

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİK KUBBE FORMLU BİR TAŞIYICI SİSTEMİN AISC 360-10  
YÖNETMELİĞİ KULLANILARAK MAFSALLI VE ANKASTRE DÜĞÜM  
NOKTASI TİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mithat KUZULU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2015**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEODEZİK KUBBE FORMLU BİR TAŞIYICI SİSTEMİN AISC 360-10  
YÖNETMELİĞİ KULLANILARAK MAFSALLI VE ANKASTRE DÜĞÜM  
NOKTASI TİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mithat KUZULU  
(501071070)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN**

**MAYIS 2015**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501071070 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Mithat KUZULU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**JEODEZİK KUBBE FORMLU BİR TAŞIYICI SİSTEMİN AISC 360-10 YÖNETMELİĞİ KULLANILARAK MAFSALLI ve ANKASTRE DÜĞÜM NOKTASI TİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Yrd. Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Filiz PİROĞLU**  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Yrd. Doç. Dr. Meltem ŞAHİN**  
Mimar Sinan Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **4 Mayıs 2015**  
**Savunma Tarihi :** **28 Mayıs 2015**



*Anneme ve Babama,*

*İstanbul-2015*



## ÖNSÖZ

İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Mühendisliği yüksek lisans programı çerçevesinde hazırlanan bu yüksek lisans tezinde; jeodezik kubbenin yapısal davranışları ve temel tasarım doktrinleri anlatıldıktan sonra, örnek bir kubbe yapı seçilmiş, düğüm noktaları mafsallı ve ankastre iki sistem olarak ASCE 7-10, AISC 360-10 ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre modellenmiş ve boyutlandırılmıştır. Modelleme yapılırken, jeodezik formun oluşturulması için "Geodesica" yazılımı kullanılmıştır. Yapının statik ve dinamik analizleri için "SAP2000" yapısal analiz programı kullanılmıştır. Yapının davranış spektrum analizine göre deprem hesapları yapılmıştır. Yapının genel burkulma, stabilite kontrolleri yapılmış ve eleman tasarımlarıyla çalışma tamamlanmıştır.

En yoğun olduğu günlerde dahi tez çalışmamıza zaman ayırabilmiş, her zaman gösterdiği yapıcı ve mütevazı tavırlarıyla hatırlayacağım saygıdeğer tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Barlas Özden ÇAĞLAYAN'a içtenlikle teşekkür ederim.

Mezunu olmaktan gurur duyduğum TEKNİK ÜNİVERSİTE'ye şükranlarımı sunarım.

Mayıs 2015

Mithat Kuzulu  
İnşaat Mühendisi



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xiii
SEMBOL LİSTESİ.....	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY .....	xxiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	1
1.2 Literatür Araştırması .....	1
<b>2. TAŞIYICI SİSTEM OLARAK KEMER VE KUBBELER.....</b>	<b>3</b>
2.1 Kemer ve Kubbe Tanımları.....	3
2.1.1 Kemer taşıyıcı sistemler.....	3
2.1.2 Kubbe taşıyıcı sistemler.....	5
2.2 Jeodezik Kubbe Tanımları & Örnekleri.....	5
2.2.1 Jeodezik kubbeler hakkında genel bilgi .....	5
2.2.2 Buckminster Fuller.....	7
2.2.3 Jeodezik kubbelerde frekans kavramı .....	9
2.2.4 Jeodezik kubbe örnekleri .....	11
2.2.5 Jeodezik kubbelerde düğüm noktası örnekleri.....	13
2.3 Jeodezik Kubbelerin Statik ve Dinamik Davranışlarına Giriş .....	14
<b>3. İNCELENECEK JEODEZİK KUBBE YAPININ TANITILMASI.....</b>	<b>15</b>
3.1 Yapıya Dair Genel Tanımlar .....	15
3.1.1 Üç boyutlu görünüş .....	15
3.1.2 Geometri.....	15
3.1.3 Boyutlar & ölçüler .....	16
3.1.4 Yapının konumu.....	16
3.1.5 Yapının kullanım amacı .....	16
3.1.6 Kaplama özellikleri .....	16
3.2 Taşıyıcı Sistem ve Taşıyıcı Elemanlara Dair Tanımlar.....	17
3.3 Hesaplarda Kullanılacak Standartlar & Yönetmelikler.....	17
<b>4. ANALİZ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI VE TANITIMI .....</b>	<b>19</b>
4.1 Analiz Modelinde Yapının ve Yapısal Elemanların Tanımlanması.....	19
4.1.1 Geometrinin oluşturulması.....	19
4.1.2 Malzeme ve yapısal elemanların tanımlanması .....	22
4.1.2.1 Malzemeler.....	22
4.1.2.2 Yapısal elemanlar.....	24
4.1.3 Mesnet durumları ve düğüm noktası serbestliklerinin tanımlanması .....	26
4.1.3.1 Düğüm noktaları.....	26
4.1.3.2 Mesnetler.....	26

4.2 Sisteme Etkiyen Yüklerin Tanımlanması ve Analiz Modeline İşlenmesi.....	27
4.2.1 Yük tanımları ve yapıya etkiyen yükler .....	27
4.2.1.1 Ölü yükler.....	27
4.2.1.2 Kaplama yükleri .....	27
4.2.1.3 Deprem yükleri.....	28
4.2.1.4 Rüzgar yükleri .....	33
4.2.1.5 Kar yükleri.....	37
4.2.1.6 Sıcaklık farkından doğan yükler .....	40
4.2.2 Yük kombinasyonları .....	40
4.2.2.1 Kesit tahkikleri için kullanılacak yük kombinasyonları.....	40
4.2.3 Yükleme şekilleri .....	43
4.2.3.1 Ölü yükler.....	43
4.2.3.2 Kaplama yükleri .....	43
4.2.3.3 Deprem yükleri.....	45
4.2.3.4 Rüzgar yükleri .....	47
4.2.3.5 Kar yükleri.....	48
4.2.3.6 Sıcaklık farkından doğan yükler .....	50
<b>5. ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....</b>	<b>51</b>
5.1 Analiz Modelindeki Genel Tanımlar.....	51
5.2 Mafsallı Düğüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Sisteme Ait Yapısal Analiz	
Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	54
5.2.1 Modal analiz sonuçları .....	54
5.2.1.1 Kütle katılım oranı .....	54
5.2.1.2 Yapının modal davranışı .....	54
5.2.2 Genel burkulma analizi sonuçları.....	56
5.2.3 Nokta deplasmanları.....	57
5.2.4 Tasarımda kullanılan çelik profiller .....	57
5.2.4.1 Malzeme listesi.....	57
5.2.4.2 Profilere ait mekanik özellikler.....	57
5.2.5 Çubuk kuvvetleri ve hesap yöntemi .....	58
5.2.5.1 Analiz sonucu ortaya çıkan çubuk kuvvetleri .....	58
5.2.5.2 AISC 360-10 emniyet gerilmesi yöntemi yaklaşımı .....	58
5.2.5.3 Eksenel çekmeye çalışan yapısal elemanlar.....	59
5.2.5.4 Basınca çalışan yapısal elemanlar .....	62
5.2.6 120x120x5 Profil tahkikleri .....	64
5.2.6.1 Basınç gerilmesi tahkikleri.....	64
5.2.6.2 Çekme gerilmesi tahkikleri .....	65
5.2.7 120x120x10 Profil tahkikleri .....	66
5.2.7.1 Basınç gerilmesi tahkikleri.....	66
5.2.7.2 Çekme gerilmesi tahkikleri .....	67
5.3 Ankastre Düğüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Sisteme Ait Yapısal Analiz	
Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	68
5.3.1 Modal analiz sonuçları .....	68
5.3.1.1 Kütle katılım oranı .....	68
5.3.1.2 Yapının modal davranışı .....	68
5.3.2 Genel burkulma analizi sonuçları.....	69
5.3.3 Nokta deplasmanları.....	70
5.3.3.1 Malzeme listesi.....	70
5.3.3.2 Profilere ait mekanik özellikler .....	70
5.3.3.3 SAP2000 gerilme analizi.....	71

5.4 Mafsallı Dügüm Noktası Hesap Örneđi .....	71
5.4.1 Kaynak yeterlilik kontrolü .....	73
5.4.2 Civata kesme hesabı .....	73
5.4.3 Bağlantı plakası ezilme tahkiki .....	74
5.4.4 Birleşim parçası gerilme analizi .....	74
<b>6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>79</b>
6.1 Jeodezik Kubbe Davranışı .....	79
6.2 Mafsallı Dügüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Model .....	79
6.3 Ankastre Dügüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Model .....	80
6.4 Uygulamaya Yönelik Öneri .....	81
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>85</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>94</b>



## **KISALTMALAR**

<b>ASD</b>	: Emniyet Gerilmesi Yöntemi (Allowable Stress Design)
<b>AISC</b>	: American Institute of Steel Construction
<b>DBYBHY</b>	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers
<b>SAP</b>	: Structural Analysis Program
<b>SRSS</b>	: Square Root of the Sum of Squares
<b>CQC</b>	: Complete Quadratic Combination
<b>EX</b>	: X Yönünde Deprem Yükleme
<b>EY</b>	: Y Yönünde Deprem Yükleme
<b>WX</b>	: X Yönünde Rüzgar Yükleme
<b>WY</b>	: Y Yönünde Rüzgar Yükleme
<b>S</b>	: Dengelenmiş Kar Yükleme
<b>Sd</b>	: Dengelenmemiş Kar Yükleme
<b>T</b>	: Sıcaklık Farkı Yükleme
<b>K</b>	: Kaplama Ağırlığı Yükleme
<b>SELF</b>	: Çelik Kendi Ağırlığı Yükleme
<b>D</b>	: Ölü Yük Toplamı



## SEMBOL LİSTESİ

<b>R</b>	: Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
<b>S(T)</b>	: Spektrum katsayısı
<b>T(A), T(B)</b>	: Spektrum karakteristik periyotları
<b>V<sub>t</sub></b>	: Binaya etkiyen toplam deprem yükü
<b>V<sub>t</sub>'</b>	: Yapıya ait toplam taban kesme kuvveti
<b>W</b>	: Binanın hareketli toplam ağırlığı
<b>A<sub>o</sub></b>	: Etkin yer ivmesi
<b>D<sub>max</sub></b>	: Yapıya ait maksimum deplasman
<b>e<sub>x</sub>, e<sub>y</sub></b>	: “x” ve “y” doğrultularındaki dış merkezlikler
<b>i</b>	: Eylemsizlik yarıçapı
<b>M<sub>2</sub></b>	: 2 nolu lokal eksene göre moment değeri
<b>M<sub>3</sub></b>	: 3 nolu lokal eksene göre moment değeri
<b>A(T)</b>	:Spektral ivme katsayısı
<b>S<sub>ae</sub>(T)</b>	:Elastik spektral ivme
<b>I</b>	:Bina önem katsayısı
<b>g</b>	:Yerçekimi ivmesi
<b>f</b>	:Polihedron frekans katsayısı
<b>E<sub>s</sub></b>	:Elastisite modülü
<b>σ<sub>a</sub></b>	:Akma gerilmesi
<b>σ<sub>çem</sub></b>	:Çekme gerilmesi
<b>τ<sub>em</sub></b>	:Kayma gerilmesi
<b>λ</b>	:Narinlik katsayısı
<b>λ<sub>p</sub></b>	:Kompakt elemanlar için narinlik katsayısı
<b>λ<sub>r</sub></b>	:Kompakt olmayan elemanlar için narinlik katsayısı
<b>C<sub>p</sub></b>	:Rüzgar basınç katsayısı
<b>G</b>	:Fırtına etkisi
<b>K<sub>zt</sub></b>	:Topoğrafik faktör
<b>K<sub>d</sub></b>	:Rüzgar doğrusallık faktörü
<b>C</b>	:Yapı etki kategorisi
<b>V</b>	:Nominal rüzgar hızı
<b>C<sub>t</sub></b>	:Termal faktör



## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 4.1	: S235JR sınıfı malzemelerin mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 4.2	: S275JR sınıfı malzemelerin mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 4.3	: DBYBHY'de tanımlanan enkesit koşulları. ....	25
Çizelge 4.4	: DBYBHY'ye göre etkin yer ivmesi katsayıları.....	30
Çizelge 4.5	: DBYBHY bina önem katsayısı tablosu.....	30
Çizelge 4.6	: DBYBHY spektrum karakteristik periyotları. ....	31
Çizelge 4.7	: DBYBHY'ne göre taşıyıcı sistem davranış katsayıları.....	32
Çizelge 4.8	: ASCE 7-10 yüklere göre yapı risk sınıfları.....	33
Çizelge 4.9	: ASCE 7-10'a göre topoğrafik faktörler.....	34
Çizelge 4.10	: ASCE 7-10 yükseklik - etki tablosu.....	35
Çizelge 4.11	: ASCE 7-10'a göre dış basınç çarpanları. ....	36
Çizelge 4.12	: ASCE 7-10 etkilenme faktörü ( $C_e$ ) tablosu.....	38
Çizelge 4.13	: ASCE 7-10 termal faktör ( $C_t$ ) tablosu.....	38
Çizelge 4.14	: ASCE 7-10 çatı kar yükü ( $C_s$ ) tablosu.....	39
Çizelge 4.15	: ASCE 7-10 dengelenmemiş kar yükü tablosu.....	40
Çizelge 4.16	: Spektrum grafiği için veri tablosu.....	45
Çizelge 5.1	: Kütle katılım oranları. ....	54
Çizelge 5.2	: Yapı hakim periyotları.....	54
Çizelge 5.3	: Mutlak nokta deplasmanları. ....	57
Çizelge 5.4	: Malzeme listesi.....	57
Çizelge 5.5	: 120x120x5 kutu profil mekanik özellikleri.....	57
Çizelge 5.6	: 120x120x10 Kutu profil mekanik özellikleri.....	58
Çizelge 5.7	: Çubuk ekstremum aksenal kuvvetleri. ....	58
Çizelge 5.8	: Kütle katılım oranları. ....	68
Çizelge 5.9	: Yapı hakim periyotları.....	68
Çizelge 5.10	: Mutlak nokta deplasmanları. ....	70
Çizelge 5.11	: Malzeme listesi.....	70
Çizelge 5.12	: 80x80x5 kutu profil mekanik özellikleri.....	70
Çizelge 5.13	: AISC 360-10'a göre minimum köşe kaynak kalınlıkları. ....	73
Çizelge A.1	: Birleşim elemanı gerilme verileri 1/4.....	88
Çizelge A.2	: Birleşim elemanı gerilme verileri 2/4.....	89
Çizelge A.3	: Birleşim elemanı gerilme verileri 3/4.....	90
Çizelge A.4	: Birleşim elemanı gerilme verileri 4/4.....	91



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1	: Geçmişten günümüze kemer taşıyıcı çeşitleri.....	3
Şekil 2.2	: Yığıma yapı ve destekli kemer.....	4
Şekil 2.3	: Levant bölgesi.....	4
Şekil 2.4	: Kemer taşıyıcılarda yük dağılım şeması.....	4
Şekil 2.5	: Kubbe çeşitleri.....	5
Şekil 2.6	: Platon ve Arşimet katı cisim modelleri.....	6
Şekil 2.7	: Polihedronlarda frekans ve bölümlene sayılarına göre yapılar.....	7
Şekil 2.8	: İkosahedron, küresel üçgen ve ana daire [12].....	8
Şekil 2.9	: Alt sınıf bölümlene yöntemleri [13].....	9
Şekil 2.10	: Jeodezik kubbelerde frekansa bağlı geometrik değişimler.....	10
Şekil 2.11	: Farklı frekans örnekleri ve küresel üçgenler.....	10
Şekil 2.12	: Çeşitli kubbe formları.....	11
Şekil 2.13	: Fukuoka Dome – Japonya.....	11
Şekil 2.14	: Konya Bilim Merkezi – Türkiye.....	12
Şekil 2.15	: Nagoya Dome – Japonya.....	12
Şekil 2.16	: Tacoma Dome – ABD.....	13
Şekil 2.17	: Düğüm noktaları – 1/2.....	13
Şekil 2.18	: Düğüm noktaları – 2/2.....	14
Şekil 3.1	: Yapının üç boyutlu görünüşü.....	15
Şekil 3.2	: Polihedrona ait frekans gösterimi.....	16
Şekil 4.1	: 4V Bir üçgenin normalizasyonu ve küresel üçgen forma getirilmesi ....	19
Şekil 4.2	: Dik kesişen üç ana düzlem çizimi ile ikosahedronun oluşturulması.....	20
Şekil 4.3	: Geodesica yazılımı ekran görüntüsü.....	20
Şekil 4.4	: Frekans ve alt kesim işlemi.....	21
Şekil 4.5	: Alt noktaların düzenlenmesi – 1/2.....	21
Şekil 4.6	: Alt noktaların düzenlenmesi – 2/2.....	21
Şekil 4.7	: Analiz modeline aktarılan çizim dosyası.....	22
Şekil 4.8	: EN10025’e göre malzeme notasyonu.....	22
Şekil 4.9	: Kaplama sistem görünüşleri.....	26
Şekil 4.10	: Mafsallı düğüm noktalı sistem.....	26
Şekil 4.11	: Ankastre düğüm noktalı sistem.....	27
Şekil 4.12	: Mesnet durumları.....	27
Şekil 4.13	: Eksantrik yükleme şeması.....	29
Şekil 4.14	: DBYBHY’ne göre spektrum fonksiyon grafiği.....	31
Şekil 4.15	: ASCE 7-10'a göre hesaplanan rüzgar yük değerleri.....	37
Şekil 4.16	: Analiz modeli kaplama görüntüsü.....	44
Şekil 4.17	: Analiz modeli kaplama yükleme görüntüsü 1/2.....	44
Şekil 4.18	: Analiz modeli kaplama yükleme görüntüsü 2/2.....	44
Şekil 4.19	: Davranış spektrum fonksiyonu.....	46
Şekil 4.20	: Rüzgar yükü yükleme gösterimi “– X” yönünde etkitilen yükler.....	47
Şekil 4.21	: Rüzgar yükü yükleme gösterimi “– Z” yönünde etkitilen yükler.....	48

Şekil 4.22 : (S) kar yükü yükleme gösterimi “- Z” yönünde etkitilen yükler. ....	49
Şekil 4.23 : (Sd) kar yükü yükleme gösterimi “- Z” yönünde etkitilen yükler .....	49
Şekil 5.1 : Analiz modeli mod tanımları sayfası.....	51
Şekil 5.2 : Modal analiz kütle tanımları sayfası.....	52
Şekil 5.3 : Dengeli kar yüküne göre genel burkulma analizi yük tanımları. ....	53
Şekil 5.4 : Dengelenmemiş kar yüküne göre genel burkulma analizi yük tanımları.	53
Şekil 5.5 : 1. Doğal titreşim periyodu davranış simülasyonu. ....	55
Şekil 5.6 : Dengelenmiş kar yükü içeren genel burkulma analizi sonucu. ....	56
Şekil 5.7 : Dengelenmemiş kar yükü içeren genel burkulma analizi sonucu. ....	56
Şekil 5.8 : Düğüm noktası uzunluğu.....	60
Şekil 5.9 : Kesme fazı katsayısı (U) değerleri. ....	61
Şekil 5.10 : Eksenel yükler altındaki elemanlarda enkesit - et kalılığı oranları. ....	62
Şekil 5.11 : AISC 360-10 burkulma tipleri tanım tablosu. ....	63
Şekil 5.12 : Yapının 1. Doğal titreşim periyodu davranış simülasyonu. ....	69
Şekil 5.13 : Dengelenmemiş kar yüklemeli genel burkulma davranışı. ....	69
Şekil 5.14 : Çubuk stres analizi. ....	71
Şekil 5.15 : Düğüm noktası kesitleri – 1/2.....	72
Şekil 5.16 : Düğüm noktası kesitleri – 2/2.....	72
Şekil 5.17 : AISC 360-10 Kaynak dayanım azaltma katsayıları. ....	72
Şekil 5.18 : Analizi yapılan birleşim elemanının izometrik görünüşü. ....	75
Şekil 5.19 : Birleşim elemanlarının çubuklarla birlikte yerleşimi. ....	75
Şekil 5.20 : Sonlu eleman analiz modeli.....	75
Şekil 5.21 : Yük etkitme noktaları ve yerel eksenler. ....	76
Şekil 5.22 : Yük konfigürasyonları 1/3.....	76
Şekil 5.23 : Yük konfigürasyonları 2/3.....	77
Şekil 5.24 : Yük konfigürasyonları 3/3.....	77
Şekil 5.25 : Maksimum gerilme değerinin görüldüğü gerilme diyagramı.....	78
Şekil A.1 : Çubuk eleman – birleşim elemanı bağlantı şekli.....	86
Şekil A.2 : 120x120x5, 120x120x10 çubuk eleman çizimi 1/2.....	86
Şekil A.3 : 120x120x5, 120x120x10 çubuk eleman çizimi 2/2.....	87
Şekil A.4 : Birleşim elemanı görünüşleri.....	87
Şekil A.5 : Birleşim elemanı ölçüleri.....	88
Şekil A.6 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 1/3.....	92
Şekil A.7 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 2/3.....	92
Şekil A.8 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 3/3.....	93

# **JEODEZİK KUBBE FORMLU BİR TAŞIYICI SİSTEMİN AISC 360-10 YÖNETMELİĞİ KULLANILARAK MAFSALLI VE ANKASTRE DÜĞÜM NOKTASI TİPLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ**

## **ÖZET**

Antik çağlardan günümüze, yapı ve yapısal eleman tasarım doktrinleri sıklıkla değişmiştir. Tüm değişikliklerin ortak yönü ise, tasarımı iyileştirmek ve güncel taleplere daha iyi cevap vermek adına yapılmış olmalarıdır. Strüktürün ve malzemenin doğasına uygun tasarım yapmak, maliyetler ve tasarım bütünlüğü açısından büyük önem taşımaktadır. Yapısal elemanların bir araya getirilerek optimum tasarımı bir yapının inşa edilmesinde, tasarımın mümkün olduğunca doğaya uyumlu olması büyük avantaj yaratmaktadır. Tarihte, formun doğaya uygun hale getirilmesi denince akla ilk olarak kemer ve kubbe taşıyıcılar gelmektedir. Bu tip taşıyıcıların ortak özelliği, doğada var olan formlardan esinlenilmiş olması ve malzemenin mekanik özelliklerine uygun davranış sergileyecek şekilde düzenlenmesidir. Doğaya ve doğal formlara uygunluk kıstasının yenilikçi ve belki en ileri formlarından birisi , jeodezik kubbelerdir. Jeodezik kubbeler, bilim adamlarının doğadaki moleküler formlardan veya doğal strüktürlerden faydalanarak ortaya çıkardığı ideal bir taşıyıcı sistem tipidir. Modern jeodezik kubbe formunu ilk olarak Buckminster Fuller tanımlamış, ortaya attığı teoriler ve bilim dünyasına kazandırdığı patentler ile günümüze ışık tutmuştur. Yapısal elemanların, uygun geometri ile üretildiği takdirde, bileşenlerinin ne kadar uyumlu çalışacağını belirgin bir şekilde ortaya koyan jeodezik kubbeler sayesinde, geniş açıklıkları en ekonomik şekilde geçmek mümkün olmaktadır. Bu tez çalışmasında, jeodezik kubbe yapılar hakkında genel tanımlar yapılarak konuya giriş yapılmıştır. Jeodezik formlarda frekans kavramı ve jeodezik formları modelleme esasları anlatılmıştır. Jeodezik kubbelerde normalizasyon kavramına giriş yapılmıştır. Yapısal analiz bölümünde, belirli bir frekansta, çapta ve yükseklikte bir jeodezik kubbe formu ele alınarak, AISC 360-10 (Amerikan çelik yapı şartnamesi), DBYHBY 2007 (Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik) ve ASCE 7-10 (Binalar ve diğer yapılar için minimum tasarım yükleri) ışığında; tanım, modelleme, yükleme ve analiz aşamalarından geçirilmiştir. Yapı, analiz edilirken düğüm noktaları ankastre ve mafsallı olarak tanımlanmış iki ayrı model hazırlanmıştır. Analiz verileri ışığında; yapı stabilite, yapının burkulma performansları ve yapısal elemanlar için kesit tahkikleri yapılmıştır. Mafsallı ve ankastre düğüm noktalı olarak tasarlanan ve analiz edilen yapılar, bu bağlamlarda karşılaştırılmıştır. Mafsallı düğüm noktası için bir düğüm noktası tipi belirlenerek gerilme tahkikleri yapılmış ve çalışma sonlandırılmıştır.



# **COMPARATIVE STRUCTURAL ANALYSIS OF HINGED JOINTED AND FIXED JOINTED GEODESIC DOMES WITH RESPECT TO AISC 360-10 SPECIFICATONS**

## **SUMMARY**

Since the ancient times, doctrines of structural design and structural member design have changed frequently. These changes have in common in the aspect of their aim. All changes have been made in order to improve the design and to fulfill the recent requirements of the design trends.

Designing harmoniously with the structure and with the nature of the structural material is crucial to get the integrality in the design. Compatibility of the design with the nature also enables to get an optimum design in the aspect of building costs. In the history of the structural design and the structural member design, mankind has always pursued to get more effective and more natural behaved structures. The first form of this pursuit can be claimed to be the arch concept. With the accumulation of the knowledge obtained from the arch designs, a more complex form, “dome structures” showed up in the scene. As the dome designs had been elaborated, structurally more efficient types of the domes were formed. Speaking of structurally more efficient dome forms, the geodesic dome types appeared. Geodesic forms and geodesic dome structures are formed with the inspiration of molecular forms of the materials, the atomic forms, honeycombs, crystal structures, etc.

The modern types of the geodesic forms and especially geodesic domes have been derived from the early studies and works of Sir Buckminster Fuller in 1950’s. He has many patents and projections about geodesic forms and this visionary man’s contribution to this knowledge have been enlightening the related studies, even today.

In this study, the idea of geodesic forms is explained. The frequency concept which determines the spherical features and the stability behavior of the dome structure is defined. Examples of well known geodesic dome structures in the world and related to this, examples of their joint connection types are given.

This thesis is prepared to explain the geodesic dome concept, define the natural behavior of the geodesic structure, explain the method of forming a geodesic structure and make a comparison between two analysis outputs of alternative geodesic structural analysis models with same polyhedron frequencies, load definitions, load application approaches, geometry and with different connection types.

In this study, two similar “12V frequency” geodesic domes which have “50m” in diameter and “15.2m” in height formed and modeled with the “Geodesica” software. The output file from the software was imported firstly to AutoCAD software and then to SAP2000 analysis software. With this procedure, the geometry of the analysis models are obtained. In addition to this, manually modeling & normalizing the geodesic forms are explained using diverse frequency models. Forming the geometry is explained step by step.

In the load definitions process, “snow, wind” loads are obtained from ASCE 7-10 (Minimum design loads for buildings and other structures).

For determining the seismic loads, DBYBHY 2007 (Specification for structures to be built in disaster areas) is used.

For temperature difference loads (self straining loads) an assumption is made.

The load combinations are taken from the combination tables of ASCE 7-10 (Minimum design loads for buildings and other structures) and derived to bring in compliance with the analysis model. Applications of loads to points, areas and joints are monitored to clarify the procedure. All loads are applied to the joints of the analysis model except for the self straining forces (loads from temperature differences)

In the analysis part; response spectrum analysis, modal analysis and buckling analysis are performed for both models. Regarding to the outputs of these analysis, the frame sections are optimized. As the sections are optimized, the results are collected to be used in the calculations.

For the analysis model with hinged joints ( $M_{2-2}$  and  $M_{3-3}$  released), the calculations of stress checks are made with respect to AISC 360-10 (Specification for structural steel buildings) and allowable stress design (ASD) criteria. Frames are calculated in two stress conditions. Which are axial pressure and tensile.

Modal frequencies and buckling behavior outputs are collected to be used in the results section.

For the analysis model with fixed joints (with no moment releases), the calculations of stress checks are made with the stress check module of SAP2000 analysis software. Besides, “all load related” and “structural characteristics” of the model is made with respect to ASCE 7-10 (Minimum design loads for buildings and other structures) and AISC 360-10 (Specification for structural steel buildings), stress check modules are compiled and the stress analysis & checks worked properly.

After determining the stress values of the structural members for both analysis models, a sample hinged connection design is given in order to monitor the design criteria of AISC 360-10 (Specification for structural steel buildings) for joints and welds.

After all process is completed, a clear result emerged.

The geodesic dome with the hinged connection members work properly and distribute loads, forces and stresses between the structural members with a high performance. The seismic performance and structural stability is solid. However, with many hinges in the connections, the buckling analysis showed that the structure is slightly vulnerable to the buckling loads. In order to increase the buckling factor of the structure, greater cross sections for the frames are selected. The increased sections are located on the lower/bottom elevations of the structure. Due to this increase in the cross sections, the weight of steel structure also increased and the capacity/stress ratios declined which makes the system members work with a lower capacity ratio due to the specified loads.

The geodesic dome with fixed connection members work properly and distribute loads, forces and stresses between the structural members with a high performance as well as the analysis model with the hinged jointed frames.

The seismic performance and structural stability is solid. In the buckling analysis, great numbers for factor values are obtained. This system is compiled with frame sections with lower cross sections.

Analysis model with fixed joints gives an output of total material weight significantly lower when compared to the analysis model with hinged joints.

However, producing and mounting the fixed connections in a geodesic dome is a really big challenge. The production and erection processes of this type of structure should be performed with a really high precision in order to get a structural behavior as simulated in the analysis model.

Selecting the joint type for the frames will be made not only with respect to the weight and primary costs of the building but also to the mounting & erection issues and secondary costs.



## **1. GİRİŞ**

Bu çalışmada, jeodezik kubbe formların tanımı, jeodezik kubbe yapıların modellenme yöntemleri, modellerin ASCE 7-10 yük şartnamesi, AISC 360-10 çelik yapılar tasarım şartnamesi ve DBYBHY 2007 yönetmeliklerine göre analiz edilmesi, analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve uygun birleşim noktası detayının belirlenmesi için yapılan çalışmalar anlatılmıştır.

### **1.1 Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasının amacı, jeodezik kubbe yapıların yapısal davranışlarının, çubuk bağlantı noktası bağlantı koşullarına göre gösterdiği farklılıkları gözlemlemek ve elde edilen veri ışığında uygun birleşim tipi önermektir.

### **1.2 Literatür Araştırması**

Çalışmalarda öncelikle, kemer, kubbe ve jeodezik kubbe formlarının ortaya çıkışı ve gelişimi incelenmiştir. İlgili yapısal formları, özellikle jeodezik kubbe formunu ortaya çıkaran çalışmaları içeren makaleler ve kitaplardan bölümler okunmuştur. Analizlere yönelik “ASCE 7-10”, “AISC360-10” ve “DBYBHY-2007” yönetmelikleri/standartları irdelenmiştir. İlgili yönetmelikleri konu eden tez ve makaleler incelenmiştir.

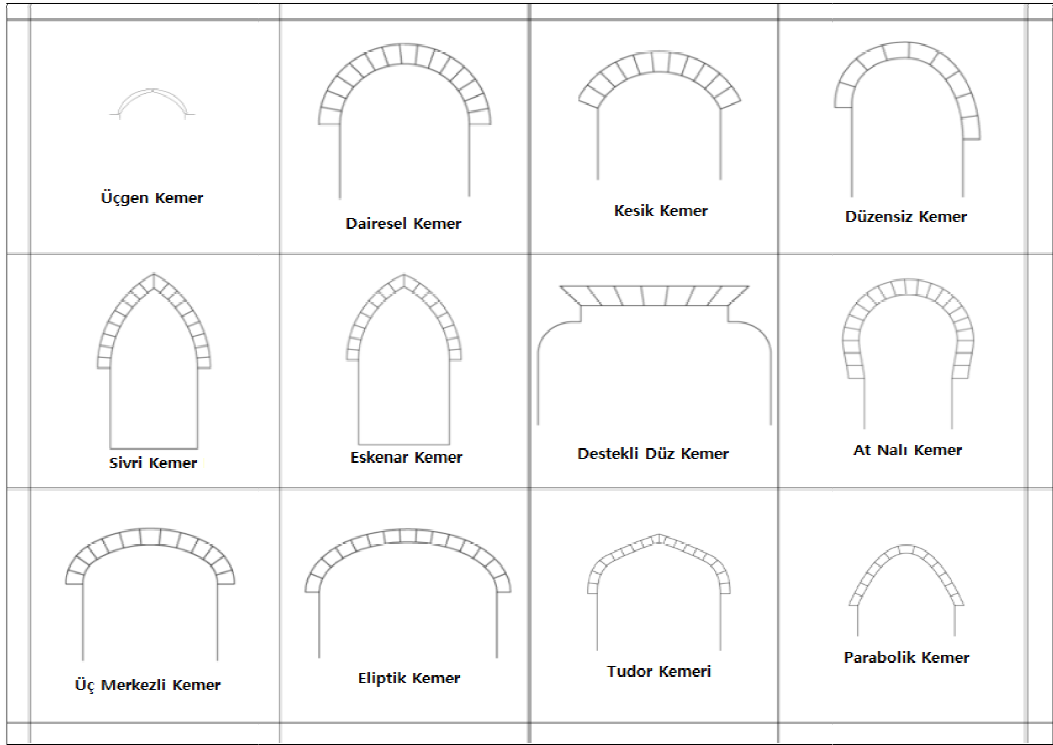


## 2. TAŞIYICI SİSTEM OLARAK KEMER VE KUBBELER

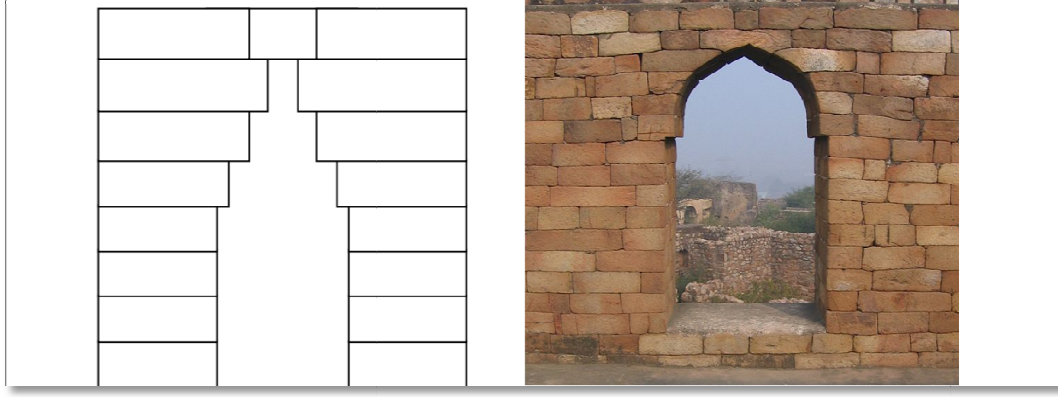
### 2.1 Kemer ve Kubbe Tanımları

#### 2.1.1 Kemer taşıyıcı sistemler

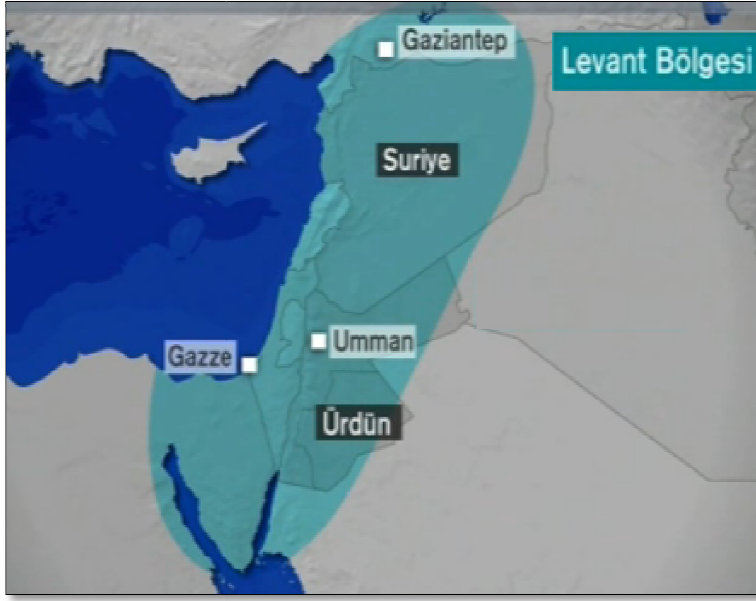
Kemerler ilk olarak, inşaat teknolojisinin henüz gelişmemiş olduğu dönemlerde, malzemenin öngörülebilir mekanik özelliği olan basınç dayanımını kullanmak ve tüm yapısal elemanları, genel bir statik form oluşturarak tamamen basınç kuvvetine karşı çalıştırmak amacıyla tasarlanmıştır. Tarihte ilk kemerler, arkaik yakın doğu diye adlandırılan bölgede, destek kemerleri (corbel arch) olarak karşımıza çıkmaktadır. Destek kemerinin gelişimiyle, günümüzde yığma yapılarda kullanılan tekniğe benzer kemer taşıyıcı örnekleri, milattan önce ikinci milenyumda Levant bölgesinde ortaya çıkar. Kemer taşıyıcı sistemlerin kullanımı, özellikle Roma İmparatorluğu dönemi ve ardından Rönesans döneminde en üst seviyeye çıkmıştır.



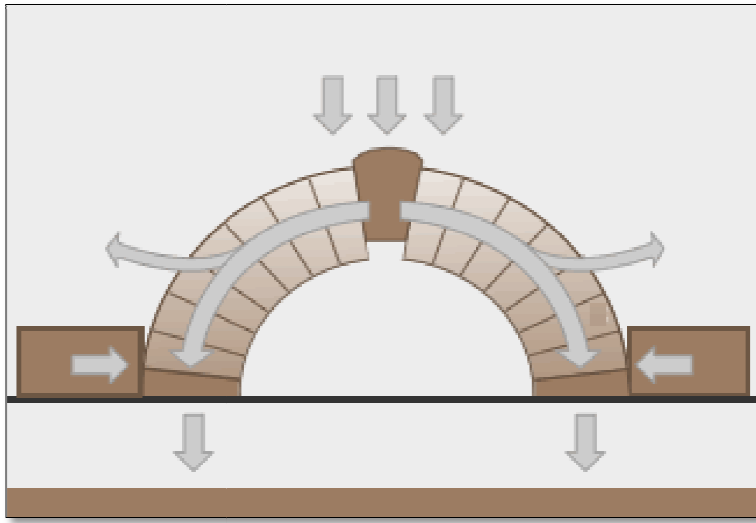
Şekil 2.1 : Geçmişten günümüze kemer taşıyıcı çeşitleri.



Şekil 2.2 : Yığma yapı ve destekli kemer.



Şekil 2.3 : Levant bölgesi.



Şekil 2.4 : Kemer taşıyıcılarda yük dağılım şeması.

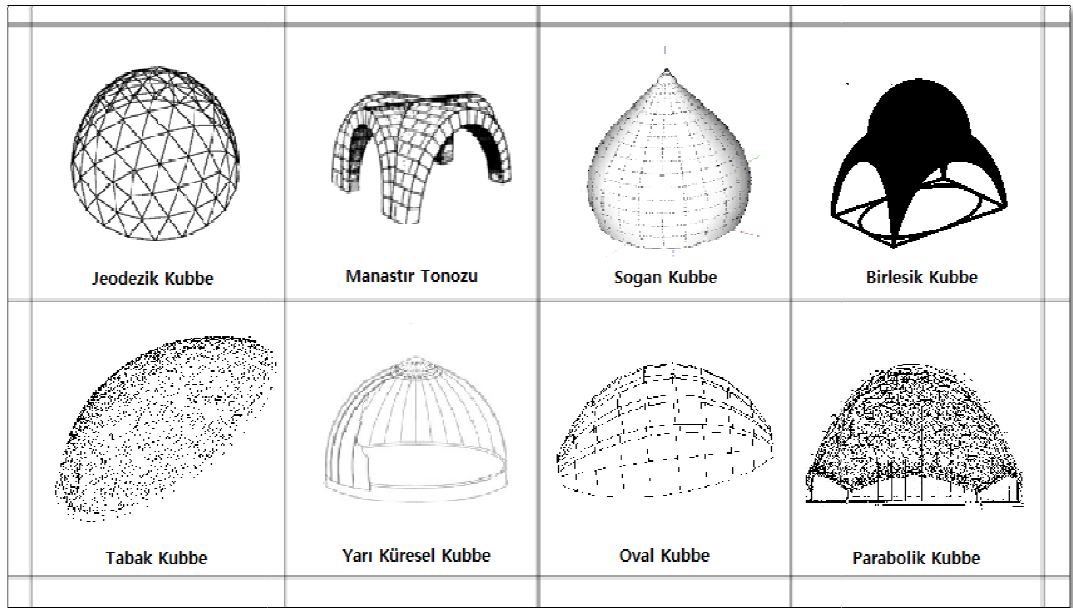
## 2.1.2 Kubbe taşıyıcı sistemler

Kubbe yapıların ilk örneklerine, mamut kemikleriyle yapılmış ilkçağ dönemi kulübelerinde rastlanmıştır. Kubbe yapıların ilk ortaya çıktığı tarih için çeşitli tahminler yapılmaktadır ancak milattan önce 12. milenyuma kadar bulunmuş örnekler mevcuttur.

Kubbe, kapatici ve yapının tamamlayıcı unsuru olarak kullanıldığı gibi, yapının kendisi olarak da kullanılmıştır.

Kubbeler genel olarak, bir geometrik formun, referans alınan merkez eksen etrafında döndürülmesiyle ortaya çıkan küresel, elipsoidal ve hatta düzensiz kabuklar olarak tanımlanmıştır.

Kubbeler mekanik olarak, yüzeylerinde yer alan taşıyıcı kabuk ve/veya çubukların basınca, kubbenin bağlandığı mesnetlerde ise basınca ve çekmeye çalışan yapılar olarak kabul edilir.



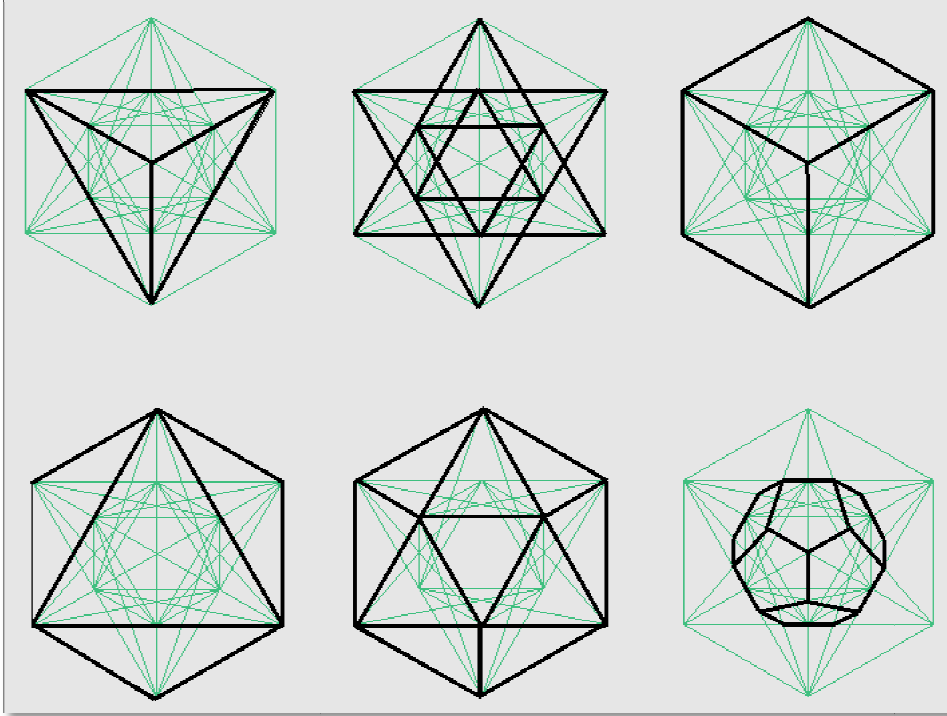
Şekil 2.5 : Kubbe çeşitleri.

## 2.2 Jeodezik Kubbe Tanımları & Örnekleri

### 2.2.1 Jeodezik kubbeler hakkında genel bilgi

Tabiattaki katı formların geometride modellenmesi ve tanımlanması söz konusu olunca, kayda değer ilk çalışmalarda Arşimet ve Platon isimlerine rastlanır. Özellikle Arşimet'e ait katı modellerde, eşkenarlarda birleşen düzenli poligonlardan oluşan

dışbükey, yarı düzenli polihedronlar görülür. Bu polihedronlar, yüksek simetriklik özelliği taşır. Platon'un katı modellerinin diğer modellerden farklı oluşu, formu meydana getiren poligonların çeşitliliğine dayanır.

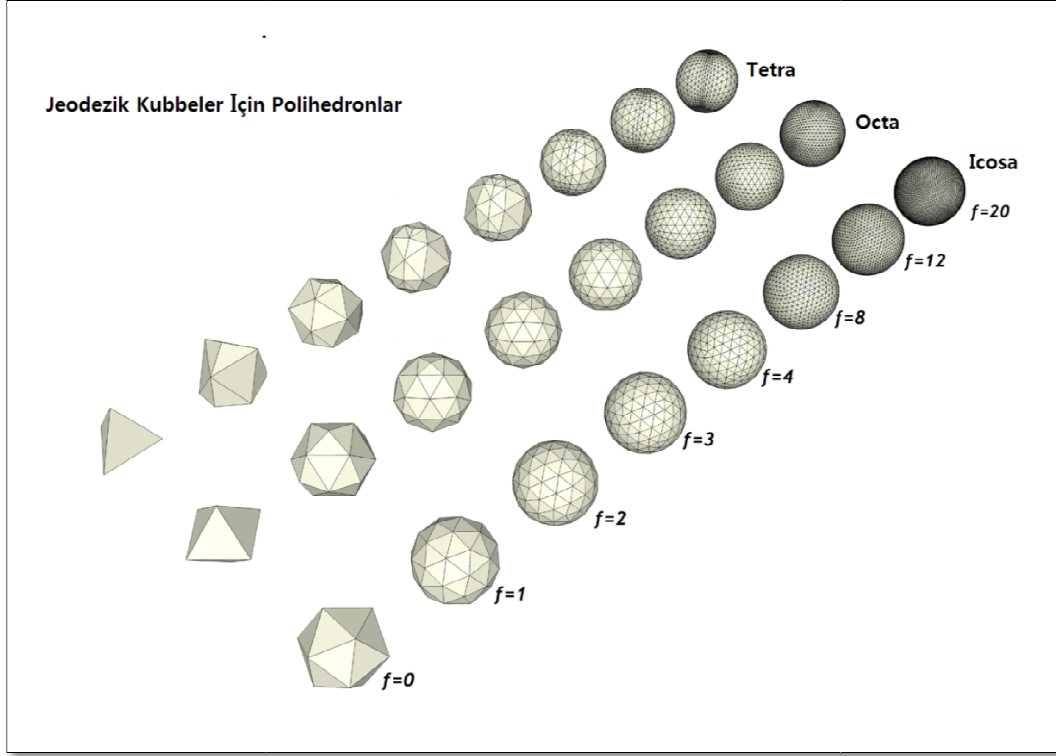


**Şekil 2.6 :** Platon ve Arşimet katı cisim modelleri.

Jeodezik kubbenin ortaya çıkışında, doğadaki genel formlardan, gelişiminde ise karbon molekülünün geometrik yapısından etkilenilmiştir. Jeodezik kubbe kavramını günümüzdeki yapısal taşıyıcılık düzeninde tanımlayan ilk isim, Buckminster Fuller olmuştur. Birçok bilim dalı ve disiplinle ilgilenen Fuller, bir tasarımın, mevcut tasarımı iyileştirerek değil tamamen farklı bir yaklaşımla ortaya koyulduğunda çığır açabileceğine inandığı için doğadaki formları inceleyerek teorisini ortaya koymuştur. Fuller'in çalışmaları sonucu, jeodezik kubbe; küresel veya yarı küresel kabuk ve/veya ızgara elemanların karşılıklı etkileşimi sayesinde yükleri eşit olarak aktaran taşıyıcı bir sistem olarak tanımlanmıştır.

Jeodezik kubbenin çalışma prensibi; yapıyı oluşturan üçgen ızgara formundaki hücrelerin mukavemetinden faydalanılması esasına dayanır. Üçgen ızgara formundan farklı formda geometrik hücrelerden oluşan jeodezik kubbeler de mevcuttur. Jeodezik kubbeler, temelde hipotetik küreler içerisine yerleştirilmiş ikosahedronlar olarak kabul edilir. İkosahedronların üçgenlerini yine eşit ölçülü üçgenler bölmekte ve bölümlenme bu şekilde teşkil edilmektedir. Her bir üçgendeki çubuklar, tasarıma

uygun düğüm noktaları ile birleştirilir. Jeodezik kubbelerde, hücrelerin ebatları, hipotetik kürenin bölünmesi için belirlenen frekans ve geometrik koşullarla tanımlanır. Jeodezik kubbeler temelde üç tip polihedron ve değişken frekans kombinasyonlarıyla tanımlanır. Polihedronun, hipotetik küreye yaklaşımını arttırmak veya azaltmak için frekans sayısı değiştirilebilir.



Şekil 2.7 : Polihedronlarda frekans ve bölümlenme sayılarına göre yapılar.

### 2.2.2 Buckminster Fuller

Tarih boyunca, mühendislerin ve mimarların, düşey taşıyıcıların minimum adet ve yoğunlukta kullanıldığı yapılara ilgisi ve bu konu ile ilgili yoğun çalışmaları olmuştur. Kubbe yapı formu, bu arayışın doğal sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır. Kubbe yapılar sayesinde; maksimum hacimlerin minimum yüzeylerle taşınması mümkün olmaktadır.

İlk jeodezik kubbe yapı; Walter Bauersfeld tarafından “1922” yılında Jena’da (Almanya) tasarlanmış ve inşa edilmiştir [10]. Ancak jeodezik kubbeler, Buckminster Fuller’in 1950’li yıllardaki çalışmalarına kadar majör bir tasarım formu olarak algılanmamıştır. Massachusetts, ABD doğumlu Buckminster Fuller, mühendislik ve mimarlık disiplinlerinde bilgi birikimi sahibi olmasının yanında,

yaptığı çalışmalarla birçok mimar ve mühendisin, mesleki uygulamalarında sınırlarını aşmaları için onlara ilham kaynağı olmuştur [16].

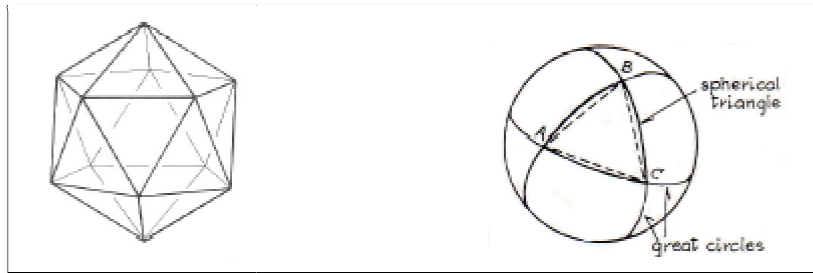
Buckminster Fuller, 1951 yılında jeodezik kubbelerin gelişmiş bir formu için patent başvurusunda bulunmuştur. Patentte anlatılan sistem günümüzde, Tacoma Dome (ABD), Poliedro de Caracas (Karakas, Venezuela) gibi yapılarda vücut bulmuştur.

Buckminster Fuller'in jeodezik kubbelerle olan tutkusu, tasarımın doğa ile bütünlük sağlaması ilkesine bağlılığından ileri gelmektedir.

Fuller, tasarım kuramında bahsettiği; enerjik-sinerjik geometriyi, kubbelerinde hayata geçirmiştir.

Burada enerjik ifadesi ile, kubbe tasarımlarında en ekonomik çözümlerin, doğada bulunabileceği anlatılmaktadır. Buckminster Fuller, jeodezik kubbelerin, moleküler formlara, kristal yapılara ve atomlara benzer yapısal özelliklerle, yapının en verimli tasarım şeklini ortaya koyduğunu iddia eder.

Fuller sinerji ilkesi ile de; yapının davranışının, yapıyı oluşturan elemanların münferit davranışları ile açıklanamayacağını, yapının davranışının, yapıyı oluşturan elemanların birlikte çalışması sonucu ortaya çıkan durum ile tanımlanabileceğini ifade eder.



**Şekil 2.8 :** İkosahedron, küresel üçgen ve ana daire [12].

Buckminster Fuller, tasarımlarında ana ilke olarak ikosahedronların küresel bölünmesini benimsemiştir. Patentin ilk yıllarında, Fuller'in patent haklarına ve engellerine takılmamak için oktahedron ve dodecahedron simetrik jeodezik kubbeler de tasarlanmıştır.

Burada bahsi geçen tüm cisimler, temel olarak birbiriyle uyumlu poligonlardan mütevellit polihedralardır ve Platonik katı ailesine mensuptur. İkosahedronlar, birbirine eş 20 adet küresel üçgen yüzeyden oluşmaktadır.

İkosahedronlarda köşeler, üç adet küresel üçgenin birleşim noktasıdır ve jeodezik noktalar olarak da isimlendirilir. 15 ana daire jeodezik kubbenin ilk çerçevesini tanımlar. Köşelerde birleşen çizgisel elemanlar eğrisel yerine düz formda olursa, uygulaması daha kolay olan üçgenlerden mütevellit jeodezik kubbeler oluşturulabilir.

Birincil bölümlenmede oluşan yapı tam olarak jeodeziktir ancak uzun eleman boyları nedeniyle yerel burkulmaya çok müsait olduğundan, artı bölümlenmelerle yapının stabilitesinin artırılması yoluna gidilir.

Daha düzenli bir ağ oluşturulması ve yapının küresel forma yakınsaması için ikincil bir çerçeveleme ile ana üçgenlerin alt üçgenlere ayrılması yoluna gidilir. Bu, jeodezik kubbeye frekansı belirler. Bölümlenme, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, iki şekilde yapılabilir.

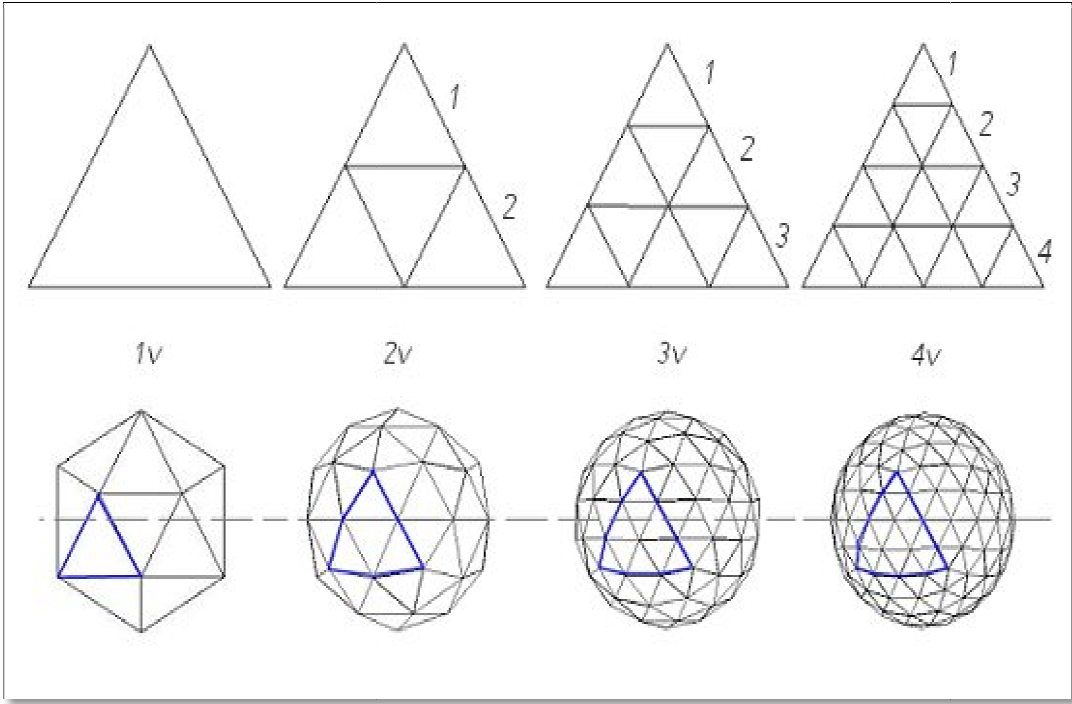


Şekil 2.9 : Alt sınıf bölümlenme yöntemleri [13].

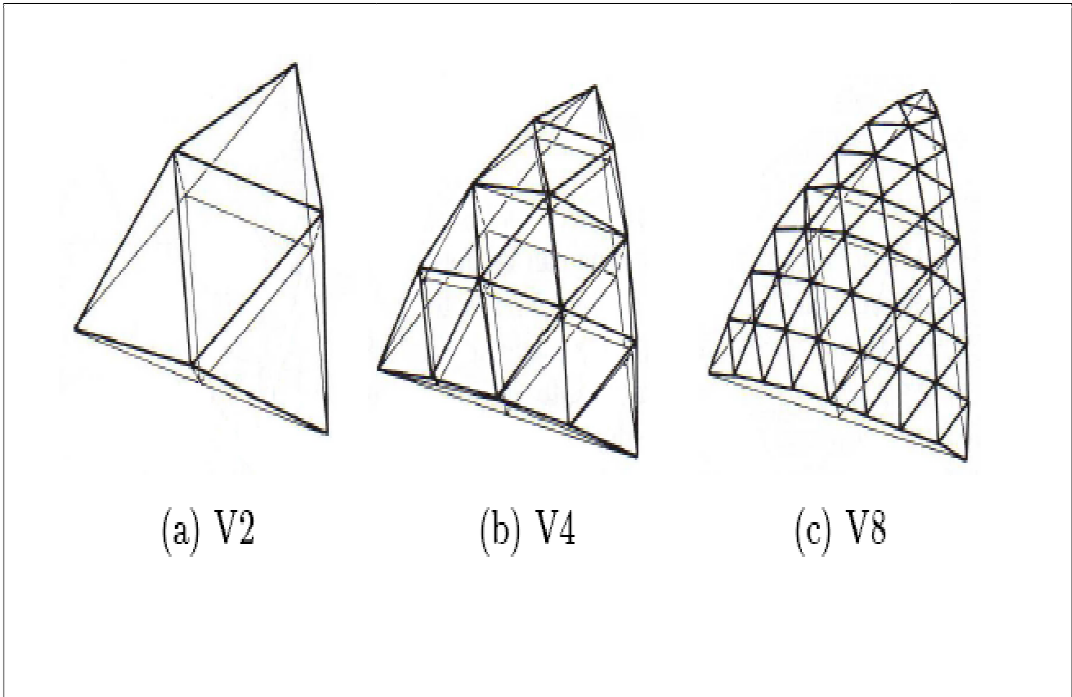
### 2.2.3 Jeodezik kubbelerde frekans kavramı

Jeodezik kubbelerde frekans kavramı, polihedron yüzeyinde oluşturulabilecek üçgenlerden teşkil olmuş en büyük üçgen yüzeyin üzerindeki şerit sayısı olarak tanımlanır. Bir başka deyişle, alt bölüm veya frekans; polihedrondaki en büyük üçgen yapı içerisinde bulunan üçgenlerden teşkil olmuş şeritlerdir.

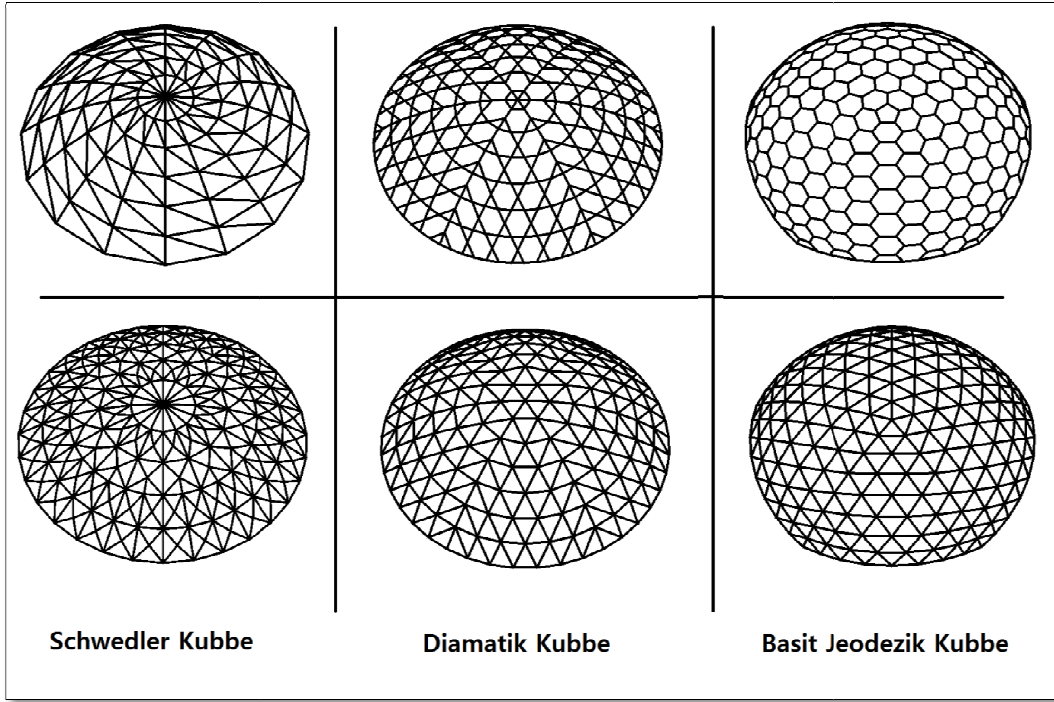
Frekansı tek sayı olan kubbeler, yarımküre şeklini oluşturamaz. Ekvatorial çevrenin tanımlanabilmesi için frekansın çift sayıda olması gerekmektedir. Bu sebepten ötürü, tek sayı frekanslı kubbeler isimlendirilirken;  $3/8$  veya  $5/8$  ifadelerini arka ek olarak alırlar. Jeodezik kürenin ekvatorial düzlemin altında veya üstünde olduğu bu ifadelerle göre anlaşılır. Frekans yükseldikçe stabilite ve küresellik yaklaşımı ile birlikte, yapının imalat ve montaj maliyetleri de artmaktadır.



Şekil 2.10 : Jeodezik kubbelerde frekansa bağlı geometrik değişimler.



Şekil 2.11 : Farklı frekans örnekleri ve küresel üçgenler.



Şekil 2.12 : Çeşitli kubbe formları.

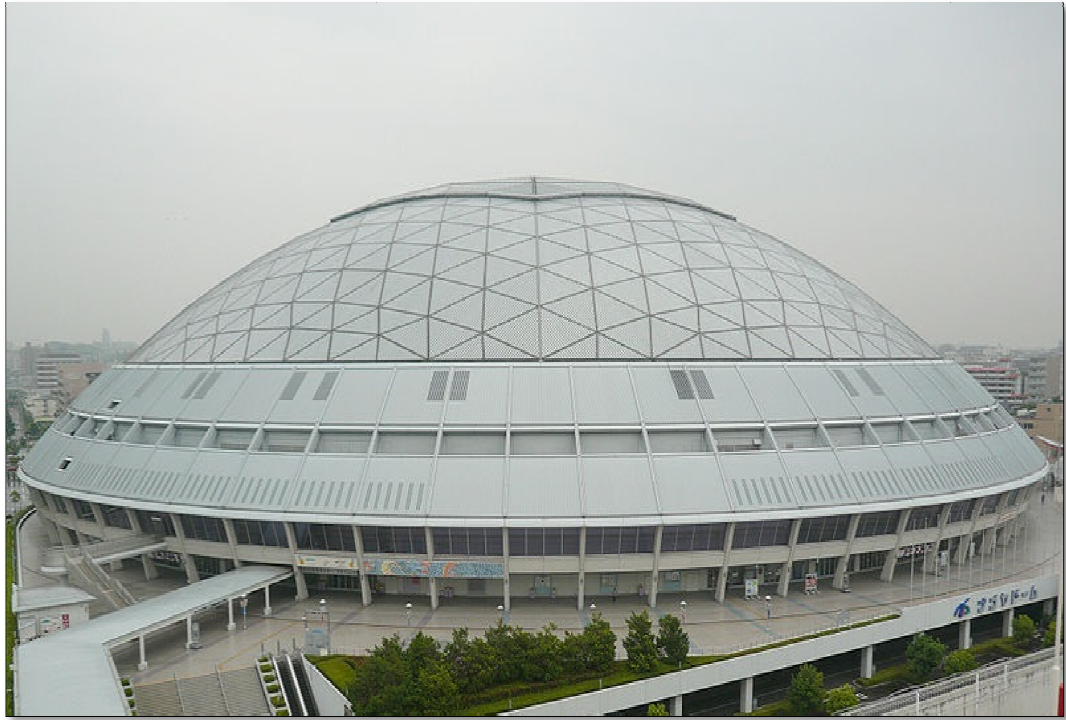
#### 2.2.4 Jeodezik kubbe örnekleri



Şekil 2.13 : Fukuoka Dome – Japonya.



**Şekil 2.14** : Konya Bilim Merkezi – Türkiye.



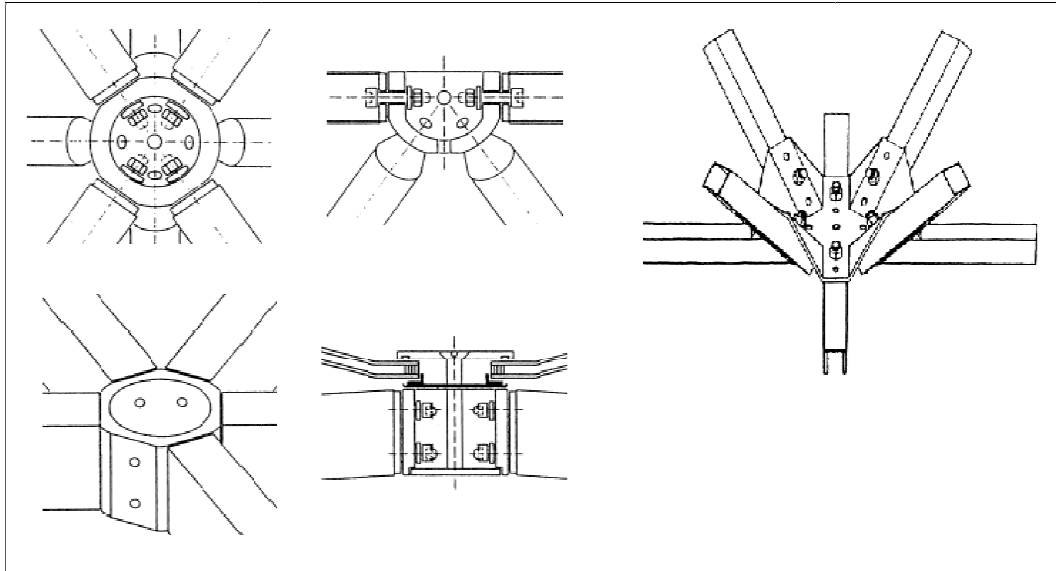
**Şekil 2.15** : Nagoya Dome – Japonya.



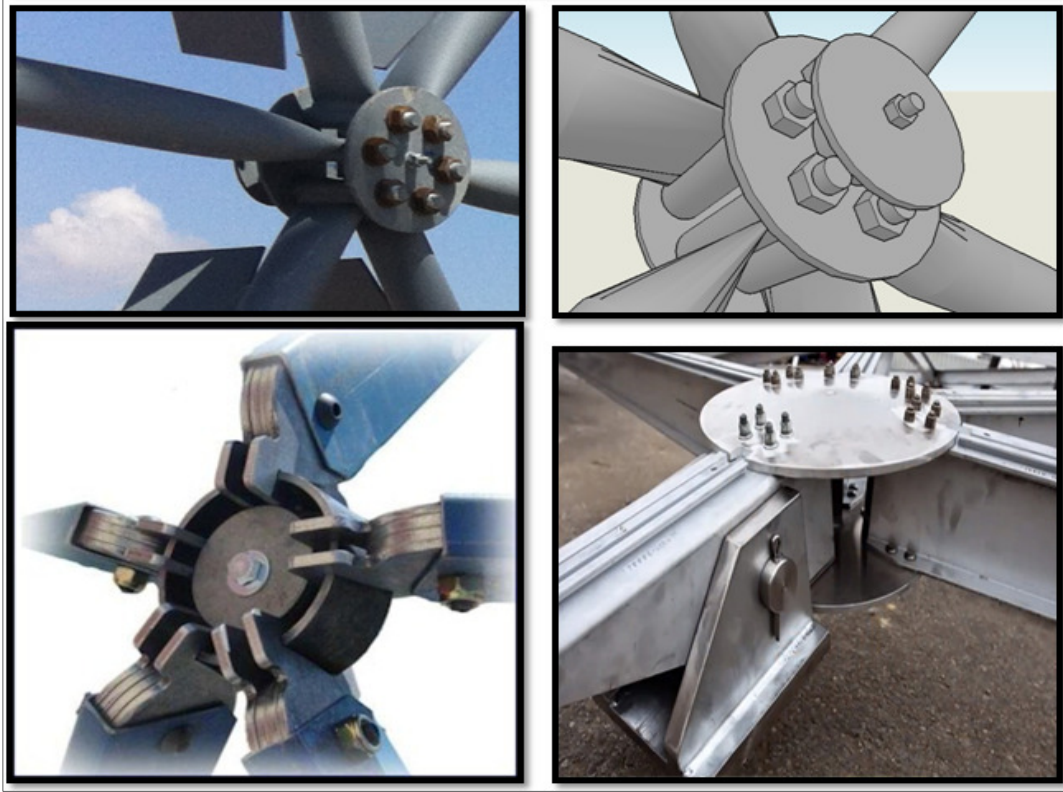
**Şekil 2.16 :** Tacoma Dome – ABD.

### 2.2.5 Jeodezik kubbelerde düğüm noktası örnekleri

Yapısal taşıyıcı sistem olarak jeodezik kubbelerin geometrik avantajlarından faydalanılabilmesi için irdelenmesi gereken en önemli konu, imalat ve montaj açısından optimum maliyet ve zaman gerektiren düğüm noktalarının tasarlanmasıdır. Sistemin yapısal çalışma prensibine göre ankastre veya mafsallı düğüm noktaları tercih edilebilir.



**Şekil 2.17 :** Düğüm noktaları – 1/2.



Şekil 2.18 : Dügüm noktaları – 2/2.

### 2.3 Jeodezik Kubbelerin Statik ve Dinamik Davranışlarına Giriş

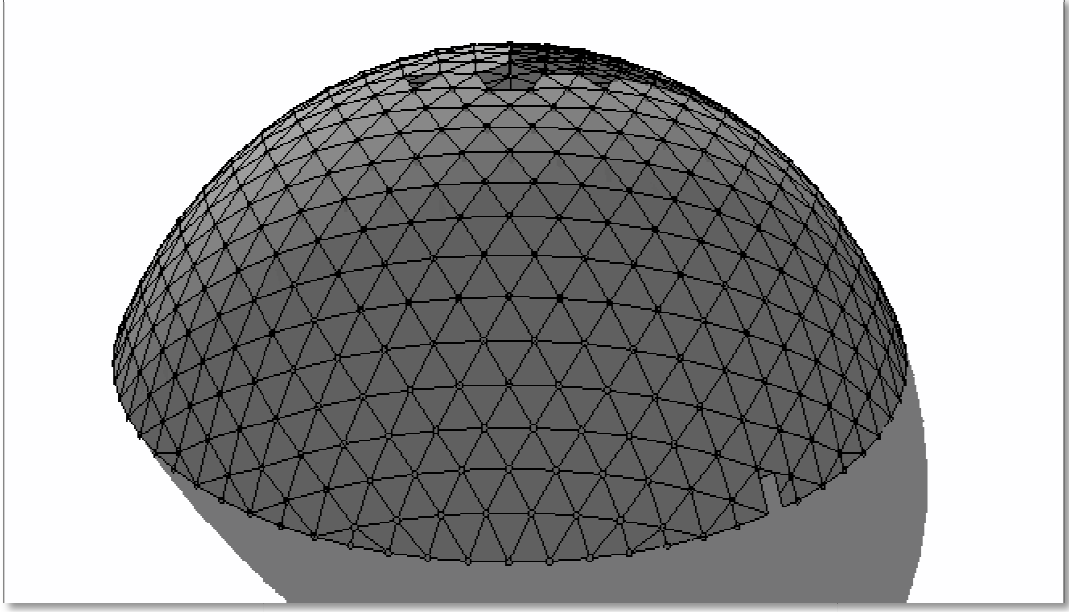
Jeodezik kubbelerin statik ve dinamik davranışları incelendiğinde, kaynaklarda “gerilme bütünlüğü“ (tensegrity) kavramı ile karşılaşılır. Gerilme bütünlüğü, yüzer basınç olarak da tanımlanır. Bir yapıda gerilme bütünlüğünün teşkil edilebilmesi için yapısal elemanların (çubuk) birbirine değmediği ve düğüm noktaları üzerinden birbirine basınç ve çekme aktardığı bir yapısal sistem oluşturulması gerekir. Bir diğer tanımla, gerilme bütünlüğü; çubuk elemanlardan oluşan bir ağa mensup üç veya daha fazla gergin/rijit destekten oluşan bir formasyondur [14].

Çubuklardan oluşan kubbelerde yapısal davranış, yapısal elemanların yerleşimine bağlıdır. Jeodezik kubbeler gibi tamamen üçgenlere bölünmüş ve uzay kafes mantığıyla düzenlenmiş kubbe yapılarında, her yönde yüksek dereceli rijitlik ve kinematik açıdan kararlılık mevcuttur. Eğer yapı tamamen üçgen hücrelere bölünmemişse kinematik kararlılık ve rijitlik, yapının yönlerine göre farklılık göstermektedir. Örneğin; dairesel gergi kubbeler, düzgün yayılı yüklere karşı rijit davranış gösterirken, düzensiz ve/veya noktasal büyük yüklere karşı, üçgen hücreleştirilmiş kubbeler avantaj sağlamaktadır [9].

### 3. İNCELENECEK JEODEZİK KUBBE YAPININ TANITILMASI

#### 3.1 Yapıya Dair Genel Tanımlar

##### 3.1.1 Üç boyutlu görünüş



**Şekil 3.1 :** Yapının üç boyutlu görünüşü.

##### 3.1.2 Geometri

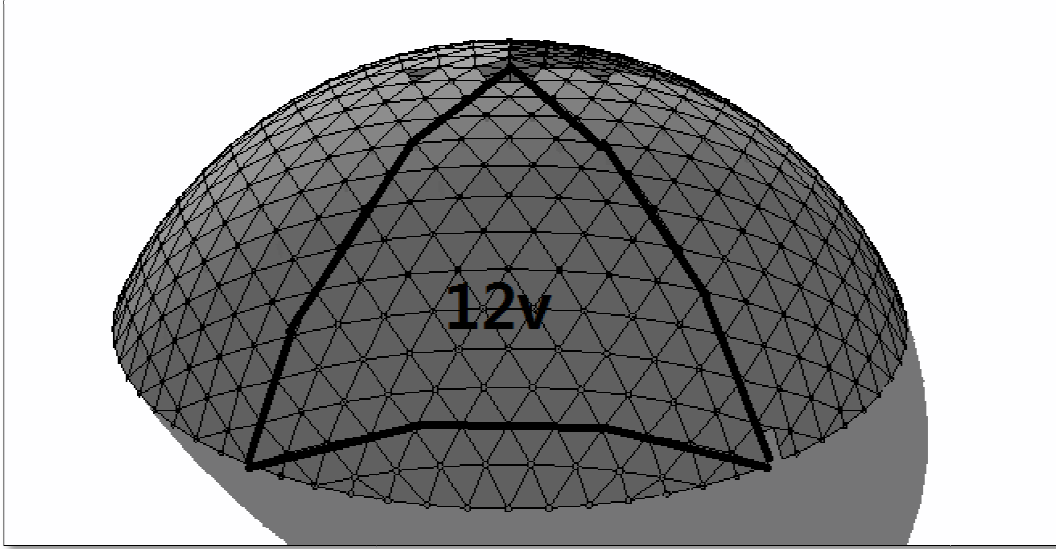
Bu çalışmada analiz edilen yapı, jeodezik kubbe formundadır.

Çalışma ve analizler; idealleştirilmiş 12V kesik yarımküre bir model üzerinden yürütülmüştür.

Seçilen jeodezik kubbe, tam dairesel formdadır. Yapıda yükseklik/çap oranı “0.306” olarak ortaya çıkmıştır.

Taşıyıcı sistem, frekansı “12” olan bir polihedrondur.

Çubuk uzunlukları ve üçgen boyutları, polihedronun formuna göre gruplar halinde eşittir.



Şekil 3.2 : Polihedrona ait frekans gösterimi.

### 3.1.3 Boyutlar & ölçüler

Yapının çapı “50.0” metredir. Yapının yüksekliği, “15.2” metredir. Çubuk elemanlar ortalama 2~3 metre arasında uzunluklardadır. Çubuk boylarının uzunluk mertebesi, iç kaplama elemanlarının (kaset döşeme) geçebildiği açıklığa göre seçilmiştir.

### 3.1.4 Yapının konumu

Yapı, Tuzla/İstanbul/Türkiye konumundadır. Konuma bağlı yük tanımları ve hesap verileri, bu bilgi düşünülerek belirlenmiştir. Zemin sınıfı "4" olarak belirlenmiştir. Yapı düz bir zeminde konumlanmaktadır ve etrafı rüzgar etkilerine açık bir arazide bulunmaktadır.

### 3.1.5 Yapının kullanım amacı

Yapı, Ar-Ge laboratuvarı olarak hizmet verecektir. Kabuk iç kısmında taşıyıcı sistem açık olarak kalacak ve kabuk yapıya içeriden herhangi bir yük taşıtılmayacaktır.

### 3.1.6 Kaplama özellikleri

Kabuk sistemin dış kaplaması, alüminyum kilit-geçme sistem olarak düşünülmüştür. İlgili sistemin iç yüzü “1.0mm” kalınlığında sac kaset, dış yüzü “0.7mm” kalınlığında alüminyum kilit geçme levhadır. Dış ve iç kaplama katmanları arasında tek kat “100mm” kalınlığında ve “150kg/m<sup>3</sup>” yoğunluğunda taşıyıcı yalıtım levhası bulunmaktadır. Kaplama sistemi, yapısal çubuk elemanlara hemiyüz olarak bağlanacaktır.

### **3.2 Taşıyıcı Sistem ve Taşıyıcı Elemanlara Dair Tanımlar**

Taşıyıcı sistem, ikosahedron formda olduğu için yüksek rijitlikli bir sistemdir.

Bağlantı noktalarında mafsallı ve ankastre iki detay olduğu varsayılarak iki analiz modeli ile çözüm yapılmıştır.

Mafsallı sistemde, yapısal elemanların tamamının basınç ve çekme kuvvetlerine maruz kalacağı öngörülmüştür.

Analizde, kutu ve boru profiller kullanılarak optimum kesitler belirlenmiştir.

Seçilen kesitlerde, Avrupa normlarında tanımlanmış ebatlar kullanılmıştır.

### **3.3 Hesaplarda Kullanılacak Standartlar & Yönetmelikler**

#### **ASCE 7-10**

Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures

Analiz yükleri, bu şartnameden alınmıştır.

#### **ANSI/AISC 360-10**

Specification for Structural Steel Buildings

Hesap yöntemleri ve analiz sonuçlarının değerlendirilmesi, bu standarda göre yapılmıştır.

#### **DBYBHY 2007**

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik

Deprem hesapları, bu yönetmeliğe göre yapılmıştır.

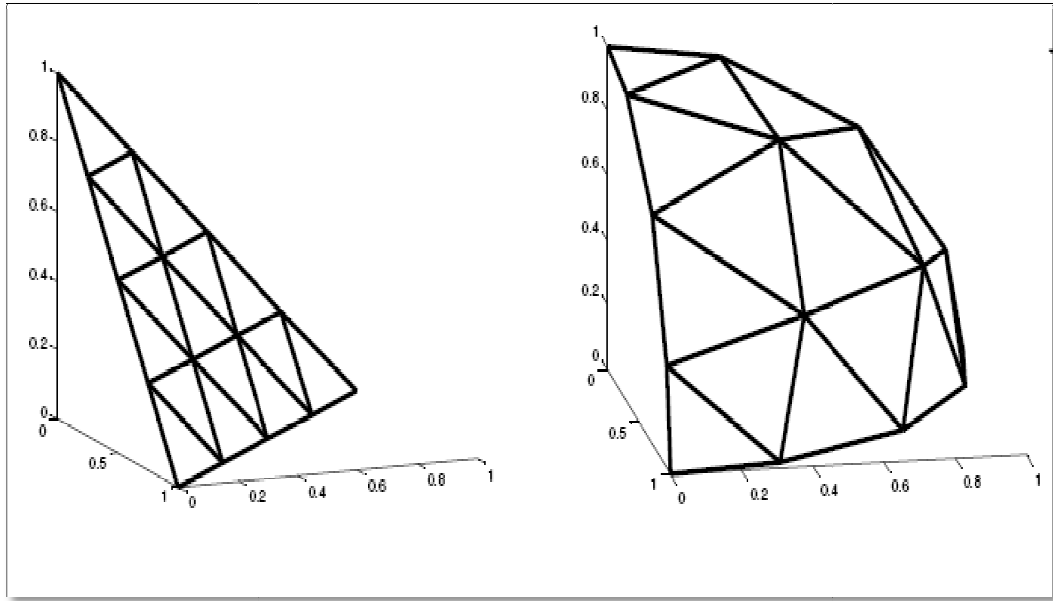


## 4. ANALİZ MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI VE TANITIMI

### 4.1 Analiz Modelinde Yapının ve Yapısal Elemanların Tanımlanması

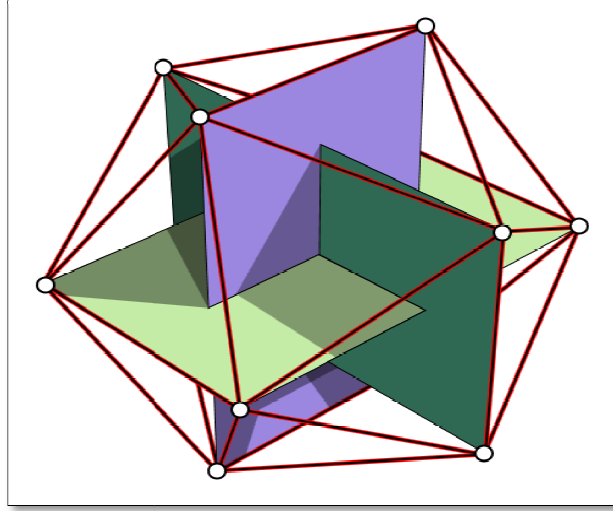
#### 4.1.1 Geometrinin oluşturulması

Birinci sınıf (ikosahedron) polihedronlar düzenlenirken, yüzeylerin oluşturulması ve normalizasyonu metodu kullanılarak el hesabı ve çizimi yoluyla bir model elde edilebilir. Bu metotta, düzlemlerin uç noktaları bölümlenerek üçgen yüzeyler elde edilir. Elde edilen yüzeyler, öngörülen frekansa göre eşit üçgenlerle, şeritlere ayrılır. Oluşan ana üçgen planlar dıştan teğet küresel düzleme normalize edilerek, istenilen küresel-ikosahedron forma ulaşılır.



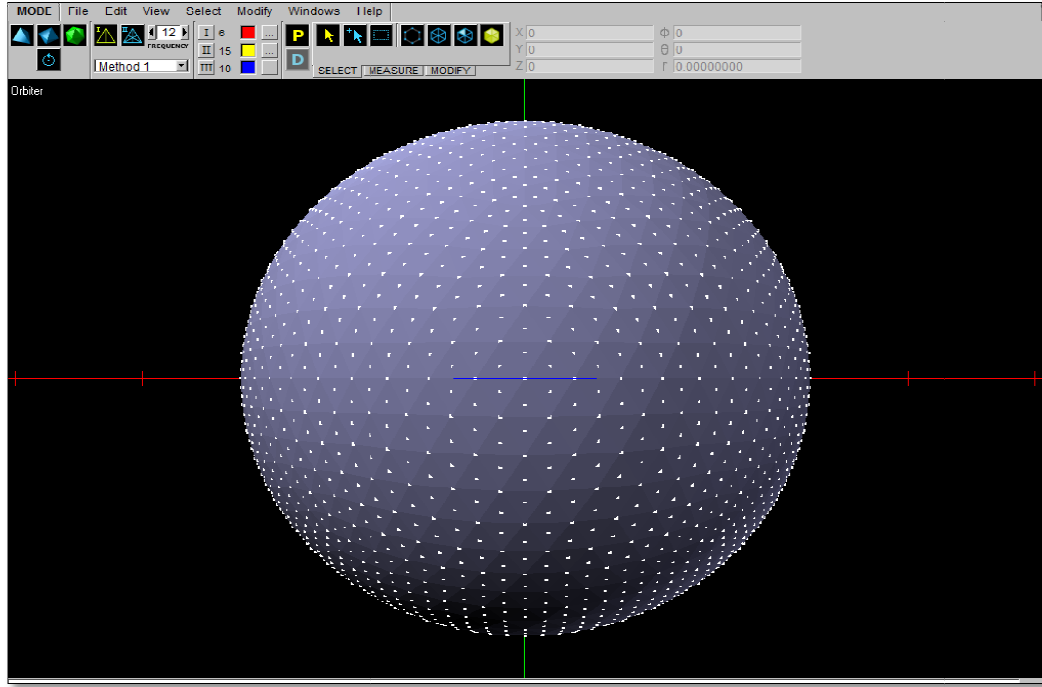
**Şekil 4.1 :** 4V Bir üçgenin normalizasyonu ve küresel üçgen forma getirilmesi

Aynı işlem formüle edilerek, Mathcad veya Matlab gibi yazılımlarla da matematiksel model haline getirilebilir. Elde edilen matematik model, uyumlu yazılımlara aktarılarak çizim dosyaları haline getirilir ve analiz modeli için baz geometri olarak kullanılabilir.



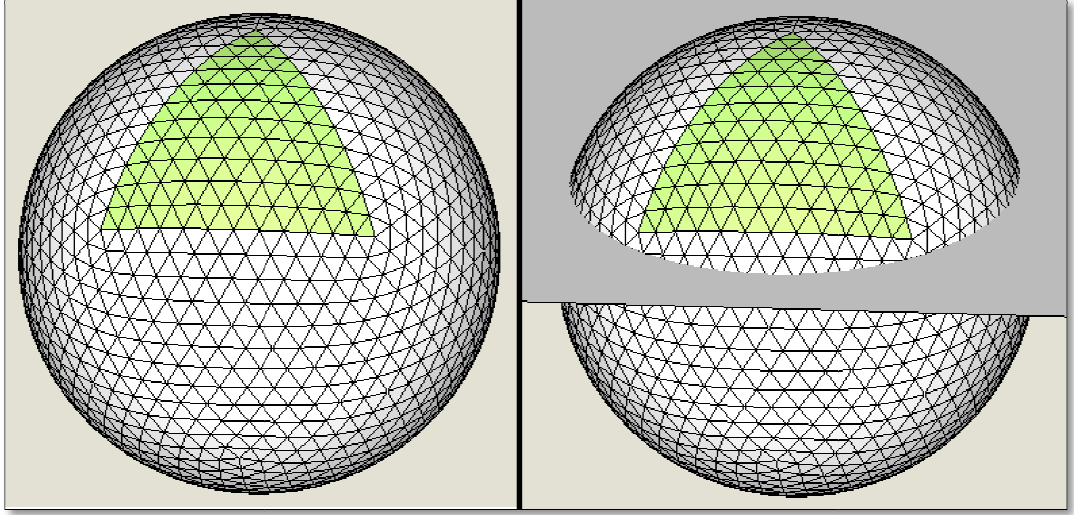
**Şekil 4.2 :** Dik kesişen üç ana düzlem çizimi ile ikosahedronun oluşturulması.

Bu tez çalışmasında, matematik modelin girilen verilere dayanarak işlendiği ve üç boyutlu bir modelin “wavefront object” dosyası olarak alındığı, “Geodesica” yazılımı kullanılmıştır. Alınan çıktı dosyası “AutoCAD” vektörel çizim programına çağırılarak burada düzenlenmiştir.



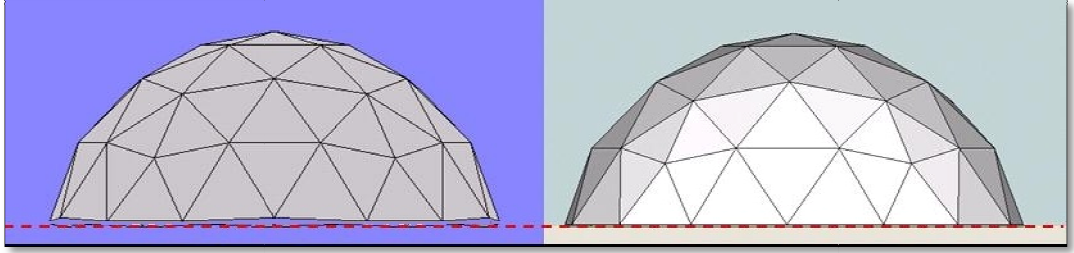
**Şekil 4.3 :** Geodesica yazılımı ekran görüntüsü.

Çalışmada önceden belirlenen çap ve yükseklik değerlerine göre ölçeklendirilen yapısal forma ulaşmak için, küresel formdaki geometrik modelden, fazla elemalar silinerek çıkarılmıştır.

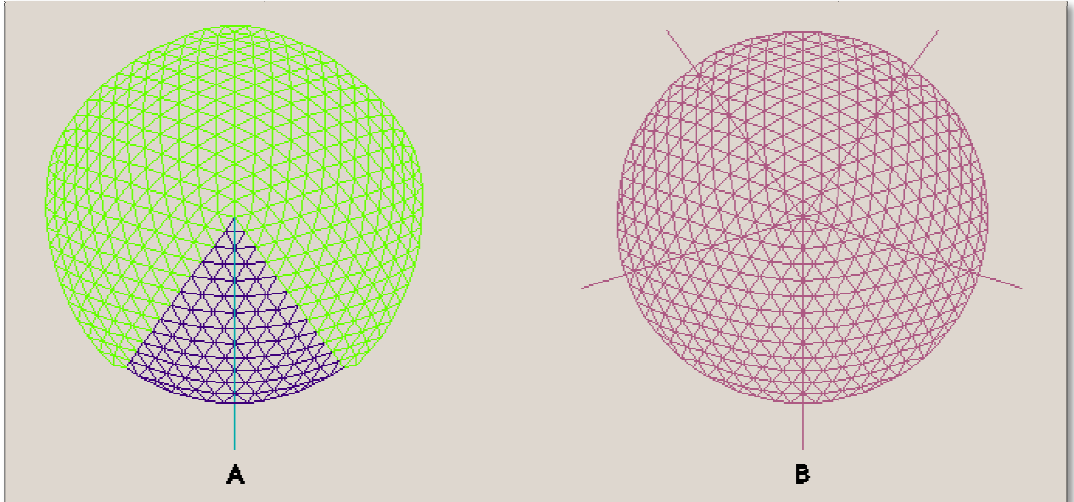


**Şekil 4.4 :** Frekans ve alt kesim işlemi.

Hazırlanan geometrik model, birbirine eşit boyda ve formda üçgenlerden oluştuğu için alt düzlemde üçgen kenarları, yataya teğet olamayacaktır. Bu nedenle, alt segmentteki üçgenler, minör düzeltmelerle yataya hemiyüz yapılmıştır.

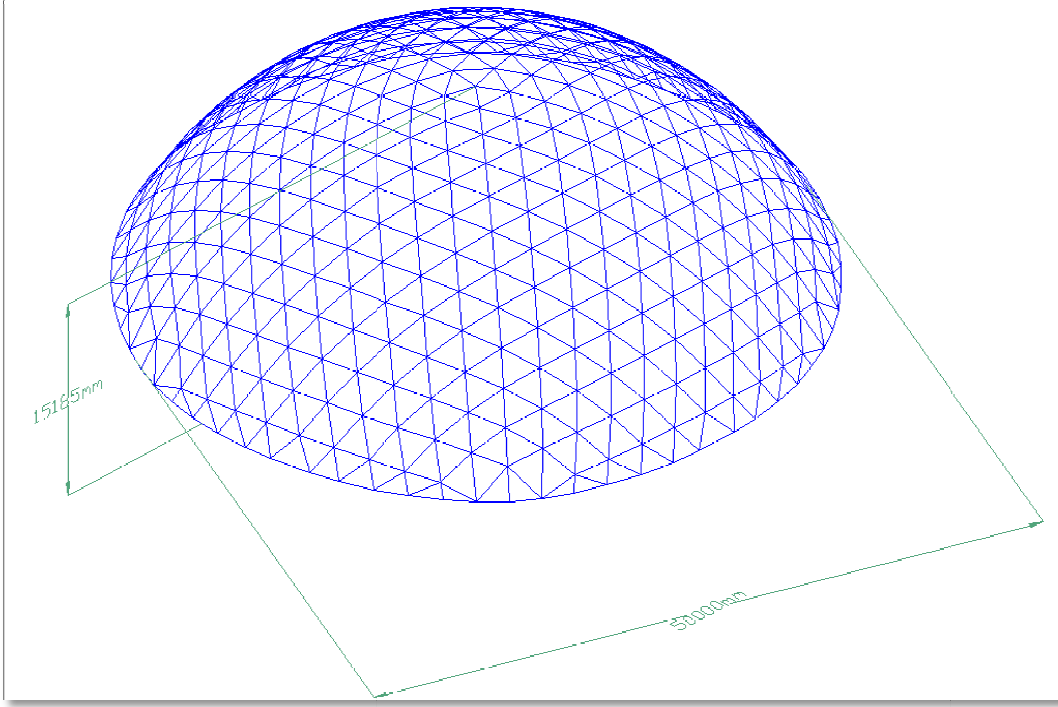


**Şekil 4.5 :** Alt noktaların düzenlenmesi – 1/2.



**Şekil 4.6 :** Alt noktaların düzenlenmesi – 2/2.

Yukarıda tarif edilen çalışmalar sonunda ortaya çıkan geometri, “SAP2000” yapısal analiz programına aktarılmak üzere hazır hale getirilmiştir.

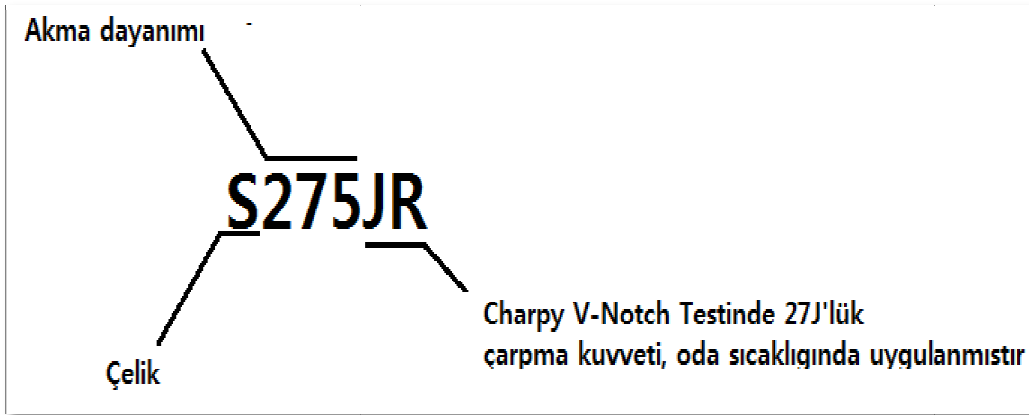


Şekil 4.7 : Analiz modeline aktarılan çizim dosyası.

#### 4.1.2 Malzeme ve yapısal elemanların tanımlanması

##### 4.1.2.1 Malzemeler

Analizlerde kullanılan çubuk elemanlar için “EN10025” standardındaki notasyona göre “S235JR” ve “S275JR” çelik sınıfında malzemeler seçilmiştir. Hesabın ilerleyen bölümlerinde, “S235JR” çelik sınıfı opsiyonu modelden çıkarılmış ve hesaplara daha yüksek akma dayanımı olan “S275JR” çelik sınıfı ile devam edilmiştir.



Şekil 4.8 : EN10025'e göre malzeme notasyonu.

**Çizelge 4.1** : S235JR sınıfı malzemelerin mekanik özellikleri.

Tanım	Sembol	Yük Çeşidi	Yükleme Türü	Birim	Değer
Elastisite Modülü	Es	-	-	ton/cm <sup>2</sup>	2100.00
Akma Mukavemeti	$\sigma_a$	-	-	ton/cm <sup>2</sup>	2.35
Emniyet Gerilmesi	$\sigma_{çem}$	Eksenel Basınç & Çekme	H	ton/cm <sup>2</sup>	1.57
	$\sigma_{çem}$	Eksenel Basınç & Çekme	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	1.37
	$\sigma_{çem}$	Çekme & Eğilme -Çekme	H	ton/cm <sup>2</sup>	1.57
	$\sigma_{çem}$	Çekme & Eğilme -Çekme	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	1.76
	$\tau_{em}$	Kayma	H	ton/cm <sup>2</sup>	0.88
	$\tau_{em}$	Kayma	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	1.03

**Çizelge 4.2** : S275JR sınıfı malzemelerin mekanik özellikleri.

Tanım	Sembol	Yük Çeşidi	Yükleme Türü	Birim	Değer
Elastisite Modülü	Es	-	-	ton/cm <sup>2</sup>	2100.00
Akma Mukavemeti	$\sigma_a$	-	-	ton/cm <sup>2</sup>	2.75
Emniyet Gerilmesi	$\sigma_{çem}$	Eksenel Basınç & Çekme	H	ton/cm <sup>2</sup>	1.64
	$\sigma_{çem}$	Eksenel Basınç & Çekme	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	1.87
	$\sigma_{çem}$	Çekme & Eğilme -Çekme	H	ton/cm <sup>2</sup>	1.87
	$\sigma_{çem}$	Çekme & Eğilme -Çekme	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	2.14
	$\tau_{em}$	Kayma	H	ton/cm <sup>2</sup>	1.05
	$\tau_{em}$	Kayma	HZ	ton/cm <sup>2</sup>	1.20

Çalışmada kullanılacak civatalara ilişkin standart, tanım ve tasarım ilkeleri, düğüm noktası çözümünü içeren bölümde anlatılacaktır.

#### **4.1.2.2 Yapısal elemanlar**

Yapısal elemanların enkesitleri kompaktlık açısından çeşitli kaynak ve yönetmeliklerde üç sınıfa ayrılmaktadır.

##### **Kompakt enkesitler:**

Enkesitte yerel burkulma oluşmadan önce yeteri kadar plastik dayanım gösterebilen özellik taşıyan elemanlardır.

##### **Kompakt olmayan enkesitler:**

Basınç etkisi altında enkesitte kısmen plastikleşme durumuna geçilir. Kesit tamamen plastik gerilme durumuna geçmeden elemanda elastik olmayan burkulma görülür.

##### **Narin kesitler:**

Basınç etkisi altında enkesitte plastikleşme oluşmadan elastik burkulma gerçekleşir.

$\lambda$  = yapısal elemanın genişliği / yapısal elemanın kalınlığı

$\lambda_p$  = kompakt eleman için sınır değeri

$\lambda_r$  = kompakt olmayan eleman için sınır değeri.

Yerel burkulma için eleman sınıfı

$\lambda \leq \lambda_p$  ise kompakt eleman

$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r$  ise kompakt olmayan eleman

$\lambda > \lambda_r$  ise narin eleman

olarak sınıflandırılır.

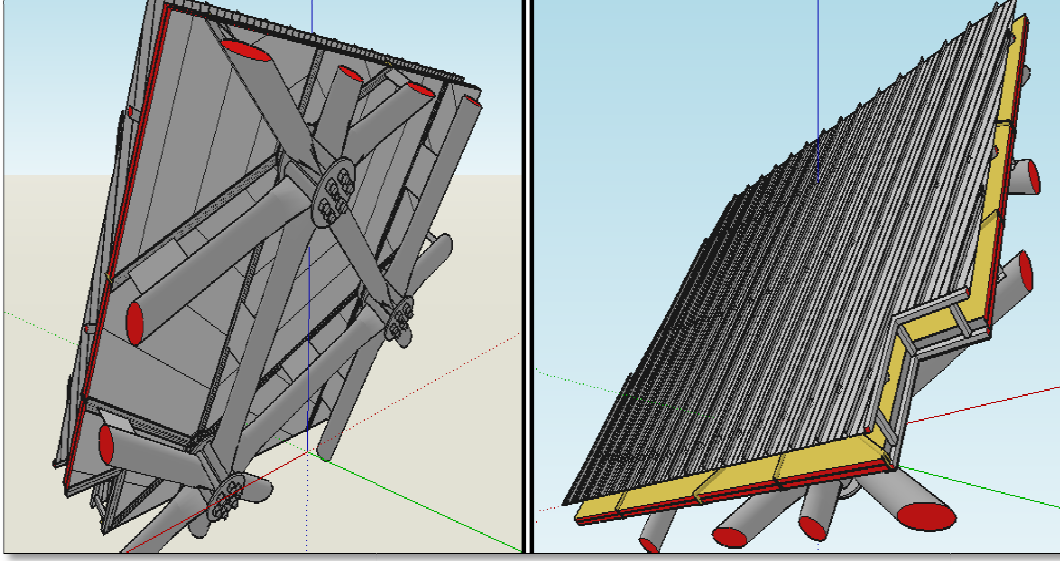
Çizelge 4.3'te DBYBHY'de tanımlanan enkesit koşulları bulunmaktadır.

**Çizelge 4.3 :** DBYBHY'de tanımlanan enkesit koşulları.

Eleman Tanımı	Narinlik Oranları	Sınır Değerler	
		Süneklik Düzeyi Yüksek Sistem	Süneklik Düzeyi Normal Sistem
Eğilme ve Eksenel basınç etkisindeki I Kesitlerinde U Kesitlerinde	$b/2t$ $b/t$	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Eğilme etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	$h/t_w$	$3.2\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$5.0\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Basınç etkisindeki T Kesitleri L Kesitleri	$h/t_w$	$0.3\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$0.5\sqrt{E_s/\sigma_s}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki I Kesitleri U Kesitleri	$h/t_w$	$ N_d/\sigma_s A  \leq 0.10$ için $3.2\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(1 - 1.7 \frac{ N_d }{\sigma_s A}\right)$	$ N_d/\sigma_s A  \leq 0.10$ için $5.0\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(1 - 1.7 \frac{ N_d }{\sigma_s A}\right)$
		$ N_d/\sigma_s A  > 0.10$ için $1.33\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(2.1 - \frac{ N_d }{\sigma_s A}\right)$	$ N_d/\sigma_s A  > 0.10$ için $2.08\sqrt{E_s/\sigma_s} \left(2.1 - \frac{ N_d }{\sigma_s A}\right)$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dairesel halka kesitler (borular)	$D/t$	$0.05 \frac{E_s}{\sigma_s}$	$0.08 \frac{E_s}{\sigma_s}$
Eğilme veya eksenel basınç etkisindeki dikdörtgen kutu kesitler	$b/t$ veya $h/t_w$	$0.7\sqrt{E_s/\sigma_s}$	$1.2\sqrt{E_s/\sigma_s}$
<p><b>Tanımlar</b></p> <p><math>b</math> : I, U kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık genişliği</p> <p><math>h</math> : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde yüksekliği L kesitlerinde büyük kenar uzunluğu</p> <p><math>D</math> : dairesel halka kesitlerde (borularda) dış çap</p> <p><math>t</math> : I, U, T kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde başlık kalınlığı halka kesitlerde (borularda) kalınlık</p> <p><math>t_w</math> : I, U, T, L kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlerde gövde kalınlığı</p>			

Çizelge 4.3'teki verilerden de anlaşıldığı gibi, kompaktlık açısından en uygun yapısal elemanlar; kutu ve boru kesitlerdir.

Yapıda, kaplama detayı olarak tam katman kaplama kilit geçme sistem seçilmiştir. Eleman yüzeylerinin, kaplama altyapı montajında uygulama avantajı sağlayabilmesi için dairesel formlu boru profiller yerine düz yüzeyli kutu profiller seçilmiştir.



Şekil 4.9 : Kaplama sistem görünüşleri.

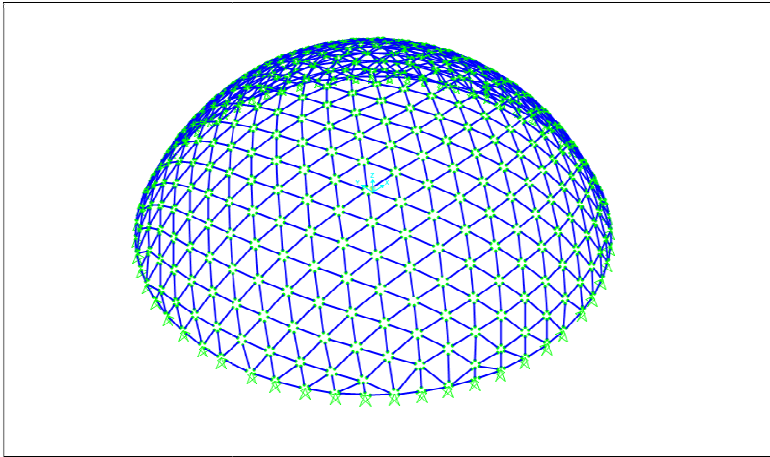
#### 4.1.3 Mesnet durumları ve düğüm noktası serbestliklerinin tanımlanması

##### 4.1.3.1 Düğüm noktaları

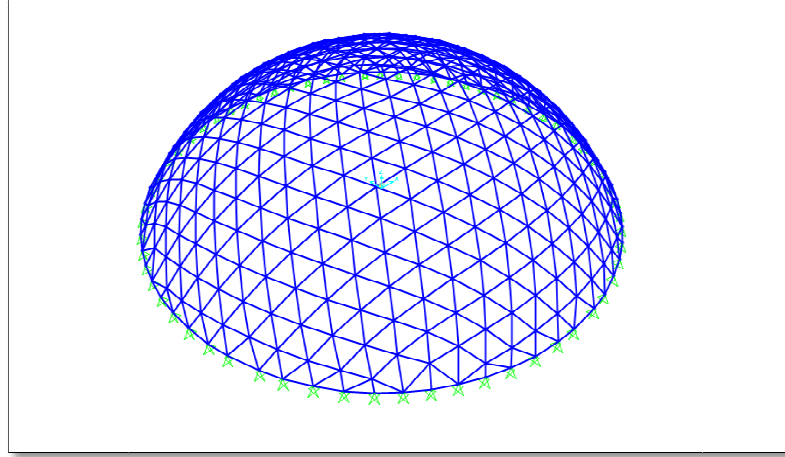
Analiz edilecek yapı modellenirken, düğüm noktaları için iki alternatif hazırlanmıştır. İlk modelde, çubuk düğüm noktaları mafsallı olarak tanımlanmış ve serbestlik koşulları analiz modeline işlenmiştir. Bu modelde çubuklara “ $M_{2-2}$ ” ve “ $M_{3-3}$ ” serbestlikleri tanımlanmıştır. İkinci modelde ise çubuk düğüm noktalarının moment aktardığı kabulü yapılarak bu şekilde tanımlanmış ve analiz modeline işlenmiştir.

##### 4.1.3.2 Mesnetler

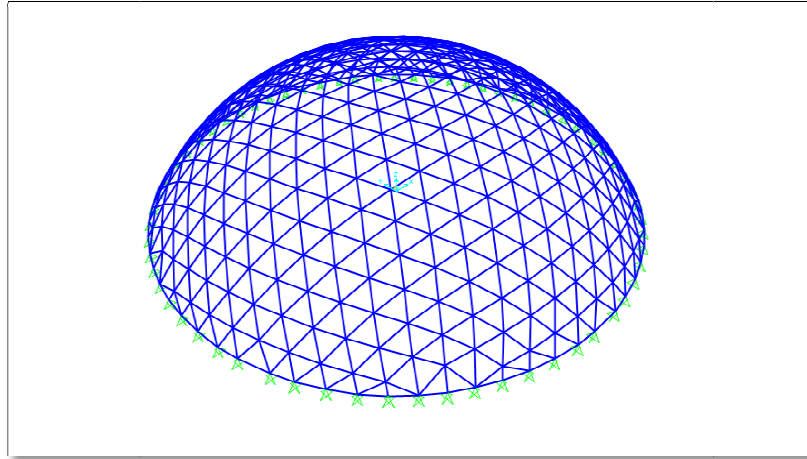
Yapının mesnetleri, iki analiz modelinde de mafsallı olarak tanımlanmıştır.



Şekil 4.10 : Mafsallı düğüm noktalı sistem.



**Şekil 4.11** : Ankastre düğüm noktalı sistem.



**Şekil 4.12** : Mesnet durumları.

## **4.2 Sisteme Etkiyen Yüklerin Tanımlanması ve Analiz Modeline İşlenmesi**

### **4.2.1 Yük tanımları ve yapıya etkiyen yükler**

#### **4.2.1.1 Ölü yükler**

Bu çalışmada ölü yükler; çelik taşıyıcı sistemin analiz modelinde birim ağırlığı tanımlanmış çubuk elemanlarının toplam ağırlığı olarak hesaba katılmıştır. Kombinasyonlar bölümünde, bağlantı elemanlarına karşılık gelecek ağırlık için “%10” artış yapılmıştır.

#### **4.2.1.2 Kaplama yükleri**

Kabuk sistemin dış kaplaması, alüminyum kilit-geçme sistem olarak düşünülmüştür.

İlgili sistemin iç yüzü “1.0mm” kalınlığında çelik sac kasettir.

Kaplama sisteminin dış yüzü “0.7mm” kalınlığında alüminyum kilit geçme sistemdir.

Dış ve iç kaplama katmanları arasında tek kat “100mm” kalınlığında ve “150kg/m<sup>3</sup>” yoğunluğunda taşıyünü yalıtım levhası bulunmaktadır.

Bu bilgiler ışığında, yapının birim alanına etkiyecek kaplama ağırlığı aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\text{Alüminyum Kilit Geçme: } (0.7 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (2700 \text{ kg/m}^3) = 1.89 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sac Kaset: } (1.0 \times 10^{-3} \text{ m}) \times (7850 \text{ kg/m}^3) = 7.85 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Taşıyünü: } (0.1 \text{ m}) \times (150 \text{ kg/m}^3) = 15 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Buhar Kesici Örtü, bağlantı elemanı, klips: } 2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Toplam: } 26.74 \text{ kg/m}^2 \text{ (27kg/m}^2 \text{ olarak alınacaktır)}$$

#### 4.2.1.3 Deprem yükleri

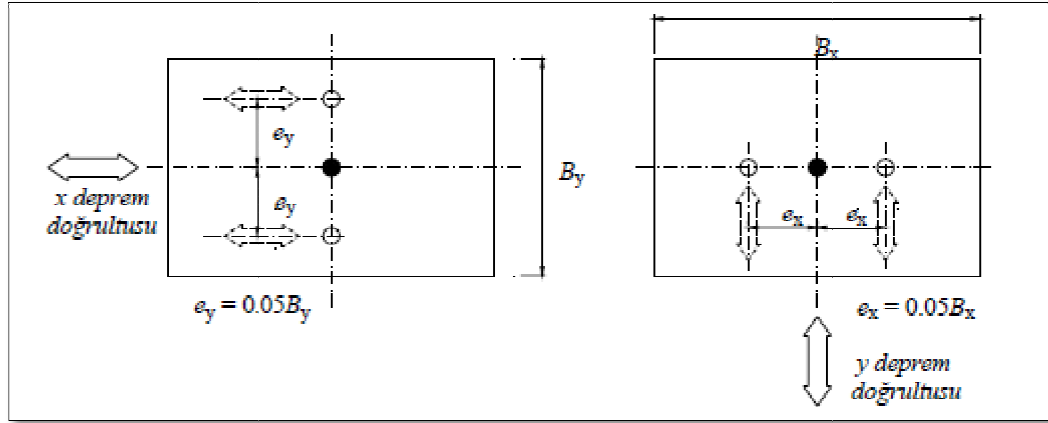
Bu çalışmada, yapıya etkiyen etkin deprem kuvvetlerinin belirlenmesi için modal analiz, mod birleştirme yöntemi ve davranış spektrum analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir [6].

Herhangi bir n’inci titreşim modunda gözönüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı, formülize edilmiştir(4.1).

$$S_{aR}(T_n) = [S_{ae}(T_n)] / [R_a(T_n)] \quad (4.1)$$

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi gözönüne alınacaktır.

Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisi’nin hesaba katılabilmesi amacı ile, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5’i ve -%5’i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır [6].



**Şekil 4.13** : Eksantrik yükleme şeması.

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, “Y”, gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90’ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir: [6].

$T_m < T_n$  olmak üzere, gözönüne alınan herhangi iki titreşim moduna ait doğal periyotların daima  $T_m / T_n < 0.80$  koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı (SRSS) uygulanabilir. Yukarıda belirtilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme (CQC) Kuralı uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayıları’nın hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır [6].

Bu ifadelerle bağlı tanımlar, analiz modelinde yapılmıştır.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı,  $A(T)$ , formül 4.2 ile verilmiştir. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu’nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme,  $S_{ae}(T)$ , Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi  $g$ ’nin çarpımına denk gelmektedir [6].

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (4.2)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (4.3)$$

Etkin Yer İvmesi Katsayısı,  $A_0$ , Çizelge 4.4’te tanımlanmıştır.

**Çizelge 4.4 :** DBYBHY'ye göre etkin yer ivmesi katsayıları.

Deprem Bölgesi	$A_0$
1	0.4
2	0.3
3	0.2
4	0.1

Çalışmada analiz edilen yapı, Tuzla-İstanbul'da konumlandığından 1. derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilmiştir. Bu durumda, yer ivmesi katsayısı ( $A_0$ ) değeri "0.4" olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.5 :** DBYBHY bina önem katsayısı tablosu.

<i>Binanın Kullanım Amacı veya Türü</i>	<i>Bina Önem Katsayısı (I)</i>
<b><u>1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</u></b> a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri; vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
<b><u>2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar</u></b> a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
<b><u>3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</u></b> Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
<b><u>4. Diğer binalar</u></b> Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1.0

Çalışmada analizi yapılan yapı, laboratuvar binası olarak seçildiğinden, I değeri "1.0" olarak belirlenmiştir.

Spektrum Katsayısı,  $S(T)$ , yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu  $T'$ 'ye bağlı olarak "4.4" formülleriyle hesaplanmıştır.

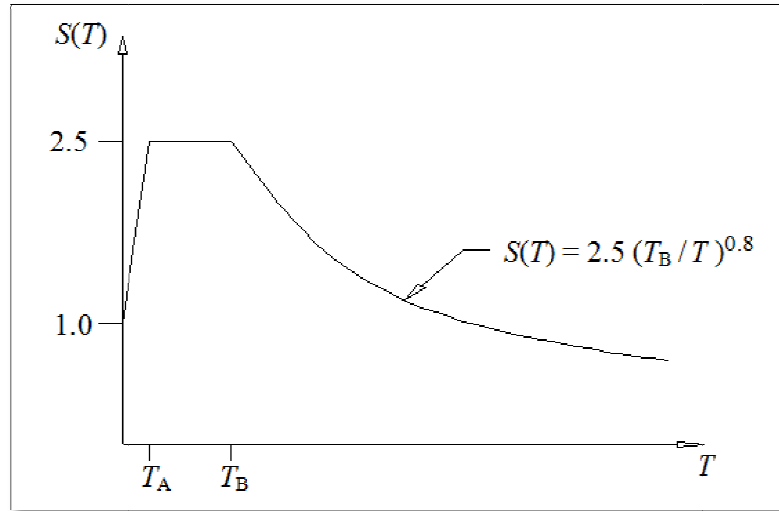
$$\begin{aligned}
S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
\end{aligned} \tag{4.4}$$

4.4 formülündeki Spektrum Karakteristik Periyotları,  $T_A$  ve  $T_B$ , Yerel Zemin Sınıfları'na bağlı olarak çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6 : DBYBHY spektrum karakteristik periyotları.**

Yerel Zemin Sınıfı	$T_A$ (sn)	$T_B$ (sn)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çalışmada yapının konumundaki zemin; Z4 sınıfı olarak seçildiğinden, " $T_A$ " ve " $T_B$ " değerleri sırasıyla "0.2" ve "0.9" olarak belirlenmiştir.



**Şekil 4.14 : DBYBHY'ne göre spektrum fonksiyon grafiği.**

Depremde taşıyıcı sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışını gözönüne almak üzere, spektral ivme katsayısına göre bulunacak elastik deprem yükleri, formül 4.5'te tanımlanan "deprem yükü azaltma katsayısı'na" bölünecektir. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için tanımlanan Taşıyıcı

Sistem Davranış Katsayısı, R'ye ve doğal titreşim periyodu, T'ye bağlı olarak belirlenecektir [6].

$$R_a(T) = 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (4.5)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T)$$

**Çizelge 4.7 : DBYBHY'ne göre taşıyıcı sistem davranış katsayıları.**

<i>BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ</i>	<i>Süneklik Düzeyi Normal Sistemler</i>	<i>Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler</i>
<b><u>(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR</u></b>		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşıdığı binalar .....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşıdığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşıdığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşıdığı binalar..	4	7
<b><u>(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR</u></b>		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşıdığı binalar .....	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşıdığı tek katlı binalar.....	—	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşıdığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar..	—	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşıdığı binalar.....	3	6
<b><u>(3) ÇELİK BİNALAR</u></b>		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşıdığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşıdığı tek katlı binalar.....	—	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşıdığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşıdığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	—	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu.....	4	7

Analizi yapılan jeodezik kubbe yapının tüm elemanlarının, kabuk formun bütünlüğü ve stabilitesi açısından plastik deformasyon bölgesine girmeden çalışması istendiğinden, Çizelge 4.7'ye göre bir "R" seçilmemiştir ve "R" değeri "1" olarak kullanılmıştır.

DBYBHY'ye göre, deprem yükleri - yapı kütle genel denklemi şu şekildedir;

$$V_t = [WA_oIS(T)]/[R_a(T)] = mgA_oI[S(T) / R_a(T)] \quad (4.6)$$

Burada "gA\_oI" ifadesi "skala katsayısı (SK)" olarak tanımlanır.

Üzerinde çalıştığımız yapıda; bu katsayının sayısal değeri; santimetre birimi için "392.4" olarak hesaplanmıştır.

#### 4.2.1.4 Rüzgar yükleri

ASCE 7-10 Tablo 27.2-1'de rüzgar yüklemesi için bir dizi işlem, sırasıyla tarif edilir.

Adım 1: Yapı risk grubu II'dir.

**Çizelge 4.8 : ASCE 7-10 yüklere göre yapı risk sınıfları.**

Use or Occupancy of Buildings and Structures	Risk Category
Buildings and other structures that represent a low risk to human life in the event of failure	I
All buildings and other structures except those listed in Risk Categories I, III, and IV	II
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial risk to human life.	III
Buildings and other structures, not included in Risk Category IV, with potential to cause a substantial economic impact and/or mass disruption of day-to-day civilian life in the event of failure.	
Buildings and other structures not included in Risk Category IV (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, hazardous waste, or explosives) containing toxic or explosive substances where their quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction and is sufficient to pose a threat to the public if released.	
Buildings and other structures designated as essential facilities.	IV
Buildings and other structures, the failure of which could pose a substantial hazard to the community.	
Buildings and other structures (including, but not limited to, facilities that manufacture, process, handle, store, use, or dispose of such substances as hazardous fuels, hazardous chemicals, or hazardous waste) containing sufficient quantities of highly toxic substances where the quantity exceeds a threshold quantity established by the authority having jurisdiction to be dangerous to the public if released and is sufficient to pose a threat to the public if released. <sup>a</sup>	

Adım 2: Risk grubuna karşılık gelen temel rüzgar hızı “V” değerini bulmak için referans edilen tabloda yer alan haritalar, Amerika Birleşik Devletleri bölgelerini verdiğinden, Tuzla-İstanbul için “65m/s” nominal hız seçilmiştir.

Adım 3: Rüzgar doğrusalılık faktörü ( $K_d$ ) eğrisel çatılar için “0.85” olarak belirlenmiştir.

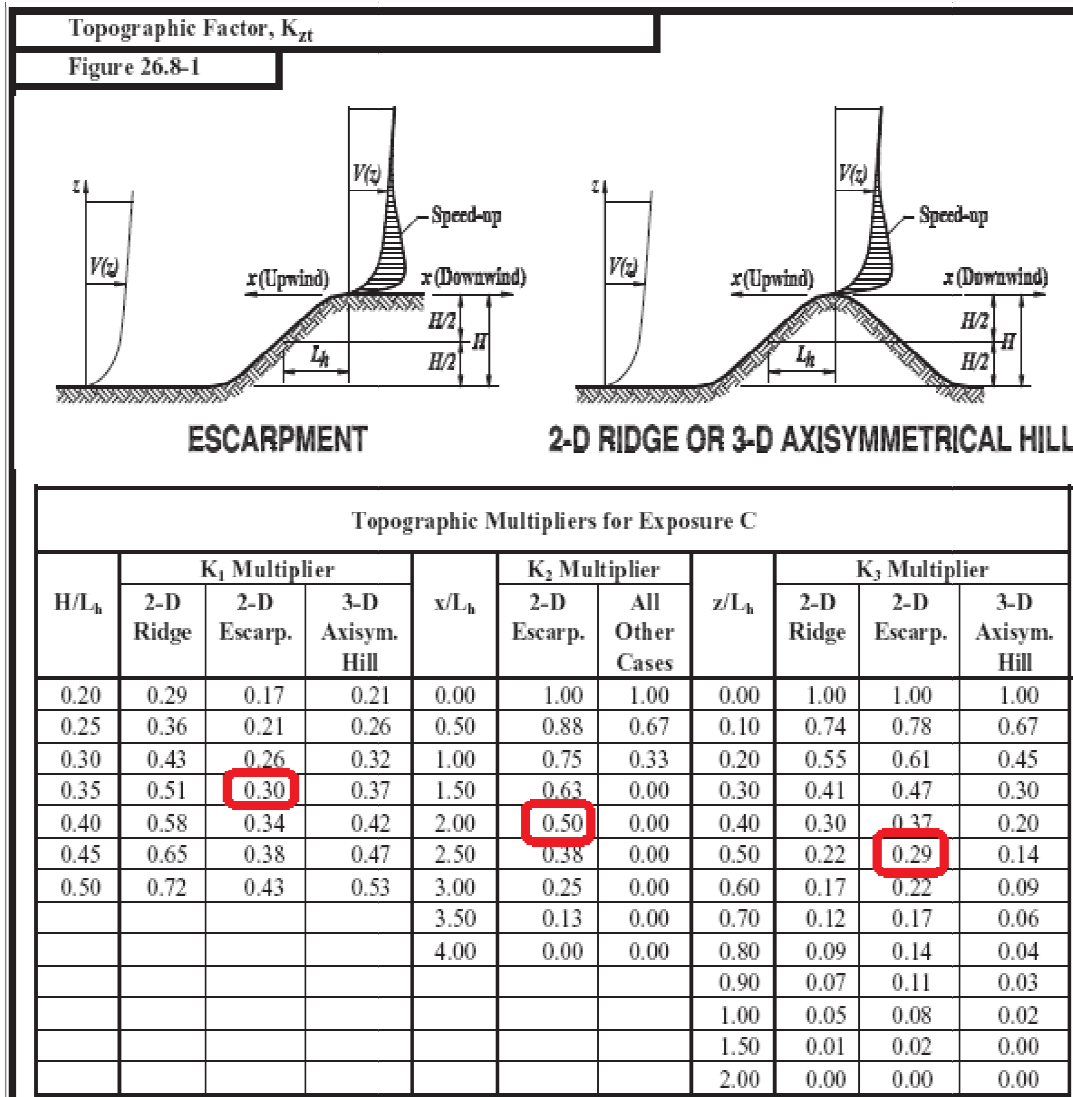
Yapının etki kategorisi “C” sınıfı olarak belirlenmiştir.

Topoğrafik faktör ( $K_{zt}$ ) için “4.7” formülü kullanılmıştır.

$$(K_{zt}) = (1+K_1 K_2 K_3)^2 \quad (4.7)$$

$$(K_{zt}) = (1+K_1 K_2 K_3)^2 = (1+0.3 \times 0.5 \times 0.29)^2 = 1.089$$

Çizelge 4.9 : ASCE 7-10’a göre topoğrafik faktörler.



Yapı için fırtına etki faktörü (G), tablodan “0.85” olarak okunmuştur.

Yapı kapalı sınıfı için tablodan “3” değeri alınmıştır.

İç basınç katsayısı, yapı kapalı olduğu için hesaba katılmamıştır.

Adım 4: Hız basınç katsayısının bulunması için çizelge 4.10'dan “1.09” değeri alınmıştır.

**Çizelge 4.10 : ASCE 7-10 yükseklik - etki tablosu.**

Height above ground level, z		Exposure		
		B	C	D
ft	(m)			
0-15	(0-4.6)	0.57	0.85	1.03
20	(6.1)	0.62	0.90	1.08
25	(7.6)	0.66	0.94	1.12
30	(9.1)	0.70	0.98	1.16
40	(12.2)	0.76	1.04	1.22
50	(15.2)	0.81	1.09	1.27
60	(18)	0.85	1.13	1.31
70	(21.3)	0.89	1.17	1.34
80	(24.4)	0.93	1.21	1.38
90	(27.4)	0.96	1.24	1.40
100	(30.5)	0.99	1.26	1.43
120	(36.6)	1.04	1.31	1.48
140	(42.7)	1.09	1.36	1.52
160	(48.8)	1.13	1.39	1.55
180	(54.9)	1.17	1.43	1.58
200	(61.0)	1.20	1.46	1.61
250	(76.2)	1.28	1.53	1.68
300	(91.4)	1.35	1.59	1.73
350	(106.7)	1.41	1.64	1.78
400	(121.9)	1.47	1.69	1.82
450	(137.2)	1.52	1.73	1.86
500	(152.4)	1.56	1.77	1.89

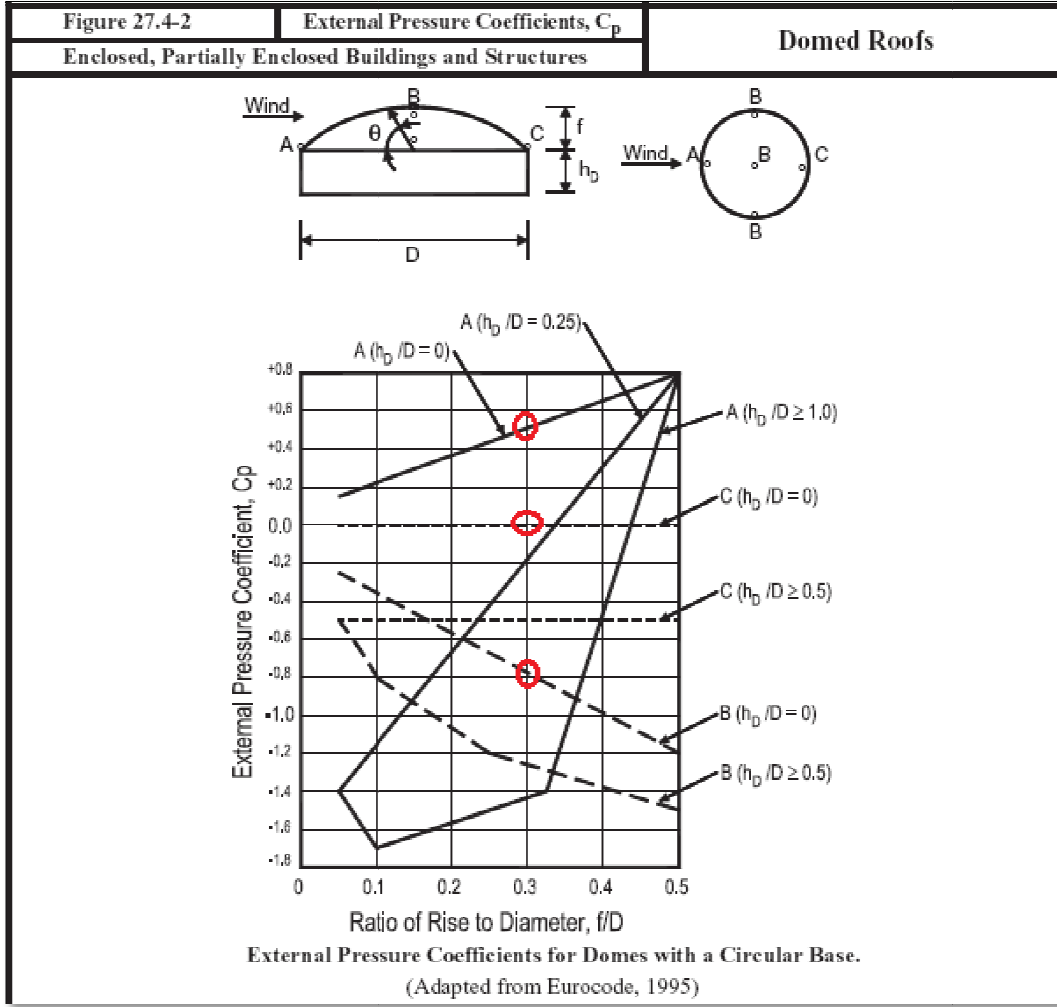
Adım 5: Formül 4.8'e göre hıza bağlı basınç değeri ( $q_z$ ) belirlenmiştir.

$$q_z = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2 \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (4.8)$$

$$q_z = 0.613 (1.09) (1.089) (0.85) (65)^2 = 2.613 \text{ kN/m}^2$$

Adım 6: Çizelge 4.11'e göre dış basınç katsayısı “ $C_p$ ” değeri hesaplanmıştır.

**Çizelge 4.11 : ASCE 7-10'a göre dış basınç çarpanları.**



$$C_{pA} = +0.50$$

$$C_{pB} = -0.75$$

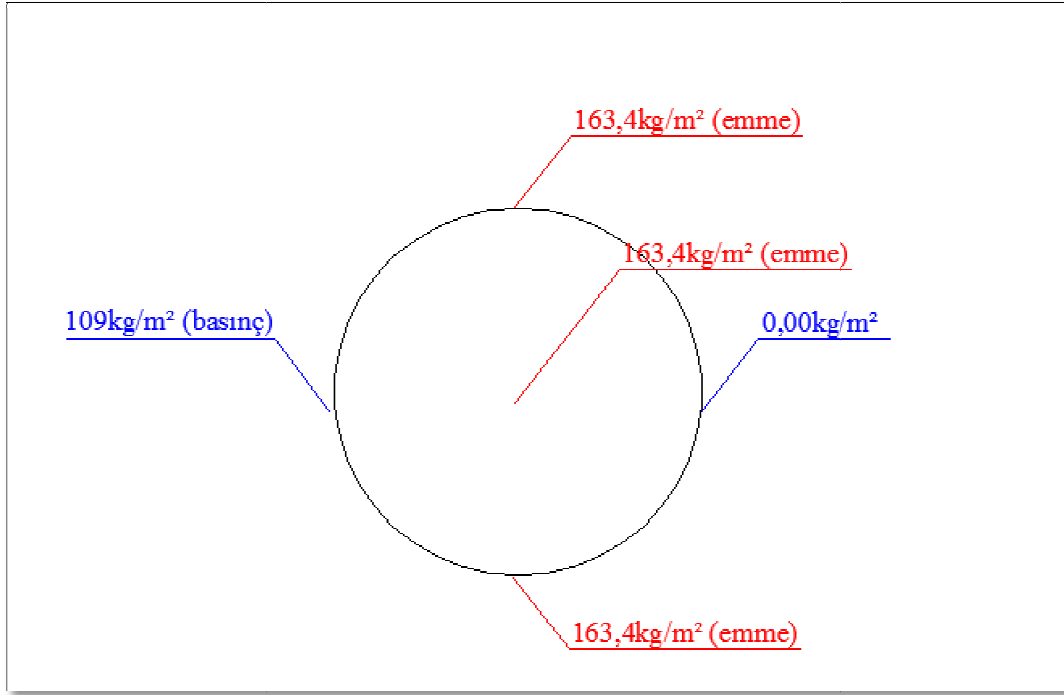
$$C_{pC} = \pm 0.00$$

$$p = qGC_p \text{ (N/m}^2\text{)}$$

$$\text{Zone A için: } p_A = qGC_{pA} = 2613 (0.85) (0.5) = 1110.50 \text{ N/m}^2 = 109\text{kg/m}^2$$

$$\text{Zone B için: } p_B = qGC_{pB} = 2613 (0.85) (0.75) = 1665.75 \text{ N/m}^2 = 163.4\text{kg/m}^2$$

$$\text{Zone C için: } p_C = qGC_{pC} = 2613 (0.85) (0.00) = 0.00 \text{ kg/m}^2$$



**Şekil 4.15 :** ASCE 7-10'a göre hesaplanan rüzgar yük değerleri.

Analiz modeline yüklerin işlenmesi için şekil 4.15'te bulunan yük değerleri, geometrik iterasyonla alana yayılmıştır. Analiz programında, itere edilmiş yükleri modelleyebilmek için kubbe form, alanlara ayrılıp gruplanmıştır.

#### 4.2.1.5 Kar yükleri

ASCE 7-10'a göre, yapıda kar yüklerinin belirlenmesi için uygulanacak hesap sistematığının ilk basamağında zati kar ağırlığının ( $p_g$ ) belirlenmesi yer almaktadır. İlgili şartnamede zati kar yükleri tabloları Amerika Birleşik Devletleri bölgelerini içerdiğinden, analizini yapacağımız yapı için "1.5kN/m<sup>2</sup>" nominal zati kar ağırlığı alınmıştır.

ASCE 7-10'a göre kar yükü hesabının ikinci aşamasında, düz/eğimsiz çatılar için kar yükünün hesaplanması yer almaktadır.

İlgili hesap 4.9 no'lu formüle göre yapılmıştır.

$$p_f = 0.7C_eC_iI_s p_g \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad (4.9)$$

Bu formülde yer alan parametreler sırasıyla şunlardır;

Etkilenme faktörü( $C_e$ ): Rüzgar hesabında, yapının çevresinin açıklık durumuna göre seçilen "C" sınıfı, kar yükü etkilenme faktörünü belirlerken de kullanılır. Çizelge

4.12'ye göre, "C" sınıfı ve dış etkilere tamamen açık bir yapının etkilenme faktörü olarak "0.9" değeri alınmıştır.

**Çizelge 4.12 : ASCE 7-10 etkilenme faktörü ( $C_e$ ) tablosu.**

Terrain Category	Exposure of Roof <sup>a</sup>		
	Fully Exposed	Partially Exposed	Sheltered
B (see Section 26.7)	0.9	1.0	1.2
C (see Section 26.7)	0.9	1.0	1.1
D (see Section 26.7)	0.8	0.9	1.0
Above the treeline in windswept mountainous areas.	0.7	0.8	N/A
In Alaska, in areas where trees do not exist within a 2-mile (3-km) radius of the site.	0.7	0.8	N/A

Termal faktör( $C_t$ ): Kar yükü hesabı için kullanılacak termal faktör, çizelge 4.13'e göre belirlenir. Yapının dış kabuğu için özel bir durum tanımlanmadığından, tablodan " $C_t$ " değeri olarak "1" alınmıştır.

**Çizelge 4.13 : ASCE 7-10 termal faktör ( $C_t$ ) tablosu.**

Thermal Condition <sup>a</sup>	$C_t$
All structures except as indicated below	1.0
Structures kept just above freezing and others with cold, ventilated roofs in which the thermal resistance (R-value) between the ventilated space and the heated space exceeds $25 \text{ }^\circ\text{F} \times h \times \text{ft}^2/\text{Btu}$ ( $4.4 \text{ K} \times \text{m}^2/\text{W}$ ).	1.1
Unheated and open air structures	1.2
Structures intentionally kept below freezing	1.3
Continuously heated greenhouses <sup>b</sup> with a roof having a thermal resistance (R-value) less than $2.0 \text{ }^\circ\text{F} \times h \times \text{ft}^2/\text{Btu}$ ( $0.4 \text{ K} \times \text{m}^2/\text{W}$ )	0.85

Önem faktörü ( $I_s$ ): Kar yüklerinin hesabında kullanılacak önem faktörü (I), yapı risk grubu tablosundan okunan değere göre belirlenmiştir. Tabloya yapı risk grubu II' dir ve önem faktörü, "1" olarak alınmıştır.

Bu bilgiler ışığında, düz/eğimsiz çatı kar yükü " $p_f$ " hesaplanacak olursa;

$$p_f = 0.7C_eC_tI_s p_g$$

$$p_f = 0.7(0.9)(1)(1.5\text{kN/m}^2) = 92.61\text{kg/m}^2 \text{ değeri bulunur.}$$

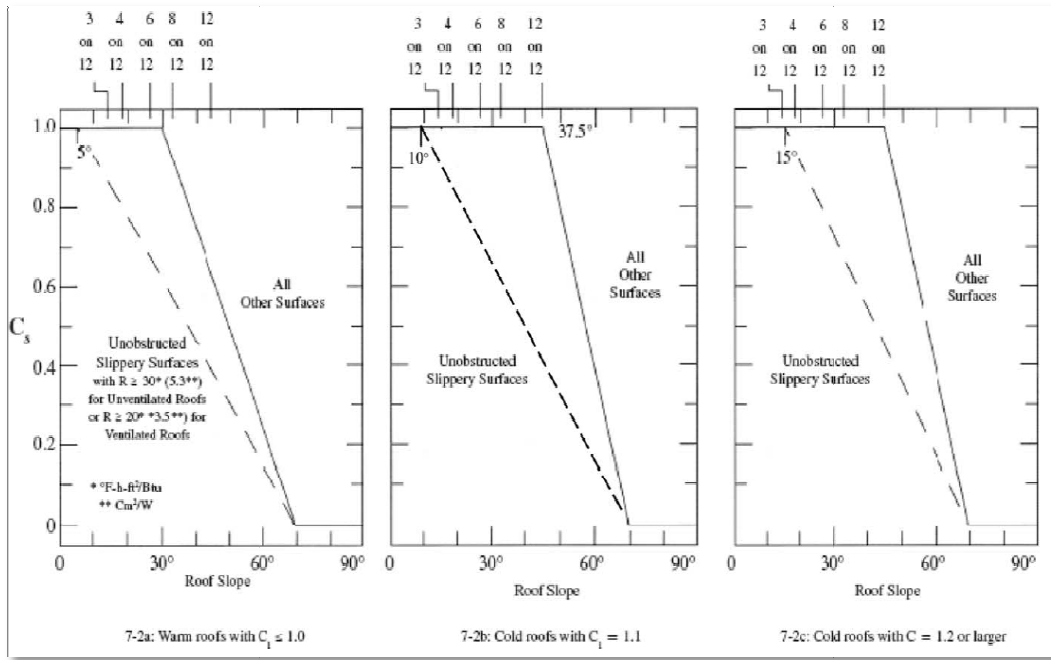
Kubbe yapının eğriliğinden tanjant değeri alınarak eğimi bulunmuştur. Bu hesaba göre; çatının  $45^\circ$  lik bir eğimi olduğu kabul edilmiştir.

ASCE 7-10'da eğimsiz çatı hesabından eğimli çatı hesabına geçmek için formül 4.10 kullanılır.

$$p_s = C_s p_f \quad (4.10)$$

Şartnamede, eğimli çatı eğim faktörünün belirlenmesi için çizelge 4.14 kullanılır. İlgili tablonun irdelenmesiyle ( $C_s$ ) değeri; "0.5" olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 4.14 : ASCE 7-10 çatı kar yükü ( $C_s$ ) tablosu.**



Bu durumda eğimli çatı kar yükü değeri;

$$p_s = C_s p_f = 92.61 \text{ kg} (0.5) = 46.31 \text{ kg/m}^2 \text{ dir.}$$

Burada bulunan yük, dengeli kar yükü tanımına karşılık gelmektedir.

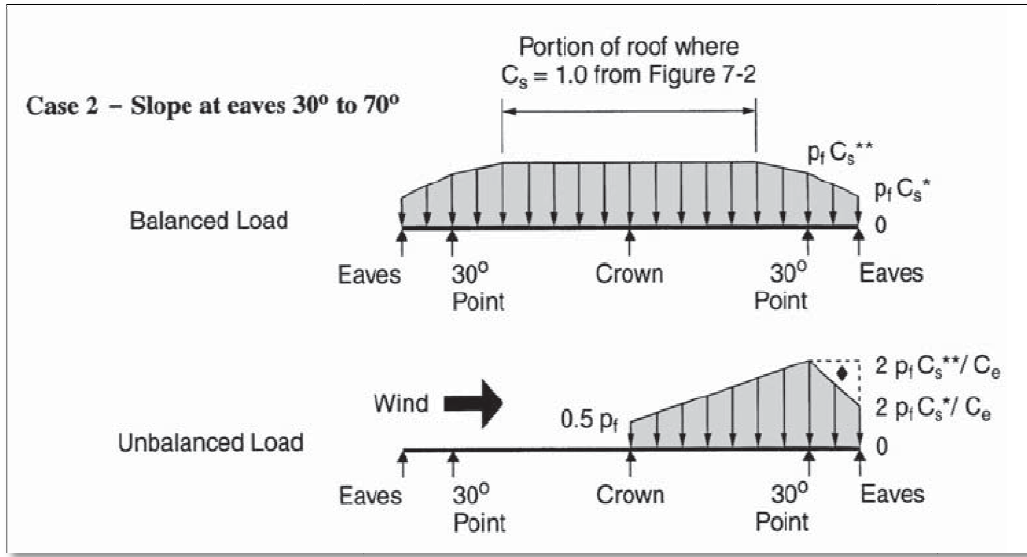
Dengelenmemiş kar yükü, çizelge 4.15 kullanılarak bulunmuştur.

Tablodan anlaşılacağı üzere; yapıda, tepe noktasında;  $0.5 C_s p_f$ , alt noktada ise  $2 C_s p_f$  yükten mütevellit bir dağılım kabul edilecektir.

$$0.5 C_s p_f = 46.31 \text{ kg/m}^2$$

$$2 C_s p_f = 185.22 \text{ kg/m}^2$$

**Çizelge 4.15 : ASCE 7-10 dengelenmemiş kar yükü tablosu.**



#### 4.2.1.6 Sıcaklık farkından doğan yükler

Çelik taşıyıcının montajının yaz aylarına denk geleceği ve yapının kullanım durumunda, standart oda sıcaklığında tutulacağı göz önüne alındığında analizde “10°C” sıcaklık farkı parametresinin girilmesi uygun görülmüştür. ASCE 7-10 madde 2.44'e göre, sıcaklık farkından doğan yükler, temel kombinasyonlara uygun görülen yerlerde dahil edilmiştir.

#### 4.2.2 Yük kombinasyonları

##### 4.2.2.1 Kesit tahkikleri için kullanılacak yük kombinasyonları

AISC 360-10 yönetmeliğine göre emniyet gerilmeleri yöntemi yük isimleri ve yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir;

D: Ölü yük

L: Hareketli yük

S: Kar yükü

R: Yağmur yükü

E: Deprem yükü

W: Rüzgar yükü

T: Sıcaklık farkından doğan yükler

Bu yükleme durumlarına göre emniyet gerilmesi yöntemi (ASD) yük kombinasyonları aşağıdaki gibidir;

D (SELF+K)

D+L

D+(Lr veya S veya R)

D+0.75L+0.75(Lr veya S veya R)

D+(0.6W veya 0.7E)

D+0.75L+0.75(0.6W)+ 0.75(Lr veya S veya R)

D+0.75L+0.75(0.7E)+0.75S

0.6D+0.6W

0.6D+0.7E

Analiz modelindeki yük tipleri, yukarıdaki temel kombinasyonlar türetilerek oluşturulmuştur.

Analiz modelindeki yük isimleri;

Self: Çelik yapının kendi ağırlığı

K: Kaplama yükleri

E: Deprem yükü

W: Rüzgar yükü

S: Kar yükü

Sd: Dengelenmemiş kar yükü

T: Sıcaklık farkından doğan yükler

ASCE 7-10 madde 2.4.4'e göre, sıcaklık farkından doğan yüklerin, diğer yüklerin ekstremum durumlarıyla aynı anda oluşma ihtimali zayıf olduğundan, sıcaklık farkı yüklemesi, "0.75" katsayısı ile küçültülerek kombinasyonlara girilmiştir.

Analiz modelinde ölü yükler, "SELF+K" kombinasyonunda "D" ismi ile tanımlanmıştır. Bu kombinasyonda yapısal çeliklerin kendi ağırlığına ilave olarak, düğüm noktası ağırlıklarının da hesaba katılabilmesi için "%10" oranında artışa gidilmiştir.

Türetilen yük kombinasyonları;

$D(\text{SELF}+K)$

$D$

$D+0.75T$

$D+S$

$D+S+0.75T$

$D+S_d$

$D+S_d+0.75T$

$D+0.75S$

$D+0.75S+0.75T$

$D+0.75S_d$

$D+0.75S_d+0.75T$

$D+0.7EX$

$D+0.7EX+0.75T$

$D+0.7EY$

$D+0.7EY+0.75T$

$D+0.6WX$

$D+0.6WX+0.75T$

$D+0.45WX+ 0.75S$

$D+0.45WX+ 0.75S+0.75T$

$D+0.45WX+ 0.75S_d$

$D+0.45WX+ 0.75S_d+0.75T$

$D+0.525EX+0.75S$

$D+0.525EX+0.75S+0.75T$

$D+0.525EX+0.75S_d$

$D+0.525EX+0.75S_d+0.75T$

$D+0.525EY+0.75S$

$D+0.525EY+0.75S+0.75T$

$D+0.525EY+0.75Sd$

$D+0.525EY+0.75Sd+0.75T$

$0,6D+0.6WX$

$0,6D+0.6WX+0.75T$

$0,6D+0.7EX$

$0,6D+0.7EX+0.75T$

$0,6D+0.7EY$

$0,6D+0.7EY+0.75T$

"Y" yönündeki rüzgar yükleri "WY", yapının dairesel formda olması nedeniyle analizde yer almamaktadır. "Y" yönündeki deprem yükleri "EY" ise, dengelenmemiş kar yükü kombinasyonlarında elverişsiz durum oluşturabileceğinden, hesaba katılmıştır.

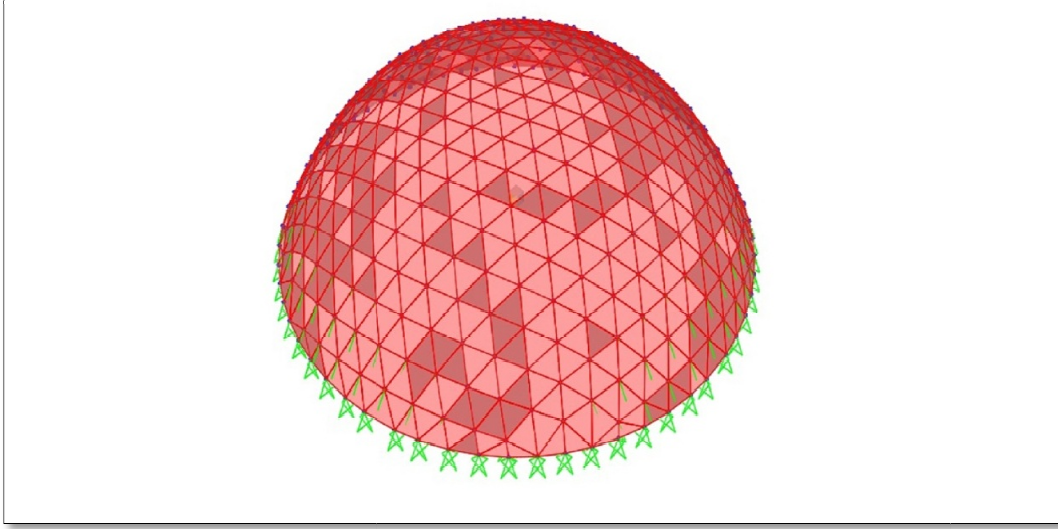
#### **4.2.3 Yükleme şekilleri**

##### **4.2.3.1 Ölü yükler**

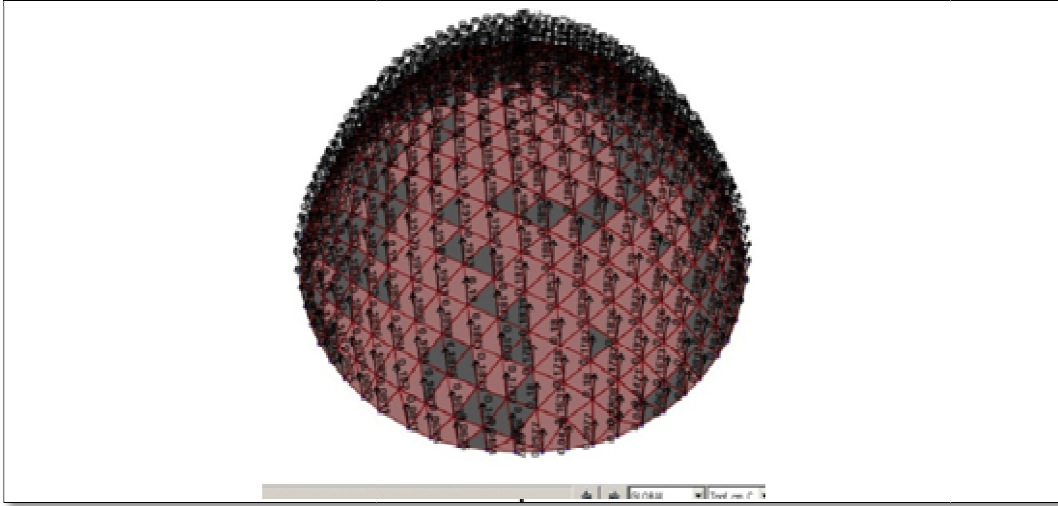
Ölü yükleri, analiz programı, malzeme birim ağırlıkları ve kesitler doğru işlendiği takdirde, kendisi hesaba katılmaktadır. Analiz programında çelik zati yükleri "SELF" ismiyle tanımlanmıştır. Analizde ve kesit hesaplarında, modelde tanımlanmadığı için bulunmayan ancak uygulamada var olacak düğüm noktalarının ağırlıkları, ölü yüklerle "%10" arttırım yapılarak hesaba katılmıştır.

##### **4.2.3.2 Kaplama yükleri**

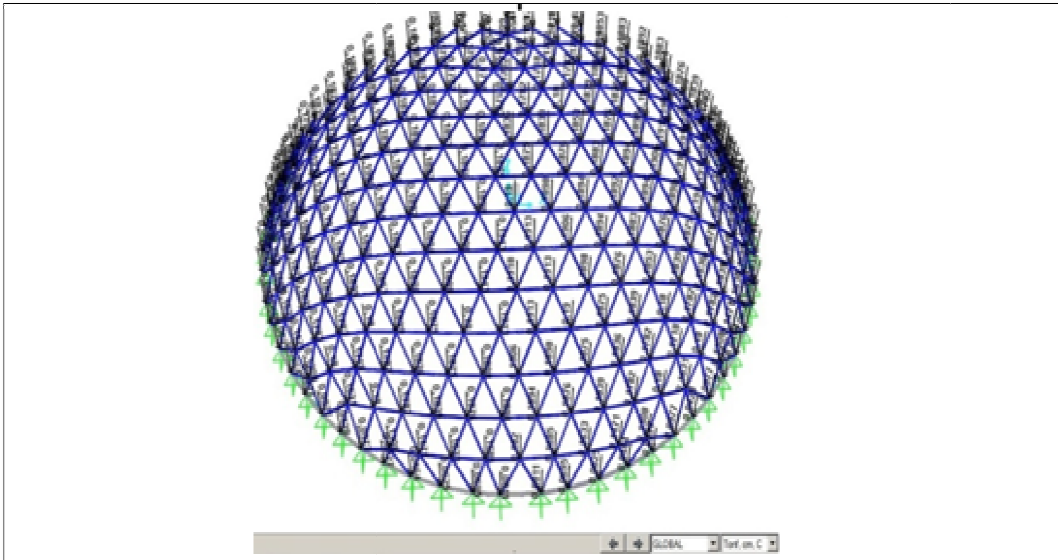
Bölüm 4.2.1.2'de hesaplanan  $27\text{kg/m}^2$  kaplama yükünün modele işlenmesi için, analiz modelindeki üçgen hücrelere yüksek rijitlikli  $27\text{kg/m}^2$  ağırlıklı plakalar yerleştirilip çubuk elemanlar silinmiştir. Düğüm noktalarına basit mesnetler atanmış ve ölü yükler durumunda analiz edilen modelin mesnet tepkileri bir tabloya çekilerek ve değerler "-1" değeri ile çarpılarak elde edilen yükler asıl analiz modelinin düğüm noktalarına etkilmiştir.



**Şekil 4.16 :** Analiz modeli kaplama görüntüsü.



**Şekil 4.17 :** Analiz modeli kaplama yükleme görüntüsü 1/2.



**Şekil 4.18 :** Analiz modeli kaplama yükleme görüntüsü 2/2.

#### 4.2.3.3 Deprem yükleri

Bu çalışmada, yapının deprem yüklerinin belirlenmesinde, davranış spektrumu analizi (response spectrum analysis) yöntemi kullanılmıştır. Davranış spektrumu analizi; lineer dinamik istatistik bir analiz metodudur. Bu metot ile, yapının doğal modlarının elastik yapıya etkisi incelenir. İlgili yöntem, “SAP2000” analiz modelinde tanımlanıp, verileri irdelenmiştir.

Davranış spektrum analizi için öncelikle bir spektrum fonksiyonu tanımlanmalıdır. DBYBHY'deki formülizasyon ile (4.4) tanımlanan fonksiyondaki S(T) değerleri, sistem davranış katsıyısına ( $R_a$ ) bölünüp fonksiyon, analiz modeline çağırılmıştır.

$$\begin{aligned}
 S(T) &= 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 S(T) &= 2.5 & (T_A < T \leq T_B) \\
 S(T) &= 2.5 \left( \frac{T_B}{T} \right)^{0.8} & (T_B < T)
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

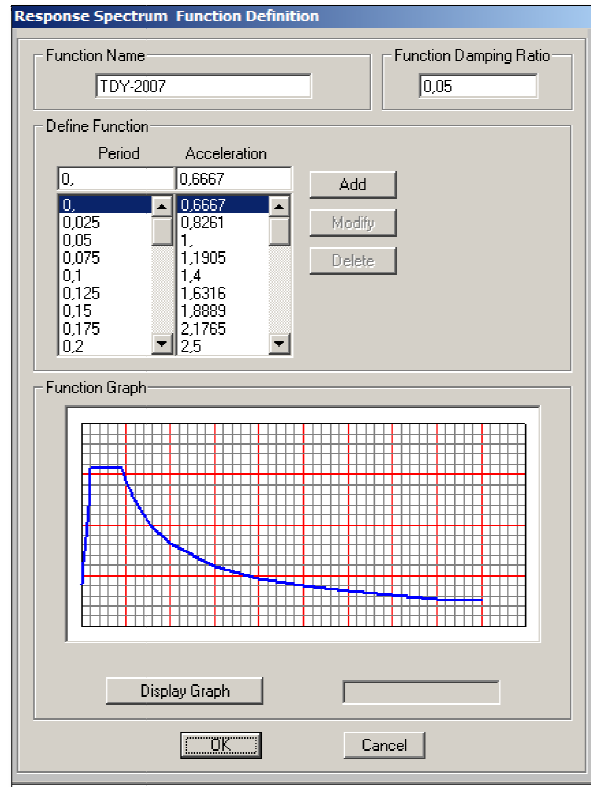
$$\begin{aligned}
 R_a(T) &= 1.5 + (R - 1.5) \frac{T}{T_A} & (0 \leq T \leq T_A) \\
 R_a(T) &= R & (T_A < T)
 \end{aligned} \tag{4.5}$$

**Çizelge 4.16 :** Spektrum grafiği için veri tablosu.

Zemin Sınıfı	$T_A$ (sn) (Z4)	$T_B$ (sn) (Z4)	R
Z4	0.2	0.9	1
T	S(T)	$R_a$	S(T)/ $R_a$
0.000	1.000	1.500	0.667
0.025	1.188	1.438	0.826
0.050	1.375	1.375	1.000
0.075	1.563	1.313	1.190
0.100	1.750	1.250	1.400
0.125	1.938	1.188	1.632
0.150	2.125	1.125	1.889
0.175	2.313	1.063	2.176
0.200	2.500	1.000	2.500
0.900	2.500	1.000	2.500
0.925	2.446	1.000	2.446
0.950	2.394	1.000	2.394
0.975	2.345	1.000	2.345
1.000	2.298	1.000	2.298
1.025	2.253	1.000	2.253
1.050	2.210	1.000	2.210

1.075	2.169	1.000	2.169
1.100	2.129	1.000	2.129
1.125	2.091	1.000	2.091
1.150	2.055	1.000	2.055
1.175	2.020	1.000	2.020
1.200	1.986	1.000	1.986
1.300	1.863	1.000	1.863
1.400	1.756	1.000	1.756
1.500	1.661	1.000	1.661
1.600	1.578	1.000	1.578
1.700	1.503	1.000	1.503
1.800	1.436	1.000	1.436
1.900	1.375	1.000	1.375
2.000	1.320	1.000	1.320
3.000	0.954	1.000	0.954
4.000	0.758	1.000	0.758
5.000	0.634	1.000	0.634
6.000	0.548	1.000	0.548
7.000	0.484	1.000	0.484
8.000	0.435	1.000	0.435
9.000	0.396	1.000	0.396

Çizelge 4.16'daki verilerin analiz modeline işlenmesiyle aşağıdaki grafik elde edilmiştir;



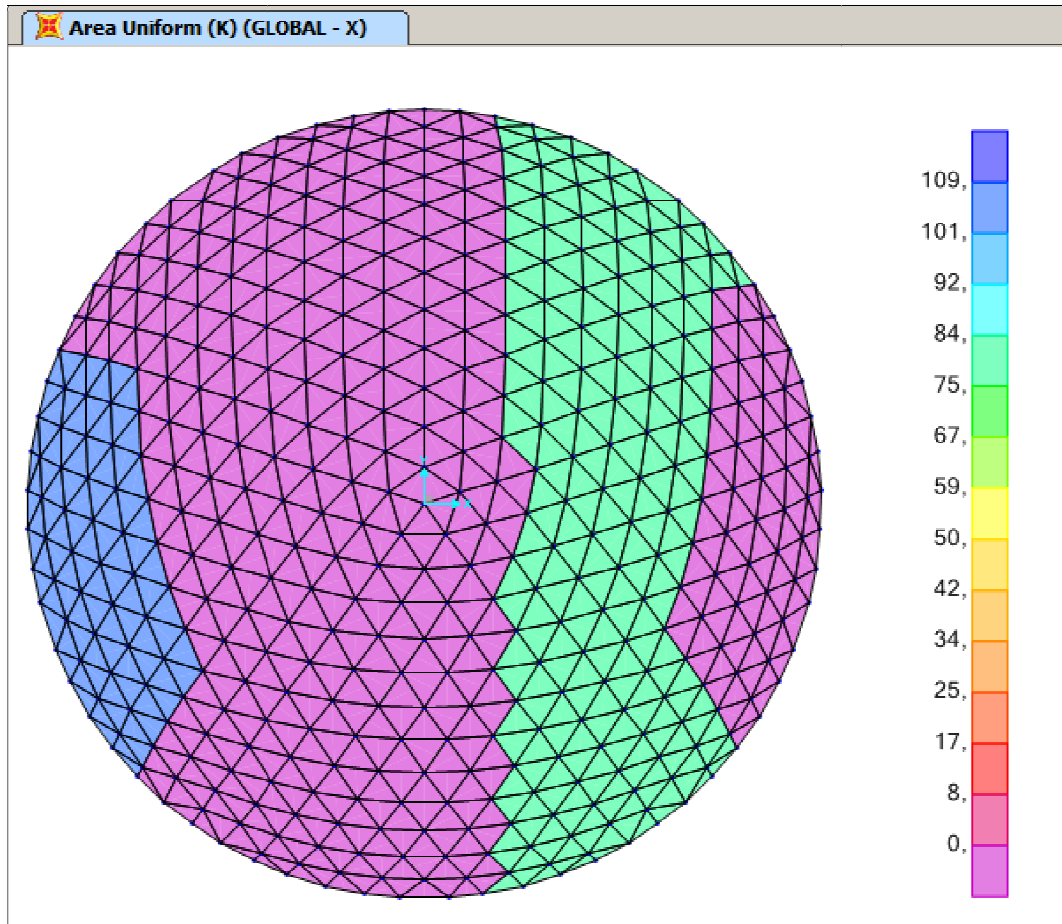
Şekil 4.19 : Davranış spektrum fonksiyonu.

“SAP2000” analiz programında, davranış spektrum tanım sayfasına 4.11 no’lu formüle göre skala faktörü olarak (ton-santimetre birimi için) "392.4" değeri girilmiştir.

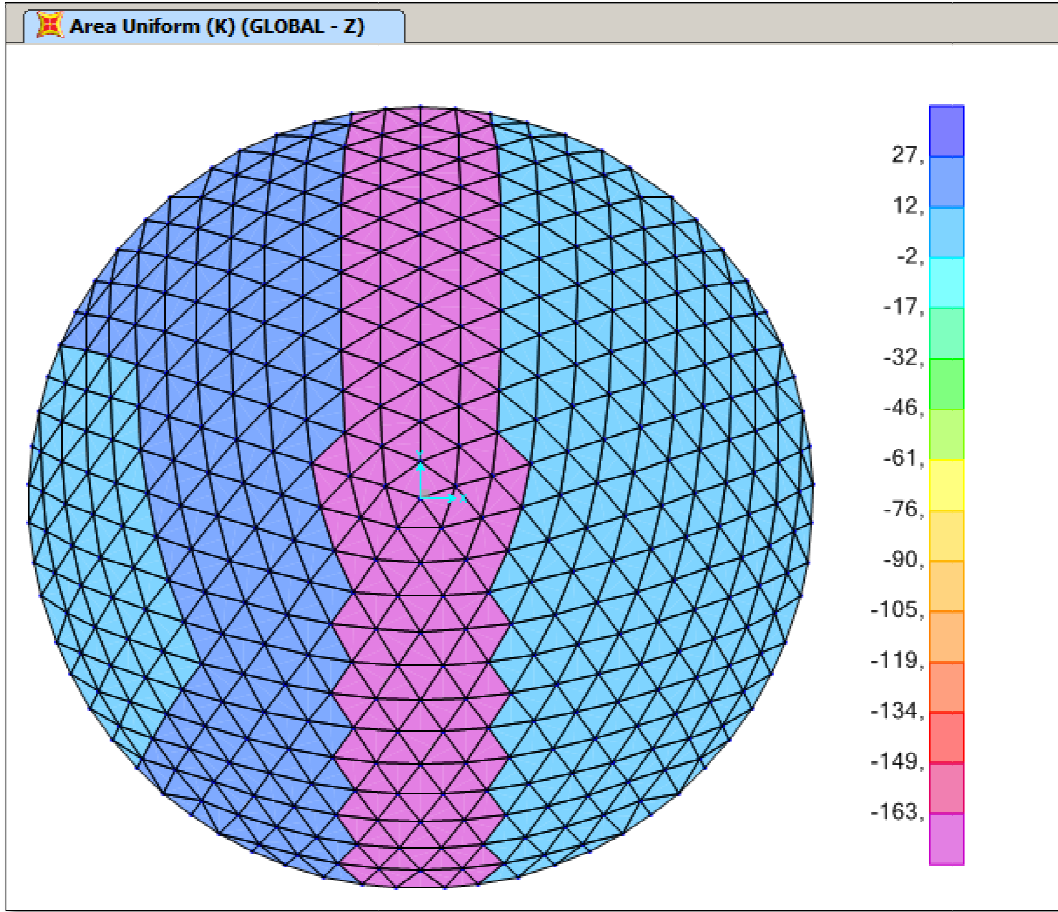
$$A_0 I_g = SF \quad (4.11)$$

#### 4.2.3.4 Rüzgar yükleri

Bölüm 4.2.1.4’te hesaplanan rüzgar yüklerinin modele işlenmesi için, analiz modelindeki üçgen hücrelere yüksek rijitlikli plakalar yerleştirilip çubuk elemanlar silinmiştir. Yüklemeler, plakalara yapılmıştır. Düğüm noktalarına basit mesnetler atanmış ve analiz edilen modelin mesnet tepkileri bir tabloya çekilerek, değerler "-1" değeri ile çarpılmıştır. Elde edilen yük değerleri, asıl analiz modelinin düğüm noktalarına etkililmiştir.



Şekil 4.20 : Rüzgar yükü yükleme gösterimi “- X” yönünde etkililen yükler.



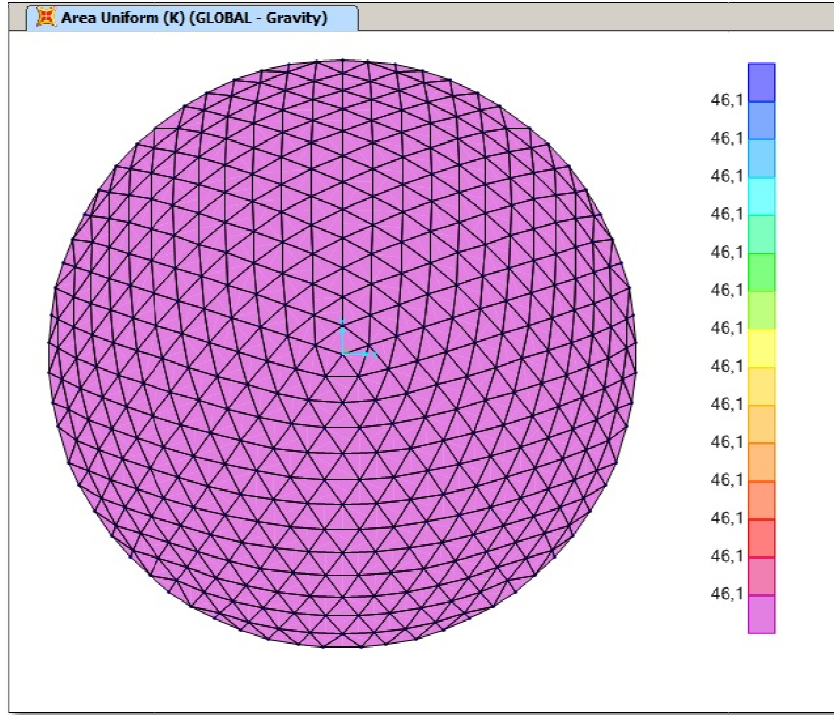
Şekil 4.21 : Rüzgar yükü yükleme gösterimi “- Z” yönünde etkitilen yükler.

#### 4.2.3.5 Kar yükleri

Bölüm 4.2.1.5'te hesaplanan kar yüklerinin modele işlenmesi için, analiz modelindeki üçgen hücrelere yüksek rijitlikli plakalar yerleştirilip çubuk elemanlar silinmiştir. Yüklemler, plakalara yapılmıştır.

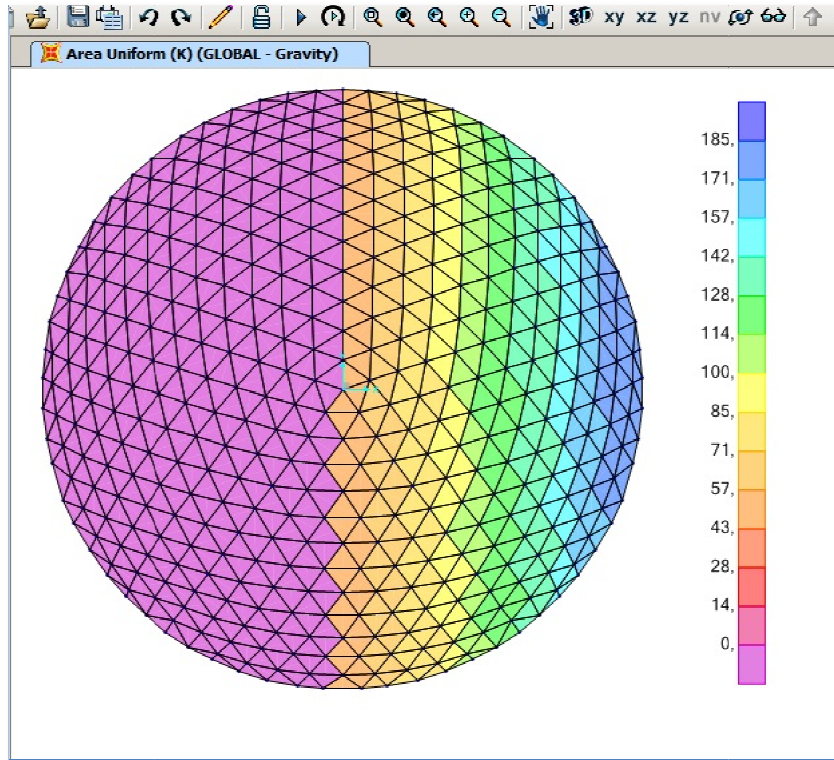
Düğüm noktalarına basit mesnetler atanmış ve analiz edilen modelin mesnet tepkileri bir tabloya çekilerek, değerler "-1" değeri ile çarpılmıştır. Elde edilen yük değerleri, asıl analiz modelinin düğüm noktalarına etkitilmiştir.

Dengelenmiş ve dengelenmemiş kar yükleri ayrı ayrı yük isimleriyle modele etkitilmiştir.



Şekil 4.22 : (S) kar yükü yükleme gösterimi “- Z” yönünde etkitilen yükler.

ASCE 7-10’a göre hesaplanan dengeli kar yükleri, analiz modeline, yerçekimi doğrultusunda işlenmiştir.



Şekil 4.23 : (Sd) kar yükü yükleme gösterimi “- Z” yönünde etkitilen yükler

ASCE 7-10'a göre hesaplanan dengelenmemiş kar yükleri, analiz modeline, yerçekimi doğrultusunda işlenmiştir.

#### **4.2.3.6 Sıcaklık farkından doğan yükler**

Sıcaklık farkından doğacak kuvvetlerin analiz modelinde tanımlanabilmesi için, çubuk elemanlara "10°C" sıcaklık değişim yklemeesi yapılmıştır.

## 5. ANALİZ SONUÇLARININ İRDELENMESİ

### 5.1 Analiz Modelindeki Genel Tanımlar

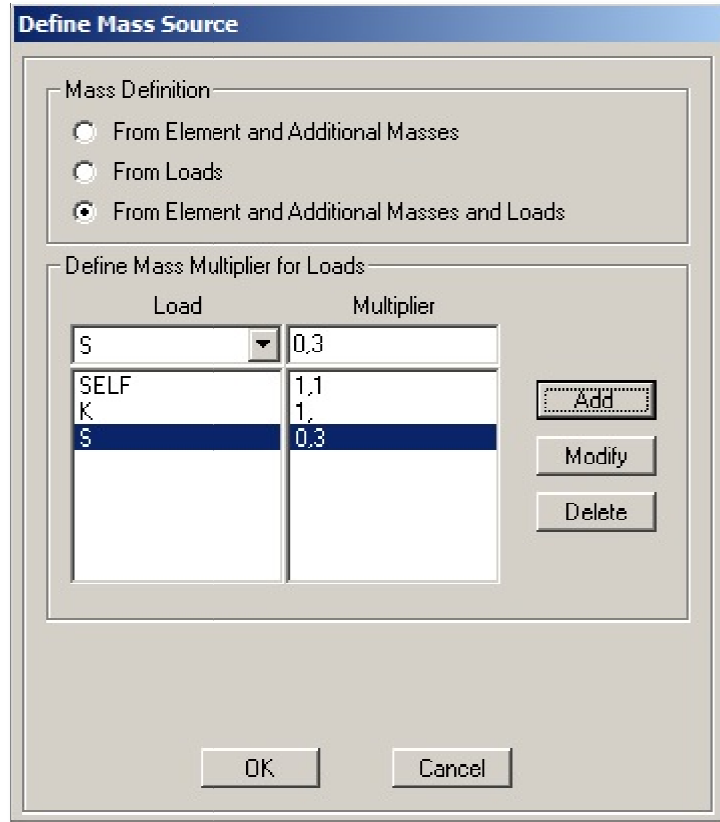
Yapısal analizin yapının gerçek davranışına uygun kabullerle yapılabilmesi için analiz modelindeki veri girişlerinin ve tanımların doğru yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada, deprem yük analizi için “davranış spektrum analiz yöntemi” kullanılmıştır. Bu analiz yöntemi, yapının titreşim mod simülasyonlarından veri alan bir algoritmaya sahip olduğu için, titreşim mod tanımlarında yapının karmaşıklığı hesaba katılarak mod sayısı belirlenmiş ve girilmiştir. Mod tanımları, yapının modal analiz sonucu ortaya çıkacak kütle katılım oranlarının “%90” veya daha yüksek değerde olması kuralına uygun şekilde yapılmalıdır. Çalışmamızda, yapının karmaşıklığı hesaba katılarak yüksek sayıda mod kabulü yapılmıştır.

The screenshot shows the 'Load Case Data - Modal' dialog box. The 'Load Case Name' is 'MODAL' and the 'Load Case Type' is 'Modal'. The 'Stiffness to Use' section has 'Zero Initial Conditions - Unstressed State' selected. The 'Type of Modes' section has 'Eigen Vectors' selected. The 'Number of Modes' section has 'Maximum Number of Modes' set to 300 and 'Minimum Number of Modes' set to 1. The 'Loads Applied' section has 'Show Advanced Load Parameters' unchecked. The 'Other Parameters' section has 'Frequency Shift (Center)' set to 0, 'Cutoff Frequency (Radius)' set to 0, 'Convergence Tolerance' set to 1,000E-09, and 'Allow Automatic Frequency Shifting' checked. There are 'OK' and 'Cancel' buttons at the bottom right.

Şekil 5.1 : Analiz modeli mod tanımları sayfası.

Bu çalışmada, analiz modeline, modal analizde hesaba katılacak kütleler sırasıyla; ölü yüklere %10 (düğüm noktaları için) ağırlık arttırımı yapılarak tanımlanan “SELF”, kaplama yük ağırlığı “K” ve “%30’u” hesaba katılacak dengeli kar yükü “S” olarak girilmiştir.

Yapı doğal titreşim periyotları, analiz sonucunda ortaya çıktığında, periyotlara bağlı olarak ve davranış spektrum analizi veri girişinde tanımlanan kütle kaynağını da hesaba katarak, yapıya deprem yüklerini yansıtmıştır.



**Şekil 5.2 :** Modal analiz kütle tanımları sayfası.

Bu çalışmada davranış spektrum analizleri ve modal analiz ile tahkik edilecek deprem davranışlarına ek olarak tahkik edilmesi gereken bir yapısal davranış durumu da genel burkulmadır. Analiz modelinde, ölü yükler ve kar yükünün dengelenmiş ve dengelenmemiş durumları hesaba katılarak genel burkulma analiz yükleri tanımlanı, ilgili tahkikler yapılmıştır.

**Load Case Data - Buckling**

Load Case Name:   Notes:  Load Case Type:

Stiffness to Use

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	S	1
Load Pattern	SELF	1,1
Load Pattern	K	1
Load Pattern	S	1

Other Parameters

Number of Buckling Modes:

Eigenvalue Convergence Tolerance:

**Şekil 5.3 :** Dengeli kar yüküne göre genel burkulma analizi yük tanımları.

**Load Case Data - Buckling**

Load Case Name:   Notes:  Load Case Type:

Stiffness to Use

Zero Initial Conditions - Unstressed State

Stiffness at End of Nonlinear Case

Important Note: Loads from the Nonlinear Case are NOT included in the current case

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Sd	1,
Load Pattern	SELF	1,1
Load Pattern	K	1,
Load Pattern	Sd	1,

Other Parameters

Number of Buckling Modes:

Eigenvalue Convergence Tolerance:

**Şekil 5.4 :** Dengelenmemiş kar yüküne göre genel burkulma analizi yük tanımları.

## 5.2 Mafsallı Dügüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Sisteme Ait Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

### 5.2.1 Modal analiz sonuçları

#### 5.2.1.1 Kütle katılım oranı

Yapının analizi sonucu, tanımlar bölümünde belirlenen modlara göre yapının kütle katılım oranları “X” ve “Y” yönlerinde %92 mertebesinde olmuştur.

**Çizelge 5.1 : Kütle katılım oranları.**

Çıktı Tipi	Yön	Statik Yüzde	Dinamik Yüzde
MODAL	UX	92.0468	62.0413
MODAL	UY	92.0467	62.0413
MODAL	UZ	31.7403	7.1744

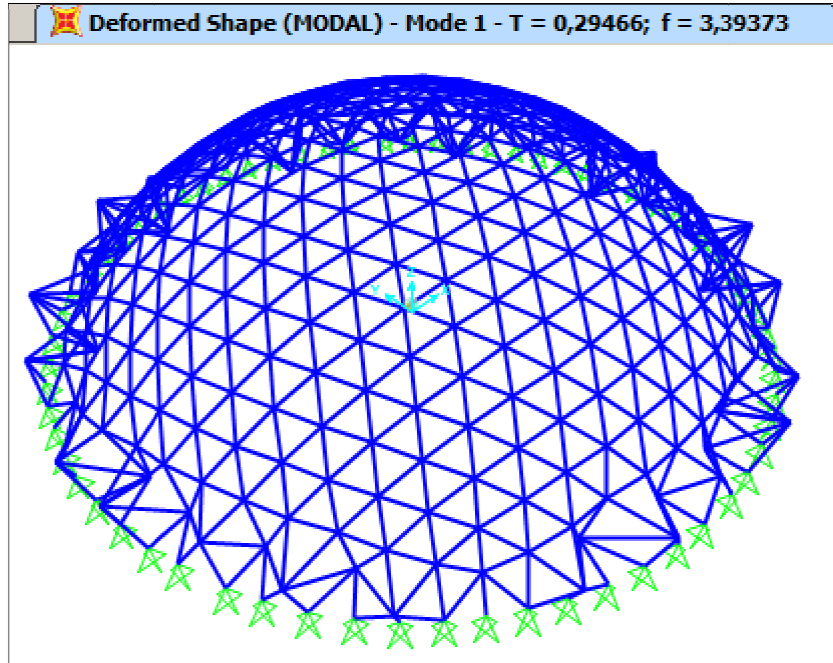
#### 5.2.1.2 Yapının modal davranışı

Yapı, jeodezik kubbe formunda olduğu için son derece rijit bir davranış göstermiştir. Çizelge 5.2’de, ilk 40 yapı hakim periyodu bulunmaktadır.

**Çizelge 5.2 : Yapı hakim periyotları.**

Çıktı Tipi	Mod	Periyot (sn)
Modal	1	0.294661
Modal	2	0.294572
Modal	3	0.29457
Modal	4	0.294386
Modal	5	0.294384
Modal	6	0.293386
Modal	7	0.293384
Modal	8	0.293206
Modal	9	0.293204
Modal	10	0.293082
Modal	11	0.264747
Modal	12	0.264542
Modal	13	0.264541
Modal	14	0.264174
Modal	15	0.264171
Modal	16	0.254049
Modal	17	0.254038
Modal	18	0.252895
Modal	19	0.252887

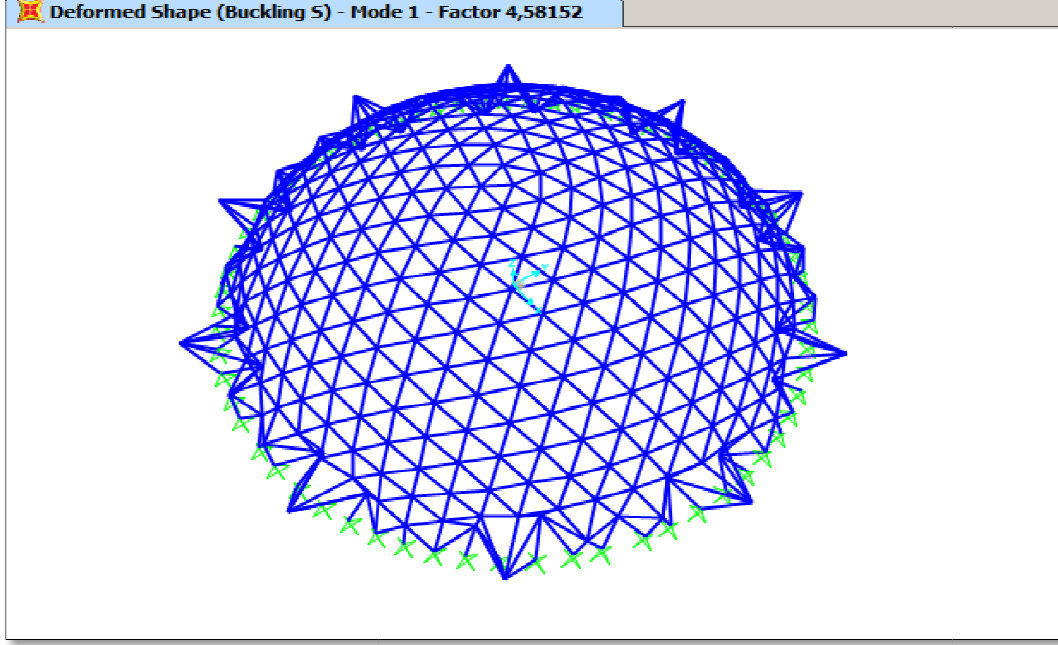
Modal	20	0.251755
Modal	21	0.249648
Modal	22	0.248678
Modal	23	0.248662
Modal	24	0.247728
Modal	25	0.247705
Modal	26	0.232141
Modal	27	0.232139
Modal	28	0.232127
Modal	29	0.232126
Modal	30	0.232114
Modal	31	0.210315
Modal	32	0.210314
Modal	33	0.210288
Modal	34	0.210287
Modal	35	0.210235
Modal	36	0.183671
Modal	37	0.18367
Modal	38	0.183562
Modal	39	0.183561
Modal	40	0.183377



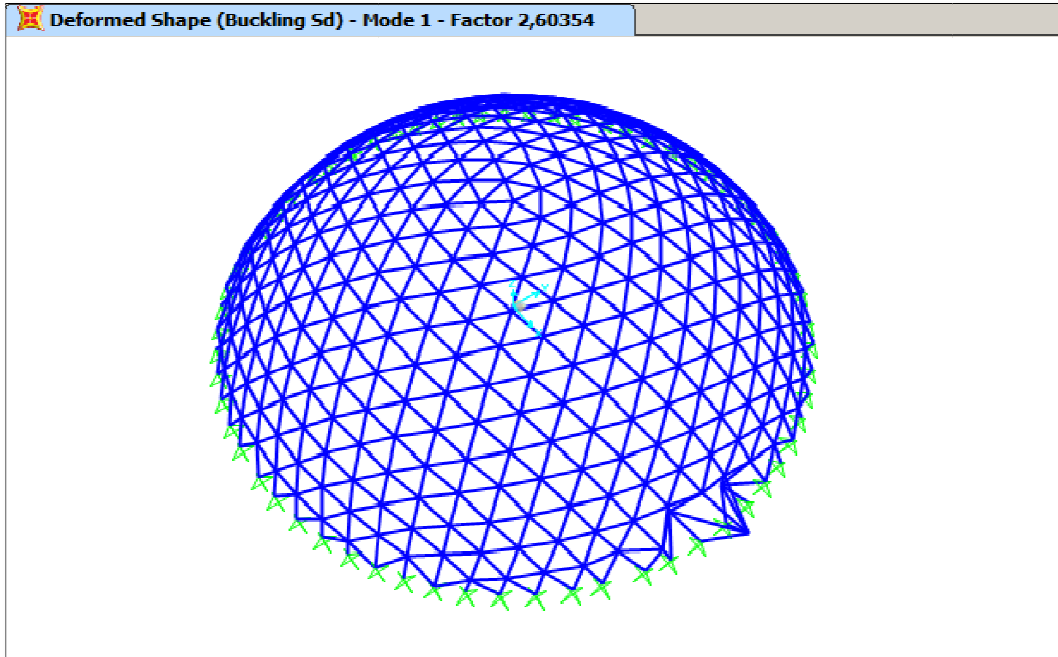
**Şekil 5.5** : 1. Doğal titreşim periyodu davranış simülasyonu.

### 5.2.2 Genel burkulma analizi sonuçları

Genel burkulma için analiz programından alınan sonuçlar “5.6” ve “5.7” numaralı şekillerde verilmiştir. Ortaya çıkan burkulma faktörü, yapının ilgili faktör oranında ilave yüklemeye maruz kalana kadar genel burkulma durumuna geçmeyeceğini ifade eder.



Şekil 5.6 : Dengelenmiş kar yükü içeren genel burkulma analizi sonucu.



Şekil 5.7 : Dengelenmemiş kar yükü içeren genel burkulma analizi sonucu.

### 5.2.3 Nokta deplasmanları

Yapının düğüm nokta deplasmanlarında “H” yüklemesine göre maksimum (mutlak) deplasman değeri, çizelge 5.3’te verilmiştir.

**Çizelge 5.3 :** Mutlak nokta deplasmanları.

Yön	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
Deplasman	0.88	0.59	0.23

### 5.2.4 Tasarımda kullanılan çelik profiller

#### 5.2.4.1 Malzeme listesi

Yapıda, “120x120x5” ve “120x120x10” ebatlı iki tip çelik profil kullanılmıştır.

**Çizelge 5.4 :** Malzeme listesi.

Profil Tipi	Toplam Profil Boyu (cm)	Toplam Profil Ağırlığı (kg)
120x120x5	263188.4	47512.7
120x120x10	66587.7	22996.6

#### 5.2.4.2 Profillere ait mekanik özellikler

Analiz modelinde çubuklara atanan yapısal çelik kesitlerinin mekanik özellikleri aşağıdaki çizelgelerde tanımlanmıştır;

**Çizelge 5.5 :** 120x120x5 kutu profil mekanik özellikleri.

Profil Kesiti:120x120x5			
Mekanik Özellik Adı	Simge	Birim	Değer
Enkesit Alanı	A	cm <sup>2</sup>	23
Güçlü Eksen Atalet Momenti (3)	I <sub>x</sub>	cm <sup>2</sup>	507.92
Zayıf Eksen Atalet Momenti (2)	I <sub>y</sub>	cm <sup>4</sup>	507.92
"2" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Tx</sub>	cm <sup>2</sup>	12
"3" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Ty</sub>	cm <sup>2</sup>	12
Güçlü Eksen Mukavemet Momenti (3)	W <sub>x</sub>	cm <sup>3</sup>	84.65
Zayıf Eksen Mukavemet Momenti (2)	W <sub>y</sub>	cm <sup>3</sup>	84.65
Güçlü Eksen Atalet Yarıçapı (3)	i <sub>x</sub>	cm	4.70
Zayıf Eksen Atalet Yarıçapı (2)	i <sub>y</sub>	cm	4.70

**Çizelge 5.6 : 120x120x10 Kutu profil mekanik özellikleri.**

<b>Profil Kesiti:120x120x10</b>			
Mekanik Özellik Adı	Simge	Birim	Değer
Enkesit Alanı	A	cm <sup>2</sup>	44
Güçlü Eksen Atalet Momenti (3)	I <sub>x</sub>	cm <sup>2</sup>	894.67
Zayıf Eksen Atalet Momenti (2)	I <sub>y</sub>	cm <sup>4</sup>	894.67
"2" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Tx</sub>	cm <sup>2</sup>	24
"3" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Ty</sub>	cm <sup>2</sup>	24
Güçlü Eksen Mukavemet Momenti (3)	W <sub>x</sub>	cm <sup>3</sup>	149.11
Zayıf Eksen Mukavemet Momenti (2)	W <sub>y</sub>	cm <sup>3</sup>	149.11
Güçlü Eksen Atalet Yarıçapı (3)	i <sub>x</sub>	cm	4.51
Zayıf Eksen Atalet Yarıçapı (2)	i <sub>y</sub>	cm	4.51

### 5.2.5 Çubuk kuvvetleri ve hesap yöntemi

#### 5.2.5.1 Analiz sonucu ortaya çıkan çubuk kuvvetleri

Yapısal analiz sonucunda, çubuk elemanlarda çizelge 5.7'deki yük değerleri okunmuştur. Çubuk elemanlarda; kesme, burulma ve eğilme kuvvetleri mertebe olarak sıfıra yakın olduğundan ilgili çizelgede gösterilmemiştir.

**Çizelge 5.7 : Çubuk ekstremum eksenel kuvvetleri.**

<b>120x120x5 Kutu Profillere Gelen Ekstremum Eksenel Kuvvet Değerleri</b>			
Basınç	Çubuk No	İlgili Kombinasyon	Kuvvet Değeri (t)
	879	D+0.525EX+0.75Sd	-9.6759
Çekme	Çubuk No	İlgili Kombinasyon	Kuvvet Değeri (t)
	2	D+0.7EY+0.75T	8.071
<b>120x120x10 Kutu Profillere Gelen Ekstremum Eksenel Kuvvet Değerleri</b>			
Basınç	Çubuk No	İlgili Kombinasyon	Kuvvet Değeri (t)
	1257	D+Sd+0.75T	-16.1707
Çekme	Çubuk No	İlgili Kombinasyon	Kuvvet Değeri (t)
	996	0.6D+0.7EX	4.9824

Yapısal eleman tahkiklerinde, bu tablolardaki kuvvetler kullanılmıştır.

#### 5.2.5.2 AISC 360-10 emniyet gerilmesi yöntemi yaklaşımı

Emniyet gerilmesi yöntemi (ASD), bir yapı elemanında servis yükleri altında oluşacak maksimum gerilme değerlerinin, yönetmeliklerce tanımlanmış maksimum emniyet gerilme değerlerini aşamayacağı konseptine dayanmaktadır. Bu yöntemde, yapısal elemanların iç kuvvetlerinin belirlenmesinde, elastik analiz kullanılmaktadır. Elastik analizle belirlenen iç kuvvet değeri, yapısal elemanın mekanik ve geometrik

özelliklerine karşılık gelen bir sınır gerilme değerinin emniyet katsayısına bölünmesi ile bulunur.

Emniyet gerilmesi yönteminde yapısal eleman tahkiki,

$$R_a \leq R_n / \Omega \quad (5.1)$$

ifadesine göre yapılmaktadır.

“5.1” formülündeki ifadeler sırasıyla şöyle tanımlanır;

$R_a$  : Gerekli dayanım

$R_n$  : Nominal dayanım

$\Omega$  : Emniyet katsayısı

$R_n / \Omega$  : Emniyet gerilmesi

### 5.2.5.3 Eksenel çekmeye çalışan yapısal elemanlar

Sadece eksenel çekme kuvvetine çalışan yapısal elemanların, AISC 360-10' a göre yapılacak kesit tahkikinde kullanılacak emniyet gerilmeleri aşağıdaki formüllere göre hesaplanır;

Yapısal elemanların çekme kuvvet zorları karşısında gösterdiği akma dayanımı;

$$P_n = F_y A_g \text{ (Emniyet gerilmesi metodu için; } \Omega_T = 1.67) \quad (5.2)$$

Yapısal elemanların çekme kuvvet zorları karşısında gösterdiği kopma dayanımı;

$$P_n = F_u A_e \text{ (Emniyet gerilmesi metodu için; } \Omega_T = 2.00) \quad (5.3)$$

şeklinde gösterilir. Formüllerde yer alan ifadeler aşağıda sıralanmıştır;

$A_e$  = Yapısal elemanın efektif net enkesit alanı ( $\text{mm}^2$ )

$A_g$  = Yapısal elemanın brüt enkesit alanı ( $\text{mm}^2$ )

$F_y$  = Minimum akma dayanımı (MPa)

$F_u$  = Minimum çekme dayanımı (MPa)

Emniyet gerilmesi yönteminde net alan ve brüt alan şu şekilde tanımlanır;

Brüt alan, seçilen profile ait enkesit alanıdır. Net alan ise yapısal elemanın enkesit alanından kesit düzenliliğini bozan; delik, kaynak, vb. gibi alanların çıkarılmasıyla ortaya çıkan alandır [1].

Efektif net alan, net enkesit alanı ( $A_e$ ) ile kesme faz faktörü ( $U$ ) değerlerinin çarpımına eşittir [1].

Analizini edilen yapıda, yapısal elemanlarda ağız açılarak içerisine plaka kaynatılacak ve düğüm noktasına bu plaka ile civatalı bağlantı yapılacaktır. Bu tip yapısal eleman için kesme faz faktörü “U” şekil 5.9’daki tabloya göre aşağıdaki formülle hesaplanır [1];

Bağlantı boyu( $l$ )  $\geq$  Kesit eni ( $B$ ) ise;

$$U = 1 - (x/l) \quad (5.4)$$

$$x = B^2/4(B+H)$$

Formülde yer alan ifadeler aşağıda sıralanmıştır;

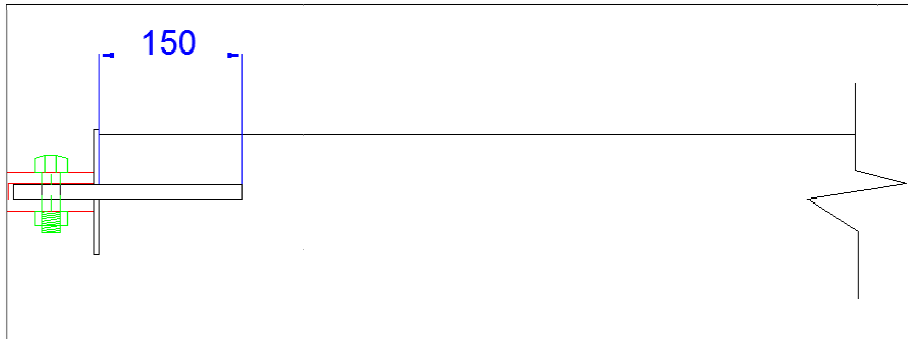
$U$  :Kesme faz faktörü

$l$  :Bağlantı eleman uzunluğu (mm)

$B$  :Kutu profil eni (mm)

Bu çalışmada seçilen bağlantıda, bağlantı eleman uzunluğu ( $l$ ) Şekil 5.8’e göre; “150mm” olarak belirlenmiştir.

Hesaplarda kullanılan kutu profiller; “120x120x5” ve “120x120x10” ebatlarında olduğu için “ $B$ ” ve “ $H$ ” değerleri birbirine eşit ve “120mm” olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.8 : Düğüm noktası uzunluğu.

Bu durumda yapısal elemanların kesme faz faktörü, formül 5.4'e göre hesaplandığında,

$$l=150\text{mm}$$

$$H=B=120\text{mm}$$

$$l>H$$

$$x=(120)^2/4(120+120)=15$$

$$U=1-(15/150)=0.90$$

olarak bulunur.

Bu durumda efektif net alan ( $A_e$ ); net alanın "0.90" katı olarak tanımlanır.

Case	Description of Element	Shear Lag Factor, $U$	Example
1	All tension members where the tension load is transmitted directly to each of the cross-sectional elements by fasteners or welds (except as in Cases 4, 5 and 6).	$U = 1.0$	—
2	All tension members, except plates and HSS, where the tension load is transmitted to some but not all of the cross-sectional elements by fasteners or longitudinal welds or by longitudinal welds in combination with transverse welds. (Alternatively, for W, M, S and HP, Case 7 may be used. For angles, Case 8 may be used.)	$U = 1 - \bar{x}/l$	
3	All tension members where the tension load is transmitted only by transverse welds to some but not all of the cross-sectional elements.	$U = 1.0$ and $A_e = \text{area of the directly connected elements}$	—
4	Plates where the tension load is transmitted by longitudinal welds only.	$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$	
5	Round HSS with a single concentric gusset plate	$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$	
6	Rectangular HSS with a single concentric gusset plate	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B+H)}$	
	with two side gusset plates	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B+H)}$	
7	W, M, S or HP Shapes or Tees cut from these shapes. (If $U$ is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with flange connected with 3 or more fasteners per line in the direction of loading $b_f \geq 2g_d \dots U = 0.90$ $b_f < 2g_d \dots U = 0.85$	—
	with web connected with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	$U = 0.70$	—
8	Single and double angles (if $U$ is calculated per Case 2, the larger value is permitted to be used.)	with 4 or more fasteners per line in the direction of loading	—
	with 3 fasteners per line in the direction of loading (With fewer than 3 fasteners per line in the direction of loading, use Case 2.)	$U = 0.60$	—

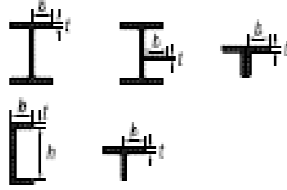
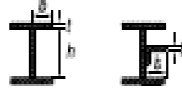
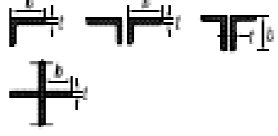






$l$  = length of connection, in. (mm);  $w$  = plate width, in. (mm);  $\bar{x}$  = eccentricity of connection, in. (mm);  $B$  = overall width of rectangular HSS member, measured 90° to the plane of the connection, in. (mm);  $H$  = overall height of rectangular HSS member, measured in the plane of the connection, in. (mm)

Şekil 5.9 : Kesme fazı katsayısı ( $U$ ) değerleri.

Eksenel çekmeye çalışan yapısal elemanlarda, narinlik için herhangi bir sınırlama yoktur. Ancak L/r oranının “300” değerinden küçük tutulması önerilir [1].

#### 5.2.5.4 Basınca çalışan yapısal elemanlar

Basınca çalışan yapısal elemanlarda kesitler, narin ve narin olmayan şeklinde tanımlanır. Kesitin, narin olmayan eleman sınıfına dahil olması için en-kalınlık oranına bağlı kesit değerinin yönetmelikte tanımlı  $\lambda_r$  değerini aşmaması gerekir [1].

TABLE B4.1a Width-to-Thickness Ratios: Compression Elements Members Subject to Axial Compression				
Çizim	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio $\lambda_r$ (nonslender/slender)	Examples
Unstiffened Elements	1 Flanges of rolled I-shaped sections, plates projecting from rolled I-shaped sections; outstanding legs of pairs of angles connected with continuous contact, flanges of channels, and flanges of tees	$b/t$	$0.58 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	2 Flanges of built-up I-shaped sections and plates or angle legs projecting from built-up I-shaped sections	$b/t$	$0.64 \sqrt{\frac{k_c E}{F_y}}$ (a)	
	3 Legs of single angles, legs of double angles with separators, and all other unstiffened elements	$b/t$	$0.48 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	4 Stems of tees	$d/t$	$0.78 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
Stiffened Elements	5 Webs of doubly-symmetric I-shaped sections and channels	$h/t_w$	$1.49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	6 Walls of rectangular HSS and boxes of uniform thickness	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	7 Flange cover plates and diaphragm plates between lines of fasteners or welds	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	8 All other stiffened elements	$b/t$	$1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
	9 Round HSS	$D/t$	$0.11 \frac{E}{F_y}$	

Şekil 5.10 : Eksenel yükler altındaki elemanlarda enkesit - et kalınlığı oranları.

Bu çalışmada, yapısal eleman olarak kutu profiller seçilmiştir. AISC 360-10’da kutu profiller için  $\lambda_p$  ve  $\lambda_r$  değerleri,

$$\lambda_r = 1.40 (E/F_y)^{1/2} \quad (5.5)$$

formülü ile tanımlanır.

Bu formüle göre;

“120x120x5” ve “120x120x10” kutu profiller için narinlik değeri;









$$E = 2100.00 \text{ t/cm}^2$$

$$F_y = 2.75 \text{ t/cm}^2$$

$$\lambda_r = 1.4(2100/2.75)^{1/2} = 38.69$$

olarak bulunur.

Eksenel basınca çalışan yapısal elemanların nominal basınç dayanımı; “ $P_n$ ” olarak gösterilir [1]. Basınç emniyet gerilmesi belirlenirken, yapısal elemana ait enkesitin mekanik özelliklerine göre en elverişsiz durum gözönüne alınıp ilgili değer buna göre seçilmiştir. Basınca çalışan yapısal elemanın maruz kalacağı burkulma tipinin ve hesaplar için AISC 360-10 yönetmeliğinde hangi bölümün kullanılacağını belirlemek için şekil 5.11’deki tablo kullanılmıştır.

TABLE USER NOTE E1.1 Selection Table for the Application of Chapter E Sections				
Cross Section	Without Slender Elements		With Slender Elements	
	Sections in Chapter E	Limit States	Sections in Chapter E	Limit States
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3	FB	E7	LB FB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E3 E4	FB FTB	E7	LB FB FTB
	E5		E5	
	E3	FB	N/A	N/A
Unsymmetrical shapes other than angle angles	E4	FTB	E7	LB FTB

FB = flexural buckling, TB = torsional buckling, FTB = flexural-torsional buckling, LB = local buckling

Şekil 5.11 : AISC 360-10 burkulma tipleri tanım tablosu.

Tabloda, narin elemanlar içermeyen kutu kesitler için eğilme burkulması kontrolü yapılması gerektiği ve kontrollerin, AISC 60-10'un "E3" bölümündeki veriler kullanılarak yapılacağı ifade edilmektedir.

Eksenel basınca çalışan yapısal elemanların burkulma kontrollerinde; "efektif uzunluk faktörü (K)" ve yapısal elemanın narinliğinin (KL/r) belirlenmesi gerekmektedir[1].

KL/r ifadesinde ifadeyi oluşturan kavramlar şu şekildedir;

K: Efektif uzunluk faktörü

L: Yatay düzlemde tutulu olmayan uzunluk

r: Atalet yarıçapı

Basınca çalışacak yapısal elemanlarda KL/r oranınının "200" değerini aşmaması tercih edilmelidir [1].

Nominal basınç dayanımına dair sınır durum ( $P_n$ ) eğilme burkulması faktörlerinin hesaba katılmasıyla bulunur [1].

$$P_n = F_{cr}A_g \quad (5.6)$$

Kritik gerilme ( $F_{cr}$ ) şu şekilde bulunur;

$$(KL/r) \leq 4.71(E/F_y)^{1/2} \text{ ise,}$$

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$$

$$(KL/r) > 4.71(E/F_y)^{1/2} \text{ ise,} \quad (5.7)$$

$$F_{cr} = 0.877F_e$$

Elastik burkulma gerilmesi ( $F_e$ ) şu şekilde bulunur;

$$F_e = (\pi^2 E)/(KL/r)^2 \quad (5.8)$$

## 5.2.6 120x120x5 Profil tahkikleri

### 5.2.6.1 Basınç gerilmesi tahkikleri

Burkulma boy katsayısı (K): 1

Tahkiki yapılacak çubuk boyu (l): 242cm

120x120x5 profil için atalet yarıçapı: 4.7cm

$$KL/r = 1(242)/4.7 = 51.49$$

$$4.71(E/F_y)^{1/2} = 130.15$$

Formül 5.7'ye göre  $(KL/r) \leq 4.71(E/F_y)^{1/2}$  olduğundan, kritik basınç yükünün bulunması için  $F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$  formülü ile çalışılmıştır.

$$F_e = (\pi^2 E)/(KL/r)^2 = [(3.14^2)(2100)]/[1(242)/4.7]^2$$

$$F_e = 7.81$$

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$$

$$F_{cr} = (0.658^{2.75/7.81})2.75$$

$$F_{cr} = 2.373t/cm^2$$

Kritik gerilme değeri ( $F_{cr}$ ) değeri, basınç emniyet gerilmesi katsayısı ( $\Omega_c$ ) değerine bölünerek basınç emniyet gerilmesi değeri bulunur.

$$\Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$F_{cr} / \Omega_c = 2.373/1.67 = 1.42t/cm^2$$

Formül 5.6'ya göre;

$$P_n = F_{cr}A_g$$

Kesitin yeterli olması için kesit basınç kapasitesi, analiz modelinde ortaya çıkan basınç değerinden büyük olmalıdır ( $P_n > P_{analiz}$ ).

Buna göre;

$$1.42t/cm^2(23cm^2) = 32.66ton$$

$$\text{Analiz değeri} = 9.6758ton$$

Kesit yeterlidir.

### 5.2.6.2 Çekme gerilmesi tahkikleri

Formül 5.2'de yer alan ifadeler yerine yazılırsa;

$$P_n = F_y A_g$$

Burada “ $A_g$ ” yerine kullanılacak alan,  $A_e$ (net alan) olacaktır.

Bölüm 5.2.5.3'te hesaplanan faz faktörü ile brüt kesit alanı çarpılırsa efektif alan bulunacaktır.

Bu durumda;

$$A_g(0.90) = A_e = (23\text{cm}^2)(0.90) = 20.70\text{cm}^2$$

Emniyet gerilmesi metodu için emniyet gerilmesi çarpanı ( $\Omega_T$ ) = 1.67 [1].

$$\Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$F_y / \Omega_T = 2.75/1.67 = 1.6467\text{t/cm}^2$$

Kesitin yeterli olması için kesit çekme kapasitesi, analiz modelinde ortaya çıkan çekme değerinden büyük olmalıdır.

Buna göre;

$$1.6467/\text{cm}^2(20.70\text{cm}^2) = 34.08\text{ton}$$

$$\text{Analiz değeri} = 8.071\text{ton}$$

Kesit yeterlidir.

## **5.2.7 120x120x10 Profil tahkikleri**

### **5.2.7.1 Basınç gerilmesi tahkikleri**

Burkulma boy katsayısı (K): 1

Tahkiki yapılacak çubuk boyu (l): 242cm

120x120x10 profil için atalet yarıçapı: 4.51cm

$$Kl/r = 1(242)/4.51 = 53.66$$

$$4.71(E/F_y)^{1/2} = 130.15$$

Formül 5.7'ye göre  $(KL/r) \leq 4.71(E/F_y)^{1/2}$  olduğundan,  $F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$  formülü ile çalışılmıştır.

$$F_e = (\pi^2 E)/(KL/r)^2 = [(3.14^2)(2100)]/[1(242)/4.51]^2$$

$$F_e = 7.81$$

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y$$

$$F_{cr} = (0.658^{2.75/7.81})2.75$$

$$F_{cr} = 2.373t/cm^2$$

Kritik gerilme değeri ( $F_{cr}$ ) değeri, basınç emniyet gerilmesi katsayısı ( $\Omega_c$ ) değerine bölünerek basınç emniyet gerilmesi değeri bulunur.

$$\Omega_c = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$F_{cr} / \Omega_c = 2.373/1.67 = 1.42t/cm^2$$

Formül 5.6'ya göre;

$$P_n = F_{cr}A_g$$

Kesitin yeterli olması için kesit basınç kapasitesi, analiz modelinde ortaya çıkan basınç değerinden büyük olmalıdır ( $P_n > P_{analiz}$ ).

Buna göre;

$$1.42t/cm^2(44cm^2) = 62.48ton$$

$$\text{Analiz değeri} = 16.17ton$$

Kesit yeterlidir.

### 5.2.7.2 Çekme gerilmesi tahkikleri

Formül 5.2'de yer alan ifadeler yerine yazılırsa;

$$P_n = F_y A_g$$

Burada " $A_g$ " yerine kullanılacak alan,  $A_e$ (net alan) olacaktır.

Bölüm 5.2.5.3'te hesaplanan faz faktörü ile brüt kesit alanı çarpılırsa efektif alan bulunacaktır. Bu durumda;

$$A_g (0.90) = A_e = (44cm^2)(0.90) = 39.60cm^2$$

Emniyet gerilmesi metodu için emniyet gerilmesi çarpanı ( $\Omega_T$ ) = 1.67 [1].

$$\Omega_T = 1.67 \text{ (ASD)}$$

$$F_y / \Omega_T = 2.75/1.67 = 1.6467t/cm^2$$

Kesitin yeterli olması için kesit çekme kapasitesi, analiz modelinde ortaya çıkan çekme değerinden büyük olmalıdır.

Buna göre;

$$1.6467/cm^2(39.60cm^2) = 65.21ton$$

Analiz değeri = 4.9824ton

Kesit yeterlidir.

### 5.3 Ankastre Düğüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Sisteme Ait Yapısal Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

#### 5.3.1 Modal analiz sonuçları

##### 5.3.1.1 Kütle katılım oranı

Yapının analizi sonucu, tanımlar bölümünde belirlenen modlara göre yapının kütle katılım oranları “X” ve “Y” yönlerinde %97 mertebesinde olmuştur. Sistem, minimum %90 kütle katılım şartını sağlamaktadır.

**Çizelge 5.8 : Kütle katılım oranları.**

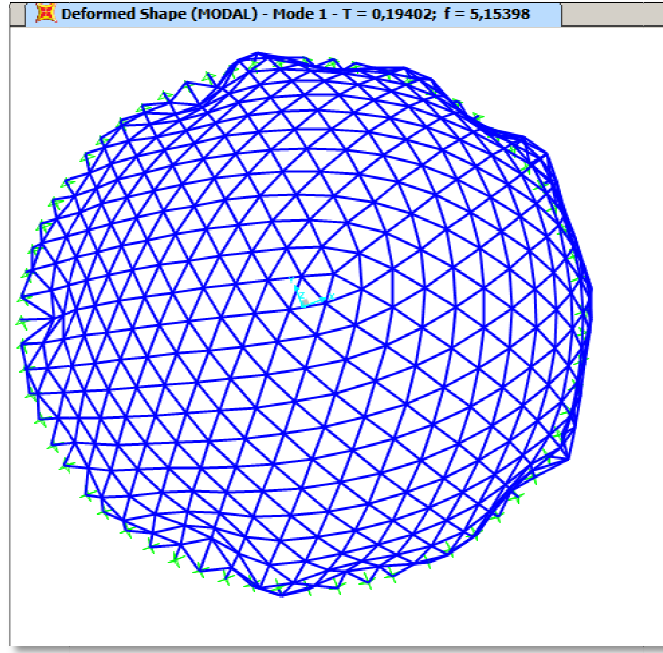
Çıktı Tipi	Yön	Statik Yüzde	Dinamik Yüzde
MODAL	UX	97.2505	72.5885
MODAL	UY	97.2505	72.5885
MODAL	UZ	33.2368	11.2317

##### 5.3.1.2 Yapının modal davranışı

Yapı, jeodezik kubbe formunda olduğu için son derece rijit bir davranış göstermiştir. Çizelge 5.9’da, ilk 8 yapı hakim periyodu bulunmaktadır.

**Çizelge 5.9 : Yapı hakim periyotları.**

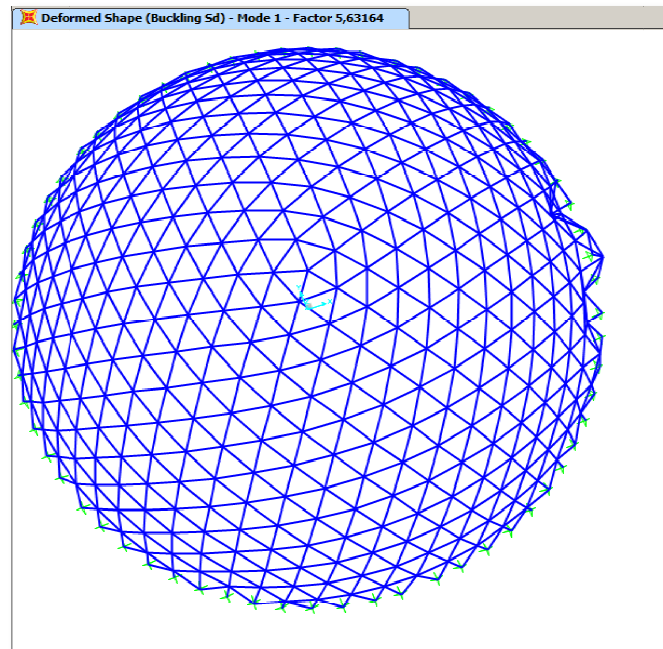
Çıktı Tipi	Mod	Periyot (sn)
Modal	1	0.194
Modal	2	0.194
Modal	3	0.185
Modal	4	0.185
Modal	5	0.185
Modal	6	0.185
Modal	7	0.185
Modal	8	0.183



Şekil 5.12 : Yapının 1. Doğal titreşim periyodu davranış simülasyonu.

### 5.3.2 Genel burkulma analizi sonuçları

Genel burkulma analizinde, elverişsiz burkulma durumu olan “dengelenmemiş kar yüklü” burkulma kombinasyonu sonuçları alınmıştır. Şekil 5.13’te de görüleceği gibi, yapının genel burkulma dayanım katsayısı “5.63164” olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı, yapının mevcut durumundan “5.63” kat fazla yüklenene kadar burkulma durumuna geçmeyeceğini ifade eder.



Şekil 5.13 : Dengelenmemiş kar yüklemeli genel burkulma davranışı.

### 5.3.3 Nokta deplasmanları

Yapıda, "H" tipi yüklemeler için mutlak noktasal deplasman değerlerinin mutlak maksimum değerleri çizelge 5.10'da gösterilmiştir. Maksimum yatay deplasman değeri, "0.78cm" olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 5.10 : Mutlak nokta deplasmanları.**

Yön	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
Deplasman	0.78	0.66	1.44

#### 5.3.3.1 Malzeme listesi

Mafsallı sistemde kullanılan çubuk elemanlar, ankastre sistemde daha küçük kesitlerin gerilme değerlerinin yeterli olduğunun görülmesiyle düşürülmüştür.

Yapıda, "80x80x5" ebatlı çelik kutu profil kullanılmıştır.

İlgili tabloya göre yapının toplam ağırlığı 38.9 ton olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 5.11 : Malzeme listesi.**

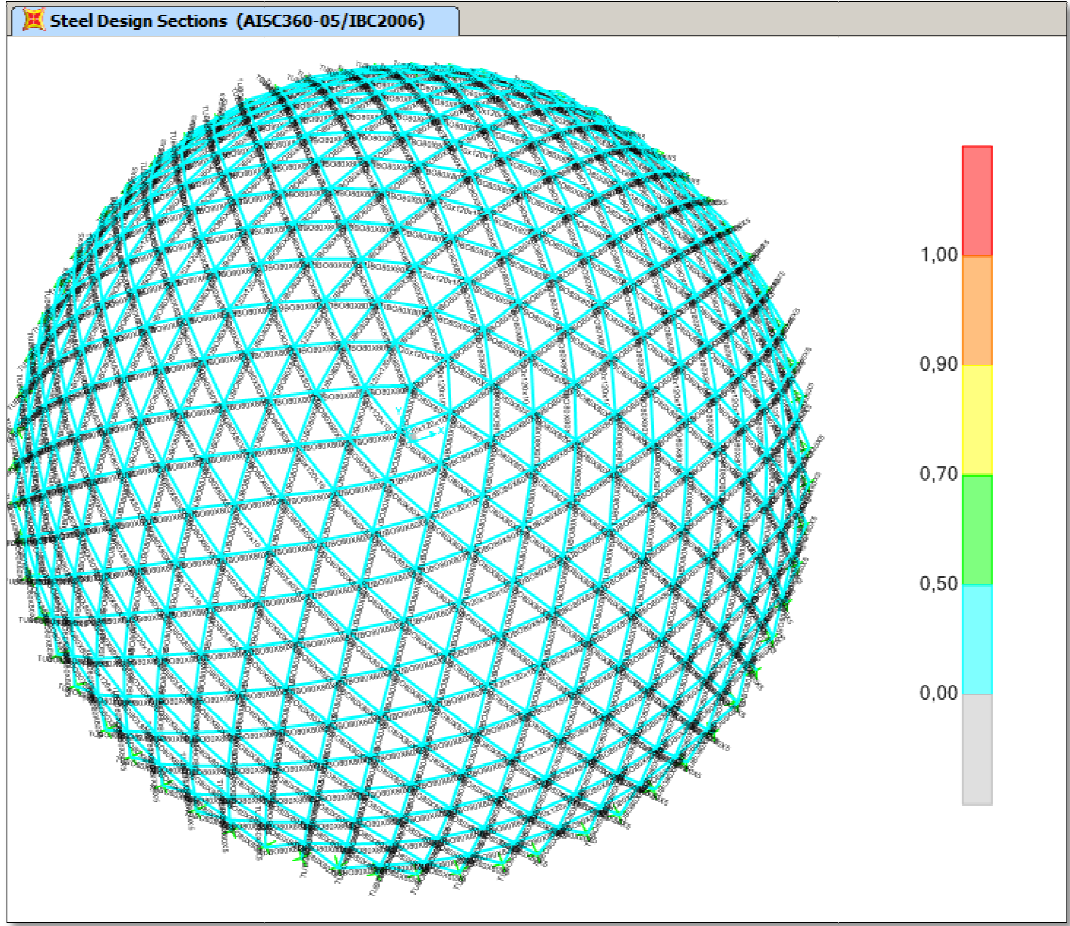
Profil Tipi	Toplam Profil Boyu (cm)	Toplam Profil Ağırlığı (kg)
80x80x5	329775.143	38826.3

#### 5.3.3.2 Profilere ait mekanik özellikler

**Çizelge 5.12 : 80x80x5 kutu profil mekanik özellikleri.**

Profil Kesiti:80x80x5			
Mekanik Özellik Adı	Simge	Birim	Değer
Enkesit Alanı	A	cm <sup>2</sup>	15
Güçlü Eksen Atalet Momenti (3)	I <sub>x</sub>	cm <sup>2</sup>	141.3
Zayıf Eksen Atalet Momenti (2)	I <sub>y</sub>	cm <sup>4</sup>	141.3
"2" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Tx</sub>	cm <sup>2</sup>	8
"3" Yönü Kesme Alanı	A <sub>Ty</sub>	cm <sup>2</sup>	8
Güçlü Eksen Mukavemet Momenti (3)	W <sub>x</sub>	cm <sup>3</sup>	35.325
Zayıf Eksen Mukavemet Momenti (2)	W <sub>y</sub>	cm <sup>3</sup>	35.325
Güçlü Eksen Atalet Yarıçapı (3)	i <sub>x</sub>	cm	3.0692
Zayıf Eksen Atalet Yarıçapı (2)	i <sub>y</sub>	cm	3.0692

### 5.3.3.3 SAP2000 gerilme analizi

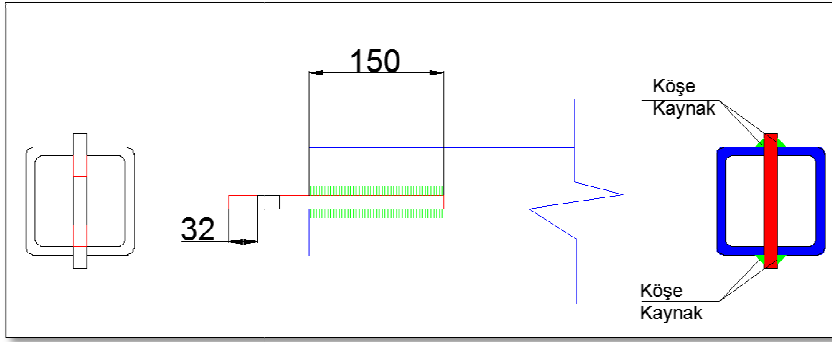


Şekil 5.14 : Çubuk stres analizi.

SAP2000 analiz programında, “AISC 360” gerilme tahkik modülü ile yapılan tahkiklerde, yapısal elemanların kapasite oranlarının “%40” ortalamasında olduğu görülmüştür. Kesitlerin seçilen yönetmelik şartları, yükler ve yük kombinasyonlarına göre yeterli olduğu belirlenmiştir.

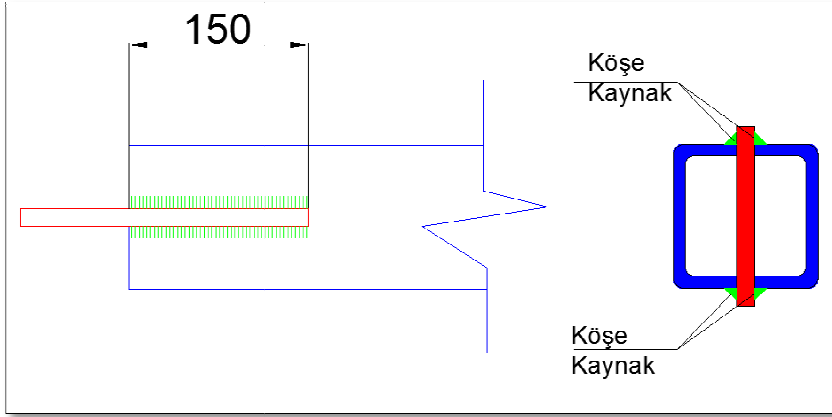
### 5.4 Mafsallı Dügüm Noktası Hesap Örneđi

Örnek düğüm noktası hesabında, mafsallı düğüm noktalarıyla teşkil edilmiş jeodezik kubbe modelinin analizi sonucu ortaya en yüksek çubuk kuvveti kullanılmıştır. Modelden okunan en büyük kuvvet; “-16.17ton”dur. Bu kuvvetin mutlak değeri kullanılarak stres analizleri yapılmıştır.



Şekil 5.15 : Düğüm noktası kesitleri – 1/2.

Düğüm noktasında, “120x120x10” kutu profil ile “15mm” kalınlığında plaka, şekil 5.15’te gösterildiği gibi kaynaklanacaktır. Birleşimler için “köşe kaynak” kullanılacaktır. Köşe kaynakla birleştirilecek eleman kalınlıkları sırasıyla “10mm” ve “15mm”dir.



Şekil 5.16 : Düğüm noktası kesitleri – 2/2.

TABLE J2.5 (continued) Available Strength of Welded Joints, ksi (MPa)					
Load Type and Direction Relative to Weld Axis	Pertinent Metal	$\phi$ and $\Omega$	Nominal Stress ( $F_{nBM}$ or $F_{nw}$ ) ksi (MPa)	Effective Area ( $A_{GM}$ or $A_{we}$ ) in. <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Required Filler Metal Strength Level <sup>[a][b]</sup>
FILLET WELDS INCLUDING FILLETS IN HOLES AND SLOTS AND SKEWED T-JOINTS					
Shear	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{Exx}^{[d]}$	See J2.2a	
Tension or compression Parallel to weld axis	Tension or compression in parts joined parallel to a weld need not be considered in design of welds joining the parts.				
PLUG AND SLOT WELDS					
Shear Parallel to faying surface on the surface on the effective area	Base	Governed by J4			Filler metal with a strength level equal to or less than matching filler metal is permitted.
	Weld	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60F_{Exx}$	See J2.3a	

Şekil 5.17 : AISC 360-10 Kaynak dayanım azaltma katsayıları.

**Çizelge 5.13** : AISC 360-10'a göre minimum köşe kaynak kalınlıkları.

Birleştirilen Parça Kalınlığı (mm)	Minimum Kenar Kalınlığı (mm)
$t \leq 6$	3
$6 < t \leq 13$	5
$13 < t \leq 19$	6
$19 < t$	8

#### 5.4.1 Kaynak yeterlilik kontrolü

Toplam kaynak boyu;

$$l = (15\text{cm}) \times (4) = 60\text{cm}$$

Köşe kaynak kalınlığı;

$$a = 0.6\text{cm}$$

Kaynak metalinin karakteristik çekme dayanımı;

$$F_E = 3.6t/\text{cm}^2$$

Köşe kaynak karakteristik kayma dayanımı;

$$F_w = 0.6(F_E) = 3.6(0.6) = 2.16t/\text{cm}^2$$

Kaynağın etkili hesap alanı;

$$A_w = l(a) = 60(0.6) = 36\text{cm}^2$$

$$R_n = F_w(A_w) = 2.16(36) = 77.76\text{ton}$$

$P_{\text{analiz}} \leq (R_n / \Omega_v)$  ise;

$$16.17t \leq (77.76/2)$$

Kaynak yeterli

M24 civata için minimum kenar mesafesi 30mm'dir[1].

#### 5.4.2 Civata kesme hesabı

Toplam bulon sayısı;

$$n = 2$$

Bir bulonun gövde alanı(M24);

$$A_b = 4.5216\text{cm}^2$$

Bulon için karakteristik kayma dayanımı(A325);

$$F_{nv} = 68\text{ksi} = 4.78\text{t/cm}^2$$

Toplam kesme kuvvet dayanımı;

$$R_{nT} = n(F_{nv})(A_b)=2(4.78)(4.5216) = 43.23\text{ton}$$

$P_{analiz} \leq (R_{nT}/ \Omega)$  ise;

$$16.17\text{t} \leq (43.23/2)$$

Seçilen civataların kesme dayanımı yeterlidir.

### 5.4.3 Bağlantı plakası ezilme tahkiki

$$R_n = 1.2L_c t F_u$$

$L_c$ : Delik dışından plaka dış noktasına dik mesafe;

$$F_u = 3.6\text{t/cm}^2$$

$$t = 1.5\text{cm}$$

$$L_c = 3.2\text{cm}$$

$$R_n = 1.2(3.2)(1.5)(3.6) = 20.736\text{ton}$$

İki adet bulon için;

$$2(20.736) = 41.472\text{ton}$$

$P_{analiz} \leq (R_{nT}/ \Omega)$  ise;

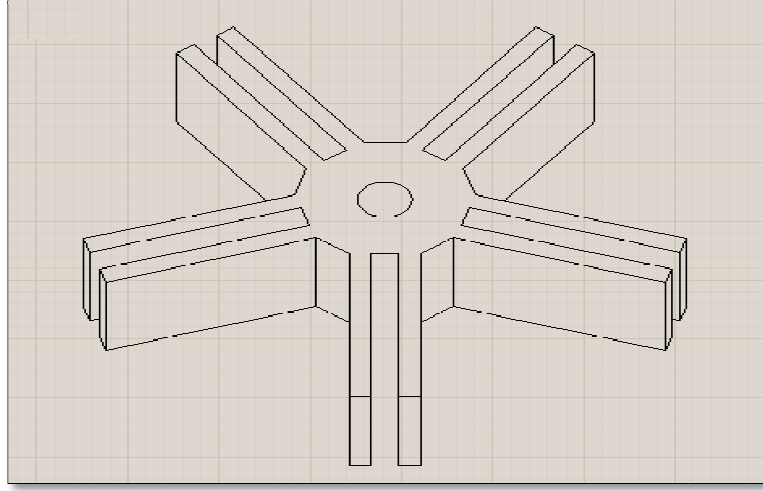
$$16.17\text{t} \leq (41.472/2)$$

Birleşimde ezilme güvenliğinin sağlandığı görülmüştür.

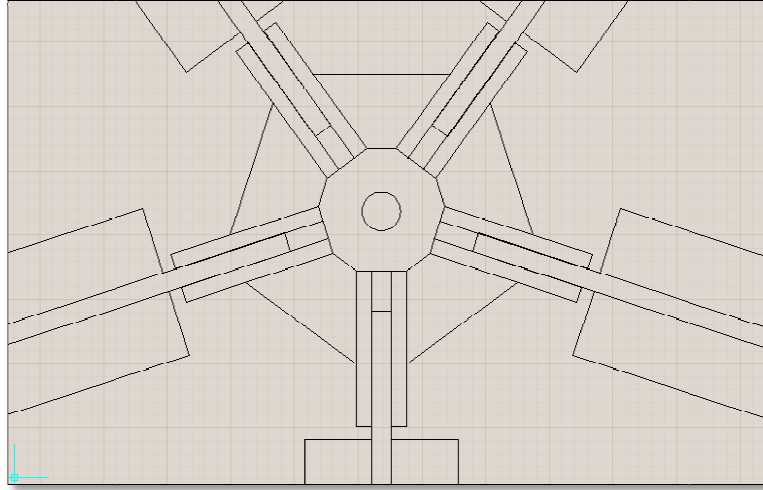
### 5.4.4 Birleşim parçası gerilme analizi

Birleşim parçası, sistemde çubuk elemanların beşli gruplar halinde birleştiği bağlantı elemanıdır. İlgili elemanın gerilme analizi için “SAP2000” analiz programı kullanılmış ve gerilme değerleri plaka analizi ile elde edilmiştir.

Yapıda kullanılması öngörülen birleşim parçası, S275JR sınıfı çelikten CNC imalat yöntemi kullanılarak imal edilmiş bir elemandır.

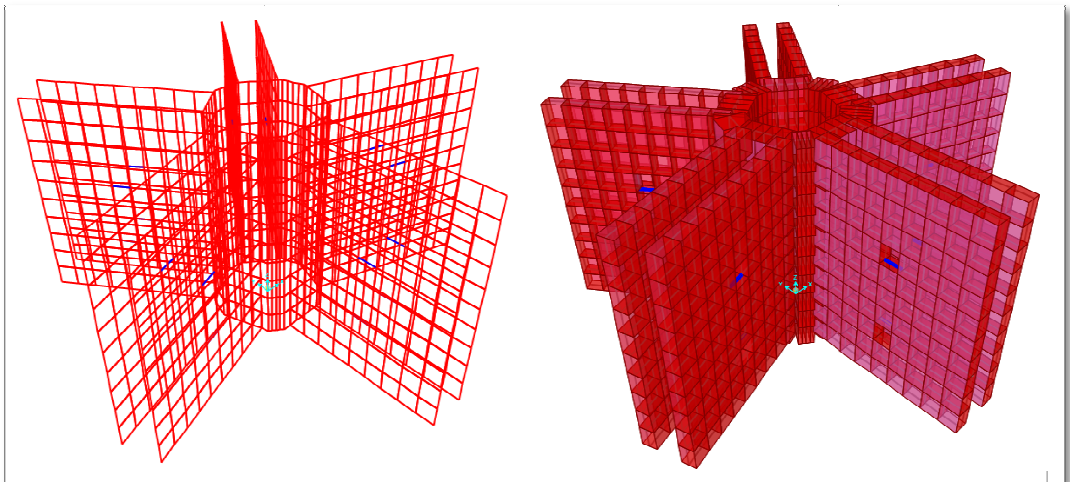


**Şekil 5.18 :** Analizi yapılan birleşim elemanın izometrik görünüşü.



**Şekil 5.19 :** Birleşim elemanlarının çubuklarla birlikte yerleşimi.

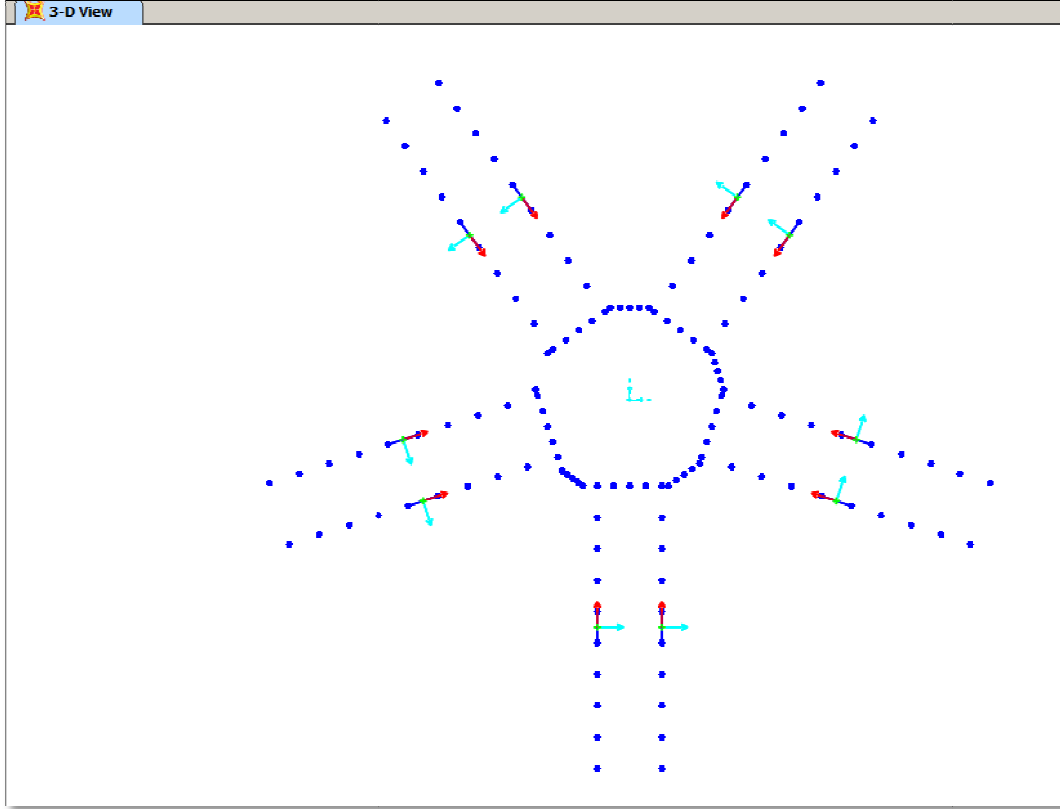
Birleşim noktası, analiz programına işlenmiş ve gerilme durumlarının sağlıklı şekilde alınabilmesi için daha küçük parçalara ayrılmıştır.



**Şekil 5.20 :** Sonlu eleman analiz modeli.

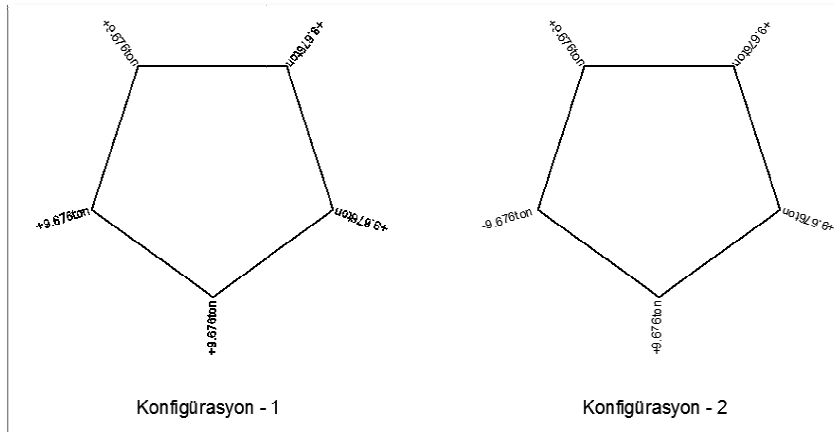
Elemanın gerilme tahkikleri için hesap yükü olarak, mafsallı jeodezik kubbe modelinde “120x120x5” ebatlı çubuk elemanlarda görülen en büyük aksenal kuvvet değeri olan “9.676ton” alınmıştır.

“9.676” tonluk kuvvet, analiz modelinde tanımlanan birleşim elemanına plaka eksenleri doğrultusunda etkilmiştir.

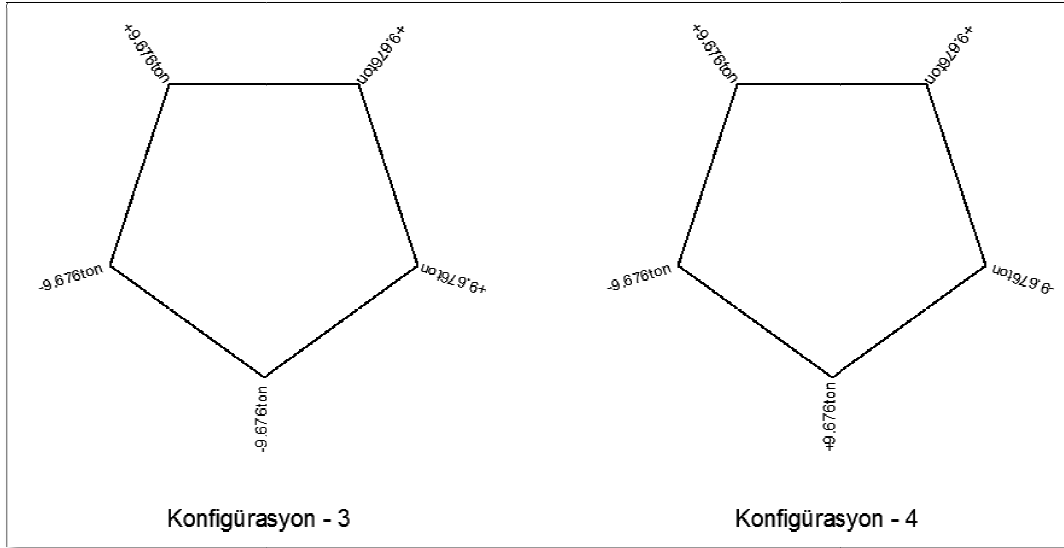


Şekil 5.21 : Yük etkitme noktaları ve yerel eksenler.

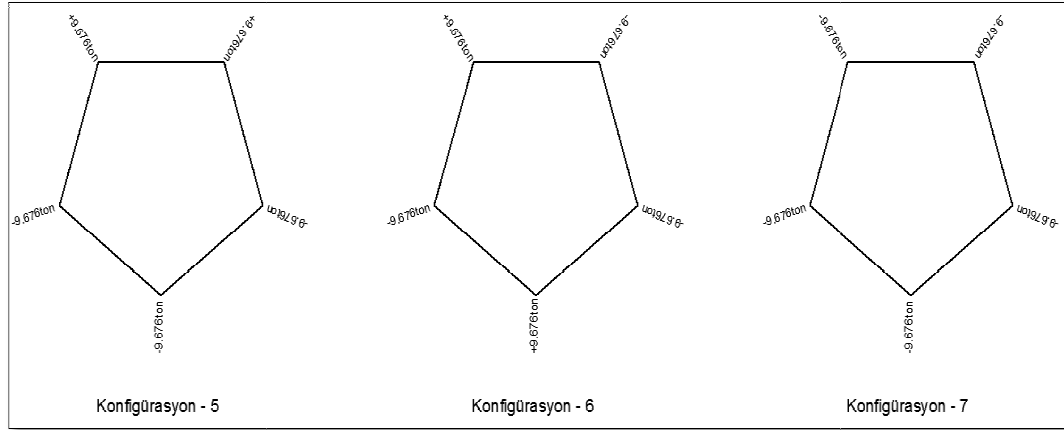
Yüklemeler yapılırken, birleşime bağlanan çubuk elemanların kuvvet işaretlerinin değişebileceği gözönünde bulundurularak yedi ayrı yükleme durumu kullanılmıştır.



Şekil 5.22 : Yük konfigürasyonları 1/3.



**Şekil 5.23 :** Yük konfigürasyonları 2/3.

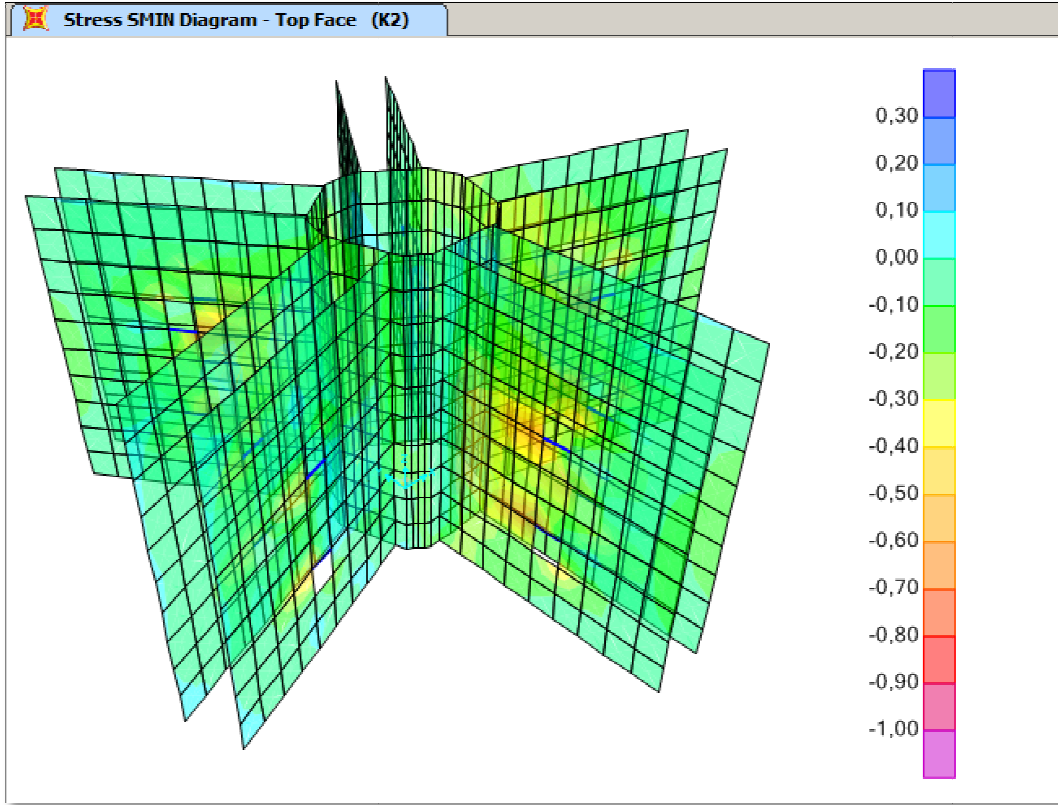


**Şekil 5.24 :** Yük konfigürasyonları 3/3.

Tanımlanan kombinasyonlara göre analiz yapılmış ve birleşim elemanı plakalarında maksimum gerilme değeri olarak,  $1.03t/cm^2$  değeri okunmuştur.

İlgili gerilme değeri, “K2” yükleme konfigürasyonunda ortaya çıkmıştır.

Gerilme değerleri, şekil 5.25’te gösterilmiştir.



**Şekil 5.25** : Maksimum gerilme değerinin görüldüğü gerilme diyagramı.

Birleşim elemanı kesitlerinin yeterli olduğunu kanıtlamak için; S275JR malzemenin akma gerilmesinin ( $F_y$ ) emniyet gerilmesi katsayısına ( $\Omega$ ) bölünmesiyle çıkan emniyet gerilmesi değerinin, analiz sonucu elde edilen maksimum gerilme değerinden ( $S_{maks}$ ) yüksek olması gerekmektedir.

$$F_y(S275JR) = 2.75t/cm^2$$

$$\Omega = 2$$

$$S_{maks} = 1.03t/cm^2$$

$$F_y / \Omega \geq S_{maks}$$

$$2.75 t/cm^2 / 2 \geq 1.03t/cm^2$$

Birleşim elemanının kesitlerinin yeterli olduğu görülmüştür ancak konstrüktif açıdan, berkitme plakası eklentisi yapılabilir.

Plaka elemanlar için burkulma davranışları, analiz sonucu ortaya çıkan deforme şekiller ve burkulma faktörleri “EK-A”da görülebilir.

## **6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME**

Bu tez çalışmasında, jeodezik kubbe yapılar hakkında genel tanımlar yapılarak konuya giriş yapılmıştır. Jeodezik formlarda frekans kavramı ve jeodezik formları modelleme esasları anlatılmıştır. Jeodezik kubbelerde normalizasyon kavramına giriş yapılmıştır. Yapısal analiz bölümünde, belirli bir frekansta, çapta ve yükseklikte bir jeodezik kubbe formu ele alınarak, AISC 360-10 (Amerikan çelik yapı şartnamesi), DBYHBY 2007 (Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik) ve ASCE 7-10 (Binalar ve diğer yapılar için minimum tasarım yükleri) ışığında; tanım, modelleme, yükleme ve analiz aşamalarından geçirilmiştir. Yapı analiz edilirken düğüm noktaları ankastre ve mafsallı olarak tanımlanmış ve analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan kabuller, model, analizler ve hesaplar ışığında; 12V frekanslı, “50.0” metre çapında ve “15.2” metre yüksekliğindeki jeodezik kubbe yapının yapısal davranışı ve özellikleri için aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

### **6.1 Jeodezik Kubbe Davranışı**

Mafsallı ve ankastre düğüm noktaları ile teşkil edilen analiz modellerinin her ikisinde de yapının polihedron frekansına, taban çapına ve yüksekliğine bağlı oluşturulmuş üçgen formlu hücrelerindeki çubuk elemanlarının, maruz kaldığı tanımlı ve kombine edilmiş yüklere karşı son derece yüksek performansla servis verdiği görülmüştür.

Çubuk elemanların yükleri birbirlerine aktarma şekillerine ve çubuk kuvvetlerinin birbirine yakın değerlerde oluşuna bakıldığında, jeodezik formun, doğru tanımlandığında geniş açıklıkları geçmek için son derece doğru bir sistem olduğu ortaya çıkmaktadır.

### **6.2 Mafsallı Düğüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Model**

Mafsallı düğüm noktalarıyla teşkil edilmiş jeodezik kubbe modelinin yapısal davranışı incelendiğinde, tanımlı tüm yük ve yük kombinasyonlarına karşı yüksek

performansla servis verdiği görülmüştür. Yapılan modal analizde ve davranış spektrum analizinde sistemin, lateral yüklere karşı da son derece stabil kaldığı görülmüştür.

Yapının burkulma analizi için yapılan tahkikler sonucunda, özellikle tabana yakın bölgelerdeki yapısal burkulma nedeniyle burkulma katsayısı değerinin düşük çıktığı görülmüştür. Bu nedenle, çubuk enkesitlerinde artışa gidilmiştir. Yapılan düzenleme ile, elverişsiz burkulma yüklemesi olan dengelenmemiş kar yüklemeli durumda dahi burkulma katsayısı kabul edilebilir bir noktaya çekilmiştir ancak yapısal elemanların maruz kaldığı yükler değişmeyip kesit alanları arttığından, elastik hesaptaki çubuk gerilme değerleri de düşmüştür.

Bu bilgiler ışığında, mafsalı düğüm noktalarıyla teşkil edilmiş jeodezik kubbelerde burkulma tahkiklerinin büyük önem taşıdığını ve yapının burkulmaya karşı göreceli olarak dayanıksız olduğunu söyleyebiliriz.

### **6.3 Ankastre Düğüm Noktalarıyla Teşkil Edilmiş Model**

Ankastre düğüm noktalarıyla teşkil edilmiş jeodezik kubbe modelinin yapısal davranışı incelendiğinde, mafsalı düğüm noktaları ile teşkil edilmiş analiz modeline benzer şekilde; yapının yüklere karşı yüksek dayanım ve stabilite gösterdiği görülmüştür.

Yapıda, mafsalı düğüm noktaları ile teşkil edilmiş analiz modelinde atanmış kesitlerin aynıları tanımlı iken uygulanan burkulma analizinde burkulma faktörü "14" olarak bulunmuş ve yapısal elemanların gerilme tahkiklerinde ortaya çıkan düşük gerilme değerleri de gözönünde bulundurularak kesitlerde küçültmeye gidilmiştir.

İki analiz modeli karşılaştırıldığında, ankastre düğüm noktalı sistemin, özellikle burkulma davranışı açısından daha üstün olduğu görülmektedir. Ancak mekanik olarak uygun davranış gösterecek kesitlerin seçilmesiyle, mafsalı sistemlerde de stabiliteyi yakalamanın mümkün olduğu görülmüştür.

Analiz modelinden alınan verilere göre, mafsalı düğüm noktalı teşkil edilmiş sistemin toplam çelik ağırlığı, ankastre düğüm noktalı teşkil edilmiş sistemin çelik ağırlığından nominal olarak "%84" daha fazla çıkmıştır. Ancak ankastre düğüm

noktalı teşkil edilmiş sistemlerdeki düğüm noktası ağırlıkları kıyaslanan sisteme göre daha yüksek olacağından, gerçek uygulamalarda bu oranın düşmesi beklenmelidir.

#### **6.4 Uygulamaya Yönelik Öneri**

İnşa edilecek jeodezik kubbenin mesnet durumunun belirlenmesinde, tasarımların mekanik davranışları kadar, imalat ve montaj kolaylığı ve bunlara bağlı ortaya çıkacak ilave maliyetler de göz önünde bulundurulacağından, bir sistemi diğerinden kesin olarak üstün tutacak bir genelleme yapmak mümkün olmayacaktır.

Bu noktada, tercih edilecek sistem mafsalı düğüm noktaları içerecekse, yapının genel burkulma sorununun önüne geçilebilmesi için, burkulmanın görüldüğü bölgedeki çubuk kesitlerinin arttırılması yoluna gidilmelidir. Taban mesnetlerinin ankastre hale getirilmesi gibi çözümler, genel burkulma davranışının çözümü olmamaktadır.

Eğer ankastre düğüm noktalı sistem seçilecekse, düğüm noktaları ve yapısal elemanlar büyük bir hassasiyetle imal edilmeli ve montajı uzman ekiplerce yapılmalıdır. Zira ankastre düğüm noktalarının teorik davranışa uygun olarak servis verebilmesi için imalat ve montaj sürecinde büyük hassasiyet gerekmektedir.

Ankastre düğüm noktalı sistemlerde, düğüm noktalarının teoriye ve hesaba uygun teşkil edilmemesi, bu sistemin, mafsalı sisteme oranla daha zayıf kesitlerden teşkil edilmiş olması da göz önünde bulundurulduğunda, sistem için önemli stabilite problemlere sebep olabilecektir.



## KAYNAKLAR

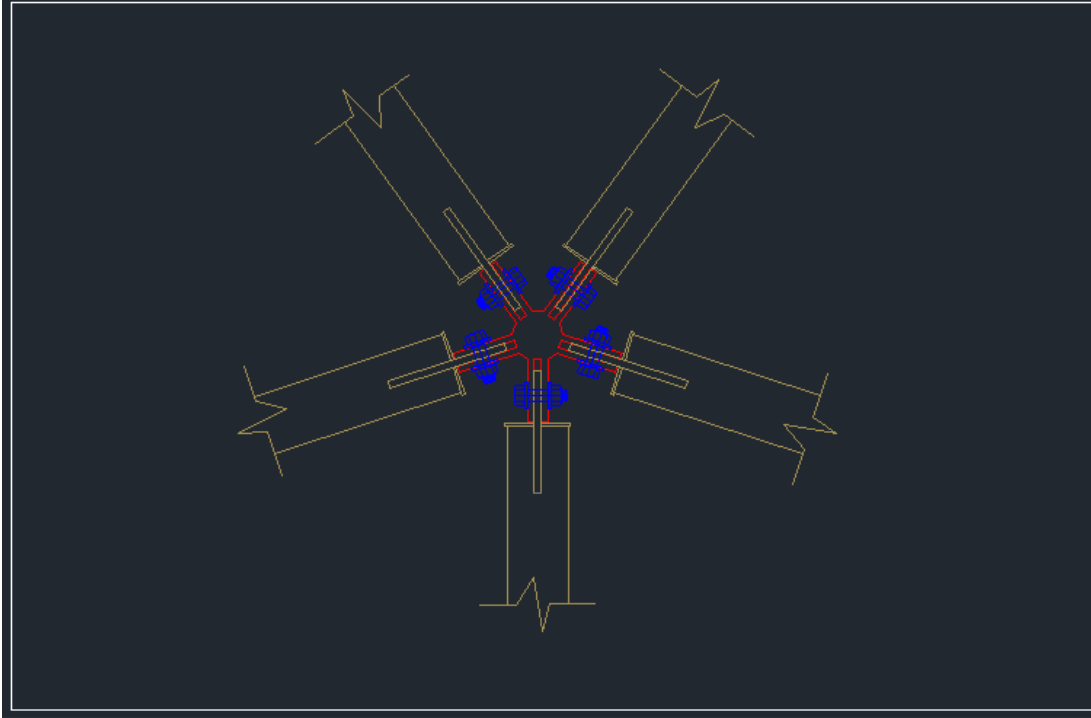
- [1] **AISC-360** (2010). Specification for Structural Steel Buildings - American Institute of Steel Structures , *American Institute of Steel Structures*, Chicago, USA
- [2] **ASCE-7** (2010). Structural Engineering Institute Standart 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, *American Society of Civil Engineers*, USA
- [3] **Arya, C.** (2003). Design of Structural Elements, *Spon Press*.
- [4] **Bauer, J., Zawidzka, J., Sumec, J.** (1995). Minimum Weight Design of Schwedler Shell. *Int. Conference on Lightweight Structures in Civil Engineering*.
- [5] **Benjamin, B.S.** (1963). The Analysis of Braced Domes. *Asia Publishing House*.
- [6] **Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik**, (2007). Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [7] **Deren, H., Uzgider, E., Piroğlu, F.** (1985). Çelik Yapılar, Çağlayan Kitabevi. İstanbul
- [8] **Fuller, R.B.** (1962). Tensile-Integrity Structures, U.S., *Patent*, No: 3,063,521 tarih: 13.11.1962.
- [9] **Kardysz, M., Rebielak, J., Tarczewski, R.** (2002). *Loading behaviour of some types of tension-strut domes*, Space Structures 5, vol. 1, *Thomas Telford*, London, sf: 1209–1218.
- [10] **Makowski, Z. S.** (1972). Steel space structures. *Joseph*. 2-10
- [11] **Makowski, Z.S.** (1984). Analysis, Design and Construction of Braced Domes. *Granada*.

- [12] **Morgan, W.** (1981) *The Elements of Structure*. Pitman, University of Auckland, New Zealand
- [13] **Motro, R.** (1984). Review of the development of geodesic domes (ed. Makowski). *Analysis, Design and Construction of Braced Domes*, sf: 387–412.
- [14] **Snelson, K.** (1965) Continuous tension, discontinuous compression structures, U.S., *Patent*, No: 3,169,611 tarih: 16.02.1965
- [15] **Uematsu, Y., Yamada, M., Inoue, A., Hongo, T.** (1997). Wind Loads and Wind- Induced Dynamic Behaviour of a Single Layer Latticed Dome. *Journal of Wind Engineering*, sf: 66, 227-248.
- [16] **Zung, T. T. S.** (2001) *Buckminster Fuller: Anthology for the New Millennium*. St. Martin's Press, New York, USA.

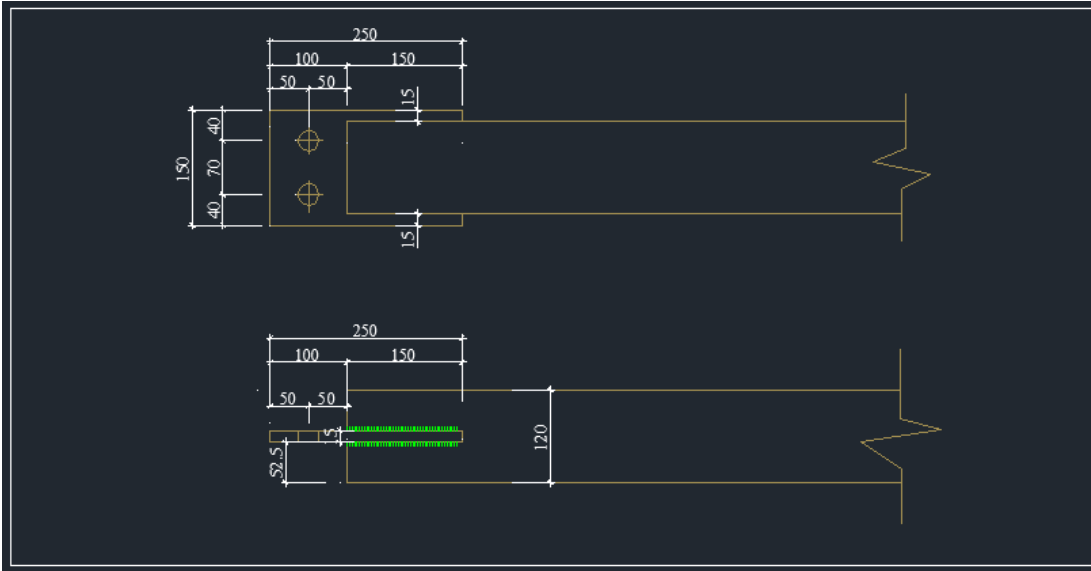
## **EKLER**

**EK A:** Birleşim elemanı verileri

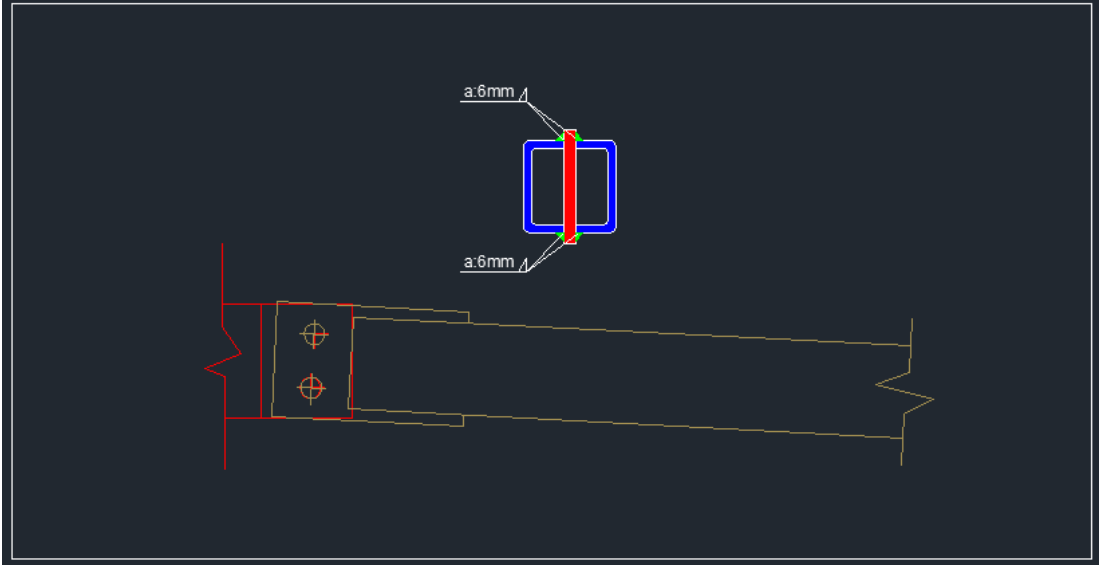
## EK A



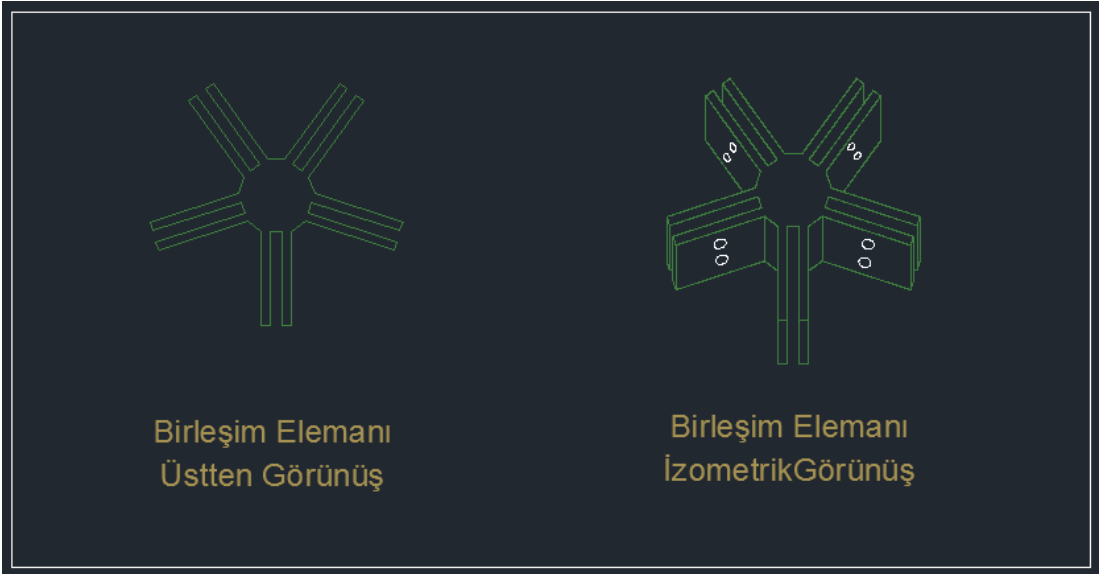
Şekil A.1 : Çubuk eleman – birleşim elemanı bağlantı şekli.



Şekil A.2 : 120x120x5, 120x120x10 çubuk eleman çizimi 1/2.



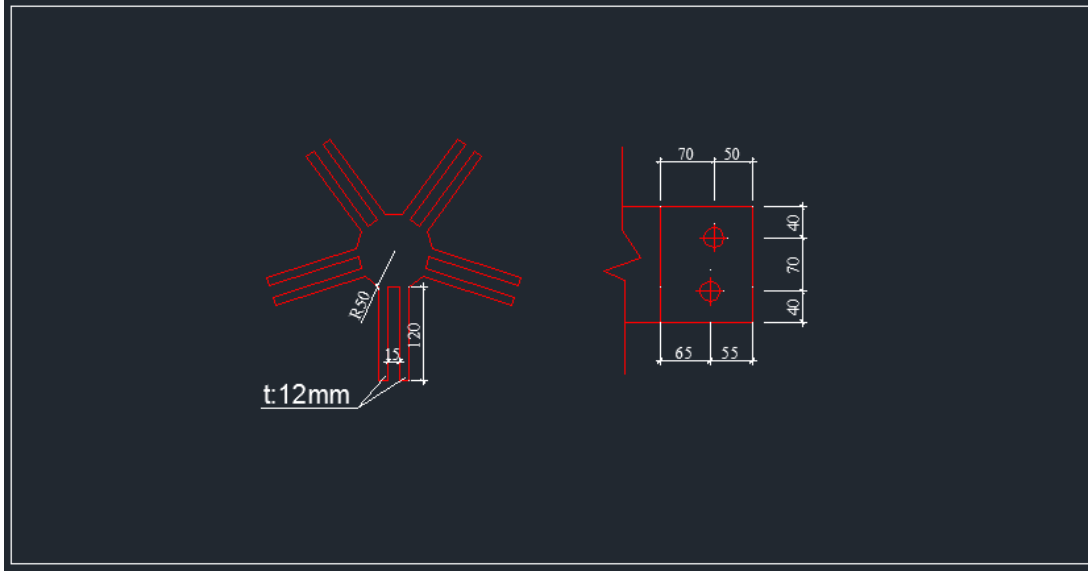
Şekil A.3 : 120x120x5, 120x120x10 çubuk eleman çizimi 2/2.



Birleşim Elemanı  
Üstten Görünüş

Birleşim Elemanı  
İzometrik Görünüş

Şekil A.4 : Birleşim elemanı görünüşleri.



Şekil A.5 : Birleşim elemanı ölçüleri.

Çizelge A.1 : Birleşim elemanı gerilme verileri 1/4.

SMaxTop				
Alan Adı	Eleman	D. Noktası	Yükleme	Gerilme (t/cm <sup>2</sup> )
6378	6378	7231	K5	1,01594
6378	6378	7231	K6	1,00941
5778	5778	6631	K2	1,00725
6382	6382	7234	K5	0,9972
6382	6382	7234	K6	0,99391
5678	5678	6531	K6	0,98949
5778	5778	6631	K3	0,98829
5678	5678	6531	K5	0,98403
6378	6378	7231	K4	0,98387
6478	6478	7331	K3	0,9816
6578	6578	7431	K3	0,98005
6379	6379	7231	K6	0,9787
6379	6379	7231	K5	0,97846
5682	5682	6534	K6	0,97642
6278	6278	7131	K5	0,97434
5678	5678	6531	K4	0,9731
5682	5682	6534	K5	0,97014
5782	5782	6634	K2	0,96969

5779	5779	6631	K2	0,96886
6278	6278	7131	K4	0,9675
6382	6382	7234	K4	0,96698
5678	5678	6531	K7	0,96668
5679	5679	6531	K5	0,96645
6578	6578	7431	K7	0,96642
5878	5878	6731	K7	0,96639
6078	6078	6931	K7	0,96638
6579	6579	7431	K3	0,96637
5679	5679	6531	K6	0,96637
6278	6278	7131	K7	0,96636

**Çizelge A.2 : Birleşim elemanı gerilme verileri 2/4.**

SMinTop				
Alan Adı	Eleman	D. Noktası	Yükleme	Gerilme (t/cm2)
6378	6378	7231	K2	-1,03867
6382	6382	7234	K2	-1,02139
5978	5978	6831	K5	-1,02103
6378	6378	7231	K3	-1,00609
5878	5878	6731	K5	-1,00388
6078	6078	6931	K5	-1,00374
5978	5978	6831	K6	-1,00336
6379	6379	7231	K2	-0,99554
5878	5878	6731	K6	-0,99046
6382	6382	7234	K3	-0,99041
5978	5978	6831	K4	-0,98631
6079	6079	6931	K5	-0,98442
5878	5878	6731	K4	-0,98105
6082	6082	6934	K5	-0,98105
5982	5982	6834	K5	-0,9806
6078	6078	6931	K4	-0,97966
6379	6379	7231	K3	-0,97906
6478	6478	7331	K6	-0,97553

6381	6381	7234	K2	-0,97513
6578	6578	7431	K6	-0,9746
6178	6178	7031	K5	-0,97328
5982	5982	6834	K6	-0,97312
5979	5979	6831	K5	-0,97299
6081	6081	6934	K5	-0,97116
5979	5979	6831	K6	-0,96854
6178	6178	7031	K4	-0,96689
5882	5882	6734	K5	-0,96685
6578	6578	7431	K4	-0,9668
5678	5678	6531	K1	-0,96668

**Çizelge A.3 : Birleşim elemanı gerilme verileri 3/4.**

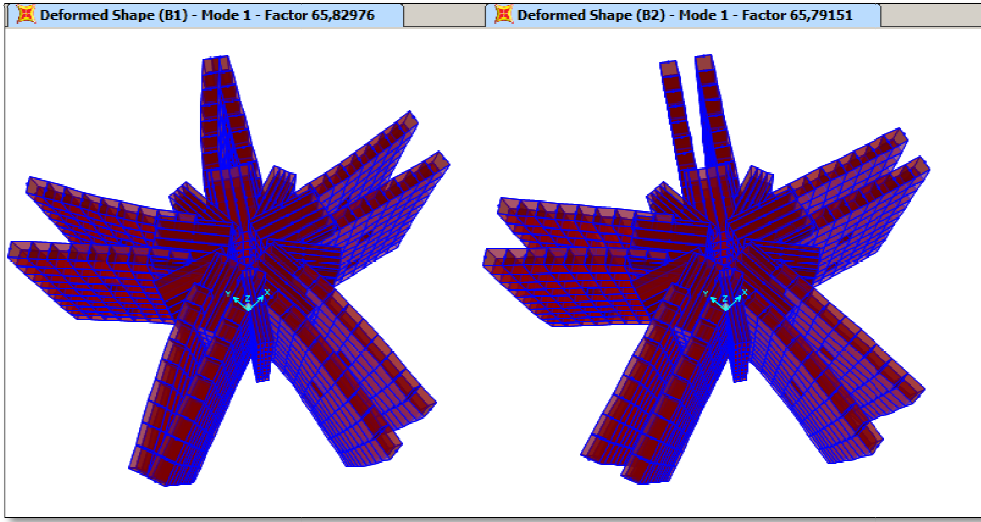
<b>SMaxBot</b>				
Alan Adı	Eleman	D. Noktası	Yükleme	Gerilme (t/cm <sup>2</sup> )
5678	5678	6531	K2	1,00961
6078	6078	6931	K6	1,00679
6278	6278	7131	K5	1,00265
5682	5682	6534	K2	0,99483
6278	6278	7131	K6	0,9941
5678	5678	6531	K3	0,99333
6178	6178	7031	K6	0,9878
5778	5778	6631	K6	0,98446
6478	6478	7331	K5	0,98168
5778	5778	6631	K5	0,98164
5679	5679	6531	K2	0,98108
6578	6578	7431	K5	0,98102
6278	6278	7131	K4	0,97971
6082	6082	6934	K6	0,97943
5682	5682	6534	K3	0,97626
5778	5778	6631	K4	0,97104
5679	5679	6531	K3	0,97075
6079	6079	6931	K6	0,96997
6282	6282	7134	K5	0,96949

6478	6478	7331	K7	0,96664
6378	6378	7231	K7	0,96643
5778	5778	6631	K7	0,96642
6178	6178	7031	K7	0,96637
5978	5978	6831	K7	0,96636
6578	6578	7431	K7	0,96502
5678	5678	6531	K7	0,96491
6278	6278	7131	K7	0,96488
6078	6078	6931	K7	0,96486
5878	5878	6731	K7	0,96482

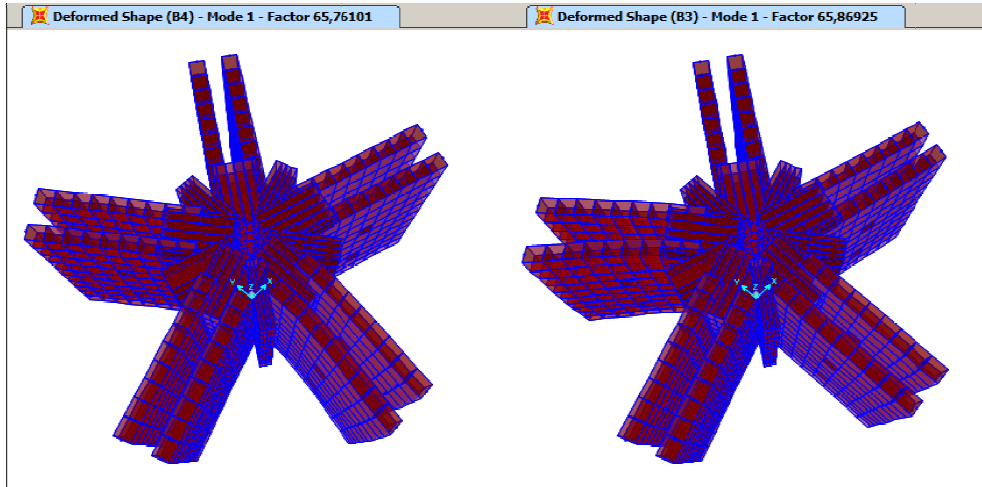
**Çizelge A.4 : Birleşim elemanı gerilme verileri 4/4.**

<b>SMinBot</b>				
Alan Adı	Eleman	D. Noktası	Yükleme	Gerilme (t/cm2)
6078	6078	6931	K2	-1,03356
5978	5978	6831	K2	-1,01812
6278	6278	7131	K2	-1,01202
6178	6178	7031	K2	-1,0029
6082	6082	6934	K2	-0,99869
6478	6478	7331	K2	-0,99699
6078	6078	6931	K3	-0,99596
6578	6578	7431	K2	-0,9941
5978	5978	6831	K3	-0,99172
5878	5878	6731	K2	-0,98986
5982	5982	6834	K2	-0,98891
6278	6278	7131	K3	-0,98806
6079	6079	6931	K2	-0,98145
5979	5979	6831	K2	-0,97956
6178	6178	7031	K3	-0,97732
6282	6282	7134	K2	-0,97602
5878	5878	6731	K3	-0,9741
5882	5882	6734	K2	-0,97225
6182	6182	7034	K2	-0,9719

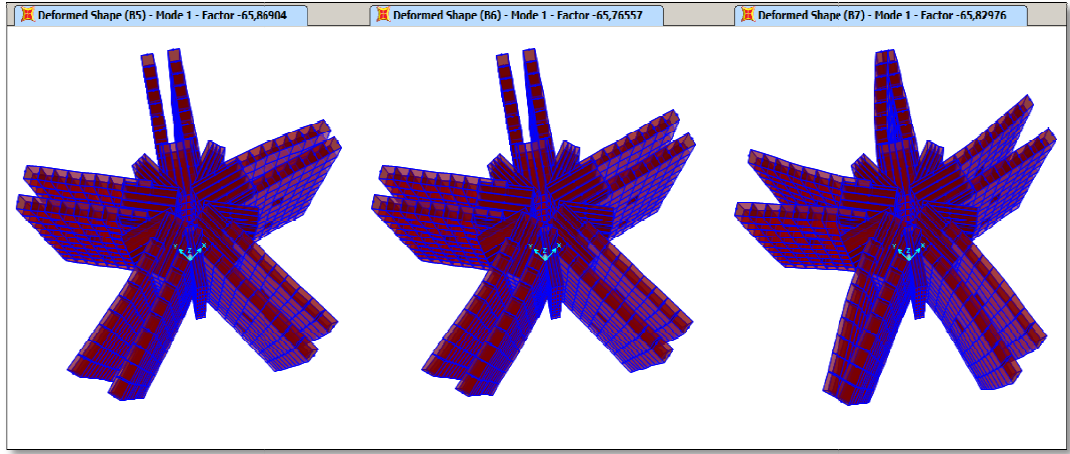
6582	6582	7434	K2	-0,97123
5981	5981	6834	K2	-0,97098
6482	6482	7334	K2	-0,97085
6082	6082	6934	K3	-0,9693
6079	6079	6931	K3	-0,96884
6279	6279	7131	K2	-0,96815
5982	5982	6834	K3	-0,96716
6081	6081	6934	K2	-0,96697
6478	6478	7331	K1	-0,96664
6378	6378	7231	K1	-0,96643



Şekil A.6 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 1/3.



Şekil A.7 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 2/3.



Şekil A.8 : Düğüm noktası plaka burkulma analizi – 3/3.

## **ÖZGEÇMİŞ**

**Ad Soyad** : Mithat KUZULU  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Kayseri - 1982  
**E-Posta** : mithatkuzulu@muhendishane.com  
**Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği