

83011

**ÇELİK KAFES KİRİŞLİ SİSTEMLERDE AŞIK + KAFES
KİRİŞ OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş.Müh. Orhan ALBAŞ
(185 Y 030)

83011

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 11 Ocak 1999
Tezin Savunulduğu Tarih : 04 Şubat 1999

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Kaya ÖZGEN

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Özkan İŞLER

: Y.Doç.Dr. Erdal COŞKUN

İ.C. YÜKSEK LİSANS KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ŞUBAT 1999

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, düzlem çelik kafes sistemlerde aşık + kafes kiriş düzeninin optimizasyonu araştırılmıştır. Seçilen çeşitli boyutlardaki sistemler çözülerek ağırlık yönünden karşılaştırılmaları yapılmıştır. Ayrıca seçilen sistemlerin yapım kolaylığı, işçilik ve yapının fonksiyonu, mimarisi dikkate alınarak çalışmadan sonuçlar çıkarılmış, önerilerde bulunulmuştur.

Uygulamada sık kullanılan düzlem çelik kafes sistemlerin hesabında meslektaşların yararlanabileceğine inandığım bu çalışmayı bana önererek, diğer önemli görevlerinin yoğunluğuna rağmen çalışmamı başlangıcından yazımına kadar sürekli izleyen, çalışmam boyunca bana araştırma zevki ve bilimsel düşünce disiplini aşlamak için uğraş veren, tezimin her aşamasında bilgi ve tecrübesinden yararlandığım hocam Prof.Dr. Kaya ÖZGEN'e şükran ve saygılarımı zevkli bir görev sayarım.

Burada, öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Şubat 1999

İnşaat Mühendisi
Orhan ALBAŞ

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vii
NOTASYONLAR	viii
ÖZET	x
SUMMARY	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tarihçe	1
1.2. Çeliğin Yarar ve Sakıncaları	1
1.2.1. Yararları	2
1.2.2. Sakıncaları	2
1.3. Çeliğin Mukavemeti	3
1.4. Çeliğin Emniyet Gerilmesi (σ_{em})	4
1.5. Minimum Kesitler	4
1.6. Amaç ve Kapsam	5
1.7. Çalışmanın Gereği	6
1.8. Seçilen Sistemler	6
1.9. Varsayımlar	7
2. İKİ UCU MAFSALLI ÇUBUKLARDAN OLUŞAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ	9
2.1. Genel	9
2.2. Düzlem Kafes Sistemler	10
2.2.1. Çubuk Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisler	10
2.2.2. Eksen Takımlarının Dönüşümü	11
2.2.3. Doğrultu Kosinüslerinin Çubuk Uç Koordinatının Bulunması	12
2.2.4. Çubuk Dönüşüm Matrisleri	14
2.2.5. Ortak Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisi	14
2.2.6. Yerdeğiştirme – Rijitlik Bağıntıları	14
2.2.7. Yük Vektörü {P}	15
2.2.8. Sistem Rijitlik Matrisi [K]'nin Oluşturulması	16
2.2.9. Matris Deplasman Yönteminde Hesap Sıralaması	16
2.3. Uygulama	17
3. BOYUTLANDIRMA ESASLARI	19
3.1. Elemanda Eksenel Çekme Olması Durumu	19
3.2. Elemanda Eksenel Basınç Olması Durumu	19
3.2.1. Tek Parçalı Basınç Çubukları	20

3.2.2. Çok Parçalı Basınç Çubukları	21
3.3. Elemanda Bileşik Eğilme Olması Durumu	22
4. BOYUTLANDIRMA HESAPLARI	24
4.1. Giriş, Yükler	24
4.1.1. Aşık Yükleri	24
4.1.2. Kafes Kiriş Yükleri	26
4.2. Aşıkların Boyutlandırılması	27
4.2.1. Ara Aşıkların Boyutlandırılması	27
4.2.2. Mahya Aşıklarının Boyutlandırılması	29
4.3. Kafes Kiriş Çubuklarının Boyutlandırılması	33
4.3.1. SİSTEM 1 İçin Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma	36
4.3.2. SİSTEM 2 İçin Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma	41
4.3.3. SİSTEM 3 İçin Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma	46
4.3.4. SİSTEM 4 İçin Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma	51
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	57
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	64

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1	Yapı Çeliğinin Mukavemet Değerleri 4
Tablo 4.1	Aşık Kesitlerinde Gerilme ve Sehimler 28
Tablo 4.2	Eğik Gergi ve Mahya Aşığı Basınç Kuvveti (Z, Z_a) 31
Tablo 4.3	Aşık Kesitlerinin Mukavemet Değerleri 31
Tablo 4.4	Burkulma Katsayıları (ω) 31
Tablo 4.5	$L=14.00$ İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim 32
Tablo 4.6	$L=17.50$ İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim 32
Tablo 4.7	$L=21.00$ İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim 32
Tablo 4.8	$L=24.50$ İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim 33
Tablo 4.9	Makas Aralığı İçin Toplam Aşık Ağırlıkları 33
Tablo 4.10	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 1) 37
Tablo 4.11	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 1) 37
Tablo 4.12	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 1) 38
Tablo 4.13	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 1) 38
Tablo 4.14	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 1) 39
Tablo 4.15	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 1) 39
Tablo 4.16	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 1) 40
Tablo 4.17	Kafes Kiriş Açıklığı $L=14.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 1) 40
Tablo 4.18	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 2) 42
Tablo 4.19	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 2) 42
Tablo 4.20	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 2) 43
Tablo 4.21	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 2) 43
Tablo 4.22	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 2) 44
Tablo 4.23	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 2) 44

Tablo 4.24	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 2)	45
Tablo 4.25	Kafes Kiriş Açıklığı $L=17.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 2)	45
Tablo 4.26	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 3)	47
Tablo 4.27	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 3)	47
Tablo 4.28	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 3)	48
Tablo 4.29	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 3)	48
Tablo 4.30	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 3)	49
Tablo 4.31	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 3)	49
Tablo 4.32	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 3)	50
Tablo 4.33	Kafes Kiriş Açıklığı $L=21.00$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 3)	50
Tablo 4.34	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 4)	52
Tablo 4.35	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 4)	52
Tablo 4.36	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 4)	53
Tablo 4.37	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kesit Hesapları (SİSTEM 4)	53
Tablo 4.38	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=4.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 4)	54
Tablo 4.39	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=5.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 4)	55
Tablo 4.40	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=6.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 4)	55
Tablo 4.41	Kafes Kiriş Açıklığı $L=24.50$ m, Aşık Açıklığı $L_1=7.00$ m İçin Kafes Kiriş Ağırlığı (SİSTEM 4)	56
Tablo 4.42	Kafes Kiriş Çökmeleri	56
Tablo 5.1	Sistem 1 ($L=14.00$ m) için Ağırlıklar	57
Tablo 5.2	Sistem 2 ($L=17.50$ m) için Ağırlıklar	57
Tablo 5.3	Sistem 3 ($L=21.00$ m) için Ağırlıklar	58
Tablo 5.4	Sistem 4 ($L=24.50$ m) için Ağırlıklar	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1	Çeliğin Çekme Etkisi Altındaki Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi (σ/ϵ)	3
Şekil 1.2	Sistem 1 için Kafes Kiriş Modeli	6
Şekil 1.3	Sistem 2 için Kafes Kiriş Modeli	7
Şekil 1.4	Sistem 3 için Kafes Kiriş Modeli	7
Şekil 1.5	Sistem 4 için Kafes Kiriş Modeli	7
Şekil 2.1	İki Ucu Mafsallı Çubuk Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemine Göre Sınıflandırılması	9
Şekil 2.2	Düzlem Kafes Kiriş Çubuğu Eksen Takımı	10
Şekil 2.3	Bir Noktada Eksen Dönüşümü	11
Şekil 2.4	Sistem Rijitlik Matrisi	16
Şekil 2.5	Gözönüne Alınan Sistem Şeması	17
Şekil 3.1	Basınç Çubuklarında Burkulma Boyları (S_k)	20
Şekil 4.1	Aşık Yüklerinin Bileşenleri	25
Şekil 4.2	Düğüm Noktalarına Etkiyen Kuvvetler	27
Şekil 4.3	Ara Aşıkların Statik Sistemi	28
Şekil 4.4	Kafes Kiriş/Aşık/Gergi Düzeni	29
Şekil 4.5	Mahya Aşığı Statik Sistemi	30
Şekil 4.6	Sistem 1 için Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri .	36
Şekil 4.7	Sistem 2 için Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri .	41
Şekil 4.8	Sistem 3 için Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri .	46
Şekil 4.9	Sistem 4 için Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri .	51
Şekil 5.1	Aşık Açıklıklarına Bağlı Olarak Aşık Ağırlığının Değişimi (g_a/g)	59
Şekil 5.2	Kafes Kiriş Açıklıklarına Bağlı Olarak Aşık Ağırlıklarının Değişimi (g_a/g)	59
Şekil 5.3	Aşık Açıklığına Bağlı Olarak Birim Alana Düşen “Kafes Kiriş + Aşık” Ağırlığı (g)	60
Şekil 5.4	Kafes Kiriş Açıklığına Bağlı Olarak Birim Alana Düşen “Kafes Kiriş + Aşık” Ağırlığı (g)	60

NOTASYONLAR

A_r	: Bir kafes kiriş aralığının kafes kiriş açıklığı boyunca yatay düzlemde kapladığı alan
a	: Aşık aralığı
$\{D\}$	: Deplasman vektörü
D_1	: Kafes kirişte diagonal çubuk kuvveti
E	: Elastisite modülü
F	: Çubuk enkesit alanı
F_n	: Net enkesit alanı
f_{em}	: Eğilmeye çalışan kirişlerde izin verilen sehim
f_{max}	: Eğilmeye çalışan kirişlerde oluşan maksimum sehim
G	: Çubuk birim boyunun ağırlığı
g	: Yatay düzlemde birim alana düşen toplam malzeme ağırlığı
h_1	: Kafes kirişte kenar çubuk yüksekliği
h_2	: Kafes kiriş mahya yüksekliği
I	: Çubuk enkesitin atalet momenti
i	: Çubuk enkesitinin atalet yarıçapı
$[K]$	: Sistem rijitlik matrisi
$[k]$	: Çubuk eksen takımına göre rijitlik matrisi
L	: Kafes kiriş açıklığı, çubuk boyu
L_1	: Aşık açıklığı
M	: Moment
N	: Çekme kuvveti
n	: Eleman sayısı
O_i	: Kafes kiriş üst başlığındaki çubuk kuvveti
$\{P\}$	: Yük vektörü
P_k	: Kafes kiriş yatay düzleminde birim alana düşen hesap yükü
Q	: Kafes kiriş düğüm noktası yükleri
q	: Kafes kiriş yatay düzleminde birim alana düşen hesap yükü
S_k	: Çubuk burkulma boyu
$[T]$	: Çubuk dönüşüm matrisi
U_i	: Kafes kirişin alt başlığındaki çubuk kuvveti
V_i	: Kafes kirişin dikey çubuk kuvveti
Z	: Eğik gergiden oluşan maksimum çekme kuvveti
Z_a	: Eğik gergi nedeniyle mahya aşığında oluşan basınç kuvveti
x,y,z	: Çubuk eksen takımı
W	: Çubuk enkesitinin mukavemet momenti, toplam ağırlık
ω	: Basınç çubuklarının burkulma katsayısı

λ : Basınç çubuklarının narinliği
 σ : Gerilme
 σ_{em} : Emniyet gerilmesi
 σ_f : Çeliğin akma dayanımı
 ε : Uzama oranı
 $tg\alpha$: Çatı eğimi

Burada verilmeyen notasyonların anlamları ilgili bölümlerde tanımlanmaktadır.



ÇELİK KAFES KİRİŞLİ SİSTEMLERDE AŞIK + KAFES KİRİŞ OPTİMİZASYONU

ÖZET

Bu çalışmada düzlem kafes kiriş sistemlerin “aşık + kafes kiriş” optimizasyonu araştırılmıştır. Bu amaçla açıklıkları ($L=14.00, 17.50, 21.00, 24.50$ m) değişik 4 tip kafes kiriş alınmıştır. Seçilen bu tipik kafes kirişlerin herbiri farklı aşık açıklıkları ($L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m) için ayrı ayrı incelenmiştir. Sistemlerin tümünde çatı eğimi $\tan\alpha\approx 0,143$, aşık aralıkları $a=175$ cm sabit alınmış ayrıca birleşimin kaynaklı olduğu varsayılmıştır. Sistemlerin en elverişsiz yük (özağırlık + kar yükü) altındaki kesit etkilerine bağlı olarak boyutlandırma hesapları yapılmıştır. Belirlenen bu kesitler esas alınarak sistemler ağırlık yönünden karşılaştırılmıştır.

Bölüm 1’de çelik yapılar ve çeliğin dayanım özellikleri konusunda genel bilgiler verildikten sonra çalışmanın amacı ve incelenecek sistemler kısaca tanıtılmış, yapılan varsayımlar belirtilmiştir.

Bölüm 2’de yapı sistemlerinin statik çözümünde kullanılan Matris-Deplasman Yöntemi ve hesap adımları özet olarak verilmiştir.

Bölüm 3’de kafes kiriş çubuklarının boyutlandırılmasına ilişkin esaslar ve bağıntılar özetlenmiştir.

Bölüm 4’de ise bu çalışmada incelenen sistemlerin hesabı için gerekli yük analizleri yapılarak sistemlerin “özağırlık + kar yükleri” altındaki kesit etkileri bulunduktan sonra aşık ve kafes kiriş çubukları boyutlandırılmış ve herbir sistemin ağırlıkları hesaplanmıştır.

Son bölümde herbir sistemin aşık, kafes kiriş ve bunların toplamının birim alana düşen (sırasıyla $g_a, g_m, g=g_a+g_m$) ağırlıkları bulunduktan sonra yayılı yük ile aşık açıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren tipik eğriler elde edilmiş ve varılan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Buna göre; herbir eğriden sonuçlar çıkarılmış, bu sonuçlar sayısal değerlerle desteklenerek yorumlanmış ve çalışmada elde edilen sonuçlardan yola çıkarak dikkate alınması gereken tüm şartlar göz önüne alınarak bu çalışmadaki sistemler için en uygun çözüm önerilmiştir.

PURLIN – TRUSS OPTIMIZATION IN THE STEEL PLANE TRUSS SYSTEM

SUMMARY

The main purpose of this study is, to compare different types of steel truss-purlin systems to have an economical result. For this purpose, four different type truss systems having the span lengths of 14.00, 17.50, 21.00 and 24.50 meters were taken into account. In the all of these systems, the roof-slope ($\text{tg}\alpha=0.143$) and the distances between the purlins $a=175$ cm, were taken same; All of these systems were analyzed under the self weight and snow loads for four different purlin span lengths. Firstly, the stress and stability control of the members in the systems, have been performed. Then the weights of each systems were calculated. By considering self weight per unit area, the systems compared with the others considered in this study.

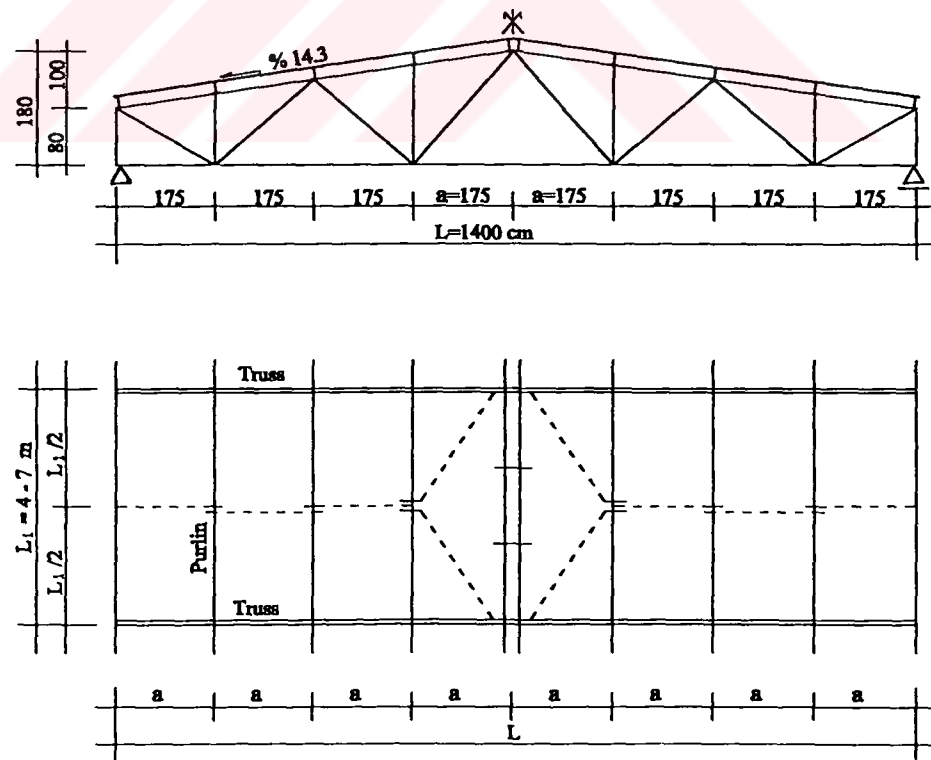


Fig.1.2 Truss model and roof plan for System 1

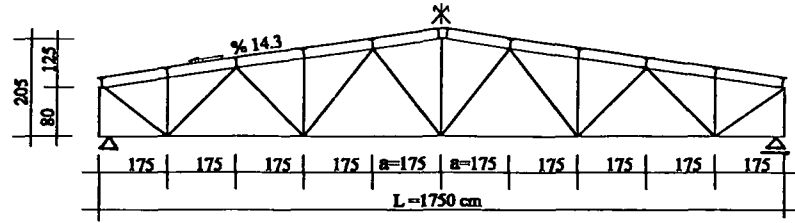


Fig.2 Truss model for System 2

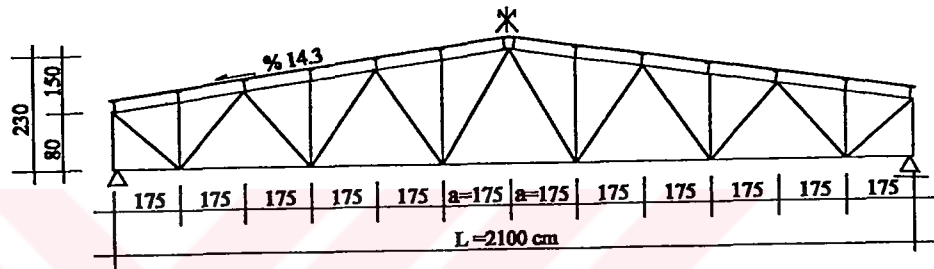


Fig.3 Truss model for System 3

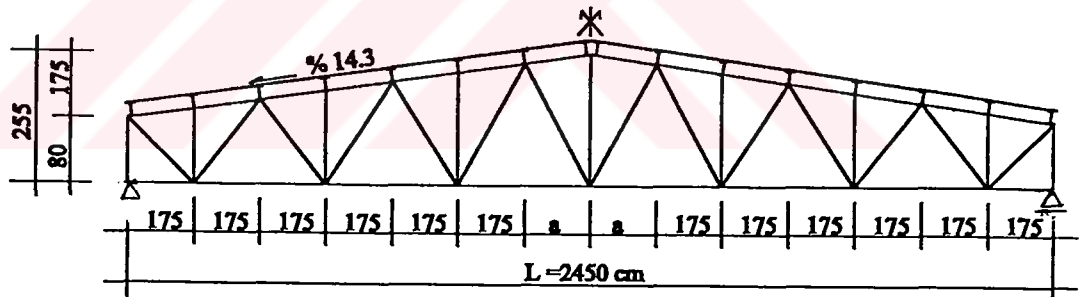


Fig.4 Truss model for System 4

The types of the truss systems considered in this study have been classified into four groups. The geometric properties of these systems are: as follows:

* System 1	$\rightarrow L = 14.00 \text{ m}$,	$h_1 = 80 \text{ cm}$,	$h_2 = 180 \text{ cm}$
* System 2	$\rightarrow L = 17.50 \text{ m}$,	$h_1 = 80 \text{ cm}$,	$h_2 = 205 \text{ cm}$
* System 3	$\rightarrow L = 21.00 \text{ m}$,	$h_1 = 80 \text{ cm}$,	$h_2 = 230 \text{ cm}$
* System 4	$\rightarrow L = 24.50 \text{ m}$,	$h_1 = 80 \text{ cm}$,	$h_2 = 255 \text{ cm}$

L : Span of plane truss system
 h_1 : the first height of truss
 h_2 : the second height of truss

Purlin spans (L_1), were taken from 4.00 m to 7.00 m by increasing 1.00 m. Distances between purlins, (a), are 175 cm. System 1. is demonstrated in the fig.1.

