

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP DOLU GÖVDELİ KUBBE KAFES
SİSTEMLER İLE DAİRESEL BOŞLUKLU KUBBE KAFES SİSTEMLERİN
TASARIM VE MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI**

**Abdullah ADNANOĞLU
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

OCAK 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP DOLU GÖVDELİ KUBBE KAFES
SİSTEMLER İLE DAİRESEL BOŞLUKLU KUBBE KAFES SİSTEMLERİN
TASARIM VE MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI**

**Abdullah ADNANOĞLU
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS**

OCAK 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP DOLU GÖVDELİ KUBBE KAFES
SİSTEMLER İLE DAİRESEL BOŞLUKLU KUBBE KAFES SİSTEMLERİN
TASARIM VE MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI

Abdullah ADNANOĞLU
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 28/01/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ferhat ERDAL (Danışman)

Prof. Dr. Erkan DOĞAN

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

ÖZET

FARKLI AÇIKLIKLARA SAHİP DOLU GÖVDELİ KUBBE KAFES SİSTEMLER İLE DAİRESEL BOŞLUKLU KUBBE KAFES SİSTEMLERİN TASARIM VE MALİYET KARŞILAŞTIRILMASI

Abdullah ADNANOĞLU

Yüksek Lisans, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ferhat ERDAL

Ocak 2022; 108 sayfa

Tasarımcılar ve mühendislerin, büyük açıklıkların ara kolonsuz ve hafif bir konstrüksiyon sistemi ile geçme fikri her zaman ilgisini çekmiştir. Yapı elemanları tarafından, tasarım teknolojilerindeki hafif ve estetik çözümler arayışı aralarında kubbe kafes sistemlerin de olduğu farklı taşıyıcı sistemler geliştirilmeye çalışmaktadır. Bu sistemlerin davranış sınırlayıcıları altında geometrik parametreleri, tasarım değişkenleri alınarak farklı tasarım sonuçlarına ulaşılması sağlanmıştır.

Bu tez çalışmasında en yaygın kubbe kafes sistem uygulamaları olan Ribbed ve Schwedler kubbe sistemleri referans alınarak bir kubbe sistem modeli geliştirilmiş olup bu sistem modeli; dayanımın yanı sıra ekonomik açıdan efektif olması için parametrik çalışmaya tabi tutulmuştur. Oluşturulan kubbe sistemi; dolu gövdeli kirişin yerine petek kiriş kullanımı gibi farklı parametreler ve tasarım yöntemleri kullanarak yetmiş iki farklı model türetilerek bu modellerden oluşan analiz, tasarım ve maliyet sonuçları karşılaştırılmıştır. Bunun sonucunda ekonomik ve dayanım şartlarının sağlandığı basit ve uygulanabilir kubbe sistemlerin oluşturulması amaçlanmıştır. Çalışmada yapılan tüm analizler SAP2000.V22 programı ile yapılmış olup tasarım aşaması SAP2000.V22 programının yanı sıra parametrik hesap yöntemi ile de hesaplanmıştır. Maliyet analiz çalışmasında ise Tekla V20 programı kullanılarak, modeller kurularak elde edilen malzeme listesi ile malzeme ağırlıkları ve birim fiyatlar esas alınarak maliyet analizi yapılmıştır. Bu çalışma sonucunda yapılan değerlendirme de ise farklı modeller için yapılan analiz sonuçları arasında karşılaştırma yapılarak, kubbe kafes sistemlerinin tasarım ve ekonomik olmaları değişken kabul edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: Çelik Yapıların Tasarımı, Büyük Açıklıklı Yapılar, Kubbe Kafes Sistemler, Petek Kiriş, Burkulma, Sonlu Elemanlar Yöntemi

JÜRİ: Doç. Dr. Ferhat ERDAL

Prof. Dr. Erkan DOĞAN

Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU

ABSTRACT

COMPARISON OF DESIGNS AND ECONOMIES IN DIFFERENT SPANS BETWEEN DOMES WITH I SECTION SYSTEMS AND DOME WITH CASTLATED I BEAM SYSTEMS

Abdullah ADNANOĞLU

MSc Thesis in Civil Engineering Department

Supervisor: Assoc.Prof.Dr. Ferhat ERDAL

January 2022; 108 pages

The idea of crossing large spans with a lightweight and column-free construction system has always attracted the attention of designers and engineers. As a result of the search for light and aesthetic solutions in building elements and design technologies, different carrier systems, including dome lattice systems, have been developed. Under the behavior constraints of these systems, geometric parameters are taken as design variables and different design results are achieved.

In this thesis, a dome system model was developed by taking Ribbed and Schwedler dome systems, which are the most common dome cage system applications, as a reference. In addition to its strength, it has been subjected to parametric study in order to be economically effective. The created dome system was derived as 72 different models by using different parameters and design methods, such as the use of honeycomb beams instead of solid-body beams, and the analysis, design and cost results obtained from these models were compared. As a result, it is aimed to find a simple and applicable dome system that provides economic and strength conditions. All analyzes in the study were made with the SAP2000.V22 program, and the design phase was done manually as well as the SAP2000.V22 program. In the cost study, models were established with the Tekla V20 program, and the net material list was obtained, based on material weights and unit prices. After obtaining the analysis results for different models, the design and economy of the dome cages were evaluated by making comparisons.

KEYWORDS: Design Of Steel Structures, Large Span Structures, Dome Truss Systems, Honeycomb Beam, Buckling, Finite Element Method

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Ferhat ERDAL

Prof. Dr. Erkan DOĞAN

Assoc. Prof. Dr. İbrahim AYDOĞDU

ÖNSÖZ

Kubbeler büyük açıklıkları geçmek için kullanılan, basit ve kolayca uygulanabilir bir sistemdir. Mühendisler, kubbe tasarımı yaparken çok fazla tasarım detaylarına inmeden uluslararası yönetmeliklerin ışığında kubbe sistemlerin analizini yaparak programlardan aldığı sonuçlarla uygulamaya geçerler. Bu durum, ekonomik olmayan ve güvensiz kubbe sistemlerinin oluşmasına neden olabilir. Her kubbe sistemi belirli şartlar altında ekonomik olabilirken diğer değişken durumlar dikkate alındığında daha maliyetli olabilmektedir. Bu tez çalışmasında büyük açıklıklı kubbelerin tasarımı ile açıklık oranının kubbe metrajlarına etkisi ile kubbe yüksekliğinin değişmesine bağlı olarak oluşan genellikle kontrol edilmeyen burkulma davranışı katsayısı incelenmiştir. Özellikle tek katmanlı büyük açıklıklı yapılarda bu kontrolün yapılması gereklidir. Aksi durumda yapıda buna bağlı olarak ani göçmeler meydana gelebilir. Ayrıca günümüzde kullanım alanları giderek artan petek kirişlerin kubbe sistemlerde kullanılması durumu da tez kapsamında incelenmiştir. Çalışmanın son aşamasında petek kirişlerin kubbe sistemlerinde kullanılmasının uygunluğunu araştırmak amacıyla yetmiş iki farklı kubbe modeli üzerinde karşılaştırma yapılarak bu kubbelerin davranışlarını incelemek ve analiz sonuçlarını değerlendirmek için analitik bir çalışma da yapılmıştır.

Bu tez çalışmasında bana yardımcı olan ve çalışmanın yolunu çizip takip eden aynı zamanda danışmanlığımı yapan Doç. Dr. Ferhat ERDAL'a teşekkür ederim.

Kubbe imalatı ve montajı hakkında benimle tecrübesini paylaşan yurt içi ve yurt dışında bulunan değerli meslektaşlarıma da ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
AKADEMİK BEYAN	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Ribbed kubbe sistemi:	1
1.2. Schwedler kubbe sistemi:	2
1.3. Lamella kubbe sistemi:	3
1.4. Geodesic kubbe sistemi:	4
1.5. Dairesel boşluklu petek kirişlerin avantajları.....	4
2. KAYNAK TARAMASI	7
3. MATERYAL VE METOT	12
3.1. Kubbe Modellerin Kurulması	13
3.1.1. Geometrik model oluşturulması	13
3.1.2. Analiz modellerin oluşturulması	17
3.1.3. Modellerde kullanılan profil kesitleri	19
3.2. Yüklerin Hesabı.....	20
3.2.1. Ölü yük hesabı.....	20
3.2.2. Kar yükü hesabı.....	20
3.2.3. Rüzgâr yükü hesabı.....	24
3.2.4. Deprem yükü hesabı	33
3.2.5. Isı yükü hesabı.....	36
3.2.6. Burkulma yükü hesabı	37
3.3. Yüklerin Birleşimleri.....	38
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	41
4.1. Dolu Gövdeli Kirişli Kubbe.....	41
4.1.1. Analiz sonuçları.....	41

4.1.2.	Sap2000.V22 ile tasarım	50
4.1.3.	Parametrik tasarım	55
4.1.4.	Burkulma kontrolü.....	62
4.2.	Petek Kirişli Kubbe	63
4.2.1.	Sap2000.V22 tasarım.....	63
4.2.2.	Parametrik tasarım	67
4.2.3.	Burkulma kontrolü.....	70
5.	SONUÇLAR	72
5.1.	Eksenel Yük Karşılaştırılması.....	72
5.2.	Moment Karşılaştırılması	76
5.3.	Burkulma Değerlerin Karşılaştırılması.....	79
5.4.	Titreşim modlarının karşılaştırılması	81
5.5.	Deplasmanların Karşılaştırılması	83
5.6.	Tasarım Kapasitelerin Karşılaştırılması	84
5.6.1.	Düzlem içi eksenel burkulma kapasite karşılaştırılması	84
5.6.2.	Düzlem dışı kapasitelerin karşılaştırılması	87
5.7.	Tonaj ve Maliyet	91
6.	KAYNAKLAR.....	94
ÖZGEÇMİŞ		

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Farklı Açıklıklara Sahip Dolu Gövdeli Kubbe Kafes Sistemler ile Dairesel Boşluklu Kubbe Kafes Sistemlerin Tasarım Ve Maliyet Karşılaştırılması” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

28/01/2022

Abdullah ADNANOĞLU

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

D	: kubbe açıklığı
H	: Kubbe yüksekliği
C_e	: Maruz kalma katsayısı
C_t	: Isı katsayısı
S_k	: Karakteristik zemin kar yük değeri
u_1	: Kar yük şekil katsayısı durum 1
u_3	: Kar yük şekil katsayısı durum 3
V_b	: Esas rüzgâr hızı
$V_{b,o}$	: Esas rüzgâr hızının temel değeri
V_m	: Ortalama rüzgâr hızı
l_v	: Türbülans ek yükü
c_{dir}	: Yön katsayısı
c_{season}	: Mevsim katsayısı
c_p	: Basınç katsayısı
z_{min}	: En küçük yükseklik
z_{max}	: En büyük yükseklik
c_r	: Engebelik katsayısı
c_o	: Orografik katsayısı
k_r	: Arazi katsayısı
k_1	: Türbülans katsayısı
q_p	: Tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı
W	: Rüzgâr basıncı
T_A	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu 1. köşe periyodu [s]
T_{AD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu 1. köşe periyodu [s]

T_B	: Yatay elastik tasarım ivme spektrumu 2. köşe periyodu [s]
T_{BD}	: Düşey elastik tasarım ivme spektrumu 2. köşe periyodu [s]
T_L	: Yatay Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_{LD}	: Düşey Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu [s]
T_P	: Binanın hâkim doğal titreşim periyodu [s]
T_{PA}	: Ampirik olarak hesaplanan hâkim doğal titreşim periyodu [s]
C_t	: Ampirik doğal titreşim periyodu hesabında kullanılan katsayı
H_N	: Binanın bodrum katlarının üstündeki üst bölümünün toplam yüksekliği [m]
S_S	: Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
S_1	: 1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
SD_S	: Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
SD_1	: 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı [boyutsuz]
DD-2	: 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan deprem yer hareketi düzeyi
I	: Bina Önem Katsayısı
D	: Dayanım Fazlalığı Katsayısı
R	: Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı
F_y	: Yapısal çelik karakteristik akma gerilmesi
F_u	: Yapısal çelik karakteristik kopma gerilmesi
A	: Kesit alanı
t_f	: I kesitin üst başlık kalınlığı
t_w	: I kesitin gövde kalınlığı
r_x	: X eksenine göre atalet yarıçapı
r_y	: Y eksenine göre atalet yarıçapı
d	: I kesitin yüksekliği

h_o	: I kesitin yüksekliği – başlık kalınlığı
b_f	: I ekşitin başlık genişliği
I_x	: X eksenine göre atalet momenti
I_y	: Y eksenine göre atalet momenti
J	: Burulma sabiyi
W_{ex}	: X eksenine göre elastik mukavemet momenti
W_{px}	: X eksenine göre plastik mukavemet momenti
c_w	: Eğilme sabiti
L_s	: kavisli kiriş iz düşümü
L_d	: kavisli kiriş çaprazsız boyu
L_{db}	: Destek noktaları arasındaki kavisli eleman uzunluk
Δ_1	: Birinci dereceden deplasman değeri
Δ_2	: İkinci dereceden deplasman değeri
P_u	: YDKT göre elemanına etkileyen eksenel yükü
P_a	: GKT göre elemanına etkileyen eksenel yükü
V_u	: YDKT göre elemanına etkileyen kesme yükü
V_a	: GKT göre elemanına etkileyen kesme yükü
M_u	: YDKT göre elemanına etkileyen moment değeri
M_a	: GKT göre elemanına etkileyen moment değeri
F_e	: Elastik burkulma gerilmesi
F_{cr}	: Kritik burkulma gerilmesi
L_c	: Eleman burkulma boyu
E	: Malzeme Elastisite değeri
L_b	: Basınç başlığında yanal yer değiştirmenin ve enkesit burulmasının önlendiği noktaların arasındaki eleman uzunluğu
L_r	: Elastik olmayan yanal burulmalı burkulma durumu için sınır uzunluk

- L_p : Akma sınır durumu için yanal olarak desteklenmeyen sınır uzunluk
- i_{ts} : Etkin atalet yarıçapı
- k_f : Eğilme özellikleri için azaltma katsayısı
- K_i : Düzlem içi burkulma için etkili uzunluk katsayısı
- K_o : Düzlem dışı burkulma için etkili uzunluk katsayısı
- C_b : Yanal burulmalı burkulma sınır durumunda moment düzeltme katsayısı
- C_{bo} : Düzlem dışı bükülmeye maruz kalan kavisli bir eleman için yanal burulma burkulma düzeltme katsayısı
- C_{bi} : Düzlem içi bükülmeye maruz kalan kavisli bir eleman için yanal burulma burkulma düzeltme katsayısı

Kısaltmalar

- GKT : Güvenlik katsayılarıyla tasarım
- YDKT : Yük ve dayanım katsayılarıyla tasarım
- DTS : Deprem tasarım sınıfı
- BYS : Bina yükseklik sınıfı
- BKS : Bina kullanım sınıfı
- YM : Yeterli mod sayısı
- TBDY : Türkiye bina deprem yönetmeliği
- ÇYTHYİY : Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Ribbed kubbe Görüntüleri a) Montan State College Ribbed kubbesi İçten görüntüsü; b) Dıştan görüntüsü; c) Ribbed kubbe; d) Kesilmiş Ribbed kubbe	2
Şekil 1.2. Schwedler kubbe a) Fichtebunker kubbesi Berlin dıştan görüntüsü b) İnşaat aşamasından içten görüntüsü	2
Şekil 1.3. Schwedler kubbe a) Schwedler kubbe b) Kesilmiş Schwedler kubbe.....	3
Şekil 1.4. Lamella kubbesi a) Hyatt Cancun's otel kubbesinin içten görüntüsü b) Dıştan görüntüsü c) Lamella kubbesi d) Kesilmiş Lamel kubbesi	3
Şekil 1.5. Geodesic kubbe a) Merkinė Lithuania Protective Geodesic cam kubbe dıştan görüntüsü b) İçten görüntüsü c) Geodesic üçgen kubbe d) Geodesic altıgen kubbe	4
Şekil 1.6. Petek kirişin kesim ve kaynaklama işlemleri	5
Şekil 1.7. Petek kiriş kesim ve kaynaklama şekli.....	5
Şekil 3.1. a) Ribbed kubbenin burulmalı Burkulma modu b) Çalışma yapılan sistemin Burkulma modu	13
Şekil 3.2. a) Ribbed kubbede max M2-2 değeri=58 kN/m b) çalışma yapılan kubbenin max M2-2 değeri 16 kN/m.....	14
Şekil 3.3. a) Ribbed ve Schwedler kubbe sistemi kullanarak ön kubbe modeli 3d b) Plan görüntüsü.....	14
Şekil 3.4. a) Ribbed ve Schwedler kubbe sistemi kullanarak seçilen çalışma kubbe modeli 3d b) Plan görüntüsü	15
Şekil 3.5. Çalışmada kullanılacak kubbe geometrileri	15
Şekil 3.6 a) AutoCAD v18'ten Sap2000.V22 aktarılan kubbe modeli b) Sap2000.V22 kubbe plan görüntüsü.....	17
Şekil 3.7. Kubbe mafsallı bağlantıların tanımlanması.....	17
Şekil 3.8. kubbe temel bağlantısı moment aktarmayan bağlantı olarak tanımlanması...	18
Şekil 3.9. Kubbe üzerine etkisiz kabuk kesiti tanımlanmak	18
Şekil 3.10. Kubbe üzerine kaplama yükü	20
Şekil 3.11. Kubbe üzerine etki eden kar yükünün dağılımı	22
Şekil 3.12. Kar yüklemesi durum 1	23
Şekil 3.13. Kar yüklemesi durum 2.....	23
Şekil 3.14. TSEN1991-1-4 (şekil 7.12) dairesel kubbe şekiller için tavsiye edilen dış basınç katsayıları	25
Şekil 3.15. +Wx rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (104/-20 kg/m ²)	26
Şekil 3.16. -Wx rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (37,2/-86,4 kg/m ²)	27
Şekil 3.17. +Wy rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (104/-20 kg/m ²)	27
Şekil 3.18. -Wy rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (37,2/-86,4 kg/m ²)	28
Şekil 3.19. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması.....	34
Şekil 3.20. Kütle katılım kombinasyonu	35
Şekil 3.21. Yatay mod birleştirme deprem parametrelerinin tanımlanması	35
Şekil 3.22. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri	36
Şekil 3.23. Sıcaklık değişiminin elemanlara tanımlanması	37

Şekil 3.24. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması	37
Şekil 4.1. Ölü yük altında M3-3 diyagramı	42
Şekil 4.2. Düzgün yayılı olamayan kar yükün M3-3 diyagramı	43
Şekil 4.3. Wx rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı.....	43
Şekil 4.4. Isı değişim yükü M3-3 diyagramı.....	44
Şekil 4.5. Ölü yük eksenel yük diyagramı	44
Şekil 4.6. Üniform olmayan kar yükün Eksenel yük diyagramı	44
Şekil 4.7. Wx rüzgâr yükün eksenel yük diyagramı.....	45
Şekil 4.8. Isı değişim yükü eksenel yük diyagramı	45
Şekil 4.9. Kubbenin G+0,5K yük altında düşey deplasman şekli	46
Şekil 4.10. Yatay yer değiştirme G+0,5Q+W	46
Şekil 4.11. Ex yatay öteleme şekli.....	47
Şekil 4.12. Ölü yük yer değiştirme	47
Şekil 4.13. Kar yük yer değiştirme düzgün yayılı durumu	48
Şekil 4.14. Kar yükü yer değiştirme düzgün yayılı olmayan durum.....	48
Şekil 4.15. +Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu.....	48
Şekil 4.16. -Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu	49
Şekil 4.17. Ex deprem yükü yer değiştirme durumu	49
Şekil 4.18. +Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu	49
Şekil 4.19. –Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu	50
Şekil 4.20 YDKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu	50
Şekil 4.21. YDKT kesit tasarım detayları.....	51
Şekil 4.22. YDKT kritik kesit tasarım detayları.....	51
Şekil 4.23. YDKT kubbe tasarım sonucu	52
Şekil 4.24. GKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu	52
Şekil 4.25. GKT kesit tasarım detayları.....	53
Şekil 4.26. GKT kritik kesit tasarım detayları	54
Şekil 4.27. GKT kubbe tasarım sonucu	54
Şekil 4.28. D80 H20 6Çemberli kubbe çizim	56
Şekil 4.29. Burkulma 1.mod, Burkulma katsayısı =10,73 >1	62
Şekil 4.30. Burkulma 3.mod, Burkulma katsayısı =10,95	62
Şekil 4.31. YDKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu	63
Şekil 4.32. YDKT kesit tasarım detayları.....	63
Şekil 4.33. YDKT kritik kesit tasarım detayları.....	64
Şekil 4.34. YDKT kubbe tasarım sonucu	64
Şekil 4.35. GKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu	65
Şekil 4.36. GKT kesit tasarım detayları.....	65
Şekil 4.37. GKT kritik kesit tasarım detayları	66
Şekil 4.38. GKT kubbe tasarım sonucu	66
Şekil 4.39 IPE450 TO IPE500 kesit detay1.....	69
Şekil 4.40. IPE450 TO IPE500 ACB+ tasarım sonuçları	69
Şekil 4.41. Burkulma 1.mod, Burkulma katsayısı =9,65 >1	70

Şekil 4.42. Burkulma 3.mod, Burkulma katsayısı $=9,79 > 1$	70
Şekil 5.1. Çapı 60 m 3 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	72
Şekil 5.2. Çapı 60 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	73
Şekil 5.3. Çapı 60 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	73
Şekil 5.4. Çapı 80 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	74
Şekil 5.5. Çapı 80 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	74
Şekil 5.6. Çapı 80 m 6 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi	75
Şekil 5.7. Çapı 60 m 3 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	76
Şekil 5.8. Çapı 60 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	76
Şekil 5.9. Çapı 60 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	77
Şekil 5.10. Çapı 80 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	77
Şekil 5.11. Çapı 80 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	78
Şekil 5.12. Çapı 80 m 6 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi	78
Şekil 5.13. Çapı 60 m olan kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre burkulma katsayı değişimi.....	79
Şekil 5.14. Çap 80 kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre burkulma katsayı değişimi	80
Şekil 5.15. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre doğal titreşim modlarının değişimi	81
Şekil 5.16. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre doğal titreşim modlarının değişimi	82
Şekil 5.17. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düşey deplasman değişimi.....	83
Şekil 5.18. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düşey deplasman değişimi.....	83
Şekil 5.19. Çapı 60 m 3 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	84
Şekil 5.20. Çapı 60 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	85

Şekil 5.21. Çapı 60 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	85
Şekil 5.22. Çapı 80 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	86
Şekil 5.23. Çapı 80 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	86
Şekil 5.24. Çapı 80 m 6 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi.....	87
Şekil 5.25. Çapı 60 m 3 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	87
Şekil 5.26. Çapı 60 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	88
Şekil 5.27. Çapı 60 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	88
Şekil 5.28. Çapı 80 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	89
Şekil 5.29. Çapı 80 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	89
Şekil 5.30. Çapı 80 m 6 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi	90
Şekil 5.31. Tonaj metrajları için kurulan Tekla V20 modeli	91
Şekil 5.32. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre tonaj değişimi	91
Şekil 5.33. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre maliyet değişimi	92
Şekil 5.34. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre tonaj değişimi	92
Şekil 5.35. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre maliyet değişimi	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Kubbe modellerinde kullanılan profil kesitleri	19
Çizelge 3.2. Kubbe üzerine etkiyen kar yük değerleri.....	22
Çizelge 3.3. D=80 h=20 kubbe rüzgâr basınç değerleri	26
Çizelge 3.4. D=80 h=16 kubbe rüzgâr basınç değerleri	29
Çizelge 3.5. D=80 h=12 kubbe rüzgâr basınç değerleri	30
Çizelge 3.6. D=60 h=15 kubbe rüzgâr basınç değerleri	31
Çizelge 3.7. D=60 h=12 kubbe rüzgâr basınç değerleri	32
Çizelge 3.8. D=60 h=9 kubbe rüzgâr basınç değerleri	33
Çizelge 3.9. Kubbelerin BYS değerleri	33
Çizelge 3.10. Yönetmeliklere göre Yük birleşimleri.....	38
Çizelge 4.1. Deprem hesabında dikkate alınacak en yüksek doğal titreşim değerleri....	41
Çizelge 4.2. Modal analizinde toplam kütle katılım oranların toplamı	41
Çizelge 4.3. IPE500 kesit ve malzeme özellikleri	55
Çizelge 4.4. Kubbe ark geometrisi	55
Çizelge 4.5. Tasarımda dikkate alınacak kesit tesirleri	56
Çizelge 4.6. IPE500 kesit ve malzeme özellikleri	67
Çizelge 4.7. Kubbe ark geometrisi	67

1. GİRİŞ

Son zamanlarda büyük açıklıkları geçmek amacıyla en verimli yöntemlerden birisi olan kubbe sistemlerin kullanımlarının arttığı gözlemlenmiştir. Kubbe yapılar, estetik bir yapı olmasının yanı sıra ekonomik ve hafif yapı özelliklerine sahip olması nedeniyle tercih edilen bir sistemdir.

Kubbe sistemler; genel olarak farklı düzlemlerde yer alan, merkez noktası tek noktada kesişen ve kemer elemanlardan oluşan bir geometrik şekildir. Bu sistemler daha çok alışveriş merkezi, kapalı spor salonları, stadyum ve konser salonları gibi geniş açıklıkları kapatmak için kullanılmaktadır. Ayrıca kubbe sistemler kullanılarak geçilen açıklık ile kullanılan malzeme miktarı dikkate alındığı zaman kubbe sistemin büyük bir ekonomi sağlandığı; diğer geleneksel taşıyıcı sistemlere oranla ağırlık açısından çok daha hafif olduğu görülmektedir.

Tarih boyunca egemenliği ve gücü simgeleyen anıtsal yapıları göstermek amacıyla tasarımcılar yüksek yapıların yanı sıra kubbe sistemlerini tercih etmişlerdir. Bu yapıların örneklerine özellikle cami ve kilise gibi yapılarda rastlanmaktadır. Eski zamanlarda kullanılan malzeme taş olmasına rağmen kemer sistem ile duvar örme işine benzer şekilde kubbeler inşa edilmiştir. Orta çağlara geçildiği zaman ise daha büyük açıkları geçebilmek ve uygulama kolaylığı sağlamak için doğada bulunan ahşap malzemeden kubbeler tercih edilmeye başlanmıştır. Kubbe yapılarda gözlemlenen en büyük gelişmeler ise 19.yüzyılda başlayan endüstriyel çelik yapıların oluşumuyla birlikte gerçekleşmiştir. Günümüz teknolojisinde ise 200 metre gibi çok büyük açıklıkların geçilmesi için çelik kubbeler yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Kubbe sistemler farklı geometrilere sahip bir taşıyıcı sistemde de rahatlıkla uygulanabilir olup her geometri sisteminin farklı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Yapılan analitik çalışmalar ve testlerden sonra dünyanın her tarafında kullanılması uygun görünen kubbe sistemleri bu tez çalışmasında detaylı olarak incelenmiştir.

1.1. Ribbed kubbe sistemi

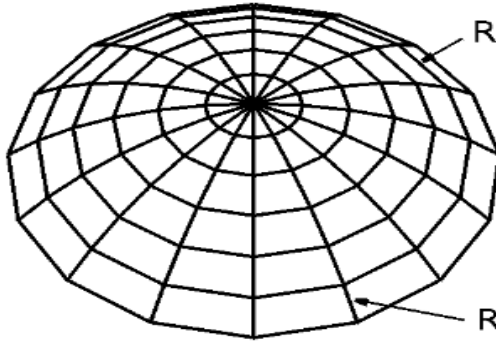
Bu sistemde kubbe sadece kiriş elemanı (kaburga) ve halka elemanlardan oluşmaktadır. Kaburga kirişi kubbe merkezinde kesişecek şekilde düşey düzlemde yer alırken, halka elemanları yatay düzlemde belirli kotlarda kaburga kirişlerini birbirine bağlamaktadır. Sistemde diyagonal eleman bulunmamasından dolayı kubbe stabilitesini sağlamak için halka elemanları kaburga kirişlere rijit olarak bağlanmaktadır.



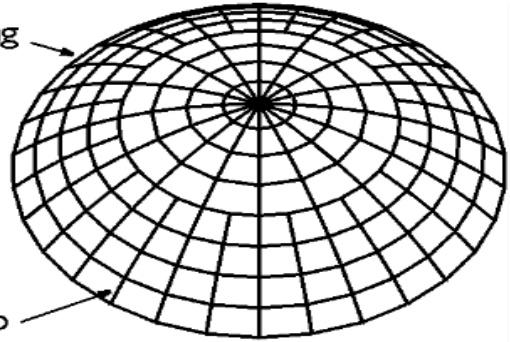
a



b



c



d

Şekil 1.1. Ribbed kubbe Görüntüleri **a)** Montan State College Ribbed kubbesi İçten görüntüsü; **b)** Dıştan görüntüsü; **c)** Ribbed kubbe; **d)** Kesilmiş Ribbed kubbe

1.2. Schwedler kubbe sistemi

Bu kubbe sistemi alman mühendis J.W.Schwedler tarafından 1863 yılında icat edilmiştir. Bu sistemde bir önceki alt bölümde açıklanan “Ribbed Sistemi” örnek alınmıştır. Kubbenin stabilitesi rijit bağlantılı halka elemanlar ile sağlanması yerine sisteme çapraz eleman eklenerek sağlanmıştır.

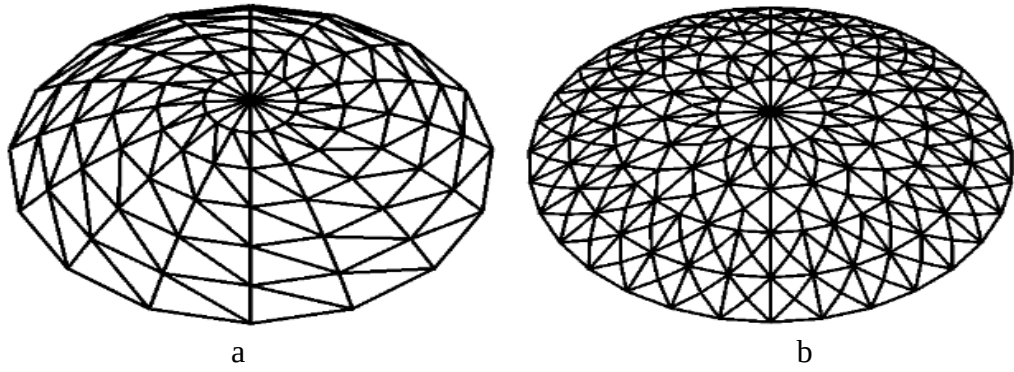


a



b

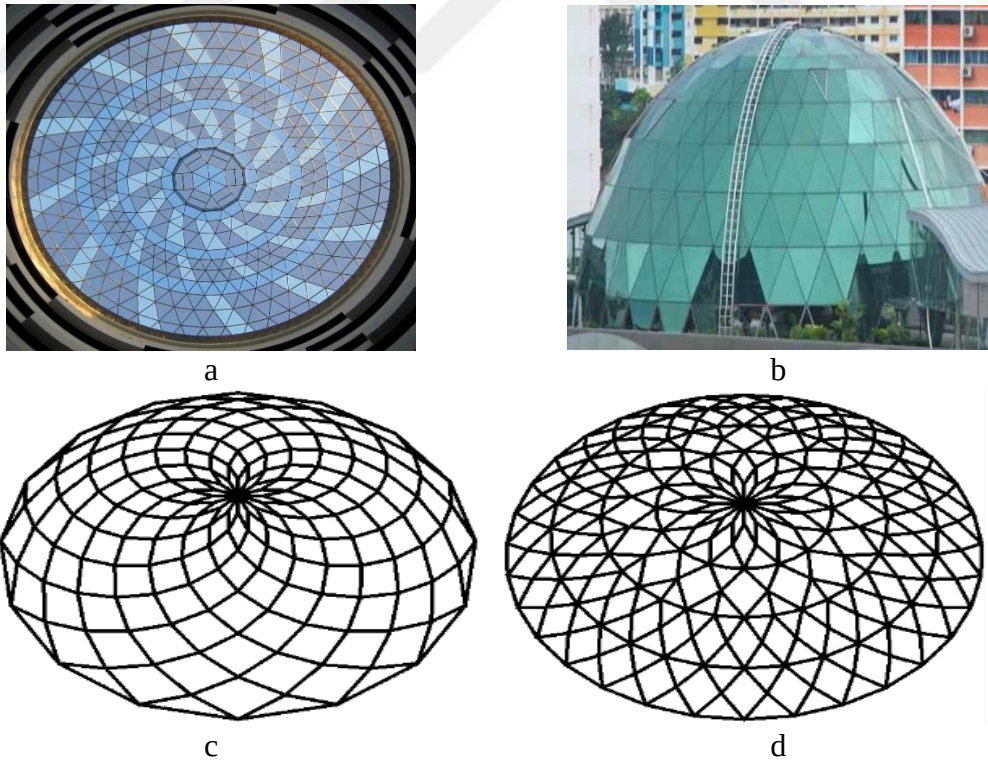
Şekil 1.2. Schwedler kubbe **a)** Fichtebunker kubbesi Berlin dıştan görüntüsü **b)** İnşaat aşamasından içten görüntüsü



Şekil 1.3. Schwedler kubbe **a)** Schwedler kubbe **b)** Kesilmiş Schwedler kubbe

1.3. Lamella kubbe sistemi

Bu sistem şehir mimarisi olan Zollinger tarafından 1906 yılında icat edilmiştir. Bu sistem birbirine benzeyen birim hücrelerden oluşmakta olup hücreler lamel hücresi olarak adlandırılmıştır. Hücreler elmas köşeleri oluşturacak şekilde birbirine bağlanarak kubbenin stabilitesi sağlanmaktadır. Lamel hücreler mesnetlerden tepe noktasına doğru gittikçe küçülür. Ayrıca bu kubbe yapısı bünyesinde birkaç yatay halka da içerebilmektedir. Lamella kubbe sisteminin tercih sebebi yangın, deprem ve şiddetli rüzgârlara karşı kubbenin gösterdiği yüksek mukavemet olarak öne çıkmaktadır.



Şekil 1.4. Lamella kubbesi **a)** Hyatt Cancun's otel kubbesinin içten görüntüsü **b)** Dıştan görüntüsü **c)** Lamella kubbesi **d)** Kesilmiş Lamel kubbesi

1.4. Geodesic kubbe sistemi

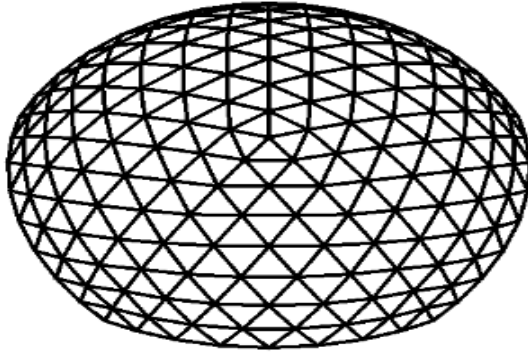
Bu sistem Richard Buchminster Fuller tarafından 1954 yılında icat edilmiştir. Geodesic kubbeleri diğer kubbelerden ayıran en önemli özellik kubbenin merkezinin bulunmamasıdır. Atom, molekül ve kristal yapılarda bulunan matematiksel ilkelere dayanan kuvvet dağılımından dolayı Geodesic kubbeler şimdiye kadar en ucuz, en hafif ve en güçlü yapı imkânını tasarımcılara sağladığı araştırmalar sonucu görülmektedir.



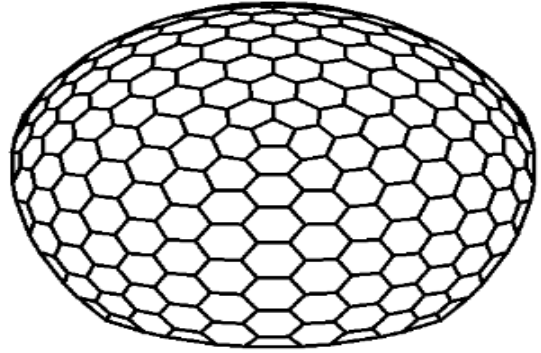
a



b



c



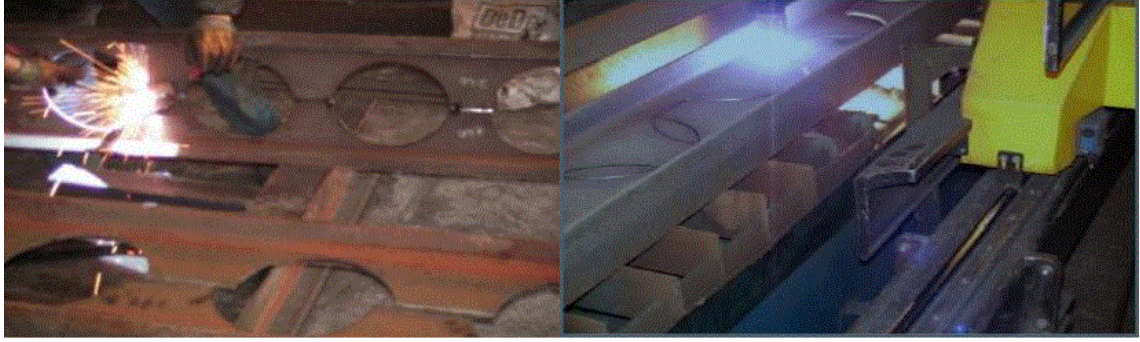
d

Şekil 1.5. Geodesic kubbe **a)** Merkin Lithuania Protective Geodesic cam kubbe dıştan görüntüsü **b)** İçten görüntüsü **c)** Geodesic üçgen kubbe **d)** Geodesic altıgen kubbe

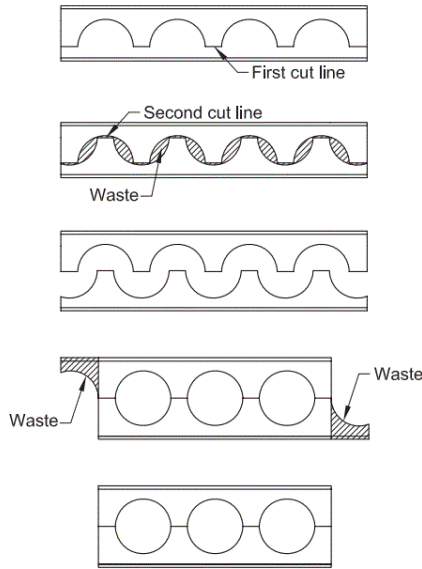
Tez çalışmasının ilk aşaması dolu gövdeli kirişli kubbe sistemler üzerinde yapılmıştır. Tezin ikinci aşaması ise dairesel boşluklu petek kirişli kubbe sistem modelleri oluşturmuştur. Her iki kubbe sistem analizlerinin karşılaştırma analizleri de tez çalışması kapsamında yapılmıştır.

1.5. Dairesel boşluklu petek kirişlerin avantajları

I-kesitli çelik profillerin gövde eksenini boyunca karşılıklı iki yarım daire geometrisiyle kesilerek elde edilen alt ve üst T kesitlerin yana kaydırılarak kaynak yapılmasıyla birlikte Şekil 1.6 ve 1.7’te görülen dairesel boşluklu gövde yüksekliği artırılmış petek kirişler elde edilmiş olur.



Şekil 1.6. Petek kirişin kesim ve kaynaklama işlemleri



Şekil 1.7. Petek kiriş kesim ve kaynaklama şekli

Şekil 1.7'e göre I kesitli profilin kesimden sonra yapılan kaynaklama işleminden dolayı kesitin gövde yüksekliği ilk duruma göre artmaktadır. Böylece petek kirişin M3-3 atalet momenti dolu gövdeli kirişin atalet momentine oranla artarken petek kirişin kesit alanı dolu gövdeli kirişin kesit alanına göre azalmaktadır. Sonuç olarak petek kirişler eğilmeye karşı atalet momentini arttırdığından dolayı dolu gövdeli kirişlere oranla yayılı yük altında daha yüksek mukavemetli bir davranış göstermektedir. Mesnet bölgelerinde yada tekil yüklemeler altında ise dolu gövdeli kirişlerin kesit alanı petek kirişlerin kesit alanından daha yüksek olduğu için dolu gövdeli kirişler petek kirişlerden eksenel yük kapasitesi açısından daha yüksek dayanım göstermektedir.

