

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BİR DEPLASMAN BİLEŞENİNİ MİNİMUM YAPAN
MALZEME YAYILIŞININ TAYİNİ İÇİN
ALGORİTMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh Ali Evren İMRE**

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2003

**BİR DEPLASMAN BİLEŞENİNİ MINİMUM YAPAN
MALZEME YAYILIŞININ TAYİNİ İÇİN ALGORİTMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş Müh. Ali Evren İMRE
(501991191)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 Aralık 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Ocak 2003

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Engin ORAKDÖĞEN
Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Ahmet Işın SAYGUN (İ.T.Ü)
Doç.Dr. Mustafa ZORBOZAN (Y.T.Ü)

OCAK 2003

ÖNSÖZ

Bu çalışmada dolu gövdeli ve kafes sistemlerde bir deplasman bileşenini minimum yapan malzeme yayılımının belirlenmesi için bir sayısal hesap algoritması geliştirilmiştir.

Gerek yüksek lisans tezi sırasında gerekse tez dışındaki her konuda bilgi ve düşüncelerinden yararlandığım ve yardımlarından dolayı değerli danışman hocam Doç. Dr. Sayın Engin ORAKDÖĞEN' e teşekkür ederim.

Yaptığı çok değerli bilimsel çalışmasından yararlandığım Prof. Sayın Adnan ÇAKIROĞLU' nu da bu vesile ile saygı ile anarım.

Yapı Statiği Çalışma Grubundaki tüm hocalarıma da teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman bana maddi ve manevi destekte bulunan aileme de ayrıca teşekkür etmek isterim.

Ocak,2003

Ali Evren İMRE

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	vi
SEMBOL LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Konu	1
1.2. Kabuller	2
1.3. Yöntemin Formülasyonu	2
1.4. Algoritma	5
1.5. Algoritmanın Kafes Sistemlere Uygulanması	9
2. SAYISAL ÖRNEKLER	11
2.1. Çubuk Sistem 1	11
2.1.1. Çubuk Sistem 1a	14
2.2. Çubuk Sistem 2	17
2.3. Çubuk Sistem 3	20
2.4. Çubuk Sistem 4	25
2.5. Kafes Sistem	28
3. SONUÇLAR	30
KAYNAKLAR	32
EKLER	33
ÖZGEÇMİŞ	51

TABLO LİSTESİ

	<u>SayfaNo</u>
Tablo 2.1. : Sistem : 1, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri	13
Tablo 2.2. : Sistem : 1, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	13
Tablo 2.3. : Sistem : 1, Ardışık hesap adım numaraları ve yerdeğiştirmeler.....	14
Tablo 2.4. : Sistem : 1a, Ardışık hesap adım numaraları ve yerdeğiştirmeler...	16
Tablo 2.5. : Sistem : 2, Eğilme momentleri ve enkesit genişlikleri.....	19
Tablo 2.6. : Sistem : 3, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	22
Tablo 2.7. : Sistem : 3, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	22
Tablo 2.8. : Sistem : 3, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	23
Tablo 2.9. : Sistem : 3, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	23
Tablo 2.10. : Sistem : 3, Ardışık hesap adım numaraları ve rölatif dönmeler.....	24
Tablo 2.11. : Sistem : 4, Ardışık hesap adım numaraları ve yerdeğiştirmeler.....	27
Tablo 2.12. : Sistem : 4, Kafes sisteme ait çubuk kuvvetleri ve enkesit alanları.....	29
Tablo A.1. : Sistem : 1a, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	33
Tablo A.2. : Sistem : 1a, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	34
Tablo A.3. : Sistem : 1a, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	35
Tablo A.4. : Sistem : 1a, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	36
Tablo A.5. : Sistem : 1a, 5. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	37
Tablo A.6. : Sistem : 1a, 6. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	38
Tablo A.7. : Sistem : 1a, 7. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	39
Tablo A.8. : Sistem : 1a, 8. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	40
Tablo A.9. : Sistem : 1a, 9. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	41
TabloA.10. : Sistem : 1a, 10. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	42

Tablo B.1.	: Sistem : 4, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	43
Tablo B.2.	: Sistem : 4, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	45
Tablo B.3.	: Sistem : 4, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	47
Tablo B.4.	: Sistem : 4, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri.....	49

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. :Algoritmaya ait akış diyagramı.....	8
Şekil 1.2. :Algoritmaya ait akış diyagramı (devamı).....	9
Şekil 2.1. : Sistem : 1, Düzgün yayılı yük etkisi altındaki iki ucundan ankastre kiriş, kiriş kesiti ve hesap verileri.....	12
Şekil 2.2. : Sistem : 1, Hesap modeli ve çubuk numaraları.....	13
Şekil 2.3. : Sistem : 1, Optimum malzeme yayılışı.....	14
Şekil 2.4. : Sistem : 1a, Düzgün yayılı yük etkisi altındaki iki ucundan ankastre kiriş, kiriş kesiti ve hesap verileri.....	14
Şekil 2.5. : Sistem : 1a, Hesap modeli ve çubuk numaraları.....	15
Şekil 2.6. : Sistem : 1a, Şekildeğiştirme enerjisi (k_0) – Hesap adım numaraları diyagramı.....	16
Şekil 2.7. : Sistem : 1a, Optimum malzeme yayılışı.....	16
Şekil 2.8. : Sistem : 2, Yatay yük etkileyen iki mafsallı dikdörtgen çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri.....	17
Şekil 2.9. : Sistem : 2, Hesap modeli ve çubuk numaraları.....	18
Şekil 2.10. : Sistem : 2, Optimum malzeme yayılışı.....	19
Şekil 2.11. : Sistem : 3, Düzgün yayılı düşey yük etkisindeki kirişi mafsallı ankastre çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri.....	20
Şekil 2.12. : Sistem : 3, Hesap modeli ve çubuk numaraları.....	21
Şekil 2.13. : Sistem : 3, Şekildeğiştirme enerjisi (k_0) – Hesap adım numaraları diyagramı.....	24
Şekil 2.14. :: Sistem : 3, Optimum malzeme ayılışı.....	24
Şekil 2.15. : Sistem : 4, Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri.....	25
Şekil 2.16. : Sistem : 4, Hesap modeli ve çubuk numaraları.....	26
Şekil 2.17. : Sistem : 4, Şekildeğiştirme enerjisi (k_0) – Hesap adım numaraları diyagramı.....	27
Şekil 2.18. : Sistem : 4, Optimum malzeme yayılışı.....	27
Şekil 2.19. : Sistem : 6, Yatay ve düşey yükler etkileyen kafes sistem.....	28

SEMBOL LİSTESİ

b	: Çubuk parçasına ait enkesit genişliği
[D]	: Malzeme özelliklerine bağlı rijitlik matrisi
$\left[\dot{\mathbf{D}} \right]$	: Rijitlik matrisinin enkesit alanına göre birinci türevi
ds	: Sistem parametresi
$[\mathbf{e}]^T$	: Dış yüklerden oluşan şekil değiştirme bileşenlerini içeren kolon matris
$[\mathbf{e}_1]$	: Birim yüklemeden oluşan şekil değiştirme bileşenlerini içeren kolon matris
E	: Malzeme elastisite modülü
F	: Çubuk Enkesit alanı
h	: Çubuk parçasına ait enkesit yüksekliği
I	: Çubuk atalet momenti
k_0	: Şekildeğiştirme enerjisi
M	: Dış yüklerden çubuk parçası üzerindeki ortalama eğilme momenti
M₁	: Birim yüklemeden çubuk parçası üzerindeki ortalama eğilme momenti
S	: Dış yüklerden oluşan çubuk kuvveti
S₁	: Yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yüklemeden oluşan çubuk kuvveti
V₀	: Verilen sabit malzeme hacmi
V	: Ardışık hesapta hesaplanan malzeme hacmi
u	: Yerdeğiştirme bileşeni
λ	: Lagrange çarpanı
α	: Küçük bir sayı
η	: Sınırlarda sıfır olan herhangi bir fonksiyon

BİR DEPLASMAN BİLEŞENİNİ MİNİMUM YAPAN MALZEME YAYILIŞININ TAYİNİ İÇİN ALGORİTMA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, gözönüne alınan sabit bir malzeme hacmi için, seçilen bir yerdeğiştirme bileşenini minimum yapan malzeme yayılışının elde edilmesi amacıyla sayısal bir hesap algoritması geliştirilmiştir. Sabit yükler etkisindeki düzlem çubuk sistemin elemanları küçük parçalara ayrılarak sonlu elemanlar biçiminde idealleştirilmekte ve her bir küçük parçada eğilme momenti ve enkesit karakteristiklerinin değişmediği kabul edilmektedir.

Çubuk sistemlerde herhangi bir doğrultudaki yerdeğiştirme Virtuel İş Teoremi yardımı ile

$$u = \int \frac{M}{EI} EI \frac{M_1}{EI} ds \quad (1)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir. Burada

M : dış yüklerden oluşan eğilme momentlerini

M_1 : yer değiştirme doğrultusunda yapılan birim yüklemeden oluşan eğilme momentlerini

EI : çubukların eğilme rijitliklerini göstermektedir.

Buradaki u yerdeğiştirmesinin verilen sabit bir V hacmine göre minimum olması için, λ Lagrange çarpanını göstermek üzere

$$\delta (u - \lambda V) = 0 \quad (2)$$

şeklinde birinci değişimin sıfıra eşit olması gerekmektedir.

Bu değişimin ifadesi Virtuel İş ifadesindeki yerine

$$\int \frac{M}{EI} \delta (EI) \frac{M_1}{EI} ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (3)$$

halini almaktadır. $(EI)'$ nın $(F)'$ in fonksiyonu olduğu kabul edilirse $\delta (EI)$ değişimi yerine

$$\delta (EI) = \frac{d(EI)}{dF} \delta F \quad (4)$$

türev ifadesi alındığında

$$\int \frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} \delta F ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (5)$$

bağıntısına ulaşılmaktadır. δF değişimlerinin her bir küçük parçada sabit olduğu kabul edilirse

$$\int \frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} ds - \int \lambda ds = 0 \quad (6)$$

integral bağıntısı elde edilmektedir. İntegrallerin eşit olması için, içlerinin de eşit olması gerektiği gözönüne alındığında ise

$$\frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} = \lambda = \text{sabit} \quad (7)$$

minimumluk koşulu elde edilebilmektedir. Buna göre yerdeğiştirmenin minimum olması için, yukarıdaki bağıntının sağ tarafında verilen değerin her bir küçük çubuk parçasında eşit olması gerekmektedir.

Çubuk eğilme rijitliği ile enkesit arasında

$$EI = k F^p \quad (8)$$

şeklinde bir ilişkinin olduğu kabul edilirse (7) ile verilen minimumluk koşulu

$$\frac{MM_1}{E I F} = \lambda = \text{sabit} \quad (9)$$

halini alır. (8) ile verilen ifadelerdeki k ve p kesit şekline bağlı sabit sayılardır, [1].

Geliştirilen algoritma (9) ile verilen minimumluk koşuluna dayanan bir sayısal hesap algoritmasıdır. Buna göre sistem çubukları önce küçük parçalara ayrılmakta ve λ sabiti yerine

$$k_0 = \frac{E u}{V_0} = \text{sabit} \quad (10)$$

şeklinde tanımlanan sabit bir sayı gözönüne alınarak bir ardışık yaklaşım yöntemi uygulanmaktadır. Birbirini izleyen hesap ve boyutlandırma adımlarından oluşan yöntemin ilk adımında k_0 sabiti hesaplanırken, homojen malzeme yayılışına ait yer değiştirme esas alınmaktadır. Hesaplarda dikdörtgen enkesit durumu ele alınmış ve sabit genişlik için yükseklik değişimleri veya sabit yükseklik için genişlik değişimleri incelenmiştir. Her adımda, yeni elde edilen enkesit boyutları ile hesap yapılmakta ve k_0 sabiti olarak bir önceki adımda bulunan u yerdeğiştirmeleri esas

alınmaktadır. Ardışık iki adımda birbirine yeter derecede yakın k_0 değerleri elde edilince hesaba son verilmektedir. İzostatik sistemlerde kesit zorları sadece denge denklemlerine bağlı olduğundan optimum sonuca bir adımda erişilmektedir.

Algoritma küçük bir değişiklikle düzlem kafes sistemlere de uygulanabilmektedir.

Çalışmada, algoritmanın nasıl uygulandığını göstermek üzere dört adet dolu gövdeli ve bir adet kafes sistem incelenerek, seçilen yerdeğiştirme bileşenleri ve sabit malzeme hacimleri için optimum kesit boyutları elde edilmiştir. Optimum boyutlandırmanın sistem hesabı aşamalarında SAP 2000 bilgisayar programından, kesit boyutlarının bulunması aşamasında ise Excel ortamında hazırlanan bir Visual Basic makrosundan yararlanılmıştır.

Geliştirilen algoritma, dikdörtgen kesit dışındaki kesit şekillerini ve sonlu elemanlar ortamında idealleştirilebilen yüzeysel taşıyıcı sistemleri de kapsayacak şekilde genişletilebilir.

AN ALGORITHM FOR DETERMINATION OF OPTIMAL MATERIAL DISTRIBUTION FOR A CHOSEN DISPLACEMENT

SUMMARY

In this study, which is presented as MSc. Thesis , A numerical algorithm is developed in order to obtain optimum cross- sectional area function that minimize a chosen displacement component for a constant material volume. The members of frame subjected to constant external forces are divided into small segments with constant internal forces and cross- sectional areas.

Any displacement component of a frame may be calculated by using virtual work principle as

$$u = \int \frac{M}{EI} EI \frac{M_1}{EI} ds \quad (1)$$

where

M : bending moment due to the external loads

M_1 : bending moment due to the unit load in the direction of chosen displacement

EI : bending stiffness of the member.

The displacement component in (1) must satisfy

$$\delta (u - \lambda V) = 0 \quad (2)$$

variational expression, where λ is a Lagrange multiplier and V is the total material volume.

If the variational expression (2) is substituted in Virtual Work Expression (1), it yields

$$\int \frac{M}{EI} \delta (EI) \frac{M_1}{EI} ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (3)$$

if it is assumed that (EI) is a function of (F), the variation $\delta (EI)$ is expressed in terms of derivatives as

$$\delta (EI) = \frac{d(EI)}{dF} \delta F \quad (4)$$

then expression (3) may be written as follows

$$\int \frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} \delta F ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (5)$$

If the variation δF is assumed as constant along with the small segments, the integral given in (5) yields

$$\int \frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} ds - \int \lambda ds = 0 \quad (6)$$

As seen from expression (6), the inner part of integrals must be equal as the equation is satisfied. Then we get the optimality condition as

$$\frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} = \lambda = \text{constant} \quad (7)$$

According to equation (7), the chosen displacement component has the minimum value , when the left hand side of equation must be constant over each member segment , for assumed material volume.

If a relationship between bending stiffness and cross-sectional area is assumed as

$$EI = k F^p \quad (8)$$

where k and p cross-sectional constants, the optimality condition yields

$$\frac{MM_1}{EI F} = \lambda = \text{constant} \quad (9)$$

The Algorithm developed herein, is an iterative procedure based on optimality condition (9) and has successive design and analysis phases. In this algorithm, the members of frame are divided into small segments and λ constant is substituted for

$$k_0 = \frac{E u}{V_0} = \text{constant} \quad (10)$$

and then a successive approximation procedure is applied over k_0 . In the first step of the procedure, k_0 is calculated assuming each small segment of frame is made of same cross-section and the cross-sections are assumed as rectangular in the algorithm.

In each iteration step, the frame is analyzed by using the cross-sectional dimensions obtained in previous design phase and the chosen displacement component u in equation (10) is obtained. The axial and shear deformations are neglected in the analyses. The iterative procedure is terminated when k_0 obtained in two successive

steps are approximately the same. As the internal forces of a statically determinate frame depend only on the equilibrium equations, optimum solution is reached in the first step. The algorithm may also be applied to the design of trusses with small changes. Five illustrative examples are also given to show how the algorithm works. SAP 2000 structural analysis package is used in analysis phases and macro written in MS Excel is used in design phases.

The algorithm may be extended to optimization of frames which have different cross-sectional shapes and optimization of plates idealized by finite and constant thickness elements.

1. GİRİŞ

1.1 Konu

Son yıllarda ekonomik güçlüklerin artması ile birlikte yapıların yeterli dayanım ve güvenliğe sahip bir şekilde boyutlandırılmasının yanında en düşük maliyetle gerçekleştirilmesi de yapı mühendisliğinin önemli bir problemi haline gelmiş ve bu konularda yapılan araştırmalar hız kazanmıştır. Özellikle bilgisayarların yapı mühendisliğinde oldukça yoğun olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte birçok sayısal optimizasyon yöntemi geliştirilmiş ve uygulamada kullanılmaya başlanmıştır.

