

UZAY KAFES YAPILARIN OPTİMİZASYONU

Sümeýra CİHANGİROĞLU

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sedat SAVAŞ

EYLÜL-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY KAFES YAPILARIN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sümevra CİHANGİROĞLU
091115106

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Mekanik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Sedat SAVAŞ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 Eylül 2012

EYLÜL-2012

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY KAFES YAPILARIN OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sümeyra CİHANGİROĞLU
091115106

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 Eylül 2012

Tezin Savunulduğu Tarih : 03 Ekim 2012

Tez Danışmanı :

Yrd. Doç. Dr. Sedat SAVAŞ (F.Ü)

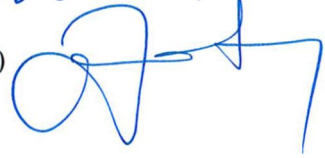


Diğer Jüri Üyeleri :

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER (F.Ü)



Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)



EYLÜL-2012

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi aşamalarında benden desteğini, sabrını, özverisini ve bilgisini esirgemeyen çok değerli danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Sedat SAVAŞ' a, bilgilerini ve desteklerini esirgemeyen İnş. Müh. Nadir CİHANGİROĞLU, Prof. Dr. Mehmet ÜLKER, Yrd. Doç. Dr. Erkut SAYIN, Yrd. Doç. Dr. Muhammet KARATON ve Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde hizmet veren tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma, değerli arkadaşlarım Abdulaziz KOÇ, Osman HANSU ve Feyza GÜNAY'a, en son olarak da beni bugünlere sevgi, saygı ve hoşgörü ile getiren canım aileme sonsuz teşekkürler.

Sümevra CİHANGİROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
SEMBOLLER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR	XI
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. MATERYAL ve METOT	3
2.1 Uzay Kafes Sistemlerin Faydaları	3
2.2 Uzay Kafes Sistemleri Oluşturan Elemanlar	4
2.3 Uzay Kafes Sistemlerin Sınıflandırılması	5
2.4 Kubbesel Uzay Kafes Sistemler	7
2.5 Optimizasyon	9
2.5.1 Amaç Fonksiyonu	10
2.5.2 Bilinmeyenler yada Değişkenler	10
2.5.3 Sınırlayıcılar	10
2.6 Yapıların Optimizasyonu	11
2.6.1 Giriş	11
2.6.2 Optimizasyon Tipleri	12
2.6.3 Optimum Kriteri Metodu	12
2.7 Genel Formülasyon	13
2.7.1 Tam Gerilmeli Boyutlandırma	15
2.7.2 Birinci Mertebe Yaklaşımlar	16
2.7.3 Sıfırıncı Mertebe Yaklaşımı (Gerilme Oranı İşlemleri)	17
2.7.4 Doğrusal Olan ve Doğrusal Olmayan Programlama ile Optimizasyon	18
2.7.5 Big Bang - Big Crunch Optimizasyon Metodu	19

2.7.6	Big Bang – Big Crunch Optimizasyon Yönteminin Algoritması	20
2.7.7	Uzay Kafes Yapılarda Big Bang - Big Crunch ile Optimizasyon.....	21
2.8	Uzay Kafes Yapılarda Yükleme Durumları	24
2.8.1	Giriş.....	24
2.8.2	ASCE 7-98 Yükleme Şartları	24
3.	BULGULAR.....	33
3.1	Sayısal Uygulama.....	33
3.2	Yüklemeler	34
3.2.1	Rüzgar Yüğü (Analitik Prosedüre Göre).....	34
3.2.2	Kar Yüğü	37
3.2.3	Ölü Yüğü	39
3.2.4	Çatı Hareketli Yüğü	39
3.2.5	Kombine Yüğü Durumu	39
3.2.6	Yükleme Durumları.....	43
4.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	67
5.	KAYNAKLAR	68
6.	EKLER	70
	ÖZGEÇMİŞ	71

ÖZET

Çalışmada, uzay kafes sistemler ile ilgili genel bilgiler verilmiş, ANSYS APDL dili kullanılarak, birinci mertebe yaklaşımı (*First Order*) ile hem doğrusal olan hem de doğrusal olmayan analiz ve yine ANSYS APDL dili kullanılarak Big Bang- Big Crunch (BB-BC) Optimizasyon tekniği ve bu tekniğin tarafımızca değiştirilmiş hali ile tek katlı kubbe formda olan bir uzay kafes sistemin optimizasyonu yapılmıştır. Elde edilen tüm bulgular diğer bilimsel araştırmalar ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Uzay Kafes Sistemlerde Optimizasyon, ANSYS ile Optimizasyon, Birinci Mertebe Yaklaşımı Metodu, Big Bang- Big Crunch Metodu

SUMMARY

OPTIMIZATION OF SPACE TRUSS SYSTEMS

In this study, general information related to space trusses, using the *First-order approach* and both linear and non-linear analysis and also Big Bang - Big Crunch (BB-BC) Optimization technique and a modified version by us of this technique were used with *ANSYS APDL* language for optimizing a dome structure. However; lastly, all the results obtained, were compared with other scientific research.

Key Words: Optimization, Optimization of Space Truss Systems, Optimization with ANSYS, First Order Approaching Method, Big Bang- Big Crunch Optimization Method

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Uzay kafes yapıları oluşturan elemanlar.....	4
Şekil 2.2.	Uzay kafes sitemlerin düğümünde kullanılan elemanlar.....	4
Şekil 2.3.	Doğuray ve doğrultman	6
Şekil 2.4.	Çift katlı uzay kafes sistem/Amerika	6
Şekil 2.5.	Temel Kubbe Oluşumları.....	7
Şekil 2.6.	Boludel Konservatuarı, Kraliçe Elizabeth Par, Vancouver /Kanada.....	7
Şekil 2.7.	Çelik uzay kafes sistem, Houston/ Amerika	8
Şekil 2.8.	Çelik uzay kafes sistem, Toronto/Kanada	8
Şekil 2.9.	Paten parkurları /Ankara, İstanbul.....	8
Şekil 2.10.	Çelik uzay kafes sistemler/Gaziantep, Bursa.....	9
Şekil 2.11.	$f(x)$ fonksiyonunun minimum değerinin, $-f(x)$ fonksiyonunun maksimum değeriyle aynı olması durumu	9
Şekil 2.12.	Rüzgar tüneli uygulama örnekleri.....	31
Şekil 3.1.	Uzay kafes sistemin şekil, plan özellikleri ve önden görünüşü	34
Şekil 3.2.	Çatılarda açı hesabı için sistem geometrisi.....	38
Şekil 3.3.	Dengelenmemiş kar yükünün şekil ile gösterilmesi.....	39
Şekil 3.4.	354 elemanlı, 8.28 metre yüksekliğinde ki uzay kafes sistem	40
Şekil 3.5.	Uzay kafes sistemde çubuk eleman grupları.....	41
Şekil 3.6.	Uzay kafes sistemin önden görünüşü	41
Şekil 3.7.	Uzay kafes sistemin başka bir açıdan görünüşü.....	42
Şekil 3.8.	Uzay kafes sistemde düğüm noktaları	42
Şekil 3.9.	Birinci yükleme durumunun şematik gösterimi.....	43
Şekil 3.10.	İkinci yükleme durumunun şematik gösterimi.....	44
Şekil 3.11.	Üçüncü yükleme durumunun şematik gösterimi.....	46
Şekil 3.12.	Dördüncü yükleme durumunun şematik gösterimi	50
Şekil 3.13.	Beşinci yükleme durumunun şematik gösterimi	54
Şekil 3.14.	Altıncı yükleme durumunun şematik gösterimi	59

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Önem katsayısı değerleri	26
Tablo 2.2. Bina çeşitlerine göre temel rüzgar hız değerleri.....	26
Tablo 2.3. Rüzgar yönü faktörü	27
Tablo 2.4. Rüzgar yükü tasarım formülleri	29
Tablo 2.5. Maruz kalma katsayısı	32
Tablo 3.1. 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sistemin optimizasyon sonuçları - 1	64
Tablo 3.2. 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sistemin optimizasyon sonuçları - 2.	65
Tablo 3.3. 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sisteminin tüm birleşim noktalarında ki deplasman değerleri	66

SEMBOLLER LİSTESİ

σ^+	: Çekme sınır gerilmesi
σ^-	: Basınç sınır gerilmesi
F_y	: Çelik akma dayanımı
E	: Çelik elastisite modülü
C_c	: Elastik ve inelastik burkulma bölgelerini ayıran narinlik oranı
λ	: Narinlik oranı
$f(X)$	: Amaç Fonksiyomu
$g_n(X)$	: Sınırlayıcılar
$\{X\}^T$	: Yapı elemanının en kesit değişkenleri
$\{X\}$	: Yapı elemanının tasarım değişkenleri
$\{X^L\}$	: Yapı elemanı tasarım üst sınırlayıcısı
$\{C\}$	: Malzeme yoğunluğu ve eleman boyuna bağlı katsayıları içeren sabitler vektörü
$\{r\}$	: Deplasman
$\{r^U\}$	: Deplasman üst sınırlayıcısı
$[\nabla r_x^*]$	: Birinci mertebe deplasman türev değeri
$\{r^*\}$	: Birinci mertebe türevlerine ait deplasman matrisi
$\{\sigma^U\}$	: Gerilme üst sınırlayıcısı
$\{\sigma^{(k)}\}$	: k'inci tasarım noktasında verilen gerilme değeri
$[\nabla \sigma_x^*]$	: Birinci mertebe gerilme türev değeri
$[\nabla \sigma_x^k]$	: k'inci tasarım noktasında verilen gerilme değerinin kısmi türev matrisi
$\{\sigma^*\}$	: Birinci mertebe türevlerine ait gerilme matrisi
$[D]$	: Gerilme rijitlik matrisi
X_c	: Kütle merkezinin pozisyonu
x_i	: Adayın pozisyonu
f_i	: i' inci adayın uygunluk fonksiyon değeri
N	: Big Bang (BB) aşamasında ki popülasyon sayısı
$x_{\min}$	: x'in minumum değeri
$x_{\max}$	: x'in maksimum değeri
rand	: 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı
k	: İterasyon sayısı

α	: Araştırma uzayının sınırlanmış boyut parametresi
V_{tot}	: Yapı hacmi
$W(\{x\})$	: Yapı ağırlığı
n	: Yapıyı oluşturan elemanların numaraları
m	: Nod sayısı
ns	: Basınç elemanlarının sayısı
ng	: Tasarım değişkenleri grup sayısı
γ_i	: Eleman malzeme yoğunluğu
L_i	: Eleman uzunluğu
A_{maks}	: Maksimum alan değeri sınırı
A_{min}	: Minimum alan değeri sınırı
δ_i	: Nodal deplasman
σ_i^b	: Basınç elemanlarında izin verilebilir burkulma gerilmesi değeri
A_i	: A_{min} ile A_{maks} arasında seçilen eleman kesit alanı
$A_i^{(k,j)}$	: k' ıncı iterasyonda üretilmiş j' inci çözümün i' inci bileşeni
r_j	: Her aday için değişen, standart normal dağılımdan gelen rastgele bir sayı
α_1	: Araştırma uzayını sınırlayan bir parametre
Mer^k	: k' ıncı aday için merit fonksiyonu;
ϵ_1	: Merit fonksiyonu katsayısı
ϵ_2	: Merit fonksiyonu katsayısı
ϵ_3	: Merit fonksiyonu katsayıları
$\phi_{\sigma}^{(k)}$	: k adayı için gerilme ceza toplamı
$\phi_{\delta}^{(k)}$	: k adayı için deplasman ceza toplamı
$\phi_{\sigma b}^{(k)}$	: k adayı için burkulma gerilmesi ceza toplamı
np	: Çoklu yükleme sayısı
D	: Ölü yük değeri
E	: Deprem yükü
F	: İyi tanımlanmış, maksimum yükseklikli akışkanlara bağlı olarak oluşan yükler
H	: Yanal toprak basıncı, yeraltı su basıncı veya toplu basınç nedeniyle oluşan yükler
L	: Hareketli yük

L_r	: Çatı hareketli yükü
R	: Yağmur yükü
S	: Kar yükü
W	: Rüzgar yükü
I	: Önem katsayısı
V	: Temel Rüzgar Hızı
K_d	: Rüzgar yönü faktörü
$K_z (K_h)$	: Hızlı basınca maruz kalma katsayısı
K_{zt}	: Topografik katsayı
G	: Bora etkisi faktörü (rijit yapılarda)
G_f	: Bora etkisi faktörü (esnek veya dinamikçe hassas yapılarda)
GC_{pi}	: İç basınç katsayısı (ana rüzgar direnç sistemi için)
GC_{pf}	: Dış basınç katsayısı (bileşenler ve kaplama için)
C_p	: Dış basınç katsayısı
q_z	: 'z' yüksekliğinde hızlı basınç
q_h	: 'h' çatı yüksekliğinde denklem kullanılarak hesaplanan hız basıncı
C_f	: Kesin kuvvet katsayısı
A_f	: Gerçek yüzey alanı için belirtilen ' C_f ' dışında kalan rüzgar için projelendirilen alan.
P_f	: Metrekare başına düşen kar yükü
C_e	: Maruz kalma faktörü
C_t	: Isı Faktörü
P_g	: Yer kar yükü
P_s	: Eğimli çatı kar yükü
p_f	: Eğimi 5 dereceden daha az olan çatı yükü
K_1	: Topografik özellik ve maksimum hız etkisi için hesap faktörü
K_2	: Doruğun rüzgar üstü ve rüzgar altı mesafesinde meydana gelen hız azalması için hesap faktörü
K_3	: Lokal arazi üzerinde ki yükseklikte ki hız azalması için hesap faktörü

KISALTMALAR

APDL	: ANSYS Parametric Design Language
BB-BC	: Big Bang- Big Crunch
ASCE	: American Society of Civil Engineers
TS	: Türk Standartları
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Standartları)
ASCE	: American Society of Civil Engineers

1. GİRİŞ

Yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve endüstrileşmiş çözüm arayışı uzay kafes sistemlerin doğmasına sebep olmuştur. Bu sistemler yapılarda büyük açıklıkların kolonsuz ve hafif bir yapı sistemi ile geçilmesini sağlayarak işlevsel olarak yapıların daha esnek ve kullanışlı olmasını sağlamaktadır. Uygulama alanı giderek artan uzay kafes sistemler, birbirlerine düğüm noktalarından bağlı basit çekmeye veya basınca çalışan doğrusal çubuklar ağından kurulu düzenlerdir.

Bu sistem, çubuklar düzeni olarak üzerine etkiyen dış yükleri üç doğrultuda mesnetlere ileten ve boşluğun organize edilmesi ilkesine göre üretilen sistemlerdir. Statik yararları açısından, bu sistemler diğer birçok taşıyıcı sisteme oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte ve buna bağlı olarak maliyet önemli ölçüde azalmaktadır. Uzay kafes sistemler günümüzde büyük açıklıklı sanayi ve spor kompleksi yapıları ve uçak hangarlarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu sistemlerle 150 metreye kadar olan açıklıklar geçilebilmektedir. Bu strüktür sistemleriyle kare, dikdörtgen, poligon ve daire şeklindeki mekânlara uygun örtü biçimleri oluşturulmaktadır. Bu sistemler, düzlem yüzeyler ve bunun katları halinde geliştirilebileceği gibi kubbe ve tonozsal biçimlerde ve bunların tekrarı şeklinde de kurulabilmektedir. Ayrıca uzay kafes sistemlerde elektrik, sıhhi tesisat, havalandırma kanalları, klima, iklimlendirme sistemleri gibi donatılar, bu sistemlerin oluşum ilkesinden doğan boşluklarda kendilerine kolaylıkla yerleşim alanı bulabilmektedir. Uzay kafes sistemlerle, geometrisi tanımlanan hemen her form çözülebilir. Bu da mimari isteklere statik olarak cevap verebilmek demektir [1].

Günümüzde uzay kafes sistemler, geliştirilen bilgisayar programları ile analiz edilip çözümlenebilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada değişik yüklemeler altında tek katmanlı kubbe kafes yapısının analizi yapılmış ve sonuçlar aynı sistemin başka araştırmacılar tarafından yapılmış analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Çalışmada aşağıdaki adımlar takip edilmiştir;

- a- Sistem geometrisi *ANSYS APDL* dili ile oluşturulmuştur.
- b- Yapılan yüklemeler yazılan programa eklenmiştir.
- c- ANSYS programının optimizasyon yeteneği kullanılarak *FIRST ORDER* (Birinci Mertebe Yaklaşımı) metodu ile doğrusal olan ve doğrusal olmayan çözümler yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.
- d- Klasik Big Bang - Big Crunch (BB-BC) optimizasyon yöntemi *ANSYS APDL* dili ile düzenlenerek sisteme uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir.
- e- Tarafımızca değiştirilmiş ve düzenlenmiş BB – BC optimizasyon yöntemi *ANSYS APDL* dili ile düzenlenerek sisteme uygulanmış ve sonuçlar elde edilmiştir.
- f- Elde edilen tüm sonuçlar literatürdeki diğer sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1.Uzay Kafes Sistemlerin Faydaları

Uzay kafes sistemler geniş açıklıkların geçilmesi için en uygun sistemlerdir. Uzay kafes sistemler ile kazanılacak hacim ve tüketilen yapı malzemesi arasındaki oran diğer yapı malzemelerinin tüketim oranına göre oldukça uygundur. Oluşturulacak hacim büyüklüğü ile yapı maliyeti ters orantılıdır. Bu sistemler, iskele gereksinimini ortadan kaldırmak için genellikle zemin kotunda kurulmakta ve çeşitli yöntemler ile yerlerine monte edilmektedir. Bu nitelikler uzay kafes sistemler ile oluşturulan yapıların maliyetini ve yapım sürecini azaltmaktadır. Uzay kafes sistemleri diğer yapı sistemlerinden ayıran en büyük özellik, montaj edilen yapı bileşenlerinin sökülerek başka bir yerde tekrar kullanılabilmesidir. Böyle bir şey betonarme sistemler için söz konusu değildir. Uzay kafes sistemler ise modüler olan yapı bileşenleri ile rahatlıkla sökülüp taşınmakta ve başka bir yerde yeniden kurulabilmektedir. Bu nedenle kalıp ve iskele masrafı ortadan kalkmakta, inşaatın süratle bitirilmesi de ekonomi sağlamaktadır.

Çelik sistemlerde de en hafif sistem uzay kafes sistemlerdir. Uzay kafes sistemler yüksek derecede hiperstatik sistemlerdir.

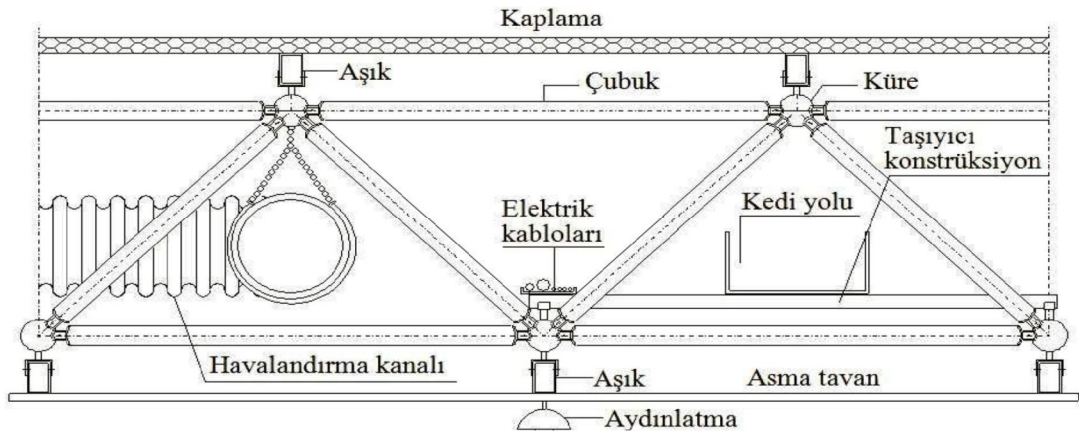
Sistemin yapısı nedeniyle, çubukların aksenal basınç ve çekmeye çalıştıkları, moment almadıkları kabul edilir. Bunu sağlayabilmek için çubukların eksenlerinin düz olması gerekir. Aksi halde düğüm noktalarında moment oluşacaktır [2].

Sonuç olarak sistem, elemanlarını eğilmeye zorlamadığı için büyük açıklıkların geçilmesinde yapısal güven sağlanmaktadır. Uzay kafes sistemler diğer yapı sistemlerine oranla daha hafiftir. Yapı sisteminden gelen sabit ve hareketli yükleri zemine ileten temeller, yapının hafif olması sebebiyle daha az yük taşıyacak şekilde ebatları küçük olarak dizayn edilmektedir. Deprem etkisi yapının ağırlığı ile doğru orantılı olarak arttığı için uzay kafes sistemler depremden daha az etkilenir. Betonarme yapı sistemlerine göre daha elastik ve süneklerdir.

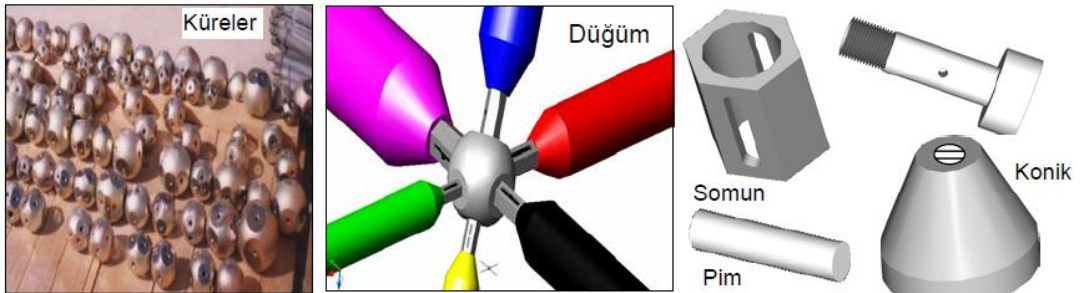
2.2. Uzay Kafes Sistemleri Oluşturan Elemanlar

Uzay kafes yapıları oluşturan elemanlar şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Çubuklar
- 2- Konikler
- 3- Düğüm noktaları
- 4- Cıvata, somun ve pimler
- 5- Aşıklar ve aşık elemanları
- 6- Mesnetler
- 7- Temeller
- 8- Örtü elemanları



Şekil 2.1. Uzay kafes yapıları oluşturan elemanlar [2]



Şekil 2.2. Uzay kafes sistemlerinin düğümünde kullanılan elemanlar [3]

2.3. Uzay Kafes Sistemlerin Sınıflandırılması

Uzay kafes sistemler geometrik olarak ikiye ayrılır [2].

- 1- Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler
- 2- Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler
 - Tek eğrilikli uzay kafes sistemler
 - Çift eğrilikli uzay kafes sistemler

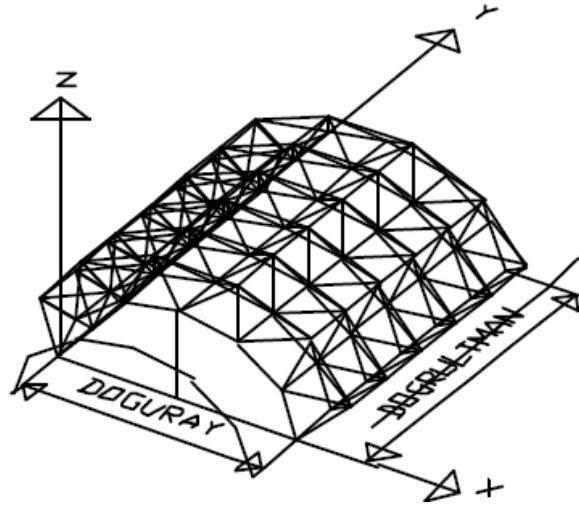
Uzay kafes sistemler tabakalarına göre de sınıflandırılabilir [2].

- 1- Tek tabakalı uzay kafes sistemler
 - Kubbesel yapıdaki uzay kafes sistemler
 - Tonozsal yapıdaki uzay kafes sistemler
- 2- Çift tabakalı uzay kafes sistemler
 - Işınsal yapıdaki uzay kafes sistemler
 - Silindirik yapıdaki uzay kafes sistemler
 - Kare yapıdaki uzay kafes sistemler
- 3- Çok tabakalı uzay kafes sistemler
 - Kare yapıdaki uzay kafes yapılar
 - Piramit yapıdaki uzay kafes sistemler
 - **Doğuray ve Doğrultman**

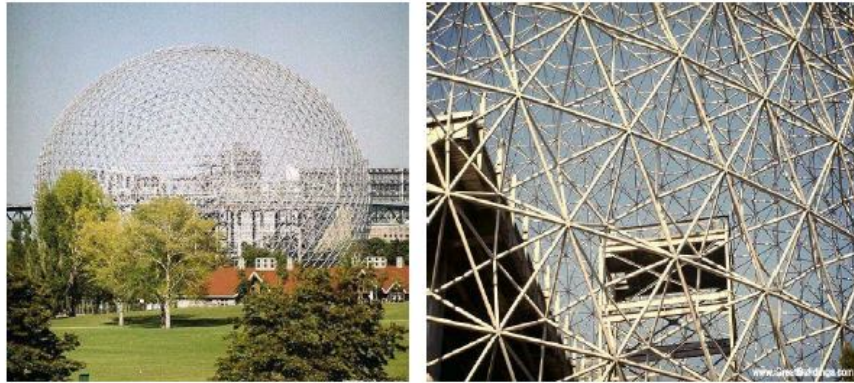
Uzay kafes sistemlerin geometrisinin üretilmesi için iki farklı yöntem izlenir. Bu yöntemden ilki; bir doğru veya eğrinin aynı düzlemde bulunan bir eksen etrafında döndürülmesiyle hacimsel bir yüzey üretilmesidir. Diğer yöntem ise bir doğru veya eğrinin bulunduğu düzleme dik yönde ki diğer bir düzlem içinde yer alan bir eğri veya bir doğru üzerinde ötelenmesiyle bulunmasıdır. Buna göre bir çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir doğru parçası üzerinde ötelersek silindir yüzey, yine aynı çember parçasını ona

dik düzlemde yer alan bir başka çember ya da parabol yayı üzerinde ötelerek de hiperbolik veya eliptik parabolit yüzey elde etmiş oluruz [4].

Ötelenen yay veya doğru parçasına doğuray, üzerinde doğurayın ötelendiği yay veya doğru parçasına da doğrultman denir (Şekil 2.3.) [2].



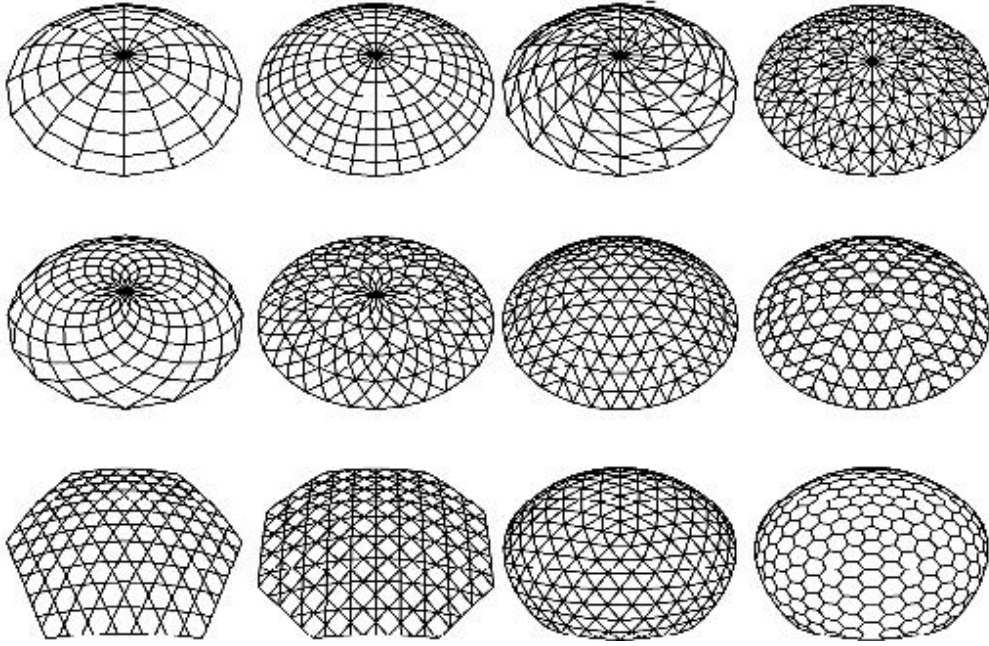
Şekil 2.3. Doğuray ve doğrultman [4]



Şekil 2.4. Çift katlı uzay kafes sistem/Amerika[5]

2.4. Kubbesel Uzay Kafes Sistemler

Kubbeler, tüm yönlere doğru kemerlenmiş bir veya daha fazla tabakalı elemandan meydana gelen yapı sistemleridir [6]. Bir kubbenin yüzeyi, küre veya paraboloidin bir parçası olarak veya farklı yüzeylerin bir araya getirilmesiyle oluşturulabilir [7]. Genel olarak kullanılan temel kubbe oluşumları Şekil 2.5.' te gösterilmiştir [5].



Şekil 2.5. Temel Kubbe Oluşumları [5]



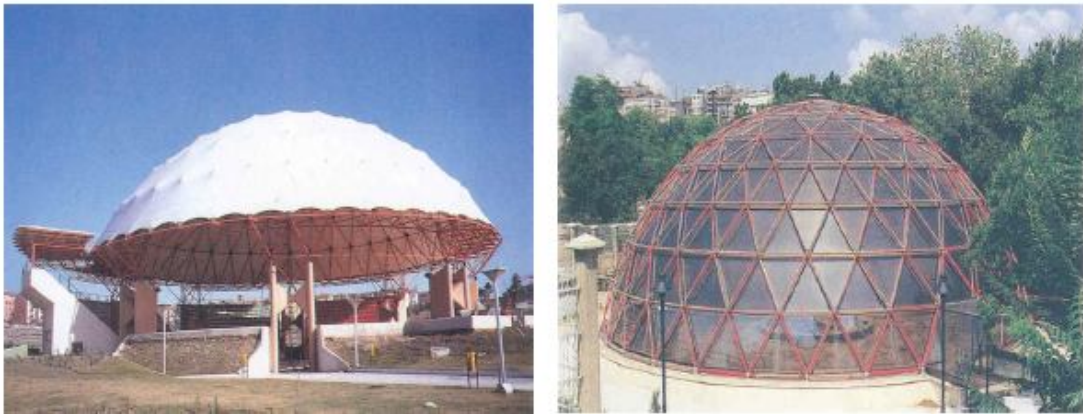
Şekil 2.6. Boludel Konservatuvarı, Vancouver /Kanada [5]



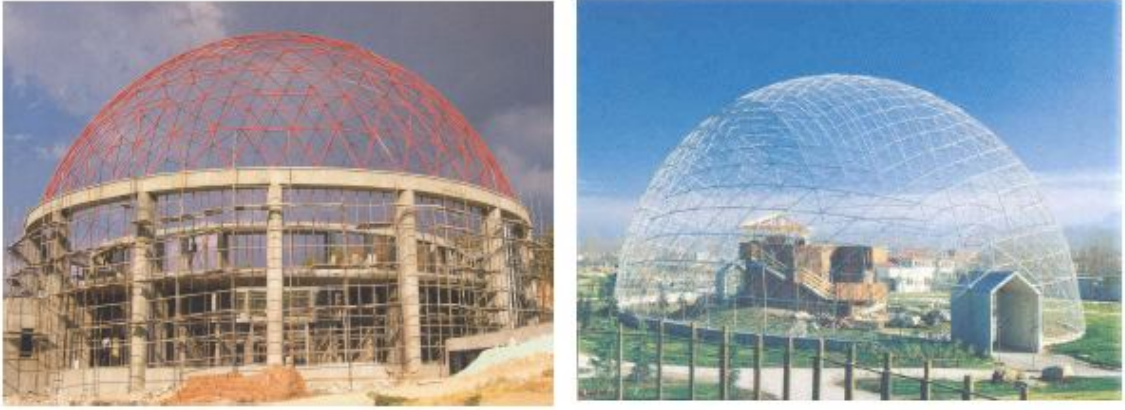
Şekil 2.7. Çelik uzay kafes sistem, Houston/ Amerika [5]



Şekil 2.8. Çelik uzay kafes sistem, Toronto/Kanada [5]



Şekil 2.9. Paten parkurları /Ankara, İstanbul [5]

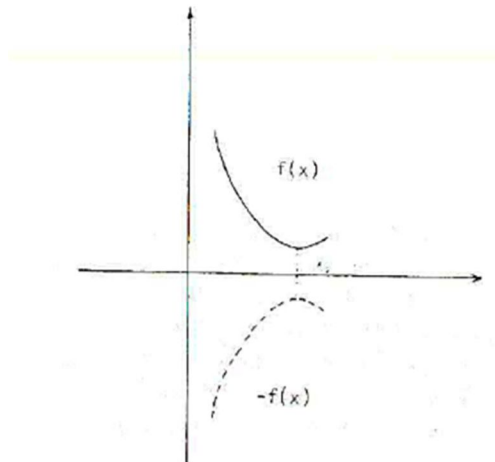


Şekil 2.10. Çelik uzay kafes sistemler/Gaziantep, Bursa [5]

Kubbesel yapılar tek veya çift tabaka yapılabilirler. Tek tabakalı sistemler 40 metre ve 40 metreden küçük açıklıklarda kullanılabilirken çift tabakalı sistemler 200 metre ve daha fazla açıklıklarda kullanılabilirler.

2.5. Optimizasyon

Optimizasyon, verilen şartlar altında en iyi sonucun elde edilmesi işidir. Gerçek hayatta istenen kar yada gereken çaba, belirli karar değişkenlerinin bir fonksiyonu olarak ifade edilebildiğinden, optimizasyon, bir fonksiyonun maksimum yada minimum değerini veren şartların bulunması sürecidir. Şekil 2.11 'de görüldüğü gibi bir fonksiyonun maksimumu, aynı fonksiyonun negatifinin minimumunu araştırarak bulacağından, optimizasyon, minimizasyon anlamında da kullanılabilir [8].



Şekil 2.11. $f(x)$ fonksiyonunun minimum değerinin, $-f(x)$ 'in maksimum değeriyle aynı olması durumu [8]

Bir optimizasyon probleminin 3 temel bileşeni vardır.

2.5.1. Amaç Fonksiyonu

Boyutlandırması veya optimizasyonu yapılacak sistemin iyilik derecesini belirtir. Maksimum veya minimum olacak şekilde tanımlanır. Örneğin minimum ağırlık için hedef fonksiyon, boyutlandırma hacmi ve özgül ağırlığının çarpımıdır.

2.5.2. Bilinmeyenler yada Değişkenler

Boyutlandırması yapılacak veya optimizasyonu yapılacak problemin değişkenlerini gösterir. Örneğin minimum hacim için bu değerler, parçanın hacmini etkileyen boyutlardır ve bu boyutlar değiştirilerek optimum geometri elde edilmeye çalışılır.

2.5.3. Sınırlayıcılar

Boyutlandırma işlemine veya probleme getirilen sınırlamalara denir. Bu sınırlayıcılar boyutlandırma değişkenleri üzerinde olabilir. Bir geometriyi optimum yapmaya çalışırken, bu geometrinin boyutlarının belli bir aralıkta olmasının istenmesi örnek olarak verilebilir. Sınırlayıcılar, boyutlandırma değişkenleri arasında da olabilir (bir boyutun diğer bir boyuttan büyük olması gibi). Bunun yanında sınırlayıcılar sistemin genel davranışı üzerine de olabilir [9]. Kısaca bu değerler, bilinmeyenlerin yada değişkenlerin, belirli değerleri almasına ve belirli değerleri de almamasına yarayan faktörlerdir.

Bu çalışma için; gerilme sınırlayıcıları, kesit alanı sınırlayıcıları ve deplasman sınırlayıcıları kullanılmıştır.

