

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**ÇELİK DÜZLEMSEL KAFES KİRİŞLERDE KAFES TİPİ VE YÜKSEKLİĞİNİN AĞIRLIK VE
MALİYETE ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimar ZEYNEP İPEKÇİ

**OCAK 2020
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİMARLIK ANABİLİM DALI

**ÇELİK DÜZLEMSEL KAFES KİRİŞLERDE KAFES TİPİ VE YÜKSEKLİĞİNİN AĞIRLIK
VE MALİYETE ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Mimar Zeynep İPEKÇİ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"YÜKSEK MİMAR"

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 / 02 / 2020

Tezin Savunma Tarihi : 28 / 01 / 2020

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

Trabzon 2020

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Mimarlık Anabilim Dalında
Zeynep İPEKÇİ Tarafından Hazırlanan**

**ÇELİK DÜZLEMSEL KAFES KİRİŞLERDE KAFES TİPİ VE YÜKSEKLİĞİNİN AĞIRLIK
VE MALİYETE ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 03 / 01 / 2020 gün ve 1835 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.**

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ

Üye : Doç. Dr. Nilhan VURAL

Üye : Doç. Dr. Fatma Zehra ÇAKICI


.....
.....
.....

**Prof. Dr. Asim KADIOĞLU
Enstitü Müdürü**

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez sürecim boyunca anlayış ve sabrı ile beni yönlendiren, bilgi ve tecrübeleri ile bana yol gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ'a, tez sürecinde fikirlerine ve bilgilerine başvurduğum İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarımdan Sayın Doç. Dr. Tayfun DEDE ve Sayın Doç. Dr. Temel TÜRKER'e, bu süreçte yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Zeynep İPEKÇİ

Trabzon 2020

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Çelik Düzlemsel Kafes Kirişlerde Kafes Tipi ve Yüksekliğinin Ağırlık ve Maliyete Etkileri Üzerine Çalışma” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 28/01/2020

Zeynep İPEKÇİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VIII
SUMMARY	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.2. Literatür Çalışması.....	2
1.3. Çelik Yapıların Tarihçesi	5
1.4. Yapı Malzemesi Olarak Çelik.....	12
1.4.1. Tanım	12
1.4.2. Çelik Malzemenin Özellikleri	13
1.4.2.1. Çeliğin Üretimi	16
1.4.2.2. Yapısal Çelik Elemanları	17
1.4.2.2.1. Profil	17
1.4.2.2.2. Lamalar	20
1.4.2.2.3. Levhalar	20
1.4.2.3. Çelik Elemanların Birleşim Yöntemleri	21
1.4.2.3.1. Perçin	21
1.4.2.3.2. Bulon.....	22
1.4.2.3.3. Kaynak	22

1.4.2.3.4. Yapıştırma.....	23
1.4.3. Çelik Malzemenin Avantajları ve Dezavantajları.....	24
1.4.3.1. Avantajları.....	24
1.4.3.2. Dezavantajları	26
1.4.4. Çelik Malzemenin Korunmasına Dair Önlemler	28
1.4.4.1. Çelik Yapıların Korozyondan Korunmasına Dair Önlemler	28
1.4.4.2. Çelik Yapıların Yangından Korunmasına Dair Önlemler.....	30
1.4.5. Çelik Yapı Elemanları.....	36
1.4.5.1. Kolonlar	36
1.4.5.2. Kirişler	38
1.4.5.3. Döşemeler	41
1.4.6. Çelik Malzemeli Taşıyıcı Sistemler.....	43
1.4.6.1. Çerçeve Sistemler	43
1.4.6.2. Uzay Kafes Sistemler.....	45
1.4.6.3. Asma (Kablolu) Sistemler.....	48
1.4.6.4. Şişirme (Pnömatik) Sistemler	51
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	53
2.1. Örnek Yapıya Dair Kabuller.....	53
2.2. Düzlem Kafes Kirişlere Dair Kabuller	54
2.2.1. Trapez Kafes Tipi.....	55
2.2.2. Üçgen Kafes Tipi	56
2.2.3. Parabolik Kafes Tipi	58
2.2.4. Hilal Kafes Tipi.....	59
2.3. Sisteme Etkiyen Yüklere Dair Kabuller	61
2.4. SAP2000 Programına Dair Kabuller	62
3. BULGULAR VE İRDELEMELER.....	65
3.1. Trapez Kafes Tipine Ait Bulgular.....	65

3.2.	Üçgen Kafes Tipine Ait Bulgular	71
3.3.	Parabolik Kafes Tipine Ait Bulgular	77
3.4.	Hilal Kafes Tipine Ait Bulgular	83
3.5.	Yükseklik Kazancı Olmayan Kafes Tiplerine Ait Bulgular	89
3.6.	40 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	90
3.7.	80 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	91
3.8.	120 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	92
3.9.	160 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	93
3.10.	200 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	94
3.11.	240 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular	95
4.	SONUÇLAR	98
5.	KAYNAKLAR	101
6.	EKLER	110
ÖZGEÇMİŞ		

ÖZET

**ÇELİK DÜZLEMSEL KAFES KİRİŞLERDE KAFES TİPİ VE YÜKSEKLİĞİNİN
AĞIRLIK VE MALİYETE ETKİLERİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA**

Zeynep İPEKÇİ
Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Mustafa KAVRAZ
2020, 100 Sayfa, 12 Sayfa Ek

Çelik, yapı sektöründe sürdürülebilirlik, ekonomiklik, dayanıklılık vb. özellikleri ile ön plana çıkan bir malzemedir. Ülkemizde henüz oluşmaya başlayan çevresel bilinç ve teknolojiadaki gelişmeler ile çelik malzemenin bu sektörde daha büyük bir paydaya sahip olması kaçınılmaz bir durum haline gelmektedir. Bu kapsamda yapılan tez çalışmasında yapısal çelik malzemeden ve kullanım alanlarından söz edilerek, çelik taşıyıcılığı ve geniş açıklığa sahip örnek bir sanayi yapısı tasarlanmış, tasarlanan yapı üzerinden optimum ağırlık ve maliyet incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışma dört bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde tezin amaç ve kapsamından söz edilerek çelik malzeme ile ilgili kapsamlı bilgiler sunulmuştur. Yapılan Çalışmalar bölümünde tasarlanan örnek sanayi yapısı tanıtılmıştır. 30 m açıklık geçen sanayi yapısı için; trapez, üçgen, parabolik ve hilal kafes tipleri seçilmiş, her kafes tipi için mekanda yükseklik kazancı sağlamayan, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm yükseklik kazancı sağlayan olmak üzere yedi farklı kafes tipi oluşturulmuştur. Toplamda oluşturulan 28 farklı düzlemsel kafes kiriş SAP2000 programında optimum ağırlığı sağlayacak şekilde modellenmiştir. Bulgular ve İrdelemeler bölümünde elde edilen veriler ile her kafes tipi ve yükseklik kazancı için ağırlık ve maliyet bakımından en optimum sonucu veren düzlemsel kafes kirişler saptanmıştır. Sonuçlar bölümünde ise bir önceki bölümde elde edilen sonuçlara dayanarak yapılan çıkarımlar ve önerilere yer verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapılar, Düzlemsel Kafes Kiriş, Geniş Açıklık, Ağırlık, Maliyet

Master Thesis

SUMMARY

A STUDY ON EFFECTS OF TRUSS TYPE AND HEIGHT OF THE 2D TRUSS SYSTEM ON WEIGHT AND COST

Zeynep İPEKÇİ

Karadeniz Technical University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Architectural Graduate Program
Supervisor: Assoc. Doc. Dr. Mustafa Kavraz
2019, 100 Pages, 12 Pages Appendi

Steel is a material that stands out in the building sector with its sustainability, affordability, durability, etc. features. It is inevitable that steel material will have a greater share in this sector with the increasing environmental awareness and technological developments in our country. In this thesis study, structural steel material and its usage areas have been mentioned and an exemplary industrial structure with a wide span and steel structure has been designed and optimum weight and cost calculations have been carried out on the designed structure.

The study consists of four parts. In the introduction chapter, the purpose and scope of the thesis is mentioned and comprehensive information about steel material is submitted. The designed industrial structure is introduced in the "Studies" section. For the industrial building with a span of 30 m; trapezoidal, triangular, parabolic and crescent lattice types have been selected, and for each lattice type, which do not provide height gain in the space and provide height gain in 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm and 240 cm has been created. A total of 28 different 2D trusses were modeled to provide optimum weight in the SAP2000 program. The 2D trusses were determined that provide the optimum result in terms of weight and cost for each truss type and height gain with the acquired data in "Findings and Evaluations" section. In the "Conclusions" section the inferences based on the results acquired in the previous section and suggestions are given.

Keywords: Steel Structures, 2D Lattice Truss, Wide Span, Weight, Cost

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Coalbrookdale Köprüsü	6
Şekil 2.	Menai Köprüsü ve Mythe Köprüsü	6
Şekil 3.	Britannia Köprüsü	7
Şekil 4.	Crystal Palace	8
Şekil 5.	Eyfel Kulesi	8
Şekil 6.	Fourt Demiryolu Köprüsü	9
Şekil 7.	Chrysler Binası ve Empire State Binası	10
Şekil 8.	Lake Shore Drive Apartmanları	11
Şekil 9.	Pompiduo Binası	11
Şekil 10.	Hong Kong ve Shanghai Banka Binası ile Stansted Havaalanı.....	12
Şekil 11.	Demir (a) ve çeliğin (b) demir kristal yapısı	13
Şekil 12.	Çeliğin çekmeye karşı şekil değiştirme grafiği	14
Şekil 13.	Haddeleme Proses Şeması	16
Şekil 14.	IPE, NPI profil kesitleri	18
Şekil 15.	UPE, U profil kesitleri	18
Şekil 16.	Eşit kenar ve çeşitkenar köşebent profil kesitleri	18
Şekil 17.	T profil kesiti	19
Şekil 18.	Kare, dikdörtgen ve daire kesitli boşluklu profiller	19
Şekil 19.	Çelik lama.....	20
Şekil 20.	Çelik levha	21
Şekil 21.	Perçinleme işlemi	22
Şekil 22.	Bulon ve elemanları	22
Şekil 23.	Elektrik ark kaynağı.....	23
Şekil 24.	Isı etkisi altında çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği	27
Şekil 25.	Çelik yapı elemanlarının yangın davranışı	27
Şekil 26.	Çelik taşıyıcılarda kütleli yalıtım örnekleri	31
Şekil 27.	Yangın sınıflarına göre çelik kaplama kalınlıkları	31
Şekil 28.	Çelik taşıyıcıların sıva ile yalıtılması	32
Şekil 29.	Çelik taşıyıcı yüzeyine uygulanan sıvalarda kullanılan katkı malzemelerinin yangın dayanım süreleri	33

Şekil 30.	Püskürtme uygulaması ve kesit gösterimi .	33
Şekil 31.	Çelik taşıyıcı elemanların kutuya alma yöntemi ile yalıtımı	34
Şekil 32.	Çelik taşıyıcı elemanların su dolaşım yöntemiyle soğutularak yalıtılması	35
Şekil 33.	Sürekli birleşik kolon gösterimleri	36
Şekil 34.	Tam ek ve temas ek görünüş çizimi .	37
Şekil 35.	Petek kiriş	38
Şekil 36.	Düzlem kafes kiriş şema örnekleri .	40
Şekil 37.	Hamburg Havaalanı uzay kafes kiriş görseli	41
Şekil 38.	Tek yönde kiriş sistemi, iki yönde kiriş sistemi ve üç kirişli sistem .	42
Şekil 39.	Kompozit döşeme sistemi	42
Şekil 40.	Basit mesnetli çerçeve	43
Şekil 41.	Çok gözlü çerçeve	44
Şekil 42.	Kırık kirişli çerçeveler	44
Şekil 43.	Farklı biçimlerdeki kemer örnekleri	45
Şekil 44.	Zagreb Havaalanı uzay kafes sistem örneği .	46
Şekil 45.	Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler	47
Şekil 46.	Tek eğrilikli uzay kafes sistemler	47
Şekil 47.	Çift eğrilikli uzay kafes sistemler .	48
Şekil 48.	Tek eğrilikli, tek tabakalı asma sistemler .	49
Şekil 49.	Tek eğrilikli, çift tabakalı asma sistem .	49
Şekil 50.	Çift eğrilikli, tek tabakalı asma sistem	50
Şekil 51.	Çift eğrilikli, çift tabakalı asma sistem.	50
Şekil 52.	Ingalls Hockey Alanı kablo ağı asma sistem örneği.....	51
Şekil 53.	Fuji grubu pavyonu pnömatik sistem örneği	51
Şekil 54.	Çift tabakalı pnömatik sistem	52
Şekil 55.	Örnek yapının trapez tipine ait üç boyutlu görsel.....	53
Şekil 56.	Örnek yapının trapez tipine ait plan ve kesit	54
Şekil 57.	Trapez kafes tipinde oluşturulan kafesler	55
Şekil 58.	Üçgen kafes tipinde oluşturulan kafesler.....	56
Şekil 59.	Parabolik kafes tipinde oluşturulan kafesler.....	58
Şekil 60.	Hilal kafes tipinde oluşturulan kafesler	59
Şekil 61.	Trapez kafes tipi için kar yükü gösterimi	62
Şekil 62.	SAP 2000 programında atanan S235 çelik malzeme özellikleri	63

Şekil 63.	SAP 2000 programında belirlenen profil kesitleri.....	64
Şekil 64.	Kafes T 1 profil kesitleri.....	65
Şekil 65.	Kafes T 2 profil kesitleri.....	66
Şekil 66.	Kafes T 3 profil kesitleri.....	66
Şekil 67.	Kafes T 4 profil kesitleri.....	67
Şekil 68.	Kafes T 5 profil kesitleri.....	67
Şekil 69.	Kafes T 6 profil kesitleri.....	68
Şekil 70.	Kafes T 7 profil kesitleri.....	68
Şekil 71.	Trapez kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.....	70
Şekil 72.	Trapez kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.....	71
Şekil 73.	Kafes U 1 profil kesitleri.....	71
Şekil 74.	Kafes U 2 profil kesitleri.....	72
Şekil 75.	Kafes U 3 profil kesitleri.....	72
Şekil 76.	Kafes U 4 profil kesitleri.....	73
Şekil 77.	Kafes U 5 profil kesitleri.....	73
Şekil 78.	Kafes U 6 profil kesitleri.....	74
Şekil 79.	Kafes U 7 profil kesitleri.....	74
Şekil 80.	Üçgen kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.....	76
Şekil 81.	Üçgen kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.....	77
Şekil 82.	Kafes P 1 profil kesitleri.....	77
Şekil 83.	Kafes P 2 profil kesitleri.....	78
Şekil 84.	Kafes P 3 profil kesitleri.....	78
Şekil 85.	Kafes P 4 profil kesitleri.....	79
Şekil 86.	Kafes P 5 profil kesitleri.....	79
Şekil 87.	Kafes P 6 profil kesitleri.....	80
Şekil 88.	Kafes P 7 profil kesitleri.....	80
Şekil 89.	Parabolik kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.....	82
Şekil 90.	Parabolik kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.....	83
Şekil 91.	Kafes H 1 profil kesitleri.....	83
Şekil 92.	Kafes H 2 profil kesitleri.....	84
Şekil 93.	Kafes H 3 profil kesitleri.....	84
Şekil 94.	Kafes H 4 profil kesitleri.....	85
Şekil 95.	Kafes H 5 profil kesitleri.....	85

Şekil 96.	Kafes H 6 profil kesitleri	86
Şekil 97.	Kafes H 7 profil kesitleri	86
Şekil 98.	Hilal kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği	88
Şekil 99.	Hilal kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.....	89
Şekil 100.	Tüm kafes tiplerine ait kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.....	96
Şekil 101.	Tüm kafes tiplerine ait kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.	97



TABLolar DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. TS498’da yer alan kar yükleri.....	61
Tablo 2. TS498’da yer alan çatı eğimine bağlı azaltma değerleri.....	61
Tablo 3. Trapez kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri....	69
Tablo 4. Üçgen kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	75
Tablo 5. Parabolik kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri 81	
Tablo 6. Hilal kafes tipine ait kafes yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	87
Tablo 7. Yüksekli kazancı olmayan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	90
Tablo 8. 40 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı tavan ağırlık ve maliyet bilgileri	91
Tablo 9. 80 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	92
Tablo 10. 120 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	93
Tablo 11. 160 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	94
Tablo 12. 200 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	95
Tablo 13. 240 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri	96
Tablo 14. Tüm kafes tiplerine ait ağırlık bilgileri	98
Tablo 15. Tüm kafes tiplerine ait maliyet bilgileri.....	99

SEMBOLLER DİZİNİ

E	: Elastik Modülü
G	: Kayma Modülü
P_k	: Kar yükü hesap değeri
P_{k0}	: Zati kar yükü
m	: Çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri
α_1	: Lineer ısı katsayısı
μ	: Poisson oranı



1. GİRİŞ

Demir ve karbon alaşımından oluşan çelik malzeme tarihi çağlardan beri birçok alanda kullanılırken 18. yy.dan itibaren yapı alanında da etkili şekilde yer edinmeye başlamıştır. Özellikle köprüler, sanayi yapıları, spor yapıları, kültür yapıları, depo, hangar gibi geniş açıklıklı ve çok katlı yapılarda tercih edilen çelik malzeme ilk kurulum maliyetinin fazla olması, projelendirme ve uygulama aşamalarında teknik yeterlilik gerektirmesi vb. sebeplerle bu gibi yapıların dışında diğer malzemelere göre geri planda kalmıştır.

Çelik, fiziksel özellikleri gereği yüksek dayanıma sahip yapısal bir malzemedir ve üretim aşamasında, kullanılacak yere göre istenilen yapısal özelliklere, şekle ve ölçülere sahip bir biçimde üretilmektedir. Fabrikalarda standartlara uygun olarak üretilen ve gerekli testleri yapılan çelik malzemelerin yapım sahasında çevresel şartlardan etkilenmeksizin hızlı ve kolay şekilde birleşimleri sağlanabilmektedir. Yapının imalatı sırasında zaman ve iş gücünden tasarruf sağlanarak hızlı ve kolay üretiminin sağlanması, uzun ömürlü olması, bakım ve onarım masraflarının az olması sayesinde çelik uzun periyotta bakıldığında oldukça ekonomik bir malzemedir. Tüm bunların yanı sıra çeliğin en önemli özelliği çevreci bir malzeme olmasıdır. %100 geri dönüştürülebilir bir malzeme olan çelik, ömrünü tamamlayan bir yapıdan sonra yeniden yapı malzemesi olarak veya yeni üretilen çelik malzemenin hammaddesi olarak kullanılabilir. Çelik malzemenin üretimi sırasında oluşan tüm atık malzemeler çeşitli alanlarda girdi maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca üretim sürecinde oluşan gazlar, ısı ve elektrik üretiminde de kullanılabilirken, kullanılan suyun %90'ı mevcut halinden daha temiz bir şekilde kaynaklara geri döndürülebilir.

Çelik malzemenin sürdürülebilirliği, ekonomikliği ve yapısal olarak dayanımı göz önünde bulundurulduğunda, dünya çapında gözetilen ve ülkemizde özellikle son yıllarda oluşmaya başlayan çevresel bilinç ve teknolojik gelişmelerin de etkisiyle, yapı sektöründe daha büyük paydaşa sahip olacağı aşikardır. Bu sebeple yapılan çalışma ile çelik malzemenin yapısal özellikleri, kullanım alanları, uygulama türleri vb. konular hakkında bilgi verilmiş ve çelik malzemelerde optimum ağırlık ile maliyeti sağlamak adına örnek bir çalışma yapılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Hazırlanan tez kapsamında çelik malzeme ve çelik yapılar hakkında kapsamlı bilgi verilerek tasarlanan çelik taşıyıcı yapılarda optimum ağırlık ve maliyeti sağlamak adına örnek bir çalışma oluşturmak amaçlanmıştır. Bu çalışmada büyük açıklığa sahip sanayi yapıları için çelik taşıyıcılı düzlemsel kafes kiriş çatı sisteminden oluşan bir örnek yapı tasarlanarak gerekli incelemeler bu yapı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 30 metre açıklık geçen düzlemsel kafes kirişler için kafes tipi ve yüksekliğinin ağırlık ve dolayısıyla da maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sisteme etkileyen yüklerden sistem ağırlığı ve kar yükü baz alınarak hesaplamalar yapılmış, rüzgar ve deprem yükleri bu örnek çalışma için göz ardı edilmiştir. Trapez, üçgen, parabolik ve hilal olmak üzere oluşturulan 4 farklı kafes tipinin her biri için yükseklik kazancı olmayan ve alt başlığın 40'ar cm yukarı kaldırılmasıyla oluşturulan 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm yükseklik kazancı sağlayan yedişer farklı kiriş şekli oluşturulmuş ve bu şekil değişikliklerine bağlı olarak sistemin çalışmasını sağlayan en uygun profil kesitleri SAP2000 programı ile belirlenmiştir. Profil uzunluk ve kesitlerindeki değişikliklerle beraber sistemin ağırlık ve maliyeti de değişmektedir. Tez kapsamında kazanılan yükseklik ve gerektirdiği maliyet karşılaştırılarak kafes tipi için optimum çözüm aranmıştır.

1.2. Literatür Çalışması

Dede, Ayvaz ve Bekiroğlu (2003) tarafından yapılan çalışmada ayırık tasarım değişkenlerinin kullanıldığı genetik algoritma yöntemiyle yapının minimum ağırlıkta tasarlanmasını sağlayacak bir program kodlanmıştır. Program sayesinde, literatürden alınan 25 çubuklu uzay kafes sistem ve 75 çubuklu uzay kafes sistem örnekleri genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile tasarlanmış ve önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonunda genetik algoritma yönteminin uzay kafes sistemlerin tasarımları için uygun bir yöntem olduğu ve ayrıca tasarım sürecinin daha kısa sürdüğü sonuçlarına varılmıştır.

Orbay ve Savaşır (2004) tarafından, tonoz biçimli çift katlı uzay kafes sistemlerin; geçilen açıklık, sistem yüksekliği ve doğuray şekli açısından etkinlikleri ile ağırlıkları üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapının doğrultman uzunluğu 12 m, doğrultman bölünme sayısı 4, zemine mesnet sayısı 4, uzay kafes sistemin iki katmanı arasındaki yükseklik 2,5 m olarak belirlenmiştir. Değişkenlerden geçilen açıklık için, 30

m'den başlayarak 5 metre aralıklarla 60 m'ye kadar 7 farklı değer; geometrik yükseklik için, 5 m yükseklikten başlayarak 2,5 metre aralıklarla 22,5 m'ye kadar 8 farklı değer ve doğuray yayı için, çember, parabol ve elips yay olmak üzere 3 farklı şekil belirlenmiştir. Sistemi oluşturmak için geliştirilen bilgisayar programında optimizasyon yöntemi bulunduğundan gerekli dayanımı sağlayan minimum ağırlıktaki elemanlar program tarafından saptanmıştır. Yapılan analizler sonucunda sistemin geometrik yüksekliği ile geçilen açıklık arasında 1/5 ila 1/6 aralığında bir oranın sağlanması gerektiği ve parabol yayın bu oranı sağlamada en iyi sonucu verdiği saptanmıştır. Ayrıca çok basık sistemlerde yüksek iç gerilmeler olacağından en kesit alanının arttığı, çok yüksek sistemlerde yükseklikle birlikte yüzey alanının genişlemesinin sistem ağırlığını da etkilediği bu sebeple maliyetin yükseldiği belirtilmiştir.

Avcı (2005) tarafından yapılan çalışmada; 54x18 m boyutlarında 3,2 m yüksekliğinde 9 kattan oluşan bir iş merkezi yapısının 1998 yılı Deprem Yönetmeliği esas alınarak çelik ve kompozit olarak tasarımı gerçekleştirilmiş, bu sistemler metraj, maliye analizi ve ekonomiklik bakımından karşılaştırılmıştır. Çok katlı bu yapının kesit tesir değerleri SAP2000 programı ile çözümlenerek boyutlandırması yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda taşıyıcı sistemde kullanılan tüm malzemelere işçilik giderleri de eklendiğinde kompozit sistemin çelik sisteme göre %37 daha ekonomik olduğu ayrıca kompozit yapılarda daha küçük kesitler oluştuğundan kullanılabilir alandan da tasarruf edildiği belirlenmiştir.

Ata vd., (2005) tarafından yapılan çalışmada 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m açıklıkta, 6 m ve 9 m yükseklikte olmak üzere 10 farklı hangar yapısı çelik ve prefabrike betonarme olarak tasarlanmıştır. Yapıların taşıyıcı sistem ile birlikte temel, kolon, makas ve bağlantı elemanları da dahil olmak üzere maliyet hesabı yapılarak bu veriler karşılaştırılmıştır. Hangar yapısının İzmir ilinde inşa edileceği kabul edilmiş, fiyatlandırma Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2004 birim fiyatları ve bu bölgedeki piyasa fiyatları dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda prefabrik betonarme taşıyıcı sistemin çelik sisteme oranla %16-36 daha ucuz olduğu saptanmış ancak yapıların ekonomik ömürleri, bakım masrafları ve deprem dayanımları da dikkate alındığında çelik sistemlerin bu tür yapılarda uzun vadede daha avantajlı olacağı belirtilmiştir.

Toğan ve Daloğlu (2006) tarafından yapılan çalışmada, genetik algoritma yönteminden faydalanarak belirlenen uzay kafes sistemlerin profil en kesitleri ve düğüm noktaları değişken olarak seçilmiş ve sistemlerin minimum ağırlıkta olacak şekilde

tasarlanması sağlanmıştır. Çalışmada öncelikle genetik algoritmadan ve optimizasyon yöntemi olarak avantajlarından bahsedilmiş daha sonra 25 eleman, 10 düğüm noktalı uzay kafes sistem; 72 eleman, 20 düğüm noktalı uzay kafes sistem; 154 elemanlı iletim hattı kulesi ve 52 elemanlı kubbe örnekleri bu genetik algoritma yöntemi ile tasarlanmıştır. Çalışma sonucunda sistemi oluşturan elemanların en kesitlerinin yanı sıra belirli düğüm noktalarının koordinatlarının tasarım değişkeni olarak belirlenmesi ile daha düşük ağırlıkta ve daha iyi düzenlenmiş yapı sistemlerinin oluşturulabileceği saptanmıştır.

Taştekin vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada; aynı boyutlardaki sanayi yapılarının yapı tipi, deprem bölgesi, yapının açıklığı ve nakliye mesafesi değiştirilerek ömür ve bakım masrafları da göz önünde bulundurularak avantaj ve dezavantajları ekonomik olarak karşılaştırılmıştır. Her biri 7,5 m olan 5 açıklıklı, ilk iki açıklığında asma kat bulunan, 9 m açıklığında sundurmaya sahip ve asma katın olmadığı hollerde 5,75 m kotuna yerleştirilen 10 ton taşıma kapasiteli kren bulunan sanayi yapısı çözümlenmesi SAP2000 programı yardımıyla yapılmıştır. Çalışmada yapı tipi; prefabrike betonarme, çelik ve kompozit, deprem bölgesi; 1., 2., 3., ve 4. dereceden Deprem Bölgesi, geçilen açıklıklar; 15 m, 18 m, ve 22 m, nakliye mesafesi ise; 50 km, 100 km, 150 km ve 200 km olacak şekilde belirlenmiş, ve bu sistemlerin kombinasyonundan oluşan 144 çerçeve analiz edilmiş ve bu çerçevelerin maliyet karşılaştırılması yapılmıştır. Maliyet hesaplarında 2006 Bayındırlık Bakanlığı birim fiyatları ve çeşitli firmalardan alınan fiyatlardan yararlanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda nakliye mesafesinin maliyeti arttırdığı ancak bu artışın ağırlığı fazla olması sebebiyle prefabrike yapı türünde daha fazla olduğu ayrıca deprem bölgesi değişiminin en çok prefabrike sistemde maliyeti etkilediği, açıklık değişiminin ise çelik yapılarda diğer yapılara oranla daha fazla maliyet artışına sebep olduğu gözlemlenmiştir. İlk yapı maliyeti açısından prefabrike sistemlerin diğer sistemlere oranla daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır.

Kozanoğlu ve Suk (2015) tarafından yapılan çalışmada; 22 m yüksekliğe ve 22 m konsol uzunluğuna sahip stadyum yapısının taşıyıcı elemanları makaslı ve dolu gövdeli olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmış, bu iki farklı sistem maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Yapı yarım daire formunda ve her biri 8 m olan 5 açıklıktan oluşacak şekilde oluşturulmuştur. Tasarlanan stadyumun 1. derece Deprem Bölgesinde, Z3 tipi zemin üzerinde, deniz seviyesinden 300 m yükseklikte olduğu varsayılmış ve zati, kar, rüzgar yükleri TS498'den, deprem yükleri ise DBYBHY-2007'den yararlanarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda dolu gövdeli sistem maliyetinin makas

sistemden 3 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmada çıkan sonuçların bu yapı verileri açısından değerlendirilmesi gerektiği, dolu gövdeli sistemlerin farklı form ve arazi şartlarında ekonomik sonuçlar verebileceği de belirtilmiştir.

Amil vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; 10 katlı betonarme veya çelik taşıyıcı sisteme sahip yapının farklı açıklıklarına aynı özellikte 6 adet perde yerleştirilerek 6 farklı model oluşturulmuş ve oluşturulan modellerin davranış bakımından incelenmesi yapılmıştır. İncelenen sistemler SAP2000 Yapısal Çözümleme Programı ile çözümlenmiş ve yatay dinamik yük olarak 1999 Kocaeli Depremi spektral ivme kayıtlarının Doğu-Batı bileşenine ait değerler kullanılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak betonarme sistem ile en uygun perde yerleşimi belirlenmiş daha sonra betonarme malzeme yerine çelik malzeme kullanılarak yapının yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda betonarme malzeme yerine çelik malzeme kullanımının yer değiştirme ve kesit etkileri bakımından önemli ölçüde bir farklılık oluşturmadığı saptanmıştır.

Işık vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; aynı kalıp planına sahip üç katlı çelik bir yapının taşıyıcı elemanları farklı şekillerdeki profiller kullanılarak üç farklı biçimde tasarlanmış, her tasarımın x ve y doğrultusundaki tepe yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada tüm kolon ve kirişler aynı en kesit olacak şekilde kurgulanmıştır. 2 cm kesit genişliği, 3 cm kesit yüksekliği ve 0,15 cm kesit kalınlığı olan I, L ve kutu profiller kullanılmıştır. Yazılım programı kullanılarak yapılan analizler ile her profil için farklı taban kesme kuvvetleri ve tepe yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler sonucunda x ve y doğrultusunda aynı atalet moment değerine sahip olduğundan kutu profiller ön plana çıkmış, I ve L profillerin ise x ve y doğrultularındaki atalet momentleri farklı değerlere sahip olduğundan elde edilen değerler arasında farklılıklar bulunmuştur.

1.3. Çelik Yapıların Tarihçesi

Tarihi süreç boyunca inşa işlerinde önemli bir öge olan demirin mimaride ilk kullanımına Antik Yunan'da rastlanmaktadır. 16. yy.a kadar yapı malzemeleri arasında bağlantı elemanı ve pencere detaylarında kullanılan demir bu yüzyıldan itibaren strüktürel yapı elemanı olarak yapılarda yer almaya başlamıştır. Özellikle de kemer, tonoz gibi sistemlerin mesnet noktalarında yatay yükleri karşılayacak şekilde kullanılmıştır (Kurtay

ve Badem, 2004). 18. yy.a gelindiğinde ise üretim ve uygulamalarda meydana gelen gelişmeler sonucunda, demir yapı alanında daha geniş kullanım imkânı bulmuştur.

Demirin temel yapı malzemesi olarak kullanılması 18. yy.da İngiltere’de yüksek fırınların geliştirilmesiyle başlamıştır. Bu zamana kadar birçok Gotik yapıda dökme demir kullanılmasına rağmen dökme demirin bütünde kullanıldığı ilk yapı İngiltere’de Severn Nehri üzerinde 1777-1779 yılları arasında inşa edilen Coalbrookdale Köprüsü olmuştur (Şekil 1). 30 metre açıklığa sahip olan Coalbrookdale Köprüsü’nde dökme demirin fiziksel yetersizlikleri nedeniyle kısa boylarda sıkıştırma elemanları kullanılmıştır.



Şekil 1. Coalbrookdale Köprüsü (URL-7, 2019).

Thomas Telford tarafından 1819-1826 yılları arasında inşa edilen ve bugün hala kullanılmakta olan Menai Köprüsü ve 1823-1826 yılları arasında inşa edilen Mythe Köprüsü dökme demirin kullanıldığı önemli yapı örnekleri arasında yer almaktadır (Sharp, 1993) (Şekil 2). Bu dönemde yapılan köprüler, font demirin çekme dayanımı düşük olduğundan kemer tarzında inşa edilmişlerdir (Deren vd., 2003).



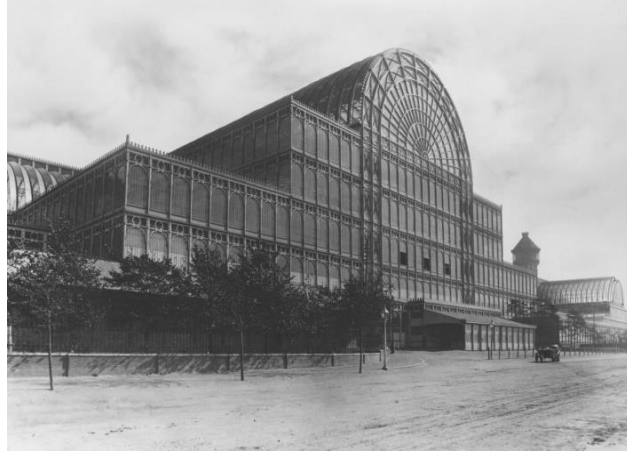
Şekil 2. Menai Köprüsü ve Mythe Köprüsü (URL-8, 2019; URL-9,2019).

İlerleyen yıllarda yeni tekniklerin geliştirilmesi ile iyi kalitede dövme demir üretilmeye başlanmıştır. Dökme demire oranla daha az karbon oranına sahip olan dövme demirin işlenebilirlik özelliği ile çekme dayanımının daha yüksek oluşu yapı alanında kullanımının daha uygun olmasını sağlamıştır. Dövme çeliğin üretilmesiyle birlikte bu dönemde dolu gövdeli ana kirişli ve kafes ana kirişli köprüler ile ilk asma köprüler inşa edilmiştir. 140 metre orta açıklık geçen ve dolu gövdeli sandık kirişlere sahip İngiltere Menai Boğazı üzerinde 1846 yılında inşa edilen Britannia Köprüsü ile 131 metre açıklık geçen ve sık dokulu kafes kirişlere sahip olacak şekilde 1857 yılında Batı Prusya Dirschau'da inşa edilen Weichsel Köprüsü, dövme çelikle inşa edilen yapı örnekleri arasında yer almaktadır (Deren vd., 2003) (Şekil 3).



Şekil 3. Britannia Köprüsü (URL-10, 2019).

1851 yılında Joseph Paxton tarafından sergi binası olarak tasarlanan Crystal Palace getirdiği yeniliklerle mimarlık tarihinde önemli bir yere sahip olmuştur (Şekil 4). Standart cam levhalar ile modüler dökme demir kolon ve kirişlerden oluşan yapı, standart yapı parçalarının prefabrikasyonu ve yapım süresinin örgütlenmesi gibi konularda önemli gelişmelere öncülük etmiştir. Crystal Palace'ın strüktürel parçalarının çizimleri 8 gün, parçaların imalatı ise 9 ay gibi kısa bir sürede tamamlanarak bu parçalar Londra Hyde Parkta bir araya getirilmiştir. Kurulup sökülebilir özelliğe sahip olan Crystal Palace Londra'daki sergi bittikten sonra sökülüp Sydenham'da daha da genişletilerek yeniden kurulmuş ve 1936 yılında çıkan bir yangına kadar burada kullanılmıştır (Roth, 2006).



Şekil 4. Crystal Palace (URL-11).

19. yüzyılın önemli bir diğer yapısı ise yeni malzemeler ve özel metotların kullanıldığı Eyfel Kulesi'dir. Fransız İhtilalinin 100.yıl kutlamaları için Gustav Eiffel tarafından tasarlanan yapı 7.300 ton ağırlığı ve 300 m uzunluğu ile zamanının en yüksek yapısı olmuştur. Yapımı 2 yıl süren Eyfel Kulesi prefabrike elemanlardan oluşmuş ve bu elemanlar perçinleme metoduyla bir araya getirilmiştir (Sharp, 1993) (şekil 5).



Şekil 5. Eyfel Kulesi (Kavraz,2019).

19. yy.ın ikinci yarısında Bessemer (1855), Siemens- Martin (1864) ve Thomas (1879) fırınlarının geliştirilmesiyle birlikte sıvı çelik arıtılabildi; yapısal olarak daha avantajlı, ekonomik ve hızlı bir şekilde çelik üretimi sağlanmıştır (Deren vd., 2003). Bu gelişmelerle birlikte dökme çelik yapı alanında hızla yer kazanmaya başlamıştır. 1890 yılında tamamlanan Fourt Demiryolu Köprüsü modern çelik kullanılarak yapılan büyük açıklıklı ilk köprü olmuştur (Şekil 6). En büyüğü 523 metre olmak üzere çok sayıda açıklığa sahip olan köprü, perçinleme ve cıvatalama yöntemleriyle bir araya getirilen birçok çelik borudan oluşmaktadır (Sharp, 1993).