Yapıları yeterli dayanım ve güvenliğe sahip bir şekilde boyutlandırırken göz önüne alınması gereken önemli parametrelerden bir tanesi de yerdeğiştirme kısıtlamalarıdır. Bilindiği gibi yapılar yeterli bir dayanım ve güvenliğe sahip olarak boyutlandırıldıktan sonra, dış etkilerden oluşan yerdeğiştirmelerin ve şekildeğiştirmelerin de yönetmeliklerde verilen belirli sınırların arasında kalması istenmektedir. Bu yüzden verilen aynı miktardaki malzeme hacmi için yeter dayanım ve güvenliğe sahip ve karakteristik bir yerdeğiştirme bileşenini minimum yapan malzeme yayılımının belirlenmesi önemli bir problem olarak ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada geometrisi, sınır koşulları, malzeme karakteristiği ve miktarı verilen statik yükler etkisindeki çubuk sistemlerde, verilen bir malzeme hacmi için herhangi bir yerdeğiştirme bileşenini kararlı olarak minimum yapan malzeme yayılımının belirlenmesi amacıyla bir sayısal hesap algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın geliştirilmesinde [1] verilen formülasyondan yararlanılmıştır.

Mevcut yapı analizi ve hesap tablosu paket programlarından da yararlanmak suretiyle geliştirilen sayısal hesap algoritması sayesinde [1] de verilen yöntem geniş bir uygulama alanı kazandırılmıştır. Enkesit değişiminin sürekli bir fonksiyonla ifade edilmesi yerine belirli sonlu uzunluklu noktalardaki değerleri hesaplanarak yöntem ayrılaştırılmıştır. Sonlu uzunluktaki parçaların yeterince küçük alınması halinde optimum sürekli kesit değişimi fonksiyonuna oldukça yakın değerler elde edilebilir.

1.2 Kabuller

- 1- Malzeme lineer elastiktir.
- 2- Sisteme yalnız sabit yükler etkimektedir.
- 3- Sistemi oluşturan çubuklar eğilme momenti değişiminin sabit kabul edilebildiği, doğru eksenli sabit enkesitli sonlu uzunluktaki parçalardan oluşmaktadır.
- 4- Uzama kayma şekil değişmelerinin etkileri eğilme şekildeğişmelerinin etkileri yanında terk edilmiştir.
- 5- Çubuklar dikdörtgen enkesitlidir ve homojen malzemeden yapılmıştır.
- 6- Önceden tanımlanan bir yerdeğiştirme bileşeni ve verilen sabit malzeme hacmi için hesap yapılmaktadır.

1.3 Yöntemin Formülasyonu

Bir veya iki boyutlu elemanlardan oluşan bir yapı sisteminde herhangi bir doğrultudaki yerdeğiştirme bileşeni Virtüel İş Teoremi yardımı ile [2], [3],

$$u = \int [e]^T [D][e_1] ds \quad (1.1)$$

şeklinde elde edilebilmektedir . Burada,

u : Herhangi bir yerdeğiştirme bileşenini,

$[e]^T$: Statik dış yüklerden oluşan şekil değiştirme bileşenleri içeren kolon matrisi,

$[D]$: Malzeme özelliklerine bağlı rijitlik matrisini,

$[e_1]$:Birim yüklemeden oluşan şekil değiştirme bileşenlerini içeren kolon matrisi,

ds : sistem parametrisini (çubuklarda eksen uzunluğunu) göstermektedir.

Sistem için verilmiş olan sabit malzeme miktarı ise

$$V = \int F ds \quad (1.2)$$

şeklinde gösterilebilir. u yerdeğiştirme bileşeninin minimum olması için λ Lagrange çarpanını göstermek üzere

$u - \lambda V$ nın birinci değişiminin sıfır olması gerekir. Yani

$$\delta (u - \lambda V) = 0 \quad (1.3)$$

olmalıdır. (1.1) ifadesi (1.3) ifadesindeki yerine konursa,

$$\int [\delta e]^T [D] [e_1] ds + \int [e]^T [D] [\delta e_1] ds + \int [e]^T [\delta D] [e_1] ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (1.4)$$

elde edilir. Bu ifadede birinci ve ikinci terimler, virtüel yerdeğiştirme sırasında dış yükler değişmediğinden (sabit kaldığından) sıfıra eşittir. Bu özellik gözönünde tutulduğunda (1.4) denklemi

$$\int [e]^T [\delta D] [e_1] ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (1.5)$$

halini almaktadır.

$[\delta D]$ değişimi yerine

$$\delta D = \frac{\partial D}{\partial F} \delta F \quad (1.6)$$

türev ifadesi yerine konduğunda ise

$$\int [e]^T \left[\frac{\partial D}{\partial F} \right] [e_1] \delta F ds - \int \lambda \delta F ds = 0 \quad (1.7)$$

elde edilir.

Ayrıca, $[D] = [D(F)]$ olduğu gözönünde tutulursa ve α küçük bir sayıyı η fonksiyonu da sınırlarda sıfır olan herhangi bir fonksiyonu göstermek üzere F yerine $F + \alpha \eta(s)$ konursa α değişkenine bağlı bir $I(\alpha)$ integrali elde edilir. Burada, $F(s)$ ve $\eta(s)$ fonksiyonlarının ve türevlerinin sürekli olduğu kabul edilmiştir. Bu halde (1.7) koşulu

$$\left| \frac{dI(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=0} = \frac{dI(0)}{d\alpha} = \int \{ [e]^T \left[\dot{D} \right] [e_1] - \lambda \} \eta ds = 0 \quad (1.8)$$

halini alır ve buradan da minimumluk koşulu olarak

$$[e]^T \left[\dot{D} \right] [e_1] = \lambda = \text{sabit} \quad (1.9)$$

elde edilir. Burada,

$$\left[\dot{D} \right] = \frac{\partial D}{\partial F} \quad (1.10)$$

şeklinde enkesit alanına göre birinci türevi göstermektedir. (1.9) ile verilen genel minimumluk koşulu çubuk sistemlere uygulandığında,

$$[e]^T = \frac{M}{EI}$$

$$\left[\dot{D} \right] = \frac{d(EI)}{dF}$$

$$[e_1] = \frac{M_1}{EI} \quad (1.11)$$

kısaltmaları ile

$$\frac{M}{EI} \frac{d(EI)}{dF} \frac{M_1}{EI} = \lambda = \text{sabit} \quad (1.12)$$

koşulu elde edilir.

Çubuk eğilme rijitliği ile enkesiti arasında

$$EI = k F^p \quad (1.13)$$

Şeklinde bir ilişkinin olduğu kabul edilirse,

$$\frac{d(EI)}{dF} = k p F^{p-1} \quad (1.14)$$

elde edilir. Bu ifade de F ile çarpılıp bölünürse

$$\frac{d(EI)}{dF} = k \frac{F}{F} F^{p-1} p = p \frac{EI}{F} \quad (1.15)$$

halini alır. (1.15) türev ifadesi de (1.12) ifadesinde yerine konulduğunda minimumluk koşulu için

$$\frac{M M_1}{E I F} = \frac{\lambda}{p} = \text{sabit} \quad (1.16)$$

bağıntısına ulaşılır.

Diğer taraftan dolu gövdeli çubuk sistemlerde herhangi bir doğrultudaki yerdeğiştirme bileşeni Virtuel İş Teoremi ile

$$u = \int \frac{M M_1}{E I} ds \quad (1.17)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

(1.17) ifadesinin sağ tarafındaki integralin içi F ile çarpılıp bölündüğünde

$$u = \int \frac{M M_1}{E I F} F ds \quad (1.18)$$

bağıntısı elde edilir. Yer değiştirmenin minimum olması durumunda integral içindeki

$\frac{M M_1}{E I F}$ değeri sabit olacağından integral dışına çıkarılırsa (1.18) ifadesi

$$u_{\min} = \frac{M M_1}{E I F} \int F ds = \frac{M M_1}{E I F} V_0 \quad (1.19)$$

halini alır.

(1.17) ve (1.19) nolu ifadeler birleştirildiğinde

$$\frac{M M_1}{I F} = k_0 = \frac{E u_{\min}}{V_0} \quad (1.20)$$

ifadesi elde edilir. (1.20) ifadesine göre yerdeğiştirmenin minimum olabilmesi için sistemin tüm kesitlerinde birim hacme düşecek şekildeğiştirme enerjisi (eşit) sabit olmalıdır.

1.4 Algoritma

Bu çalışmada, [1] de verilen yöntemin sayısal uygulamalarına olanak sağlamak üzere bir hesap algoritması geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma, birbirini takip eden hesap ve boyutlandırma aşamalarından oluşan bir ardışık yaklaşım yöntemine

dayanmaktadır. Algoritmanın uygulanabilmesi için, sistemi oluşturan her çubuk eğilme momentinin yaklaşık olarak eşit kabul edilebildiği doğru eksenli ve sabit enkesitli parçalara ayrılmaktadır.

Geometrisi, yükleri, malzeme özellikleri, minimize edilecek yerdeğiştirme bileşeni ve malzeme hacmi verilen yapının hesabına tüm çubuklar eşdeğer enkesitli olduğu kabulü ile başlanmaktadır. Bu amaçla verilen V_0 malzeme hacmi tüm çubuklara eşit olarak dağıtılmakta ve sabit bir yükseklik (veya genişlik) hesaplanmaktadır. Bu enkesit boyutları esas alınarak yapılan hesap sonucu minimize edilecek yerdeğiştirme bileşeninin değeri hesaplanmakta ve

$$k_0 = \frac{E u}{V_0} \quad (1.21)$$

formülü ile birim hacme düşen şekildeğiştirme enerjisi hesaplanmaktadır. Boyutlandırma aşamasında ise her bir sonlu çubuk eleman için

$$\frac{M M_1}{I F} = k_0 \quad (1.22)$$

ifadesinden yükseklikler (veya genişlikler) hesaplanmaktadır.

Bu ifadede,

M : Dış yüklerden çubuk parçası üzerinde oluşan ortalama eğilme momentini,

M_1 : Yük değerinin bileşeninin birim değerinden çubuk parçası üzerinde oluşan ortalama eğilme momentini,

$$I : \frac{b h^3}{12} \quad (1.23)$$

şeklinde hesaplanan atalet momentini,

$$F : b h \quad (1.24)$$

şeklinde hesaplanan enkesit alanını

$$h = \sqrt[4]{\frac{12 M M_1}{b^2 k_0}} \quad \text{veya} \quad b = \sqrt{\frac{12 M M_1}{h^4 k_0}} \quad (1.25)$$

yükseklik veya genişlik hesaplamalarına esas formülleri göstermektedir.

(1.22) ifadesinden görüldüğü gibi b genişliğinin sabit olması halinde h yükseklikleri, h yüksekliklerinin sabit olması halinde b genişlikleri hesaplanabilmektedir.

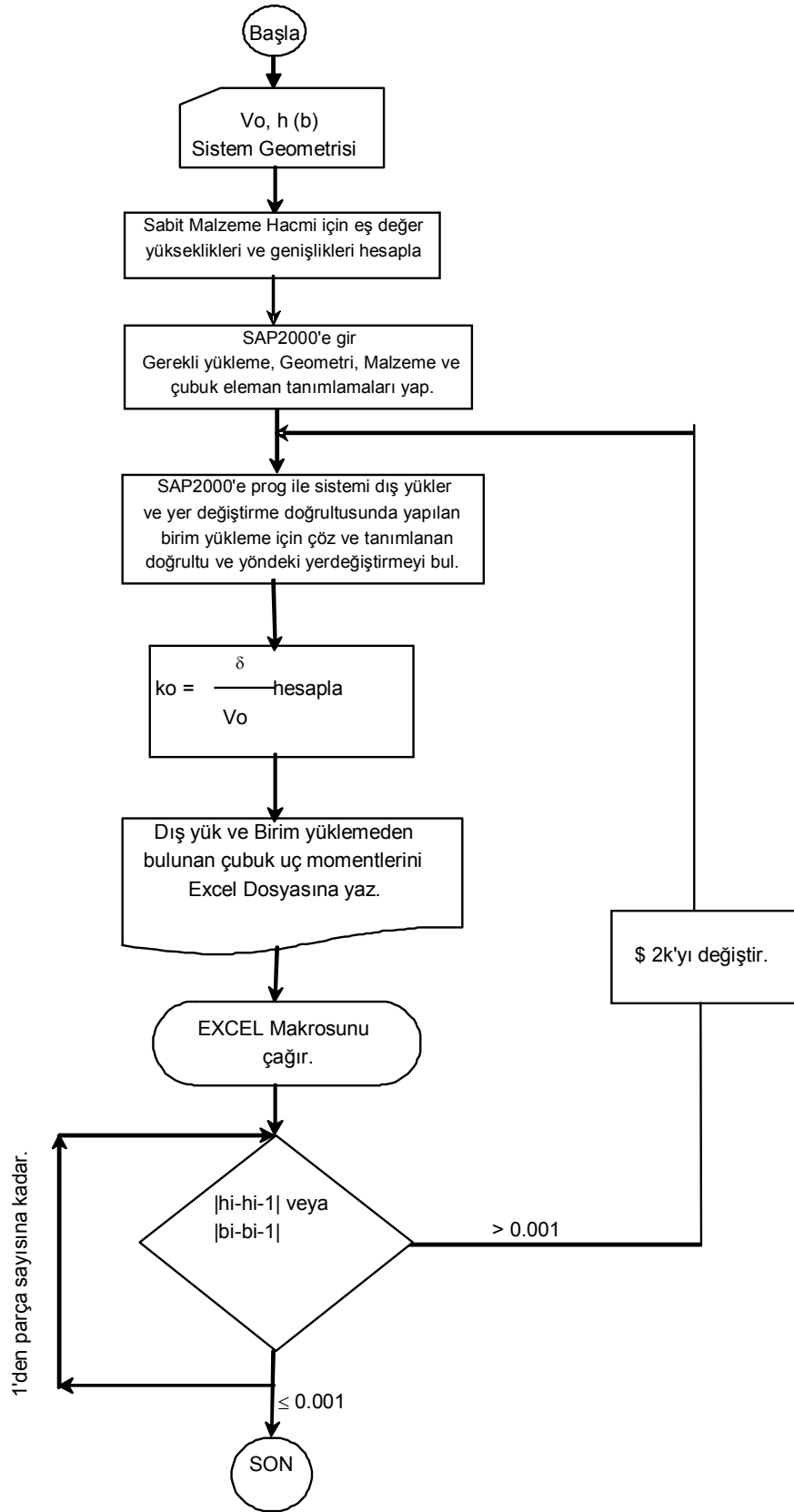
Hesaplanan yeni boyutlara bağlı olarak hesaplanan yeni V malzeme hacmi verilen

hacme eşit olmayacağından boyutlar $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılır veya azaltılır. Hesabın

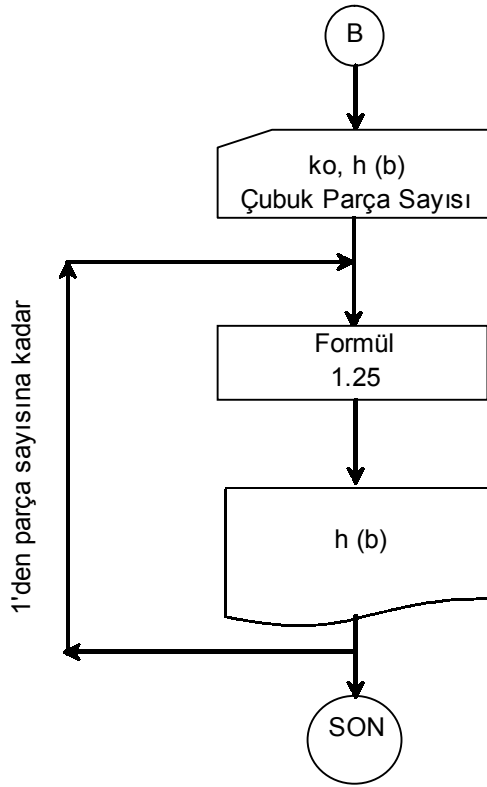
ikinci adımının hesap aşamasına birinci adımda bulunan kesit yükseklikleri (veya genişlikleri) ile başlanır ve sistem dış yükler ile birim yükleme için çözülerek yeni eğilme momenti değerleri ve yeni şekildeğiştirme enerjisi hesaplanır. Hesaba bu şekilde, ardışık iki adımda birbirine yakın şekildeğiştirme enerjisi elde edilinceye kadar devam edilir.

İzostatik sistemlerde kesit zorları yalnızca denge denklemleri ile elde edilebildiğinden sonuca bir adımda ulaşılmaktadır. Hiperstatik sistemlerde ise pratik olarak 2 veya 3 adımda sonuca ulaşılabilir. Yakınsaklık hızı sayısal sonuçlar bölümünde ayrıca irdelenecektir. Algoritmada sistem hesabı için SAP 2000 bilgisayar programından, boyutlandırmada ise MS Excel ortamında hazırlanan bir Visual Basic Makrosundan yararlanılmıştır, [4], [5].