Gerilme sınır değerleri hesaplanırken, çalışmada oluşturulmuş olan 22 eleman grubu içerisindeki her bir çubuğun hangisinin basınca hangisinin çekmeye çalışacağı analiz yapılmadan belirlenemediği için programa şartlı ifadeler koyularak aşağıda ki denklemlere göre sınır gerilme değerleri hesaplanmıştır;

Çekmeye çalışan elemanlar için $F_y = 2400 \frac{kg}{cm^2}$ olarak alınır (ST 37 çeliği için) ve σ , çekmeye çalışan elemanlar için denklem (2.1) ile hesaplanır.

$$\sigma^+ = 0.6 * F_y \quad (2.1)$$

σ^- , basınca çalışan elemanlar için denklem (2.2) ile hesaplanır;

$$\sigma_i^- = \begin{cases} \left[\left(1 - \frac{\lambda_i^2}{2C_c^2} \right) F_y \right] / \left(\frac{5}{3} + \frac{3\lambda_i}{8C_c} - \frac{\lambda_i^3}{8C_c^3} \right), & \lambda_i < C_c \\ \frac{12\pi^2 E}{23\lambda_i^2}, & \lambda_i \geq C_c \end{cases} \quad (2.2)$$

Burada;

E : Çeliğin elastisite modülü; $2.1 \cdot 10^6 \frac{kg}{cm^2}$ olarak alınmıştır.

C_c : Elastik ve inelastik burkulma bölgelerini ayıran narinlik oranı

λ : Narinlik oranı (basınca çalışan elemanlarda maksimum 200 olarak alınmıştır)

2.6. Yapıların Optimizasyonu

2.6.1. Giriş

Yapıların boyutlandırılmasındaki amaç, servis süreleri boyunca üzerine etkiyen servis yüklerini yapıya güvenle taşımak ve kendisinden beklenen işlevleri yerine getirecek optimum çözümü elde etmektir. Tasarım mühendisleri, önce yapının geometrisini belirlemekte, daha sonra yapı üzerinde ki her elemanın kesit karakteristiklerini (kesit alanı, atalet momenti vs.) yapıya etkiyen yükleri emniyetle taşıyacak şekilde boyutlandırmaktadır.. Bu işlem bir dizi süreçten oluşur.

Başlangıçta bir ön kesit tayin edilir, daha sonra yapı şartnamelerinde belirtilen gerilme ve deplasman sınırlayıcıları dikkate alınarak kontrol yapılır. Bu sınırlayıcıların sağlanmaması durumunda yeni kesitler seçilerek analiz işlemi tekrar uygulanır. Bu süreç şartnamelerde belirtilen yapı davranışı sağlanıncaya kadar devam eder. Ancak bu yolla elde edilen geometrik karakteristikler, kabul edilebilir olmakla beraber, en ekonomik çözümü (optimum çözüm) vermeyebilir [10].

Yapısal optimizasyonun amacı, yapı hacmi, ağırlığı veya maliyetinin yapıda öngörülen sınırlayıcıları sağlayacak şekilde minimum çözümü sağlamasıdır. Bu sınırlayıcılar arasında

gerilme, deplasman, rijitlik, stabilite, dinamik durum ve kesitlerin belirli boyutlar arasında bulunması gibi karakteristikler ön planda yer almaktadır.

Optimizasyon teknikleri mühendisliğin her dalında geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle birçok optimizasyon algoritması geliştirilmiştir [11].

Sunulan çalışmada kullanılan ANSYS programında, birçok optimizasyon yöntemi olmakla birlikte, yapılan uygulamalarda optimumluk kriteri metotları içerisinde yer alan geliştirilmiş birinci mertebe yaklaşımı metodu (*First Order Method*) ve Big Bang - Big Crunch Optimizasyon metodu (BB-BC) kullanılmıştır.

2.6.2. Optimizasyon Tipleri

Optimizasyon problemlerinin hepsini etken olarak çözen tek bir yöntem mevcut değildir. Optimizasyon problemlerini incelemek ve çözmek için geliştirilen yöntemlerin tümüne “Optimizasyon Teknikleri” adı verilmektedir. Bu teknikler, ana başlıklar halinde aşağıdaki gibidir;

- Matematiksel Programlama Teknikleri
- Stokastik Süreç Teknikleri
- İstatistiksel Teknikler

Optimizasyon problemlerinin çözümünde analitik ve sayısal birçok yöntem kullanılmaktadır. Analitik yöntemlerin, çözüm yolunda belirli bir aşamadan daha ileriye geçememesi, birçok sayısal yöntemin geliştirilmesine zemin hazırlamıştır. Sayısal yöntemlerde de tekrarlı işlemlerin çokça yapılması, çağımızın en önde gelen ve vazgeçilmez unsurlarından olan bilgisayarları devreye sokmuştur. CAD, CAM ve CAE programları üreten bazı yazılım şirketleri, geliştirdikleri bu programlara tasarım optimizasyonu yapan modüller de eklemişlerdir [12].

Optimizasyon işleminin, programlama yöntemleri ile uygulanması yeni tip optimizasyondur ve klasik tipe (diferansiyel hesaplar ile uygulanan tip) nazaran çok daha etkilidir. Bunun sebebi büyük problemler ve eşitsizlikler içermesidir [10]. Bu tip bir organizasyonun genel ifadesi;

$$\text{Amaç fonksiyonu} \quad \min/\max Z = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n) = f(X) \quad (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Sınırlayıcılar} \quad & g_i(X) \leq b_i \\ & g_k(X) = b_k \\ & g_m(X) \geq b_m \end{aligned} \quad (2.4)$$

burada x_j boyutlandırma değişkeni, n boyutlandırma değişkenlerinin sayısı ve i, k, m sırasıyla küçük eşit, eşitlik, büyük eşit sınırlayıcılar sayısını ifade etmektedir. Denklem (2.3) ve denklem (2.4) 'teki fonksiyonlar, doğrusal nitelikte de olabilirler, doğrusal olmayan nitelikte de olabilirler[10].

2.6.3. Optimumluk Kriteri Metodu

Bu yöntem problemin fiziki karakterini hesaba katarak, yapının davranışı ile ilgili belirli kriterler ileri sürer. Analiz işlemine başlamadan önce bu kriterlerin belirlenmesi gerekir. Bu kriterler, kesin ve yaklaşık hesaba hatta tasarımcının sezgisine bağlı olarak ortaya konur. Yapı bu kriterleri sağlayacak şekilde dizayn edildiğinde, amaç fonksiyon optimum değeri alır. Diğer birçok optimizasyon tekniğinin, yapısal optimizasyon problemlerinde uygulanabilmesine karşın, bu yöntem başlangıçta belirlenen kriterler nedeni ile daha hızlı bir yakınsama yapar. Optimumluk kriteri yöntemi, tam gerilmeli boyutlandırma ve deplasman sınırlayıcılı boyutlandırma olarak iki dalda gelişim göstermekle birlikte, birinci yaklaşım, yapıların optimizasyonunda daha çok tercih edilmektedir [10].

2.7. Genel Formülasyon

Bir yapı elemanının optimizasyon problemi, denklem (2.3)' te verilene benzer olarak, $\{X\}^T = \{x_1, \dots, x_n\}$, yapı elemanının en kesit değişkenleri olmak üzere;

$$Z = F\{\{X\}\} \rightarrow \min \quad (2.5)$$

$$g_j = \{X\} \leq 0, \quad j=1, 2, \dots, m \quad (2.6)$$

şeklinde yazılabilir.

Burada m , eşitsizlik sınırlayıcılarının sayısıdır. Amaç fonksiyonu olarak $\{X\}$ ' in doğrusal terimlerinden oluşan bir fonksiyon olduğu dikkate alınırsa, denklem (2.5), denklem (2.7) 'ye dönüşür.

$$Z = \{C\}^T \{X\} \quad (2.7)$$

Burada $\{C\}$, malzemenin yoğunluğu ve eleman boyuna bağlı katsayıları içeren sabitler vektörüdür. $\{X\}$, tasarım değişkenleri; örneğin aksel yüküne maruz çubuklar için en kesit alanı, eğilmeye çalışan kirişler için mukavemet momenti gibi geometrik karakteristikleri içermektedir. Denklem (2.6)' daki eşitsizlikler ise aşağıda verilen sınırlayıcıları içermektedir.

$$\text{Minimum Eleman Boyutu} \quad \{X^L\} - \{X\} \leq \{0\} \quad (2.8)$$

$$\text{Maksimum Deplasman} \quad \{r\} - \{r^U\} \leq \{0\} \quad (2.9)$$

$$\text{Maksimum Gerilme} \quad \{\sigma\} - \{\sigma^U\} \leq \{0\} \quad (2.10)$$

Burada $\{X^L\}$, $\{r^U\}$ ve $\{\sigma^U\}$, enkesit değişkenleri olan $\{X\}$ değerlerinin, deplasman $\{r\}$ ve gerilme değeri olan $\{\sigma\}$ 'nin sınırlarını belirtmektedir. Dolayısıyla $\{X\}$, bir alt sınırlayıcısı (üst indis L), $\{r\}$ ve $\{\sigma\}$ bir üst sınırlayıcısı (üst indis U) ile formülize edilmiştir.

Ancak yukarıda tanımlanan denklem (2.8), (2.9) ve (2.10) daki sınırlayıcılar kapalı formdadır. Bu amaçla etkili tasarım metotları genellikle sınırlayıcıları açık formda ifade etmeye gereksinim duyar. Gerçekte birçok optimumluk kriteri algoritması birinci mertebe yaklaşımı üzerine dayanır. Bir $\{X^*\}$ noktası civarında $\{X\}$ ifadesinde $\{r\}$ ve $\{\sigma\}$ 'nin Taylor Serisi'ne göre birinci mertebe açılımı;

$$\{r\} \cong \{r^*\} + [\nabla r_x^*] (\{X\} - \{X^*\}) \quad (2.11)$$

$$\{\sigma\} \cong \{\sigma^*\} + [\nabla \sigma_x^*] (\{X\} - \{X^*\})$$

şeklinde verilebilir. Burada $\{r^*\}, \{\sigma^*\}, \{X^*\}$ kısmında hesaplanan $\{r^*\}$ ve $\{\sigma^*\}$ vektörleri, $[\nabla r_x^*], [\nabla \sigma_x^*], \{X^*\}$ kısmında hesaplanan birinci mertebe türevlerine ait matrisler olup aşağıdaki şekilde tanımlanabilirler.

$$\begin{aligned} [\nabla r_x^*] &= \left[\left\{ \frac{\partial r^*}{\partial X_1} \right\}, \dots, \left\{ \frac{\partial r^*}{\partial X_n} \right\} \right] \\ [\nabla \sigma_x^*] &= \left[\left\{ \frac{\partial \sigma^*}{\partial X_1} \right\}, \dots, \left\{ \frac{\partial \sigma^*}{\partial X_n} \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.12)$$

Burada ikinci ifade sonlu elemanlar yaklaşımında ki gerilme-şekil değiştirme bağıntısı kullanılarak;

$$[\nabla \sigma_x^*] = [D] [\nabla r_x^*] \quad (2.13)$$

şeklinde düzenlenebilir. Burada $[D]$, gerilme rijitlik matrisidir [10].

2.7.1. Tam Gerilmeli Boyutlandırma

Bu yöntemde, en az bir yükleme durumunda yapı elemanındaki maksimum gerilmenin, emniyet gerilmelerine erişmesi istenir. Bu yaklaşımın en yaygın kullanımı gerilme oranı yöntemidir (sıfırcı mertebe yaklaşımı). Bununla beraber tam gerilmeli boyutlandırma için tek bir en iyi algorithmadan söz edilemez.

Yöntem, izostatik yapılarda, iç kuvvetlerin tasarım değişkenlerinden bağımsız oluşu nedeniyle, hem deplasmanlar hem de değişkenler üzerine bir sınırlama getirmeyen durum için, minimum ağırlıklı boyutlandırma ile çakışır. Diğer taraftan hiperstatik sistemlerde ise, bu yöntemin ortaya koyduğu çözümün minimum ağırlıklı olması gerekmez. Ancak elde edilen çözüm optimuma yakındır [10].

2.7.2. Birinci Mertebe Yaklaşımlar

Denklem (2.11) kullanılarak (k+1)' inci iterasyondaki gerilme;

$$\{\sigma^{(k+1)}\} \cong \{\sigma^{(k)}\} + [\nabla \sigma_x^k] (\{X^{(k+1)}\} - \{X^{(k)}\}) \quad (2.14)$$

ile hesaplanabilir. Burada $\{X^{(k)}\}$, $\{\sigma^{(k)}\}$ ve $[\nabla \sigma_x^k]$, k' inci tasarım noktasında verilen değerlerdir. Buna göre $\{\sigma^{(k+1)}\}$ gerilmeleri için yeni tasarım değerleri, müsaade edilen gerilmelere ($= \{\sigma^U\}$) eşit olacak ve denklem (2.14) aşağıda verilen şekle dönüşecektir

$$\{\sigma^{(U)}\} \cong \{\sigma^{(k)}\} + [\nabla \sigma_x^k] (\{X^{(k+1)}\} - \{X^{(k)}\}) \quad (2.15)$$

Birinci mertebe yaklaşımı, tam sınırlandırılmış yüzeyin teğet düzlemi üzerinden çözüme gider. $\{X^{(k+1)}\}$, denklem (2.15)' in yerine konulduğunda çözüm elde edilmesine karşın bu işlemler aşağıda ki muhtemel problemleri içermektedir.

- a- Diverjans $\{X^{(k)}\}$, tam çözüme zayıf bir tahminle yaklaşıldığında meydana gelmektedir.
- b- Optimizasyon işleminde aktif olan gerilme sınırlayıcısı genellikle önceden bilinmez.
- c- Kısmi türev matrisi $[\nabla \sigma_x^k]$ değerinin hesaplanması gereklidir.
- d- İşlemler doğrusal denklem takımının çözümünü gerektirir.

Tek bir tasarım değişkeni X_i ' deki değişim için denklem (2.15) şu şekilde yazılabilir;

$$\{\sigma^{(U)}\} \cong \{\sigma^{(k)}\} + \left\{ \frac{\partial \sigma^{(k)}}{\partial X_i} \right\} (\{X^{(k+1)}\} - \{X^{(k)}\}) \quad (2.16)$$

Ve $X_i^{(k+1)}$ değeri, belirlenen bir σ_h gerilmesi için;

$$X_i^{(k+1)} = X_i^{(k)} + \frac{\sigma_h^U - \sigma_h^{(k)}}{\left(\frac{\partial \sigma_h}{\partial X_i} \right)^{(k)}} \quad (2.17)$$

şeklinde hesaplanabilir. Kritik gerilme, $X_i^{(k+1)}$ değerinin en büyük olması zorunluluğu için hesaplanabilir [10].

2.7.3. Sıfırıncı Mertebe Yaklaşımı (Gerilme Oranı İşlemleri)

Verilen bir yapı elemanında, gerilme neticesinde, yapıda ki kuvvet dağılımının etkisi dikkate alınmaz. (k+1)'inci iterasyonda, tasarım değişkenleri tekrarlı tasarım kuralı gereğince hesaplanabilir.

$$X_i^{(k+1)} = X_i^{(k)} \frac{\sigma_i^{(k)}}{\sigma_i^{(U)}} \quad (2.18)$$

Ancak eleman rijitliğinde ki artmanın, elemanı daha fazla kuvvete maruz bırakması sonucundan hareketle, X_i tasarım değişkenlerini uygun bir faktörle arttırmak gerekir ki daha büyük bir gerilme oranı elde edilsin. Konverjansı geliştirmek için 'overrelaxation' adı verilen bu faktör (β), 1 den büyük bir değere sahiptir.

$$X_i^{(k+1)} = X_i^{(k)} \left(\frac{\sigma_i^{(k)}}{\sigma_i^{(U)}} \right)^\beta \quad \beta > 1 \quad (2.19)$$

Yukarıda ki yaklaşımlara ilave olarak Melosh (1970) bir kuadratik ekstrapolasyon ile sonuca gidilebileceğini savunmaktadır. Buna göre $X_i^{(k)}$, $X_i^{(k+1)}$ ve $X_i^{(k+2)}$ tasarım değişkenleri kullanılarak, aşağıda ki şekilde ekstrapolasyon edilmiş $X_i^{(k+3)}$ tasarım değişkenleri hesaplanabilir.

$$X_i^{(k+3)} = X_i^{(k+2)} + 2 \frac{(X_i^{(k)} - X_i^{(k+1)})(X_i^{(k+2)} - X_i^{(k+1)})}{X_i^{(k)} - 2X_i^{(k+1)} + X_i^{(k+2)}} \quad (2.20)$$

Benzer olarak diğer ekstrapolasyon şemaları geliştirilebilir [10].

ANSYS programında *First Order* (Biririnci Mertebe Yaklaşımı) Metodu, doğrusal olan programlama veya doğrusal olmayan programlama seçeneklerini kullanarak iki şekilde çözüm yapmaktadır.

2.7.4. Doğrusal Olan ve Doğrusal Olmayan Programlama ile Optimizasyon

Matematik biliminde doğrusal programlama problemleri, bir doğrusal amaç fonksiyonunu, doğrusal eşitlikler ve eşitsizliklerden oluşan sınırlayıcılar kullanarak optimize eden problemlerdir. Bir optimizasyon modeli eğer sürekli değişkenlere ve tek bir doğrusal amaç fonksiyonuna sahipse ve tüm sınırlayıcıları doğrusal eşitlik veya eşitsizliklerden oluşuyorsa, doğrusal (doğrusal) program olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, modelin tek amaçlı fonksiyonu ve tüm sınırlayıcıları, süreklilik gösteren karar değişkenlerinin ağırlıklı toplamlarından oluşmalıdır [13].

