

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN KAR YÜKLERİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ:  
STADYUM ÇATISI ÖRNEĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnş. Müh. MUSTAFA VURAL**

**MART 2012  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN KAR YÜKLERİ YÖNÜNDE İNCELENMESİ:  
STADYUM ÇATISI ÖRNEĞİ**

**İnş. Müh. Mustafa VURAL**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
"İNŞAAT YÜKSEK MÜHENDİSİ"  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 17/02/2012  
Tezin Savunma Tarihi : 14/03/2012**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU**

**Trabzon 2012**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**  
**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında**  
**Mustafa VURAL tarafından hazırlanan**

**UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN KAR YÜKLERİ YÖNÜNDE İNCELENMESİ:**

**STADYUM ÇATISI ÖRNEĞİ**

**başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 28/ 02 / 2012 gün ve 1446 sayılı  
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**olarak kabul edilmiştir.**

**Jüri Üyeleri**

**Başkan : Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI .....**

**Üye : Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU .....**

**Üye : Yrd. Doç. Dr. Korhan ÖZGAN .....**

**Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ**

**Enstitü Müdürü**

## ÖNSÖZ

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasının belirlenmesinde, yürütülmesinde ve yorumlanmasında engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren, kıymetli zamanını benimle paylaşan değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU' na teşekkürü bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Tez jürisinde yer almayı kabul ederek kıymetli zamanlarını ayıran, tezimi değerlendirerek daha iyiye ulaşmak için görüşlerini benimle paylaşan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mehmet Emin ARICI ve Yrd. Doç. Dr. Korhan ÖZGAN 'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Lisans öğrenimim boyunca bana İnşaat Mühendisliğini sevdiren, mühendisliği bir yaşam biçimi olarak benimsememe neden olan Balıkesir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarıma ve saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Kaan TÜRKER' e de ayrıca şükranlarımı sunarım.

Ve son olarak, eğitimim için benden desteklerini hiç esirgemeyen, hayat boyu her zaman yanımda olan sevgili aileme ve nişanlıma sonsuz teşekkür ederim.

Mustafa VURAL

Trabzon 2012

## **TEZ BEYANNAMESİ**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Uzay Kafes sistemlerin Kar Yüklere Yönünden İncelenmesi: Stadyum Çatısı Örneği” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU ‘nun 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. 17/02/2012

Mustafa VURAL

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	X
SUMMARY .....	XI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XII
TABLolar DİZİNİ.....	XIV
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Kaynak Araştırması .....	2
1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol.....	3
1.4. Uzay Kafes Sistemler .....	3
1.5. Uzay Kafes Sistemlerin Diğer Sistemlere Göre Avantajları .....	4
1.6. Uzay Kafes Sistemlerin Olumsuz Yanları.....	5
1.7. Strüktür Geometrisi Açısından Sınıflandırma .....	6
1.7.1. Düzlem Yüzeyle Uzay Kafes Sistemler.....	7
1.7.2. Eğri Yüzeyle Uzay Kafes Sistemler.....	7
1.7.2.1. Tonoz Biçimli Uzay Kafes Sistemler.....	8
1.8. Uzay Kafes Sistem Malzemeleri .....	9
1.8.1. Çelik-Alüminyum.....	10
1.8.2. Ahşap .....	10
1.8.3. Suni Malzemeler.....	10

1.9.	Uzay Kafes Strüktürlerini Oluşturan Öğeler .....	10
1.9.1.	Düğüm Noktaları .....	11
1.9.2.	Mesnetler .....	11
1.9.3.	Borular .....	12
1.9.4.	Aşıklar .....	13
1.10.	Uzay Kafes Sistemlerin uygulama Alanları .....	14
1.11.	Hesap Yöntemi .....	14
1.12.	Yük Değerleri .....	15
1.13.	Korozyona Karşı Koruma.....	16
1.14.	Nakliye ve Montaj .....	16
1.15.	Çatılarda Kar Yükleri .....	17
1.15.1.	Kar Yoğunluğu .....	17
1.15.2.	Kar Kalınlığı Ölçümü .....	18
1.15.3.	Çatı Kar Kalınlığı .....	18
1.15.4.	Çatı Kar Yüğü.....	18
1.15.5.	TS 498' e Göre Kar Yüğü Tanımı .....	19
1.16.	Kar Haritası ve Kar Bölgeleri.....	19
1.17.	TS 498 Kar Yüğülerinin Yeterliliğı.....	21
1.18.	Uzay Kafes Sistemlerin Analizi ve Boyutlandırılması.....	25
1.18.1.	Matris Deplasman Yönteminin Uzay Kafes Sistemlere Uygulanması.....	25
1.18.2.	Eleman Rijitlik Matrisi .....	25
1.18.3.	Sistem Rijitlik Matrisi .....	27
1.18.4	Düğüm Noktası Yerleştirmelerinin ve Çubuk Uç Kuvvetlerinin Hesabı .....	27
1.18.5	Uzay Kafes Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması .....	28
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1	Doğu Karadeniz Bölgesinde Uygulanması Yapılan Uzay Kafes Sistem Örneğinin Kar Yüğüleri Yönünden İncelenmesi.....	30

2.1.1.	Uzay Kafes Sistem Uygulaması Mevcut Projesinin İncelenmesi .....	32
2.1.1.1.	Mevcut Proje Statik Hesap Bilgileri.....	32
2.1.1.2.	Kombinasyonlar.....	34
2.1.1.3.	Yük Analizi .....	34
2.1.1.4.	Yüklemeler .....	36
2.1.1.4.1.	Yükleme 1 (Zati Yükler) .....	37
2.1.1.4.2.	Yükleme 2 (Aşık+Kaplama Yükleri) .....	38
2.1.1.4.3.	Yükleme 3 (Tesisat Yükleri) .....	40
2.1.1.4.4.	Yükleme 4 (Kar Yükleri).....	41
2.1.1.4.5.	Yükleme 5 (Rüzgar Emme Yüğü).....	42
2.1.1.4.6.	Yükleme 6(Rüzgarın -y Yönünde Etkimesi) .....	44
2.1.1.4.7.	Yükleme 7(Rüzgarın +y Yönünde Etkimesi).....	45
2.1.1.4.8.	Yükleme 8 (Rüzgarın +x Yönünde Etkimesi) .....	46
2.1.1.4.9.	Yükleme 9 (Rüzgarın -x Yönünde Etkimesi) .....	46
2.1.1.4.10.	Yükleme 10 (Depremi +x Yönünde Etkimesi).....	47
2.1.1.4.11.	Yükleme 11 (Depremi +y Yönünde Etkimesi).....	48
2.1.1.4.12.	Yükleme 12 Sıcaklık Etkisi .....	49
2.1.1.5.	Analiz Sonuçları .....	49
2.1.1.5.1.	Birinci Durum Analiz Sonuçları.....	49
2.1.1.5.2.	İkinci Durum Analiz Sonuçları .....	50
2.1.2.	Uzay Kafes Sistemin Mevcut Kesitlerine Göre Kar Yüğü'nün 75 kg/m <sup>2</sup> Alınarak Statik Analiz Yapılması.....	51
2.1.2.1.	Yükler .....	51
2.1.2.2.	Kombinasyonlar.....	52
2.1.2.3.	Yük Analizi .....	53
2.1.2.3.1.	Yükleme 1 (Uzay kafes ağırlığı, -Z yönünde hesaplandığı gibi).....	53
2.1.2.3.2.	Yükleme 2 (Kaplama ağırlığı + Aşık + Servis yükleri) .....	55



2.1.2.3.3.	Yükleme 3 (Kar yükü (TS 498)) .....	56
2.1.2.3.4.	Yükleme 4 (Rüzgar EmmeYükü).....	57
2.1.2.3.5.	Yükleme 5 (+X Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	59
2.1.2.3.6.	Yükleme 6 ( -X Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	60
2.1.2.3.7.	Yükleme 7 (+Y Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	61
2.1.2.3.8.	Yükleme 8 (-Y Yönünde Rüzgar Yükü).....	61
2.1.2.3.9.	Yükleme 9 (+X Yönünde Deprem Yükü) .....	62
2.1.2.3.10.	Yükleme 10 (+Y Yönünde Deprem Yükü) .....	63
2.1.2.3.11.	Yükleme 11 (Isı Farkı Yükü) .....	63
2.1.2.4.	Analiz Sonuçları .....	64
2.1.2.4.1.	Birinci Durum Analiz Sonuçları.....	64
2.1.2.4.2.	İkinci Durum Analiz Sonuçları .....	65
2.1.3.	Uzay Kafes Sistemin Mevcut Kesitlerine Göre Kar Yükünün 171 kg/m <sup>2</sup> Alınarak Çözülmesi .....	67
2.1.3. 1.	Yükler .....	67
2.1.3. 2.	Kombinasyonlar.....	68
2.1.3. 3.	Yük Analizi .....	68
2.1.3. 3.1.	Yükleme 1 (Uzay Kafes Ağırlığı, -Z Yönünde Hesaplandığı Gibi).....	68
2.1.3.3.2.	Yükleme 2 (Kaplama Ağırlığı + Aşık + Servis yükleri) .....	70
2.1.3.3.3.	Yükleme 3 (Kar Yükü (TS 498)).....	71
2.1.3.3.4.	Yükleme 4(Rüzgar Emme yükü).....	73
2.1.3.3.5.	Yükleme 5 (+X Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	74
2.1.3.3.6.	Yükleme 6 (-X Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	75
2.1.3. 3.7.	Yükleme 7 (+Y Yönündeki Rüzgar Yükü) .....	76
2.1.3.3.8.	Yükleme 8 (-Y Yönünde Rüzgar Yükü).....	77
2.1.3.3.9.	Yükleme 9 ( +X yönünde Deprem Yükü) .....	78
2.1.3.3.10.	Yükleme 10 ( +Y Yönünde Deprem Yükü) .....	79

2.1.3.3.11.	Yükleme 11 (Isı Farkı Yüğü) .....	79
2.1.3.4.	Analiz Sonuçları .....	80
2.1.3.4.1.	Birinci Durum Analiz Sonuçları .....	80
2.1.3.4.2.	İkinci Durum Analiz Sonuçları .....	81
2.1.4.	Yapılan Tüm Analiz Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	83
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
4.	KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN KAR YÜKLERİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ:  
STADYUM ÇATISI ÖRNEĞİ

Mustafa VURAL

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Prof. Dr. Ayşe DALOĞLU  
2012, 91 Sayfa,

Çalışma kapsamında ülkemizin Doğu Karadeniz Bölgesinde uygulaması yapılan bir uzay kafes sistemin mevcut projesine göre statik analizleri yapılmış ve düşey yükler altında kesit yeterlilikleri araştırılmıştır. TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yük değerleri) kapsamında alınan kar yükü değerleriyle statik analiz ve kesit kontrolü yapılmıştır. Sistem ayrıca rüzgâr, deprem ve sıcaklık değişmesi etkileri altında incelenmiştir. Daha sonra Doğu Karadeniz Bölgesi için Devlet Meteoroloji İstasyonlarından (DMİ) elde edilen kar verileri ile istatistiksel analiz yöntemleriyle belirlenen ortalama tekerrür süresi (OTS) 50 yıl ve 100 yıl olan zemin kar yükleri kullanılarak sistemin statik analizi yapılmış ve kesit yeterliliği kontrolü tekrarlanmıştır. Son olarak yapı sistemine projesi dışında yapılmış olan güçlendirmelerin yeterliliği ve etkinliği araştırılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda mevcut yapının TS 498' e göre hesaplanan kar yükü değerleri için bazı elemanlarda gerilmelerin yüksek olduğu, kesitlerin yetersiz kaldığı ve bu durumun büyük oranda mesnet bölgelerinde olduğu gözlenmiştir. Sisteme projesi dışında yapılmış olan güçlendirmenin amacına ulaşmadığı tespit edilmiştir. Kar yüklerinin kar verisi istatistiklerine dayanarak hesaplandığı durumda ise maksimum gerilmelerde %75 - %80 oranlarında artışlar olduğu görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik yapılar, Uzay kafes sistemler, Kar yükleri

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF SPACE TRUSSES UNDER SNOW LOADS: CASE STUDY

Mustafa VURAL

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Institute of Sciences  
Civil Engineering Graduate Program  
Supervisor: Prof. Ayşe DALOĞLU  
2012, 91 Pages,

In this study, the statical analysis of an existing space truss system in the eastern Blacksea region of the country was performed under the vertical loads and the cross sectional sufficiency was inspected. Analysis of the roof was first performed under the snow loads calculated by obeying TS 498 (Design Loads for Buildings), and the cross sections were checked. In addition the system was analysed under the wind and the earthquake loading as well as the temperature effect. Later the system was reanalysed under the roof snow loads by using the ground snow load data obtained from a statistical analysis and the cross sections are checked. To determine the variation of the ground snow loads in the Eastern Blacksea Region of the country, normalized ground snow loads for the region were produced using statistical analysis for snow loads which have 50 to 100 year return periods. Finally, the adequacy and the effectiveness of the strengthening and repairment on existing structure were examined. As a result it was observed that the areas of cross-sections of the some of the elements of the existing structure were insufficient under the snow loads obtained according to TS 498, and this situation occurred mostly around the supports. It was also seen that the repairment and the strengthening on the existing structure became ineffective and displacements got even larger. Maximum displacements increased by 75% to 80% under the snow loads calculated depending on the statistical analysis of the snow data.

**Key Words:** Steel structures, Space trusses, Snow loads

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 1. Uzak kafes sistem örnekleri .....	4
Şekil 2. Doğuray ve doğrultman yönleri .....	8
Şekil 3. ‘L’ açıklığı ve ‘H’ yüksekliği.....	8
Şekil 4. Strüktür geometrisi açısından uzay kafes kiriş örnekleri .....	9
Şekil 5. Uzak kafes sistemi oluşturan öğeler .....	10
Şekil 6. Düğüm noktası ile çubukların birleştirilmesi .....	11
Şekil 7. Cıvatalar sıkıldıktan sonra sistemin görünüşü.....	11
Şekil 8. Mesnet detayı .....	12
Şekil 9. Uzak kafes sistem boru elamanlar .....	13
Şekil 10. Aşık detayı.....	14
Şekil 11. Kar yoğunlukları.....	17
Şekil 12. Kar bölgeleri haritası .....	20
Şekil 13. Doğu Karadeniz il ve ilçelerinin zemin kar yüklerinin belirlenmesi ile ilgili Durmaz’ ın [6] yaptığı çalışmada hesaplanan kar yükü değerleri ve TS 498’ de belirtilen kar yükü değerlerinin karşılaştırılması .....	22
Şekil 14. Tipik uzay kafes sistemi .....	26
Şekil 15. Tipik uzay kafes sistemi çubuğu .....	26
Şekil 16. Sistem boyutları.....	30
Şekil 17. Düğüm noktaları arası mesafeler.....	30
Şekil 18. Sistem genel görünümü 1 .....	31
Şekil 19. Sistem genel görünümü 2 .....	31
Şekil 20. Moment aktarmayan düğüm noktaları .....	32
Şekil 21. Uzak kafes sistem üst başlık düğüm noktaları yük analizi.....	35
Şekil 22. Rüzgarın +x yönünde etkimesi.....	44
Şekil 23. Rüzgarın -x yönünde etkimesi.....	45
Şekil 24. Rüzgarın +y yönünde etkimesi.....	46
Şekil 25. Rüzgarın -y yönünde etkimesi.....	47
Şekil 26. Sistemdeki maksimum çökme.....	49

Şekil 27.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	50
Şekil 28.	Sistemdeki maksimum çökme .....	50
Şekil 29.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	51
Şekil 30.	Rüzgarın +x yönünde etkimesi .....	59
Şekil 31.	Rüzgarın -x yönünde etkimesi .....	60
Şekil 32.	Rüzgarın +y yönünde etkimesi .....	61
Şekil 33.	Rüzgarın -y yönünde etkimesi .....	62
Şekil 34.	Sistemdeki Maksimum Çökme .....	64
Şekil 35.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	65
Şekil 36.	Sistemdeki maksimum çökme .....	66
Şekil 37.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	66
Şekil 38.	Rüzgarın +x yönünde etkimesi .....	75
Şekil 39.	Rüzgarın -x yönünde etkimesi .....	76
Şekil 40.	Rüzgarın +y yönünde etkimesi .....	77
Şekil 41.	Rüzgarın -y yönünde etkimesi .....	78
Şekil 42.	Sistemdeki Maksimum Çökme .....	80
Şekil 43.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	81
Şekil 44.	Sistemdeki maksimum çökme .....	82
Şekil 45.	Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri .....	82
Şekil 46.	En büyük mesnet tepkisinin olduğu mesnet .....	83
Şekil 47.	5522 nolu mesnet .....	83
Şekil 48.	5522 nolu düğüm noktasında birleşen çubuk elemanlar .....	84

## TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Uzay kafes sistemlerde kullanılan boru kesitleri.....	12
Tablo 2. TS 498 $P_{ko}$ değerleri ( $kN/m^2$ ).....	21
Tablo 3. Doğu karadeniz bölgesinin il ve ilçe merkezlerinin $P_{ko}$ ve $X_{50}$ değerleri[6].....	24
Tablo 4. Çelik emniyet gerilmeleri .....	29
Tablo 5. Kullanılan boru kesitleri .....	33
Tablo 6. Yükleme kombinasyonları.....	34
Tablo 7. Uzay kafes sistem üst başlık düğüm noktaları yük alanları .....	35
Tablo 8. Yükleme 1.....	37
Tablo 9. Yükleme 2.....	38
Tablo 10. Yükleme 3.....	40
Tablo 11. Yükleme 4.....	41
Tablo 12. Yükleme 5.....	43
Tablo 13. Yükleme 1.....	53
Tablo 14. Yükleme 2.....	55
Tablo 15. Yükleme 3.....	56
Tablo 16. Rüzgar emme etkisi .....	58
Tablo 17. Yükleme 1.....	69
Tablo 18. Yükleme 2.....	70
Tablo 19. Yükleme 3.....	72
Tablo 20. Yükleme 4.....	73
Tablo 21. Düşey yükler etkisinde, farklı kar yükleri altında kafes sistem çubuklarında meydana gelen gerilmelerin karşılaştırılması (mesnet sayısı 6) .....	84
Tablo 22. Düşey yükler etkisinde, farklı kar yükleri altında kafes sistem çubuklarında meydana gelen gerilmelerin karşılaştırılması (mesnet sayısı 10).....	85

## SEMBOLLER DİZİNİ

- $P_k$  : Kar yükü hesap değeri  
 $P_{k0}$  : Zati kar yükü  
 $m$  : Kar yükü azaltma değeri  
 $\alpha$  : çatı örtüsünün eğimi  
 $d_{\text{ç}} (m)$  : çatı kar kalınlığı  
 $\rho$  : kar yoğunluğu  
 $d_{\text{ç}}$  : çatıdaki kar kalınlığı  
 $d_z$  : zemindeki kar kalınlığı  
 $g$  : yer çekimi ivmesi  
 $P_k$  :kar yükü  
 $d_{z\text{max}}$  : n (örneğin n=30) yıllık maksimum kar kalınlıklarının ortalaması  
 $E_i$  : elemanın elastisite modülü  
 $A_i$  : elemanın kesit alanı  
 $l_i$  : elemanın uzunluğu  
 $P_i$  : dış kuvvet  
 $u_i$  : yer değiştirme  
 $k_i$  : rijitlik elemanı  
[a] : deplasman dönüşüm matrisi  
 $U_i$  : birim uzama-şekil değiştirme bağıntısı  
 $K$  : yapının tümünün rijitlik matrisi



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

"Prefabrike Çelik Uzay Kafes Sistemler", stabilitesi oldukça yüksek yapılardır. Çeşitli geometrilerdeki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek, kapalı mekan olarak kullanılmasında oldukça ekonomik çözümler sağlarlar. Ayrıca bu sistemler, prefabrike standart elemanlardan meydana geldiği için, dizayn, imalat ve montaj süreleri çok kısa olmakta ve özellikle işçilik hatalarından kaynaklanan problemler en aza inmektedir. Uzay Kafes Sistemler, özel geometrik şekillerde teşkil edilen düğüm noktalarında çubuklar, perçinli, kaynaklı ya da düğüm noktaları üzerine açılan yuvalara vidalanmak şekliyle teşkil edilir. Üç boyutlu kafes sistemlerin ilk uygulaması 1907 yılında Graham BELL tarafından gerçekleştirilmiştir. BELL' in inşaa ettiği kule basit uzay kafes sistem tarzında bir sistemdir. Almanya'da çok katlı uzay kafesler 1942 yılında MENGERIN-GHAUSEN tarafından inşaa edilmiştir. Bu sistemde özel olarak imal edilen düğüm noktalarına eksantrisite oluşturmadan 18 adet çubuk bağlanabilmektedir. Bu sistemin rijitliği fazla olduğundan, birçok yapıda kullanım alanı bulmuştur. Prefabrike Uzay Kafes Sistemler, çelik makas sistemlerden farklı olarak aynı düzlemde olmayan üç boyutlu çubukların bir noktada birleşmesinden oluşan modüler sistemlerdir. Avrupa ve Amerika'da yaklaşık kırkbeş yıldır yaygın olarak kullanılan bu sistemler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Büyük açıklıkların geçilmesinde eskiden kullanılan ön gerilmeli beton, klasik çelik çatı konstrüksiyonları veya benzeri sistemler günümüzde yerini uzay kafes sistemlere bırakmıştır. Uzay kafes sistem tasarımları geçilecek açıklığa göre (bir veya iki yönlü büyük açıklıklar) tek yönlü büyük açıklığı olan depo, hangar, fabrika vs. yapılarda uzay kiriş olarak yapılabildiği gibi, iki yönlü büyük açıklıklar için modüllerin birleşmesinden meydana gelen uzay kafes sistemi oluşturulabilir. Bu sistem mimari veya statik konstrüksiyona bağlı olarak piramit, küresel kabuk, silindirik veya çok katlı olabilmektedir. Sanayi tesisleri, fabrikalar, uçak-helikopter hangarları, yüzme havuzları, spor salonları, depolar, tribünler, tiyatro-opera binaları, sinemalar, benzin istasyonları, sergi standları, mağaza, dersane, okul yapıları, laboratuvarlar ve fuar reyonları olarak uygulanabilmesi nedeniyle çok geniş ve farklı sahalarda kullanıma imkan tanır ve ayrıca

bu yapılardaki uygulamalar için son derece uygun ve ekonomiktir. Dekoratif bir yapıya sahip olması kullanım alanını genişletmiştir [1]. Ülkemizde uzay kafes sistemlere ait özel bir teknik şartname bulunmamaktadır. Yapı sistemleri analizlerinde alınan yük değerleri bölge koşullarına göre mevcut şartnamelerin dışına çıkabilmektedir. Özellikle büyük açıklıkları geçmede günümüzde yaygın şekilde kullanılan uzay kafes sistemleri için daha hassas çalışmalarla proje verileri elde edilmeli ve tasarımlarda yapının ekonomik olmasının yanında güvenliğinin maksimum seviyede de sağlanması gerekir.

## 1.2. Kaynak Araştırması

Ayhün [2] çalışmasında; tam çözümlü ve karşılaştırmalı bir projenin adım adım çözümü (FRAMECAD), on farklı bölgede yapılan araştırmada uzay kafes sistemlerin deprem ve kar yükleri etkisi altındaki davranışının incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesini, uygulanmış örneklerle tamamlamıştır.

Ülker [3] çalışmasında; çift katmanlı uzay kafes sistemlerin statik ve dinamik analizi ve dizaynını amaçlamıştır. Bu amaçla, uzay kafes sistemlerin statığı, konstrüksiyonu ve teorik özellikleri konusunda detaylı bir araştırma yapmıştır. Yapı analizinde kullanılmakta olan SAP2000 ve FRAMECAD gibi gelişmiş paket programları incelemiş, uzay kafes sistemlerde uygulanabilirliğini gözden geçirmiştir. Farklı geometrik özelliklerdeki tek ve çift katmanlı uzay kafes sistemlerin SAP2000 ile çözümünü yapmıştır.

Özbahar [4] çalışmasında tek eğrilikli uzay kafes sistemler ile ilgili bilgiler vermiş, sistemin ağırlığını etkileyen faktörleri belirtmiştir. Çember, elips ve parabol formlarındaki açıklıkları değişken 128 adet sistemi, SAP2000 programı yardımıyla çözmüş, elde edilen değerleri tablo ve grafiklerle ifade etmiştir. Yapılan analizler sonucu elde edilen değerlerden yola çıkarak, hangi geometrik şekillerde, sistemin en uygun çözüm olabileceğini yorumlamıştır.

Eşsizoglu [5] çalışmasında SAP2000 programında modelleme yapılırken, maliyeti ve ölü yükü azaltmak amacıyla daha küçük çaplı profiller denemiştir. Fakat ölü yük azalmasına rağmen kar ve rüzgar yüklerinin etkisiyle, sistemin analizi yapıldığında kolon ve çubukların sistemi taşıyamayacağını belirlemiştir. Maliyeti minimum tutmak amacıyla çubuk ve kolon değerlerini büyütürken en ekonomik ve en güvenli boru çaplarını bulmuştur.

### 1.3. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Bu çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinde uygulaması yapılan çift katmanlı uzay kafes sistemin statik yükler altında analizi ve dizaynı konusunda araştırma ve inceleme yapılmış, yapıya etki eden kar yüklerinin sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Öncelikle;

-Sistemin mevcut projesine göre statik analizleri yapılarak, düşey yükler altında kesit yeterlilikleri araştırılmıştır.

İkinci olarak;

-TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yük değerleri) kapsamında alınan kar yükü değerleriyle statik analiz ve kesit yeterlilik kontrolü yapılmıştır.

Son olarak;

- Daha önce Durmaz [6], [7], [8], [9], [10] tarafından yapılan ‘Doğu Karadeniz Bölgesindeki Çatıların Optimum Kar Yüklerinin Belirlenmesi’ çalışmasında, kar yüklerinin bazı bölgelerde, mevcut şartnamelerde belirlenen kar yükü değerlerinin dışına çıktığı belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma kapsamında da yeni belirlenen kar yüklerine göre statik analiz ve kesit yeterliliği kontrolü yapılmıştır.

- Sistem uygulaması üzerinde sonradan yapılan güçlendirme çalışmaları da ayrıca incelenmiş ve bu güçlendirme çalışmasının sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Uzay kafes sistemleri analizinde kullanılan birçok bilgisayar programı bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmada SAP2000 (Three Dimensional Static And Dynamic Finite Element Analysis And Design of Structures) programı kullanılmıştır. Uzay kafes sisteminin, esas yükler altında yapılan analizi sonrasında kesit yeterliliği kontrolü için Ülkemizde çelik yapıların hesabında TS 648 yönetmeliği kullanılmaktadır.

### 1.4. Uzay Kafes Sistemler

Uzay kafes sistemler; ana öğeleri çubuk elemanlar ile noktasal düğüm elemanları olan ve yapısında en iyi yük dağılımını sağlayacak şekilde, prefabrik yapı sistematiğinde imalatı ve montajı yapılarak teşkil edilen üç boyutlu hiperstatik yapı sistemleridir.

Uzay kafes sistemler genel olarak, dört düğüm noktası ve altı çubuktan oluşan düzgün dörtyüzlü elemanların birbirleri ile bağlanması ile oluşur. Bu dörtyüzlü elemanlar, sistemin gelebilecek tüm yüklerle karşı dayanıklı olmasını sağlar.

Yanal elemanlar esas kafes rijitliğinde, ayrı kafes sistemlerle meydana getirilirse bu durumda kafes kirişin sehimli bitişik kafeslerle iletilir ve tüm taşıyıcı monolitik bir sistem gibi çalışır. Bu düzenleme ile birbirini dik kesen kafes sistemler bir uzay kafes taşıyıcı sistem meydana getirirler. Şekil 1’ de uzay kafes sistemi uygulamaları gösterilmektedir.



Şekil 1. Uzay kafes sistem örnekleri

### 1.5. Uzay Kafes Sistemlerin Diğer Sistemlere Göre Avantajları

- Üç boyutlu hafif bir yapısı olduğu için büyük açıklıkları, küçük yüksekliklerle geçebilme imkanı sağlarlar.
- İki yönlü büyük açıklık geçilebildiği için ortada düşey taşıyıcı olmaksızın kullanım alanı artmaktadır.
- Yapının durumuna göre dört bir tarafta 15 metreye kadar konsollar düzenlenebilmektedir.
- Uzay kafes sistemler, düzlem kafeslere oranla daha rijit olup konstrüksiyon yükseklikleri daha az olabilir. Üst, alt başlıkları paralel olan kafes kirişlerde yükseklik açıklığında (1/10) kadar olduğu halde uzay kafes sistemlerde aynı oran (1/20-1/30) kadar yapılabilmektedir.
- İmalat ve montaj yönünden az sayıda farklı elemanı olması sebebiyle büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

- Uzay sistem ile çatıya istenilen form verilebilir. Tek yönde veya iki yönde eğimli çatı, kırık çatı, küresel çatı, şet çatı gibi değişik çatı tiplerinden söz edilebilir.
- Uzay sistem içinden; klima, havalandırma kanalları, tesisat ve elektrik boruları her yönde rahatlıkla geçirilebilir.
- Doğal aydınlatma sağlanabilir.
- Uzay sistem üzerine her türlü çatı kaplaması uygulanabilir ve iç mekânda asma tavan rahatlıkla düzenlenebilir.
- Isı değişimi yönünden, diğer sistemlere göre daha esnek bir yapıya sahiptir. Çubuk boyları birbirine yakın olduğu için düğüm deplasmanları çok küçük olmaktadır.
- İmalat prefabrik olduğu için bütün elamanlar sökölüp tekrar yerlerine takılarak, kolaylıkla yapının yerini değiştirmek mümkündür.
- Sistemin montajı çok kolaydır, sadece somun anahtarı kullanılarak binlerce metrekairelik uzay sistemler monte edilmektedir.
- Montajı yerde olabildiği gibi, havada örölerek de yapılmaktadır, inşaat alanındaki imkânlarla göre değişen bu durum çok önemlidir. Tekerlekli iskeleler kullanılarak, vinç yardımı olmaksızın tüm çatı havada örölabilir.
- İmalat ve montaj süreleri çok kısaldığı için inşaat maliyetlerinde zamanla ortaya çıkan artışlar ortadan kalkmaktadır. Tesisin daha kısa sürede işletmeye alınması gerek yatırımcılara, gerekse ülkemiz ekonomisine büyük katkı sağlamaktadır [4].

### **1.6. Uzay Kafes Sistemlerin Olumsuz Yanları**

Uzay kafes sistemlerin üstünlüklerinin yanında bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır. Bunları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz:

- Bazı durumlarda uzay kafes sistemler diğer sistemlere göre daha maliyetli olabilir. Bu durum uzay kafes sistemlerin özellikle kısa açıklıklarda kullanılması sonucu ortaya çıkar. 20 ile 30 metreden az açıklıklarda uzay kafes sistemleri kullanmak, maliyet açısından uygun olmayabilir.
- Birleşimlerin sayısı ve karmaşıklığı nedeniyle sistemin yapım zamanı bazen uzayabilir.
- Yüksek sayıda ve geniş açıklıkta, uzay kafes malzemeleri yangına karşı korumak ekonomik değildir. Uzay kafes sistemler genellikle hiçbir yangın dayanımı gerektirmeyen çatılarda kullanılır.

- Uzay kafes sistem elemanlarında, genelde çelik tercih edilir. Ancak çeliğin korozyona karşı dayanımı azdır. Çeliği korozyondan korumak için, boyama, fırınlama, galvanizleme gibi birtakım işlemlerin yapılması gerekir. Bu da maliyeti arttırır [ 4].

### 1.7. Strüktür Geometrisi Açısından Sınıflandırma

Uzay kafes sistemlerin strüktür geometrilerini incelemeden önce konuyla ilgili bazı kavramları açıklamak uygun olacaktır. Genel olarak strüktür geometrisini oluştururken kullanılan temel geometrik kavramlar; nokta, çizgi, düzlem ve hacimdir. Geometrik olarak eni, boyu ve derinliği sistemin boyutlarına göre çok küçük olan bileşenler “nokta” kavramı ile; iki boyutu üçüncü boyutuna göre çok küçük olan bileşenler çizgi kavramı ile; iki boyutu üçüncü boyutundan çok daha büyük olan bileşenler düzlem; her üç boyutu da büyük ve birbirine yakın olan bileşenler de hacim olarak adlandırılırlar. Buna göre uzay kafes sistemlerdeki düğüm elemanları noktaya, çubuk elemanlar da çizgiye benzemektedir. Bilindiği gibi uzay kafes sistemler üç boyutlu hacimsel strüktürlerdir. Sistem geometrisinin türetilmesi için iki farklı yöntem izlenir. Bu yöntemlerden ilki; bir doğru veya bir eğrinin aynı düzlemde bulunan bir eksen etrafında döndürülmesiyle hacimsel bir yüzey türetilmesidir. Örneğin bir çember yayının, merkezinden geçen bir doğru etrafında döndürülmesiyle küre oluşmaktadır. Diğer yöntem ise bir doğru veya eğrinin bulunduğu düzleme dik yöndeki diğer bir düzlem içinde yer alan bir eğri veya bir doğru üzerinde ötelenmesiyle bulunur. Buna göre bir çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir doğru parçası üzerinde ötelerek silindir yüzeyi, yine aynı çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir başka çember veya parabol yay üzerinde ötelemekle de hiperbolik paraboloid veya eliptik paraboloid yüzey elde edilmiş olur (Şekil 2). Ötelenen yay veya doğru parçasına ‘doğuray’, üzerinde doğurayın ötelendiği yay veya doğru parçasına da ‘doğrultman’ denir [11]. Şekil 2’de doğrultman bir doğru parçası ve doğuray da bir çember yayıdır. Şekil 3’ te hiperbolik paraboloidin doğuray uzunluğu ve çember yarıçapı gösterilmiştir. Bu noktada uzay kafes sistemler, strüktür geometrisi açısından incelendiğinde; düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli olarak iki ana gruba ayrılabilir. Diğer bir yaklaşımla uzay kafes sistemler, çubukların bulunduğu katmanlar açısından; tek katlı ve çift katlı sistemler olarak da ikiye ayrılabilir. Uzay kafes sistemlerin kullanılmasıyla elde edilebilen hacimsel örtüler Şekil 4’ te görülmektedir.

Şekil 4'teki ilk üç örnek düzlem yüzeyli uzay kafes sistemlere örnek olup dördüncü ve dokuzuncu arasında kalan şekiller tek eğrilikli, diğerleri de çift eğrilikli uzay kafes sistemlere verilen örneklerdir.

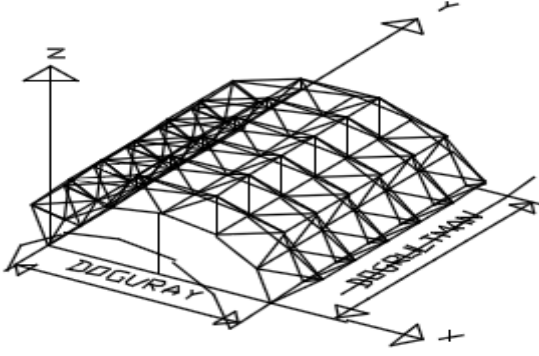
Tonoz biçimli uzay kafes sistemler, tek veya çift katlı olarak yapılabilirler. Şekil 4'te ikinci sıradaki 4, 5, 6 numaralı üç örnek tek katlı, üçüncü sıradaki 7, 8, 9 numaralı üç örnek de çift katlı tonoz biçimli uzay kafes sistemlere örnektir. Dördüncü sıradaki 10, 11, 12 numaralı üç tip ise jeodezik kubbelere örnek olup, son sıradaki 13, 14, 15 numaralı üç örnek ise, sırasıyla, eliptik paraboloid, hiperbolik paraboloid ve tor yüzeyli uzay kafes sistemlere aittir.

### **1.7.1. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler**

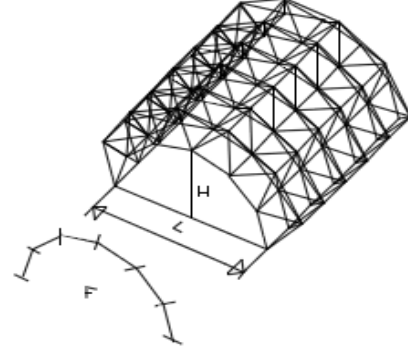
En çok tanınan ve en sık kullanılan uzay kafes sistem örnekleri düzlem yüzeyli olanlardır. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, doğurayı ve doğrultmanı düz bir çizgi olan sistemlerdir. Yüzey geometrisini oluşturan her iki çizginin de düz olmasından dolayı eğrilikleri yoktur. Düz, eğik ve katlanmış yüzeyler olarak kullanılabilirler (Şekil 4'deki 1., 2. ve 3.). Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler çift katmanlı üretilmek zorundadırlar. Tek katlı yapılamazlar. Tek katmanlı yapıldıklarında, mafsallı düğüm noktalarından dolayı sisteme etki eden düşey yükler altında stabilite sağlanamamaktadır. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler alt ve üst tabaka çubuklarının arasındaki yükseklik sayesinde bir giriş gibi çalışmaktadır. Bundan dolayı bu tür sistemlere 'uzay kafes girişler' de denilmektedir.

### **1.7.2. Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler**

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemleri elde etmek için doğuray ve doğrultmandan en az birinin eğri olması gerekir. Doğuray ve doğrultmandan yalnız bir tanesi eğri, diğeri doğru parçası ise bu tür sistemler 'tek eğrilikli sistemler', her ikisi de eğri ise 'çift eğrilikli sistemler' adını alır. Tonoz biçimli uzay kafes sistemler tek eğrilikli sistemlere örnek gösterilebilir. Çift eğrilikli sistemler ise eğriliklerinin yönüne göre ikiye ayrılırlar. Eğrilikleri aynı yönde ise jeodezik kubbe (Şekil 4' te 10., 11. ve 12.) ve eliptik paraboloid (Şekil 4' te 13), eğrilikleri ters yönde ise hiperbolik paraboloid (Şekil 4' te 14) elde edilmektedir. Tor yüzeylerinin ise iç tarafları ters, dış tarafları aynı yönde eğriliğe sahiptir (Şekil 4' te 15) [12].



Şekil 2. Doğuray ve doğrultman yönleri



Şekil 3. 'L' açıklığı ve 'H' yüksekliği

### 1.7.2.1. Tonoz Biçimli Uzak Kafes Sistemler

Doğurayı bir eğri ve doğrultmanı da bir doğru parçası olan ve doğurayın doğrultman üzerinde ötelenmesi sonucu elde edilen sistemler tek eğrilikli sistemlerdir. Ortaya çıkan geometrik şekil silindire benzediği için bu şekildeki uzak kafes sistemlere silindir yüzeyli veya tonoz biçimli uzak kafes sistemler denilmektedir. Tonoz yüzeyli uzak kafes sistemlere eğriliğini veren doğuray yayıdır. Bu yay geometrik olarak çember yayı, parabol yayı ve elips yayı olmak üzere üç şekilde olabilir. Yayın aldığı isimlere göre de tonoz uzak kafes sistemleri; çember yaylı tonoz sistemler, parabol yaylı tonoz sistemler ve elips yaylı tonoz sistemler olarak üç grupta inceleyebiliriz.

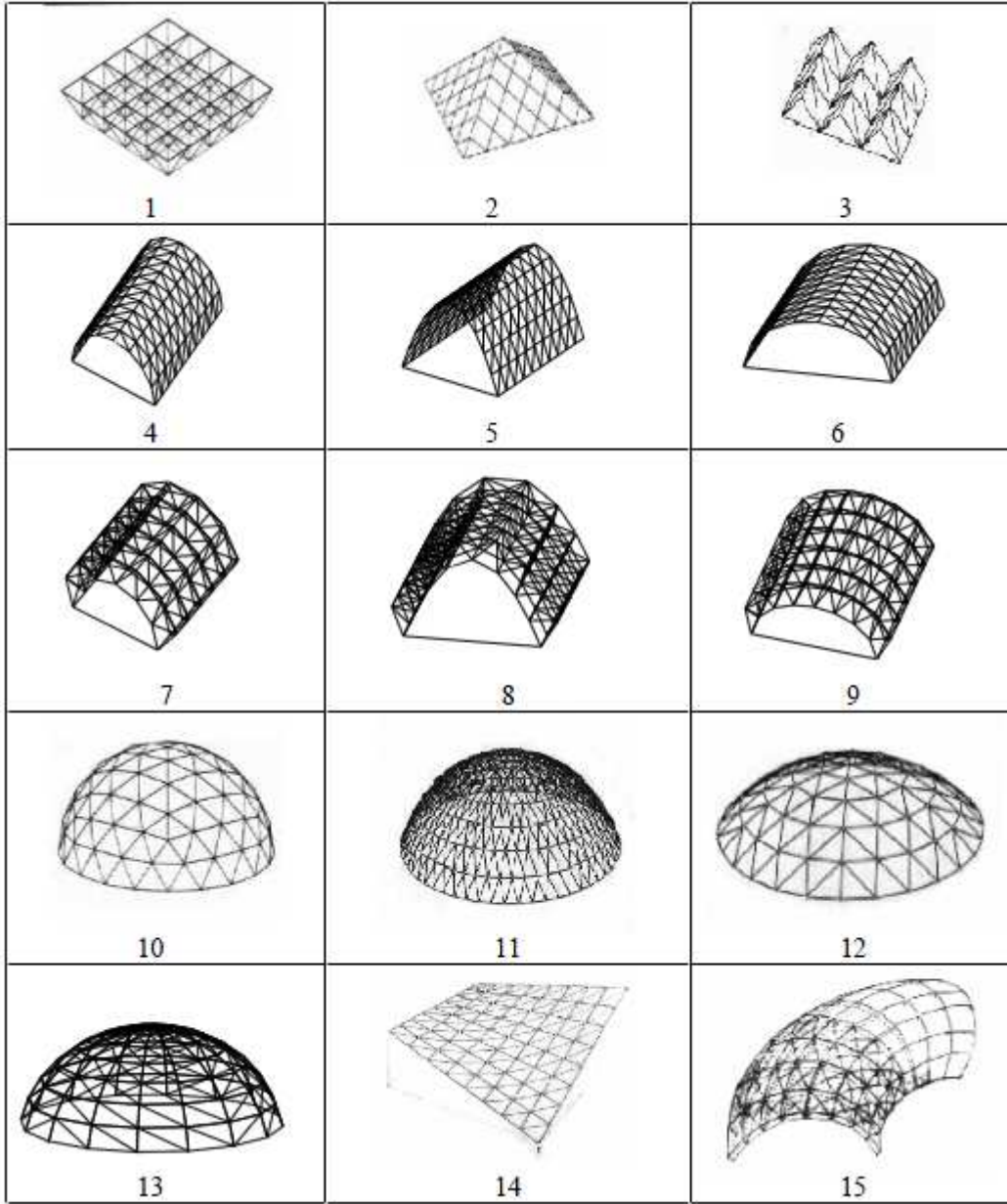
Tonoz biçimli uzak kafes sistemler, tek veya çift katlı olarak yapılabilirler. Şekil 4' te 4, 5 ve 6 kafesler tek katlı; 7, 8 ve 9 kafesler ise çift katlı tonoz biçimli uzak kafes sistemlere örnektir.

Silindir yüzeyli olan diğer strüktür sistemlerine göre (betonarme kabuk, çelik makas, ahşap makas vb.) uzak kafes sisteminin hem daha hafif olduğu hem de maliyetinin daha düşük olduğu bilinmektedir.

Tonoz biçimli uzak kafesler ile düzlem uzak kafesler karşılaştırıldığında, tonoz şeklinin sisteme getirdiği strüktürel bir üstünlük vardır. Düzlem uzak kafeslerde, sisteme etki eden dış yükler, etkidikleri yöne dik olan yönde mesnetlere iletilirler. Oysa ki silindir yüzeyli uzak kafes sistemlerde doğuray yönündeki çubuklar arasında kalan açılar  $180^\circ$  den küçüktür. Tonozun ortasında bile bu açı  $180^\circ$  olmamaktadır. Bu da, statik ve stabilite açısından, tonoz biçimli uzak kafes sistemleri daha etkin kılmaktadır. Tonoz biçimli uzak



kafes sistemlerde, düzlem olanla aynı koşullardayken, çubuk enkesit alanları azalmaktadır [13]. Buna karşın silindirik yüzeyli bir uygulamada yüzey alanı, düzlem uzay kafes kirişlerden fazla olmaktadır [12].



Şekil 4. Strüktür geometrisi açısından uzay kafes kiriş örnekleri

### 1.8. Uzay Kafes Sistem Malzemeleri

Uzay kafes sistemlerde çelik, ahşap ve suni malzemeler kullanılabilir.

### 1.8.1 Çelik-Alüminyum

Uzay kafes taşıyıcıların yapımında alüminyuma oranla daha ucuz ve daha dayanıklı olması nedeni ile çoğunlukla çelik kullanılır. Fakat çeliğin korozyona karşı zayıf olması nedeniyle korunması için birçok kez galvanize edilir. Bu daha pahalı bir yöntem olduğundan dolayı çoğunlukla tercih edilmez. Bununla birlikte alüminyum toplam yapı yükü yanında taşıyıcının kendi ağırlığının önemli olduğu durumlarda çelikle kıyaslanabilir.

### 1.8.2. Ahşap

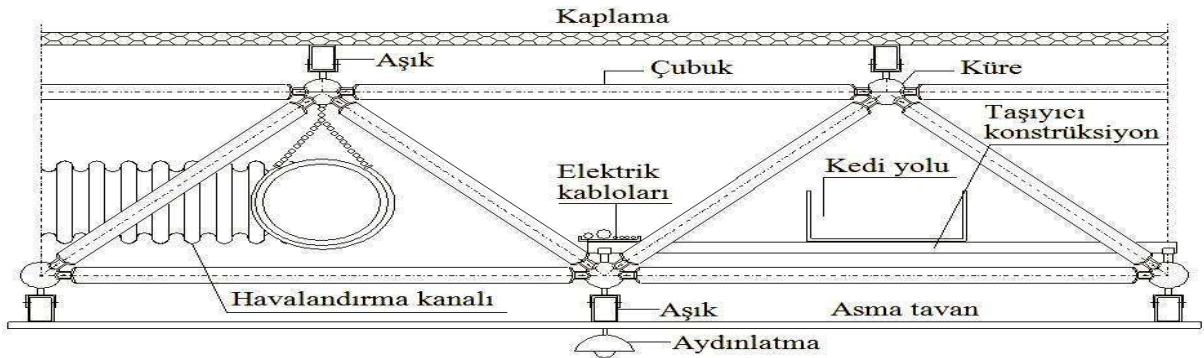
Ahşap yapılarda sistemin seçimi kuvvet taşıyan düğüm noktalarına bağlıdır. Nokta şeklindeki ahşap düğüm noktaları ancak küçük kuvvetler iletebileceklerinden büyük açıklıklı uzay kafes taşıyıcılar için ahşap uygun bir malzeme değildir.

### 1.8.3 Suni Malzemeler

Suni malzemelerin kullanılması oldukça yenidir. Suni malzemeler şimdilik yalnızca yüzeysel taşıyıcılarda kullanılmakta, uzay kafes taşıyıcılarda henüz kullanılmamaktadır.

## 1.9. Uzay Kafes Strüktürlerini Oluşturan Öğeler

Uzay kafes sistemlerin ana elemanları, çubuklar, düğüm noktası elemanları, konikler, civata, somun ve pimlerdir. Bunların dışında tamamlayıcı eleman olarak Asıklar ve asık elemanları, örtü gereçleri, mesnetler ve temeller sayılabilir (Şekil 5) [4]

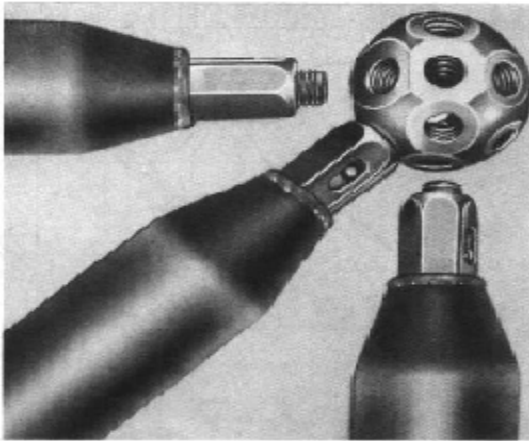


Şekil 5. Uzay kafes sistemi oluşturan öğeler

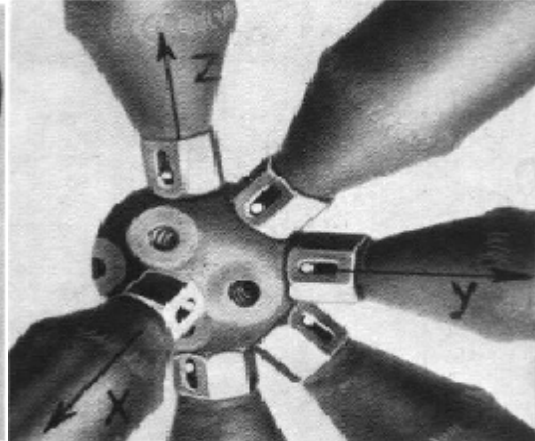
### 1.9.1. Dügüm Noktaları

Uzay kafes Sistemin ana bağlantı elemanlarından biri olan çelik küreler DIN 17200 normuna uygun C1040 kalitesindeki çelik malzemeden, küre formunda ve sıcak dövme tekniği ile dolu gövdeli olarak üretilir. Kürelere projenin gerektirdiği kadar cıvata deliği açılır ve diş çekilir. (Şekil 6, 7) Çubuk uçlarındaki cıvataların kürelerde açılan deliklere bağlanmasıyla uzay kafes sistem tamamlanmış olur.

Uzay kafes sistemler teşkil edilirken projelerde statik ve geometrik ihtiyaçlara göre 60, 75, 90, 110, 130, 160, 190 mm çapında küreler kullanılırlar. Bir küre üzerine en fazla 18 adet delik açılabilir. Küre delikleri çubukların montajından başka, servis yüklerinin uygulanması ve aşıkların montajı için de kullanılabilir [ 3].



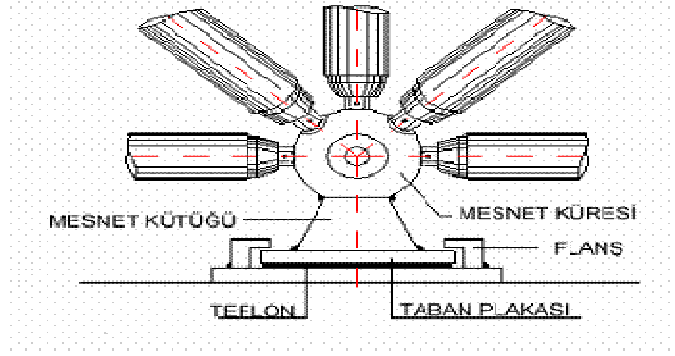
Şekil 6. Dügüm noktası ile çubukların birleştirilmesi



Şekil 7. Cıvatalar sıkıldıktan sonra sistemin görünüşü

### 1.9.2. Mesnetler

Sistemi zemine bağlayan öğelerdir. Sabit, doğrusal ve radyel hareketli mesnet tipinde oluşturulabilirler. Uzay kafes sistemler doğrudan doğruya temellere oturtulabildiği gibi kolon veya yan destek duvarlarına ve tamamen çubukların birbirlerine düğümlenmesiyle üretilen bir kafes sisteme de oturtulabilir. Şekil 8' de mesnet noktasındaki eleman detayı gösterilmiştir.



Şekil 8. Mesnet detayı

### 1.9.3. Borular

Uzay kafes sistemde kullanılan boruların kesitleri, statik analiz neticesinde çıkan kuvvetlere göre elastik teori kullanılarak tayin edilir. Borular DIN 17100'e göre düşük karbonlu kaynaklanabilme kabiliyeti yüksek St 37 veya St 52 dikişli borudur. Konik parçalar içi dolu silindirik malzemenin CNC tornalarda işlenmesi ile elde edilir. Boru ve küre bağlantısını sağlamak için kullanılacak civataya uygun şekilde konikler üzerine dış Şekil 9' da gösterildiği gibi açılır. Konik parçaların malzemesi kullanılacak boru malzemesi ile aynı kalitede olup açılan dış çapı ve boyu eleman kuvvetlerine göre tespit edilmektedir. Konik parçalar kaynak ağzı açılmış olan boruların iki ucuna gazaltı kaynağı ile kaynatılırlar.

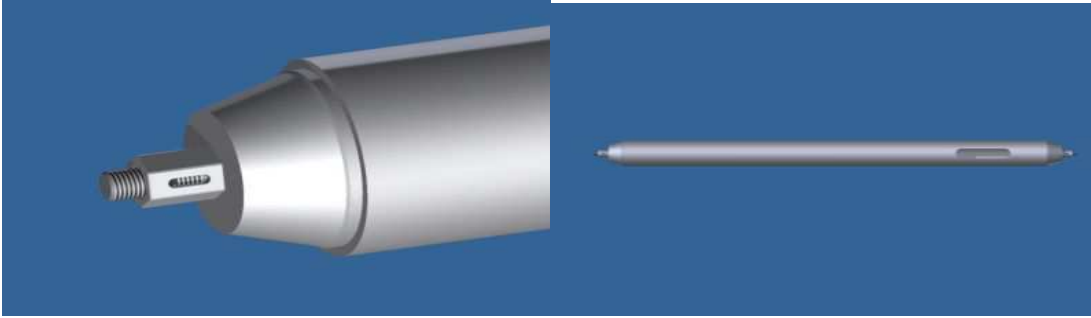
Uzay kafes sistem boruları TS 301/3 ve DIN 2440'a uygun olarak imal edilen orta seri dikişli borulardan projesine göre aşağıda çapları ve et kalınlıkları belirtilen borulardan oluşabilir(Tablo 1).

Tablo 1. Uzay kafes sistemlerde kullanılan boru kesitleri

Anma Çapı	Dış Çap	Et Kalınlığı	Alan
¾"	26.9 mm	2.65 mm	2.02 cm <sup>2</sup>
1"	33.7 mm	3.25 mm	3.11 cm <sup>2</sup>
1 ¼"	42.4 mm	3.25 mm	4.00 cm <sup>2</sup>

Tablo 1' in devamı

Anma Çapı	Dış Çap	Et Kalınlığı	Alan
1 ½"	48.3 mm	3.25 mm	4.60 cm <sup>2</sup>
2"	60.3 mm	3.65 mm	6.50 cm <sup>2</sup>
2 ½"	76.1 mm	3.65 mm	8.31 cm <sup>2</sup>
3"	88.9 mm	4.05 mm	10.80 cm <sup>2</sup>
4"	114.3 mm	4.50 mm	15.52 cm <sup>2</sup>
4"	114.3 mm	5.40 mm	18.47 cm <sup>2</sup>
5"	139.7 mm	4.85 mm	20.55 cm <sup>2</sup>
5"	139.7 mm	5.40 mm	22.78 cm <sup>2</sup>
6"	165.1 mm	4.85 mm	24.42 cm <sup>2</sup>

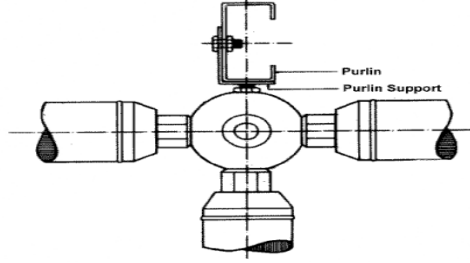


Şekil 9. Uzay kafes sistem boru elamanlar

#### 1.9.4. Aşıklar

Uzay kafes sistem üzerine kaplanacak çatı kaplama cinsine göre minimum 2.50 mm kalınlığında genellikle kutu kesitli profil malzemedir. Aşıklar, eğim dikmeleri üzerindeki "U" kesitli parçalara cıvatalara bağlanmaktadır (Şekil 10). Küreler arasındaki mesafe (iki aşık arası mesafe) kaplama malzemesine göre geniş kaldığı durumlarda

mahyadan dereye(yağmur oluğu) kadar eğim dikmeleri üzerinden mertek profili monte edilir. Bu profil üzerinden istenilen aralıkta aşık monte edilir.



Şekil 10. Aşık detayı

### 1.10. Uzay Kafes Sistemlerin Uygulama Alanları

Uzay kafes sistemlerle çok geniş açıklıklar kolonsuz geçilebildiği için, genelde insanların yoğun olarak bulunduğu mekânların üstünü örtmek için kullanılır. Aşağıda uzay kafes sistemlerin uygulama alanlarından bazıları verilmiştir:

- Spor tesisleri (Kapalı yüzme havuzları, spor salonları, tribünler)
- Pazar yerleri
- Sinema, sergi, konferans ve toplantı salonları
- Alışveriş merkezleri
- Havaalanı ve otobüs terminalleri
- Benzin istasyonları
- Sanayi tesisleri (Fabrika, depo, antrepo, hangar vb.)
- Link antenleri
- Fuar stantları
- İş veya yük iskeleleri

### 1.11. Hesap Yöntemi

Uzay kafes sistem yapılar yüksek derecede hiperstatik olması nedeni ile hiçbir basitleştirici kabul yapılmadan bilgisayar yardımı ile çözülür. Uzay kafes sistemlerin statik çözümü için birçok bilgisayar programı bulunmaktadır. Sisteme etkiyen tüm dış yükler düğüm noktalarındaki kürelere etkimektedir. Dış yükler, uzay çatının her düğüm

noktasında küreler vasıtası ile borulara eksenel kuvvet olarak aktarılıp sistematik olarak mesnetlere kadar iletilir. Uzay sistem borularına elemanlarda moment doğuracak şekilde (boru eksenine dik yönde) yükleme yapılmaz. Uzay kafes sistemini oluşturan elemanlar statik analizden çıkan kuvvetler altında TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kurallarına göre dizayn edilir.

### 1.12. Yük Değerleri

TS 648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları)' e göre;

Esas yükler: Öz yükleri, sabit ve hareketli yükleri, kar (rüzgarsız olarak, makinelerin kitle) kuvvetlerini kapsar [14].

İlave yükler: Rüzgar etkisini, deprem etkisi fren kuvvetlerini, yatay yanal kuvvetleri (kreynlerde) seyrek olarak montaj ve tamir işlerinde kullanılan işler haldeki (kreynlerde) ısı etkilerini (işletmeye bağlı ve atmosferik) kapsar [14].

Hesaplar ve dayanım tahkikleri için aşağıdaki yükleme durumları hesaba katılır :

EY Yüklemesi: Esas yüklerin toplamı,

EIY Yüklemesi: Esas ve ilave yüklerin toplamı. Eğer bir yapıya öz yükünden başka yalnız tali yükler tesir ediyorsa tali yüklerden en büyüğü esas yük yerine geçer [14].

Uzay kafes sistemin statik analizinde göz önüne alınacak yük kriterleri;

Esas (zati) yükler

Zati yükler sistemi oluşturan elemanların (Uzay kafes sistem, Aşık sistem, Çatı kaplaması) öz ağırlığından oluşan yüklerdir.

Hareketli yük

Uzay kafes sistemin kullanım amacına göre sisteme etkileyen hareketli yük var ise belirlenir, (uzay kafes sistemin ara kat olarak kullanılması durumu)

Servis yükler

Tesisat, aydınlatma, kedi yolları, asma tavan, noktasal tekil yükler vs. oluşmaktadır.

Kar yükü

Rüzgâr yükü

Deprem yükü

Sıcaklık etkisi,

### **1.13. Korozyona Karşı Koruma**

Tüm cıvata ve somunlar ortalama 25 mikron kalınlığında elektro galvaniz kaplamadır. Küreler isteğe bağlı olarak sıcak daldırma yöntemi ile ortalama 80 mikron kalınlığında galvaniz kaplamalı olarak kullanılır veya ortalama 25 mikron kalınlığında elektro galvaniz kaplama üzerine ortalama 70 mikron kalınlığında istenilen renkte polyester elektro statik toz fırın boya ile boyanabilir. Borular ve aşıklar gerekli yüzey temizliği yapıldıktan sonra ortalama 70 mikron kalınlığında istenilen renkte polyester elektro statik toz fırın boya ile boyanır. İsteğe bağlı olarak boru ve aşıklar boyadan önce galvaniz ile kaplanabilir.

### **1.14. Nakliye ve Montaj**

Uzay kafes sistem elemanları taşıma esnasında dağılmayacak, çizilme ve zedelenmelere maruz kalmayacak şekilde tek tek poşetlenip modüler özel ambalajlarda montaj sahasına nakledilirler. Bu şekilde montaj sırasında geniş stok alanı gerektirmeyen, yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlayan, hava şartlarından etkilenmeyen güvenli bir taşıma sağlanır.

Montaja ancak uygun koşullar sağlandıktan sonra başlanır. Bütün uzay kafes sistem elemanları zorlanmadan ve serbest aksenal durumda cıvataları sonuna kadar sıkılarak yerlerine takılırlar. Montaj sırasında sistemin geçici mesnetlenmesi, sisteme gerekli ters sehimin verilmesi ve yapının genel güvenliği sağlanarak hiçbir cıvata gevşek olmayacak ve bütün uzay sistem elemanları tam aksında olacak şekilde montaj tamamlanır.

En çok kullanılan montaj yöntemleri;

- Sistemin komple yerde kurulup daha sonra vinçlerle kaldırılması,
- İstenilen yükseklikte doğrudan tekli veya üçlü elemanların montajı,
- İlk iki yöntemin birlikte kullanılması,
- Sistemin montaj seviyesinde kurulup raylar üzerinde kaydırılarak nihai pozisyonunda sabitlenmesi.

Sahada kaynak yapılmasından kaçınılmasıyla birlikte, özellikle mesnetlemeler ya da dere ve aşık sisteminde yapılması gerekli olan kaynaklar uygun şekilde paslanmaya karşı korunmalıdır.



Montajı yapılırken, elemanlar zorlanmadan ve serbest eksenel durumda cıvataları sonuna kadar sıkılarak yerine takılmalıdır. Montaj sırasında sistem geçici olarak mesnetlenebilir [15].

## 1.15. Çatılarda Kar Yükleri

### 1.15.1 Kar Yoğunluğu

Kar yoğunluğu çok değişkendir ve tek değer vermek mümkün değildir: Normal kar yoğunluğu  $100-300 \text{ kg/m}^3$  arasındadır. Sulu kar  $400-500 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğa varabilir. Buz  $900-970 \text{ kg/m}^3$  yoğunluğu ile sudan daha hafiftir ve suda yüzer. Eriyerek su halini aldığı anda  $1000 \text{ kg/m}^3$  olduğu düşünülürse iyi bir karşılaştırma yapılabilir.(Şekil 11) [16].



Şekil 11. Kar yoğunlukları

Hesap kar yoğunluğu  $\rho$  TS 7046' da

$$\rho = 300-200 e^{-1.5 d} \quad (1)$$

olarak verilmektedir[17]. Birimi  $\text{kg/m}^3$  tür.  $d(m)>0$  kar kalınlığıdır. Bu bağıntıya göre

$$100 \leq \rho \leq 300 \text{ kg/m}^3 \quad (2)$$

olmaktadır.

Çoğunlukla ortalama değer  $\rho \sim 200 \text{ kg/m}^3$  alınır [17].

### 1.15.2 Kar Kalınlığı Ölçümü

Kar kalınlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nün istasyonlarında ve zeminde ölçülür.

### 1.15.3 Çatı Kar Kalınlığı

Çatıdaki kar kalınlığı zemindeki kar kalınlığı ile aynı değildir. Düz bir çatıdaki kar kalınlığı zemindeki kar kalınlığına yakın olmakla birlikte savrulma nedeniyle daha azdır.

Çatıdaki kar kalınlığı  $d_c$  ve zemindeki kar kalınlığı  $d_z$  olmak üzere;

$$0.5 \leq d_c/d_z \leq 1.0 \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir. ' $d_z$ ' arttıkça oran azalır. Uygulamada bu oran çoğu kez 0.8 alınır [17].

### 1.15.4 Çatı Kar Yüğü

Çatıdaki kar kütesinin bir metrekairelik düzleme uyguladığı ağırlıktır. Birimi  $\text{kN/m}^2$  dir. Teorik olarak

$$P_{k0} = \rho d_c g / 1000 \quad (4)$$

dir.

$P_{k0}$  ( $\text{kN/m}^2$ ) kar yüğü,  $d_c$  (m) çatıdaki kar kalınlığı ve  $g=9.8=10 \text{ m/s}^2$  yerçekimi ivmesidir. N (Newton) birimini  $\text{kN}$ ' a çevirmek için 1000 sabiti kullanılmıştır.

Uygulama söz konusu olduğunda, hesap bu kadar basit değildir.  $\rho$  çok değişkendir[4].

Kar rastgele bir doğa olayı olduğundan, kar yükünün belli bir güvenliği sağlayan, ancak az bir miktar da risk içeren bir değer olarak alınması gerekmektedir. Bu tanıma uyan ve yapıya ömrü boyunca en az bir kez etkiyeceği varsayılan kar yüğü hesap değerine karakteristik kar yüğü adı verilmektedir. Karakteristik yük, az da olsa, aşılma olasılığı olan tahmini bir yüktür. Olasılık genelde %2 ile %5 arasındadır. Karakteristik kar yükünü belirlemek için 30, 50 hatta 100 yıllık maksimum zemin kar kalınlığı ölçümleri veri olarak alınır ve istatistik analiz yöntemleri kullanılır. Maksimum kar kalınlıklarının yıllara göre

dağılımı uygun bir istatistik dağılım teorisi (Gauss, Gumbel, Lognormal, Weibull dağılımı gibi) kullanılarak analiz edilir ve karakteristik kar yüksekliği belirlenir[16].

#### **1.15.5. TS 498' e Göre Kar Yüğü Tanımı**

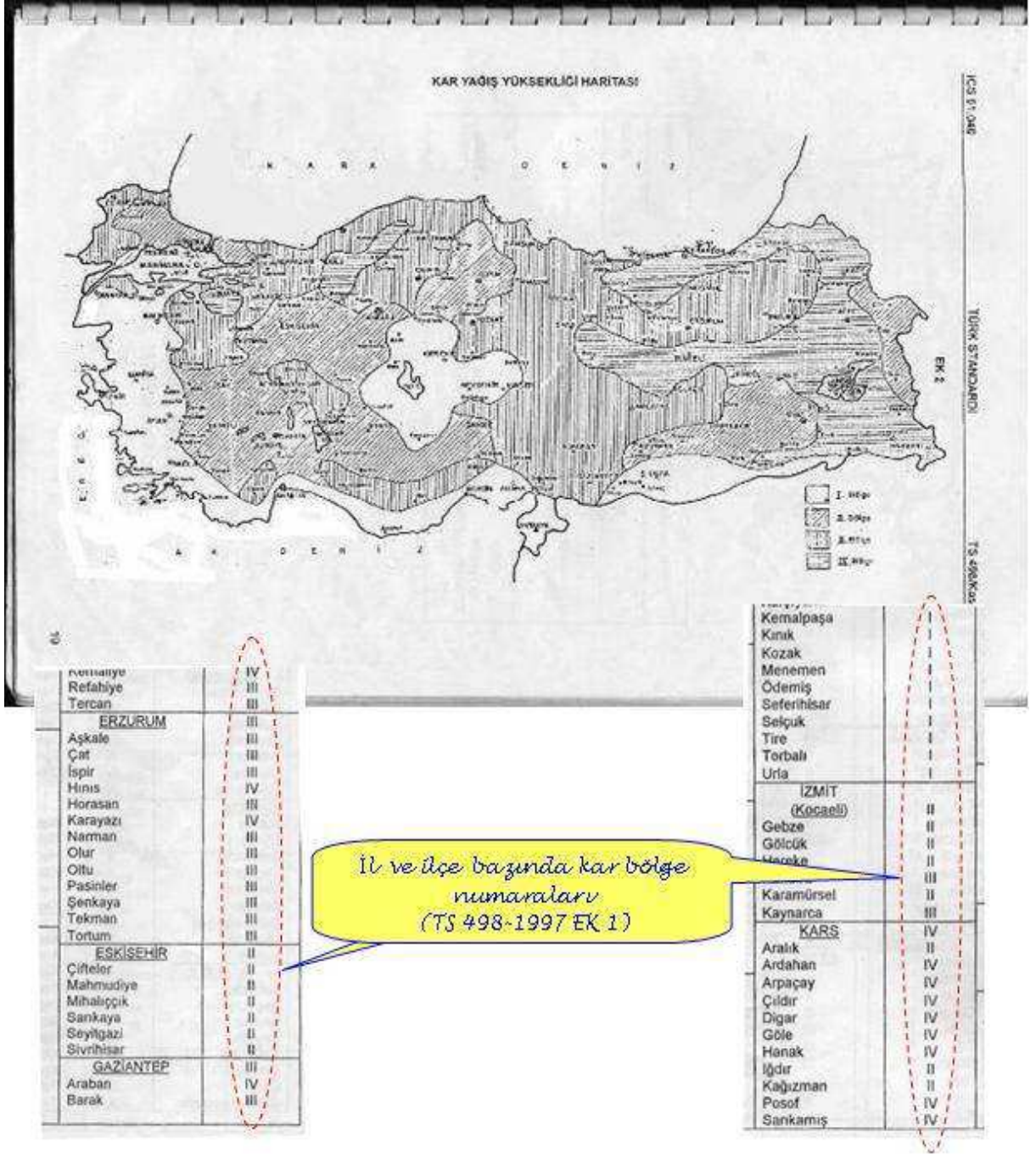
Kar, çatıya etkiyen hareketli yük tipidir. Hesap değeri;

- Yapının yapılacağı yere (binanın yapılacağı il, ilçe, ...)
- İnşaat alanının deniz seviyesinden yüksekliğine
- Çatı eğimine (çatının yatayla yaptığı açı-derece cinsinden) bağlıdır.

TS 498 yönetmeliğinin kar yükü ile ilgili kısmı Alman DIN 1055-1971 yönetmeliğinden alınmış ve Türkiye koşullarına uyarlanmıştır. Analiz için Gumbel ekstrem değerler tip I dağılımı kullanılmıştır. Hesaplanan kar yükünün aşılma olasılığı %5 dir [16].

#### **1.16. Kar Haritası ve Kar Bölgeleri**

Türkiye dört kar bölgesine ayrılmıştır. I. bölge en az, IV bölge en çok kar yağan bölgedir. Yönetmelikte kar bölgesi haritası ve ayrıca her il ve ilçenin kar bölge numarasını içeren çizelge vardır. Şekil 12' de kar yüksekliği haritası ve ülke genelinde yapılan dört bölge sınıflandırması gösterilmektedir.



Şekil 12. Kar bölgeleri haritası

TS 498'e göre  $P_k$  kar yükü Tablo 2' de ki veriler kullanılarak aşağıdaki bağıntılardan hesaplanır.

Tablo 2. TS 498  $P_{k0}$  değerleri ( $\text{kN/m}^2$ )

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	$\leq 200$	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.			

$$P_k = m P_{k0}$$

$$m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ}$$

$$0 \leq m \leq 1$$

(5)

Burada;

$P_k$ : Kar yükü hesap değeri ( $\text{kN/m}^2$ )

$P_{k0}$ : Zati kar yükü ( $\text{kN/m}^2$ )

m : Kar yükü azaltma değeri

$\alpha$  : Çatı örtüsünün eğimi (derece)

dir.

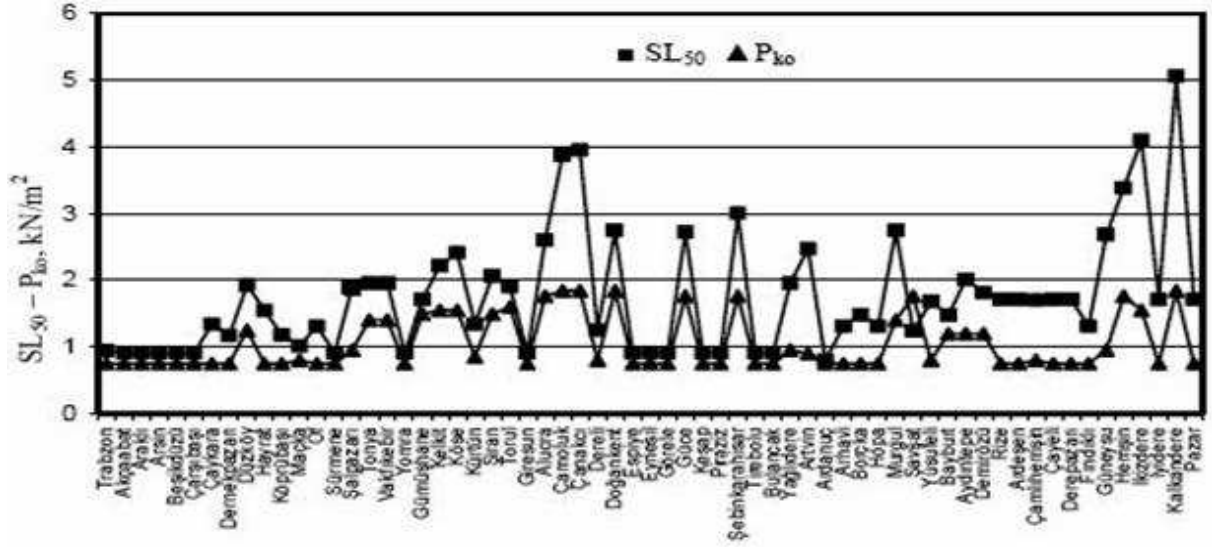
$P_{k0}$  değeri, yapının deniz seviyesinden yüksekliğine ve kar bölgesi numarasına bağlı olarak TS 498 Tablo 2' den alınır.

Hiç kar yağmayan bölgelerde veya çatı altı sıcaklığı sürekli  $12^\circ \text{C}$  derecenin üstünde olan çatılarda  $P_{k0} = 0$  alınabilir.  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  geçerlidir.  $\alpha \leq 30^\circ$  durumunda  $m=1$ ,  $\alpha \geq 70^\circ$  durumunda  $m=0$  alınır [ 18].

### 1.17. TS 498 Kar Yüklerinin Yeterliliği

Doğu Karadeniz il ve ilçelerinin zemin kar yüklerinin belirlenmesi ile ilgili Durmaz'ın [6] 2005 yılında yaptığı tez çalışmasında hesaplanan kar yükü değerleri TS 498

değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadan alınan verilere göre, aşağıdaki grafikte  $P_{k0}$ , TS 498 kar yükü değerlerini,  $SL_{50}$  aynı yöre için çalışmada hesaplanan değerleri göstermektedir. Görüldüğü gibi, ilçelerin hemen tümünde, TS 498 değerleri  $SL_{50}$  değerlerinin oldukça altındadır.



Şekil 13. Doğu Karadeniz il ve ilçelerinin zemin kar yüklerinin belirlenmesi ile ilgili Durmaz'ın [6] yaptığı çalışmada hesaplanan kar yükü değerleri ve TS 498' de belirtilen kar yükü değerlerinin karşılaştırılması

TS 498' de ayrıca şu ifade yer almaktadır: “ Tablo 2' de verilen değerler, varsa meteorolojik ölçmelerden de faydalanarak artırılmalıdır”. Yönetmelik bu ifade ile proje mühendisinden güncel ölçümleri dikkate almasını istemekte, ancak “meteorolojik ölçmelerden” nasıl faydalanacağını ipucunu vermemektedir [6].

TS 498 yönetmeliğinin kar yükü ile ilgili kısmı Alman DIN 1055 yönetmeliğinden alınmış olmakla birlikte, DIN 1055' de verilmiş ipucu yansıtılmamıştır [6].

DIN 1055'e göre kar yükü;

$$P_{k0} = 3.2 d_{zmax} \quad (6)$$

bağıntısından belirlenebilir.

Burada  $d_{zmax}$ , n (örneğin n=30) yıllık maksimum kar kalınlıklarının ortalamasıdır ve yapının inşa edileceği yere en yakın ölçüm istasyonundan alınacaktır.

$d_{zmax}$  metre,  $P_{ko}$   $kN/m^2$  birimindedir. Çatı kar yükü hesap değeri çatı eğimi de dikkate alınarak (4) bağıntılarından hesaplanır.

Alman DIN 1055 yönetmeliğindeki açıklamadan alınan  $P_{k0} = 3.2 d_{zmax}$  bağıntısı Gumbel tip I dağılımı, % 5 olasılık ve %45 varyasyon katsayısını içerir. Ayrıca, bu bağıntıda çatıdaki kar kalınlığının zemindeki kar kalınlığına oranı  $d_{ç}/d_z=0.8$ , kar birim hacim ağırlığı  $2.15 kN/m^3$  varsayılmıştır.  $d_{ç}/d_z=1.0$  alınması ve

$$P_{k0} = 4 d_{zmax} \quad (6)$$

bağıntısının kullanılması önerilecektir. Ancak, bu bağıntıdan bulunan  $P_{ko}$  değerinin TS498 de verilenden (Tablo 2) küçük olması durumunda Tablo 2 değerinin kullanılması gerekir.

Tablo 3' te, Doğu Karadeniz bölgesindeki ilçe merkezlerinin denizden yüksekliği (Kot), her ilçe merkezinin TS 498'deki kar yağış yüksekliği haritasına göre ait olduğu bölge (Bölge), TS 498'in ilçe merkezlerinin kar yağış yüksekliği bölgelerine ve denizden yüksekliklerine göre önerdiği kar yükü değerleri ( $P_{ko}$ ,  $kN/m^2$ ), daha önce elde edilen haritadan her ilçe merkezi için okunan normalize edilmiş  $X_{50}$  değerleri (normal $X_{50}$ ,  $kN/m^2$ ) ve her ilçe merkezi için belirlenen 50 yıl OTS'li zemin kar yükleri ( $X_{50}$ ,  $kN/m^2$ ) verilmektedir[6].



Tablo 3. Doğu karadeniz bölgesinin il ve ilçe merkezlerinin  $P_{ko}$  ve  $X_{50}$  değerleri[6]

İlçe Merkezleri	Kot (m)	Bölge	$P_{ko}$ (kN/m <sup>2</sup> )	normal $X_{50}$	$X_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Trabzon	33	4	0,75	0,90	0,94
Akçaabat	10	4	0,75	0,90	0,91
Araklı	10	4	0,75	0,90	0,91
Arsin	5	4	0,75	0,90	0,91
Beşikdüzü	10	4	0,75	0,90	0,91
Çarşıbaşı	10	4	0,75	0,90	0,91
Çaykara	315	3	0,75	0,90	1,34
Demekpazarı	190	4	0,75	0,90	1,17
Düzköy	735	4	1,25	0,90	1,93
Hayrat	180	4	0,75	1,30	1,55
Köprübaşı	200	4	0,75	0,90	1,18
Maçka	365	4	0,80	0,50	1,01
Of	10	4	0,75	1,30	1,31
Sürmene	10	4	0,75	0,90	0,91
Şalpazarı	700	4	0,95	0,90	1,88
Tonya	755	4	1,40	0,90	1,96
Vakfikebir	755	4	1,40	0,90	1,96
Yomra	10	4	0,75	0,90	0,91
Gümüşhane	1153	3	1,49	0,10	1,71
Kelkit	1515	3	1,55	0,10	2,22
Köse	1650	3	1,55	0,10	2,41
Kürtün	602	3	0,85	0,50	1,34
Şiran	1400	3	1,49	0,10	2,06
Torul	1000	4	1,60	0,50	1,90
Giresun	5	4	0,75	0,90	0,91
Alucra	1500	4	1,76	0,50	2,60
Çamoluk	2411	4	1,84	0,50	3,87
Çanakçı	2182	4	1,84	0,90	3,95
Dereli	250	4	0,80	0,90	1,25
Doğankent	1600	4	1,84	0,50	2,74
Espiye	10	4	0,75	0,90	0,91
Eynesil	10	4	0,75	0,90	0,91
Görele	10	4	0,75	0,90	0,91
Güce	1300	4	1,76	0,90	2,72
Keşap	10	4	0,75	0,90	0,91
Piraziz	10	3	0,75	0,90	0,91
Şebinkarahisar	1500	4	1,76	0,90	3,00
Tirebolu	10	4	0,75	0,90	0,91
Bulancak	10	3	0,75	0,90	0,91



Tablo 3'ün devamı

İlçe Merkezleri	Kot (m)	Bölge	$P_{k0}$ (kN/m <sup>2</sup> )	normal $X_{50}$	$X_{50}$ (kN/m <sup>2</sup> )
Yağlıdere	700	4	0,95	0,90	1,96
Artvin	550	4	0,90	1,70	2,47
Ardanuç	500	3	0,75	0,10	0,80
Arhavi	10	4	0,75	1,30	1,31
Borçka	125	4	0,75	1,30	1,48
Hopa	10	4	0,75	1,30	1,31
Murgul	740	4	1,40	1,70	2,74
Şavşat	1100	4	1,76	-0,30	1,24
Yusufeli	560	3	0,80	0,90	1,68
Bayburt	1550	3	1,20	-0,70	1,47
Aydıntepe	1650	3	1,20	-0,30	2,01
Demirözü	1510	3	1,20	-0,30	1,81
Rize	6	4	0,75	1,70	1,71
Ardeşen	10	4	0,75	1,70	1,71
Çamlıhemşin	285	4	0,80	1,30	1,70
Çayeli	10	4	0,75	1,70	1,71
Derepazarı	10	4	0,75	1,70	1,71
Fındıklı	10	4	0,75	1,30	1,31
Güneysu	700	4	0,95	1,70	2,68
Hemşin	1200	4	1,76	1,70	3,38
İkizdere	2000	3	1,55	1,30	4,10
İyidere	10	4	0,75	1,70	1,71
Kalkandere	2400	4	1,84	1,70	5,06
Pazar	10	4	0,75	1,70	1,71

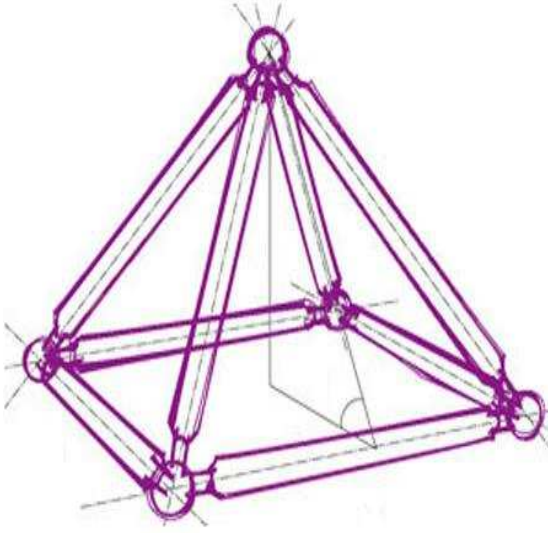
## 1.18. Uzak Kafes Sistemlerin Analizi ve Boyutlandırılması

### 1.18.1. Matris Deplasman Yönteminin Uzak Kafes Sistemlere Uygulanması

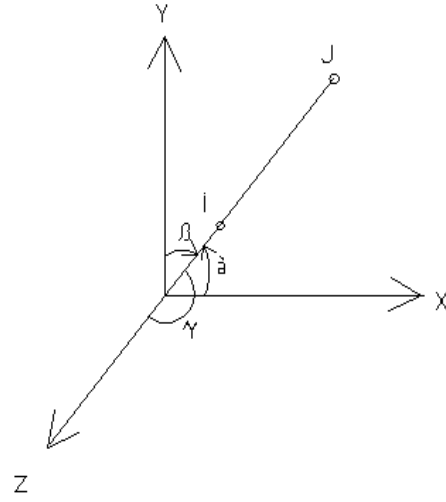
Uzak kafes sistemin analizi için matris deplasman yöntemi kullanılır. Matris deplasman yönteminde her bir elemanın rijitlik matrisinin hesaplanmasından sonra sistem rijitlik matrisleri hesaplanır.

### 1.18.2. Eleman Rijitlik Matrisi

Şekil 14'te görülen uzak kafes sisteminin rijitlik matrisinin hesaplanabilmesi için Şekil 15'te gösterilen örnekte olduğu gibi uzak kafes sisteminin her elemanı için rijitlik matrisi hesaplanır.



Şekil 14. Tipik uzay kafes sistemi



Şekil 15. Tipik uzay kafes sistemi çubuğu

Şekilde verilen çubuğun x eksenine yaptığı açının  $\alpha$ , y eksenine yaptığı açının  $\beta$  ve z eksenine yaptığı açının da  $\gamma$  olduğu kabul edilirse eleman rijitlik matrisi,  $[k]$ ,  $x_i$ ,  $y_i$ ,  $z_i$  eleman rijitlik matrisi hesaplanacak olan çubuğun 1. ucunun koordinatlarını,  $x_j$ ,  $y_j$ ,  $z_j$  çubuğun 2. ucunun koordinatlarını ve  $L$  çubuğun boyunu göstermek ve

$$l_p = \cos\alpha = (x_j - x_i) / L \quad (7)$$

$$m_p = \cos\beta = (y_j - y_i) / L \quad (8)$$

$$n_p = \cos\gamma = (z_j - z_i) / L \quad (9)$$

olmak üzere :

$$k=E.A/L \begin{bmatrix} l_p^2 & l_p m_p & l_p n_p & -l_p^2 & -l_p m_p & -l_p n_p \\ l_p m_p & m_p^2 & m_p n_p & -l_p m_p & -m_p^2 & -m_p n_p \\ l_p n_p & m_p n_p & n_p^2 & -l_p n_p & -m_p n_p & -n_p^2 \\ -l_p^2 & -l_p m_p & -l_p n_p & l_p^2 & l_p m_p & l_p n_p \\ -l_p m_p & -m_p^2 & -m_p n_p & l_p m_p & m_p^2 & m_p n_p \\ -l_p n_p & -m_p n_p & -n_p^2 & l_p n_p & m_p n_p & n_p^2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

bağıntısı ile hesaplanır [19].

### 1.18.3. Sistem Rijitlik Matrisi

Sistem rijitlik matrisi,  $[K]$ , sistemdeki düğüm noktalarına birleşen çubukların ilgili düğüm noktasına birleşen uçlarına ait terimlerinin toplanmasıyla,  $nm$  kafes sistemdeki toplam çubuk sayısını göstermek üzere,

$$[K] = \sum_{i=1}^{nm} [k_i] \quad (11)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir.

### 1.18.4. Düğüm Noktası Yerleştirmelerinin ve Çubuk Uç Kuvvetlerinin Hesabı

Sistem rijitlik matrisinin hesaplanmasından sonra düğüm noktası yer değiştirmeleri,  $\{\Delta\}$ ,  $\{F\}$  genel koordinatlarda dış yük vektörünü,  $[K]$  sistem rijitlik matrisini göstermek üzere,

$$\{F\} = [K] \cdot \{\Delta\} \quad (12)$$

bağıntısıyla hesaplanır.

Düğüm noktası yer değiştirmeleri hesaplandıktan sonra uç kuvvetleri {f}, [k'] lokal koordinatlarda eleman rijitlik matrisini, [T] dönüşüm matrisini göstermek üzere;

$$\{f\}=[k'] \cdot [T] \cdot \{\Delta\} \quad (13)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir.

### 1.18.5. Uzak Kafes Sistem Elemanlarının Boyutlandırılması

Uzak kafes sistem analizinden sonra her çubuk eleman için belirlenen çubuk kuvvetleri kullanılarak TS 648 (Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları)' e göre eleman boyutlandırması yapılır.

Boru dış çapı: D

Et kalınlığı: t

$$\text{Boru iç çapı: } d=D-2t \quad (14)$$

$$\text{Kesit alanı: } F=\Pi \cdot (D^2-d^2)/4 \quad (15)$$

$$\text{Atalet momenti: } I= \Pi \cdot (D^4-d^4)/64 \quad (16)$$

$$\text{Atalet yarıçapı: } i = \sqrt{\frac{I}{F}} \quad (17)$$

Çubuk boyu: s

$$\text{Narinlik derecesi } \lambda=s/i \quad (18)$$

Burkulma katsayısı: w

olmak üzere ;

$$\text{Çekme çubuklarında } P_{\max} = \sigma_{em} \cdot F \quad (19)$$

Basınç çubuklarında  $P_{\max} = \sigma_{em} * F/w$  (20)

tahkikleri yapılır [ 10].

Boru tiplerinde kullanılan çelik emniyet gerilmeleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

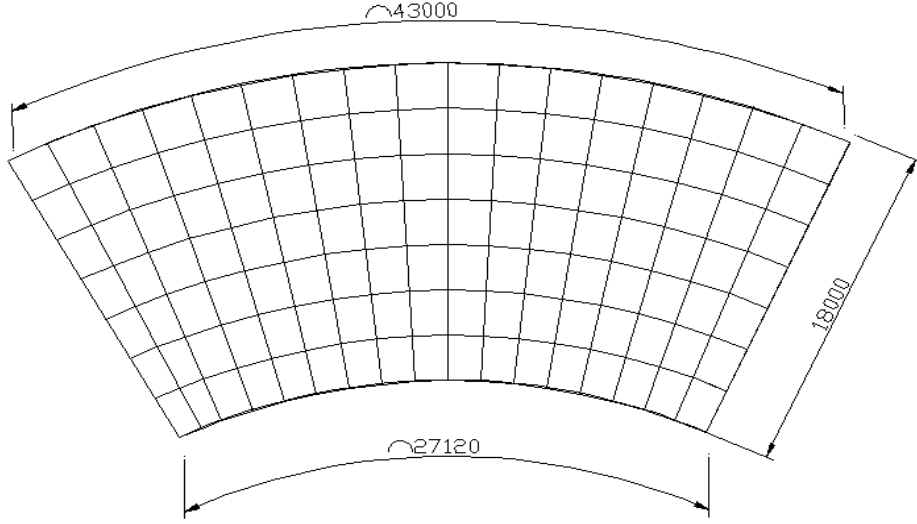
Tablo 4. Çelik emniyet gerilmeleri [14]

Kalite	Emniyet Gerilmesi (H)	Emniyet Gerilmesi (HZ)	Akma Sınırı
Fe 37	1440 kg/cm <sup>2</sup>	1656 kg/cm <sup>2</sup>	2400 kg/cm <sup>2</sup>
Fe 52	2160 kg/cm <sup>2</sup>	2484 kg/cm <sup>2</sup>	3600 kg/cm <sup>2</sup>

## 2.YAPILAN ÇALIŞMALAR

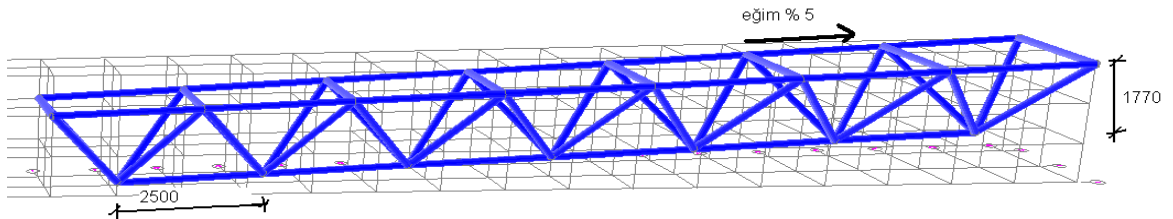
### 2.1 Doğu Karadeniz Bölgesinde Uygulaması Yapılan Uzay Kafes Sistem Örneğinin Kar Yükleri Yönünden İncelenmesi

Doğu Karadeniz Bölgesinde yapılmış olan bir stadyum tribün kısmının,  $631\text{m}^2$  lik alanını kapsayan uzay kafes sistemi, yarı çapı  $50.8538\text{ m}$  olan dairenin  $43\text{ m}$  uzunluk ve  $18\text{ m}$  genişliğinde bir dilimi şeklinde yapılmıştır(Şekil 16).



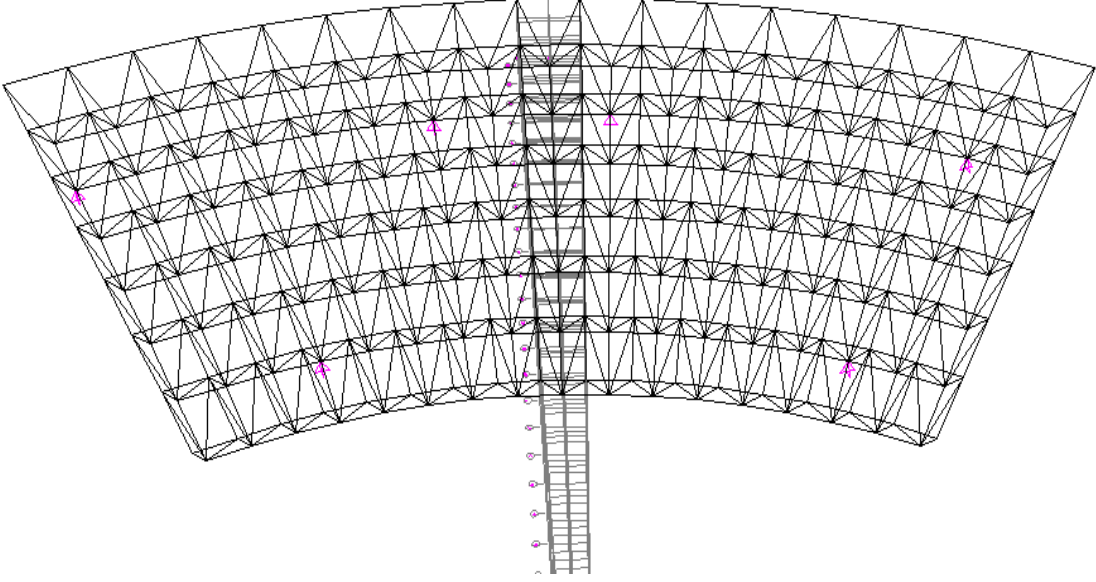
Şekil 16. Sistem boyutları

Uzay kafes sistemi eğimi projesinde % 5 olarak tanımlanmıştır. Şekil 17' de gösterildiği gibi alt başlık düğüm noktaları arası mesafe  $2500\text{ mm}$ , alt başlık ve üst başlık düğüm noktaları arası dikme uzaklığı ise  $1770\text{ mm}$  olarak belirlenmiştir.

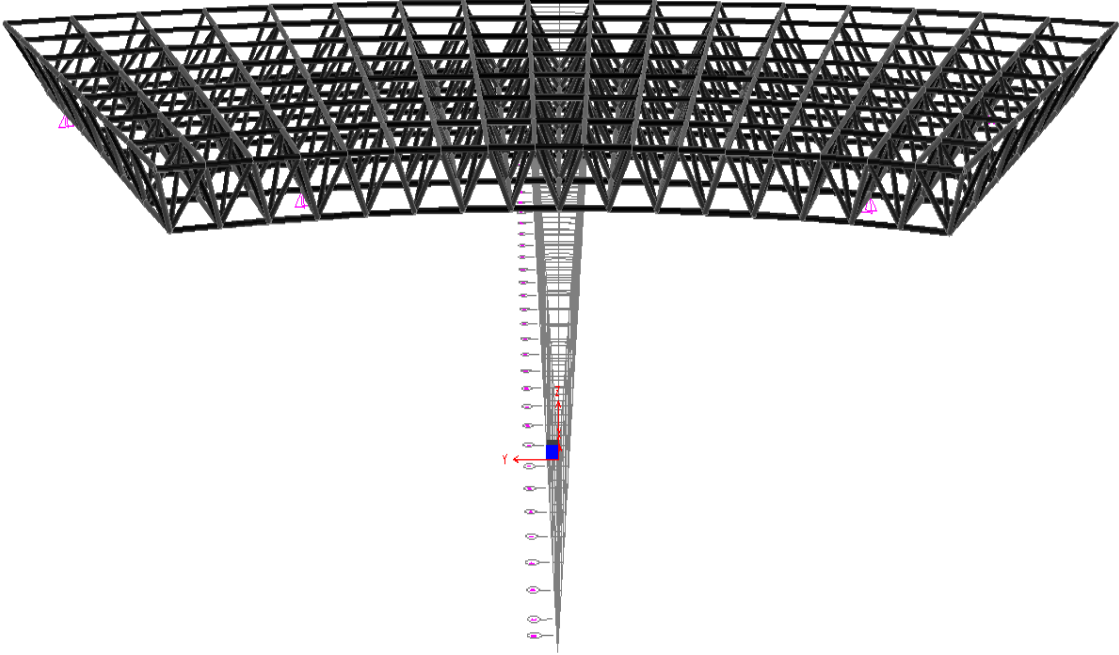


Şekil 17. Düğüm noktaları arası mesafeler

Uzay kafes sistemi toplam 952 çubuk eleman ve 263 düğüm noktasından oluşmaktadır.(Şekil 18,19).



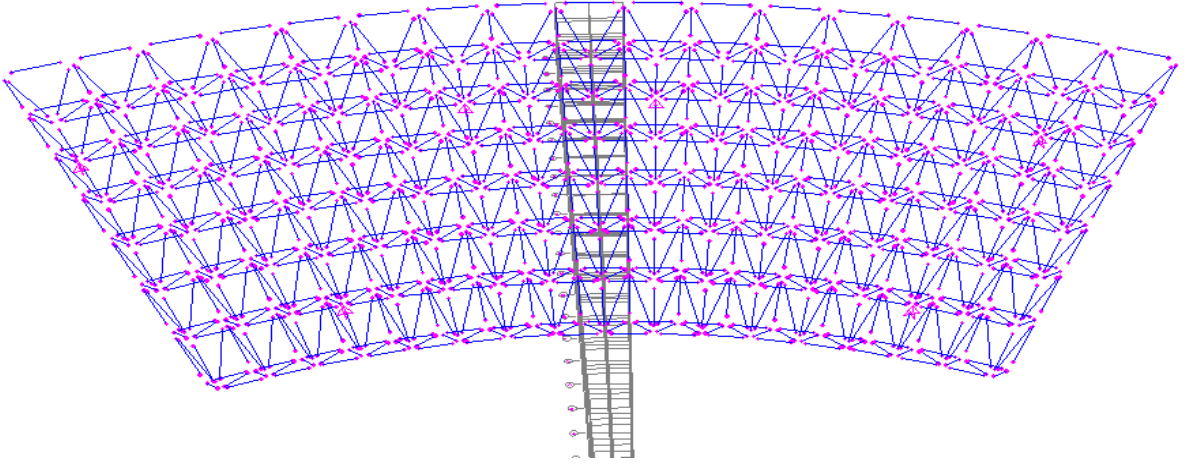
Şekil 18. Sistem genel görünümü 1



Şekil 19. Sistem genel görünümü 2

### 2.1.1 Uzay Kafes Sistem Uygulaması Mevcut Projesinin İncelenmesi

Şekil 20' de uzay kafes sistemi düğüm noktalarının, moment aktarmayacak şekilde tasarımının yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 20. Moment aktarmayan düğüm noktaları

#### 2.1.1.1. Mevcut Proje Statik Hesap Bilgileri

Yük Değerleri;

Esas Yükler;

Esas yükler düşey doğrultuda olup üst başlık düğüm noktalarında her düğüm noktasına, yük analizi sonucu belirlenen alanlar oranında tekil yükler olarak etki ettirilmektedir. Uzay kafes sisteme etkileyen düşey yayılı yükler aşağıdaki gibidir.

Uzay sistem zati yükü	: 14,5	kg/m <sup>2</sup>
Kar Yükü	: 75,0	kg/m <sup>2</sup>
Kaplama Yükü	: 10,0	kg/m <sup>2</sup>
Tesisat Yükü	: 15,0	kg/m <sup>2</sup>
Aşık Yükü	: 5,0	kg/m <sup>2</sup>
Toplam:	:199,5	kg/m <sup>2</sup>

Uzay Kafes Sistem Hesap Kriterleri;

#### Yüklemeler

Yükleme 1 : Uzay Kafes Sistem Zati Ağırlığı

Yükleme 2 : Aşık Yükü + Kaplama Yükü



- Yükleme 3 : Tesisat Yükü  
 Yükleme 4 : Kar Yükü  
 Yükleme 5 : Rüzgar Emme Yükü  
 Yükleme 6 : Rüzgar Yükü +X  
 Yükleme 7 : Rüzgar Yükü -X  
 Yükleme 8 : Rüzgar Yükü +Y  
 Yükleme 9 : Rüzgar Yükü -Y  
 Yükleme 10 : Deprem Yükü +X  
 Yükleme 11 : Deprem Yükü +Y  
 Yükleme 12 : Sıcaklık Etkisi (25\*C)

- Düğüm Noktası : 263  
 Çubuk Sayısı : 952  
 Düşey Yük : 119.5 kg/m<sup>2</sup>  
 Rüzgar Yükü : 80 kg/m<sup>2</sup> [14]  
 Sıcaklık Farkı : 25\*C  
 Isı Katsayısı : 0,000012 1/\*C [14]  
 Elastisite Modülü : 2100000 kg/cm<sup>2</sup> [14]

Uzay kafes sistem projesi tasarımında kullanılan çubuk eleman kesitleri Tablo 5' te verilmiştir.

Tablo 5. Kullanılan boru kesitleri

Çubuk Kesiti (mm)	Alan (cm <sup>2</sup> )	Malzeme
42.4 x 3.00	3.71	St 37
48.3 x 3.00	4.27	St 37
60.3 x 2.90	5.23	St 37
60.3 x 3.65	6.49	St 37
76.1 x 3.65	8.3	St 37
88.9 x 4.05	10.79	St 37
114.3 x 4.00	13.85	St 37
139.7 x 4.85	20.54	St 37
168.00 x 12.00	58.78	St 37

### 2.1.1.2 Kombinasyonlar

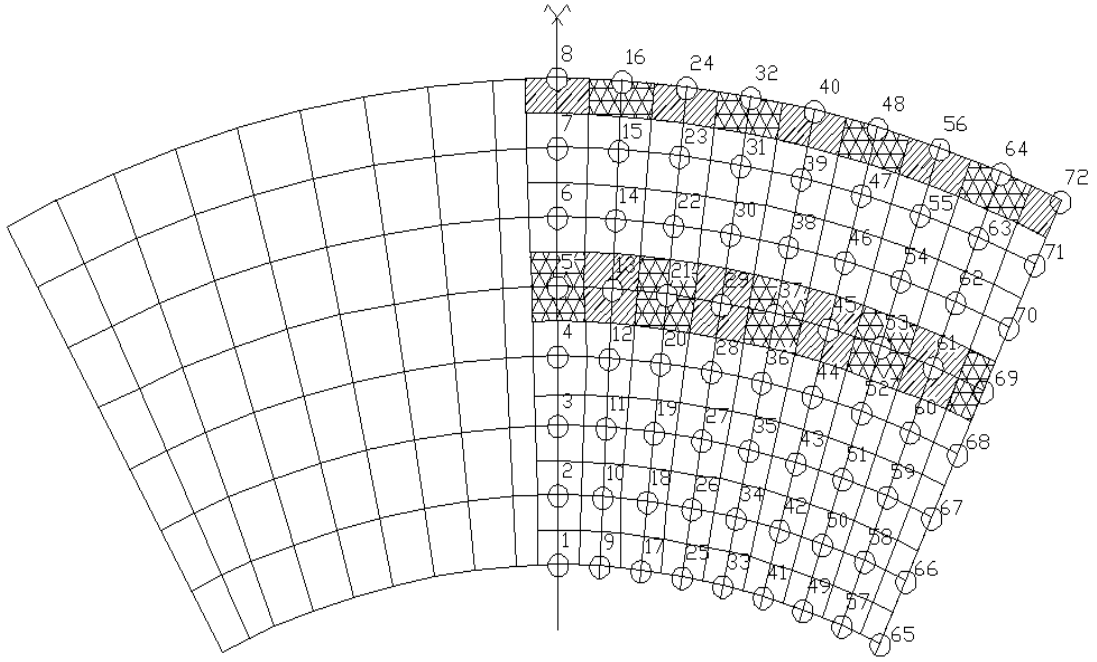
Uzay kafes sistemi statik analizinde kullanılan yükleme kombinasyonları Tablo 6' te gösterildiği gibidir.