Algoritmaya ait akış diyagramı aşağıda verilmiştir



Şekil 1.1 Algoritmaya ait akış diyagramı



Şekil 1.1 Algoritmaya ait akış diyagramı (devamı)

1.5 Algoritmanın Kafes Sistemlere Uygulanması

Hesap algoritması esas olarak dolu gövdeli sistemler için geliştirilmiş olmakla birlikte kafes sistemlere de oldukça kolay bir şekilde uygulanabilmektedir. Kafes sistemler sadece normal kuvvet etkisinde olduklarından ve sözkonusu normal kuvvetler de çubuk boyunca sabit olduklarından (1.20) ifadesi

$$\frac{SS_1}{F^2} = k_0 = \frac{E u_{\min}}{V_0} = \text{sabit} \quad (1.26)$$

halini almaktadır. Burada S ve S₁ sırasıyla dış yüklerden ve verilen yerdeğiştirme bileşeni doğrultusunda yapılan birim yüklemeden meydana gelen çubuk kuvvetlerini göstermektedir. Bölüm 1.4 te verilen algoritma kafes sistemlere uygulandığında, herhangi bir adımın boyutlandırma aşamasında çubuk enkesit alanı

$$F = \sqrt{\frac{SS_1}{k_0}} \quad (1.27)$$

ifadesi ile doğrudan hesaplanabilmektedir. Kafes sistem dış yükler ve birim yükleme için hesaplandıktan sonra (1.27) ifadesinden de görüldüğü gibi, Excel tablosuna eğilme momentleri yerine çubuk normal kuvvetleri yazılarak Bölüm 1.5 te verilen algoritma aynen uygulanır.

2. SAYISAL ÖRNEKLER

Geometrisi, sınır koşulları, malzeme karakteristiği ve miktarı verilen statik yükler etkisindeki çubuk sistemlerde, herhangi bir yerdeğiştirme bileşenini kararlı anlamda minimum yapan malzeme yayılışının belirlenmesini amaçlayan çalışmanın bu bölümünde sayısal incelemeler yer almaktadır,

Sayısal incelemeler, statik yükler etkisi altındaki çeşitli çubuk sistemler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sayısal sonuçlara dayanarak, geliştirilen algoritmanın farklı sistemler ve yüklemeler altında, belirlenen yerdeğiştirme bileşenini minimum yapan malzeme yayılışına ulaşmadaki yakınsaklık hızı ile ilgili grafikler verilmiştir.

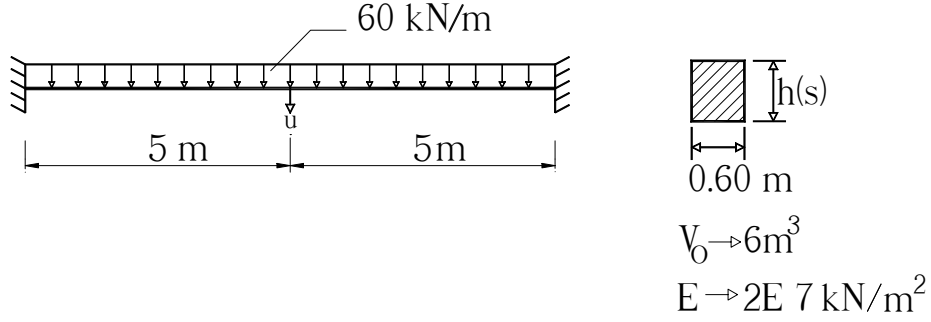
Aşağıdaki bölümlerde, statik yükler etkisi altındaki çubuk sistem modelleri tanıtılmakta ve elde edilen sayısal sonuçlar verilmektedir.

2.1 Çubuk Sistem -1

Sayısal incelemelerde ilk olarak [1] de verilen iki ucundan ankastre mesnetli bir kirişin malzeme yayılışı orta noktasındaki çökme minimum olacak şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 2.1 den görüldüğü gibi sistem, 10 m açıklığında olup 60 kN / m şiddetindeki düzgün yayılı yükün etkisi altındadır. Sistem hesap modeli ve çubuk numaraları Şekil 2.2 de verilmiştir.

Hesaplarda enkesit genişliği sabit ve $b_0 = 0,60$ m olarak alınmıştır. Sistemdeki verilen malzeme hacmi $V_0 = 6 \text{ m}^3$ olup, elastisite modülü $E = 2 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$ dir.



Şekil 2.1 Sistem : 1, Düzgün yayılı yük etkisi altındaki iki ucundan ankastre kiriş, kiriş kesiti ve hesap verileri

Sistem eğilme momentinin sabit kabul edilebildiği doğru eksenli ve sabit enkesitli 20 eşit parçaya bölünmüştür.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi $b_0 = 0.60 \text{ m}$ sabit genişlik için eşit olarak dağıtılmış ve çubuk parçalarının başlangıç yükseklikleri 1 m olarak alınmıştır.

60 kN / m lik düzgün yayılı yük etkisi altındaki genişliği 0.60 m yüksekliği 1 m olan sabit enkesitli sistem, SAP 2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan u çökme değeri 0,00156 m olarak bulunmuştur.

Sistem hem dış yükler hem de verilen yerdeğiştirme doğrultusunda yapılan birim yükleme için ayrı ayrı SAP 2000 programı yardımı ile çözülerek her çubuk parçasına ait sol ve sağ uçtaki eğilme momenti değerleri MS Excel dosyasına yazılmış ve çubuk üzerindeki M ve M_1 ortalama eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra $h = \sqrt[4]{\frac{12 M M_1}{b^2 k_0}}$ formülü kullanılarak her çubuk parçasına ait yükseklik

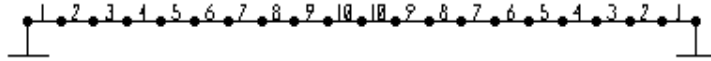
değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplanan h yükseklik değerlerine ait V malzeme hacmi, verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından enkesit yükseklik hesap

tablolarında yer alan h yükseklik değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılarak 6 m^3 lük malzeme hacmine karşı gelen h_v yükseklikleri hesaplanmıştır.

Hesabın ikinci adımında birinci adımda bulunan h_v değerleri kullanılarak sistem dış yükler ve birim yük için çözülmüş, yeni eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra Tablo 2.3 den de görüldüğü gibi ikinci adımda 0,001 m olarak bulunan çökme değeri ile yeni k_0 sabiti ve (1.25) formülü ile yeni kesit yükseklikleri hesaplanmıştır.

İkinci adımda bulunan h_v yükseklik değerleri kullanılarak sistem yeniden çözüldüğünde 0,001m lik çökme değerine ulaşılmış, ardışık iki adımda aynı k_0 sabiti elde edildiğinden hesaba son verilmiş ve Şekil 2.3 te verilen malzeme yayılımı elde edilmiştir.



Şekil 2.2 Sistem : 1, Hesap modeli ve çubuk numaraları

Tablo 2.1 Sistem : 1, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

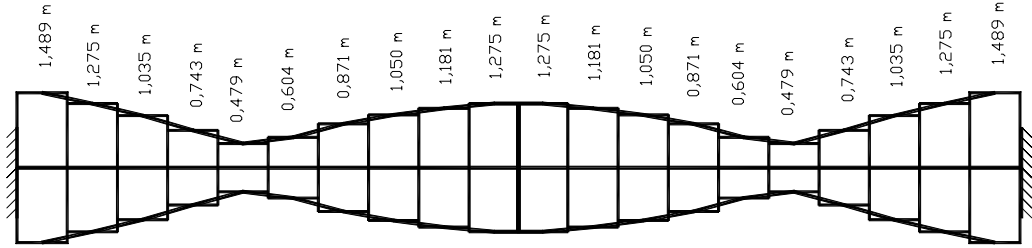
Çubuk No	M_{sol} (kNm)	$M_{sağ}$ (kNm)	M (kNm)	M_{1sol} (kNm)	$M_{1sağ}$ (kNm)	M_1 (kNm)	h (m)	h_v (m)
1	500,000	357,500	428,750	1,250	1,000	1,125	1,326	1,487
2	357,500	230,000	293,750	1,000	0,750	0,875	1,133	1,271
3	230,000	117,500	173,750	0,750	0,500	0,625	0,913	1,025
4	117,500	20,000	68,750	0,500	0,250	0,375	0,638	0,715
5	20,000	62,500	41,250	0,250	0,000	0,125	0,426	0,478
6	62,500	130,000	96,250	0,000	0,250	0,125	0,527	0,591
7	130,000	182,500	156,250	0,250	0,500	0,375	0,783	0,878
8	182,500	220,000	201,250	0,500	0,750	0,625	0,948	1,063
9	220,000	242,500	231,250	0,750	1,000	0,875	1,067	1,197
10	242,500	250,000	246,250	1,000	1,250	1,125	1,154	1,295

Tablo 2.2 Sistem : 1, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M_{sol} (kNm)	$M_{sağ}$ (kNm)	M (kNm)	M_{1sol} (kNm)	$M_{1sağ}$ (kNm)	M_1 (kNm)	h (m)	h_v (m)
1	528,950	386,450	457,700	1,180	0,931	1,055	1,482	1,489
2	386,450	258,950	322,700	0,931	0,681	0,806	1,270	1,275
3	258,950	146,450	202,700	0,681	0,431	0,556	1,030	1,035
4	146,450	48,950	97,700	0,431	0,181	0,306	0,739	0,743
5	48,950	33,550	41,250	0,181	0,069	0,125	0,477	0,479
6	33,550	101,050	67,300	0,069	0,319	0,194	0,601	0,604
7	101,050	153,550	127,300	0,319	0,569	0,444	0,867	0,871
8	153,550	191,050	172,300	0,569	0,819	0,694	1,046	1,050
9	191,050	213,550	202,300	0,819	1,070	0,945	1,176	1,181
10	213,550	221,050	217,300	1,070	1,320	1,195	1,269	1,275

Tablo 2.3 Sistem : 1, Ardışık hesap adım numarası ve yerdeğiştirmeler

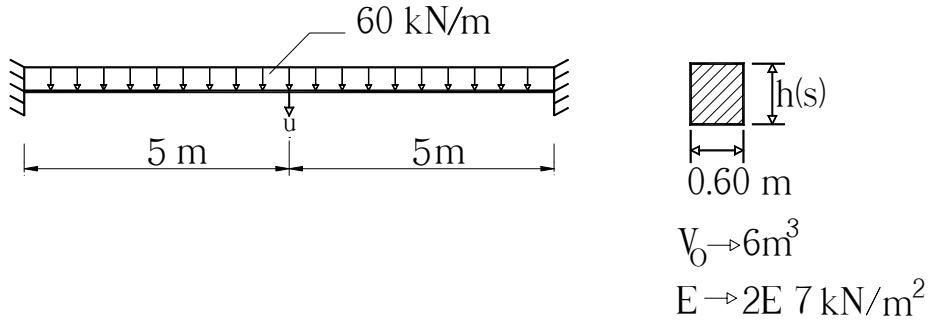
Adım Numarası	Yerdeğiştirme (m)
1	0,00156
2	0,001
3	0,001



Şekil 2.3 Sistem : 1, Optimum malzeme yayılışı

2.1.1 Çubuk Sistem –1a

Sayısal incelemelerde ikinci olarak, önceki bölümde incelenen iki ucundan ankastre mesnetli kiriş, parça sayısının hesaba etkisini görmek amacıyla Şekil 2.5 ten görüldüğü gibi 50 eşit parçaya bölünerek hesap yapılmıştır.



Şekil 2.4 Sistem : 1a, Düzgün yayılı yük etkisi altındaki iki ucundan ankastre kiriş, kiriş kesiti ve hesap verileri

Ardışık yaklaşımın ilk adımında birinci örnekte olduğu gibi, verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi $b_0 = 0.60 \text{ m}$ sabit genişlik için eşit olarak dağıtılmış ve çubuk parçalarının başlangıç yükseklikleri 1 m olarak alınmıştır.

60 kN / m lik düzgün yayılı yük etkisi altındaki genişliği 0.60 m yüksekliği 1 m olan sabit enkesitli sistem, SAP 2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda

k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan u çökme değeri 0,00156 m olarak bulunmuştur.

Sistem dış yükler ve birim yükleme için çözülerek her çubuk parçasına ait sol ve sağ uçtaki eğilme momenti değerleri MS Excel dosyasına yazılarak çubuk üzerindeki M ve M_1 ortalama eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

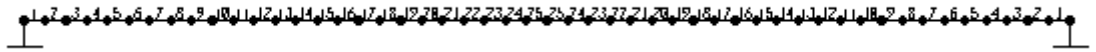
Daha sonra $h = \sqrt[4]{\frac{12 M M_1}{b^2 k_0}}$ formülü kullanılarak her çubuk parçasına ait yükseklik

değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplanan h yükseklik değerlerine ait V malzeme hacmi, verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından Tablo A.1 de yer alan h yükseklik değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılmıştır.

Hesabın ikinci adımında birinci adımda bulunan h_v değerleri kullanılarak sistem dış yükler ve birim yük için çözülmüş ve yeni eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra ikinci adımda 0,0009538 m olarak bulunan çökme değeri ile yeni k_0 sabiti ve (1.25) formülü ile yeni kesit yükseklikleri hesaplanmış, eğilme momenti ve enkesit yükseklikleri hesabına ait tablolarda görülen sonuçlar elde edilmiştir.

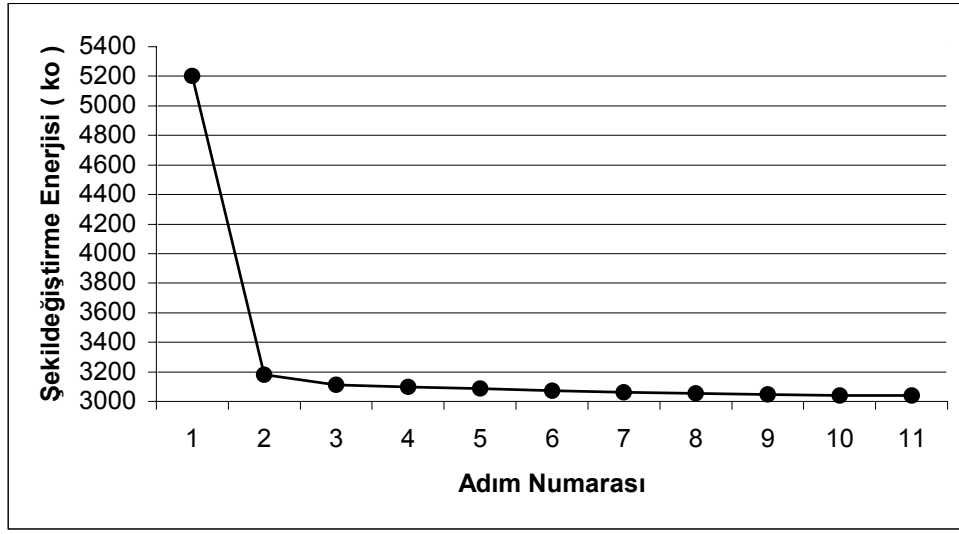
Bu şekilde ardışık hesaba devam edilerek Tablo 2.4 ten görüldüğü gibi 10. ve 11. adımda 0,0009118 m lik eşit çökme değerine ulaşılmıştır. Ardışık iki adımda aynı k_0 sabiti elde edildiğinden hesaba son verilmiş, Şekil 2.6 da görülen ardışık hesabın yakınsamasına ait grafik ve Şekil 2.7 de verilen malzeme yayılımı grafiği elde edilmiştir.



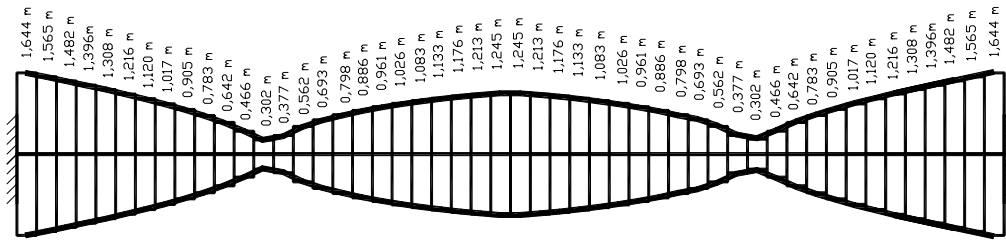
Şekil 2.5 Sistem : 1a, Hesap modeli ve çubuk numaraları

Tablo 2.4 Sistem : 1a, Ardışık hesap adım numaraları ve yerdeğiştirmeler

Adım Numarası	Yerdeğiştirme (m)
1	0,00156
2	0,0009538
3	0,0009337
4	0,0009297
5	0,000926
6	0,0009219
7	0,0009184
8	0,000916
9	0,0009136
10	0,0009118
11	0,0009118



Şekil 2.6 Sistem : 1a, Şekildeğiştirme enerjisi (k_0) – Adım numarası diyagramı



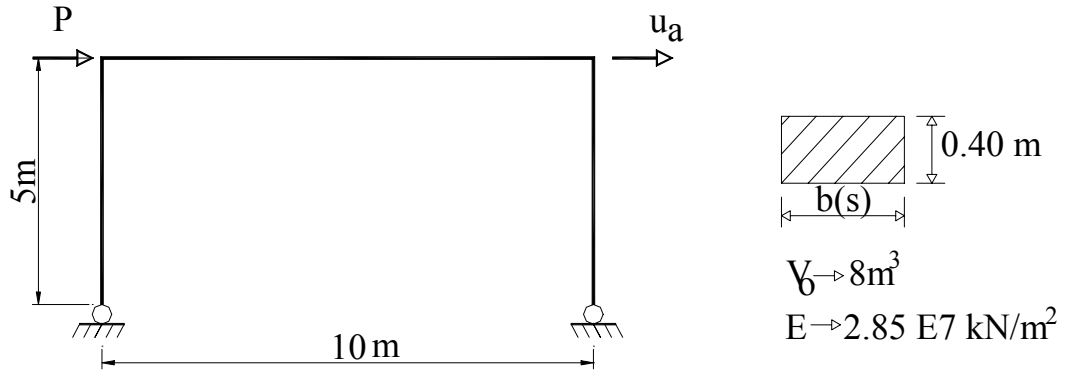
Şekil 2.7 Sistem : 1a, Optimum malzeme yayılışı

2.2 Çubuk Sistem-2

Sayısal incelemelerde üçüncü olarak yine [1] de verilen iki mafsallı dikdörtgen çerçevenin malzeme yayılışı üst noktasındaki yatay yerdeğiştirme minimum olacak şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 2.8 den görüldüğü gibi sistem, 10 m açıklıklığında, 5 m yüksekliğinde olup 100 kN şiddetindeki yatay yükün etkisi altındadır. Sistem hesap modeli ve çubuk parça numaraları Şekil 2.9 da verilmiştir.