Petek kirişlerin genel olarak avantajları bu şekilde sıralayabiliriz

- Eğilme rijitliği dolu gövdeli kirişinden fazladır.
- Kesit katsayısı ve atalet momentleri dolu gövdeli kesitinkinden fazladır.
- Petek kiriş kg/m ağırlığı dolu gövdeli kirişinden daha azdır ve sonuç olarak ölü yük daha azdır.
- Petek kirişin gövdesindeki boşluklardan mekanik ve elektrik tesisatlar

geçebilmektedir.

- Aynı atalet momente sahip normal formda I-kesitli kirişlere oranla daha hafiftirler.
- Geniş açıklıkları kolayca geçebildiklerinden dolayı pek çok uygulamada tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasının amacı, önceki bölümlerde bahsedilen kubbe sistemlerinden Ribbed ve Schwedler kubbe sistemleri referans alınarak, uygulanması kolay ve maliyeti düşük bir kubbe modeli oluşturmaktır. Bunun için oluşturulacak kubbe sisteminin, hem imalatı ve montajı kolay yapılabilecek hem de malzeme açısından ekonomik bir sistem olabilmesi için dolu gövdeli kirişli ve petek kirişli kubbeler incelenmiştir.

Bu hedeflere ulaşmak için yetmiş iki kubbe modeli üzerinde çalışma yapılmıştır ve bu modeller aşağıda belirtilen durumlar dikkate alarak dağılımı yapılmıştır.

- Kubbe açıklığı d (80 m ve 60 m)
- Kubbe açıklık yükseklik oranı d/h (4, 5 ve 6,667)
- Kubbe halka sayısı:
 - 60 m açıklıklı kubbe (3, 4, 5)
 - 80 m açıklıklı kubbe (4, 5, 6)
- Tasarım yolu (GKT, YDKT)
- Omurga kirişler (Dolu gövdeli kiriş ve Petek kiriş)

Bu parametreler değişken kabul edilerek 72 kubbe modeli sonlu elemanlar programı Sap2000 yardımı ile oluşturulmuştur. Kubbelere etkileyen zati yük, kaplama yükü, rüzgâr yükü, kar yükü, sıcaklık etkisi ve deprem yükü uluslararası yönetmelikleri dikkate alınarak yük hesabı yapıp kubbelere uygulanmıştır. Daha sonra sistemin gerçek davranışını modellemek için elemanlara bağlantı özellikleri tanımlanmıştır. Modellerin analiz aşamasında deplasmanlar, titreşimler ve burkulma kontrolü yapılmıştır. Tasarım aşamasına geçildikten sonra, doğru tasarım sonucu elde etmek için bilgisayar ortamında elde edilen kesit tasarım sonuçları, parametrik hesaplar yapılarak kontrol edilmiştir.

2. KAYNAK TARAMASI

Jayminkumar (2016) “*A Parametric Study On Steel Dome Structures*” Bu çalışmada farklı tiplere ait çelik kubbe analizi yapılmıştır. İncelenen kubbelerin açıklıkları 70, 80, 90 ve 100 m’dir ve h/d değeri 0,2, 0,3 ve 0,4 oranlara sahip Schwedler kubbe modeli dikkate alınarak çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada düğüm noktalarının yaptığı deplasmanlar, mesnet reaksiyonları ve elemanlarda oluşan eksenel yüklerin karşılaştırılması yapılmıştır. Karşılaştırma sonucuna dayanarak kubbelerin üzerine gelecek ölü ve rüzgâr yüküne göre stabilite açısından en uygun yükseklik açıklık oranına ulaşılması hedeflemiştir.

M. A. Jain (2017) “*Parametric Study of Dome*” Kubbe çatılar, dairesel şekli kaplayan en hafif yapıdır. İnşaat mühendisliğinde yazılım kullanımı, bu tür projelerin analizi ve tasarımındaki farklı yönlerin karmaşıklığını büyük ölçüde azaltmıştır. Bu çalışmada, çeşitli yazılımlar kullanılarak kubbenin analizi ve tasarımını incelemek için araştırma yapılmıştır. Bu çalışmada kubbeler, ANSYS, STADD PRO, ABAQUS, SAP vb. yazılım programları kullanılarak kubbe modellerini analiz edilip tasarlanmıştır. Çeşitli parametreler kullanılarak farklı tipteki kubbeleri analiz etmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çalışma aynı zamanda kubbe yapısı için uygun maliyetli ve tasarım önerilerini de içermektedir.

Candidate (2004) “*Structural Behaviour and Design Methods of Tensegrity Domes*” Tensegrity kubbelerinin yapısal davranışı ve yapısal türleri üzerine kapsamlı bir çalışma sunulmuştur. Tensegrity yapısının sayısal analiz yöntemi de tartışılmıştır. İlk Tensegrity kubbe - Georgia Dome, çalışmada sunulan sayısal yöntem kullanılarak doğrusal olmayan bir yazılım aracılığıyla prototip olarak analiz edilmiştir. Analize dayanarak, Tensegrity kubbenin yapısal davranışı özetlenmiş ve Tensegrity kubbesi için bazı tasarım yöntemleri önerilmiştir. Yaptığı çalışmalara dayanarak, yazar tarafından farklı geometrik ızgaralara sahip birkaç yeni Tensegrity kubbe türü önerilmiştir. Georgia Dome ile yazar tarafından önerilen kubbeler arasındaki yapısal davranışın bir karşılaştırması da yapılmıştır.

Marek, K. (2009) “*Structural Analysis of Geodesic Domes*” Bu çalışmada Hindistan’da aile barınma projesi için tasarlanan Geodesic kubbeler üzerine beklenmeyen bir toprak yükü gelmesi sonucunda proje durdurulmuştur. Bu çalışmada yazar Geodesic kubbe tiplerinin sonlu elemanlar yöntemiyle tasarımını yapıp Microsoft Excel’de çalışabilen bir sonlu eleman analizi (FEA) paketi oluşturmuştur.

O. Hasançebi “*Optimum Design Of Geodesic Steel Domes Under Code Provisions Using Metaheuristic Techniques*” Bu çalışmada yazar, yedi stokastik arama tekniğini kullanarak, Geodesic çelik kubbelerin minimum ağırlık tasarımını incelemiştir. Çalışmada kullanılan optimizasyon yöntemleri; benzetilmiş tavlama, genetik algoritmalar, evrim stratejileri, parçacık sürüsü iyileştirici, tabu arama, karınca kolonisi optimizasyonu ve harmoni arama yöntemleridir. Geodesic çelik kubbelerin optimum tasarım problemi, ASD-AISC (Allowable Strength Design - American Institute of Steel

Construction) tarafından öngörülen tasarım sınırlamalarına göre formüle edilmiştir. Minimum tasarım yükleri ve birleşik yük etkileri, ASCE 7-98 (*Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*) tarafından belirtildiği gibi belirlenmiştir. Toplam sekiz birleşik ölü, hareketli, kar ve sıcaklık yüklerine maruz kalan 130 elemanlı bir Geodesic çelik kubbenin minimum ağırlık tasarımını elde etmek için yedi meta-heuristik yöntemin uygulandığı ve performanslarının kıyaslandığı sayısal bir örnek sunulmuştur.

P. Chacko “*Finite Element Analysis of Ribbed Dome*” Kubbe yapılar en çok tercih edilen geniş açıklıklı yapılardır. Ribbed kubbe yapısının davranışını anlamak için, bu çalışmada rijit eklemli Ribbed küresel kubbe düşünülmüştür. Analiz için üç farklı kubbe aralığı dikkate alınmıştır. Önerilen kubbe modellenerek farklı yük durumları için farklı yükseklik-açıklık oranları için yazılımın ANSYS ve Staad.Pro kullanılarak analizleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Kubbenin deformasyonu genellikle yapının burkulmasından kaynaklandığı görülmüştür. Bir elemanın kararsız hale gelmeden önce destekleyebileceği maksimum yük olan kritik bir yüke ulaştığında yapıda ani bir göçme meydana geldiği, kubbe yapısının bozulmasının da elemanların burkulmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, Ribbed küresel kubbenin burkulma yükü, sonlu elemanlar yazılımı ANSYS kullanılarak hesaplanmıştır. Parametrik çalışmada, kubbenin yükseklik-açıklık oranını değiştirerek burkulma analizi de yapılmıştır.

N. Anwar “*An Overview of Analysis and Design of a Single-Layer Reticulated Inverted Monk Bowl Dome*” Bu çalışmada, çelik uzay çerçeve yapıları ile ilgilenen yapısal mühendisler tarafından dikkate alınacak tek katmanlı kafesli kubbelerin analizi ve tasarımındaki bazı temel faktörlere geniş bir bakış sağlamıştır. Bu çalışmada sunulan kubbenin geometrisi geleneksel kubbe değildir. Kubbe, yüksekliğin çeyreğinde en büyük çapa sahip, "Ters çevrilmiş kâse" şeklindedir. Bu kubbe betonarme dairesel temel yapısı üzerine oturan tek katmanlı kafesli çelik kubbeden oluşmaktadır. Kubbe taban çapı yaklaşık 65 m'dir. Orta yükseklikte çap yaklaşık 86 m'dir. Yapım aşamasında olan yapısal bileşenlerin performansını değerlendirmek için aşamalı inşaat analizi yapılmıştır. Çalışmada, kubbe üzerine etki eden rüzgâr yükleri hem geleneksel tasarım kılavuzlarına hem de rüzgâr tüneli testine göre değerlendirilmiştir. Deprem yüklerinin ataması için DBE düzeyine dayalı davranış spektrumu analizi kullanılmıştır. Tüm yük durumları, yük kombinasyonları olarak birleştirilmiştir. Son olarak, yapı elemanlarının performanslarını değerlendirmek için temeller, kolonlar, kirişler ve çelik çerçeveler gibi yapısal bileşenlerin kapasiteleri hesaplanmıştır.

S. Patil (2013) “*Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio*” Belirli bir açıklık için açıklık-yükseklik oranına sahip çift katmanlı kubbenin ve farklı destek koşullarının optimum tasarımı çalışması yapılmıştır. Formex programlama yazılımı, çift katmanlı kubbe konfigürasyonları için kullanılmıştır. İçi boş dairesel boru kesitleri çift katmanlı kubbeyi oluşturmak ve bağlantı için MERO ek yeri kullanılmıştır. Temel olarak kubbenin geniş açık alanı olup kubbeler rüzgâr kuvvetlerine göre analiz ve tasarımı yapılmıştır. Yapının optimum tasarımı için “SAP-2000-14”

yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Analitik kısımda, üst katmandaki kuvvetler gruplar halinde ele alınmış ve her grup için ayrı bir bölüm tasarlanmış ve tasarım IS800: 2007'ye göre yapılmıştır. Destek sistemi ve alt katman için benzer prosedür uygulanmıştır. Sonuçlar, genel olarak optimum konfigürasyonu belirlemek için kaide için sapma, yapı ağırlığı ve beton için farklı açıklık-yükseklik oranları ve destek koşulları ile karşılaştırılmıştır. Açıklık-yükseklik oranı 2 ve farklı destek koşullarına sahip 75 m açıklıklı kubbeler rüzgâr yükü için tasarlanmıştır. Kubbe elemanları, optimum eleman ağırlığını alacak şekilde eksenel gerilim ve sıkıştırma için tasarlanmıştır.

Aleyas (2017) “*Buckling Analysis and Parametric Study of Hemispherical and Pointed Domes with Lamella and Diametric Configuration*” Bu çalışmada, lamelli, yarım küre ve sivri kubbelerle odaklanmıştır. Önerilen kubbe, farklı yükseklik-açıklık oranları için ANSYS 16.1 yazılımı kullanılarak modelleri oluşturup analiz edilmiştir. Eksenel kuvvet, elemanlardaki maksimum momentler ve kubbenin sapması ve her bir tip için verilen açıklık oranı için en etkili yükseklik-açıklık oranı bulunmuştur. Kubbe yapısının bozulmasının esas olarak elemanların burkulmasından kaynaklandığı; bu kubbelerin burkulma yükünü bulmak için burkulma analizi yapılmıştır. Her iki kubbenin davranışı, analiz sonuçlarına göre incelenip optimum kubbe tipi elde edilmiştir.

A. Kaveh (2009) “*Optimal Design Of Schwedler And Ribbed Domes Via Hybrid Big Bang_Big Crunch Algorithm*” Schwedler ve Ribbed kubbeler için optimizasyon yöntemini temel alan optimum bir tasarım algoritması geliştirilmiştir. Schwedler ve Ribbed kubbe konfigürasyonunu belirlemek için basit bir prosedür tanımlanmıştır. Bu prosedür, ortak koordinatların ve eleman yapılarının hesaplanmasını içermektedir. Optimizasyon işlemi sırasında kubbenin doğrusal olmayan tepkisi dikkate alınmıştır. Çapraz elemanların sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

R. Vaezi Vazna (2020) “*Sensitivity analysis of double layer Diametric dome space structure collapse Behavior*” Bu çalışmada, çift katmanlı kubbe uzay yapı davranışını kapsamlı bir şekilde değerlendirmek için, çelik malzemenin mekanik özellikleri, kütle ve uygulanan yerçekimi yükü ve ayrıca yapının elemanlarını geometrik kusurları gibi farklı belirsiz parametreler doğrusal olmayan davranışları dikkate alınmıştır. Statik itme analizi, Artımlı simetrik ve asimetrik kar yükleri altında açıklık (R/S) oranları 0,1, 0,2 ve 0,3 olan farklı modeller incelenmiştir. Bu belirsiz parametrelerin önemini belirlemek ve yapısal tepki parametreleri üzerindeki etkilerine göre sıralamak için Tornado Diyagram Analizi (TDA) ve Birinci Derece-İkinci Moment (FOSM) olmak üzere iki farklı yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanılması, yapıların çökme davranışının dikkate alınan rastgele değişkenlere duyarlılık analizini sağlar. Analizlerin sonuçları, rastgele değişkenlerin önemlerine göre sıralanmasında TDA ve FOSM analiz sonuçları arasında yakın bir uyum olduğunu ortaya koymaktadır. Ek olarak, bu yöntemler, yapısal tepki parametrelerinin çeşitli belirsizlik kaynaklarına karşı yüksek hassasiyetini vurgular ve bu belirsizliklerin bu tür yapıların analizinde ve tasarımında uygulanmasının gerekliliğini göstermiştir.

Y. S. Hamid (2021) “*Progressive Collapse of a Single Layer Schwedler Dome*” Bu çalışma da 52 m çapında ve $\frac{1}{2}$ açıklık/derinlik oranına sahip tek katmanlı bir kubbeyi ele alınmıştır. Yapının düğüm noktalarına maruz kalan yükler ölü, hareketli ve rüzgâr yüklerinden oluşmakta ve her birinin 1kN olduğu varsayılmıştır. Araştırmanın amaçlarına ulaşmak için kubbenin geometrisini oluşturmak için FORMIAN, AutoCAD v18 ve SAP2000 V18 gibi bilgisayar programları kullanılmıştır. Yapının stabilitesi analiz etmek için elemanın başarısızlığından dolayı iç yüklerin yeniden dağılmasına dayanarak yapılmıştır. Kritik elemanlar, her bir elemanın Talep Kapasite Oranı (DCR) değeri analiz edilerek ve aşırı gerilmiş komşu üyelerin sayısı belirlenmiştir. Komşu bir elemanın iç yükü, yükleme kapasitesini aştığında, eleman aşırı gerilir ve tüm yapının büyük ölçüde çökmesine neden olabilecek şekilde başarısız olur. Kaldırmalardan sonra yapıda var olan DCR değeri ve aşırı gerilmiş elemanların sayısı, bölümün kritikliğini göstermektedir. Sonuç olarak kubbenin analiz, tasarım ve yapım aşamasında bu kritik alan dikkate alınmıştır.

M. P. Saka (2007) “*Optimum Geometry Design of Geodesic Domes Using Harmony Search Algorithm*” Geodesic kubbelerin optimum geometri tasarımı, tasarım sürecinde kubbe yüksekliğinin sürekli değişmesi nedeniyle zorluk arz etmektedir. Bu da tepe yüksekliği değiştiğinde kubbedeki eklemlerin koordinatlarının hesaplanmasını otomatikleştirmeyi gerekli kılmıştır. Bu çalışmada sunulan algoritma, tek katmanlı Geodesic kubbelerin optimum geometri tasarımını gerçekleştirmiştir. Elemanların enine kesit tanımlarına ek olarak tepenin yüksekliğini tasarım değişkeni olarak ele almıştır. Tepenin belirli bir yüksekliği için eklem koordinatlarını otomatik olarak hesaplayan bir prosedür geliştirilmiştir. Servis kolaylığı ve dayanıklılık gereksinimleri, BS5950-2000'de belirtildiği gibi tasarım probleminde dikkate alınmıştır. Bu kod, yapıların amaçlanan kullanımları için uygun olmayan sınır durumları göz önünde bulundurularak tasarlandığı sınır durum tasarım konseptini kullanmıştır. Bu yeni ekleme, malzemeler, süreçler ve yükleme için Avrupa ve uluslararası standartları benimseyen revizyonları içermiştir. Tasarım probleminin optimum çözümü, harmoni arama algoritması kullanılarak elde edilmiştir. Ele alınan tasarım örnekleri, harmoni arama algoritmasının elemanlar için optimum yükseklik ve kesit tanımlarını nispeten daha az sayıda aramada elde ettiğini göstermiştir.

M. Hosseini “*A Comparative Study on the Seismic Behavior of Ribbed, Schwedler, and Diamatic Space Domes by Using Dynamic Analyses*” Bu yazıda üç adet çelik tek katmanlı yaygın kafes kubbe tipi, yerçekimi ve deprem yükleri altında incelenmiştir. Kubbelerin açıklığı aynı 40m olup, yükseklik-açıklık oranları $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2,5}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{7}$ ve $\frac{1}{8}$ arasında değişmektedir. Kubbeler ilk olarak kendi ağırlıkları ve kar yükleri altında statik analizlerine göre tasarlanmıştır. Deprem yükleri için eşdeğer statik, spektral ve Zaman Alanı Analizi (THA) yöntemleri kullanılmıştır. Sayısal sonuçlar, yakın alan depremlerine maruz kalan kubbelerdeki gerilme oranlarının uzak alan depremlerinden daha yüksek olduğunu, Ribbed kubbelerinin Schwedler ve Diamatic kubbelerine göre daha iyi sismik davranışa sahip olduğunu göstermiştir.

A. Cyril Thomas “*Strengthening of thin-webbed Petek beam using CFRP*” Bu çalışmada, narin gövdeli petek kirişin güçlendirilmesinde karbon fiber takviyeli polimerlerin (CFRP) kullanılmasının avantajlarını sunmuştur. CFRP ile güçlendirilmiş petek kirişlerin performansları, sonlu elemanlar (FE) programı ABAQUSVR kullanılarak

analiz edilmiştir. Optimum geometrik değeri bulmak için doğrusal olmayan FE analizi yapılmıştır. Kaynak uzunluklarına, delik boyutlarına ve güçlendirme tekniğine (her biri üç) dayalı olarak dokuz farklı petek kiriş modeli oluşturulmuştur. Her üç teknik de dayanımı önemli ölçüde artırsa da son modelin çok daha fazla verimliliğe sahip olarak daha uygun olmuştur.

B. Anupriya “*Strength Study on Petek Beam*” Yazar bu çalışmada, kapsamlı bir FE çalışması (ANYSYS14) aracılığıyla petek kirişin kesme dayanımının araştırılmasına odaklanmıştır. Tüm köşeler ve yük uygulama noktalarında ve ayrıca petek kirişlerin rijitliği açıklık/derinlik oranı arttıkça azaldığı görülmüştür. Petek kirişin kesme mukavemetini arttırmak ve aynı zamanda sapmayı azaltmak için kiriş açıklığı boyunca kesme berkitmeleri yerleştirilmiştir. ANSYS sonuçlarından, berkitmesiz sehimin 9,75 mm olduğu, berkitmeler diyagonal olarak verildiğinde 7,85 mm'ye, berkitmeler diyagonal ve dikey olarak kullanıldığında ise yine 3,99 mm'ye düştüğü sonucuna varılmıştır.

Jamadar A. M. “*Parametric Study Of Petek Beam With Circular And Diamond Shaped Openings*” Avantajlı yapısal uygulamaları nedeniyle, petek kirişlerin kullanımı günümüzde oldukça popüler hale gelmiştir. Petek kirişler, ağ kısmında açıklıkları olan kirişlerdir. Petek kirişler, sıcak haddelenmiş çelik (HRS) I kesitinin zikzak deseninde kesilmesi ve ardından birbiri üzerine yeniden birleştirilmesiyle üretilmektedir. Ağlarda yapılan açıklıklar genellikle altıgen, dairesel, baklava veya kare şeklindedir. Bu nedenle, kirişin yapısal performansı göz önüne alındığında, ağda sağlanan açıklıkların boyutu ve şekli her zaman önemli bir endişe konusudur. Altıgen açıklıklı petek kirişlerin boyutlarını optimize etmek için çok sayıda çalışma yapılmıştır ve bu nedenle kirişlerin diğer şekilli açıklıklarla optimize edilmesi gerekmektedir. Petek kiriş ile ilişkili yerel başarısızlık, dairesel, elmas şekiller gibi diğer şekilli açıklıklar sağlanarak en aza indirilebilirken, bu çalışmada, optimize etmek için dairesel (hücreselel kiriş) ve elmas şekilli açıklıklara sahip Petek kirişlerin parametrik çalışması gerçekleştirilmiştir. Petek kirişin sağlanan açıklık derinliğine oranı (D/Do) ve açıklık aralığının açıklık derinliğine oranı (S/Do) dikkate alınarak boyutu Abaqus/CAE 6.13 yazılımı kullanılarak ve Eurocode 3 koşulları dikkate alınarak kirişin sonlu elemanlar analizi (FEA) farklı açıklık boyutları için gerçekleştirilmiştir. Kiriş üzerindeki kırılma yükünü bulmak için Von-mises kırılma kriterleri kullanılır ve optimize edilmiş kiriş için elde edilen sonuçlar deneylerle doğrulanmıştır. Sonuçlar, kirişin toplam derinliğinin 0.67 katı açıklık boyutuna sahip elmas şekilli açıklık için kirişin daha iyi dayanım sonuçları verdiğini göstermiştir.

3. MATERYAL VE METOT

Yapılacak çalışma parametrik çalışma olduğundan dolayı yetmiş iki model üzerinde analiz ve tasarım sonuçların karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma anlamlı bir sonuca ulaşmak için aşağıdaki şekilde temeli oluşturulmuştur.

- Kubbe açıklığı d (80 m ve 60 m)
- Kubbe açıklık yükseklik oranı d/h (4, 5 ve 6,667)
- Kubbe halka sayısı:
 - 60 m açıklıklı kubbe (3, 4, 5)
 - 80 m açıklıklı kubbe (4, 5, 6)
- Tasarım yolu (GKT, YDKT)
- Omurga kirişler (Dolu gövdeli kiriş ve Petek kiriş)

Bu parametreler değiştirilerek yetmiş iki kubbe modeli önce AUTOCAD v18 üzerinde modelleyip sonra sonlu elemanlar programı Sap2000.V22 yardımı ile kubbelerin analiz modeli oluşturulmuştur.

Kubbelerle etkileyen yüklerin hesaplamasında ve elemanların tasarımında uluslararası yönetmelikler dikkate alınmıştır.

- Rüzgâr yönetmeliği : TS EN 1991-1-4
- Kar yönetmeliği : TS EN 1991-1-3
- Deprem yönetmeliği : TBDY2018
- Çelik tasarım yönetmeliği 1 : Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
- Çelik tasarım yönetmeliği 2 : AISC360 2016
- Kavisli elemanların tasarımı : AISC Curved Member Design Guide 33
- Petek kirişlerin tasarımı : AISC 31 Petek and Cellular Beam Design

Yüklemeler hesaplandıktan sonra sonlu elemanlar yöntemi tabanlı SAP2000 programı ile kubbe üzerine yükler uygulanmış ve analiz sonuçlarının karşılaştırmaları için ön tasarım yapılarak uygun kesitler seçilmiştir. Bu ön tasarım sonuçları dikkate alınarak kesit kuvvet diyagramlarının, deplasmanların, titreşimlerin ve burkulma modlarının karşılaştırılması yapılmıştır.

Kubbelerin deplasmanları ve deprem kontrolleri belirtilen yönetmeliklere göre güvenli tarafta kaldığı sonucuna ulaştıktan sonra kesin tasarım aşamasına başlanmıştır. Kesin tasarım aşamasında hem SAP2000.V22 program sonuçları hem de parametrik hesaplar yapılarak tasarım sonuçlarının grafik üzerinde karşılaştırılması yapılmıştır.

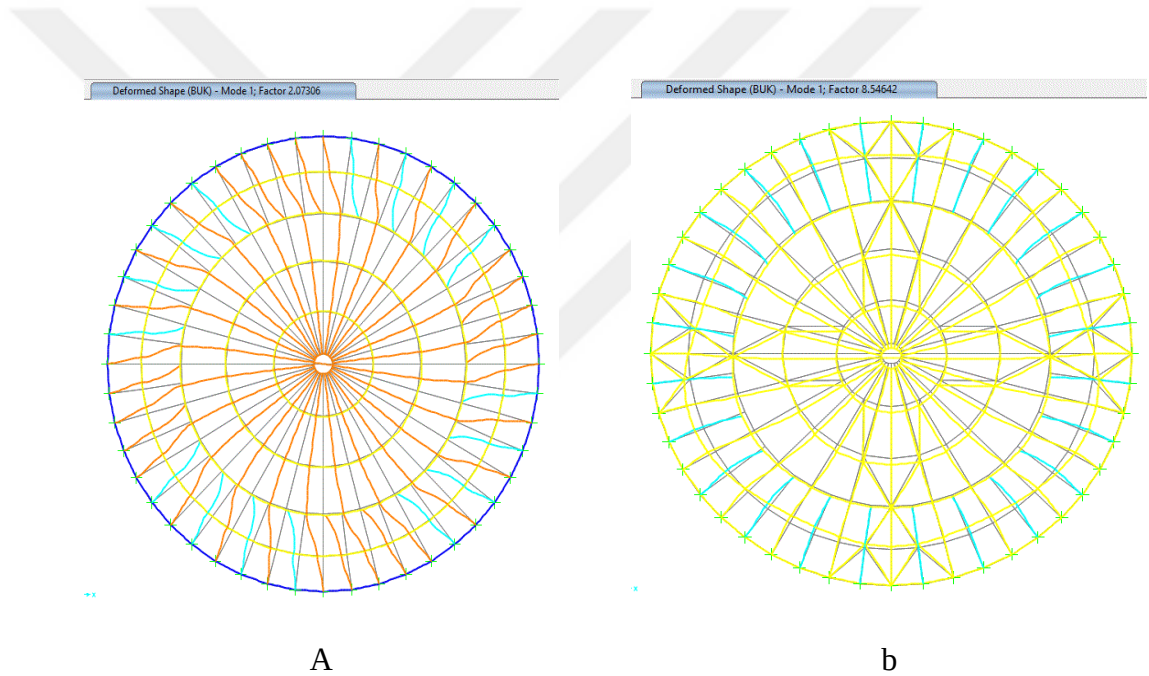
Hesap ve tasarım aşamaları tamamlandıktan sonra imalat çizimleri Tekla V20 programı yardımı ile yapılmıştır. Elde edilen metraj detaylarına göre maliyet çalışması yapılmıştır.

Son olarak yapılan karşılaştırmaların sonucunu yorumlayarak bu parametrik çalışma içinde kapsadığı kubbeler arasında ekonomik ve uygulanabilirlik açısından en iyi performans gösteren kubbe yapısı seçilmiştir.

3.1. Kubbe Modellerin Kurulması

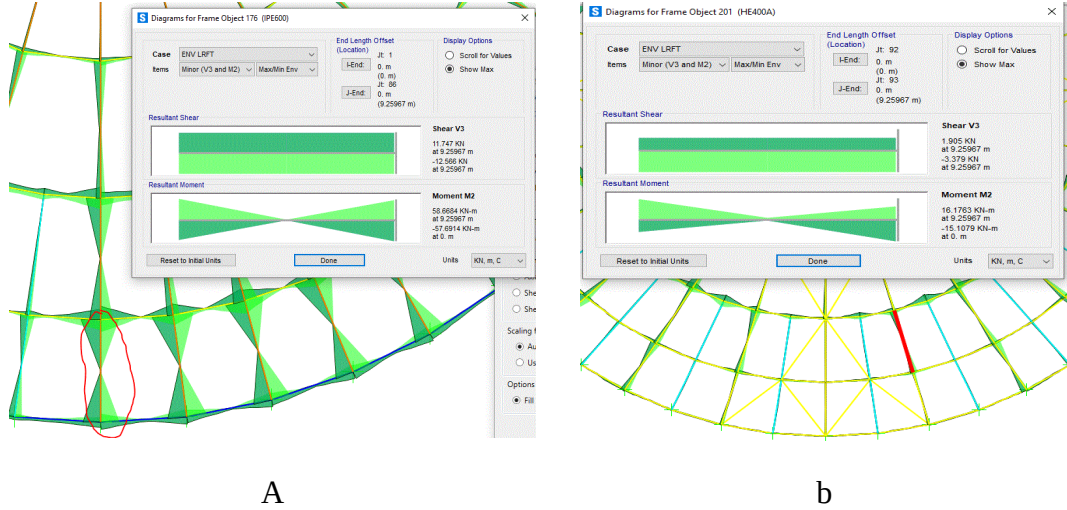
3.1.1. Geometrik model oluşturulması

Kubbelerin modelleri AutoCAD v18 programı ile Ribbed ve Schwedler sistemi kullanarak oluşturulmuştur (Şekil 3.2). Ribbed tipi kubbenin yapılan ön tasarımı taşıyıcı sistemde çapraz olmadığı için sistemde burulma oluşmaktadır. Bu burulma ana kirişlere M2-2 moment ile etkileyerek sistemin kesitlerini ve titreşim modlarını arttırmanın yanı sıra burkulma katsayısını düşürmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü üzere aynı yüklemeler altında ve aynı geometrik ölçülere sahip Ribbed kubbe çalışması için seçilen kubbe sistemin arasındaki burkulma modları görünmektedir. Ribbed kubbenin burkulma katsayısı = 2.07 olarak hesaplanmış olmasına karşın çalışmamız yaptığımız kubbenin Burkulma katsayısı = 8.54 olarak hesaplanmıştır. Bu katsayıları incelediğimizde büyük açıklıklı ve tek katmanlı taşıyıcı sistemlerde burkulma katsayısı dikkat edilmesi gereken en önemli faktörlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.



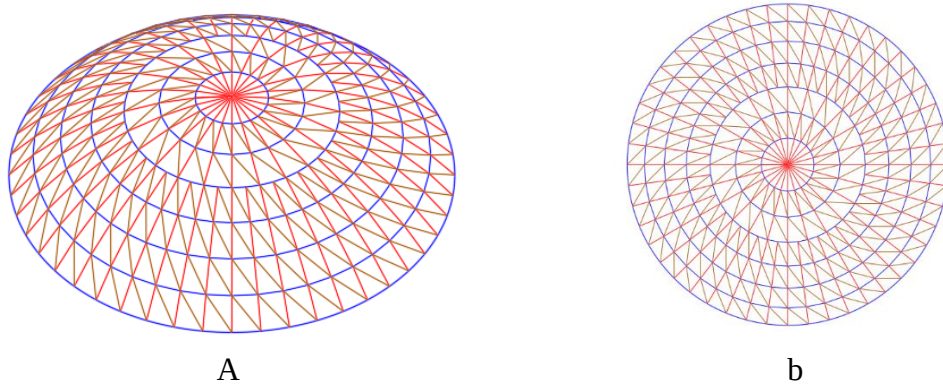
Şekil 3.1. a) Ribbed kubbenin burulmalı Burkulma modu **b)** Çalışma yapılan sistemin Burkulma modu

Ribbed kubbe sistemindeki oluşan maksimum M2-2 moment çalışmamız yaptığımız sistemde oluşan maksimum M2-2 moment değerinden çok daha büyük bir değer olarak bulunmuştur. Kubbe sistemi için elde edilen bu yük değeri de kesitlerin artmasına neden olmaktadır (Şekil 3.2).

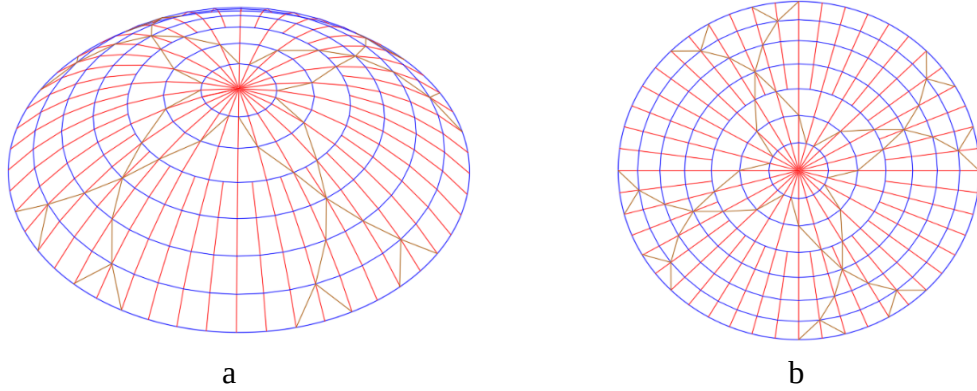


Şekil 3.2. a) Ribbed kubbede max M2-2 değeri=58 kN/m **b)** çalışma yapılan kubbenin max M2-2 değeri 16 kN/m

Diğer yandan Schwedler kubbe sisteminde çaprazlar her hücrede kullanıldığı için (Şekil 3.3) sistem çok daha rijit ve burkulma değerleri gereksiz bir şekilde yüksek olduğundan dolayı sistem aşırı güvenli olup ekonomik olmayacağı için, kubbe üzerinde çaprazların sayısı azaltılarak kubbenin ekonomik olması ve güvenli dengeyi sağlayan sistem oluşturulmuştur. Tüm bunları dikkate alarak (şekil 3.4)'te gösterilen kubbe modeli üzerinde çalışma yapılmasına karar verilmiştir.



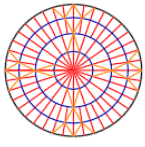
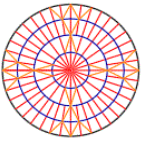
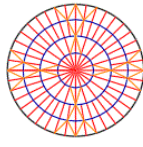
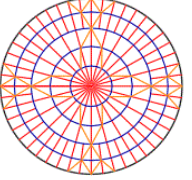
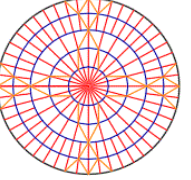
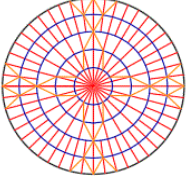
Şekil 3.3. a) Ribbed ve Schwedler kubbe sistemi kullanarak ön kubbe modeli 3d **b)** Plan görüntüsü



Şekil 3.4. a) Ribbed ve Schwedler kubbe sistemi kullanarak seçilen çalışma kubbe modeli 3d **b)** Plan görüntüsü

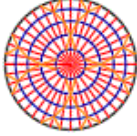
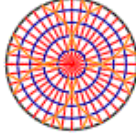
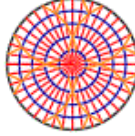
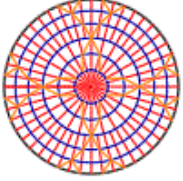
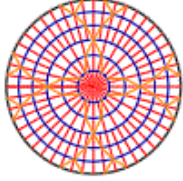
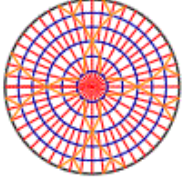
Bu kubbe sistemi kullanılarak parametrelerin değişmesiyle 18 kubbe geometrisi AutoCAD v18 programında oluşturulmuştur.

- Kubbe açıklığı d (80 m ve 60 m)
- Kubbe açıklık yükseklik oranı d/h (4, 5 ve 6,667)
- Kubbe halka sayısı:
 - 60 m açıklıklı kubbe (3, 4, 5)
 - 80 m açıklıklı kubbe (4, 5, 6)

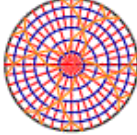
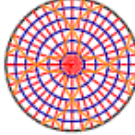
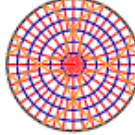
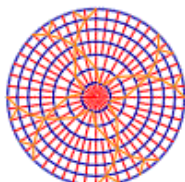
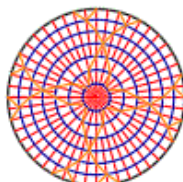
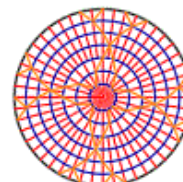
		
D=60 H=15	D=60 H=12	D=60 H=9
Açıklık 60 m 3 basınç çember		
		
D=80 H=20	D=80 H=16	D=80 H=12
Açıklık 80 m 4 basınç çember		

A

Şekil 3.5. Çalışmada kullanılacak kubbe geometrileri

		
D=60 H=15	D=60 H=12	D=60 H=9
Açıklık 60 m 4 basınç çember		
		
D=80 H=20	D=80 H=16	D=80 H=12
Açıklık 80 m 5 basınç çember		

B

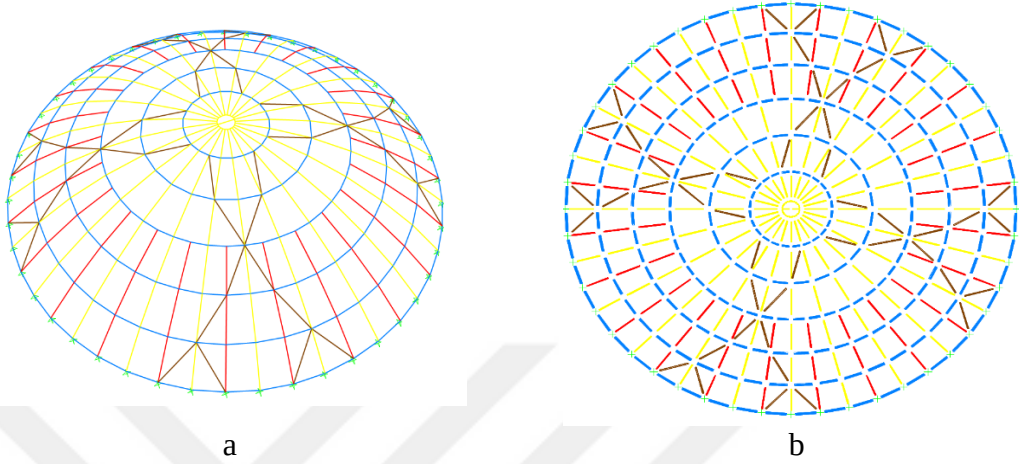
		
D=60 H=15	D=60 H=12	D=60 H=9
Açıklık 60 m 5 basınç çember		
		
D=80 H=20	D=80 H=16	D=80 H=12
Açıklık 80 m 6 basınç çember		

C

Şekil 3.5.in devamı

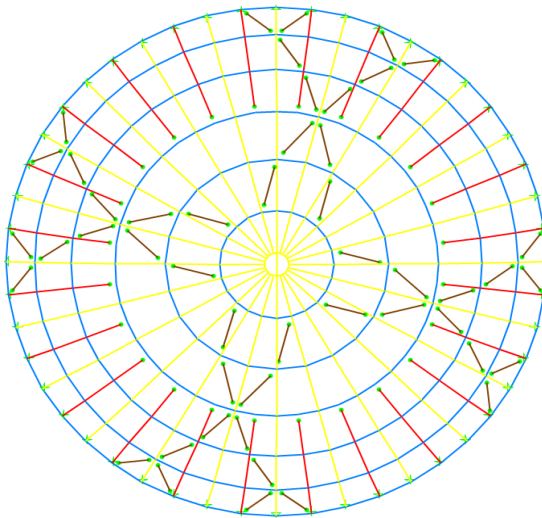
3.1.2. Analiz modellerin oluşturulması

Kubbe geometrileri AutoCAD v18 yardımı ile 3d olarak modellendikten sonra bu modeller layer olarak ana kiriş, tali kiriş ve çapraz olarak tanımlandıktan sonra Sap2000.V22 programına aktarılmıştır.