Şekil 6. Fourt Demiryolu Köprüsü (URL-12, 2019).

20. yy. başlarında çelik üretimindeki teknoloji daha da geliştirilerek haddeleme işlemi ile çelik profil elemanlar üretilmeye başlanmıştır (Eyyübov, 2004). Ayrıca kaynaklı birleşim yönteminin önce çok katlı yapılarda daha sonra da köprülerde kullanılmaya başlanmasıyla birlikte günümüz modern çelik konstrüksiyon anlayışı oluşmuştur (Deren vd., 2003).

1930 yılında William Van Allen tarafından tasarlanan 319 m yüksekliğindeki Chrysler Binası ile 1931 yılında Shreve, Lamb & Harmon tarafından tasarlanan 381 m yüksekliğindeki Empire State Binası, çelik kullanımı sayesinde gelişen yüksek katlı binaların 20. yy.da dikkat çeken ilk örnekleri arasında yer almıştır (Özgen ve Sev, 2000) (Şekil 7).



Şekil 7. Chrysler Binası ve Empire State Binası (URL-13, 2019; URL-14,2019).

1939-1945 yılları arasında meydana gelen 2. Dünya Savaşı nedeniyle çelik ile ilgili gelişmeler yavaşlamış ancak savaş sonrası yapılanma sürecinin hızlı olabilmesi için sanayi, konut, okul vb. binaların yapımında çelik malzeme kullanılmıştır. Bu süreçte çelik sistemlere ait hesaplama yöntemleri ve tasarım esaslarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir (Özhendekçi, 2019).

2. Dünya Savaşı sonrası uluslararası çelik sitiline öncülük eden Mies van der Rohe, Chicago Illinois Teknoloji Enstitüsü Mimarlık Bölümünde yöneticilik yapmaya başlayarak önceden tasarladığı cam kule yapma fikrini burada hayata geçirme fırsatı bulmuştur. ABD'nin gelişmiş endüstriyel üretim olanakları sayesinde hayata geçirilen Lake Shore Drive Apartmanları Projesinde çelik elemanlar beton kaplama ile çevrelenerek daha sağlam çerçeveler elde edilmiş ve yangın korunumu sağlanmıştır (Şekil 8). Tasarladığı bu yapıyla cam kule fikrine öncülük eden Mies'in 1957 yılında tamamlanan ve giydirme cephe sisteminin ilk uygulandığı New York Park Avenue'deki Seagram Binası da çelik yapı tarihinde önemli bir yere sahip olmuştur (Roth, 2006).



Şekil 8. Lake Shore Drive Apartmanları (URL-15, 2019).

20. yy.ın ikinci yarısında çok katlı yapılarda meydana gelen gelişmelerin yanı sıra 1960'lı yıllarda Alman mimar Frei Otto tarafından geliştirilen kablolu sistemler ve Rudolph Doernach tarafından geliştirilen pnömatik sistemler çelik malzemenin mimaride yeni bir boyut kazanmasını sağlamıştır (Sharp, 1993-1).

1970'li yıllara gelindiğinde ise tasarım ve üretim aşamasında yüksek teknoloji ürünlerinin kullanıldığı; standartlaşma, makineleşme ve seri üretimin ön plana çıktığı Hi-tect akımı oluşmaya başlanmıştır. 1977 yılında Fransa'da sergi binası olarak tasarlanan Pompiduo Binası, Hi-tect akımının başta gelen örnekleri arasında yer almıştır (Şekil 9). Renzo Piano ve Richard Rogers'in tasarladığı bina, dış cepheleri ile iç mekanlarında kullanılan çelik malzemeler ve modern uygulamalarıyla 20. yy.ın önemli yapılarından biri olmuştur (Sezgin, 2005; Türkçü, 2009).



Şekil 9. Pompiduo Binası (Kavraz, 2019).

Nicholas Grimshaw tarafından tasarlanan ve inşası 1985 yılında tamamlanan 178.8 m yüksekliğe sahip Hong Kong ve Shanghai Banka Binasının cephesinde yer alan çelik çerçeveler ve bunların arasına yerleştirilen devasa boylardaki kafes kirişlerden oluşan iskelet sistemi ile Norman Foster tarafından tasarlanan ve 1991 yılında tamamlanan Londra'daki Stansted Havaalanının ağaç dallarına benzetilerek oluşturulan taşıyıcı sistemi 20. yy.a ait öne çıkan önemli çelik sistem örnekleri arasında yer almaktadır (Türkçü, 2009) (Şekil 10).



Şekil 10. Hong Kong ve Shanghai Banka Binası ile Stansted Havaalanı (URL-16, 2019; URL-17, 2019).

1.4. Yapı Malzemesi Olarak Çelik

1.4.1. Tanım

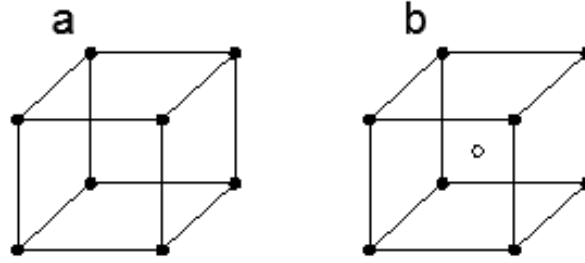
Demir cevherinden elde edilen çelik; demir elementinin karbon ve az miktarda çeşitli elementlerle oluşturduğu bir alaşımdır. Kullanım alanı oldukça geniş olan bu alaşım demir elementine göre 1000 kata kadar daha dayanıklı olacak şekilde üretilmektedir (Erşen, 1996; URL-1, 2019).

Çelik, doğada oksit, hidroksit, karbon vb. maddelerle karışık halde bulunan demir cevherinden elde edilmektedir. Bu cevherin kok kömürü kullanılan yüksek sıcaklıktaki fırınlarda ergitilmesiyle bünyesinde %5 oranında karbon (C) bulunan *ham demir* elde edilmektedir. Ham demire özel nitelikli fırınlarda bazı katkı maddelerin eklenmesiyle çekme mukavemeti düşük ve işlenebilme özelliği olmayan *font* üretilmektedir. Fontun

bünyesinde %4 karbon (C) bulunmaktadır (Şahin ve Ünal, 2007). Fonttan sonra geliştirilen yöntemlerle dövme çelik üretimi mümkün kılınmıştır. *Dövme çelik* basma kuvvetinin etkisiyle daha küçük tane boyutlu, dolayısıyla da mukavemeti ve tokluğu daha yüksek olan bir malzemedir (URL-2, 2019). Yüksek sıcaklıklı fırınlarda eritilen font ile hurda çeliğin hava üfleme işlemine tabi tutularak karbon oranının %2,4 ile %4 oranına düşürülmesiyle üretilen malzeme ise *dökme çelik* olarak bilinmektedir (Biggs, 1993).

1.4.2. Çelik Malzemenin Özellikleri

Çelik kristal bir yapıya sahiptir. İzotrop ve rijit yapısı sayesinde her yön ve doğrultuda yüksek dayanım özelliği göstermektedir. Kullanım amacına göre istenilen özelliklerde üretilen endüstriyel/yapısal çeliğin çekme, basınç, eğilme, kopma ve akma sınırları yüksektir. Sünek bir malzeme olan çelik sert yapıdadır ve aşınmaya karşı dayanıklıdır. Dövülebilme, işlenebilme ve kaynaklanabilme özelliklerine sahiptir. Yüksek ısıdan olumsuz etkilenir ve korozyona karşı önlem gerektirmektedir (Türkçü, 1997) (Şekil 11).

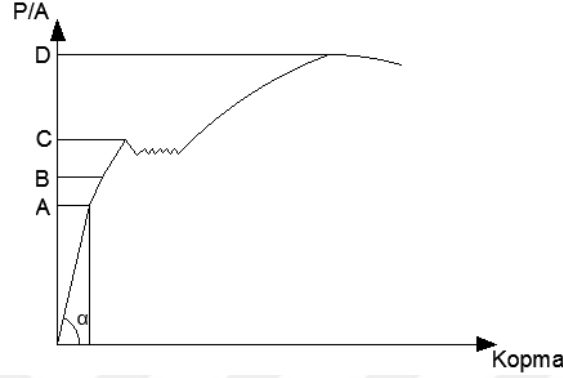


Şekil 11. Demir (a) ve çeliğin (b) demir kristal yapısı (Eyyübov, 2004).

Çelik her yönde ve doğrultuda aynı dayanımsal özelliğe sahip olması sebebiyle mukavemet hesaplarında kullanılan malzeme kabulüne en iyi uyan malzemedir (Karaduman,1999).

Şekil 12 çeliğin çekme deneyi sonucunda çekme kuvvetine karşı şekil değiştirme miktarını göstermektedir. Yapı çeliğinde elastik sınır (B) aşılmadıkça malzeme elastik özellik göstermektedir. Elastiklik, uygulanan kuvvetin kalkması durumunda malzemenin ilk şeklini almasını gösteren özelliktir. Grafikte B sınırına kadar olan kısım Hooke

Kanunun geçerli olduğu alanı göstermekte ve elastik sahayı belirtmektedir. Gerilme C sınırı olarak gösterilen akma sınırına geldiğinde ise malzemede plastik deformasyonlar görülmektedir. Bundan dolayı çelik emniyet gerilmeleri bu sınıra göre belirlenmektedir (Erşen, 1996).



Şekil 12. Çeliğin çekmeye karşı şekil değiştirme grafiği (Erşen, 1996).

Çeliğin yapısında demir ve karbon elementinin yanında az miktarda silisyum, manganez, kükürt ve fosfor elementi de bulunmaktadır. Çelik üretimi sırasında malzemenin kullanım amacına yönelik olarak karbon oranı belli miktarda azaltılarak (< %1.7) krom, nikel, bakır, molibden, vanadyum vb. elementler çeliğin bünyesine eklenmektedir (Şahin ve Ünal, 2007). Çeliğin yapısına katılan elementlerin özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

Demir (Fe): Demir elementi çeliğin ana maddesi olup dünyada en yaygın olan 4. elementtir (%5) (URL-1, 2019). Demir elementi yumuşak, kolay şekil alabilen yapıya sahiptir ve iyi bir iletkenidir. Yumuşak yapısından dolayı işlenmeden endüstri sanayiinde kullanılamamaktadır (Eren, 2007).

Karbon (C): Çeliğin kalitesini belirleyen en önemli element karbondur. Doğadaki demir cevherinin bünyesinde %5 oranında karbon bulunmaktadır ancak karbon çeliğe sertlik ve mukavemet kazandırırken çekme dayanımı, kaynaklanabilme, dövülebilme, işlenebilme özelliklerini azaltmaktadır. Bu sebeple çelik bünyesinde karbon miktarı %1-2 oranına düşürülmektedir (Karaduman, 1999).

Silisyum (Si): Çeliğe dayanıklılık kazandırmakta ve sıvı haldeki çeliğin bünyesinde bağlı halde bulunan oksijenin serbest kalmasını sağlamaktadır. Ancak çeliğin

kaynaklanabilme özelliğini ve paslanmaya karşı direncini olumsuz yönde etkilemektedir. Karbon miktarı az olan çeliklerde %0,3, katkı malzemesi az olan çeliklerde ise %1,1 oranında bulunmaktadır (Eyyübov, 2004).

Alüminyum (Al): Darbeye karşı çeliğe dayanıklılık kazandırmaktadır. Sıvı haldeki çeliğin bünyesinde bağlı halde bulunan oksijenin serbest kalmasını sağlamakta ve demir cevherinin bünyesinde doğal olarak bulunan fosforun çelik üzerindeki olumsuz etkilerini engellemektedir (Eyyübov, 2004).

Krom (Cr): Çeliğin mukavemetini ve paslanmaya karşı olan direncini arttırmaktadır (Karaduman, 1999).

Bakır (Cu): Çeliğin sünekliliğini ve paslanmaya karşı olan direnci arttırmaktadır (Karaduman, 1999).

Manganez (Mn): Çeliğe dayanıklılık kazandırmakta ve demir cevherinin bünyesinde doğal olarak bulunan kükürtün çelik üzerindeki olumsuz etkilerini engellemektedir. Yapısında az miktarda karbon bulunan çeliklerde %0,64, az katkılı çeliklerde %1,5 oranında bulunmaktadır. Manganezin çelik bünyesinde bu orandan fazla olması malzemenin gevrek olmasına sebep olmaktadır (Eyyübov, 2004).

Molibden (Mo) ve Bor (B): Çeliğe dayanıklılık kazandırmakta ve bu sebeple yüksek mukavemet gerektiren çelik malzemelerin yapısında kullanılmaktadır. Ayrıca çeliğin istenilen plastik özelliği sergilemesini sağlamaktadırlar (Eyyübov, 2004).

Volfram (W): Çeliğe rijitlik kazandırmaktadır (Eyyübov, 2004).

Vanadyum (V) ve Nikel (Ni): Yüksek kalitedeki çelik üretiminde kullanılmaktadır (Karaduman, 1999).

Demir cevherinin bünyesinde doğal olarak bulunan fosfor (P) ve kükürt (S), çeliğin yapısını olumsuz yönde etkilemektedir. Ancak bu elementlerin tümüyle cevherin bünyesinden uzaklaştırılması oldukça maliyetli olacağından miktarları belli oranlara kadar düşürülmektedir. Fosfor (P), çeliğin gevrek bir yapıya sahip olmasına, kükürt (S) ise yüksek sıcaklıkta çeliğin kırılgen yapıda olmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı çeliğin bünyesindeki fosfor (P) ve kükürt (S) miktarları %0,03'den fazla olmamalıdır (Karaduman,1999; Eyyübov, 2004).

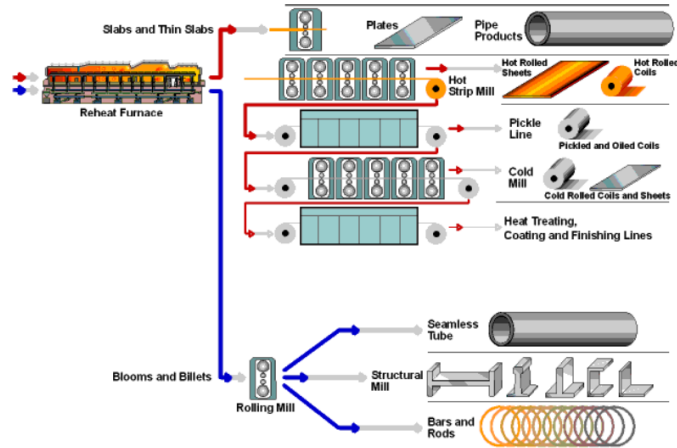
Yapısına katılan elementlere ve bu elementlerin oranlarına göre farklı fiziksel ve kimyasal özelliğe sahip çeşitli şekil ve ölçülerde, her biri kendi kullanım alanına özgü 3500'den fazla farklı çelik türü üretilebilmektedir (URL-1, 2019).

1.4.2.1. Çeliğin Üretimi

Çelik; doğada saf halde bulunan çelik cevherinden veya atık çelik malzemelerin geri dönüştürülmesinden olmak üzere iki şekilde üretilmektedir (Türkçü, 1997).

Çelik üretimi ilk olarak demir cevheri, kok kömürü ve kireçtaşının yüksek sıcaklıklara ulaşan yüksek fırınlarda ısıtılmasıyla başlamıştır. Bu fırınlarda meydana gelen reaksiyonlar sonucunda demir ve cüruf malzeme oluşmaktadır. Oluşan demir hurda çeliklerle birlikte çelik üretiminde kullanılan ark fırınlara beslenmektedir. Fırınlarda çekilmeden önce çeliğe deoksidasyon işlemi uygulanarak ergimiş çelik bünyesindeki oksijenin uzaklaştırılması sağlanmaktadır (Burdekin, 2003). Potada ergimiş halde bulunan çeliğin kalıplara dökülmesiyle kütük adındaki elemanlar elde edilmekte ve bu kütükler ıslatma çukuru adındaki fırınlara koyularak haddeleme işlemi için uygun sıcaklıklara getirilmektedir (Akers, 2000).

Çeliğin mekanik ve potansiyel özellikleri; yapısına katılan kimyasal bileşiklere, haddeleme işlemine, son işlem sıcaklığına ve soğutma hızına bağlı olarak belirlenmektedir. Haddeleme işlemi önceki aşamada kütük haline getirilen çeliklerin bir dizi karşılıklı yerleştirilmiş ve aynı yöne doğru dönen iki silindirden oluşan sistemler arasında sıkıştırılması ile gerçekleştirilmekte ve bu sıkıştırma işlemi sonucunda çeliğin enine kesiti azaltılarak mukavemeti arttırılmaktadır. Haddeleme işlemi kütük aşaması atlanarak sürekli döküm işleminden sonra da yapılabilmektedir. Bu işlemler sonucunda yapısal çelik istenilen boy, genişlik, kalınlık ve şekillerde üretilmektedir (Smith, 1996; Burdekin, 2003) (Şekil 13).



Şekil 13. Haddeleme Proses Şeması (Ay, 2019).

1.4.2.2. Yapısal Çelik Elemanları

Yapı malzemesi olarak St37 ve St52 yaygın olarak kullanılan çelik çeşitlerindedir. Yüksek mukavemete sahip St60-1, St60-2, St70-1 ve St70-2 çelikleri de yüksek dayanım gerektiren yapılarda kullanılmaktadır. Bunlara ek olarak birleşim elemanı olarak kullanılan perçinlerde St34 ve St44, bulonlarda ise 4 D (4.6) ve 5 D (5.6) çelikler kullanılmaktadır (Şahin ve Ünal, 2007).

Yapı malzemesi olarak kullanılan çelik malzemeler için Elastik modülü (E) = 2 100 100 kgf/cm², Poisson oranı (μ) = 0.3, Kayma modülü (G) = 810 000 kgf/cm², Lineer ısı katsayısı (α_1) = $12 \cdot 10^{-6}$ olmalıdır (Şahin ve Ünal, 2007).

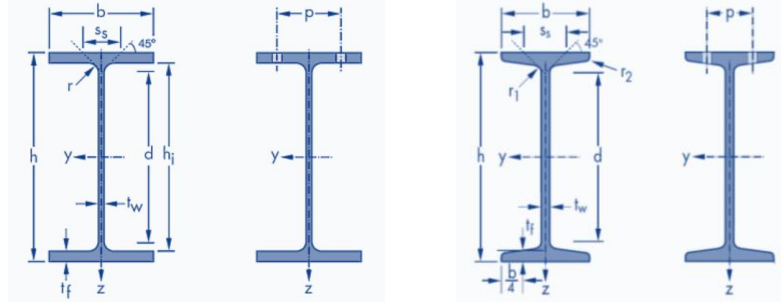
Haddemeleme işlemi ile dayanım ve süneklik kazanan çelik malzemeye kullanım amacı ve yerine göre şekil verilmektedir. Çelik;

- Profiller
- Lamalar
- Levhalar şeklinde kullanılmaktadır (Karaduman,1999).

1.4.2.2.1. Profil

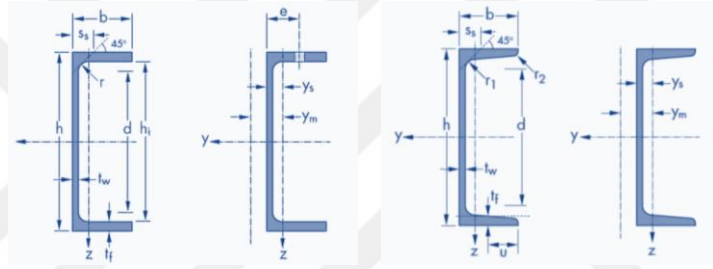
Belirli standartlarca kalınlık ve uzunlukları belirlenmiş, çelik yapıların temel yapı elemanlarını oluşturan bileşenlerdir (Hasol, 1993); (Türkçü, 1997). Profiller farklı şekillerde üretilmekte ve bu şekillere göre isimlendirilmektedir.

I Profiller: En çok kullanılan yapı elemanlarıdır. İki başlık ve bir gövdeden meydana gelen bu profil şekli itibariyle I harfine benzediğinden bu şekilde adlandırılmaktadır. I profillerin I, IPE, IPB vb. olarak farklı kalınlık ve ölçülerde birçok çeşidi üretilmektedir (Karaduman,1999) (Şekil 14).



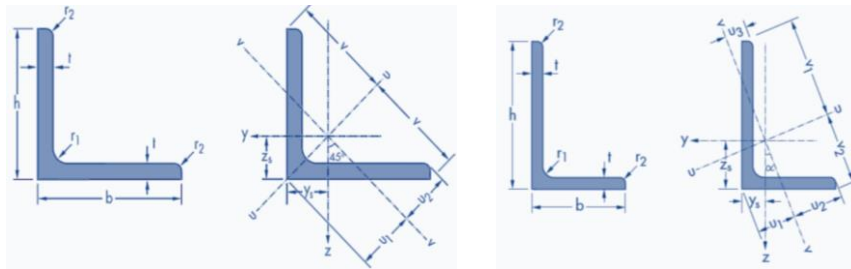
Şekil 14. IPE, NPI profil kesitleri (URL-18, 2019; URL-19, 2019).

U Profiller: İki başlık ve bir gövdeden meydana gelen U profiller; kolon, kiriş kafes sistem gibi uygulamalarda kullanılmaktadır (Karaduman,1999) (Şekil 15).



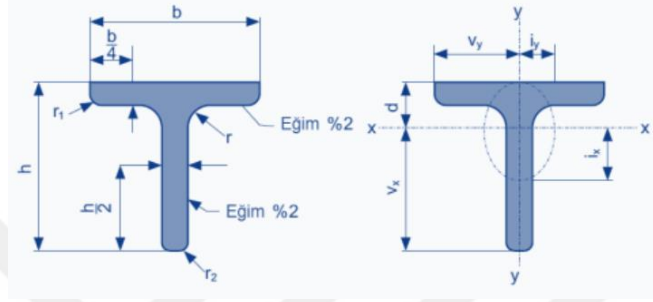
Şekil 15. UPE, U profil kesitleri (URL-20, 2019; URL-21, 2019).

L, korniyer (Köşebent): Birbirine dik şekilde konumlanmış iki kenardan oluşan profiller kafes kiriş veya parçalı kolon-kiriş yapımında kullanılmaktadır. Kenar uzunlukları 20 mm- 250 mm arasında olacak şekilde farklı boyutlarda üretilebilmektedir. Köşebentler eşit kenar ve çeşitkenar olmak üzere 2 çeşittir (Türkçü, 1997) (Şekil 16).



Şekil 16. Eşit kenar ve çeşitkenar köşebent profil kesitleri (URL-22, 2019; URL-23, 2019).

T Profiller: Gövde yüksekliği ile taban yüksekliğinin eşit olduğu yüksek gövdeli ve taban genişliği gövde yüksekliğinin iki katı olan geniş tabanlı olmak üzere iki çeşidi vardır. Kafes kirişlerde ve cam merteklerinde kullanılmaktadır. I profillerin gövdeden ikiye ayrılması şeklinde de elde edilebilmektedir (Karaduman,1999) (Şekil 17).



Şekil 17. T profil kesiti (URL-24, 2019).

Boşluklu Profiller: Dikdörtgen, kare ve daire kesitlerine sahip içleri boş profillerdir. Dolu profillere oranla aynı ağırlıkta daha yüksek dayanım, burulma, burkulma ve eğilmeye karşı daha büyük direnç göstermektedir. Ayrıca dış yüzeyi açık profillere oranla %40 daha az olduğundan boyama ve korozyon önlemleri için oluşacak masraflar da daha az olmaktadır (Türkçü, 1997) (Şekil 18).



Şekil 18. Kare, dikdörtgen ve daire kesitli boşluklu profiller (URL-25, 2019; URL-26, 2019).

1.4.2.2.2. Lamalar

En kesitleri dikdörtgen olan, uzun ve yassı yapı elemanlarına lama denmektedir. Lamalar ölçülerine göre dar, geniş ve ince olmak üzere 3 farklı şekilde üretilebilmektedir (Hasol, 1993; Karaduman,1999) (Şekil 19).



Şekil 19. Çelik lama (URL-35).

1.4.2.2.3. Levhalar

Kalınlığı, en ve boyuna göre oldukça küçük olan levhalar piyasada kalınlıklarına göre rulo veya plaka şeklinde bulunmaktadır (Türkçü, 1997; Hasol, 1993). Levhalar; kalın, orta ve ince levhalar olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Kalınlığı 4,75-6 mm arasında olan kalın levhalar kafes sistemlerde düğüm elemanı, kirişlerde başlık ve gövde levhaları olarak; kalınlığı 3-4,75 mm arasında olan orta levhalar besleme levhaları olarak; 3 mm'den küçük kalınlığa sahip ince levhalar ise çatı ve duvarlarda kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır (Karaduman,1999). Kullanım amaçlarına göre levhalar; düz, kubbeli, silindirik ve oluklu olarak 4 farklı şekilde üretilebilmektedir (Ardan, 1961) (Şekil 20).



Şekil 20. Çelik levha (URL-36)

1.4.2.3. Çelik Elemanların Birleşim Yöntemleri

Üretilen hadde elemanlar çeşitli yöntemlerle birleştirilerek çelik yapıları oluşturmaktadır. Birleştirme işlemi için birtakım yardımcı elemanlar ve yöntemler kullanılmaktadır. Birleşim yöntemleri 4 başlık altında toplanabilir;

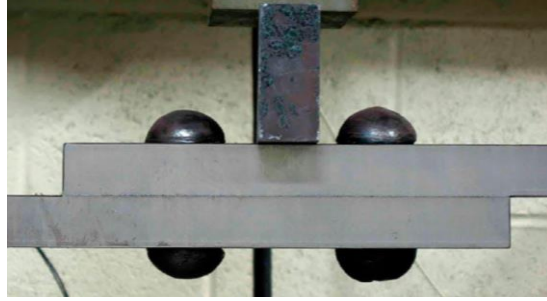
- Perçin
- Bulon
- Kaynak
- Yapıştırma (Odabaşı, 2000; Öğüt, 2006)

Bu yöntemlerden perçin, kaynak ve yapıştırma yöntemleri sökülemeyen; bulonlar ise sökülebilir birleşim yöntemidir. Birleşim yöntemlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus, birleşim elemanlarının çelik elemanlarla birlikte çalışarak gelen tüm gerilmeleri karşılayabilecek özellikte olmasıdır (Türkçü, 1997).

1.4.2.3.1. Perçin

Perçin 10-36 mm ölçülerinde silindirik bir gövdeye ve bir baş kısmına sahip elemandır. Perçinlenme; kızıl dereceye gelmiş perçin elemanın dövülerek birleştirilen elemanlar üzerindeki boşluklara yerleştirilmesi işlemidir (Şekil 21). Birleştirilen elemanlar üzerinde bulunan boşluklar perçin elemanının çapından 1 mm büyük olacak şekilde matkap yardımıyla veya daha ince elemanlar için zımbalama yöntemiyle açılmaktadır. Perçinlerin çelik elemanlar üzerindeki boşluklara iyi bir şekilde yerleştirilmesi ve çelik elemanlarla birlikte çalışmasını sağlamak için kalitesinin birleştirilen çelik elemanların kalitesinden daha düşük olması gerekmektedir. Daha düşük kaliteye sahip olan perçin elemanlar

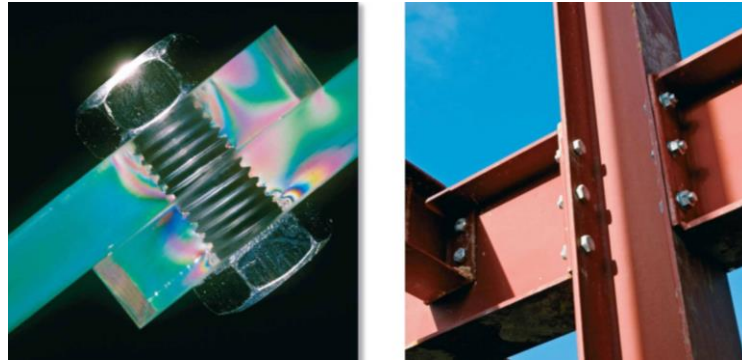
kolayca şekil değiştirerek boşlukları doldurmaktadır. Bu sebeple St37 çelikler için St34; St52 çelikler için St44 perçinler kullanılmaktadır (Ardan, 1961; Türkçü, 1997).



Şekil 21. Perçinleme işlemi (URL-27, 2019).

1.4.2.3.2. Bulon

Bulon, altıgen başlıklı silindirik gövde, somon ve pul (rondela) elemanlarından oluşan bir birleşim aracıdır. Bulon gövdesinin uç kısmında somonun takılmasını sağlayan dişli kısım bulunmaktadır. Malzeme üzerindeki boşluklara yerleştirilen bulonların dişli kısmına öncelikle pul daha sonra ise somon takılmaktadır (Odabaşı, 2000) (Şekil 22).



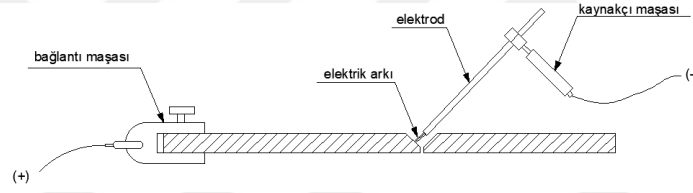
Şekil 22. Bulon ve elemanları (URL-27, 2019).

1.4.2.3.3. Kaynak

Aynı veya benzer içeriğe sahip alaşımlı metallerin ısı ile birleştirilmesi işlemine kaynak denmektedir. Kaynak birleşimler; malzemedeki tasarruf sağlanması, uygulamasının

kolay ve hızlı olması, mukavemet özelliğinin fazla olması sebebiyle perçin ve bulonlu birleşimlere göre daha avantajlı olduğundan yaygın bir kullanıma sahiptir (Karaduman,1989). Kaynak uygulanan ısı derecesine göre ergime kaynağı ve basınç kaynağı olmak üzere ikiye ayrılır (Odabaşı, 2000).

Ergitme kaynağı: Metallerin birleşim yerlerine ergime sıcaklığına (3000-5000 C°) ulaşınca kadar ısı verilme işlemidir. Bu işlemde elektrot denilen ve birleştirilen metaller ile benzer alaşım özelliklerine sahip ilave metaller kullanılmaktadır. Ergitme kaynakları, elektrik arkı kaynağı ve gaz kaynağı olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır. Bunlardan elektrik arkı kaynağı daha sağlıklı sonuç verdiği için yük aktarılması gereken durumlarda kullanılmaktadır. Gaz kaynağı ise asetilen, hidrojen, metan vb. yanıcı gazlar ile oksijenin birleşmesi yöntemiyle yapılmakta ancak yeterli kaliteyi sağlayamadığından daha çok profil, levha gibi elemanların kesilmesinde kullanılmaktadır (Karaduman, 1989) (Şekil 23).



Şekil 23. Elektrik ark kaynağı (Odabaşı, 2000).

Basınç kaynağı: Çelik elemanların, birleşim yerlerinin elektrik akımıyla kızıl dereceye yani plastik kıvama gelinceye kadar ısıtılarak basınç altında birleştirilmesi şeklinde uygulanmaktadır. Daha çok hafif çelik yapılarda uygulanan bu yöntem nokta kaynağı ve kordon kaynağı olmak üzere iki şekilde uygulanmaktadır. Nokta kaynağında elektrik akımı noktasal uygulanırken kordon kaynağında sürekli çizgi şeklinde uygulanmaktadır (Eren, 2007; Odabaşı, 2000).

1.4.2.3.4. Yapıştırma

Düzgün yüzeyler elde edilmesini sağlayan yapıştırma yöntemi daha önce endüstriyel metal ürünlerde kullanılmasına rağmen bu yöntemin çelik yapılarda uygulanması nispeten yeni bir uygulamadır (Öğüt, 2006). Çelik kesitinin zayıflamasına yol açan delikler bulunmadığından ve yüksek ısı değişimlerine ihtiyaç olmadığından mekanik ve

mukavemet açısından yapıştırma yöntemi oldukça avantajlı, uygulanması kolay ve hızlı bir işlemdir. Yapıştırma yöntemi; farklı içeriklere sahip alaşımların veya farklı çap ve kalınlıklardaki elemanların birleştirilmesini sağlamakta ve böylece özgün ve kompleks biçimlerin üretilmesine imkân vermektedir (Ünver, 2003). Ancak bu yöntem, yapıştırıcıların eskime gibi bir durumu olduğundan sistemin sürekliliği açısından olumsuz bir etkiye sahiptir. Ayrıca yapıştırıcı malzeme; yüksek sıcaklık, soğuk, kimyasallar ve radyasyondan etkilendiğinden uygulanacak yapılarda bu durumların göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Öğüt, 2006).

1.4.3. Çelik Malzemenin Avantajları ve Dezavantajları

1.4.3.1. Avantajları

Çelik yapı malzemesi olarak; yapısal özellikleri, üretim, uygulama gibi pek çok alanda avantajlara sahiptir. Çeliğin avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

Yüksek dayanım: Çelik homojen ve izotrop bir yapıya sahip olduğundan her noktasındaki dayanım eşit ve yüksektir. Ayrıca yüksek gerilmeler altında dahi deformasyona uğramayan sünek bir yapısı vardır (McCormac ve Csernak, 2012).

Hafiflik: Çelik esnek olmasından dolayı az sehimi yapan bir özelliğe sahiptir. Bu sebeple daha küçük kesitlerle daha büyük açıklıklar geçilebilmektedir. Daha küçük kesitlerde uygulanan çelik kolon-kiriş elemanlar yapının ağırlığının azalmasını sağlamaktadır. Çelik yapılar betonarme yapılara oranla %50 daha az ağırlığa sahiptir (Erşen, 1996; Eren, 2007).

Elastiklik: Çeliğin elastisite modülü betonarmenin 20, ahşabın 10 katıdır. Bu özellik çeliğin diğer malzemelere göre daha az oranda sehimi yaptığı ve dolayısıyla daha küçük kesitler gerektirdiği anlamına gelmektedir (Erşen, 1996).

Esnek tasarıma imkan vermesi: Çelik yapı sadece kolon ve kirişler tarafından taşındığından geçilen geniş açıklıklarda mekan organizasyonunu sağlayan bölücü duvarlar istenilen şekilde yerleştirilebilmektedir. Taşıyıcı görevi olmayan bu duvarlar işlevlerine göre kaldırılabilir veya yerleri değiştirilebilmektedir (Yardımcı ve Güreş, 2017).

Deprem dayanıklılığı: Çelik malzeme elastik sınıra kadar tekrar eden yüklere karşı kırılmama özelliğine sahiptir. Bu özellik çelik malzemenin düşey yüklere ve deprem yükü

gibi yatay yüklere karşı dayanıklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca çelik yapılarda küçük kesitli kolon ve kirişlerle geniş açıklıklar geçilebildiğinden yapının ağırlığı diğer alternatiflerine göre daha hafif olmakta ve bu da deprem durumunda yapıya avantaj sağlamaktadır (Eren, 2007).

Uzun ömür: Sağlıklı bir şekilde üretilen çelik yapılar oldukça uzun ömürlüdür. İşlevsel olarak ömrünü tamamlamadığı sürece çelik malzeme varlığını süresiz olarak devam ettirebilmektedir (McCormac ve Csernak, 2012).

Sürdürülebilirlik: Çelik, kalite kaybı olmaksızın %100 geri dönüştürülebilir bir malzemedir. Ömrünü tamamlayan çelik yapılardan elde edilen hurda malzeme, yeni üretilen çeliğin yapısına katılmaktadır. Bugün üretilen çelik malzemenin %37 si geri dönüştürülmüş çelik içermektedir. Çelik üretim sürecinde oluşan malzemenin yaklaşık %100'ü kullanılabilir. Çeliğin ergitilmesi sırasında oluşan çürük; çimento, asfalt, gübre vb. yapımında, kimyasallar kimya endüstrisinde girdi maddesi olarak, üretim sürecinde oluşan gazlar ise ısı ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır. Bu süreçte üretilen elektrik enerjisi, çelik üretim tesisinin ihtiyaç duyduğu enerjinin %60-100'ünü karşılayabilmektedir. Ayrıca üretim sırasında kullanılan suyun %90'ı temizlenerek kaynaklara geri döndürülebilmektedir. Kalan %10'luk su kaybının çoğu buharlaşma nedeniyle oluşmaktadır. Son elli yılda çelik malzeme ve üretim tesislerinde meydana gelen gelişmeler sayesinde üretilen çelik için ton başına harcanan enerji %61 küçülmüş ve bu da atmosfere salınan CO₂ gazının büyük oranda azalmasını sağlamıştır (URL-1, 2019).

Hassas üretim imkânı: Modern teknoloji sayesinde fabrikalarda belirli standartlara göre üretilen ve çeşitli deneylerle test edilen her biri aynı kalitede çelik elemanlar üretilmektedir. Kontrollü bir şekilde üretilen çelik elemanlar yine üretim yerlerinde bilgisayar destekli programlar sayesinde istenilen ölçü ve açılarda kesilip birleştirilebilmektedir (Eren, 2007).