Hesaplarda enkesit yüksekliği sabit ve $h = 0,40$ m olarak alınmıştır. Sistemdeki verilen malzeme hacmi $V_0 = 8 \text{ m}^3$ olup, elastisite modülü $E = 28500000 \text{ kN/m}^2$ dir.



Şekil 2.8 Sistem : 2, Yatay yük etkileyen iki mafsallı dikdörtgen çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri

Kolonlar eğilme momentinin sabit kabul edilebildiği doğru eksenli sabit enkesitli 20 eşit parçaya, kiriş ise 40 eşit parçaya bölünmüştür.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında verilen $V_0 = 8 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi $h = 0,40$ m sabit yükseklik için eşit olarak dağıtılmış ve çubuk parçalarının başlangıç genişlikleri 1 m olarak alınmıştır.

100 kN luk yatay yük etkisi altındaki genişliği 1m, yüksekliği 0,40 m olan sabit enkesitli sistem, SAP 2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan u_a yerdeğiştirmesi 0,02741m. olarak bulunmuştur.

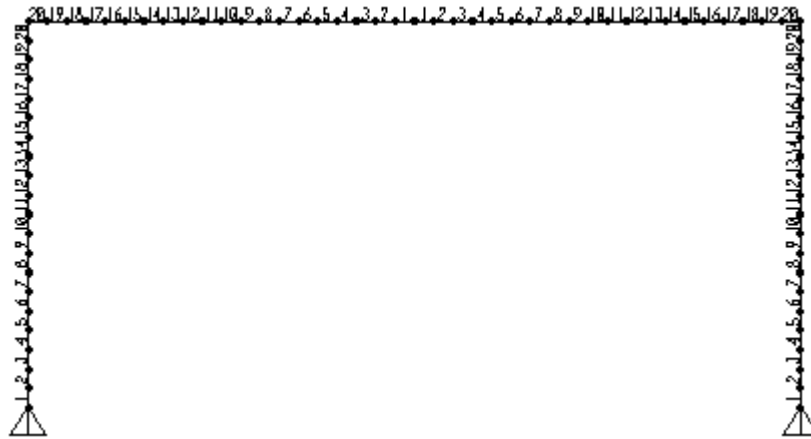
Sistem dış yükler ve birim yükleme için çözülerek her çubuk parçasına ait sol ve sağ uçtaki eğilme momenti değerleri MS Excel dosyasına yazılarak çubuk üzerindeki M ve M_1 ortalama eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra $b = \sqrt{\frac{12 M M_1}{h^4 k_0}}$ formülü kullanılarak her çubuk parçasına ait genişlik değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplanan b genişlik değerlerine ait V malzeme hacmi, verilen $V_0 = 8 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından Tablo 2.5 te yer alan b genişlik değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılmıştır.

Hesabın ikinci adımında birinci adımda bulunan b_v değerleri kullanılarak sistem dış yükler ve birim yük için çözülmüş ve yeni eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra 0,0206 m. olarak bulunan yerdeğiştirme değeri ile yeni k_0 sabiti ve (1.25) formülü ile yeni kesit genişlikleri hesaplanmıştır.

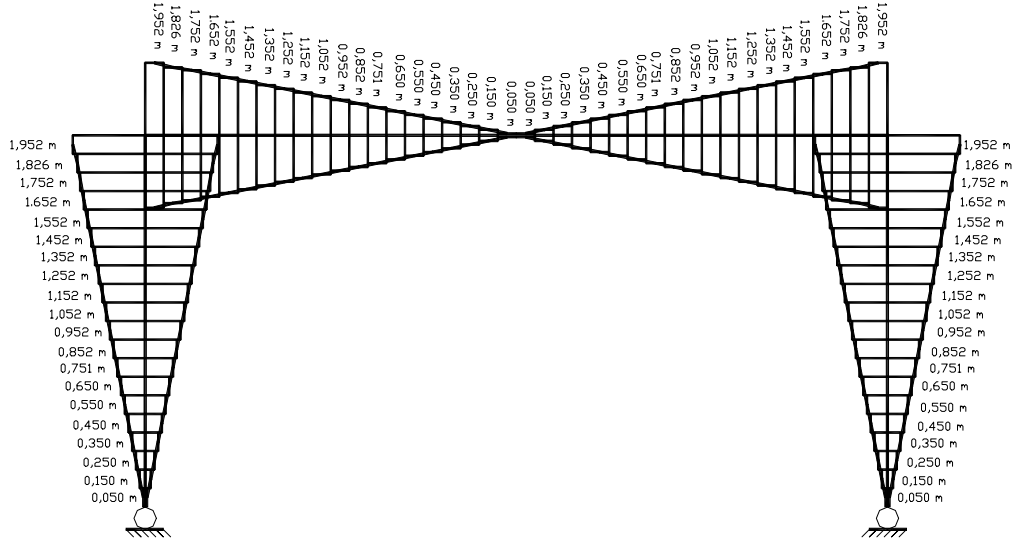
Bulunan b_v genişlik değerleri kullanılarak sistem yeniden çözüldüğünde 0,0206 m lik yerdeğiştirme değerine ulaşılmış, tek adımda aynı k_0 sabiti elde edildiğinden hesaba son verilmiş ve Şekil 2.10 da verilen malzeme yayılımı elde edilmiştir.



Şekil 2.9 Sistem : 2, Hesap modeli ve çubuk numaraları

Tablo 2.5 Sistem : 2, Eğilme momentleri ve enkesit genişlikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	b (m)	b _v (m)
1	0,000	12,500	6,250	0,000	0,125	0,063	0,043	0,050
2	12,500	25,000	18,750	0,125	0,250	0,188	0,130	0,150
3	25,000	37,500	31,250	0,250	0,375	0,313	0,217	0,250
4	37,500	50,000	43,750	0,375	0,500	0,438	0,303	0,350
5	50,000	62,500	56,250	0,500	0,625	0,563	0,390	0,450
6	62,500	75,000	68,750	0,625	0,750	0,688	0,476	0,550
7	75,000	87,500	81,250	0,750	0,875	0,813	0,563	0,650
8	87,500	100,000	93,750	0,875	1,000	0,938	0,650	0,751
9	100,000	112,500	106,250	1,000	1,130	1,065	0,737	0,852
10	112,500	125,000	118,750	1,130	1,250	1,190	0,824	0,952
11	125,000	137,500	131,250	1,250	1,380	1,315	0,910	1,052
12	137,500	150,000	143,750	1,380	1,500	1,440	0,997	1,152
13	150,000	162,500	156,250	1,500	1,630	1,565	1,083	1,252
14	162,500	175,000	168,750	1,630	1,750	1,690	1,170	1,352
15	175,000	187,500	181,250	1,750	1,880	1,815	1,257	1,452
16	187,500	200,000	193,750	1,880	2,000	1,940	1,343	1,552
17	200,000	212,500	206,250	2,000	2,130	2,065	1,430	1,652
18	212,500	225,000	218,750	2,130	2,250	2,190	1,516	1,752
19	225,000	237,500	231,250	2,250	2,380	2,315	1,603	1,852
20	237,500	250,000	243,750	2,380	2,500	2,440	1,690	1,952



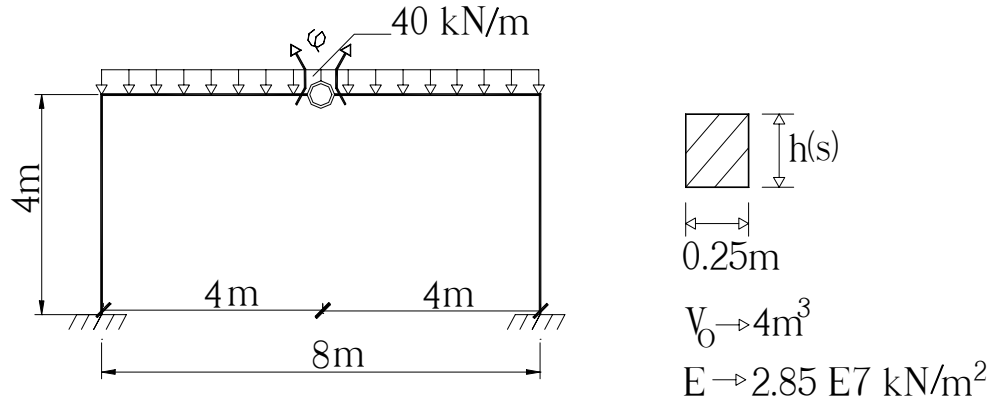
Şekil 2.10 Sistem: 2, Optimum malzeme yayılımı

2.3 Çubuk Sistem-3

Sayısal incelemelerde dördüncü olarak kirişi orta noktasından mafsallı ankastre çerçevenin malzeme yayılımı rölatif şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 2.11 den görüldüğü gibi sistem, 8 m açıklıklığında olup 40 kN / m şiddetindeki düzgün yayılı yükün etkisi altındadır. Sistem modeli ve çubuk numaraları Şekil 2.12 de gösterilmiştir.

Hesaplarda enkesit genişliği sabit ve $b_0 = 0,25$ m olarak alınmıştır. Sistemdeki verilen malzeme hacmi $V_0 = 4 \text{ m}^3$ olup, elastisite modülü $E = 28500000 \text{ kN/m}^2$ dir.



Şekil 2.11 Sistem : 3, Düzgün yayılı düşey yük etkisindeki kirişi ortadan mafsallı ankastre çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri

Kolonlar eğilme momentinin sabit kabul edilebildiği doğru eksenli sabit enkesitli 10 eşit parçaya, kiriş ise 20 eşit parçaya bölünmüştür.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında verilen $V_0 = 4 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi $b_0 = 0,25$ m sabit genişlik için eşit olarak dağıtılmış ve çubuk parçalarının başlangıç yükseklikleri 1 m olarak alınmıştır.

60 kN / m lik düzgün yayılı yük etkisi altındaki genişliği 0.25 m yüksekliği 1 m olan sabit enkesitli sistem, SAP 2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan ϕ rölatif dönme değeri 0,0005924 olarak bulunmuştur.

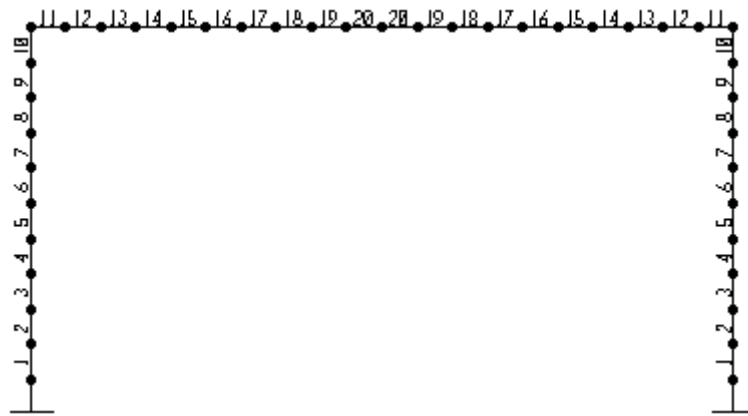
Sistem dış yükler ve birim yükleme için çözülerek her çubuk parçasına ait sol ve sağ uçtaki eğilme momenti değerleri MS Excel dosyasına yazılarak çubuk üzerindeki M ve M_1 ortalama eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra $h = \sqrt[4]{\frac{12 M M_1}{b^2 k_0}}$ formülü kullanılarak her çubuk parçasına ait yükseklik değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplanan h yükseklik değerlerine ait V malzeme hacmi, verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından Tablo 2.6 da yer alan h yükseklik değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılmıştır.

Hesabın ikinci adımında birinci adımda bulunan h_v değerleri kullanılarak, sistem dış yükler ve birim yük için çözülmüş ve yeni eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra ikinci adımda $\varphi = 0,0003416$ olarak bulunan rölatif dönme değeri ile yeni k_0 sabiti ve (1.25) formülü ile tablolarda görülen yeni kesit yükseklikleri hesaplanmıştır.

Bu şekilde ardışık hesaba devam edilerek Tablo 2.10 dan görüldüğü üzere 4. ve 5. adımda $\varphi = 0,0003394$ değerindeki eşit rölatif dönme değerine ulaşılmıştır. Ardışık 4 adımda aynı k_0 sabiti elde edildiğinden hesaba son verilmiş, Şekil 2.13 de verilen ardışık hesabın yakınsamasına ilişkin grafik ve Şekil 2.14 te görülen malzeme yayılımı elde edilmiştir.



Şekil 2.12 Sistem : 3 Hesap modeli ve çubuk numaraları

Tablo 2.6 Sistem : 3, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	40,000	28,000	34,000	0,600	0,350	0,475	0,926	1,041
2	28,000	16,000	22,000	0,350	0,200	0,275	0,724	0,814
3	16,000	4,000	10,000	0,200	0,050	0,125	0,488	0,549
4	4,000	8,000	6,000	0,050	0,100	0,075	0,378	0,425
5	8,000	20,000	14,000	0,100	0,250	0,175	0,578	0,649
6	20,000	32,000	26,000	0,250	0,400	0,325	0,787	0,885
7	32,000	44,000	38,000	0,400	0,550	0,475	0,952	1,070
8	44,000	56,000	50,000	0,550	0,700	0,625	1,092	1,227
9	56,000	68,000	62,000	0,700	0,850	0,775	1,216	1,367
10	68,000	80,000	74,000	0,850	1,000	0,925	1,328	1,493
11	80,000	64,800	72,400	1,000	1,000	1,000	1,347	1,514
12	64,800	51,200	58,000	1,000	1,000	1,000	1,275	1,432
13	51,200	39,200	45,200	1,000	1,000	1,000	1,198	1,346
14	39,200	28,800	34,000	1,000	1,000	1,000	1,115	1,253
15	28,800	20,000	24,400	1,000	1,000	1,000	1,026	1,154
16	20,000	12,800	16,400	1,000	1,000	1,000	0,929	1,045
17	12,800	7,200	10,000	1,000	1,000	1,000	0,821	0,923
18	7,200	3,200	5,200	1,000	1,000	1,000	0,697	0,784
19	3,200	0,800	2,000	1,000	1,000	1,000	0,549	0,617
20	0,800	0,000	0,400	1,000	1,000	1,000	0,367	0,413

Tablo 2.7 Sistem : 3, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	37,840	26,060	31,950	0,470	0,330	0,400	1,002	0,985
2	26,060	14,280	20,170	0,330	0,180	0,255	0,798	0,785
3	14,280	2,490	8,385	0,180	0,030	0,105	0,513	0,505
4	2,490	9,290	5,890	0,030	0,120	0,075	0,432	0,425
5	9,290	21,080	15,185	0,120	0,260	0,190	0,691	0,679
6	21,080	32,860	26,970	0,260	0,410	0,335	0,919	0,903
7	32,860	44,650	38,755	0,410	0,560	0,485	1,103	1,085
8	44,650	56,430	50,540	0,560	0,710	0,635	1,261	1,240
9	56,430	68,220	62,325	0,710	0,850	0,780	1,399	1,376
10	68,220	80,000	74,110	0,850	1,000	0,925	1,525	1,499
11	80,000	64,800	72,400	1,000	1,000	1,000	1,546	1,520
12	64,800	51,200	58,000	1,000	1,000	1,000	1,463	1,438
13	51,200	39,200	45,200	1,000	1,000	1,000	1,374	1,351
14	39,200	28,800	34,000	1,000	1,000	1,000	1,280	1,258
15	28,800	20,000	24,400	1,000	1,000	1,000	1,178	1,158
16	20,000	12,800	16,400	1,000	1,000	1,000	1,066	1,048
17	12,800	7,200	10,000	1,000	1,000	1,000	0,942	0,926
18	7,200	3,200	5,200	1,000	1,000	1,000	0,800	0,787
19	3,200	0,800	2,000	1,000	1,000	1,000	0,630	0,620
20	0,800	0,000	0,400	1,000	1,000	1,000	0,421	0,414