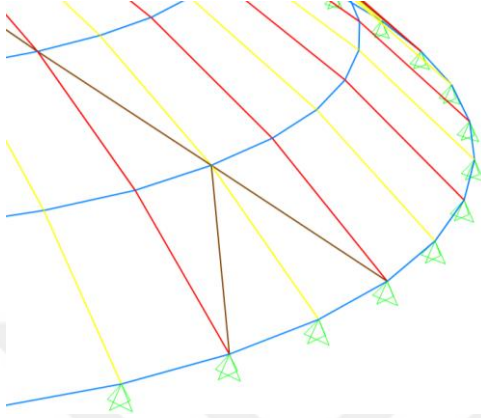
Şekil 3.6. a) AutoCAD v18'ten Sap2000.V22 aktarılan kubbe modeli **b)** Sap2000.V22 kubbe plan görüntüsü

Kubbe elemanları; bağlantı özelliklerine göre mafsallı ya da rijit olarak Sap2000.V22'de tanımlanmıştır. Mafsallı yani moment aktarmayan bağlantı elemanları kubbe çapraz elemanları ve kesilmiş omurga kirişleridir. Kesilmiş omurga kirişi ile halka kiriş bağlantısı rijit olması durumunda tali kirişe burulma etkisi yaratacağından, bu etki oluşmaması için bu bağlantı sadece V2-2, V3-3 ve P yükü aktaracak şekilde tanımlanmıştır.



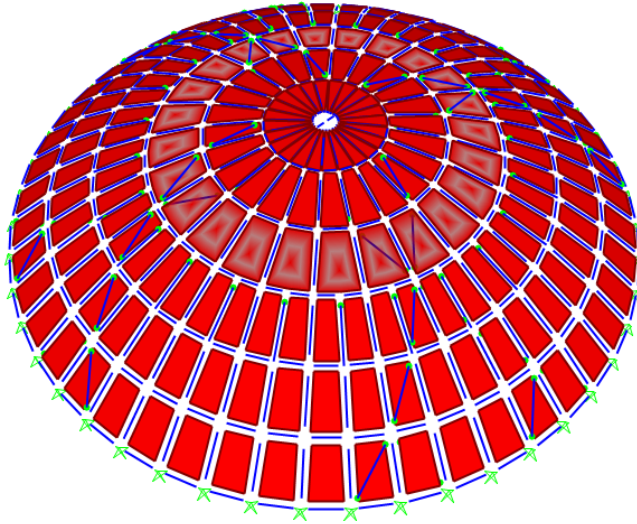
Şekil 3.7. Kubbe mafsallı bağlantıların tanımlanması

Normalde bu kubbeler betonarme taşıyıcı sistem üzerine yerleşmekte olup çelik ile betonarme bağlantısının mafsallı yapılması tercih edilmektedir. İmalat hatalarından ve betonun ezilmesinden dolayı beton ile çelik arasındaki bağlantı moment aktaran bağlantı olarak tasarlanırsa bu bağlantı üzerin gelen momentler kesin bir şekilde aktarılacağını garanti edilemeyeceği için bağlantıların mafsallı olarak tasarlanması daha güvenlidir.



Şekil 3.8. kubbe temel bağlantısı moment aktarmayan bağlantı olarak tanımlanması

Kubbenin analiz modelinin tamamlanması için üzerine gelecek yüklerin tanımlanması amacıyla kubbe üzerine etkisiz kesit olarak kabuk elemanı Şekil 3.9’da gösterildiği şekilde tanımlanmıştır.



Şekil 3.9. Kubbe üzerine etkisiz kabuk kesiti tanımlanmak

3.1.3. Modellerde kullanılan profil kesitleri

Çizelge 3.1. Kubbe modellerinde kullanılan profil kesitleri

OMURGA KIRIS TİPİ	ÇAP	D/H	ÇEMPER SAYISI	PROFİL ARA BOYU	PROFİL
DOLU GÖVDELİ KIRIŞLI KUBBE	60	4.00	3	8672	IPE500
			4	6970	IPE450
			5	5792	IPE360
		5.00	3	8260	IPE500
			4	6605	IPE450
			5	5542	IPE360
		6.67	3	7943	IPE500
			4	6373	IPE450
			5	5327	IPE360
	80	4.00	4	9250	HEA400
			5	7714	HEA360
			6	6615	HEA320
		5.00	4	8827	HEA400
			5	7351	HEA360
			6	6302	HEA320
		6.67	4	8497	HEA400
			5	7086	HEA360
			6	6088	HEA320
PETEK KIRIŞLI KUBBE	60	4.00	3	8672	IPE450 den Petek h=500
			4	6970	IPE400 den Petek h=450
			5	5792	IPE330 den Petek h=360
		5.00	3	8260	IPE 450 den Petek h=500
			4	6605	IPE400 den Petek h=450
			5	5542	IPE330 den Petek h=360
		6.67	3	7943	IPE450 den Petek h=500
			4	6373	IPE400 den Petek h=450
			5	5327	IPE330 den Petek h=360
	80	4.00	4	9250	HEA300 den Petek h=400
			5	7714	HEA280 den Petek h=400
			6	6615	HEA260 den Petek h=360
		5.00	4	8827	HEA300 den Petek h=400
			5	7351	HEA280 den Petek h=400
			6	6302	HEA260 den Petek h=360
		6.67	4	8497	HEA300 den Petek h=400
			5	7086	HEA280 den Petek h=400
			6	6088	HEA260 den Petek h=360

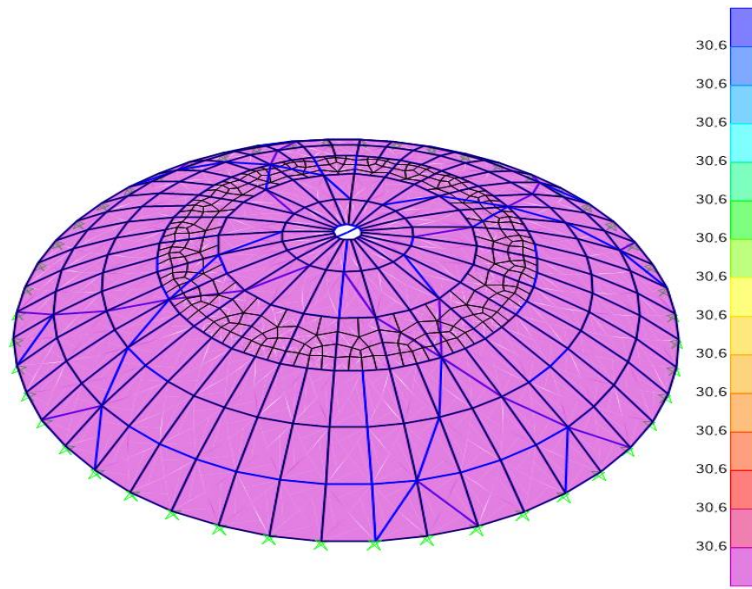
Kubbe modellerinde kullanılan kesitler basınç çember sayısına göre aynı seçilmiştir, yani 60 m çaplı ve basınç çember sayısı 3 olan kubbelerde IPE500 kesiti kullanılmıştır. Aynı şekilde 60 m çaplı olan petek kirişli kubbelerin basınç çember sayısı 3 olan kubbelerde IPE450ten oluşturulan Petek h=500 kullanılmıştır. Böylece karşılaştırma yapılırken sabit bir başlangıç nokta üzerinde yapılmış olur, yani IPE500 kesitin D/H değer değişmesiyle birlikte davranışı bu şekilde incelenmiştir.

3.2. Yüklerin Hesabı

Kubbe üzerine etkileyen yükler; uluslararası yönetmenliklere göre hesaplanmış ve kabuk üzerine alansal yük olarak uygulanmıştır.

3.2.1. Ölü yük hesabı

Kubbe üzerine cam kaplama 12mm '*laminated glass*' olacağı için cam ağırlığı 30 kg/m² yerçekimi yönünde kabuk elemanlar üzerine uygulanmıştır.



Şekil 3.10. Kubbe üzerine kaplama yükü

3.2.2. Kar yükü hesabı

Kar yükü TS EN 1991-1-3 şartnamesine göre hesaplanarak hesap aşamaları sonraki şekilde yapılmıştır:

$$\text{Çatı kar yükü } S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$

TS EN 1991-1-3(5.2.3)

$$C_e = 1 \text{ Topoğrafik alanı normal}$$

TS EN 1991-1-3(Çizelge 5.1)

$$C_t = 1 \text{ Isı katsayısı}$$

TS EN 1991-1-3(5.2.8)

$S_k = 0,75 \text{ kN/m}^2$ Karakteristik zemin kar yük değeri TSEN1991-1-3(Çzlg MA.1)

Çatı kar yükü $S = \mu_i \cdot 0,75$ TSEN1991-1-3(5.2.3)

Kubbe bir tonoz sistemi ama 360° dönmeyle oluşan bir geometridir. Buna göre tonoz kar yükü dağılımı dikkate alarak kar yük hesabı yapılmıştır.

μ_i Kar yükü şekil katsayısı kubbe geometrisine göre değiştiği için hesabı bir sonraki aşamada yapılmıştır. TSEN1991-1-3(5.3, Ek B)

A. Açıklık =80 m yükseklik =20 m

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, düzgün yayılı kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,25$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 2$ üniform olamayan kar dağılımı

B. Açıklık =80 m yükseklik =16 m

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, üniform kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,2$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 2$ üniform olamayan kar dağılımı

C. Açıklık =80 m yükseklik =12 m

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, üniform kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,15$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 1,7$ üniform olamayan kar dağılımı

D. Açıklık =60 m yükseklik =15 m

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, üniform kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,25$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 2$ üniform olamayan kar dağılımı

E. Açıklık =60 m yükseklik =12 m

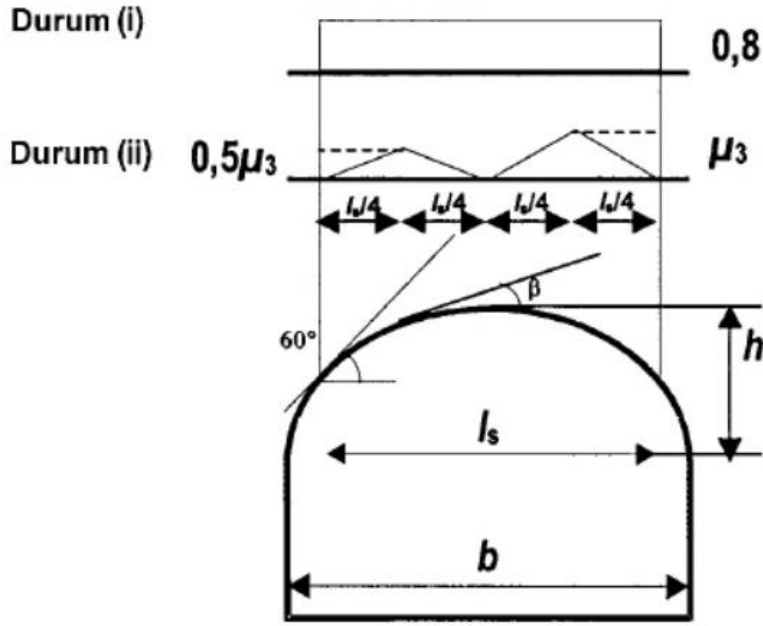
$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, üniform kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,2$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 2$ üniform olamayan kar dağılımı

F. Açıklık =60 m yükseklik =9 m

$\mu_1 = 0,8$ Durum 1 şekil katsayısı, üniform kar dağılımı TSEN1991-1-3(5.3.5)

$h/d=0,15$ ve TS EN 1991-1-3(Şekil 5.5) göre $\mu_3 = 1,7$ üniform olmayan kar dağılımı kar yüklemesi, çatı eğim açısı $\theta < 60^\circ$ olduğu yüzeylere sadece uygulanır (Şekil 3.11).



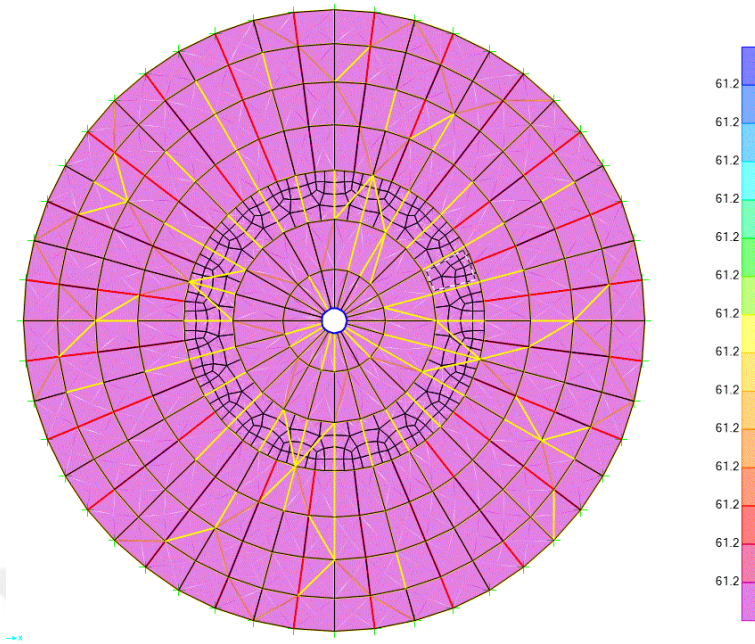
Şekil 3.11. Kubbe üzerine etki eden kar yükünün dağılımı

Önceki aşamalarda hesapladığımız şekil katsayıları kullanarak ve (Şekil 3.11) yardımı ile Çizelge 3.1’de kubbeye etkiyen kar yükleri hesaplanmıştır.

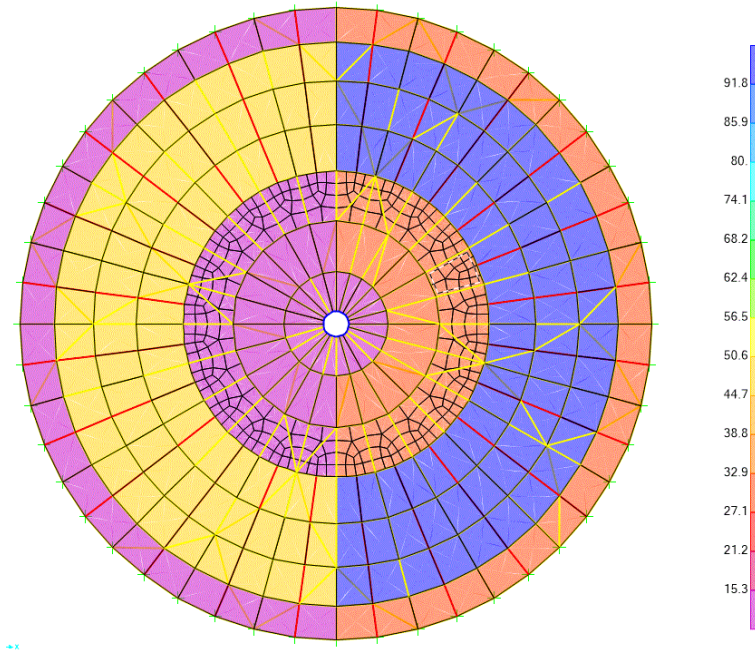
Çizelge 3.2. Kubbe üzerine etkiyen kar yük değerleri

Çap (m)	Yükseklik (m)	Durum 1(kN/m²)	Durum 2 (kN/m²)	
			A	B
80	20	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 2 \cdot 0,75 = 0,75$	1,5
80	16	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 2 \cdot 0,75 = 0,75$	1,5
80	12	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 1,7 \cdot 0,75 = 0,64$	1,275
60	15	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 2 \cdot 0,75 = 0,75$	1,5
60	12	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 2 \cdot 0,75 = 0,75$	1,5
60	9	$0,8 \cdot 0,75 = 0,6$	$0,5 \cdot 1,7 \cdot 0,75 = 0,64$	1,275

Çizelge 3.1’de hesaplanan kar yükleri, Şekil 3.11 ve interpolasyon kullanılarak kubbe kabuk elemanlarının üzerine yerçekimi yönünde uygulanmıştır.



Şekil 3.12. Kar yüklemesi durum 1



Şekil 3.13. Kar yüklemesi durum 2

3.2.3. Rüzgâr yükü hesabı

Rüzgâr yükü TS EN 1991-1-4 yönetmeliğine göre hesaplanmıştır ve hesap aşamaları sonraki şekilde yapılmıştır;

A. 80 m açıklıktaki kubbelerin rüzgâr hesabı:

Açıklık $D = 80$ m kubbe yüksekliği $h = 20$ m

Çelik yapıların yönetmeliği 5.2 maddesine göre rüzgâr hızının temel değeri $V_{b,0} = 28$ m/s (100km/sa) olarak belirtmiştir

$$\text{Esas rüzgâr hızı } V_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot V_{b,0} \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.1)}$$

$$c_{dir} = 1 \text{ Tavsiye edilen değeri} \quad \text{TSEN1991-1-4(4 Not 2)}$$

$$c_{season} = 1 \text{ Tavsiye edilen değeri} \quad \text{TSEN1991-1-4(4 Not 3)}$$

$$\text{Esas rüzgâr hızı } V_b = 1.1.28 = 28 \text{ m/s} \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.1)}$$

Arazi engebeler durumu arazi kategori II olarak seçilmiştir ve ona göre $z_0 = 0,05$ m ve $z_{min} = 2$ m TSEN1991-1-4(Çizelge 4.1)

İncelenen bina $h = 20$ m $\rightarrow z_{min} < h = 20$ m $< z_{max} = 200$ m olduğundan dolayı $c_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)$ TSEN1991-1-4(D 4.4)

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{20}{0,05}\right) = 1,1383 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.3 göre orografinin rüzgâr hızı artırmadığını varsayımıyla $c_0(z) = 1$ tavsiye edilen değer olarak alınır (TS EN 1991-1-4 Bölüm 4.3.1, Not 1)

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 1,1383 \cdot 1 \cdot 28 = 31,87 \text{ m/sn}$$

Yapının Z metre yüksekliğinde kısa süreli ve ortalama hız değişikliklerini içeren tepe hız kaynaklı rüzgâr basıncı $q_p(z)$ TSEN 1991-1-4 bölüm 4.5 göre ve $z_{min} < h = 20$ m $< z_{max} = 200$ m olduğuna göre Z metre yüksekliğindeki türbülans şiddeti $l_v(z)$

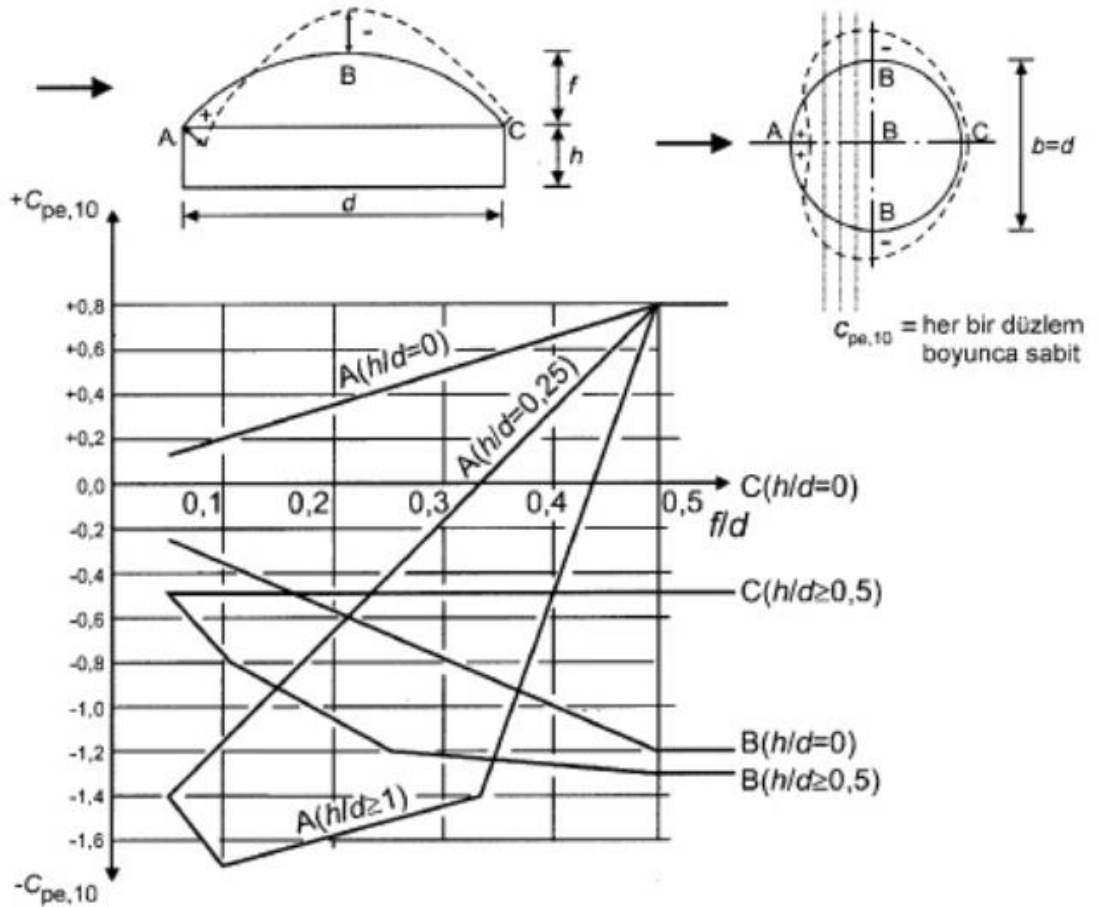
$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{20}{0,05}\right)} = 0,1669 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)]^{\frac{1}{2}} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,3764 \text{ kN/m}^2$$

İç ve dış basınçlar yapıya aynı anda etki etmesi durumlarında dikkate alınması gerekir. Yapıda oluşması muhtemel açıklıklar ile rüzgâr akımının sızdığı diğer hatların her bir kombinasyonu için en kötü durumu oluşturan iç ve dış basınç kombinasyonları dikkate alınmış olup TSEN 1991-1-4 (bölüm 7.2.9 Not2) yönetmeliği esas alınarak iç ve dış basınçların hesaplamasında c_{pi} değerleri +0,2 ve -0,3 en gayri müsait durum olarak dikkate alınmıştır.

Kubbe üzerindeki rüzgâr dağılımı TSEN1991-1-4(şekil 7.12)'e göre yapılmıştır.



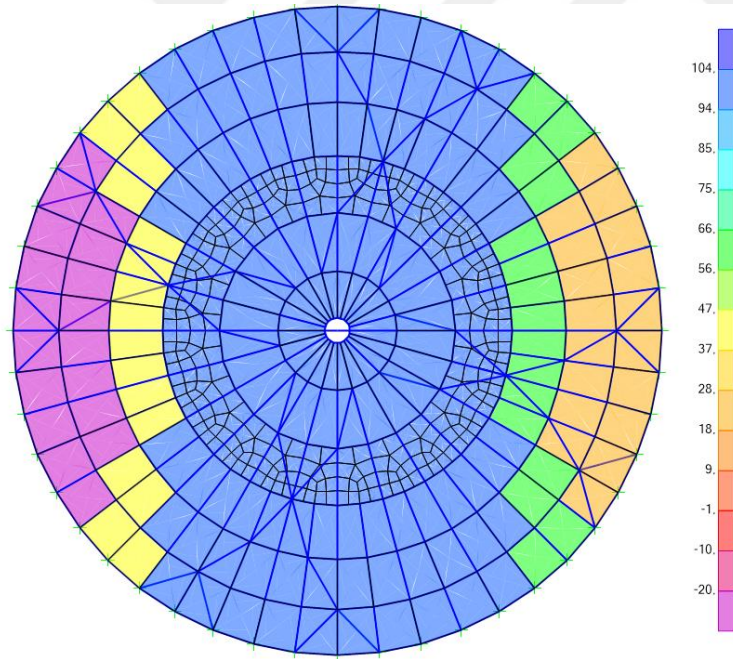
Şekil 3.14. TSEN1991-1-4 (şekil 7.12) dairesel kubbe şekiller için tavsiye edilen dış basınç katsayıları

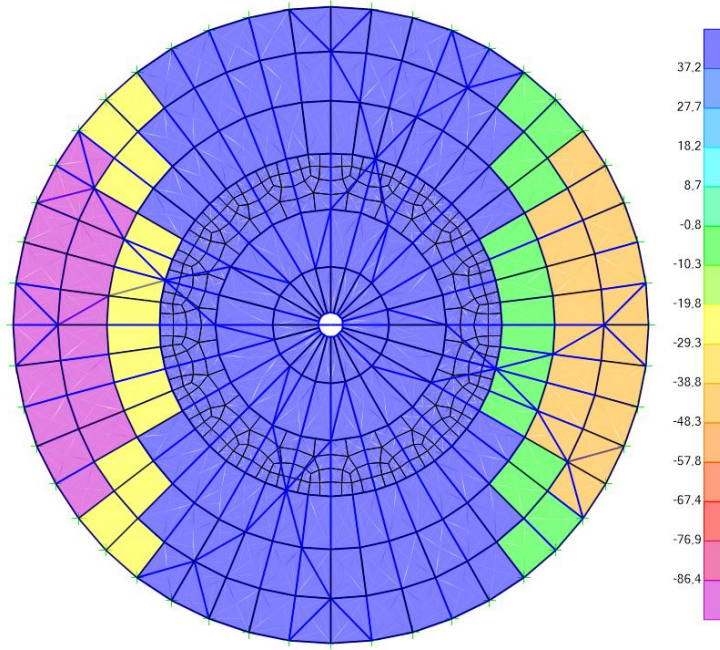
$h/d = 0$; $f/d = 20/80 = 0,25$ Şekle göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.3. D=80 h=20 kubbe rüzgâr basınç değerleri

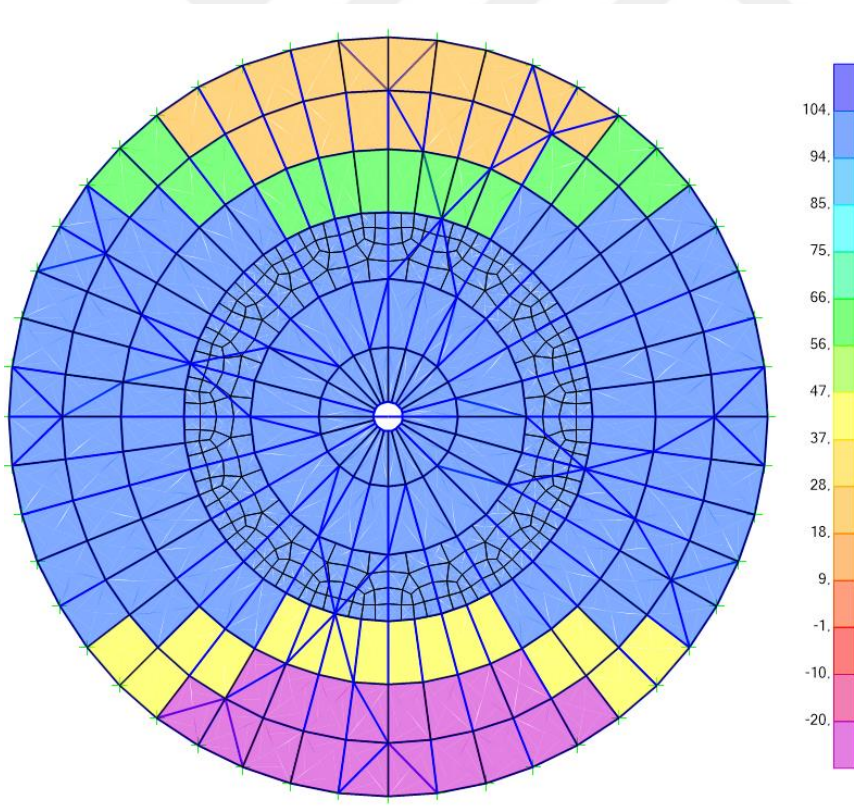
Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,42	-0,65	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,72	-0,35	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,22	-0,85	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,991	-0,48	+0,413
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,313	-1,17	-0,275

Hesaplanan rüzgâr kuvvetleri Sap2000.V22 programında kabuk elemanlar üzerinde alansal yük olarak yüzeylere dik olacak şekilde (lokal) uygulanmıştır. Hesaplanan rüzgâr yükleri hem X hem de Y yönlü rüzgâr için geçerlidir. Rüzgâr yükleri Sap2000.V22'de +W_x, -W_x, +W_y ve -W_y olarak uygulanmıştır.

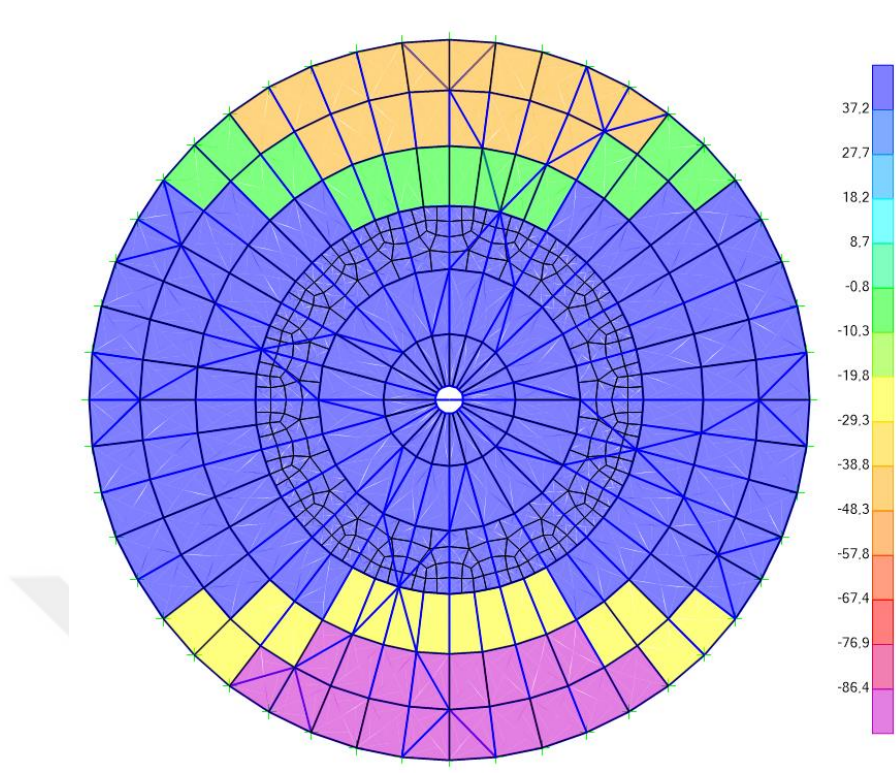
**Şekil 3.15.** +W_x rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (104/-20 kg/m²)



Şekil 3.16. -Wx rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (37,2/-86,4 kg/m²)



Şekil 3.17. +Wy rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (104/-20 kg/m²)



Şekil 3.18. -Wy rüzgâr yükünün kubbe üzerinde uygulaması (37,2/-86,4 kg/m²)

Açıklık $D = 80$ m kubbe yüksekliği $h = 16$ m kubbe rüzgâr yük hesabı önceki aşamalar gibi yapılmış olup, önceki aşamalardan farklı detaylar sonraki şekilde güncel değeri hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{16}{0,05} \right) = 1,096 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 1,096 \cdot 1 \cdot 28 = 30,688 \text{ m/sn}$$

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left(\frac{16}{0,05} \right)} = 0,1734 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,303 \text{ kN/m}^2$$

$h/d = 0$; $f/d = 16/80 = 0,2$ (Şekil 5.2) göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.4. D=80 h=16 kubbe rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,35	-0,58	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,65	-0,28	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,15	-0,78	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,847	-0,365	+0,391
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,195	-1,016	-0,2606

Açıklık D = 80 m kubbe yüksekliği h = 12 m kubbe rüzgâr yük hesabı önceki aşamalar da olduğu gibi yapılmıştır. Önceki aşamalardan farklı detaylar sonraki şekilde güncel değeri ile hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05}\right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,05}\right) = 1,042 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 1,042 \cdot 1 \cdot 28 = 29,15 \text{ m/sn}$$

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_o(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln\left(\frac{12}{0,05}\right)} = 0,1825 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)]^{\frac{1}{2}} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

h/d = 0 ; f/d = 12/80 = 0,15 (Şekil 5.2) göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.5. D=80 h=12 kubbe rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,245	-0,45	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,545	-0,15	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,045	-0,65	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,66	-0,182	+0,363
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,054	-0,786	-0,242

B. 60 m açıklıklı kubbeler için rüzgâr yükü hesabı

Açıklık $D = 60$ m kubbe yüksekliği $h = 15$ m kubbe rüzgâr yük hesabı önceki aşamalarda gibi yapılmıştır. Önceki aşamalardan farklı detaylar sonraki şekilde güncel değeriyle hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{15}{0,05} \right) = 1,084 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 1,084 \cdot 1 \cdot 28 = 30,34 \text{ m/sn}$$

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left(\frac{15}{0,05} \right)} = 0,1753 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,281 \text{ kN/m}^2$$

$h/d = 0$; $f/d = 15/60 = 0,25$ (Şekil 5.2) göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.6. D=60 h=15 kubbe rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,42	-0,65	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,72	-0,35	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,22	-0,85	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,922	-0,448	+0,384
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,282	-1,09	-0,256

Açıklık D = 60 m kubbe yüksekliği h = 12 m kubbe rüzgâr yük hesabı önceki aşamalarda gibi yapılmıştır. Önceki aşamalardan farklı detaylar sonraki şekilde güncel değeriyle hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{12}{0,05} \right) = 1,041 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 1,041 \cdot 1 \cdot 28 = 29,16 \text{ m/sn}$$

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left(\frac{12}{0,05} \right)} = 0,1825 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

h/d = 0 ; f/d = 12/60 = 0,2 (Şekil 5.2) göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.7. D=60 h=12 kubbe rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,35	-0,58	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,65	-0,28	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,15	-0,78	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,788	-0,339	+0,363
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,282	-0,944	-0,242

Açıklık D = 60 m kubbe yüksekliği h = 9 m kubbe rüzgâr yük hesabı önceki aşamalarda olduğu gibi yapılmıştır. Önceki aşamalardan farklı detaylar sonraki şekilde gösterildiği gibi güncel değeriyle hesaplanmıştır.

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,05}{0,05} \right)^{0,07} = 0,19 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.5)}$$

$$c_r(z) = 0,19 \cdot \ln \left(\frac{9}{0,05} \right) = 0,986 \quad \text{TSEN1991-1-4(D 4.4)}$$

$$\text{Ortalama rüzgâr hızı } V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.3)}$$

$$V_m(z) = 0,986 \cdot 1 \cdot 28 = 27,63 \text{ m/sn}$$

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln \left(\frac{z}{z_0} \right)} = \frac{1}{1 \cdot \ln \left(\frac{9}{0,05} \right)} = 0,1926 \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.7)}$$

$$q_p(z) = [1 + 7l_v(z)] \frac{1}{2} \rho v_m^2(z) = c_e(z) q_b \quad \text{TS EN 1991-1-4(4.8)}$$

$$q_p(z) = 1,12 \text{ kN/m}^2$$

h/d = 0 ; f/d = 9/60 = 0,15 (Şekil 5.2) göre A, B ve C bölgelerin basınç değeri

Çizelge 3.8. D=60 h=9 kubbe rüzgâr basınç değerleri

Bölge	A	B	C
$c_{pe,10}$	+0,245	-0,45	0
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = -0,3$	+0,545	-0,15	0,3
$c_{penet} = c_{pe,10} - c_{pi}$ $c_{pi} = +0,2$	+0,045	-0,65	-0,2
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = -0,3$	+0,611	-0,168	+0,336
$W(z) = c_{penet} \cdot q_p(Z)$ $c_{pi} = +0,2$	+0,051	-0,728	-0,224

3.2.4. Deprem yükü hesabı

Yapıya etkileyen deprem yükü TBDY 2018 esaslarına göre hesaplanmıştır. Yapıya hem eşdeğer deprem yükü hem de mod birleştirme yükü ayrı ayrı uygulanmıştır. Kubbelerin açıklıkları 20 m’den büyük olduğundan dolayı deprem kuvveti hesabında dikkate alınan parametreler aşağıda gösterildiği şekilde seçilmiştir.

- Deprem yer hareketi düzeyleri DD-2 olarak seçilmiştir.
- Yerel zemin sınıfı ZC
- Konum olarak Antalya
- Ss ve S1 deprem değerleri Türkiye Deprem Tehlike Haritasından alınmıştır,
 $S_s = 0,566$ $S_1 = 0,152$
- Bina yükseklik sınıfı TBDY2018 tablo 3.3 göre:

Çizelge 3.9. Kubbelerin BYS değerleri

Açıklık 80 M Kubbe	
h=20	BYS=5
h=16	BYS=6
h=12	BYS=6
Açıklık 60 M Kubbe	
h=15	BYS=6
h=12	BYS=6
h=9	BYS=7

- Bina kullanım sınıfı BKS = 1 TBDY2018 tablo 3.1 göre seçilmiştir.
- Deprem tasarım sınıfı DTS = 2 TBDY2018 tablo 3.2 göre seçilmiştir.
- Yatay deprem yükü için R = 4 ve D = 2 TBDY2018 tablo 4.1 C.33 göre seçilmiştir.

- Düşey deprem yükü için $R = 1$ ve $D = 1$ TBDY2018 4.4.3.1 göre seçilmiştir.
- Yatay deprem yükü için $I = 1$ önem katsayısı TBDY2018 tablo 3.1 diğer binalara göre seçilmiştir.
- Düşey deprem yükü için $I = 1$ önem katsayısı TBDY2018 4.4.3.1 göre seçilmiştir.

Kubbelerin tasarım sınıfı $DTS = 2$ ve açıklık 20 m'den büyük olduğu için düşey deprem hesabı da yapılması gerekmektedir (TBDY2018 4.4.3).

Bu parametreler Sap2000.V22 programında tanımlanmıştır (Şekil 3.19).

A. Yatay deprem yükün tanımlanması

TSC-2018 Seismic Load Pattern

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

- ☒ Global X Direction
- ☐ Global Y Direction
- Ecc. Ratio (All Diaph.): 0.05
- Override Diaph. Eccen. [Override...]

Time Period

- ☐ Approx. Period Ct (m), x =
- ☒ Program Calc Ct (m), x = 0.08; 0.75
- ☐ User Defined T =

Lateral Load Elevation Range

- ☒ Program Calculated
- ☐ User Specified [Reset Defaults]
- Max Z
- Min Z

Seismic Coefficients

- 0.2 Sec Spectral Accel, Ss: 0.566
- 1 Sec Spectral Accel, S1: 0.152
- Long-Period Transition Period: 6
- Site Class: ZC
- Site Coefficient, Fs: 1.2736
- Site Coefficient, F1: 1.5
- Calculated Coefficients
- SDS = Fs * Ss: 0.7209
- SDS = F1 * S1: 0.228

Factors

- Response Modification, R: 4
- System Overstrength, D: 2
- Occupancy Importance, I: 1

[OK] [Cancel]

Şekil 3.19. Eş değer deprem parametrelerinin tanımlanması

Deprem yükü hesabında dikkate alınacak kütle $G+0,3Q$ yük birleşiminden alınmıştır. TBDY 2018 Tablo 4.3'deki verilere göre bu yapı üzerinde hareketli yük olmadığı için hareketli yük yerine kar yükü dikkate alınmıştır.

Mass Source

☐ Element Self Mass and Additional Mass

☒ Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
DEAD	1.
DEAD KAR 1	1. 0.3

Şekil 3.20. Kütle katılım kombinasyonu

Deprem yükünü mod birleştirme yöntemiyle hesaplamak için tepki spektrumu (Response Spectrum) TBDY2018 2.3.4'e göre tanımlanmıştır (Şekil 3.21).

Function Name TSC2018 **Function Damping Ratio** 0,05

Parameters

0.2 Sec Spectral Accel, Ss 0,566

1 Sec Spectral Accel, S1 0,152

Long-Period Transition Period 6,

Site Class ZC

Site Coefficient, Fs 1,2736

Site Coefficient, F1 1,5

Design Spectrum Direction Horizontal

Calculated Values for Response Spectrum Curve

SDS = Fs * Ss 0,7209

SD1 = F1 * S1 0,228

Define Function

Period	Acceleration
0,	0,2883
0,0633	0,7209
0,3163	0,7209
0,6	0,38
0,8	0,285
1,	0,228
1,2	0,19
1,4	0,1629

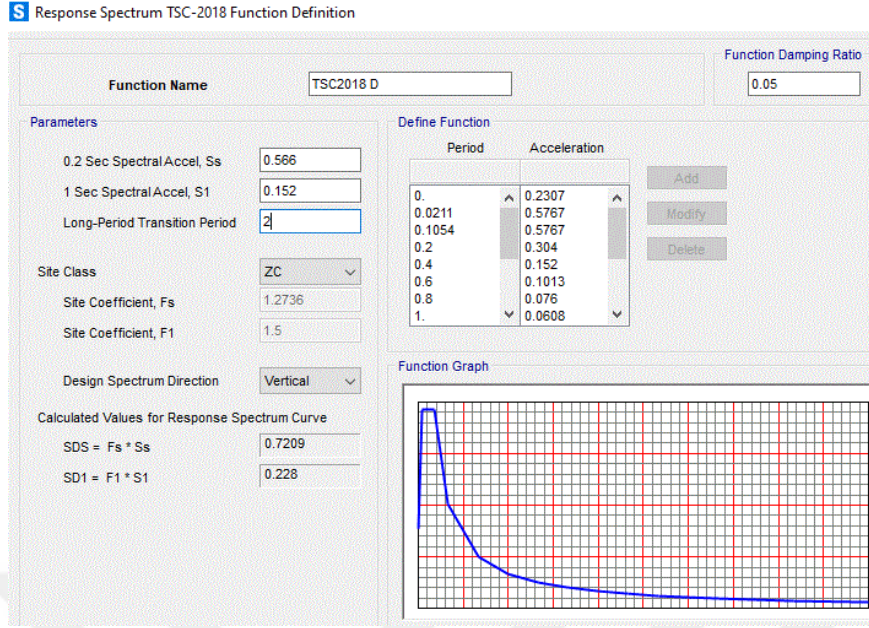
Function Graph

Şekil 3.21. Yatay mod birleştirme deprem parametrelerinin tanımlanması

B. Düşey deprem yükün tanımlanması

Düşey deprem yük hesabında $R/I = 1$ ve $D = 1$ alınmıştır TBDY2018 4.4.3.1

Düşey deprem yükünü hesaplamak için tepki spektrumu (Response Spectrum) TBDY2018 2.3.5'e göre $T_{AD} = \frac{T_A}{3}$, $T_{BD} = \frac{T_B}{3}$ ve $T_{LD} = \frac{T_L}{3}$ olarak alınmıştır ve Şekil 3.22'de gösterildiği halde Sap2000.V22'de tanımlanmıştır.



Şekil 3.22. Düşey mod birleştirme deprem parametreleri

3.2.5. Isı yükü hesabı

Çelik yapılar sıcaklık değişimine genişerek ve büzülerek tepki gösterir. Küçük açıklıklarda bu sıcaklık etkileri ihmal edilebilir ama büyük açıklıklarda bu etkilerin hesaba katılması gerekmektedir. Bunun nedeni sıcaklık artışı ya da azalışı ile birlikte elemanların genişmesine izin verilmediği takdirde elemanlarda ek bir eksenel yük oluşacaktır. Bu eksenel yük tasarımda dikkate alınmadığı takdirde elemanın göçmesine neden olabilmektedir.

Hesaplarda dikkate alınacak sıcaklık, yapı montajı yapılacağı zamanın sıcaklığı ile bölgenin görebileceği en yüksek ve en düşük sıcaklıklardan çıkartarak en yüksek değer sıcaklık değişim değeri olarak dikkate alınır ve bu şekilde hesaplanır.

$$T_{max} = 40 \text{ C} \quad T_{min} = -0 \text{ C} \quad T_{montaj} = 20 \text{ C}$$

$$\Delta_{sıcaklık} = 20 \text{ C}$$

Bu sıcaklık değişim değeri hem +20° hem de -20° olarak çelik elemanlarına uygulanmıştır (Şekil3.23).

S Object Model - Line Information X

Location Assignments Loads Design

Identification

Label: 163 Design Procedure: Steel Frame

Load Pattern	ISI+
Temperature Load	
Temperature	20. °C
Joint Pattern	None
Load Pattern	ISI-
Temperature Load	
Temperature	-20. °C
Joint Pattern	None

Assign Load...

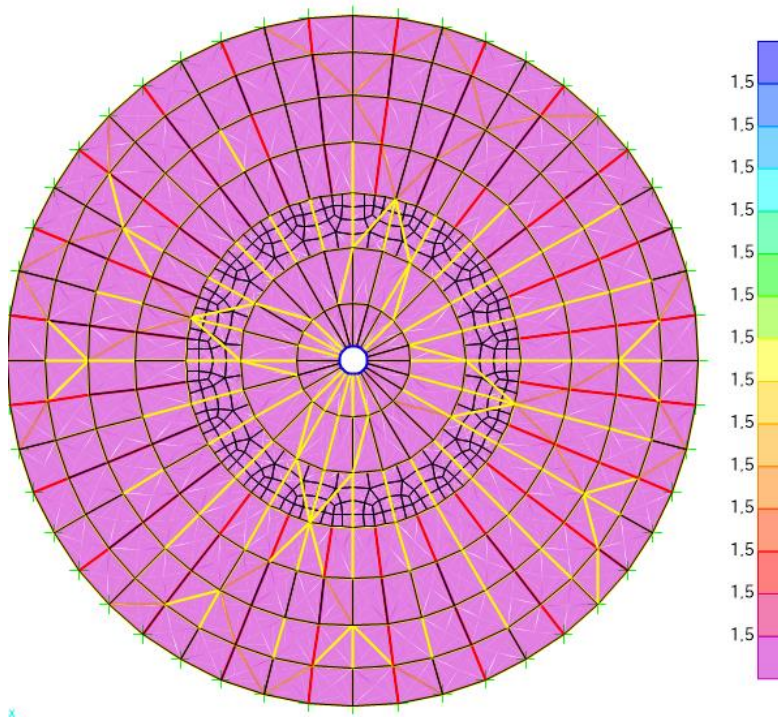
Kgf, m, C

Reset All

Şekil 3.23. Sıcaklık değişiminin elemanlara tanımlanması

3.2.6. Burkulma yükü hesabı

Kubbe tek katmanlı bir yapı olduğu için burkulma kontrolü yapılması gerekmektedir. Burkulma kontrolü için kubbe üzerine gelebilecek en fazla yük $1,5 \text{ kN/m}^2$ alansal yük olarak uygulanmıştır.



Şekil 3.24. Burkulma kontrolü için yükün uygulanması

3.3. Yüklerin Birleşimleri

Yük birleşimleri Çelik Yapıların Tasarım, Hesap Ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliğinin 5.3 maddesine göre ve TBDY2018 yönetmeliğinin 4.4.4 ve 4.4.2.1 maddeleri esas alınarak hazırlanmıştır.

Çizelge 3.10. Yönetmeliklere göre Yük birleşimleri

Yük birleşimi	Com tipi	Yönetmelik
1.4G	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S1	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S2	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S1	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S2	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
WXmax	Envelope	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
WYmax	Envelope	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S1+0.8WX+0.24WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S2+0.8WX+0.24WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S1+0.24WX+0.8WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+1.6S2+0.24WX+0.8WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S1+1.6WX+0.48WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S2+1.6WX+0.48WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S1+0.48WX+1.6WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.5S2+0.48WX+1.6WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1+EX+0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1+EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT

Çizelge 3.10.un devamı

1.2G+0.2S1-EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1-EX+0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1+EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1-EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1-EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S1+EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2+EX+0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2+EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2-EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2-EX+0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2+EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2+EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2-EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
1.2G+0.2S2-EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+1.6WX+0.48WY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+1.6WY+0.48WX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+EX+0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G-EX-0.3EY	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G-EX+0.3EY		Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G+EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G-EY-0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
0.9G-EY+0.3EX	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT
ENV YDKT	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği YDKT

Çizelge 3.10.un devamı

G (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+S1 (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+S2 (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+W_x+0,3W_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+W_y+0,3W_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,7E_x+0,21E_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,7E_y+0,21E_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S1+0,75W_x+0,225W_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S1+0,75W_y+0,225W_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S2+0,75W_x+0,225W_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S2+0,75W_y+0,225W_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S1+0,525E_x+0,16E_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S2+0,525E_x+0,16E_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S1+0,525E_y+0,16E_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G+0,75S2+0,525E_y+0,16E_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
0,6G+W_x+0,3W_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
0,6G+W_y+0,3W_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
0,6G+0,7E_x+0,21E_y (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
0,6G+0,7E_y+0,21E_x (GKT)	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
ENV GKT	Linear Add	Çelik tasarım yönetmeliği GKT
G +0.2S +EX+0.3EY+0.3EZ	Linear Add	TBDY2018
0.9G+H+EX+0.3EY-0.3EZ	Linear Add	TBDY2018
G+0.3S1	Linear Add	Deprem kütle katılımı
G+0.5S1	Linear Add	Düşey deplasmanı kontrolü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Dolu Gövdeli Kirişli Kubbe

4.1.1. Analiz sonuçları

4.1.1.1. Model analiz sonuçları

TBDY2018 4.7.3.4'e göre ampirik hâkim doğal titreşim periyodu $T_{pA} = C_t \cdot H_N^{3/4}$ olarak hesaplanmıştır. TBDY2018 4.7.3.2'e göre deprem hesabında dikkate alınacak hâkim periyod değeri ($1,4 \cdot T_{pA} sn$) değerinden küçük olmalıdır.

Çizelge 4.1. Deprem hesabında dikkate alınacak en yüksek doğal titreşim değerleri

Açıklık 80 M Kubbe	$T_{pA} sn$	$1,4 \cdot T_{pA} sn$
h=20	0,76	1,06
h=16	0,64	0,90
h=12	0,52	0,72
Açıklık 60 M Kubbe		
h=15	0,61	0,85
h=12	0,52	0,72
h=9	0,42	0,58

Model analizinde toplam kütle katılım oranları %95'ten az olmayacaktır (TBDY2018 4.8.1.2).

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0,95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{ty n}^{(Y)} \geq 0,95 m_t \quad \text{TBDY2018 (D 4.30)}$$

Bu durumlar dikkate alınarak yeterli titreşim modu sayısı seçilmiştir.

Kubbelerde düşey deprem hesabı yapılacağı için Z yönündeki kütle katılım oranı %95'ten az olmayacaktır. Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi Sap2000.V22 kütle katılım oranının sağlandığını görebiliriz. Bu durum bütün kubbe modellerinde geçerlidir.

Çizelge 4.2. Modal analizinde toplam kütle katılım oranların toplamı

MOD	NO	Periyod sn	SumUX	SumUY	SumUZ	SumRZ
MODAL	1	0,71635	0,17818	0,02954	7,307E-18	5,508E-15
MODAL	2	0,71635	0,20772	0,20772	6,059E-17	1,143E-14
MODAL	3	0,511618	0,20772	0,20772	5,678E-16	1,566E-13
MODAL	4	0,497245	0,20772	0,20772	1,848E-11	0,04656
MODAL	5	0,471154	0,20772	0,20772	1,849E-11	0,04656
MODAL	6	0,445629	0,20772	0,20772	1,85E-11	0,04656
MODAL	7	0,412856	0,3285	0,20776	1,851E-11	0,04656

Çizelge 4.2.in devamı

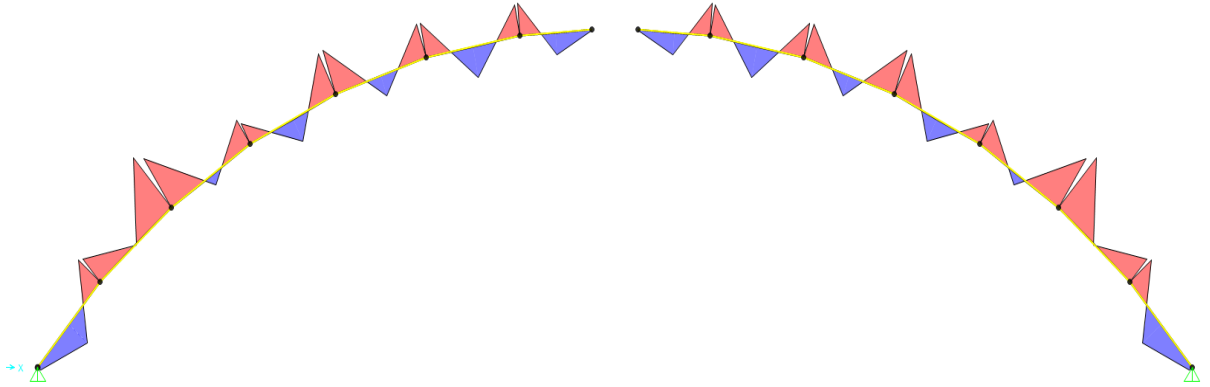
MODAL	8	0,412856	0,32854	0,32854	1,851E-11	0,04656
MODAL	9	0,391374	0,32854	0,32854	0,0000579	0,04656
MODAL	10	0,372893	0,33107	0,3781	0,0000579	0,04656
MODAL	11	0,372893	0,38063	0,38063	0,0000579	0,04656
MODAL	12	0,344608	0,38063	0,38063	0,0000579	0,04656
MODAL	13	0,336169	0,38063	0,38063	0,0000579	0,05278
MODAL	14	0,329792	0,42744	0,43841	0,0000579	0,05278
MODAL	15	0,329792	0,48522	0,48522	0,0000579	0,05278
MODAL	16	0,316702	0,48522	0,48522	0,0000579	0,05278
MODAL	17	0,297866	0,4861	0,50726	0,0000579	0,05278
MODAL	18	0,297866	0,50814	0,50814	0,0000579	0,05278
MODAL	19	0,295037	0,50814	0,50814	0,00005791	0,0723
MODAL	20	0,280654	0,50814	0,50814	0,00005791	0,0723
MODAL	21	0,269281	0,50814	0,50814	0,00005791	0,35765
MODAL	290	0,03076	0,96482	0,96482	0,94788	0,99387

4.1.1.2. Kubbe moment ve kuvvet diyagramları

Örnek analiz sonuçları D80 h20 6 çemberli kubbe sonuçlarından verilecektir.

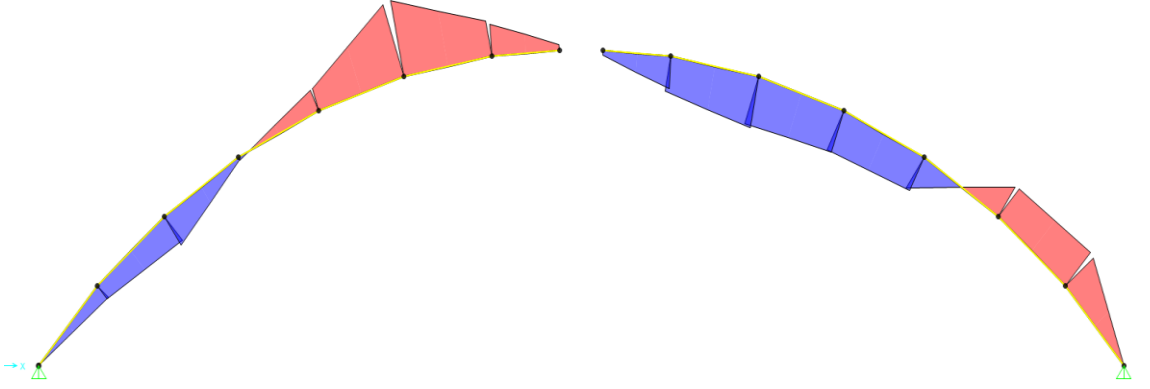
- M3-3 moment diyagramları

Ölü yük: En küçük moment değerleri -4,88 kN.m ve en büyük moment değeri 2,32 kN.m, moment diyagramında çemberlerin mesnet gibi davrandığı görülmektedir.



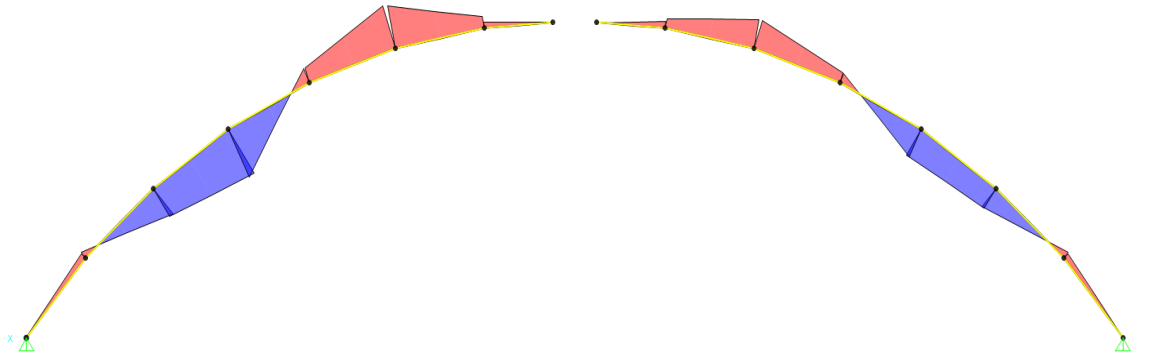
Şekil 4.1. Ölü yük altında M3-3 diyagramı

Düzgün yayılı olmayan kar yükü: En düşük moment değerleri -16 kN.m ve en büyük moment değeri 10 kN.m olarak görülmektedir.



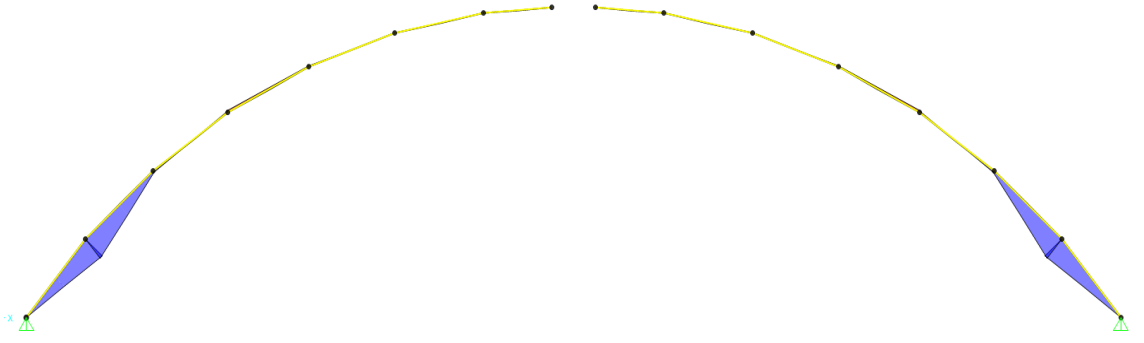
Şekil 4.2. Düzgün yayılı olamayan kar yükün M3-3 diyagramı

X yönünde Rüzgar yükü: En düşük moment değerleri -57 kN.m ve en büyük moment değeri 67 kN.m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.3. W_x rüzgâr yükünün M3-3 diyagramı

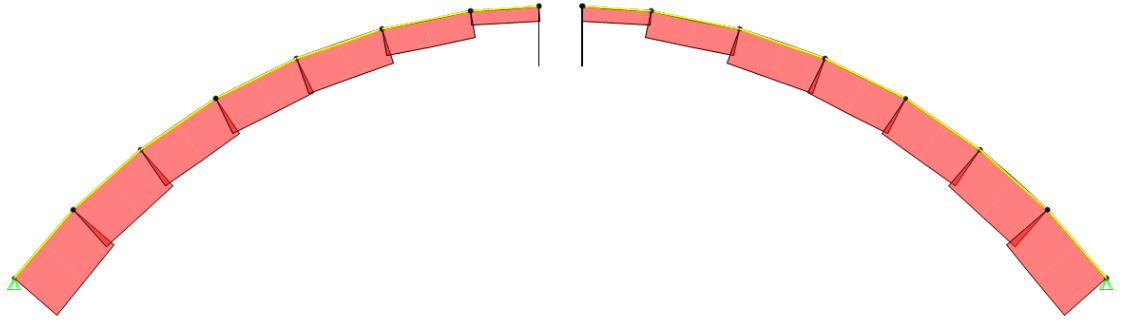
Isı değişim yükü: En düşük moment değerleri -33 kN.m ve En büyük moment değeri $2,4 \text{ kN.m}$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.4. Isı değişim yükü M3-3 diyagramı

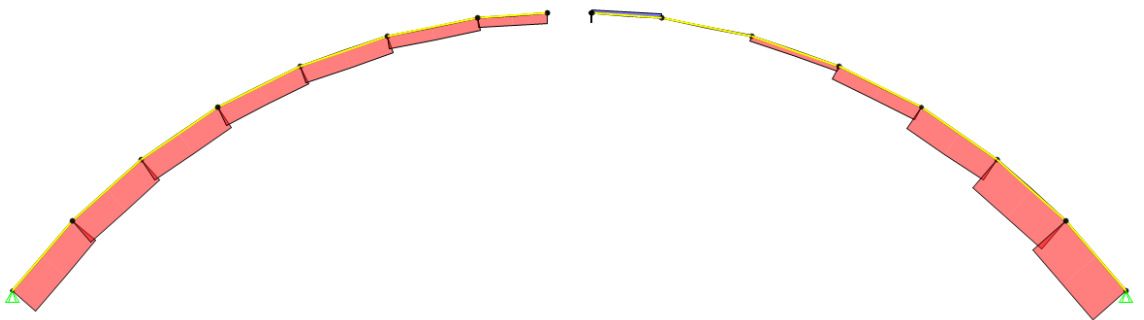
- P Eksenel kuvvet diyagramı

Ölü yükü: En düşük eksenel yükün değerleri -105 kN ve en büyük eksenel yük değeri -36 kN, kubbe elemanlarının moment değerlerine göre daha fazla eksenel yük taşıdığı görülmektedir.



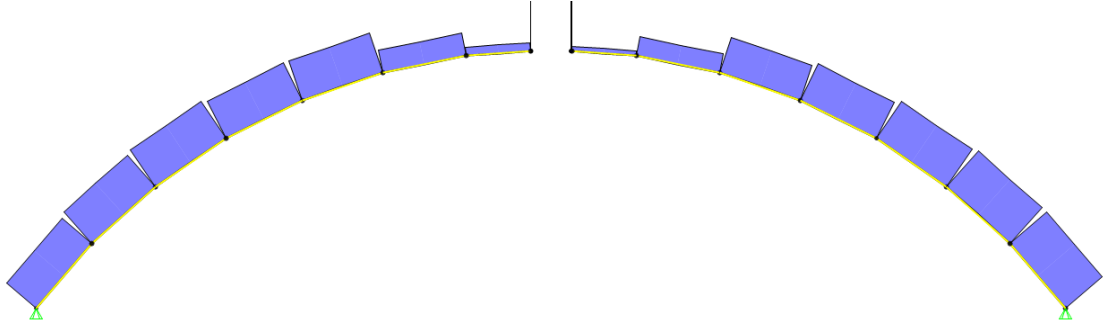
Şekil 4.5. Ölü yük eksenel yük diyagramı

Üniform olmayan kar yükü: min eksenel yük değerleri -72 kN ve max değeri -2,8 kN



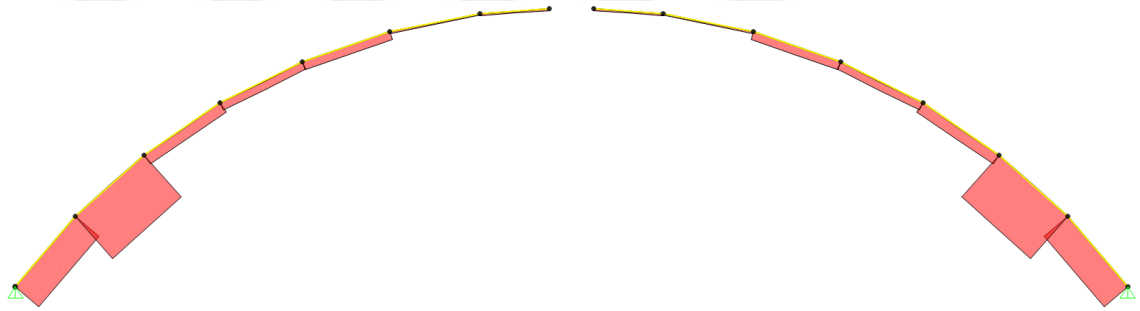
Şekil 4.6. Üniform olmayan kar yükün Eksenel yük diyagramı

X yöüne Rüzgâr yükü: min eksenel yükün değeri -13 kN ve max değeri 125 kN



Şekil 4.7. Wx rüzgâr yükünün eksenel yük diyagramı

Isı değişim yükü: min eksenel yükün değeri -16,5 kN ve max değeri -0,55 kN



Şekil 4.8. Isı değişim yükünün eksenel yük diyagramı

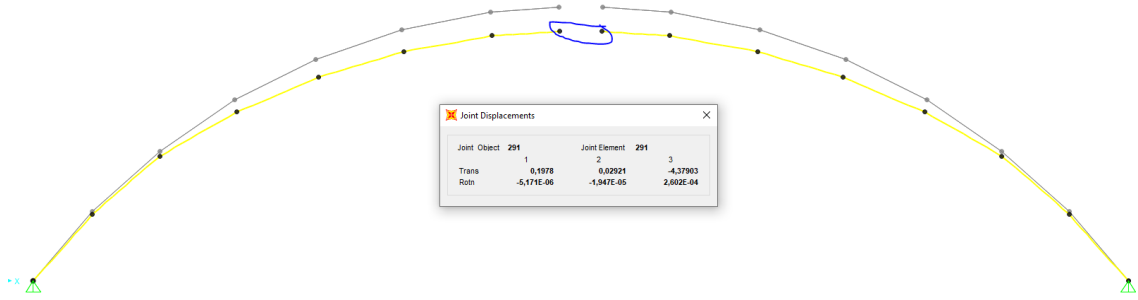
4.1.1.3. Yer değiştirmelerin kontrolü:

Bu bölümde yapılan yer değiştirme kontrolü bütün kubbeler üzerinde uygulanmıştır. Yer değiştirmeler D80 H20 6 çemberli kubbe üzerinde detaylı bir şekilde gösterilmiştir.

A. Düşey yer değiştirme kontrolü:

Düşey yer değiştirme kontrolü ÇYTHYAY 15.1.not (a)'ya göre G+0,3S kombinasyonu altında kontrol edilmesi gerekmektedir ve düşey yer değiştirme sınırı ÇYTHYAY 15.2'ye göre $D/300$ değerinden az olmalıdır.

Şekil 4.9'da kubbenin düşey deplasmanı $\delta_d = 18,3\text{mm} < \frac{80}{300} 10^3 = 266\text{mm}$

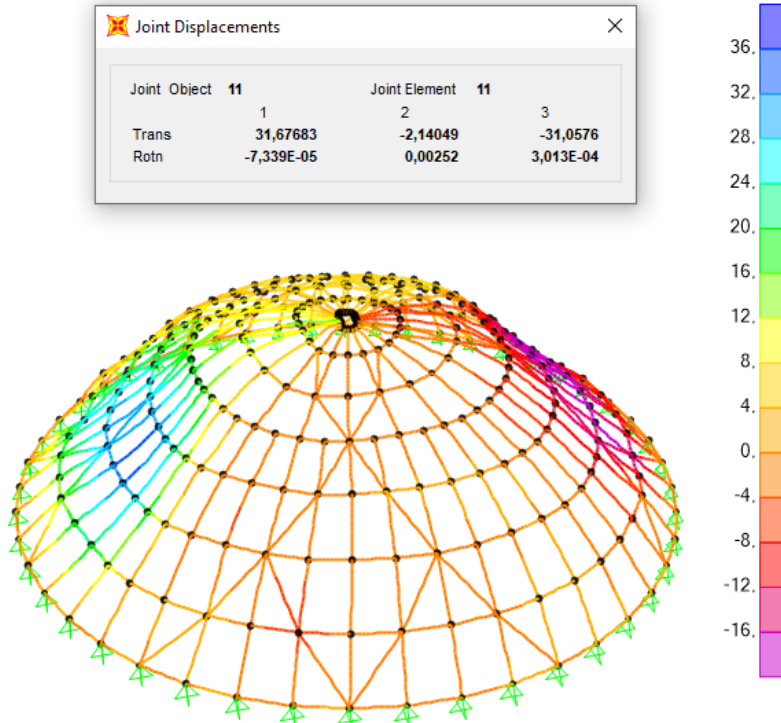


Şekil 4.9. Kubbenin G+0,5K yük altında düşey deplasman şekli

B. Yatay deplasman kontrolü:

Yatay yer değiştirme kontrolü ÇYTHYEEY 15.1.not (d)'ye göre G+0,5Q+W kombinasyonu altında kontrol edilmesi gerekmektedir ve yatay yer değiştirme sınırı ÇYTHYEEY 15.3'e göre binanın cephe kaplaması ve bina türüne göre kontrol edilmelidir.

Kubbede yatay yer değiştirme değeri $\delta_y = 31,6 \text{ mm} \Rightarrow \frac{31,6}{52.10^3} = 6,07.10^{-3}$ laminent cam kaplaması için uygun bir değerdir.



Şekil 4.10. Yatay yer değiştirme G+0,5Q+W

C. Etkin görelî kat ötelemenin kontrolü:

Azaltılmış kat ötelemesi $\Delta_i^{(x)} = u_i^{(x)} - u_{i-1}^{(x)} = 6,6 - 0 = 6,6 \text{ mm}$

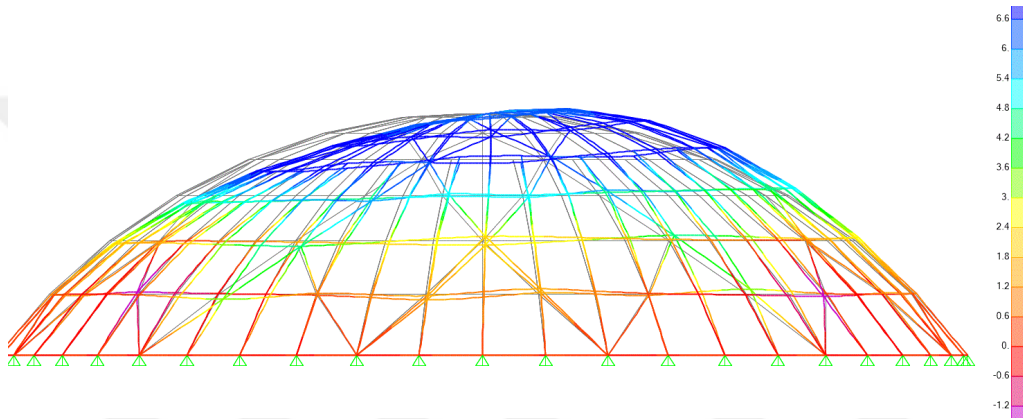
Etkin görelî kat ötelemesi $\delta_i^{(x)} = \frac{R}{I} \cdot \Delta_i^{(x)} = \frac{4}{1} \cdot 6,6 = 26,4 \text{ mm}$

TBDY2018 (D 4.34a)'göre $\lambda \frac{\delta_{i\max}^{(x)}}{h_i} \leq 0,008 \kappa \Rightarrow 0,45 \cdot \frac{24,6}{20 \cdot 10^3} = 0,00055 < 0,004$

$\kappa = 0,5$

TBDY2018 4.9.1.4

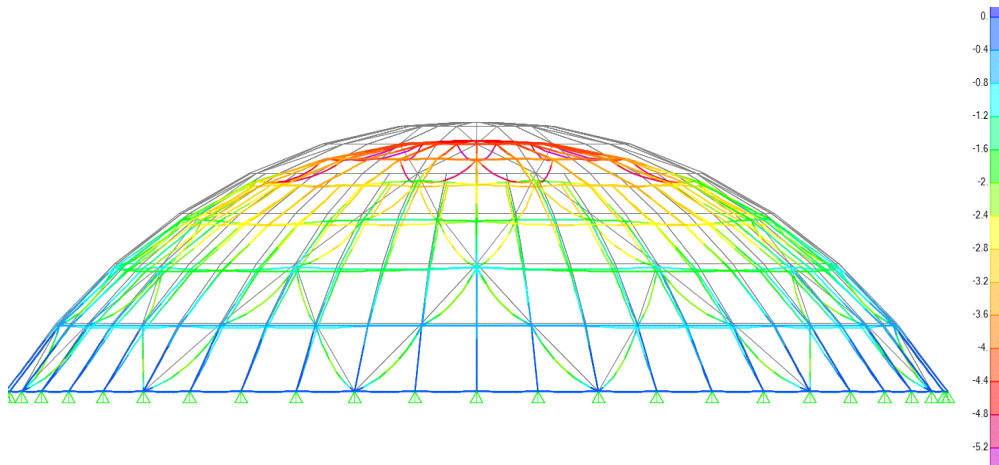
Etkin görelî kat ötelemenin kontrolü güvenlidir.



Şekil 4.11. Ex yatay öteleme şekli

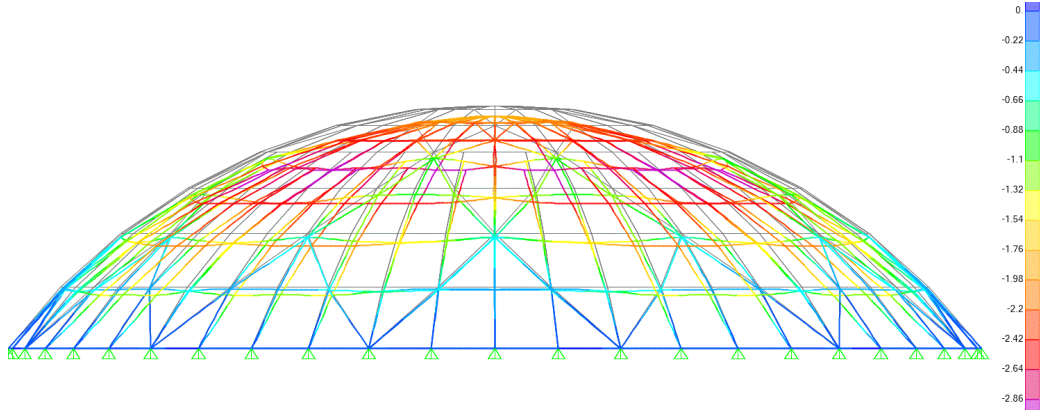
4.1.1.4. Kubbe yer değıştirme şekilleri

a) Ölü yük yer değıştirme



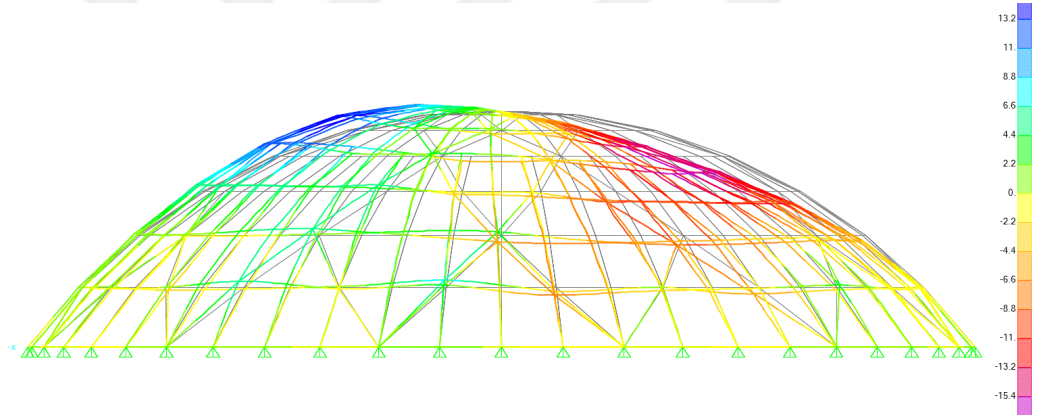
Şekil 4.12. Ölü yük yer değıştirme

b) Kar yükü yer değiştirme düzgün yayılı durumu



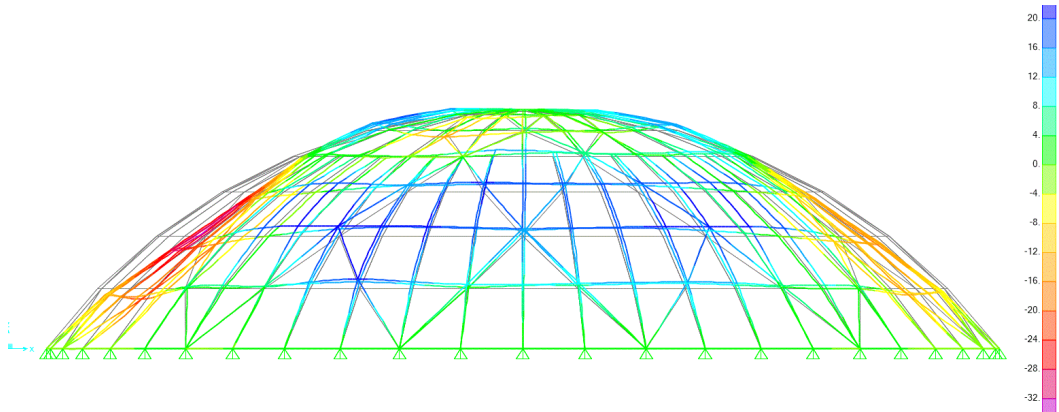
Şekil 4.13. Kar yükü yer değiştirme düzgün yayılı durumu

c) Kar yükü yer değiştirme düzgün yayılı olmayan durum



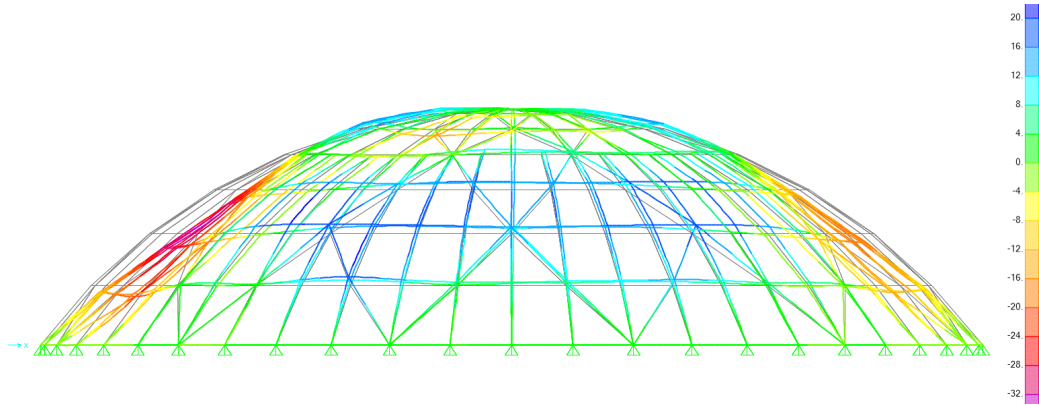
Şekil 4.14. Kar yükü yer değiştirme düzgün yayılı olmayan durum

d) +Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu



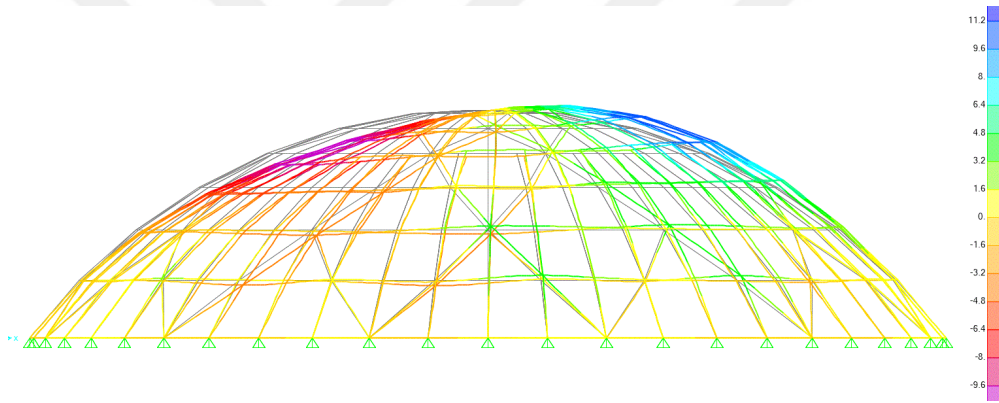
Şekil 4.15. +Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu

e) -Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu



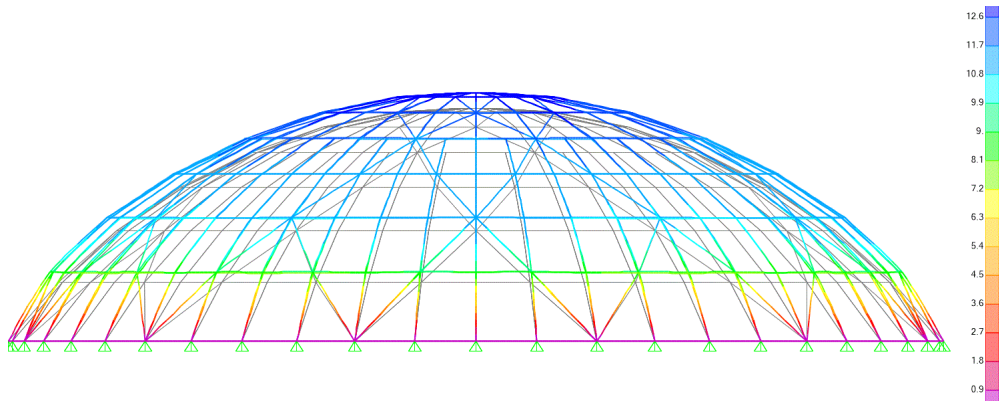
Şekil 4.16. -Rüzgâr yükü yer değiştirme durumu

f) Ex deprem yükü yer değiştirme durumu



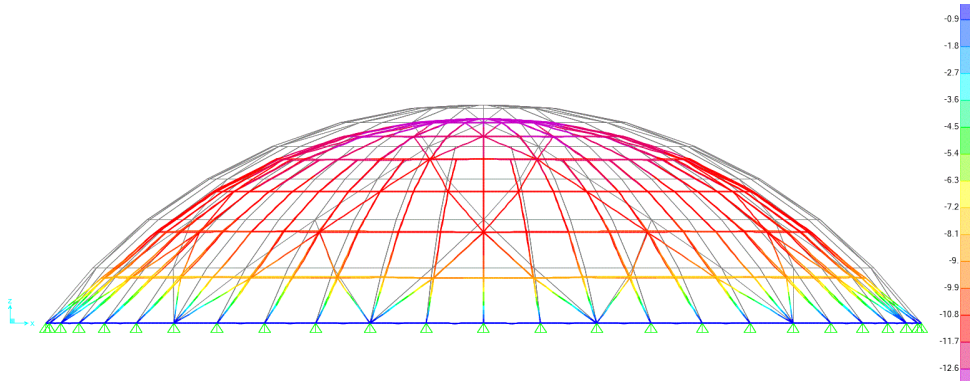
Şekil 4.17. Ex deprem yükü yer değiştirme durumu

g) +Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu



Şekil 4.18. +Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu

h) –Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu



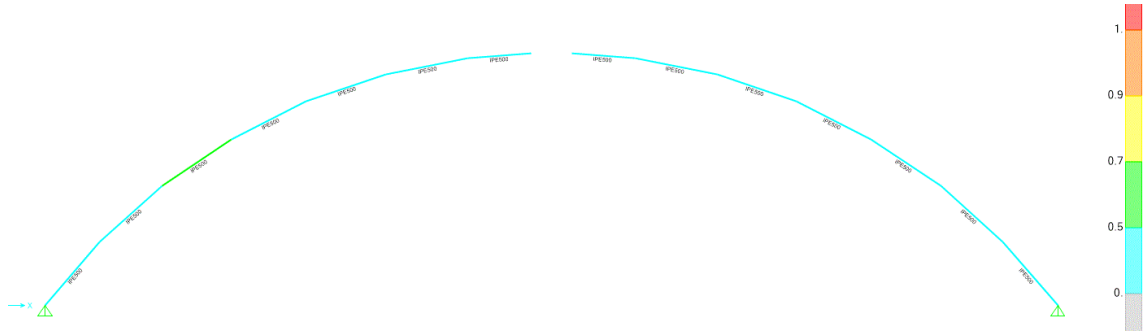
Şekil 4.19. –Isı sıcaklığı yükü yer değiştirme durumu

4.1.2. Sap2000.V22 ile tasarım

Sap2000.V22 programından alınan tasarım sonuçları programın eğrisel elemanların analizini yapmamasından dolayı kesin sonuçlar olmamaktadır. Analiz sonucunu belirginleştirmek adına eğri çizmek yerine doğrusal çizgilerden oluşan eğrisel eleman tasarımı yapılmıştır. Bu tasarım bir referans sonuç verebilmekle birlikte kesin tasarım parametrik tasarım sonucunda olacaktır.

Analiz ve tasarım kesiti IPE500

- YDKT



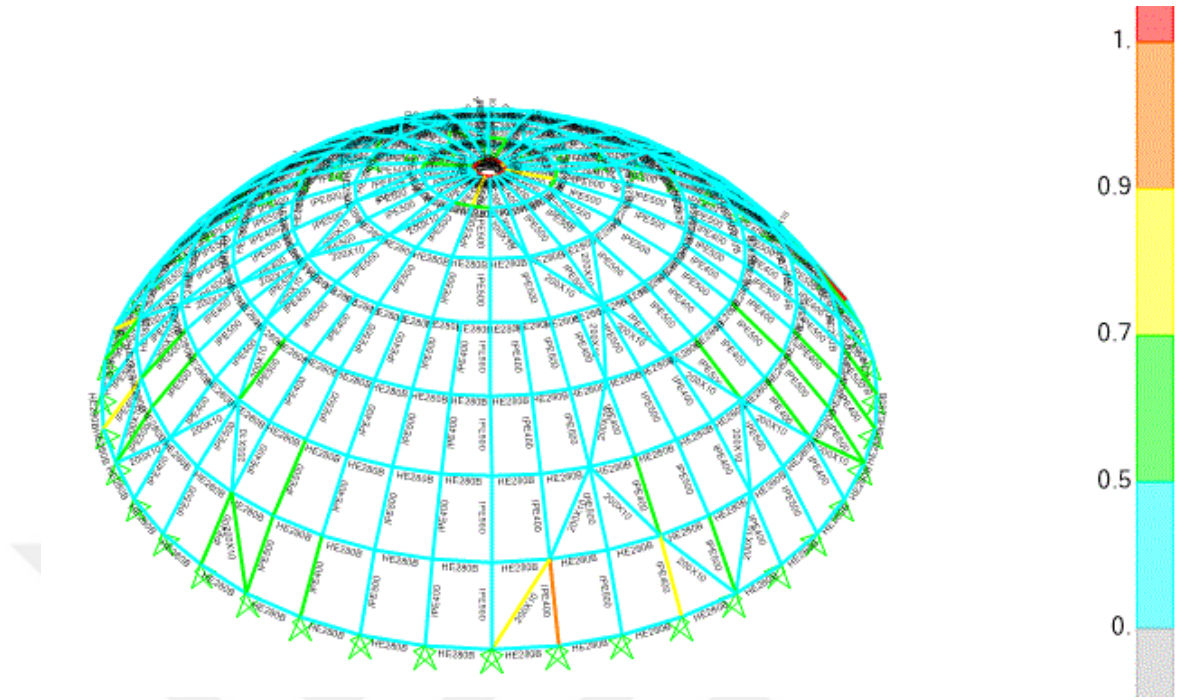
Şekil 4.20 YDKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+0.5S1+1.6WX+0.48WY)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
6.619	-219.583	89.985	0.725	-0.864	-0.179	-0.004
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)						
D/C Ratio:	0.505 = 0.275 + 0.222 + 0.008					
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.262
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1.	1.	1.096			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-219.583	799.9	2871.			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	89.985	359.893	543.015	328.39		
Minor Moment	0.725	83.16				
SHEAR CHECK						
			Vu	phi*Vn	Stress	Status
			Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	2.07	841.5	0.002	OK		
Minor Shear	0.225	950.4	0.	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-223.564	0.				

Şekil 4.21. YDKT kesit tasarım detayları

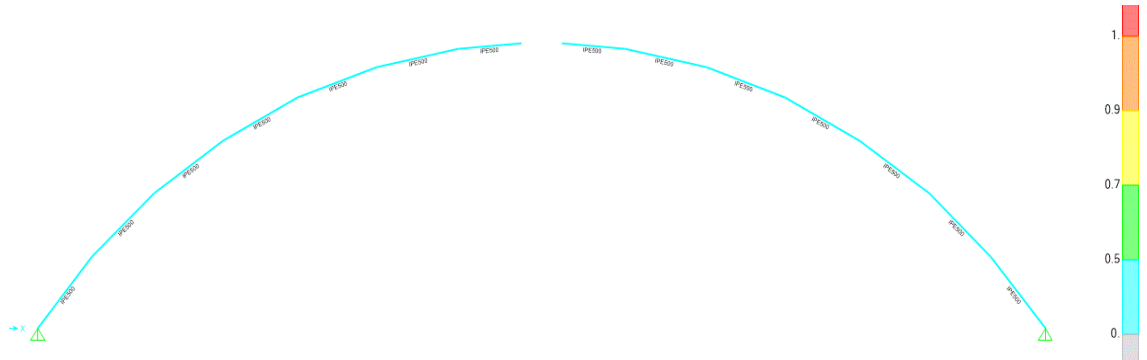
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+0.5S1+1.6WX+0.48WY)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
6.619	-351.418	52.305	-2.326	-6.221	0.697	-0.002
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)						
D/C Ratio:	0.912 = 0.714 + 0.162 + 0.036					
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.217
	Ltbb	Kltb	Cb			
LTB	1.	1.	1.588			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-351.418	492.189	2091.375			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	52.305	287.154	323.483	180.852		
Minor Moment	-2.326	56.678				
SHEAR CHECK						
			Vu	phi*Vn	Stress	Status
			Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	6.221	567.6	0.011	OK		
Minor Shear	0.697	721.71	0.001	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-355.336	0.				

Şekil 4.22. YDKT kritik kesit tasarım detayları



Şekil 4.23. YDKT kubbe tasarım sonucu

- GKT



Şekil 4.24. GKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu

SDC: D	I=1.	Rho=1.	Sds=0.5			
R=4.	Omega0=3.	Cd=5.5				
OmegaB=1.67	OmegaC=1.67	OmegaTY=1.67	OmegaTF=2.			
OmegaV=1.67	OmegaV-RI=1.5	OmegaVT=1.67				
A=0.012	I33=4.820E-04	r33=0.204	S33=0.002	Av3=0.005		
J=0.	I22=2.142E-05	r22=0.043	S22=2.142E-04	Av2=0.005		
E=210000000.	Fy=275000.	Ry=1.1	z33=0.002	Cw=1.254E-06		
RLLF=1.	Fu=430000.		z22=3.360E-04			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo G+0,75S1+0,75Wx+0,225Wy (ASD))						
Location	Pr	Mr33	Mr22	Vr2	Vr3	Tr
6.619	-181.069	41.227	0.337	0.416	-0.084	1.896E-04
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)						
D/C Ratio:	0.5 = 0.34 + 0.154 + 0.005					
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.253
	Lltb	Kltb	Cb			
LTB	1.	1.	1.089			
	Pr	Pnc/Omega	Pnt/Omega			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-181.069	532.202	1910.18			
	Mr	Mn/Omega	Mn/Omega	Mn/Omega		
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
Major Moment	41.227	237.863	361.287	218.49		
Minor Moment	0.337	55.329				
SHEAR CHECK						
			Vr	Vn/Omega	Stress	Status
			Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.416	561.	0.001	OK		
Minor Shear	0.106	632.335	0.	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-184.387	0.				

Şekil 4.25. GKT kesit tasarım detayları

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo G+0,75S1+0,75Wx+0,225Wy (ASD))

Location	Pr	Mr33	Mr22	Vr2	Vr3	Tr
6.619	-231.246	25.721	-1.116	-2.47	0.333	-8.762E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$\begin{aligned} \text{D/C Ratio: } & 0.856 = 0.706 + 0.124 + 0.026 \\ & = (\text{Pr}/\text{Pc}) + (8/9) (\text{Mr33}/\text{Mc33}) + (8/9) (\text{Mr22}/\text{Mc22}) \end{aligned}$$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.22

	Lt/b	Klt/b	Cb
LTB	1.	1.	1.534

	Pr Force	Pnc/Omega Capacity	Pnt/Omega Capacity
Axial	-231.246	327.471	1391.467

	Mr Moment	Mn/Omega Capacity	Mn/Omega No LTB	Mn/Omega Cb=1
Major Moment	25.721	184.56	215.225	120.327
Minor Moment	-1.116	37.71		

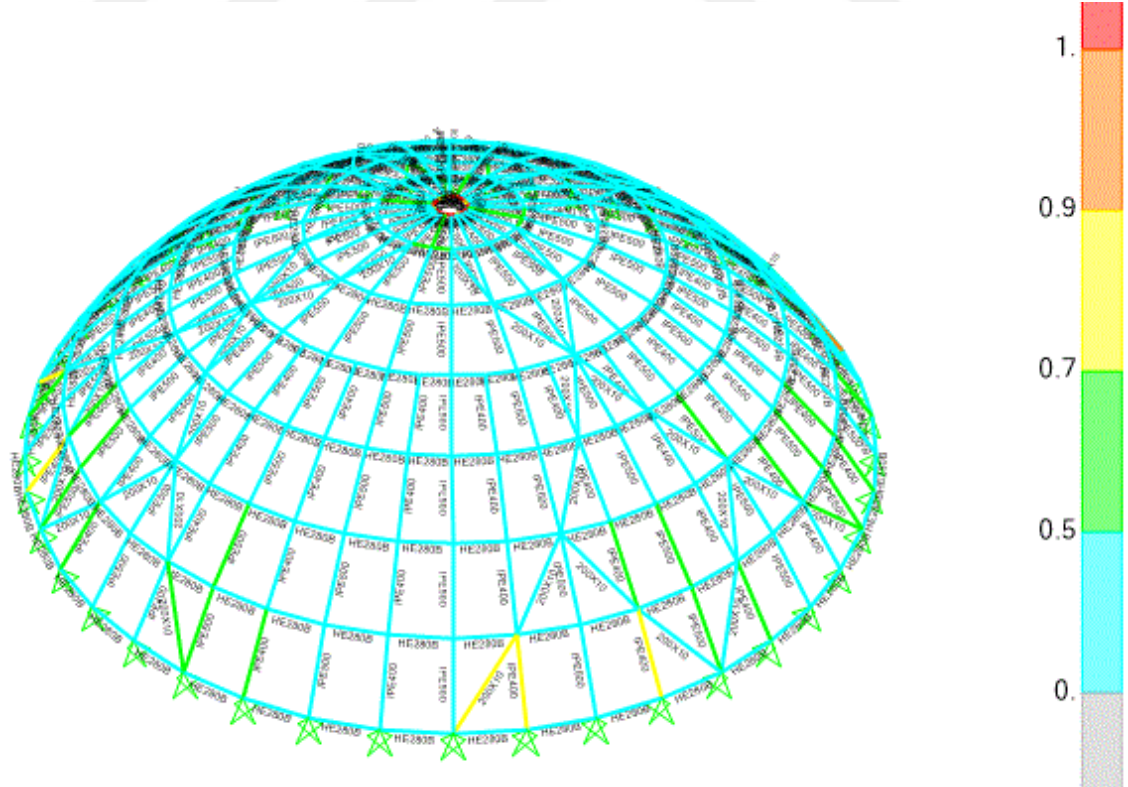
SHEAR CHECK

	Vr Force	Vn/Omega Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major Shear	2.47	378.4	0.007	OK
Minor Shear	0.333	480.18	0.001	OK

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

	P Comp	P Tens
Axial	-234.512	0.

Şekil 4.26. GKT kritik kesit tasarım detayları



Şekil 4.27. GKT kubbe tasarım sonucu

4.1.3. Parametrik tasarım

Eğrisel kirişlerin tasarımı “AISC Design Guide 33 Curved Member Design” yönetmeliğine göre ve Sap2000.V22’den alınan kesit tesirlerine göre yapılmıştır. Örnek tasarımda D80 H20 6 çemberi kubbe üzerine uygulanmıştır. Karşılaştırma aşamasında Excel programı yardımı ile hazırlanmış yay tasarımı programdan hızlı sonuç alarak kesit karşılaştırılması sonraki bölümlerde yapılmıştır.

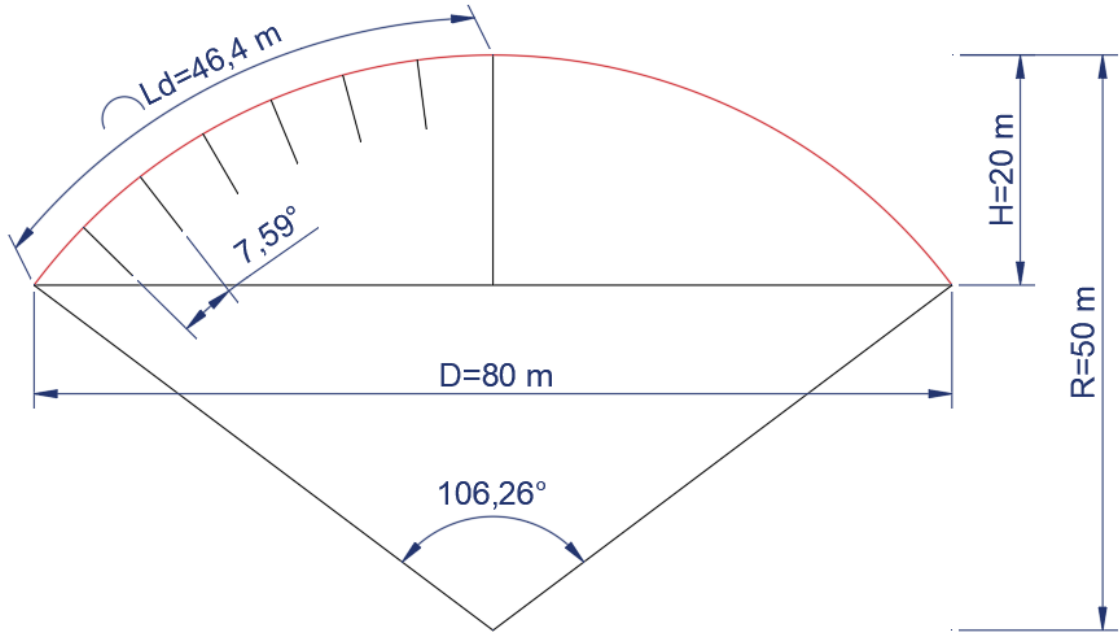
1) Kesit ve malzeme özellikleri

Çizelge 4.3. IPE500 kesit ve malzeme özellikleri

1-MALZEME					
F_y	275	mpa	E	210000	mpa
F_u	430	mpa			
KESİT ÖZELLİKLERİ					
A	11600	mm ²	d	500	mm
t_f	16	mm	$b_f/2t_f$	6,25	
S_x	1928000	mm ³	r_x	203,8	mm
r_y	42,97	mm			
c_w	1,254E+12	mm ⁶			
t_w	10,2	mm	b_f	200	mm
h/t_w	44,31373		I_x	482000000	mm ⁴
Z_x	2194000	mm ³	I_y	21420000	mm ⁴
h_o	484	mm	J	891000	mm ⁴

Çizelge 4.4. Kubbe ark geometrisi

ARK GEOMETRİSİ		
radius		
R	50000	mm
ark angel		
θ	106	derece
açıklık iz düşümü		
L_s	80000	mm
rise yükseklik		
H	20000	mm
developed arc length	arc uzunluğu	
L_d	46365	mm
H/L_s	0,25	



Şekil 4.28. D80 H20 6Çemberli kubbe çizim

2) Deplasman kontrolü

$$YDKT \Delta 1 = 55 < H/40 = 500\text{mm} \quad \text{Ok}$$

ADG33 SC6.3.1

Bu şart sağlandığı için birinci dereceden sonlu elemanlar analizi yeterlidir.

$$GKT \Delta 1 = 1,6 \cdot 25 = 40 < H/40 = 500\text{mm} \quad \text{Ok}$$

ADG33

SC6.3.1

Bu şart sağlandığı için birinci dereceden sonlu elemanlar analizi yeterlidir.

3) Kesit üzerine etkileyen yükler Sap2000.V22'den alınmıştır

Çizelge 4.5. Tasarımda dikkate alınacak kesit tesirleri

KONUM	Eksenel yük Pr N		moment Mrx N.mm		Kesme Vr N	
	Pu	Pa	Mux	Max	Vu	Va
Menetler	81000	120000	0	0	5700	4500
Tepe bağlantı	56000	51000	5000000	5000000	7940	2880
Açıklık 3	222000	182000	89000000	41000000	7940	5000
			90000000	40000000		
Açıklık 2	194000	158000	91000000	42000000	22600	11700
Açıklık 1	189000	146000	88000000	43000000	11000	6500
maksimum yük tesirleri	222000	182000	91000000	43000000	22600	11700

4) Kesit kompaktlık ve narinlik kontrolü

Kompaktlık kontrolü

ÇYTHYEY tablo 5.1B

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2.t_f} = 6,25 < \lambda_{pf} = 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 10,5$$

Başlık kompakt

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 44,3 < \lambda_{pw} = 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 104$$

Gövde kompakt

Narinlik kontrolü

$$\lambda_f = \frac{b_f}{2.t_f} = 6,25 < \lambda_{pf} = 0,56 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 15,4$$

Başlık narin değil

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 44,3 < \lambda_{pw} = 1,49 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 41$$

Gövde Narin

Sonuç kesit narindir.

5) Kesme dayanım kontrolü

$$\lambda_w = \frac{h}{t_w} = 44,3 \quad ve \quad \Phi = 2,24 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 61,9$$

ÇYTHYEY 10.2.a

$c_{v1} = 1$ çünkü $\lambda_w < \Phi \rightarrow$ Kesme dayanım hesabında gövde alanının tamamını alınabilir

$$A_w = h \cdot t_w = 5100 \text{ mm}^2$$

Kesit gövde alanı

$$V_n = 0,6 \cdot F_y \cdot c_{v1} \cdot A_w = 841500 \text{ N}$$

ÇYTHYEY 10.1

YDKT			GKT		
ϕV_n	841500	N	V_n/Ω	561000	N
Sonuç YDKT kesme	OK		Sonuç GKT kesme	OK	

6) Düzlem dışı bükülme

$$k_f = 1,04 \text{ hesaba dikkate alınan } k_f = 1$$

ADG33 6-28

$k_f = 1$ olduğundan, Başlık eğilmesi oluşmayacaktır ve etkin eğilme özellikleri, düz eleman özelliklerine eşittir ve düz eleman olarak hesabı yapılacaktır.

7) Düzlem içi eksenel burkulma

$$k_i = 0,55$$

ADG33 Tablo 6-2

$$\frac{L_c}{r} = \frac{k_i \cdot L_d}{r_x} = 125,1$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_c}{r_x}\right)^2} = 132,4 \text{ mpa} \quad \text{AISC D.E3-4}$$

$$\frac{L_c}{r} < 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 130,15 \rightarrow F_{cr} = \left(0,658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) \cdot F_y = 115,3 \text{ mpa} \quad \text{AISC D.E3-2}$$

$$P_{ni} = F_{cr} \cdot A_g = 1337,48 \text{ kN} \quad \text{AISC D.E3-1}$$

YDKT			GKT		
ϕP_{ni}	1203	kN	P_{ni}/Ω	800,6	kN

8) İkinci dereceden deplasman kontrolü

$$P_{ei} = F_e \cdot A_g = 1535,8 \text{ kN} \quad \Delta_2 = \frac{\Delta_1}{\left(1 - \frac{P_{amax}}{P_{ei}}\right)} = 28,36 \text{ mm}$$

$$\Delta_2 = 1,6 \cdot 28,36 = 45,37 < H/40 = 500 \text{ mm} \quad \text{Ok} \quad \text{ADG33 D 6-3}$$

9) Düzlem dışı eksenel burkulma

Kontrolde kullanacağımız 3 açıklık geometri ölçüleri aynı olduğu için sonraki hesaplar bu 3 açıklık için geçerlidir

$$\theta_b = 7,59 \quad L_{db} = 6600 \text{ mm} \quad G = 81000 \text{ mpa} \quad c_w = 1,254E + 12$$

$$C_o = \frac{1}{I_o} \left[\frac{GJ}{E} + c_w \left(\frac{\pi}{L_{db}} \right)^2 \right] \quad \text{ADG33 D 6-8}$$

$$C_o = \frac{1}{21420000} \left[\frac{81000 \cdot 891000}{210000} + 1,254e^{12} \left(\frac{\pi}{6600} \right)^2 \right] = 0,02926$$

$$K_o = \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{C_o} \left(\frac{\theta_b}{\pi} \right)^2}}{1 - \left(\frac{\theta_b}{\pi} \right)^2} = 1,0316 \quad \text{ADG33 D 6-6}$$

$$\frac{L_c}{r} = K_o \frac{L_{db}}{r} = 158,6$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L_c}{r_x}\right)^2} = 82,39 \text{ mpa} \quad \text{AISC D.E3-4}$$

$$\frac{L_c}{r} > 4,71 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 130,15$$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_e = 72,25 \text{ mpa}$$

$$P_{no} = F_{cr} \cdot A_g = 838,1 \text{ kN}$$

YDKT			GKT		
ϕP_{no}	754300	kN	P_{no}/Ω	501800	kN
AÇIKLIK 1					
$\phi P_{no} > P_{U1}$	OK		$P_{no}/\Omega > P_{a1}$	OK	
AÇIKLIK 2					
$\phi P_{no} > P_{U2}$	OK		$P_{no}/\Omega > P_{a2}$	OK	
AÇIKLIK 3					
$\phi P_{no} > P_{U3}$	OK		$P_{no}/\Omega > P_{a3}$	OK	

10) İkinci derece etkileri

ADG33 D 6-10

YDKT		GKT	
$B_i = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_u}{P_{ei}}}$		$B_i = \frac{1}{1 - \alpha \frac{P_a}{P_{ei}}}$	
α	1	α	1,6
B_i	1,169	B_i	1,234

Elemanlara etkileyen moment değerleri B_i değeri ile çarparak artırılır ve böylece ikinci derece etkileri dikkate alınmış olur

KONUM	Moment Mrx2 N.mm	
	Mux	Max
Mesnetler	0	0
Tepe bağlantı	5845000	6170000
Açıklık 3	10404100	50594000
	105210000	49360000
Açıklık 2	106379000	51828000
Açıklık 1	102872000	53062000
Maksimum yük tesirleri	106379000	53062000

11) İkinci derece etkisinden eğilme mukavemetin kontrolü

ADG33 6.4.2 dikkat ederek

$$M_{es} = \frac{\pi}{L_{db}} \sqrt{EI_o GJ + \left(\frac{\pi E}{L_{db}}\right)^2 I_o c_w} = 366052608 \text{ N.mm}$$

ADG33 D6-13

$$C_y = EI_o = 4,4982e^{12}$$

ADG33 D6-11b

$$C_z = GJ + \frac{\pi^2 E c_w}{L_{db}^2} = 1,318e^{11}$$

ADG33 D6-11c

$$C_a = \frac{C_y + C_z}{2 \cdot R \cdot M_{es}} = 0,12648$$

ADG33 D6-12b

Açıklıkta moment yön değiştirmedeği için $C_{bs} = 1$ alınabilir

$$C_{bi} = C_{bs} \left(\sqrt{1 + C_a^2 - \frac{C_y C_z}{R^2 M_{es}^2}} + C_a \right) = 1,134$$

ADG33 D6 – 12a

$$L_{db} = 6600 \text{ mm}$$

$$C_b = C_{bi}$$

$$L_p = 1,76 \cdot r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2087 \text{ mm}$$

$$i_{ts} = \frac{b_f}{\sqrt{12 \left(1 + \frac{h \cdot t_w}{6 \cdot b_f \cdot t_f} \right)}} = 51,32 \text{ mm}$$

$$L_r = 1,95 i_{ts} \frac{E}{0,7 F_y} \sqrt{\frac{J_c}{W_{ex} h_o} + \left(\frac{J_c}{W_{ex} h_o} \right)^2 + 6,76 \left(\frac{0,7 F_y}{E} \right)^2} = 6568 \text{ mm}$$

$$L_r < L_b$$

$$F_{cr} = \frac{C_b \pi^2 E}{\left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} \sqrt{1 + 0,078 \frac{J_c}{W_{ex} h_o} \left(\frac{L_b}{i_{ts}} \right)^2} = 145,8 \text{ mpa}$$

ÇYTHY EY D9,5

$$M_n = F_{cr} \cdot W_{ex} = 281102400 \text{ N.mm} = 281,1 \text{ kN.m}$$

$$M_p = F_y \cdot W_{px} = 515590000 \text{ N.mm} = 515,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{nmax} = 281102400 \text{ N.mm}$$

YDKT			GKT		
ϕM_n	253	kN.m	M_n / Ω	168,3	kN.m
Açıklık 1			Açıklık 1		
$\phi M_n > M_{u1}$	OK		$M_n / \Omega > M_{a1}$	OK	
Açıklık 2			Açıklık 1		
$\phi M_n > M_{u2}$	OK		$M_n / \Omega > M_{a2}$	OK	
Açıklık 3			Açıklık 3		
$\phi M_n > M_{u3}$	OK		$M_n / \Omega > M_{a3}$	OK	

12) Bileşik etkiler kontrolü ÇYTHY 11.1

Düzlem içi bileşik etkilerin kontrolü

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,185 < 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,526 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,227 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,516 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Plan dışı açıklık 1

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,25 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,612 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,29 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,571 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Plan dışı açıklık 2

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,257 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,631 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,314 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,588 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Plan dışı açıklık 3

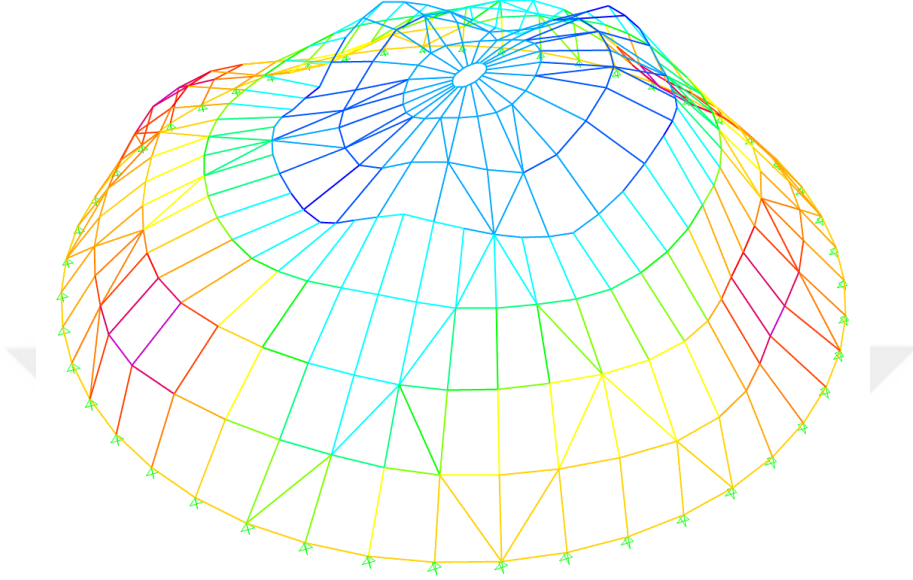
$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,294 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,526 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,362 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,638 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

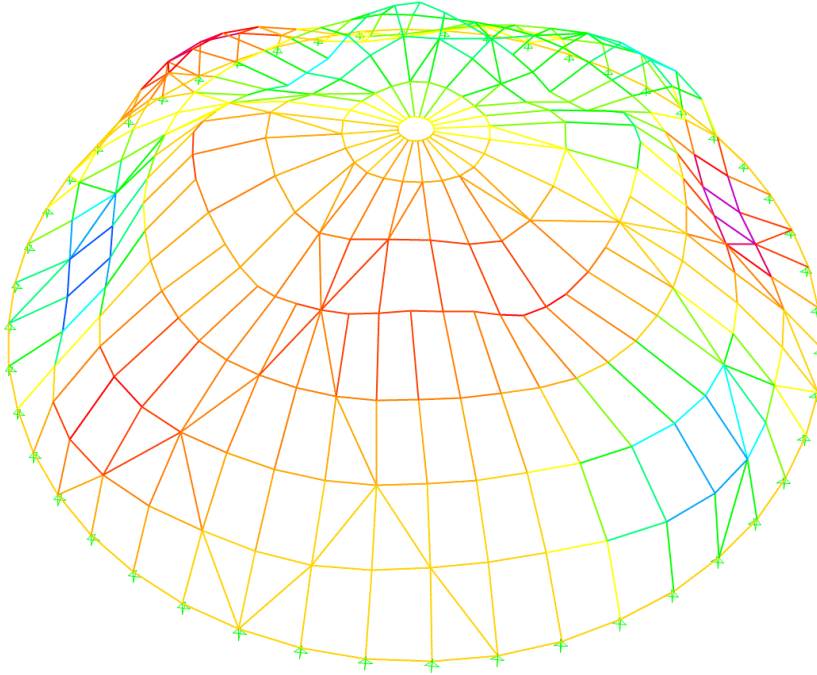
Parametrik tasarım sonucu ile Sap2000.V22 tasarım sonucu birbirine çok yakın değerler olarak bulunmuştur. Düzlem dışı burkulma kontrolünde $K_f = 1$ olduğundan düz eleman olarak tasarımı kabul edilmiştir. Bu durum Sap2000.V22 tasarımının kesinliğini göstermez. Hesaplarda dikkate alınan ikinci mertebe etkilerinden dolayı kesit tesirlerinin artırma katsayısı Sap2000.V22 tasarımda dikkate almamakta bundan dolayı eğrisel eleman tasarımı parametrik tasarım değerleri dikkate alınarak devam edecektir.

4.1.4. Burkulma kontrolü

Burkulma kontrolü Sap2000.V22 programı ile yapılarak burkulma katsayısı hesaplanır. Hesaplanan burkulma katsayısı en az 1'den büyük olmalıdır.



şekil 4.29. Burkulma 1.mod, Burkulma katsayısı =10,73 >1



şekil 4.30. Burkulma 3.mod, Burkulma katsayısı =10,95

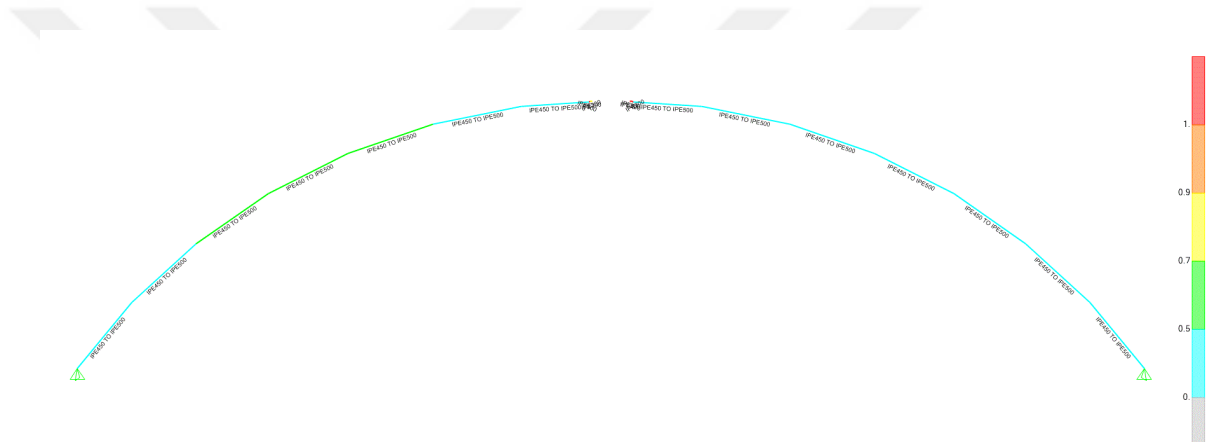
4.2. Petek Kirişli Kubbe

Kubbe sistemleri dolu gövdeli kirişin hesaplarına göre kesitlerde eksenel yük açısından büyük değerlere sahiptir. Petek kirişli sistemlerin çok fazla efektif olacağı beklenmemektedir. Bunun nedeni petek kirişin ataleti artarken kesitin alanı düşmektedir buda kesitin eksenel yük kapasitesine olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu elverişsiz durumu aşabilmek için kirişlerin ilk açıklıklarında ve maksimum eksenel yük olduğu yerlerde petek kirişin boşlukları kapatarak eksenel yük kapasitesi arttırmaya çalışılmıştır.

4.2.1. Sap2000.V22 tasarım

Analiz ve tasarım kesiti IPE450 den Petek h=500

- YDKT



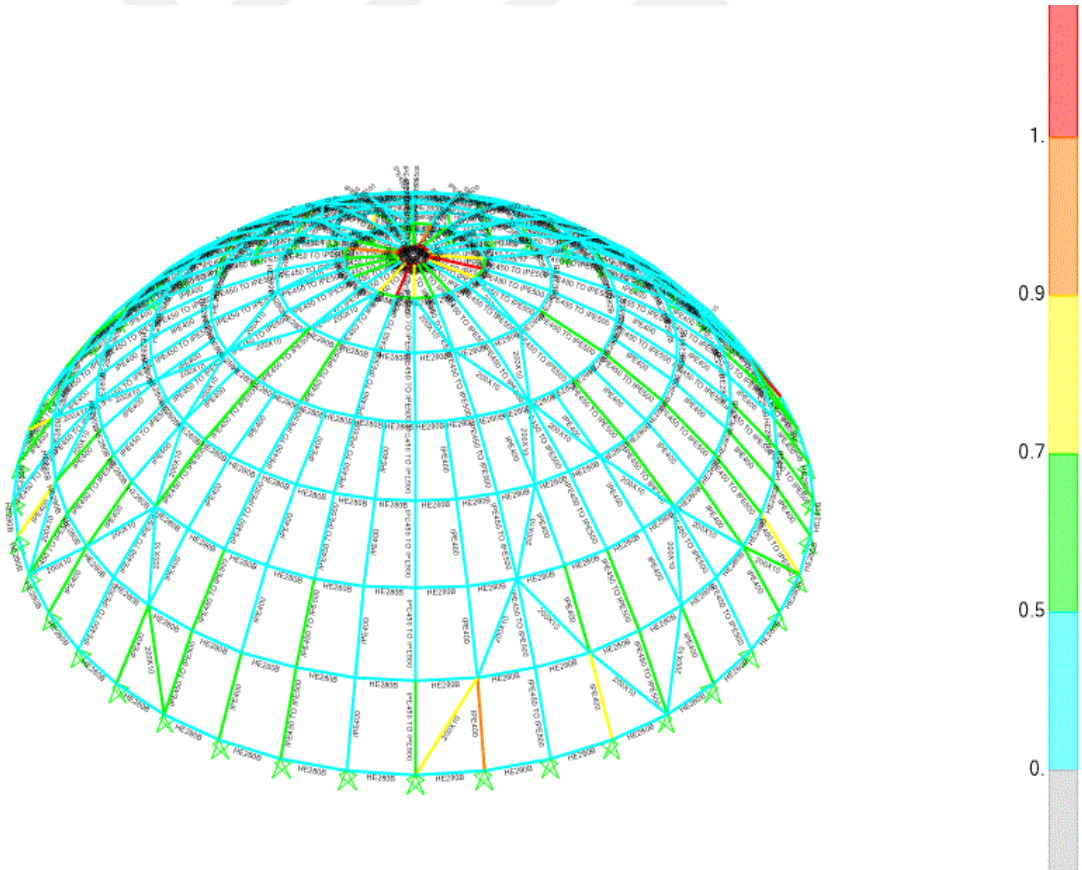
Şekil 4.31. YDKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo 1.2G+0.5S1+1.6WX+0.48WY)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
6.619	-199.225	84.153	0.607	-2.08	-0.163	-0.002
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)						
D/C Ratio:	0.547 = 0.34 + 0.194 + 0.013					
	= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)					
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.24
LTB						
	Lltb	Kltb	Cb			
	1.	1.	1.132			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
	Force	Capacity	Capacity			
Axial	-199.225	585.639	2160.358			

Şekil 4.32. YDKT kesit tasarım detayları

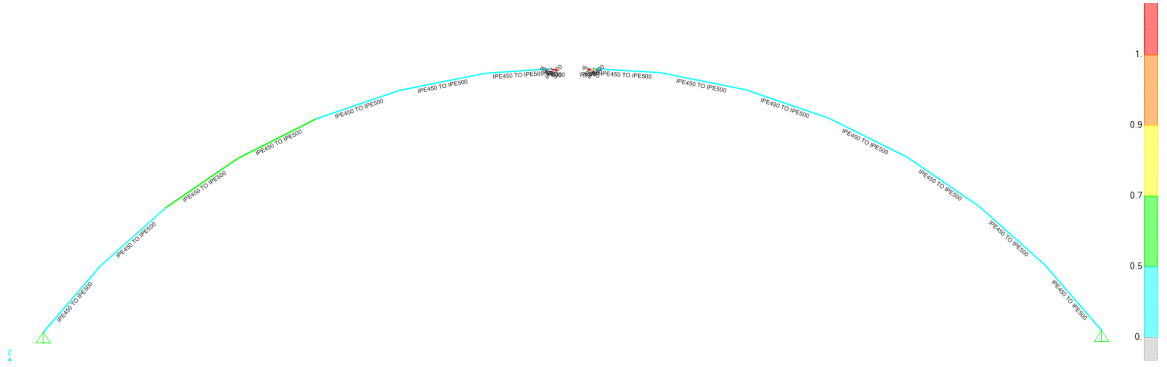
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt	
	Force	Capacity	Capacity	
Axial	-199.225	585.639	2160.358	
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	84.153	386.472	386.472	386.472
Minor Moment	0.607	41.736		
SHEAR CHECK				
			Vu	phi*Vn
			Force	Capacity
Major Shear	3.328	936.4	0.004	OK
Minor Shear	0.187	742.177	0.	OK
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS				
	P	P		
	Comp	Tens		
Axial	-202.221	0.		

Şekil 4.33. YDKT kritik kesit tasarım detayları



Şekil 4.34. YDKT kubbe tasarım sonucu

- GKT



Şekil 4.35. GKT Sap2000.V22 eğrisel tasarım sonucu

AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)			
Units : KN, m, C			
Frame : 3	X Mid: 15.241	Combo: G+0,75S1+0,75Wx+Design Type: Brace	
Length: 6.619	Y Mid: 40.844	Shape: IPE450 TO IPE500Frame Type: SMF	
Loc : 6.619	Z Mid: 11.285	Class: Non-Compact	Princpl Rot: 0. degrees
Provision: ASD	Analysis: Direct Analysis		
D/C Limit=0.95	2nd Order: General 2nd Order	Reduction: Tau-b Fixed	
AlphaPr/Py=0.109	AlphaPr/Pe=0.353	Tau_b=1.	EA factor=0.8 EI factor=0.8
Ignore Seismic Code? No	Ignore Special EQ Load? No	D/P Plug Welded? Yes	
SDC: D	I=1.	Rho=1.	Sds=0.5
R=4.	Omega0=3.	Cd=5.5	
OmegaB=1.67	OmegaC=1.67	OmegaTY=1.67	OmegaTF=2.
OmegaV=1.67	OmegaV-RI=1.5	OmegaVT=1.67	
A=0.009	I33=3.826E-04	r33=0.209	S33=0.002
J=0.	I22=1.568E-05	r22=0.042	S22=1.686E-04
E=210000000.	Fy=275000.	Ry=1.1	z33=0.002
RLLF=1.	Fu=430000.		z22=2.603E-04
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo G+0,75S1+0,75Wx+0,225Wy (ASD))			
Location	Pr	Mr33	Mr22
6.619	-163.702	38.78	0.267
			Vr2
			-0.474
			Vr3
			-0.073
			Tr
			3.491E-04

Şekil 4.36. GKT kesit tasarım detayları

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo G+0,75S1+0,75Wx+0,225Wy (ASD))

Location	Pr	Mr33	Mr22	Vr2	Vr3	Tr
6.619	-163.702	38.78	0.267	-0.474	-0.073	3.491E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a)

$$D/C \text{ Ratio: } 0.563 = 0.42 + 0.134 + 0.009$$

$$= (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)$$

AXIAL FORCE & BIAxIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.	1.	1.	1.	1.	1.
Minor Bending	1.	1.	1.	1.	1.	0.228

	L1tb	K1tb	Cb
LTB	1.	1.	1.136

	Pr Force	Pnc/Omega Capacity	Pnt/Omega Capacity
Axial	-163.702	389.646	1437.364

	Mr Moment	Mn/Omega Capacity	Mn/Omega No LTB	Mn/Omega Cb=1
Major Moment	38.78	257.134	257.134	257.134
Minor Moment	0.267	27.768		

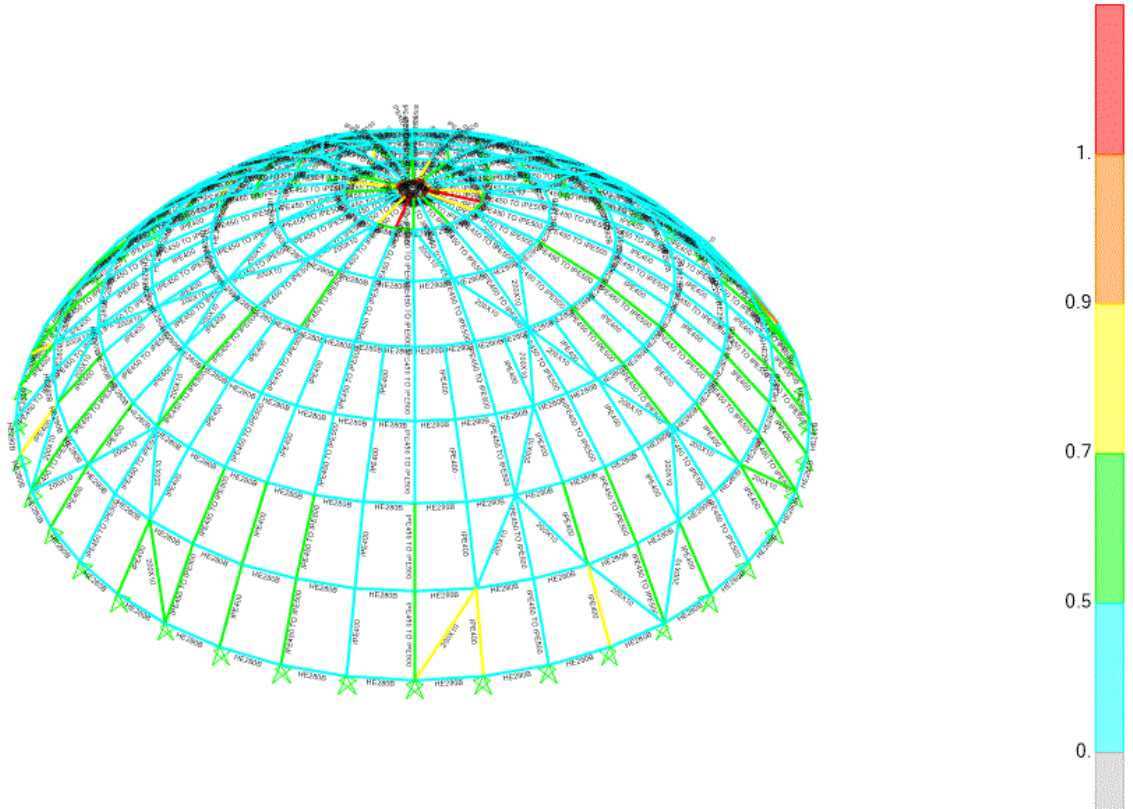
SHEAR CHECK

	Vr Force	Vn/Omega Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major Shear	1.059	623.021	0.002	OK
Minor Shear	0.084	493.797	0.	OK

BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS

	P Comp	P Tens
Axial	-166.199	0.

Şekil 4.37. GKT kritik kesit tasarım detayları



Şekil 4.38. GKT kubbe tasarım sonucu

4.2.2. Parametrik tasarım

Eğrisel kirişlerin tasarımı “AISC Design Guide 33 Curved Member Design” yönetmeliğine göre ve Sap2000.V22’den alınan kesit tesirlerine göre yapılmıştır. Ayrıca petek kirişlerin boşluk çevresindeki gerilmeler ve geometrik kesim detayları için ACB+ programı kullanılmıştır. Örnek tasarımda D80 H20 6 çemberi kubbe üzerine uygulanmıştır

13) Kesit ve malzeme özellikleri

Çizelge 4.6. IPE500 kesit ve malzeme özellikleri

1-MALZEME					
F_y	275	mpa	E	210000	mpa
F_u	430	mpa			
KESİT ÖZELLİKLERİ					
A	8728	mm ²	d	500	mm
t_f	14,6	mm	$b_f/2t_f$	6,5	
S_x	1561504	mm ³	r_x	209	mm
r_y	42,3	mm			
c_w	1,254E+12	mm ⁶			
t_w	9,4	mm	b_f	190	mm
h/t_w	48,38		I_x	382568699	mm ⁴
Z_x	1761552	mm ³	I_y	15682430	mm ⁴
h_o	484	mm	J	475285	mm ⁴

Çizelge 4.7. Kubbe ark geometrisi

EĞRİSEL GEOMETRİ ÖZELLİKLERİ		
radius		
R	50000	mm
ark angel		
θ	106	derece
açıklık iz düşümü		
L_s	80000	mm
rise yükseklik		
H	20000	mm
developed arc length	arc uzunluğu	
L_d	46365	mm
H/L_s	0,25	

Hazırlanmış Excel hesap programı yardımı ile petek eğrisel elemanın kapasite sonuçları yapılan hesaplar dikkate alınarak gösterilmiştir.

- Bileşik etkiler kontrolü ÇYTHY 11.1

Düzlem içi bileşik etkilerin kontrolü

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,235 < 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{2P_c} + \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,806 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,289 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,725 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Plan dışı açıklık 1

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,343 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,879 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,398 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,822 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Plan dışı açıklık 2

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,352 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,907 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,431 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,845 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

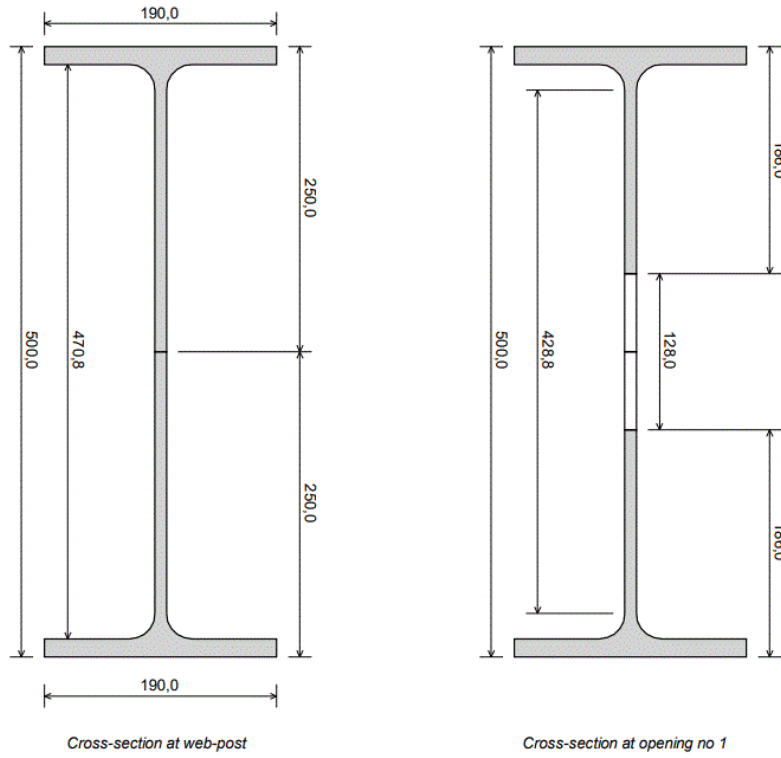
Plan dışı açıklık 3

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{\phi P_{ni}} = 0,403 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,968 \leq 1 \quad \text{YDKT OK}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{P_u}{P_{ni}/\Omega} = 0,496 > 0,2 \rightarrow \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) = 0,913 \leq 1 \quad \text{GKT OK}$$

Ayrıca maksimum moment değerlerine göre petek kirişin boşlukların çevresinde oluşan gerilmelerin kontrolü ACB+ programı yardımı ile kontrol edilmiştir ve sonuçlar gösterilmiştir.

Kontroller eğrisel elemanın maksimum moment değerine göre yapılmıştır.



Şekil 4.39 IPE450 TO IPE500 kesit detayı

Checkings of net sections at openings

Resistance to bending moment (Open. no 1 - Comb. U1) :	$\Gamma_{M,max}$	= 0,009	< 1	S
Resistance to normal force (Open. no 37 - Comb. U1) :	$\Gamma_{N,max}$	= 0,084	< 1	S
Resistance to shear force (Open. no 44 - Comb. U1) :	$\Gamma_{V,max}$	= 0,046	< 1	S
Resistance to M+N interaction (Open. no 37 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MN,max}$	= 0,084	< 1	S
Resistance to N+V interaction (Open. no 37 - Comb. U1) :	$\Gamma_{NV,max}$	= 0,084	< 1	S
Resistance to M+V interaction (Open. no 1 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MV,max}$	= 0,009	< 1	S
Resistance to M+N+V interaction (Open. no 37 - Comb. U1) :	$\Gamma_{MNV,max}$	= 0,084	< 1	S

Web checkings

Shear buckling check required (Post no 1 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vbw,max}$	= 0,016	< 1	S
--	--------------------	---------	-----	---

Posts checkings

Resistance to shear (Post no 1 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vh,max}$	= 0,073	< 1	S
Resistance to buckling (Post no 72 - Comb. U1) :	$\Gamma_{b,max}$	= 0,064	< 1	S
Minimum throat thickness (Post no 72 - Comb. U1) :	a_{min}	= 0,29 mm		

Warning: the throat thickness is assessed by assuming two welds

The total thickness of welds should be at least 0,58 mm

Warning : the throat thickness of the fillet weld must be at least 3 mm (EC3)

Gross sections checkings

Resistance to bending (Post no 36 - Comb. U1) :	$\Gamma_{Mg,max}$	= 0,082 (Classe 1)	< 1	S
Resistance to shear (Left end - Comb. U1) :	$\Gamma_{Vg,max}$	= 0,015	< 1	S

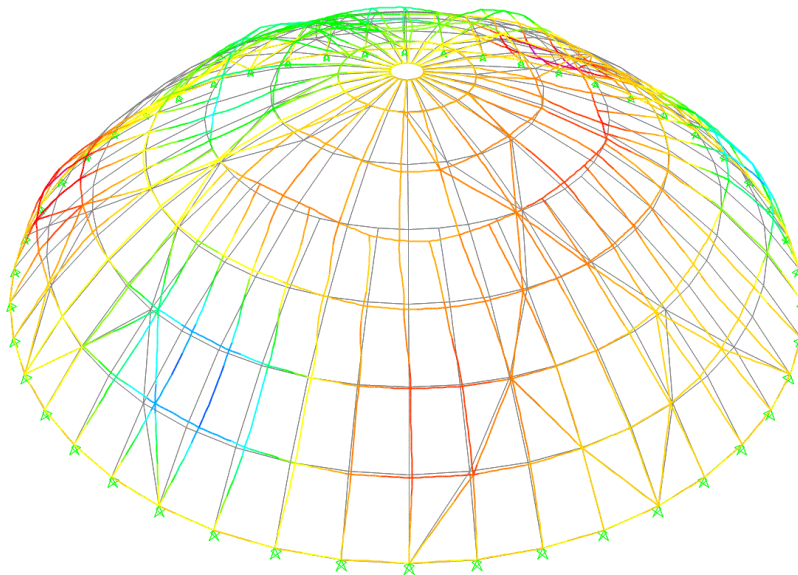
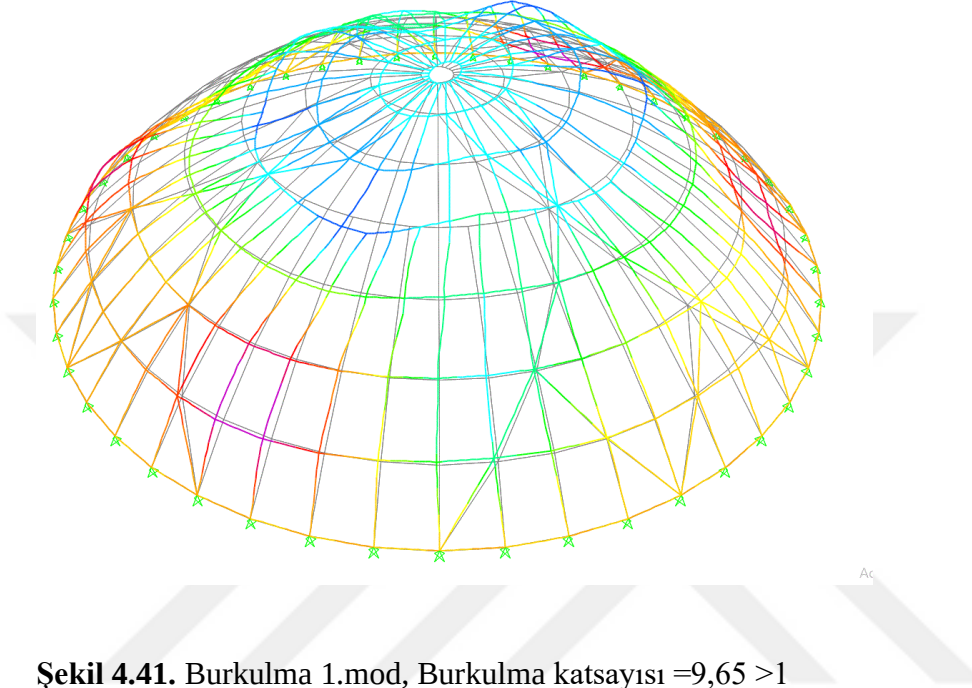
Other checkings

Resistance to lateral torsional buckling	$\Gamma_{LT,max}$	= 0,338	< 1	S
--	-------------------	---------	-----	---

Şekil 4.40. IPE450 TO IPE500 ACB+ tasarım sonuçları

4.2.3. Burkulma kontrolü

Burkulma kontrolü Sap2000.V22 programı yardımı ile yapılmıştır. Buna göre burkulma katsayısı hesaplanmış ve hesaplanan burkulma katsayısı 1'den büyük olması sağlanmıştır.



Yapılan 6nceki hesaplar hem dolu g6vdeli kiriş için hem de petek kiriş için şekil 3.5'te g6sterilen b6t6n sistemler 6zerine uygulanmıştır ve elde edilen bulgular sonuç b6l6m6nde karşılaştırarak tezin amacına ulaşmayı hedeflenmiştir

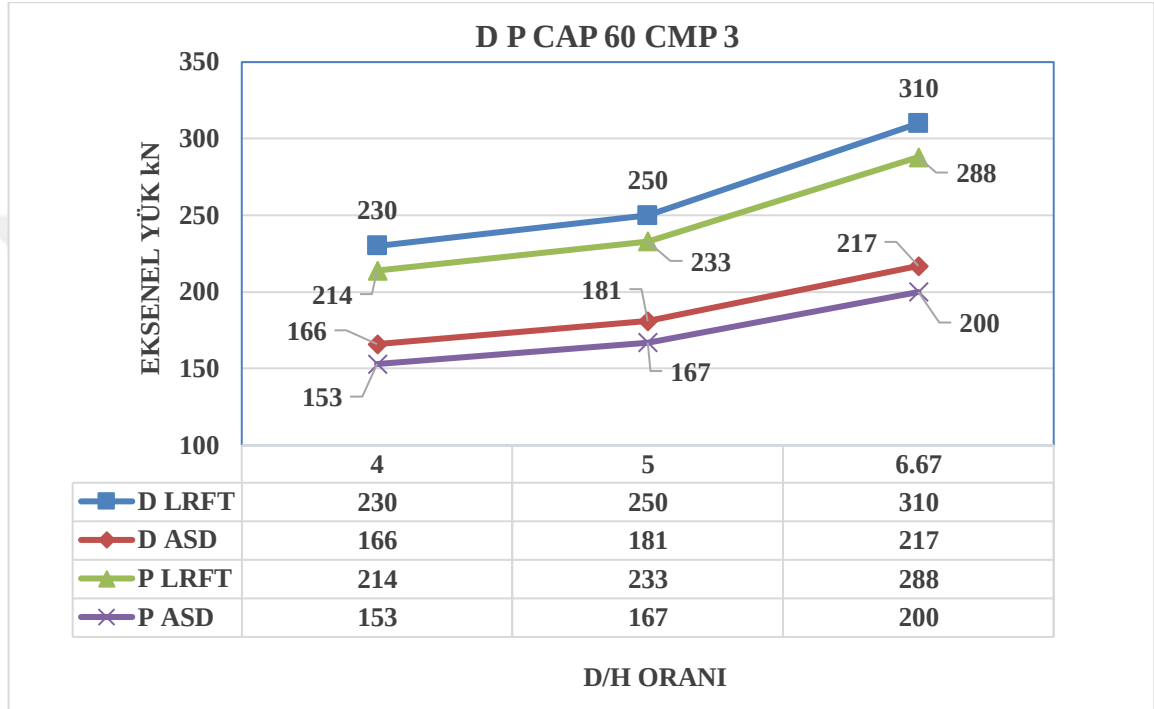


5. SONUÇLAR

Kubbe modelleri oluştururken aynı basınç çember sayısına sahip olan kubbelerde aynı profil kesiti kullanılmıştır ve böylece D/H oranının değişimiyle birlikte kesitin ve kubbenin davranışı sonraki Şekillere göre karşılaştırarak inceleyebilmiştir.

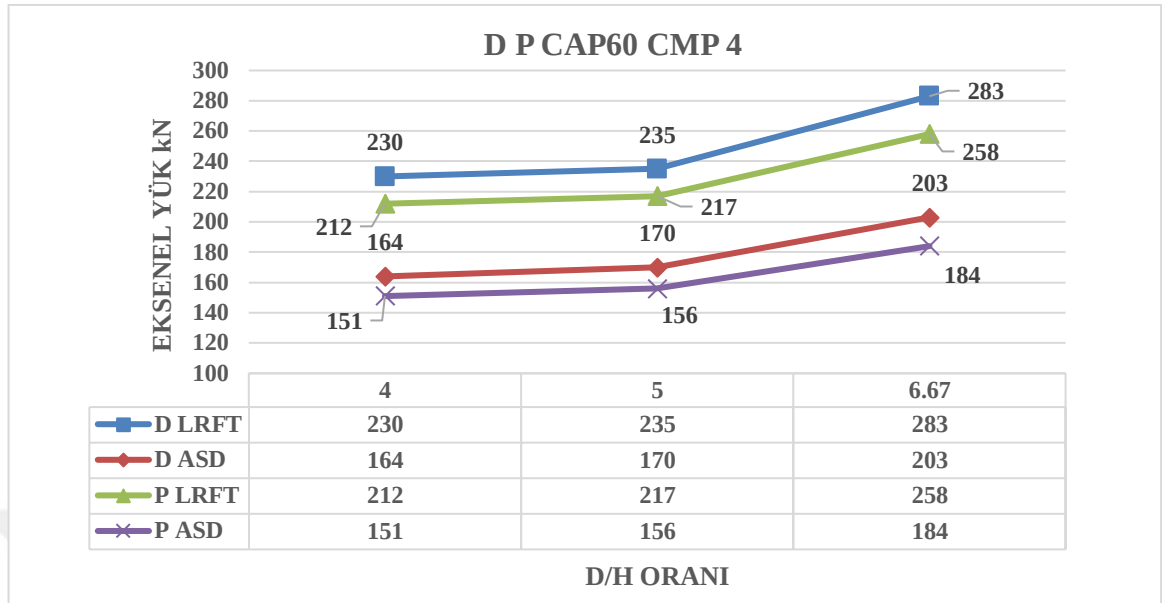
5.1. Eksenel Yük Karşılaştırılması

a) Çap 60 kubbe basınç çember 3



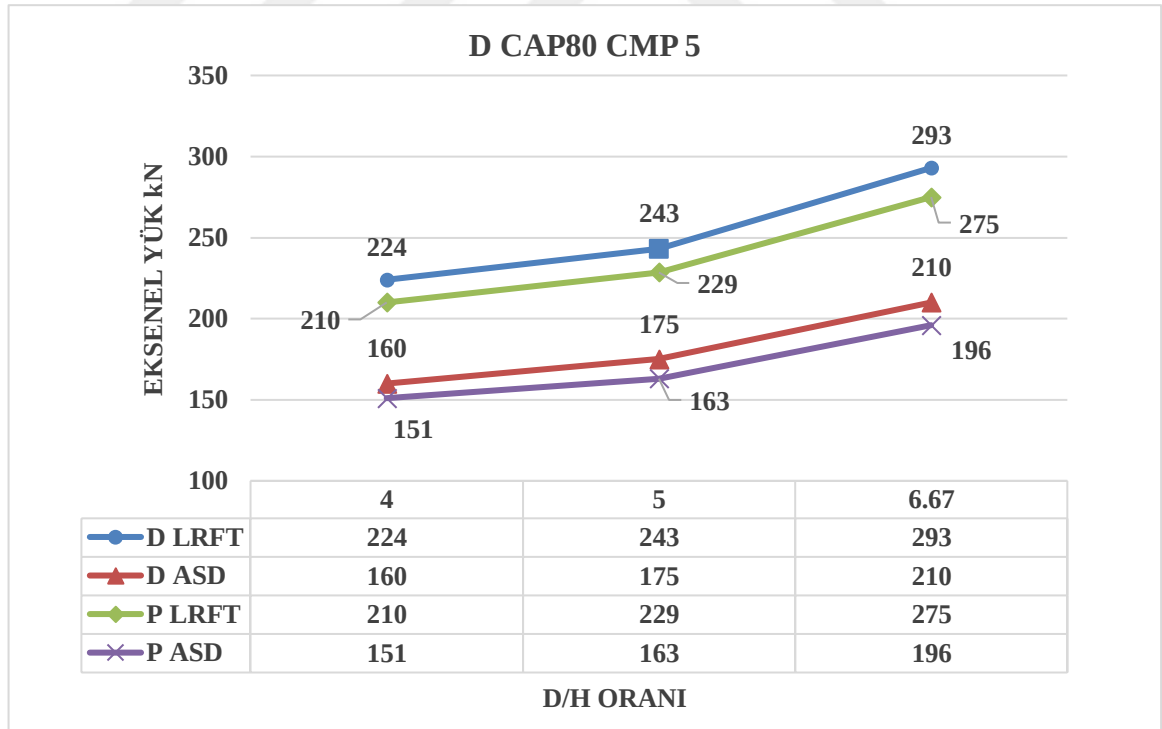
Şekil 5.1. Çapı 60 m 3 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

b) Çapı 60 m kubbe basınç çember 4



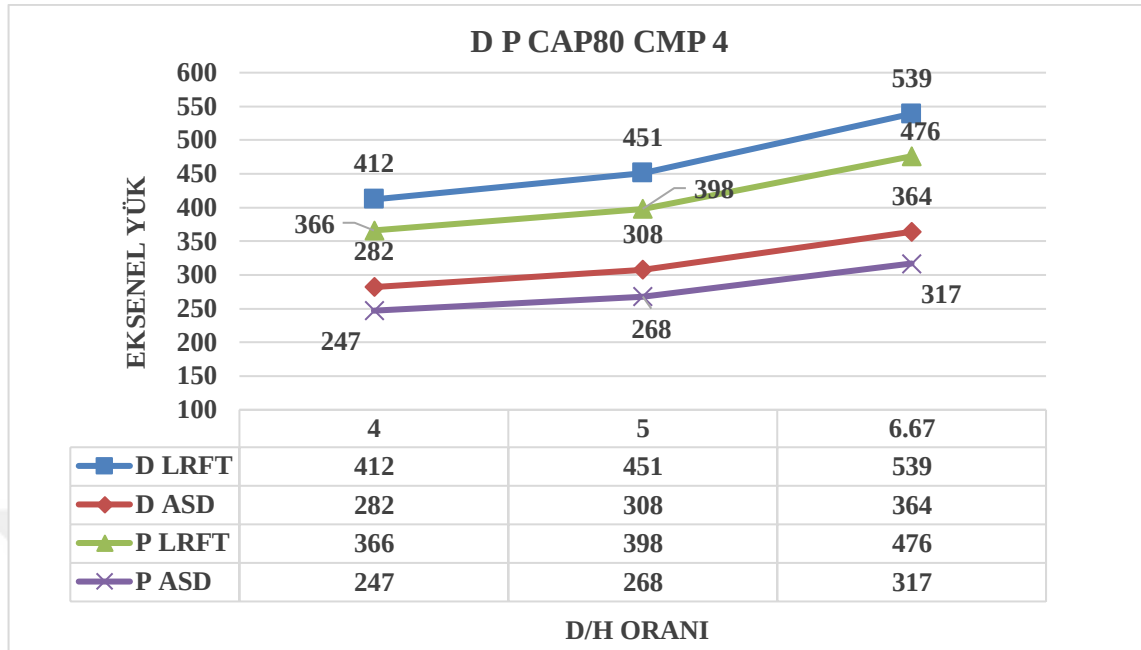
Şekil 5.2. Çapı 60 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

c) Çapı 60 m kubbe basınç çember 5



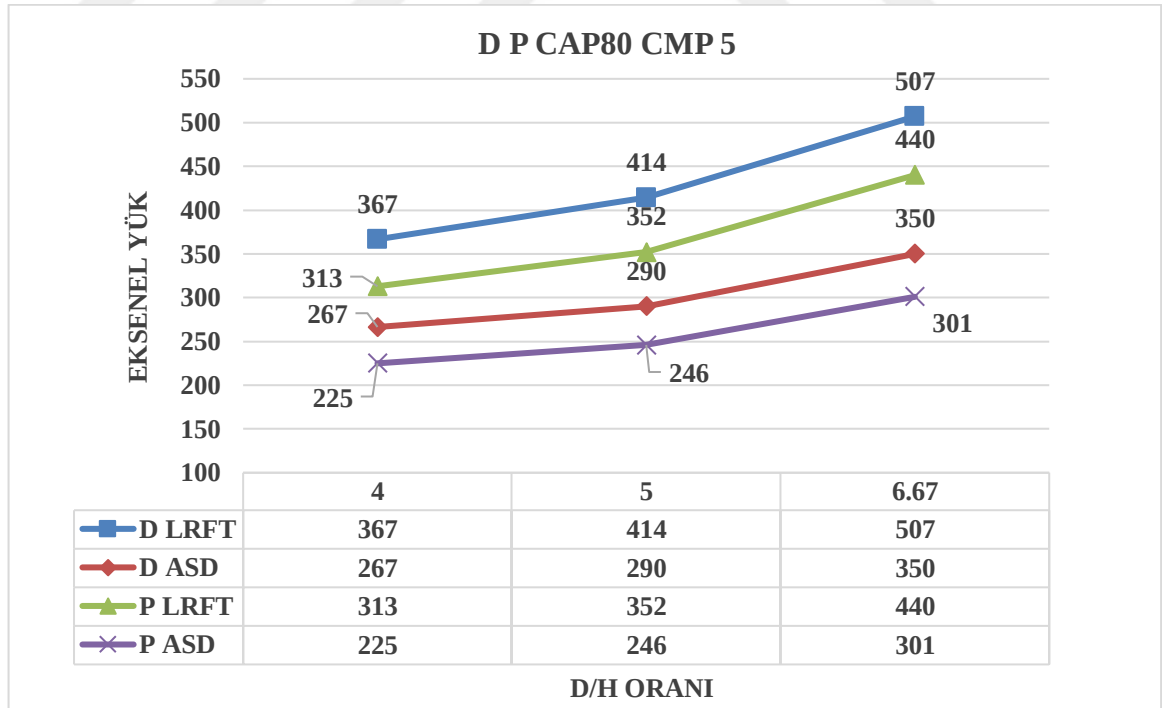
Şekil 5.3. Çapı 60 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

d) Çapı 80 m kubbe basınç çember 4



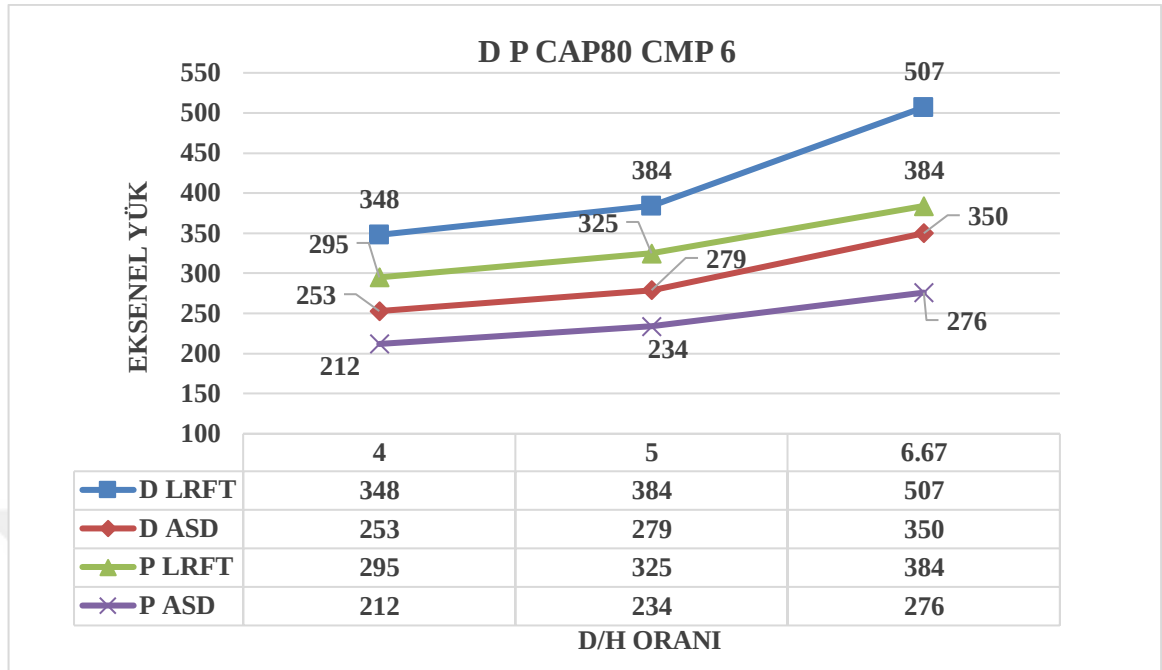
Şekil 5.4. Çapı 80 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

e) Çapı 80 m kubbe basınç çember 5



Şekil 5.5. Çapı 80 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

f) Çapı 80 m kubbe basınç çember 6

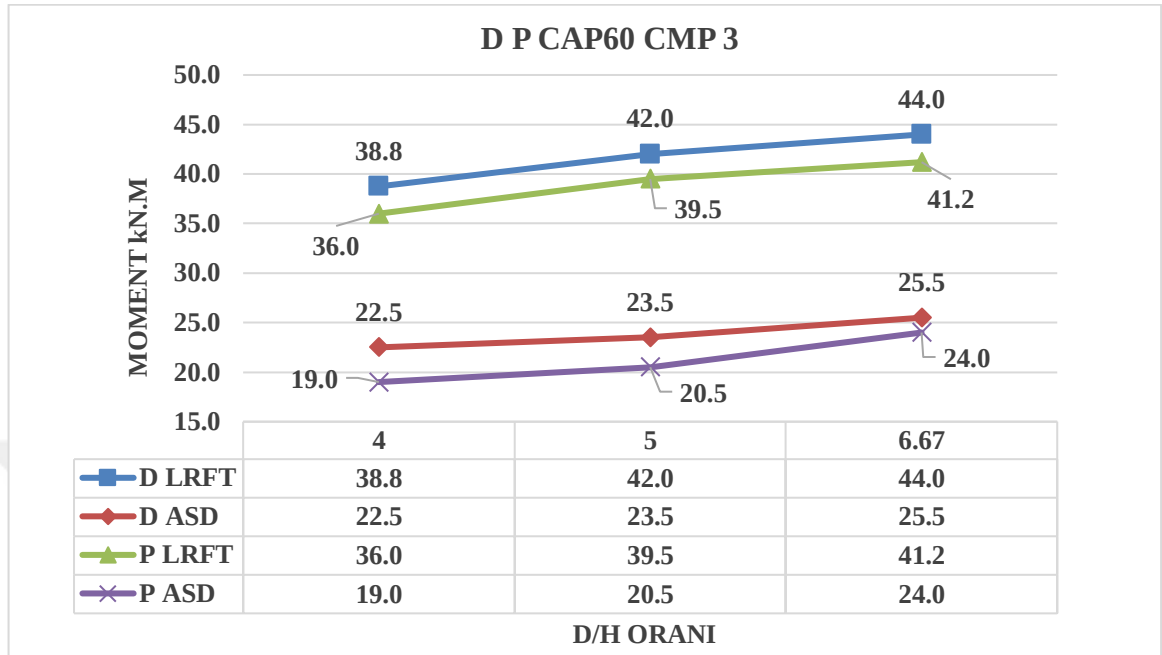


Şekil 5.6. Çapı 80 m 6 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre eksenel yük değişimi

Önceki karşılaştırma Şekillerine göre çemberin çapına ve kirişlerin türüne (dolu gövdeli ya da petek kirişli) bakılmaksızın D/H değeri artmasıyla birlikte kirişlere gelen eksenel yük değeri de artmaktadır ve buna göre D/H değerinin artmasıyla birlikte petek kirişler dolu gövdeli kirişlere göre daha fazla olumsuz bir şekilde etkilenir. Bunun nedeni ise elemanın eksenel yük kapasitesinin direkt olarak kesitin alanına bağlı olmasıdır. Petek kirişlerde atalet momenti artarken kesitin eksenel yük kapasitesi düşmektedir. Profile yapılan kesime göre kirişin kesit alanı düşmektedir bu da kesitin eksenel kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır.

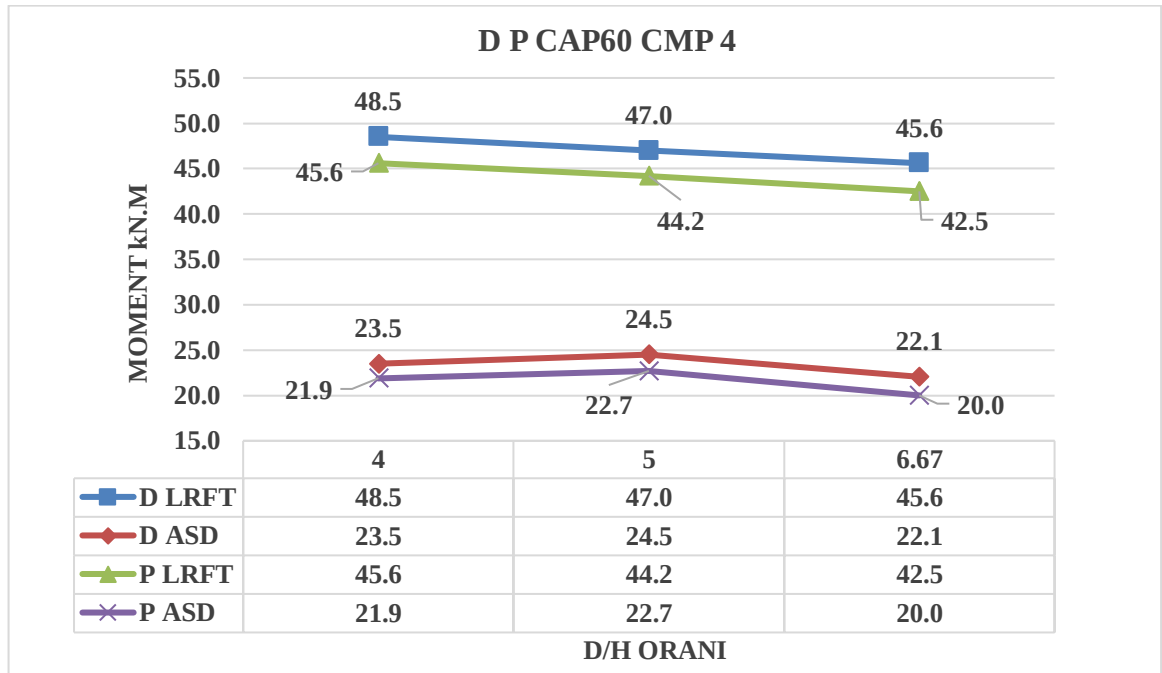
5.2. Moment Karşılaştırılması

a) Çapı 60 m kubbe basınç çember 3



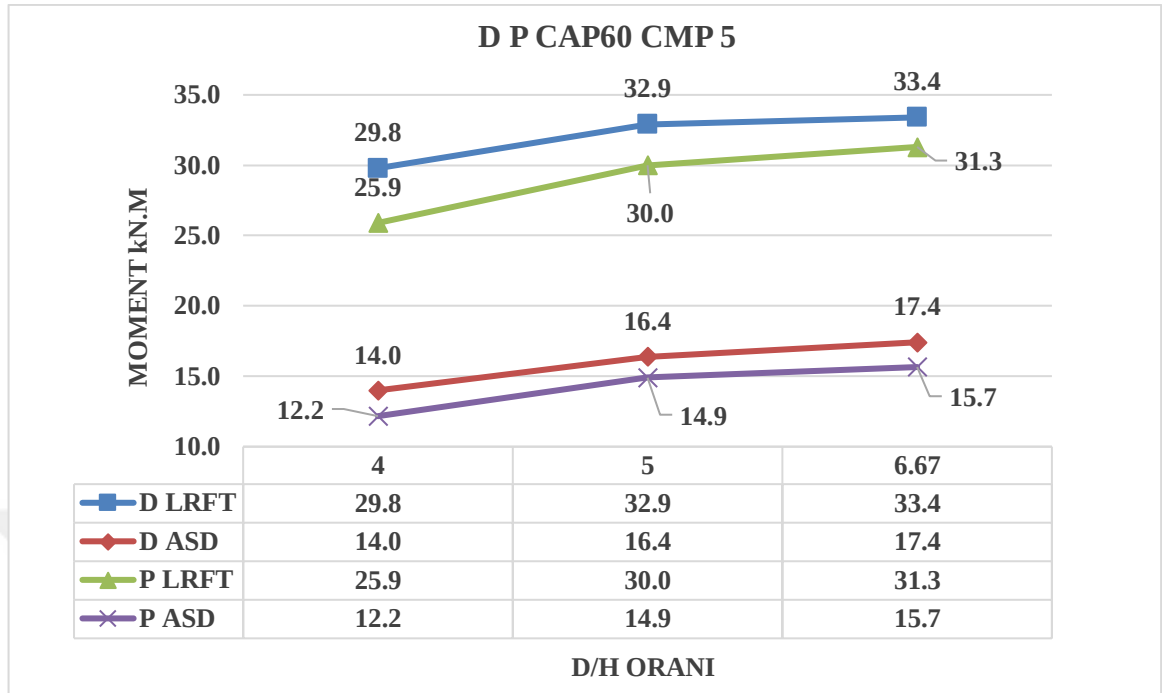
Şekil 5.7. Çapı 60 m 3 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

b) Çapı 60 m kubbe basınç çember 4



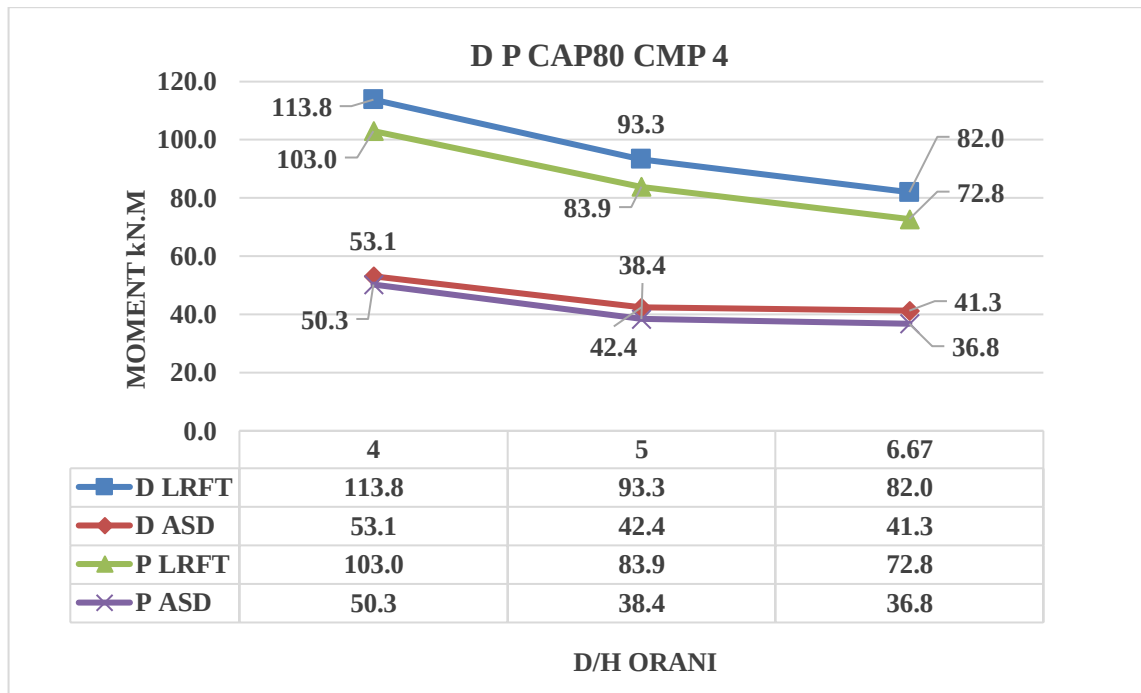
Şekil 5.8. Çapı 60 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

c) Çapı 60 m kubbe basınç çember 5



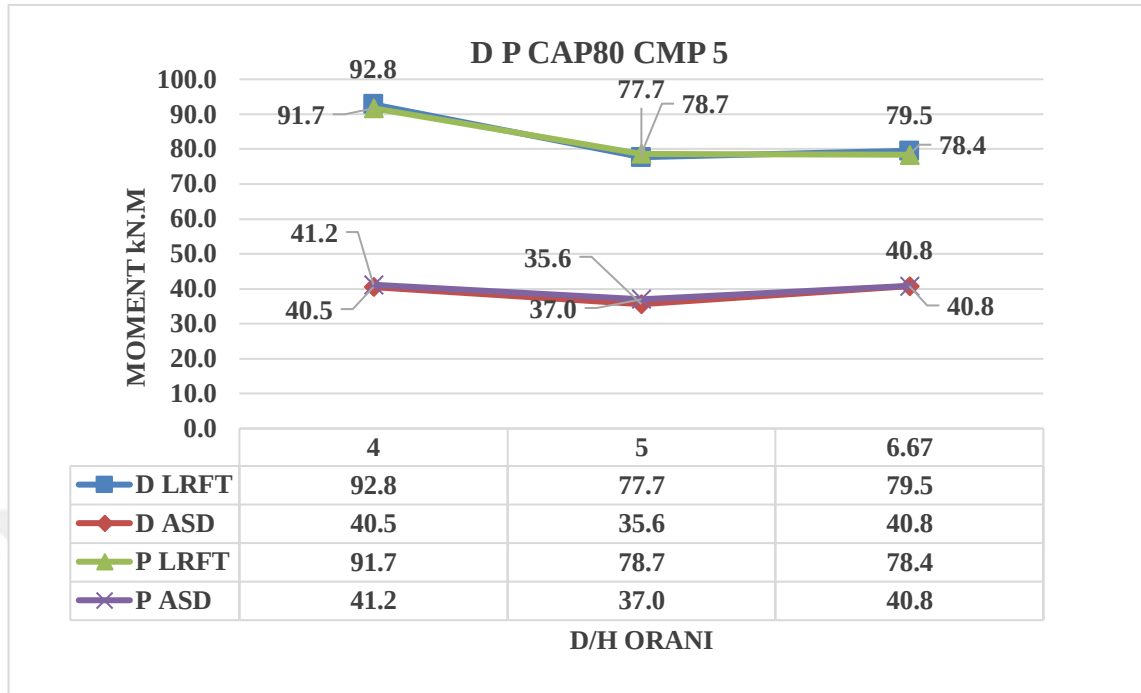
Şekil 5.9. Çapı 60 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

d) Çapı 80 m kubbe basınç çember 4



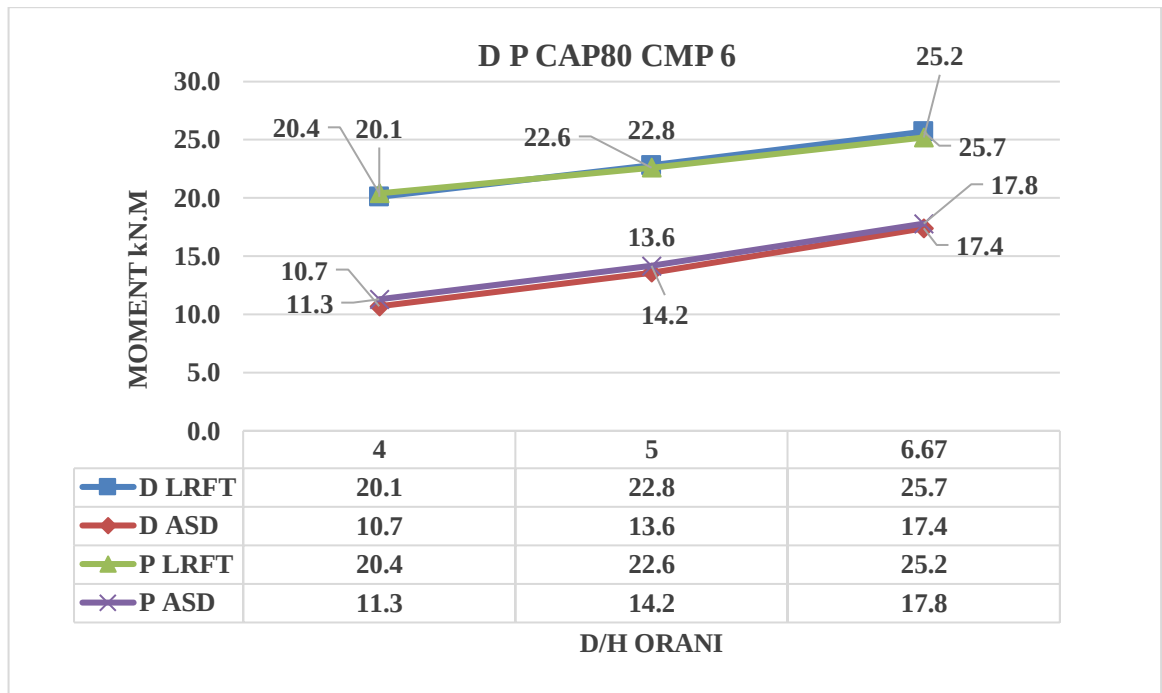
Şekil 5.10. Çapı 80 m 4 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

e) Çapı 80 m kubbe basınç çember 5



Şekil 5.11. Çapı 80 m 5 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

f) Çapı 80 m kubbe basınç çember 6



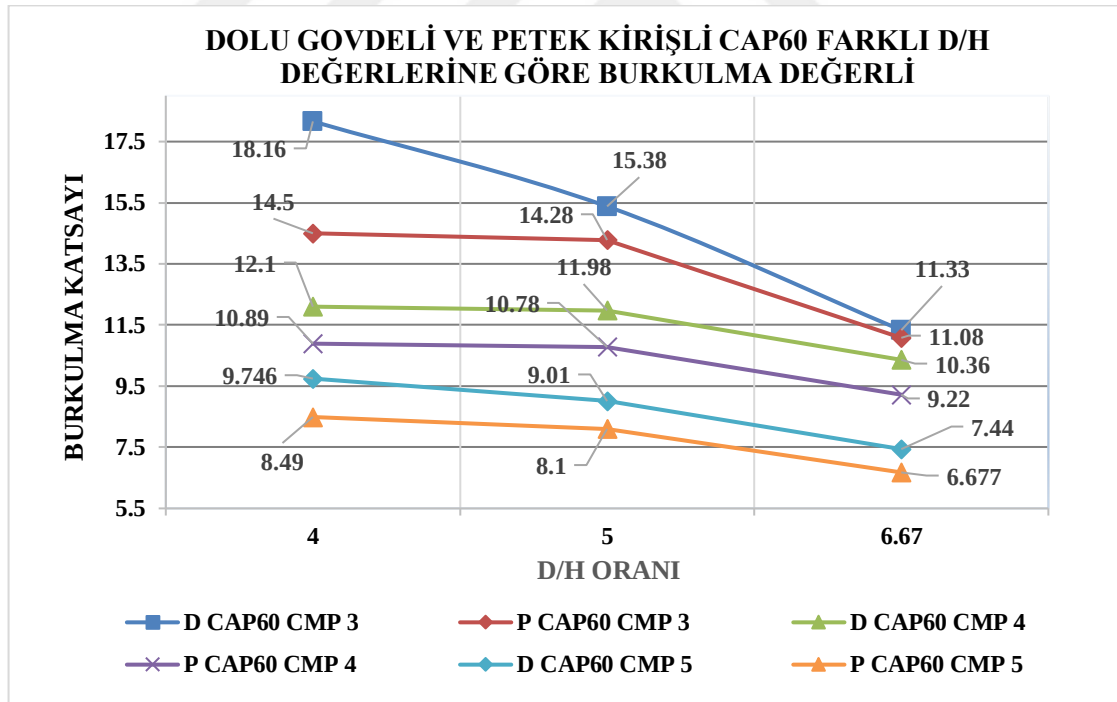
Şekil 5.12. Çapı 80 m 6 Çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre moment değişimi

Önceki karşılaştırma şekillerine göre moment değişim değerleri hem D/H oranı hem de basınç çemberin sayısına göre değişiklik göstermektedir.

Çapı 60 m olan kubbelerde **Şekil 5.7**'ye göre 3 basınç çember sistemde D/H değerinin artmasıyla birlikte moment değeri de artmaktadır. **Şekil 5.8**'e göre 4 basınçlı çember sistemde D/H değerinin artmasıyla birlikte moment değeri azalmaktadır. **Şekil 5.9**'a göre 5 basınç çember sistemde D/H değerinin artmasıyla birlikte moment değeri de artmaktadır. Aynı şekilde Çapı 80 m olan kubbelerde **Şekil 5.10**'a göre 4 basınç çemberli sistemde D/H değeri artmasıyla birlikte moment değeri azalmaktadır. **Şekil 5-11**'e göre 5 basınçlı çemberli sistemde D/H değeri 4 ile 5 arasındayken moment değeri azalmakta ve D/H değeri 5 ile 6,667 arasındayken moment değeri artmaktadır. **Şekil 5.12**'ye göre ise 6 basınçlı çemberli sistemde D/H değeri artmasıyla birlikte moment değeri artmaktadır.

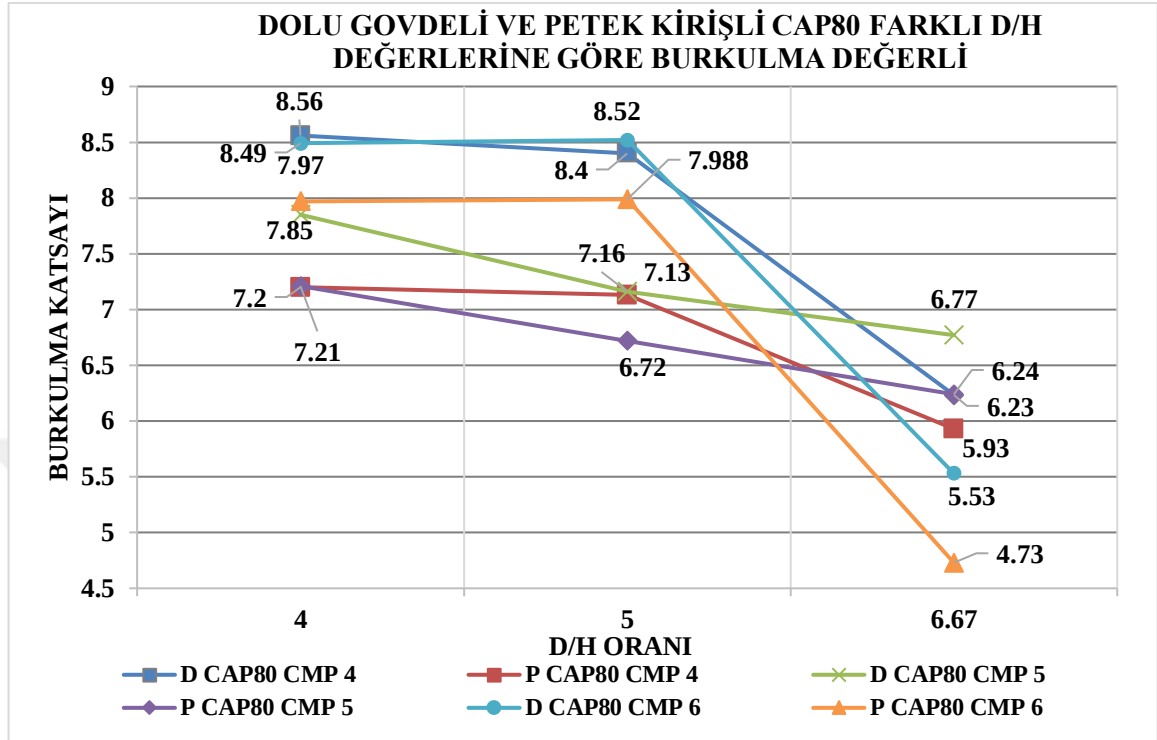
5.3. Burkulma Değerlerin Karşılaştırılması

a) 60 m çaplı kubbe



Şekil 5.13. Çapı 60 m olan kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre burkulma katsayı değişimi

b) 80 m çaplı kubbe

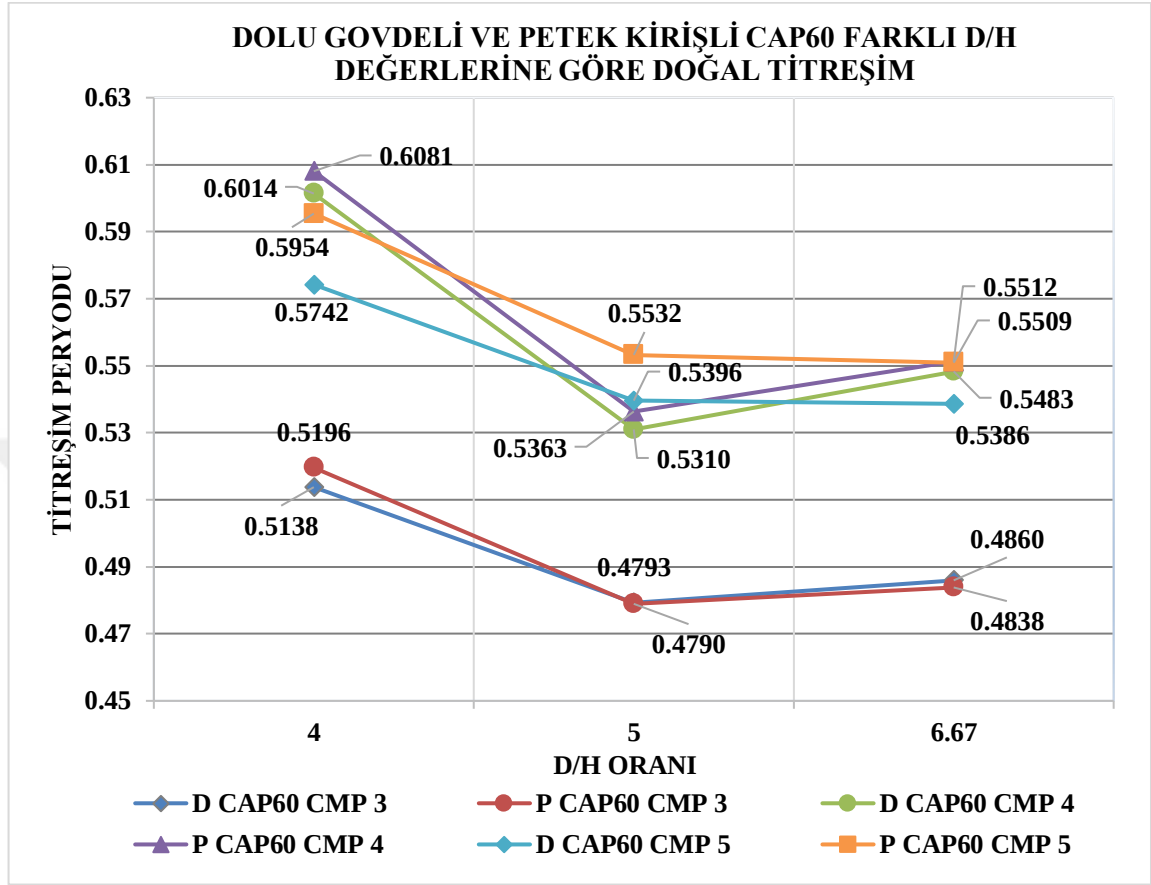


Şekil 5.14. Çap 80 kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre burkulma katsayı değişimi

Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'e göre burkulma katsayıları D/H değeri artmasıyla birlikte burkulma katsayı değeri azalmaktadır. Büyük açıklıklarda global burkulma riskini azaltmak için sistemin orta yüksekliği arttırılmaktadır, bu uygulama kubbe sistemlerinin yanı sıra makas sistemler ve hatta portal çerçevelerde de geçerlidir.

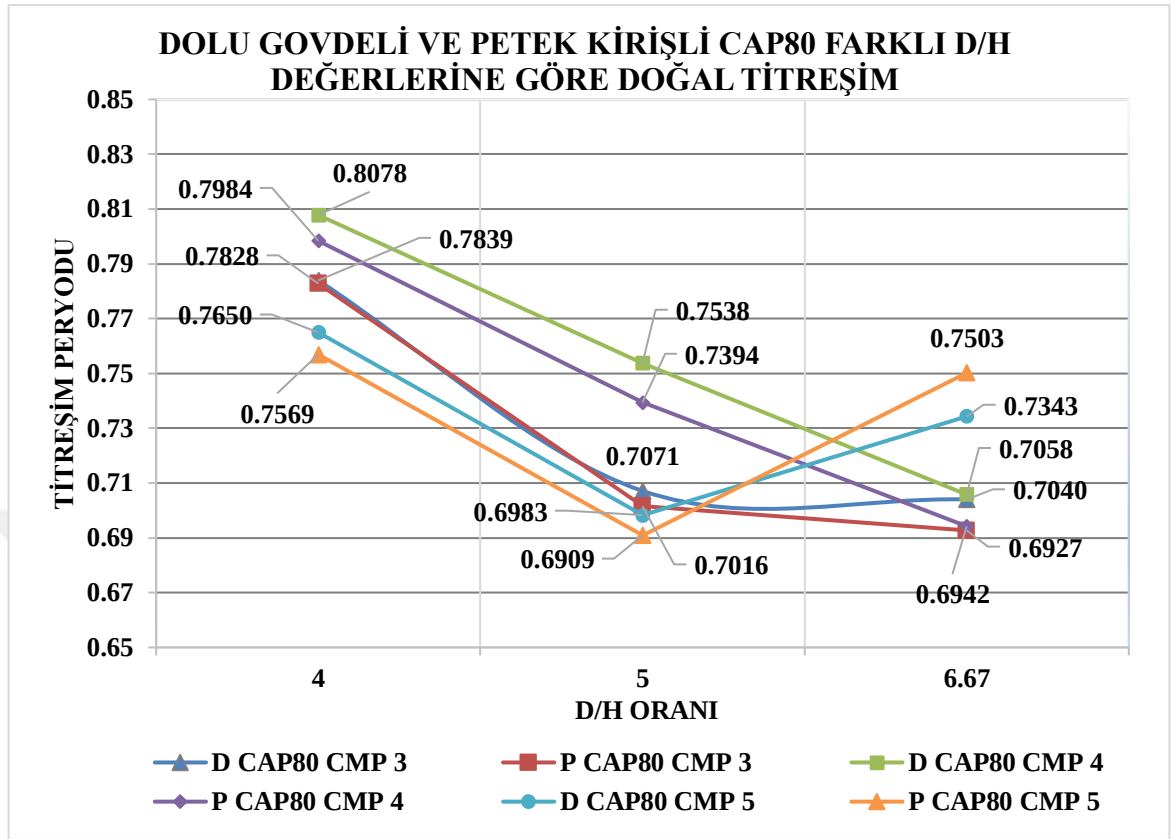
5.4. Titreşim modlarının karşılaştırılması

a) 60 m çaplı kubbe



Şekil 5.15. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre doğal titreşim modlarının değişimi

b) 80 m çaplı kubbe

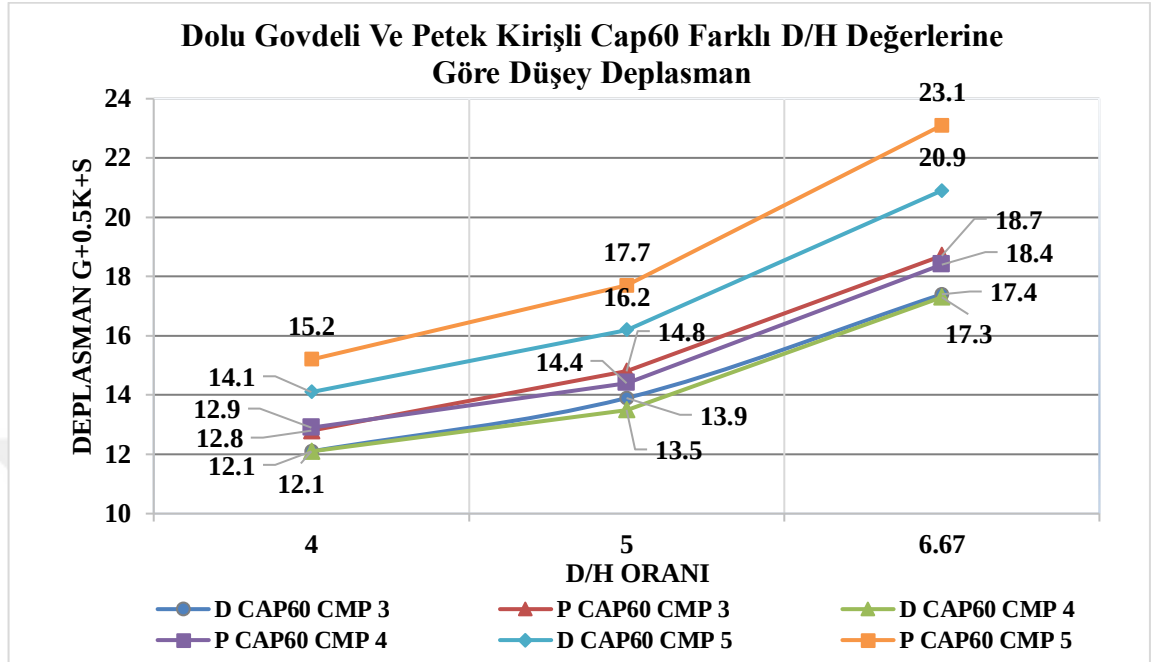


Şekil 5.16. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre doğal titreşim modlarının değişimi

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'ya göre doğal titreşim modları D/H değeri =5 olduğunda doğal titreşim modu minimum değerleri göstermektedir. Bunun nedeni D/H değerleri ≤ 4 olduğunda kubbe X ve Y yönünde doğal titreşim modu göstermektedir ve D/H değeri $\geq 6,67$ olduğunda kubbenin yüksekliği düşük olduğu için doğal titreşim modu Z yönünde göstermektedir. Bu iki durum arasında D/H değeri = 5 olduğunda kubbeler en düşük titreşim modunu göstermektedir.

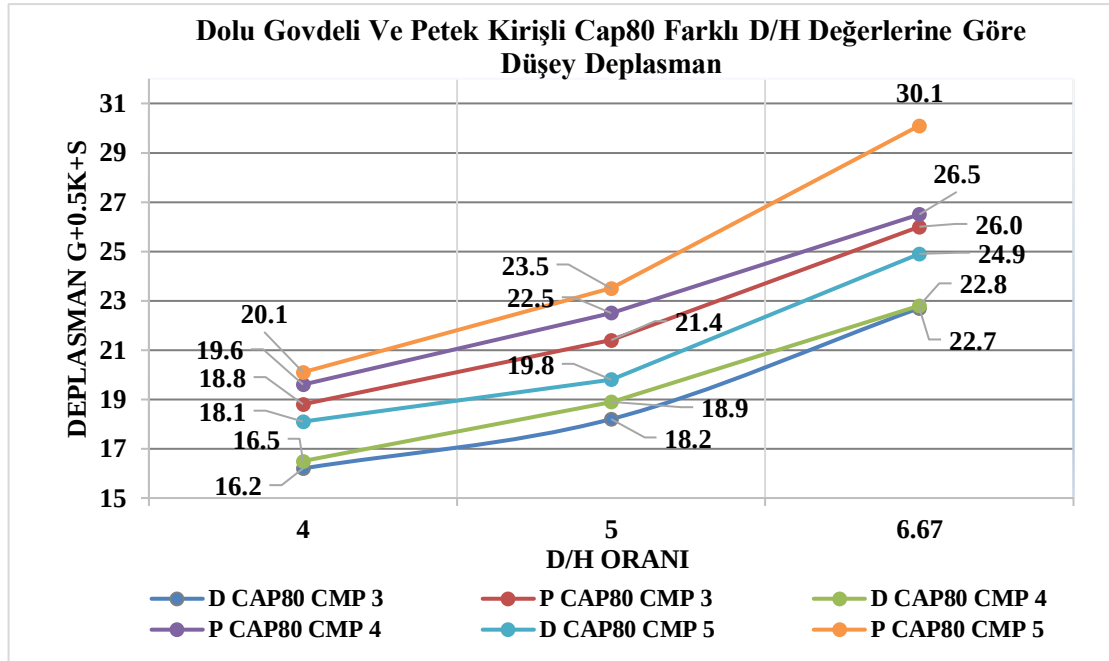
5.5. Deplasmanların Karşılaştırılması

a) 60 m çaplı kubbe



Şekil 5.17. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düşey deplasman değişimi

b) 80 m Çaplı kubbe

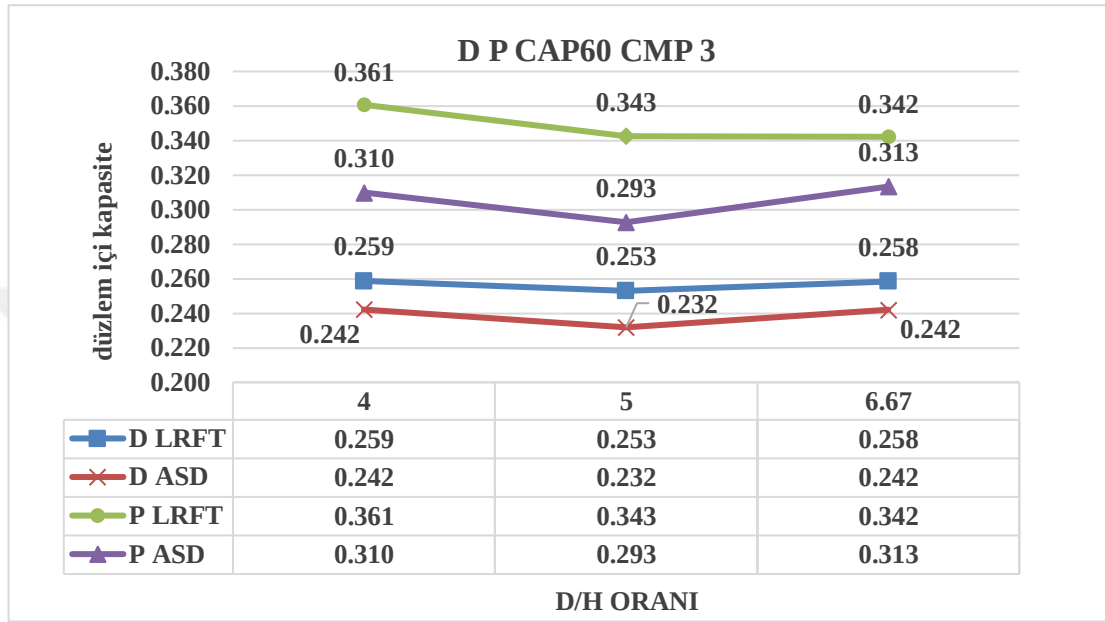


Şekil 5.18. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düşey deplasman değişimi

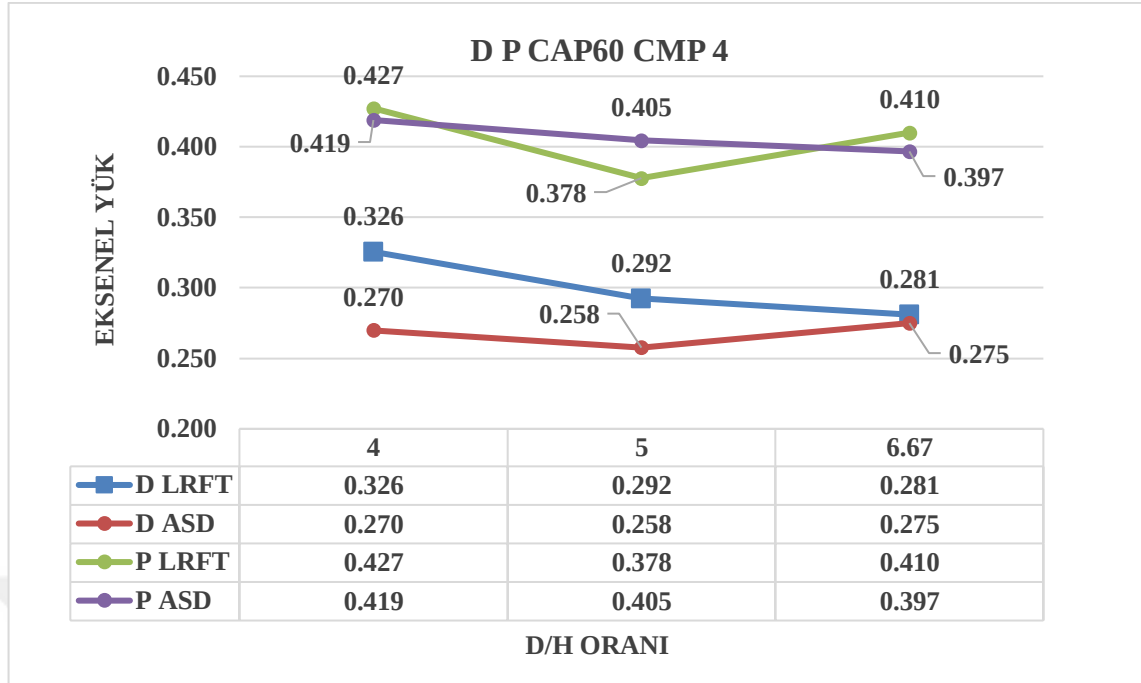
Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'e göre D/H oranının artmasıyla birlikte kubbenin yapacağı düşey deplasman artmaktadır. Bu sayede düşey deplasmanın global burkulma katsayı ile paralel bir davranış gösterdiği görülmüştür.

5.6. Tasarım Kapasitelerin Karşılaştırılması

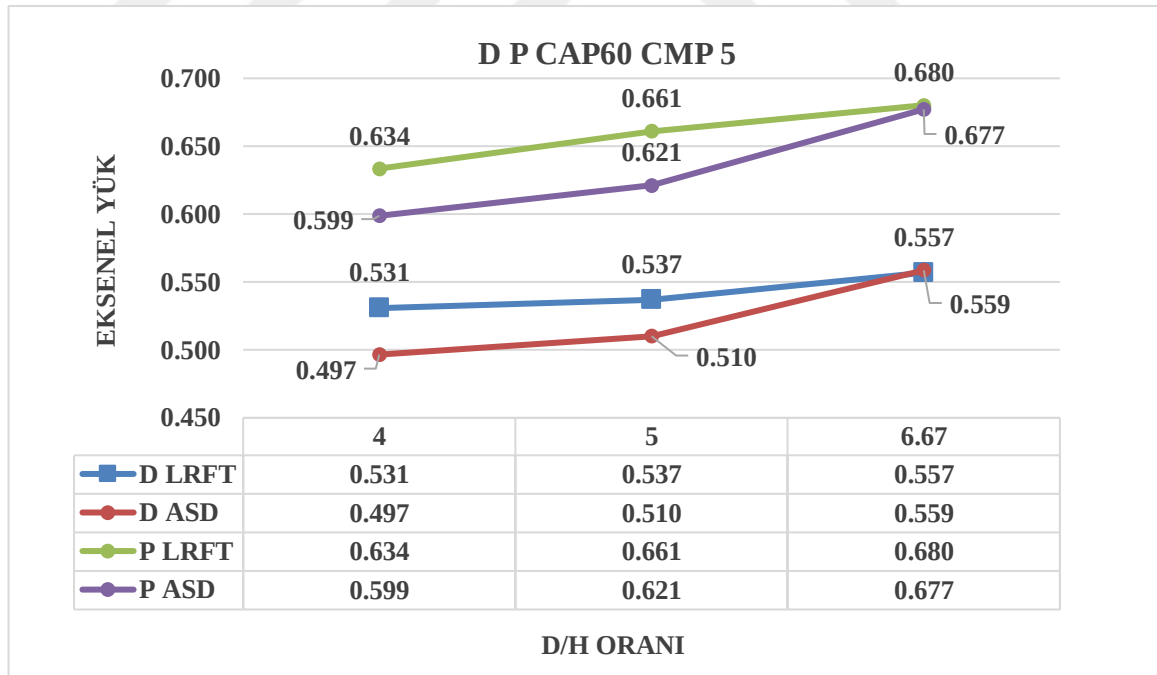
5.6.1. Düzlem içi eksenel burkulma kapasite karşılaştırılması



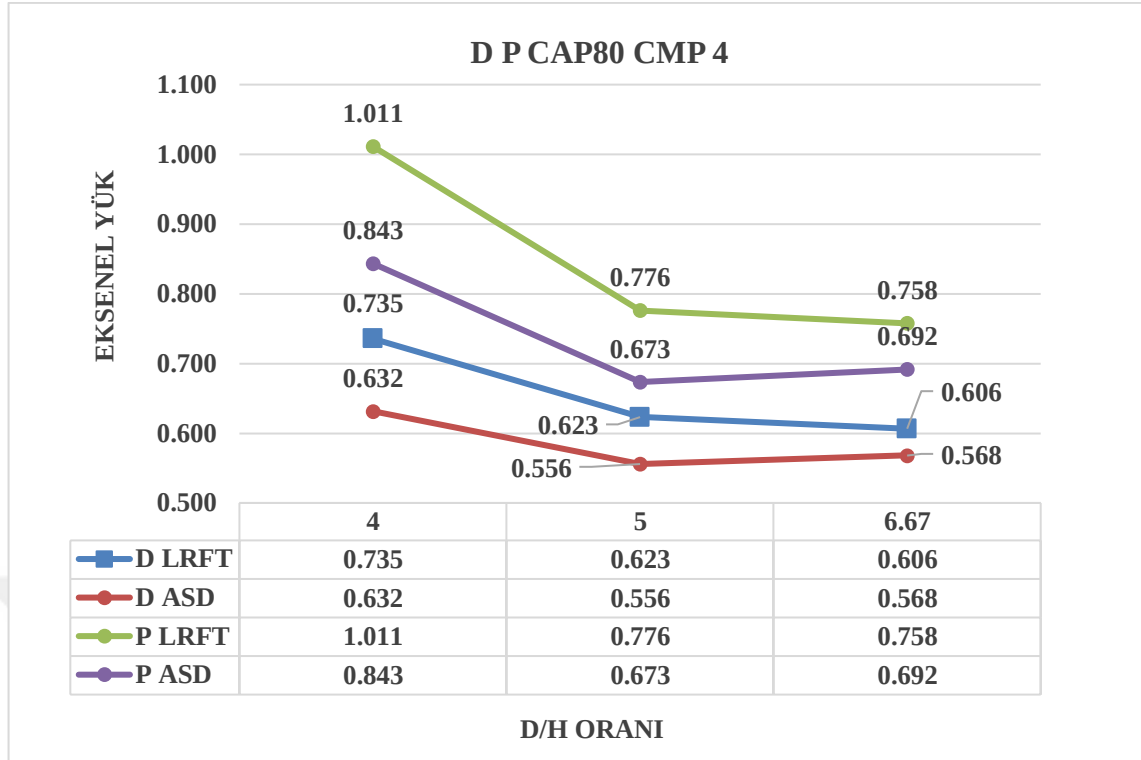
Şekil 5.19. Çapı 60 m 3 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi



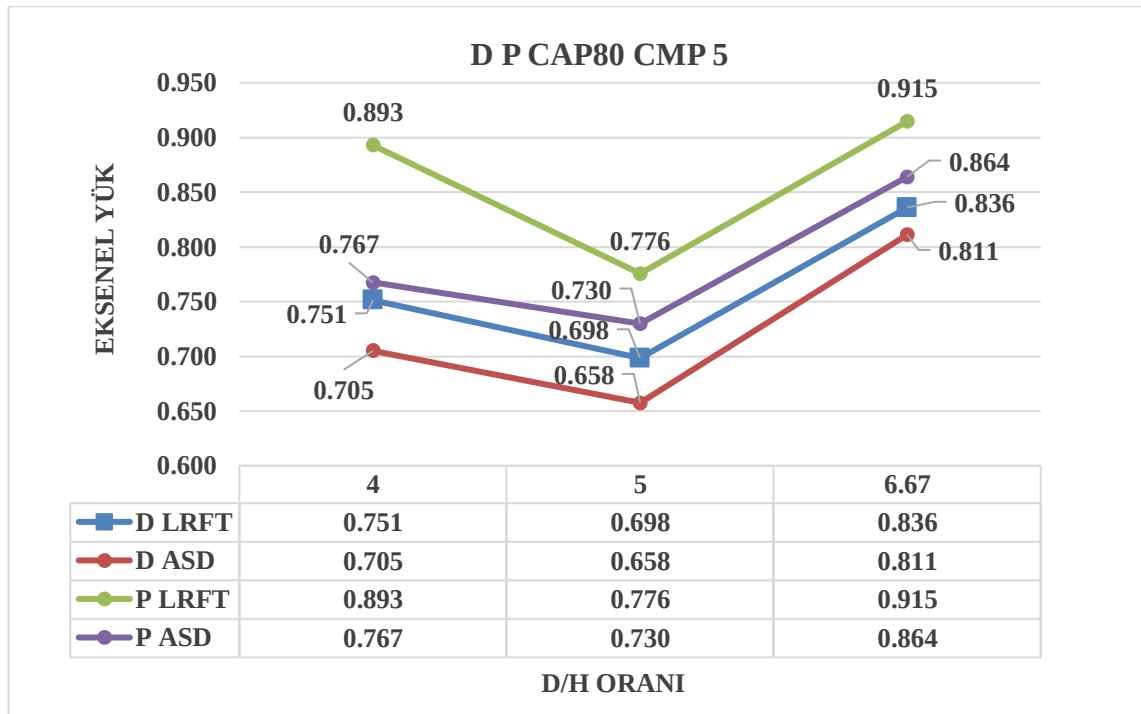
Şekil 5.20. Çapı 60 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi



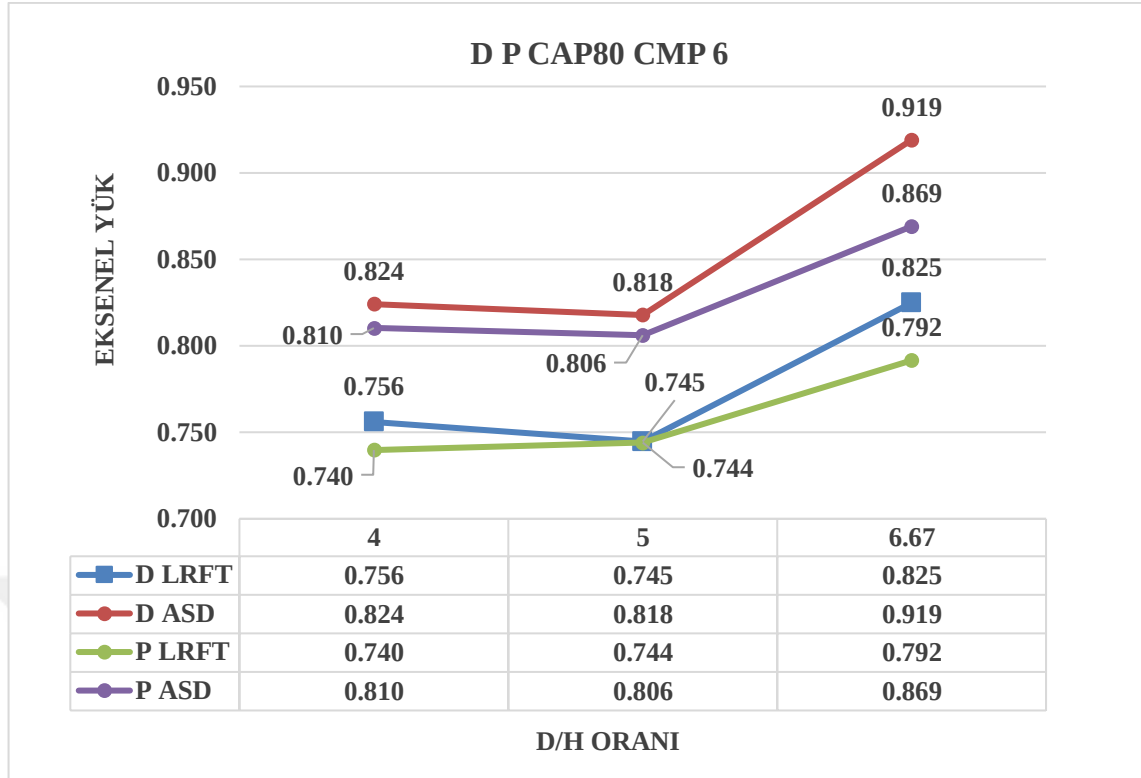
Şekil 5.21. Çapı 60 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi



Şekil 5.22. Çapı 80 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi

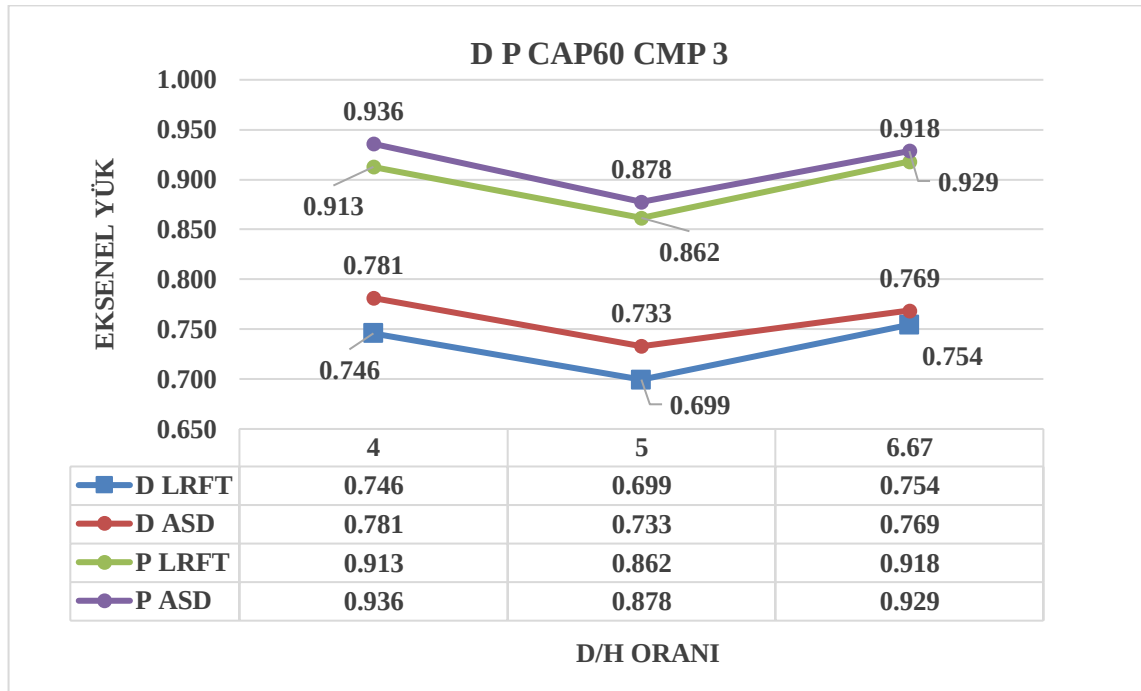


Şekil 5.23. Çapı 80 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi

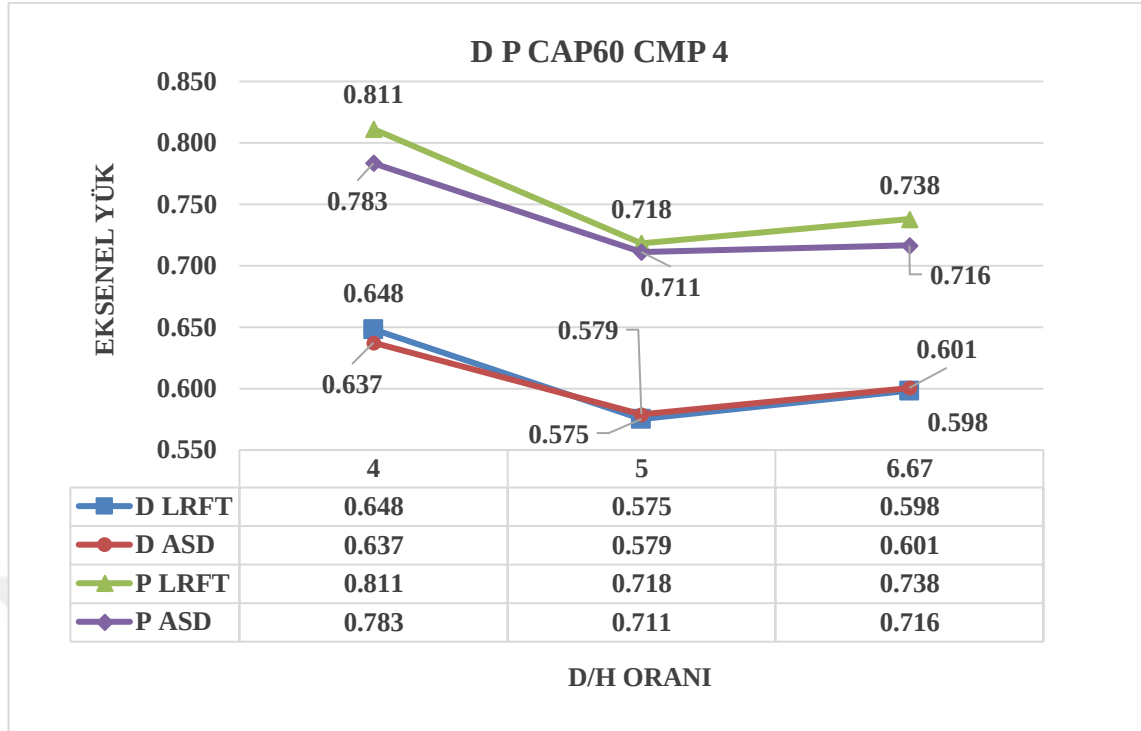


Şekil 5.24. Çapı 80 m 6 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem içi eksenel burkulma kapasite değişimi

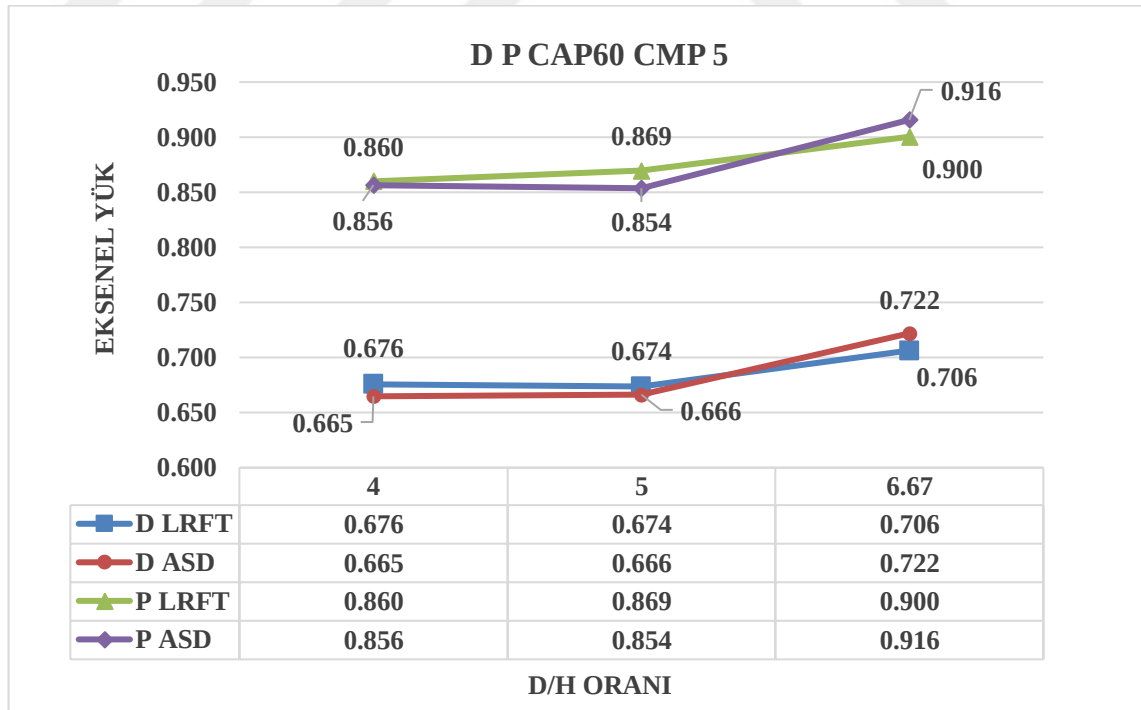
5.6.2. Düzlem dışı kapasitelerin karşılaştırılması



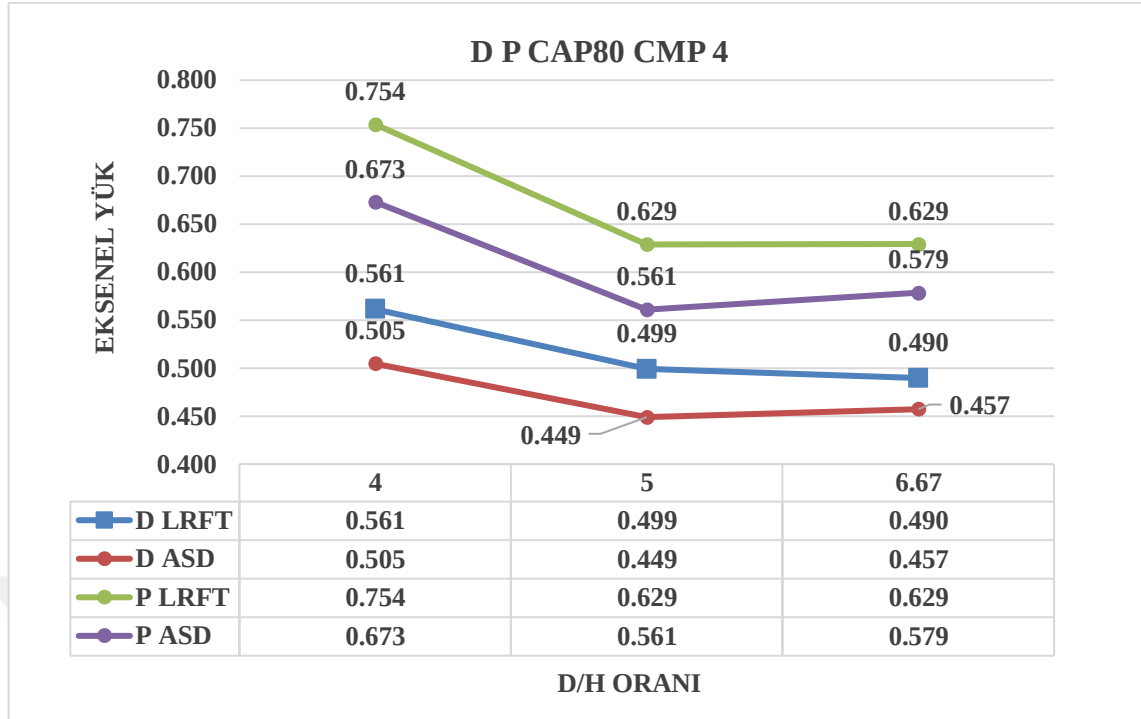
Şekil 5.25. Çapı 60 m 3 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi



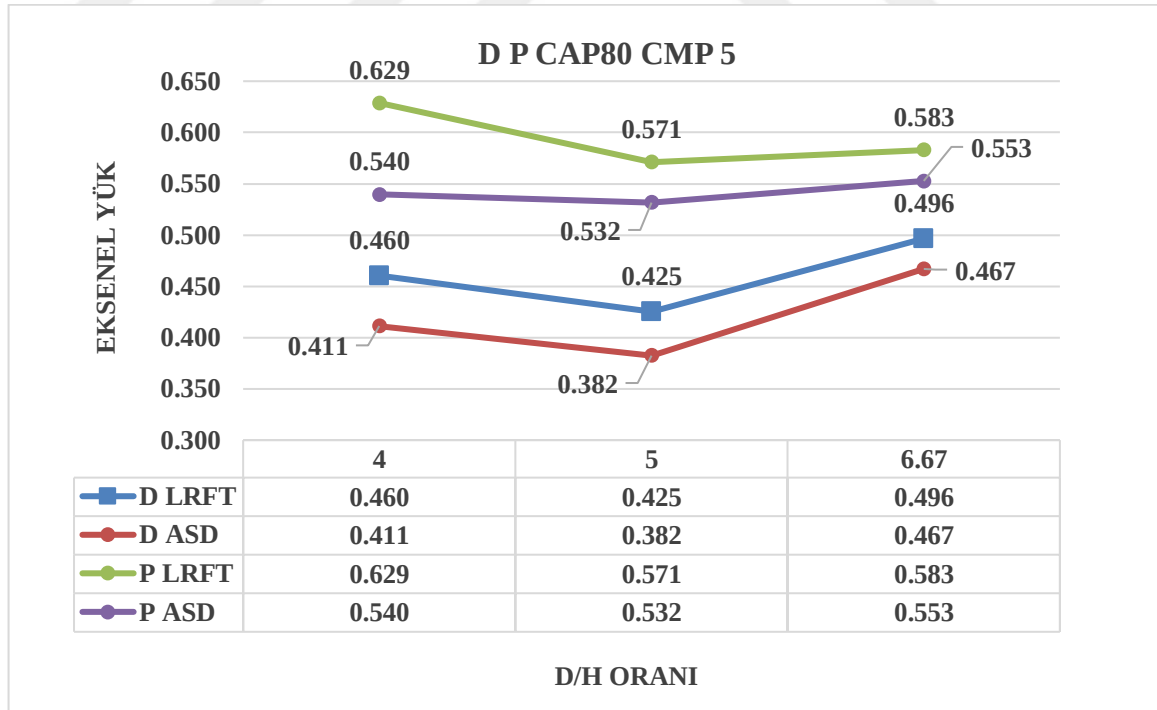
Şekil 5.26. Çapı 60 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi



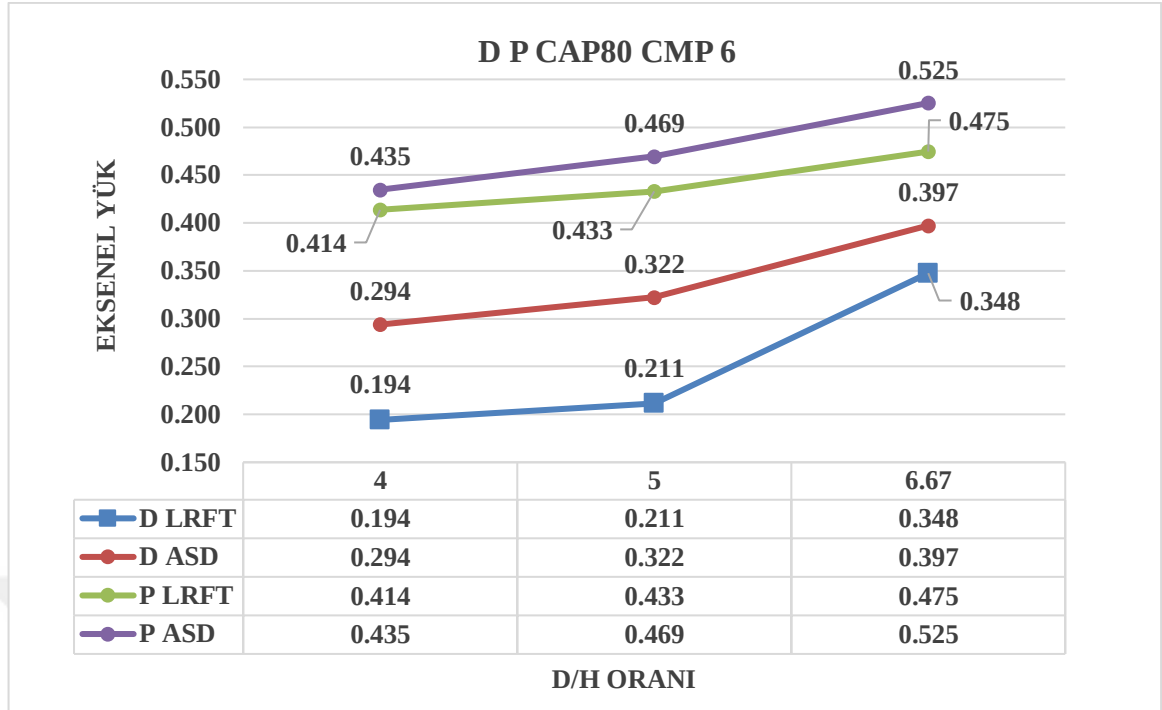
Şekil 5.27. Çapı 60 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi



Şekil 5.28. Çapı 80 m 4 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi



Şekil 5.29. Çapı 80 m 5 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi

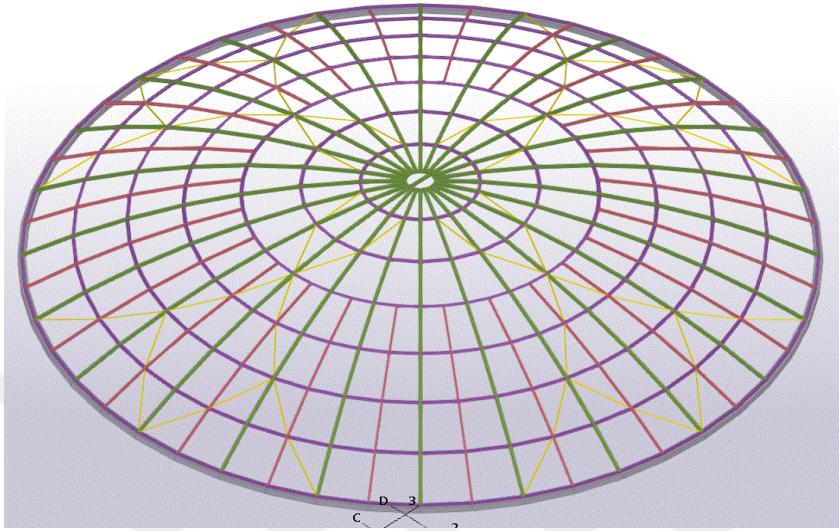


Şekil 5.30. Çapı 80 m 6 çemberli kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre düzlem dışı kapasite değişimi

Şekil 5.19 ile 5.30 Şekillerinde petek kirişlerin gerilmeleri tüm durumlarda dolu gövdeli kirişlerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun nedeni eksenel yük kapasitesinin dolu gövdeli kirişlerde daha yüksek olmasıdır. Petek kirişlerin gövde kesitleri boyunca kesiminden dolayı gövdede oluşan alan kaybından kaynaklanmaktadır.

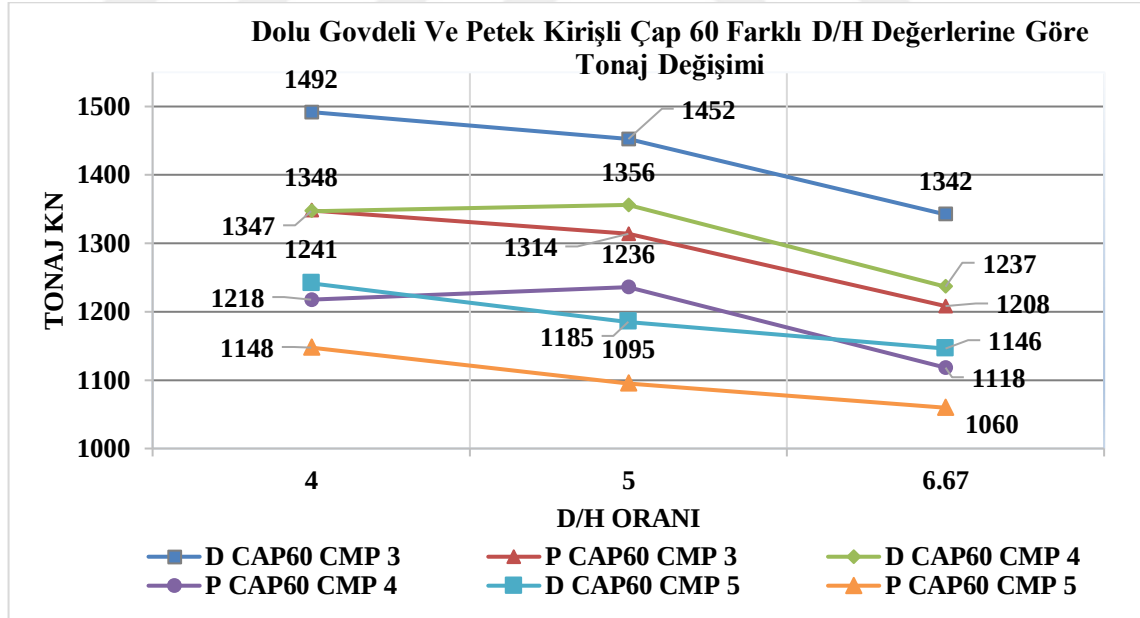
5.7. Tonaj ve Maliyet

Kubbe sistemler için belirlenen net tonaj miktarları ve maliyet hesaplarında Tekla V20 programı kullanılmıştır.

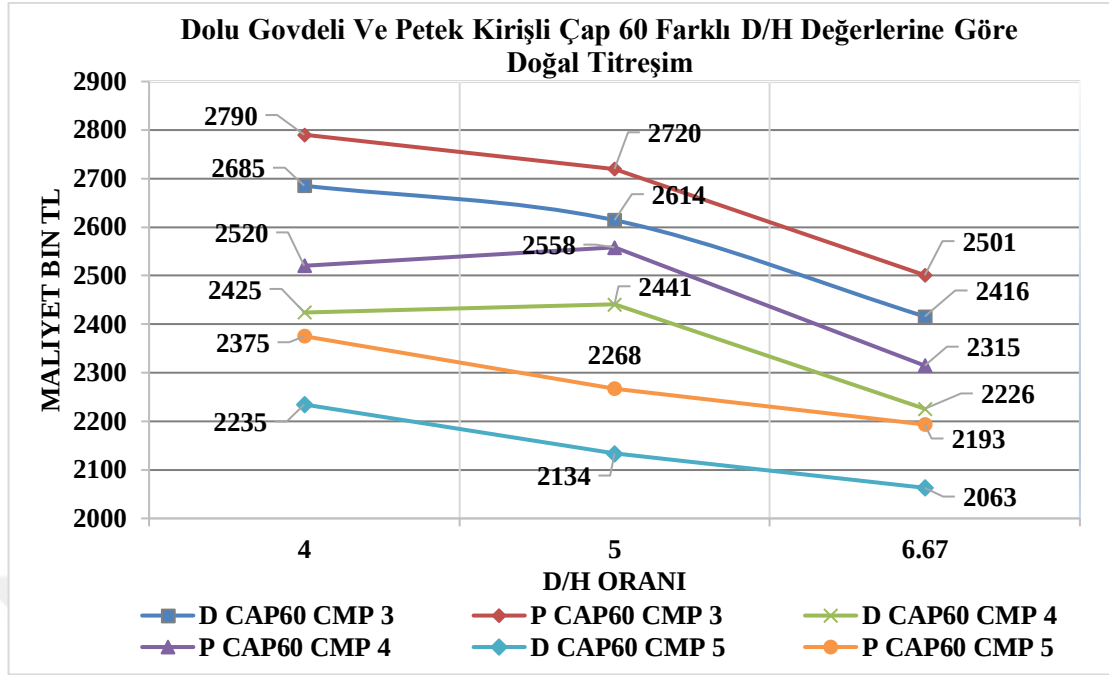


Şekil 5.31. Tonaj metrajları için kurulan Tekla V20 modeli

a) 60 m Çaplı kubbe

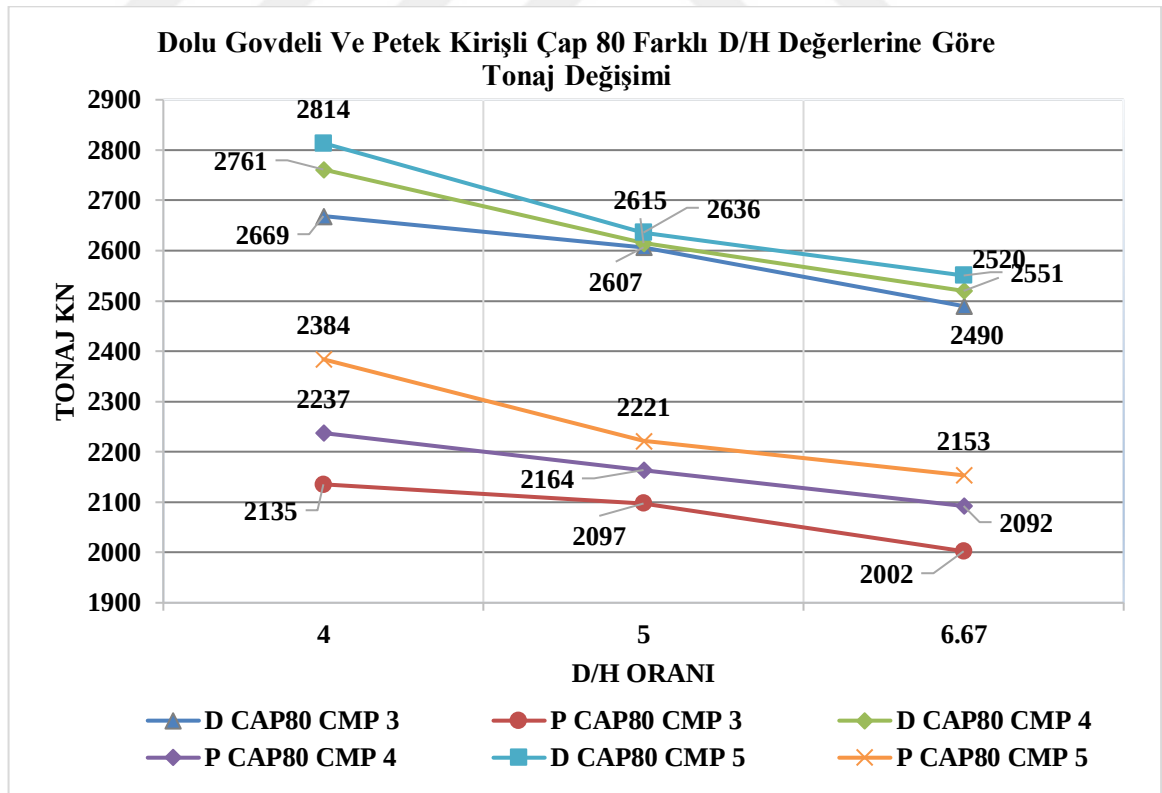


Şekil 5.32. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre tonaj değişimi

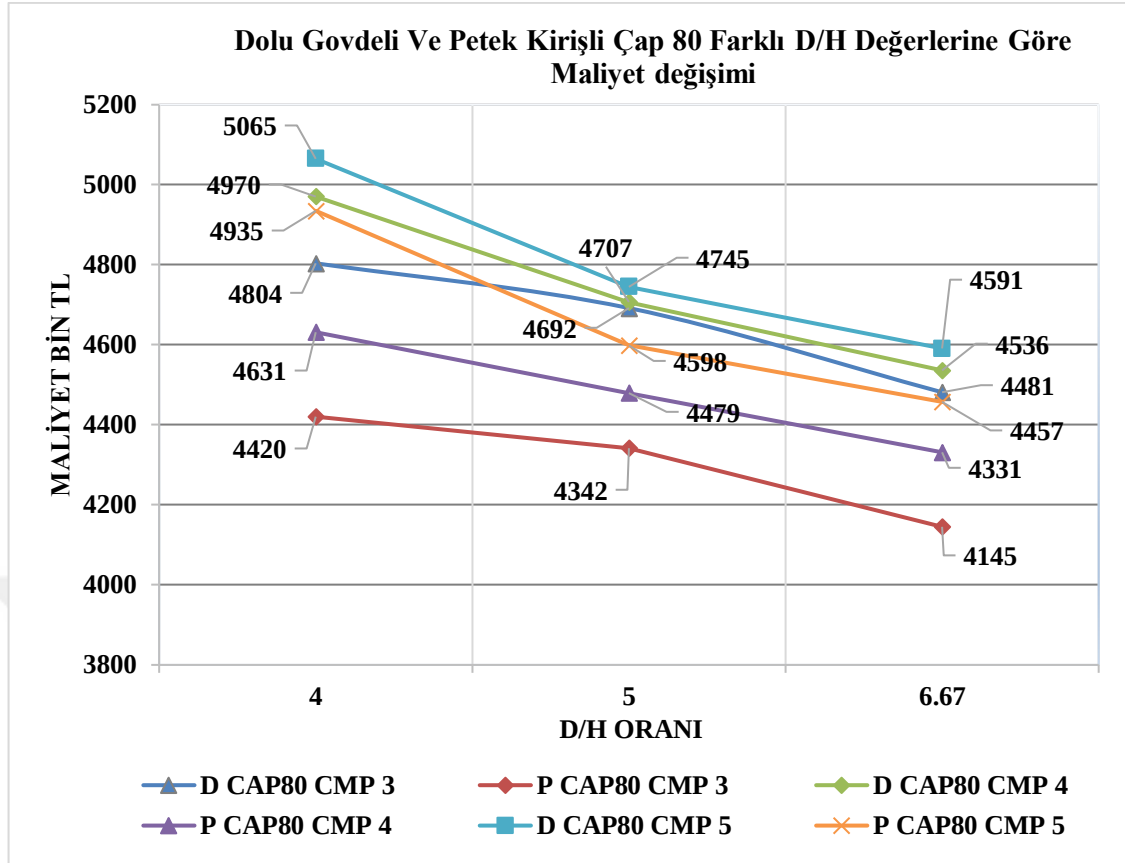


Şekil 5.33. Çapı 60 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre maliyet değişimi

b) 80 m Çaplı kubbe



Şekil 5.34. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre tonaj değişimi



Şekil 5.35. Çapı 80 m kubbe dolu gövdeli ile petek kirişli kubbelerin D/H oranına göre maliyet değişimi

Şekil 5.19, 5.20, 5.21 ve 5.22'ye göre D/H oranının artmasıyla birlikte maliyet ve tonaj azalmaktadır. Aynı Şekiller incelendiğinde dolu gövdeli profile sahip kubbelerin kiriş kesiti IPE olarak tasarımı yapılırsa, petek kirişler fazladan bir maliyet avantajı sağlamamakla birlikte dolu gövdeli kirişler HEA yada HEB gibi geniş başlıklı profil olarak tasarlanırsa petek kirişlerin daha ekonomik bir çözüm sağlayabileceği sonucuna varılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Anonymous 1: Structural Glass Flooring file online. <https://diometonline.co.uk/structural-glass-floor-panels> [Son erişim tarihi: 07.06.2021].
- Abambres, M., K. Rajana, K. D. Tsavdaridis, and T. P. Ribeiro. 2018. 'Neural Network Based Formula for the Buckling Load Prediction of I-Section Cellular Steel Beams', *Computers*, 8: 26.
- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik
- Design Guide 33 Curved Member Design AISC American Institutes Of Steel Construction
- Design Guide AISC 360-16 Specification For Structural Steel Building, American Institutes Of Steel Construction
- Design Guide 2x: 2002 Desgin Of Castellated And Cellular Beams, AISC American Institutes Of Steel Construction
- Dipl.-Ing. (FH) Gerhard Rehm . 2017. Generating Wind Loads on Dome with Circular Base According to EN 1991-1-4 in RFEM file online. <https://www.dlubal.com/en/support-and-learning/support/knowledge-base/001392> [Son erişim tarihi: 07.06.2021].
- Erdal, Ferhat. 2016. 'Effect of stiffeners on failure analyses of optimally designed perforated steel beams', *Steel and Composite Structures*, 22: 183-201.
- H. S. JaD/Hav, Ajit S. Patil, 2013. Parametric Study of Double Layer Steel Dome with Reference to Span to Height Ratio. *International Journal of Science and Research (IJSR)*, India Online ISSN: 2319-7064
- Lyubomir A. Zdravkov. 2014. Self - supporting Dome Roof on Tank with V = 70 000 m3 capacity, New approaches to design file online. https://www.researchgate.net/profile/LyubomirZdravkov/publication/267330746_Self_supporting_Dome_Roof_on_Tank_with_V_70_000_m3_capacity_New_approaches_to_design/links/544b8ac40cf2bcc9b1d69d0d/Self-supporting-Dome-Roof-on-Tank-with-V-70-000-m3-capacity-New-approaches-to-design.pdf [Son erişim tarihi: 07.06.2021].
- Nur Rosely. 2015. Analysis Of Structure Behaviour Of Domes. PhD Thesis, Universiti Malaysia Pahang. 46 p.
- O. Hasançebi, F. Erdal, M. P. Saka, 2009. Optimum Design Of Geodesic Steel Domes Under Code Provisions Using Metaheuristic Techniques. *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*. Issue 2(2010)88-103

- Robert Szmit. 2017. Geometry Design And Structural Analysis Of Steel Single-Layer Geodesic Domes file online. https://www.researchgate.net/publication/320548684_Geometry_Design_and_Structural_Analysis_of_Steel_Single-Layer_Geodesic_Domes [Son erişim tarihi: 07.06.2021].
- Sonck, D., R. Van Impe, and J. Belis. 2014. 'Experimental investigation of residual stresses in steel cellular and castellated members', *Construction and Building Materials*, 54: 512-19.
- S. Kitipornchaia, Wenjiang Kanga, 2005. Factors affecting the design and construction of Lamella suspen-dome systems. *Journal of Constructional Steel Research* 61 (2005) 764–785
- Shah Yash Jayminkumar, Farhan Vahora, 2016. A Parametric Study On Steel Dome Structures. *International Journal For Technological Research In Engineering*, ISSN (Online): 2347 – 4718
- TS EN 1991-1-4 Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-4 Genel Etkiler – Rüzgâr Etkiler (EUROCODE 1)
- TS EN 1991-1-3 Yapılar Üzerindeki Etkiler – Bölüm 1-3 Genel Etkiler – Kar Etkiler (EUROCODE 1)
- Venkayya, VB. 1973. "Application of optimality criteria approaches to automated design of large practical structures, AGARD-CPP-123." In Second Symposium on Structural Optimization.
- Xiangrong, Chen, Chen Xing, and Wang Xinwei. 2016. 'Simplified calculation method of cellular beam with enhanced compression flange', *Building Structure*: 14.
- Zaarour, Walid, and Richard *Journal of structural engineering Redwood*. 1996. 'Web buckling in thin webbed castellated beams', 122: 860-66.
- Zaher, OF, NM Yossef, MH El-Boghdadi, and MA Dabaon. 2018. 'Structural behaviour of arched steel beams with cellular openings', *Journal of Constructional Steel Research*, 148: 756-67.

ÖZGEÇMİŞ

Abdullah ADNANOĞLU

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2018-2022	Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2014-2018	Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Antalya