Doğrusal programlama, yapılarda elastik davranışı temsil eder. Elastik davranışta, yapılara etkiyen yükün oluşturduğu etkiyle, yapıların büyük miktarda enerji sönümlendiği elastik ötesi davranış meydana gelmekte ve bunun sonucunda doğrusal-elastik analiz yöntemleri ile tasarlanan yapılarda ağır hasar oluşmaktadır. Doğrusal-elastik davranış kabulü, analizleri önemli miktarda kolaylaştırmasına ve yapının elastik kapasitesini iyi bir şekilde belirlemesine rağmen, yapının göçme mekanizmasının belirlenmesi ve elastik ötesi kapasitesinin devreye sokulması konusunda yetersiz kalmaktadır. Ayrıca doğrusal-elastik analiz yöntemleriyle yapı sisteminin deprem etkileri altında gerçek performansının anlaşılması mümkün olmamaktadır [14].

Bu sebepler dolayısıyla, doğrusal olmayan programlama seçenekleri kullanılır. Doğrusal olmayan programlama, amaç fonksiyonu ya da sınırlardan bazılarının doğrusal olmadığı genel durumları inceler [15].

Bu modellerde, amaç fonksiyonu veya sınırlardan bazıları doğrusal değildir. Optimizasyon sonucunda amaç fonksiyonunu en iyileyecek karar değişkenleri, x , n boyutlu uzayda herhangi bir gerçek değer alabilirler [16].

Doğrusal olmayan analiz de, plastikleşmeden dolayı ortaya çıkan elemanlar arası yük dağılımları, statik analiz esnasında göz önüne alındığından hasar seviyesi sonuçları, doğrusal analizde hesaplanan hasar seviyesi sonuçlarına göre daha olumludur [14].

2.7.5. Big Bang- Big Crunch Optimizasyon Metodu

Bu çalışma, evrenin evrim teorisinden meydana çıkmıştır. Osman K. Erol ve Ibrahim Eksin bu teoriden esinlenerek BB-BC diye adlandırılan bir optimizasyon algoritması yazmıştır. Başlangıç popülasyonunun rastgele bir şekilde oluşturulması, Big Bang safhası olarak adlandırılır [17].

Big Bang safhasının rastgele ve düzensiz enerji dağılımı bu safhanın ana özelliğidir. Rastgelelilik, lokal veya global optimum noktaya yaklaşırken bu durum, doğadaki enerji dağılımına eşdeğer olarak görülebilir. Enerji dağılımının düzenli parçacıklardan bozukluk oluşturmasından beri, rastgeleliği, yakınsanmış bir çözümden yeni bir aday çözümler toplamına ulaşım olarak görürüz. Öne sürülen bu metot, Genetik Algoritmanın başlangıçta rastgele bir popülasyon oluşturmaya benzer şekilde bir yol izler [18].

Bu metot Big Bang safhasında rastgele noktalar üretir. Big Crunch safhasında ise rastgele dağılmış parçacıklar bir düzen içine çekilir ve kütle merkezi, Big Crunch safhasında ‘uygun minimal maliyet yaklaşımı’ yoluyla tek bir noktaya küçülür. Sonuçlardan yola çıkılarak, yeni BB-BC metodunun performansının Klasik Genetik Algoritma Optimizasyon metodundan daha üstün olduğu görülmektedir.

Big Bang safhasında aday popülasyonu, araştırma uzayında rastgele üretilir ve Big Crunch safhasında bu adaylar bir yakınsama operatörü yardımıyla kütle merkezine doğru konsantre edilir. Big Crunch safhası çok girişli olup ‘kütle merkezi’ olarak adlandırılabilen, tek çıkışı olan bir yakınsama operatörüdür. Her adayın yeni pozisyonunun değerlendirilmesi kütle merkezi kullanılarak yapılır. Bu işleme yakınsama elde edilinceye kadar devam edilir. Rastgele sayı üreticisi, bütünden daha büyük sayılar üretebilir, bu yüzden -bu değerleri araştırma uzayı içerisinde tutabilmek için - sınırlandırmalar koyulur. Algoritmanın orjinal versiyonun da kütle merkezi aşağıdaki gibi hesaplanır [17].

$$X^{\rightarrow c} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i} X^{\rightarrow i}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{f_i}} \quad (2.21)$$

X_c : Kütle merkezinin pozisyonu

x_i : Adayın pozisyonu

f_i : i' inci adayın uygunluk fonksiyon değeri

N : Big Bang (BB) aşamasında ki popülasyon sayısı

Big Bang safhasından sonraki iterasyon için yeni generasyon, x_c etrafında dağıtılır. Kütle merkezi etrafındaki yeni adaylar, normal dağılımın standart sapması eklenerek veya çıkartılarak hesaplanır.

$$x_i^{new} = x_c + d \quad (2.22)$$

Aşağıdaki formüle göre standart sapma azaltılır.

$$D = \frac{\alpha(X_{max} - X_{min})rand}{k} \quad (2.23)$$

x_{min}, x_{max} : x değerlerinin minimum ve maksimum değerleri

rand : 0 ve 1 arasında rastgele bir sayı

k : İterasyon sayısı

α : Araştırma uzayının sınırlanmış boyut parametresi

Böylece yeni aday aşağıdaki gibi üretilir.

$$x_i^{new} = X_c + \frac{\alpha(X_{max} - X_{min})rand}{k} \quad (2.24)$$

Ayrıca öngörülen araştırma uzayı sınırları için limit popülasyon da gereklidir.

2.7.6. Big Bang – Big Crunch Optimizasyon Yönteminin Algoritması

- 1- Araştırma uzayında N tane aday rastgele olarak üretilir (Big Bang safhası)
- 2- Bütün aday çözümlerin uygunluk fonksiyonu elde edilir (Big Crunch safhası)
- 3- Denklem (2.21) kullanılarak kütle merkezi hesaplanır.
- 4- Yeni adaylar, denklem (2.23) kullanılarak- değeri azaltan standart sapmalar artırılarak veya azaltılarak- 3. adım içinde hesaplanır.
- 5- Tekrar 2. adıma dönülür. Kütle merkezi en optimum noktaya yakınsanana dek işlemlere devam edilir. Optimum nokta bulunduğu zaman ise döngü sona erer ve sonuca ulaşılmış olur.

2.7.7. Uzay Kafes Yapılarda ‘Big Bang - Big Crunch’ ile Optimizasyon

Uzay kafes yapılarda boyutsal optimizasyon, her bir eleman için kesit alanı olan A_i değerini optimum olarak belirlemeyi, yani ağırlık ve hacim değerini minimize etmeyi amaçlar. Bu minimum tasarım, tasarım değişken boyutları limit değeri olan eşitsizlik sınırlayıcılarını sağlamak zorundadır. Bir kafes yapının optimum tasarımı aşağıda ki şekilde formülize edilebilir.

Amaç fonksiyonu;

$$W(\{x\}) = \sum_{i=1}^n \gamma_i \cdot A_i \cdot L_i \quad \text{veya} \quad V_{\text{tot}} = \sum_{i=1}^n A_i \cdot L_i \quad (2.25)$$

$$\begin{aligned} \text{Sınırlayıcılar} \quad & \delta_{\min} \leq \delta_i \leq \delta_{\max} & i = 1, 2, \dots, m \\ & \sigma_{\min} \leq \sigma_i \leq \sigma_{\max} & i = 1, 2, \dots, n \\ & \sigma_i^b \leq \sigma_i \leq 0 & i = 1, 2, \dots, ns \\ & A_{\min} \leq A_i \leq A_{\max} & i = 1, 2, \dots, ng \end{aligned} \quad (2.26)$$

- $W(\{x\})$: Yapı ağırlığı
n : Yapıyı oluşturan elemanların numaraları
m : Nod sayısı
ns : Basınç elemanlarının sayısı
ng : Grup sayısı (tasarım değişkenleri sayısı)
 γ_i : Eleman malzeme yoğunluğu
 L_i : Eleman uzunluğu
 $A_{\max}$: Maksimum alan değeri sınırı
 $A_{\min}$: Minimum alan değeri sınırı
 δ_i : Nodal deplasman
 σ_i^b : Basınç elemanlarında izin verilebilir burkulma gerilmesi değeri
 A_i : $A_{\min}$ ile $A_{\max}$ arasında seçileneleman kesit alanı

BB - BC metodu, Erol ve Eksin tarafından iki aşamalı olacak şekilde geliştirilmiştir. Big Bang safhasında aday çözümler rastgele uzaya dağılır, Big Crunch safhasında ise yakınsama operatörü ile çok giriş, kütle merkezi olarak adlandırılan tek bir çıkışa dönüşür. Burada kütle, merit fonksiyonunun tersine tekabül eder. Kütle merkezini ifade eden A_i^{ck} aşağıda ki formüle göre hesaplanır [18].

$$A_i^{c(k)} = \frac{\sum_{j=1}^N \frac{1}{Mer_j} \cdot A_i^{(k,j)}}{\sum_{j=1}^N \frac{1}{Mer_j}}, \quad i=1,2,\dots,ng \quad (2.27)$$

$A_i^{(k,j)}$: k'inci iterasyonda üretilmiş j' inci çözümün i' inci bileşeni

N : Big Bang safhasında ki popülasyon boyutu

Big Crunch aşamasından sonra algoritma, Big Bang aşamasının bir sonra ki iterasyonunda kullanılmak üzere bir önce ki kütle merkezi değerini kullanarak yeni çözümler oluşturur. [18]

$$A_i^{(k+1,j)} = A_i^{c(k)} + \frac{r_j \cdot \alpha_1 \cdot (A_{maks} - A_{min})}{k+1}, \quad i=1,2,\dots,ng \quad (2.28)$$

r_j : Her aday için değişen, standart normal dağılımdan gelen rastgele bir sayı

α_1 : Araştırma uzayını sınırlayan bir parametre

Bu başarılı patlama ve yapılanma olayları, bir durdurma kriterine rastlayıncaya kadar devam eder.

BB-BC algoritması, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcılar arasında belirgin bir ilişkiye gerek duymaz. Bunun yerine, tasarım sınırlayıcıları her ihlal edildiğinde, bu durumu yansıtmak için amaç fonksiyonunun tasarım değişkenleri grubu cezalandırılabilir. Ceza fonksiyonlarını kullanırken, sınırlayıcılar izin verilebilir limit değerler arasında ise cezalandırma katsayısı sıfır olur, aksi durumda cezanın boyutu, izin verilebilir limit ihlalinin limite bölünmesiyle elde edilir. Bir yapıyı analiz ettikten sonra, her eleman için nod deplasmanı ve gerilmesi elde edilir. Bu değerler izin verilebilir değerler ile karşılaştırıldığında ceza fonksiyonu şu şekilde hesaplanır [18].

$$\sigma_i^{\min} < \sigma_i < \sigma_i^{\max} \rightarrow \phi_{\sigma}^{(i)} = 0$$

$$\sigma_i^{\min} > \sigma_i \text{ or } \sigma_i^{\max} < \sigma_i \rightarrow \phi_{\sigma}^{(i)} = \frac{\sigma_i - \sigma_i^{\min/\max}}{\sigma_i^{\min/\max}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.29)$$

$$\sigma_b < \sigma_i < 0 \rightarrow \phi_{\sigma b}^{(i)} = 0$$

$$\sigma_i < 0 \quad \wedge \quad \sigma_i < \sigma_b \rightarrow \phi_{\sigma b}^{(i)} = \frac{\sigma_i - \sigma_b}{\sigma_b}, \quad i = 1, 2, \dots, ns \quad (2.30)$$

$$\delta_i^{\min} < \delta_i < \delta_i^{\max} \rightarrow \phi_{\delta}^{(i)} = 0 \quad (2.31)$$

$$\delta_i^{\min} > \delta_i \text{ or } \delta_i^{\max} < \delta_i \rightarrow \phi_{\delta}^{(i)} = \frac{\delta_i - \delta_i^{\min/\max}}{\delta_i^{\min/\max}}, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\text{Mer}^k = \varepsilon_1 \cdot W^k + \varepsilon_2 \cdot (\phi_{\sigma}^{(k)} + \phi_{\delta}^{(k)} + \phi_{\sigma b}^{(k)}) \varepsilon_3 \quad (2.32)$$

Mer^k : k'inci aday için merit fonksiyonu;

$\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$: Merit fonksiyonu katsayısı

$\phi_{\sigma}^{(k)}$: k aday için gerilme ceza toplamı

$\phi_{\delta}^{(k)}$: k aday için deplasman ceza toplamı

$\phi_{\sigma b}^{(k)}$: k aday için burkulma gerilmesi ceza toplamı

Çoklu yükleme durumu için;

$$\text{Mer}^k = \varepsilon_1 \cdot W^k + \varepsilon_2 \cdot \sum_{i=1}^{np} (\phi_{\sigma(i)}^{(k)} + \phi_{\delta(i)}^{(k)} + \phi_{\sigma b(i)}^{(k)}) \varepsilon_3 \quad (2.33)$$

np : Çoklu yükleme sayısı

Parametreler üzerinde daha iyi bir kontrol için ε_1 ; 1, ε_2 ;yapı ağırlığı katsayısı, ε_3 ; ceza azaltma katsayısı olarak alınmıştır [19].

2.8. Uzak Kafes Yapılarda Yükleme Durumları

2.8.1. Giriş

Yükler, yapının ağırlığından, doğal ve çevresel faktörlerden, hareketli ve benzeri yüklerden kaynaklanan kuvvetlerdir. En çok bilinen yükler; ölü yük, deprem yükü, akışkan yükü, hareketli yükler, yanal toprak basınç yükü, yeraltı suyu basınç yükü, yağmur ve kar yükleri olarak sınıflandırılabilir. Tüm bu yüklerin içerisinde uzak kafes sistemler için en kritik yükler, rüzgar ve kar yükleridir [5].

Bu bölümde ASCE 7-98 kurallarına göre minimum tasarım yükleri açıklanacaktır.

2.8.2. ASCE 7-98 Yükleme Şartları

➤ Yük kombinasyonları

ASCE 7-98' e göre ilgili değerler aşağıda belirtilmiştir.

1- D

2- $D + L + F + H + T + (r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

3- $D + (W \text{ veya } 0.7 E) + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$

4- $0.6 D + W + H$

5- $0.6 D + 0.7 E + H$

Burada;

D : Ölü yük

E : Deprem yükü

F : İyi tanımlanmış, maksimum yükseklikli akışkanlara bağlı olarak oluşan yükler

H : Yanal toprak basıncı, yeraltı su basıncı veya toplu basınç nedeniyle oluşan yükler

L : Hareketli yük

L_r : Çatı hareketli yükü

R : Yağmur yükü

S : Kar yükü

W : Rüzgar yükü

➤ Rüzgar Yüğü

ASCE 7-98' de rüzgar yüklemeleri; binaların yük taşıma sistemleri ve diğer yapıların yük taşıma sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır.

• Ana Rüzgar Kuvveti Direnç Sistemi

Yapıya destek vermek ve tüm yapı üzerinde stabil bir durum oluşturmak için elemanlarla tanımlanan bir montaj sistemidir. Bu sistem genelde rüzgar yüklerini birden fazla yüzeyden alır [5].

• Bileşenler ve Kaplama

Bileşenler ve kaplama, ana rüzgar kuvveti direnci sistemi dışında kalan elemanlardır. Buna ek olarak yapılar, rijit ve esnek yapılar olmak üzere ikiye ayrılır. Temel doğal frekansı 1 Hz. den büyük veya 1 Hz.'ye eşit yapılar; rijit yapılar olarak, 1 Hz.den küçük yapılar ise esnek yapılar olarak adlandırılır [5].

Rüzgar yükü uygulamaları için ASCE tarafından tavsiye edilen 3 metot vardır;

Bunlar;

- 1- Basitleştirilmiş Prosedür
- 2- Analitik Prosedür
- 3- Rüzgar Tüneli Prosedürü

- Basitleştirilmiş Prosedür

Bu metot, aşağıdaki tüm koşulları karşılayan yapılar için kullanılır.

- 1- Tam çevrilmiş (kapalı) veya kısmen çevrilmiş (kısmen kapalı) olarak tanımlanabilen, rüzgar yüklerinin, zemin ve çatı diyaframları vasıtasıyla ana rüzgar direnç sistemlerine iletiildiği basit diyafram binaları.
- 2- Çatı eğimi 10 dereceden az olan binalar.
- 3- Çatı yüksekliği 9 metre veya 9 metreden az olan binalar.
- 4- Beklenmedik düzensiz bir geometriye sahip olmayan düzenli şekilli yapılar.
- 5- Temel doğal frekansı 1 Hz.'den düşük olan binalar esnek yapı olarak sınıflandırılmamıştır.

6- Hiç bir genişleme derzine veya ayrılmaya sahip olmayan binalar

7- Tepeler, sırtlar ve eğimli yüzeyler gibi topografik etkiler sonucu, rüzgar hızını artıran topoğrafik etkilere maruz kalmayan binalar.

Listede ki şartlardan görüldüğü üzere bu metot, alçak ve düzenli yapılarda uygulanmaktadır [5].

Boyutlandırma prosedürü aşağıda özetlenmiştir:

a- Temel rüzgar hızı, 'ASCE 7-98, Şekil. 6.1' de bölgelere göre özelleştirilmiştir.

b- Önem katsayısı olan I, 'ASCE 7-98 Tablo 6.1' e göre belirlenir. Binalar önem durumlarına göre 4 gruba ayrılırlar. 1. kategori tarım ve depolama tesisleri gibi insanlar için düşük tehlike oluşturacak binaları içerirken 4. kategori hastaneler, güç üretme istasyonları vs. gibi tesisleri içine alır.

Tablo 2.1. Önem katsayısı değerleri (ASCE 7-98 Tablo 6.1)

Kategori	Kasırgaya eğilimli olmayan ve kasırgaya eğilimli olup kasırga hızının 85 mph ile 100 mph arasında olduğu bölgeler	Kasırgaya eğilimli olup kasırga hızının 100 mph değerinden büyük olduğu bölgeler
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Tablo 2.2. Bina çeşitlerine göre temel rüzgar hız değerleri (ASCE 7-98)

Konum	Bina Sınıflandırması	Temel Rüzgar Hızı = V (mph)									
		85	90	100	110	120	130	140	150	160	170
Çatı	Kapalı	-14	-16	-20	-24	-29	-33	-39	-45	-51	-57
	Kısmen Kapalı	-19	-21	-26	-31	-37	-44	-51	-58	-66	-74
Duvar	Kapalı veya Kısmen Kapalı	12	14	17	20	24	29	33	38	43	49

- **Analitik Prosedür**

Bu metot, aşağıdaki tüm koşulları karşılayan yapılar için kullanılır.