Tablo 2.8 Sistem : 3, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

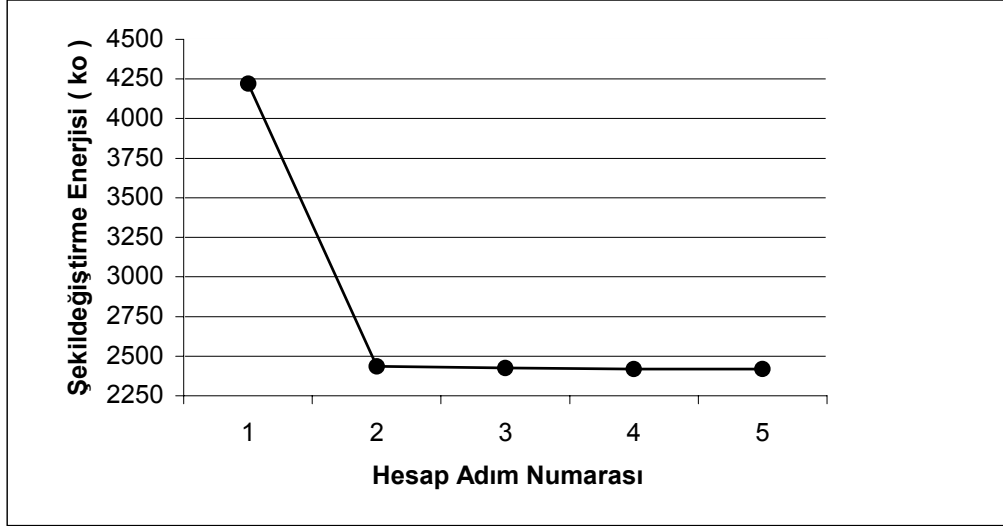
Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	36,010	24,410	30,210	0,450	0,310	0,380	0,977	0,962
2	24,410	12,810	18,610	0,310	0,160	0,235	0,767	0,755
3	12,810	1,210	7,010	0,160	0,020	0,090	0,473	0,466
4	1,210	10,390	5,800	0,020	0,130	0,075	0,431	0,424
5	10,390	21,990	16,190	0,130	0,270	0,200	0,712	0,701
6	21,990	33,590	27,790	0,270	0,420	0,345	0,934	0,919
7	33,590	45,200	39,395	0,420	0,560	0,490	1,112	1,095
8	45,200	56,800	51,000	0,560	0,710	0,635	1,266	1,246
9	56,800	68,400	62,600	0,710	0,850	0,780	1,402	1,381
10	68,400	80,000	74,200	0,850	1,000	0,925	1,527	1,504
11	80,000	64,800	72,400	1,000	1,000	1,000	1,547	1,524
12	64,800	51,200	58,000	1,000	1,000	1,000	1,464	1,442
13	51,200	39,200	45,200	1,000	1,000	1,000	1,376	1,354
14	39,200	28,800	34,000	1,000	1,000	1,000	1,281	1,261
15	28,800	20,000	24,400	1,000	1,000	1,000	1,179	1,161
16	20,000	12,800	16,400	1,000	1,000	1,000	1,068	1,051
17	12,800	7,200	10,000	1,000	1,000	1,000	0,943	0,929
18	7,200	3,200	5,200	1,000	1,000	1,000	0,801	0,789
19	3,200	0,800	2,000	1,000	1,000	1,000	0,631	0,621
20	0,800	0,000	0,400	1,000	1,000	1,000	0,422	0,416

Tablo 2.9 Sistem : 3, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

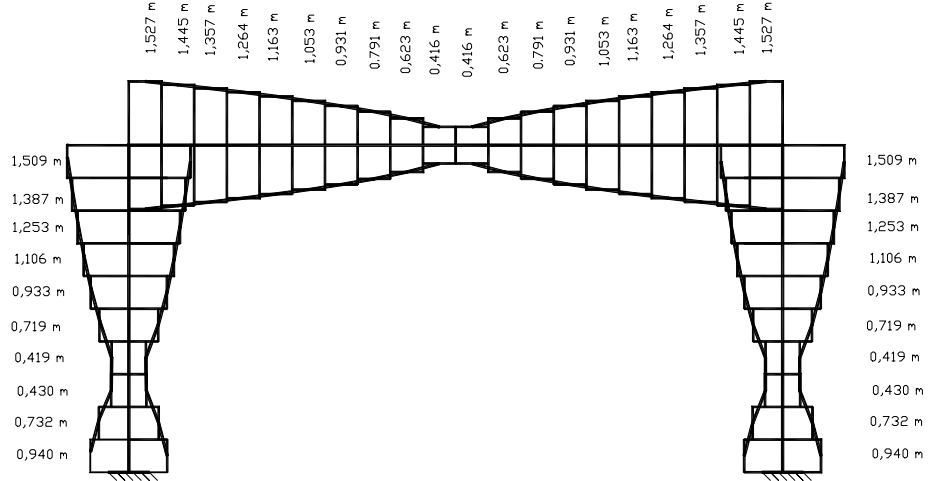
Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	34,610	23,150	28,880	0,430	0,290	0,360	0,953	0,940
2	23,150	11,680	17,415	0,290	0,150	0,220	0,743	0,732
3	11,680	0,220	5,950	0,150	0,003	0,076	0,436	0,430
4	0,220	11,240	5,730	0,003	0,140	0,072	0,425	0,419
5	11,240	22,700	16,970	0,140	0,280	0,210	0,729	0,719
6	22,700	34,160	28,430	0,280	0,430	0,355	0,946	0,933
7	34,160	45,620	39,890	0,430	0,570	0,500	1,122	1,106
8	45,620	57,080	51,350	0,570	0,710	0,640	1,271	1,253
9	57,080	68,540	62,810	0,710	0,860	0,785	1,407	1,387
10	68,540	80,000	74,270	0,860	1,000	0,930	1,530	1,509
11	80,000	64,800	72,400	1,000	1,000	1,000	1,548	1,527
12	64,800	51,200	58,000	1,000	1,000	1,000	1,465	1,445
13	51,200	39,200	45,200	1,000	1,000	1,000	1,376	1,357
14	39,200	28,800	34,000	1,000	1,000	1,000	1,282	1,264
15	28,800	20,000	24,400	1,000	1,000	1,000	1,180	1,163
16	20,000	12,800	16,400	1,000	1,000	1,000	1,068	1,053
17	12,800	7,200	10,000	1,000	1,000	1,000	0,944	0,931
18	7,200	3,200	5,200	1,000	1,000	1,000	0,802	0,791
19	3,200	0,800	2,000	1,000	1,000	1,000	0,631	0,623
20	0,800	0,000	0,400	1,000	1,000	1,000	0,422	0,416

Tablo 2.10 Sistem : 3, Ardışık hesap adım numaraları ve rölatif dönme

Adım Numarası	Rölatif Dönme (radyan)
1	0,0005924
2	0,0003416
3	0,0003402
4	0,0003394
5	0,0003394



Şekil 2.13 Sistem : 3, Şekildeğiştirme enerjisi - Hesap adım numarası diyagramı



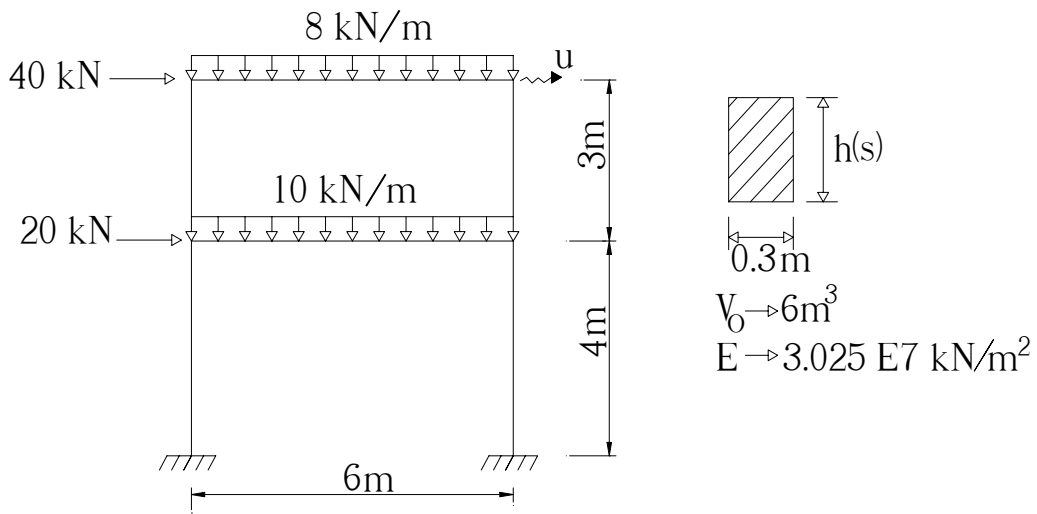
Şekil 2.14 Sistem : 3, Optimum malzeme yayılışı

2.4 Çubuk Sistem-4

Sayısal incelemelerde beşinci olarak iki katlı dikdörtgen çerçevenin malzeme yayılımı üst kattaki yatay yerdeğiştirme minimum olacak şekilde hesaplanmıştır.

Şekil 2.15 den görüldüğü gibi sistem, 6 m açıklığında olup yatay ve düzgün yayılı düşey yükler etkisi altındadır. Sistem hesap modeli ve çubuk numaraları Şekil 2.16 de verilmiştir.

Hesaplarda enkesit genişliği sabit ve $b_0 = 0,30$ m olarak alınmıştır. Sistemdeki verilen malzeme hacmi $V_0 = 6 \text{ m}^3$ olup, elastisite modülü $E = 30250000 \text{ kN/m}^2$ dir.



Şekil 2.15 Sistem : 4, Yatay ve düşey yükler etkisi altındaki iki katlı çerçeve, çerçeve kesiti ve hesap verileri

Sistemdeki kolonlar ve kirişler eğilme momentinin sabit kabul edilebildiği doğru eksenli sabit enkesitli 10 eşit parçaya bölünmüştür.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi $b_0 = 0.30$ m sabit genişlik için eşit olarak dağıtılmış ve çubuk parçalarının başlangıç yükseklikleri 0,769 m olarak alınmıştır.

Yatay ve düzgün yayılı yükler etkisi altındaki genişliği 0.30 m yüksekliği 0,769 m olan sabit enkesitli sistem, SAP 2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan u yerdeğiştirme değeri 0,00137 m olarak bulunmuştur. Sistem dış yükler ve birim yükleme için çözümlenerek her çubuk parçasına

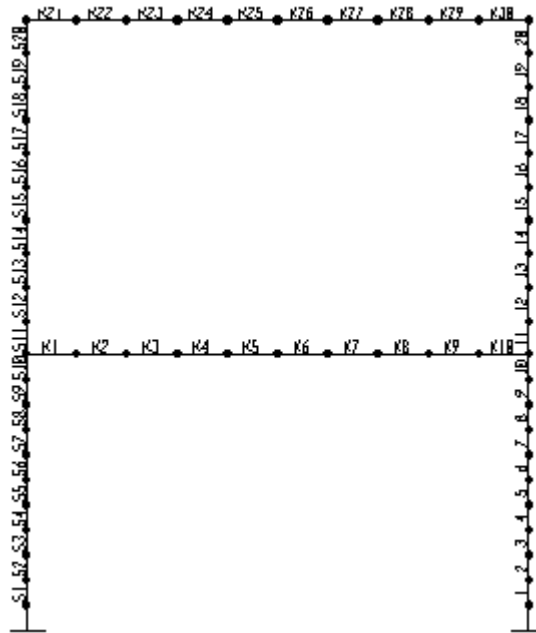
ait sol ve sağ uçtaki eğilme momenti değerleri MS Excel dosyasına yazılarak çubuk üzerindeki M ve M_1 ortalama eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra $h = \sqrt[4]{\frac{12 M M_1}{b^2 k_0}}$ formülü kullanılarak her çubuk parçasına ait yükseklik değerlerine ulaşılmıştır. Hesaplanan h yükseklik değerlerine ait V malzeme hacmi, verilen $V_0 = 6 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından Tablo B.1 de yer alan h yükseklik değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılmıştır.

Hesabın ikinci adımında birinci adımda bulunan h_v değerleri kullanılarak sistem dış yükler ve birim yük için çözülmüş ve yeni eğilme momenti değerleri hesap edilmiştir.

Daha sonra ikinci adımda 0,0008718 m olarak bulunan yer değiştirme değeri ile yeni k_0 sabiti ve (1.25) formülü ile yeni kesit yükseklikleri hesaplanmıştır.

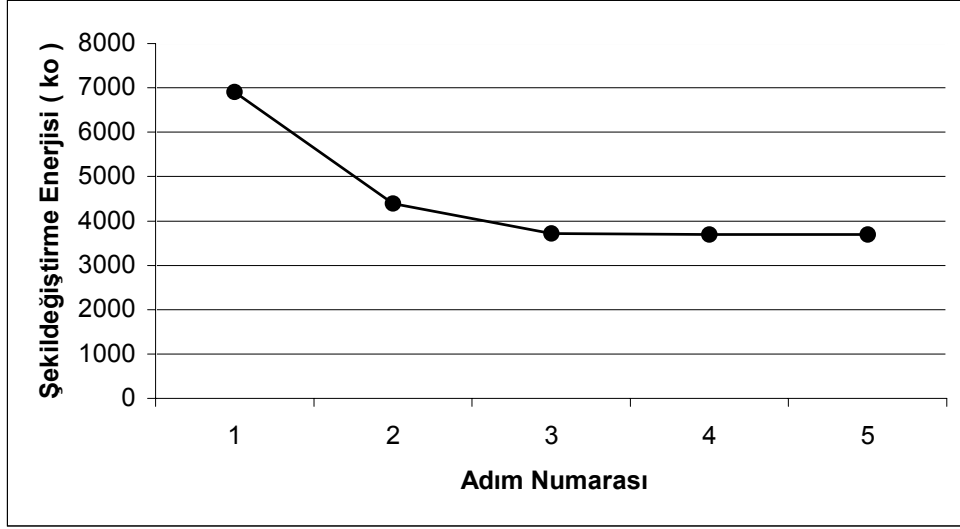
Bu şekilde ardışık hesaba devam edilerek Tablo B.4 te görüldüğü gibi 4. Adımdaki yükseklik değerleri verilen malzeme hacmine eşit ve 6 m^3 değerini sağlamıştır. Yer değiştirme 0,0006794 m. dir. Ardışık 4 adımda aynı k_0 sabiti elde edildiğinden hesaba son verilmiş, Şekil 2.17 da verilen ardışık hesabın yakınsamasına ilişkin grafik ve Şekil 2.18 deki malzeme yayılımı elde edilmiştir.



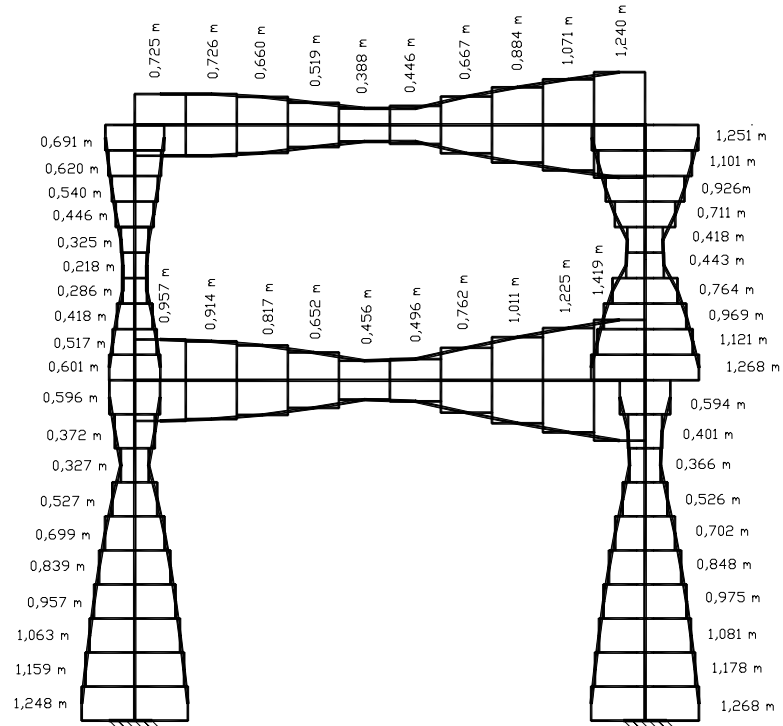
Şekil 2.16 Sistem : 4, Hesap modeli ve çubuk numaraları

Tablo 2.11 Sistem : 4, Ardışık hesap adım numaraları ve yerdeğiştirmeler

Adım Numarası	Yerdeğiştirme (m)
1	0,00137
2	0,0008718
3	0,0007368
4	0,0007321
5	0,0006794



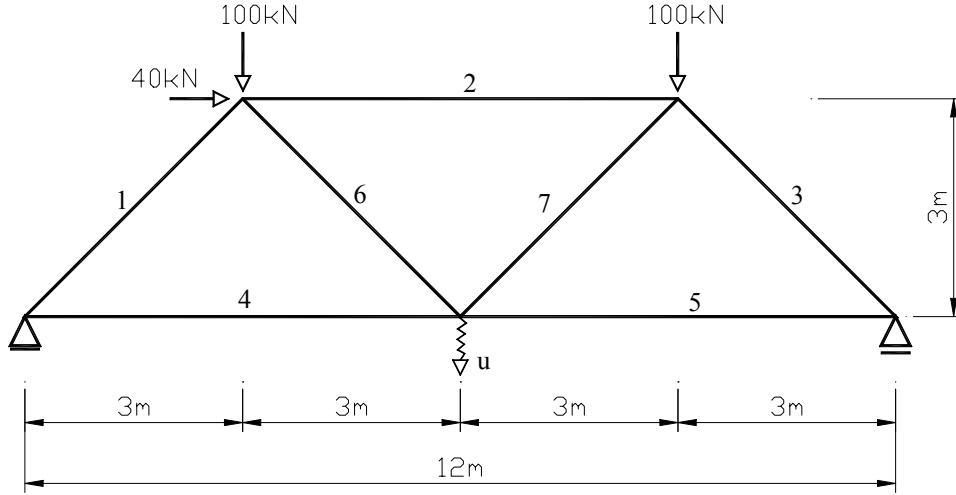
Şekil 2.17 Sistem : 4, Şekildeğiştirme enerjisi (k₀) – Hesap adım numarası diyagramı



Şekil 2.18 Sistem : 4, Optimum malzeme yayılışı

2.5 Kafes Sistem

Sayısal incelemelerde altıncı olarak yatay ve düşey yükler etkisi altındaki bir kafes sistemin malzeme yayılımı ortadaki çökme minimum olacak şekilde hesaplanmıştır. Şekil 2.19 den görüldüğü gibi sistem, 12 m açıklıklığında, 3 m yüksekliğinde olup 100 kN şiddetindeki düşey yüklerin ve 40 kN şiddetindeki yatay yükün etkisi altındadır.



