.0484	0.0488	0.0491
	0.10	0.0118	0.0226	0.0328	0.0416	0.0469	0.0500	0.0516	0.0524	0.0528	0.0530	0.0531
	0.20	0.0141	0.0265	0.0367	0.0446	0.0490	0.0516	0.0528	0.0532	0.0534	0.0535	0.0535
	0.30	0.0161	0.0292	0.0386	0.0456	0.0490	0.0512	0.0522	0.0525	0.0526	0.0527	0.0527
	0.40	0.0176	0.0314	0.0402	0.0463	0.0490	0.0508	0.0516	0.0519	0.0520	0.0520	0.0520
	0.50	0.0188	0.0324	0.0406	0.0458	0.0480	0.0494	0.0500	0.0501	0.0501	0.0501	0.0501
	0.60	0.0196	0.0328	0.0404	0.0447	0.0463	0.0472	0.0475	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476
	0.70	0.0200	0.0329	0.0401	0.0435	0.0448	0.0454	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456	0.0456
0.35	0.00	0.0078	0.0153	0.0229	0.0302	0.0358	0.0399	0.0428	0.0448	0.0460	0.0468	0.0473
	0.03	0.0108	0.0212	0.0309	0.0394	0.0446	0.0478	0.0494	0.0501	0.0504	0.0505	0.0505
	0.05	0.0113	0.0223	0.0317	0.0399	0.0449	0.0476	0.0488	0.0492	0.0493	0.0493	0.0493
	0.10	0.0117	0.0233	0.0323	0.0399	0.0446	0.0469	0.0478	0.0481	0.0482	0.0482	0.0482
	0.20	0.0122	0.0237	0.0323	0.0394	0.0438	0.0458	0.0464	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466
	0.30	0.0124	0.0238	0.0321	0.0388	0.0430	0.0448	0.0453	0.0454	0.0454	0.0454	0.0454
	0.40	0.0125	0.0238	0.0319	0.0382	0.0421	0.0438	0.0443	0.0444	0.0444	0.0444	0.0444
	0.50	0.0125	0.0238	0.0317	0.0377	0.0414	0.0430	0.0436	0.0437	0.0437	0.0437	0.0437
	0.60	0.0125	0.0238	0.0315	0.0372	0.0408	0.0423	0.0428	0.0429	0.0429	0.0429	0.0429
	0.70	0.0125	0.0238	0.0313	0.0368	0.0402	0.0417	0.0421	0.0422	0.0422	0.0422	0.0422
0.30	0.00	0.0095	0.0191	0.0286	0.0376	0.0440	0.0481	0.0502	0.0512	0.0518	0.0520	0.0520
	0.03	0.0124	0.0246	0.0349	0.0428	0.0479	0.0500	0.0508	0.0511	0.0512	0.0512	0.0512
	0.05	0.0125	0.0248	0.0349	0.0425	0.0474	0.0494	0.0501	0.0502	0.0502	0.0502	0.0502
	0.10	0.0125	0.0248	0.0346	0.0420	0.0467	0.0485	0.0490	0.0491	0.0491	0.0491	0.0491
	0.20	0.0125	0.0248	0.0342	0.0412	0.0456	0.0472	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476	0.0476
	0.30	0.0125	0.0248	0.0338	0.0405	0.0447	0.0462	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466	0.0466
	0.40	0.0125	0.0248	0.0334	0.0398	0.0438	0.0453	0.0457	0.0457	0.0457	0.0457	0.0457
	0.50	0.0125	0.0248	0.0330	0.0391	0.0429	0.0443	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446	0.0446
	0.60	0.0125	0.0248	0.0326	0.0384	0.0421	0.0434	0.0437	0.0437	0.0437	0.0437	0.0437
	0.70	0.0125	0.0248	0.0322	0.0378	0.0413	0.0425	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427	0.0427