- 1- Düzenli geometrik şekle sahip yapılar.
- 2- İstikrarsız rüzgar yüküne karşılık verebilecek özelliklere sahip olmayan binalar.
- 3- Bu konuda ASCE 7-98 'de belirtilen diğer koşulları sağlayan yapılar.

Temel rüzgar hızı, V ve rüzgar yönü faktörü, K_d aşağıda tanımlanmıştır. Temel rüzgar yükü, V , 'ASCE 7-98 Tablo 6.1' de, rüzgar yönü faktörü olan K_d ise, Tablo 2.3' te (ASCE 7-98 Tablo 6.6. 'da) tanımlanmıştır.

Tablo 2.3. Rüzgar yönü faktörü [20]

YAPI TİPİ	YÖNLÜLÜK FAKTÖRÜ (K_d)
<i>Binalar</i>	
* Ana Rüzgar Kuvveti Direnç sistemi	0.85
* Bileşenler ve Kaplama	0.85
* Kavisli Çatılar	0.85
<i>Bacalar, Depolar ve Benzer Yapılar</i>	
* Kare Kesitli	0.90
* Altıgen Kesitli	0.95
* Yuvarlak Kesitli	0.95
* Katı İşaretler	0.85
* Açık İşaretler ve Kafes Yapı	0.85
<i>Kafes Kuleler</i>	
* Üçgen, Kare, Dikdörtgen Kesitlerde	0.85
* Diğer Tüm Kesitlerde	0.95

Hızlı basınca maruz kalma katsayısı olan K_z veya K_h , ‘ASCE 7-98, Tablo 6.5’ te verilmiştir. Bu katsayılar, zemin seviyesi ve yüksekliği açısından maruz kalma kategorisinde değişebilir.

K_1 , K_2 ve K_3 değerleri ‘ASCE 7-98 Şekil 6.2’ de verilmiştir. Topografik katsayı, K_{zt} , aşağıda ki gibi tanımlanmıştır;

$$K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3)^2 \quad (2.34)$$

Bora etkisi faktörü, G (rijit yapılarda) veya G_f (esnek veya dinamikçe hassas yapılarda) iki yolla belirlenir. Fakat bu faktör ASCE 7-98 ‘ de rijit yapılar için 0.85 olarak alınmaktadır.

İç basınç katsayısı, GC_{pi} ve dış basınç katsayısı, C_p (ana rüzgar direnç sistemi için) veya GC_{pf} (bileşenler ve kaplama için) ‘ASCE 7-98 Şekil 6.3 ve Şekil 6.8’ e göre tanımlanmıştır.

Hızlı basınç q , aşağıda ki formül kullanılarak hesaplanır;

$$q_z = 0.00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I \text{ (lb/ft}^2\text{)} \quad (2.35)$$

$$q_z = 0.613 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2 \cdot I \text{ (N/m}^2\text{)} \quad (2.36)$$

Burada;

q_z : z yüksekliğinde hızlı basınç

K_z : Hızlı basınca maruz kalma katsayısı

K_{zt} : Topografik katsayı

K_d : Rüzgar yönü faktörü

V : Temel rüzgar hızı

I : Önem faktörü

q_h : ‘h’ çatı yüksekliğinde denklem kullanılarak hesaplanan hız basıncı

Rüzgar tasarım yükü (P veya F) hesaplanmıştır. P, kapalı veya kısmen kapalı olan binalar için rüzgar basıncı tasarımıdır. Çeşitli durumlar için kullanılan formüller, Tablo 2.4. içerisinde listelenmiştir.

Tablo 2.4. Rüzgar yükü tasarım formülleri

FORMÜL	DURUM
$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (G \cdot C_{pi}) \text{ N/m}^2$	Tüm yüksekliklerde ki rijit binalarda, ana direnç kuvveti sistemi için rüzgar basıncı dizaynı
$p = q \cdot h \cdot [(G \cdot C_{pf}) - (G \cdot C_{pi})] \text{ N/m}^2$	Alçak binalarda ana direnç kuvveti sistemi için rüzgar basıncı dizaynı
$p = q \cdot G_f \cdot C_p - q_i \cdot (G \cdot C_{pi}) \text{ N/m}^2$	Elastik yapıda ki binalarda ana direnç kuvveti sistemi için rüzgar basıncı dizaynı
$p = q \cdot h \cdot [(G \cdot C_p) - (G \cdot C_{pi})] \text{ N/m}^2$	Alçak yapıda ki binalarda bileşenler ve kaplama sistemi için rüzgar basıncı dizaynı ($h \leq 18.3 \text{ m}$)
$p = q \cdot G \cdot C_p - q_i \cdot (G \cdot C_{pi}) \text{ N/m}^2$	Yüksekliği 18.3 ten büyük binalarda ,bileşenler ve kaplama sistemi için rüzgar basıncı dizaynı ($h > 18.3 \text{ m}$)

$q = q_z$: Zeminden itibaren ‘z’ yüksekliğinde ki rüzgar üstü duvarları için kullanılır.

$q = q_h$: h yüksekliğinde kirüzgar altı duvarları, kenar duvarları ve çatılar için kullanılır.

$q_i = q_h$: Kapalı binaların çatıları, rüzgar altı ve üstü duvarları, kenar duvarları ve kısmen kapalı binaların negatif iç basınç değeri için kullanılır.

$q_i = q_z$: Kısmen kapalı (kısmen çevrelenmiş) binalarda, en yüksek açılış değeri olarak tanımlanan z yüksekliğinde pozitif iç basınç için tanımlanır.

G : Bora etkisi katsayısı

C_p : Dış basınç katsayısı

GC_{pi} : İç basınç katsayısı (ana rüzgar direnç sistemi için)

q_h : Ortalama h çatı yüksekliğinde değerlendirilen hız basıncı

GC_{pf} : Dış basınç katsayısı (bileşenler ve kaplama için)

Açık binalar için rüzgar yüklerinin belirlenmesi aşağıda ki formüle göre yapılır;

$$F = q_z \cdot G \cdot C_f \cdot A_f \quad (2.37)$$

Burada;

q_z : A_f alanı ağırlık merkezinin z yüksekliğinde değerlendirilen hız basıncı.

G : Bora etkisi faktörü

C_f : Kesin kuvvet katsayısı

A_f : Gerçek yüzey alanı için belirtilen ' C_f ' dışında kalan rüzgar için projelendirilen alan.

- Rüzgar Tüneli Prosedürü

Rüzgar tünellerinin geçmişi 1870 yıllarına dayanır. Bir nesnenin üstüne hava estirme ve kuvvetleri tayin etme fikri rüzgar tünellerinin oluşumuna ışık tutmuştur [5].

Rüzgâr tünelleri, hava gibi hareketli bir gaz içinde bulunan katı cisimlere gazın uyguladığı etkinin incelenmesi, araştırılması ve yorumlanması için tasarlanmış ve üretilmiş, içindeki havanın hareket ettirildiği ve hızının ayarlanabildiği tünellerdir. Rüzgar tünellerinden, içine yerleştirilen gerçek ya da küçültülmüş boyutlardaki parça ve araçların aerodinamik niteliklerinin, denetlenebilen koşullar altında denenmesinde yararlanılır. Düzgün bir gaz (ya da hava) akışı sağlaması gerektiği gibi, gerekli hızlara göre farklı düzeneklerde kullanılır.

Eskiden yalnızca uçak gövdelerinin aerodinamik biçimlerinin denetiminde kullanılan hava tünelleri, günümüzde, mermilerin ve kara - demiryolu taşıtlarının biçimlerinin belirlenmesinde, yüksek yapıların, köprülerin, güç iletim hatlarının ve radar tarayıcılarının ve yüksek binaların çevresinde oluşan rüzgar girdaplarının incelenmesinde kullanılmaktadır [21].



Şekil 2.12. Rüzgar tüneli uygulama örnekleri [22]

Rüzgar tüneli testleri, yapının standartlarda belirtilen koşullardan birini veya daha fazlasını sağlaması durumunda tavsiye edilir.

Rüzgar tünellerinde yaygın olarak kullanılan 3 ana tip aşağıda verildiği gibidir.

- 1- Rijit basınç modeli
- 2- Rijit yüksek frekans baz dengesi modeli
- 3- Aeroelastik model

➤ Kar Yükleri

ASCE 7-98 de, kar yükleri, yer kar yükü, çatı kar yükü ve eğimli çatı kar yükü olmak üzere 3 gruba ayrılmıştır.

Yer kar yükü, ‘ASCE 7-98 Şekil 7.1’ de düzenlenmiştir. Kar yükü, değişken bir yükür. Çatıyı bütünüyü veya kısım kısım kaplayabilir. Eğimi 5° ‘den az veya eşit olan çatılar için aşağıda ki formül uygulanır;

$$P_f = 0.7 C_e \cdot C_t \cdot I \cdot P_g \quad (2.38)$$

P_f : Metre kare başına düşen kar yükü

C_e : Maruz kalma faktörü (bu değerler ASCE 7-98 tablolarından belirlenir.)

C_t : Isı Faktörü (‘ASCE 7-98 ‘den alınır)

I : Önem katsayısı

P_g : Yer kar yükü

Tablo 2.5. Maruz kalma katsayısı [20]

Arazi Kategorisi	Maruz Kalan Çatı Tipi		
	Tamamen Açık	Kısmen Açık	Korunaklı
A	<i>Uygulanabilir Değil</i>	1,1	1,3
B	0,9	1,0	1,2
C	0,9	1,0	1,1
D	0,8	0,9	1,0
Rüzgarlı dağlık alanlarda ağaç çizgisinin üstünde	0,7	0,8	<i>Uygulanabilir Değil</i>
Alaska'da, sitenin 3 km'lik yarıçapı içerisindeki ağaçlık olmayan bölgelerde	0,7	0,8	<i>Uygulanabilir Değil</i>

Eğimli bir yüzeye etki eden kar yükleri yatay bir yüzeye etki ediyormuş gibi düşünülür. Eğimli çatı kar yükü olan P_s , aşağıda ki formülle elde edilir.

$$P_s = C_s \cdot p_f \quad (2.39)$$

C_s : Çatı eğim faktörü ('ASCE 7-98 Şekil7.2' den belirlenir.)

ASCE 7-98' de çatılar ılık ve soğuk çatılar olarak iki gruba ayrılmıştır. Farklı ısı faktörleri (C_t), bu çatı türleri için 'ASCE 7-98 Tablo 4. 6' ya göre belirlenir.

3. BULGULAR

3.1. Sayısal Uygulama

Nebraska’ da 500 insan kapasiteli bir sistem dizayn edilecektir. Yapı, iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım olan ana kısım betondan, ikinci kısım olan çatı çatı kısmı ise pin bağlantılı, 127 düğüm noktalı ve 354 elemanlı bir çelik kubbe sisteminden meydana gelmektedir. Binanın toplam yüksekliği 18.28 m, çelik çatının yüksekliği ise 8.28 metredir.

Bu bölümde kafes sistem yapısı ANSYS ile çözümlenecektir. (Birinci merteye yaklaşımı (doğrusal ve doğrusal olmayan iki çözümde analiz) ve Big Bang – Big Crunch optimizasyon metodu kullanılacaktır). Yüklemeler, ‘ASCE 7-98 Binalar ve Diğer Yapılar için Minimum Dizayn Yükleri Şartnamesi’ kullanılarak uygulanacaktır. Temel yük kombinleri ‘ASCE 7-98 ASD’ şartlarında aşağıda ki gibi verilmiştir (ASD: izin verilebilir gerilme dizaynı).

1. D
2. $D + L + F + H + T + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
3. $D + (W \text{ veya } 0.7 E) + L + (L_r \text{ veya } S \text{ veya } R)$
4. $0.6 D + W + H$
5. $0.6 D + 0.7 E + H$

D : Ölü (Zati) yük

E : Deprem yükleri

F : İyi tanımlanmış basınç ve maksimum yükseklikte akışkan yükü

H : Yanal toprak basıncı, yer altı suyu basıncı veya dökme malzeme basıncı

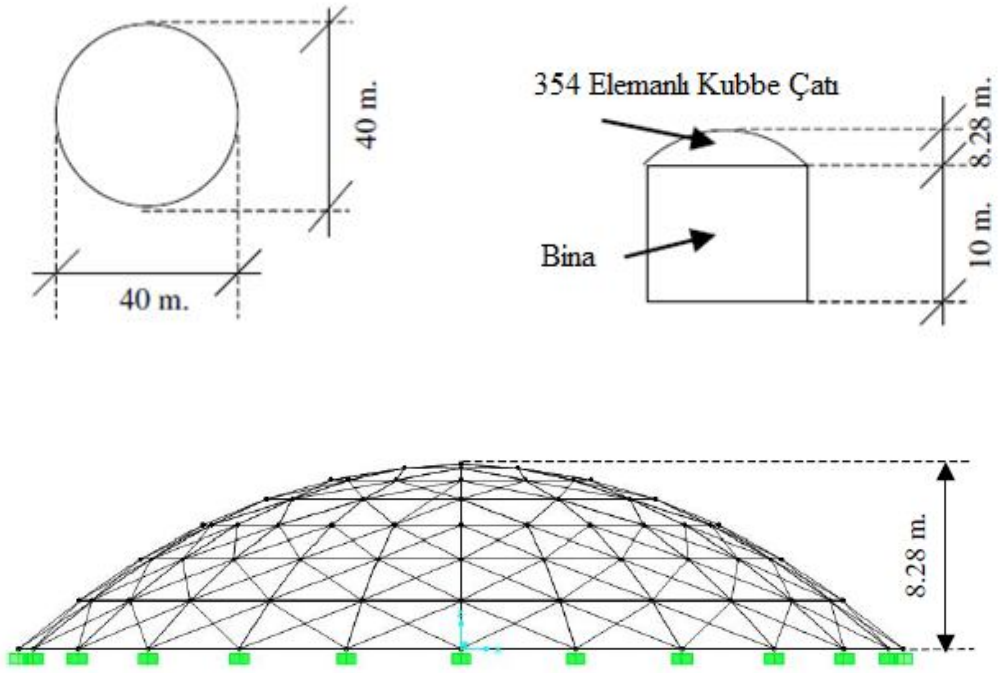
L : Hareketli yük

L_r : Çatı hareketli yükü

R : Yağmur yükü

S : Kar yükü

W : Rüzgar yükü



Şekil 3.1. Uzay kafes sistemin şekil, plan özellikleri ve önden görünüşü [5]

3.2. Yüklemeler

3.2.1. Rüzgar Yükü (Analitik Prosedüre Göre)

Bu yüklemeye ait şartlar ASCE 7-98' e göre verilmiştir. Temel rüzgar hızı V , Nebraska için ASCE 7-98'den alınmıştır.

$$V = 40 \text{ m/s (90 mph)}$$

Rüzgar yönü faktörü K_d , 'ASCE 7-98 Tablo 6.6 'dan alınmıştır.

$$K_d = 0.85 \text{ (kemerli çatılar için)}$$

Önem Katsayısı I , binalar için 'ASCE 7-98 Tablo 6.1' den alınmıştır.

$$I = 1.15 \text{ (Kategori III ' te bulunan binalar için)}$$

Maruz kalma katsayısı, 'ASCE 7-98 Bölüm 6.5.6'da bulunan tanımlarda 'C' olarak belirtilmektedir. Hız basıncına maruz kalma katsayısı K_z , 'ASCE 7-98 Tablo 6-5 'ten alınmıştır.

$$K_z = 1.07 \text{ (C maruz kalma katsayısı ve } h=18 \text{ m için)}$$

Topografik faktör K_{zt} , 'ASCE 7-98'den alınan formülle hesaplanmıştır. K_1, K_2, K_3 değerleri ise 'ASCE 7-98 Şekil 6.2' den alınmıştır.

$$K_{zt} = (1 + K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) \quad (3.1)$$

$$K_1 = 0.43$$

$$K_2 = 0.33$$

$$K_3 = 0.30$$

$$K_{zt} = (1 + 0.43 \cdot 0.33 \cdot 0.30)^2 = 1.087$$

Genel topolojide;

2 boyutlu sırt yüzeyinde $H/L_h = 0.30$,

3 boyutlu eğimli yüzeyde $x/L_h = 1.00$ ve

2 boyutlu sırt yüzeyinde $z/L_h = 0.40$ olarak alınmıştır.

H : Arazinin rüzgar alımı, arazinin bulunduğu tepenin yüksekliği veya eğimiyle bağıntılıdır.

K_1 : Topografik özellik ve maksimum hız etkisi için hesap faktörü

K_2 : Doruğun rüzgar üstü ve rüzgar altı mesafesindeki hız azalması için hesap faktörü

K_3 : Lokal arazi üzerinde ki yükseklikte ki hız azalması için hesap faktörü

x : En yüksek tepe ile bina arasında ki mesafe (rüzgar üstü veya altı)

z : Lokal zemin yüksekliği (metre)

Bora Etkisi Faktörü G , yapının rijit olduğu kabul edilerek 0.85 olarak alınmıştır. Çevreleme (kapalılık) sınıflandırması çevrelenmiş (kapalı) olarak varsayılmıştır. (Tüm yanal ve üst bölümler kapalı ve doğrudan rüzgar masıncına maruz) Hız basıncı, 'ASCE 7-98' de verilen denklem ile hesaplanmıştır.

$$q_z = 0.613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \quad (\text{N/m}^2) \quad [20] \quad (3.2)$$

$$q_z = 0.613 * 1.07 * 1.087 * 0.85 * 40^2 * 1.15 = 1115 \text{ N/m}^2$$

İç Basınç Katsayısı GC_{pi} , ‘ASCE 7-98, Tablo 6.7’ de kapalı binalar için +0.18 ve -0.18 olarak verilmiştir. İki işaretli değerler (pozitif ve negatif) koda göre kullanılmaktadır. Eksi ve artı işaretler, iç yüzeylere doğru ve iç yüzeylerden dışarı doğru hareket eden basıncı tanımlar.