Hızlı ve kolay inşaat: Çelik yapıların projelendirme aşaması uzun bir süreç gerektirmesine rağmen üretim ve uygulama süresi oldukça kısadır. Fabrikalarda standartlara uygun üretilen çelik elemanların sahada birleştirilmesi kolay ve hızlı bir işlemdir. Yapının hızlı inşa edilerek hizmete açılması ekonomik açıdan oldukça önemlidir (Yardımcı ve Güreş, 2017).

Sökülebilme: Çelik yapıyı oluşturan elemanlar gerekli durumlarda sökülerek aynı yapının başka bir alanda kurulmasına olanak sağlamakta veya bu elemanlar yeni yapıların yapımında kullanılabilir (Karaduman,1989).

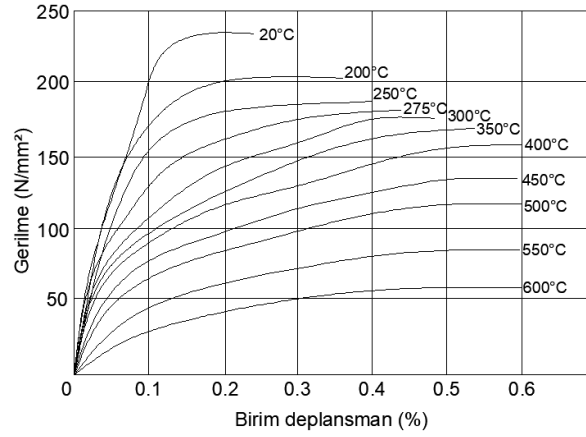
Ekonomiklik: Çelik, ilk yatırım maliyeti fazla olmasına rağmen, yapının inşası ve kullanımı boyunca sağladığı enerji tasarrufu, bakım masraflarının ve yapının ömrü hesaba katıldığında ekonomik bir malzemedir. Çelik yapılar ömrünü tamamladığında yüksek hurda değerine sahip olmalarından dolayı maddi olarak avantaj sağlamaktadırlar (Yardımcı ve Güreş, 2017). Bunlara ek olarak çeliğin; basit ve farklı alternatiflerle birleştirilebilmesi, prefabrikasyona uygun olması, farklı sistemlere uygun şekil ve boyutlarda üretilebilmesi, yapının tekniği veya yükünün değişmesi gibi durumlara karşı tadilat imkânı sağlaması çelik malzemenin diğer avantajları arasındadır (Karaduman,1989; McCormac ve Csernak, 2012).

1.4.3.2. Dezavantajları

Çelik yapısal özellikleri ve kullanım alanları nedeni ile bir takım dezavantajlara da sahiptir. Çeliğin dezavantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz;

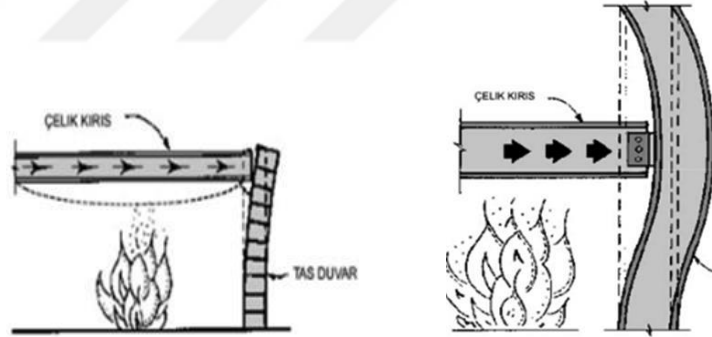
Korozyon: Çeliğin bünyesinde bulunan demir elementinin suda demir oksit olarak çözünmesi ve daha fazla su oluşturmak için çözünmüş oksijen ve hidrojenin yer değiştirme eğiliminde olması korozyon oluşumuna neden olmakta, su ve hava ile temas, korozyon oluşumunu tetiklemektedir (Akers, 2000). Halk arasında paslanma olarak da bilinen korozyon, çelik malzemenin kesitinin küçülmesine neden olarak dayanımını azaltmaktadır. Bu sebeple çelik malzemelerin korozyondan korunması için rutin bakımlarının yapılması gerekmektedir (Hudson ve Johnson, 2003; Eren, 2007).

Yangın: Yanıcı madde, oksijen ve ısının bir araya gelmesi sonucu oluşan yangın, yanıcı bir malzeme olmamasına karşın çeliğin mekanik özelliklerini olumsuz etkilenmektedir. Yüksek sıcaklık çeliğin bağ kuvvetlerinin dolayısıyla elastisite modülünün ve akma sınırının azalmasına neden olmaktadır. Ortam sıcaklığı 400 C°'ye ulaştığında çeliğin akma sınırı emniyet gerilmesi seviyesine, 600 C°'ye ulaştığında ise emniyet gerilmesinin altına düşmektedir. Sıcaklık 1000 C°'ye ulaştığında ise akma sınırı sıfıra yaklaşmaktadır (Kılıç, 2019; Beyhan, 2019) (Şekil 24).



Şekil 24. Isı etkisi altında çeliğin gerilme-şekil değiştirme grafiği (Deren vd., 2003).

Çelik iletkenlik katsayısı yüksek bir malzeme olduğundan yüksek sıcaklığa maruz kaldığında ısıyı diğer taşıyıcı elemanlara ileterek yapı dayanımının hızlı bir şekilde azalmasına sebep olmaktadır (Beyhan, 2019) (Şekil 25).



Şekil 25. Çelik yapı elemanlarının yangın davranışı (Beyhan, 2019).

Burkulma: Çelik taşıyıcı elemanlar yüksek dayanıma sahip olduklarından küçük kesitlerde dahi yeterli taşıyıcılık özelliği göstermektedir. Ancak küçük kesitler yüke maruz kaldığında burkulma sorunu yaşamaktadır. Bu sebeple projelendirilme aşamasında burkulma durumu gözetilerek tasarım yapılması gerekmektedir (URL-3, 2019).

Yorulma: Çelik taşıyıcıların titreşim gibi sürekli tekrar eden gerilmelere maruz kalması sonucunda yorulma meydana gelmekte ve bu da taşıyıcıların mukavemetinin

azalmasına sebep olmaktadır. Sürekli gerilmelere maruz kalan yapıların projelendirme aşamasında titreşim yükleri de hesaba katılmalıdır (McCormac ve Csernak, 2012).

1.4.4. Çelik Malzemenin Korunmasına Dair Önlemler

1.4.4.1. Çelik Yapıların Korozyondan Korunmasına Dair Önlemler

Çelik alaşımını oluşturan bileşenler çevresel etkenler sebebiyle korozyon oluşumuna maruz kalmakta bu da çelik elemanların kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir (Deren vd., 2003).

Bu sebeple çelik elemanların korozyon riskini en aza indirecek şekilde tasarlanması oldukça önemlidir. Bu bağlamda dikkat edilecek hususlar şu şekilde sıralanabilir:

- Kirin ve suyun çelik eleman yüzeyinde birikmesine sebep olan cıvatalı bağlantılar ve bindirmeli birleşimlerden kaçınılmalıdır.
- Metal yüzeyindeki suyun akışını sağlamak amacıyla yüzeyde damlalık, drenaj kanalları ve oluklar veya tamamen yatay yerine hafif eğimli (%3) yüzeyler oluşturulmalıdır.
- Tüm çelik yüzeyler etrafında hava sirkülasyonu sağlanmalıdır.
- Olabildiğince düz, köşesiz ve küçük oranlarda dış yüzeyler oluşturulmalıdır.
- Korozyon oluşumuna açık yerlerde yüksek dayanımlı ve değiştirilebilir malzemeler kullanılmalıdır.
- Bakımların kolay yapılabilmesi için çelik elemanlar kolay erişilebilir olmalıdır.
- Gerekli durumlarda çelik elemanları korumak amaçlı çatılar ve bariyerler oluşturulmalıdır.
- Çelik elemanların taşıma ve uygulanması sırasında hasar görmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır (Hudson ve Johnson, 2003; Deren vd, 2003).

Korozyon, çevre ve çelik malzeme arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucu olduğundan çeliğin en etkili şekilde korunması bu iki yüzey arasına bariyer etkisi oluşturacak çeşitli kaplama işlemlerin uygulanması ile mümkün olmaktadır. Uygulanan bu işlemlerin uzun ömürlü olması ve verimli şekilde çalışması için metal yüzeyinin kaplamalar için hazırlanması gerekmektedir. Bunun için en önemli işlem yüzeyin temizlenmesidir. Kaplamaların yüzeye daha iyi tutunması için yüzeyde bir miktar

pürüzlülük bulunması ve kaplamaların temizleme işleminden sonra mümkün olan en kısa bir sürede uygulanması gerekmektedir. Bu uygulamalar çevre şartları ve çelik elemanın özellikleri gözetilerek elemanların korozyondan en iyi şekilde korunmasını sağlayacak, bakım periyodları uzun ve ekonomik olacak şekilde seçilmelidir (Nickerson ve Mertz, 2000; Chadler, 1993; Deren vd., 2003).

Çelik elemanların korozyona karşı korunması için boyama, metal kaplama, elektro-kimyasal polarizasyon, katodik koruma gibi birçok yöntem kullanılmakla birlikte mimari elemanlar için tercih edilen en yaygın yöntemler boyama ve metal kaplama işlemleridir (Ünver, 2003).

Boyama: Bağlayıcı, pigment ve çözücü olarak temelde 3 ana bileşenden oluşan boyalar, kolay uygulanabilmeleri ve dekoratif görünüm sağlamaları sebebiyle çeliğin korunmasında en yaygın kullanılan kaplamalardır. Daldırma, akıtma, haddeleme gibi yöntemlerle de uygulanabilen boya kaplamalar için mimari alanda çoğunlukla fırça ve püskürtme yöntemleri tercih edilmektedir. Boya kalınlığına göre tek veya birkaç kattan oluşabilmesine karşın çoğunlukla ilk tabaka, orta tabaka ve örtü tabakası olmak üzere üç katman olarak uygulanmaktadır. İçeriğinde koruyucu pigmentler bulunan ilk tabaka çeliğe uygulanan katmandır ve sonraki tabakalar için tutucu temeli sağlamaktadır. Orta katman kaplamanın kalınlığını arttırmak için uygulanmakta ve çoğunlukla ilk katmanla benzer özellik taşımaktadır. Örtü tabakası dediğimiz üçüncü tabaka ise alt tabakaların korunmasını ve estetik görünümün oluşmasını sağlamaktadır (Chadler, 1993; URL-4).

Farklı korozyon tiplerine göre geliştirilen koruyucu boya kaplamaları içerisinde bulunan pigment (çinko fosfat, metalik çinko vb.) ve bağlayıcı (çinko fosfat alkit primer, çinko fosfat epoksi primer vb) türlerine göre sınıflandırılmaktadır. Uygulanacak boyaların; ortam koşulları, uygulanma kolaylığı, dayanıklılık, maliyet, insan ve çevre sağlığı üzerindeki etkileri vb. kriterlerin değerlendirilerek seçilmesi gerekmektedir (Hudson ve Johnson, 2003; URL-4).

Metal kaplama: Çelik elemanların korozyondan korunması amacı ile kullanılan metaller çinko, alüminyum ve kadmiyumdur. Çelik kaplamalar sıcak daldırma, sıcak püskürtme, difüzyon (sherardizing) ve elektro kaplama (kataforez) olmak üzere 4 farklı yöntemle çelik yüzeyine uygulanmaktadır. Sıcak daldırma yönteminde çelik elemanlar asitle temizlendikten sonra erimiş kaplama metaline batırılarak yüzeyde alaşım oluşması sağlanmaktadır. Sıcak püskürtme yönteminde temizlenmiş çelik yüzeylerin üzerine bir tabanca yardımıyla erimiş metal parçacıkları püskürtülmektedir. Gözenekli yüzeyler

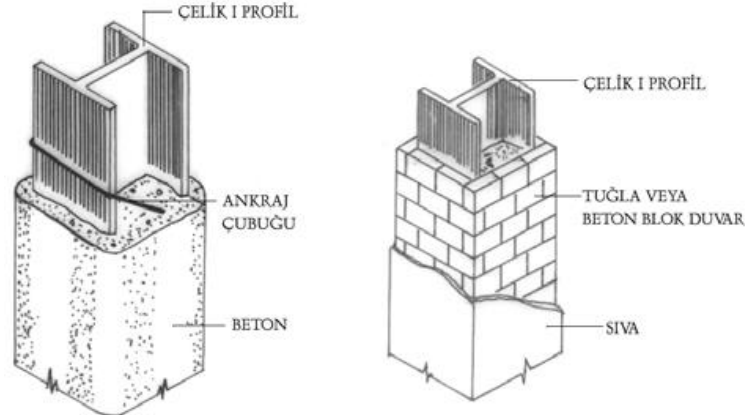
oluşturan bu yöntemde kaplama metali alaşım oluşturmaksızın çelik yüzeyine yapışmaktadır. Diğer bir yöntem olan difüzyon yönteminde, toz halindeki kaplama metali ile çelik yüksek sıcaklıkta bekletilmekte ve toz metalin yüzeyi kaplaması sağlanmaktadır. Elektroliz yönteminde ise çelik malzeme katot, kaplama metali anot olacak şekilde elektrolit içinde kaplama yapılmaktadır (Chadler, 1993; URL-5).

Çinkonun sıcak daldırma veya elektroliz yolu ile çelik yüzeyine uygulandığı galvaniz kaplama, çelik elemanların korozyondan korunması amacıyla en yaygın olarak kullanılan metal kaplamadır. Uzun ömürlü ve bakım gerektirmeyen galvanizleme yöntemi çelik profiller, borular, metal sac levhalar, bağlantı elemanları ve korkulukların korozyondan korunması için uygun bir işlemdir (Hasol, 1993; Chadler, 1993; URL-5).

1.4.4.2. Çelik Yapıların Yangından Korunmasına Dair Önlemler

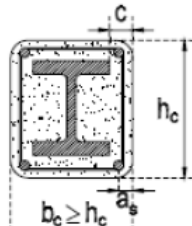
Yüksek sıcaklık çelik de dahil olmak üzere yapısal tüm malzemelerin dayanımının düşmesine ve yangın durumunda can ve mal kaybının meydana gelmesine sebep olmaktadır (Robinson, 2003). Bu nedenle yangın durumunda kullanıcıların alandan uzaklaşması ve yangına müdahale edilebilmesi için gerekli süre içerisinde yapının stabilitesini kaybetmemesi önemli bir husustur. 1-5 katlı binalarda kaçış hızlı bir şekilde sağlanacağından yalıtımsız çelik elemanlar kullanılabilirken 5 kattan daha yüksek binalar için yalıtım önlemleri mutlaka gerekmektedir (Allen ve Iano, 2009; Beyhan, 2019). Çelik elemanların yangından korunması için uygulanan yöntemleri şu şekilde sıralanabilir;

Kütlesel yalıtım: Yapıya ait çelik elemanların şekil ve boyutlarına göre içine veya dışına; beton, tuğla vb. malzemelerin uygulanması işlemine kütlesel yalıtım denmektedir (Şekil 26).



Şekil 26. Çelik taşıyıcılarda kütleli yalıtım örnekleri (ANON, 1990).

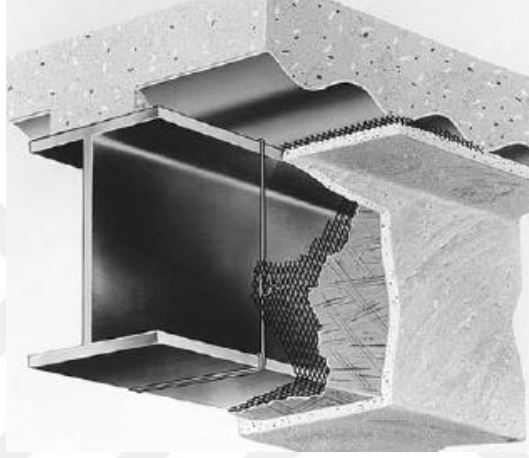
Çeliğin yangından korunmasında genellikle betonla kaplama yöntemi tercih edilmektedir. Beton kaplama yangın durumunda çelik elemanla birlikte çalışabilmekte ve çelik üzerine ısısal dağıtım sağlayarak çeliğin kritik sıcaklığa ulaşmasını engellemektedir. Ancak yüksek sıcaklık betonun mukavemetini olumsuz etkilediğinden ve çeliğin gerilmesini arttıracığından beton içerisine belirli oranlarda donatı yerleştirilmesi gerekmektedir (Beyhan, 2019; Uzbaş, 2010). Bu uygulamalarda yangın dayanımı kaplanan malzemenin kalınlığına ve uygulama alanına göre farklılık göstermektedir (Şekil 27). Kütleli kaplamalar yapı ağırlığının artmasına sebep olduğundan tasarım aşamasında bu durum muhakkak göz önünde bulundurulmalıdır (Beyhan, 2019).

	YANGIN SINIFLARI				
	F30	F60	F90	F120	F180
Minimum Kalınlık h_c (mm)	150	180	220	300	350
Çeliği Kaplayan Minimum Beton Kalınlığı c (mm)	40	50	50	75	75
Donatı Çeliklerinin, Beton Kaplama Kalınlığı a_s (mm)	20	30	30	40	50

Şekil 27. Yangın sınıflarına göre çelik kaplama kalınlıkları (Beyhan, 2019).

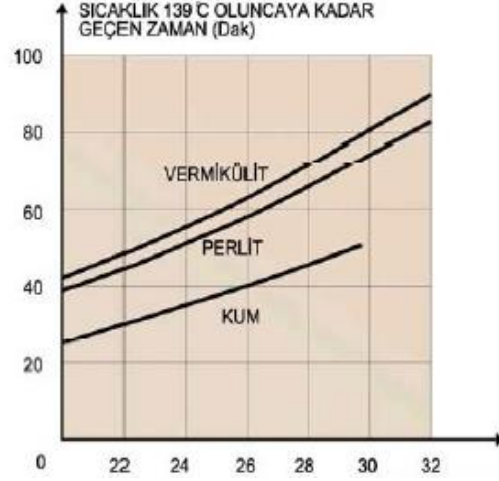
Çevreyi sarma: Yangından korumak amacıyla çelik elemanların dış yüzeylerinin yalıtım malzemesi ile kaplanması yöntemidir. Sıva, püskürtme ve sıcaklıkta şişen boyalar olmak üzere 3 farklı şekilde uygulanmaktadır (Demirel ve Özkan, 2003).

Sıva uygulamaları, Çelik elemanlar üzerine yangına dayanıklı sıva malzemesinin uygulanması şeklindedir (Demirel, Özkan, 2003) (Şekil 28).



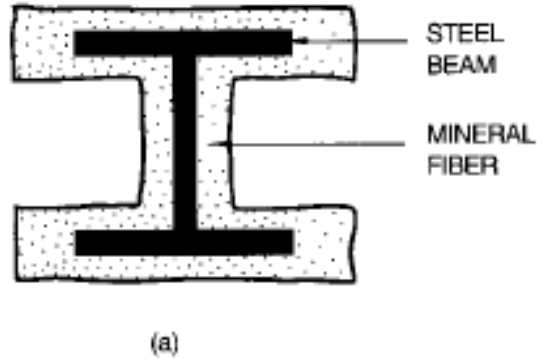
Şekil 28. Çelik taşıyıcıların sıva ile yalıtılması (Allen ve Iano, 2009).

Sıva harcı içerisinde alçı taşı, perlit, çimento, vermükulut ve kum gibi maddeler bulunmakta, bu maddelerin oransal karışımı ve uygulama kalınlığına göre elemanların yangına dayanımı süreleri farklılık göstermektedir (Şekil 29). Sıva uygulamalarında sıvanın yüzeye tutunmasını sağlamak amacıyla çelik elemanlara önce metal ağ giydirilmeli daha sonra ise harç uygulanmalıdır (Demirel, Özkan, 2003).



Şekil 29. Çelik taşıyıcı yüzeyine uygulanan sıvalarda kullanılan katkı malzemelerinin yangın dayanım süreleri (Demirel, Özkan, 2003).

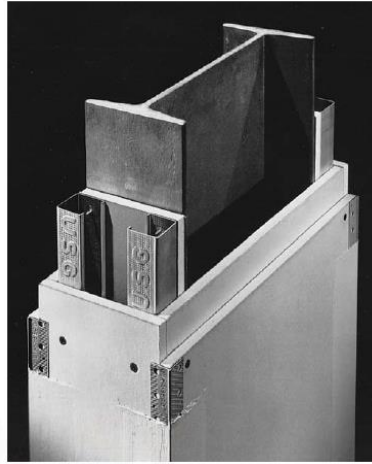
Püskürtme sistemler; Çimento ve mineral elyaf içerikli malzemeler ile oluşturulan harçların özel aletlerle çelik eleman yüzeyine uygulanması işlemidir (Şekil 30). Bu uygulamada harcın yüzeye iyi tutunmasını sağlamak amacıyla öncelikle yüzey toz ve yağdan arındırılmalı ve zımparalama, kumlama gibi işlemlerle pürüzlü yüzeyler oluşturulmalıdır. Püskürtme işlemi kolayca uygulanabilir olmasına karşın bu uygulama ile estetik bir görüntü sağlamadığından genellikle görülmeyen alanlardaki elemanlarda veya otopark, endüstriyel tesis gibi estetik kaygının olmadığı yapılarda tercih edilmektedir (Demirel, Özkan, 2003; Boring, 2000).



Şekil 30. Püskürtme uygulaması ve kesit gösterimi (Allen, Iano, 2009; Boring, 2000).

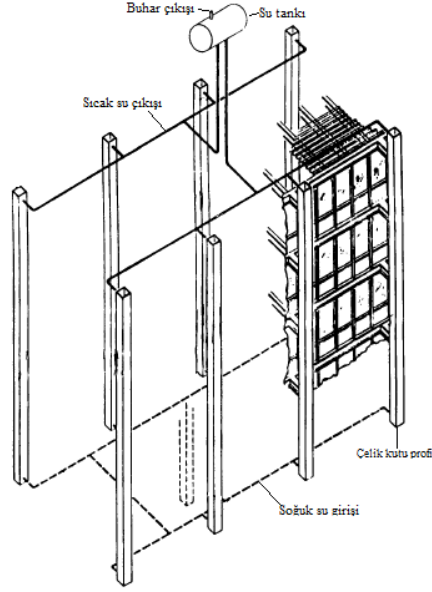
Sıcaklıkta şişen boya uygulamaları; yüksek sıcaklık etkisi ile şişerek 50 kat kalınlığa ulaşabilen boyalar yangın durumunda çelik elemanların üzerinde kalın bir tabaka oluşmasını dolayısıyla çeliğin mukavemetini kaybetme süresinin uzamasını sağlamaktadır. Boya uygulamaları; temiz bir yüzey üzerine astar, şişme kaplaması ve yüzey kaplaması olmak üzere 3 katman olarak uygulanmaktadır. Bu uygulama katmanın kalınlığına göre 30-120 dk arasında yangın dayanımı elde edilmesini sağlamaktadır. Uygulama kolaylığı, fazladan yük oluşturmamaları, hacim olarak yer kaplamamaları gibi avantajlara sahip olan boya uygulamaları özellikle estetik görünümün önemli olduğu yapılarda tercih edilmektedir (Sağnak, 2019; Eren ve Mayuk, 2013).

Kutuya alma: Çelik yapı elemanlarının plaka şeklinde yalıtım malzemesi ile çerçevelenmesi işlemine kutuya alma denmektedir (Şekil 31). Yalıtım plakaları alçıtaşı, taş yünü, vermükulit ve perlit gibi yanmaz özelliğe sahip malzemelerden oluşmakta, yangın dayanımları malzeme türüne ve kalınlığına göre farklılık göstermektedir. Yalıtım plakaları çelik elemanlar üzerine zımba ve vidalama yolu ile doğrudan veya metal dikmeler yardımı ile dolaylı olarak uygulanabilmektedir. Metal dikmeler plaka ile çelik elemanlar arasındaki mesafeyi arttıracığından yangın dayanım süresinin de daha fazla olmasını sağlamaktadır. Ayrıca çelik elemanlar üzerine birden çok katlı plaka yerleştirilmesi de yangın dayanım süresini arttırmaktadır. Bu uygulamalarda dikkat edilmesi gereken husus birleşim noktalarının kesişmemesidir (Robinson, 2003; Demirel ve Özkan, 2003).



Şekil 31. Çelik taşıyıcı elemanların kutuya alma yöntemi ile yalıtımı (Allen ve Iano, 2009).

Çelik bileşenlerin su dolaşımı ile soğutulması: İçi boş kutu ve boru profillerde yangın anında oluşan yüksek ısının taşıyıcı elemanlardan su yardımıyla uzaklaştırılmasını sağlayan bir yalıtım sistemidir (Şekil 32). Bu sistem sayesinde yangın durumunda çelik taşıyıcıların 100-200C°'ın altında kalması sağlanmaktadır.



Şekil 32. Çelik taşıyıcı elemanların su dolaşım yöntemiyle soğutulması (Boring, 2000).

Su ile soğutma işlemi taşıyıcı elemanlara kısmi ve bütünsel olarak uygulanabilmektedir. Yalnızca kolonlara uygulanan kısmi uygulamalarda ısının konvansiyonel hareketinden faydalanan oldukça basit mekanizmalar kullanılmaktadır. Profillerin içerisinde bulunan su yangın durumunda ısınarak yukarı taşınmakta ve kolonların üzerinde bulunan su deposuna ulaşmaktadır. Isınan suyun yerini ise yine depoda bulunan ve orta borulardan aşağı taşınan sular almaktadır. Oluşan buhar deponun üzerindeki boşluklardan dışarı atılmaktadır. Kısmi soğutmaya göre karmaşık olan bütünsel uygulamalar ise çatıda konumlanan bir depo ile suyun kolon ve kirişler arasında dolaşımını sağlayan pompadan oluşmaktadır. Bu tür uygulamalarda bağlantı noktalarında sızdırma oluşabileceğinden su dolaşımı yangın durumunda aktif hale gelecek şekilde düzenlenmektedir. Su ile soğutma sistemler donmaya ve korozyona karşı önlem gerektirmektedir (Beyhan, 2019; Demirel ve Özkan, 2003).

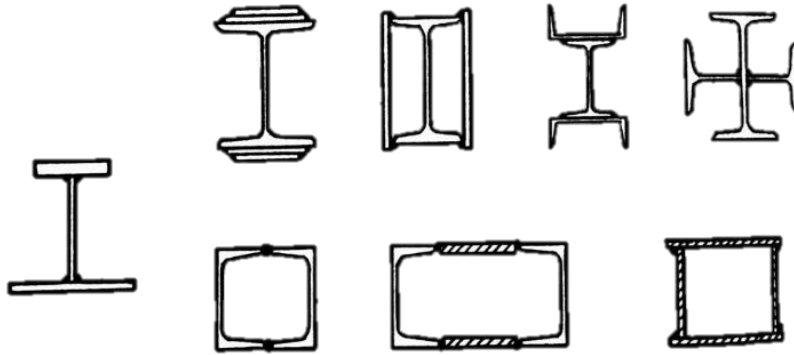
1.4.5. Çelik Yapı Elemanları

1.4.5.1. Kolonlar

Yapılarda uzunluğu nispeten fazla olan kiriş ile döşemelerden aldıkları yükleri temele taşıyan yapı elemanlarına kolon denmektedir. Genellikle dikey olarak konumlanan bu elemanlara direk, sütun veya dikme de denilmektedir (Hasol, 1993; Harris 1975).

Çelik kolonlar basınca ve dolayısıyla burkulmaya maruz kalan elemanlardır. Ayrıca yüklemekten kaynaklanan momentleri de karşılamaktadırlar. Momente maruz kalan kolonlar genelde tek parçalı olacak şekilde düzenlenmelerine karşın çok parçalı da olabilirler (Öztürk, 1989).

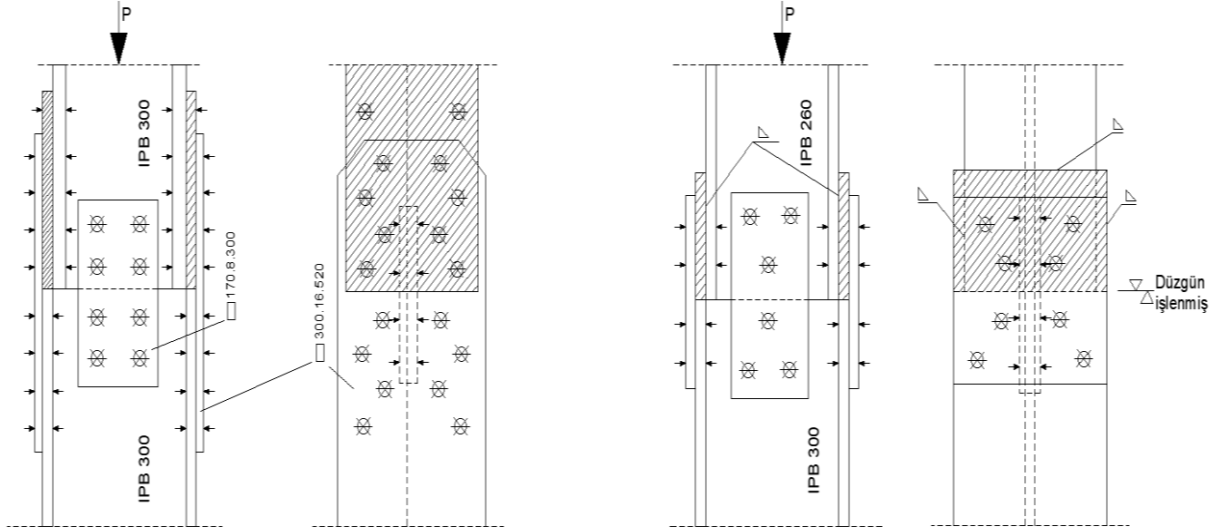
Maruz kaldığı yüklerle karşı yeterlilik gösterdiği sürece çelik kolonlar tek bir profil kullanılarak oluşturulmaktadır. Bu tür kolonlara tek parçalı kolonlar denmektedir. Genellikle I profillerin tercih edildiği tek parçalı kolonlar için daire veya dikdörtgen kesitli boru profiller de kullanılabilir. Bu profillerin yeterli gelmemesi durumunda ise lamalar ve profillerin birlikte kullanıldığı çok parçalı kolonlar tercih edilmektedir. Çok parçalı kolonlar birbirlerine sürekli kaynaklanabileceği gibi iki ayrı profilden de meydana gelebilir (Şekil (Karaduman, 1999; Deren vd., 2003); (Şekil 33).



Şekil 33. Sürekli birleşik kolon gösterimleri (Karaduman, 1999).

Çok katlı çelik yapı kolonlarında genellikle I profiller tercih edilmektedir. Profillerin imalat, taşıma ve montaj işlemlerinde kolaylık sağlanması amacıyla bu elemanlara ek uygulanmaktadır. Ayrıca kat yüksekliğinin artmasıyla birlikte kolon kesitlerinin küçülmesi de ek gerektiren durumlardır. Bu sebeple çelik karkas yapılarda iki veya üç katta bir ek yapılmaktadır. Ekler gövde veya başlık ek elamanlarının bulon veya kaynakla birleştirilmesi ile yapılmaktadır. Bu ek yerlerinin döşeme kirişlerinin 30 ila 50 cm üstünde olması gerekmektedir (Karaduman, 1999; Deren vd., 2003).

Kolon ekleri tam ek ve temas ek olacak şekilde iki farklı yöntem ile yapılmaktadır. Tam ek yönteminde, üst üste gelen kolon profillerin uçları birbirine temas etmesine karşın temas ile yük aktarımı olmadığı kabul edilir. Bu yöntemde alt profile uygulanacak olan birleşim eleman kesitlerinin üst profilin kesitlerinden küçük olmaması gerekmektedir. Ayrıca üst kolon kesitleri genelde daha küçük olduğundan üst profilin yanlarına besleme levhaları konulmaktadır. Temas ek yönteminde ise kolon yükü merkezi basınç kuvvet yükü olmalı ve ek yerleri burkulma boyu dışındaki dörtte bir kısımda bulunmalıdır (Şekil 34). Ayrıca temas edecek noktaların -otojen kesmeden sonra frezelenme işlemi uygulanarak veya testere ile düzgün kesim yapılarak- temasa uygun hale getirilmesi gerekmektedir (Deren vd., 2003).



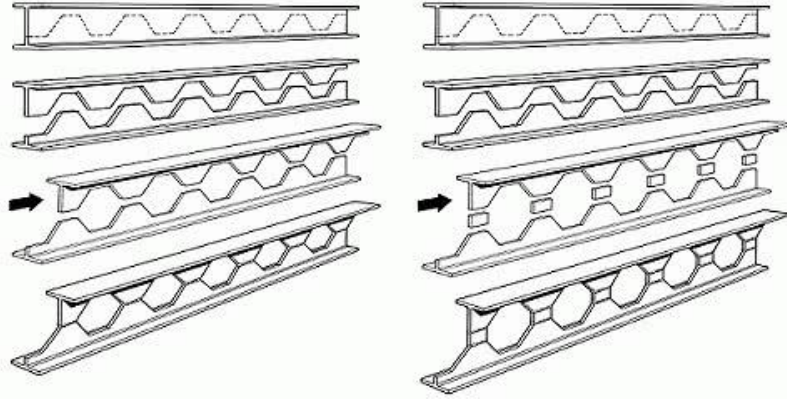
Şekil 34. Tam ek ve temas ek görünüş çizimi (Deren vd., 2003).

1.4.5.2. Kirişler

Kirişler, döşemeden gelen yükleri düşey elemanlara aktaran taşıyıcı sistem elemanlarıdır. Boy eksenine dik kuvvetleri karşılayan kiriş elemanları eğilmeye karşı dayanım göstermektedir (Hasol, 1993).

Dolu Gövdeli Kirişler: Dolu gövdeli kirişler özellikle çekmeye çalışan elemanlardır. Bu kirişlerin kesit, ek ve birleşim hesapları gerilmelerin kiriş yüksekliği boyunca lineer dağıldığı kabul edilerek yapılmaktadır. Dolu gövdeli kirişler profil (putrel) ve yapma (bileşik) kirişler olarak 2 farklı şekilde yapılabilmektedir. Profil kirişler tek bir profilden oluşmakta ve genellikle I profil kullanılmaktadır. Profil kesitlerinin yetmediği daha büyük açıklık geçen kirişlerde bu profillere ek levhalar ilave edilebilmektedir. Yapma kirişler ise perçin veya kaynakla birleştirilen farklı elemanların birlikte çalışmasıyla oluşturulan elemanlardır (Deren vd., 2003).

Petek Kirişler: Petek kirişler çelik I veya H profillerin gövdeleri boyunca zikzaklı veya dairesel kesilerek elde edilen parçaların kaydırılarak kaynakla yeniden birleştirilmesi ile oluşturulmaktadır (Şekil 35). Bu işlemin sonucunda yüksekliği artan profillerin kesit katsayı ve atalet momenti de artmakta böylece daha rijit ve dayanıklı elemanlar elde edilmektedir. Bunun yanı sıra petek kirişlerin üzerinde oluşan boşluklar elektrik, su ve mekanik tesisat borularının buraya yerleştirilmesine olanak verdiği için kat yüksekliğinden kazanç sağlanmaktadır. Petek kirişlerin diğer bir avantajı ise aynı atalet momentine sahip I profil kirişlerden dolu gövdeli profillere göre %60- %70 daha hafif olmalarıdır (Erdal ve Saka, 2009; URL-6).