Tablo 6. Yükleme kombinasyonları

Komb. No	Yükleme No											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	1.2	0	-0.4	-0.4	0.4	0	0	0
4	1	1	0	0	1.2	-0.4	0	-0.4	-0.4	0	0	0
5	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	0	-0.4	0	0	0
6	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	-0.4	0	0	0	0
7	1	1	1	0.3	0	0	0	0	0	1	0	0
8	1	1	1	0.3	0	0	0	0	0	-1	0	0
9	1	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	1	0
10	1	1	1	0.3	0	0	0	0	0	0	-1	0
11	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13	1	1	0	0	1.2	0	-0.4	-0.4	-0.4	0	0	1
14	1	1	0	0	1.2	-0.4	0	-0.4	-0.4	0	0	1
15	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	0	-0.4	0	0	1
16	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	-0.4	0	0	0	1
17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1
18	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	-1
19	1	1	0	0	1.2	0	-0.4	-0.4	-0.4	0	0	-1
20	1	1	0	0	1.2	-0.4	0	-0.4	-0.4	0	0	-1
21	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	0	-0.4	0	0	-1
22	1	1	0	0	1.2	-0.4	-0.4	-0.4	0	0	0	-1

### 2.1.1.3. Yük Analizi

Uzay kafes sistemi üst başlık düğüm noktalarına etki ettirilecek noktasal yüklerin belirlenebilmesi için üst başlık düğüm noktalarında Şekil 21' de gösterildiği gibi, düğüm noktası numaralandırması ve yük analizi yapılmıştır.



Şekil 21. Uzak kafes sistem üst başlık düğüm noktaları yük analizi

Uzak kafes sistemi üst başlık düğüm noktalarında yapılan numaralandırma ve yük analizi sonrası her bir düğüm noktasına etki eden yük alanları Tablo 7' de gösterildiği gibidir.

Tablo 7. Uzak kafes sistem üst başlık düğüm noktaları yük alanları

Uzak Kafes Sistem Üst Başlık Düğüm Noktaları Yük Analizi			
Düğüm Noktası	Alan(m <sup>2</sup> )	Düğüm Noktası	Alan(m <sup>2</sup> )
1	2.029	37	5.427
2	4.37	38	5.866
3	4.555	39	5.886
4	5.478	40	3.407
5	5.344	41	2.072
6	5.576	42	4.475
7	6.068	43	4.822
8	3.196	44	5.18
9	2.023	45	5.382
10	4.097	46	5.852
11	4.089	47	5.925

Tablo 7' nin devamı

Uzay Kafes Sistem Üst Başlık Düğüm Noktaları Yük Analizi			
Düğüm Noktası	Alan(m <sup>2</sup> )	Düğüm Noktası	Alan(m <sup>2</sup> )
12	4.92	48	3.495
13	5.265	49	2.089
14	5.647	50	4.393
15	6.093	51	4.869
16	3.304	52	5.112
17	2.126	53	5.271
18	4.452	54	5.841
19	4.806	55	5.878
20	5.449	56	3.55
21	5.624	57	2.11
22	5.752	58	4.363
23	6.17	59	4.904
24	3.359	60	5.137
25	2.107	61	5.157
26	4.667	62	5.884
27	5.033	63	5.904
28	5.454	64	3.643
29	5.532	65	1.036
30	5.804	66	2.12
31	6.068	67	2.408
32	3.398	68	2.584
33	2.084	69	2.537
34	4.467	70	2.905
35	4.718	71	2.92
36	5.1	72	1.865

#### 2.1.1.4. Yüklemeler

Uzay kafes sistemi projesinde 12 farklı yükleme yapılmıştır.

### 2.1.1.4.1 Yükleme 1 (Uzay Kafes Sistem Zati Ağırlığı)

Uzay kafes sisteminde yapılan birinci yükleme tipinde, sisteme etki eden  $14.5(\text{kg}/\text{m}^2)$  zati ağırlığın, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 8' de gösterilmiştir.

Tablo 8. Yükleme 1

Zati Yük	$14.5(\text{kg}/\text{m}^2)$	Zati Yük	$14.5(\text{kg}/\text{m}^2)$
Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük(kg)
1	29.421	37	78.692
2	63.365	38	85.057
3	66.048	39	85.347
4	79.431	40	49.402
5	77.488	41	30.044
6	80.852	42	64.888
7	87.986	43	69.919
8	46.342	44	75.11
9	29.334	45	78.039
10	59.407	46	84.854
11	59.291	47	85.913
12	71.34	48	50.678
13	76.343	49	30.291
14	81.882	50	63.699
15	88.349	51	70.601
16	47.908	52	74.124
17	30.827	53	76.43
18	64.554	54	84.695
19	69.687	55	85.231
20	79.011	56	51.475
21	81.548	57	30.595
22	83.404	58	63.264
23	89.465	59	71.108
24	48.706	60	74.487
25	30.552	61	74.777

Tablo 8' in devamı

Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )	Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük(kg)
26	67.672	62	85.318
27	72.979	63	85.608
28	79.083	64	52.824
29	80.214	65	15.022
30	84.158	66	30.74
31	87.986	67	34.916
32	49.271	68	37.468
33	30.218	69	36.787
34	64.772	70	42.123
35	68.411	71	42.34
36	73.95	72	27.043

#### 2.1.1.4.2 Yükleme 2 (Aşık Yüğü + Kaplama Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden 15(kg/m<sup>2</sup>) aşık ve kaplama ağırlığının, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 9' da gösterildiği gibidir.

Tablo 9. Yükleme 2

Aşık+ Kaplama	15(kg/m <sup>2</sup> )	Aşık + Kaplama	15(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)
1	30.435	37	81.405
2	65.55	38	87.99
3	68.325	39	88.29
4	82.17	40	51.105
5	80.16	41	31.08
6	83.64	42	67.125
7	91.02	43	72.33

Tablo 9' un devamı

Aşık+ Kaplama	15(kg/m <sup>2</sup> )	Aşık + Kaplama	15(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)
8	47.94	44	77.7
9	30.345	45	80.73
10	61.455	46	87.78
11	61.335	47	88.875
12	73.8	48	52.425
13	78.975	49	31.335
14	84.705	50	65.895
15	91.395	51	73.035
16	49.56	52	76.68
17	31.89	53	79.065
18	66.78	54	87.615
19	72.09	55	88.17
20	81.735	56	53.25
21	84.36	57	31.65
22	86.28	58	65.445
23	92.55	59	73.56
24	50.385	60	77.055
25	31.605	61	77.355
26	70.005	62	88.26
27	75.495	63	88.56
28	81.81	64	54.645
29	82.98	65	15.54
30	87.06	66	31.8
31	91.02	67	36.12
32	50.97	68	38.76
33	31.26	69	38.055
34	67.005	70	43.575
35	70.77	71	43.8
36	76.5	72	27.975

### 2.1.1.4.3 Yükleme 3 (Tesisat Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden  $15(\text{kg}/\text{m}^2)$  tesisat ağırlığının, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 10' da gösterildiği gibidir.

Tablo 10. Yükleme 3

Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)
1	30.435	37	81.405
2	65.55	38	87.99
3	68.325	39	88.29
4	82.17	40	51.105
5	80.16	41	31.08
6	83.64	42	67.125
7	91.02	43	72.33
8	47.94	44	77.7
9	30.345	45	80.73
10	61.455	46	87.78
11	61.335	47	88.875
12	73.8	48	52.425
13	78.975	49	31.335
14	84.705	50	65.895
15	91.395	51	73.035
16	49.56	52	76.68
17	31.89	53	79.065
18	66.78	54	87.615
19	72.09	55	88.17
20	81.735	56	53.25
21	84.36	57	31.65
22	86.28	58	65.445
23	92.55	59	73.56
24	50.385	60	77.055
25	31.605	61	77.355
26	70.005	62	88.26



Tablo 10' un devamı

Tesisat Yüğü	15(kg/m <sup>2</sup> )	Tesisat Yüğü	15(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
27	75.495	63	88.56
28	81.81	64	54.645
29	82.98	65	15.54
30	87.06	66	31.8
31	91.02	67	36.12
32	50.97	68	38.76
33	31.26	69	38.055
34	67.005	70	43.575
35	70.77	71	43.8
36	76.5	72	27.975

#### 2.1.1.4.4. Yükleme 4 (Kar Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden 75(kg/m<sup>2</sup>) kar yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 11' da gösterildiği gibidir.

Tablo 11. Yükleme 4

Kar Yüğü	75(kg/m <sup>2</sup> )	Kar Yüğü	75(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
1	152.175	37	407.025
2	327.75	38	439.95
3	341.625	39	441.45
4	410.85	40	255.525
5	400.8	41	155.4
6	418.2	42	335.625
7	455.1	43	361.65
8	239.7	44	388.5

Tablo 11' in devamı

Kar Yüğü	75(kg/m <sup>2</sup> )	Kar Yüğü	75(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
9	151.725	45	403.65
10	307.275	46	438.9
11	306.675	47	444.375
12	369	48	262.125
13	394.875	49	156.675
14	423.525	50	329.475
15	456.975	51	365.175
16	247.8	52	383.4
17	159.45	53	395.325
18	333.9	54	438.075
19	360.45	55	440.85
20	408.675	56	266.25
21	421.8	57	158.25
22	431.4	58	327.225
23	462.75	59	367.8
24	251.925	60	385.275
25	158.025	61	386.775
26	350.025	62	441.3
27	377.475	63	442.8
28	409.05	64	273.225
29	414.9	65	77.7
30	435.3	66	159
31	455.1	67	180.6
32	254.85	68	193.8
33	156.3	69	190.275
34	335.025	70	217.875
35	353.85	71	219
36	382.5	72	139.875

#### 2.1.1.4.5. Yükleme 5 (Rüzgar Emme Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden  $0.8q=64$  (kg/m<sup>2</sup>) rüzgar emme yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası

numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 12' de gösterildiği gibidir.

Tablo 12. Yükleme 5

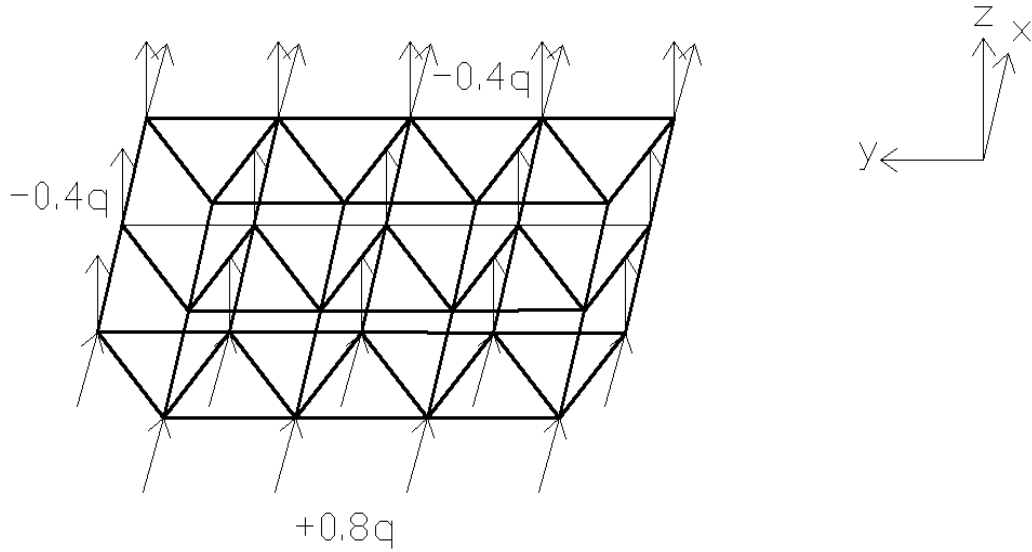
Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )	Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
1	129.856	37	347.328
2	279.68	38	375.424
3	291.52	39	376.704
4	350.592	40	218.048
5	342.016	41	132.608
6	356.864	42	286.4
7	388.352	43	308.608
8	204.544	44	331.52
9	129.472	45	344.448
10	262.208	46	374.528
11	261.696	47	379.2
12	314.88	48	223.68
13	336.96	49	133.696
14	361.408	50	281.152
15	389.952	51	311.616
16	211.456	52	327.168
17	136.064	53	337.344
18	284.928	54	373.824
19	307.584	55	376.192
20	348.736	56	227.2
21	359.936	57	135.04
22	368.128	58	279.232
23	394.88	59	313.856
24	214.976	60	328.768
25	134.848	61	330.048
26	298.688	62	376.576
27	322.112	63	377.856
28	349.056	64	233.152
29	354.048	65	66.304

Tablo 12'nin devamı

Rüzgar Emme Yüğü	$0.8q=64(\text{kg}/\text{m}^2)$	Rüzgar Emme Yüğü	$0.8q=64(\text{kg}/\text{m}^2)$
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
30	371.456	66	135.68
31	388.352	67	154.112
32	217.472	68	165.376
33	133.376	69	162.368
34	285.888	70	185.92
35	301.952	71	186.88
36	326.4	72	119.36

#### 2.1.1.4.6. Yükleme 6 (Rüzgar Yüğü +X )

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün +x yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 24' te gösterilmiştir.



Şekil 22. Rüzgarın +x yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$$

$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = 187.584 \text{ kg}$$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$$

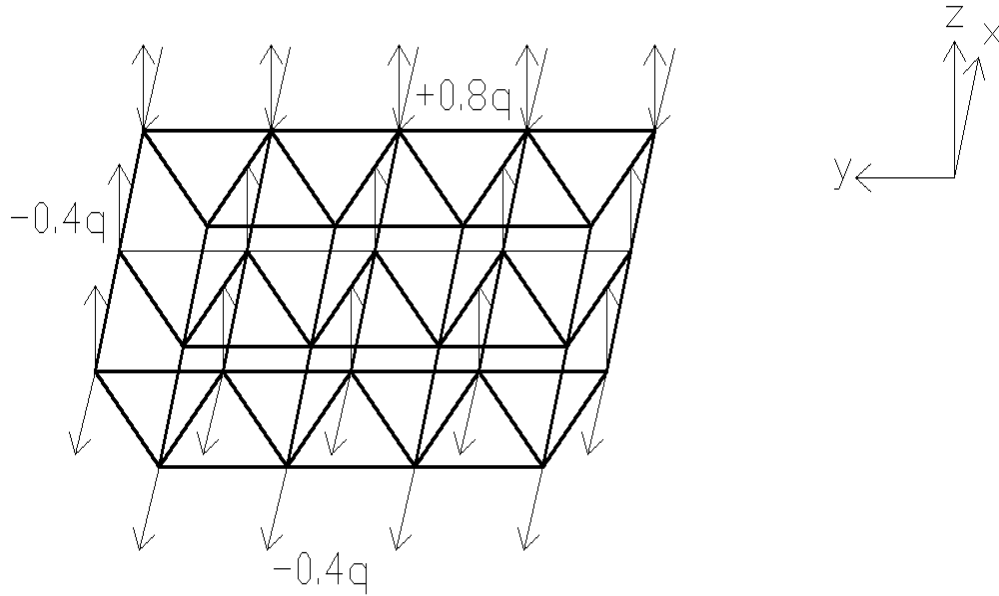
$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = -146.560 \text{ kg}$$

$$\text{Kenar Düğüm Noktaları} \quad +0.8q = 187.584/2 = 93.792 \text{ kg}$$

$$-0.4q = 146.560/2 = -73.280 \text{ kg}$$

#### 12.1.1.4.7. Yükleme 7 (Rüzgar Yükü -X)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün -x yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 25' de gösterilmiştir.



Şekil 23. Rüzgarın -x yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$$

$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = 293.120 \text{ kg}$$

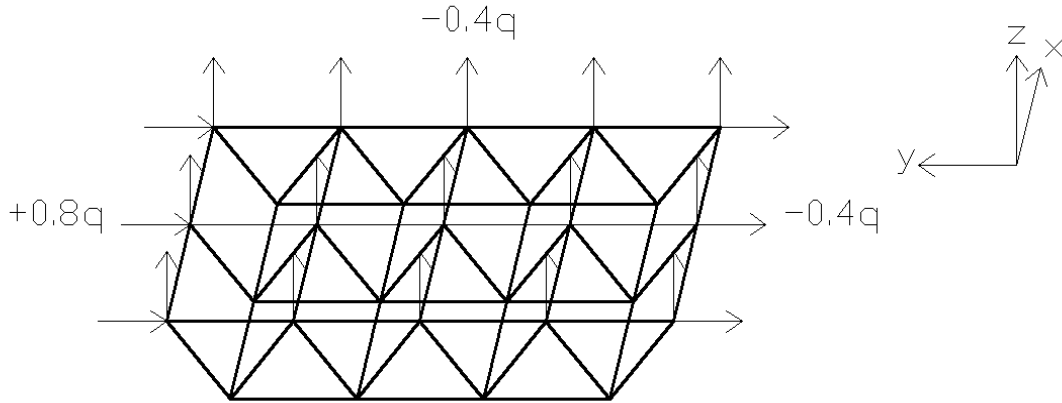
$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$$

$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = -93.792 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenar Dügüm Noktaları} \quad +0.8q &= 293.120 / 2 = 146.56 \text{ kg} \\ &-0.4q = -93.792 / 2 = -46.896 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 2.1.1.4.8. Yükleme 8 (Rüzgar Yüğü +Y)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün  $-y$  yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 22' te gösterilmiştir.



Şekil 24. Rüzgarın  $-y$  yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$$

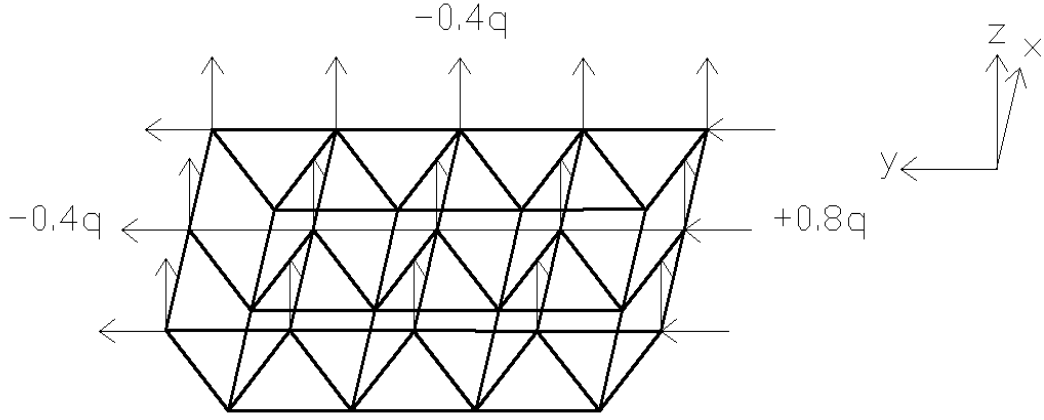
$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$$

$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenar Dügüm Noktaları} \quad +0.8q &= 283.328 / 2 = 141.664 \text{ kg} \\ &-0.4q = 141.664 / 2 = -70.832 \text{ kg} \end{aligned}$$

#### 2.1.1.4.9. Yükleme 9 (Rüzgar Yüğü -Y)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün  $+y$  yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 23' te gösterilmiştir.



Şekil 25. Rüzgarın +y yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$

$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 283.328/2 = 141.664 \text{ kg}$

$-0.4q = 141.664/2 = -70.832 \text{ kg}$

#### 2.1.1.4.10. Yükleme 10 (Deprem Yüğü +X)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_0 =$  Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T) =$  Spektrum katsayısı

$I =$  Bina önem katsayısı

$R_A =$  Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;

$A_0 = 0.10$

$S(T) = 2.5$

$I = 1.20$

$$RA=5.00$$

$$C=A_o.S(T).I/RA =0.10 \times 2.5 \times 1.20 /5 =0.06 \quad (21)$$

$$P_i(-z)= \text{Uzay zati Yüğü} + \text{Aşık Yüğü} + \text{Kaplama Yüğü} + \text{Tesisat Yüğü} + 0.3 \text{ Kar Yüğü}$$

Not= Kar yüğü hareketli yük olarak kabul edildiğı için hareketli yük azaltma katsayısı olarak 0.3 alınır [16].

$$P_i(-z)=14.5 + 5 +10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$P_i(-z)=68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(x) = 0.06 \times 68.5 =4.11$$

$$P_d(i) =4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$

#### 2.1.1.4.11. Yükleme 11 (Deprem Yüğü +Y)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_o$ = Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T)$ = Spektrum katsayısı

$I$ = Bina önem katsayısı

$RA$ =Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;

$$A_o=0.10$$

$$S(T)=2.5$$

$$I=1.20$$

$$RA=5.00$$

$$C=A_o.S(T).I/RA =0.10 \times 2.5 \times 1.20 /5 =0.06 \quad (22)$$

$$P_i(-z)= \text{Uzay zati Yüğü} + \text{Aşık Yüğü} + \text{Kaplama Yüğü} + \text{Tesisat Yüğü} + 0.3 \text{ Kar Yüğü}$$

Not=Kar yüğü hareketli yük olarak kabul edildiğı için hareketli yük azaltma katsayısı olarak 0.3 alınır [16].

$$=14.5 + 5 +10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$=68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(y) = 0.06 \times 68.5 =4.11$$

$$P_d(i) =4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$



#### 2.1.1.4.12. Yükleme 12 (Sıcaklık Etkisi)

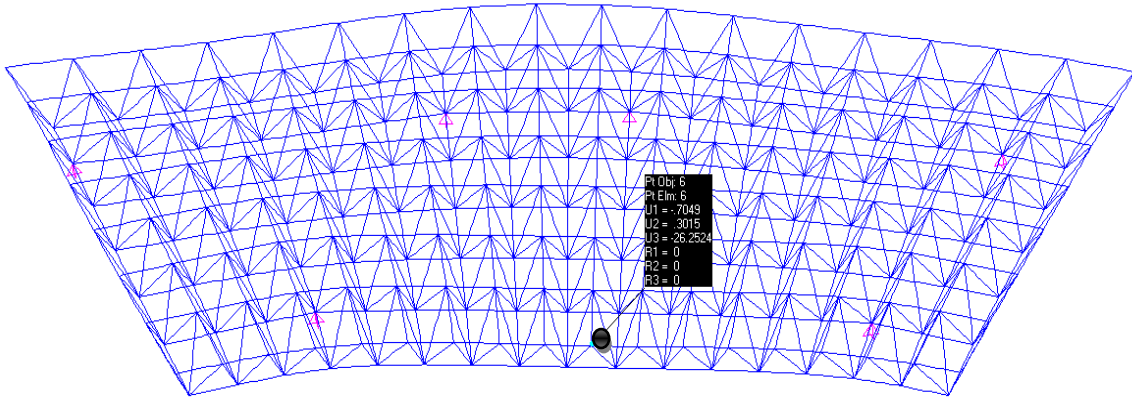
Uzay kafes sistemi statik tasarımında, sistemin maruz kalabileceği sıcaklık etkisi  $\Delta t = \pm 25^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır.

#### 2.1.1.5. Analiz Sonuçları

Uzay kafes sistemine projesi dışında güçlendirme yapılmış olup, 6 olan mesnet sayısı 10' a çıkarılmıştır. Sistem statik analizleri yapının güçlendirilmeden önceki hali ve güçlendirildikten sonraki hali için birinci durum ve ikinci durum olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

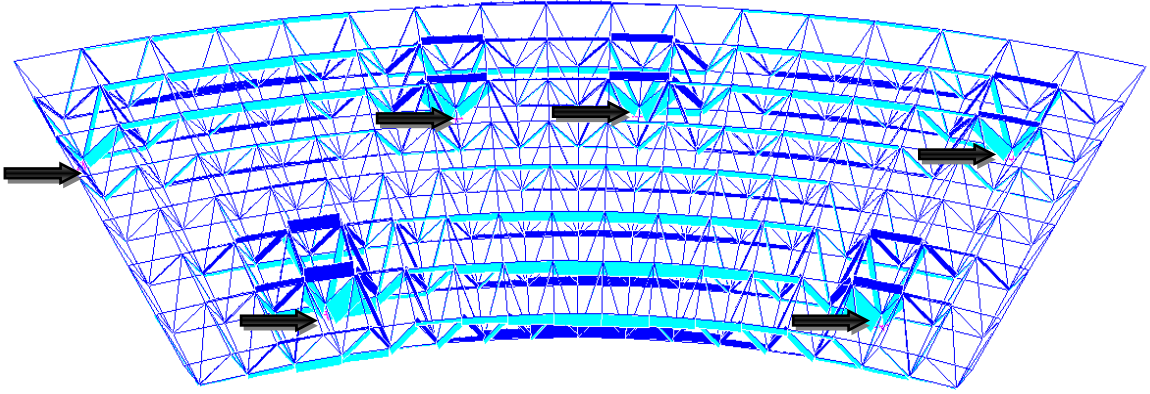
##### 2.1.1.5.1. Birinci Durum Analiz Sonuçları

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında, Şekil 26' da gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin -26.2524 mm olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 26. Sistemdeki maksimum çökme

Uzay kafes sisteminin düşey yükler altında yapılan statik analizi sonrası boyutlandırma yapılmış ve 123 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz kesitli elemanların büyük çoğunluğu mesnet bölgeleri ve sistem açıklığının fazla olduğu bölgelerde kalmaktadır. Şekil 27' de Uzay kafes sisteminin oturduğu 6 adet mesnet ve oluşan maksimum gerilme değerleri grafik olarak gösterilmektedir.