Dış basınç Katsayısı C_p , ‘ASCE 7-98, Tablo 6.8 ‘de verilmiştir. Çalışmada analizi yapılan sistemde, rüzgar altı bölümü, orta kısım ve rüzgar üstü bölümü olarak 3 kısım olduğu varsayılacaktır. Bu üç bölüm için, yükselme oranı ‘r’ değerine göre üç farklı dış basınç katsayısı hesaplanmaktadır. Bu yükselme oranı aşağıda verildiği gibidir;

$$r = 8.28/40 = 0.207$$

$$C_p = 1.5r - 0.3 = 1.5*0.207 - 0.3 = 0.0105 \quad (\text{Rüzgar üstü çeyreği bölüm için}) \quad (3.3)$$

$$C_p = -0.7 - r = -0.7 - 0.207 = -0.907 \quad (\text{Orta kısım için}) \quad (3.4)$$

$$C_p = -0.5 \quad (\text{Rüzgar altı çeyreği bölümü için})$$

Ana kuvvet direnci sisteminde hesaplanmış rüzgar basıncı aşağıda ki gibidir.

$$p = q.G.C_p - q_i.(GC_{pi}) \quad (\text{N/m}^2) \quad [20] \quad (3.5)$$

q : q_h , çatılar için, h yüksekliğinde ele alınır.

q_i : q_h , kapalı binaların çatıları içinele alınır.

G : Bora etkisi faktörü

C_p : Dış basınç katsayısı (ASCE 7-98 Tablo 6-8’den alınır)

(GC_{pi}) : İç basınç katsayısı (ASCE 7-98 Tablo 6-7’den alınır)

Rüzgar üstü çeyreği bölümü için;

$$p = 1115 * 0.85 * (0.0105) - 1115 * (\pm 0.18) = \begin{cases} 211 \text{ N/m}^2 \\ -191 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$

Orta kısım için

$$p = 1115 * 0.85 * (-0.907) - 1115 * (\pm 0.18) = \begin{cases} -1060 \text{ N/m}^2 \\ -659 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$

Rüzgaraltı çeyreği için;

$$p = 1115 * 0.85 * (-0.50) - 1115 * (\pm 0.18) = \begin{cases} -674 \text{ N/m}^2 \\ -273 \text{ N/m}^2 \end{cases}$$

3.2.2. Kar Yüğü

$$p_f = 0.7.C_e.C_t.I.p_g \quad [20] \quad (3.6)$$

p_f : Eğimi 5 dereceden daha az olan çatı yükü

C_e : Maruz kalma faktörü, ASCE 7-98, Tablo 7-2' den alınır.

C_t : Isı faktörü, ASCE 7-98, Tablo 7-3' ten alınır.

I : Önem katsayısı, ASCE 7-98, Tablo 7-4' ten alınır.

p_g : Yer kar yükü, ASCE 7-98, Tablo ve Şekil 7-1' den alınır.

$C_e = 0.9$ (Tamamiyle kar yüküne maruz kalan C kategorisinde ki çatı tipi için)

$C_t = 1.0$ (Yapılar için -bazı yapı türleri hariç-)

$I = 1.10$ (Kategori III teki yapı türleri için)

$p_g = 25 \text{ lb/ft}^2 = 1.1975 \text{ kN/m}^2$ (Nebraska için)

$$p_f = 0.7 * 0.9 * 1.0 * 1.10 * 1.1975 = 0.830 \text{ kN/m}^2$$

Çatı saçağından çatı tepesine olan dik açı = $8.28 / 20 = 0.217$ (Açı= 24.4°)

Eğer dik açı 10 dereceyi geçerse minimum izin verilebilir değer olan ' p_f ' kullanılmaz.

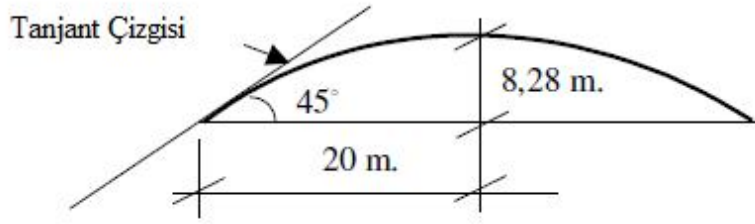
$p_f = 0.830 \text{ kN/m}^2$ alınır.

$$p_s = C_s.p_f \quad [20] \quad (3.7)$$

p_s : Eğimli çatı kar yükü

C_s : Çatı eğim faktörü

p_f : Eğimi 5° den az olan çatıların kar yükü



Şekil 3.2. Çatılarda açı hesabı için sistem geometrisi

Eğim 30° yi aşmıyorsa kadar $C_s = 1.0$ olarak alınır [20].

$$p_s = 1 * 0.830 = 0.830 \text{ kN/m}^2 \text{ olarak bulunur.}$$

Saçaklarda, eğimin 45° olduğu yerde $C_s = 0.65$ olarak alınır.

$$p_s = 0.65 * 0.830 = 0.540 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ olarak bulunur.}$$

$C_s = 1.0$, Eğimi 12° olan çatılar için ASCE 7-98, Şekil 7-2 ve Şekil 7-3 'ten alınmıştır.

Dengelenmemiş kar yükü hesabı 'ASCE 7-98, Şekil 7-3'teki şartlara göre hesaplanmıştır. Çatı saçağı ile çatının tepe noktası arasında ki dik açı 10° den büyük, 60° den küçük ise dengelenmemiş kar yükü muhakkak hesaba katılmalıdır [5].

Çatının en tepesinde ki dengelenmemiş kar yükü;

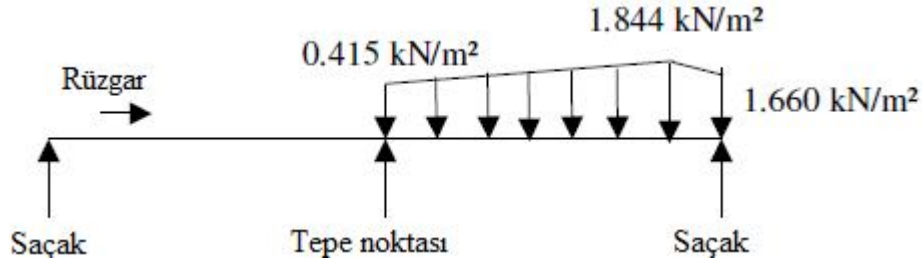
$$0.5 * p_f = 0.5 * 0.830 = 0.415 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.8)$$

30° noktasında ki dengelenmemiş kar yükü;

$$2 * p_f * C_s / C_e = 2 * 0.830 * 1.0 / 0.9 = 1.844 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad (3.9)$$

Saçaklarda ki dengelenmemiş kar yükü;

$$2 * p_f = 2 * 0.830 = 1.660 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \text{ olarak elde edilir.} \quad (3.10)$$



Şekil 3.3. Dengelenmemiş kar yükünün şekil ile gösterilmesi [5]

3.2.3. Ölü Yük

Sandviç tipi alüminyum kaplama kullanılmıştır. Ve değer olarak $200 \frac{N}{m^2}$ alınmıştır.

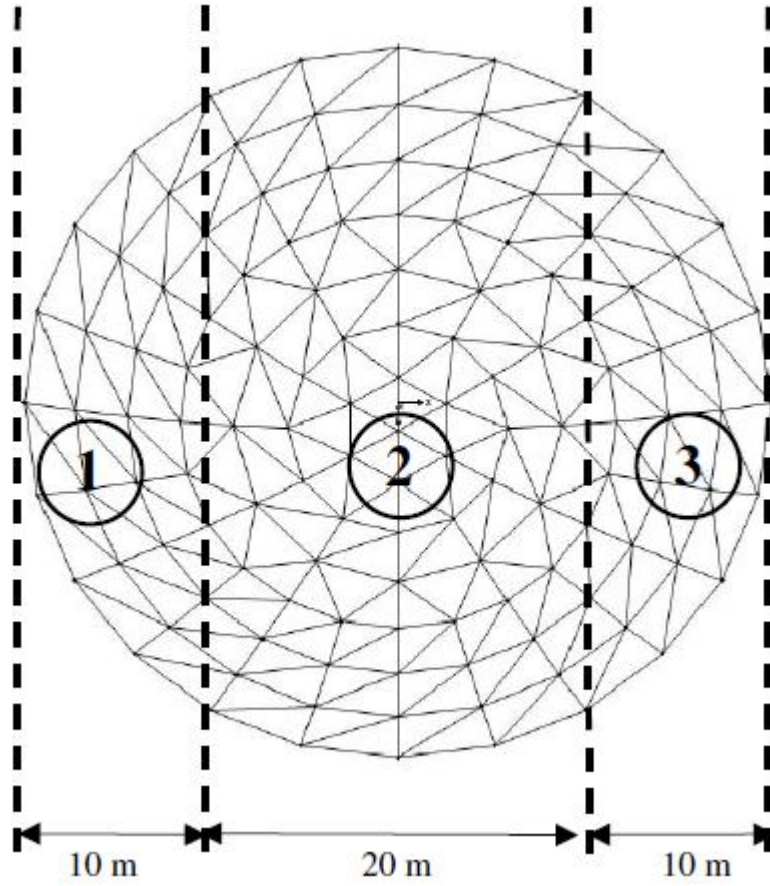
3.2.4. Çatı Hareketli Yükü

Çatı hareketli yükü $900 \frac{N}{m^2}$ olarak, insan tırmanma yükü de hesaba katılarak alınmıştır. Fakat çatı hareketli yükü çatı kar yükü ile aynı anda etki edemez ve çatı kar yükü değeri hareketli yük değerini karşılar [5].

3.2.5.Kombine Yük Durumu

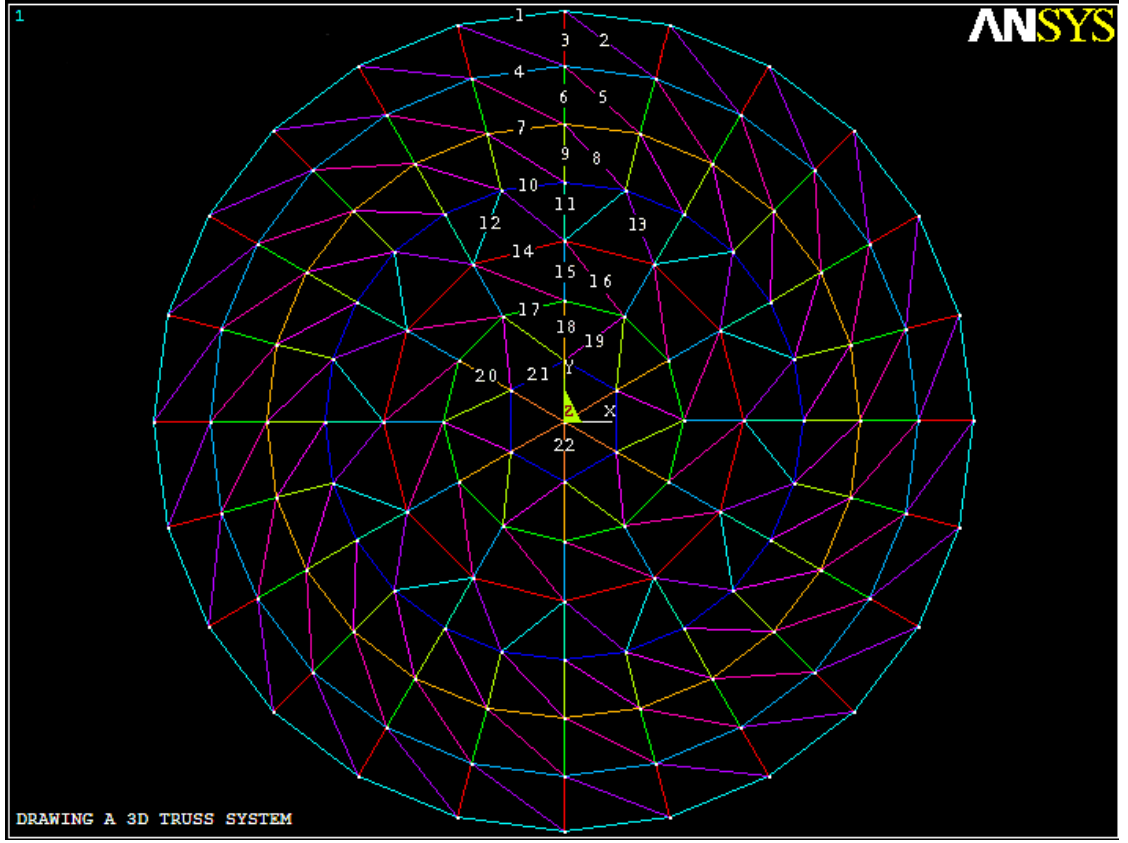
Hesaplanan altı yükleme çeşidi aşağıda görüldüğü gibidir.

1. D + S (dengelenmiş kar yükü)
2. D + S (dengelenmemiş kar yükü)
3. D + W (iç basınç katsayısı (pozitif)) + S (dengelenmemiş kar yükü)
4. D + W (iç basınç katsayısı (negatif)) + S (dengelenmiş kar yükü)
5. D + W (iç basınç katsayısı(pozitif)) + S (dengelenmemiş kar yükü)
6. D + W (iç basınç katsayısı(negatif)) + S (dengelenmemiş kar yükü)
7. Yüklemler, Şekil (3.9.) ile Şekil (3.14.) arasında şematik olarak gösterilmiştir.

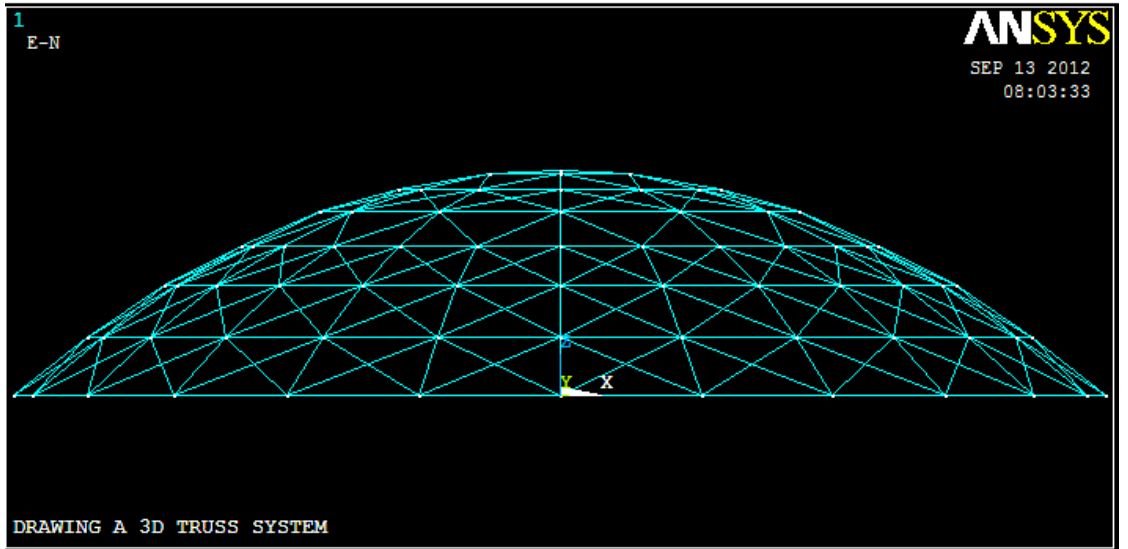


Tüm Yapı	{	Toplam Düğüm Noktası Sayısı:	127
		Toplam Eleman Sayısı	:354
		Toplam Alan	:1467.4 m ²
		Projelendirilmiş Alan	:1257 m ²
1. Parça	2. Parça	3. Parça	
Düğüm Noktası Sayısı : 28	Düğüm Noktası Sayısı: 71	Düğüm Noktası Sayısı: 28	
Toplam Alan : 303 m ²	Toplam Alan : 861.4 m ²	Toplam Alan : 303 m ²	
Proje Alanı : 245.85 m ²	Proje Alanı : 765.41 m ²	Proje Alanı : 245.85 m ²	

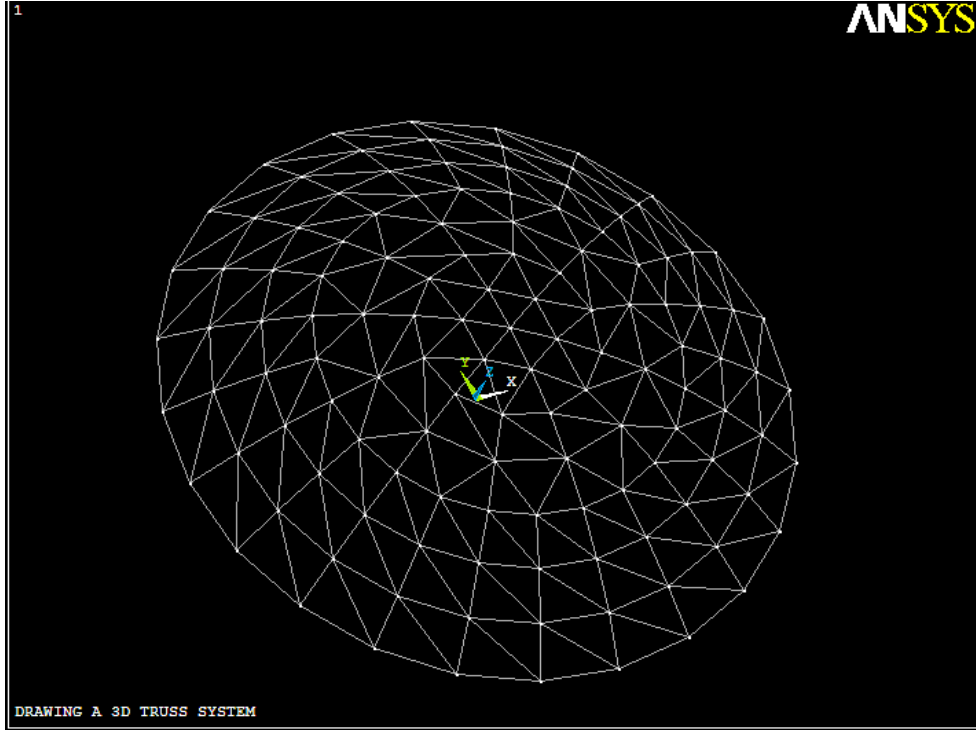
Şekil 3.4. 354 elemanlı, 8.28 metre yüksekliğinde ki uzay kafes sistem