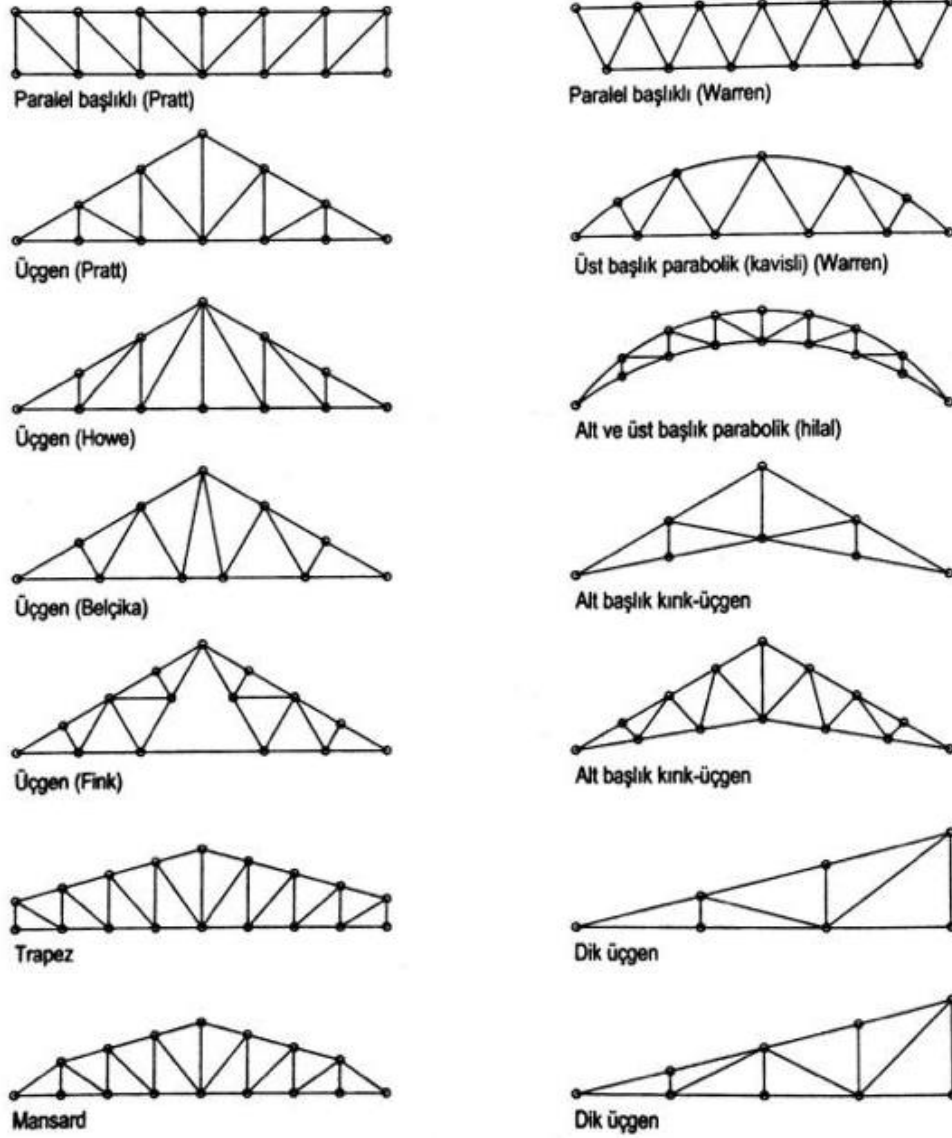


Şekil 35. Petek kiriş (URL-28, 2019).

Düzlem Kafes Kirişler: Başlık ve örgü çubuklarının genellikle üçgen boşluklar oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen kirişlere düzlem kafes kiriş denilmektedir. Çubukların birleştikleri noktalara düğüm noktası denilmekte ve bu birleşimler kaynak, perçin veya bulon ile oluşturulabilmektedir. Kafes kirişlerin alt ve üst tarafında boyuna devam eden bileşenler başlık çubukları, iki başlık çubuğu arasına yerleştirilen çubuklar ise örgü (dolgu) çubuklarıdır. Örgü çubuklarından düşey konumlanana dikme, vevv olanlara ise diyagonal çubukları denilmektedir (Karaduman, 1999).

Düzlem kafes sistemlerde, çubuklara etkiyen tesir kuvvetinin azalmasına sağlayan alt ve üst başlıklar arası yükseklik dolu gövdeli kirişlere göre daha az malzeme ile sağlanacağından bu sistemler dayanım ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır (Karaduman, 1999).

Bu sistemler başlık ve örgü elemanlarının şekil ve dizilimlerine göre farklı türlerde oluşturulabilmektedir (Şekil 36). Kullanım alanına göre seçilen bağlantı tiplerinden mimaride yaygın olarak kullanılanları; Warren, Pratt ve Howe tipidir. Warren kirişler basit ve sürekli uygulamalarda en sık kullanılan bağlantı tipidir. Büyük açıklıklar için dikme ve diyagonellerin birlikte kullanıldığı bu bağlantı tipinde dikme elemanları küçük açıklıkların geçildiği durumlarda kullanılmamaktadır. Pratt kirişler dikmeler arasına yerleştirilen diyagonellerin, aşağı ve açıklığın merkezine doğru yönlendiği kiriş tipleridir. Pratt bağlantı tipinde dikme elemanlar basınca maruz kalırken diyagoneller gerilme yüklerini karşılamaktadır. Böylece daha ince kesitli diyagonal elemanlar kullanılabilir. Howe bağlantı tipinde ise diyagoneller Pratt tipinin tersi yönündedir ve basınç kuvvetlerini karşılamaktadır. Pratt tipine oranla daha maliyetli olması nedeni ile kullanımını yaygın değildir (URL-34, 2020)



Şekil 36. Düzlem kafes kiriş şema örnekleri (Ertan, 2012).

Uzay Kafes Kirişler: Burkulma tehlikesi nedeniyle düzlem kafes kirişe bir üst başlık daha eklenmesi ve bu başlığın diğer başlıklara diyagonaller ile bağlanması ile elde edilen üç boyutlu kirişlere uzay kafes kiriş (üç başlıklı kafes) denilmektedir (Meinstermann, 2010) (Şekil 37).



Şekil 37. Hamburg Havaalanı uzay kafes kiriş görseli (URL-29, 2019).

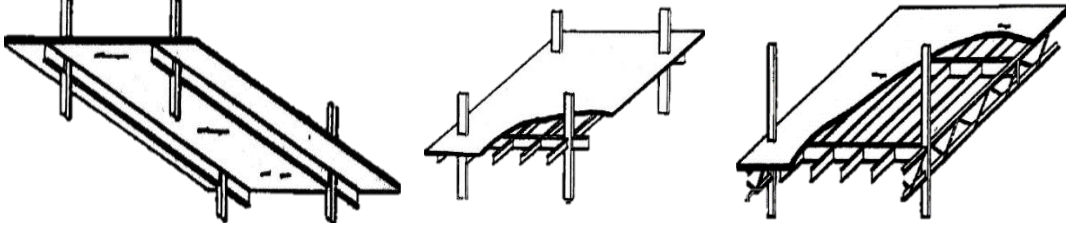
Gergili Kirişler: Basit çelik kirişlerin yeterli olmadığı durumlarda bu kirişlere çekmeye çalışan gergi elemanlarının ilave edilmesiyle oluşan kirişlerdir. Bu kirişler ile daha ince kesitlerle daha büyük açıklıklar geçilebilmektedir (Eren, 2007).

1.4.5.3. Döşemeler

Yapılarda kolon, duvar veya çerçeve sistemlerin üzerine oturan ve katlar arası mekan ayrımı sağlayan elemanlara döşeme denmektedir. Bu elemanlar yatay rijit elemanlar olup düşeyden gelen yükleri kolon veya duvarlara aktarmakla görevlidir. Döşemeler yalnızca düşeyde gelen yükleri değil rüzgar ve deprem yükü gibi yatay yükleri de karşılamaktadır. Bunların yan ısıra döşemelerin ses, ısı ve neme karşı yalıtım sağlama ve yatay tesisata yer sağlama gibi işlevleri de vardır. Tüm bu işlevlere cevap verecek şekilde tasarlanan döşeme elemanlarının kalınlığı tüm yapı yüksekliğini etkilemektedir (Özşen ve Yamantürk, 1991).

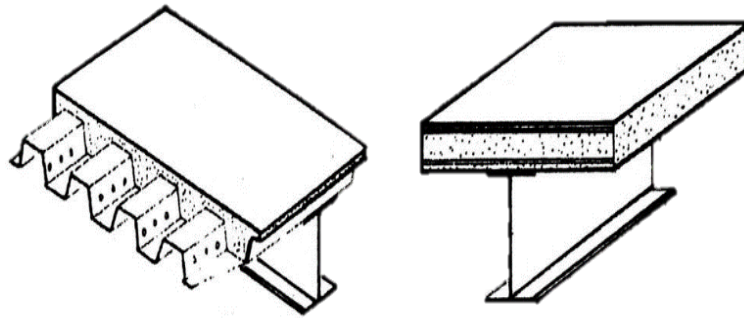
Çelik döşeme sistemleri, 10-18 cm kalınlığında çerçeve sistemin üzerine oturan döşeme tablasından oluşabileceği gibi döşeme tablalarının metal bir tabliye üzerine uygulanması ile döşeme kalınlığı 6 cm' ye kadar düşürülebilmektedir. Döşeme kalınlığı yapının ağırlığında dolayısıyla maliyetinde de etkin bir role sahip olduğundan küçük açıklık geçen daha küçük kesitli döşemeler daha ekonomik çözümler sunabilmektedir. Çelik döşeme sistemleri geçilen açıklığa bağlı olarak destekleyici elemanlarının

düzenlenme şekline göre; tek yönde kiriş sistemi, iki yönde kiriş sistemi ve üç kirişli sistem olarak üç farklı şekilde düzenlenebilmektedir (Şekil 38) (Özgen ve Sev, 2000).



Şekil 38. Tek yönde kiriş sistemi, iki yönde kiriş sistemi ve üç kirişli sistem (Özgen ve Sev, 2000).

Kompozit Döşeme: Kompozit döşeme sistemleri çelik profiller ve betonarme planların T kirişler oluşturacak şekilde bir araya getirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir (Şekil 39). Çelik profiller ile betonarme plaklar arasındaki bağlantı profillerin üzerine uygulanan bulon veya kaynaklılar ile sağlanmaktadır. Bu döşeme sistemleri büyük açıklık geçebilme, hafif bir yapıya sahip olma, ön üretim ve kolay uygulanma gibi yapısal avantajlarının yanı sıra temiz, kullanışlı bir yüzey oluşturması ve daha az döşeme kalınlığı gerektirmesi yönüyle iç mekan için de kullanışlıdır. Kompozit döşemelerde çelik profil ve betonarme plak malzemenin birlikte çalışması oldukça önemlidir. Böyle bir sistemde malzemelerin zayıf yönleri diğer malzemenin güçlü yönleriyle dengelendiğinden dayanım olarak çok daha üstün bir eleman elde edilmektedir (Özgen ve Sev, 2000).



Şekil 39. Kompozit döşeme sistemi (Özgen ve Sev, 2000).

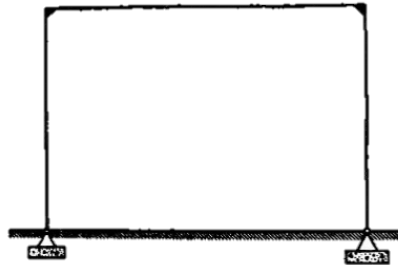
1.4.6. Çelik Malzemeli Taşıyıcı Sistemler

1.4.6.1. Çerçeve Sistemler

Kolonlar üzerine yerleştirilen kiriş veya kafes sistemlerin rijit bir biçimde birleştirilmesiyle oluşturulan sistemlere çerçeve sistemler denilmektedir. Bu sistemler rijit bağlantıları sayesinde eğilmeye karşı çalışacağından oldukça kullanışlıdır. Çerçeve sistemlerde düşey olarak konumlanan taşıyıcı elemanlara dikme, yatay olarak konumlananlara ise başlık denilmektedir. Dikme ve başlıkların rijit bağlanması sistemin bir bütün olarak çalışmasını sağlamakta böylece küçük kesitlerle fazla taşıma kapasitesine sahip sistemlerin elde edilmesine olanak vermektedir. Bunun yanı sıra çerçeve sistemler farklı çatı geometrilerinin oluşturulmasına imkan sağlayarak geniş açıklıklı binaların yapımında kullanılmaktadır (Meinstermann, 2010).

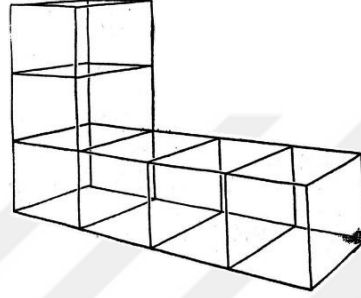
Basit çerçeveler: Tek açıklıklı çerçeve olarak da adlandırılan basit çerçeveler monolitik olarak çalışmakta, yatay ve düşeyden gelen yüklere karşı yüksek dayanım göstermektedir (Şekil 40). Basit çerçeve sistemlerde tercih edilen kiriş ölçülerine ve çeşidine de bağlı olarak 40 m'den fazla açıklık geçilebilmektedir. Bu sebeple kolon istenmeyen büyük açıklıklı sistemlerde çokça tercih edilmektedir (Salvadori ve Heller, 1982).

Basit çerçeve sistemlerin yatay ve düşeydeki yüklere karşı rijitliğini artırmak amacıyla kolon ve kirişlerin arasına çaprazlamalar kullanılmaktadır. Çaprazlama elemanları daha küçük kesitli kolonların kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Eren, 2007).



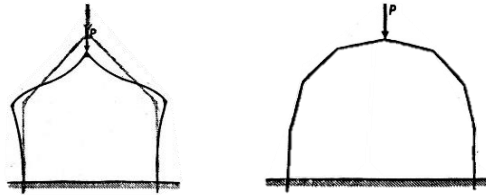
Şekil 40. Basit mesnetli çerçeve (Salvadori ve Heller, 1982).

Çok gözlü çerçeveler: Basit çerçevelerin yan yana ve üst üste getirilerek birlikte çalışmasının sağlandığı sistemler çok gözlü sistemlerdir (Şekil 41). Bu sistemler basit çerçevenin aralarına kolon yerleştirilmesi ve basit çerçevelerin yan yana getirilmesi olmak üzere iki şekilde oluşturulmaktadır. Yüksek ve geniş yapılarda göz sayısı artırılarak iskelet taşıyıcı sistemler oluşturulabilmektedir. Bu tarz yapılarda elemanlardan birine etkiyen yük tüm sistem elemanlarınca karşılanmaktadır (Özşen ve Yamantürk, 1991).



Şekil 41. Çok gözlü çerçeve (Salvadori ve Heller, 1982).

Kırık kirişli çerçeveler ve kemerler: Çerçeve sistemlerde kolon ve kiriş elemanlar düşey yüklerin etkisiyle basınç ve eğilme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Çerçevenin başlık elemanları yatay konumdayken bu gerilmelere karşı etkin bir çözüm olmasına karşın eğrisel formlar bu etkinliği arttırmaktadır (Şekil 42). Başlık elemanın eğimli iki kirişten oluştuğu üçgen çerçevelerde, üçgen yüksekliğinin artmasıyla daha fazla basınç ve daha düşük eğilmeler oluşmaktadır. Bu sayede yük taşıma kapasitesi artırılan üçgen çerçeve sistemlerde daha küçük kesitli elemanlar kullanılarak malzeme tasarrufu sağlanmaktadır (Salvadori ve Heller, 1982).



Şekil 42. Kırık kirişli çerçeveler (Salvadori ve Heller, 1982).

Çerçeve sistemlerde başlıktaki kırık sayısı artırılarak farklı formlar elde edilebilmektedir. Böylece üçgen çerçeve sistemlerde olduğu gibi daha fazla basınç ve düşük eğilmeler oluşmaktadır. Kırık sayısının sonsuz sayıda ve kenar uzunluklarının sonsuz küçüklükte olması ile kemer formlar elde edilmektedir (Salvadori ve Heller, 1982). Kemerler, eğri eksenli basınca çalışan taşıyıcı sistemlerdir ve diğer çerçeve sistem türlerine göre basınç dayanımları daha yüksek olduğundan daha ince kesitlerle çözüm sağlayabilmektedir. Oldukça farklı şekil ve yükseklikte oluşturulabilen kemer çerçeve sistemlerin verimli çalışması açısından kemer yüksekliğinin açıklığına oranı $1/6$ 'dan az olmamalıdır (Özşen ve Yamantürk, 1991) (Şekil 43).



Şekil 43. Farklı biçimlerdeki kemer örnekleri (Salvadori ve Heller, 1982).

1.4.6.2. Uzak Kafes Sistemler

Uzak kafes sistemler bir düğüm noktası ve düğüm noktasında birleşen çubuk elemanlardan oluşan üç boyutlu sistemlerdir (Şekil 44). Elemanlardan herhangi birine etkiyen çekme ve basınç kuvvetleri çok yönlü yayılımla zemine aktarılmaktadır. 19. yy.da kullanımı yaygınlaşan uzak kafes sistemler büyük iç mekan ihtiyacına ekonomik çözümler sunduğundan sergi salonları, spor tesisleri, uçak hangarları, ulaşım yapıları, endüstri yapıları ve depolar gibi geniş açıklık gerektiren yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Vural, 2004; Lan, 1999).



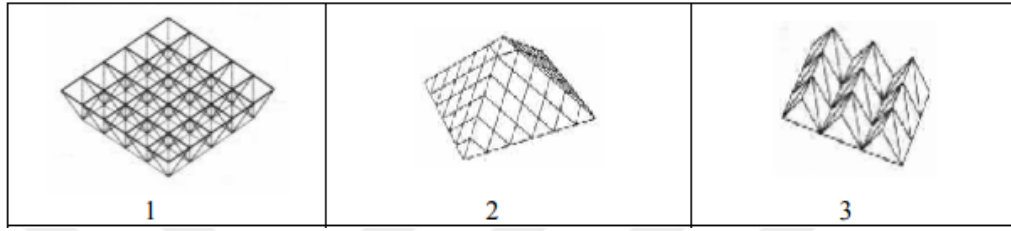
Şekil 44. Zagreb Havaalanı uzay kafes sistem örneği (URL-30, 2019).

Prefabrikasyon fikri ile beraber gelişen uzay kafes sistemler üçgen, dörtgen veya altıgen piramit modüllerden oluşmaktadır (Şekil 44). Bu modüllerin birleştirilmesiyle farklı form ve boyutlarda yapıların üretilmesi mümkün olmaktadır (Gerçek,1979; Erol, 1997). Uzay kafes sistemlerde tüm elemanlar yükün karşılanmasına katkıda bulunmaktadır. Bu sayede herhangi bir noktada yoğunlaşan kuvvetler veya ağır yükler tüm elemanlara eşit olarak dağılmakta sistemin daha verimli çalışması sağlamaktadır. Bunun yanı sıra uzay kafes sistemlerin iki tabaka arasındaki açıklıklar mekanik, elektrik ve havalandırma sistemlerinin yerleştirilmesine oldukça uygun olduğundan mekandan ve malzemenin tasarruf sağlanmasını sağlamaktadır. Uzay kafes sistemlerin diğer bir avantajı ise oldukça kolay monte edilen modüler elemanlardan oluşmasıdır. Yüksek kalitede fabrikalarda üretilen çelik yapı elemanların şantiyede hızlı ve kolay bir şekilde kurulumu yapılabilmektedir. Ayrıca uzay kafes sistemler modüler yapıya sahip olduğundan kolayca demonte edilebilmekte ve taşıyıcı elemanlar tekrar kullanılabilir (Chilton, 2000).

Büyük açıklıkları geçmede ekonomik çözümler sunmasına karşın uzay kafes sistemler 20-30 metreden küçük açıklıklar için diğer sistemlere oranla yüksek maliyetler gerektirmektedir. Ayrıca uzay kafes sistemi oluşturan eleman sayısının ve yüzey alanının fazla olması bu çelik elemanların yangından korunmasına karşı alınacak yalıtım önlemlerinin maliyetini arttırmaktadır (Chilton, 2000).

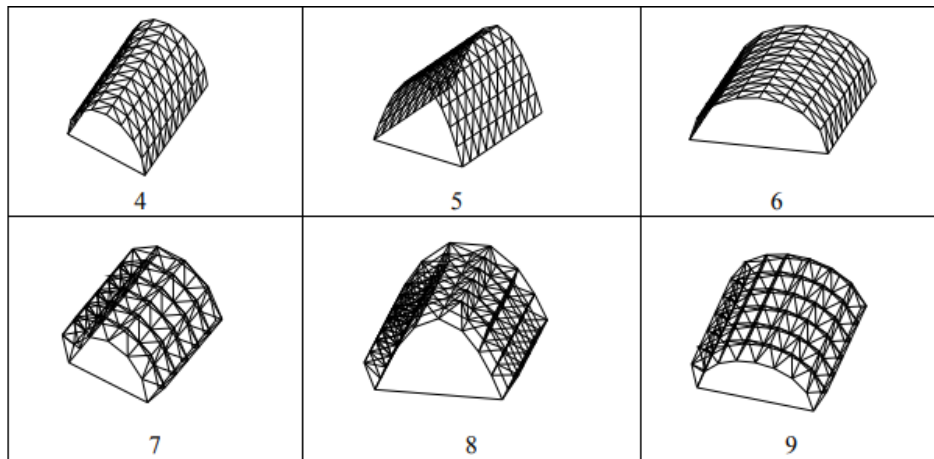
Uzay kafes sistemler biçimlerine göre düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, tek eğrilikli (tonozsal) uzay kafes sistemler ve çift eğrilikli (kubbesel) uzay kafes sistemler olarak 3 gruba ayrılmaktadır. Bunlardan düzlem yüzeyli uzay kafesler yalnızca çift tabakalı olacak şekilde düzenlenirken tek ve çift eğrilikli uzay kafesler hem tek hem çift tabakalı olacak şekilde düzenlenebilmektedir (Sungur, 2005).

Düzlem Yüzeyle Uzak Kafes Sistemler: Uzak kafes sistemler arasında en yaygın olarak kullanılan sistemlerdir. Bu sistemlerde doğruy ve doğruzman çizgilerinde eğrilik söz konusu değildir. Yüzeyler düz, eğik veya katlanmış şekilde düzenlenebilmektedir (Şekil 45). Mafsallı bağlantı noktaları sebebiyle yükler altında stabilitesini koruyamayacağından düzlem yüzeyle uzak kafes sistemler tek tabakalı üretilememektedir (Orbay ve Savaşır, 2004).



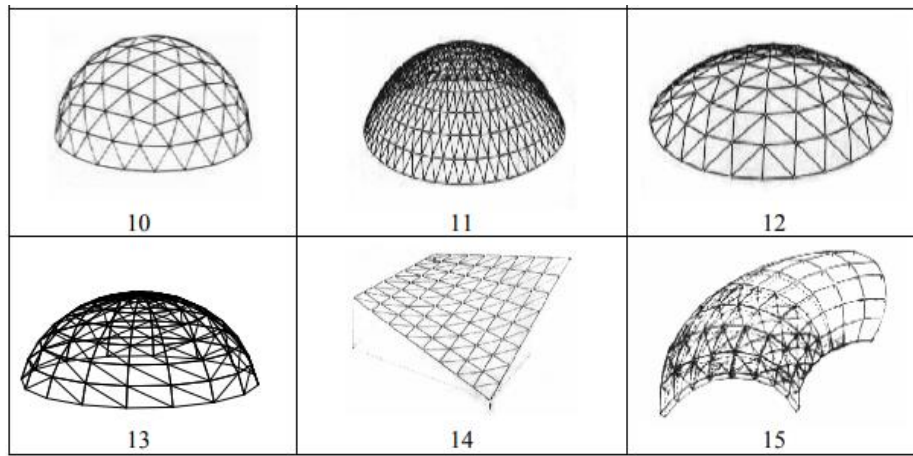
Şekil 45. Düzlem yüzeyle uzak kafes sistemler (Orbay ve Savaşır, 2004).

Tek Eğrilikli (Tonozsal) Uzak Kafes Sistemler: Doğruyın eğri doğruzmanın doğru parçası olduğu kafes sistemlere tek eğrilikli uzak kafes sistemler denilmektedir. Bu sistemler tek veya çift tabakalı olacak şekilde kurgulanabilmektedir (Şekil 46). Düzlem yüzeyle uzak kafes sistemlerle karşılaştırıldığında statik ve stabilite olarak daha üstün oldukları söylenebilmektedir (Orbay ve Savaşır, 2004).



Şekil 46. Tek eğrilikli uzak kafes sistemler (Orbay ve Savaşır, 2004).

Çift Eğrilikli (Kubbesel) Uzak Kafes Sistemler: Doğuray ve doğrultmanın her ikisinin de eğri olduğu kafes sistemlere çift eğrilikli uzak kafes sistemler denmektedir. Çift eğrilikli uzak kafes sistemler eğriliklerin yönüne göre; eğrilikleri aynı yönde olanlar (jeodezik kubbe, eliptik paraboloid) ve eğrilikleri ters yönde olanlar (hiperbolik paraboloid) olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (Şekil 47). Geniş açıklıkların daha az malzeme ile geçilmesini sağlayan çift eğrilikli uzak kafes sistemler de tek ve çift tabaka olacak şekilde düzenlenebilmektedir (Orbay ve Savaşır, 2004).

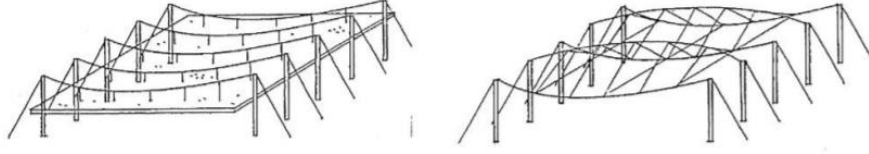


Şekil 47. Çift eğrilikli uzak kafes sistemler (Orbay, Savaşır, 2004).

1.4.6.3. Asma (Kablolu) Sistemler

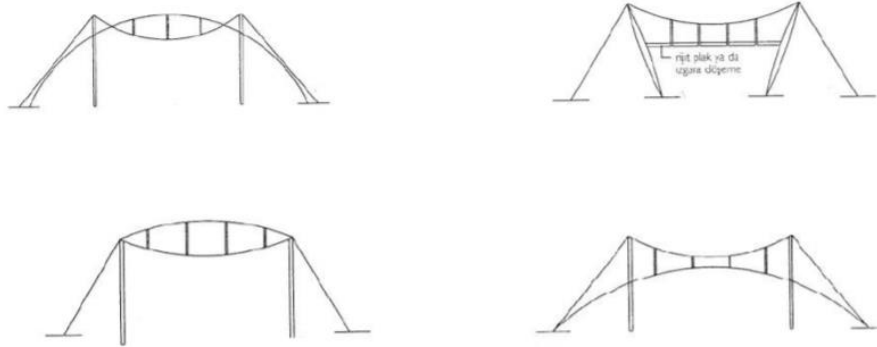
Yapı yüklerinin ankraj elemanları arasında gerilmiş çelik kablolar ile taşındığı sistemler asma sistemler olarak adlandırılmaktadır. Asma sistemler geniş açıklık gerektiren stadyum, uçak hangarı, terminal, fabrika binalarında ve köprülerde tercih edilmektedir (Sungur, 2005).

Tek Eğrilikli, Tek Tabakalı Asma Sistemler: İç bükey yüzeye sahip çatının birbirine paralel şekilde yerleştirilen tek eğrilikli kablolar tarafından oluşturulduğu asma sistemlerdir. Çoğunlukla dikdörtgen plana sahip yapılarda kullanılan tek eğrilikli tek tabakalı asma sistemlerin basıklık oranı açıklığın $1/15-1/20'$ si kadar olmalıdır. Bu tür asma sistemlerde sistemin stabilitesinin sağlanması için ağır olarak seçilen örtü malzemeleri kabloların üzerine serilme veya kablolarla asılma şeklinde uygulanabilmektedir (Şekil 48) (Özşen ve Yamantürk, 1991).



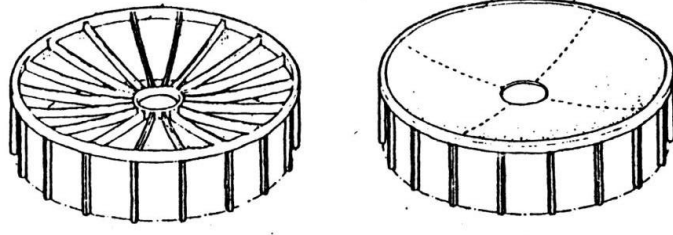
Şekil 48. Tek eğrilikli, tek tabakalı asma sistemler (Shirzad Rezaei, 2019).

Tek Eğrilikli, Çift Tabakalı Asma Sistemler: 45 ila 90 metre açıklık geçebilen tek eğrilikli, çift tabakalı asma sistemler taşıyıcı kablo, stabilite kablosu ve bunların bağlanmasını sağlayan örgü çubuklarından oluşmaktadır (Şekil 49). Tek eğrilikli tek tabakalı asma sistemlerin aksine hafif bir çatı örtüsü bu sistemler için yeterli olmaktadır (Özşen ve Yamantürk, 1991).



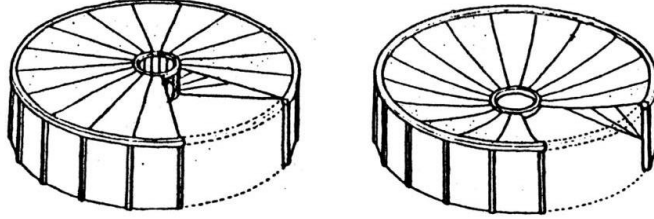
Şekil 49. Tek eğrilikli, çift tabakalı asma sistem (Shirzad Rezaei, 2019).

Çift Eğrilikli, Tek Tabakalı Asma Sistemler: Daire planlı yapılarda tercih edilen çift eğrilikli, tek tabakalı asma sistemler içte çekme çemberi dışta basınç çemberi ve bunların arasında radyal yerleştirilmiş çelik halatlardan oluşmaktadır (Şekil 50). Bu sistemler 45 ila 90 metre açıklık geçebilmektedir (Özşen ve Yamantürk, 1991).



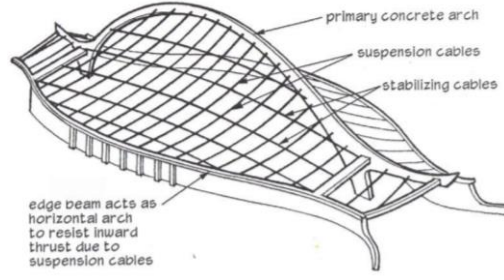
Şekil 50. Çift eğrilikli, tek tabakalı asma sistem (Özşen ve Yamantürk, 1991).

Çift Eğrilikli, Çift Tabakalı Asma Sistemler: Bu tür asma sistemler tek eğrilikli, çift tabakalı asma sistemlerdeki gibi stabilite kablosu kullanılarak yüksek stabilitenin sağlandığı ve geniş açıklıkların geçilebildiği sistemlerdir (Şekil 51) (Özşen ve Yamantürk, 1991).



Şekil 51. Çift eğrilikli, çift tabakalı asma sistem (Özşen ve Yamantürk, 1991).

Kablo Ağı Asma Sistemler: Birbirine dik konumlanan taşıyıcı kabloların oluşturduğu kablo ağı sistemler genellikle hiperbolik paraboloid biçiminde düzenlenmektedir (Şekil 52). Kablo ağı, stabilite kabloları ve kenar elemanlarından oluşan sistem çeşitli plan tiplerine uygulanabildiğinden tercih edilmektedirler (Özşen ve Yamantürk, 1991).



Şekil 52. Ingalls Hockey Alanı kablo ağı asma sistem örneği (Shirzad Rezaei, 2019).

1.4.6.4. Şişirme (Pnömatik) Sistemler

Pnömatik sistemler ince bir membranın, iç ve dış mekan arasındaki basınç farkı sayesinde taşınması ile oluşturulan sistemlerdir (Şekil 53). Mimarlık alanında 20. yy.da kullanılmaya başlayan bu taşıyıcı sistemler büyük açıklık gerektiren kalıcı veya geçici olarak inşa edilen depo, spor, askeri, ticari, sosyal ve acil afet yapılarında tercih edilmektedir (Schueller, 1993; Türkçü, 2009).



Şekil 53. Fuji grubu pavyonu pnömatik sistem örneği (URL-33, 2019).

Bu sistemlerde mekan basıncının dış mekana göre daha fazla olması gerekmektedir. Bu sebeple herhangi bir kuvvetin etkisiyle dışarıda oluşabilecek fazla basınç içerideki basıncın yükseltilmesiyle dengelenmeli veya esneklik payına göre membran şekli

ayarlanmalıdır. Kullanılan membranlar oluşan gerilmelere karşı dirençli olacak şekilde seçilmelidir (Schueller, 1993).

Pnömatik sistemler geniş açıklık geçebilme, kolay ve hızlı kurulabilme, sökülebilir ve kolay taşınabilir olma gibi avantajları sayesinde özellikle geçici yapılarda tercih edilmesine karşın kurulumunun her türlü araziye uygun olmaması, cephelerde açıklık oluşturulamaması ve giriş çıkışlarda mutlaka özel detaylandırılmış kapı gerektirmesi gibi dezavantajlara sahiptir (Türkçü, 2009).

Pnömatik sistemler tabaka sayılarına göre tek tabakalı (hava destekli) ve iki tabakalı (hava şişirmeli) olmak üzere sınıflandırılmaktadır.

Tek tabakalı (hava destekli) pnömatik sistemler: Membran örtü, içeride sürekli çalışan hava pompaları ile oluşturulan yüksek basınç sayesinde havada durmaktadır. Bu tür sistemler geleneksel yapılardan farklı olarak yerden kopmaya meyilli olduğundan kablolar ile zemine bağlanmaktadır. Tek tabakalı pnömatik sistemlerde giriş çıkış açıklıklar dışarı hava kaçmasına yani içerdeki hava basıncının azalarak yapının sönmesine neden olabilmektedir. Bu sebeple bu tür yapılarda hava çıkışını en aza indirmek amacıyla döner kapı veya çift kapılı rüzgarlık sistemler kullanılmalıdır (Erol, 1997).

Çift tabakalı pnömatik sistemler: İki membran arasında pompalanan hava basıncı sayesinde şişen çift tabakalı pnömatik sistemlerde kullanıcıların bulunduğu iç mekan normal hava basıncı altındadır (Şekil 54). Hava kaybı daha az olduğundan hava pompalarının sürekli çalışmaları gerekmemektedir. Hava basıncının düşmesini engelleyen kontrollü geçişli kapılara ihtiyaç duyulmamaktadır (Türkçü, 2009).



Şekil 54. Çift tabakalı pnömatik sistem (Türkçü, 2009).

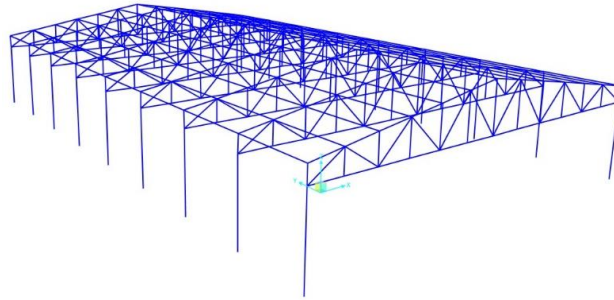
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Çalışmada çelik düzlem kafes sistemlerde kafes tipi ve tavan yüksekliğine ait değişimlerin maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda 30 metre açıklık geçen bir sanayi yapısı örneği oluşturulmuştur (Şekil 55). Örnek yapının kirişleri için literatürde yer alan başlık tiplerinden büyük açıklıklı ve tavan yüksekliğinin önemli olduğu fabrika, spor yapıları, depo, hangar gibi yapılarda tercih edilen trapez, üçgen, parabolik ve hilal kafes tipleri seçilmiş, tavan yüksekliğindeki değişimlerin sistem ağırlık ve maliyetine etkilerini saptayabilmek adına;

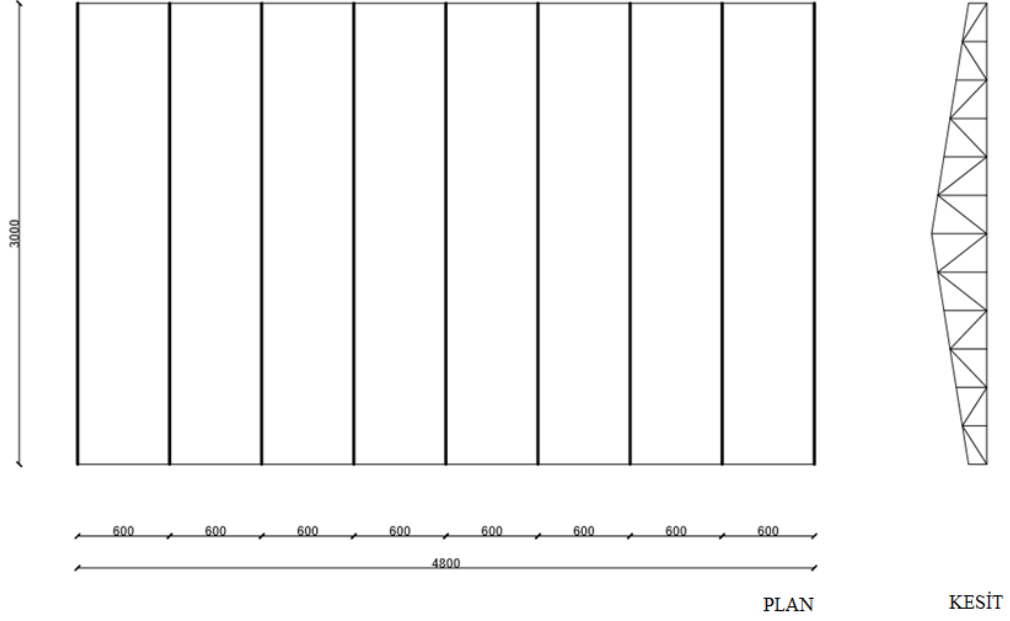
- Kafeslerin alt başlıkları orta noktalarından 40 cm yukarı kaydırılarak her kafes tipine ait 7 farklı şekil oluşturulmuş,
- Oluşturulan her düzlem kafes sistem SAP2000 programında modellenerek statik çözümlenmeleri ve boyutlandırmaları yapılmış,
- SAP2000 programında belirlenen profil kesitlerinden seçilen boyutlar her düzlem kafes sistemin minimum ağırlıkta çalışmasını sağlayacak şekilde atanmıştır. Böylece en verimli şekilde çalışan düzlemsel kafes sistemler oluşturulmuştur.

2.1. Örnek Yapıya Dair Kabuller

Kafes tipi ve bu başlık tiplerinde oluşturulan farklı tavan yüksekliklerinin sistemin ağırlığına ve dolayısıyla maliyetine olan etkisini incelemek üzere Trabzon İli Ortahisar ilçesinde yer aldığı kabul edilen örnek bir sanayi yapısı tasarlanmıştır (Şekil 55). 30 m x 48 m boyutlarında ve 6 m yüksekliğinde olan örnek yapıda kiriş aksları arasındaki mesafe en ideal aralık olan 6 m olarak belirlenmiştir (Deren vd., 2003), (Şekil 56).



Şekil 55. Örnek yapının trapez tipine ait üç boyutlu görsel



Şekil 56. Örnek yapının trapez tipine ait plan ve kesit

2.2. Düzlem Kafes Kirişlere Dair Kabuller

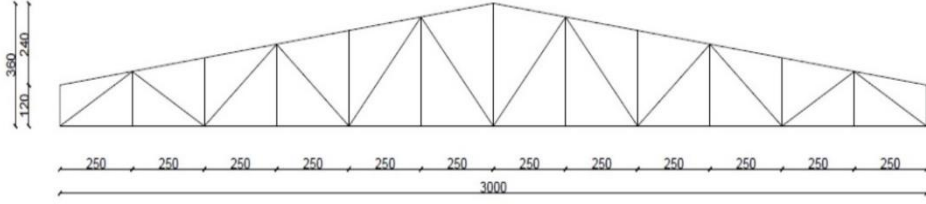
30 m açıklık geçen düzlem kafes sistemin yüksekliği geçilen açıklığa göre belirlenen ideal değerler aralığında ($L/7$ - $L/10$) olacak şekilde 3,6 m olarak belirlenmiştir (Deren vd., 2003). Benzer çalışmalarda oluşturulan örnek tasarımlardan yola çıkılarak bağlantı tipi olarak warren tipi belirlenmiş, dikme arası mesafelerde 2.5 m, trapez ve parabolik kafes tipi için yan dikmeler 1.2 m olarak düzenlenmiştir. Sistemi oluşturan profiller birbirlerine kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Kafes tipi olarak;

- Trapez kafes tipi
- Üçgen kafes tipi
- Parabolik kafes tipi
- Hilal kafes tipi

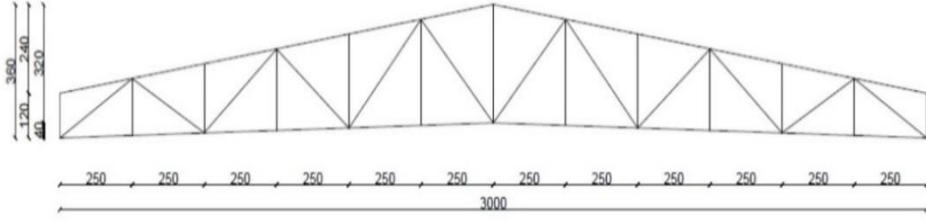
olmak üzere dört farklı tip belirlenmiştir. Oluşturulan düzlem kafes kirişlerde yükseklik kazancının etkilerini incelemek amaçlı alt başlık orta noktasından 40'ar cm yukarıya kaldırılarak yükseklikler değiştirilmiş ve her kafes tipi için 7 farklı şekil oluşturulmuştur. Oluşturulan kafes tiplerine ait bilgiler aşağıda belirtilmiştir.

2.2.1. Trapez Kafes Tipi

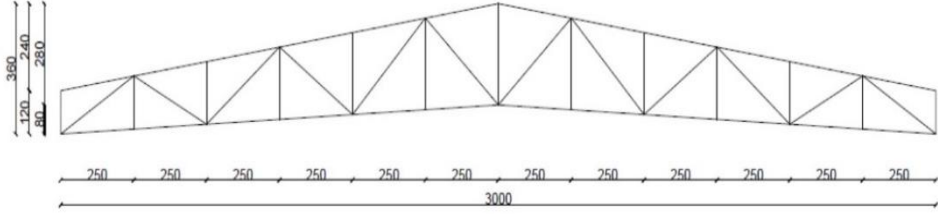
Oluşturulan trapez kafes tipinde kenar dikme yükseklikleri 1,2 m'dir ve kenar dikme üzerine oturan üçgen üst başlığın eğimi %16'dır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes T olarak adlandırılmaktadır (Şekil 57).



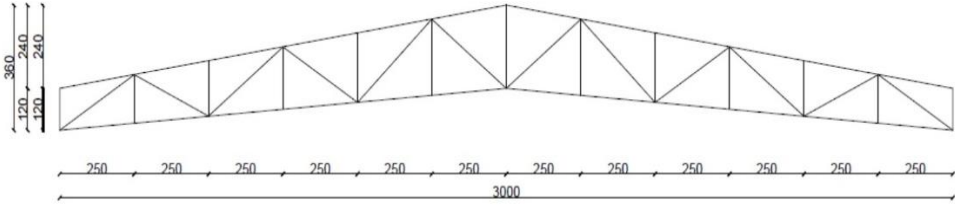
Kafes T 1



Kafes T 2



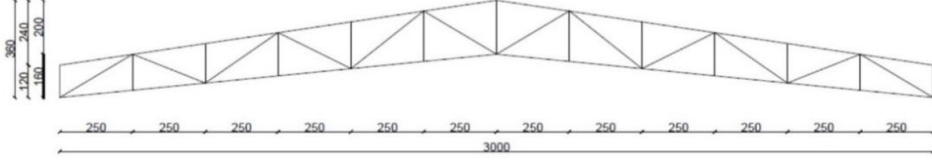
Kafes T 3



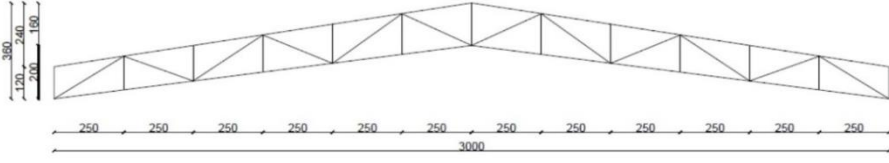
Kafes T 4

Şekil 57. Trapez kafes tipinde oluşturulan kafesler

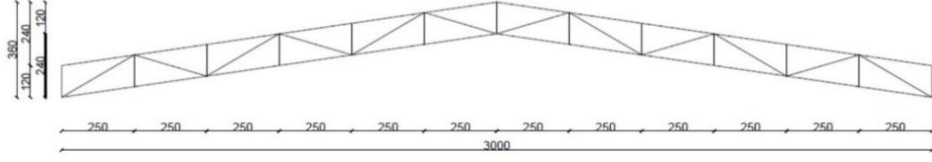
Şekil 57'nin devamı



Kafeş T 5



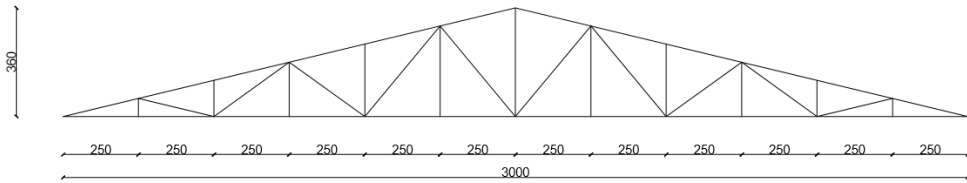
Kafeş T 6



Kafeş T 7

2.2.2. Üçgen Kafeş Tipi

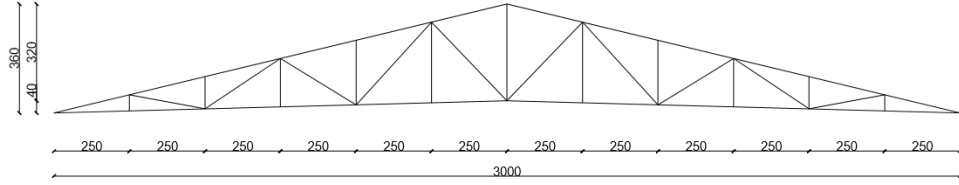
Oluşturulan üçgen kafeş tipinde kiriş yükseklikleri 3,6 m ve üst başlığın eğimi %24'tür. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafeş U olarak adlandırılmaktadır. (Şekil 58). Ayrıca üçgen kafeş tipinde oluşturulan kirişlerde yükseklik kazancı arttıkça profil boyutları küçüldüğünden uygulama açısından zorluklarla karşılaşılabilir. Ancak çalışmada bu durum göz ardı edilmektedir.



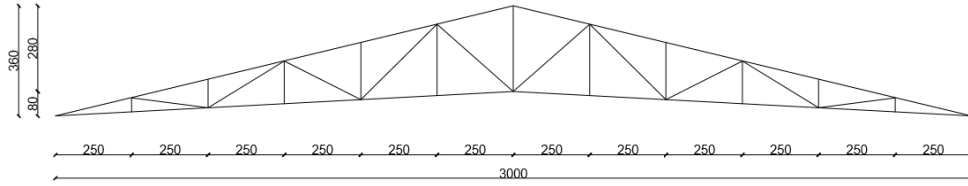
Kafeş U 1

Şekil 58. Üçgen kafeş tipinde oluşturulan kafeşler

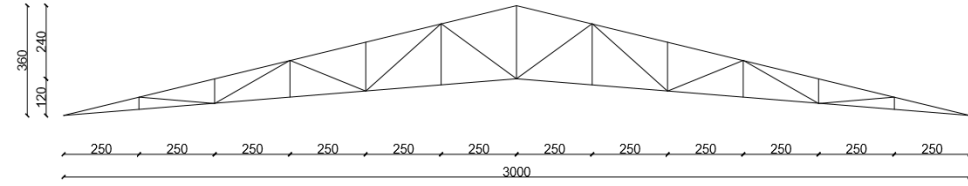
Şekil 58'nin devamı



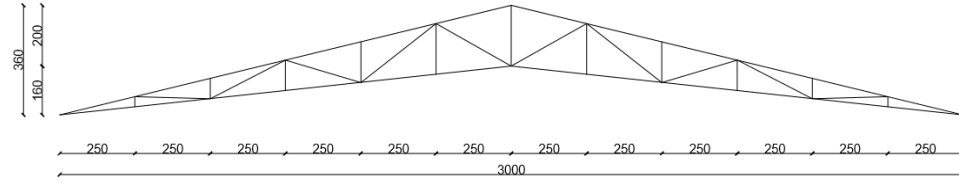
Kafes U 2



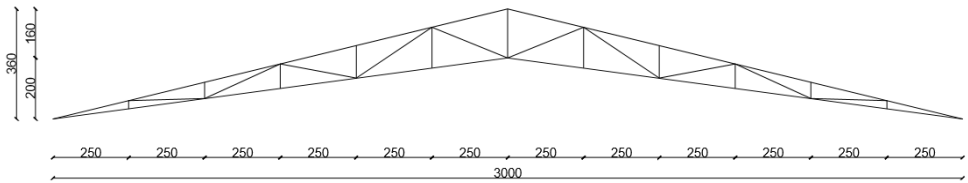
Kafes U 3



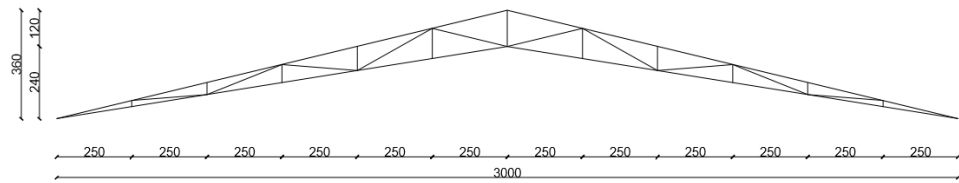
Kafes U 4



Kafes U 5



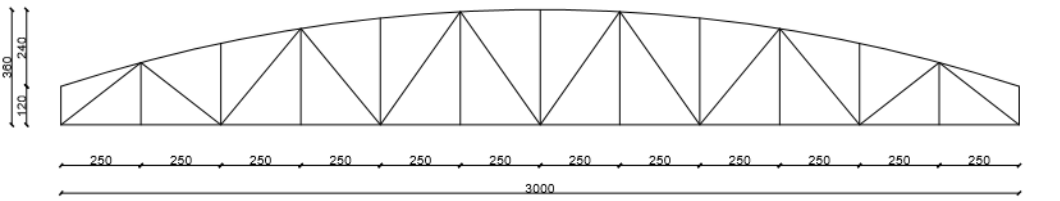
Kafes U 6



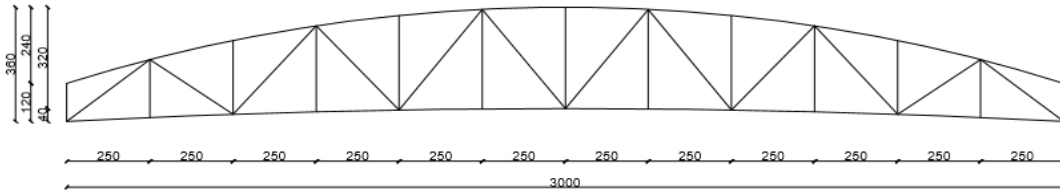
Kafes U 7

2.2.3. Parabolik Kafes Tipi

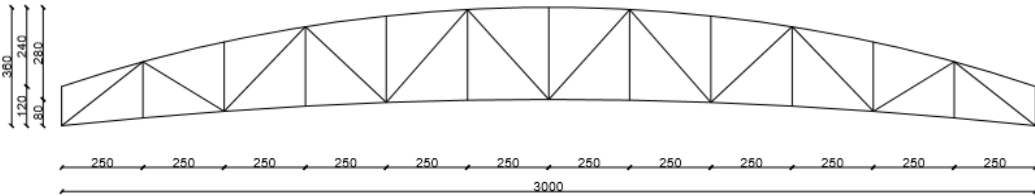
Parabolik kafes tipi altında oluşturan şekiller için kenar dikme uzunluğu 1,2 m'dir. Kenar dikmeler üzerine oturan parabol şekilli üst başlıktan oluşmaktadır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes P olarak adlandırılmaktadır (Şekil 59).



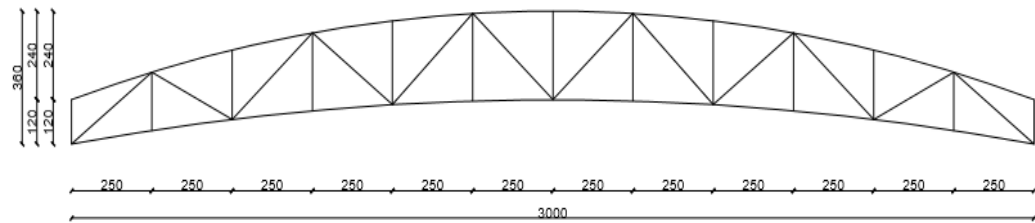
Kafes P 1



Kafes P 2



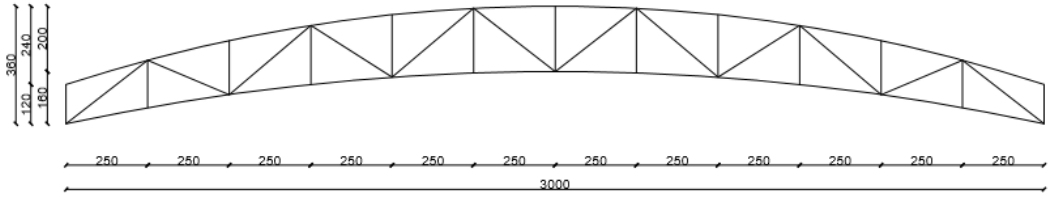
Kafes P 3



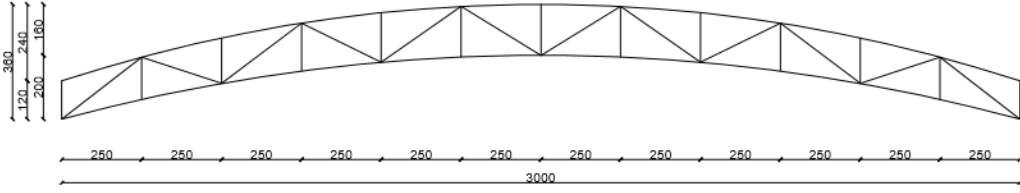
Kafes P 4

Şekil 59. Parabolik kafes tipinde oluşturulan kafesler

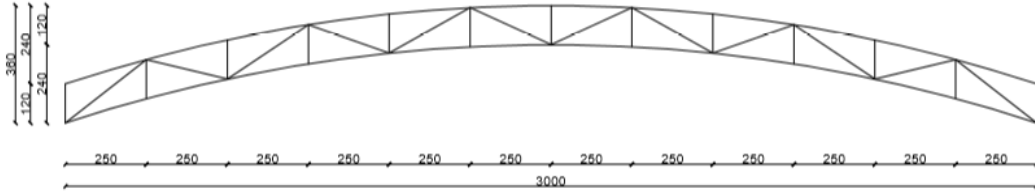
Şekil 59'nin devamı



Kafeş P 5



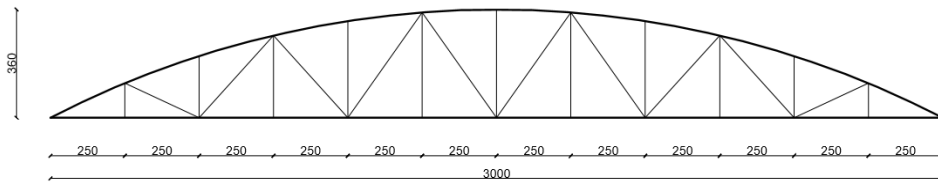
Kafeş P 6



Kafeş P 7

2.2.4. Hilal Kafeş Tipi

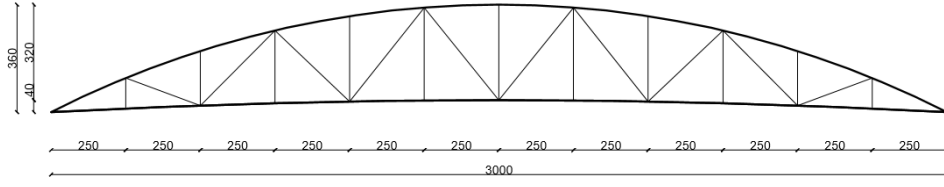
Oluşturulan hilal kafeş tipinde kiriş yükseklikleri 3,6 m'dir. Parabolik başlıktan farklı olarak hilal kafeş tipinde yan dikmeler bulunmamaktadır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafeş H olarak adlandırılmaktadır (Şekil 60).



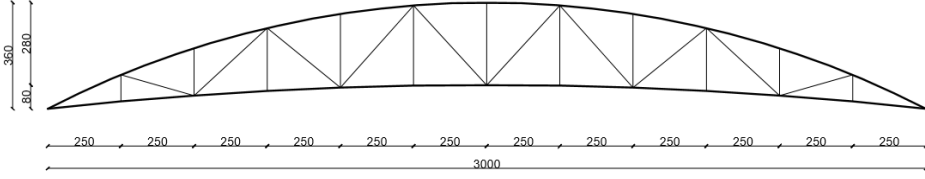
Kafeş H 1

Şekil 60. Hilal kafeş tipinde oluşturulan kafeşler

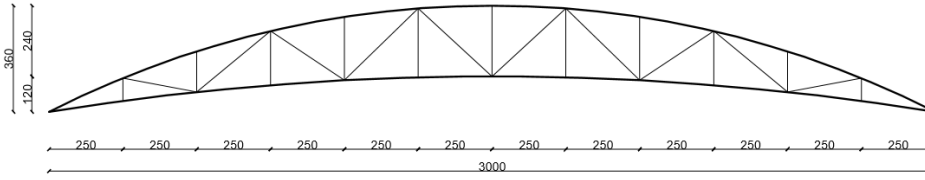
Şekil 60'nin devamı



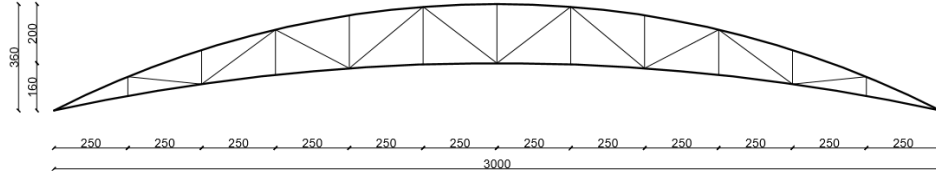
Kafes H 2



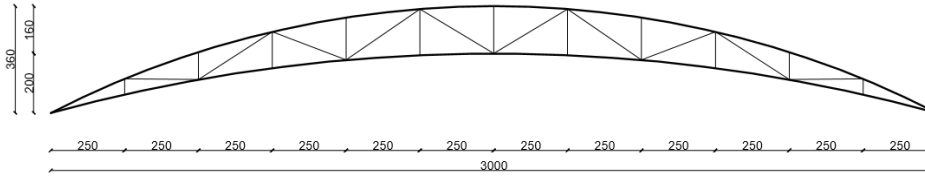
Kafes H 3



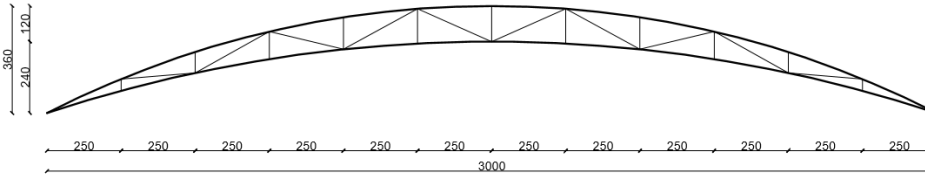
Kafes H 4



Kafes H 5



Kafes H 6



Kafes H 7

2.3. Sisteme Etkiyen Yüklere Dair Kabuller

Sisteme etkiyen yükler hesaplanırken rüzgar ve deprem yükü göz ardı edilerek yalnızca sistemin kendi ağırlığı ve kar yükünün etkileri değerlendirilmiştir. Sistemin ağırlığı SAP2000 programında hesaplanırken kar yükü yapının Trabzon İli Ortahisar İlçesinde bulunduğu varsayılarak TS498’de yer alan kar yükü standartlarından (Tablo 1) (Tablo 2) yola çıkılarak hesaplanmıştır.

Tablo 1. TS498’da yer alan kar yükleri (TS-498).

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤ 200	0,75	0,75	0,75	0,75
2	300	0,75	0,75	0,75	0,80
	400	0,75	0,75	0,75	0,80
	500	0,75	0,75	0,75	0,85
3	600	0,75	0,75	0,80	0,90
	700	0,75	0,75	0,85	0,95
	800	0,80	0,85	1,25	1,40
4	900	0,80	0,95	1,30	1,50
	1000	0,80	1,05	1,35	1,60
5	> 1000	1000 m’ye tekabül eden değerler, 1500 m’ye kadar %10, 1500 m’den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.			

* Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.

Tablo 2. TS498’da yer alan çatı eğimine bağlı azaltma değerleri (TS-498).

α	0°	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°
0-30°	1,0									
30°	1,00	0,97	0,95	0,92	0,90	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77
40°	0,75	0,72	0,70	0,67	0,65	0,62	0,60	0,57	0,55	0,52
50°	0,50	0,47	0,45	0,42	0,40	0,37	0,35	0,32	0,30	0,27
60°	0,25	0,22	0,20	0,17	0,15	0,12	0,10	0,07	0,05	0,02
70° - 90°										

- Trabzon Ortahisar İlçesi Rakım: 46
- Trabzon Ortahisar İlçesi İklim Bölgesi: 4. Bölge
- Örnek Yapı Akslar Arası Mesafe: 6 m
- Örnek Yapı Kiriş Dikme Arası Mesafe: 2.5 m

Bu bağlamda;

$$P_k = P_{k0} \times m \quad (2.1)$$

P_k : Kar yükü hesap değeri

P_{k0} : Zati kar yükü

m : Çatı eğimine bağlı olarak azaltma değeri

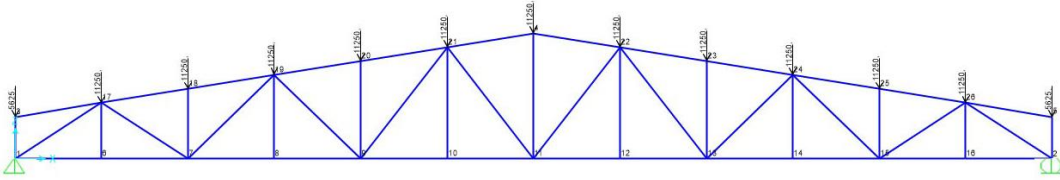
$$P_k = 0,75 \times 1$$

$$P_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$$

$$P_k = 750 \text{ N}$$

Orta düğüm noktalarına etkiyen yük; $750 \times 6 \times 2,5 = 11250 \text{ N}$

Köşe düğüm noktalarına etkiyen kar yükü; $750 \times 6 \times 1,25 = 5625 \text{ N}$ (Şekil 61) (Ek 1)



Şekil 61. Trapez kafes tipi için kar yükü gösterimi

2.4. SAP2000 Programına Dair Kabuller

Tasarlanan düzlemsel kafes kirişler, yapı sistemlerinin modellenmesini ve boyutsal analizlerinin yapılmasını sağlayan SAP2000 programında oluşturularak statik çözümlenmeleri yapılmıştır. Kafes sistemlerde kullanılan çelik malzeme türü olarak program içerisinde özellikleri belirlenmiş olan S235 atanmıştır (Şekil 62). Sistemde aralarında bağlantı elemanı bulunan çift köşebent kullanılmış ve bu köşebentler için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6, 2L 90x9/6, 2L 100x10/6, 2L 110x12/6, 2L

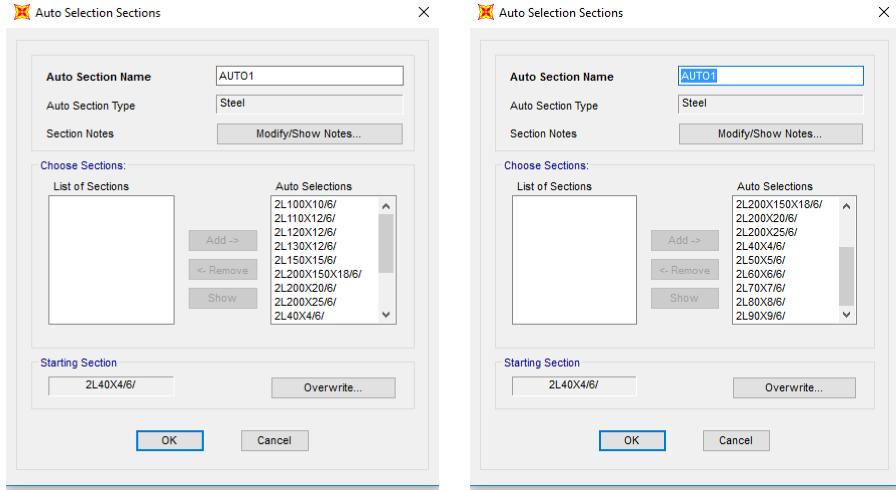
120x12/6, 2L 130x12/6, 2L 150x15/6, 2L 200x150x18/6, 2L 200x20/6, 2L 200x25/6 kesitleri belirlenerek programda sistemin yeterli taşıyıcılığı sağlayacak minimum ağırlıktaki profilin seçilmesi sağlanmıştır (Şekil 63). Oluşturulan kafes sistemde alt ve üst başlıklar kendi içlerinde gruplandırılarak her biri tek bir profil olarak düzenlenmiş dikme ve diyagonallerin bağlantılarında moment aktarmayan birleşim kullanılmıştır. Kafes sistemin kolonlarla birleşim noktalarında kafes çatılarda uygulanan sabit mesnet ve kayıcı mesnet davranışları birlikte tanımlanmıştır. Tüm veriler girildikten sonra sistem analizleri alınmıştır.

The screenshot shows the 'Material Property Data' dialog box for S235 steel. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color is S235 (with a pink color swatch), Material Type is Steel, and Material Notes has a 'Modify/Show Notes...' button.
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume is 76972,86 and Mass per Unit Volume is 7849,0474. The Units are set to N, m, C.
- Isotropic Property Data:** Modulus of Elasticity, E is 2,100E+11; Poisson, U is 0,3; Coefficient of Thermal Expansion, A is 1,170E-05; Shear Modulus, G is 8,077E+10.
- Other Properties for Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy is 2,350E+08; Minimum Tensile Stress, Fu is 3,600E+08; Expected Yield Stress, Fye is 2,585E+08; Expected Tensile Stress, Fue is 3,960E+08.

At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (which is unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Şekil 62. SAP 2000 programında atanan S235 çelik malzeme özellikleri



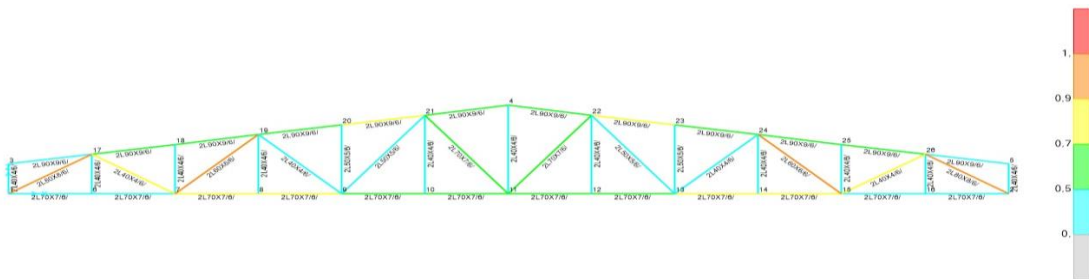
Şekil 63. SAP 2000 programında belirlenen profil kesitleri

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Kar yükü ve kendi ağırlıkları altında çözümlenmeleri yapılan düzlem kafes sistemler için SAP2000 programı aracılığıyla minimum ağırlığı sağlayacak kesitler belirlenmiştir. Kesit ve fiyat bilgilerinde referans olarak kullanılacak malzemeler için internet üzerinden birçok firma araştırılmış, gerekli bilgilere ulaşma kolaylığı açısından LME Demir firmasına ait ürünler referans olarak alınmıştır. Kesit ölçüleri LME Demir firması tarafınca üretilen köşebent ürünler arasından seçilmiş olup sistemin çalışmasını sağlayan minimum ağırlığa sahip profiller SAP2000 programı tarafından atanmıştır. Sistemin ağırlığı LME Demir firmasının internet sitesinde yayınlanan profil kesitinin uzunluk ve ağırlık bilgilerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Her bir kafes sistemin profil kesit bilgileri çalışma kapsamında şekillerde belirtilmektedir. Yapılan hesaplar örnek yapının orta akslarında bulunan kirişler referans alınarak tek bir kiriş üzerinden yapılmıştır. Maliyetler hesaplanırken LME Demir firmasına ait 2019 fiyatlarından faydalanılmıştır (URL-32, 2019). Profil maliyetleri firmaya ait internet sayfası üzerinden paylaşılan bilgiler dahilinde hesaplanmıştır. (Ek 2)

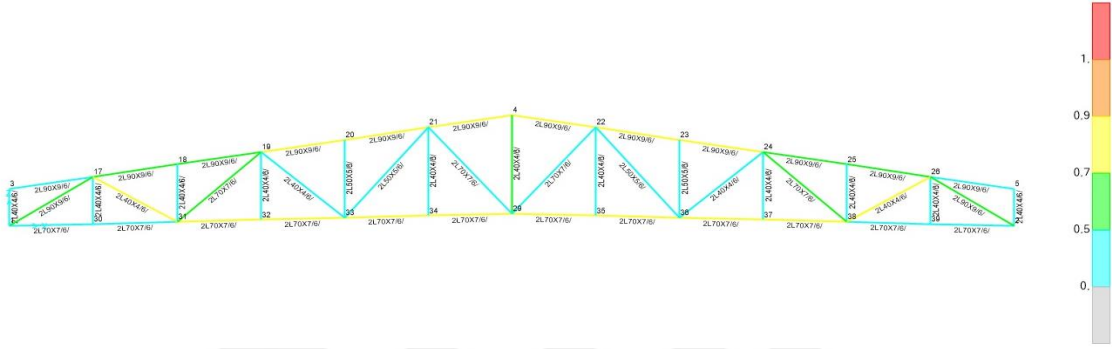
3.1. Trapez Kafes Tipine Ait Bulgular

Trapez kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiği Kafes T 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikeyler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 64).



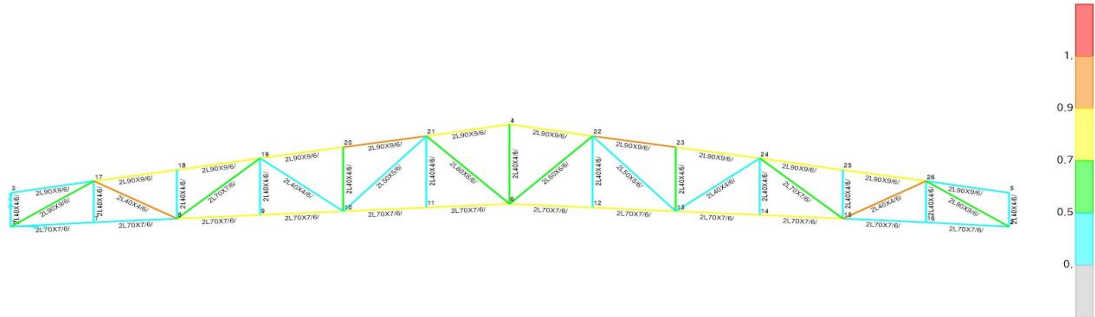
Şekil 64. Kafes T 1 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 40 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 65).



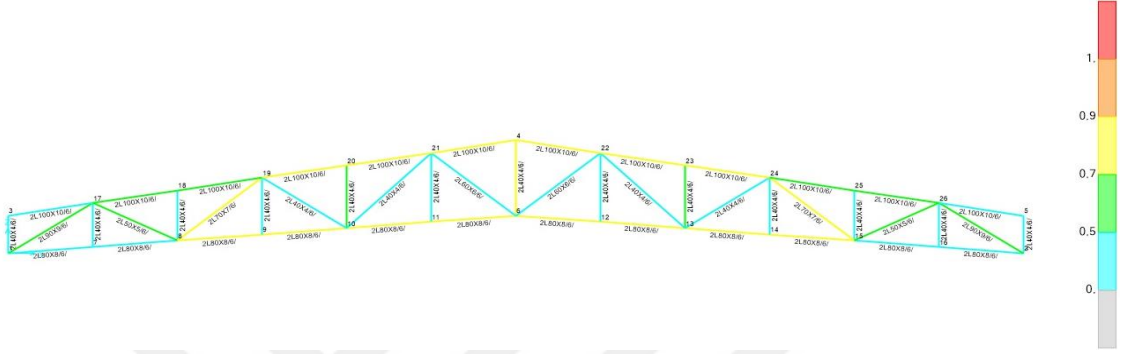
Şekil 65. Kafes T 2 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 80 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 66).



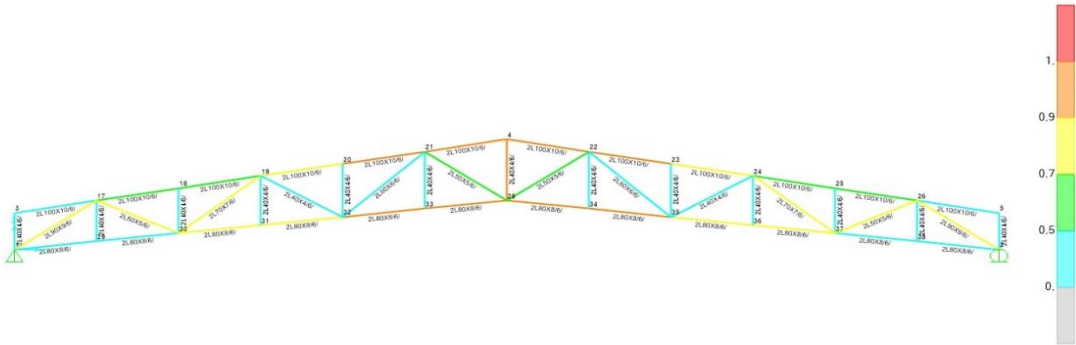
Şekil 66. Kafes T 3 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 120 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 67).



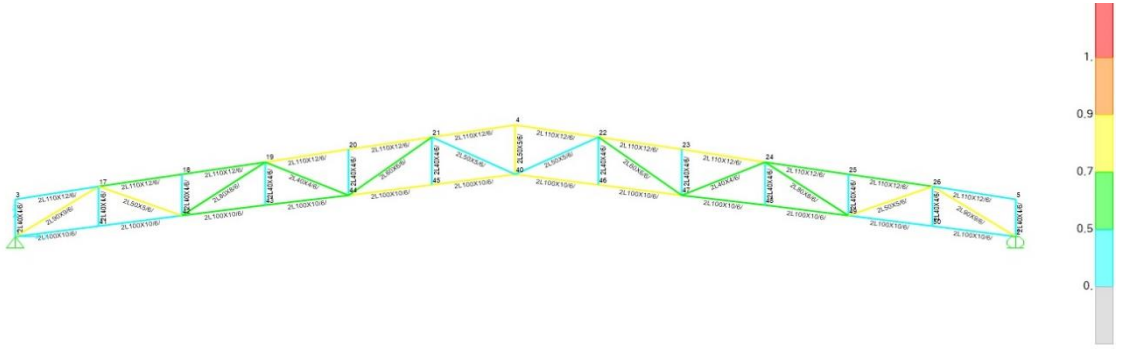
Şekil 67. Kafes T 4 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 160 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 68).