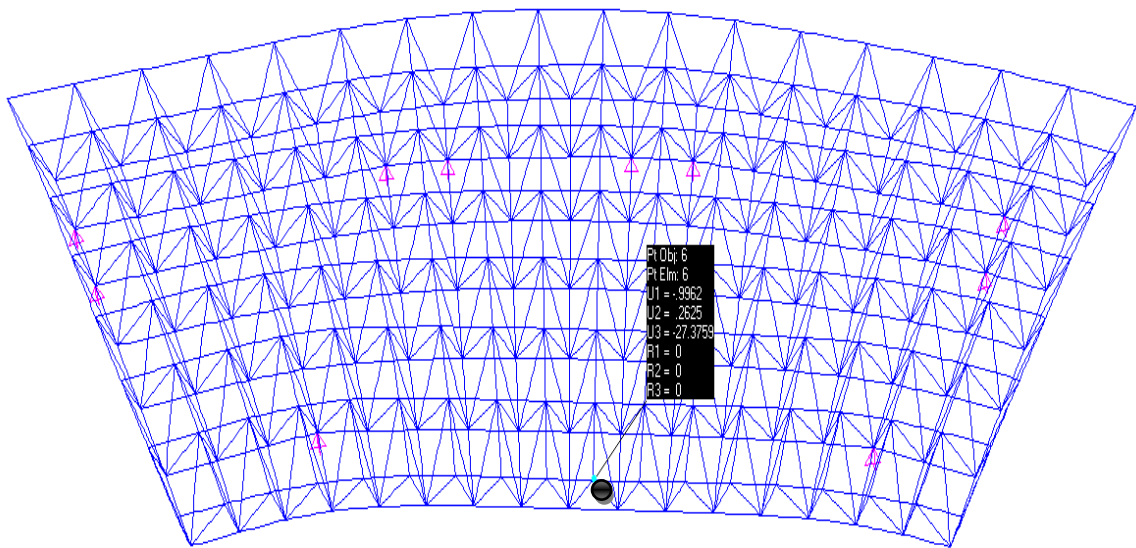


Şekil 27. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri

#### 2.1.1.5.2. İkinci Durum Analiz Sonuçları

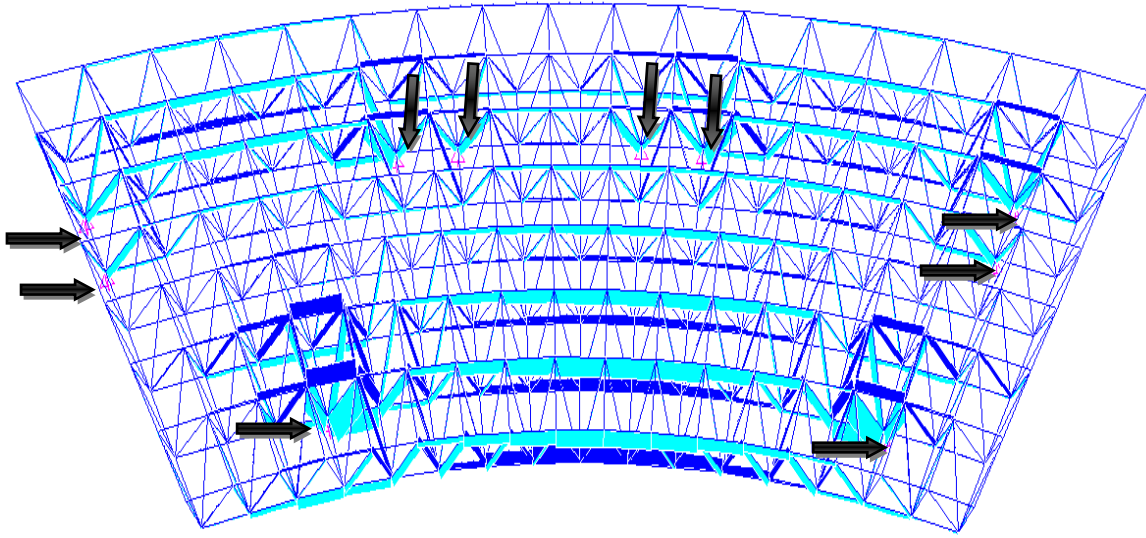
Uzay kafes sistem uygulamasında güçlendirme sonrası, (mesnet sayısının 10 olması hali) yapılan analizler sonrasında şu sonuçlara ulaşılmıştır;

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında, Şekil 28 de gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin --27.3759 mm olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçtan anlaşılacağı üzere sisteme güçlendirme maksatlı eklenen yeni mesnetler, sistemin genelinde oluşan maksimum çökme miktarını artırıcı yönde etki etmişlerdir.



Şekil 28. Sistemdeki maksimum çökme

Uzay kafes sistemi elemanlarında oluşan aşırı çekme ve basınç değerlerinin özellikle 10 adet olan mesnet noktalarına yakın bölgelerde ve açıklığın fazla olduğu kısımlarda olduğu Şekil 29 üzerinde grafik olarak gösterilmektedir.



Şekil 29. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında boyutlandırması yapılmış ve 116 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Proje dışı yapılan güçlendirme çalışmasının yalnızca 7 adet eleman üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

## 2.1.2. Uzay Kafes Sistemin Mevcut Kesitlerine Göre Kar Yükünün $75 \text{ kg/m}^2$ Alınarak Statik Analiz Yapılması

### 2.1.2.1. Yükler

Yükleme 1: Uzay kafes ağırlığı, -z yönünde hesaplandığı gibi

Yükleme 2: Kaplama ağırlığı + Aşık + Servis yükleri

Yükleme 3: Kar yükü (TS 498)

Yükleme 4 (Rüzgar Emme Yükü)

Yükleme 5: +x yönündeki rüzgar yükü

Yükleme 6: -x yönündeki rüzgar yükü

Yükleme 7: +y yönündeki rüzgar yükü

Yükleme 8: -y yönündeki rüzgar yükü

Yükleme 9: +x yönünde deprem yükü

Yükleme 10: +y yönünde deprem yükü

Yükleme 11: Isı farkı yükü

Rüzgar yükü:

Yapı yüksekliği 0 - 8 m arası :50 kg/m<sup>2</sup>

Yapı yüksekliği 8 -20 m arası :80 kg/m<sup>2</sup>

Yapı yüksekliği 20-... m arası :110 kg/m<sup>2</sup> [18]

Uzay sistem zati yükü : 14,5 kg/m<sup>2</sup>

Kar Yükü : 75,0 kg/m<sup>2</sup>

Rüzgar Yükü : 80,0 kg/m<sup>2</sup>

Kaplama Yükü : 10,0 kg/m<sup>2</sup>

Tesisat Yükü : 15,0 kg/m<sup>2</sup>

Aşık Yükü : 5,0 kg/m<sup>2</sup>

Toplam: :199.5 kg/m<sup>2</sup>

### 2.1.2.2. Kombinasyonlar

Kom1- Düşey yükler,( uzay+kaplama+aşık+tesisat+kar)

Kom2- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu

Kom3- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu

Kom4- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu

Kom5- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu

Kom6- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu

Kom7- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu

Kom8- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu

Kom9- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu

Kom10- Düşey yükler,+ ısı

Kom11- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + ısı

Kom12- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + ısı

- Kom13- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + 1s1  
 Kom14- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + 1s1  
 Kom15- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + 1s1  
 Kom16- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + 1s1  
 Kom17- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + 1s1  
 Kom18- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + 1s1  
 Kom19- Düşey yükler,+ -1s1  
 Kom20- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + -1s1  
 Kom21- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + -1s1  
 Kom22- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + -1s1  
 Kom23- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + -1s1  
 Kom24- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + -1s1  
 Kom25- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + -1s1  
 Kom26- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + -1s1  
 Kom27- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + -1s1

### 2.1.2.3. Yük Analizi

#### 2.1.2.3.1. Yükleme 1 (Uzay Kafes Ağırlığı, -Z Yönünde Hesaplandığı Gibi)

Uzay kafes sisteminde yapılan birinci yükleme tipinde, sisteme etki eden  $14.5(\text{kg}/\text{m}^2)$  zati ağırlığın, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 13' te gösterilmiştir.

Tablo 13. Yükleme 1

Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )	Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
1	29.421	37	78.692
2	63.365	38	85.057
3	66.048	39	85.347
4	79.431	40	49.402

Tablo 13'ün devamı

Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )	Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)
5	77.488	41	30.044
6	80.852	42	64.888
7	87.986	43	69.919
8	46.342	44	75.11
9	29.334	45	78.039
10	59.407	46	84.854
11	59.291	47	85.913
12	71.34	48	50.678
13	76.343	49	30.291
14	81.882	50	63.699
15	88.349	51	70.601
16	47.908	52	74.124
17	30.827	53	76.43
18	64.554	54	84.695
19	69.687	55	85.231
20	79.011	56	51.475
21	81.548	57	30.595
22	83.404	58	63.264
23	89.465	59	71.108
24	48.706	60	74.487
25	30.552	61	74.777
26	67.672	62	85.318
27	72.979	63	85.608
28	79.083	64	52.824
29	80.214	65	15.022
30	84.158	66	30.74
31	87.986	67	34.916
32	49.271	68	37.468
33	30.218	69	36.787
34	64.772	70	42.123
35	68.411	71	42.34
36	73.95	72	27.043

### 2.1.2.3.2. Yükleme 2 (Kaplama Ağırlığı + Aşık + Servis Yükleri)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden  $30(\text{kg}/\text{m}^2)$  aşık, kaplama ve servis yükleri, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 14' te gösterildiği gibidir.

Tablo 14. Yükleme 2

Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )	Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
1	60.87	37	162.81
2	131.1	38	175.98
3	136.65	39	176.58
4	164.34	40	102.21
5	160.32	41	62.16
6	167.28	42	134.25
7	182.04	43	144.66
8	95.88	44	155.4
9	60.69	45	161.46
10	122.91	46	175.56
11	122.67	47	177.75
12	147.6	48	104.85
13	157.95	49	62.67
14	169.41	50	131.79
15	182.79	51	146.07
16	99.12	52	153.36
17	63.78	53	158.13
18	133.56	54	175.23
19	144.18	55	176.34
20	163.47	56	106.5
21	168.72	57	63.3
22	172.56	58	130.89
23	185.1	59	147.12
24	100.77	60	154.11
25	63.21	61	154.71

Tablo 14'ün devamı

Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )	Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
26	140.01	62	176.52
27	150.99	63	177.12
28	163.62	64	109.29
29	165.96	65	31.08
30	174.12	66	63.6
31	182.04	67	72.24
32	101.94	68	77.52
33	62.52	69	76.11
34	134.01	70	87.15
35	141.54	71	87.6
36	153	72	55.95

### 2.1.2.3.3. Yükleme 3 (Kar Yüğü (TS 498))

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden 75(kg/m<sup>2</sup>) kar yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 15' te gösterildiği gibidir.

Tablo 15. Yükleme 3

Düğüm Noktası	Nok.Yük	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
	(kg)		
1	152.175	37	407.025
2	327.75	38	439.95
3	341.625	39	441.45
4	410.85	40	255.525
5	400.8	41	155.4
6	418.2	42	335.625
7	455.1	43	361.65
8	239.7	44	388.5
9	151.725	45	403.65



Tablo 15' in devamı

Düğüm Noktası	Nok.Yük	Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)
	(kg)		
10	307.275	46	438.9
11	306.675	47	444.375
12	369	48	262.125
13	394.875	49	156.675
14	423.525	50	329.475
15	456.975	51	365.175
16	247.8	52	383.4
17	159.45	53	395.325
18	333.9	54	438.075
19	360.45	55	440.85
20	408.675	56	266.25
21	421.8	57	158.25
22	431.4	58	327.225
23	462.75	59	367.8
24	251.925	60	385.275
25	158.025	61	386.775
26	350.025	62	441.3
27	377.475	63	442.8
28	409.05	64	273.225
29	414.9	65	77.7
30	435.3	66	159
31	455.1	67	180.6
32	254.85	68	193.8
33	156.3	69	190.275
34	335.025	70	217.875
35	353.85	71	219
36	382.5	72	139.875

#### 2.1.2.3.4. Yükleme 4 (Rüzgar Emme Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden  $0.8q=64$  ( $\text{kg/m}^2$ ) rüzgar emme yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 16' de gösterildiği gibidir.

Tablo 16. Yükleme 4

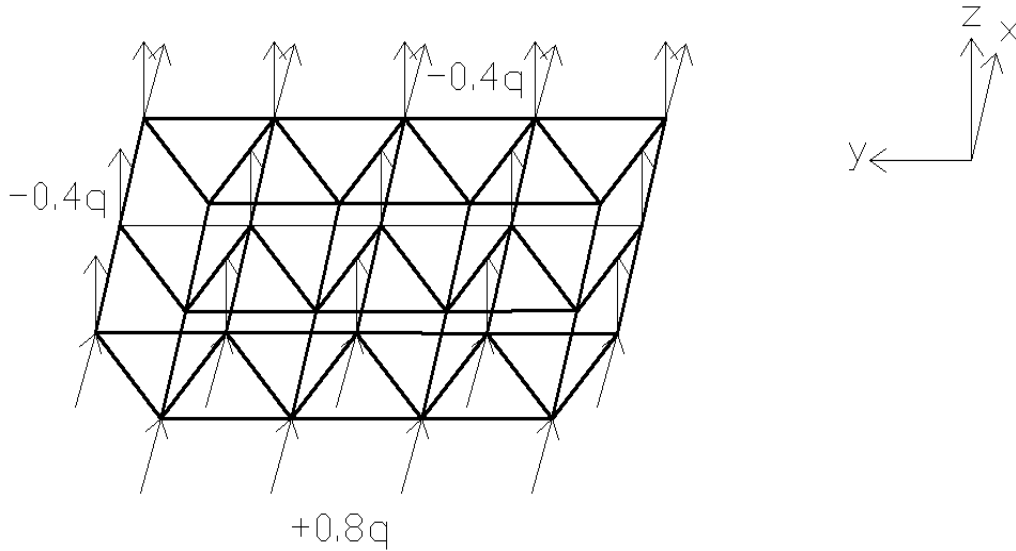
Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )	Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
1	129.856	37	347.328
2	279.68	38	375.424
3	291.52	39	376.704
4	350.592	40	218.048
5	342.016	41	132.608
6	356.864	42	286.4
7	388.352	43	308.608
8	204.544	44	331.52
9	129.472	45	344.448
10	262.208	46	374.528
11	261.696	47	379.2
12	314.88	48	223.68
13	336.96	49	133.696
14	361.408	50	281.152
15	389.952	51	311.616
16	211.456	52	327.168
17	136.064	53	337.344
18	284.928	54	373.824
19	307.584	55	376.192
20	348.736	56	227.2
21	359.936	57	135.04
22	368.128	58	279.232
23	394.88	59	313.856
24	214.976	60	328.768
25	134.848	61	330.048
26	298.688	62	376.576
27	322.112	63	377.856
28	349.056	64	233.152
29	354.048	65	66.304
30	371.456	66	135.68
31	388.352	67	154.112
32	217.472	68	165.376
33	133.376	69	162.368

Tablo 16' nın devamı

Rüzgar Emme Yüğü	$0.8q=64(\text{kg}/\text{m}^2)$	Rüzgar Emme Yüğü	$0.8q=64(\text{kg}/\text{m}^2)$
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
34	285.888	70	185.92
35	301.952	71	186.88
36	326.4	72	119.36

### 2.1.2.3.5.Yükleme 5 (+X Yönündeki Rüzgar Yüğü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün +x yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 30' te gösterilmiştir.



Şekil 30. Rüzgarın +x yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg}/\text{m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$$

$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg}/\text{m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = 187.584 \text{ kg}$$

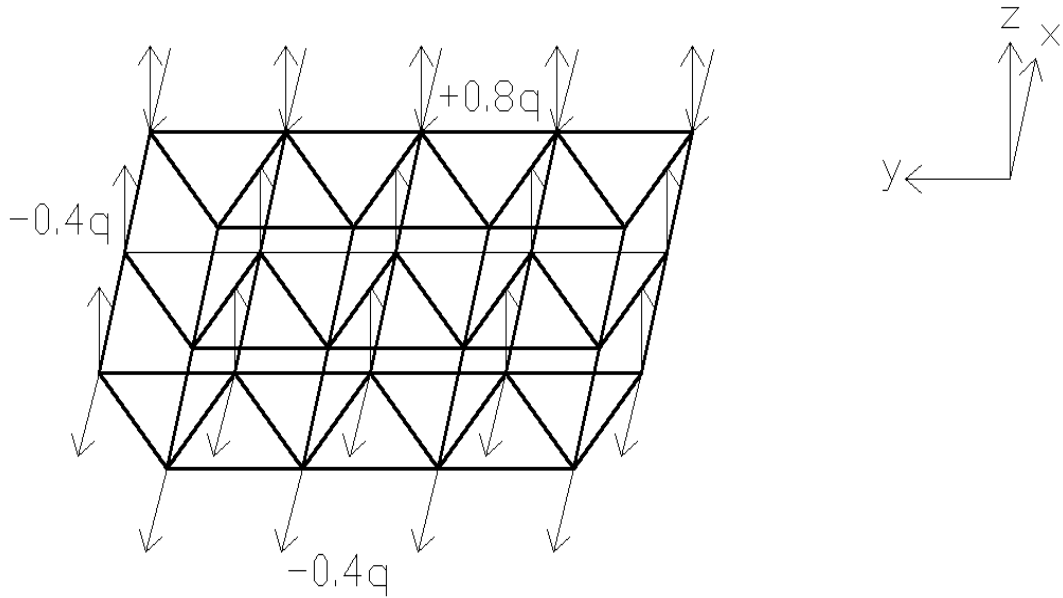
$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$$

$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg}/\text{m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = -146.560 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} \text{Kenar Dügüm Noktaları} \quad +0.8q &= 187.584/2 = 93.792 \text{ kg} \\ &-0.4q = 146.560/2 = -73.280 \text{ kg} \end{aligned}$$

### 2.1.2.3.6. Yükleme 6 (-X Yönündeki Rüzgar Yüğü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün  $-x$  yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 31' da gösterilmiştir.



Şekil 31. Rüzgarın  $-x$  yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$$

$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = 293.120 \text{ kg}$$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$$

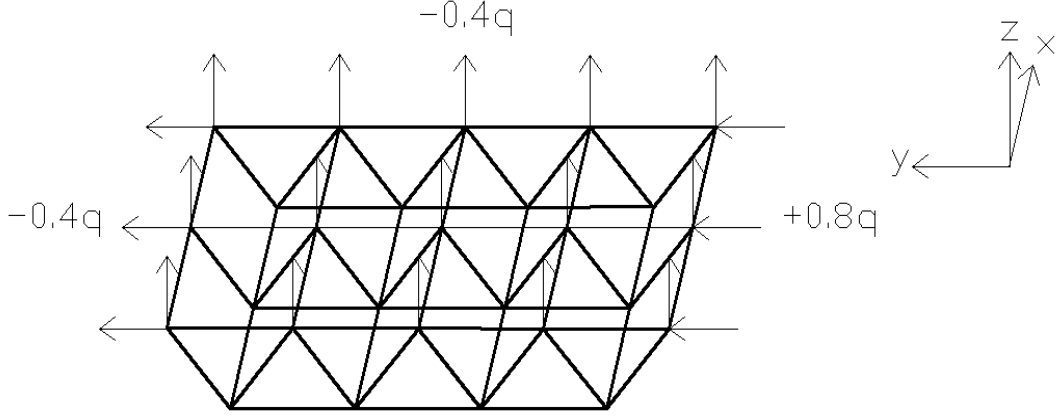
$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = -93.792 \text{ kg}$$

$$\text{Kenar Dügüm Noktaları} \quad +0.8q = 293.120 / 2 = 146.56 \text{ kg}$$

$$-0.4q = -93.792 / 2 = -46.896 \text{ kg}$$

### 2.1.2.3.7. Yükleme 7 (+Y Yönündeki Rüzgar Yüğü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün +y yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 32' te gösterilmiştir.



Şekil 32. Rüzgarın +y yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$

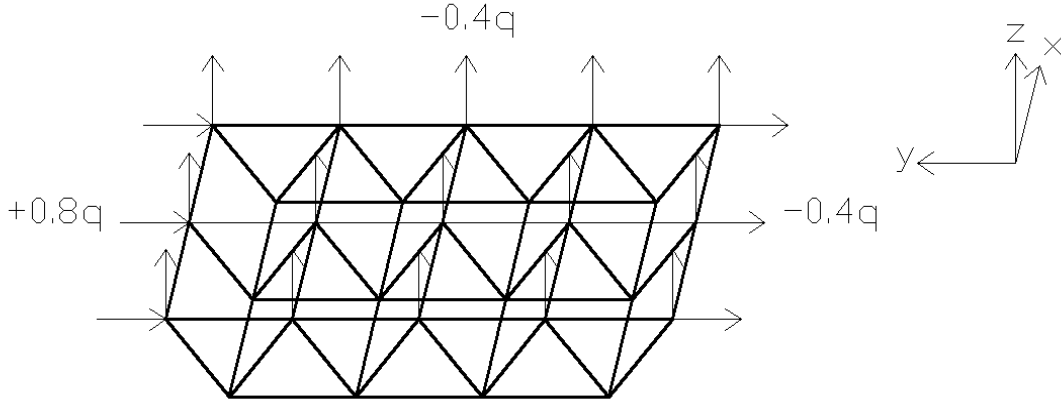
$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 283.328/2 = 141.664 \text{ kg}$

$-0.4q = 141.664/2 = -70.832 \text{ kg}$

### 2.1.2.3.8. Yükleme 8 (-Y Yönündeki Rüzgar Yüğü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün -y yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 33' te gösterilmiştir.



Şekil 33. Rüzgarın -y yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$

$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 283.328/2 = 141.664 \text{ kg}$

$-0.4q = 141.664/2 = -70.832 \text{ kg}$

### 2.1.2.3.9. Yükleme 9 (+X Yönünde Deprem Yüğü)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_0 =$  Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T) =$  Spektrum katsayısı

$I =$  Bina önem katsayısı

$R_A =$  Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;

$A_0 = 0.10$

$S(T) = 2.5$

$I = 1.20$

$R_A = 5.00$

$C = A_0 \cdot S(T) \cdot I / R_A = 0.10 \times 2.5 \times 1.20 / 5 = 0.06$

(23)

$P_i(-z) =$  Uzay zati Yüğü + Aşık Yüğü + Kaplama Yüğü + Tesisat Yüğü + 0.3 Kar Yüğü

Not= Kar yükü hareketli yük olarak kabul edildiği için hareketli yük azaltma katsayısı olarak 0.3 alınır [16].

$$=14.5 + 5 +10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$=68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(x) = 0.06 \times 68.5 = 4.11$$

$$P_d(i) = 4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$

### 2.1.2.3.10 Yükleme 10 (+Y Yönünde Deprem Yüğü)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_0$ = Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T)$ = Spektrum katsayısı

$I$ = Bina önem katsayısı

$R_A$ =Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;

$$A_0=0.10$$

$$S(T)=2.5$$

$$I=1.20$$

$$R_A=5.00$$

$$C=A_0.S(T).I/R_A = 0.10 \times 2.5 \times 1.20 / 5 = 0.06 \quad (24)$$

$P_i(-z)$ = Uzay zati Yüğü + Aşık Yüğü + Kaplama Yüğü + Tesisat Yüğü + 0.3 Kar Yüğü

Not=Kar yükü hareketli yük olarak kabul edildiği için hareketli yük azaltma katsayısı olarak 0.3 alınır [16].

$$=14.5 + 5 +10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$=68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(y) = 0.06 \times 68.5 = 4.11$$

$$P_d(i) = 4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$

### 2.1.2.3.11. Yükleme 11 (Isı Farkı Yüğü)

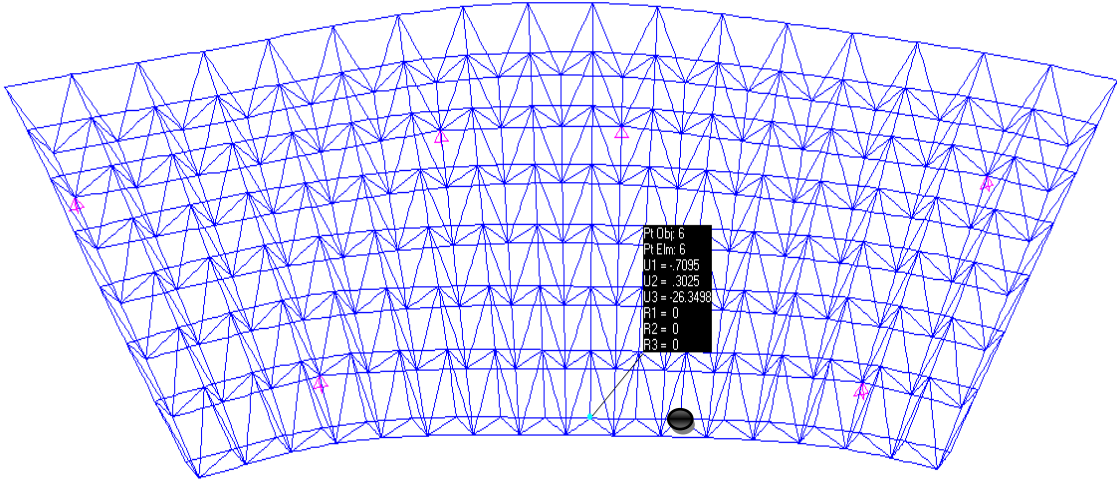
Uzay kafes sistemi statik tasarımında, sistemin maruz kalabileceği sıcaklık etkisi  $\Delta t = \pm 25^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır.

#### 2.1.2.4. Analiz Sonuçları

Uzay kafes sistemine projesi dışında güçlendirme yapılmış olup, 6 olan mesnet sayısı 10' a çıkarılmıştır. Sistem statik analizleri yapının güçlendirilmeden önceki hali ve güçlendirildikten sonraki hali için birinci durum ve ikinci durum olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

##### 2.1.2.4.1. Birinci Durum Analiz Sonuçları

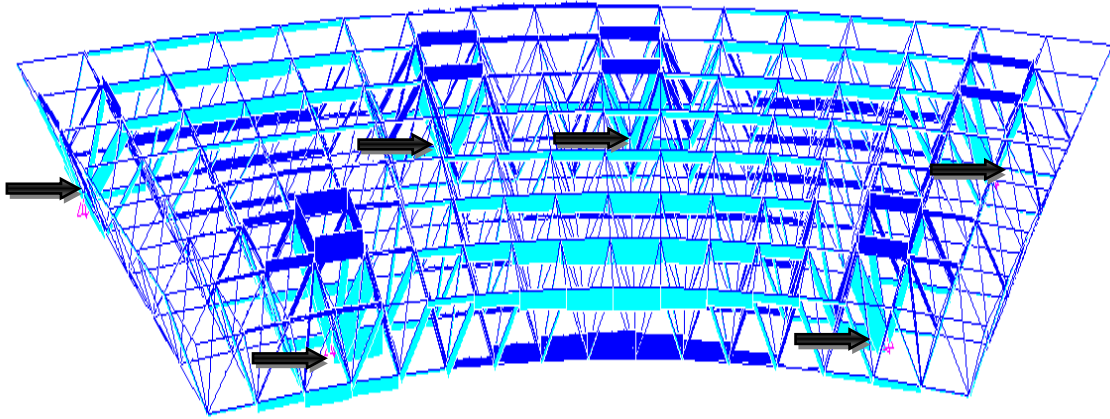
Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında, Şekil 34' te gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin -26.3498 mm olduğu sonucuna varılmıştır.



Şekil 34. Sistemdeki Maksimum Çökme

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında yapılan statik analizi sonrası kesit boyutlandırması yapılmış ve 123 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz kesitli elemanların büyük çoğunluğu, gerilme değerlerinin fazla olduğu mesnet bölgeleri yakınında ve sistem açıklığının fazla olduğu bölgelerde kalmaktadır. Şekil 35' te Uzay kafes sisteminin oturduğu 6 adet mesnet ve oluşan maksimum gerilme değerleri grafik olarak gösterilmektedir.



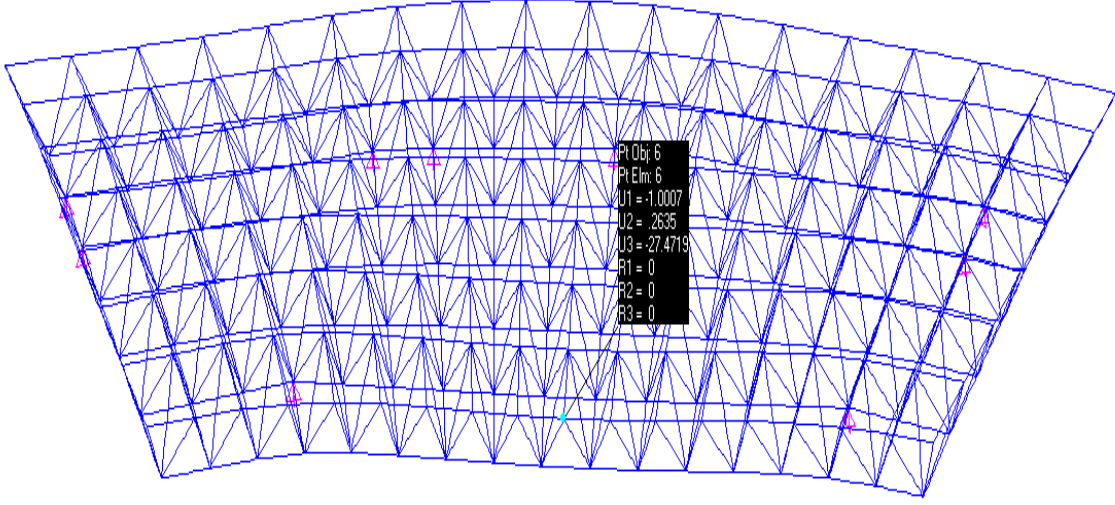


Şekil 35. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri

#### 2.1.2.4.2. İkinci Durum Analiz Sonuçları

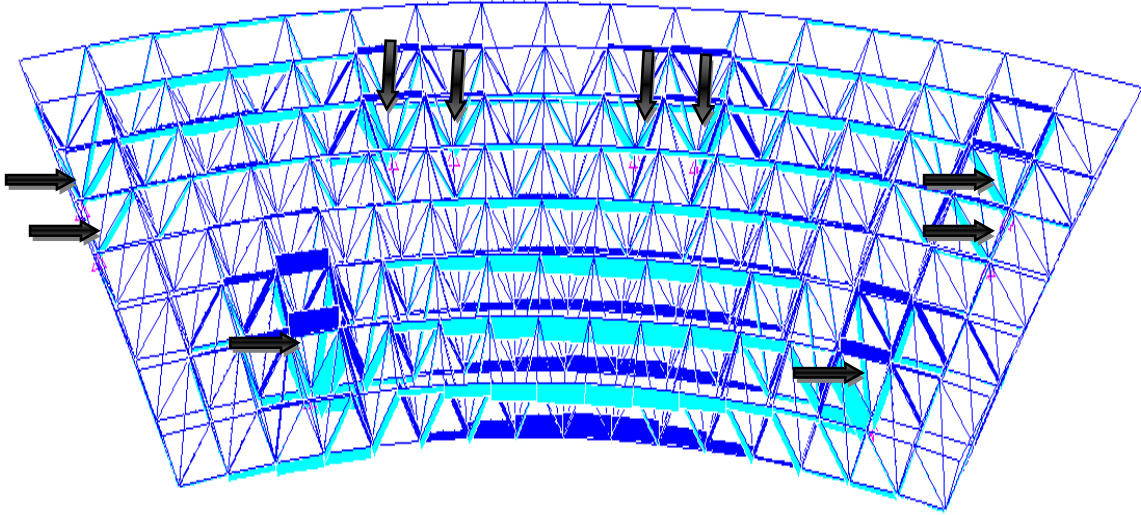
Uzay kafes sistem uygulamasında güçlendirme sonrası, (mesnet sayısının 10 olması hali) yapılan analizler sonrasında şu sonuçlara varılmıştır;

Uzay kafes sisteminin düşey yükler altında, Şekil 36 de gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin  $-27.4719$  mm olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçtan anlaşılacağı üzere sisteme güçlendirme maksatlı eklenen yeni mesnetler, sistemin genelinde oluşan maksimum çökme miktarını artırıcı yönde etki etmişlerdir



Şekil 36. Sistemdeki maksimum çökme

Uzay kafes sistemi elemanlarında oluşan aşırı çekme ve basınç değerlerinin özellikle 10 adet olan mesnet noktalarına yakın bölgelerde ve açıklığın fazla olduğu kısımlarda olduğu Şekil 37 üzerindeki oklarla gösterilmektedir.



Şekil 37. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri

Yapılan analiz sonrasında şu sonuca varılmıştır:

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında statik analizi sonrası kesit boyutlandırması yapılmış ve 115 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir.

Proje dışı yapılan güçlendirme çalışmasının yalnızca 8 adet eleman üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

### **2.1.3. Uzay Kafes Sistemin Mevcut Kesitlerine Göre Kar Yükünün $171 \text{ kg/m}^2$ Alınarak Çözülmesi**

#### **2.1.3. 1. Yükler**

Yüklemeye 1: Uzay kafes ağırlığı, -Z yönünde hesaplandığı gibi

Yüklemeye 2: Kaplama ağırlığı + Aşık + Servis yükleri

Yüklemeye 3: Kar yükü (TS 498)

Yüklemeye 4: Rüzgar Emme Yükü

Yüklemeye 5: +X yönündeki rüzgar yükü

Yüklemeye 6: -X yönündeki rüzgar yükü

Yüklemeye 7: +Y yönündeki rüzgar yükü

Yüklemeye 8: -Y yönündeki rüzgar yükü

Yüklemeye 9: +X yönünde deprem yükü

Yüklemeye 10: +Y yönünde deprem yükü

Yüklemeye 11: ısı farkı yükü

Rüzgar yükü:

Yapı yüksekliği 0 - 8 m arası:  $50 \text{ kg/m}^2$

Yapı yüksekliği 8 -20 m arası : $80 \text{ kg/m}^2$

Yapı yüksekliği 20-... m arası:  $110 \text{ kg/m}^2$  [18]

Uzay sistem zati yükü	: 14,5	$\text{kg/m}^2$
Kar Yükü	: 171,0	$\text{kg/m}^2$
Rüzgar Yükü	: 80,0	$\text{kg/m}^2$
Kaplama Yükü	: 10,0	$\text{kg/m}^2$
Tesisat Yükü	: 15,0	$\text{kg/m}^2$
Aşık Yükü	: 5,0	$\text{kg/m}^2$
Toplam:	:199,5	$\text{kg/m}^2$

### 2.1.3. 2. Kombinasyonlar

- Kom1- Düşey yükler,( uzay+kaplama+aşık+tesisat+kar)
- Kom2- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu
- Kom3- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu
- Kom4- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu
- Kom5- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu
- Kom6- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu
- Kom7- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu
- Kom8- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu
- Kom9- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu
- Kom10- Düşey yükler,+ ısı
- Kom11- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom12- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom13- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom14- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom15- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom16- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom17- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom18- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom19- Düşey yükler,+ -ısı
- Kom20- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom21- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom22- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom23- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom24- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom25- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom26- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom27- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + -ısı

### 2.1.3. 3. Yük Analizi

#### 2.1.3. 3.1. Yükleme 1 (Uzay kafes ağırlığı, -Z yönünde hesaplandığı gibi)

Uzay kafes sisteminde yapılan birinci yükleme tipinde, sisteme etki eden  $14.5(\text{kg}/\text{m}^2)$  zati ağırlığın, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 17' de gösterilmiştir.

Tablo 17. Yükleme 1

Zati Yük	14.5(kg/m2)	Zati Yük	14.5(kg/m2)
Düğüm Noktası	Nok. Yük	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
	(kg)		
1	29.421	37	78.692
2	63.365	38	85.057
3	66.048	39	85.347
4	79.431	40	49.402
5	77.488	41	30.044
6	80.852	42	64.888
7	87.986	43	69.919
8	46.342	44	75.11
9	29.334	45	78.039
10	59.407	46	84.854
11	59.291	47	85.913
12	71.34	48	50.678
13	76.343	49	30.291
14	81.882	50	63.699
15	88.349	51	70.601
16	47.908	52	74.124
17	30.827	53	76.43
18	64.554	54	84.695
19	69.687	55	85.231
20	79.011	56	51.475
21	81.548	57	30.595
22	83.404	58	63.264
23	89.465	59	71.108
24	48.706	60	74.487
25	30.552	61	74.777
26	67.672	62	85.318
27	72.979	63	85.608
28	79.083	64	52.824

Tablo 17' nin devamı

Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )	Zati Yük	14.5(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
	(kg)		
29	80.214	65	15.022
30	84.158	66	30.74
31	87.986	67	34.916
32	49.271	68	37.468
33	30.218	69	36.787
34	64.772	70	42.123
35	68.411	71	42.34
36	73.95	72	27.043

### 2.1.3.3.2. Yükleme 2 (Kaplama ağırlığı + Aşık + Servis yükleri)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden 30(kg/m<sup>2</sup>) aşık, kaplama ve servis yükleri, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 18' de gösterildiği gibidir.

Tablo 18. Yükleme 2

Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )	Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
	1		60.87
2	131.1	38	175.98
3	136.65	39	176.58
4	164.34	40	102.21
5	160.32	41	62.16
6	167.28	42	134.25
7	182.04	43	144.66
8	95.88	44	155.4
9	60.69	45	161.46
10	122.91	46	175.56

Tablo 18' in devamı

Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )	Kap+Aşık+Ser Yük	30(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok. Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
11	122.67	47	177.75
12	147.6	48	104.85
13	157.95	49	62.67
14	169.41	50	131.79
15	182.79	51	146.07
16	99.12	52	153.36
17	63.78	53	158.13
18	133.56	54	175.23
19	144.18	55	176.34
20	163.47	56	106.5
21	168.72	57	63.3
22	172.56	58	130.89
23	185.1	59	147.12
24	100.77	60	154.11
25	63.21	61	154.71
26	140.01	62	176.52
27	150.99	63	177.12
28	163.62	64	109.29
29	165.96	65	31.08
30	174.12	66	63.6
31	182.04	67	72.24
32	101.94	68	77.52
33	62.52	69	76.11
34	134.01	70	87.15
35	141.54	71	87.6
36	153	72	55.95

### 2.1.3.3.3. Yükleme 3 (Kar Yüğü (TS 498))

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden 171(kg/m<sup>2</sup>) kar yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 19' da gösterildiği gibidir.

Tablo 19. Yükleme 3

Kar Yüğü	171(kg/m2)	Kar Yüğü	171(kg/m2)
Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
1	346.959	37	928.017
2	747.27	38	1003.09
3	778.905	39	1006.51
4	936.738	40	582.597
5	913.824	41	354.312
6	953.496	42	765.225
7	1037.63	43	824.562
8	546.516	44	885.78
9	345.933	45	920.322
10	700.587	46	1000.69
11	699.219	47	1013.18
12	841.32	48	597.645
13	900.315	49	357.219
14	965.637	50	751.203
15	1041.9	51	832.599
16	564.984	52	874.152
17	363.546	53	901.341
18	761.292	54	998.811
19	821.826	55	1005.14
20	931.779	56	607.05
21	961.704	57	360.81
22	983.592	58	746.073
23	1055.07	59	838.584
24	574.389	60	878.427
25	360.297	61	881.847
26	798.057	62	1006.16
27	860.643	63	1009.58
28	932.634	64	622.953
29	945.972	65	177.156
30	992.484	66	362.52



Tablo 19' un devamı

Kar Yüğü	171(kg/m <sup>2</sup> )	Kar Yüğü	171(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)	Düğüm Noktası	Nok.Yük (kg)
31	1037.63	67	411.768
32	581.058	68	441.864
33	356.364	69	433.827
34	763.857	70	496.755
35	806.778	71	499.32
36	872.1	72	318.915

#### 2.1.3.3.4. Yükleme 4 (Rüzgar Emme Yüğü)

Uzay kafes sisteminde yapılan bu yükleme tipinde, sisteme etki eden  $0.8q=64$  (kg/m<sup>2</sup>) rüzgar emme yükünün, Şekil 21' de belirlenen üst başlık düğüm noktası numaralandırmasına göre, her bir düğüm noktasına etkiyecek olan noktasal kuvvetleri Tablo 20' de gösterildiği gibidir.

Tablo 20. Yükleme 4

Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )	Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yük (kg)
1	129.856	37	347.328
2	279.68	38	375.424
3	291.52	39	376.704
4	350.592	40	218.048
5	342.016	41	132.608
6	356.864	42	286.4
7	388.352	43	308.608
8	204.544	44	331.52
9	129.472	45	344.448
10	262.208	46	374.528

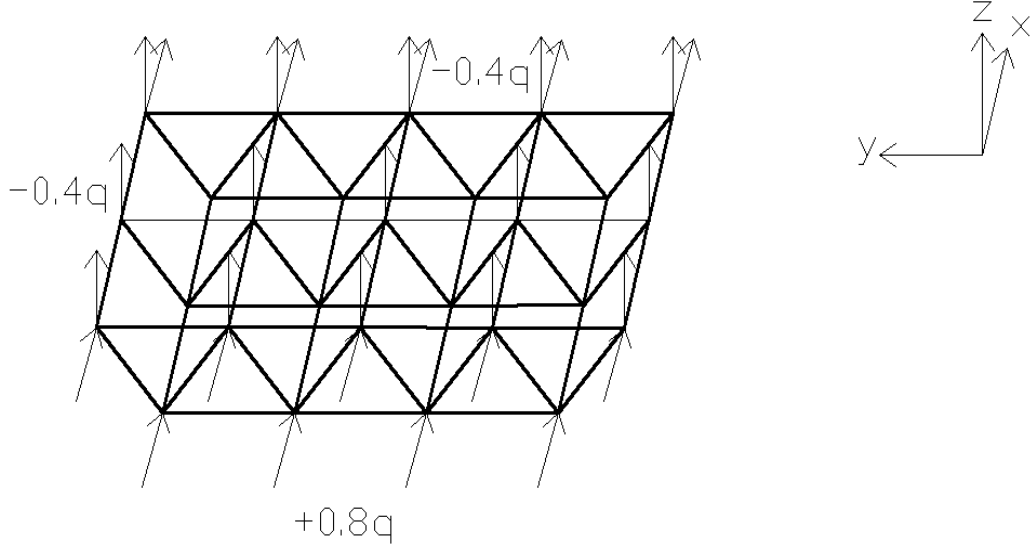
Tablo 20' nin devamı

Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )	Rüzgar Emme Yüğü	0.8q=64(kg/m <sup>2</sup> )
Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)	Düğüm Noktası	Noktasal Yüğü (kg)
11	261.696	47	379.2
12	314.88	48	223.68
13	336.96	49	133.696
14	361.408	50	281.152
15	389.952	51	311.616
16	211.456	52	327.168
17	136.064	53	337.344
18	284.928	54	373.824
19	307.584	55	376.192
20	348.736	56	227.2
21	359.936	57	135.04
22	368.128	58	279.232
23	394.88	59	313.856
24	214.976	60	328.768
25	134.848	61	330.048
26	298.688	62	376.576
27	322.112	63	377.856
28	349.056	64	233.152
29	354.048	65	66.304
30	371.456	66	135.68
31	388.352	67	154.112
32	217.472	68	165.376
33	133.376	69	162.368
34	285.888	70	185.92
35	301.952	71	186.88
36	326.4	72	119.36

### 2.1.3.3.5. Yükleme 5 (+X Yönündeki Rüzgar Yüğü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün +x yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 38' de

gösterilmiştir.



Şekil 38. Rüzgarın +x yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$$

$$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = 187.584 \text{ kg}$$

$$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$$

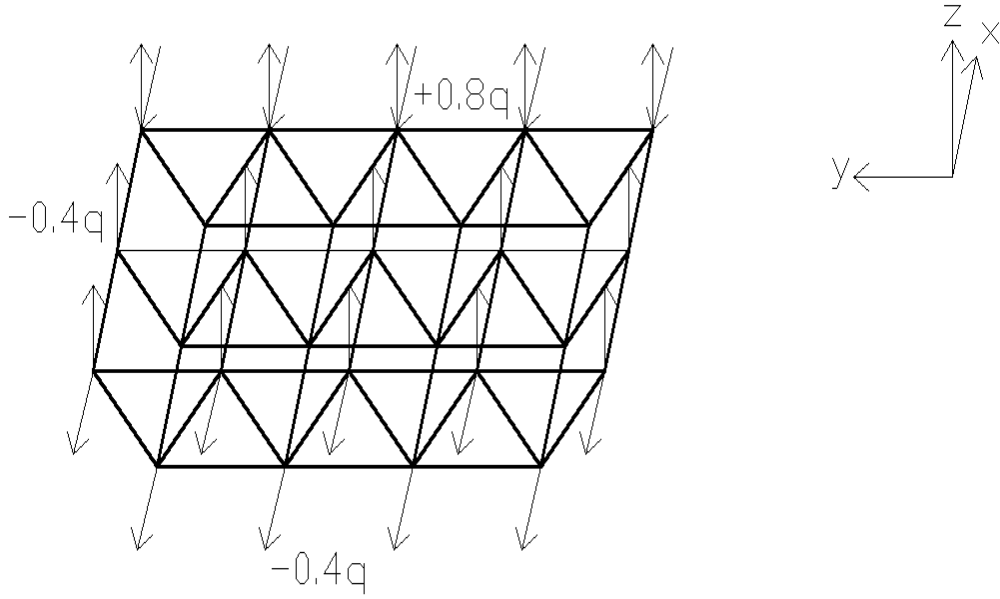
$$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = -146.560 \text{ kg}$$

$$\text{Kenar Düğüm Noktaları} \quad +0.8q = 187.584/2 = 93.792 \text{ kg}$$

$$-0.4q = 146.560/2 = -73.280 \text{ kg}$$

#### 2.1.3.3.6. Yükleme 6 (-X Yönündeki Rüzgar Yükü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün  $-x$  yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 39' da gösterilmiştir.



Şekil 39. Rüzgarın -x yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.588(\text{genişlik}) = 4.580 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.580 \text{ m}^2 = 293.120 \text{ kg}$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 1.656(\text{genişlik}) = 2.931 \text{ m}^2$

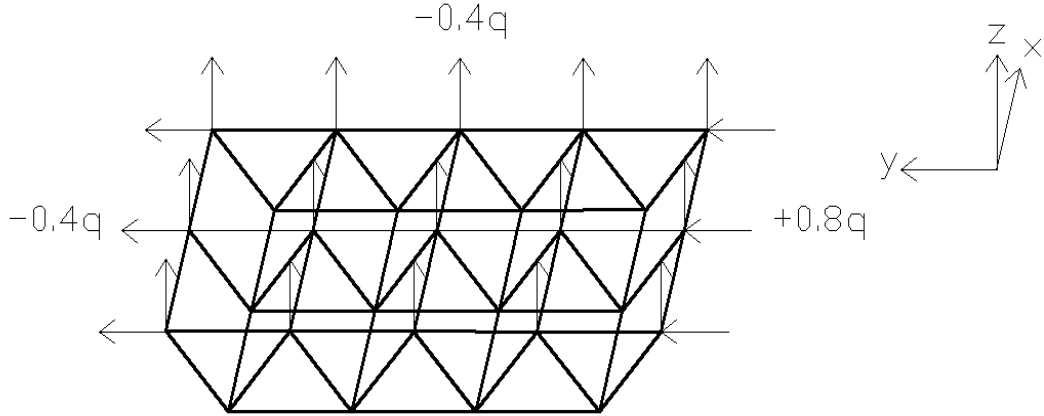
$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 2.931 \text{ m}^2 = -93.792 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 293.120 / 2 = 146.56 \text{ kg}$

$-0.4q = -93.792 / 2 = -46.896 \text{ kg}$

### 2.1.3. 3.7. Yükleme 7 (+Y Yönündeki Rüzgar Yükü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün +y yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 40' ta gösterilmiştir.



Şekil 40. Rüzgarın +y yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$

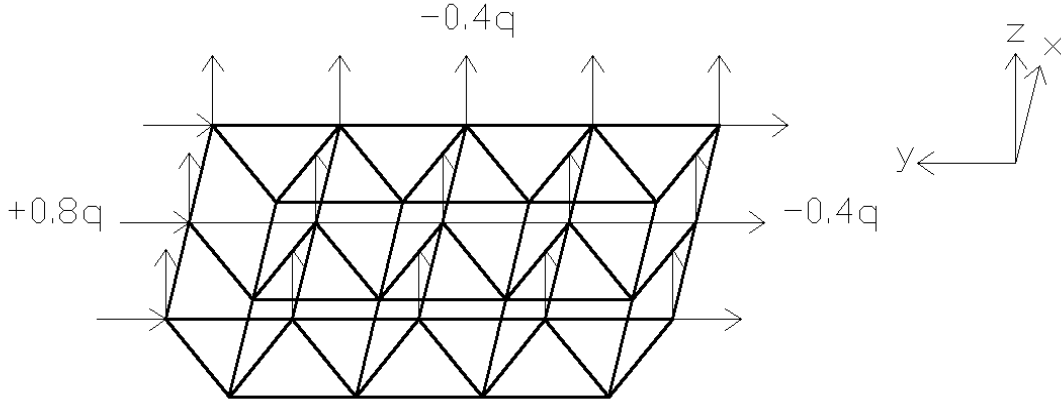
$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 283.328/2 = 141.664 \text{ kg}$

$-0.4q = 141.664/2 = -70.832 \text{ kg}$

### 2.1.3.3.8. Yükleme 8 (-Y Yönündeki Rüzgar Yükü)

Uzay kafes sisteminin maruz kaldığı rüzgar yükünün -y yönünde olması durumunda, düğüm noktalarına etkiyecek olan noktasal yüklerin sisteme nasıl yükleneceği Şekil 41' de gösterilmiştir.



Şekil 41. Rüzgarın -y yönünde etkimesi

Rüzgar yükü:  $80 \text{ kg/m}^2$

$A_i = \text{Etkili alan} = 1.770(\text{yükseklik}) \times 2.551(\text{genişlik}) = 4.427 \text{ m}^2$

$+0.8q = 0.8 \times 80 = 64 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = 283.328 \text{ kg}$

$-0.4q = 0.4 \times 80 = -32 \text{ kg/m}^2 \times 4.427 \text{ m}^2 = -141.664 \text{ kg}$

Kenar Düğüm Noktaları  $+0.8q = 283.328/2 = 141.664 \text{ kg}$

$-0.4q = 141.664/2 = -70.832 \text{ kg}$

### 2.1.3.3.9. Yükleme 9 (+X Yönünde Deprem Yüğü)

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_o =$  Etkin yer ivmesi katsayısı

$S(T) =$  Spektrum katsayısı

$I =$  Bina önem katsayısı

$RA =$  Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;

$A_o = 0.10$

$S(T) = 2.5$

$I = 1.20$

$RA = 5.00$

$C = A_o \cdot S(T) \cdot I / RA = 0.10 \times 2.5 \times 1.20 / 5 = 0.06$

(25)

$P_i(-z) = \text{Uzay zati Yüğü} + \text{Aşık Yüğü} + \text{Kaplama Yüğü} + \text{Tesisat Yüğü} + 0.3 \text{ Kar Yüğü}$   
 $\text{Not} = \text{Kar yüğü hareketli yük olarak kabul edildiği için hareketli yük azaltma katsayısı}$   
olarak 0.3 alınır [ 16].

$$= 14.5 + 5 + 10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$= 68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(x) = 0.06 \times 68.5 = 4.11$$

$$P_d(i) = 4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$

#### **2.1.3.3.10. Yükleme 10 ( +Y Yönünde Deprem Yüğü)**

Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkındaki yönetmeliğe göre Uzay kafes sistemi deprem bölgeleri haritasında IV. Derece deprem bölgesinde kalmaktadır.

$A_o = \text{Etkin yer ivmesi katsayısı}$

$S(T) = \text{Spektrum katsayısı}$

$I = \text{Bina önem katsayısı}$

$RA = \text{Taşıyıcı sistem davranış katsayısı olmak üzere;}$

$$A_o = 0.10$$

$$S(T) = 2.5$$

$$I = 1.20$$

$$RA = 5.00$$

$$C = A_o \cdot S(T) \cdot I / RA = 0.10 \times 2.5 \times 1.20 / 5 = 0.06 \quad (26)$$

$P_i(-z) = \text{Uzay zati Yüğü} + \text{Aşık Yüğü} + \text{Kaplama Yüğü} + \text{Tesisat Yüğü} + 0.3 \text{ Kar Yüğü}$   
 $\text{Not} = \text{Kar yüğü hareketli yük olarak kabul edildiği için hareketli yük azaltma katsayısı}$   
olarak 0.3 alınır [ 16].

$$= 14.5 + 5 + 10 + 15 + 0.3 \times 80$$

$$= 68.5 \text{ kg/m}^2$$

$$P_i(y) = 0.06 \times 68.5 = 4.11$$

$$P_d(i) = 4.11 / 144 = 0.029 \text{ ton} = 29 \text{ kg (Üst başlık düğüm noktası sayısı)}$$

#### **2.1.3.3.11. Yükleme 11 ( Isı Farkı Yüğü)**

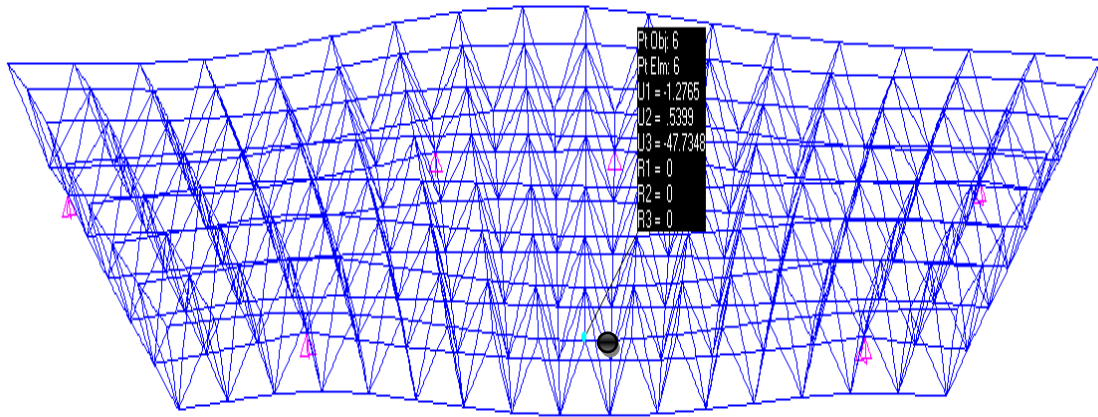
Uzay kafes sistemi statik tasarımında, sistemin maruz kalabileceği sıcaklık etkisi  $\Delta t = \pm 25^\circ\text{C}$  olarak alınmıştır.

### 2.1.3.4. Analiz Sonuçları

Uzay kafes sistemine projesi dışında güçlendirme yapılmış olup, 6 olan mesnet sayısı 10' a çıkarılmıştır. Sistem statik analizleri yapının güçlendirilmeden önceki hali ve güçlendirildikten sonraki hali için birinci durum ve ikinci durum olarak ayrı ayrı yapılmıştır.

#### 2.1.3.4.1. Birinci Durum Analiz Sonuçları

Uzay kafes sisteminin düşey yükler altında, Şekil 42' de gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin -47.7348 mm olduğu sonucuna varılmıştır.

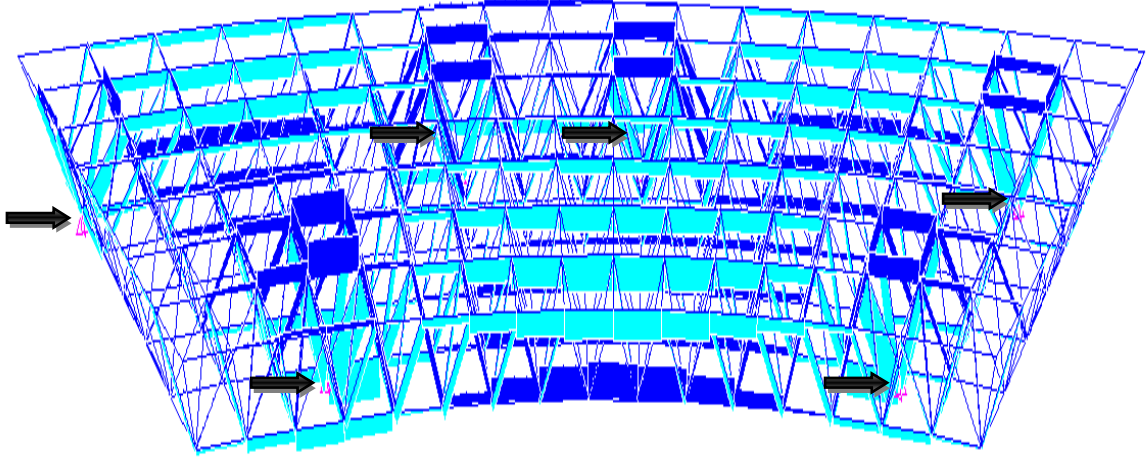


Şekil 42. Sistemdeki maksimum çökme

Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında statik analizi sonrasında kesit boyutlandırması yapılmış ve 221 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz kesitli elemanların büyük çoğunluğu, gerilme değerlerinin fazla olduğu mesnet bölgeleri yakınında ve sistem açıklığının fazla olduğu kısımlarda kalmaktadır. Şekil 43



üzerinde mesnetlerin olduğu noktalar ve uzay kafes sistemi çubuk elemanlarında oluşan gerilmeler grafiksel olarak gösterilmiştir.

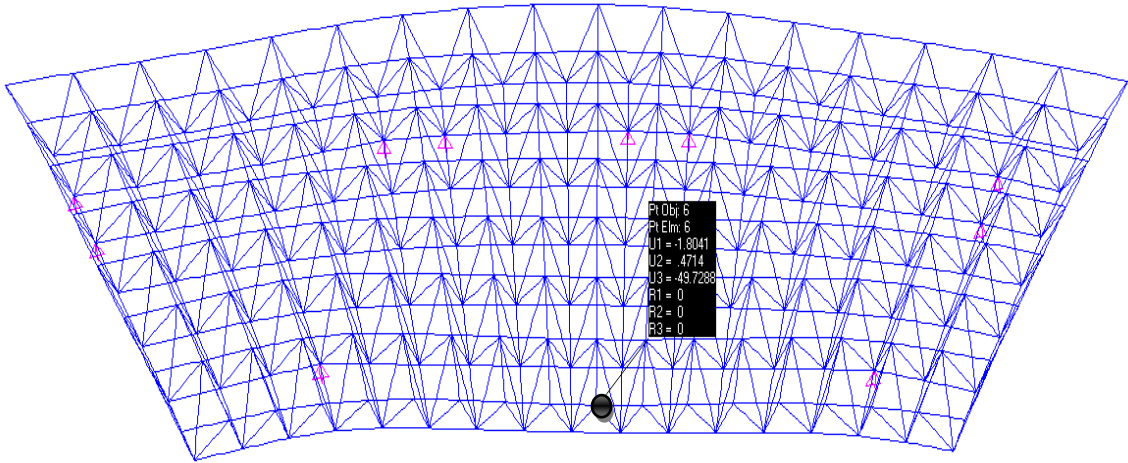


Şekil 43. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri

#### 2.1.3.4.2. İkinci Durum Analiz Sonuçları

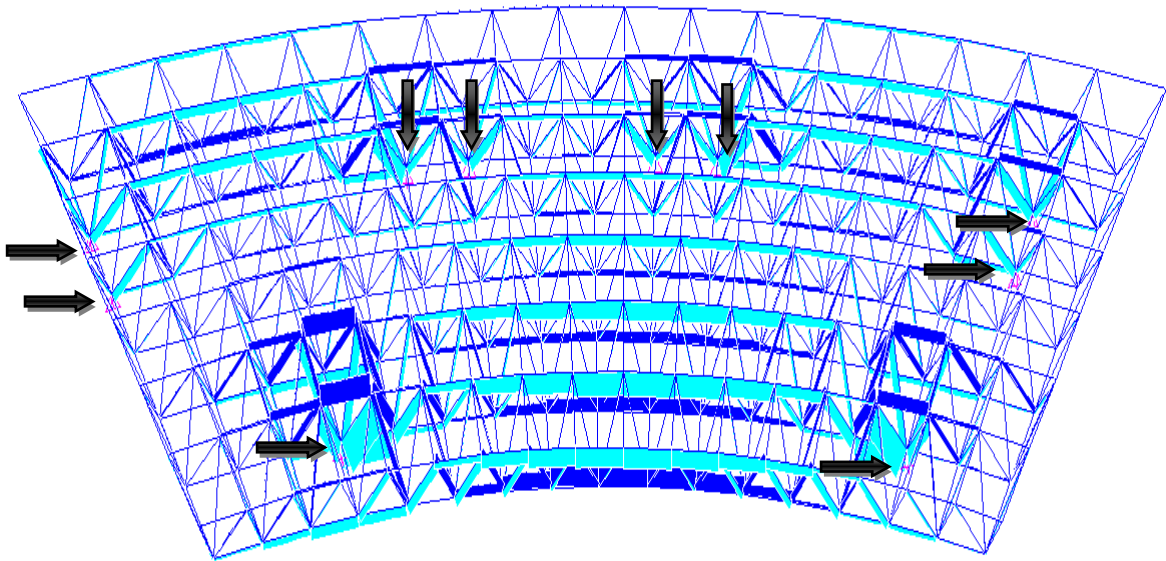
Uzay kafes sistem uygulamasında güçlendirme sonrası (mesnet sayısının 10 olması hali) yapılan analizler sonrasında;

Uzay kafes sisteminin düşey yükler altında, Şekil 44 de gösterilen üst başlık düğüm noktalarından 6 numaralı düğüm noktasında maksimum çökme meydana geldiği ve çökme değerinin -49.7288 mm olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçtan anlaşılacağı üzere sisteme güçlendirme maksatlı eklenen yeni mesnetler, sistemin genelinde oluşan maksimum çökme miktarını artırıcı yönde etki etmişlerdir



Şekil 44. Sistemdeki maksimum çökme

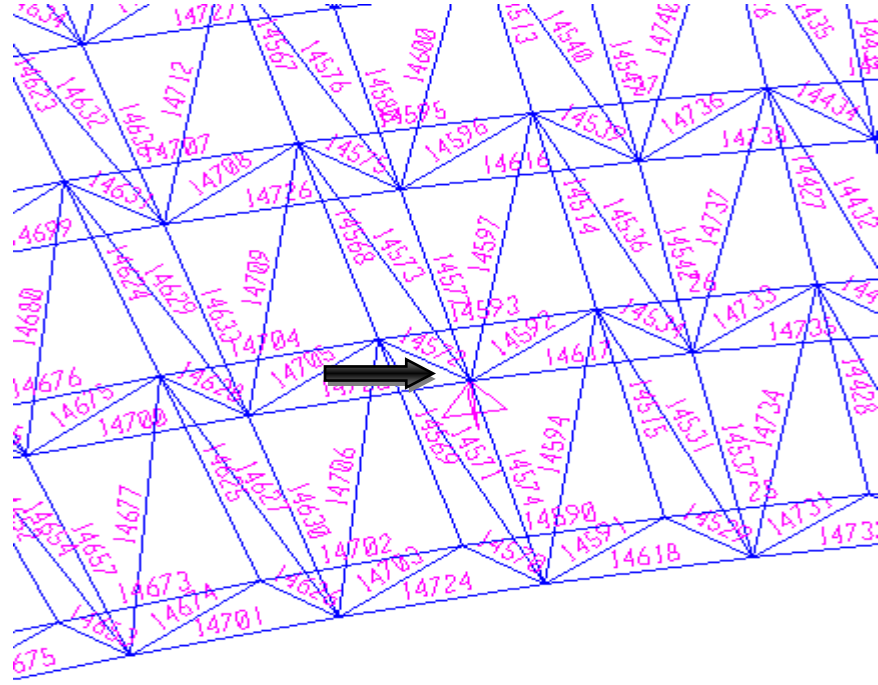
Uzay kafes sisteminin düşey yükler etkisi altında statik analizi sonrası kesit boyutlandırması yapılmış ve 212 çubuk eleman kesitinin yetersiz olduğu tespit edilmiştir. Yetersiz kesitli elemanların büyük çoğunluğu, gerilme değerlerinin fazla olduğu mesnet bölgeleri ve açıklığın fazla olduğu kısımlarda kalmaktadır. Proje dışı yapılan güçlendirme çalışmasının yalnızca 9 adet eleman üzerinde olumlu etkisi olmuştur. Uzay kafes sistemi elemanlarında oluşan gerilme değerleri ve mesnet noktaları Şekil 45 üzerinde grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 45. Düşey yükler altında çekme ve basınç kuvvetleri



Şekil 48' de gösterilen en büyük gerilme kuvvetlerinin oluştuğu 5522 nolu mesnette birleşen kafes sistem elemanları için yapılan analiz sonuçları karşılaştırılacaktır.



Şekil 48. 5522 nolu düğüm noktasında birleşen çubuk elemanlar

Uzay kafes sisteminde en büyük çekme- basınç gerilemelerinin oluştuğu düğüm noktasında birleşen çubuk elemanlarının yapılan analizler sonrasında kesit etkilerindeki değişimler Tablo 21 de verilmiştir.

Tablo 21. Düşey yükler etkisinde, farklı kar yükleri altında kafes sistem çubuklarında meydana gelen gerilmelerin karşılaştırılması (mesnet sayısı 6, güçlendirme yapılmamış durum)

5522. Düğüm Noktası	Kar Yüğü	Kar Yüğü	Artış	Gerilme
Diyagonal elemanları	75 kg/m <sup>2</sup>	171 kg/m <sup>2</sup>	%	Tipi
14572 nolu eleman	-5147.450 kg	-9205.680 kg	78.840	Basınç
14592 nolu eleman	-7159.080 kg	-12867.700 kg	79.740	Basınç

Tablo 21' in devamı

<b>5522. Dügüm Noktası</b>	<b>Kar Yüğü</b>	<b>Kar Yüğü</b>	<b>Artış</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Diyagonal elemanları</b>	<b>75 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>171 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Tipi</b>
14597 nolu eleman	-7321.940 kg	-13176.680 kg	79.962	Basınç
14573 nolu eleman	-5073.680 kg	-9053.970 kg	78.450	Basınç
<b>Alt başlık elemanları</b>				
14577 nolu eleman	-2143.840 kg	-3837.640 kg	79.008	Basınç
14574 nolu eleman	-2030.870 kg	-3631.100 kg	78.795	Basınç
14725 nolu eleman	-2416.710 kg	-4203.680 kg	73.942	Basınç
14617 nolu eleman	-5985.260 kg	-10780.710 kg	80.121	Basınç
<b>Üst başlık elemanları</b>				
14593 nolu eleman	5150.450 kg	9157.120 kg	77.793	Çekme
14568 nolu eleman	4187.930 kg	7495.810 kg	78.986	Çekme
14595 nolu eleman	4699.900 kg	8377.010 kg	78.238	Çekme
14514 nolu eleman	4648.540 kg	8338.880 kg	79.387	Çekme

Uzay kafes sisteminde güçlendirme sonrası, en büyük çekme- basınç gerilemelerinin oluştuğı düğüm noktasında birleşen çubuk elemanlarının, yapılan analizler sonrasında kesit etkilerindeki değışimler Tablo 22 de verilmiştir.

Tablo 22. Düşey yükler etkisinde, farklı kar yükleri altında kafes sistem çubuklarında meydana gelen gerilmelerin karşılaştırılması (mesnet sayısı = 10, güçlendirme yapılmış durum)

<b>5522. Dügüm Noktası</b>	<b>Kar Yüğü</b>	<b>Kar Yüğü</b>	<b>Artış</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Diyagonal elemanları</b>	<b>75 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>171 kg/m<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Tipi</b>
14572 nolu eleman	-4896.41 kg	-8761.58 kg	78.939	Basınç
14592 nolu eleman	-7069.02 kg	-12706.94 kg	79.755	Basınç
14597 nolu eleman	-7215.57 kg	-12993.31 kg	80.073	Basınç
14573 nolu eleman	-4683.15 kg	-8373.09 kg	78.792	Basınç
<b>Alt başlık elemanları</b>				
14577 nolu eleman	-1832.52 kg	-3285.5 kg	79.289	Basınç
14574 nolu eleman	-1970.82 kg	-3520.91 kg	78.652	Basınç
14725 nolu eleman	-1917.2 kg	-3327.89 kg	73.581	Basınç
14617 nolu eleman	-5871.36 kg	-10579.19 kg	80.183	Basınç

Tablo 22' nin devamı

<b>5522. Dügüm Noktası</b>	<b>Kar Yüki</b>	<b>Kar Yüki</b>	<b>Artış</b>	<b>Gerilme</b>
<b>Üst başlık elemanları</b>	<b>75 kg/m2</b>	<b>171 kg/m2</b>	<b>%</b>	<b>Tipi</b>
14593 nolu eleman	4752.72 kg	8454.87 kg	77.895	Çekme
14568 nolu eleman	3981.41 kg	7127.58 kg	79.022	Çekme
14595 nolu eleman	4306.04 kg	7688.46 kg	78.551	Çekme
14514 nolu eleman	4414.22 kg	7920.72 kg	79.436	Çekme

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ülkemizin Doğu Karadeniz bölümünde uygulaması yapılan bir uzay kafes sistemin mevcut projesine göre statik analizleri yapılmış ve düşey yükler altında kesit yeterlilikleri araştırılmıştır. Stadyum çatısı olarak inşa edilen söz konusu uzay kafes sistem 631 m<sup>2</sup>' lik alanı kapsamaktadır ve 6 adet mesnet üzerine yerleştirilmiştir. TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yük değerleri) kapsamında alınan kar yükü değerleriyle statik analiz ve kesit kontrolü yapılmıştır. Sistem ayrıca rüzgâr, deprem ve sıcaklık değişmesi etkileri altında incelenmiştir. Daha sonra Doğu Karadeniz Bölümü için Devlet Meteoroloji İstasyonlarından (DMİ) elde edilen kar verileri ile istatistiksel analiz yöntemleriyle belirlenen ortalama tekerrür süresi (OTS) 50 yıl ve 100 yıl olan zemin kar yükleri kullanılarak sistemin statik analizi yapılmış ve kesit yeterliliği kontrolü tekrarlanmıştır. Son olarak mevcut yapıda projesi dışında yapılmış olan güçlendirmelerin yeterliliği ve etkinliği araştırılmıştır.

Yapılan incelemeler sonucunda mevcut yapının TS 498' e göre hesaplanan kar yükü değerleri için bazı elemanlarda gerilmelerin yüksek olduğu, kesitlerin yetersiz kaldığı ve bu durumun büyük oranda mesnet bölgelerinde olduğu gözlenmiştir. Sisteme projesi dışında yapılmış olan güçlendirme amacına ulaşmadığı, yetersiz kaldığı ve bu müdahalenin düğüm noktalarındaki maksimum çökme miktarını artırıcı yönde etki yaptığı tespit edilmiştir. Kar yüklerinin kar verisi istatistiklerine dayanarak hesaplandığı durumda ise maksimum gerilmelerde %75 - %80 oranlarında artışlar görülmüştür.

Bu çalışmada Doğu Karadeniz Bölümünde uygulaması yapılan bir uzay kafes sisteminin;

TS 498 (Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yük değerleri) ve Doğu Karadeniz Bölümü için Devlet Meteoroloji İstasyonlarından (DMİ) elde edilen kar verileri ile istatistiksel analiz yöntemleriyle belirlenen ortalama tekerrür süresi (OTS) 50 yıl ve 100 yıl olan zemin kar yükleri kullanılarak analizleri yapılmış, sistemi oluşturan elemanların farklı kar yükleri altında kesit yeterlilikleri araştırılmıştır. Çalışmadan çıkarılan önemli sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

-TS 498' den alınan Kar yükü değeri ile yapılan analizlerde gerilmelerin fazla olduğu ve eleman kesitlerinin yetersiz olduğu bölgeler büyük oranda mesnet bölgeleri olmaktadır. Yapılan analizler sonucu düşey yükler altında yaklaşık 123 eleman kesitinin yetersiz olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca sistem düğüm noktalarında meydana gelen maksimum çökme üst başlık düğüm noktalarında olup bu değer -26.349 mm' dir.

-Diğer yandan incelenen uzay kafes sistemine projesi dışında güçlendirme yapılmış olduğu tespit edilmiştir. Projesinde 6 olan mesnet sayısının sistem uygulamasında 10' a çıktığı gözlemlenmiş ve sistemin güçlendirilmiş durumu için bütün analizler tekrarlanmıştır. Mesnet sayısının 10 olması durumunda sistem düğüm noktalarındaki maksimum çökme -27.4719 mm olmaktadır. Yani sisteme projesi dışında yapılan müdahale düğüm noktalarındaki maksimum çökme miktarını artırıcı yönde etki yapmıştır. Bunun yanında kesiti yetersiz eleman sayısı 8 adet azalarak 115 olmuştur.

-Doğu Karadeniz Bölümü için Devlet Meteoroloji İstasyonlarından (DMİ) elde edilen kar verileri ile istatistiksel analiz yöntemleriyle belirlenen ortalama tekerrür süresi (OTS) 50 yıl ve 100 yıl olan zemin kar yükleri[6] kullanılarak sistemin statik analizi yapılmış ve düşey yükler altında kesiti yetersiz olan eleman sayısının 221' e çıktığı tespit edilmiştir. Düğüm noktalarında meydana gelen maksimum çökme -47.7348 mm olmuştur. Maksimum gerilmelerin olduğu kesitlerde kar yükünün değişmesi ile beraber %75 - %80 oranında gerilme artışları olmuştur. Buna bağlı olarak TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri şartnamesi Doğu Karadeniz Bölgesi için yetersiz olduğu sonucu çıkarılabilir.

-Uzay kafes sisteme projesi dışında eklenen mesnetlerle birlikte sistem analizleri tekrarlanmış ve varılan analiz sonuçlarında düğüm noktalarında meydana gelen maksimum çökme miktarı -49.7288 mm olduğu tespit edilmiştir. Yapılan güçlendirme çalışması ile beraber çökme miktarının arttığı, kesiti yetersiz eleman sayısının ise 9 eleman azalarak 212 olduğu tespit edilmiştir.

-İncelenen uzay kafes sistem örneğinde 952 çubuk eleman olduğuna göre son durumdaki yetersiz kesit sayısı toplam eleman sayısının % 23.21 oranında olmaktadır.

-Ulaşılan sonuçlardan hareketle geçmişte yapılmış özellikle büyük açıklıkları kapatmak için kullanılan uzay kafes sistemlerin analizlerinin günümüz imkanları ve teknolojisi dahilinde denetlenmesi gerektiği rahatlıkla söylenebilir. Hava şartlarından en



çok etkilenen yapı türü olan çelik yapıların bakımlarının rutin aralıklarla yapılmadığı durumda istenmeyen sonuçlarla karşılaşılacağı muhtemeldir.

-Günümüzde yapılan ve yapılacak olan yapıların kar yüklerinin, güncel istatistiki verilerle elde edilmesi gerektiği söylenebilir. Ayrıca yapının olduğu bölge şartları, yapının geometrik özellikleri, rüzgara maruz olup olmama durumlarını da içeren daha gerçekçi ve doğru analizler yapılmalı ve tamamen alt sınır değerler kullanılarak boyutlandırmaya geçmenin sakıncaları göz önünde bulundurulmalıdır.

-Bu çalışma uzay kafes sistemlerin tasarımında optimizasyon tekniklerini de kullanarak en ekonomik ve en güvenli yapıyı elde edecek şekilde geliştirilebilir.

#### 4.KAYNAKLAR

1. Ay Z. ve Durmuş G., Prefabrike Çelik Uzay Kafes Sistemler ve Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar, Türkiye Mühendislik Haberleri, 418, 2002.
2. Ayhün, E., Uzay Kafes Sistemlerin Farklı Bölge Koşullarında Davranışının İncelenmesi ve Karşılaştırmalı Proje Çözümleri, Yüksek Lisans Tezi, O.M.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006.
3. Ülker, F., Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemlerin Statik ve Dinamik Analizi Yüksek Lisans Tezi, F.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 2007.
4. Özbahar, E., Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Dizaynı Yüksek Lisans Tezi, S.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2007.
5. Eşsizoglu, B., Uzay Kafes Sistemlerinin Sayısal Yöntemle Analizi Yüksek Lisans Tezi H.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2008.
6. Durmaz, M., Doğu Karadeniz Bölgesindeki Çatıların Optimum Kar Yüklerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
7. Durmaz M.ve Daloğlu A., Kar Verilerinin İstatistiksel Analizi ve Doğu Karadeniz Bölgesinin Zemin Kar Yükü Haritasının Oluşturulması, İMO Teknik Dergi, 2005, 3619-3642, Ankara, 2005.
8. Ellingwood, B. and O'Rourke M. J., Probabilistic Models of Snow Loads on Structures, Structural Safety, 2, 4 (1985) 291-299.
9. O'Rourke, M. J., Redfield, R. ve Bradsky, P. V., Uniform Snow Loads on Structures, Journal of the Structural Division, 108, 12 (1982) 2781-2798.
10. O'Rourke, M. J. and Stiefel, U., Roof Snow Loads for Structural Engineering, Journal of Structural Engineering, 109, 7 (1982) 1527-1537.
11. Türkçü H.Ç., Uzay Çerçeve Çatıyı Farklı Geometrik Olanaklar Arasından Seçmede Kullanılabilecek Ölçütler ve Yöntemi, EÜ Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, Yayın 15, İzmir, 1982.
12. Orbay, A. ve Savaşır, K., TonoZ Biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin Çeşitli Kriterler Açısından Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi 6,1(2004) 39-49.
13. Makowski Z.S, Steel Space Structures, Michael Joseph Ltd, London, 1966.
14. TS 648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, I. Baskı, Aralık 1980.
15. <http://www.insaatim.com/?pid=yazidetay&yazi=26>, Uzay Kafes Sistem Montajı 25 Kasım 2011.
16. Topçu, A., Kar Yükü ve Çöken Çatılar. <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu/> 25 Ekim 2011.
17. TS 7046 Yapıların Tasarımı için Esaslar - Çatılardaki Kar Yüklerinin Tespiti, T.S.E.,

Ankara,I. Baskı, Mayıs 1989.

18. TS 498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, T.S.E., Ankara, II. Baskı, Kasım 1997.
19. Aydın Z., Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2000.
20. T.C. Resmi Gazete, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. (26454),06.03.2007.

## ÖZGEÇMİŞ

Mustafa VURAL, 1986 yılında Bludenz/ Avusturya' da doğmuştur. İlk öğrenimini Yavuz Selim İlkokulu, orta öğrenimini Mehmet Akif Ersoy İlköğretim okulu ve lise öğrenimini Trabzon Lisesinde tamamlamıştır. 2004 yılında, Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2008 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra aynı yıl K.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programında Yüksek Lisans öğrenimine başlamıştır. Ağustos 2008-Ağustos 2009 tarihleri arasında özel mühendislik bürosunda statik proje tasarımcısı olarak çalışmıştır. Ağustos 2009-Ocak 2010 tarihleri arasında askerlik görevini yerine getirmiştir. 2010 yılı şubat ayında Trabzon Of Bölümlü Belediyesinde Fen İşleri Müdür Vekili - İnşaat Mühendisi olarak çalışmaya başlamıştır ve halen bu görevine devam etmekte olup iyi derecede İngilizce bilmektedir.