Şekil 2.19 Sistem : 6, Yatay ve düşey yükler etkisindeki kafes sistem

Verilen malzeme hacmi $V_0 = 0,07 \text{ m}^3$ olup elastisite modülü $21 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ dir.

Ardışık yaklaşımın ilk adımında verilen $V_0 = 0,07 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmi çubuk parçalarına eşit olarak dağıtılmış ve hesabın başlangıcında tüm çubuklar için 20 cm^3 enkesit alanı değerleri kullanılmıştır. Sistem SAP2000 bilgisayar programı ile çözülmüş ve ilk adımda k_0 sabitinin hesaplanmasına esas olan u yer değiştirmesi $0,005454 \text{ m}$ olarak bulunmuştur.

Dış yüklerden oluşan S çubuk kuvvetleri ile birim yüklemeden oluşan yer değiştirme doğrultusundaki S_1 çubuk kuvvetleri hesap edilmiştir.

Bu yerdeğiştirme değerine karşı gelen k_0 değeri esas alınarak enkesit alanı değerleri $F = \sqrt{\frac{SS_1}{k_0}}$ formülünden elde edilmiştir..

Hesaplanan S ve S_1 çubuk kuvvetleri değerlerine ait V malzeme hacmi $0,0667 \text{ m}^3$ bulunmuştur. Verilen $V_0 = 0,07 \text{ m}^3$ lük malzeme hacmine eşit olmadığından

Tablo 2.12 de yer alan F enkesit alanı değerleri $\frac{V_0}{V}$ oranı ile arttırılmıştır. Tablo 2.12 den görüldüğü gibi F_{son} değerlerine ulaşılmıştır.

S ve S_1 değerleri kullanılarak sistem dış yükler ve birim yük için  z lm ş ve optimum malzeme yayılışına ait yerdeğiştirme değeri 0,00447 m bulunmuştur.

Tablo 2.12 Sistem : 5, Kafes sisteme ait çubuk kuvvetleri ve enkesit alanları

�ubuk No	S (kN)	S_1 (kN)	F(cm ²)	F_{son} (cm ²)
1	-127,3	-0,707	23,45	24,6
2	-120	-1	27,08	28,4
3	-155,6	-0,707	25,93	27,2
4	130	0,5	19,93	20,9
5	110	0,5	18,33	19,2
6	-14,1	0,707	7,81	8,2
7	14,1	0,707	7,81	8,2

3. SONUÇLAR

Yüksek Lisans tezi olarak sunulan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1 – Verilen aynı miktardaki malzeme hacmi için, seçilen karakteristik bir yerdeğiştirme bileşenini minimum yapan malzeme yayılışının belirlenmesi amacıyla sayısal bir hesap algoritması geliştirilmiştir. Algoritmanın geliştirilmesinde yapıların hesabı için geliştirilen SAP2000 programından ve MS Excel ortamında hazırlanan bir makrodan yararlanılmıştır.

2 – Algoritma hem dolu gövdeli çubuk sistemlere hem de kafes sistemlere uygulanabilmektedir. Dolu gövdeli sistemlerde her çubuk eğilme momentinin yaklaşık eşit kabul edilebildiği küçük parçalara ayrılarak sonlu elemanlar şeklinde idealleştirilmektedir. Kafes sistemlerde ise, normal kuvvet çubuk boyunca sabit olduğundan çubukları ayrıca parçalara ayırmaya gerek kalmamaktadır.

3 – Yapı sisteminin izostatik olması halinde bir adımda sonuca ulaşılmakta, hiperstatik olması halinde ise ardışık yaklaşıma gerek duyulmaktadır. Her adımı, sistem hesabı ve boyutlandırma adımlarından oluşan ardışık yaklaşım, çubuk parça sayısının fazla olması durumunda bile oldukça hızlı bir şekilde yakınsamakta, pratik olarak 3 veya 4 adımda bile sonuca ulaşılmaktadır.

4 – Ardışık yaklaşım hızlı bir şekilde yakınsamaktadır. Adım sayısı çubukların bölündüğü parça sayısına bağlı olarak artmakla birlikte, pratik olarak parça sayısının fazla olduğu durumlarda bile 3 – 4 adımda optimum çözüme oldukça yakın değerler elde edilebilmektedir.

Ayrıca parça sayısının arttırılması ile sürekli fonksiyona çok daha yakın değerler ve bunun sonucu olarak daha küçük yerdeğiştirme değerleri elde edilmektedir.

Örnek 1 ve örnek 1a karşılaştırıldığında, çubuğun 50 parçaya ayrılması halinde, 20 parçaya ayrılmasına göre yaklaşık % 9 daha küçük bir yerdeğiştirme değeri elde edilmektedir. 3. Adımda elde edilen yerdeğiştirme değerleri karşılaştırıldığında ise bu oranın yaklaşık % 7 olduğu görülmektedir. Her iki durumda da aynı yerdeğiştirme

değeri esas alındığında, çubuk sayısının 2.5 katına çıkarılması ile birlikte yaklaşık olarak % 10 malzeme tasarrufu sağlandığı görülmüştür.

5 – Elde edilen enkesit boyutları veri olarak kullanılmak üzere eğilme momenti diyagramı fonksiyonu ile aynı mertebede bir polinom katsayıları eğri uydurma yöntemi ile bulunarak optimum enkesit değişimi fonksiyonu yerine yaklaşık ve sürekli bir fonksiyon elde edilebilir.

6 – Verilen sabit malzeme hacmi için optimum enkesit değişimi elde edildikten sonra, sözkonusu boyutlar yönetmeliklerde öngörülen gerilme ve yerdeğiştirme koşullarını sağlamıyorsa, toplam malzeme hacmi her iki koşulu da sağlayacak şekilde arttırılır. Enkesit boyutlarının çok küçük gerilme ve yerdeğiştirme değerleri vermesi halinde ise başlangıçta hesaba esas olarak alınan malzeme hacmi azaltılır.

7 – Çalışmada sadece dikdörtgen enkesitler dikkate alınmakla birlikte, algoritmada yapılacak küçük değişikliklerle [1] de verilen diğer enkesit şekillerine de uygulanabilir.

8 - [1] de verilen formülasyon genel olduğundan verilen algoritmada sonlu elemanlar ortamında idealleştirilebilen yüzeysel taşıyıcı sistemlere de uygulanabilecek şekilde genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] ÇAKIROĞLU, A.,** Bir Deplasman Bileşenini Minimum Yapan Malzeme Yayılışının Tayini, (Teknik Rapor No: 23), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, (1975)
- [2] ÇAKIROĞLU, A., ÇETMELİ, E.,** Yapı Statiği Cilt 1, İstanbul, (1983)
- [3] ÇAKIROĞLU, A., ÇETMELİ, E.,** Yapı Statiği Cilt 2, İstanbul, (1996)
- [4] SAP2000,** Referance Manual, Computers and Structures Inc., Berkeley California, U.S.A., Version 7.1, (1999)
- [5] SERÇE, A.V.,** İleri Excel, Pusula Yayıncılık ve İletişim Ltd., İstanbul, (1998)

EKLER

Tablo A.1 Sistem : 1a, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	500,000	441,200	470,600	1,250	1,150	1,200	1,379	1,559
2	441,200	384,800	413,000	1,150	1,050	1,100	1,306	1,477
3	384,800	330,800	357,800	1,050	0,950	1,000	1,231	1,391
4	330,800	279,200	305,000	0,950	0,850	0,900	1,152	1,302
5	279,200	230,000	254,600	0,850	0,750	0,800	1,069	1,209
6	230,000	183,200	206,600	0,750	0,650	0,700	0,981	1,109
7	183,200	138,800	161,000	0,650	0,550	0,600	0,887	1,003
8	138,800	96,800	117,800	0,550	0,450	0,500	0,784	0,886
9	96,800	57,200	77,000	0,450	0,350	0,400	0,667	0,754
10	57,200	20,000	38,600	0,350	0,250	0,300	0,522	0,590
11	20,000	14,800	17,400	0,250	0,150	0,200	0,386	0,437
12	14,800	47,200	31,000	0,150	0,050	0,100	0,375	0,424
13	47,200	77,200	62,200	0,050	0,050	0,050	0,376	0,425
14	77,200	104,800	91,000	0,050	0,150	0,100	0,491	0,556
15	104,800	130,000	117,400	0,150	0,250	0,200	0,623	0,704
16	130,000	152,800	141,400	0,250	0,350	0,300	0,722	0,816
17	152,800	173,200	163,000	0,350	0,450	0,400	0,804	0,909
18	173,200	191,200	182,200	0,450	0,550	0,500	0,874	0,988
19	191,200	206,800	199,000	0,550	0,650	0,600	0,935	1,057
20	206,800	220,000	213,400	0,650	0,750	0,700	0,989	1,118
21	220,000	230,800	225,400	0,750	0,850	0,800	1,037	1,172
22	230,800	239,200	235,000	0,850	0,950	0,900	1,079	1,220
23	239,200	245,200	242,200	0,950	1,050	1,000	1,116	1,262
24	245,200	248,800	247,000	1,050	1,150	1,100	1,149	1,299
25	248,800	250,000	249,400	1,150	1,250	1,200	1,177	1,331

Tablo A.2 Sistem : 1a, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	531,800	473,000	502,400	1,200	1,100	1,150	1,569	1,580
2	473,000	416,600	444,800	1,100	0,997	1,049	1,487	1,497
3	416,600	362,600	389,600	0,997	0,897	0,947	1,402	1,412
4	362,600	311,000	336,800	0,897	0,797	0,847	1,315	1,324
5	311,000	261,800	286,400	0,797	0,697	0,747	1,224	1,232
6	261,800	215,000	238,400	0,697	0,597	0,647	1,128	1,136
7	215,000	170,600	192,800	0,597	0,497	0,547	1,025	1,033
8	170,600	128,600	149,600	0,497	0,397	0,447	0,915	0,921
9	128,600	89,000	108,800	0,397	0,297	0,347	0,793	0,799
10	89,000	51,800	70,400	0,297	0,197	0,247	0,653	0,658
11	51,800	17,000	34,400	0,197	0,097	0,147	0,480	0,483
12	17,000	15,400	16,200	0,097	0,003	0,050	0,304	0,306
13	15,400	45,400	30,400	0,003	0,103	0,053	0,360	0,363
14	45,400	73,000	59,200	0,103	0,203	0,153	0,555	0,559
15	73,000	98,200	85,600	0,203	0,303	0,253	0,690	0,695
16	98,200	121,000	109,600	0,303	0,403	0,353	0,798	0,804
17	121,000	141,400	131,200	0,403	0,503	0,453	0,888	0,895
18	141,400	159,400	150,400	0,503	0,603	0,553	0,966	0,973
19	159,400	175,000	167,200	0,603	0,703	0,653	1,034	1,042
20	175,000	188,200	181,600	0,703	0,803	0,753	1,094	1,102
21	188,200	199,000	193,600	0,803	0,903	0,853	1,147	1,155
22	199,000	207,400	203,200	0,903	1,000	0,952	1,193	1,202
23	207,400	213,400	210,400	1,000	1,100	1,050	1,234	1,242
24	213,400	217,000	215,200	1,100	1,200	1,150	1,269	1,278
25	217,000	218,200	217,600	1,200	1,300	1,250	1,300	1,309

Tablo A.3 Sistem : 1a, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	538,540	479,740	509,140	1,210	1,110	1,160	1,586	1,591
2	479,740	423,340	451,540	1,110	1,010	1,060	1,505	1,510
3	423,340	369,340	396,340	1,010	0,906	0,958	1,420	1,425
4	369,340	317,740	343,540	0,906	0,806	0,856	1,332	1,337
5	317,740	268,540	293,140	0,806	0,706	0,756	1,241	1,246
6	268,540	221,740	245,140	0,706	0,606	0,656	1,146	1,150
7	221,740	177,340	199,540	0,606	0,506	0,556	1,044	1,048
8	177,340	135,340	156,340	0,506	0,406	0,456	0,935	0,938
9	135,340	95,740	115,540	0,406	0,306	0,356	0,815	0,818
10	95,740	58,540	77,140	0,306	0,206	0,256	0,678	0,681
11	58,540	23,740	41,140	0,206	0,106	0,156	0,512	0,514
12	23,740	8,660	16,200	0,106	0,006	0,056	0,314	0,315
13	8,660	38,660	23,660	0,006	0,094	0,050	0,335	0,337
14	38,660	66,260	52,460	0,094	0,194	0,144	0,533	0,535
15	66,260	91,460	78,860	0,194	0,294	0,244	0,674	0,676
16	91,460	114,260	102,860	0,294	0,394	0,344	0,785	0,787
17	114,260	134,660	124,460	0,394	0,494	0,444	0,877	0,880
18	134,660	152,660	143,660	0,494	0,594	0,544	0,956	0,960
19	152,660	168,260	160,460	0,594	0,694	0,644	1,026	1,029
20	168,260	181,460	174,860	0,694	0,794	0,744	1,086	1,090
21	181,460	192,260	186,860	0,794	0,894	0,844	1,140	1,144
22	192,260	200,660	196,460	0,894	0,994	0,944	1,187	1,191
23	200,660	206,660	203,660	0,994	1,090	1,042	1,228	1,232
24	206,660	210,260	208,460	1,090	1,190	1,140	1,263	1,268
25	210,260	211,460	210,860	1,190	1,290	1,240	1,294	1,298

Tablo A.4 Sistem : 1a, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	542,890	484,090	513,490	1,220	1,120	1,170	1,594	1,600
2	484,090	427,690	455,890	1,120	1,020	1,070	1,513	1,519
3	427,690	373,690	400,690	1,020	0,920	0,970	1,430	1,435
4	373,690	322,090	347,890	0,920	0,820	0,870	1,343	1,348
5	322,090	272,890	297,490	0,820	0,720	0,770	1,253	1,257
6	272,890	226,090	249,490	0,720	0,620	0,670	1,158	1,162
7	226,090	181,690	203,890	0,620	0,520	0,570	1,057	1,061
8	181,690	139,690	160,690	0,520	0,420	0,470	0,949	0,953
9	139,690	100,090	119,890	0,420	0,320	0,370	0,831	0,834
10	100,090	62,890	81,490	0,320	0,220	0,270	0,697	0,700
11	62,890	28,090	45,490	0,220	0,120	0,170	0,537	0,539
12	28,090	4,310	16,200	0,120	0,020	0,070	0,332	0,333
13	4,310	34,310	19,310	0,020	0,080	0,050	0,319	0,320
14	34,310	61,910	48,110	0,080	0,180	0,130	0,509	0,511
15	61,910	87,110	74,510	0,180	0,280	0,230	0,655	0,658
16	87,110	109,910	98,510	0,280	0,380	0,330	0,769	0,772
17	109,910	130,310	120,110	0,380	0,480	0,430	0,863	0,866
18	130,310	148,310	139,310	0,480	0,580	0,530	0,944	0,947
19	148,310	163,910	156,110	0,580	0,680	0,630	1,014	1,018
20	163,910	177,110	170,510	0,680	0,780	0,730	1,076	1,079
21	177,110	187,910	182,510	0,780	0,880	0,830	1,130	1,134
22	187,910	196,310	192,110	0,880	0,980	0,930	1,177	1,181
23	196,310	202,310	199,310	0,980	1,080	1,030	1,219	1,223
24	202,310	205,910	204,110	1,080	1,180	1,130	1,255	1,259
25	205,910	207,110	206,510	1,180	1,280	1,230	1,286	1,290