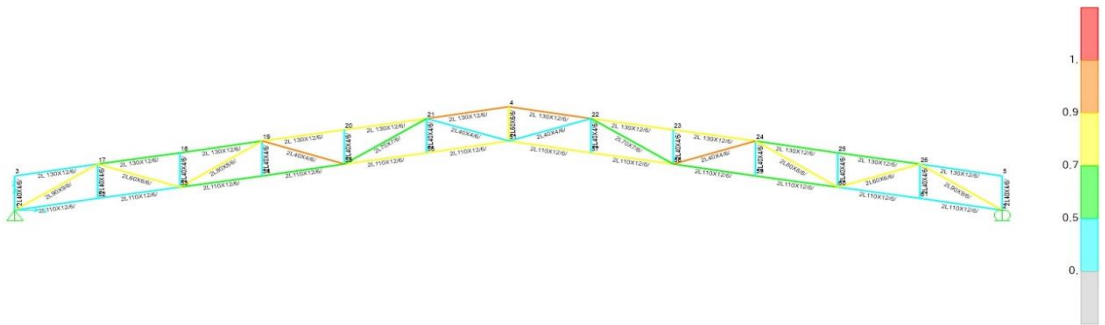
Şekil 68. Kafes T 5 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 200 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 69).



Şekil 69. Kafes T 6 profil kesitleri

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 240 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 130x12/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 70).



Şekil 70. Kafes T 7 profil kesitleri

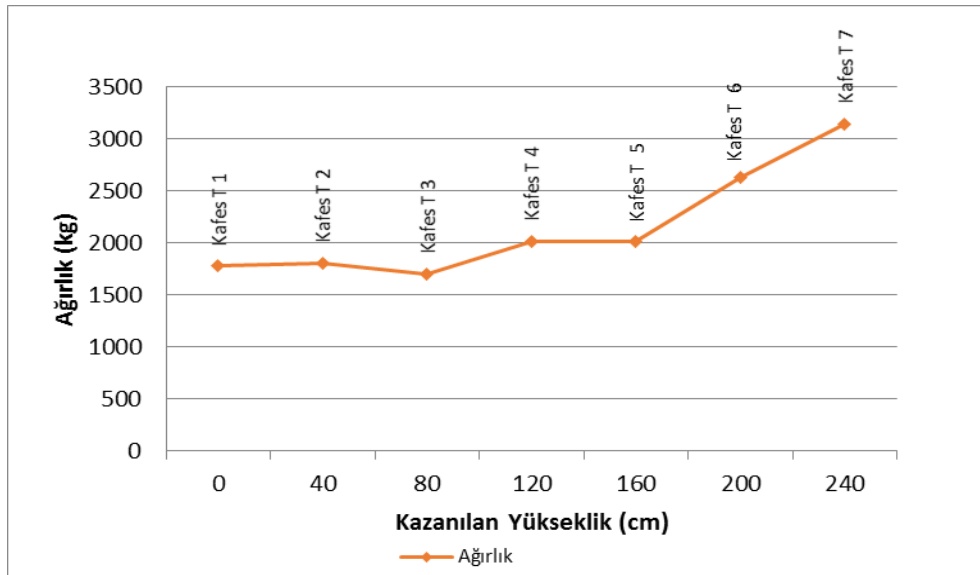
Trapez kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 3'de yer almaktadır.

Tablo 3. Trapez kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

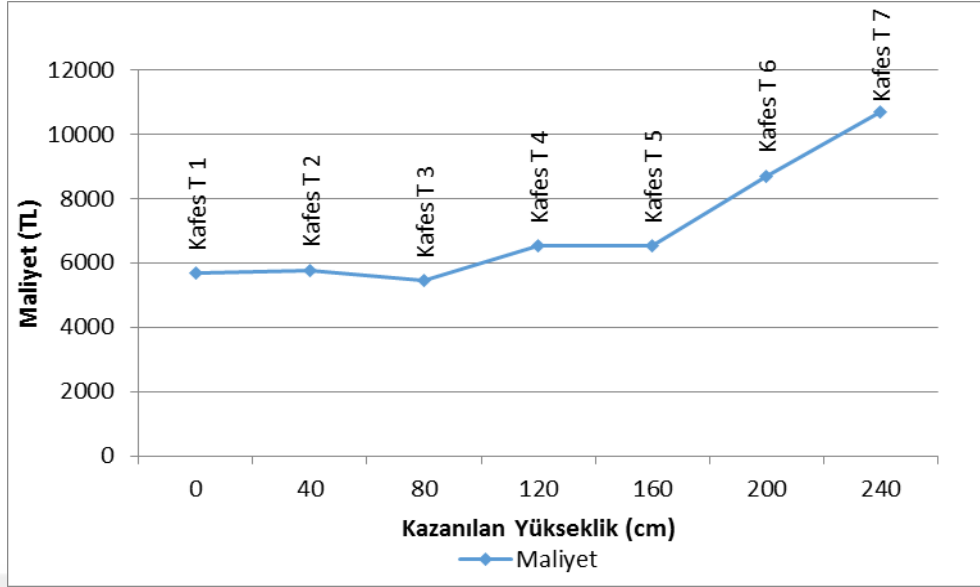
		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes T 1	Üst Başlık	741,27	1777,44	5687,81	0
	Alt Başlık	442,80			
	Dikme ve Diyagonaller	593,37			
Kafes T 2	Üst Başlık	741,27	1804,71	5775,08	40
	Alt Başlık	442,95			
	Dikme ve Diyagonaller	620,49			
Kafes T 3	Üst Başlık	741,27	1704,27	5453,66	80
	Alt Başlık	443,39			
	Dikme ve Diyagonaller	519,61			
Kafes T 4	Üst Başlık	911,40	2014,07	6536,18	120
	Alt Başlık	579,53			
	Dikme ve Diyagonaller	523,14			
Kafes T 5	Üst Başlık	911,40	2012,87	6532,33	160
	Alt Başlık	581,07			
	Dikme ve Diyagonaller	520,40			
Kafes T 6	Üst Başlık	1196,97	2634,16	8699,63	200
	Alt Başlık	907,80			
	Dikme ve Diyagonaller	529,39			
Kafes T 7	Üst Başlık	1427,86	3147,69	10680,51	240
	Alt Başlık	1196,97			
	Dikme ve Diyagonaller	522,86			

Kafes T 1, Kafes T 2 ve Kafes T 3'de alt başlıklar 70x70/6 ve üst başlıklar 90x90/6 profil kesitleri ile sağlanırken bu üç kafes arasındaki ağırlık farkı dikme ve diyagonal

çubuk kesit ve uzunluklardaki değişikler sebebiyle meydana gelmiştir. 1704,27 kg ağırlığındaki Kafes T 3, 1777,44 kg ağırlığındaki Kafes T 1 ve 1804,71 kg ağırlığındaki Kafes T 2 ye oranla daha hafif bir çözüm oluşturmaktadır. Kafes T 4 ve Kafes T 5’de ise alt başlıklar 80x8/6 ve üst başlıklar 100x10/6 kesitlerle sağlanmıştır. Alt ve üst başlıklardaki profil kesitleri ilk üç kafese göre daha büyük kesitlere sahip olduğundan ağırlıklarında artış olmuş kendi aralarındaki durum incelendiğinde dikme ve diyagonal ağırlıkları daha az olduğundan 2012,87 kg ağırlığındaki Kafes T 5, 2014,07 kg ağırlığındaki Kafes T 4’e göre daha hafif bir sistem oluşturmuştur. Kafes T 6 ve Kafes T 7’de alt ve üst başlık kesitleri büyüdüğünden ağırlıklar da giderek artmıştır. Kafes T 6’da alt başlık 100x10/6, üst başlık 110x12/6, ağırlık 2634,16 kg; Kafes T 7 de alt başlık 110x12/6, üst başlık 130x12/6, ağırlık 3147,69 kg olmuştur (Şekil 71). Maliyet etkeni ağırlığa paralel olarak değişim gösterdiğinden Kafes T 1 için 5687,81 TL, Kafes T 2 için 5775,08 TL, Kafes T 3 için 5453,66 TL, Kafes T 4 için 6536,18 TL, Kafes T 5 için 6532,33 TL, Kafes T 6 için 8699,63 TL, Kafes T 7 için 10680,51 TL maliyet hesaplanmış ve maliyet açısından en uygun sistemin 80 cm tavan yüksekliği kazandıran Kafes T 3 olduğu saptanmıştır (Şekil 72).



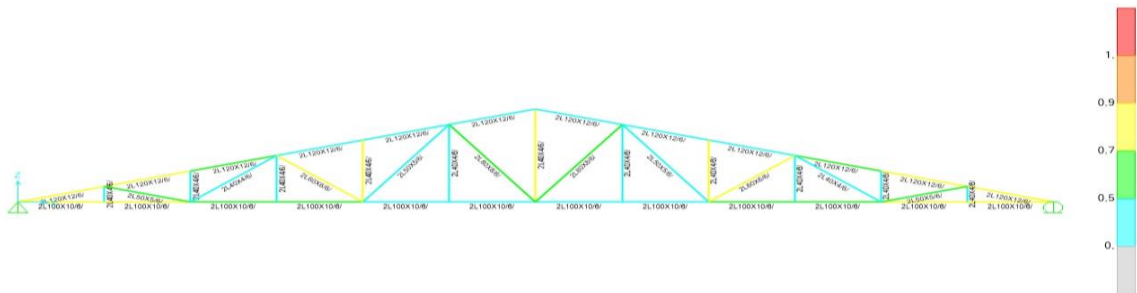
Şekil 71. Trapez kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği



Şekil 72. Trapez kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği

3.2. Üçgen Kafes Tipine Ait Bulgular

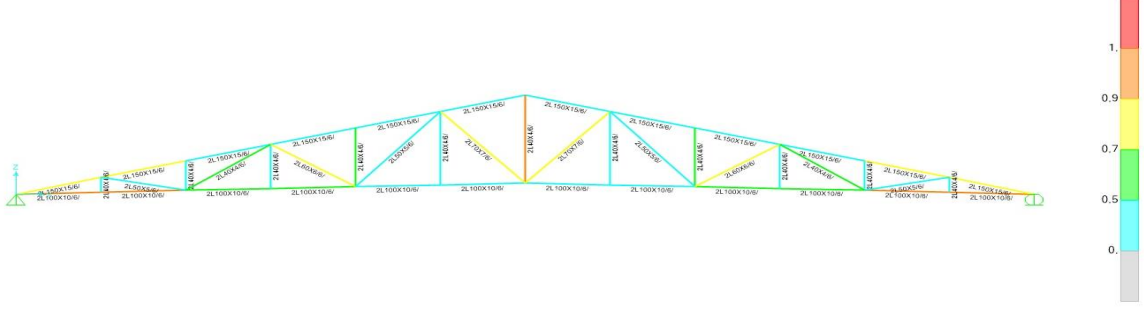
Üçgen kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiğini Kafes U 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 120x12/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 73).



Şekil 73. Kafes U 1 profil kesitleri

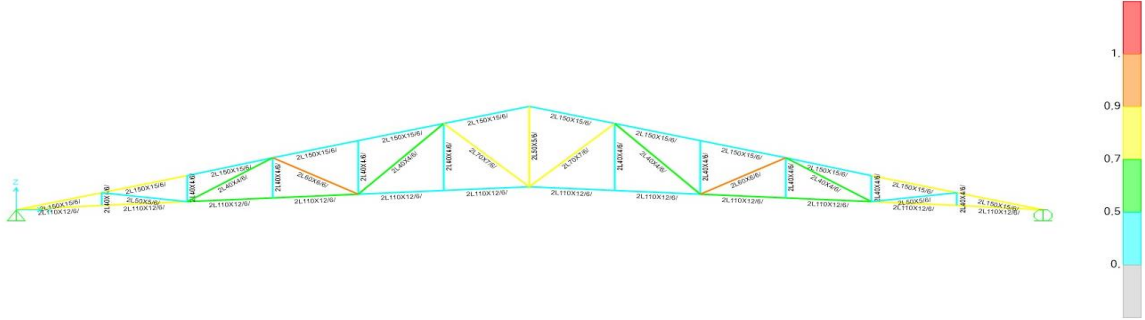
Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes U 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi

sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 74).



Şekil 74. Kafes U 2 profil kesitleri

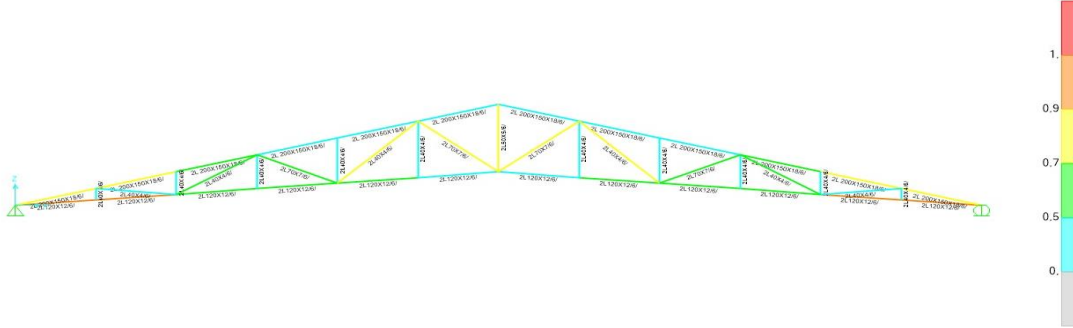
Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaldırılmasıyla oluşturulan Kafes U 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 75).



Şekil 75. Kafes U 3 profil kesitleri

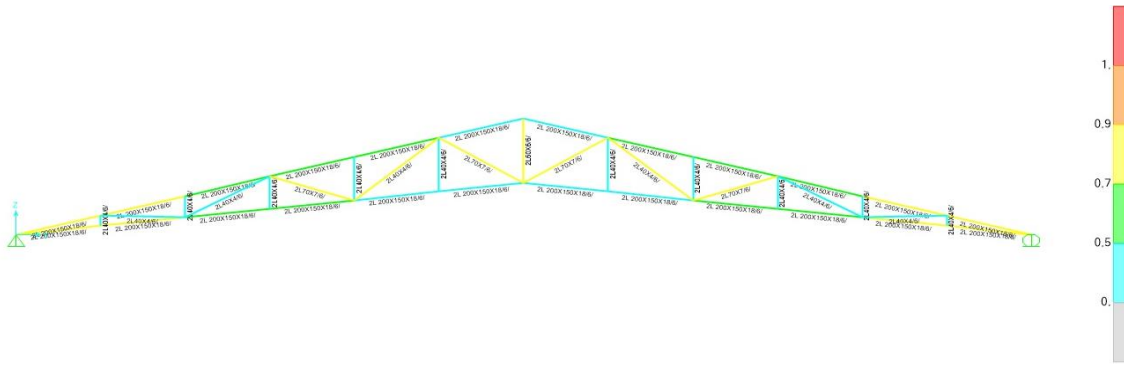
Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 200x150x18/6,

alt başlık için 2L 120x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 76) .



Şekil 76. Kafes U 4 profil kesitleri

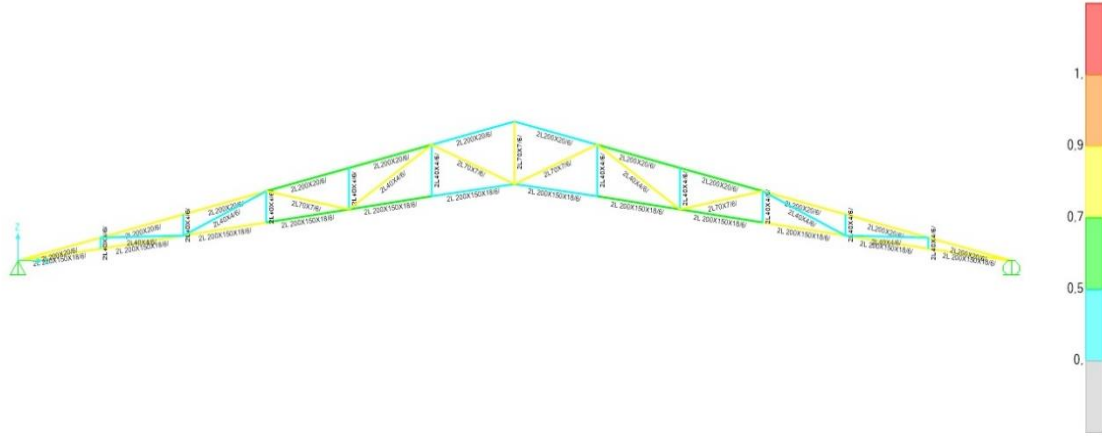
Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık ve alt başlık için 2L 200x150/18/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 77).



Şekil 77. Kafes U 5 profil kesitleri

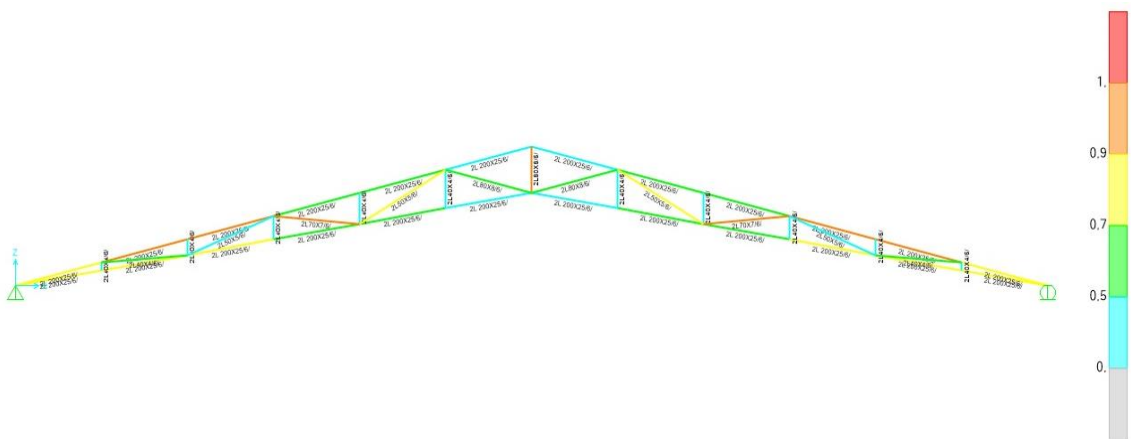
Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L

200x20/6, alt başlık için 2L 200x150x18/6, dikme ve diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 78).



Şekil 78. Kafes U 6 profil kesitleri

Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık ve alt başlık için 2L 200x25/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 80x8/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 79).



Şekil 79. Kafes U 7 profil kesitleri

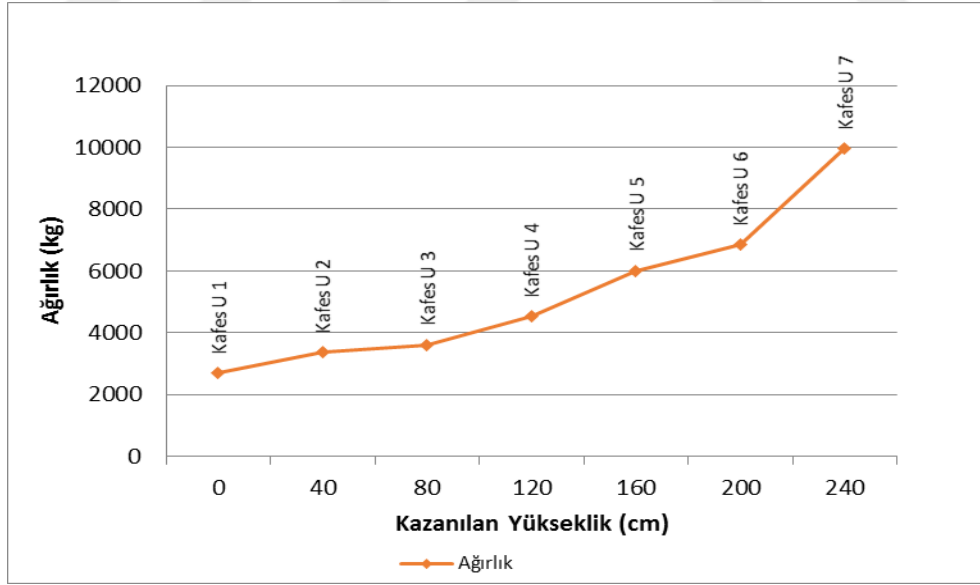
Üçgen kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 4'de yer almaktadır.

Tablo 4. Üçgen kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

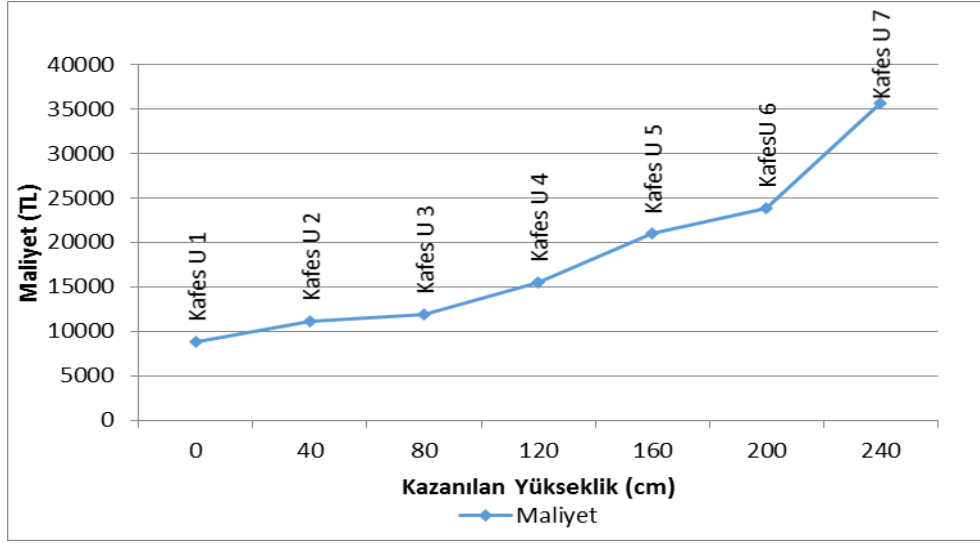
		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes U 1	Üst Başlık	1332,72	2681,84	8805,16	0
	Alt Başlık	900,00			
	Dikme ve Diyagonaller	449,12			
Kafes U 2	Üst Başlık	2085,46	3371,77	11088,24	40
	Alt Başlık	900,30			
	Dikme ve Diyagonaller	386,01			
Kafes U 3	Üst Başlık	2085,46	3611,50	11942,87	80
	Alt Başlık	1183,58			
	Dikme ve Diyagonaller	342,46			
Kafes U 4	Üst Başlık	2906,07	4537,02	15520,30	120
	Alt Başlık	1300,32			
	Dikme ve Diyagonaller	330,63			
Kafes U 5	Üst Başlık	2906,07	6006,18	20944,21	160
	Alt Başlık	2842,01			
	Dikme ve Diyagonaller	258,10			
Kafes U 6	Üst Başlık	3695,83	6842,81	23860,89	200
	Alt Başlık	2850,49			
	Dikme ve Diyagonaller	296,49			
Kafes U 7	Üst Başlık	4726,22	9952,24	35599,33	240
	Alt Başlık	4654,22			
	Dikme ve Diyagonaller	571,80			

Üçgen kafes tipi incelendiğinde, en hafif sistemin üst başlığı 120x12/6, alt başlığı 100x10/6 profil kesitleri ile sağlandığı 8805,16 kg ağırlığa sahip Kafes U 1 olduğu

görülmektedir. Üçgen kafes tipinde kazanılan yükseklik arttıkça üst ve alt başlıklardan en az birinin kesiti arttığından sistemler giderek ağırlaşmaktadır. Kafes U 2 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 100x10/6, ağırlık 11088,24 kg; Kafes U 3 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 110x12/6, ağırlık 11942,87 kg; Kafes U 4 için üst başlık 200x150x15/6, alt başlık 120x12/6, ağırlık 15520,30 kg; Kafes U 5 için üst başlık ve alt başlıklar 200x150x15/6, ağırlık 20944,21 kg; Kafes U 6 için üst başlık 200x20/6, alt başlık 200x150x15/6 ağırlık 23860,89 kg; Kafes U 7 için ise üst ve alt başlıklar 200x25/6, ağırlık 35599,33 kg'dır (Şekil 80). Üçgen başlıklı kafes sistemlere bakıldığında dikme ve diyagonal ağırlıklarında çok etkili bir değişim olmadığı, ağırlığı etkileyen asıl faktörlerin üst ve alt başlıklar olduğu görülmüştür. Kazanılan yükseklik arttıkça alt ve üst başlık profil kesit kalınlıkları sürekli olarak arttığından sistemler giderek ağırlaşmış, maliyet etkeni de ağırlığa paralel olarak artış göstermiştir. Kafes U 1 için 8805,16 TL, Kafes U 2 için 11088,24 TL, Kafes U 3 için 11942,87 TL, Kafes U 4 için 15520,30 TL, Kafes U 5 için 20944,21 TL, Kafes U 6 için 23860,89 TL, Kafes U 7 için 35599,33 TL maliyet hesaplanmış ve maliyet açısından en uygun sistemin Kafes U 1 olduğu saptanmıştır (Şekil 81).



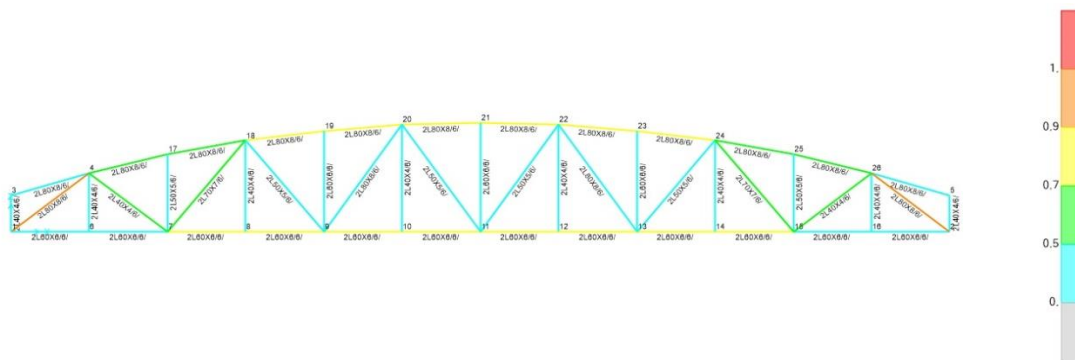
Şekil 80. Üçgen kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği



Şekil 81. Üçgen kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği

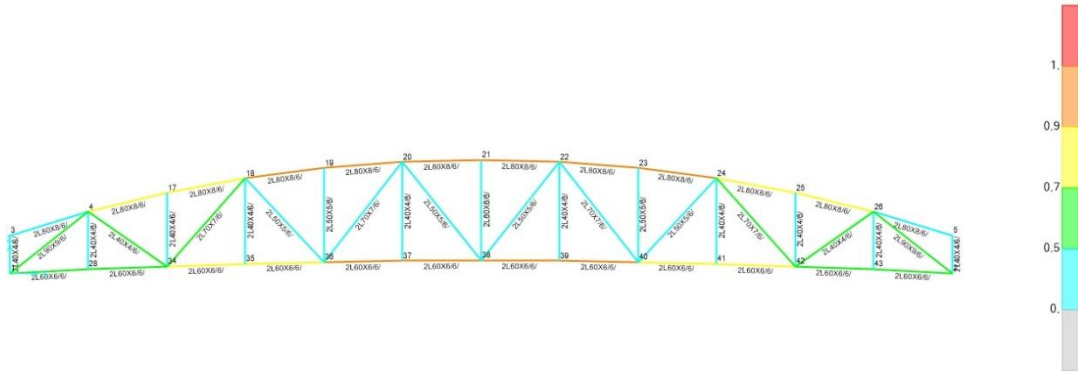
3.3. Parabolik Kafes Tipine Ait Bulgular

Parabolik kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiğini Kafes P 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 80x8/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 82).



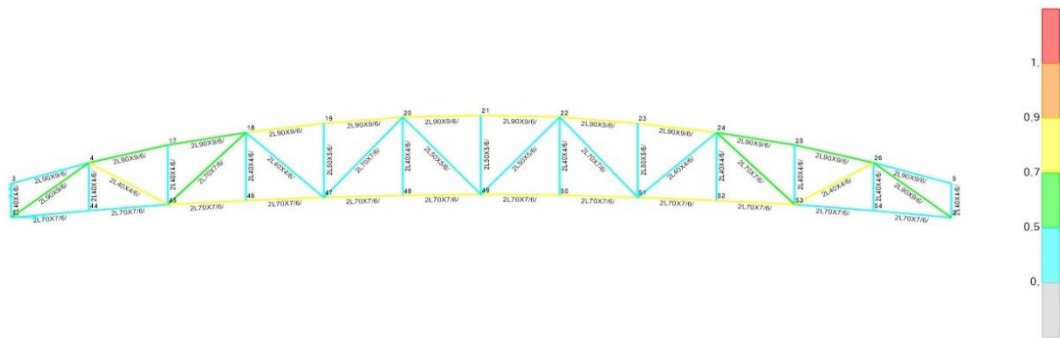
Şekil 82. Kafes P 1 profil kesitleri

Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes P 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 80x8/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 83).



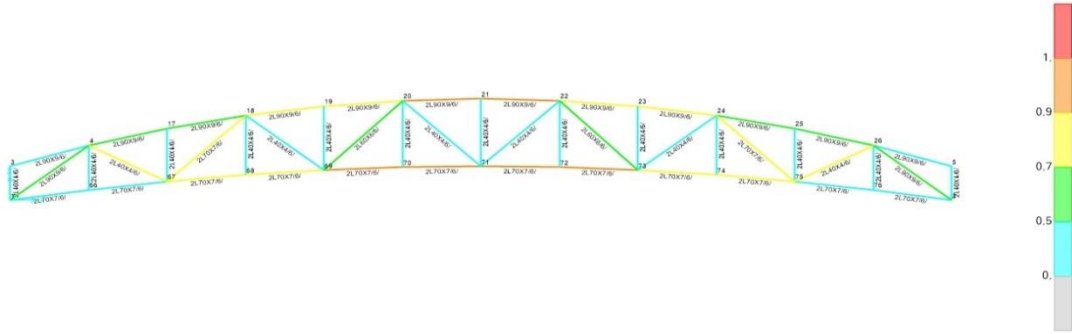
Şekil 83. Kafes P 2 profil kesitleri

Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes P 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 84)



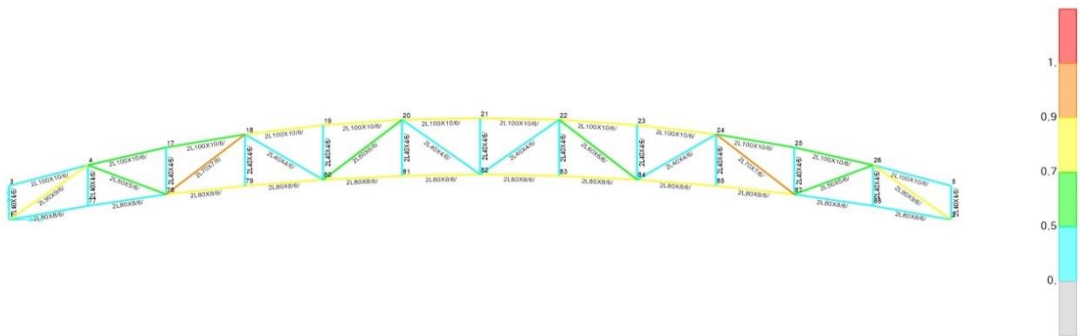
Şekil 84. Kafes P 3 profil kesitleri

Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil85).



Şekil 85. Kafes P 4 profil kesitleri

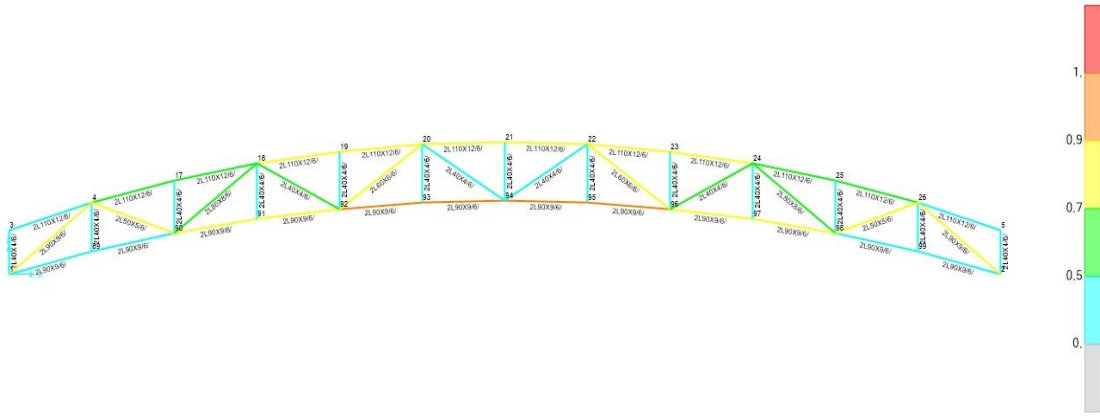
Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 86).



Şekil 86. Kafes P 5 profil kesitleri

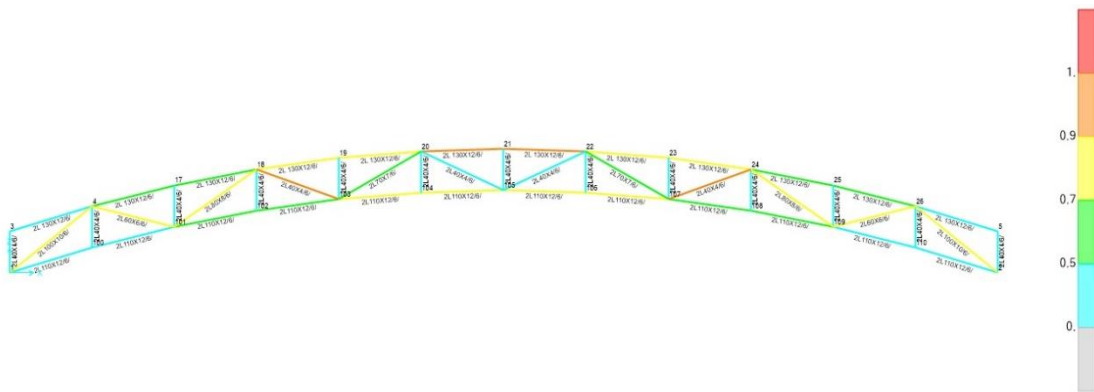
Parabolik kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan

profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 90x9/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 87).



Şekil 87. Kafes P 6 profil kesitleri

Parabolik kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 130x12/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 100x10/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 88).



Şekil 88. Kafes P 7 profil kesitleri.

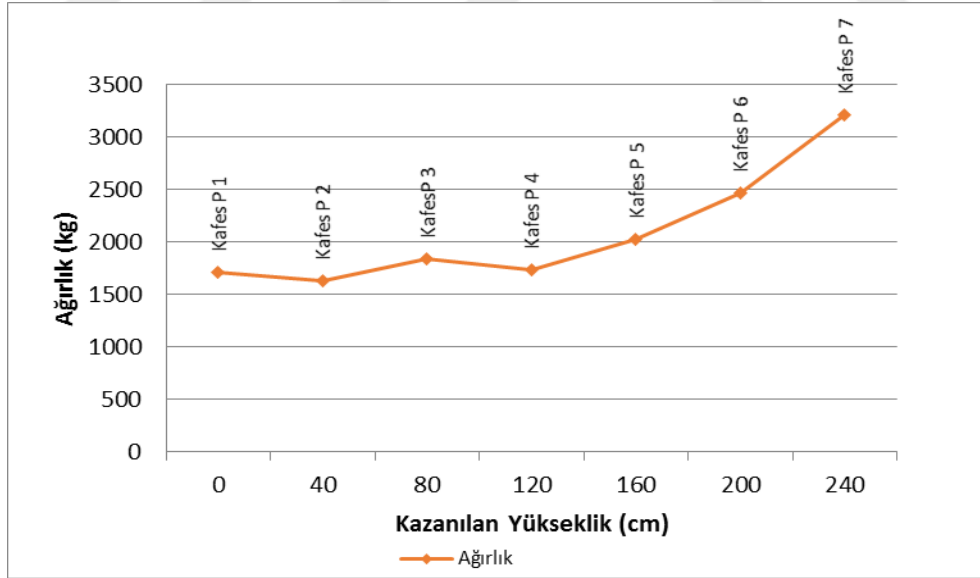
Parabolik kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 5’de yer almaktadır.

Tablo 5. Parabolik kafes tipine ait yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

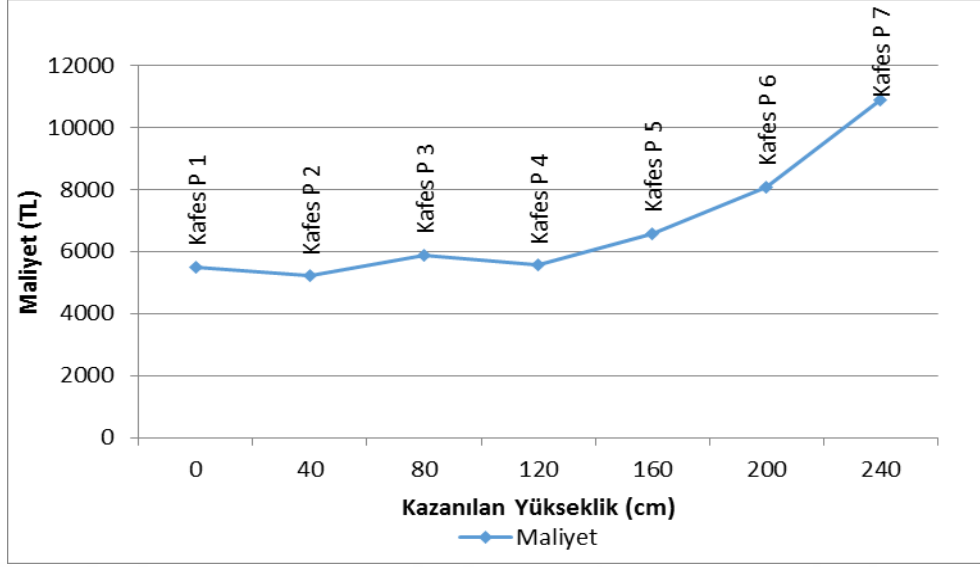
		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes P 1	Üst Başlık	587,62	1715,78	5490,49	0
	Alt Başlık	325,20			
	Dikme ve Diyagonaller	802,96			
Kafes P 2	Üst Başlık	587,62	1630,49	5217,58	40
	Alt Başlık	325,31			
	Dikme ve Diyagonaller	717,56			
Kafes P 3	Üst Başlık	744,44	1836,38	5876,42	80
	Alt Başlık	443,69			
	Dikme ve Diyagonaller	648,25			
Kafes P 4	Üst Başlık	744,44	1734,26	5549,65	120
	Alt Başlık	444,72			
	Dikme ve Diyagonaller	545,10			
Kafes P 5	Üst Başlık	915,30	2026,53	6576,44	160
	Alt Başlık	582,23			
	Dikme ve Diyagonaller	529,00			
Kafes P 6	Üst Başlık	1202,09	2470,14	8084,76	200
	Alt Başlık	740,54			
	Dikme ve Diyagonaller	527,51			
Kafes P 7	Üst Başlık	1433,97	3209,74	10900,71	240
	Alt Başlık	1202,09			
	Dikme ve Diyagonaller	573,68			

Kafes P 1 ve Kafes P 2 için üst başlıklar 80x8/6, alt başlıklar 60x6/6 profil kesitleri ile sağlanmıştır. İki kafes tipindeki ağırlık farkı dikme ve diyagonal kesit ve

uzunluklardaki değişikler sebebiyle meydana gelmiş olup 1630,49 kg ağırlığındaki Kafes P 2, 1715,78 kg ağırlıktaki Kafes P 1'e oranla daha hafif bir çözüm oluşturmaktadır. Kafes P 3 ve Kafes P 4 için üst başlıklar 90x9/6, alt başlıklar 70x7/6 profil kesitlerine sahip olduğundan Kafes P 1 ve Kafes P 2'ye oranla ağırlıkları artmış, kendi aralarında değerlendirildiğinde ise dikme ve diyagonal profil ağırlıklarında fark sebebiyle 1734,26 kg ağırlıklı Kafes P 4, 1836,38 kg ağırlıklı Kafes P 3'e oranla daha hafif bir yapıya sahiptir. Kafes P 5, Kafes P 6 ve Kafes P 7'de üst ve alt başlık profil kalınlıkları giderek arttığından ağırlıklarının da paralel bir artış görülmektedir. Kafes P 5 için alt başlık 80x8/6, üst başlık 100x10/6, ağırlık 2026,53 kg; Kafes P 6 için alt başlık 90x9/6; üst başlık 110x12/6, ağırlık 2470,14 kg; Kafes P 7 için ise alt başlık 110x12/6; üst başlık 130x12/6, ağırlık 3209,74 kg'dır (Şekil 89). Maliyet açısından incelendiğinde ise Kafes P 1 için 5490,49 TL, Kafes P 2 için 5217,58 TL, Kafes P 3 için 5876,42 TL, Kafes P 4 için 5549,65 TL, Kafes P 5 için 6576,44 TL, Kafes P 6 için 8084,76 TL, Kafes P 7 için 10900,71 TL maliyet hesaplanmış ve maliyet açısından en uygun sistemin 40 cm tavan yüksekliği kazandıran Kafes P 2 olduğu saptanmıştır (Şekil 90).



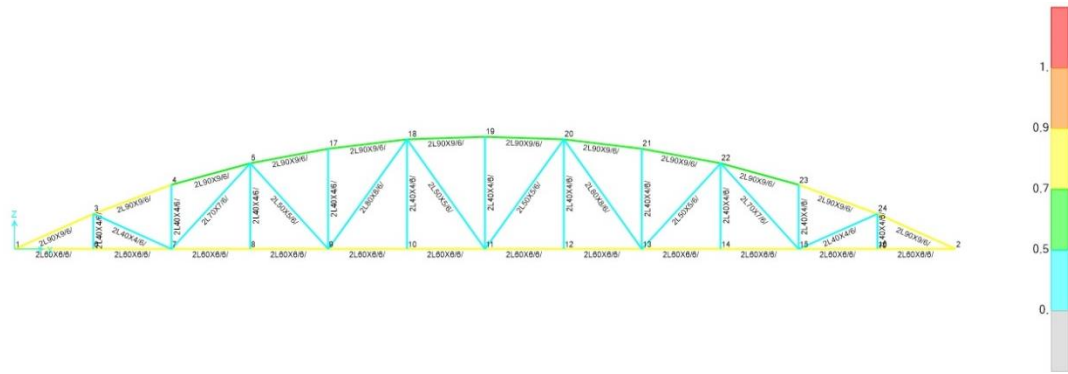
Şekil 89. Parabolik kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği



Şekil 90. Parabolik kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği

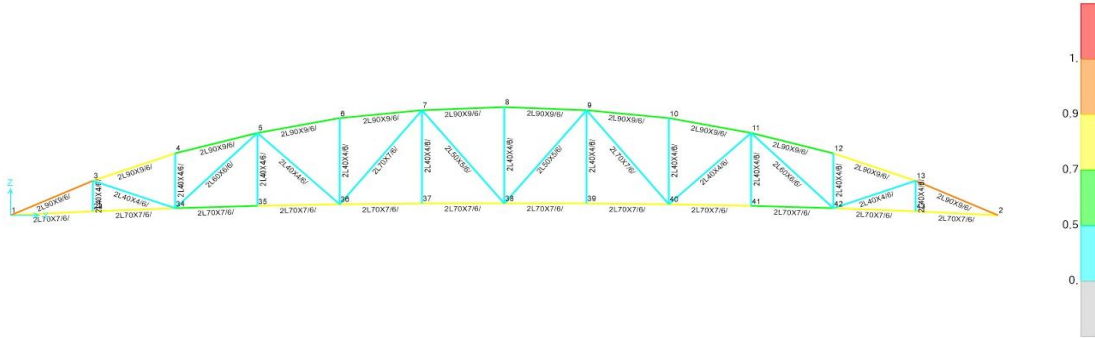
3.4. Hilal Kafes Tipine Ait Bulgular

Hilal kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiğini Kafes H 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 91).



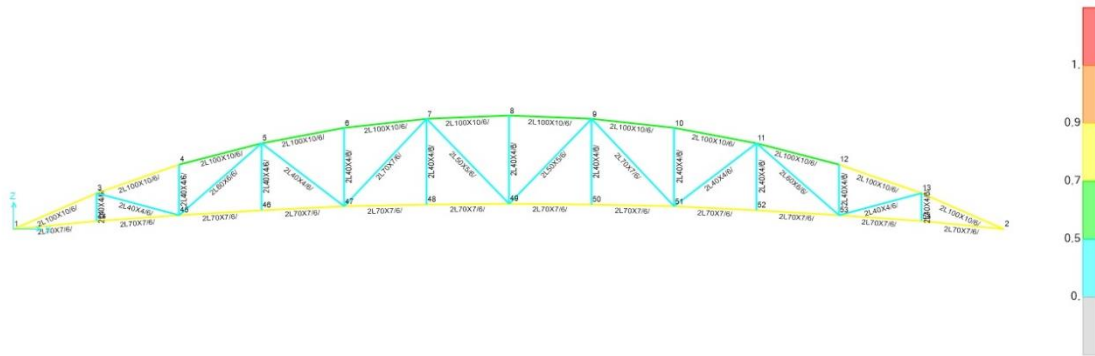
Şekil 91. Kafes H 1 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes H 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 92).



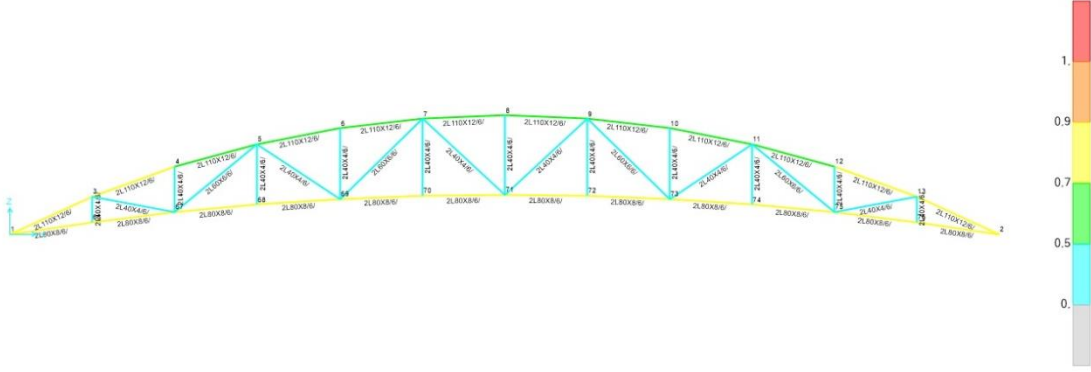
Şekil 92. Kafes H 2 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes H 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 70x7/6 dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 93).



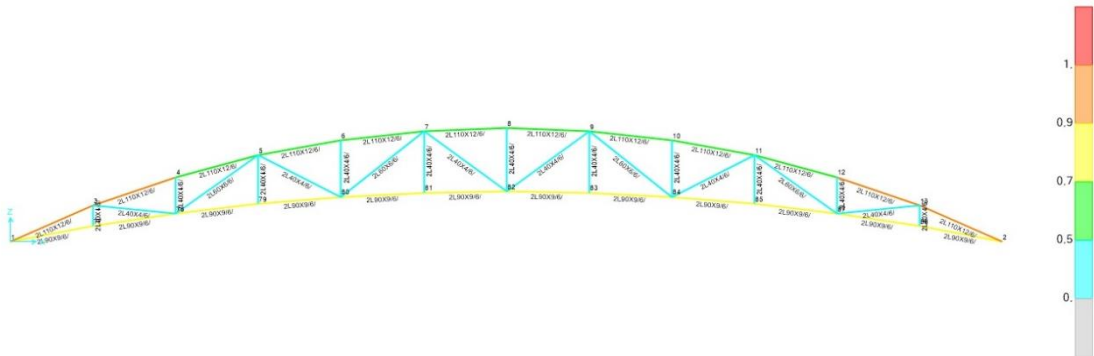
Şekil 93. Kafes H 3 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 94).



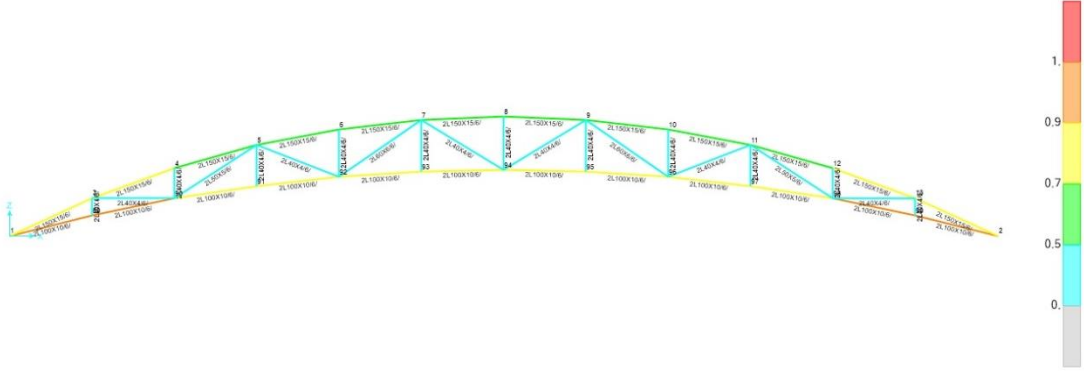
Şekil 94. Kafes H 4 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 90x9/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 95).



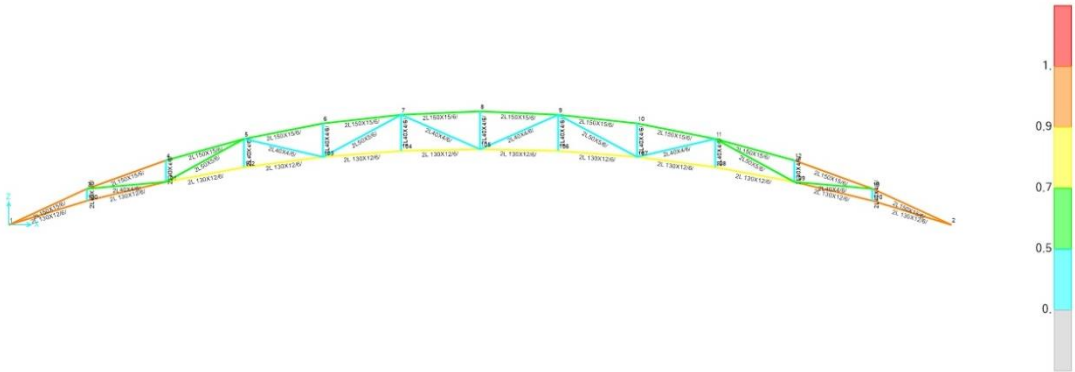
Şekil 95. Kafes H 5 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 96).



Şekil 96. Kafes H 6 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 130x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 97).



Şekil 97. Kafes H 7 profil kesitleri

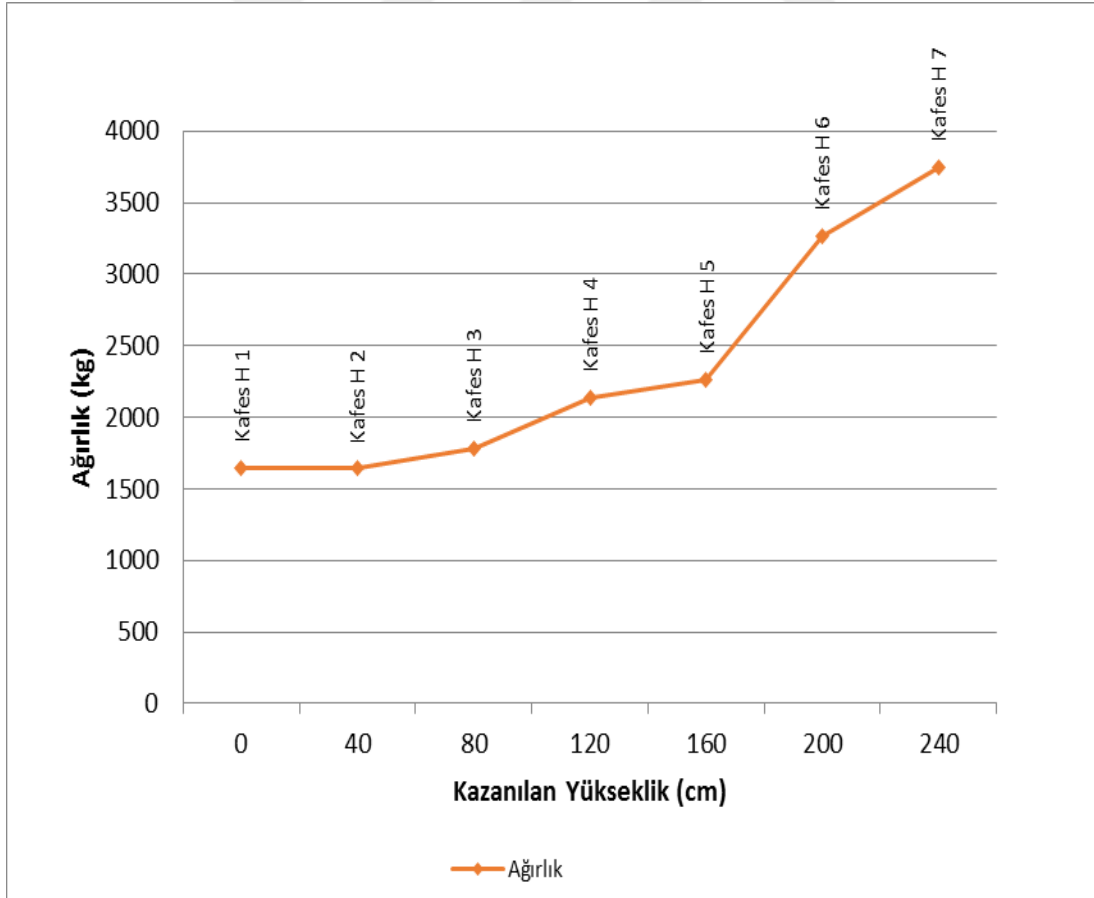
Hilal kafes tipine ait kafes yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 6'de yer almaktadır.

Tablo 6. Hilal kafes tipine ait kafes yükseklik kazancına bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

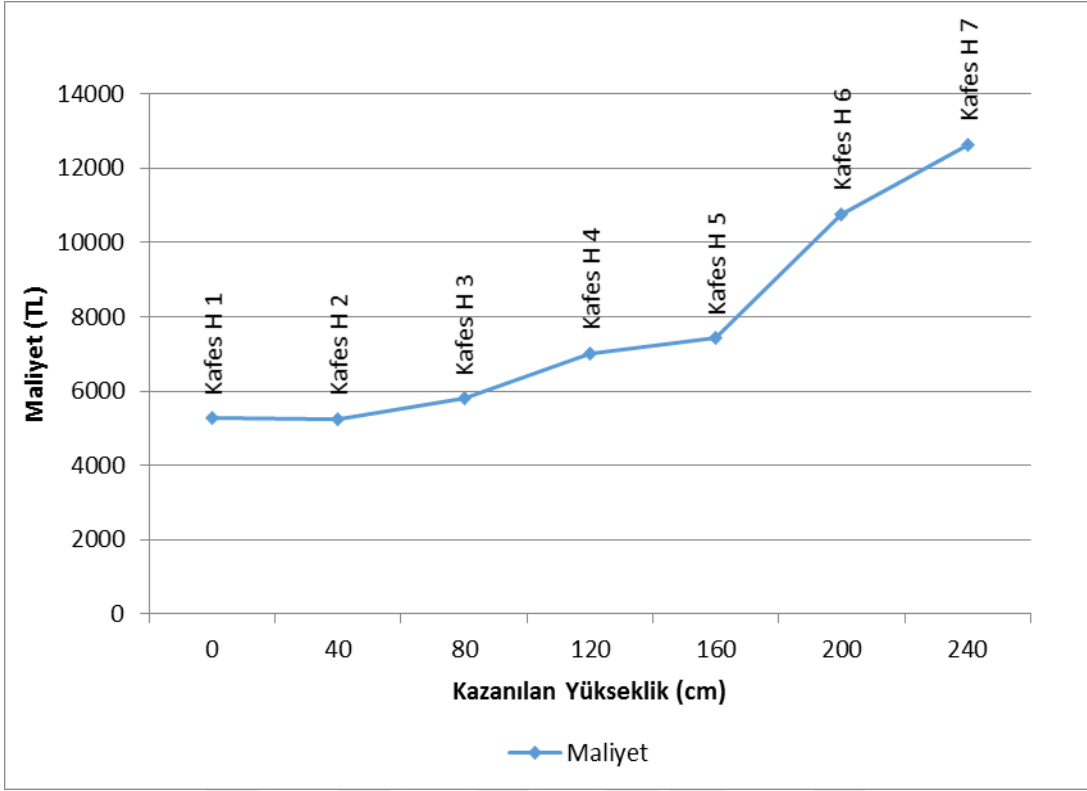
		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes H 1	Üst Başlık	759,82	1646,10	5267,50	0
	Alt Başlık	325,20			
	Dikme ve Diyagonaller	561,08			
Kafes H 2	Üst Başlık	759,82	1641,81	5253,78	40
	Alt Başlık	442,95			
	Dikme ve Diyagonaller	439,04			
Kafes H 3	Üst Başlık	934,20	1782,81	5798,42	80
	Alt Başlık	443,69			
	Dikme ve Diyagonaller	404,94			
Kafes H 4	Üst Başlık	1226,92	2135,20	7016,67	120
	Alt Başlık	582,23			
	Dikme ve Diyagonaller	326,05			
Kafes H 5	Üst Başlık	1226,92	2262,21	7423,10	160
	Alt Başlık	737,61			
	Dikme ve Diyagonaller	297,68			
Kafes H 6	Üst Başlık	2105,06	3267,13	10756,38	200
	Alt Başlık	910,50			
	Dikme ve Diyagonaller	251,57			
Kafes H 7	Üst Başlık	2105,06	3747,78	12633,61	240
	Alt Başlık	1433,97			
	Dikme ve Diyagonaller	208,75			

Hilal kafes tipi incelendiğinde Kafes H 1 için üst başlıklar 90x9/6, alt başlık 60x6/6; ağırlık 1646,10 kg'dır. Üst başlığı 90x9/6, alt başlığı 70x7/6 olan Kafes H 2'de diğer tüm

başlık tiplerinden farklı olarak, alt başlık kesiti artmasına karşın dikme ve diyagonal profil ağırlıklarının etkisi ile Kafes H 1'e oranla daha hafif bir sistem oluşmuştur. Diğer Hilal başlıklı kafes tipleri için kazanılan yükseklik arttıkça üst ve alt başlıklardan en az birinin kesiti arttığından sistemler giderek ağırlaşmaktadır. Kafes H 3 için üst başlık 100x10/6, alt başlık 70x70/6, ağırlık 1782,81 kg; Kafes H 4 için üst başlık 110x12/6, alt başlık 80x8/6, ağırlık 2135,20 kg; Kafes H 5 için üst başlık 110x12/6; alt başlık 90x9/6, ağırlık 2262,21; Kafes H 6 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 100x10/6, ağırlık 3267,13 kg; Kafes H 7 için üst başlık 150x15/6; alt başlık 130x12/6, ağırlık 3747,78 kg'dır (Şekil 98). Maliyet etkeni ağırlığa paralel olarak değişim gösterdiğinden Kafes H 1 için 5267,50 TL, Kafes H 2 için 5253,78 TL, Kafes H 3 için 5798,42 TL, Kafes H 4 için 7016,67 TL, Kafes H 5 için 7423,10 TL, Kafes H 6 için 10756,38 TL, Kafes H 7 için 12633,61 TL maliyet hesaplanmış ve maliyet açısından en uygun sistemin Kafes H 2 olduğu saptanmıştır (Şekil 99).



Şekil 98. Hilal kafes tipi için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği



Şekil 99. Hilal kafes tipi için kazanılan yükseklik-maliyet grafiği

3.5. Yükseklik Kazancı Olmayan Kafes Tiplerine Ait Bulgular

Tüm başlık tiplerine ait yükseklik kazancı olmayan kafes kirislere bakıldığında en optimum çözümü sunan sistemin hilal kafes tipi olduğu görülmektedir. Bu kafes tipinde ağırlık 1646,10 kg ve maliyeti 5267,50 TL'dir. Hilal kafes tipini takip eden kafes tipi parabolik kafes tipidir. Parabolik kafes tipinde ağırlık hilal kafes tipine oranla sistem %4,2 artarak 1715,78 kg ve maliyet 5490,49 TL olmuştur. Parabolik kafes tipinden sonra gelen trapez kafes tipinde ise ağırlık en optimum sisteme oranla %8 artarak 1777,44 kg ve maliyet ise 5687,81 TL olmuştur. Diğer başlık tiplerine göre alt ve üst başlık kesitleri fazla olan üçgen kafes tipi ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistemdir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sistem olan hilal kafes tipine oranla %62 artmıştır. Sistemin ağırlığı 2681,84 kg ve maliyeti 8805,16 TL'dir (Tablo 7).

Tablo 7. Yüksekli kazancı olmayan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 1	Üst Başlık	741,27	1777,44	5687,81
	Alt Başlık	442,80		
	Dikme ve Diyagonaller	593,37		
Kafes U 1	Üst Başlık	1332,72	2681,84	8805,16
	Alt Başlık	900,00		
	Dikme ve Diyagonaller	449,12		
Kafes P 1	Üst Başlık	587,62	1715,78	5490,49
	Alt Başlık	325,20		
	Dikme ve Diyagonaller	802,96		
Kafes H 1	Üst Başlık	759,82	1646,10	5267,50
	Alt Başlık	325,20		
	Dikme ve Diyagonaller	561,08		

3.6. 40 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

40 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlerde en optimum çözümü sunan sistem 1630,49 kg ağırlığa sahip ve maliyeti 5217,58 TL olan parabolik başlıklı sistemdir. Hilal kafes tipinde ise ağırlık parabolik kafes tipine oranla sadece %0,7 artmıştır ve optimum sisteme oldukça yakın değerlere sahiptir. Hilal kafes tipine sahip kafes kirişin ağırlığı 1641,81 kg ve maliyeti 5253,78 TL'dir. Hilal kafes tipinden sonra gelen trapez kafes tipinde ise ağırlık en optimum sisteme oranla %10,7 artarak 1804,71 kg ve maliyet ise 5775,08 TL olmuştur. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından dezavantajlı sistem üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sistemin 2 katından daha fazla artmıştır. Sistemin ağırlığı 3371,77 kg ve maliyeti 11088,24 TL'dir (Tablo 8).

Tablo 8. 40 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı tavan ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 2	Üst Başlık	741,27	1804,71	5775,08
	Alt Başlık	442,95		
	Dikme ve Diyagonaller	620,49		
Kafes U 2	Üst Başlık	2085,46	3371,77	11088,24
	Alt Başlık	900,30		
	Dikme ve Diyagonaller	386,01		
Kafes P 2	Üst Başlık	587,62	1630,49	5217,58
	Alt Başlık	325,31		
	Dikme ve Diyagonaller	717,56		
Kafes H 2	Üst Başlık	759,82	1641,81	5253,78
	Alt Başlık	442,95		
	Dikme ve Diyagonaller	439,04		

3.7. 80 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

Tüm başlık tiplerine ait 80 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlere bakıldığında en optimum çözümü sunan sistemin 1704,27 kg ağırlığa sahip ve maliyeti 5453,66 TL olan trapez başlıklı sistem olduğu görülmektedir. Trapez kafes tipine oranla ağırlığı %4,6 artan hilal kafes tipinin ağırlığı 1782,81 kg ve maliyeti ise 5798,42 TL'dir. Parabolik kafes tipi ise en optimum sonucu veren trapez kafes tipine oranla %7,7 daha ağırdır. Parabolik kafes tipi 1836,38 kg ağırlıkta ve maliyeti 5876,42 TL'dir. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistem üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık trapez bağlının 2 katından daha fazladır. Sistemin ağırlığı 3611,50 kg ve maliyeti 11942,87 TL'dir (Tablo 9).

Tablo 9. 80 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 3	Üst Başlık	741,272	1704,27	5453,66
	Alt Başlık	443,39		
	Dikme ve Diyagonaller	519,61		
Kafes U 3	Üst Başlık	2085,46	3611,50	11942,87
	Alt Başlık	1183,58		
	Dikme ve Diyagonaller	342,46		
Kafes P 3	Üst Başlık	744,44	1836,38	5876,42
	Alt Başlık	443,69		
	Dikme ve Diyagonaller	648,25		
Kafes H 3	Üst Başlık	934,20	1782,81	5798,42
	Alt Başlık	443,69		
	Dikme ve Diyagonaller	404,94		

3.8. 120 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

120 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlerde en optimum çözümü sunan sistem 1734,26 kg ağırlığa sahip ve maliyeti 5549,65 TL olan parabolik başlıklı sistemdir. Trapez kafes tipinde ise ağırlık parabolik kafes tipine oranla %16,1 artarak 2014,07 kg ve maliyeti 6536,18 TL olmuştur. Hilal kafes tipi ise en optimum sonucu veren parabolik kafes tipine oranla %23,1 daha ağırdır. Bu kafes tipi 2135,20 kg ağırlığında ve maliyeti 7016,67 TL'dir. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistem üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sisteme göre 2,5 katından daha fazla artmıştır. Sistemin ağırlığı 4537,02 kg ve maliyeti 15520,30 TL'dir (Tablo 10).

Tablo 10. 120 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 4	Üst Başlık	911,4	2014,07	6536,18
	Alt Başlık	579,53		
	Dikme ve Diyagonaller	523,14		
Kafes U 4	Üst Başlık	2906,07	4537,02	15520,30
	Alt Başlık	1300,32		
	Dikme ve Diyagonaller	330,63		
Kafes P 4	Üst Başlık	744,44	1734,26	5549,65
	Alt Başlık	444,72		
	Dikme ve Diyagonaller	545,10		
Kafes H 4	Üst Başlık	1226,92	2135,20	7016,67
	Alt Başlık	582,23		
	Dikme ve Diyagonaller	326,05		

3.9. 160 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

160 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlerde tüm başlık tipleri arasından en optimum çözümü sunan sistem 2012,87 kg ağırlığa sahip ve maliyeti 6532,33 TL olan trapez başlıklı sistemdir. Parabolik kafes tipinde ise ağırlık trapez kafes tipine oranla sadece %0,7 artmıştır ve optimum sisteme oldukça yakın değerlere sahiptir. Parabolik kafes tipine sahip kafes kirişin ağırlığı 2026,53 kg ve maliyeti 7423,10 TL'dir. Parabolik başlığı takip eden hilal kafes tipinde ise ağırlık en optimum sisteme oranla %10,7 artarak 2262,21 kg ve maliyet ise 7423,10 TL olmuştur. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistem olan üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sisteme göre neredeyse 3 kat daha fazladır. Sistemin ağırlığı 6006,18 kg ve maliyeti 20944,21 TL'dir (Tablo 11).

Tablo 11. 160 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 5	Üst Başlık	911,4	2012,87	6532,33
	Alt Başlık	581,07		
	Dikme ve Diyagonaller	520,40		
Kafes U 5	Üst Başlık	2906,07	6006,18	20944,21
	Alt Başlık	2842,01		
	Dikme ve Diyagonaller	258,10		
Kafes P 5	Üst Başlık	915,3	2026,53	6576,44
	Alt Başlık	582,23		
	Dikme ve Diyagonaller	529,00		
Kafes H 5	Üst Başlık	1226,92	2262,21	7423,10
	Alt Başlık	737,61		
	Dikme ve Diyagonaller	297,68		

3.10. 200 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

Tüm başlık tiplerine ait 200 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlere bakıldığında en optimum çözümü sunan sistemin 2470,14 kg ağırlığa sahip ve maliyeti 8084,76 TL olan parabolik başlıklı sistem olduğu görülmektedir. Trapez kafes tipinde ise ağırlık parabolik kafes tipine oranla %6,7 artarak 2634,16 kg ve maliyet 8699,63 TL olmuştur. Trapez kafes tipinden sonra gelen hilal kafes tipinde ise ağırlık en optimum sisteme oranla %32 artarak 3267,13 kg ve maliyet ise 10756,38 TL olmuştur. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistem olan üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sistemin 2,5 katından daha fazladır. Sistemin ağırlığı 6842,81 kg ve maliyeti 23860,89 TL'dir (Tablo 12).

Tablo 12. 200 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 6	Üst Başlık	1196,97	2634,16	8699,63
	Alt Başlık	907,80		
	Dikme ve Diyagonaller	529,39		
Kafes U 6	Üst Başlık	3695,83	6842,81	23860,89
	Alt Başlık	2850,49		
	Dikme ve Diyagonaller	296,49		
Kafes P 6	Üst Başlık	1202,09	2470,14	8084,76
	Alt Başlık	740,54		
	Dikme ve Diyagonaller	527,51		
Kafes H 6	Üst Başlık	2105,06	3267,13	10756,38
	Alt Başlık	910,50		
	Dikme ve Diyagonaller	251,57		

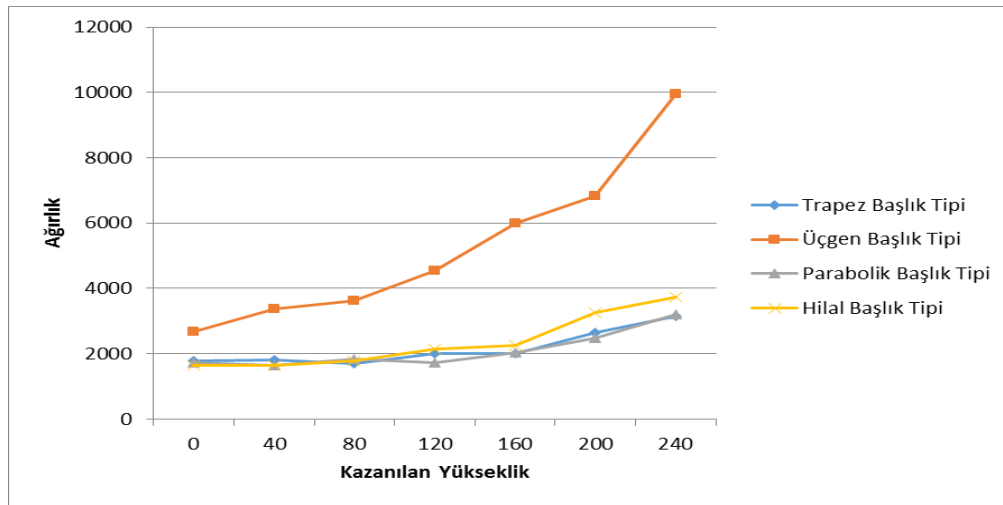
3.11. 240 cm Yükseklik Kazancı Olan Başlık Tiplerine Ait Bulgular

240 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişlerde en optimum çözümü sunan sistem 3147,69 kg ağırlıkta ve maliyeti 10680,51 TL olan trapez başlıklı sistemdir. Parabolik kafes tipinde ise ağırlık trapez kafes tipine oranla %2 artarak 3209,74 kg ve maliyeti 10900,71 TL olmuştur. Hilal kafes tipi ise en optimum sonucu veren trapez kafes tipine oranla %19,1 daha ağırdır. Bu kafes tipi 3747,78 kg ağırlığında ve maliyeti 12633,61 TL'dir. Diğer başlık tiplerine göre ağırlık ve maliyet bakımından en dezavantajlı sistem olan üçgen kafes tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık en optimum sistemin 3 katından daha fazladır. Sistemin ağırlığı 9952,24 kg ve maliyeti 35599,33 TL'dir (Tablo 13).

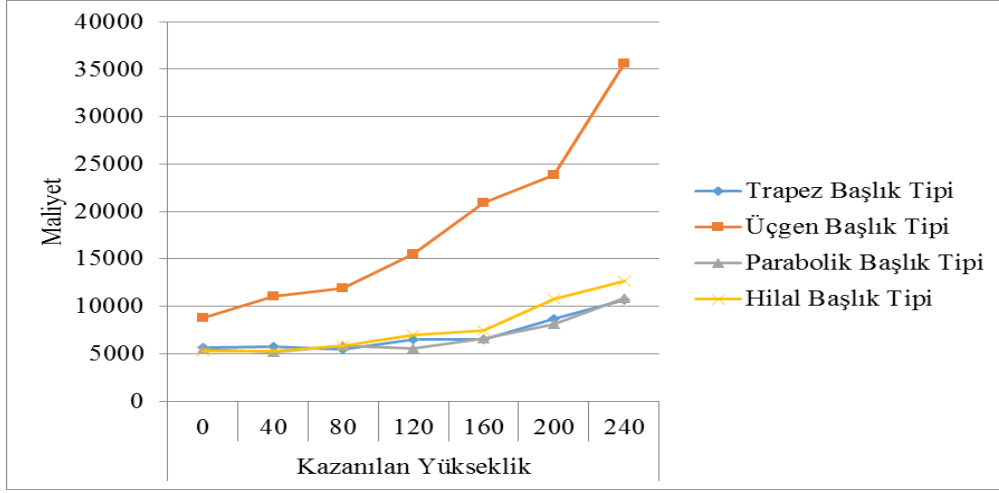
Tablo 13. 240 cm yüksekli kazancı olan kirişlerde kafes tipine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)
Kafes T 7	Üst Başlık	1427,86	3147,69	10680,51
	Alt Başlık	1196,97		
	Dikme ve Diyagonaller	522,86		
Kafes U 7	Üst Başlık	4726,22	9952,24	35599,33
	Alt Başlık	4654,22		
	Dikme ve Diyagonaller	571,80		
Kafes P 7	Üst Başlık	1433,97	3209,74	10900,71
	Alt Başlık	1202,09		
	Dikme ve Diyagonaller	573,68		
Kafes H 7	Üst Başlık	2105,06	3747,78	12633,61
	Alt Başlık	1433,97		
	Dikme ve Diyagonaller	208,75		

Tüm kirişlerin kafes tiplerine ait kazanılan yükseklik-ağırlık ve yükseklik-maliyet grafikleri Şekil 100 ve Şekil 101’de verilmiştir.