λ	$\frac{h}{n}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.00	0.00	0.0018	0.0033	0.0045	0.0055	0.0062	0.0068	0.0072	0.0075	0.0076	0.0076	0.0076
	0.03	0.0023	0.0043	0.0058	0.0070	0.0078	0.0083	0.0086	0.0088	0.0089	0.0089	0.0089
	0.05	0.0026	0.0048	0.0065	0.0078	0.0086	0.0091	0.0093	0.0094	0.0094	0.0094	0.0094
	0.10	0.0031	0.0055	0.0074	0.0088	0.0096	0.0100	0.0102	0.0103	0.0103	0.0103	0.0103
	0.20	0.0035	0.0062	0.0083	0.0098	0.0106	0.0110	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111	0.0111
	0.30	0.0037	0.0066	0.0088	0.0104	0.0112	0.0114	0.0115	0.0115	0.0115	0.0115	0.0115
	0.40	0.0038	0.0070	0.0093	0.0110	0.0118	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120	0.0120
	0.50	0.0038	0.0072	0.0095	0.0113	0.0121	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122	0.0122
	0.60	0.0038	0.0073	0.0096	0.0114	0.0122	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123
	0.70	0.0038	0.0073	0.0096	0.0114	0.0122	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123	0.0123
0.50	0.00	0.0035	0.0070	0.0104	0.0139	0.0174	0.0209	0.0227	0.0236	0.0240	0.0241	0.0241
	0.03	0.0047	0.0092	0.0128	0.0165	0.0199	0.0225	0.0236	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241
	0.05	0.0050	0.0096	0.0133	0.0170	0.0203	0.0228	0.0239	0.0242	0.0242	0.0242	0.0242
	0.10	0.0052	0.0100	0.0137	0.0174	0.0206	0.0230	0.0240	0.0242	0.0242	0.0242	0.0242
	0.20	0.0053	0.0102	0.0139	0.0176	0.0207	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241
	0.30	0.0053	0.0103	0.0140	0.0177	0.0208	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241
	0.40	0.0053	0.0103	0.0140	0.0177	0.0208	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241
	0.50	0.0053	0.0103	0.0140	0.0177	0.0208	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241
	0.60	0.0053	0.0103	0.0140	0.0177	0.0208	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241
	0.70	0.0053	0.0103	0.0140	0.0177	0.0208	0.0231	0.0240	0.0241	0.0241	0.0241	0.0241

Tablo E.4 : Çift Tarafı Düz Guseli Kirişte Hiperstatik Bilinmeyen Yükü Sonucundaki δ_{ij} Deplasman Değerleri

İKİ EŞİT DÜZ GUSELİ KIRIŞ



Üst satır $\frac{El_0}{l} a = \frac{El_0}{l} c$

Alt satır $\frac{El_0}{l} b$

$\mu = \frac{l_0}{l_1} < 1$

λ	μ	1,00	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,15	0,12
0,50	{	0,333	0,314	0,294	0,273	0,251	0,227	0,202	0,173	0,140	0,121	0,109
		1,06	1,00	1,53	1,66	1,78	1,78	1,29	1,18	1,00	0,81	0,76
0,55	{	0,333	0,316	0,297	0,278	0,256	0,236	0,212	0,186	0,155	0,138	0,126
		1,06	1,01	1,56	1,69	1,82	1,85	1,35	1,25	1,06	0,86	0,80
0,40	{	0,333	0,317	0,300	0,281	0,254	0,231	0,202	0,178	0,154	0,144	0,132
		1,06	1,02	1,58	1,72	1,87	1,91	1,41	1,33	1,15	0,98	0,94
0,35	{	0,333	0,319	0,304	0,285	0,257	0,233	0,204	0,182	0,158	0,150	0,138
		1,06	1,03	1,60	1,75	1,91	1,94	1,44	1,36	1,18	1,01	0,97
0,30	{	0,333	0,321	0,307	0,288	0,259	0,235	0,206	0,184	0,160	0,152	0,140
		1,06	1,04	1,61	1,76	1,92	1,95	1,45	1,37	1,19	1,02	0,98
0,25	{	0,333	0,322	0,311	0,291	0,261	0,237	0,208	0,186	0,162	0,154	0,142
		1,06	1,05	1,63	1,78	1,94	1,97	1,46	1,38	1,20	1,03	0,99
0,20	{	0,333	0,324	0,313	0,293	0,263	0,239	0,210	0,188	0,164	0,156	0,144
		1,06	1,06	1,65	1,80	1,96	1,99	1,47	1,39	1,21	1,04	1,00
0,15	{	0,333	0,325	0,314	0,294	0,264	0,240	0,211	0,189	0,165	0,157	0,145
		1,06	1,06	1,66	1,81	1,97	1,99	1,48	1,40	1,22	1,05	1,01
0,10	{	0,333	0,326	0,315	0,295	0,265	0,241	0,212	0,190	0,166	0,158	0,146
		1,06	1,06	1,66	1,81	1,97	1,99	1,48	1,40	1,22	1,05	1,01
0,05	{	0,333	0,327	0,316	0,296	0,266	0,242	0,213	0,191	0,167	0,159	0,147
		1,06	1,06	1,67	1,82	1,98	1,99	1,48	1,40	1,22	1,05	1,01
0,00	{	0,333	0,328	0,317	0,297	0,267	0,243	0,214	0,192	0,168	0,160	0,148
		1,06	1,06	1,68	1,83	1,99	1,99	1,48	1,40	1,22	1,05	1,01

λ	μ	0,12	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,005	0,00
0,50	{	0,109	0,099	0,089	0,078	0,071	0,064	0,056	0,047	0,035	0,026	0,006
		0,70	0,71	0,65	0,59	0,55	0,50	0,45	0,39	0,30	0,24	0,00
0,45	{	0,20	0,17	0,15	0,13	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,00
		0,70	0,71	0,66	0,60	0,56	0,51	0,46	0,40	0,31	0,25	0,00
0,40	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,67	0,61	0,57	0,52	0,47	0,41	0,32	0,26	0,00
0,35	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,68	0,62	0,58	0,53	0,48	0,42	0,33	0,27	0,00
0,30	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,69	0,63	0,59	0,54	0,49	0,43	0,34	0,28	0,00
0,25	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,70	0,64	0,60	0,55	0,50	0,44	0,35	0,29	0,00
0,20	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,71	0,65	0,61	0,56	0,51	0,45	0,36	0,30	0,00
0,15	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,71	0,66	0,62	0,57	0,52	0,46	0,37	0,31	0,00
0,10	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,71	0,67	0,63	0,58	0,53	0,47	0,38	0,32	0,00
0,05	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,71	0,68	0,64	0,59	0,54	0,48	0,39	0,33	0,00
0,00	{	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01	0,00
		0,70	0,71	0,71	0,69	0,65	0,60	0,55	0,49	0,40	0,34	0,00

Tablo E.5 : Çift Tarafı Düz Guseli Kirişte F=1 kN 'luk Dış Yükten Meydana Gelen (elastik eğri) deplasman değeri

İKİ EŞİT DÜZ GUSELİ KIRIŞ (devam)

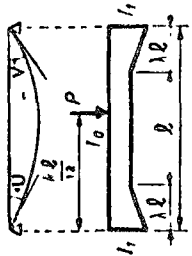
λ	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
0,20	0,00	0,0027	0,0170	0,0263	0,0348	0,0406	0,0437	0,0437	0,0414	0,0374	0,0327	0,0270	0,0209
	0,01	0,0079	0,0158	0,0237	0,0314	0,0374	0,0400	0,0396	0,0348	0,0296	0,0236	0,0176	0,0112
	0,02	0,0129	0,0238	0,0349	0,0439	0,0470	0,0471	0,0426	0,0373	0,0313	0,0247	0,0182	0,0116
	0,03	0,0186	0,0328	0,0441	0,0519	0,0536	0,0519	0,0454	0,0384	0,0313	0,0241	0,0176	0,0112
	0,04	0,0249	0,0439	0,0554	0,0614	0,0614	0,0579	0,0496	0,0416	0,0336	0,0264	0,0200	0,0136
	0,05	0,0318	0,0561	0,0678	0,0721	0,0700	0,0656	0,0564	0,0474	0,0384	0,0312	0,0248	0,0184
	0,06	0,0393	0,0694	0,0809	0,0837	0,0800	0,0747	0,0646	0,0556	0,0466	0,0394	0,0330	0,0266
	0,07	0,0474	0,0837	0,0954	0,0967	0,0900	0,0827	0,0716	0,0626	0,0536	0,0464	0,0400	0,0336
	0,08	0,0561	0,0980	0,1081	0,1077	0,1000	0,0907	0,0786	0,0696	0,0606	0,0534	0,0470	0,0406
	0,09	0,0654	0,1133	0,1216	0,1197	0,1100	0,1000	0,0879	0,0789	0,0709	0,0637	0,0573	0,0509
	0,10	0,0753	0,1294	0,1361	0,1327	0,1200	0,1090	0,0959	0,0869	0,0789	0,0717	0,0653	0,0589
	0,25	0,00	0,0112	0,0224	0,0336	0,0448	0,0527	0,0568	0,0568	0,0514	0,0450	0,0386	0,0322
0,01		0,0055	0,0191	0,0287	0,0373	0,0435	0,0469	0,0468	0,0427	0,0363	0,0300	0,0236	0,0172
0,02		0,0142	0,0278	0,0402	0,0516	0,0591	0,0625	0,0625	0,0584	0,0520	0,0456	0,0392	0,0328
0,03		0,0189	0,0346	0,0460	0,0564	0,0639	0,0673	0,0673	0,0632	0,0568	0,0504	0,0440	0,0376
0,04		0,0246	0,0423	0,0527	0,0621	0,0696	0,0730	0,0730	0,0689	0,0625	0,0561	0,0497	0,0433
0,05		0,0303	0,0500	0,0594	0,0678	0,0753	0,0787	0,0787	0,0746	0,0682	0,0618	0,0554	0,0490
0,06		0,0360	0,0577	0,0671	0,0755	0,0830	0,0864	0,0864	0,0823	0,0759	0,0695	0,0631	0,0567
0,07		0,0417	0,0654	0,0748	0,0822	0,0897	0,0931	0,0931	0,0890	0,0826	0,0762	0,0698	0,0634
0,08		0,0474	0,0731	0,0825	0,0899	0,0974	0,1008	0,1008	0,0967	0,0903	0,0839	0,0775	0,0711
0,09		0,0531	0,0808	0,0902	0,0976	0,1051	0,1085	0,1085	0,1044	0,0980	0,0916	0,0852	0,0788
0,10		0,0588	0,0885	0,0979	0,1053	0,1128	0,1162	0,1162	0,1121	0,1057	0,0993	0,0929	0,0865
0,20		0,00	0,0139	0,0281	0,0410	0,0524	0,0603	0,0644	0,0644	0,0590	0,0526	0,0462	0,0398
	0,01	0,0070	0,0212	0,0321	0,0416	0,0478	0,0503	0,0503	0,0462	0,0408	0,0344	0,0280	0,0216
	0,02	0,0140	0,0281	0,0400	0,0495	0,0557	0,0582	0,0582	0,0538	0,0484	0,0420	0,0356	0,0292
	0,03	0,0182	0,0314	0,0423	0,0508	0,0570	0,0595	0,0595	0,0554	0,0500	0,0436	0,0372	0,0308
	0,04	0,0224	0,0356	0,0465	0,0550	0,0612	0,0637	0,0637	0,0596	0,0542	0,0478	0,0414	0,0350
	0,05	0,0266	0,0398	0,0507	0,0592	0,0654	0,0679	0,0679	0,0638	0,0584	0,0520	0,0456	0,0392
	0,06	0,0308	0,0440	0,0549	0,0634	0,0696	0,0721	0,0721	0,0680	0,0626	0,0562	0,0498	0,0434
	0,07	0,0350	0,0482	0,0591	0,0676	0,0738	0,0763	0,0763	0,0722	0,0668	0,0604	0,0540	0,0476
	0,08	0,0392	0,0524	0,0633	0,0718	0,0780	0,0805	0,0805	0,0764	0,0710	0,0646	0,0582	0,0518
	0,09	0,0434	0,0566	0,0675	0,0760	0,0822	0,0847	0,0847	0,0806	0,0752	0,0688	0,0624	0,0560
	0,10	0,0476	0,0608	0,0717	0,0802	0,0864	0,0889	0,0889	0,0848	0,0794	0,0730	0,0666	0,0602