Tablo A.5 Sistem : 1a, 5. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	546,860	488,060	517,460	1,230	1,130	1,180	1,602	1,609
2	488,060	431,660	459,860	1,130	1,030	1,080	1,522	1,528
3	431,660	377,660	404,660	1,030	0,933	0,982	1,439	1,445
4	377,660	326,060	351,860	0,933	0,833	0,883	1,353	1,359
5	326,060	276,860	301,460	0,833	0,733	0,783	1,264	1,268
6	276,860	230,060	253,460	0,733	0,633	0,683	1,169	1,174
7	230,060	185,660	207,860	0,633	0,533	0,583	1,070	1,074
8	185,660	143,660	164,660	0,533	0,433	0,483	0,963	0,966
9	143,660	104,060	123,860	0,433	0,333	0,383	0,846	0,849
10	104,060	66,860	85,460	0,333	0,233	0,283	0,715	0,718
11	66,860	32,060	49,460	0,233	0,133	0,183	0,559	0,561
12	32,060	0,344	16,202	0,133	0,033	0,083	0,347	0,348
13	0,344	30,340	15,342	0,033	0,067	0,050	0,302	0,303
14	30,340	57,940	44,140	0,067	0,167	0,117	0,486	0,488
15	57,940	83,140	70,540	0,167	0,267	0,217	0,638	0,640
16	83,140	105,940	94,540	0,267	0,367	0,317	0,754	0,757
17	105,940	126,340	116,140	0,367	0,467	0,417	0,850	0,854
18	126,340	144,340	135,340	0,467	0,567	0,517	0,932	0,936
19	144,340	159,940	152,140	0,567	0,667	0,617	1,003	1,007
20	159,940	173,140	166,540	0,667	0,767	0,717	1,066	1,070
21	173,140	183,940	178,540	0,767	0,867	0,817	1,120	1,125
22	183,940	192,340	188,140	0,867	0,967	0,917	1,168	1,173
23	192,340	198,340	195,340	0,967	1,070	1,019	1,211	1,215
24	198,340	201,940	200,140	1,070	1,170	1,120	1,247	1,252
25	201,940	203,140	202,540	1,170	1,270	1,220	1,278	1,283

Tablo A.6 Sistem : 1a, 6. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	550,500	491,700	521,100	1,240	1,140	1,190	1,610	1,615
2	491,700	435,300	463,500	1,140	1,040	1,090	1,530	1,534
3	435,300	381,300	408,300	1,040	0,944	0,992	1,448	1,452
4	381,300	329,700	355,500	0,944	0,844	0,894	1,363	1,367
5	329,700	280,500	305,100	0,844	0,744	0,794	1,273	1,277
6	280,500	233,700	257,100	0,744	0,644	0,694	1,179	1,183
7	233,700	189,300	211,500	0,644	0,544	0,594	1,080	1,084
8	189,300	147,300	168,300	0,544	0,444	0,494	0,974	0,977
9	147,300	107,700	127,500	0,444	0,344	0,394	0,859	0,862
10	107,700	70,500	89,100	0,344	0,244	0,294	0,730	0,732
11	70,500	35,700	53,100	0,244	0,144	0,194	0,578	0,580
12	35,700	3,300	19,500	0,144	0,044	0,094	0,375	0,377
13	3,300	26,700	15,000	0,044	0,056	0,050	0,300	0,301
14	26,700	54,300	40,500	0,056	0,156	0,106	0,465	0,466
15	54,300	79,500	66,900	0,156	0,256	0,206	0,622	0,624
16	79,500	102,300	90,900	0,256	0,356	0,306	0,741	0,743
17	102,300	122,700	112,500	0,356	0,456	0,406	0,839	0,841
18	122,700	140,700	131,700	0,456	0,556	0,506	0,922	0,925
19	140,700	156,300	148,500	0,556	0,656	0,606	0,994	0,997
20	156,300	169,500	162,900	0,656	0,756	0,706	1,057	1,060
21	169,500	180,300	174,900	0,756	0,856	0,806	1,112	1,115
22	180,300	188,700	184,500	0,856	0,956	0,906	1,160	1,164
23	188,700	194,700	191,700	0,956	1,060	1,008	1,203	1,207
24	194,700	198,300	196,500	1,060	1,160	1,110	1,240	1,244
25	198,300	199,500	198,900	1,160	1,260	1,210	1,271	1,275

Tablo A.7 Sistem : 1a, 7. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	553,750	494,950	524,350	1,260	1,160	1,210	1,621	1,625
2	494,950	438,550	466,750	1,160	1,060	1,110	1,541	1,544
3	438,550	384,550	411,550	1,060	0,956	1,008	1,458	1,461
4	384,550	332,950	358,750	0,956	0,856	0,906	1,372	1,374
5	332,950	283,750	308,350	0,856	0,756	0,806	1,283	1,285
6	283,750	236,950	260,350	0,756	0,656	0,706	1,189	1,192
7	236,950	192,550	214,750	0,656	0,556	0,606	1,091	1,093
8	192,550	150,550	171,550	0,556	0,456	0,506	0,986	0,988
9	150,550	110,950	130,750	0,456	0,356	0,406	0,872	0,874
10	110,950	73,750	92,350	0,356	0,256	0,306	0,745	0,746
11	73,750	38,950	56,350	0,256	0,156	0,206	0,596	0,598
12	38,950	6,550	22,750	0,156	0,056	0,106	0,402	0,403
13	6,550	23,450	15,000	0,056	0,044	0,050	0,301	0,301
14	23,450	51,050	37,250	0,044	0,144	0,094	0,442	0,443
15	51,050	76,250	63,650	0,144	0,244	0,194	0,606	0,607
16	76,250	99,050	87,650	0,244	0,344	0,294	0,728	0,729
17	99,050	119,450	109,250	0,344	0,444	0,394	0,827	0,829
18	119,450	137,450	128,450	0,444	0,544	0,494	0,912	0,914
19	137,450	153,050	145,250	0,544	0,644	0,594	0,985	0,987
20	153,050	166,250	159,650	0,644	0,744	0,694	1,048	1,050
21	166,250	177,050	171,650	0,744	0,844	0,794	1,104	1,106
22	177,050	185,450	181,250	0,844	0,944	0,894	1,153	1,155
23	185,450	191,450	188,450	0,944	1,040	0,992	1,194	1,197
24	191,450	195,050	193,250	1,040	1,140	1,090	1,231	1,233
25	195,050	196,250	195,650	1,140	1,240	1,190	1,262	1,264

Tablo A.8 Sistem : 1a, 8. Adıma Ait Eğilme Momentleri ve Enkesit Yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	556,830	498,030	527,430	1,270	1,170	1,220	1,628	1,631
2	498,030	441,630	469,830	1,170	1,070	1,120	1,548	1,551
3	441,630	387,630	414,630	1,070	0,967	1,019	1,465	1,468
4	387,630	336,030	361,830	0,967	0,867	0,917	1,380	1,382
5	336,030	286,830	311,430	0,867	0,767	0,817	1,291	1,293
6	286,830	240,030	263,430	0,767	0,667	0,717	1,198	1,201
7	240,030	195,630	217,830	0,667	0,567	0,617	1,101	1,103
8	195,630	153,630	174,630	0,567	0,467	0,517	0,996	0,998
9	153,630	114,030	133,830	0,467	0,367	0,417	0,883	0,885
10	114,030	76,830	95,430	0,367	0,267	0,317	0,758	0,760
11	76,830	42,030	59,430	0,267	0,167	0,217	0,613	0,614
12	42,030	9,630	25,830	0,167	0,067	0,117	0,426	0,427
13	9,630	20,370	15,000	0,067	0,033	0,050	0,301	0,301
14	20,370	47,970	34,170	0,033	0,133	0,083	0,420	0,420
15	47,970	73,170	60,570	0,133	0,233	0,183	0,590	0,591
16	73,170	95,970	84,570	0,233	0,333	0,283	0,715	0,716
17	95,970	116,370	106,170	0,333	0,433	0,383	0,816	0,818
18	116,370	134,370	125,370	0,433	0,533	0,483	0,902	0,903
19	134,370	149,970	142,170	0,533	0,633	0,583	0,975	0,977
20	149,970	163,170	156,570	0,633	0,733	0,683	1,039	1,041
21	163,170	173,970	168,570	0,733	0,833	0,783	1,096	1,098
22	173,970	182,370	178,170	0,833	0,933	0,883	1,145	1,147
23	182,370	188,370	185,370	0,933	1,030	0,982	1,187	1,189
24	188,370	191,970	190,170	1,030	1,130	1,080	1,224	1,226
25	191,970	193,170	192,570	1,130	1,230	1,180	1,255	1,257

Tablo A.9 Sistem : 1a, 9. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
1	559,680	500,880	530,280	1,280	1,180	1,230	1,635	1,638
2	500,880	444,480	472,680	1,180	1,080	1,130	1,555	1,558
3	444,480	390,480	417,480	1,080	0,977	1,029	1,472	1,475
4	390,480	338,880	364,680	0,977	0,877	0,927	1,387	1,390
5	338,880	289,680	314,280	0,877	0,777	0,827	1,299	1,301
6	289,680	242,880	266,280	0,777	0,677	0,727	1,207	1,209
7	242,880	198,480	220,680	0,677	0,577	0,627	1,109	1,111
8	198,480	156,480	177,480	0,577	0,477	0,527	1,006	1,008
9	156,480	116,880	136,680	0,477	0,377	0,427	0,894	0,896
10	116,880	79,680	98,280	0,377	0,277	0,327	0,770	0,772
11	79,680	44,880	62,280	0,277	0,177	0,227	0,627	0,628
12	44,880	12,480	28,680	0,177	0,077	0,127	0,447	0,448
13	12,480	17,520	15,000	0,077	0,023	0,050	0,301	0,302
14	17,520	45,120	31,320	0,023	0,123	0,073	0,398	0,399
15	45,120	70,320	57,720	0,123	0,223	0,173	0,575	0,576
16	70,320	93,120	81,720	0,223	0,323	0,273	0,703	0,704
17	93,120	113,520	103,320	0,323	0,423	0,373	0,806	0,807
18	113,520	131,520	122,520	0,423	0,523	0,473	0,892	0,894
19	131,520	147,120	139,320	0,523	0,623	0,573	0,967	0,969
20	147,120	160,320	153,720	0,623	0,723	0,673	1,032	1,034
21	160,320	171,120	165,720	0,723	0,823	0,773	1,088	1,090
22	171,120	179,520	175,320	0,823	0,923	0,873	1,138	1,140
23	179,520	185,520	182,520	0,923	1,020	0,972	1,180	1,183
24	185,520	189,120	187,320	1,020	1,120	1,070	1,217	1,219
25	189,120	190,320	189,720	1,120	1,220	1,170	1,248	1,251

Tablo A.10 Sistem : 1a, 10. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M_{sol} (kNm)	$M_{sağ}$ (kNm)	M (kNm)	M_{1sol} (kNm)	$M_{1sağ}$ (kNm)	M_1 (kNm)	h (m)	h_v (m)
1	562,360	503,560	532,960	1,290	1,190	1,240	1,641	1,644
2	503,560	447,160	475,360	1,190	1,090	1,140	1,561	1,565
3	447,160	393,160	420,160	1,090	0,986	1,038	1,479	1,482
4	393,160	341,560	367,360	0,986	0,886	0,936	1,394	1,396
5	341,560	292,360	316,960	0,886	0,786	0,836	1,306	1,308
6	292,360	245,560	268,960	0,786	0,686	0,736	1,214	1,216
7	245,560	201,160	223,360	0,686	0,586	0,636	1,117	1,120
8	201,160	159,160	180,160	0,586	0,486	0,536	1,014	1,017
9	159,160	119,560	139,360	0,486	0,386	0,436	0,904	0,905
10	119,560	82,360	100,960	0,386	0,286	0,336	0,781	0,783
11	82,360	47,560	64,960	0,286	0,186	0,236	0,640	0,642
12	47,560	15,160	31,360	0,186	0,086	0,136	0,465	0,466
13	15,160	14,840	15,000	0,086	0,014	0,050	0,301	0,302
14	14,840	42,440	28,640	0,014	0,114	0,064	0,377	0,377
15	42,440	67,640	55,040	0,114	0,214	0,164	0,561	0,562
16	67,640	90,440	79,040	0,214	0,314	0,264	0,692	0,693
17	90,440	110,840	100,640	0,314	0,414	0,364	0,796	0,798
18	110,840	128,840	119,840	0,414	0,514	0,464	0,884	0,886
19	128,840	144,440	136,640	0,514	0,614	0,564	0,959	0,961
20	144,440	157,640	151,040	0,614	0,714	0,664	1,024	1,026
21	157,640	168,440	163,040	0,714	0,814	0,764	1,081	1,083
22	168,440	176,840	172,640	0,814	0,914	0,864	1,131	1,133
23	176,840	182,840	179,840	0,914	1,010	0,962	1,174	1,176
24	182,840	186,440	184,640	1,010	1,110	1,060	1,210	1,213
25	186,440	187,640	187,040	1,110	1,210	1,160	1,242	1,245

Tablo B.1 Sistem : 4, 1. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
K1	33,480	37,550	35,515	1,270	1,020	1,145	0,941	1,023
K2	37,550	38,010	37,780	1,020	0,760	0,890	0,898	0,976
K3	38,010	34,880	36,445	0,760	0,510	0,635	0,818	0,889
K4	34,880	28,150	31,515	0,510	0,250	0,380	0,693	0,754
K5	28,150	17,820	22,985	0,250	0,000	0,125	0,485	0,527
K6	17,820	3,890	10,855	0,000	0,250	0,125	0,402	0,437
K7	3,890	13,640	8,765	0,250	0,510	0,380	0,504	0,547
K8	13,640	34,770	24,205	0,510	0,760	0,635	0,738	0,802
K9	34,770	59,500	47,135	0,760	1,020	0,890	0,949	1,031
K10	59,500	87,830	73,665	1,020	1,270	1,145	1,130	1,450
K21	25,070	29,210	27,140	1,050	0,840	0,945	0,839	0,912
K22	29,210	30,460	29,835	0,840	0,630	0,735	0,807	0,877
K23	30,460	28,830	29,645	0,630	0,420	0,525	0,740	0,805
K24	28,830	24,330	26,580	0,420	0,210	0,315	0,634	0,689
K25	24,330	16,940	20,635	0,210	0,000	0,105	0,452	0,492
K26	16,940	6,680	11,810	0,000	0,210	0,105	0,393	0,428
K27	6,680	6,470	6,575	0,210	0,420	0,315	0,447	0,486
K28	6,470	22,500	14,485	0,420	0,630	0,525	0,619	0,673
K29	22,500	41,400	31,950	0,630	0,840	0,735	0,821	0,892
K30	41,400	63,190	52,295	0,840	1,050	0,945	0,988	1,074
S1	59,570	52,270	55,920	1,170	1,020	1,095	1,043	1,133
S2	52,270	44,960	48,615	1,020	0,870	0,945	0,970	1,055
S3	44,960	37,650	41,305	0,870	0,720	0,795	0,892	0,970
S4	37,650	30,350	34,000	0,720	0,570	0,645	0,807	0,877
S5	30,350	23,040	26,695	0,570	0,420	0,495	0,711	0,772
S6	23,040	15,740	19,390	0,420	0,270	0,345	0,599	0,652
S7	15,740	8,430	12,085	0,270	0,120	0,195	0,462	0,502
S8	8,430	1,120	4,775	0,120	0,030	0,075	0,288	0,313
S9	1,120	6,180	3,650	0,030	0,180	0,105	0,293	0,319
S10	6,180	13,490	9,835	0,180	0,330	0,255	0,469	0,510
S11	19,990	15,480	17,735	0,950	0,750	0,850	0,734	0,798
S12	15,480	10,980	13,230	0,750	0,550	0,650	0,638	0,694
S13	10,980	6,470	8,725	0,550	0,350	0,450	0,525	0,570
S14	6,470	1,960	4,215	0,350	0,150	0,250	0,378	0,410
S15	1,960	2,540	2,250	0,150	0,050	0,100	0,257	0,279
S16	2,540	7,050	4,795	0,050	0,250	0,150	0,343	0,373
S17	7,050	11,550	9,300	0,250	0,450	0,350	0,501	0,544
S18	11,550	16,060	13,805	0,450	0,650	0,550	0,619	0,672
S19	16,060	20,570	18,315	0,650	0,850	0,750	0,718	0,780
S20	20,570	25,070	22,820	0,850	1,050	0,950	0,804	0,874

Tablo B.1 in devamı

1	70,860	60,170	65,515	1,170	1,020	1,095	1,085	1,179
2	60,170	49,480	54,825	1,020	0,870	0,945	1,000	1,087
3	49,480	38,780	44,130	0,870	0,720	0,795	0,907	0,986
4	38,780	28,090	33,435	0,720	0,570	0,645	0,803	0,873
5	28,090	17,390	22,740	0,570	0,420	0,495	0,683	0,742
6	17,390	6,700	12,045	0,420	0,270	0,345	0,532	0,578
7	6,700	3,990	5,345	0,270	0,120	0,195	0,377	0,409
8	3,990	14,690	9,340	0,120	0,030	0,075	0,341	0,371
9	14,690	25,380	20,035	0,030	0,180	0,105	0,449	0,488
10	25,380	36,080	30,730	0,180	0,330	0,255	0,624	0,678
11	51,750	40,260	46,005	0,950	0,750	0,850	0,932	1,013
12	40,260	28,760	34,510	0,750	0,550	0,650	0,811	0,882
13	28,760	17,270	23,015	0,550	0,350	0,450	0,669	0,727
14	17,270	5,780	11,525	0,350	0,150	0,250	0,486	0,528
15	5,780	5,720	5,750	0,150	0,050	0,100	0,325	0,353
16	5,720	7,210	6,465	0,050	0,250	0,150	0,370	0,402
17	7,210	28,710	17,960	0,250	0,450	0,350	0,590	0,641
18	28,710	40,200	34,455	0,450	0,650	0,550	0,778	0,845
19	40,200	51,690	45,945	0,650	0,850	0,750	0,903	0,982
20	51,690	63,190	57,440	0,850	1,050	0,950	1,013	1,101