Şekil 100. Tüm kafes tiplerine ait kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.



Şekil 101. Tüm kafes tiplerine ait kazanılan yükseklik-maliyet grafiği.

4. SONUÇLAR

Trabzon İli Ortahisar İlçe sınırları içinde 30x48 m boyutlarında tasarlanan örnek sanayi yapısının çatı sistemi için; trapez, üçgen, parabolik ve hilal başlık olmak üzere 4 farklı kafes ve her kafes tipine ait yükseklik kazancı sağlamayan ve 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm yükseklik kazancı sağlayan 7 farklı kiriş şekli oluşturulmuştur. Toplamda oluşturulan 28 farklı düzlemsel kafes kiriş, kafes tipi ve yükseklik kazancına göre ağırlık ve maliyet açısından karşılaştırılarak değerlendirmeler yapılmıştır. İnceleme, örnek yapıya ait orta kirişlerin bir tanesi üzerinden yapılmış olduğundan bulunan sonuçlar tüm yapı için değil sadece bir kiriş için elde edilen sonuçlar olup tüm yapının maliyeti için oransal bir çıkarım yapılmasına olanak sağlamaktadır.

Trapez başlık, üçgen başlık, parabolik başlık ve hilal başlık tiplerinden oluşan ve yedi farklı tavan yüksekliğine ait düzlemsel kafes kirişler için ağırlık tablosu (Tablo 14) ve maliyet tablosu (Tablo 15) oluşturulmuştur. Her bir kafes tipine ait en uygun çözümü veren tavan yüksekliği * işareti ile gösterilirken, kazanılan yüksekliklere göre en uygun kafes tipinin gösterimi için koyu yazı tipi kullanılmıştır.

Tablo 14. Tüm kafes tiplerine ait ağırlık bilgileri

		Kafes tipi			
		Trapez Başlık	Üçgen Başlık	Parabolik Başlık	Hilal Başlık
		Ağırlık (kg)			
Kazanılan Yükseklik	0	1777,44	2681,84*	1715,78	1646,10
	40	1804,71	3371,77	1630,49*	1641,81*
	80	1704,27*	3611,50	1836,38	1782,81
	120	2014,07	4537,02	1734,26	2135,20
	160	2012,87	6006,18	2026,53	2262,21
	200	2634,16	6842,81	2470,14	3267,13
	240	3147,69	9952,24	3209,74	3747,78

Tablo 15. Tüm kafes tiplerine ait maliyet bilgileri

		Kafes tipi			
		Trapez B8aşlık	Üçgen Başlık	Parabolik Başlık	Hilal Başlık
		Maliyet (TL)			
Kazanılan Yükseklik	0	5687,81	8805,16*	5490,49	5267,50
	40	5775,08	11088,24	5217,58*	5253,78*
	80	5453,66*	11942,87	5876,42	5798,42
	120	6536,18	15520,30	5549,65	7016,67
	160	6532,33	20944,21	6576,44	7016,67
	200	8699,63	23860,89	8084,76	10756,38
	240	10680,51	35599,33	10900,71	12633,61

- Trapez kafes tipine ait kafes sistemler incelendiğinde Kafes T 1 ve Kafes T 2'ye yakın sonuçlara sahip olmasına karşın ağırlık ve maliyet olarak Kafes T 3'ün en optimum çözüme sahip olduğu görülmektedir.
- Üçgen kafes tipinde yükseklik kazancı olmayan Kafes U 1 bu kafes tipinde en optimum sonucu sağlamakla birlikte ağırlık ve maliyet olarak yükseklik kazancı sağlayan tiplere oranla oldukça hafif ve ekonomik durumdadır.
- Parabolik kafes tipinde Kafes P 1, Kafes P 2, Kafes P 3 ve Kafes P 4 ağırlık ve maliyetçe yakın değerlere sahip olup en optimum değerler Kafes P 2'de sağlanmıştır.
- Hilal kafes tipinde Kafes H 1 ve Kafes H 2 yakın sonuçlara sahip olmasına karşın Kafes H 2 daha optimum bir sonuç sunmaktadır.
- Kafes tipleri 80 cm yükseklik kazancına kadar optimum sonuç sağlamakta ancak bundan daha fazla yüksekliklerde ağırlık ve maliyetlerde sürekli bir artış gözlenmektedir.
- Yükseklik kazancına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda hilal kafes tipi en hafif ve ekonomik şartları sağlamaktadır.

- 40 cm, 120 cm ve 200 cm yükseklikler için parabolik kafes tipi en uygun çözümü sunmaktadır.
- 80 cm, 160 cm ve 240 cm yükseklik kazancı istendiği durumlarda ise trapez başlık en uygun çözümü sunmaktadır.
- Trapez ve parabolik başlık tipleri incelenen düzlemsel uzay kafes sistemler arasında en uygun çözümleri sunan başlık tipleridir.
- Üçgen kafes tipinin özellikle üst ve alt başlıklarına ait kesit ölçülerinin diğer sistemlere oranla fazla olması sebebiyle tüm başlık tipleri arasında en ağır sistemleri oluşturmaktadır. En ağır kesit tiplerini gerektiren çözümler sunduğundan en maliyetli sonuçlar da bu kafes tipi için çıkmaktadır.
- Çelik sistemlerde, maliyeti belirleyen en önemli faktör ağırlıktır. Diğer bir deyişle kiriş ne kadar hafifse o kadar ekonomik ne kadar ağırsa o kadar maliyeti yüksek olmaktadır.
- Yapılan çalışma, 30 m ve yakın açıklıktaki yapılar için çelik taşıyıcı çatı tasarımında rehber niteliğindedir. Ayrıca tavan yüksekliğinin önemli olduğu sanayi yapıları, spor tesisleri, uçak hangarları vb. binalarda kafes tipinin seçilmesinde müşteri ve tedarikçi için yol gösterici niteliktedir.
- 30 m açıklıktaki yapılar için yapılan bu çalışma, geçilen açıklık ve kiriş şekil seçenekleri arttırılarak daha geniş kapsamlı olarak hazırlanacak gelecek çalışmalar için bir altlık olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- Akers, D., J., 2000. Building Materials, ed Fredericks S. Merritt and Jonathan T. Ricketts, Building Design and Construction Handbook, 6th Edition, McGraw-Hill, 2000.
- Allen, E. ve Iano, J., 2009. Fundamentals of Building Construction Materials and Methods, 5th Edition, John Wiley& Sons Inc., New Jersey.
- Amil, A., P., Kan, A., K., Karabüyük, E. ve Oltulu, M., 2015. Betonarme ve Çelik Perde-Çerçeve Taşıyıcı Sistemlerin Davranış Bakımından Karşılaştırılması, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Eskişehir. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3177.pdf>. 18 Aralık 2019
- ANON, 1990. Fire Resistant Design of Steel Structures. A Handbook to BS 5950: Part 8, the Steel Construction Institute.
- Ardan, F., 1961. Çelik Yapı Elemanları, 2. Baskı, Arı Kitabevi, İstanbul.
- Ata, N., Nuhogü, A. ve Aydın, H., 2015. Çelik ve Prefabrike Hangar Yapılarında İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırılması, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Eskişehir, Ekim <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3176.pdf>. 18 Aralık 2019.
- Avcı, Ç., 2015. Çok Katlı Bir Yapının Çelik ve Kompozit Çözümünün Karşılaştırılması, 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, Ekim, Eskişehir. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3177.pdf>. 18 Aralık 2019
- Ay, İ., İmalat Yöntemleri 2, <http://w3.balikesir.edu.tr/~ay/lectures/iy2/lecture6.pdf>. 16 Aralık 2019.
- Beyhan, F., Mimari Bir Bağlam Olarak Binalarda Çeliğin Yangından Korunumu, <https://www.tucsa.org/images/yayinlar/makaleler/FigenBEYHAN-MAKALE.pdf>. 3 Mart 2019.
- Biggs, W., D., 1993. Properties of Steel, Ed. Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, Architecture And Construction İn Steel, F&FN Spon, Londra.

- Boring, D.,F., 2000. Fire Protection, ed Fredericks S. Merritt and Jonathan T. Ricketts, Building Design and Construction Handbook, 6th Edition, McGraw-Hill.
- Burdekin, M., 2003. Applied metallurgy of steel, ed Buick Davison ve Graham W. Owens, Steel Designers' Manual, 6th Edition, Blackwell Publishing.
- Chadler, K., A., 1993. Anti-corrosion Measures, , Ed. Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, Architecture And Construction İn Steel, F&FN Spon, Londra.
- Chilton, J., 2000. Space Grid Structures, Architectural Press, First Published, Oxford.
- Dede, T., Ayvaz, Y. ve Bekiroğlu, S.,2003. Değer Kodlaması kullanılarak Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma ile Optimum Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Deren, H., Uzgider, E. ve Pirođlu, F, 2003. Çelik Yapılar, 1. Baskı, Çađlayan Kitapevi, İstanbul.
- Erdal, F. ve Saka, M., P., 2009. Dairesel Gözenekli Petek Kirişlerin Harmoni Arama Yöntemi Kullanarak Optimizasyonu, 16. Ulusal Mekanik Kongresi, Kayseri.
- Eren, Ö., 2007, Çelik Yapılar-Tasarım-Konstrüksiyon-Uygulama, Arı Sanat Yayınları, İstanbul.
- Eren, Ö. ve Güzelçoban Mayuk, S., 2003. Çelik Yapıların Yangına Karşı Korun Yöntemlerinin Değerlendirilmesi, NWSA- Engineering Sciences, 1A0348, 8, (3), 157-170 .
- Erol, A., İ., 1997. Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Matbaası, Zonguldak.
- Erşen, N., 1996. Çelik Yapılar ve Çözümlemiş Problemler, 4. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Ertan, E., 2012. Mimarlıkta Yapı-Yapım, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Eyyübov, C., 2004. Çelik Yapılar, 1. Cilt, Birsen Yayınları, İstanbul.

- Gerçek, C., 1979. Yapıda Taşıyıcı Sistemler, Yaprak Kitabevi, Ankara.
- Harris, C., M., 1975. Dictionary of Architecture and Construction, McGraw-Hill Inc., New York.
- Hasol, D., 2005. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yem Yayınları İstanbul.
- Hudson, R. ve Johnson, K., 2003. Corrosion and Corrosion Prevention, ed. Buick Davison, Graham W. Owens, Steel Designers' Manual, 6th Edition, Blackwell Publishing.
- Işık, E., Özdemir, M., Karaşın İ., B., Aydın M., C. ve Ülker M., 2016. Çelik Profil Değişiminin Yapı Performansına Etkisi, International Engineering, Science and Education Conference.
- Karaduman, M., 1999. Çelik Yapılar, Cilt 1, 3. Baskı, Nobel Yayınları, Konya.
- Kavraz, M., 2019. Fotoğraf Arşivi.
- Kılıç, A., Betonarme ve Çelik Yapılar Yangın Güvenliği, https://www.isgdosya.com/wp-content/uploads/2013/06/betonarme_ve_celik_yapilar_yaartngin_guvenligi.pdf. 3 Mart 2019.
- Kozanoğlu, C. ve Suk, R., 2015. Çelik Malzemeyle Yapılmış Stadyum Tribün Çatısının Taşıyıcı Sisteme Bağlı Maliyet Karşılaştırılmasının Yapılması, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 2, 183-193.
- Lan, T., T., 1999. Space Frame Structures, ed. Chen Wai-Fah, Structural Engineering Handbook, CRC Press LLC, Boca Raton.
- Kurtay, C., ve Mustafa, B., 2004. Avrupa Ülkeleri ve Türkiye'deki Çelik Yapı Uygulama Olanak ve Kısıtlarının İncelenmesi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 19, No 4, 351-363.
- McCormac, J., C. ve Csernak, S., F., 2012. Structural Steel Design, Fifth Edition, Pearson Education, New Jersey.

- Meinstermann, A., 2012. Adım Adım Taşıyıcı Sistemler, Çev. Tuğçe Selin Tağmat, Birinci Baskı, Yem Yayın, İstanbul, 54-55.
- Nickerson, R., L. ve Mertz, D., 2000. Application of Criteria for Cost-Effective Highway Bridge Design, ed Fredericks S. Merritt and Jonathan T. Ricketts, Building Design and Construction Handbook, 6th Edition, McGraw-Hill.
- Odabaşı, Y., 2000. Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları, 3. Baskı, Beta Basım, İstanbul.
- Orbay, A. ve Savaşır, K., 2004. Tonoz Biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin -Çeşitli Kriterler Açısından- Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, s 39-49.
- Öğüt, M., R., 2006. Az Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistem Olarak Çelik Malzemenin Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Özgen, A. ve Sev, A., 2000. Çok Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Özhendekçi, D., YTÜ İnşaat Müh. Böl. Çelik Yapılar Ders Notları 1, <https://tr.scribd.com/document/41131964/Devrim-Ozhendekci-Celik1-Ders-Notu-1>. 9 Mart 2019
- Öztürk, A., Z., 1989. Çelik Yapılar Kısa Bilgi ve Çözümlemiş Problemler, Beta Basım Yayın ve Dağıtım, İstanbul.
- Özgen, E., G. ve Yamantürk, F., E., 1991. Taşıyıcı Sistem Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul, s 44-48.
- Robinson, J., 2003. Fire Protection and Fire Engineering, ed Buick Davison ve Graham W. Owens, Steel Designers' Manual, 6th Edition, Blackwell Publishing.
- Roth, L., M., 2000. Mimarlığın Öyküsü, Çev. Ergün Akça, 3. Baskı, Kabalcı Yayınevi, İstanbul.

- Salvadori, M. ve Heller, R., 1982. Mimarlıkta Taşıyıcı Sistem, Çev. Hasan Karataş, Bisulay Utku, İkinci Baskı, İstanbul Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul. s 106-112.
- Sağnak, K., Çelik Yapıların Yangına Karşı Korunmasında Boya Kullanımı, <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/224.pdf>. 19 Mart 2019.
- Schueller, W., 1993. Yüksek Yapı Taşıyıcı Sistemleri, Çev. F. Emel Yamantürk, E. Görün Özşen, YTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı İşliğı, İstanbul.
- Sevim, Ö. ve Sönmez, M., 2014. Geliştirilmiş Yapay Arı Koloni Algoritması ile Kafes ve Düzlemsel Çelik Yapıların Optimum Tasarımı, Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 3, 2, 38-51.
- Sezgin, F., 2005. Mimarlığın Geleceğı Üzerine Kestirimler, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, s 3-9.
- Sharp, D., 1993. 19th. Century Architecture, Ed. Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, Architecture And Construction İn Steel, F&FN Spon, Londra.
- Sharp, D., 1993. 20th. Century Architecture, Ed. Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, Architecture And Construction İn Steel, F&FN Spon, Londra.
- Shirzad Rezaei, R., Asma Sistemler Ders Sunumu , <https://rezashirzad.files.wordpress.com/2012/02/asma-sistemler2.pdf>. 30Aralık 2019
- Smith, J., C., 1996. Structural Steel Design LRFD Approach, Second Edition, John Wiley & Sons. Inc., US.
- Sungur, İ., İ., 2005. Taşıyıcı Sistemler ve Yapı Statiğı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Şahin, A. ve Ünal, H., B., 2007. Yapı Malzeme Bilgisi, İkinci Baskı, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir.

- Taştekin, M., S., Kara, N. ve Arslan, M., H., 2007. Sanayi Yapılarının Maliyetinde Etkin Parametrelerin İrdelenmesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22, 4, 29-37.
- Toğan, V. ve Daloğlu, A., 2006. Genetik Algoritma ile Üç boyutlu Kafes Sistemlerin Şekil ve Boyut Optimizasyonu, İMO Teknik Dergi, 251, 3809-3825.
- T.S.E., 1987, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS-498, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Türkçü, Ç., 1997. Yapım Malzemeler Yöntemler Çözümler İlkeler, Birsen Yayınları, İstanbul.
- Türkçü, H., Ç., 2009. Çağdaş Taşıyıcı Sistemler, Genişletilmiş 2. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Türker, K., Çelik Yapılar -1 Ders Notları, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2016-2017 Öğretim Yılı Güz Dönemi, <https://docplayer.biz.tr/30167044-Bau-muh-mim-fak-insaat-muh-bl-celik-yapilar-i-ders-notlari.html>. 3 Mart 2019.
- Uzbaş, B., 2010. Endüstriyel Çelik Yapılarda Fireproof Uygulamaları, S.Ü Müh.-Mim. Fak. Derg., 25, 4.
- Ünver, H.,2003. Çelik Yapı Detaylarının Taşıyıcı Sistemler Açısından İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Vural, N., 2004. Uzay Kafes Sistemlerinde Örtü Malzemesi Seçimi, 2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi, İstanbul, s 5-40.
- Yardımcı, N. ve Güreş, Y.,2017. Deprem ve Kentsel Dönüşümde Çelik Yapılar Etüdü, Türk Yapısal Çelik Derneği, İstanbul, https://www.tucsa.org/images/yayinlar/makaleler/deprem_ve_kentsel_donusumde_celik_yapilar_170809.pdf. 21 Şubat 2019.
- URL-1, <https://www.worldsteel.org/about-steel/steel-facts.html>. 10 Şubat 2019.

- URL-2, <http://www.hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=129>. 11 Şubat 2019.
- URL-3, <https://docplayer.biz.tr/62458128-Ins-315-celik-yapilar-i-ders-notlari.html>. 3 Mart 2019
- URL-4, <http://kanatboya.com.tr/brosur-tr/kanat-boya-yapisal-celik.pdf>. 5 Mart 2019
- URL-5, <https://kimtasgalvaniz.com/haberler/detay/metal-yuzeylelerinin-korunma-yontemleri-ve-pasivasyon>. 5 Mart 2019
- URL-6, <https://tr.scribd.com/document/137170761/08-PETEK-K%C4%B0R%C4%B0C5%9ELER-1006>. 10 Mayıs 2019
- URL-7, <https://structurae.net/en/structures/iron-bridge>. 16 Aralık 2019
- URL-8, http://www.photographers-resource.co.uk/A_heritage/Bridges/LG/menai_bridge.htm. 16 Aralık 2019
- URL-9, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mythe_Bridge_-_geograph.org.uk_-_1125677.jpg. 16 Aralık 2019
- URL-10, <https://www.muhandisakademisi.com/celik-yapilarin-tarihcesi/>. 16 Aralık 2019
- URL-11, <https://www.britannica.com/topic/Crystal-Palace-building-London>. 16 Aralık 2019
- URL-12, <https://travel.sygi.com/tr/poi/forth-koprusu-poi:2270>. 16 Aralık 2019
- URL-13, <https://www.kilsanblog.com/mimarlik-farkli-iliginc-yapilar/chrysler-binasi/>. 16 Aralık 2019
- URL-14, <https://www.arkitektuel.com/empire-state-binasi/>. 16 Aralık 2019
- URL-15, <https://www.arkitektuel.com/lake-shore-drive/>. 16 Aralık 2019
- URL-16, <https://www.clevelandbridge.com/our-work/hong-kong-and-shanghai-banking-corporation-headquarters/>. 16 Aralık 2019

- URL-17, <https://www.internationalairportreview.com/news/76408/aircraft-stand-stansted-airport/>. 16 Aralık 2019
- URL-18, http://www.ozcedemir.com.tr/ipe_avrupa_i_profil_kirisler-s29.html. 17 Aralık 2019
- URL-19, http://www.ozcedemir.com.tr/npi_avrupa_standart_kirisler-s30.html. 17 Aralık 2019
- URL-20, http://www.ozcedemir.com.tr/upe_avrupa_parallel_flans_kanal-s35.html. 17 Aralık 2019
- URL-21, http://www.ozcedemir.com.tr/u_sivriltilmis_uclu_kanal-s37.html. 17 Aralık 2019
- URL-22, http://www.ozcedemir.com.tr/l_eskenar_kosebent-s38.html. 17 Aralık 2019
- URL-23, http://www.ozcedemir.com.tr/l_esitkenar_olmayan_kosebentler-s43.html. 17 Aralık 2019
- URL-24, http://www.ozcedemir.com.tr/avrupa_t_profil_celik_kirisler-s42.html. 17 Aralık 2019
- URL-25, <http://www.akislarmetal.com/malzeme/7/profil-cesitleri>. 17 Aralık 2019
- URL-26, <http://www.akislarmetal.com/malzeme/4/boru-cesitleri>. 17 Aralık 2019
- URL-27, http://kisi.deu.edu.tr//ozgur.ozcelik/Mukavemet/Civil_Mechanics_of_Materials/6_Lecture_Connections_Guncel.pdf. 17 Aralık 2019
- URL-28, <https://www.insaatofis.com/sap2000-petek-kiris-tanimlamasi.html>. 18 Aralık 2019
- URL-29, https://web.itu.edu.tr/haluk/yst/kafes_sistemler.pdf. 18 Aralık 2019

URL-30, <https://www.archdaily.com/870849/zagreb-airport-kincl-plus-neidhardt-plus-institut-igh/5911053be58eceb92c000081-zagreb-airport-kincl-plus-neidhardt-plus-institut-igh-photo>. 18 Aralık 2019

URL-31, <https://www.tensinet.com/index.php/projects-database/projects?view=project&id=3765>. 18 Aralık 2019

URL-32, <https://www.lme.com.tr/kosebent-demir-fiyatlari.html>. 30 Aralık 2019

URL-33, https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fuji-Pavilion,_Osaka_Expo%2770.jpg,
30 Aralık 2019

URL-34, http://web.ecs.baylor.edu/faculty/grady/_29_trusses.pdf. 10 Şubat 2020

URL-35, <https://www.karacapaslanmaz.com/paslanmaz-lama-fiyatlari>. 22 Aralık 2020

6. EKLER

Ek 1. Kafes Tipleri için kar yükü gösterimi

Kafes T 1	
Kafes T 2	
Kafes T 3	
Kafes T 4	
Kafes T 5	
Kafes T 6	

Ek 1'in devamı

Kafes T 7	
Kafes U 1	
Kafes U 2	
Kafes U 3	
Kafes U 4	
Kafes U 5	
Kafes U 6	

Ek 1'in devamı

Kafes U 7	
Kafes P 1	
Kafes P 2	
Kafes P 3	
Kafes P 4	
Kafes P 5	
Kafes P 6	
Kafes P 7	

Ek 1'in devamı

Kafes H 1	<p>Structural diagram of truss H 1. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 1 through 15 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 16 through 30 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 2	<p>Structural diagram of truss H 2. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 26 through 40 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 41 through 55 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 3	<p>Structural diagram of truss H 3. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 44 through 58 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 59 through 73 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 4	<p>Structural diagram of truss H 4. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 64 through 78 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 79 through 93 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 5	<p>Structural diagram of truss H 5. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 84 through 98 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 99 through 113 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 6	<p>Structural diagram of truss H 6. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 104 through 118 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 119 through 133 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>
Kafes H 7	<p>Structural diagram of truss H 7. It features a triangular truss structure with 15 nodes. The top chord nodes are numbered 124 through 138 from left to right. The bottom chord nodes are numbered 139 through 153 from left to right. A vertical force of 11250 N is applied at each of the 15 top nodes. The left support is a pin support and the right support is a roller support.</p>

Ek 2. Kafes tiplerine ait metraj tablosu

	Profil Kesiti	Uzunluk (m)	(Birim Ağırlık (kg/m)	Ağırlık (kg)	Kilo fiyatı	Toplam fiyat
Kafes T 1	2L 40X4	74,56	2,42	180,4352	3,2	577,39264
	2L 50X5	27,44	3,77	103,4488	3,2	331,03616
	2L 60X6	13,88	5,42	75,2296	3,2	240,73472
	2L 70X7	76,24	7,38	562,6512	3,2	1800,48384
	2L 80X8	11,88	9,63	114,4044	3,2	366,09408
	2L 90X9	60,76	12,2	741,272	3,2	2372,0704
	Genel Toplam				1777,4412	
Kafes T 2	2L 40x4	69,84	2,42	169,0128	3,2	540,84096
	2L 50X5	25,56	3,77	96,3612	3,2	308,35584
	2L 70X7	88,5	7,38	653,13	3,2	2090,016
	2L 90X9	72,64	12,2	886,208	3,2	2835,8656
	Genel Toplam				1804,712	
Kafes T 3	2L 40X4	74,2	2,42	179,564	3,2	574,6048
	2L 50X5	14,6	3,77	55,042	3,2	176,1344
	2L 60X6	13,86	5,42	75,1212	3,2	240,38784
	2L 70X7	68,88	7,38	508,3344	3,2	1626,67008
	2L 90X9	72,64	12,2	886,208	3,2	2835,8656
	Genel Toplam				1704,2696	
Kafes T 4	2L 40X4	71,32	2,42	172,5944	3,2	552,30208
	2L 50X5	11,08	3,77	41,7716	3,2	133,66912
	2L 60X6	12,8	5,42	69,376	3,2	222,0032
	2L 70X7	12,8	7,38	94,464	3,2	302,2848
	2L 80X8	60,18	9,63	579,5334	3,2	1854,50688
	2L 90X9	11,88	12,2	144,936	3,2	463,7952
	2L 100X10	60,76	15	911,4	3,3	3007,62
	Genel Toplam				2014,0754	

Ek 2'nin devamı

Kafes T 5	2L 40X4	52,16	2,42	126,2272	3,2	403,92704
	2L 50X5	22,76	3,77	85,8052	3,2	274,57664
	2L 60X6	13,16	5,42	71,3272	3,2	228,24704
	2L 70X7	12,48	7,38	92,1024	3,2	294,72768
	2L 80X8	60,34	9,63	581,0742	3,2	1859,43744
	2L 90X9	11,88	12,2	144,936	3,2	463,7952
	2L 100X10	60,76	15	911,4	3,3	3007,62
	Genel Toplam				2012,8722	
Kafes T 6	2L 40X4	43,64	2,42	105,6088	3,2	337,94816
	2L 50X5	24,96	3,77	94,0992	3,2	301,11744
	2L 60X6	12,48	5,42	67,6416	3,2	216,45312
	2L 80X8	12,16	9,63	117,1008	3,2	374,72256
	2L 90X9	11,88	12,2	144,936	3,2	463,7952
	2L 100X10	60,52	15	907,8	3,3	2995,74
	2L 110X12	60,76	19,7	1196,972	3,35	4009,8562
	Genel Toplam				2634,1584	
Kafes T 7	2L 40X4	40,68	2,42	98,4456	3,2	315,02592
	2L 60X6	14,28	5,42	77,3976	3,2	247,67232
	2L 70X7	11,88	7,38	87,6744	3,2	280,55808
	2L 80X8	11,88	9,63	114,4044	3,2	366,09408
	2L 90X9	11,88	12,2	144,936	3,2	463,7952
	2L 110X12	60,76	19,7	1196,972	3,35	4009,8562
	2L 130X12	60,76	23,5	1427,86	3,5	4997,51
	Genel Toplam				3147,69	

Ek 2'nin devamı

Kafes U 1	2L 40X4	55,52	2,42	134,3584	3,2	429,94688
	2L 50X5	25,88	3,77	97,5676	3,2	312,21632
	2L 60X6	12,32	5,42	66,7744	3,2	213,67808
	2L 80X8	15,62	9,63	150,4206	3,2	481,34592
	2L 100X10	60	15	900	3,3	2970
	2L 120X12	61,7	21,6	1332,72	3,3	4397,976
	Genel Toplam				2681,841	
Kafes U 2	2L 40x4	50,4	2,42	121,968	3,2	390,2976
	2L 50X5	24,96	3,77	94,0992	3,2	301,11744
	2L 60X6	11,72	5,42	63,5224	3,2	203,27168
	2L 70X7	14,42	7,38	106,4196	3,2	340,54272
	2L 100X10	60,02	15	900,3	3,3	2970,99
	2L 150X15	61,7	33,8	2085,46	3,3	6882,018
	Genel Toplam				3371,7692	
Kafes U 3	2L 40X4	53,8	2,42	130,196	3,2	416,6272
	2L 50X5	15,68	3,77	59,1136	3,2	189,16352
	2L 60X6	10,12	5,42	54,8504	3,2	175,52128
	2L 70X7	13,32	7,38	98,3016	3,2	314,56512
	2L 110X12	60,08	19,7	1183,576	3,35	3964,9796
	2L 150X15	61,7	33,8	2085,46	3,3	6882,018
	Genel Toplam				3611,4976	

Ek 2'nin devamı

Kafes U 3	2L 40X4	53,8	2,42	130,196	3,2	416,6272
	2L 50X5	15,68	3,77	59,1136	3,2	189,16352
	2L 60X6	10,12	5,42	54,8504	3,2	175,52128
	2L 70X7	13,32	7,38	98,3016	3,2	314,56512
	2L 110X12	60,08	19,7	1183,576	3,35	3964,9796
	2L 150X15	61,7	33,8	2085,46	3,3	6882,018
	Genel Toplam			3611,4976		11942,87472
Kafes U 4	2L 40X4	58,76	2,42	142,1992	3,2	455,03744
	2L 50X5	4,8	3,77	18,096	3,2	57,9072
	2L 70X7	23,08	7,38	170,3304	3,2	545,05728
	2L 120X12	60,2	21,6	1300,32	3,3	4291,056
	2L 200X150X18	61,7	47,1	2906,07	3,5	10171,245
	Genel Toplam			4537,0156		15520,30292
Kafes U 5	2L 40X4	53,84	2,42	130,2928	3,2	416,93696
	2L 60X6	4	5,42	21,68	3,2	69,376
	2L 70X7	14,38	7,38	106,1244	3,2	339,59808
	2L 200X150X18	122,04	47,1	5748,084	3,5	20118,294
	Genel Toplam			6006,1812		20944,20504
Kafes U 6	2L 40X4	48,96	2,42	118,4832	3,2	379,14624
	2L 70X7	24,12	7,38	178,0056	3,2	569,61792
	2L 200X150X18	60,52	47,1	2850,492	3,5	9976,722
	2L 200X20	61,7	59,9	3695,83	3,5	12935,405
	Genel Toplam			6842,8108		23860,89116

Ek 2'nin devamı

Kafes U 7	2L 40X4	22,04	2,42	53,3368	3,2	170,67776
	2L 50X5	22,2	3,77	83,694	3,2	267,8208
	2L 70X7	10,04	7,38	74,0952	3,2	237,10464
	2L 80X8	22,96	9,63	221,1048	3,2	707,53536
	2L 90X9	11,44	12,2	139,568	3,2	446,6176
	2L 200X25	122,46	76,6	9380,436	3,6	33769,5696
	Genel Toplam				9952,2348	
Kafes P 1	2L 40X4	51,44	2,42	124,4848	3,2	398,35136
	2L 50X5	43,16	3,77	162,7132	3,2	520,68224
	2L 60X6	80,56	5,42	436,6352	3,2	1397,23264
	2L 70X7	15,64	7,38	115,4232	3,2	369,35424
	2L 80X8	91,02	9,63	876,5226	3,2	2804,87232
	Genel Toplam				1715,779	
Kafes P 2	2L 40x4	56,96	2,42	137,8432	3,2	441,09824
	2L 50X5	42,54	3,77	160,3758	3,2	513,20256
	2L 60X6	66,42	5,42	359,9964	3,2	1151,98848
	2L 70X7	31,16	7,38	229,9608	3,2	735,87456
	2L 80X8	61,02	9,63	587,6226	3,2	1880,39232
	2L 90X9	12,68	12,2	154,696	3,2	495,0272
	Genel Toplam				1630,4948	
Kafes P 3	2L 40X4	65,92	2,42	159,5264	3,2	510,48448
	2L 50X5	30,92	3,77	116,5684	3,2	373,01888
	2L 70X7	89,52	7,38	660,6576	3,2	2114,10432
	2L 90X9	73,74	12,2	899,628	3,2	2878,8096
	Genel Toplam				1836,3804	

Ek 2'nin devamı

Kafes P 4	2L 40X4	88,04	2,42	213,0568	3,2	681,78176
	2L 60X5	14,04	5,42	76,0968	3,2	243,50976
	2L 70X7	73,98	7,38	545,9724	3,2	1747,11168
	2L 90X9	73,7	12,2	899,14	3,2	2877,248
	Genel Toplam			1734,266		5549,6512
Kafes P 5	2L 40X4	68,48	2,42	165,7216	3,2	530,30912
	2L 50X5	10,84	3,77	40,8668	3,2	130,77376
	2L 60X6	13,08	5,42	70,8936	3,2	226,85952
	2L 70X7	13,12	7,38	96,8256	3,2	309,84192
	2L 80X8	60,46	9,63	582,2298	3,2	1863,13536
	2L 90X9	12,68	12,2	154,696	3,2	495,0272
	2L 100X10	61,02	15	915,3	3,3	3020,49
Genel Toplam			2026,5334		6576,4369	
Kafes P 6	2L 40X4	60,52	2,42	146,4584	3,2	468,66688
	2L 50X5	10,52	3,77	39,6604	3,2	126,91328
	2L 60X6	12,2	5,42	66,124	3,2	211,5968
	2L 80X8	12,52	9,63	120,5676	3,2	385,81632
	2L 90X9	73,38	12,2	895,236	3,2	2864,7552
	2L 110X12	61,02	19,7	1202,094	3,35	4027,0149
Genel Toplam			2470,1404		8084,7634	
Kafes P 7	2L 40X4	52,8	2,42	127,776	3,2	408,8832
	2L 60X6	10,28	5,42	55,7176	3,2	178,29632
	2L 70X7	11,44	7,38	84,4272	3,2	270,16704
	2L 80X8	12	9,63	115,56	3,2	369,792
	2L 100X10	12,68	15	190,2	3,3	627,66
	2L 110X12	61,02	19,7	1202,094	3,35	4027,0149
	2L 130X12	61,02	23,5	1433,97	3,5	5018,895
Genel Toplam			3209,7448		10900,708	

Ek 2'nin devamı

Kafes H 1	2L 40X4	68,42	2,42	165,5764	3,2	529,84448
	2L 50X5	32	3,77	120,64	3,2	386,048
	2L 60X6	60	5,42	325,2	3,2	1040,64
	2L 70X7	14,8	7,38	109,224	3,2	349,5168
	2L 80X8	17,2	9,63	165,636	3,2	530,0352
	2L 90X9	62,28	12,2	759,816	3,2	2431,4112
	Genel Toplam			1646,0924		5267,49568
Kafes H 2	2L 40x4	75,84	2,42	183,5328	3,2	587,30496
	2L 50X5	15,94	3,77	60,0938	3,2	192,30016
	2L 60X6	14,16	5,42	76,7472	3,2	245,59104
	2L 70X7	76,1	7,38	561,618	3,2	1797,1776
	2L 90X9	62,28	12,2	759,816	3,2	2431,4112
	Genel Toplam			1641,8078		5253,78496
Kafes H 3	2L 40X4	68,28	2,42	165,2376	3,2	528,76032
	2L 50X5	14,72	3,77	55,4944	3,2	177,58208
	2L 60X6	13,56	5,42	73,4952	3,2	235,18464
	2L 70X7	75,12	7,38	554,3856	3,2	1774,03392
	2L 100X10	62,28	15	934,2	3,3	3082,86
	Genel Toplam			1782,8128		5798,42096
Kafes H 4	2L 40X4	74,44	2,42	180,1448	3,2	576,46336
	2L 60X5	26,92	5,42	145,9064	3,2	466,90048
	2L 80X8	60,46	9,63	582,2298	3,2	1863,13536
	2L 110X12	62,28	19,7	1226,916	3,35	4110,1686
	Genel Toplam			2135,197		7016,6678

Ek 2'nin devamı

Kafes H 5	2L 40X4	66,12	2,42	160,0104	3,2	512,03328
	2L 60X6	25,4	5,42	137,668	3,2	440,5376
	2L 90X9	60,46	12,2	737,612	3,2	2360,3584
	2L 110X12	62,28	19,7	1226,916	3,35	4110,1686
	Genel Toplam				2262,2064	
Kafes H 6	2L 40X4	58,24	2,42	140,9408	3,2	451,01056
	2L 50X5	11,92	3,77	44,9384	3,2	143,80288
	2L 60X6	12,12	5,42	65,6904	3,2	210,20928
	2L 100X10	60,7	15	910,5	3,3	3004,65
	2L 150X15	62,28	33,8	2105,064	3,3	6946,7112
	Genel Toplam				3267,1336	
Kafes H 7	2L 40X4	50,68	2,42	122,6456	3,2	392,46592
	2L 50X5	22,84	3,77	86,1068	3,2	275,54176
	2L 130X12	61,02	23,5	1433,97	3,5	5018,895
	2L 150X15	62,28	33,8	2105,064	3,3	6946,7112
	Genel Toplam				3747,7864	

ÖZGEÇMİŞ

27.01.1994 tarihinde Bandırma’da doğdu. İlk ve orta öğreniminden sonra 2008-2012 yıllarında Ankara Gazi Anadolu Lisesinde öğrenim gördü. 2012 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümüne başladı ve 2016 yılında mezun oldu. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

2017-2018 yıllarında özel bir mimarlık ofisinde çalıştı. 2019 yılından beri Türk Telekom Ankara Genel Müdürlüğü’nde mimar olarak çalışmaktadır.