İKİ EŞİT DÜZ GUSELİ KIRIŞ

$l/12, 2l/12 \dots 11 l/12$ için

Üst satır $\eta_1 = \frac{E I_0 U}{P l^2}$

Alt satır $\eta_2 = \frac{E I_0 V}{P l^2}$



$n = \frac{I_0}{I_1} < 1$

λ	n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0,20	0,00	0,0046	0,0089	0,0128	0,0162	0,0186	0,0194	0,0177	0,0146	0,0112	0,0075	0,0038
	0,01	0,0038	0,0075	0,0112	0,0146	0,0177	0,0194	0,0186	0,0162	0,0128	0,0089	0,0046
	0,02	0,0057	0,0111	0,0158	0,0206	0,0253	0,0290	0,0316	0,0316	0,0290	0,0253	0,0206
	0,03	0,0045	0,0091	0,0135	0,0179	0,0210	0,0230	0,0230	0,0210	0,0179	0,0135	0,0091
	0,04	0,0079	0,0159	0,0210	0,0257	0,0298	0,0328	0,0328	0,0298	0,0257	0,0210	0,0159
	0,05	0,0059	0,0117	0,0173	0,0224	0,0266	0,0291	0,0286	0,0266	0,0224	0,0173	0,0117
	0,06	0,0110	0,0204	0,0279	0,0331	0,0364	0,0385	0,0385	0,0364	0,0331	0,0279	0,0204
	0,07	0,0076	0,0151	0,0221	0,0284	0,0335	0,0365	0,0365	0,0335	0,0284	0,0221	0,0151
	0,08	0,0117	0,0234	0,0311	0,0374	0,0425	0,0455	0,0455	0,0425	0,0374	0,0311	0,0234
	0,09	0,0083	0,0166	0,0246	0,0316	0,0377	0,0417	0,0417	0,0377	0,0316	0,0246	0,0166
	0,10	0,0124	0,0248	0,0328	0,0399	0,0460	0,0500	0,0500	0,0460	0,0399	0,0328	0,0248
	0,11	0,0090	0,0180	0,0270	0,0340	0,0400	0,0440	0,0440	0,0400	0,0340	0,0270	0,0180
0,40	0,00	0,0042	0,0085	0,0127	0,0169	0,0210	0,0225	0,0225	0,0205	0,0164	0,0123	0,0082
	0,01	0,0041	0,0082	0,0123	0,0164	0,0205	0,0210	0,0210	0,0189	0,0147	0,0106	0,0065
	0,02	0,0081	0,0139	0,0203	0,0271	0,0340	0,0360	0,0360	0,0339	0,0297	0,0256	0,0215
	0,03	0,0069	0,0137	0,0205	0,0269	0,0334	0,0354	0,0354	0,0333	0,0291	0,0250	0,0209
	0,04	0,0091	0,0178	0,0256	0,0323	0,0387	0,0417	0,0417	0,0396	0,0354	0,0313	0,0272
	0,05	0,0074	0,0148	0,0220	0,0288	0,0344	0,0373	0,0373	0,0352	0,0310	0,0269	0,0228
	0,06	0,0109	0,0210	0,0296	0,0365	0,0420	0,0440	0,0440	0,0419	0,0377	0,0336	0,0295
	0,07	0,0083	0,0167	0,0246	0,0316	0,0370	0,0390	0,0390	0,0369	0,0327	0,0286	0,0245
	0,08	0,0131	0,0253	0,0350	0,0420	0,0474	0,0494	0,0494	0,0473	0,0431	0,0390	0,0349
	0,09	0,0095	0,0189	0,0270	0,0339	0,0393	0,0413	0,0413	0,0392	0,0350	0,0309	0,0268
	0,10	0,0148	0,0283	0,0380	0,0449	0,0503	0,0523	0,0523	0,0502	0,0460	0,0419	0,0378
	0,11	0,0107	0,0219	0,0300	0,0369	0,0423	0,0443	0,0443	0,0422	0,0380	0,0339	0,0298
0,35	0,00	0,0064	0,0120	0,0183	0,0237	0,0288	0,0318	0,0318	0,0295	0,0254	0,0213	0,0172
	0,01	0,0060	0,0122	0,0182	0,0232	0,0283	0,0308	0,0308	0,0285	0,0244	0,0203	0,0162
	0,02	0,0090	0,0196	0,0287	0,0364	0,0410	0,0430	0,0430	0,0407	0,0366	0,0325	0,0284
	0,03	0,0083	0,0166	0,0247	0,0324	0,0385	0,0411	0,0411	0,0388	0,0347	0,0306	0,0265
	0,04	0,0109	0,0212	0,0308	0,0385	0,0428	0,0454	0,0454	0,0431	0,0390	0,0349	0,0308
	0,05	0,0087	0,0174	0,0259	0,0338	0,0399	0,0425	0,0425	0,0402	0,0361	0,0320	0,0279
	0,06	0,0125	0,0241	0,0340	0,0417	0,0461	0,0487	0,0487	0,0464	0,0423	0,0382	0,0341
	0,07	0,0095	0,0189	0,0279	0,0356	0,0400	0,0426	0,0426	0,0403	0,0362	0,0321	0,0280
	0,08	0,0148	0,0279	0,0385	0,0462	0,0506	0,0532	0,0532	0,0509	0,0468	0,0427	0,0386
	0,09	0,0104	0,0207	0,0295	0,0372	0,0416	0,0442	0,0442	0,0419	0,0378	0,0337	0,0296
	0,10	0,0146	0,0271	0,0368	0,0445	0,0489	0,0515	0,0515	0,0492	0,0451	0,0410	0,0369
	0,11	0,0107	0,0213	0,0301	0,0378	0,0422	0,0448	0,0448	0,0425	0,0384	0,0343	0,0302