Tablo B.2 Sistem : 4, 2. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
K1	13,680	29,880	21,780	1,290	1,030	1,160	0,936	0,968
K2	29,880	30,220	30,050	1,030	0,770	0,900	0,952	0,985
K3	30,220	26,960	28,590	0,770	0,510	0,640	0,863	0,893
K4	26,960	20,100	23,530	0,510	0,250	0,380	0,722	0,747
K5	20,100	9,690	14,895	0,250	0,005	0,127	0,490	0,507
K6	9,690	4,410	7,050	0,005	0,260	0,132	0,410	0,424
K7	4,410	22,070	13,240	0,260	0,520	0,390	0,629	0,651
K8	22,070	43,320	32,695	0,520	0,780	0,650	0,896	0,927
K9	43,320	68,180	55,750	0,780	1,040	0,910	1,114	1,152
K10	68,180	96,940	82,560	1,040	1,300	1,170	1,308	1,354
K21	14,330	18,920	16,625	1,060	0,850	0,955	0,833	0,862
K22	18,920	20,630	19,775	0,850	0,640	0,745	0,818	0,846
K23	20,630	19,460	20,045	0,640	0,440	0,540	0,757	0,783
K24	19,460	15,400	17,430	0,440	0,230	0,335	0,649	0,671
K25	15,400	8,480	11,940	0,230	0,020	0,125	0,461	0,477
K26	8,480	1,320	4,900	0,020	0,190	0,105	0,353	0,366
K27	1,320	14,010	7,665	0,190	0,400	0,295	0,512	0,529
K28	14,010	29,580	21,795	0,400	0,610	0,505	0,760	0,786
K29	29,580	48,030	38,805	0,610	0,820	0,715	0,958	0,991
K30	48,030	69,360	58,695	0,820	1,030	0,925	1,133	1,172
S1	55,330	48,430	51,880	1,240	1,080	1,160	1,162	1,203
S2	48,430	41,530	44,980	1,080	0,920	1,000	1,081	1,118
S3	41,530	34,620	38,075	0,920	0,760	0,840	0,992	1,027
S4	34,620	27,720	31,170	0,760	0,600	0,680	0,895	0,926
S5	27,720	20,820	24,270	0,600	0,440	0,520	0,787	0,814
S6	20,820	13,920	17,370	0,440	0,290	0,365	0,662	0,685
S7	13,920	7,020	10,470	0,290	0,130	0,210	0,508	0,526
S8	7,020	0,120	3,570	0,130	0,030	0,080	0,305	0,316
S9	0,120	6,780	3,450	0,030	0,190	0,110	0,328	0,339
S10	6,780	13,680	10,230	0,190	0,350	0,270	0,538	0,557
S11	12,250	9,590	10,920	0,930	0,730	0,830	0,724	0,749
S12	9,590	6,930	8,260	0,730	0,530	0,630	0,630	0,652
S13	6,930	4,280	5,605	0,530	0,330	0,430	0,520	0,538
S14	4,280	1,620	2,950	0,330	0,140	0,235	0,381	0,394
S15	1,620	1,040	1,330	0,140	0,060	0,100	0,252	0,261
S16	1,040	3,700	2,370	0,060	0,260	0,160	0,327	0,339
S17	3,700	6,360	5,030	0,260	0,460	0,360	0,484	0,501
S18	6,360	9,020	7,690	0,460	0,660	0,560	0,601	0,622
S19	9,020	11,670	10,345	0,660	0,860	0,760	0,699	0,723
S20	11,670	14,330	13,000	0,860	1,060	0,960	0,784	0,812

Tablo B.2 nin devamı

1	78,400	67,310	72,855	1,080	0,940	1,010	1,222	1,265
2	67,310	56,210	61,760	0,940	0,800	0,870	1,130	1,169
3	56,210	45,110	50,660	0,800	0,660	0,730	1,029	1,065
4	45,110	34,010	39,560	0,660	0,520	0,590	0,917	0,949
5	34,010	22,910	28,460	0,520	0,380	0,450	0,789	0,817
6	22,910	11,810	17,360	0,380	0,240	0,310	0,636	0,658
7	11,810	0,710	6,260	0,240	0,100	0,170	0,424	0,439
8	0,710	10,390	5,550	0,100	0,040	0,070	0,329	0,341
9	10,390	21,490	15,940	0,040	0,190	0,115	0,486	0,502
10	21,490	32,590	27,040	0,190	0,330	0,260	0,680	0,703
11	64,050	50,710	57,380	0,970	0,770	0,870	1,109	1,148
12	50,710	37,370	44,040	0,770	0,570	0,670	0,973	1,006
13	37,370	24,030	30,700	0,570	0,370	0,470	0,813	0,841
14	24,030	10,690	17,360	0,370	0,170	0,270	0,614	0,635
15	10,690	2,650	6,670	0,170	0,030	0,100	0,377	0,390
16	2,650	16,000	9,325	0,030	0,230	0,130	0,438	0,453
17	16,000	29,340	22,670	0,230	0,430	0,330	0,690	0,714
18	29,340	42,680	36,010	0,430	0,630	0,530	0,872	0,902
19	42,680	56,020	49,350	0,630	0,830	0,730	1,022	1,058
20	56,020	69,360	62,690	0,830	1,030	0,930	1,153	1,193

Tablo B.3 Sistem : 4, 3. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
K1	22,710	26,700	24,705	1,240	0,980	1,110	0,996	0,992
K2	26,700	27,080	26,890	0,980	0,720	0,850	0,952	0,948
K3	27,080	23,860	25,470	0,720	0,460	0,590	0,857	0,853
K4	23,860	17,050	20,455	0,460	0,200	0,330	0,702	0,699
K5	17,050	6,630	11,840	0,200	0,060	0,130	0,485	0,483
K6	6,630	7,390	7,010	0,060	0,330	0,195	0,471	0,469
K7	7,390	25,000	16,195	0,330	0,590	0,460	0,719	0,716
K8	25,000	46,220	35,610	0,590	0,850	0,720	0,979	0,975
K9	46,220	71,040	58,630	0,850	1,110	0,980	1,198	1,193
K10	71,040	99,450	85,245	1,110	1,370	1,240	1,396	1,390
K21	10,560	15,280	12,920	0,980	0,780	0,880	0,799	0,796
K22	15,280	17,110	16,195	0,780	0,570	0,675	0,791	0,788
K23	17,110	16,070	16,590	0,570	0,370	0,470	0,727	0,724
K24	16,070	12,150	14,110	0,370	0,160	0,265	0,605	0,603
K25	12,150	5,350	8,750	0,160	0,050	0,105	0,426	0,424
K26	5,350	4,340	4,845	0,050	0,250	0,150	0,402	0,400
K27	4,340	16,900	10,620	0,250	0,460	0,355	0,607	0,604
K28	16,900	32,340	24,620	0,460	0,660	0,560	0,839	0,835
K29	32,340	50,660	41,500	0,660	0,870	0,765	1,033	1,029
K30	50,660	71,870	61,265	0,870	1,070	0,970	1,209	1,203
S1	54,960	48,080	51,520	1,280	1,110	1,195	1,219	1,214
S2	48,080	41,200	44,640	1,110	0,950	1,030	1,133	1,129
S3	41,200	34,320	37,760	0,950	0,780	0,865	1,041	1,036
S4	34,320	27,440	30,880	0,780	0,620	0,700	0,939	0,935
S5	27,440	20,560	24,000	0,620	0,450	0,535	0,824	0,820
S6	20,560	13,690	17,125	0,450	0,290	0,370	0,691	0,688
S7	13,690	6,810	10,250	0,290	0,120	0,205	0,524	0,522
S8	6,810	0,070	3,440	0,120	0,040	0,080	0,315	0,314
S9	0,070	6,950	3,510	0,040	0,210	0,125	0,354	0,353
S10	6,950	13,830	10,390	0,210	0,370	0,290	0,573	0,571
S11	80,450	69,330	74,890	1,070	0,930	1,000	1,280	1,275
S12	69,330	58,210	63,770	0,930	0,800	0,865	1,186	1,181
S13	58,210	47,090	52,650	0,800	0,660	0,730	1,084	1,079
S14	47,090	35,970	41,530	0,660	0,530	0,595	0,970	0,966
S15	35,970	24,840	30,405	0,530	0,390	0,460	0,842	0,838
S16	24,840	13,720	19,280	0,390	0,260	0,325	0,689	0,686
S17	13,720	2,600	8,160	0,260	0,120	0,190	0,486	0,484
S18	2,600	8,520	5,560	0,120	0,010	0,065	0,337	0,336
S19	8,520	19,640	14,080	0,010	0,150	0,080	0,448	0,447
S20	19,640	30,770	25,205	0,150	0,280	0,215	0,664	0,661

Tablo B.3 ün devamı

1	80,450	69,330	74,890	1,070	0,930	1,000	1,280	1,275
2	69,330	58,210	63,770	0,930	0,800	0,865	1,186	1,181
3	58,210	47,090	52,650	0,800	0,660	0,730	1,084	1,079
4	47,090	35,970	41,530	0,660	0,530	0,595	0,970	0,966
5	35,970	24,840	30,405	0,530	0,390	0,460	0,842	0,838
6	24,840	13,720	19,280	0,390	0,260	0,325	0,689	0,686
7	13,720	2,600	8,160	0,260	0,120	0,190	0,486	0,484
8	2,600	8,520	5,560	0,120	0,010	0,065	0,337	0,336
9	8,520	19,640	14,080	0,010	0,150	0,080	0,448	0,447
10	19,640	30,770	25,205	0,150	0,280	0,215	0,664	0,661
11	68,690	54,630	61,660	1,080	0,870	0,975	1,212	1,207
12	54,630	40,580	47,605	0,870	0,650	0,760	1,068	1,063
13	40,580	26,520	33,550	0,650	0,440	0,545	0,900	0,896
14	26,520	12,470	19,495	0,440	0,220	0,330	0,693	0,690
15	12,470	1,590	7,030	0,220	0,005	0,113	0,411	0,409
16	1,590	15,650	8,620	0,005	0,210	0,108	0,427	0,425
17	15,650	29,700	22,675	0,210	0,430	0,320	0,714	0,711
18	29,700	43,760	36,730	0,430	0,640	0,535	0,916	0,913
19	43,760	57,810	50,785	0,640	0,860	0,750	1,081	1,077
20	57,810	71,870	64,840	0,860	1,070	0,965	1,224	1,219

Tablo B.4 Sistem : 4, 4. Adıma ait eğilme momentleri ve enkesit yükseklikleri

Çubuk No	M _{sol} (kNm)	M _{sağ} (kNm)	M (kNm)	M _{1sol} (kNm)	M _{1sağ} (kNm)	M ₁ (kNm)	h (m)	h _v (m)
K1	19,920	23,950	21,935	1,190	0,930	1,060	0,957	0,957
K2	23,950	24,380	24,165	0,930	0,670	0,800	0,914	0,914
K3	24,380	21,200	22,790	0,670	0,410	0,540	0,817	0,817
K4	21,200	14,430	17,815	0,410	0,150	0,280	0,652	0,652
K5	14,430	4,060	9,245	0,150	0,110	0,130	0,456	0,456
K6	4,060	9,910	6,985	0,110	0,370	0,240	0,496	0,496
K7	9,910	27,480	18,695	0,370	0,630	0,500	0,762	0,762
K8	27,480	48,650	38,065	0,630	0,890	0,760	1,011	1,011
K9	48,650	73,430	61,040	0,890	1,150	1,020	1,225	1,225
K10	73,430	101,800	87,615	1,150	1,410	1,280	1,419	1,419
K21	7,360	12,240	9,800	0,880	0,680	0,780	0,725	0,725
K22	12,240	14,240	13,240	0,680	0,480	0,580	0,726	0,726
K23	14,240	13,360	13,800	0,480	0,280	0,380	0,660	0,660
K24	13,360	9,610	11,485	0,280	0,070	0,175	0,519	0,519
K25	9,610	2,970	6,290	0,070	0,130	0,100	0,388	0,388
K26	2,970	6,550	4,760	0,130	0,330	0,230	0,446	0,446
K27	6,550	18,950	12,750	0,330	0,530	0,430	0,667	0,667
K28	18,950	34,220	26,585	0,530	0,740	0,635	0,884	0,884
K29	34,220	52,380	43,300	0,740	0,940	0,840	1,071	1,071
K30	52,380	73,420	62,900	0,940	1,140	1,040	1,240	1,240
S1	55,930	48,930	52,430	1,370	1,190	1,280	1,248	1,248
S2	48,930	41,940	45,435	1,190	1,010	1,100	1,159	1,159
S3	41,940	34,940	38,440	1,010	0,830	0,920	1,063	1,063
S4	34,940	27,940	31,440	0,830	0,650	0,740	0,957	0,957
S5	27,940	20,940	24,440	0,650	0,470	0,560	0,839	0,839
S6	20,940	13,940	17,440	0,470	0,290	0,380	0,699	0,699
S7	13,940	6,950	10,445	0,290	0,120	0,205	0,527	0,527
S8	6,950	0,050	3,500	0,120	0,060	0,090	0,327	0,327
S9	0,050	7,050	3,550	0,060	0,240	0,150	0,372	0,372
S10	7,050	14,050	10,550	0,240	0,420	0,330	0,596	0,596
S11	5,870	4,550	5,210	0,790	0,600	0,695	0,601	0,601
S12	4,550	3,220	3,885	0,600	0,420	0,510	0,517	0,517
S13	3,220	1,900	2,560	0,420	0,240	0,330	0,418	0,418
S14	1,900	0,580	1,240	0,240	0,060	0,150	0,286	0,286
S15	0,580	0,740	0,660	0,060	0,130	0,095	0,218	0,218
S16	0,740	2,070	1,405	0,130	0,310	0,220	0,325	0,325
S17	2,070	3,390	2,730	0,310	0,490	0,400	0,446	0,446
S18	3,390	4,710	4,050	0,490	0,670	0,580	0,540	0,540
S19	4,710	6,030	5,370	0,670	0,850	0,760	0,620	0,620
S20	6,030	7,360	6,695	0,850	1,040	0,945	0,691	0,691

TabloB.4 ün devamı

1	81,580	70,580	76,080	1,000	0,880	0,940	1,268	1,268
2	70,580	59,570	65,075	0,880	0,760	0,820	1,178	1,178
3	59,570	48,570	54,070	0,760	0,640	0,700	1,081	1,081
4	48,570	37,570	43,070	0,640	0,520	0,580	0,975	0,975
5	37,570	24,570	31,070	0,520	0,400	0,460	0,848	0,848
6	24,570	15,570	20,070	0,400	0,270	0,335	0,702	0,702
7	15,570	4,560	10,065	0,270	0,150	0,210	0,526	0,526
8	4,560	6,440	5,500	0,150	0,030	0,090	0,366	0,366
9	6,440	17,440	11,940	0,030	0,090	0,060	0,401	0,401
10	17,440	28,440	22,940	0,090	0,210	0,150	0,594	0,594
11	73,360	58,680	66,020	1,200	0,970	1,085	1,268	1,268
12	58,680	44,000	51,340	0,970	0,730	0,850	1,121	1,121
13	44,000	29,320	36,660	0,730	0,600	0,665	0,969	0,969
14	29,320	14,650	21,985	0,600	0,260	0,430	0,764	0,764
15	14,650	0,030	7,340	0,260	0,030	0,145	0,443	0,443
16	0,030	14,710	7,370	0,030	0,200	0,115	0,418	0,418
17	14,710	29,390	22,050	0,200	0,440	0,320	0,711	0,711
18	29,390	44,060	36,725	0,440	0,670	0,555	0,926	0,926
19	44,060	58,740	51,400	0,670	0,910	0,790	1,101	1,101
20	58,740	73,420	66,080	0,910	1,140	1,025	1,251	1,251

ÖZGEÇMİŞ

Ali Evren İMRE, 1977 yılında Niğde’de doğmuştur. İlkokulu Tarsus Turgut İçgören okulunda tamamladıktan sonra, Tarsus Abdülkerim Bengi Anadolu Lisesini bitirmiştir.1995 yılında İ.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir.1999 yılında İ.T.Ü İnşaat Mühendisliği Bölümünü bitirdikten sonra aynı yıl İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı Yapı Anabilim Dalı Yapı Analizi ve Boyutlandırma Programına girmeye hak kazanarak yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Teftiş Kurulu Başkanlığında Müfettiş Yardımcısı olarak çalışmaktadır.