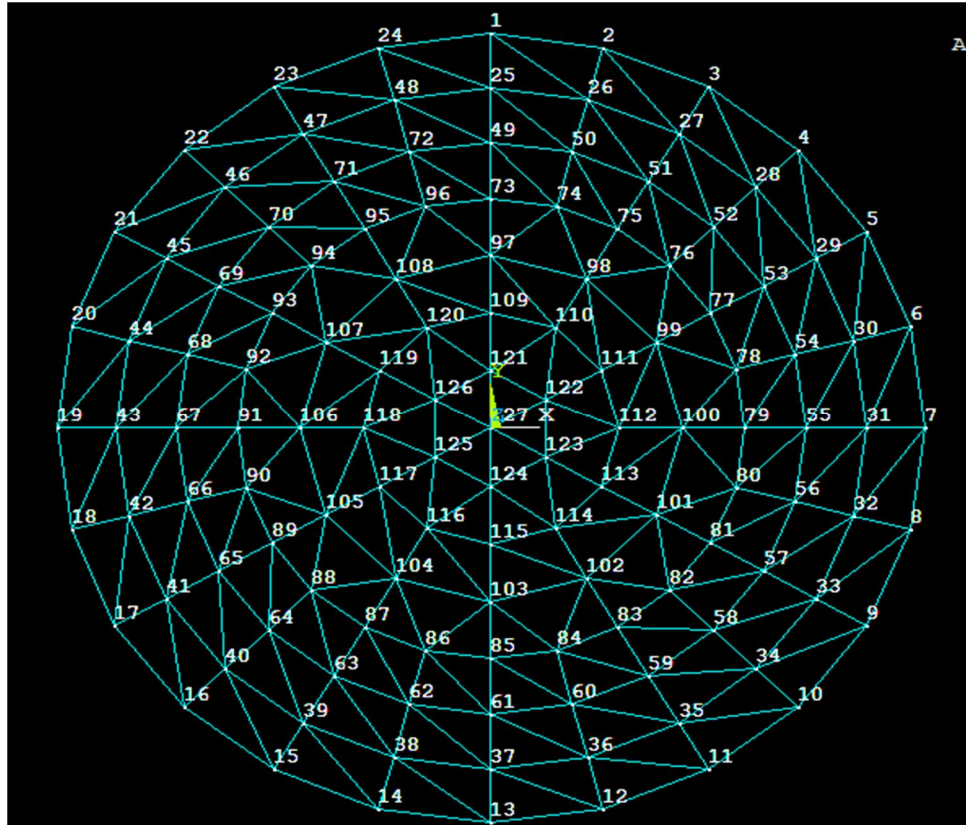
Şekil 3.5. Uzay kafes sistemde çubuk eleman grupları



Şekil 3.6. Uzay kafes sistemin önden görünüşü



Şekil 3.7. Uzay kafes sistemin başka bir açıdan görünüşü

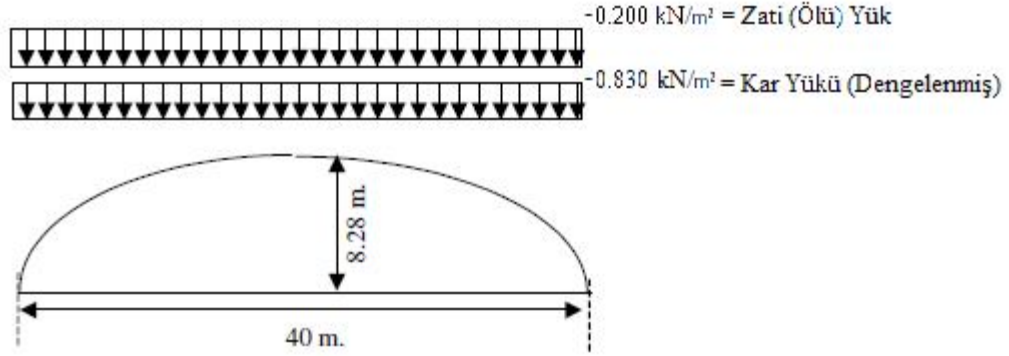


Şekil 3.8. Uzay kafes sistemde düğüm noktaları

3.2.6.Yükleme Durumları

❖ Yüklem Durumu 1

Bu yükleme, ölü yük vedengelenmiş kar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.9. Birinci yüklem durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (1. Yüklem Durumu için)

• Tüm Sistem İçin Yük Hesabı

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

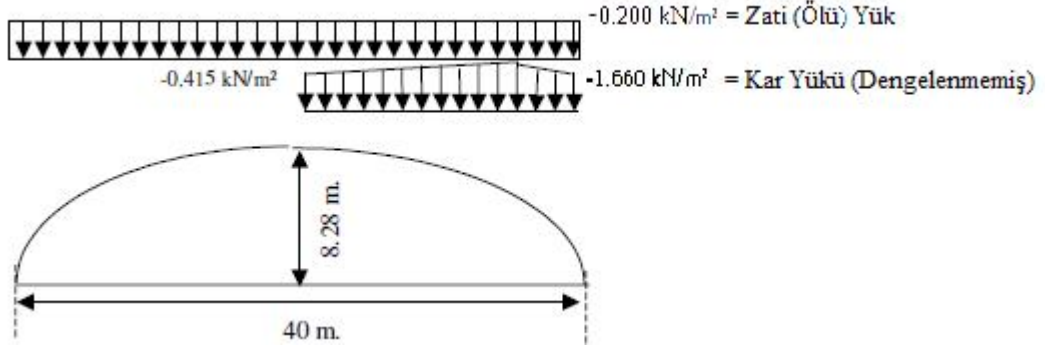
Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüklerin Hesabı (1. Yüklem Durumu için)

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 \frac{kN}{m^2})}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.11)$$

(Yapı alanı olarak yapının izdüşüm alanı alındı = 1257)

❖ Yükleme Durumu 2

Bu yükleme, ölü yük vedengelenmemiş kar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.10. İkinci yükleme durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (2. Yükleme Durumu için)

• Tüm Sistemin Sol Yarısı İçin Yük Hesabı

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

• Tüm Sistemin Sağ Yarısı İçin Yük Hesabı

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yaklaşık Olarak Dengelenmemiş Kar Yüğü} = -1.130 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüklerin Hesabı (2. Yükleme Durumu için)

- Tüm Sistemin Sağ Yarası İçin Yük Hesabı

$$\left[\frac{(-1.130 \frac{kN}{m^2} * \frac{1257 m^2}{2})}{71} \right] + \left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right]$$
$$= [(-10.002) + (-1.980)] = - 11.982 \frac{kN}{joint} = - 1199 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.12)$$

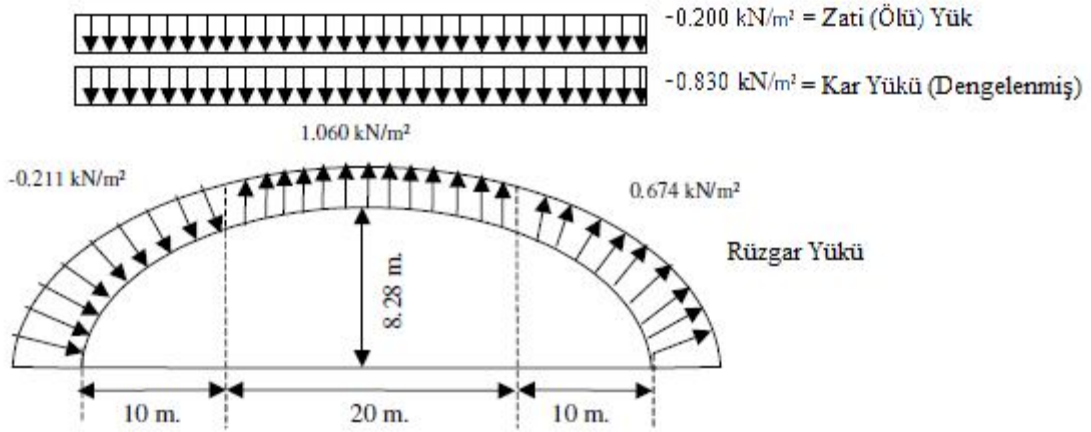
- Tüm Sistemin Sol Yarası İçin Yük Hesabı

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.980 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.13)$$

(Sistemin yarısında ki nod sayısı , $\frac{127}{2}$, olarak değil ‘71’ olarak alındı çünkü orta nodların hepsi, sistem daha fazla yük alsın diye sistemin sağ tarafına aitmiş gibi kabul edildi.)

❖ Yükleme Durumu 3

Bu yükleme, ölü yük, dengelenmiş kar yükü ve pozitif iç basınç katsayılı rüzgar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.11.Üçüncü yükleme durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (3. Yükleme Durumu için)

- Sistemin RüzgarüstüKısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = -0.211 * \cos 32.02^\circ = -0.179 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.211 * \sin 32.02^\circ = 0.112 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçası İçin Yük Hesabı**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 1.060 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = 0.674 * \cos 32.02^\circ = 0.572 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.674 * \sin 32.02^\circ = 0.357 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüklerin Hesabı (3. Yükleme Durumu için)

- Sistemin Rüzgarüstü Kısmı İçin Yük Hesabı (Üç Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.14)$$

$$\left[\frac{(-0.179 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = -1.94 \frac{kN}{joint} = -194 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.15)$$

$$\text{Rüzgarüstü Bölümü İçin Toplam Düşey Yük} = -1019.5 - 194 = -1213.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.16)$$

$$\text{Rüzgar Yatay Yükü} = \left[\frac{(0.112 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 1.21 \frac{kN}{joint} = 121.2 \frac{kg}{joint} \quad (\rightarrow) \quad (3.17)$$

- Üç Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçası İçin Yük Hesabı

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.18)$$

$$\left[\frac{(1.060 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 12.86 \frac{kN}{joint} = 1286 \frac{kg}{joint} \quad (\uparrow) \quad (3.19)$$

$$\text{Orta Parça İçin Toplam Düşey Yük} = 1286 - 1019.5 = 266.5 \frac{kg}{joint} \quad (\uparrow) \quad (3.20)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısmı İçin Yük Hesabı (Üç Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.21)$$

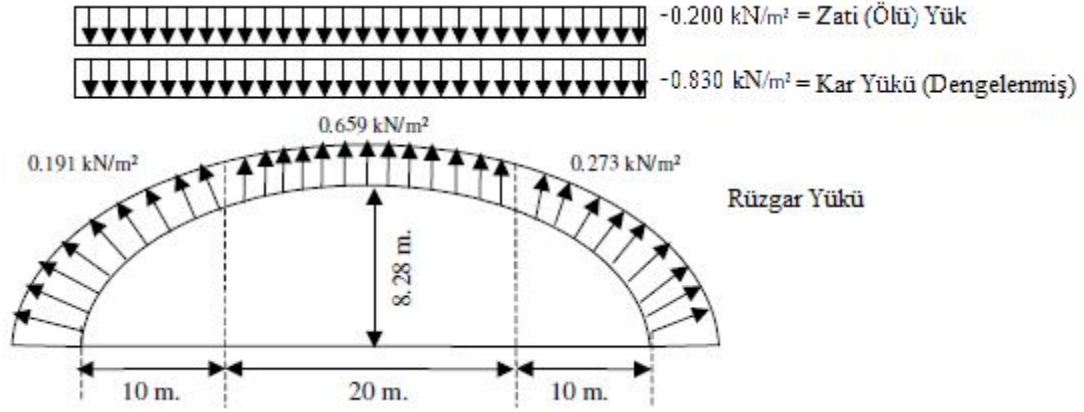
$$\left[\frac{(0.572 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 6.19 \frac{kN}{joint} = 619 \frac{kg}{joint} \quad (\uparrow) \quad (3.22)$$

$$\text{Rüzgaraltı Bölümü İçin Toplam Düşey Yük} = 619 - 1019.5 = -400.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.23)$$

$$\text{Rüzgar Yatay Yüğü} = \left[\frac{(0.357 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 3.8 \frac{kN}{joint} = 387 \frac{kg}{joint} \quad (\rightarrow) \quad (3.24)$$

❖ Yükleme Durumu 4

Bu yükleme; ölü yük, dengelenmiş kar yükü ve negatif içbasınç katsayılı rüzgar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.12. Dördüncü yükleme durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (4. Yükleme Durumu için)

- Sistemin Rüzgarüstü Kısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\text{Ölü Yüğü} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yüğü (Ölü Yüğü + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = 0.191 * \cos 32.02^\circ = 0.162 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = -0.191 * \sin 32.02^\circ = -0.101 \frac{kN}{m^2} \quad (\leftarrow)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçası İçin Yük Hesabı**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 0.659 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = -0.830 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -1.030 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = 0.273 * \cos 32.02^\circ = 0.231 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.273 * \sin 32.02^\circ = 0.145 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüklerin Hesabı (4.Yükleme Durumu için)

- **Sistemin Rüzgarüstü Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)**

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.25)$$

$$\left[\frac{(0.162 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 1.76 \frac{kN}{joint} = 176 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.26)$$

$$\text{Rüzgaraltı Bölümü İçin Toplam Düşey Yük} = 176 - 1019.5 = -843.5 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.27)$$

$$\text{Toplam Yatay Yük} = \left[\frac{(-0.101 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = -1.104 \frac{kN}{joint} = -110.4 \frac{kg}{joint} (\leftarrow) \quad (3.28)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçası İçin Yük Hesabı**

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.29)$$

$$\left[\frac{(0.659 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 8.00 \frac{kN}{joint} = 800 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.30)$$

$$\text{Orta Bölüm İçin Toplam Düşey Yük} = 800 - 1019.5 = -219.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.31)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\left[\frac{(-1.030 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -10.195 \frac{kN}{joint} = -1019.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.32)$$

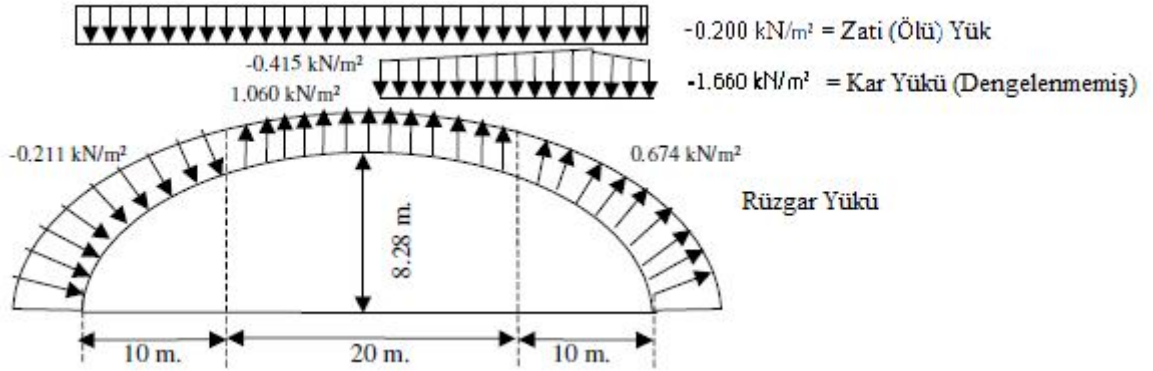
$$\left[\frac{(0.232 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 2.52 \frac{kN}{joint} = 252 \frac{kg}{joint} \quad (\uparrow) \quad (3.33)$$

$$\text{Orta Bölüm İçin Toplam Düşey Yük} = 250 - 1019.5 = -767.5 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.34)$$

$$\text{Toplam Yatay Yük} = \left[\frac{(0.145 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 1.57 \frac{kN}{joint} = 157 \frac{kg}{joint} \quad (\rightarrow) \quad (3.35)$$

❖ Yükleme Durumu 5

Bu yükleme; ölü yük, dengelenmemiş kar yükü vepozitif iç basınç katsayılı rüzgar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.13. Beşinci yükleme durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (5. Yükleme Durumu için)

- Sistemin Rüzgarüstü Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = 0.00 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = -0.211 * \cos 32.02^\circ = -0.179 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.211 * \sin 32.02^\circ = 0.112 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

• **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sol Kısmı İçin Yüğü Hesabı**

$$\text{Ölü Yüğü} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = 0.00 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Toplam Düşey Yüğü (Ölü Yüğü + Kar Yüğü)} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 1.060 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

• **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sağ Kısmı İçin Yüğü Hesabı**

$$\text{Ölü Yüğü} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yaklaşık Olarak Dengelenmiş Kar Yüğü} = -0.726 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yüğü (Ölü Yüğü + Kar Yüğü)} = -0.926 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 1.060 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yaklaşık Olarak Dengelenmiş Kar Yükü} = -1.348 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yükü)} = -1.548 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yükü} = 0.674 \times \cos 32.02^\circ = 0.571 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yükü} = 0.674 \times \sin 32.02^\circ = 0.357 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüklerin Hesabı (5. Yükleme Durumu için)

- **Sistemin Rüzgarüstü Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)**

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.36)$$

$$\left[\frac{(-0.179 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = -1.94 \frac{kN}{joint} = -194 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.37)$$

$$\text{Rüzgaraltı Bölümü İçin Toplam Düşey Yük} = -194 - 198 = -392 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.38)$$

$$\text{Toplam Yatay Yük} = \left[\frac{(0.112 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 1.212 \frac{kN}{joint} = 121.2 \frac{kg}{joint} (\rightarrow) \quad (3.39)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sol Kısımı İçin Yük Hesabı**

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.40)$$

$$\left[\frac{(1.060 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 12.86 \frac{kN}{joint} = 1286 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.41)$$

$$\text{Orta Bölüm İçin Toplam Dşey Yk} = 1286 - 198 = 1088 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.42)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sağ Kısımı İçin Yk Hesabı**

$$\left[\frac{(-0.726 \frac{kN}{m^2} * \frac{765.41 m^2}{2})}{43} \right] + \left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right]$$

$$= -6.47 - 1.98 = -8.45 \frac{kN}{joint} = -845 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.43)$$

$$\left[\frac{(1.060 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 12.86 \frac{kN}{joint} = 1286 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.44)$$

$$\text{Orta Bölüm Sağ Kısım İçin Toplam Düşey Yük} = 1286 - 198 - 647 = 44 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.45)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.46)$$

$$\left[\frac{(-1.348 \frac{kN}{m^2} * 245.85 m^2)}{28} \right] = -11.84 \frac{kN}{joint} = -1184 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.47)$$

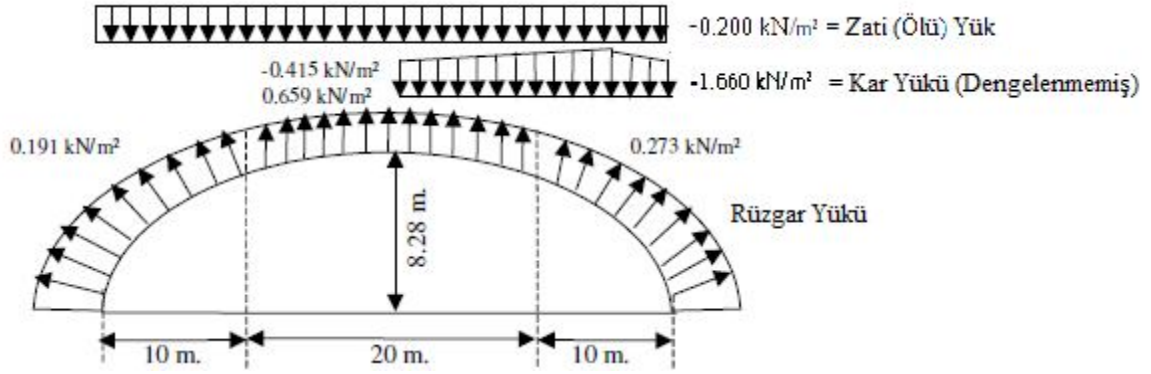
$$\left[\frac{(0.572 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 6.19 \frac{kN}{joint} = 619 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.48)$$

$$\text{Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Toplam Düşey Yük} = 619 - 1184 = -565 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.49)$$

$$\text{Toplam Yatay Yük} = \left[\frac{(0.357 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 3.87 \frac{kN}{joint} = 387 \frac{kg}{joint} (\rightarrow) \quad (3.50)$$

❖ Yükleme Durumu 6

Bu yükleme; ölü yük, dengelenmemiş kar yükü ve negatif iç basınç katsayılı rüzgar yükünden oluşmaktadır.