In the first chapter, necessary material properties and general knowledge in the subject of steel structures was given (Tab.1).

Tab.1. Material Properties

Steel Material	Field Limit	Elast. Mod.	Shear Mod.	Warm. Coef.
	σ_f	E	G	α_1
	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(-)
St. 37	2400	2100000	810000	0.000012
St. 52	3600	2100000	810000	0.000012

In the second chapter, matrix-displacement method used in analysis of plane truss systems summarized. For the plane truss members, the element stiffness matrix in the local coordinate system is as given below:

$$[k]_{xyz} = \frac{EF}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 & . \\ . & . & . \\ -1 & 1 & . \\ . & . & . \end{bmatrix}_{xyz}$$

E : Elasticity module
F : Cross sectional area
L : Length of bar

These member stiffness matrices given in the local coordinate system are transformed to the global coordinate system. The general transformation matrix is given as

$$\{P\}_{xyz} = [t] \{P\}_{XYZ}$$

$$[t] = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix}, \quad [t]^T = [t]^{-1}$$

The member transformation matrix of the plane truss system;

$$[T] = \begin{bmatrix} [t_2] & 0 \\ 0 & [t_2] \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

$$[t_2] = \begin{bmatrix} m_y & n_y \\ -\frac{m_y n_y}{Q} & Q \end{bmatrix}, \quad Q = \sqrt{1 - n_y^2}$$

The member stiffness matrix of the plane truss members, in the global coordinate system;

$$[k]_{xyz} = \frac{EF}{L} \begin{bmatrix} m_y^2 & m_y n_y & -m_y^2 & -m_y n_y \\ m_y n_y & n_y^2 & -m_y n_y & -n_y^2 \\ -m_y^2 & -m_y n_y & m_y^2 & m_y n_y \\ -m_y n_y & -n_y^2 & m_y n_y & n_y^2 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)}$$

$\{P\} : [K] \{D\}$

$\{P\} : \text{External nodal force}$

$\{D\} : \text{Displacement vector}$

$\{ \} : \text{System rijidity matrix}$

The deformations are calculated and the member end forces are found as follow:

$$\{P\}_{xyz} = [k]_{xyz} \{D\}$$

$$\{P\}_{xyz} = [T] \{P\}_{xyz}$$

In the third chapter, the basic principles and equations to determine the section of members in the steel structure systems have been given.

In the fourth chapter, firstly the analysis of loads acting on the systems have been made. These loads are:

- Dead loads this group of loading consists of the self weight of roof claddings, purlins, truss systems, wind bracing etc.
- Snow load
- Wind or earthquake load

Then for every increasing of purlin spans, purlin sections have been chosen and necessary stress, stability and displacement controls have been made. And the weights of purlins in each systems have been calculated.

After truss system were solved by matrix-displacement method under dead loads + snow loads, the bar forces have been found. Member of the truss systems considered herein have been designed according to desing rules, briefly given above. And the weights of truss systems have been calculated.

In the last part of this study, design results obtained for the truss and purlin system combinations considered herein have been summarized and compared with each other to identify the most economical structural system, considering the self weight of the structure per unit plane area as the economy index.

Found results have been explained and the best solution suggested in every kind of conditions.

1. GİRİŞ

1.1. Tarihçe

Günümüzde, içerisinde kolon bulunmayan büyük açıklıklı tek katlı binalara ve büyük şehirlerin belirli merkezlerindeki yoğun insan kitlesini barındıracak çok katlı binalara olan gereksinim bu tür binaların taşıyıcı iskeletlerinde yüksek dayanımlı bir malzeme kullanılmasını gerektirmektedir.

Demir ve çeliğin yapılarda kullanılmaya başlanması tarihi oldukça yeni sayılır. Taşıyıcı sistem olarak çelik malzeme önce köprülerde uygulanmıştır. İçinde bulunduğumuz yüzyılın başından itibaren yüksek dayanımlı çeliklerin üretilmesi ile birlikte çelik yapıların uygulama alanı artmaya başlamıştır [1,2].

Çeliğin taşıyıcı sistem malzemesi olarak binalarda kullanılması köprülere oranla daha sonra başlar. Malzeme, kaynak ve diğer birleşim elemanlarının üretim kalitesindeki gelişmelere paralel olarak hafif çelik yapılar, borulu inşaat, uzay sistemler gibi gelişmiş yeni sistemler ortaya çıkmıştır [3]. Az katlı çelik binalar daha çok sanayi bölgelerinde, spor salonları, fuar merkezleri, büyük mağazalar gibi sosyal, ticari, kültürel v.b aktiviteler için gerekli olan geniş alanların oluşturulmasında, çok katlı nispeten küçük açıklıklı çelik karkas binalar ise iş merkezleri ile yerleşme bölgelerinde yaygın olarak kullanılırlar.

1.2. Çeliğin Yarar ve Sakıncaları

Çelik, ideal anlamda tam değilse de oldukça homojen, izotrop, yüksek dayanımlı bir malzemedir. Çeliğin özellikle büyük açıklıklı ve ağır yükleri taşıması gereken yapılarda veya dinamik etkiler altında bulunan yapılarda elverişli bir kullanım olanağı sağlaması gibi olumlu yönlerinin yanında korozyon ve yangına karşı dayanımının düşük olması gibi olumsuz yönleri de bulunmaktadır. Bu nedenle

yapı çeliğinin uygun bir şekilde kullanılması bakımından bu olumlu ve olumsuz yönlerinin bilinmesinde yarar vardır [1].

1.2.1. Yararları

- Yapı çeliğinin pratik olarak homojen ve izotrop oluşu, boyutlandırma hesaplarında gerekli güvenlik katsayısı değerinin diğer malzemelere oranla oldukça küçük alınabilmesi olanağını sağlar, bu malzemedan ekonomi demektir.
- Dayanımının yüksek olması nedeniyle sistemin taşıyacağı toplam yük içinde çeliğin kendi ağırlığının payı az olur. Bu bakımdan çok büyük açıklıkların geçilebilmesinde çelik en elverişli malzeme niteliğine sahiptir.
- Yapının toplam ağırlığı içindeki payı az olduğundan temellere etkiyen yükler de betonarme yapıya oranla çok daha azdır. Temel zemini sağlam olmayan yerlerde bu özellik büyük önem taşır ve çözüm olanağı sağlar.
- Yapının net hacim ya da alanlarından maksimum derecede yararlanmanın önemli olduğu durumlarda, çelik yapı elemanlarının kesitleri küçük olması nedeniyle önemli kazanımlar elde edilir.
- Yapı yüksekliklerin üstten sınırlı olduğu durumlarda olumlu çözümler getirme olanağı sağlar.

Bütün bunların yanında imalatlarının büyük bir kısmının atelyelerde yapılarak kısa sürede monte edilebilmesi, her mevsimde yapılabilmesi, ihtiyaca göre takviye veya değişiklik yapma olanağı, söküldüğünde hurda niteliğinde de olsa bir değer taşıması gibi özellikler çeliği, betonarme v.b yapı malzemelerine oranla daha avantajlı duruma getirmektedir.

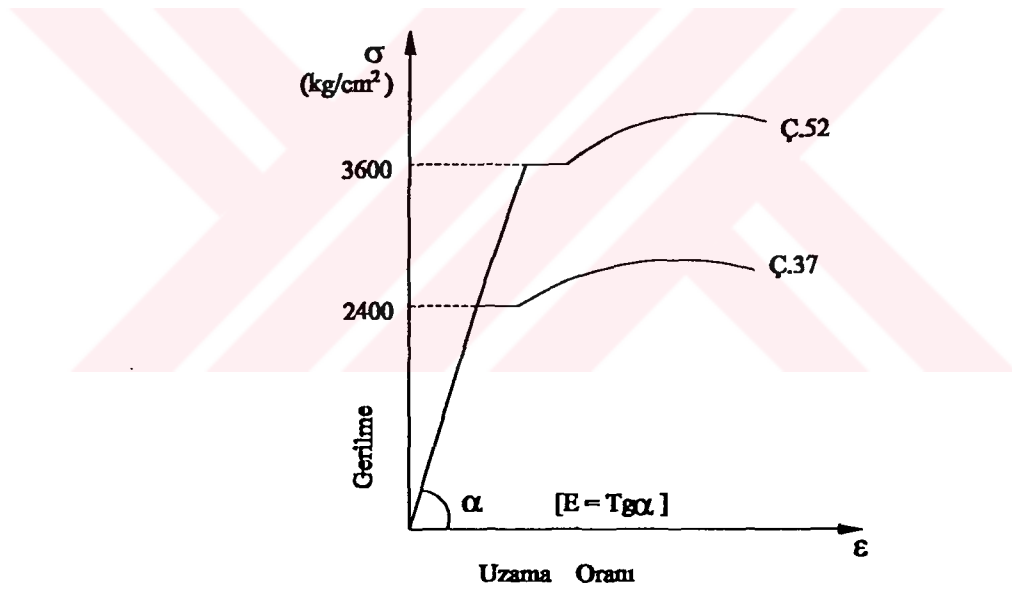
1.2.2. Sakıncaları

- Çelik taşıyıcı sistemlerin sakıncalarından en önemlisi yangında yıkılmaya karşı mukavemetinin düşük oluşudur. Bilindiği gibi yüksek ısı derecelerinde çelik mukavemetini kaybeder (600°C de $\sigma_f=0$). Bu nedenle ısı derecesinin yüksek olduğu durumlarda çelik yapıyı korumak için tedbirler düşünmek zorunludur.

- Diğer bir sakıncalı yönü ise korozyon tehlikesidir. Bu nedenle boya, kaplama v.b. malzemelerle koruyucu önlemler almak gerekir.
- Çok hassas bir malzeme olması nedeniyle projelendirmenin ve uygulamanın da özenle yapılmasını gerektirir.

1.3.Çeliğin Mukavemeti

Çelik emniyet gerilmeleri (σ_{em})'nin belirlenmesinde birinci derecede kırılma mukavemetinin önemi vardır. Bu mukavemet bir çelik çubuğun çekme-koparma deneyi ile belirlenir, çelikteki karbon oranı arttıkça bunun değeri de yükselir.



Şekil 1.1 Çeliğin Çekme Etkisi Altındaki Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi (σ/ϵ)

Binalarda normal olarak Ç.37 (st.37) kullanılır. Buna Normal Yapı Çeliği denmektedir. Mukavemeti daha yüksek olan Ç.52 (st.52) çeliği özel durumlarda kullanılır ve Ç.37'ye oranla daha pahalıdır. Buna da Yüksek Mukavemetli Çelik denir. Her ikisinde de gerilme/uzama (σ/ϵ) eğrileri şekil olarak aynı fakat Ç.52'de akma sınırı diğerinin 1.5 katı kadardır (Şekil 1.1). Tablo 1.1'de her iki çeliğin özellikleri verilmektedir [1,4].

Tablo 1.1 Yapı Çeliğinin Mukavemet Değerleri

Çelik Türü	Akma Sınırı	Elastisite Möd.	Kayma Möd.	Isı Katsayısı
	σ_f	E	G	α
	kg/cm ²	kg/cm ²	kg/cm ²	-
Normal Y.Ç Ç.37	2400	2.100.000	810.000	0.000012
Y.Mukav.Ç. Ç.52	3600	2.100.000	810.000	0.000012

1.4. Çeliğin Emniyet Gerilmesi (σ_{em})

Bilindiği gibi çeliğin emniyet gerilmesi akma sınırındaki gerilme (σ_f) değerinin emniyet katsayısı adı verilen (μ) gibi birden büyük bir katsayıya bölünmesiyle ($\sigma_{em} = \sigma_f / \mu$) bulunur. Şartnamede Normal Yapı Çeliği Ç.37 (st.37) için emniyet gerilmeleri

$$\text{EY durumu 1} \rightarrow \sigma_{em} = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{EİY durumu 2} \rightarrow \sigma_{em} = 1656 \text{ kg/cm}^2$$

verilmektedir. Burada adı geçen yük durumları şartnameye göre:

- Esas Yükler (I): Sabit yükler, hareketli ve ilave yükler (kar dahil, rüzgar hariç), makinaların serbest kitle kuvvetleri.
- Tali Yükler (II): Rüzgar yükü, fren kuvvetleri, yatay yanal kuvvetler (krenlerde ısı etkisi)

şeklindedir. Kısaca:

- Yük durumu 1 : Esas yüklerin toplamı.
- Yük durumu 2 : Esas ve tali yüklerin toplamı.

şeklinde tanımlanabilir. Boyutlama problemlerinin çözümünde daima en büyük enkesiti veren yük durumu gözönünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak hangi yükleme durumu büyük enkesit veriyorsa boyut seçimi ona göre yapılmalıdır. Hesaplarda yaklaşım derecesi $\pm \%1$ hata payına izin verilmektedir [1,5,6].

1.5. Minimum Kesitler

Esas taşıyıcı kısımlarda kullanılan kesitlerin en küçük kalınlığı en az 4 mm, genişlikleri ise gerekli birleşimi yapmaya elverişli olmalıdır. Kafes gövdeli

sistemlerde bazı çubuk kuvvetleri çok az veya sıfır çıkabilir. Böyle de olsa profilin seçileceği minimum boyut alttan sınırlandırılmıştır. Birleşim elemanının türüne göre minimum boyutlar;

a) Birleşim elemanı perçin ise en az ($\perp$ 45.45.5) veya çeşit kenar köşebent için perçin uzun kol üzerinde olmak koşuluyla ($\perp$ 30.60.5).

b) Birleşim elemanı kaynaksa en az ($\perp$ 40.40.4) veya daha iyisi ($\perp$ 45.45.5)

şeklinde verilmektedir. Alt başlık çubuklarının ortalarına geçici de olsa (80-100 kg)'lık bir insan yükü gelebilir. Normal olarak hesaba katılmayan böyle bir yükten oluşan gerilmenin değeri, çubuk kuvveti az diye küçük seçilmiş kesitlerde, akma sınırını aşabilir. Çubuk enkesitlerinin alttan sınırlandırılmasının nedenlerinden biri de budur[1].

1.6. Amaç ve Kapsam

Bir taşıyıcı sistemin amacı bilindiği gibi, tasarlanmış olan mekanı sınırlayan düzlemlerdeki yüklerin ve dış etkenlerin oluşturacağı düşey ve yatay etkileri güvenilir bir şekilde temellere aktarmaktır. Bu durum sağlanırken esas ilke olarak ekonomik ve estetik koşulların gözönüne alınması gerekir. Bir çok avantajı nedeniyle uygulamada çelik konstrüksiyonlardan yaygın olarak yararlanılmaktadır. Bilindiği gibi çelik yapı konstrüksiyonu olarak uzay kafes, düzlem kafes, dolu gövdeli çerçeve sistem v.b. gibi çok sayıda modeller bulunmaktadır [3]. Bunlardan düzlem kafes ve dolu gövdeli çerçeve sistemler yapım, kaldırma, taşıma ve montaj kolaylığı bakımından oldukça sık uygulanırlar.

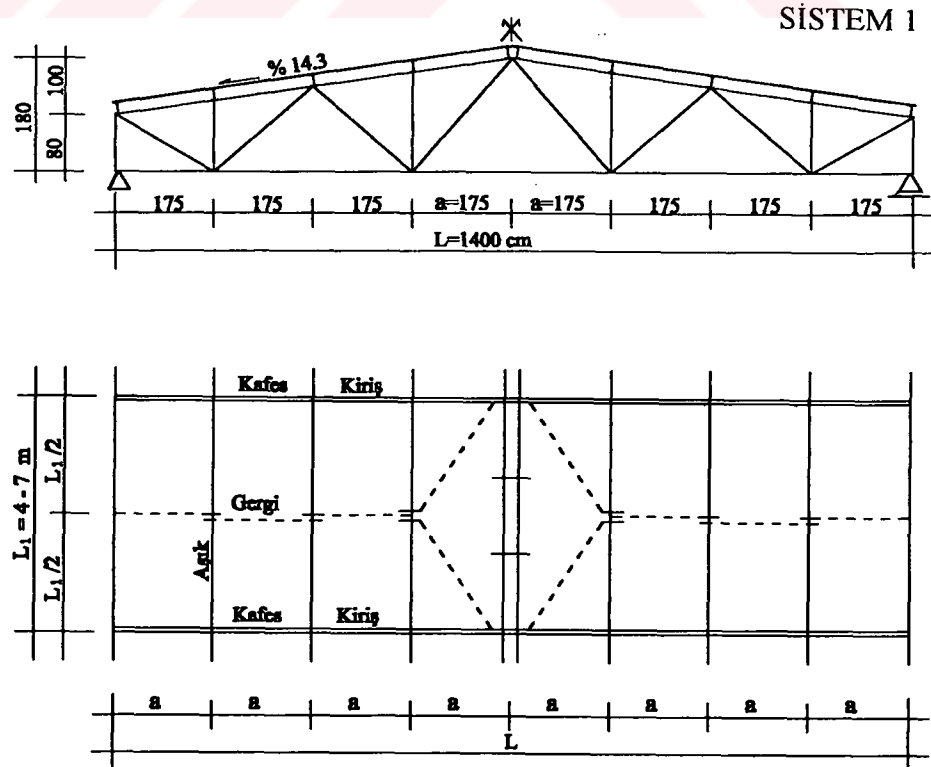
Bu çalışmanın amacı, uygulamada çok kullanılan “kafes kiriş + aşık” düzeninde optimum çözümü veren açıklıkları araştırmak, bulunan sonuçların ekonomik yönden değerlendirilmesini yapmaktır. Bu amaçla değişik açıklıkta 4 tip kafes kiriş alınarak bunların herbiri 4 değişik aşık açıklığı için ayrı ayrı incelenmiştir. Önce sistemlere etkiyen yükler belirlendikten sonra statik çözüm yapılarak kesit etkileri bulunmuş, buradan da boyutlandırma hesapları yapılarak aşık ve kafes kiriş çubuklarının kesitleri belirlenmiştir. Bulunan kesitlere göre her bir sistemin ağırlığı hesaplandıktan sonra varılan sonuçlar son bölümde değerlendirilmiştir.

1.7. Çalışmanın Gereği

Uygulamada yaygın olarak kullanılan çelik kafes kiriş sistemlerde aşık ve kafes kiriş arasında uygun düzenin sağlanmasına ilişkin bilgi vermesi, kesitlerin ekonomik boyutlarda seçilmesiyle optimum çözüme götüren sistemler ortaya koyulması bakımından bu çalışmanın faydalı olacağı düşünülmüştür. Çelik yapılarda projelendirme oldukça yorucu çalışmalar gerektirir. Bu nedenle her bir yapı için çok çeşitli çözümler içinden uygununu seçmek yerine çoğu kez birkaç alternatif ile yetinilir, bu ise çoğu zaman ekonomik olmayan sistemlere götürebilir. Bu çalışmanın, projelendirmeyi yapan mühendislerin uygun çözüme kısa zamanda ulaşmasını sağlamak bakımından da yararlı olacağı düşünülmüştür.

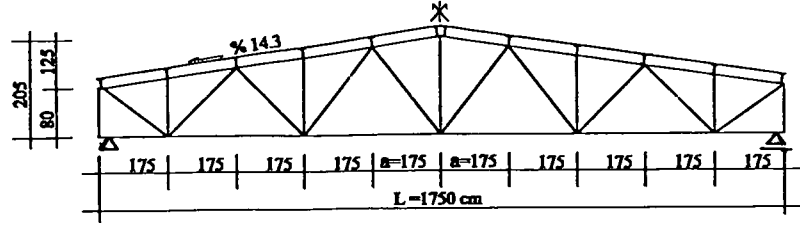
1.8. Seçilen Sistemler

Bu çalışmada açıklıkları ($L=14.00, 17.50, 21.00$ ve 24.50 m) şeklinde değişik 4 tip kafes kiriş alınmıştır. Her bir kafes kiriş, açıklığı ($L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m) şeklinde değişen 4 tip aşık için ayrı ayrı incelenecektir. Sistemlerin tümünde çatı eğimi $\tan \alpha = 0,143$, aşık aralığı $a=175$ cm ve kenar çubuk yüksekliği $h_1=80$ cm alınmıştır. Sistem modelleri Şekil 1.2-1.5 de verilmektedir.



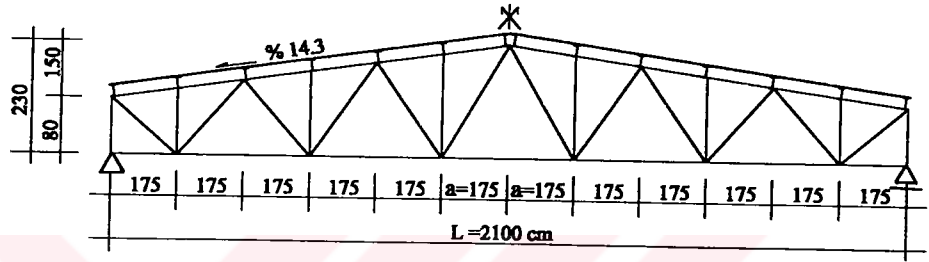
Şekil 1.2 Sistem 1 için Kafes Kiriş Modeli ve Çatı Planı

SİSTEM 2



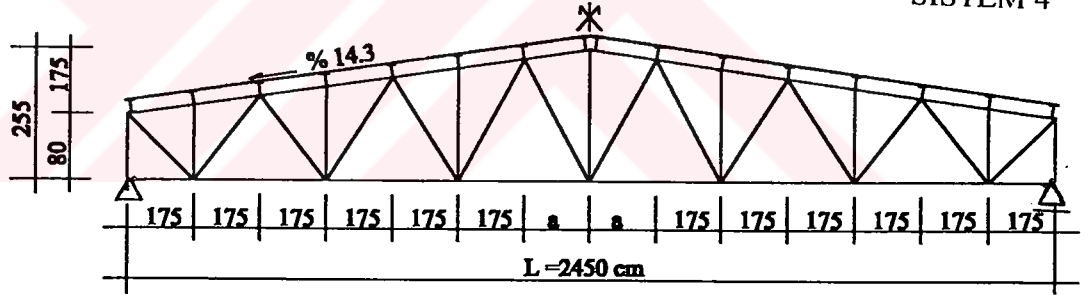
Şekil 1.3 Sistem 2 için Kafes Kiriş Modeli

SİSTEM 3



Şekil 1.4 Sistem 3 için Kafes Kiriş Modeli

SİSTEM 4



Şekil 1.5 Sistem 4 için Kafes Kiriş Modeli

1.9. Varsayımlar

Bu çalışmada incelenen dört tip çelik “kafes kiriş + aşık” sistemlerin tümünde,

- Aşıkların kafes kirişe üst başlık düğüm noktalarından mesnetlendiği,
- Kafes kirişin betonarme ya da çelik kolonlara mafsallı olarak bağlandığı,
- Aşıklardaki ve kafes kiriş çubuklarındaki birleşimlerin elemanlarının kaynaklı olduğu,

- Çatı eğiminin ($\tan\alpha=0,142$) ve aşık aralığının ($a=175$ cm) ve sabit olduğu,
- Sisteme dinamik yük etkilediği, yatay düzlemde örtü yükünün $g_1=25$ kg/m², aşık yükünün $g_2=10$ kg/m², kafes kiriş ağırlığının $g_3=15$ kg/m² ve sabit olduğu,

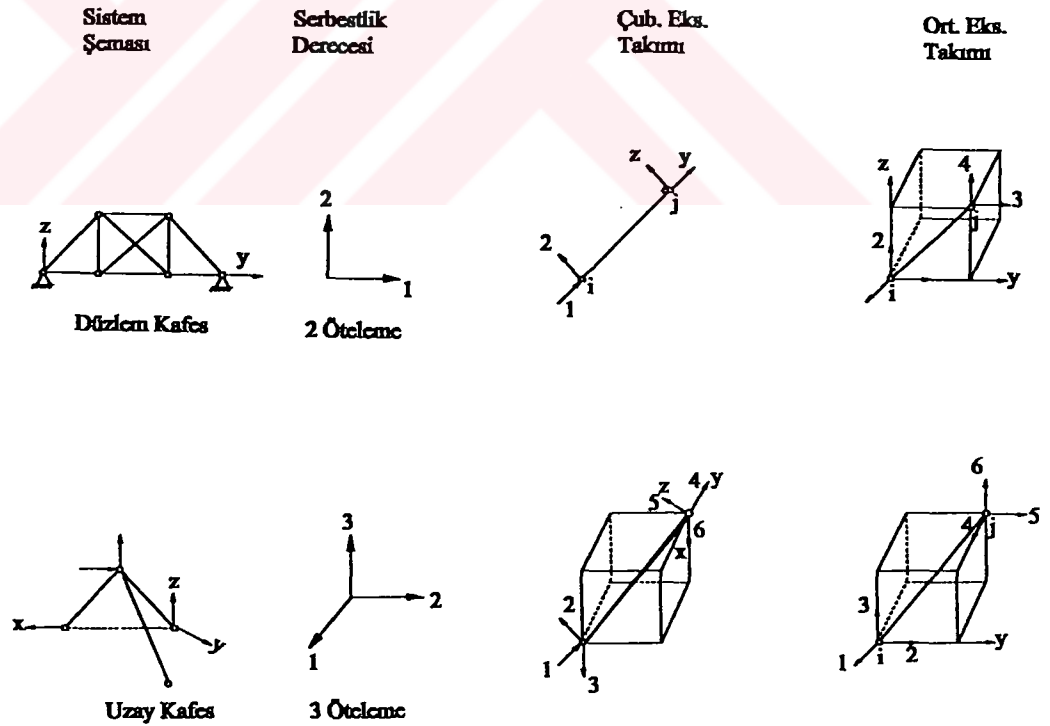
varsayılacaktır. Sistemler 1 ara kafes kiriş için incelenecek, bu nedenle rüzgar ve düşey stabilite bağlantıları gibi yapının tümünü ilgilendiren elemanların sistemin ağırlığına olan katkısı ihmal edilecektir. Bunun yanında birleşim elemanlarının hesabı da yapılmayacak ve ağırlıkları, inceleme konusu olan bu karşılaştırmalarda dikkate alınmayacaktır. Özetle sözü edilen karşılaştırmalar her bir “kafes kiriş + aşık” sisteminin kendi ağırlığı için yapılacaktır.



2. İKİ UCU MAFSALLI ÇUBUKLARDAN OLUŞAN TAŞIYICI SİSTEMLERİN MATRİS-DEPLASMAN YÖNTEMİ İLE ÇÖZÜMÜ

2.1. Genel

İki ucu mafsallı çubuklardan oluşan taşıyıcı sistemler düğüm noktalarındaki serbestlik derecesi sayısı ve uzayda işgal ettikleri geometrik konum bakımından uzay ve düzlem kafes sistemler şeklinde iki gruba ayrılmaktadır (Şekil 2.1). Burada düzlem kafes kirişlerinin çözümünde kullanılan matris-deplasman bağıntıları ve hesap adımları verilecektir.



Şekil 2.1 İki Ucu Mafsallı Çubuk Sistemlerin Matris-Deplasman Yöntemine Göre Sınıflandırılması

2.2. Düzlem Kafes Sistemler

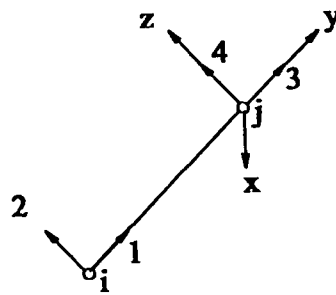
Taşıyıcı sistemin YZ düzleminde bulunduğu ve kuvvetlerin bu düzlem içinde etkidiği kabul edilen kafes sistemlerde bütün çubuklar birbirlerine mafsallı olarak bağlıdır. Her düğüm noktasında biri yatay diğeri düşey yerdeğiştirme olmak üzere iki serbestlik derecesi vardır. Sistemin dış yükleri hem düğüm noktalarına hem de çubuk üzerine etkiyebilir. Üzerinde yük bulunmayan çubuklarda yalnız aksenal kuvvet, üzerinde yük bulunan çubuklarda ise aksenal kuvvete ek olarak eğilme momentleri oluşur. Çubukların rijitlik matrisleri (4x4) boyutundadır [7,8].

2.2.1. Çubuk Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisleri

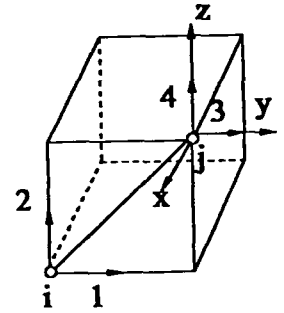
Bir düzlem kafes kiriş sistemde çubukların eksen takımına göre oluşturulan eleman rijitlik matrisi [k];

$$[k]_{xyz} = \frac{EF}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 & . & . \\ . & . & . & . \\ -1 & . & 1 & . \\ . & . & . & . \end{bmatrix}_{xyz} \quad (2.1)$$

şeklindedir. Burada, E; F ve L sırasıyla x malzemesinin elastisite modülünü, enkesit alanı ve boyunu göstermektedir.



Çubuk Eksenleri

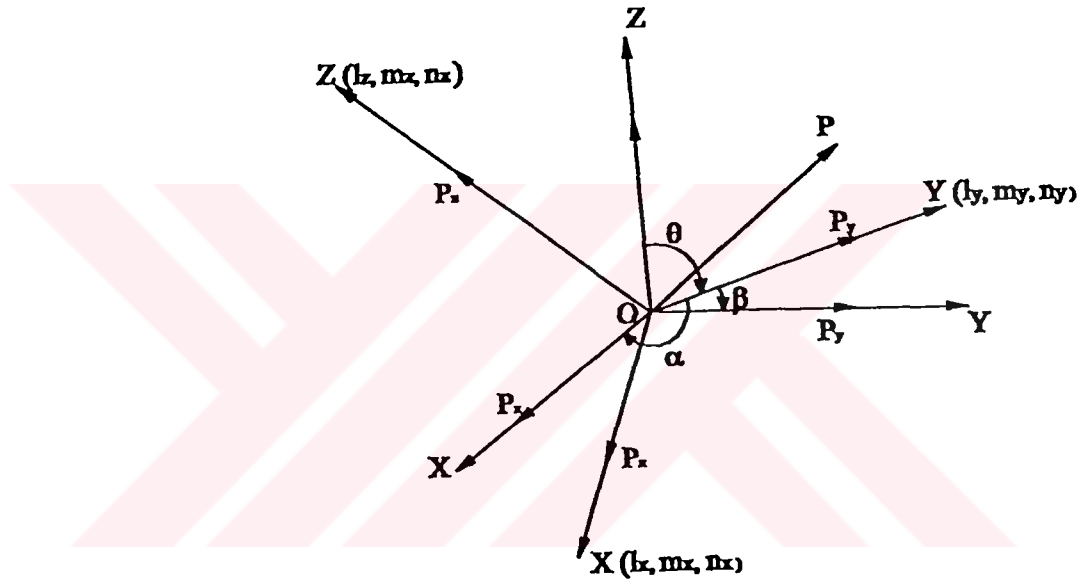


Ortak Eksenler

Şekil 2.2 Düzlem Kafes Kiriş Çubuğun Eksen Takımı

2.2.2. Eksen Takımlarının Dönüşümü

Bir O noktasından geçen ortak XYZ – eksenleri doğrultusunda P_x, P_y, P_z gibi üç ayrı bileşeni bulunan bir $\vec{p}$ kuvveti, aynı noktadan geçen diğer bir xyz eksen takımının doğrultusunda P_x, P_y, P_z gibi statikçe eşdeğer bileşenlere ayrılmaktadır. X, Y ve Z eksenlerinin diğer x, y ve z eksenleri ile yaptığı açılar Şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Bir Noktada Eksen Dönüşümü

$\vec{p}$ vektörünün her iki eksen takımındaki bileşenleri arasında matris şeklinde gösterilen,

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

bir bağıntı bulunmaktadır. Bu bağıntıdaki (l_x, m_x, n_x) , (l_y, m_y, n_y) ve (l_z, m_z, n_z) xyz eksenlerinin diğer XYZ eksenleri ile yaptıkları açılarının doğrultu kosinüsleridir. Bu doğrultu kosinüslerinin oluşturduğu kare matris $[t]$ ile gösterilirse (2.2) bağıntısı

$$\{P\}_{xyz} = [t] \{P\}_{XYZ} \quad (2.3)$$

şeklini alır. Buna ortogonal dönüşüm denklemi de denir. Bu denklem harfler ve indislerden bağımsız olarak,

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Aranan} \\ \text{bileşenler} \\ \text{vektörü} \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{l} \text{Aranan bileşen doğrultularının} \\ \text{bilinen eksen takimine göre} \\ \text{doğrultu kosinüsleri matrisi} \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} \text{Bilinen} \\ \text{bileşenler} \\ \text{vektörü} \end{array} \right\} \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilebilir. P_{xyz} bileşenleri biliniyorsa (2.3) bağıntısından diğer P_{XYZ} bileşenleri,

$$\left\{ \begin{array}{l} P_x \\ P_y \\ P_z \end{array} \right\} = \left[\begin{array}{ccc} l_x & l_y & l_z \\ m_x & m_y & m_z \\ n_x & n_y & n_z \end{array} \right] \left\{ \begin{array}{l} P_x \\ P_y \\ P_z \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

şeklinde bulunur. Bu dönüşüm matrisinin (2.2)'deki tersi olduğu gözönüne alınır,

$$\{P\}_{XYZ} = [t]^T \{P\}_{xyz} \quad (2.6)$$

ve (2.4) bağıntısının her iki tarafı $[t]^{-1}$ ile çarpılırsa,

$$\{P\}_{XYZ} = [t] \{P\}_{xyz} \quad (2.7)$$

(2.7) bağıntısı bulunur. Bu (2.7) ve (2.8)'in karşılaştırılmasından $[t]^T = [t]^{-1}$ olduğu görülür.

2.2.3. Doğrultu Kosinüslerinin Çubuk Uç Koordinatlarından Bulunması

Matris-Deplasman Yöntemi ile analiz yaparken genellikle XYZ-eksenleri sabit ortak eksenler olarak alınır ve her çubuk için farklı doğrultularda olabilecek xyz eksenlerinin doğrultu kosinüsleri bulunur. Doğrultu kosinüsleri, çubuk uç koordinatları kullanılarak hesaplanır.

1. Adım : Çubuğun l_y , m_y ve n_y doğrultu kosinüsleri, çubuğun i ve j uçlarının koordinatlarından

$$l_y = \frac{X_j - X_i}{L}, \quad m_y = \frac{Y_j - Y_i}{L}, \quad n_y = \frac{Z_j - Z_i}{L} \quad (2.8)$$

bulunur. Diğer x ve z eksenlerinin doğrultu kosinüslerini bulmak için 2. ve 3. adımdaki eksen dönüşümlerini yapmak gerekir.

2. Adım : Çubuk eksenlerine göre verilen bir kuvvet vektörünün bileşenleri önce özel çubuk eksenlerine, daha sonra ortak eksenlere dönüştürülür.

$$P_{xyz} = [t_1] P_{x_0 y_0 z_0} \quad (2.9)$$

(2.9) bağıntısı; kuvvet vektörü $\vec{p}$ 'nin çubuk eksenlerindeki bileşenleri ile özel çubuk eksenlerindeki bileşenleri arasında bulunan ilişkiyi göstermektedir. $[t_1]$ matrisi, çubuk eksenlerinin özel çubuk eksenlerine göre doğrultu kosinüsleri matrisidir ve

$$[t_1] = \begin{bmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

şeklinde bulunur. Buradaki β açısı, çubuğun i ucundan j ucuna doğru bakarken, z_0 özel ekseninin pozitif yönünden itibaren z ekseninin pozitif yönüne doğru saat akrebi yönünde enkesit düzlemi içinde ölçülen açıdır. Bu açı, çubuğun asal eksenlerinin enkesit düzlemi içindeki konumunu karakterize eder. Çubuk eksenini özel eksenlerle çakışıyorsa $\beta=0$ olup dönüşüme gerek kalmaz. Bu durumda $[t_1]$ matrisi birim matristir.

3. Adım : Özel çubuk eksenlerindeki bileşenler son olarak ortak eksenlere dönüştürülür. Özel eksenlerin ortak eksenlere göre doğrultu kosinüslerini içeren $[t_2]$ matrisi

$$Q = \sqrt{1 - n_y^2} \quad (2.11)$$

$$[t_2] = \begin{bmatrix} l_x & m_x & n_x \\ l_y & m_y & n_y \\ l_z & m_z & n_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{m_y}{Q} & \frac{-1}{Q}y & 0 \\ l_y & m_y & n_y \\ \frac{l_y \cdot n_y}{Q} & \frac{-m_y \cdot n_y}{Q} & Q \end{bmatrix}_{\beta=0} \quad (2.12)$$

şeklinde bulunur.

2.2.4. Çubuk Dönüşüm Matrisleri

Bir düğüm noktasında, iki ötelenmeden oluşan iki serbestlik derecesi olması nedeniyle, bir düzlem kafes kiriş çubuğun dönüşüm matrisi [T];

$$[t] = \begin{bmatrix} m_y & n_y \\ -n_y & m_y \end{bmatrix}, \quad [T] = \begin{bmatrix} [t] & 0 \\ 0 & [t] \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

şeklindedir.

2.2.5. Ortak Eksen Takımına Göre Rijitlik Matrisleri

$[k]_{xyz} = [T]^T \cdot [k]_{xyz} \cdot [T]$ dönüşüm bağıntısı yardımıyla düzlem kafes kiriş çubuğuna ilişkin rijitlik matrisleri çubuk eksen takımlarından ortak eksenlere dönüştürülür. Böylece her bir kafes kiriş çubuğu için ortak eksen takımına göre

$$[k]_{xyz} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} m_y^2 & m_y n_y & -m_y^2 & -m_y n_y \\ m_y n_y & n_y^2 & -m_y n_y & -n_y^2 \\ -m_y^2 & -m_y n_y & m_y^2 & m_y n_y \\ -m_y n_y & -n_y^2 & m_y n_y & n_y^2 \end{bmatrix}_{(4 \times 4)} \quad (2.14)$$

matrisi oluşturulur.

2.2.6. Yerdeğiştirme-Rijitlik Bağıntıları

Taşıyıcı bir sistemin düğüm noktalarının deplasmanı (D) ile bu deplasmanlar doğrultusundaki dış kuvvet (P)'ler arasında bilinmeyen sayısı (n) kadar

$$\begin{aligned}
P_1 &= K_{11} D_1 + K_{12} D_2 + \dots + K_{1j} D_j + \dots + K_{1n} D_n \\
P_2 &= K_{21} D_1 + K_{22} D_2 + \dots + K_{2j} D_j + \dots + K_{2n} D_n \\
&\vdots \\
P_i &= K_{i1} D_1 + K_{i2} D_2 + \dots + K_{ij} D_j + \dots + K_{in} D_n \\
&\vdots \\
P_n &= K_{n1} D_1 + K_{n2} D_2 + \dots + K_{nj} D_j + \dots + K_{nn} D_n
\end{aligned}$$

bağıntı kurulabilir. Bu bağıntı matris notasyonu ile

$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_i \\ \vdots \\ P_n \end{Bmatrix}_{(nx1)} = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1j} & \dots & K_{1n} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2j} & \dots & K_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{i1} & K_{i2} & \dots & K_{ij} & \dots & K_{in} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ K_{n1} & K_{n2} & \dots & K_{nj} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}_{(n \times n)} \begin{Bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_i \\ \vdots \\ D_j \end{Bmatrix}_{(nx1)} \quad (2.16)$$

$$\{P\} = [K] \{D\} \quad (2.17)$$

şeklini alır. Burada,

$\{P\}$: Düğüm noktalarındaki dış yük vektörü,

$\{D\}$: Düğüm noktalarındaki deplasman vektörü,

$[K]$: Sistem rijitlik matrisini

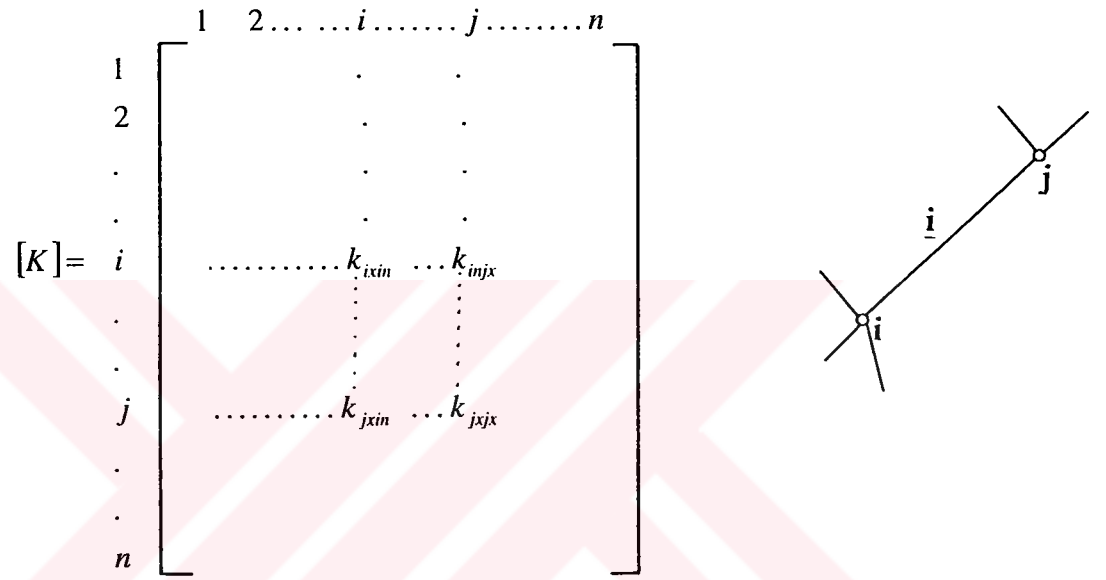
göstermektedir.

2.2.7. Yük Vektörü $\{P\}$

Taşıyıcı sistemin düğüm noktalarına etkiyen yükler doğrudan dış yükler, çubukların eksenleri boyunca etkiyen yükler de dolaylı yükler olarak sınıflandırılabilir. Çubuklar üzerine etkiyen tekil veya yayılı yükler çubuk uçlarına indirgenerek düğüm noktalarına gelen eşdeğer yükler hesaplanır.

2.2.8. Sistem Rijitlik Matrisi [K]'nin Oluşturulması

[K]; sistem matrisini oluşturmak için herbiri bir düğüm noktasına ait olmak üzere n tane satır ve n tane de kolon ayrılır (n: düğüm noktaları sayısı). Her satır ve kolon kendisine ait olan düğüm noktasındaki deplasman bileşenleri sayısına eşit sayıda alt satır ve kolondan oluşmaktadır. Düzlem kafes kiriş sistemlerde bir düğüm noktasındaki deplasman bileşenlerinin sayısı 2'dir.



Şekil 2.4 Sistem Rijitlik Matrisi

Her eleman ayrı ayrı alınarak düğüm noktalarındaki ortak koordinat sistemlerine ilişkin rijitlik matrisleri bulunur ve bunların herbiri, ilk indisleri satıra, ikinci indisleri de kolona gelecek şekilde [K] matrisindeki yerlerine yerleştirilir. [K] matrisindeki bir yere, birkaç elemandan rijitlik matrisinin gelmesi durumunda bu matrisler toplanır. Bu şekilde bütün elemanlar sıra ile alınarak rijitlik matrisi oluşturulur [7,8].

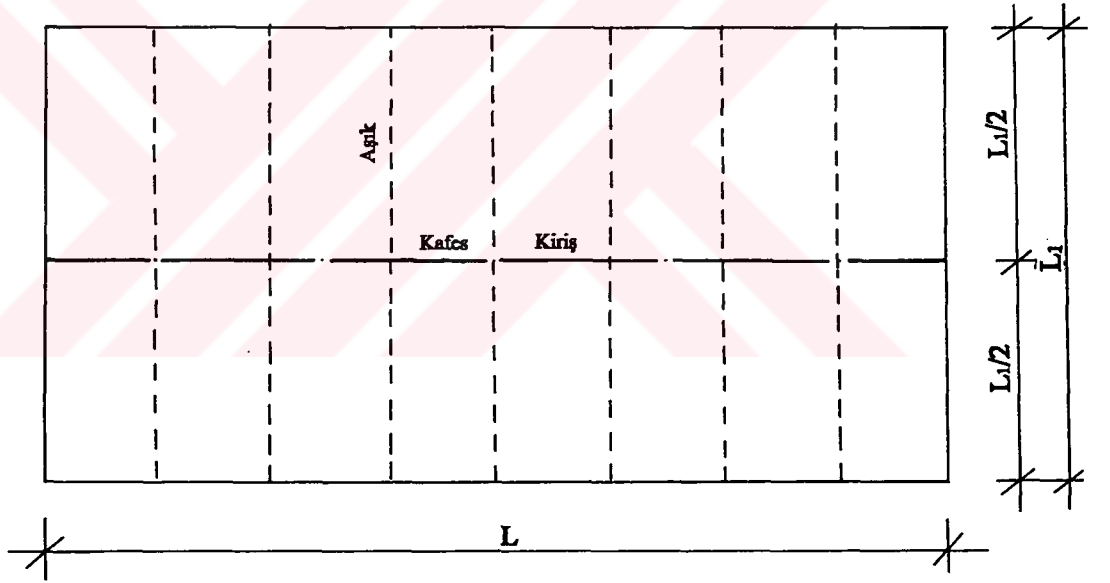
2.2.9. Matris Deplasman Yönteminde Hesap Sırası

- Çubuk eksenlerini, düğüm noktalarını ve mesnet şartlarını açık olarak gösteren bir diyagram çizilir (idealleştirme).
- Diyagram üzerinde düğüm noktaları yarım band genişliği minimum olacak şekilde numaralanır ve düğüm noktalarının koordinatları yazılır.

- Çubuklar herhangi bir kurala bağlı olmadan numaralanır.
- Mesnetler ve mesnet şartları belirlenir.
- Çubuk ve düğüm noktası yükleri gösterilir, hangi tip oldukları belirtilir.
- Çubuk karakteristikleri (F, E, I) belirtilir.
- Eleman rijitlik matrisi, sistem rijitlik matrisi ve dış yük vektörleri oluşturulur.
- Uç kuvvetlerle uç deplasmanlar arasındaki (2.17) bağıntısından uç deplasmanlar hesaplanır.
- Uç deplasmanlardan çubuk uç kuvvetleri hesaplanır.

2.3. Uygulama

Ortadaki bir kafes kiriş ve buna oturan başlıklar gözönüne alınmaktadır (Şekil 2.5).



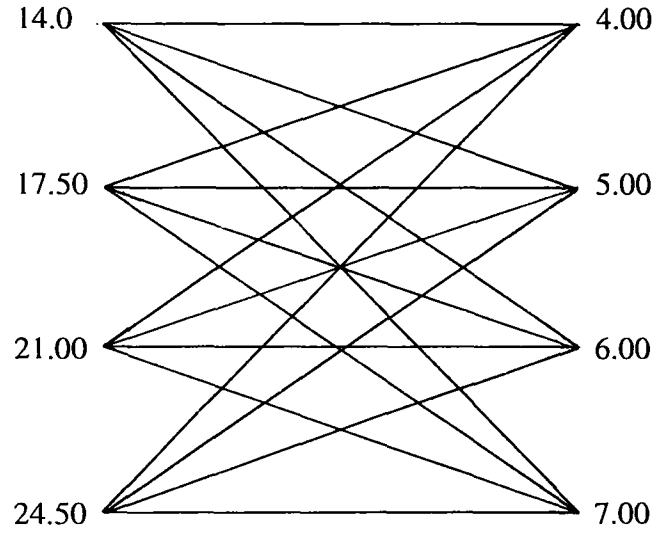
Şekil 2.5 Gözönüne alınan sistem şeması

- Kafes kiriş açıklığı $L=14.00, 17.50, 21.00, 24.50$ m.
- Aşık açıklıkları $L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m.

alınıyor ve bunların karşılıklı kombinezonu

L (m)

L₁ (m)



yapılarak malzeme ağırlıkları hesaplanmış ve karşılaştırmalar yapılmıştır.

3. BOYUTLANDIRMA ESASLARI - ÖZET

3.1. Elemanda Eksenel Çekme Olması Durumu

Bu bölümde aşık + kafes kiriş elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan bağıntılar ve uyulması gereken kurallar verilmektedir.

Çekmeye çalışan elemanlarda birleşim elemanı olarak perçin veya bulon kullanılırsa çubukta ΔF kadar bir kesit kaybı olur. Bu durumda net kesit alanı $F_n = F - \Delta F$ şeklinde bulunarak, N çekme etkisindeki bir çubukta

$$\sigma = \frac{N}{F_n} \leq \sigma_{emn} \quad (3.1)$$

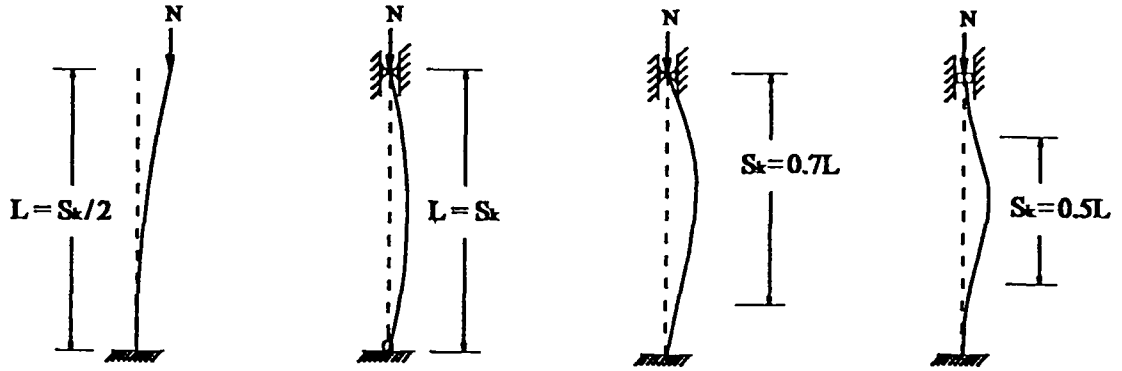
gerilme kontrolü yapılır. Birleşimin kaynaklı olması durumunda kesit kaybı olmayacağından $F_n = F$ alınır.

3.2. Elemanda Eksenel Basınç Olması Durumu

Basınç çubuklarının kesit hesaplarında çubukların x ve y eksenlerine dik burkulma boyları (S_{kx} , S_{ky}); çubuğun x ve y eksenlerine göre mesnet koşullarına bağlı olarak değişen bir k katsayısının çubuk boyu (L) ile çarpımından ($S_k = k_i L$) bulunur (Şekil 3.1). Bu katsayı

Bir ucu boşta, diğer ucu ankastre çubuk;	$k_1 = 2$
İki ucu mafsallı çubuk;	$k_1 = 1$
Bir ucu mafsallı bir ucu ankastre çubuk;	$k_1 = 0,707$
İki ucu ankastre çubuk;	$k_1 = 0,5$

şeklinde verilmektedir [5,9,10]. Burkulma boyları belirlendikten sonra aşağıdaki işlem sırası izlenmektedir.



Şekil 3.1 Basınç Çubuklarında Burkulma Boyları (S_k)

3.2.1. Tek Parçalı Basınç Çubukları

Çubuğun x ve y eksenlerine göre atalet momentleri (I_x , I_y) ve enkesit alanı (F) bulunur veya hazır profiller için tablodan alınır. Buradan

$$i_x = \sqrt{\frac{I_x}{F}} \quad , \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{F}} \quad (3.2)$$

atalet yarıçapları bulunur. Çubuğun x ve y eksenlerine göre narinlikleri

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} \quad , \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (3.3)$$

belirlenerek bunlara karşılık gelen ω_x ve ω_y burkulma katsayılarının büyüğü ω olarak alınır. Çubuktaki basınç gerilmesi (σ) için;

$$\sigma = \omega \frac{N}{F} \leq \sigma_{em} \quad (3.4)$$

koşulu sağlanmalıdır.

3.2.2. Çok Parçalı Basınç Çubukları

x-x malzemeli eksen göstermek üzere iki parçalı 1. grup basınç çubuklarında

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (3.5)$$

belirlendikten sonra enleme bağlantısı aralıkları S_{k1} ;

$$S_{k1} \leq \begin{cases} \frac{\lambda_x}{2} i_1 \rightarrow \lambda_x > 100 \text{ ise} \\ 50 \cdot i_1 \rightarrow \lambda_x \leq 100 \text{ ise} \\ \frac{S_{ky}}{3} \end{cases} \quad (3.6)$$

seçilir. Çubuğun S_{k1} burkulma boyu için λ_1 ve malzemesiz eksen (y-y)'e ilişkin λ_{yi} narinliği,

$$\lambda_1 = \frac{S_{k1}}{i_1}, \quad \lambda_{yi} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{m}{2} \lambda_1^2} \quad (3.7)$$

bulunur. Burada i_1 ; kesite giren çubuk kesitinin minimum atalet yarıçapı, m ise birleşim şekline bağlı bir katsayı olup 2 parçalı 1. grup çubuklar için değeri $m=2$ 'dir. Bulunan bu λ_x ve λ_{yi} değerlerinden büyüğüne karşılık gelen burkulma katsayısı ω belirlenerek çubuğa ilişkin

$$\sigma = \omega \frac{N}{F} \leq \sigma_{emn} \quad (3.8)$$

gerilme kontrolü yapılır. Bu çalışmada yalnız 1. grup çubukların kullanılması düşünüldüğünden diğer 2. ve 3. grup çubuklara ilişkin hesap ve kurallara değinilmeyecektir.

3.3. Elemanda Bileşik Eğilme Olması Durumu

Böyle bir çubukta aksenal basınca çalışan çubuktan farklı olarak N kuvvetinden başka bir de M eğilme momenti bulunur. Bu çubuklarda önce

$$\sigma_1 = \frac{N}{F} + \frac{M}{W} \leq \sigma_{em} \quad (3.9)$$

burkulmasız gerilme kontrolü yapılır. Sonra da M momenti bir asal eksene göre alınmışsa, ağırlık merkezleri çekme ve basınç kenarlarından eşit uzaklıkta olan enkesitler ile ağırlık merkezleri çekme kenarına yakın kesitlerde,

$$\sigma_2 = \omega \frac{N}{F} + 0,9 \frac{M}{W_d} \leq \sigma_{em} \quad (3.10)$$

burkulmalı gerilme kontrolü, ağırlık merkezleri eğilme basınç kenarına eğilme çekme kenarından daha yakın olan enkesitlerde de,

$$\sigma_3 = \omega \frac{N}{F} + 0,9 \frac{M}{W_d} \leq \sigma_{em} \quad (3.11)$$

$$\sigma_4 = \omega \frac{N}{F} + \frac{300 + 2\lambda}{1000} \cdot \frac{M}{W_z} \leq \sigma_{em} \quad (3.12)$$

burkulmalı gerilme kontrolleri yapılır. Bu bağıntılarda W; çubuğun mukavemet momentini göstermektedir. Çubukta iki yönlü moment oluşuyorsa

M/W_d yerine $\rightarrow \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y}$ konulacağı açıktır [1,2].

Merkezi basınç etkisinde olmakla birlikte eğik ve yatay konumlarından dolayı kendi ağırlığının etkisiyle eğilmeye çalışan çubukların,

$$M = G.L_H / 10 \quad (3.13)$$

bağıntısı ile verilen momente göre de hesaplamaları gerekir. Burada G ; çubuğun ağırlığı, L_H : çubuğun planda ölçülen sistem uzunluğunu göstermektedir. $L_H \leq 6.00$ m için bu hesabın yapılmasına gerek yoktur [2].

Burada ele alınan sistemlerde yalnızca 2. grup basınç çubuğu söz konusudur. Yüklerin yalnızca düğüm noktalarını etkidiği durum göz önüne alındığından, eğilme momenti de söz konusu değildir.



4. BOYUTLANDIRMA HESAPLARI

4.1. Giriş, Yükler

Bu bölümde çalışmanın konusu olan farklı açıklıktaki ($L=14.00, 17.50, 21.00, 24.50$ m) 4 tip kafes kiriş sistemin 4 tip makas aralığı (=aşık açıklığı $L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m) için ayrı ayrı boyutlandırma hesapları yapılmıştır. Yükler; sistemin özağırlığı + kar yükü şeklinde alınmıştır. Pratiklik sağlaması için sistemlerin tümünde de aşık aralığı $a=175$ cm olarak sabit kabul edilmiştir. Çözümüne esas olan sistem çelik çatının parçası olan bir ara “kafes kiriş + aşık” sistem olup karşılaştırmalar da yine ara “kafes kiriş + aşık” sistem için yapılmıştır. Sözü edilen bu sistemlerin boyutlandırması, metraj ve ağırlık hesapları ayrı ayrı tablolar halinde özet olarak sunulmaktadır.

Sisteme etkiyen yükler; çatı örtüsü + aşık yükü + kafes kiriş ağırlığı ve kar yükü şeklinde alınacaktır. Bunlara ilişkin değerler;

Çatı örtüsü ağırlığı	$g_1 = 25 \text{ kg/m}^2$ (Y.D)
Aşık öz ağırlığı	$g_2 = 10 \text{ kg/m}^2$ (Y.D)
Çatı makası öz ağırlığı	$g_3 = 15 \text{ kg/m}^2$ (Y.D)
Kar yükü	$P_k = 75 \text{ kg/m}^2$ (Y.D)

şeklinde alınmıştır [11].

4.1.1. Aşık Yükleri

Hesaplarda aşıkların çatı düzlemi boyunca yerleştirildiği, çatı örtüsünün rijit olmadığı, çatı düzlemine paralel yükleri aktarmak üzere aşıkların gövdelerine açıklıklarının ortalarında tespit edilmiş gergi çubuklarının kullanılacağı kabul edilecektir.

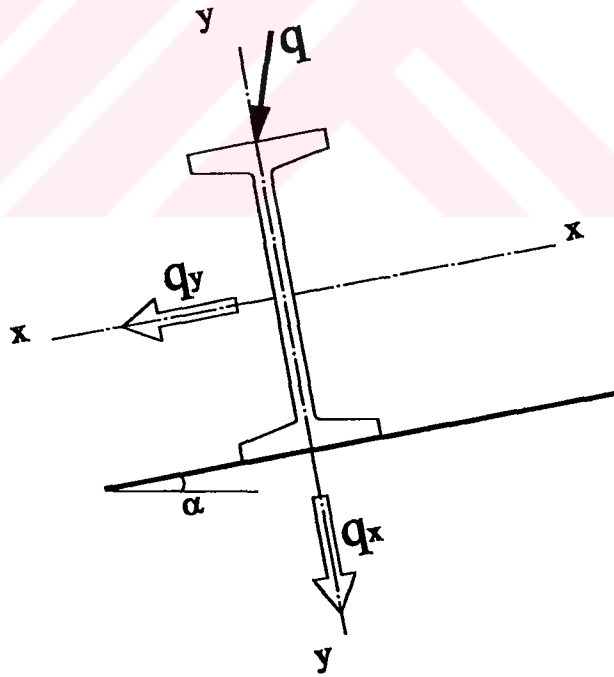
Aşık aralıkları $a=175$ cm için öz ağırlık ve kardan dolayı ara aşıklara etkiyen düşey yayılı yükler:

$$q = (g_1 + g_2 + P_k) L_1 = (25 + 10 + 75) 1.75 = 192.5 \text{ kg / m}$$

şeklinde, mahya ve damlalık aşıklarında ise

$$\bar{q} = (g_1 + g_2 + P_k) (L_1 / 2) = (25 + 10 + 75) \frac{1.75}{2} = 96.25 \text{ kg / m}$$

şeklindedir. Aşıkların çatı eğimi ($\alpha=8^\circ.13$)'ne dikyerleştirilmesi nedeniyle öz ağırlık ve kardan dolayı oluşan yükün doğrultusu aşıkların Y-Y aksı ile α kadar bir açı yapar. Buna göre yüklerin aşık eksenleri ile çakışan bileşenleri q_x , q_y



Şekil 4.1 Aşık Yüklerinin Bileşenleri

$$q_x = q \cdot \cos \alpha , \quad q_y = q \cdot \sin \alpha$$

şeklinde belirlenirler (Şekil 4.1).

Bu dönüştürmeler yapıldığında yük bileşenleri ara aşıklarda

$$q_x = 192,5 \cdot \cos \alpha \cong 191 \text{ kg / m } , \quad q_y = 192,5 \cdot \sin \alpha = 27,2 \text{ kg / m}$$

mahya ve damlalık aşıklarında ise

$$\bar{q}_x = q_x / 2 = 95,5 \quad , \quad \bar{q}_y = q_y / 2 = 13,6 \text{ kg / m}$$

şeklinde açığa çıkar.

4.1.2. Kafes Kiriş Yükleri

Kafes kiriş hesabının yapılabilmesi için düğüm noktalarına etkiyen kuvvetlerin bilinmesi gerekir. Bu kuvvetlerin hesabında aşıklardan aktarılan yüklerin doğrudan doğruya kafes kiriş üst başlığındaki düğüm noktalarına etkidiği kabul edilecektir. Kafes kirişe etkiyen öz ağırlık Bölüm 4.1’de belirtilen g_1 , g_2 , g_3 yüklerinin toplamından oluşmaktadır. Bu yükler yatay düzlemde çatı örtüsü ağırlığı $g_1=25 \text{ kg/m}^2$, aşık öz ağırlığı $g_2=10 \text{ kg/m}^2$, çatı makası öz ağırlığı $g_3=15 \text{ kg/m}^2$ şeklinde alınmıştır. Sisteme etkiyen kar yükü $P_k=75 \text{ kg/m}^2$ dir. Aşık açıklığı L_1 , aşık aralığı a ve bu yüklere bağlı olarak bir ara kafes kirişin üst başlığındaki düğüm noktalarına etkiyen düşey kuvvetler (Q), öz ağırlık + tam kar yükleme için

$$Q = (g_1 + g_2 + g_3 + P_k) L_1 \cdot a = 0,125 \cdot L_1 \cdot a \rightarrow 0,125 \cdot 1,75 \cdot L_1 \rightarrow 0,21875 \cdot L_1 \quad (4.1)$$

bağıntısıyla bulunurlar. Bu çalışmada 4 değişik aşık açıklığı ($L_1=4.00$, 5.00 , 6.00 , 7.00 m) için ara kafes kirişin ara düğüm noktalarına Q düşey kuvvetleri

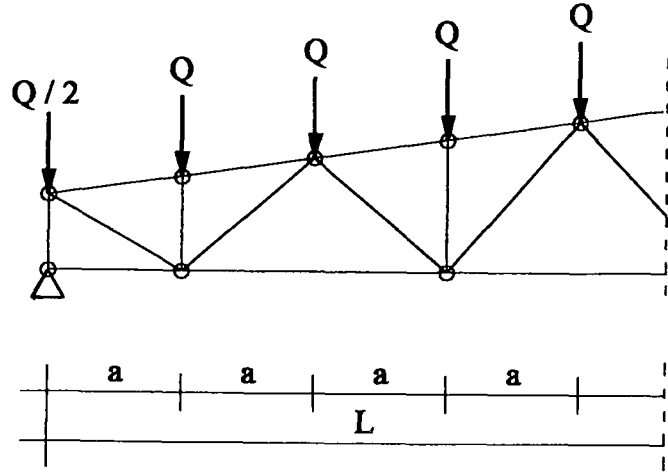
$$L_1 = 4.00 \text{ m için } \rightarrow Q = 0,875 \text{ ton}$$

$$L_1 = 5.00 \text{ m için } \rightarrow Q = 1.094 \text{ ton}$$

$$L_1 = 6.00 \text{ m için } \rightarrow Q = 1.313 \text{ ton}$$

$$L_1 = 7.00 \text{ m için } \rightarrow Q = 1.532 \text{ ton}$$

değerlerini almaktadır. Saçak yapılmadığı varsayılarak damlalık aşığının mesnetlendiği uç düğüm noktalarındaki düşey kuvvetler $\bar{Q} = Q/2$ alınacaktır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Düğüm Noktalarına Etkiyen Kuvvetler

4.2. Aşıkların Boyutlandırılması

Bu çalışmaya konu olan sistemlerdeki aşıkların statik sistemi, ekonomik olması ve montaj kolaylığı bakımından uygulamada da yaygın olarak kullanılan sürekli kiriş şeklinde alınmıştır. Bu tip kirişlerde hesaba esas alınan moment değerleri, TS 648'e göre

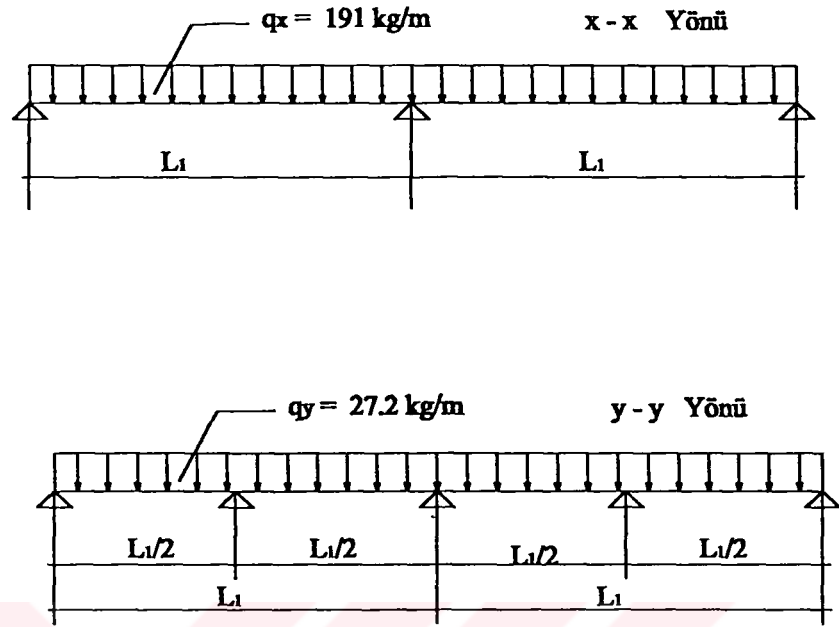
Kenar açıklık ve 1. iç mesnette
$$M = \frac{q L_1^2}{11}$$

İç açıklık ve diğer mesnetlerde
$$M = \frac{q L_1^2}{16}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada q sırasıyla aşığa etkiyen yayılı yükü, L_1 aşık açıklığını göstermektedir [12,13].

4.2.1. Ara Aşıkların Boyutlandırılması

Ara aşıkların ortadan gergili olması düşünüldüğünden y-y eksenindeki açıklık ortalarında gerilme $\sigma_y = M_y / W_y \approx 0$, sehim $f_y \approx 0$ olur. Bu nedenle ara aşık kesitleri yalnız x-x eksenine göre $\sigma_x = M_x / W_x \leq \sigma_{em} = 1.440 \text{ kg/cm}^2$ gerilme ve $f_x = k_x \cdot L_1^4 / I_x \leq L_1 / 300$ şartına göre boyutlandırılacaktır. Burada W_x , I_x sırasıyla



Şekil 4.3 Ara Aşıkların Statik Sistemi

aşığın x-x yönündeki mukavemet ve atalet momentini, k ise aşıq sistemine göre değişen sehim katsayısını göstermektedir. İki açıklıklı / tek gergili sistemlerde $k=2.48 \times 10^{-3}$ şeklinde verilmiştir [12]. Bu çalışmanın konusu olan sistemlerdeki 4 farklı aşıq açıklığı ($L_1=4, 5, 6, 7$ m) için kesit hesapları yapılarak sonuçları Tablo 4.1'de verilmiştir. En büyük çökme

$$f_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (4.2)$$

bağıntısıyla bulunur.

Tablo 4.1 Ara Aşıq Kesitlerinde Gerilme ve Sehimler

Aşıql.	Y.Yük.	Mom.	Seç.	Muk.M.	Atl.M.	Gerilme	Schimler		
L_1	q_x	M_x	Kesit	W_x	I_x	σ_x	f_x	f_y	$f_{\max}$
(m)	t/m	Tm	I	cm ³	Cm ⁴	t/cm ²	cm	-	cm
4	0,191	0,278	NPI100	34.2	171	0.812	0.709	-	0.709
5	0,191	0,434	NPI120	54.7	328	0.793	0.901	-	0.901
6	0,191	0,625	NPI120	54.7	328	1.142	1.872	-	1.872
7	0,191	0,851	NPI140	81.9	573	1.039	1.985	-	1.985

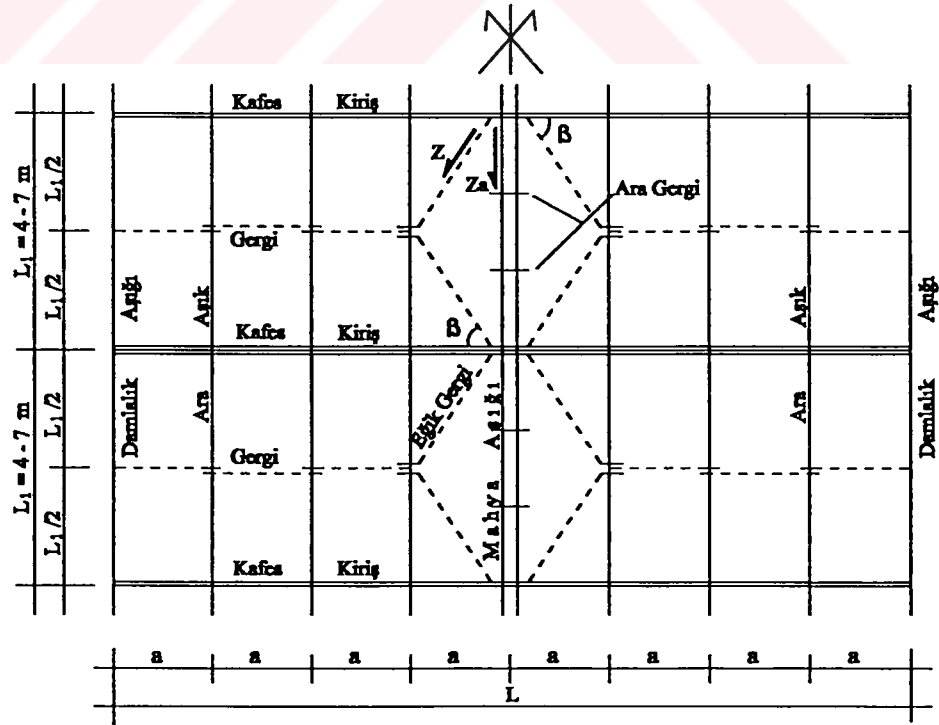
4.2.2. Mahya Aşıklarının Boyutlandırılması

Ara aşıklar $L_1/2$ 'den gergili olduklarından mahya aşıklarında eğik gergi nedeniyle ek basınç kuvveti, (Z_a) oluşur. Bu nedenle mahya aşığında eğilmeli burkulma hesabı yapmak gerekir. Aşıkların x ve y eksenlerindeki açıklık momentleri M_x , M_y , mukavemet momentleri W_x , W_y , enkesit alanı F_a ve burkulma katsayısı ω 'ya bağlı olarak burkulmasız (σ_1), burkulmalı (σ_2)

$$\sigma_1 = \frac{Z_a}{F_a} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em} \quad (4.3)$$

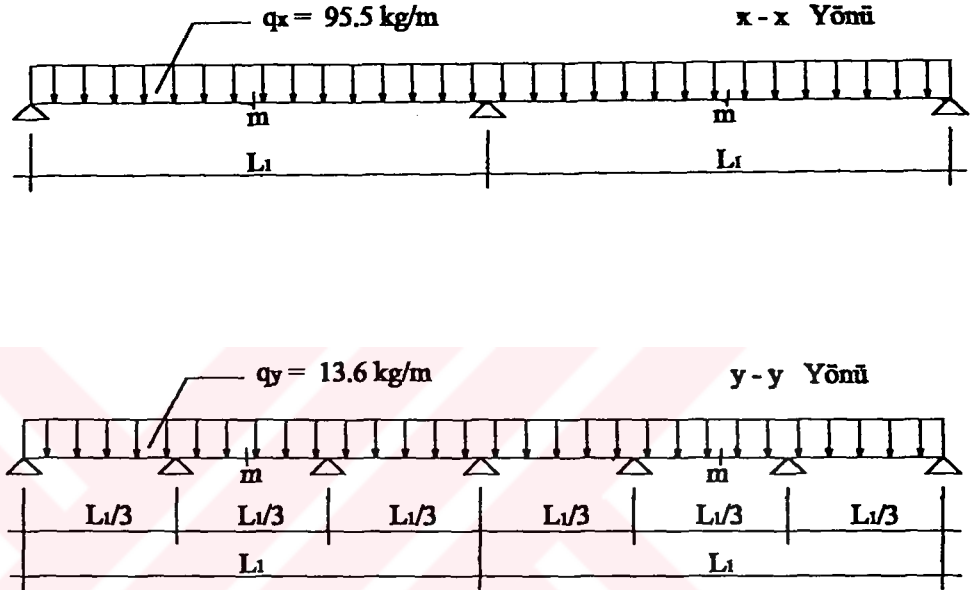
$$\sigma_2 = \omega \frac{Z_a}{F_a} + 0,9 \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \leq \sigma_{em} \quad (4.4)$$

gerilme şartları sağlanmalıdır. I ve [kesitlerinde (y-y) eksenini etrafındaki atalet yarıçapı, i_y küçük olduğundan $\lambda_y = L_1/i_y$ narinliği (250)'yi genellikle aşmaktadır. Bu nedenle iki mahya aşığını 1/3'lerinden bağlamak ve böylece burkulma boyunu $L_1/3$ 'e indirmek λ_y 'yi küçültmek için uygulanan çözüm yöntemlerindendir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Kafes Kiriş/Aşık/Gergi Düzeni

Mahya'da çift aşık kullanıldığından mahya aşığı yayılı yükleri ara aşıklar için bulunan q_x , q_y değerlerinin yarısı kadar olur, bu ise $\bar{q}_x = q_x / 2 = 95,5 \text{ kg/m}$, $\bar{q}_y = q_y / 2 = 13,6 \text{ kg/m}$ dir. Statik sistem çatı düzlemine dik (x-x) ve çatı düzlemine paralel (y-y) eksenleri için (Şekik 4.5)'deki gibi alınmıştır.



Şekil 4.5 Mahya Aşığı Statik Sistemi

Bu şekillerin karşılaştırılmasından anlaşılacağı gibi mahya aşığında maximum açıklık momentleri ve sehimler (m) kesitlerinde bir başka deyişle aşık açıklığının ortasında oluşmaktadır. Bu nedenle boyutlandırma (m) kesiti için yapılacaktır. Bu kesitteki momentler ise $M_x = \bar{q}_x \cdot L_1^2 / 11$, $M_y = \bar{q}_y \cdot (L_1 / 3) / 16$ dir. Ara aşıkların 1/2'sinden konulan gergilerin mahya aşığına $\text{tg}\beta = L_1 / (2a)$ eğimi ile bağlayan eğik gergiler nedeniyle mahya aşığında oluşan basınç kuvveti $Z_a = Z \cdot \sin\beta$ şeklindedir. Burada Z; eğik gergide oluşan maximum çekme kuvveti olup tek gergili durum için

$$Z = \frac{1}{2} \bar{q}_y \cdot \frac{L_1}{2} \cdot \frac{(Aşık Adedi - 3)}{2 \cdot \cos \beta} \quad (4.5)$$

şeklinde hesaplanmaktadır [2]. Aşık adedi (n) ve açıklığı L_1 için Z ve Z_a 'nın değerleri hesaplanarak Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2 Eğik Gergi ve Mahya Aşığı Basınç Kuvveti (Z, Z_a)

Açıkl.	n=10		n=12		n=14		n=16	
L ₁	Z	Z _a	Z	Z _a	Z	Z _a	Z	Z _a
m	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg	Kg
4	72	54	93	70	114	86	134	101
5	104	85	134	110	163	134	193	158
6	142	122	182	157	223	192	263	227
7	186	167	240	214	293	262	346	309

Uygulamada genellikle montaj kolaylığı bakımından mahya aşıklarının da ara aşıklarla aynı yükseklikle olması gerekir. Bunu sağlamak için mahya aşıklarını da ara aşıklardan yapmak veya bir NPI profilinin üzerine] profili kapatarak ara aşık yüksekliğini sağlamak yoluna gidilir. Burada mahya aşığını da ara aşıkların kesitinde seçilerek kesit kontrolleri yapılacak ve uygunluğu araştırılacaktır. Bu kesitler Bölüm 4.2.1’de aşık açıklığı L₁=4, 5, 6, 7 m için sırasıyla NPI100, NPI120, NPI120 ve NPI140 olarak seçilmiştir. Profillerin mukavemet değerleri Tablo 4.3’de verilmektedir. Aşık açıklığı L₁=4, 5, 6, 7 m.

Tablo 4.3 Aşık Kesitlerinin Mukavemet Değerleri

Kesit	I _x	I _y	W _x	W _y	F	i _x	i _y
I	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm ²	cm	cm
NPI-100	171	12.2	34.2	4.88	10.6	4.01	1.07
NPI-120	328	21.5	54.7	7.41	14.2	4.81	1.23
NPI-140	573	35.2	81.9	10.70	18.2	5.61	1.40

için S_{kx}=L₁, S_{ky}=L₁/3 düzenine göre burkulma katsayıları Tablo 4.4’deki değerleri almaktadır.

Tablo 4.4 Burkulma Katsayıları (ω)

Kesit	S _{kx}	S _{ky}	λ _x	λ _y	ω _x	ω _y	ω _{max}
I	cm	cm	-	-	-	-	-
NPI-100	400	133	100	124	1.90	2.60	2.60
NPI-120	400	133	83	108	1.59	2.07	2.07
	500	167	104	136	1.98	3.12	3.12
NPI-140	700	233	125	166	2.64	4.65	4.65

Herbir aşık açıklığı için $M_x = \bar{q}_x \cdot L_1^2 / 11$ ve $M_y = \bar{q}_y \cdot L_1^2 / 16$ momentleri hesaplandıktan sonra Z_a basınç kuvvetlerinin Tablo 4.2'deki aşık kesitlerinin Tablo 4.3'deki ve w katsayılarının Tablo 4.4'deki maximum değerleri alınarak (4.2) ve (4.1) bağıntılarında yerine konularak kesitlerin burkulmasız σ_1 , burkulmalı σ_2 gerilmeleri hesaplanmıştır. Bununla birlikte sehim katsayıları (k)'nın iki açıklıklı ve gergili sistemlerdeki değeri x-x yönü için $k_x=2.48$, y-y yönü için $k_y \cong 0$ değerleri [12]'deki Tablo 3.4'den alınarak $f_x = k_x \cdot \bar{q}_x \cdot L_1 / I_x$, $f_y \cong 0$ ve $f_{\max} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = f_x$ sehimleri hesaplanmıştır. Bulunan değerler herbir aşık + kafes giriş sistem için Tablo 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.5 L=14.00 m İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim

L_1	Kesit	$\omega_{\max}$	Z_a	M_x	M_y	σ_1	σ_2	$f_{\max}$
m	I	-	ton	tcm	tcm	t/cm ²	t/cm ²	cm
4	NPI-100	2.60	0.054	13.89	0.15	0.442	0.406	0.354
5	NPI-120	3.12	0.085	21.70	0.24	0.435	0.405	0.451
6	NPI-120	4.43	0.122	31.25	0.34	0.626	0.593	0.936
7	NPI-140	4.65	0.167	42.54	0.46	0.572	0.549	0.992

Tablo 4.6 L=17.50 m İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim

L_1	Kesit	$\omega_{\max}$	Z_a	M_x	M_y	σ_1	σ_2	$f_{\max}$
m	I	-	ton	tcm	tcm	t/cm ²	t/cm ²	cm
4	NPI-100	2.60	0.070	13.89	0.15	0.443	0.410	0.354
5	NPI-120	3.12	0.110	21.70	0.24	0.437	0.410	0.451
6	NPI-120	4.43	0.157	31.25	0.34	0.628	0.604	0.936
7	NPI-140	4.65	0.214	42.54	0.46	0.574	0.561	0.992

Tablo 4.7 L=21.00 m İçin Mahya Aşığındaki Gerilme ve Sehim

L_1	Kesit	$\omega_{\max}$	Z_a	M_x	M_y	σ_1	σ_2	$f_{\max}$
m	I	-	ton	tcm	tcm	t/cm ²	t/cm ²	cm
4	NPI-100	2.60	0.086	13.89	0.15	0.445	0.414	0.354
5	NPI-120	3.12	0.134	21.70	0.24	0.439	0.416	0.451
6	NPI-120	4.43	0.192	31.25	0.34	0.630	0.615	0.936
7	NPI-140	4.65	0.262	42.54	0.46	0.577	0.573	0.992

Tablo 4.8 L=24.50 m İçin Mahya Aşığında Gerilme ve Sehım

L ₁ m	Kesit I	$\omega_{\max}$ -	Z _a ton	M _x tcm	M _y tcm	σ_1 t/cm ²	σ_2 t/cm ²	f _{max} cm
4	NPI-100	2.60	0.101	13.89	0.15	0.446	0.418	0.354
5	NPI-120	3.12	0.158	21.70	0.24	0.445	0.421	0.451
6	NPI-120	4.43	0.227	31.25	0.34	0.633	0.626	0.936
7	NPI-140	4.65	0.309	42.54	0.46	0.579	0.585	0.992

Tablo 4.5-4.8’de görüldüğü gibi σ_1 , σ_2 gerilmeleri emniyet gerilmesi ($\sigma_{em}=1.440 \text{ t/cm}^2$)’nın, f_{max} sehımleri ise izin verilen sehım ($f_{em}=L_1/300$)’den oldukça düşük çıkmıştır. Bu kesitlerin damlalık aşığına uygulanması durumunda da gerilme ve sehımlerin benzer şekilde düşük çıkacağı açıktır. Sonuç olarak ara aşık kesitlerinin aynısı damlalık ve mahya aşığı için de uygulanacaktır. Tablo 4.2 incelendiğinde en olumsuz durum için eğik gergi kuvveti Z=309 kg dir. Gergi çapı Ø12 seçildiğinde, gergi kesit alanı F_g=1,13 olup gerilme $\sigma_g=Z/F_g=309/1.13=273 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{em}=1400 \text{ kg/cm}^2$ dir. Dolayısıyla bütün sistemler için Ø12 gergi çubuğu yeterlidir. Tablo 4.9’da herbir sistem için seçilen aşık kesitlerinin 1 makas aralığına karşılık gelen toplam ($W_a=n.G_1.L_1$) ağırlıkları verilmektedir. Burada G₁; aşığın birim ağırlığını n; aşık adedi (L=14, 17.5, 21, 24.5 m için sırasıyla n=10, 12, 14, 16), L₁ ; aşık açıklığını göstermektedir.

Tablo 4.9 1. Makas Aralığı İçin Toplam Aşık Ağırlıkları

Aşık Açı.	Kesit	Birim Ağ.	n=10	n=12	n=14	n=16
L ₁	I	G ₁	W _a	W _a	W _a	W _a
m	-	Kg / m	Kg	Kg	Kg	Kg
4	NPI-100	8.34	333.6	400.32	467.04	533.26
5	NPI-120	11.10	555	666	777	888
6	NPI-120	11.10	666	799	932	1066
7	NPI-140	14.30	1001	1201	1401	1602

4.3. Kafes Kiriş Çubuklarının Boyutlandırılması

Bu bölümde çatı eğimi ($\text{tg}\alpha=0.143$) ve aşık aralıkları ($a=175 \text{ cm}$) sabit alınarak oluşturulmuş, açıklıkları (L) ve aşık sayıları (n);

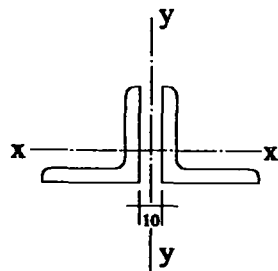
- Sistem 1 → L=14.00 m, n=10
- Sistem 2 → L=17.50 m, n=12

- Sistem 3 → $L=21.00$ m, $n=14$
- Sistem 4 → $L=24.50$ m, $n=16$

şeklinde değişen 4 tip kafes kiriş sistem alınarak bu sistemlerin $L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m. şeklinde değişen 4 tip aşık açıklığı durumu için çubuk kuvvetleri hesaplanmıştır. Toplam olarak 16 adet sistem 1 ara kafes kiriş aralığı için (öz ağırlık + tam kar yükleme altında) çözülmüştür. Kafes kiriş üst başlığının ara düğüm noktalarına etkiyen kuvvetler (Q), Bölüm 4.1.2’de belirtildiği gibi aşık aralığı (L_1)’e bağlı olarak ($L_1=4$ m, $Q=0.875$ ton; $L_1=5$ m, $Q=1.094$ ton; $L_1=6$ m, $Q=1.313$ ton; $L_1=7$ m, $Q=1.532$ ton) değişik değerler almaktadır. Mahya damlalık aşıklarının mesnetlendiği düğüm noktalarında ise bu kuvvetler $Q/2$ şeklinde alınmıştır. Bu kuvvetler altında önce sistemin Matris-Deplasman Yöntemi ile çubuk kuvvetleri bulunmuş sonra Bölüm 3.1 ve 3.2.2’de verilen bağıntılar yardımıyla çubuk kesitleri belirlenmiştir. Kafes kiriş çubukları sistemlerin tümünde JL profilinden oluşturulmuş ve minimum kesit olarak $\text{JL } 45.45.5$ kullanılmıştır. Kesit seçiminde çubuklarda oluşan normal gerilme (σ)’nın, ($\sigma \leq \sigma_{em}=1.440$ t/cm²), emniyet gerilmesinden küçük olması koşulunu sağlayan en ekonomik kesitin oluşturulmasına çaba gösterilmiştir. Çubukların x ve y eksenlerine ilişkin burkulma boyları (S_{kx}, S_{ky}) olarak bağlandıkları düğüm noktalarının ara mesafesi alınmıştır. Normal kuvvet (N) ve çubuk enkesit alanı (F)’e bağlı olarak çekme çubukları için gerilme $\sigma=N/F \leq \sigma_{em}$ koşulu, ω maximum burkulma katsayısı olmak üzere değeri Bölüm 3.2.2’deki bağıntılarla hesaplanarak basınç çubuklarında $\sigma=\omega.N/F \leq \sigma_{em}$ gerilme koşulu sağlanmıştır. Aşağıda (Sistem 3’de $L_1=7$ m aşık açıklığı için bulunan normal kuvvetlere göre) sistemin alt ve üst başlığına ilişkin boyutlandırma hesapları gösterilmiştir.

ÖRNEK 1.

Çubuk kuvveti $N_{max}=23,82$ ton (çekme)



Çekme Çubuğu

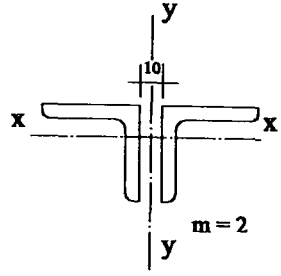
KESİT : 2L 70.70.7; çekme çubuğu

$$F=2 \times 9.40 \text{ cm}^2$$

$$\sigma=N/F=23,82/18,80=1,267 \text{ t/cm}^2 < \sigma_{em}=1.440 \text{ t/cm}^2$$

alt başlık çubuğu için kesit yeterlidir.

ÖRNEK 2.



Basınç Çubuğu

Çubuk kuvviti $N_{\max} = -23,59$ ton (Basınç)

KESİT : 2L 80.80.8, Basınç çubuğu

$S_{kx} = 177$ cm, $S_{ky} = 177$ cm, $F = 2 \times 12,30 = 24,60$

$i_x = 2,42$ cm, $i_y = 3,67$ cm, $i_l = 1,55$ cm

Bu tip basınç çubuklarında x eksenine göre kontrol hesap yeterlidir.

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x} \rightarrow \frac{177}{2,42} \cong 73$$

Enleme bağlantısı aralıkları (S_{kl})'in

$$\lambda_x < 100; \quad S_{kl} \leq 50 i_l = 77,5 \text{ cm}$$

$$\text{maximum} \quad S_{kl} = S_{ky}/3 = 59 \text{ cm}$$

değerlerinden küçüğü $S_{kl} = 59$ cm alınırsa itibari narinlik $\lambda_{\max} = \lambda_x$ ve buna karşılık gelen burkulma katsayısı $\omega = 1.45$ dir.

Buradan çubuktaki gerilme

$$\sigma = \omega \frac{N}{F} \rightarrow 1,45 \cdot \frac{23,59}{24,60} = 1,390 < 1.440 \text{ t/cm}^2$$

olup üst başlık çubuğu için kesit yeterlidir.

Herbir “kafes kiriş + aşık”, durumu için bu hesaplar yapılarak en ekonomik çubuk kesitleri seçilmiş ve bulunan sonuçlar tablolastırılmıştır. Ayrıca her bir kafes kiriş çözümünün sonunda sisteme ilişkin kafes kiriş çubuklarının metraj ve ağırlık hesapları yapılmıştır.

Tablo 4.10 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat.(ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	Ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	5.16	┘┘ 60.60.5	11.64	177	59	1.85	-	0.820
O2	-	5.16	60.60.5	11.64	177	59	1.85	-	0.820
O3	-	7.48	60.60.5	11.64	177	59	1.85	-	1.195
O4	-	7.48	60.60.5	11.64	177	59	1.85	-	1.195
U1	0.00	-	45.45.5	8.60	-	-	-	-	-
U2	7.07	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.812	-
U3	6.81	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.792	-
D1	5.61	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.652	-
D2	-	2.45	45.45.5	8.60	218	70	4.40	-	1.255
D3	0.43	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.050	-
D4	0.87	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.101	-
V1	-	3.50	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.526
V2	-	0.88	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.156
V3	-	0.88	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.228

Tablo 4.11 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat.(ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	6.45	┘┘ 60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	0.863
O2	-	6.45	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	0.863
O3	-	9.36	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	1.250
O4	-	9.36	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	1.250
U1	0.00	-	50.50.5	9.60	-	-	-	-	-
U2	8.84	-	50.50.5	9.60	-	-	-	0.920	-
U3	8.51	-	50.50.5	9.60	-	-	-	0.886	-
D1	7.02	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.816	-
D2	-	3.06	50.50.5	9.60	218	71	3.58	-	1.143
D3	0.53	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.06	-
D4	1.08	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.125	-
V1	-	4.38	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.658
V2	-	1.09	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.193
V3	-	1.09	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.282

Tablo 4.12 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat.(ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	Ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	7.74	┘┘ 65.65.6	15.06	177	59	1.71	-	0.879
O2	-	7.74	65.65.6	15.06	177	59	1.71	-	0.879
O3	-	11.23	65.65.6	15.06	177	59	1.71	-	1.273
O4	-	11.23	65.65.6	15.06	177	59	1.71	-	1.273
U1	0.00	-	50.50.5	9.60	-	-	-	-	-
U2	10.60	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.104	-
U3	10.21	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.063	-
D1	8.42	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.979	-
D2	-	3.67	50.50.5	9.60	218	71	3.58	-	1.370
D3	0.64	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.074	-
D4	1.30	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.151	-
V1	-	5.25	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.789
V2	-	1.31	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.232
V3	-	1.31	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.339

Tablo 4.13 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat.(ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	9.03	┘┘ 70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	0.883
O2	-	9.03	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	0.883
O3	-	13.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.283
O4	-	13.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.283
U1	0.00	-	50.50.5	9.60	-	-	-	-	-
U2	12.37	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.288	-
U3	11.92	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.241	-
D1	9.82	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.142	-
D2	-	4.28	55.55.5	9.60	218	71	2.92	-	1.193
D3	0.75	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.087	-
D4	1.52	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.176	-
V1	-	6.13	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.921
V2	-	1.53	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.270
V3	-	1.53	45.45.5	8.60	155	50	2.25	-	0.396

Sistem 1 için yapılan bu çözümlerden belirlenen çubuk kesitlerine göre kafes kirişin herbir aşık durumu için ayrı ayrı metrajı yapılmış ve sonuçları Tablo 4.14 – 4.17’de özetlenmiştir. Her bir aşık durumu için kafes kirişin ağırlığı W_m hesaplanmıştır.

Tablo 4.14 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 60.60.5	1.77	4.57	32.356
O2	2	60.60.5	1.77	4.57	32.356
O3	2	60.60.5	1.77	4.57	32.356
O4	2	60.60.5	1.77	4.57	32.356
U1	2	45.45.5	1.75	3.38	23.66
U2	2	45.45.5	3.50	3.38	47.32
U3	1	45.45.5	3.50	3.38	23.66
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					388.93

Tablo 4.15 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 60.60.6	1.77	5.42	38.374
O2	2	60.60.6	1.77	5.42	38.374
O3	2	60.60.6	1.77	5.42	38.374
O4	2	60.60.6	1.77	5.42	38.374
U1	2	50.50.5	1.75	3.77	26.390
U2	2	50.50.5	3.50	3.77	52.78
U3	1	50.50.5	3.50	3.77	26.390
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	50.50.5	2.18	3.77	32.87
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					427.31

Tablo 4.16 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 1)

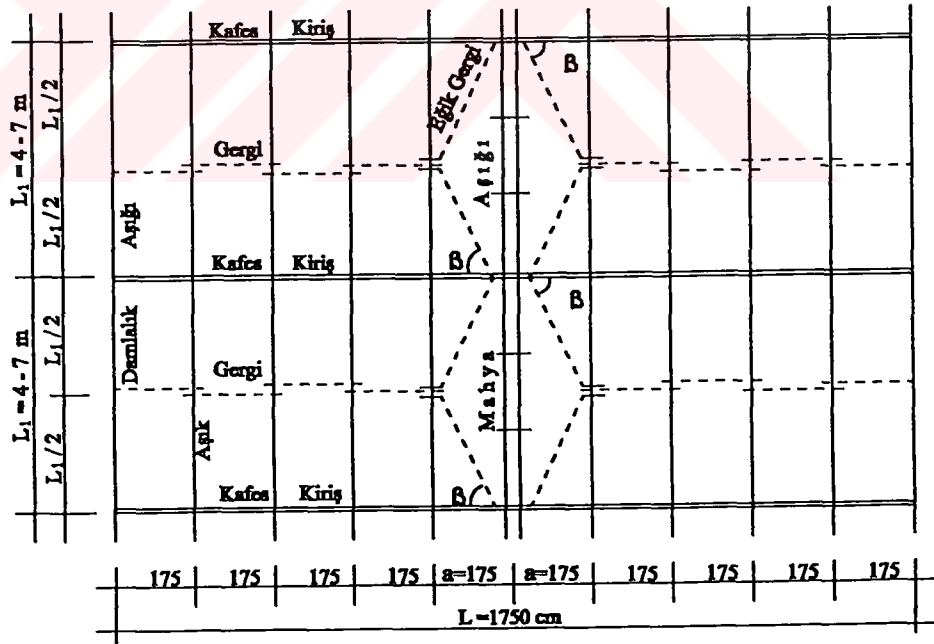
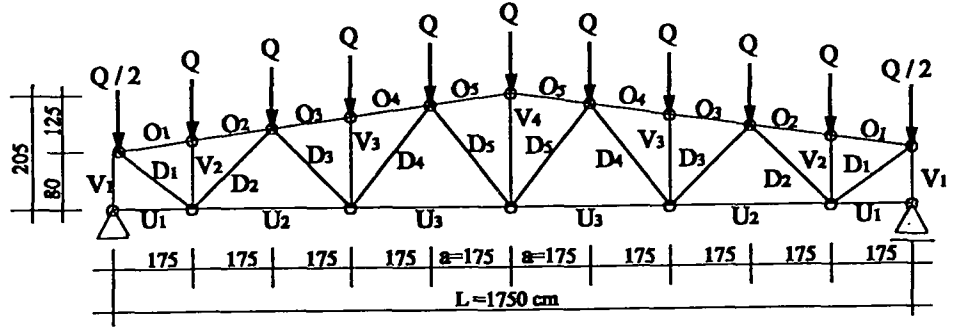
Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 65.65.6	1.77	5.91	41.48
O2	2	65.65.6	1.77	5.91	41.48
O3	2	65.65.6	1.77	5.91	41.48
O4	2	65.65.6	1.77	5.91	41.48
U1	2	50.50.5	1.75	3.77	26.39
U2	2	50.50.5	3.50	3.77	52.78
U3	1	50.50.5	3.50	3.77	26.39
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	50.50.5	2.18	3.77	32.87
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					439.75

Tablo 4.17 Kaf. Kir. Açık. L = 14.00 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 1)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 70.70.6	1.77	6.38	45.17
O2	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O3	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O4	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
U1	2	50.50.5	1.75	3.77	26.39
U2	2	50.50.5	3.50	3.77	52.78
U3	1	50.50.5	3.50	3.77	26.39
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	55.55.5	2.18	4.18	36.45
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					458.09

4.3.2. SİSTEM 2 için Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma

Sistemin 4 tip aşık durumu için çözümleri yapılarak çubuk kesitleri belirlenmiş, sonuçları Tablo 4.18 – 4.21’de verilmiştir.



Düğüm Noktası Yükleri :

$$L_1 = 4.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 0.875 \text{ t.}$$

$$L_1 = 6.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.313 \text{ t.}$$

$$L_1 = 5.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.094 \text{ t.}$$

$$L_1 = 7.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.532 \text{ t.}$$

Şekil 4.7 Sistem 2 İçin Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri

Tablo 4.18 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	6.63	┐┐ 60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	0.888
O2	-	6.63	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	0.888
O3	-	10.48	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	1.399
O4	-	10.48	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	1.399
O5	-	9.43	60.60.6	13.82	177	58	1.85	-	1.262
U1	0.00	-	45.45.5	8.60	-	-	-	-	-
U2	9.42	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.095	-
U3	10.21	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.182	-
D1	7.22	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.840	-
D2	-	3.56	50.50.5	8.60	218	70	3.52	-	1.305
D3	1.18	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.137	-
D4	0.24	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.028	-
D5	-	1.25	45.45.5	8.60	251	81	5.84	-	0.848
V1	-	4.38	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.658
V2	-	0.88	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.156
V3	-	0.88	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.220
V4	1.79	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.208	-

Tablo 4.19 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	8.29	┐┐ 70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	0.811
O2	-	8.29	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	0.811
O3	-	13.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.283
O4	-	13.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.283
O5	-	11.79	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.153
U1	0.00	-	55.55.5	10.64	-	-	-	-	-
U2	11.78	-	55.55.5	10.64	-	-	-	1.107	-
U3	12.76	-	55.55.5	10.64	-	-	-	1.200	-
D1	9.02	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.049	-
D2	-	4.46	55.55.5	10.64	218	71	2.97	-	1.241
D3	1.48	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.172	-
D4	0.30	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.035	-
D5	-	1.56	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	1.059
V1	-	5.47	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.822
V2	-	1.09	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.193
V3	-	1.09	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.283
V4	2.24	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.260	-

Tablo 4.20 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	9.95	└┐ 70.70.7	18.80	177	59	1.60	-	0.847
O2	-	9.95	70.70.7	18.80	177	59	1.60	-	0.847
O3	-	15.72	70.70.7	18.80	177	59	1.60	-	1.338
O4	-	15.72	70.70.7	18.80	177	59	1.60	-	1.338
O5	-	14.15	70.70.7	18.80	177	59	1.60	-	1.204
U1	0.00	-	60.60.5	11.64	-	-	-	-	-
U2	14.14	-	60.60.5	11.64	-	-	-	1.215	-
U3	15.32	-	60.60.5	11.64	-	-	-	1.316	-
D1	10.83	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.259	-
D2	-	5.35	60.60.5	11.64	218	71	2.47	-	1.133
D3	1.78	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.202	-
D4	0.35	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.041	-
D5	-	1.88	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	1.277
V1	-	6.56	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	0.984
V2	-	1.31	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.232
V3	-	1.31	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.340
V4	2.69	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.313	-

Tablo 4.21 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	11.61	└┐ 75.75.7	20.20	177	59	1.50	-	0.862
O2	-	11.61	75.75.7	20.20	177	59	1.50	-	0.862
O3	-	18.35	75.75.7	20.20	177	59	1.50	-	1.360
O4	-	18.35	75.75.7	20.20	177	59	1.50	-	1.360
O5	-	16.51	75.75.7	20.20	177	59	1.50	-	1.226
U1	0.00	-	60.60.6	13.82	-	-	-	-	-
U2	16.50	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.193	-
U3	17.87	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.293	-
D1	12.63	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.315	-
D2	-	6.24	60.60.6	13.82	218	71	2.47	-	1.113
D3	2.07	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.240	-
D4	0.41	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.048	-
D5	-	2.19	50.50.5	9.60	251	81	4.63	-	1.056
V1	-	7.66	45.45.5	8.60	80	27	1.29	-	1.151
V2	-	1.53	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.270
V3	-	1.53	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.390
V4	3.14	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.365	-

Sistem 2 için yapılan çözümlerden belirlenen çubuk kesitlerine göre kafes kirişin herbir aşık durumu için ayrı ayrı metrajı yapılmış ve sonuçları Tablo 4.22 – 4.25’de verilmiştir. Herbir aşık durumu için kafes kirişin ağırlığı W_m hesaplanmıştır.

Tablo 4.22 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 60.60.6	1.77	5.42	38.37
O2	2	60.60.6	1.77	5.42	38.37
O3	2	60.60.6	1.77	5.42	38.37
O4	2	60.60.6	1.77	5.42	38.37
O5	2	60.60.6	1.77	5.42	38.37
U1	2	45.45.5	1.75	3.38	23.66
U2	2	45.45.5	3.50	3.38	47.32
U3	2	45.45.5	3.50	3.38	47.32
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	50.50.5	2.18	3.77	32.87
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	1	45.45.5	2.05	3.38	13.86
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					526.23

Tablo 4.23 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	┘┘ 70.70.6	1.77	6.38	45.17
O2	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O3	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O4	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O5	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
U1	2	55.55.5	1.75	4.18	29.26
U2	2	55.55.5	3.50	4.18	58.52
U3	2	55.55.5	3.50	4.18	58.52
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	55.55.5	2.18	4.18	36.45
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	1	45.45.5	2.05	3.38	13.86
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					601.80

Tablo 4.24 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 2)

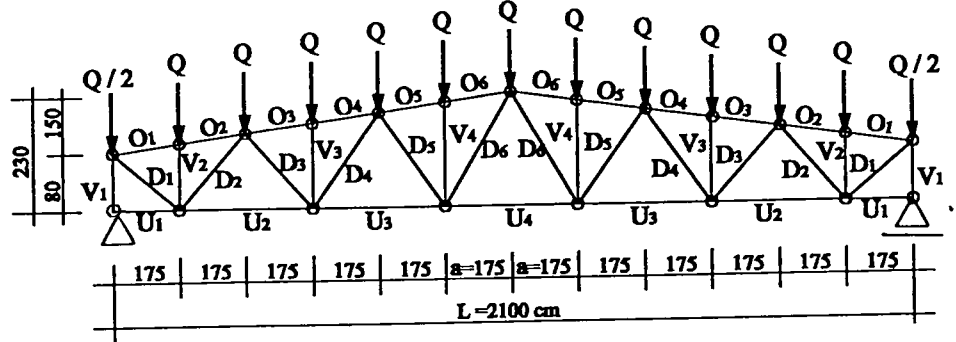
Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	70.70.7	1.77	7.38	52.25
O2	2	70.70.7	1.77	7.38	52.25
O3	2	70.70.7	1.77	7.38	52.25
O4	2	70.70.7	1.77	7.38	52.25
O5	2	70.70.7	1.77	7.38	52.25
U1	2	60.60.5	1.75	4.57	31.99
U2	2	60.60.5	3.50	4.57	63.98
U3	2	60.60.5	3.50	4.57	63.98
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	60.60.5	2.18	4.57	39.85
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	1	45.45.5	2.05	3.38	13.86
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					644.25

Tablo 4.25 Kaf. Kir. Açık. L = 17.50 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 2)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O2	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O3	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O4	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O5	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
U1	2	60.60.6	1.75	5.42	37.94
U2	2	60.60.6	3.50	5.42	75.88
U3	2	60.60.6	3.50	5.42	75.88
D1	2	50.50.5	1.92	3.77	29.01
D2	2	60.60.6	2.18	5.42	47.26
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	50.50.5	2.51	3.77	33.94
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	1	45.45.5	2.05	3.38	13.86
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					704.28

4.3.3. SİSTEM 3 için Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma

Sistemin 4 tip aşık durumu için çözümleri yapılarak çubuk kesitleri belirlenmiş, sonuçları Tablo 4.26 – 4.29’de verilmiştir.



Düğüm Noktası Yükleri :

$$L_1 = 4.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 0.875 \text{ t.}$$

$$L_1 = 6.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.313 \text{ t.}$$

$$L_1 = 5.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.094 \text{ t.}$$

$$L_1 = 7.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.532 \text{ t.}$$

Şekil 4.8 Sistem 3 için Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri

Tablo 4.26 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	8.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	0.793
O2	-	8.10	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.319
O3	-	13.47	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.319
O4	-	13.47	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.292
O5	-	13.20	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.292
O6	-	13.20	70.70.6	16.26	177	59	1.59	-	1.292
U1	-	-	50.50.5	9.60	-	-	-	-	-
U2	11.78	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.227	-
U3	13.61	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.400	-
U4	11.98	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.248	-
D1	8.82	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.026	-
D2	-	4.68	55.55.5	10.64	218	70	2.91	-	1.281
D3	1.94	-	45.45.5	8.60	218	-	-	0.226	-
D4	-	0.39	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.265
D5	-	0.77	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.523
D6	1.80	-	45.45.5	8.60	289	-	-	0.209	-
V1	-	5.25	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	0.789
V2	-	0.88	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.155
V3	-	0.88	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.226
V4	-	0.88	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.395

Tablo 4.27 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	Ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	10.13	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	0.759
O2	-	10.13	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	0.759
O3	-	16.84	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	1.261
O4	-	16.84	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	1.261
O5	-	16.51	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	1.236
O6	-	16.51	75.75.7	20.20	177	59	1.51	-	1.236
U1	-	-	60.60.6	13.82	-	-	-	-	-
U2	14.73	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.066	-
U3	17.02	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.232	-
U4	14.98	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.084	-
D1	11.03	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.283	-
D2	-	5.85	55.55.5	12.62	218	70	2.91	-	1.350
D3	2.43	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.283	-
D4	-	0.49	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.333
D5	-	0.97	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.659
D6	2.25	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.262	-
V1	-	6.56	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	0.986
V2	-	1.09	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.194
V3	-	1.09	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.283
V4	-	1.09	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.494

Tablo 4.28 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	12.16	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.717
O2	-	12.16	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.717
O3	-	20.22	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.193
O4	-	20.22	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.193
O5	-	19.81	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.168
O6	-	19.81	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.168
U1	0.00	-	65.65.6	15.06	-	-	-	-	-
U2	17.67	-	65.65.6	15.06	-	-	-	1.173	-
U3	20.42	-	65.65.6	15.06	-	-	-	1.356	-
U4	17.98	-	65.65.6	15.06	-	-	-	1.194	-
D1	13.23	-	50.50.5	9.60	-	-	-	1.378	-
D2	-	7.02	60.60.6	13.82	218	70	2.42	-	1.230
D3	2.91	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.338	-
D4	-	0.59	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.400
D5	-	1.16	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.788
D6	2.70	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.314	-
V1	-	7.88	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	1.182
V2	-	1.31	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.236
V3	-	1.31	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.340
V4	-	1.31	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.593

Tablo 4.29 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	Cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	14.19	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.837
O2	-	14.19	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.837
O3	-	23.59	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.392
O4	-	23.59	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.392
O5	-	23.12	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.364
O6	-	23.12	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.364
U1	0.00	-	70.70.7	18.80	-	-	-	-	-
U2	20.62	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.096	-
U3	23.83	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.267	-
U4	20.98	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.115	-
D1	15.44	-	60.60.5	11.64	-	-	-	1.326	-
D2	-	8.20	65.65.6	15.06	218	70	2.13	-	1.160
D3	3.40	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.395	-
D4	-	0.69	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.468
D5	-	1.35	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.917
D6	3.15	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.366	-
V1	-	9.19	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	1.380
V2	-	1.53	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.270
V3	-	1.53	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.397
V4	-	1.53	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.692

Sistem 3 için yapılan çözümlerden belirlenen çubuk kesitlerine göre kafes kirişin her bir aşık durumu için ayrı ayrı metrajı yapılmış ve sonuçları Tablo 4.30 – 4.33’de verilmiştir. Her bir aşık durumu için kafes kirişin ağırlığı W_m hesaplanmıştır.

Tablo 4.30 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O2	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O3	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O4	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O5	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
O6	2	70.70.6	1.77	6.38	45.17
U1	2	50.50.5	1.75	3.77	26.39
U2	2	50.50.5	3.50	3.77	52.78
U3	2	50.50.5	3.50	3.77	52.78
U4	1	50.50.5	3.50	3.77	26.39
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	55.55.5	2.18	4.18	36.45
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					702.00

Tablo 4.31 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O2	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O3	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O4	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O5	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O6	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
U1	2	60.60.6	1.75	5.42	37.94
U2	2	60.60.6	3.50	5.42	75.88
U3	2	60.60.6	3.50	5.42	75.88
U4	1	60.60.6	3.50	5.42	37.94
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	55.55.5	2.18	4.18	36.45
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					838.00

Tablo 4.32 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 3)

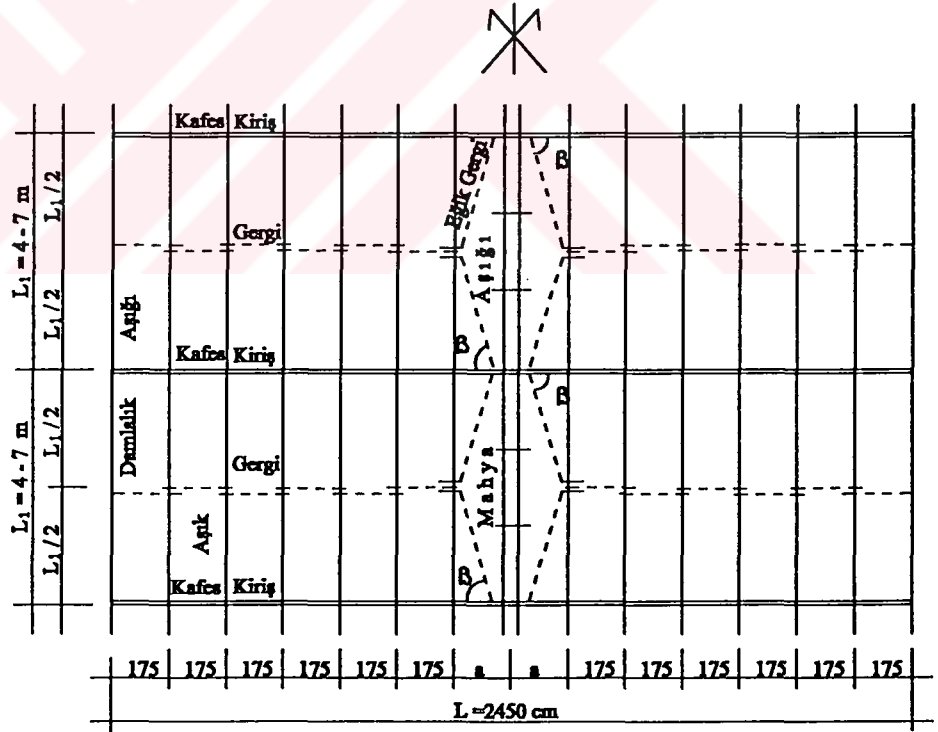
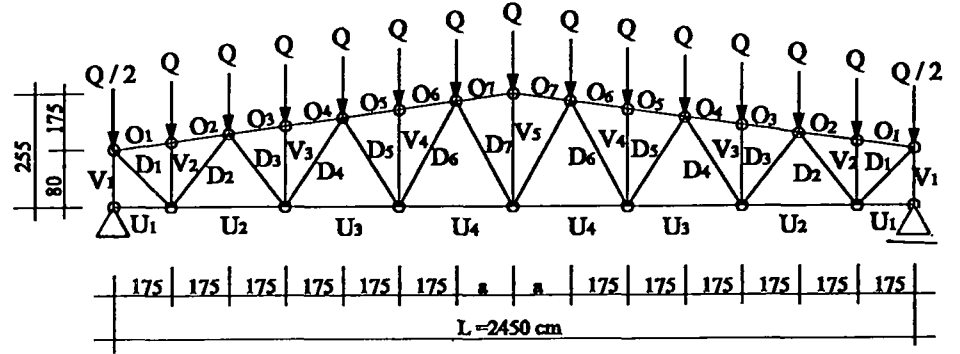
Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O2	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O3	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O4	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O5	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O6	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
U1	2	65.65.6	1.75	5.91	41.37
U2	2	65.65.6	3.50	5.91	82.74
U3	2	65.65.6	3.50	5.91	82.74
U4	1	65.65.6	3.50	5.91	41.37
D1	2	50.50.5	1.92	3.77	29.01
D2	2	60.60.6	2.18	5.42	47.26
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					945.00

Tablo 4.33 Kaf. Kir. Açık. L = 21.00 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 3)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Top. Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O2	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O3	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O4	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O5	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O6	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
U1	2	70.70.7	1.75	7.38	51.66
U2	2	70.70.7	3.50	7.38	103.32
U3	2	70.70.7	3.50	7.38	103.32
U4	1	70.70.7	3.50	7.38	51.66
D1	2	60.60.5	1.92	4.57	35.17
D2	2	65.65.6	2.18	5.42	47.26
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					1013.00

4.3.4. SİSTEM 4 için Kafes Kiriş Çözümü ve Boyutlandırma

Sistemin 4 tip aşık durumu için çözümleri yapılarak çubuk kesitleri belirlenmiş, sonuçları Tablo 4.34 – 4.37’de verilmiştir.



Düğüm Noktası Yükleri :

$$L_1 = 4.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 0.875 \text{ t.}$$

$$L_1 = 6.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.313 \text{ t.}$$

$$L_1 = 5.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.094 \text{ t.}$$

$$L_1 = 7.00 \text{ m.} \rightarrow Q = 1.532 \text{ t.}$$

Şekil 4.9 Sistem 4 İçin Kafes Kiriş, Çatı Planı ve Düğüm Noktası Yükleri

Tablo 4.34 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 4.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		$\sigma=N/F$	$\sigma=\omega.N/F$
-	ton	ton	-	Cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	9.58	┘┘ 75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	0.717
O2	-	9.58	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	0.717
O3	-	16.47	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	1.233
O4	-	16.47	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	1.233
O5	-	16.98	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	1.271
O6	-	16.98	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	1.271
O7	-	14.86	75.75.7	20.2	177	59	1.51	-	1.112
U1	-	-	55.55.6	-	-	-	-	-	-
U2	14.14	-	55.55.6	12.62	-	-	-	1.120	-
U3	17.02	-	55.55.6	12.62	-	-	-	1.348	-
U4	15.98	-	55.55.6	12.62	-	-	-	1.266	-
D1	10.42	-	45.45.5	8.60	-	-	-	1.212	-
D2	-	5.80	60.60.5	11.64	218	70	2.42	-	1.206
D3	2.70	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.313	-
D4	-	1.04	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.706
D5	-	0.30	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.204
D6	1.37	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.159	-
D7	-	2.09	50.50.5	9.60	289	93	6.19	-	1.347
V1	-	6.13	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	0.921
V2	-	0.87	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.153
V3	-	0.87	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.225
V4	-	0.87	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.394
V5	3.33	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.387	-

Tablo 4.35 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		$\sigma=N/F$	$\sigma=\omega.N/F$
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	11.97	┘┘ 80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.706
O2	-	11.97	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	0.706
O3	-	20.59	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.214
O4	-	20.59	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.214
O5	-	21.23	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.252
O6	-	21.23	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.252
O7	-	18.58	80.80.8	24.60	177	59	1.45	-	1.096
U1	-	-	70.70.6	16.26	-	-	-	-	-
U2	17.67	-	70.70.6	16.26	-	-	-	1.09	-
U3	21.27	-	70.70.6	16.26	-	-	-	1.308	-
U4	19.98	-	70.70.6	16.26	-	-	-	1.229	-
D1	13.03	-	50.50.5	9.60	192	-	-	1.357	-
D2	-	7.25	60.60.6	13.82	218	70	2.42	-	1.270
D3	3.37	-	45.45.5	8.60	218	-	-	0.392	-
D4	-	1.28	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.883
D5	-	0.37	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.255
D6	1.71	-	45.45.5	8.60	289	-	-	0.199	-
D7	-	2.61	55.55.5	10.64	289	93	5.12	-	1.255
V1	-	7.66	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	1.151
V2	-	1.09	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.191
V3	-	1.09	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.281
V4	-	1.09	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.493
V5	4.16	-	45.45.5	8.60	255	-	-	0.484	-

Tablo 4.36 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	14.36	∟ 90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	0.695
O2	-	14.36	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	0.695
O3	-	24.71	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	1.196
O4	-	24.71	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	1.196
O5	-	25.48	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	1.233
O6	-	25.48	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	1.233
O7	-	22.30	90.90.8	27.80	177	59	1.35	-	1.079
U1	-	-	70.70.7	18.80	-	-	-	-	-
U2	21.20	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.128	-
U3	25.52	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.357	-
U4	23.98	-	70.70.7	18.80	-	-	-	1.275	-
D1	15.64	-	50.50.6	11.38	-	-	-	1.374	-
D2	-	8.70	65.65.6	15.06	218	70	2.13	-	1.230
D3	4.04	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.470	-
D4	-	1.54	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	1.045
D5	-	0.45	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.305
D6	2.05	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.238	-
D7	-	3.13	60.60.5	11.64	289	92	4.26	-	1.145
V1	-	9.19	45.45.5	8.60	80	26	1.29	-	1.381
V2	-	1.31	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.230
V3	-	1.31	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.338
V4	-	1.31	45.45.5	8.60	205	66	3.09	-	0.591
V5	4.99	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.581	-

Tablo 4.37 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kesit Hesapları (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Normal Kuvvet		Seçilen Kesit	Kesit Alanı	Burk. Boyları		Burk. Kat (ω)	Gerilmeler	
	Çekme	Basınç			S _k	S _{k1}		σ=N/F	σ=ω.N/F
-	ton	ton	-	cm ²	cm	cm	-	t/cm ²	t/cm ²
O1	-	16.76	∟ 90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	0.728
O2	-	16.76	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	0.728
O3	-	28.83	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	1.252
O4	-	28.83	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	1.252
O5	-	29.72	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	1.291
O6	-	29.72	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	1.291
O7	-	26.01	90.90.9	31.00	177	59	1.35	-	1.130
U1	-	-	75.75.8	23.00	-	-	-	-	-
U2	24.74	-	75.75.8	23.00	-	-	-	1.076	-
U3	29.78	-	75.75.8	23.00	-	-	-	1.294	-
U4	27.97	-	75.75.8	23.00	-	-	-	1.215	-
D1	18.24	-	60.60.6	13.82	-	-	-	1.320	-
D2	-	10.15	70.70.6	16.26	218	70	1.95	-	1.215
D3	4.72	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.549	-
D4	-	1.79	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	1.215
D5	-	0.52	45.45.5	8.60	251	80	5.84	-	0.353
D6	2.39	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.278	-
D7	-	3.65	60.60.5	11.64	289	92	4.26	-	1.336
V1	-	10.72	50.50.5	9.60	80	26	1.23	-	1.374
V2	-	1.53	45.45.5	8.60	105	35	1.52	-	0.270
V3	-	1.53	45.45.5	8.60	155	50	2.23	-	0.397
V4	-	1.53	45.45.5	8.60	205	66	3.89	-	0.692
V5	5.82	-	45.45.5	8.60	-	-	-	0.672	-

Sistem 4 için yapılan çözümlerden belirlenen çubuk kesitlerine göre kafes kirişin herbir aşık durumu için ayrı ayrı metrajı yapılmış ve sonuçları Tablo 4.38 – 4.41’de verilmiştir. Herbir aşık durumu için kafes kirişin ağırlığı W_m hesaplanmıştır.

Tablo 4.38 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. $L_1 = 4.00$ m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu (m)	Birim Ağırlık (kg/m)	Top. Ağırlık (kg)
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	JL 75.75.7	1.77	7.94	56.22
O2	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O3	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O4	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O5	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O6	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
O7	2	75.75.7	1.77	7.94	56.22
U1	2	55.55.6	1.75	4.18	29.26
U2	2	55.55.6	3.50	4.18	58.52
U3	2	55.55.6	3.50	4.18	58.52
U4	2	55.55.6	3.50	4.18	58.52
D1	2	45.45.5	1.92	3.38	26.01
D2	2	60.60.5	2.18	4.57	39.85
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
D7	2	50.50.5	2.89	3.77	43.58
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
V5	1	45.45.5	2.55	3.38	17.24
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W_m					935.16

Tablo 4.39 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 5.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Toplam Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O2	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O3	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O4	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O5	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O6	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
O7	2	80.80.8	1.77	9.66	68.39
U1	2	70.70.6	1.75	6.38	44.66
U2	2	70.70.6	3.50	6.38	89.32
U3	2	70.70.6	3.50	6.38	89.32
U4	2	70.70.6	3.50	6.38	89.32
D1	2	50.50.5	1.92	3.77	29.01
D2	2	60.60.6	2.18	5.42	47.26
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
D7	2	55.55.5	2.89	4.18	48.32
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
V5	1	45.45.5	2.55	3.38	17.24
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					1143.30

Tablo 4.40 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 6.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Toplam Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O2	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O3	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O4	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O5	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O6	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
O7	2	90.90.8	1.77	10.90	77.17
U1	2	70.70.7	1.75	7.38	51.66
U2	2	70.70.7	3.50	7.38	103.32
U3	2	70.70.7	3.50	7.38	103.32
U4	2	70.70.7	3.50	7.38	103.32
D1	2	50.50.6	1.92	4.47	34.40
D2	2	65.65.6	2.18	5.91	51.54
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
D7	2	60.60.5	2.89	4.57	52.83
V1	2	45.45.5	0.80	3.38	10.82
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
V5	1	45.45.5	2.55	3.38	17.24
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI W _m					1302.94

Tablo 4.41 Kaf. Kir. Açık. L = 24.50 m, Aşık Açık. L₁ = 7.00 m için Kaf. Kir. Ağırlığı (SİSTEM 4)

Çubuk Adı	Benzeri	Seçilen Kesit	Çubuk Boyu	Birim Ağırlık	Toplam Ağırlık
-	-	-	(m)	(kg/m)	(kg)
O1	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O2	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O3	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O4	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O5	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O6	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
O7	2	90.90.9	1.77	12.20	86.38
U1	2	75.75.8	1.75	9.03	63.21
U2	2	75.75.8	3.50	9.03	126.42
U3	2	75.75.8	3.50	9.03	126.42
U4	2	75.75.8	3.50	9.03	126.42
D1	2	60.60.6	1.92	5.42	41.71
D2	2	70.70.6	2.18	6.38	55.63
D3	2	45.45.5	2.18	3.38	29.47
D4	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D5	2	45.45.5	2.51	3.38	33.94
D6	2	45.45.5	2.89	3.38	39.07
D7	2	60.60.5	2.89	4.57	52.83
V1	2	50.50.5	0.80	3.77	12.06
V2	2	45.45.5	1.05	3.38	14.20
V3	2	45.45.5	1.55	3.38	20.96
V4	2	45.45.5	2.05	3.38	27.72
V5	1	45.45.5	2.55	3.38	17.24
KAFES KİRİŞİN TOPLAM AĞIRLIĞI				W _m	1425.90

Tüm bu sistemlerin kafes kiriş orta noktalarındaki çökmeler de hesaplanmış Tablo 4.42’de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.42 Kafes Kiriş Çökmeleri

Kaf.Kir. Sistem Tipi	Açıkl.	Düğüm Noktası Yükleri (Q) ve Sehimler (f _{max})							
	L	Q	f _{max}	Q	f _{max}	Q	f _{max}	Q	f _{max}
	(m)	(ton)	(cm)	(ton)	(cm)	(ton)	(cm)	(ton)	(cm)
1	14.00	0.875	1.23	1.094	2.31	1.313	3.37	1.532	2.04
2	17.50	0.875	1.37	1.094	2.42	1.313	3.19	1.532	2.29
3	21.00	0.875	1.59	1.094	2.63	1.313	3.39	1.532	2.44
4	24.50	0.875	1.80	1.094	2.70	1.313	3.47	1.532	2.55
Aşık Açıklığı	L ₁ = 4.00 m		L ₁ = 5.00 m		L ₁ = 6.00 m		L ₁ = 7.00 m		

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Burada özet olarak “aşık + kafes kiriş” sistemin optimizasyonu araştırılmıştır. Bu doğrultuda tipi örgü çubukları düzeni aynı kalmak üzere, belli bir çatı örtüsü tipi için kafes kirişin açıklıkları değiştirilerek sistemin ağırlığı hesaplanmıştır. Bu ağırlık makasın yük aldığı / kapsadığı alana bölünerek birim alana düşen malzeme ağırlığı bulunmuş ve bunların karşılaştırması / kıyaslaması yapılmıştır. Sistemin genel anlamda optimizasyonu için kafes kiriş örgü çubuklarının oluşturulmasına yönelik, ara aşık, sık aşık düzenlerini karşılaştırmak mümkündür.

Açıklıkları $L=14.00, 17.50, 21.00, 24.50$ m şeklinde değişen 4 tip kafes kiriş sistem öz ağırlık + tam kar yükleri altında 4 tip aşık açıklığı ($L_1=4.00, 5.00, 6.00, 7.00$ m) için ayrı ayrı çözülerek aşık kesitleri ve kafes kiriş çubuk kesitleri belirlenmiştir. Sonra bu sistemlerin herbirine ilişkin toplam aşık ağırlıkları (W_a) kafes kiriş ağırlığı (W_m) hesaplanmıştır. Bu bölümde bulunan sonuçlar ve bunların değerlendirilmesi yapılacaktır. $A_f=L \times L_1$ yatay düzlemde bir kafes kiriş aralığına karşılık gelen alan olmak üzere herbir sistemde birim alana düşen aşık ağırlığı $g_a=W_a/A_f$, kafes kiriş ağırlığı $g_m=W_m/A_f$ ve toplamı $g=g_a+g_m$ şeklinde bulunarak sonuçlar karşılaştırılmaktadır.

Tablo 5.1 Sistem 1 ($L=14$ m) için Ağırlıklar

L_1	W_a	W_m	W	A_f	g_a	g_m	g	g_a/g	g_m/g
m	kg	kg	kg	m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2		
4	334	389	723	56.00	5.96	6.95	12.91	0.46	0.54
5	555	427	982	70.00	7.93	6.10	14.03	0.57	0.43
6	666	440	1106	84.00	7.93	5.24	13.17	0.60	0.40
7	1001	458	1459	98.00	10.91	4.67	14.88	0.69	0.31

Tablo 5.2 Sistem 2 ($L=17.5$ m) için Ağırlıklar

L_1	W_a	W_m	W	A_f	g_a	g_m	g	g_a/g	g_m/g
m	kg	kg	kg	m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2		
4	400	526	926	70.00	5.71	7.51	13.22	0.43	0.57
5	666	602	1268	87.50	7.61	6.88	14.49	0.53	0.47
6	799	644	1440	105.00	7.61	6.13	13.74	0.55	0.45
7	1201	704	1908	122.50	9.80	5.75	15.55	0.63	0.37

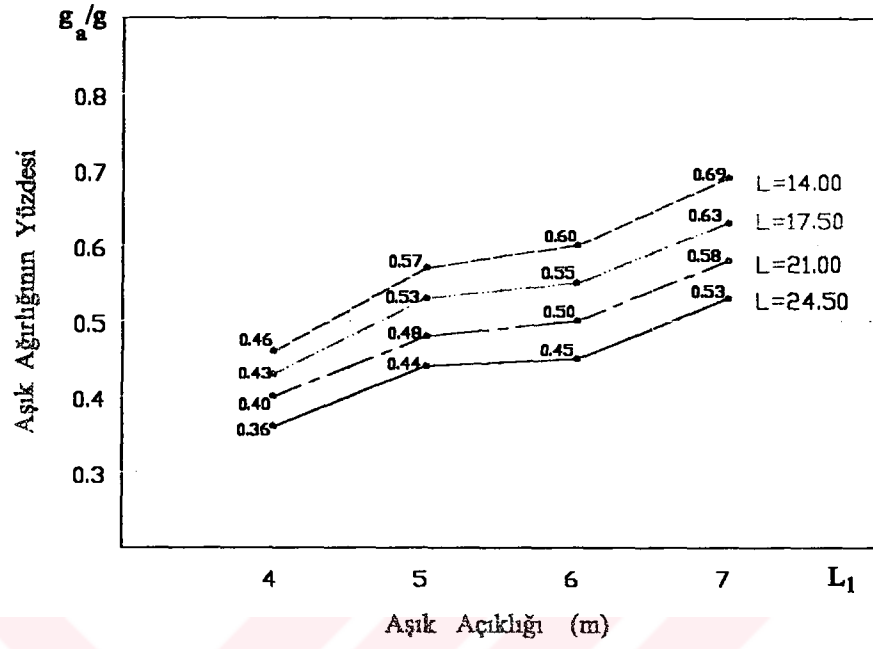
Tablo 5.3 Sistem 3 (L=21.00 m) için Ağırlıklar

L_l	W_a	W_m	W	A_f	g_a	g_m	g	g_a/g	g_m/g
m	kg	kg	kg	m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2		
4	467	702	1169	84.00	5.56	8.36	13.92	0.40	0.60
5	777	838	1617	105.00	7.40	7.98	15.38	0.48	0.52
6	932	945	1872	126.00	7.40	7.50	14.90	0.50	0.50
7	1401	999	2413	147.00	9.53	6.80	16.33	0.58	0.42

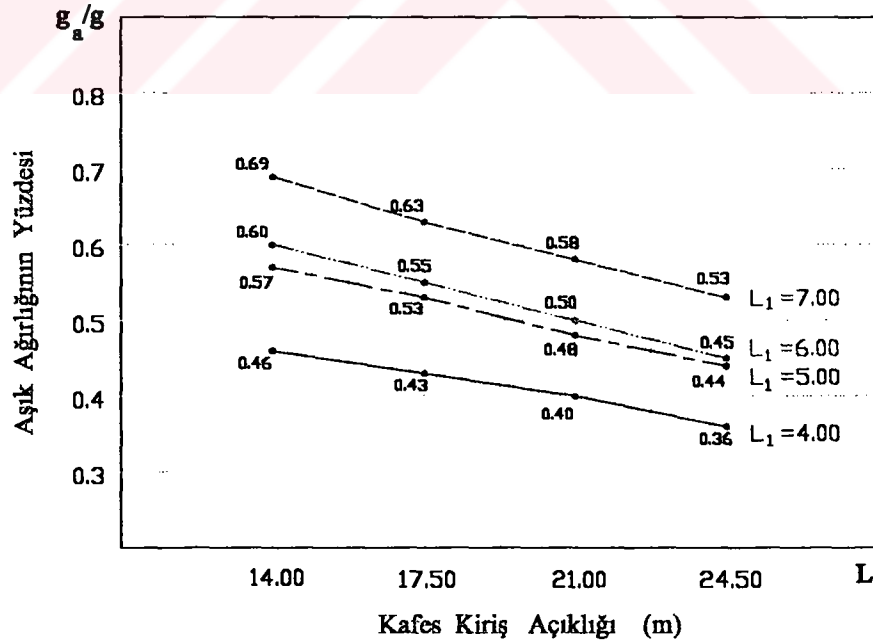
Tablo 5.4 Sistem 4 (L=24.50 m) için Ağırlıklar

L_l	W_a	W_m	W	A_f	g_a	g_m	g	g_a/g	g_m/g
m	kg	kg	kg	m^2	kg/m^2	kg/m^2	kg/m^2		
4	533	935	1468	98.00	5.44	9.54	14.98	0.36	0.64
5	888	1143	2031	122.50	7.25	9.33	16.58	0.44	0.56
6	1066	1303	2369	147.00	7.25	8.86	16.12	0.45	0.55
7	1602	1426	3026	171.50	9.34	8.31	17.65	0.53	0.47

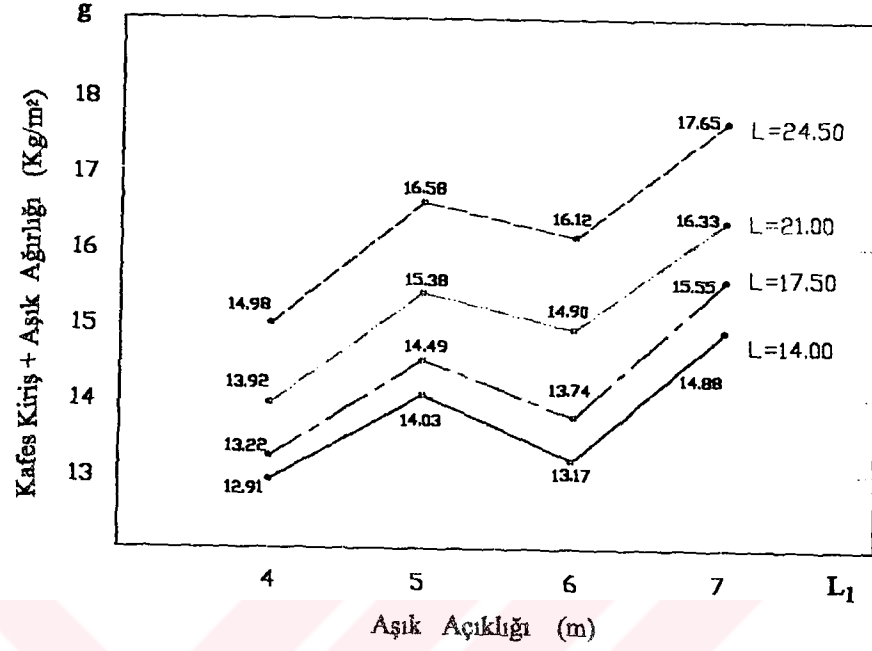
Tablo 5.1-5.4’de herbir “kafes kiriş + aşık” düzeni için hesaplanan W_a , W_m , $W=W_a+W_m$ sırasıyla toplam aşık, kafes kiriş ve bunların toplamı ile bu ağırlıkların A_f alanına bölünmesiyle bulunan g_a , g_m ve g yayılı yük değerleri toplu olarak verilmektedir. Şekil 5.1 ve 5.2’de her bir sistem için birim alana düşen aşık ağırlığının, aşık açıklıklarına ve kafes kiriş açıklığına bağlı olarak değişimi, Şekil 5.3 ve 5.4’de ise birim alana düşen “aşık + kafes kiriş” ağırlığının aşık açıklığı ve kafes kiriş açıklığına bağlı olarak değişimi grafik olarak tasvir edilmiştir.



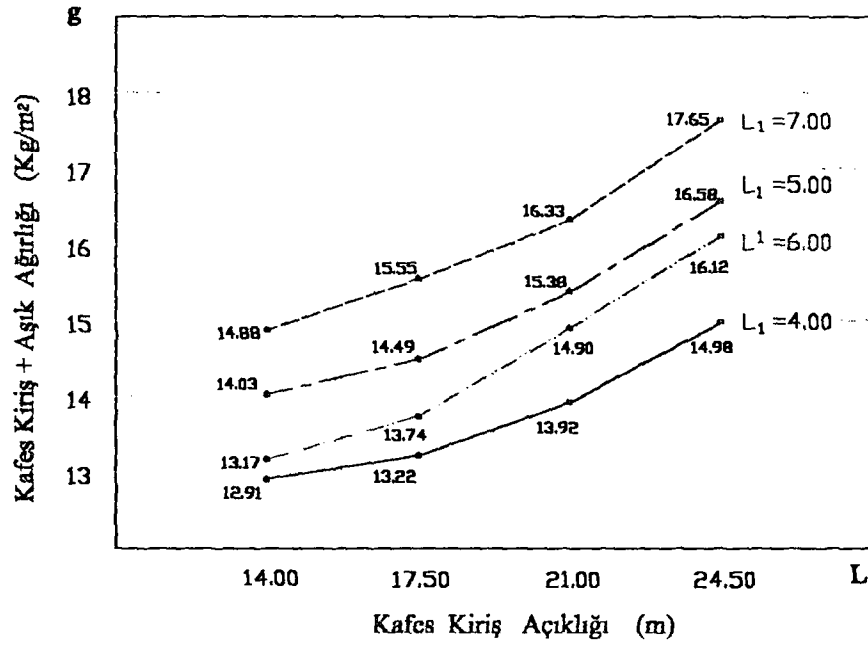
Şekil 5.1 Aşık Açıklıklarına bağlı Olarak Aşık Ağırlığının Değişimi (g_a/g)



Şekil 5.2 Kafes Kiriş Açıklıklarına Bağlı Olarak Aşık Ağırlıklarının Değişimi (g_a/g)



Şekil 5.3 Aşık Açıklığına Bağlı Olarak Birim Alana Düşen “Kafes Kiriş + Aşık” Ağırlığı (g)



Şekil 5.4 Kafes Kiriş Açıklığına Bağlı Olarak Birim Alana Düşen “Kafes Kiriş + Aşık” Ağırlığı (g)

Bu çalışmada örnek olarak alınmış tipik “kafes kiriş + aşık” sistemlerin çözümlerinden belirlenen kesitlere göre herbir sistemin ağırlıkları hesaplandıktan sonra sistemde birim alana düşen ağırlıklar için Şekil 5.1 – 5.4’deki eğriler elde edilmiştir. Bu eğrilerin incelenmesinden çalışmaya konu olan bu tip sistemler için aşağıdaki sonuçlara varılmaktadır;

- Aşık açıklığının değişen tüm değerleri için, kafes kiriş açıklığı arttıkça, aşık ağırlığının sistem ağırlığı içindeki payı azalmaktadır. Örneğin $L_1=4.00$ m, $L=14.00$ m $\rightarrow g_a/g=0.46$ iken, $L_1=4.00$ m, $L=24.50$ m $\rightarrow g_a/g=0.36$ ’ya düşmektedir. Diğer bir deyişle g_a/g oranı %10 azalmaktadır (Şekil 5.2).
- Aşık açıklığının artması ile birlikte kafes kiriş açıklığı da arttığında, aşık ağırlığının sistem ağırlığı içindeki azalma etkisi daha da büyümektedir. Örneğin $L_1=7.00$ m, $L=14.00$ m $\rightarrow g_a/g=0.69$ iken $L_1=7.00$ m, $L=24.50$ m $\rightarrow g_a/g=0.53$ olup, bu azalma oranı %16 mertebesinde. Bu azalma $L_1=4.00$ m için bulunan değer (%10)’in oldukça üstündedir (Şekil 5.1 – 5.2).
- Aşık açıklığının herbir değeri için kafes kiriş açıklığı arttıkça birim alana düşen ağırlık da artmaktadır. Bu artış, kafes kiriş açıklığının $L=14.00-24.50$ m aralığında, aşık açıklığı $L_1=4.00$ m, %16, $L_1=7.00$ m, %19 mertebesinde (Şekil 5.4).
- Aşık açıklığının $L_1=4.00$ m olması durumunda bütün sistemler için birim ağırlık minimum değerler almaktadır (Şekil 5.4).
- Aşık açıklığının 4.00 m’den 5.00 m’ye çıkartılması durumunda birim ağırlığın değeri bütün sistemlerde artmaktadır. Bu artış kafes kiriş açıklığının artırıldığı durumlarda az da olsa artış eğilimi göstermektedir. Örneğin $L=14.00$ m $\rightarrow$ %9 iken; $L=17.50 \rightarrow$ %10; $L=21.00 \rightarrow$ %10.50; $L=24.50 \rightarrow$ %11’e yükselmektedir (Şekil 5.3).
- Aşık açıklığı $L_1=6.00$ m olması durumunda, kafes kiriş açıklığının bütün değerleri için birim alana düşen ağırlığın miktarı $L_1=5.00$ m olması durumundakine göre azalmaktadır. Büyük aşık açıklığı-büyük kafes kiriş açıklığı durumunda bu azalma eğilimi etkisini kaybetmeye başlamaktadır (Şekil 5.3).

- Aşık açıklığının 7.00 m olması durumunda kafes kiriş açıklığının artması ile birlikte sistem ağırlığı yüksek değerlerde artmaktadır. Bu artış $L=14.00-24.50$ m aralığında %19 mertebesinde (Şekil 5.3 – 5.4).
- Sık ($L_1=4.00$ ve 5.00 m) ve küçük kafes kiriş açıklıklı düzende elemanların minimum ölçüleri , bu tip düzelerin verimini düşürmektedir. Gerçekten eleman boyutlarının alttan sınırlı oluşu, küçük kesit zorlarına karşın, gereksiz malzeme kullanımına yol açmaktadır; özellikle küçük açıklıklı kafes kirişlerde aks aralığının büyük seçilmesi gereği ekonomik açıdan bir zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

Bütün bunlardan aşık açıklığının 4.00 m olması durumu, ağırlık bakımından minimum değerler vermektedir. Ancak yapının bütünü düşünüldüğünde, böyle bir sistemin yapı içinde eleman adedinin artacağı açıktır. Bu durum, sistem ağırlığını değiştirmese de işçiliği önemli ölçüde etkileyebilir. Öte yandan aşık açıklığının küçük olması mimari ve kullanım yönünden de uygun düşmeyebilir. Uygulamada genellikle geniş geçişler arzu edilir. O halde kullanım ve ekonomik bakımdan en uygun sistem aşık açıklığının $L_1=6.00$ m olması durumlarında ortaya çıkmaktadır. Bu sistem ağırlık bakımından da minimum değerlere oldukça yakındır.

Yapılan bu çalışmadan çıkan en belirgin sonuç eğer bir sınırlama yok ise, işçilik unsuru da dikkate alındığında en ekonomik çözümün seçilen çatı örtüsü ve düzenlemede $L=17.50$ m ve $L_1=6.00$ m değerleri için olacağı görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] **DUMAN, N., ÖZGEN, K.**, 1973. Çelik Yapılar Ders Notu Özetleri, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [2] **ULUĞ, T.N.**, 1977. Çelik Yapılar, Uluğ Kitabevi, İstanbul.
- [3] **KAYAN, İ.**, 1981. Düzlem ve Uzay Kafes Sistemler, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [4] **ULUĞ, T.N., ODABAŞI, Y.**, 1979. Ahşap ve Çelik İnşaat Hesapları, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [5] **İNAN, M.**, 1981. Cisimlerin Mukavemeti, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [6] **CELASUN, H.**, 1974. Çelik Köprüler, Çağlayan Kitabevi, İstanbul.
- [7] **ÇAKIROĞLU, A., ÖZGEN, E., ÖZMEN, G.**, 1970. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, Dizerkonca Matbaası, İstanbul.
- [8] **ÇAKIROĞLU, A., ÖZGEN, E., ÖZMEN, G.**, 1974. Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [9] **TS-648**, 1982. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] **Monografiler Ç2**, 1974. Çelik Yapılarda Basınç Çubuklarının ve Kolonların DIN 4114'e Göre Hesabı, İ.T.Ü., İstanbul.
- [11] **TS-498**, 1977. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [12] **ODABAŞI, Y.**, 1982. Çelik Çatı Elemanlarının Ekonomik Çözümleri, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [13] **ÇELEBİ, T.**, 1978. Sanayi Yapı Projeleri, Birsen Kitabevi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Orhan Albaş 24.09.1964 yılında Rize’de doğmuştur. 1981 yılında Sefaköy Lisesinden mezun olmuştur. 1981 yılında girdiği Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden yatay geçişle Yıldız Teknik Üniversitesi’ne geçmiş ve 1985 yılında mezun olmuştur. Aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. 1989 yılında M.S.B. Erzurum Askerlik Daire Başkanlığında İnşaat Subayı olarak askerlik görevini yaptıktan sonra, 1991 yılında serbest mühendislik ve uygulamaları yapmakta olan kendine ait şirketini kurmuş ve halen bu alanda çalışmalarına devam etmektedir.