Şekil 3.14. Altıncı yükleme durumunun şematik gösterimi [5]

Metrekare Başına Düşen Yüklerin Hesabı (6. Yükleme Durumu için)

- Sistemin Rüzgarüstü Kısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = 0.00 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = 0.191 * \cos 32.02^\circ = 0.162 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.191 * \sin 32.02^\circ = -0.101 \frac{kN}{m^2} \quad (\leftarrow)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sol Kısmı İçin Yük Hesabı**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Kar Yüğü} = 0.00 \frac{kN}{m^2}$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 0.659 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

- **3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sağ Kısmı İçin Yük Hesabı**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yaklaşık Olarak Dengelenmiş Kar Yüğü} = -0.726 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yük (Ölü Yük + Kar Yüğü)} = -0.926 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Rüzgar Yüğü} = 0.659 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısmı İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\text{Ölü Yük} = -0.200 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Yaklaşık Olarak Dengelenmiş Kar Yüğü} = -1.348 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Toplam Düşey Yüğü (Ölü Yüğü + Kar Yüğü)} = -1.548 \frac{kN}{m^2} \quad (\downarrow)$$

$$\text{Düşey Rüzgar Yüğü} = 0.273 \times \cos 32.02^\circ = 0.571 \frac{kN}{m^2} \quad (\uparrow)$$

$$\text{Yatay Rüzgar Yüğü} = 0.273 \times \sin 32.02^\circ = 0.145 \frac{kN}{m^2} \quad (\rightarrow)$$

Düğüm Noktalarına Etkiyen Yüğülerin Hesabı (6. Yükleme Durumu için)

- Sistemin Rüzgarüstü Kısmı İçin Yüğü Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sol Parçası)

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.51)$$

$$\left[\frac{(0.162 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 1.76 \frac{kN}{joint} = 176 \frac{kg}{joint} \quad (\uparrow) \quad (3.52)$$

$$\text{Rüzgaraltı Bölümü İçin Toplam Düşey Yüğü} = 176 - 198 = -22 \frac{kg}{joint} \quad (\downarrow) \quad (3.53)$$

$$\text{Toplam Yatay Yüğü} = \left[\frac{(-0.102 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = -1.1 \frac{kN}{joint} = -110 \frac{kg}{joint} \quad (\leftarrow) \quad (3.54)$$

- 3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sol Kısmı İçin Yük Hesabı

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.55)$$

$$\left[\frac{(0.659 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 8.00 \frac{kN}{joint} = 800 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.56)$$

$$\text{Orta Bölüm İçin Toplam Düşey Yük} = 800 - 198 = 602 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.57)$$

- 3 Parçaya Ayrılan Sistemin Orta Parçasının Sağ Kısmı İçin Yük Hesabı

$$\left[\frac{(-0.726 \frac{kN}{m^2} * \frac{765.41 m^2}{2})}{43} \right] + \left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right]$$

$$= -6.47 \frac{kN}{joint} - 1.98 \frac{kN}{joint} = -8.45 \frac{kN}{joint} = -845 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.58)$$

$$\left[\frac{(0.659 \frac{kN}{m^2} * 861.4 m^2)}{71} \right] = 8.00 \frac{kN}{joint} = 800 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.59)$$

$$\text{Orta Bölüm Sağ Kısım İçin Toplam Düşey Yük} = 800 - 198 - 647 = -45 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.60)$$

- **Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Yük Hesabı (3 Parçaya Ayrılan Sistemin Sağ Parçası)**

$$\left[\frac{(-0.200 \frac{kN}{m^2} * 1257 m^2)}{127} \right] = -1.98 \frac{kN}{joint} = -198 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.61)$$

$$\left[\frac{(-1.348 \frac{kN}{m^2} * 245.85 m^2)}{28} \right] = -11.84 \frac{kN}{joint} = -1184 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.62)$$

$$\left[\frac{(0.231 \frac{kN}{m^2} * 303 m^2)}{28} \right] = 2.51 \frac{kN}{joint} = 251 \frac{kg}{joint} (\uparrow) \quad (3.63)$$

$$\text{Sistemin Rüzgaraltı Kısım İçin Toplam Düşey Yük} = 251 - 198 - 1184 = -1113 \frac{kg}{joint} (\downarrow) \quad (3.64)$$

$$\text{Toplam Yatay Yük} = \left[\frac{(0.145 \frac{kN}{m^2} * 303 \frac{kN^2}{m^2})}{28} \right] = 1.57 \frac{kN}{joint} = 157 \frac{kg}{joint} (\rightarrow) \quad (3.65)$$

Tablo 3.1. 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sistemin optimizasyon sonuçları

Grup No	Eleman Numarası	KESİT ALANI SONUÇLARI (Tüm yükleme durumları için)				
		Birinci Mertebe Yaklaşımı (First Order)		Yavuz Saraç [5] (cm ²)	Hasançebi ve Ark. [23] (cm ²)	A.Kaveh, S.Talatahari [24] (cm ²)
		ANSYS Doğrusal Analiz (cm ²)	ANSYS Doğrusal Olmayan Analiz (cm ²)			
A1	1,2,3,...,22,23,24	7,00	7,00	14,39	6,90	6,90
A2	25,27,29,...,69,71	20,31	20,99	19,48	14,39	17,29
A3	26,28,30,...,70,72	20,25	19,17	17,29	20,45	14,39
A4	73,74,75,...,95,96	17,86	17,05	14,39	17,29	14,39
A5	97,99,...,141,143	10,56	20,70	14,39	14,39	14,39
A6	98,100,...,142,144	19,29	18,01	14,39	14,39	14,39
A7	145,146,...,167,168	12,76	12,97	14,39	14,39	17,29
A8	169,171,...,213,215	16,08	20,99	14,39	10,97	14,39
A9	170,172,...,214,216	19,65	13,21	14,39	14,39	10,97
A10	217,218,...,239,240	11,86	18,59	14,39	14,39	14,39
A11	241,244,...,271,274	14,58	14,48	14,39	10,97	10,97
A12	242,245,...,272,275	13,75	13,70	14,39	10,97	10,97
A13	243,246,...,273,276	13,64	13,65	14,39	10,97	10,97
A14	277,278,...,287,288	13,51	13,50	10,97	10,97	10,97
A15	289,291,...,309,311	14,66	14,59	14,39	10,97	10,97
A16	290,292,...,310,312	14,42	20,99	14,39	10,97	10,97
A17	313,314,...,323,324	14,67	14,60	10,97	9,55	9,55
A18	325,328,...,337,340	17,34	17,31	14,39	9,55	9,55
A19	326,329,...,338,341	16,74	16,70	10,97	6,90	6,90
A20	327,330,...,339,342	16,70	16,66	10,97	6,90	6,90
A21	343,344,...,347,348	14,78	14,71	10,97	6,90	6,90
A22	349,350,...,353,354	14,78	14,71	10,97	6,90	6,90
Toplam Hacim (cm³)		2.174.587,48	2.378.444,96	2.096.840	1.880.357	1.873.745,2

Tablo 3.2 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sistemin optimizasyon sonuçları - 2

1. Yükleme Sonuçları			
Grup No	<i>First Order</i> (Doğrusal Analiz) (cm²)	<i>First Order</i> (Doğrusal Olmayan Analiz) (cm²)	<i>BB-BC</i> (Genel) (cm²)
A1	5.000	5.000	5.000
A2	7.089	5.000	12.551
A3	20.260	19.176	12.486
A4	8.159	7.121	12.826
A5	5.684	5.000	13.362
A6	19.921	18.013	12.313
A7	8.726	8.254	13.080
A8	5.000	5.000	11.902
A9	13.617	12.616	13.271
A10	11.717	18.599	11.971
A11	12.159	9.101	12.390
A12	9.878	8.150	14.356
A13	9.805	8.100	13.194
A14	8.721	7.866	13.779
A15	13.535	12.535	13.225
A16	5.000	5.143	11.968
A17	9.203	8.750	12.981
A18	9.352	8.716	14.633
A19	9.665	9.376	13.317
A20	9.665	9.376	13.185
A21	9.244	8.576	12.482
A22	9.244	8.576	10.466
<i>TOPLAM HACİM</i> (cm³)	1.368.303,11	1.295.225,16	1.426.432,72
<i>Bu Çalışmada Geliştirilen, BB - BC Tabanlı Metot ile Hesaplanan Toplam Hacim (cm³)</i>			1.409.864,13

Tablo 3.3. 354 elemanlı kubbe tipi uzay kafes sisteminin tüm birleşim noktalarındaki deplasman değerleri

Deplasman Yönü	1. YÜKLEME	2. YÜKLEME	3. YÜKLEME	4. YÜKLEME	5. YÜKLEME	6. YÜKLEME
	<i>Doğrusal Optimizasyon Deplasman Sonuçları (First Order)</i>					
X (cm)	-0.351	-0.614	1.473	0.728	0.971	-0.816
Y (cm)	-0.347	-0.600	-0.889	0.401	-0.879	-0.391
Z (cm)	-0.929	-1.386	-2.433	-1.472	2.496	-1.485
Deplasman Yönü	<i>Doğrusal Olmayan Optimizasyon Deplasman Sonuçları (First Order)</i>					
	1. YÜKLEME	2. YÜKLEME	3. YÜKLEME	4. YÜKLEME	5. YÜKLEME	6. YÜKLEME
X (cm)	-0.301	-0.636	1.648	0.859	1.057	-0.689
Y (cm)	-0.298	-0.657	-1.020	0.442	0.879	-0.385
Z (cm)	-0.262	-1.506	-2.740	-1.692	2.604	-1.294

4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çalışmada, uzay kafes sistemi 22 adet eleman grubuna ayrılarak yapısal optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon sonucunda bu gruplara ait elde edilen alan değerleri, karşılaştırma yapılabilmesi açısından daha önce yapılmış araştırmalarda kullanılan sınırlayıcılar sebebiyle 7 cm^2 ile 21 cm^2 arasında değişmiştir. Gerilme sınırlayıcılarında ki sınır gerilme değerleri ise denklem 2.1 ve denklem 2.2' ye göre hesaplanmıştır ve deplasman sınırlayıcısı olarak 11.1 cm değeri kullanılmıştır. Analiz sonucunda hiçbir düğüm noktasında, x, y, z yönlerinde, 11.1 cm 'den fazla deplasman değeri görülmemiştir.

Birinci yükleme durumu için BB – BC metodunun sonuçları, *FIRST ORDER* optimizasyon metodu sonuçlarıyla yakınlık göstermiştir. Bulunan toplam hacim değerleri birbirine çok yakın çıkmıştır. Diğer yükleme durumları için çözümler bundan sonraki çalışmalarımızda hesaplanacaktır.

Diğer araştırmacılar, BB-BC metodunda çeşitli yenilikler yaptıkları için bizim bulduğumuz sonuçlardan daha optimum sonuçlar elde etmişlerdir. Bundan sonraki çalışmalarda BB-BC metodunda geliştirmeler yapılarak daha optimum sonuç elde etmek için çalışılacaktır. Bu çalışmadada BB-BC algoritması üzerinde yenilik yapılmış ve orijinal algoritmaya göre daha optimum sonuçlara ulaşılmıştır.

Doğrusal olmayan analiz yapılırken, sistemde büyük deplasmanlara izin verilmemiş ve yapı, doğrusal analizde olduğu kadar rijit seçilmiştir. Doğrusal olmayan analizde ki deplasman sınırlayıcılarının, doğrusal analizde ki değerlerden farklı olarak seçildiği ve yapının daha az rijit olarak ele alındığı durumda da doğrusal olmayan analiz yapılması faydalı olacaktır.

5. KAYNAKLAR

- [1] **Ünlüoğlu, E., Doğan, M., Gönen, H.,** Eskişehir’de kar yükünden hasar gören uzay kafes sistemler, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir.
- [2] **Özbahar, E.,** 2007, Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Dizaynı, *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Anabilim Dalı, Konya
- [3] **Vanmarcke, E., ve Grigoriu, M.,** 1983. Stochastic Finite Element Analysis of Simple Beam, Journal of Engineering Mechanics, ASCE, 109(5), pp. 1203-1214.
- [4] **Orbay, A., Savaşır, K.,** 2004 Tonoz Biçimli Uzay Kafes Sistemlerin –Çeşitli Kriterler Açısından- Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 6, Sayı: 1, sh. 39-49
- [5] **Saraç, Y.,** 2005, Optimum Design Of Pin-Jointed 3-D Dome Structures Using Global Optimization, *Yüksek Lisans Tezi*, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ODTÜ, Ankara
- [6] **Makowski, Z S.,** (Editor), 1984, Analysis, Design and Construction of Braced Domes, Granada Publishing Ltd
- [7] <http://www3.surrey.ac.uk/eng/research/ems/ssrc/intro.htm>
- [8] **Bal H.,** 1995, Optimizasyon Teknikleri, G.Ü Yayını, Yayın No:207.
- [9] **Kovacı, H., Albayrak, O.,** 2008 Ankastre Kiriş Tasarımı İçin MATLAB ve ANSYS Optimizasyonu, Makine Mühendisliği, *Bitirme Ödevi*, Atatürk Üniversitesi, Erzurum
- [10] **Savaş, S.,** 2002, Sürekli Yapı Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması, İnşaat Mühendisliği Bölümü, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ
- [11] **Kirsch, U.,** 1981, Optimum Structural Design
- [12] **Akhoroz, E.,** 1999, Ansys programı ile dizayn optimizasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 135s.
- [13] [http:// bilgihazine.blogcu.com/ dogrusal-programlama – nedir – dogrusal – programlama - ornekleri/11689757](http://bilgihazine.blogcu.com/dogrusal-programlama-nedir-dogrusal-programlama-ornekleri/11689757)
- [14] **Uçar, T.,** 2005, Yapı Sistemlerinin Doğrusal Olmayan Analizinde Çözüm Yöntemleri, İnşaat Mühendisliği Bölümü, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- [15] <http://tr.wikipedia.org/wiki/Optimizasyon> (Nisan2012)
- [16] **Türkay, M.,** Optimizasyon Modelleri ve Çözüm Metodları, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Koç Üniversitesi, İstanbul
- [17] **Erol, O.K., Eksin, İ.,** 2005, A new optimization method : Big Bang – Big Crunch

- [18] **Kaveh, A., Talatahari, S.,** 2009, Size optimization of space trusses using Big Bang – Big Crunch algorithm
- [19] **Kaveh A, Farahmand Azar B., Talatahari S.,** 2008, Ant colony optimization for design of space trusses. *Int J Space Structure*, 23 (3) : 167–8
- [20] American Society of Civil Engineers, Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (7-98)
- [21] http://tr.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCzg%C3%A2r_t%C3%BCnel
- [22] <http://ruzgartuneli.net/>
- [23] **Hasançebi, O., Çarbas, S., Doğan, E., Erdal, F., Saka, MP.,** 2009, Performance evaluation of metaheuristic search techniques in the optimum design of real size pin jointed structures. *Computers and Structures*, Nos. (5-6), 87, 284 –302.
- [24] **Kaveh, A., Talatahari, S.,** 2010, A Discrete Big Bang – Big Crunch Algorithm for Optimal Design of Skeletal Structures, *Asian Journal of Civil Engineering (building and housing)* vol. 11, no. 1, pages 103-122

6. EKLER

1. ANSYS *APDL* dili ile hazırlanmış program kodları

ÖZGEÇMİŞ

Sümevra CİHANGİROĞLU, 1986 yılında Elazığ’ da doğmuştur. İlk öğrenimini Elazığ Nahit Ergene İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Elazığ Anadolu Lisesi’nde tamamlamıştır. 2004 yılında, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2008 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, 2009 yılında, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Mekanik Programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. 2010 Şubat tarihinden beri Hakkari Üniversitesi’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır