

T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN SAYISAL YÖNTEMLE ANALİZİ

BİLEN EŞSİZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2008

Doç. Dr. Zireddin MEMMEDOV danışmanlığında, Bilen EŞSİZOĞLU'nun hazırladığı “Uzay Kafes Sistemlerini Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Hesaplanması” konulu bu çalışma 22/01/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Zireddin MEMMEDOV

Üye : Doç. Dr. Murat KISA

Üye : Yrd.Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ

Bu Tezin İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. İbrahim BOLAT
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	13
3.1 Materyal	13
3.1.1 Uzay kafes sistemler	13
3.1.1.1. Genel tanımı.....	13
3.1.1.2. Uzay kafes sistemlerin tarihçesi.....	16
3.1.2. Uzay kafes sistemlerin mimari kullanım alanları	18
3.1.2.1. Sanayi yapıları	20
3.1.2.2. Showroom yapıları.....	21
3.1.2.3. Sergi ve fuar yapıları.....	23
3.1.2.4. Ulaşım yapıları.....	23
3.1.2.5. Spor kompleksleri	24
3.1.2.6. Alışveriş merkezleri	25
3.1.3. Uzay kafes sistemlerin faydaları.....	26
3.1.3.1. Yapı sistemi olarak faydaları	26
3.1.3.2. Depreme karşı faydaları	27
3.1.3.3. Maliyet avantajları	28
3.1.4. Uzay kafes sistem elemanları	29
3.1.4.1. Borular	30
3.1.4.2. Pimler.....	32
3.1.4.3. Küreler	33
3.1.4.4. Somunlar	34
3.1.4.5. Aşıklar ve Aşık Dikmeleri	34
3.1.4.6. Cıvatalar.....	35
3.1.4.7. Konikler	35
3.1.5. Uzay kafes sistemin statik açısından incelenmesi.....	37
3.1.6. Uzay kafes sistemlerinin projelendirme aşamaları	40
3.1.6.1. Mimari tasarım.....	40
3.1.6.2. Statik hesap yönetimi	40
3.1.6.3. Montaj.....	40
3.1.6.4. Nakliye.....	41
3.1.7. Uzay kafes sistemlerinin statik hesap kriterleri	41
3.1.7.1. Yükleme türleri:	42
3.1.7.2. Yük kombinasyonlar	42
3.1.7.3. Bilgisayar hesapları ve neticeleri:	42
3.1.8. Uzay kafes sistemlerinde ülkemizde kullanılan dizayn, malzeme ve üretim standartları	43
3.1.9. Uzay Kafes Sistemlerinin projelendirme esasları ve teknik şartnamesi.....	43
3.1.9.1. Projelendirme esasları	43
3.1.9.2. Projelendirme hataları	48
3.1.9.3. Teknik şartnamesi	50
3.2. Yöntem.....	53
3.2.1. Sonlu elemanlar metodu hakkında genel bilgi	53
3.2.2. SAP 2000.....	57
3.2.2.1. Giriş	57
3.2.2.2. Etkileşimli veritabanı düzeni.....	60
3.2.2.3. Diğer uygulamalar	62
3.2.3. Çalışılan uygulama	63
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	64

4.1. Çözüm	64
4.2. Sistemin SAP 2000'de oluşturulması	64
4.3. Sistemin SAP2000'de çözümü aşamaları	66
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	82
EKLER.....	83
ÖZET	105
SUMMARY	107

ÖZ

Yüksek Lisans Tezi

UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN SAYISAL YÖNTEMLE ANALİZİ

Bilen EŞSİZOĞLU

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zireddin MEMMEDOV

Yıl: 2008 , Sayfa: 108

Dünya'da çelik vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde de çeliğin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunun nedeni ise, gündün güne değişen, artan ihtiyaçlar ve bilinçlenen toplum çerçevesinde, yapılarda özellikle aranan depreme karşı performans, imalatta yüksek kalite ve uygulamada kontrol edilebilirlik, yapı ağırlığının az olması, düşük temel maliyeti, inşaat süresinin kısılması, mekanda tasarruf vb. gibi vasıflara uygunluğudur.

Çelik malzeme estetik, işlevsellik, kullanım ömrü gibi yapının rekabet gücünü artıran yönler açısından düşünüldüğünde projelendirmeyi yapan mühendise, yapı tasarımına, programlamaya özellikle detaylandırma ve uygulama konusunda değişik seçenekler sunmaktadır.

Bu tez kapsamında SAP 2000 programında modelleme yapılırken, maliyeti ve ölü yükü azaltmak amacıyla daha küçük çaplı profiller denenmiştir. Fakat ölü yük azalmasına rağmen kar ve rüzgar yüklerinin etkisiyle, sistemin analizi yapıldığında kolon ve çubukların sistemi taşıyamayacağı görülmüştür. Maliyeti minimum tutmak amacıyla çubuk ve kolon değerleri büyütülerek en ekonomik ve en güvenli boru çapları bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER : Kafes Sistem, Uzay Kafes Sistem, Sonlu Elemanlar Metodu, SAP 2000

ABSTRACT

MSc Thesis

ANALYSIS OF SPACE FRAME SYSTEMS USING NUMERICAL METHOD

Bilen EŞSİZOĞLU

Harran University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zireddin MEMMEDOV

Year: 2008 , Page: 108

The popularity of using the steel as a construction material has been increased worldwide owing to its indispensability in the current market today. The utilisation of this construction material is swiftly spreading in abroad as well as in our country. The main reasons of this demand are the conformity of steel's performance against earthquakes, high quality in the production, easily controllable in the application, the lightness of the provided contractions, low cost, shorter period of construction, efficiency in the space etc. The efficiency and the reliability of the steel products used in the construction market are being improved on a daily basis since the needs and awareness of society for this material is increasing.

Considering the aesthetics, functionality, lifespan of steel and other aspects, the competitiveness of this material is developing in the market. Steel provides various options to the design of buildings i.e. from the design programming to the project handling especially in terms of detailing and application it is a crucial part of modern building construction.

In order to reduce the cost and dead load of the system modelled various elements having different diameters are analysed and comparatively small profiles are chosen in modelling process with SAP 2000. Although the small diameters reduces the dead load, the snow and wind loads however caused instability in the colons and bearing elements whilst analysing the system with relatively small diameters. Because of this reason the most economical and safe pipe diameter is obtained by increasing the size of colons and bearing elements meantime concerning the minimum cost.

KEY WORDS: Frame Systems, Space Frame Systems, Finite Elements Method, SAP 2000

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında engin bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşarak çalıŐmalarına yön veren çok değerli hocam sayın Doç. Dr. Zireddin MEMMEDOV' a, uygulamada yardımlarından dolayı sayın Yrd. Doç. Dr. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ 'e, bilgi, deneyim ve dostluğunu eksik etmeyen Araştırma Görevlisi sayın Veysel GÜMÜŐ'e , Araştırma Görevlisi sayın Zeynep ALGIN 'a ayrıca yazım aşamasında bana yardımcı olan sayın Sedat AK'a, sayın Ferhat BAYRAM'a, sayın Fırat İPEK'e, sayın Mehmet ONAT'a ve maddi ve manevi katkılarından dolayı, desteklerini bir an bile eksik etmeyen aileme sonsuz teŐekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3. 1. Uzay kafes sistem köprü örneği	14
Şekil 3. 2. Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay örneklerinden bazıları	15
Şekil 3. 3. Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay örneklerinden bazıları	16
Şekil 3. 4. Dr. Max Mengerhause (1903-1988).....	17
Şekil 3. 5. Uzay kafes sistem hayvanat bahçesi su kuşları kafesi.....	19
Şekil 3. 6. Uzay kafes sistem gölgelendirme çatısı	19
Şekil 3. 7. Uzay kafes sistemlerde kullanılan yapı türleri	20
Şekil 3. 8. Uzay kafes sistem uçak bakım iskelesi	21
Şekil 3. 9. Tek cidarlı konstrüksiyon görünüşü	22
Şekil 3. 10. Tek cidarlı konstrüksiyon görünüşü	22
Şekil 3. 11. Uzay kafes sistem fuar ve kongre merkezi.....	23
Şekil 3. 12. Uzay kafes sistem kapalı yüzme havuz çatısı	24
Şekil 3. 13. Uzay kafes sistem tribün çatısı.....	25
Şekil 3. 14. Uzay kafes sistem alışveriş merkezleri	26
Şekil 3. 15. Uzay kafes sistem düğüm noktası 3D modeli	30
Şekil 3. 16. Uzay kafes sistem birleşim elemanları.....	30
Şekil 3. 17. İmal edilmiş borular	31
Şekil 3. 18. Pim 3D modeli	33
Şekil 3. 19. Değişik ölçülerde küre örnekleri	33
Şekil 3. 20. Somun 3D modeli	34
Şekil 3. 21. Cıvata 3D modeli	35
Şekil 3. 22. Uzay kafes sistem birleşim detayı.....	36
Şekil 3. 23. İki boyutlu kafes modeli.....	37
Şekil 3. 24. Düzgün dört yüzlü modeli.....	38
Şekil 3. 25. Düzgün 4 yüzlü mesnetleme	38
Şekil 3. 26. Uzay kafes sistem elde edilmesi.....	39
Şekil 3. 27. Nokta yük alanı	46
Şekil 3. 28. Uzay kafes sistem montaj ve imalat hataları	48
Şekil 3. 29. Uzay kafes sistem montaj ve imalat hataları	49
Şekil 3. 30. Sonlu elemanlar metodu için örnek yaklaşık çözüm ve gerçek çözüm eğrileri.....	57
Şekil 3. 31. Interactive database input tables ileti kutusu.....	61
Şekil 3. 32. Etkileşimli veritabanı düzeni ileti kutusu.....	61
Şekil 4. 1. Ana modül.....	68
Şekil 4. 2. Modüllerin türetilmesi.....	72
Şekil 4. 3. Kafes sistemin oluşturulması	73
Şekil 4. 4. Uzay kafes sistem.....	75
Şekil 4. 5. Sistemin deforme olmuş durumu	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3. 1. Boru kesitleri.....	32
Çizelge 3. 2. Çelik emniyet gerilmesi	32
Çizelge 3. 3. Cıvata emniyet gerilmeleri	35
Çizelge 3. 4. Yükleme türleri	42
Çizelge 4. 1. (TS 498) Zati karyükü (Pko) değerleri kN/m ²	77
Çizelge 4. 2. (TS498) Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme	77
Çizelge 4. 3. Boru çapları ve et kalınlıkları.....	78

SİMGELER DİZİNİ

SEM	Sonlu elemanlar metodu
ABYYHY	Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, (1998)
TS (TSE)	Türk Standartları (Türk Standartları Enstitüsü)
DIN	Alman Standartları Enstitüsü (Deutsches Institut für Normung)
TÜV	Teknik denetim kurumu
EHM	Elektronik hesap makineleri
DQEM	Diferansiyel Quadrature Eleman Metot
HES	Hidro Elektrik Santralleri
P	Düğüm noktasındaki tekil yük
q	Yayıllı yük
a	x yönündeki modül boyutu
b	y yönündeki modül boyutu
$\varphi_i(t)$	taban fonksiyonlarının lineer kombinasyonu
$x(t)$	asıl çözüm fonksiyonunu
$u(t)$	yaklaşık çözüm fonksiyonunu
P_G	Öz ağırlık yüklemesi (kg/m^2)
P_K	Kar yüklemesi (kg/m^2)
P_{wb}	Rüzgar basınç yüklemesi (kg/m^2)
P_{we}	Rüzgar emme yüklemesi (kg/m^2)
σ_{kr}	burkulma gerilmesi
δ_{max}	maksimum sehim değerleri
α_t	sıcaklık genleşme sayısı
V	Poisson oranı
t	Et kalınlığı
A(T)	Spektral ivme katsayısı
S_T	Spektrum katsayısı)
T_A ve T_B	Spektrum karakteristik periyotları
A_0	Etkin yer ivme katsayısı
$R_a(T)$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
V_t	Eşdeğer deprem yükü
I	Atalet moment
E	Çeliğinin elastisite modülü;

1. GİRİŞ

Dünyamızda hızla artan nüfusa ve gelişmekte olan kentleşme olgusuna paralel olarak mimaride yüksek, kolonsuz ve geniş açıklıklı yapılara ihtiyaç duyulmuştur. Bu ihtiyaçlara çözüm arayışı çelik uzay yapı sistemlerin doğmasına neden olmuştur. Çelik uzay yapı sistemlerin inşaatının hızlı, estetik, ekonomik ve güvenli oluşu bu yapı sistemlerini gelişme sürecini hızlandırmış ve kullanım alanlarını arttırmıştır. Günümüzde bu sistemler çeşitli geometrideki geniş açıklıkların kolonsuz geçilerek kapalı mekan olarak kullanılmasında oldukça ekonomik çözümler sunmaktadır.

Çelik uzay yapı türlerinden biri olan uzay kafes sistem yapılar, ana öğeleri çubuk elemanlar ile noktasal düğüm elemanları olan üç boyutlu hiperstatik yapı sistemleridir. Büyük oranda çatı sistemleri olarak anlaşılmasına ve uygulanmasına karşın, uzay kafes yapılar, çok farklı fonksiyonları da sağlayabilen, mimari ve konstrüktif post-modern yapı sistemleridir.

Uzay kafes sistemler, birbirlerine düğüm noktalarından bağlı, basit çekmeye yada basınca çalışan doğrusal çubuklar ağından kurulu düzenlerdir. Bu çubuklar düzeni, üzerine etkiyen dış yükleri iki doğrultuda mesnetlere ileten ve boşluğun organize edilmesi ilkesine göre üretilen çağdaş sistemlerdir.

Başlangıçta düğüm noktaları geleneksel olarak bulonlar ya da kaynakla gerçekleştiriliyordu. Aşamalı olarak, bu sisteme ilgiyi artıracak birleşim düzenleri geliştirildi. Teknolojik gelişme, doğal olarak standartlaşma ve hazır yapıma yol açtı. Hazır yapıma; ya düğüm noktaları ve çubuklar gibi basit elemanlara, ya da üçken ve dört yüzlü gibi bileşik elemanlara dayanmaktadır. Modellendirme taşıyıcı düzlemlerin biçim değişimini kolaylaştırmaktadır.

Statik yararları açısından uzay kafes sistemler diğer bir çok taşıyıcı sistemlere oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak maliyet önemli ölçüde azalmaktadır. Uzay kafes yapıları, günümüz Türkiye’ sinde büyük açıklıklı sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Uzay kafes yapıları oldukça geniş biçimsel olanaklar da sağlanmaktadır. Düzlem yüzeyler ve bunun katları geliştirilebileceği gibi, ayrıca kubbe ve tonozsal biçimler ve bunların tekrarı şeklinde de kurulabilmektedir. Uzay kafes yapıları donatı yerleşiminde de yararlılıklar sağlayabilmektedirler. Elektrik, sıhhi tesisat, havalandırma kanalları, klima, iklimleme sistemleri gibi donatılar, bu sistemlerin oluşum ilkesinden doğan boşluklarda kendilerine kolaylıkla yerleşim alanı bulabilmektedir. Bu donatılar her doğrultuda yer alabilmektedirler. Elektrik bağlantıları çubukların içinden geçirilerek de yapılabilmektedirler. Gün ışığı sağlanması aynı boşluklarda pencere öğeleri oluşturmak suretiyle kolayca çözümlenebilmektedir.

Sanayi yapıları, içinde üretimin gerçekleştiği ve üretim ile ilgili süreçlerin birbiri ile ilişkilendiği mekanlardır. Üretim aşamaları bazen aynı yapı içinde gerçekleşmek zorunda iken bazen de yan yana ayrı binalarda gerçekleşebilir. Önemli olan üretimin etkinliği ve bu etkinliği sağlayabilecek işlevsel yerleşimdir. İşte bu işlevsel yerleşim sırasında uzay kafes sistemlerinin büyük faydaları ortaya çıkmaktadır. Kolonsuz şekilde geniş bir alanı örtebilen bu sistemler üretim için sınırsız bir yerleşim (lay out) imkanını sunmaktadır. Tesislerin hammadde girişi ve ürün çıkışı için kullandıkları lojistik depolarda uzay kafes sisteminin kullanımı taşımacılık ve depolama işlevinin en etkili ve verimli şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır (Neru, 2007).

Kullanılan uzay kafes sistemlerinin gelişmesi, inşaat mühendisliğinde uzay kafes sistemlerinin analizi, tasarımı ve farklı çözüm yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur. Birçok çözüm yönteminin kullanılmasına karşın; sonlu elemanlar

yöntemi günümüzde uygulanan çözüm yöntemleri arasında en kolay ve en kesin sonuçları veren yöntemdir. Mühendislik problemlerinin birçoğunun çözümünde kullanılan sonlu elemanlar yöntemi, sayısal bir yöntemdir. Sonlu elemanlar metodunun esası, yapı sistemlerinin sonlu sayıda elemandan oluştuğu ve bu elemanların sonlu sayıdaki düğüm noktalarında birbirine bağlandığı kabulüne dayanmaktadır. Bu metot üç boyutlu yapılarda kullanılırken yapılacak tek kabul deplasman fonksiyonunun iki düğüm noktası arasında ve elastik eksen boyunca sürekli olduğudur. İki boyutlu elemanların birleşimi ile elastik ortam teşkil edilebilir. Yapı sistemini oluşturan elemanların farklı malzemelerden olması durumunda metot geçerlidir.

Sonlu elemanlar yöntemi daha çok 1960'lı yıllardan itibaren bilgisayardaki gelişime paralel olarak birçok anabilim dalında kullanılan bir analiz metodudur. Bu metot inşaat mühendisliğinde kablo, çerçeve, levha veya kabuklardan oluşan yapı sistemlerinin analizinin çözümünde önemli ölçüde yararlar sağlamaktadır. Çubuk elemanların hesaplanmasında kullanılan klasik yöntemlerin iki ve üç boyutlu ortamların gerilme-yer değiştirme problemleri nedeniyle uygulanması sonucu ortaya çıkmıştır.

Uygulamada çok sık rastlanan bazı sürekli elastik sitemlere ait fiktif eşdeğer çubuk sistemlerinin karakteristiklerinin ve sürekli sisteme ait aranan iç kuvvet bileşenlerinin nasıl tayin edileceği aşağıda sırasıyla gösterilmiştir. Burada sürekli ortamın izotrop ve lineer elastik malzemedan yapılmış bulunduğu ve deplasmanlarının çok küçük olduğu kabul edilmiştir.

Sonlu elemanlar yöntemi yapı mühendisliği, zemin mekaniği, hidrolik , ısı transferleri ve elektrik mühendisliği gibi alanlarda uygulanmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi lineer ve lineer olmayan denklem sistemlerinin üretiminde birçok matematiksel kavramları birleştirmektedir. Denklem sayısı genellikle çok geniştir. Bazı yerlerde 20' den 20000' e kadar veya daha fazla

denklem sistemi içeren bilgisayar gücüne ihtiyaç vardır. Bilgisayarın bulunmadığı hallerde bu metot çok az pratik değere sahiptir.

Sonlu elemanlar metodunun günümüzde farklı uygulama yöntemi vardır. Fakat bu yöntemlerin elle çözümü oldukça zor olduğundan bilgisayar programı kullanılmaktadır. Kullanılan programlardan biri de SAP 2000 programıdır. SAP 2000 programı sonlu elemanlar metoduna uygun inşaat mühendisliğinde birçok alanda kullanılması ile birlikte, uzay kafes sistemlerin çözülmesi içinde kullanılan bir bilgisayar programıdır. Bu tez çalışmasında SAP 2000 programını kullanarak üç boyutlu kafes çatı modellemesi yapılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Turhan (1985), düzlem ve uzay kafes sistemlerin lineer olmayan analizi konulu çalışmasında lineer elastik malzeme için verilmiş matris deplasman yöntemini ardarda kullanarak, kafes sistemlerin lineer olmayan analizini elde etmiştir.

Kafes sistemlerin lineer olmayan analiz yöntemlerinden söz etmiş, düzlem ve uzay kafes sistemlerin lineer olmayan analizi için değiştirilmiş matris deplasman yöntemi anlatmıştır. Ayrıca lineer olmayan analizi gerçekleştirmek için izlenen yolu açıklamış ve işlem yapan bir algoritma vermiştir. Verdiği algoritmanın uygulamasını yapan bilgisayar programını açıklamış, ve sonuç olarak bazı durumlarda kafes sistemlerin taşıma gücünün belirlenmesinde gerilmeye nazaran deplasman sınırlamalarının daha fazla önem kazanabildiğini göstermiştir. Özellikle sistemdeki bazı çubukların orantılılık sınırı üzerinde yüklenmesi durumunda, sistemin deplasmanlarının hesabı, lineer gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kabulü yapan matris deplasman yöntemiyle mümkün olmadığını açıklamıştır. Bunun matris deplasman yönteminin çubuklardaki lineer olmayan davranışına izin verecek şekilde genelleştirme gerektiğini ortaya koymuştur.

Tan (1996), çalışmasında uzay kafes ve uzay çerçeve yapı tiplerinin direk matris deplasman yöntemiyle analizini yapan bir bilgisayar programı geliştirmiştir. Direk matris deplasman metodunda, kuvvetler ve deplasmanlar arasındaki bağıntılardan bir denklem takımı oluşturmuştur. Çözümünü yaptığı sistemin üç boyutlu modelini bilgisayar ekranında çizmiş, çizilen modeli kendi ekseni etrafında döndürebilmiştir.

Gökçen (1996), çalışma kapsamında uzay kafes sistemlerin hesap yöntemleri üzerinde araştırma yapmış ve matris metodunu geliştirilecek programının temeli olarak tespit etmiştir. Matris metotları için yapılan çalışmaya çerçevelerden başlayarak, daha sonra çerçevenin köşelerinin mafsal olarak kabul edilmesi ile kafes sisteme geçme yöntemini takip etmiştir. Aynı zamanda, bu sistemleri destekleyen teknolojiler hakkında bilgi toplayarak, uygulamada ne gibi üstünlük ve sakıncaların olduğu konusunda fikir edinmeye çalışmıştır. Özellikle mero türü olarak isimlendirilen ve çubuk boyları ve iki yöndeki aralıkları eşit uzay kafes sistem için son derece pratik bir data hazırlama yöntemi geliştirmiştir. Yaptığı programda elde ettiği sonuçlarla daha önce kabul görmüş programların sonuçlarını karşılaştırıp, programın istenilen hesapların sonuçlarının doğru neticeler verdiğini ortaya koymuştur.

Titizoğlu (1996), uzay kafes sistemlerinin analizi üzerine yaptığı çalışmasında; matris hesabı ile sonlu elemanlar yöntemini kullanarak düzlem gerilme, düzlem şekil değiştirme, üç boyutlu levha ve plak türündeki problemlerin hesapsal çözüm yöntemlerini araştırmıştır. Bu problemleri sonlu elemanlar metodunu kullanan bilgisayar programlarıyla çözmüştür. Ve elde ettiği sonuçlar neticesinde, bilgisayar programları ile çözülen problemler daha hızlı, kolay ve daha doğru yöntem olduğu yargısına varmıştır.

Papadopoulos ve Papadrakakis (1997), yayınladıkları makalede ağırlaştırılmış integral metodunu Monte Carlo simülasyonu ile birleştirilerek uzay kafeslerin sınırlı-temel analizinde kullanmışlardır. Etkili çözüm teknikleri ile birleştirilmiş plastik mod tekniğine dayalı, adım adım uygulanan homojen olmayan plastik analizi, Monte Carlo simülasyonunun her kısmında uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlar ile bu yaklaşım, 3 boyutlu uzay kafes sistemlerinin sınırlı element tabanlı emniyet analizinin güvenli bir uygulama sağlayacağını göstermişlerdir.

Peker (1998), çalışmasında uzay kafes ve uzay çerçeve sistemlerinin analizini yapan bir bilgisayar programı hazırlamıştır. Bu çalışmayı yaparken sonlu elemanlar

metodunun esasını oluşturan elemanlara ait rijitik matrisi ve sistem rijitlik matrisinin kurulması ile ilgili temel alt yapıyı anlatmıştır. Sonuçta da çeşitli uzay kafes ve uzay çerçeve sistem problemlerini, hazırladığı bilgisayar programıyla çözmüştür.

Demir (2001), genelleştirilmiş diferansiyel quadrature metodunun kafes sistemlerine uygulanmasını incelemiş, yapının özel noktalarındaki sonuçlar araştırılmak istendiğinde en kullanışlı metot DQEM (Diferansiyel Quadrature Eleman Metot) olduğunu belirtmiştir. Bu metotta iyi sonuçlar elde etmek için bütün noktaların kullanılmasına ihtiyaç olmadığını ortaya koymuştur. Bundan dolayı DQEM bazı özel noktaların kullanımı için kullanışlı olduğu sonucuna varmıştır. Çalışmasında, bir eleman yerine daha fazla eleman kullanmıştır. Fazla eleman kullanarak Sonlu Elemanlar Metodu ile aynı sonuçlar elde etmiştir. Ve iyi sonuçlar bulmak için Sonlu Elemanlar Metoduna göre daha az hesaplama zamanı gerektiği sonucuna varmıştır.

Düzçükçüoğlu (2004), çalışmada, kafes giriş sistemlerinde belirli düğüm noktalarına uygulanan kuvvetlerin çubuklarda oluşturdukları gerilme ve yer değiştirmelerin analizini amaçlamıştır. Bu amaca ulaşmak için örnek problem olarak, bir kafes giriş sisteminde belirli düğüm noktalarına uygulanmış kuvvetlerin, önceden kabul edilmiş sınır şartları altında, sonlu elemanlar metodu kullanılarak giriş elemanlarda meydana gelen gerilme ve yer değiştirmelerin teorik olarak analizi yapmıştır. Buna uygun sonlu elemanlar metodunun kullanıldığı bilgisayar programı kullanarak giriş elemanlardaki gerilme ve yer değiştirmeleri hesaplamıştır.

Özgür (2006), yapmış olduğu çalışmada, uzay kafes sistemlerin güçlendirilmesi amacıyla değişik biçimlerde kullanılan, çapraz elemanların yapı sismik performansı üzerine etkisini incelenmeye çalışmıştır. Ayrıca, tüm modellerin, çökme mekanizmalarını ve periyotlarını da incelemiştir.

Güneş (2005), çalışmada çeşitli boyutlardaki 4 tarafından tutulmuş (ankastre) plakların farklı yüklemeler altındaki maksimum deplasman değerleri için öncelikle sonlu elemanlar yöntemiyle çözüm yapan SAP 2000 paket programıyla çözümler

yapmış daha sonra problemin Bulanık Mantık yöntemiyle çözülebilirliğini araştırmış ve bu amaçla Matlab Programının Fuzzy Toolbox'ı kullanarak problem çözmüştür. Çözümde Mamdani yöntemini kullanmış, plak kalınlığı bütün modeller için aynı kabul etmiştir. Uygulamalar da maksimum deplasman plak orta noktasında oluşacağından plak orta noktasındaki deplasmanlar göz önünde bulundurmıştır.

Kahvecioğlu ve Karamannıoğlu (2005), yaptığı çalışmada; lineer sonlu elemanların iki noktalı sınır değer problemlerinde kullanımını incelemiştir. Sonlu Elemanlar Metodu dâhilinde incelenen Galerkin Metodu'nun zayıf noktası olarak gözüken yüksek mertebeden model kullanma yerine birinci mertebeden model kullanmayı irdelemiş ve açıklayıcı bir örnek sunmuştur.

Kurt ve Şeker (2005), çalışmalarında,kesici takım gerilmelerinin sonlu elemanlar metodunu kullanarak incelemiş, bunu için Al 2007 alüminyum alaşımı malzemenin ortogonal (dik) kesme işleminde kullanılan 0.1, 0.2 ve 0.4 mm paso derinliğinin kesici takım gerilmeleri (normal, kayma ve von Mises) üzerindeki etkileri sonlu elemanlar metoduna dayalı ANSYS paket programı kullanılarak analiz etmiş ve derinliğe bağlı olarak kesme kenarındaki gerilmelerin değişimini incelemiştir. Esas kesme kuvveti ve pasif kuvvetin kesici takım üzerindeki etkisini, takım-talaş temas uzunluğunu dikkate alarak oluşturduğu sonlu eleman modellerinde talaş yüzeyinde ve yardımcı yüzeyde normal ve teğetsel kuvvet bileşeni biçiminde uygulamıştır. Analiz sonuçları, y-ekseni doğrultusundaki normal ve xy-düzlemindeki kayma gerilmelerinin kesici takımın ucundan takım-talaş temas uzunluğunun sonuna doğru azalmakta olduğunu ve dağılımlarının Lee ve Zorev'in normal gerilme dağılıma paralel bir biçimde gerçekleştiğini göstermiştir.

Özen ve Türker (2005), güçlendirme alternatiflerinin doğrusal olmayan analitik yöntemlerle irdelenmesi yapmak için; kullanılmış araba lastikleriyle güçlendirilmiş olan gerek yığma duvarlar gerekse yığma yapıların davranış ve dayanımlarındaki değişikliklerini incelemiş ve yapısal davranış üzerine genel bir fikre ulaşmıştır. Doğrusal olmayan sonlu elemanlar yöntemleri kullanılarak çeşitli

modeller oluşturmuş ve değişik güçlendirme alternatifleri için karşılaştırmalar yapmıştır.

Kocabaş (2005), çalışmasında, tek açıklıklı kafes ve dolu gövdeli endüstri yapıları ile iki katlı bir binanın analiz, tasarım ve projelendirilmesini yapmıştır. Endüstri yapılarının analiz ve tasarımı statik yükler (öz ve kar) ve rüzgâr yükleri altında, iki katlı binanın analiz ve tasarımı ise statik yükler (sabit ve hareketli) ve deprem yükleri altında yapmıştır. Tüm analiz ve boyutlandırmalar sonlu elemanlar yöntemine dayalı yapı analizi yapan SAP 2000 programı ile gerçekleştirmiştir.

Dosay (2006), çalışmasında üç tip temel, iki tip dolgu ve üç farklı eğimin kombinasyonu olmak üzere onsekiz değişik geotekstil donatılı şev modelinin sonlu elemanlar programı PLAXIS ile analizini gerçekleştirmiştir. Dolgu malzemesi Hardening- Soil, temel malzemesi ise Mohr-Coulomb modeline göre dizayn etmiştir. Plaxis programında inşaat aşamasını daha iyi modellemek amacıyla geotekstillerin 50 cm. aralıklarla yerleştirildiği kademeli inşaat yöntemini kullanmıştır. Ayrıca güvenlik için Phi-c azaltma analizleri yapmıştır. Tüm bu değişik parametrelerin yapının davranışını nasıl etkilediklerini incelemiştir.

Şero (2006), çalışmasında prefabrike betonarme yapı elemanları ve bu elemanlardan oluşan taşıyıcı sistemlerin statik ve dinamik hesaplarında kullanılan yardımcı bir program geliştirmiştir. Bu amaçla SAP 2000 Versiyon 7.42'yi kullanmıştır. Çalışmasını yaparken hesap esasları TS 500, TS 498, TS 9967 ve afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmeliklerden yararlanmıştır ve Excel programında hesaplamaları yapmıştır. Bir örnek uygulama yapmış ve tasarımını yaparken seçtiği veriler ışığında prefabrike elemanların, gelen yükler altındaki davranışlarını, kesit kontrollerini ve gerekli donatı hesabını yapmıştır. Ayrıca sistemin hareketli, ölü ve deprem yükleri altındaki davranışlarını değerlendirerek temel boyutlarını belirlemiştir. Seçilen ön boyutlarını kontrol etmiştir. Araştırması sonunda; prefabrike betonarme yapının statik çözümüne yardımcı olacak bir Excel programı geliştirmiştir. Elde ettiği hesap tekniğini kullanılarak kısa zamanda prefabrike yapının statik hesaplarının yapılabileceğini göstermiştir.

Ayhün (2006), çalışmasında; sistemin genel tanıtımını, teknik özelliklerini anlatmış, tam çözümlü ve karşılaştırmalı bir projenin adım adım çözümünü FrameCAD programı ile yapmıştır. On farklı bölgede yapılan araştırmasında uzay kafes sistemlerin deprem ve kar yükleri etkisi altındaki davranışının incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesini, örneklerle uygulayarak çalışmasını tamamlamıştır.

Ertuğrul (2006), yer ivmesi özellikleri (en büyük ivme, frekans), zemin mukavemeti ve duvar rijitliğinin, ankastre istinat duvarlarının dinamik davranışları üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacıyla modelleme çalışmaları gerçekleştirmiştir. Sayısal analizlerde Plaxis sürüm 8.2 programını kullanılmıştır. Deneysel sonuçları ile sonlu eleman analiz sonuçları karşılaştırılması için, Çalışan (1999) ve Yunatçı (2003) tarafından gerçekleştirilen 1-g sarsma tablası testlerinin sonuçlarından faydalanılmıştır. Bu doğrulama çalışmaları ışığında, sekiz metre derinliğinde kuru kum dolguyu destekleyen aynı yükseklikte bir ankastre duvar modellenerek bir parametrik çalışma yapmıştır. Sonlu elemanlar metodu ile yapılan analiz sonuçlarına göre, maksimum toplam aktif kuvvet, duvar tabanından yaklaşık olarak $0.30H$ yüksekliğinde etki ettiğini bulmuş, artan duvar rijitliğinin, dinamik hareket esnasında duvar üzerine etkiyen kuvvetlerin artmasına sebep olduğunu gözlemlemiştir.

Yıldız ve Günay (2007), berkitmeli izotropik ince plakların sonlu elemanlar metodu ile stabilite analizi hakkında yaptığı bu çalışmada; St 37 çelik dikdörtgen plakların yine dikdörtgen kesitli takviye elemanları ile desteklenmiş hallerinin, burkulma analizi çözümlenmelerini yapmış, eksenel basınç yükü altındaki basit mesnetli plaklar dört değişik boyut için destekleyerek incelemiştir. Bu konuda yapılan son çalışmaları sayısal olarak yeniden modelleyerek, ince plakların geometrik olarak lineer olmayan burkulma analizleri ANSYS® sonlu elemanlar programına makro yazarak yapmıştır. Her bir plak geometrisi için kritik burkulma gerilmesi σ_{kr} ve daha sonra burkulma sonucu oluşan maksimum sehim δ_{max} değerlerini belirleyerek, plağın bölgesel ve genel burkulma davranışlarının oluşumunu detaylarıyla incelemiştir. Plakların burkulma anlarında bazen oluşmakta

olan ve kararlı bölgelerden kararsız bölgelere geçişleri de gösteren dallanma bölgelerini grafiklerle göstermiştir.

Tutum (2007), çalışmasında düzlemsel kafes sistemlerin belirli bir yükleme koşulu altında gerilme, yer değiştirme, burkulma ve doğal frekans kısıtlarına göre optimum tasarımını incelemiş, kafes sistemlerin statik ve dinamik davranışlarına ilişkin bilgiler MATLAB'ta yazılan sonlu elemanlar programını kullanarak elde etmiş, optimizasyon için ise MATLAB'daki doğrusal olmayan programlama algoritması olan SQP (Sequential Quadratic Programming) yöntemini kullanmıştır. Elde ettiği ilk sonuçları, belirli karşılaştırma problemleri ile kıyasladıktan sonra kafes sistemdeki eleman sayısını artırmaya çalışmıştır. Eleman sayısı arttıkça sürenin üstel olarak artmaya başlamış olduğunu gözlemlemiştir. Çözüm süresini kısaltmak için sonlu elemanlar yöntemi uygulanırken elde ettiği katılık ve kütle matrislerinin simetrik ve de bol sıfırlı yapısından yararlanarak LU (Lower Upper) ayrıklaştırma yöntemini kullanmış ve daha kısa sürede çözülmesini sağlamıştır.

Solmaz ve Turgut (2007), çalışmalarında bir düzlem taşıyıcı sistemin ANSYS paket programı kullanılarak yapısal dizayn optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Örnek uygulama olarak çalışmasında; 47 elemandan oluşan düzlem bir güç iletim kulesini göz önüne almıştır. Elastik davranış kabulünü yapmış ve yapının uygulanan yükleri emniyetli bir şekilde taşıyabilmesi için yapısal dizayn optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Son olarak taşıyıcı sistemin ve taşıyıcı sistemi oluşturan elemanların optimum geometrik boyutlarını belirlemiştir. Optimizasyon işlemi sonucunda düzlem taşıyıcı sistemin toplam ağırlığının %60 oranında azaldığını göstermiştir.

Erdemir (2007), deneysel ve analitik olarak yapılan çalışmasında, moment aktaran üç katlı çelik uzay çerçevenin elastik olmayan burulmalı davranışını incelemiştir. Öncelikle bilgisayar ortamında yapının nonlinear statik analizini (pushover) yapmış ve sistemin dayanacağı maksimum dayanma kuvvetini tespit etmiştir. Bu kuvveti, deneyde kullanacak maksimum piston dayanım kuvveti ile karşılaştırmış ve piston dayanımının sınır değerinden küçük olduğunu tespit etmiştir.

Deneysel çalışmasının çözümü için hem SAP 2000 hem de DRAIN-2D programını kullanmıştır. Çalışması ile hem çok katlı çelik yapıların bilgisayar ortamında modelleme tekniklerini irdelemiş, hem de burulma etkisinin yapının elastik olmayan davranışı üzerine etkisini incelemiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında uzay kafes sistemleri, kullanım alanları, avantajları, yapı elemanları, projelendirme aşamaları, hesap yöntemleri ve bilgisayar sonuçları ayrıntılı olarak incelenmiştir. Sonlu elemanlar yöntemi hakkında bilgi verilmiştir, sonlu elemanlar yöntemlerini kullanarak çözüm yapan SAP 2000 paket programı hakkında bilgi verilip, uygulamadaki örnek bu program ile çözülmüştür.

3.1 Materyal

3.1.1 Uzay kafes sistemler

3.1.1.1. Genel tanımı

Yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve endüstrileşmiş çözümler arayışı uzay kafes sistemlerin doğmasına sebep olmuştur. Bu sistemler yapılarda büyük açıklıkların kolonsuz ve hafif bir strüktür ile geçilmesini sağlayarak işlevsel olarak yapıların daha esnek ve kullanışlı olmasını sağlamıştır.

Uzay kafes sistemler, birbirlerine düğüm noktalarından bağlı, basit çekmeye yada basınca çalışan doğrusal çubuklar ağından kurulu düzenlerdir. Bu çubuklar düzeni, üzerine etkiyen dış yükleri iki doğrultuda mesnetlere ileten ve boşluğun organize edilmesi ilkesine göre üretilen çağdaş sistemlerdir. Uzay kafes strüktürlerle normal olarak statik, konstrüktif zorlamalara gidilmeksizin, yapısal oluşumunun verdiği olanaklarla, büyük açıklıklı yapıların örtülmeleri konusu çözümlenmektedir.

Statik yararları açısından, bu sistemler diğer bir çok taşıyıcı sistemlere oranla daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak maliyet önemli ölçüde azalmaktadır. Uzay kafes strüktürler, günümüzde Türkiye’de büyük açıklıklı sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu sistemlerle 150m’ye kadar olan açıklıklar geçilmektedir. Bu strüktür sistemleriyle kare, dikdörtgen, poligon ve daire şeklindeki mekanlara uygun örtü biçimleri oluşturularak mimari görünüm kazandırılmaktadır. En geniş kullanım alanları spor salonları, uçak hangarları ve endüstri yapılarıdır.

Uzay kafes strüktürler oldukça geniş biçimsel olanaklar da sağlanmaktadır. Düzlem yüzeyler ve bunun katları geliştirilebileceği gibi, ayrıca kubbe ve tonozsal biçimler ve bunların tekrarı şeklinde de kurulabilmektedir. Uzay kafes strüktürler donatı yerleşiminde de yararlılıklar sağlayabilmektedirler. Elektrik, sıhhi tesisat, havalandırma kanalları klima, iklimlendirme sistemleri gibi donatılar, bu sistemlerin oluşum ilkesinden doğan boşluklarda kendilerine kolaylıkla yerleşim alanı bulabilmektedir. Bu donatılar her doğrultuda yer alabilmektedirler. Elektrik bağlantıları çubukların içinden geçirilerek de yapılabilmektedirler. Gün ışığı sağlanması aynı boşluklarda pencere öğeleri oluşturmak suretiyle kolayca çözümlenebilmektedir.



Şekil 3.1. Uzay kafes sistem köprü örneği

Uzay kafes sistemleri gerekli tasarım ve mühendislik hesapları yapıldığında her yükü taşıyabilir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi sürekli ve hareketli yüklerin olduğu köprüde taşıyıcı sistem olarak uzay kafes seçilmiştir (Ayhün, 2006).



Yunus Göleti - Ankara



Samsun 19 Mayıs Stadyumu



Kumlucu Spor Salonu



Şekil 3.2. Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay örneklerinden bazıları (Ayhün, 2006)



Şekil 3.3. Ülkemizde gerçekleştirilen çelik uzay örneklerinden bazıları

3.1.1.2. Uzay kafes sistemlerin tarihçesi

Deniz kabuklularının sahip olduğu hayranlık verici şekil **Dr. Max Mengerlinghausen**'i yapı teknolojilerinde yepyeni bir sistemi keşfetmeye teşvik etmiş ve böylece uzay kafes sistemleri ortaya çıkmıştır. Çubuk ve düğümlerden tasarlanarak geliştirilen sistem; Dr. Max Mengerlinghausen'in deniz kabuklusunda hayran kaldığı logoritmik heliks büyümenin bir etkisi gibi yapılarda büyük açıklık geçebilen sistemler için devrimsel bir değişim ve hayranlık yaratmıştır.

Mengerlinghausen 1919 yılında Weimar'da kurulan "Bauhaus" ile yakın bir ilişki içindeydi. 1925 yılında Wassily Kandinsky, Lyonel Feininger, Paul Klee gibi

sanatçıların yaşadığı Dessau'ya yerleşti. I. Dünya Savaşından sonra Walter Gropius ve Mies Van Der Rohe tarafından yönetilen "Bauhaus" mimari ve ev dekorasyonu konusunda yeniden yapılanmanın öncüleri oldular (Sanayi Tesisler, 2007).

Bauhaus'un kurucusu olan Gropius, Mengerinhausen'i 1930 yılında "Siemensstadt Konut Alanı" projesinde ekip yöneticisi yapmış ve proje için şu ilkesini benimsetmiştir: "Bizim zamanımızın mimarisinde gerçekleşen büyük değişimleri gösterebilmek için yeni bir yol bulunmalıdır." Bauhaus'un ortaya koyduğu fikir berraklık, güzellik ve işlevselliğin birleşmesidir. Bu anlayış içinde bulunan ve çalışan Mengerinhausen daha sonraki yıllarda geliştirdiği çubuk - düğüm sistemler için Gropius'a minnet borçludur diyebiliriz (Sanayi Tesisleri, 2007).



Şekil 3.4. Dr. Max Mengerinhausen (1903-1988)

Dr. Max Mengerinhausen uzay kafes sistemleri geliştirmiş ve 1940'lı yıllarda yapılarda kullanmıştır. Mengerinhausen "Bauhaus" ekolü ile ortaya çıkan mimaride berraklık, güzellik ve işlevselliğin en güzel örneğini uzay kafes sistemlerini geliştirerek ortaya koymuştur.

Mengerinhausen'in geliştirdiği çubuk düğüm (uzay kafes) sistem ile ilk yapılar 1942 yılında yapılmıştır. Çubuk düğüm sistemler kısa zamanda büyük programlar içinde endüstriyel şekilde üretilen sistemler olmuşlardır.

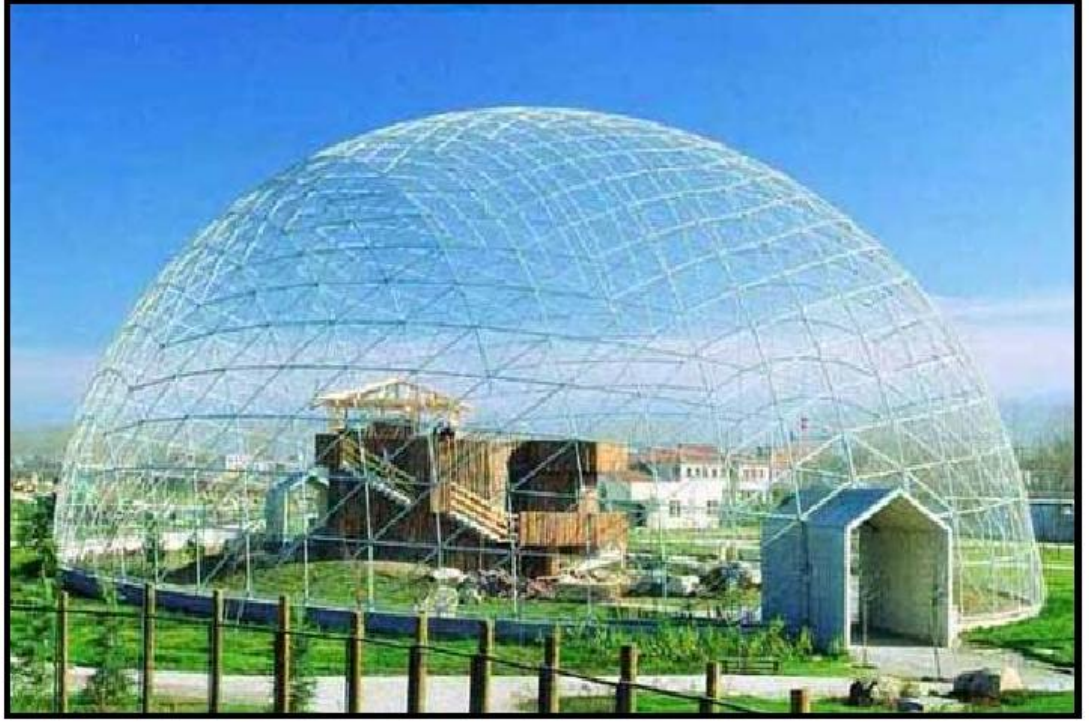
Uzay kafes taşıyıcı sistemlerin birim elemanı, altı çubuk ve dört düğüm noktasından oluşan bir dörtyüzlüdür. ‘Böyle bir dörtyüzlü her biri aynı düzlem içinde bulunmayan üç çubukla kolaylıkla büyütülebilmektedir. Çubuk birleşimleri, montajda çeşitli kolaylıklar sağlayan patentli düğüm noktası elemanları ile yapılmaktadırlar.

Çok yüzlü (polyheral) strüktürün üç yönlü versiyonunu planör uçakların kanatlarında giriş sistemi olarak 1907’de kullanan Alexander Graham Bell sistemin ortaya çıkmasında öncü olmuştur. 1940’lı yıllarda ise Dr. Max Mengerhausen bu sistemi geliştirerek uzay kafes sistemlerin yapılarda kullanımını başlatmıştır (Sanayi Tesisleri, 2007).

3.1.2. Uzay kafes sistemlerin mimari kullanım alanları

Uzay kafes sistem yapıları, mimarlık ve inşaat mühendisliğinin barışık olduğu sektörlerden biridir. Geometrisi tanımlanan hemen her form çözülebilir. Bu da mimarideki taleplere statik açıdan cevap verebileceği anlamına gelmektedir. İnsan ve makine işlevlerini dış etkenlerden koruyup barındıracak yapılar tasarlanırken işlevlerin yapı tarafından her hangi bir olumsuz etkiye maruz bırakılmaması istenir. Bu isteğin bir sonucu olarak büyük açıklı yapılara gerek duyulmaktadır. Büyük açıklı yapıların barındıracağı işlevler farklılık gösterse de açıklığın sağlanabilmesi için çözümler sınırlıdır. Uzay kafes sistemleri büyük açıklığın oluşturulmasında çok sık kullanılan yapı sistemidir (Uzkom, 2007).

Uzay kafes sistem çatı konstrüksiyonun kullanıldığı bazı yapı türleri aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 3.5. Uzay kafes sistem hayvanat bahçesi su kuşları kafesi (Ayhün, 2006)



Şekil 3.6. Uzay kafes sistem gölgelendirme çatısı

3.1.2.1. Sanayi yapıları

Sanayi yapıları, içinde üretimin gerçekleştiği ve üretim ile ilgili süreçlerin birbiri ile ilişkilendiği mekanlardır. Üretim aşamaları bazen aynı yapı içinde gerçekleşmek zorunda iken bazen de yan yana ayrı binalarda gerçekleşebilir. Önemli olan üretimin etkinliği ve bu etkinliği sağlayabilecek işlevsel yerleşimdir. İşte bu işlevsel yerleşim sırasında uzay kafes sistemlerinin büyük faydaları ortaya çıkmaktadır. Kolonsuz bir şekilde geniş bir alanı örtebilen bu sistemler üretim için sınırsız bir yerleşim (lay out) imkanını sunmaktadır. Tesislerin hammadde girişi ve ürün çıkışı için kullandıkları lojistik depolarda uzay kafes sisteminin kullanımı, taşımacılık ve depolama işlevinin en etkili ve verimli şekilde gerçekleşmesini sağlamaktadır.



Şekil 3. 7. Uzay kafes sistemlerde kullanılan yapı türleri



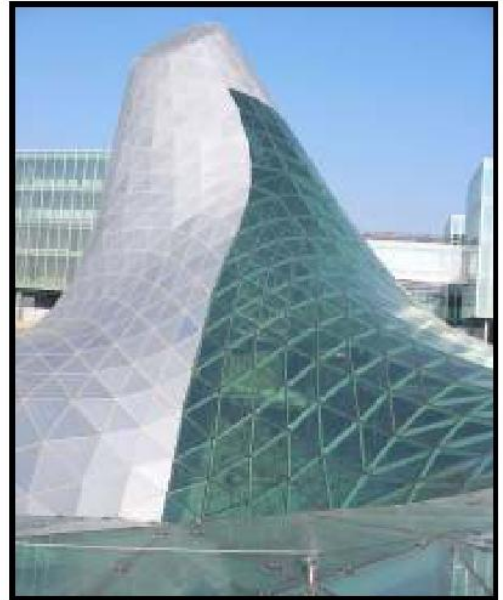
Şekil 3.8. Uzay kafes sistem uçak bakım iskelesi

3.1.2.2. Showroom yapıları

Mimari işlev olarak showroamlar ürün sergilemek için en ideal ortama sahip olmalıdırlar. Geniş bir mekan içinde tüm ürünlerin görülebilmesi ve mekanın etkili tasarımı müşteri için çekicilik oluşturmaktadır. Mekanın tasarımındaki etki firmanın imajında önemli bir etken oluşturmaktadır. Uzay kafes sistemlerin showroamlarda kullanımını mekan içinde sınırsız sergi alanı sağlarken sergi tasarımındaki etkinlik firma imajına katkı sağlamaktadır (Ayhün, 2006).



Şekil 3.9. Tek cidarlı konstrüksiyon görünüşü

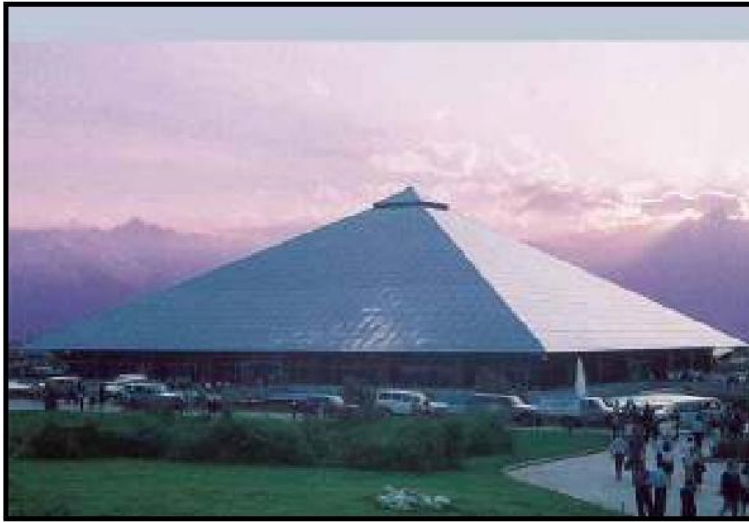


Şekil 3. 10. Tek cidarlı konstrüksiyon görünüşü (Ayhün, 2006)

3.1.2.3. Sergi ve fuar yapıları

Sergi ve fuar alanları da showroumlarda olduğu gibi eser ya da ürünün en etkileyici şekilde gösterimini gerektir. Bu mekanlarda uzay kafes sistemlerinin kullanımının en büyük faydası her sergi ve fuar için farklı yerleşim planlarına olanak tanımasıdır. Sergi ve fuarların süresi birkaç günle sınırlıdır. Yapı hacmi içinde bu işlevlerin etkinliği için mekanın kolonsuz olması büyük bir avantajdır.

Uzay kafes sistemler sökülüp başka bir alanda tekrar kullanılabilir. Yerleşim alanlarının cazibesini yitirmesi durumunda yapıyı başka bir alana taşıma imkanı uzay kafes sistemler ile mümkündür.



Şekil 3.11. Uzay kafes sistem fuar ve kongre merkezi (Ayhün, 2006)

3.1.2.4. Ulaşım yapıları

İşlevsel eylemlerin sık ve hareketli olduğu mekanlardır. Yolcuların ulaşım firmaları ve taşıma araçları ile buluştuğu bu mekanlarda görsel işaretler ve yönlendirmeler önem taşır. Mekanın bütünlüğü ve kolay algılanması önemlidir. Son zamanlarda büyük şehirlerde ve turizmin canlı olduğu şehirlerde belediyelerin bu tür kamusal yapıları prestij amaçlı işlevsel ve görsel etki yaratacak şekilde

yeniden düzenlediği gözlenmektedir. Uzay kafes sistemler ulaşım yapılarının sahip olması gereken bu özellikleri sağlamak için sıklıkla kullanılmaktadır.

3.1.2.5. Spor kompleksleri

Spor oyunlarının gerçekleştiği salonlar geniş açıklığın kaçınılmaz olduğu alanlardır. Mekanda seyirci ile spor alanı arasına görüntüyü engelleyecek taşıyıcı bir unsur konulamaz. Bu işlevsel özellik spor komplekslerinin büyük açıklıklı yapılar olmasını zorunlu hale getirirken uzay kafes sistemlerinin kullanımını da yaygınlaştırmaktadır.



Şekil 3.12. Uzay kafes sistem kapalı yüzme havuz çatısı



Şekil 3.13. Uzay kafes sistem tribün çatısı

3.1.2.6. Alışveriş merkezleri

Günümüzde eğlence ve alışverişin birlikte sunulduğu kapalı alışveriş merkezleri giderek yaygınlaşmaktadır. Bu mekanlarda; alışveriş, sinema, restoran gibi hizmetlerin birlikte sunulması mekanın toplayıcı niteliğini artırmaktadır. Alışveriş merkezleri bu toplayıcı niteliğini göstermek ve imajını güçlendirmek için büyük açıklıklı hollere sahip olması gerekir. Geniş açıklıklı bu mekanların belli bir çekiciliği vardır ve mağazalar için müşteri potansiyelini artırmaktadır.



Şekil 3.14. Uzay kafes sistem alış veriş merkezleri

3.1.3. Uzay kafes sistemlerin faydaları

3.1.3.1. Yapı sistemi olarak faydaları

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 edilmektedirler. Sistem prefabrik parçalardan oluştuğu için, istendiğinde sökülerek yeni bir kullanıma dönüştürülebilmektedir. Bu nedenle kalıp ve iskele masrafı ortadan kalkmakta, inşaatın süratle bitirilmesi de ekonomi sağlamaktadır.

Elektrik bağlantıları çubukların içinden geçirilerek de yapılabilirler. Gün ışığı sağlanması aynı boşluklarda pencere öğeleri oluşturmak suretiyle kolayca çözülebilmektedir.

Uzay kafes sistemlerin avantajlarını genel olarak maddelersek;

- Uzay kafes sistemler iki doğrultuda üç boyutlu olarak çalıştığından dolayı geniş açıklıklarda ekonomik çözümler sağlar.
- Uzay kafes sistem ile 150 m 'ye varan açıklıkları kolonsuz geçmek mümkün olabilmektedir.
- Uzay kafes sistemler mesnet yerlerinin seçiminde geniş bir esneklik sağlar, çeşitli geometrideki alan ve hacimlerin kapatılmasında uygun çözümlere imkan tanır.
- Prefabrike elemanlardan oluştuğu için imalat ve montaj süreleri kısadır. Yatırımcıya bir an önce faaliyete geçme imkanı sağlar.
- Yapılan imalat prefabrike elemanlardan oluştuğu için uzak mesafelere ulaşımı kolaylıkla sağlanabilmektedir.
- Beton prefabrik ve çelik konstrüksiyon yapılara göre daha hafiftir. Dolayısıyla temel ve kolon boyutlarında ekonomi sağlayacaktır.
- Diğer taşıyıcı sistemlere göre daha hafif olması, üzerine alacağı deprem yüklerinin az olması sebebi ile deprem bölgeleri için uzay kafes sistem çatı konstrüksiyonlarını vazgeçilmez kılmıştır.
- Dekoratif görüntüsünden dolayı asma tavan ile kapatılması gerekmez.
- Elektrik , ısıtma ve havalandırma sistemleri için ayrıca bir ilave taşıyıcı sistem gerektirmez.
- Dekoratif yapısından dolayı aydınlatma yapılarında kullanılmaya çok elverişlidir. Cam yada polikarbonat türü şeffaf kaplamalara taşıyıcılık yapar.
- Uzay kafes sistem mimari çözümleri çok farklı alternatifler sunmaktadır. Piramit, üçgen, tonoz, kabuk ve silindirik yapılar vb (Uzkom 2007).

3.1.3.2. Depreme karşı faydaları

ABYYHY'de (1998 Deprem Yönetmeliği) "Deprem Bölgeleri Haritası" incelendiğinde Türkiye'nin %90'ının deprem bölgesi, sanayinin yerleştiği batı ve körfez bölgesinin ise neredeyse %100'ünün de deprem bölgesi olduğu görülmektedir (ABYYHY, 1998). Yaşadığımız son depremler bizlere yapım teknolojileri ve sistemlerinde bilinçsiz seçimler yapıldığını göstermiştir. Deprem kuşağında bulunan tesisler için önerilecek en güvenli yapı sistemlerinden biri çeliktir. Çelikte de en hafif

ve hiperstatik çözümü olan uzay kafes sistemlerdir. Uzay kafes sistemler yüksek derecede hiperstatik sistemlerdir. Yükleri her iki doğrultuda aktararak çekme ve basınca çalışırlar. Uzay kafes sistemler diğer yapı sistemlerine oranla daha hafiftir. Deprem etkisi yapının ağırlığı ile doğrusal orantılı olarak arttığı için uzay kafes sistemleri depremden daha az etkilenir. Betonarme yapı sistemlerine göre daha elastik ve sünektir (Doğan, 2002).

3.1.3.3. Maliyet avantajları

Statik yararları açısından, bu sistemler diğer bir çok taşıyıcı sistemlere oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak maliyet önemli ölçüde azalmaktadır.

Uzay kafes sistemlerin ana unsurları çubuk ve düğümlerdir. Bunlar basınca ve çekmeye çalışan çelik malzemelerdir. Geleneksel yapı sistemlerine kıyasla uzay kafes sistemleri ile oluşturulan aynı miktardaki mekan hacminde kullanılan malzeme miktarı ve ağırlığı çok daha az ve hafiftir. Yapı sistemlerinden gelen sabit ve hareketli yüklerin zemine ileten temel sistemleri de yapının hafif olması sebebi ile daha az yük taşıyacak şekilde ebatları küçük olmaktadır. Bu nitelikler uzay kafes sistemler ile oluşan yapıların maliyetini ve yapım süresini azaltmaktadır.

Çelik yapı malzemeleri; üretimi, dağıtımını ve yapı sistemlerinde kullanımı yaygınlaştıkça ucuzlamış ve günümüzde diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomik olarak kullanılabilirdiği alanlar bulmuştur. Yapı için gerekli açıklığın büyüklüğü arttıkça çelik kullanmak daha ekonomik bir hale gelmektedir.

Uzay kafes sistemleri yapının olduğu yerde değil endüstriyel olarak projesine göre fabrikada üretilmektedir. Bu da yapı bileşenlerinin endüstrileşmiş bir seri üretim ile hızlı ve ekonomik olarak elde edilmesi demektir. Uzun süre şantiye kurma ve sabit giderlerin ortaya çıkmasını bu endüstrileşmiş yapım engellemektedir. Yapım yerinde sadece montaj yapılmaktadır. Hızlı yapılan montaj çok kısa sürer

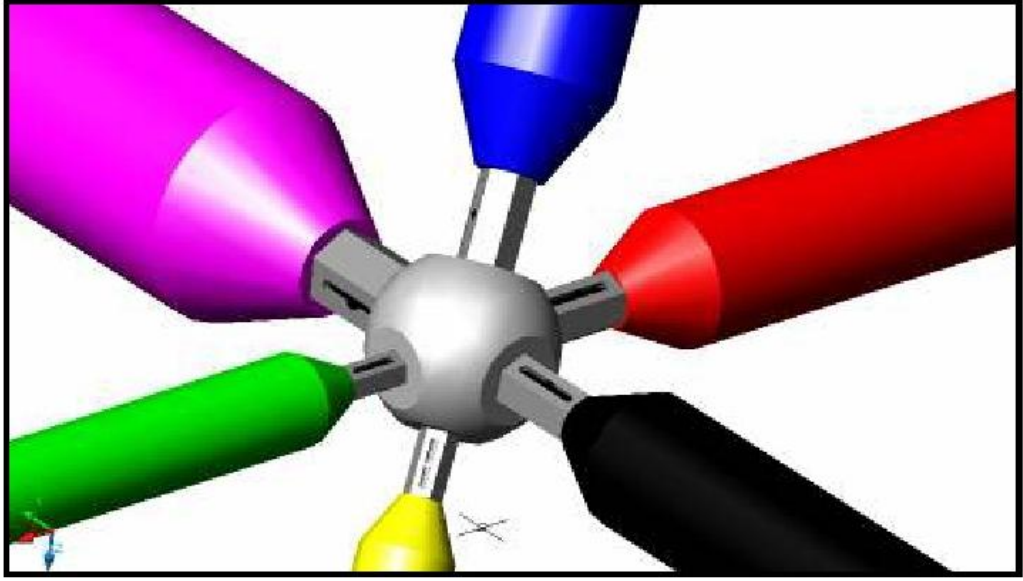
ve şantiye ve şantiyenin sabit giderleri gibi masrafları ortadan kaldırır. Kurulum parçaların birbirine bağlanması ve bir somun anahtarı ile sıkıştırılmasından ibarettir. Sanayi tesislerindeki üretimin sürekliliği ve sürdürülebilirliği önemlidir. Kısa sürede inşaatı bitirilebilen uzay kafes sistemler üretime uzun süre ara vermeden tesisini yenilemek zorunda olan işletmeler içinde hızlı bir inşaat yöntemi olarak seçilebilir.

Geleneksel yapım yöntemlerinde yapı malzemeleri, yapı bileşenlerini oluşturmak üzere şantiye tek tek tedarikçilerden alınarak getirilir ve şantiyede yapı elemanlarına dönüştürülür. Bu da nakliyelerin sık olması demektir. Uzay kafes sistemde yapı bileşenleri projesine göre fabrikada imal edildikten sonra yerinde hızla montaj edilmek üzere tek defada nakil edilebilir.

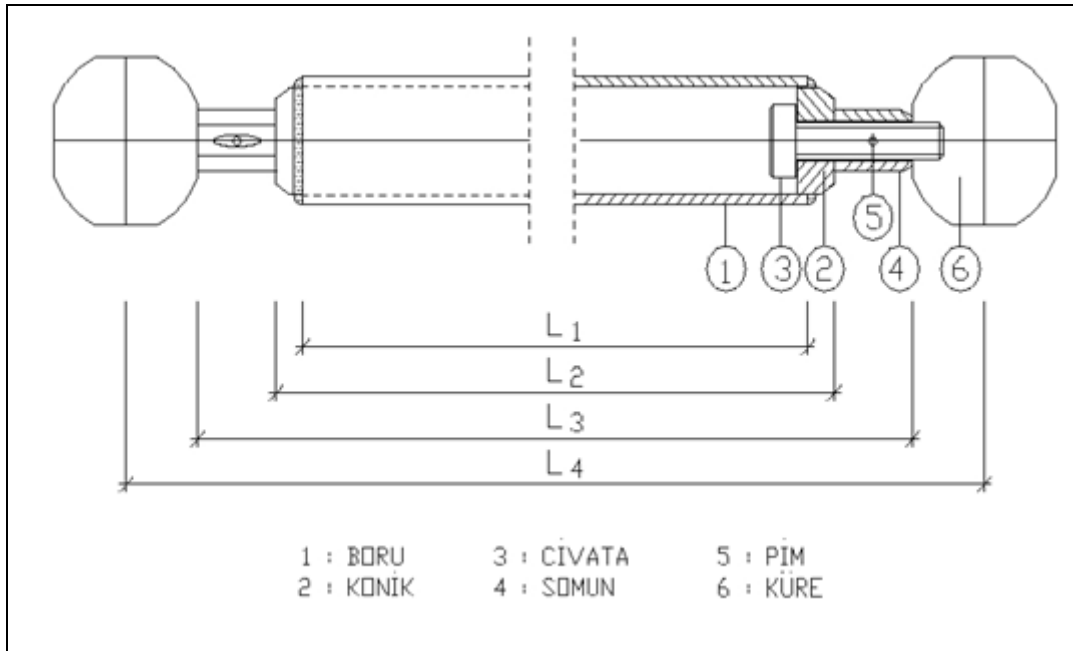
Uzay kafes sistemleri diğer yapı sistemlerinden ayıran en büyük özellik montaj edilen yapı bileşenlerinin sökülerek başka bir yerde tekrar uygulanmaya imkan vermesidir. Böyle bir şey betonarme için söz konusu olamazken çelik yapılar için maliyeti yüksektir. Uzay kafes sistemler ise modüler olan yapı bileşenleri ile rahatlıkla sökülüp taşınmakta ve başka bir yerde yeniden kurulabilmektedir.

3.1.4. Uzay kafes sistem elemanları

Uzay kafes sistemlerini oluşturan elemanlar; borular, konikler, pimler, küreler, somunlar, aşıklar, aşık dikmeleri ve civatalar olarak sıralanabilir.



Şekil 3.15. Uzay kafes sistem düğüm noktası 3D modeli (Ayhün, 2006)



Şekil 3. 16. Uzay kafes sistem birleşim elemanları (Ayhün, 2006)

3.1.4.1. Borular

Eksenel basınç veya çekme kuvvetine maruz, sistemin ana taşıyıcıları olan borular, düşük karbonlu ve kaynaklanabilme kabiliyeti yüksek olan St 37, St 42 veya St 52 kalitedeki dairesel kesitli çelik borular DIN 17100'e uygun olarak imal

edilirler. Boruların iki ucuna gazaltı kaynak metodu ile kaynatılan aparatların malzemesi de boru malzemesi ile aynı kalitededir.

Uzay kafes sistem boruları TS EN 10255'e uygun olarak imal edilen orta seri dikişli borulardan projesine göre aşağıda çapları ve et kalınlıkları belirtilen borulardan oluşabilir.



Şekil 3.17. İmal edilmiş borular

Çizelge 3.1. Boru kesitleri

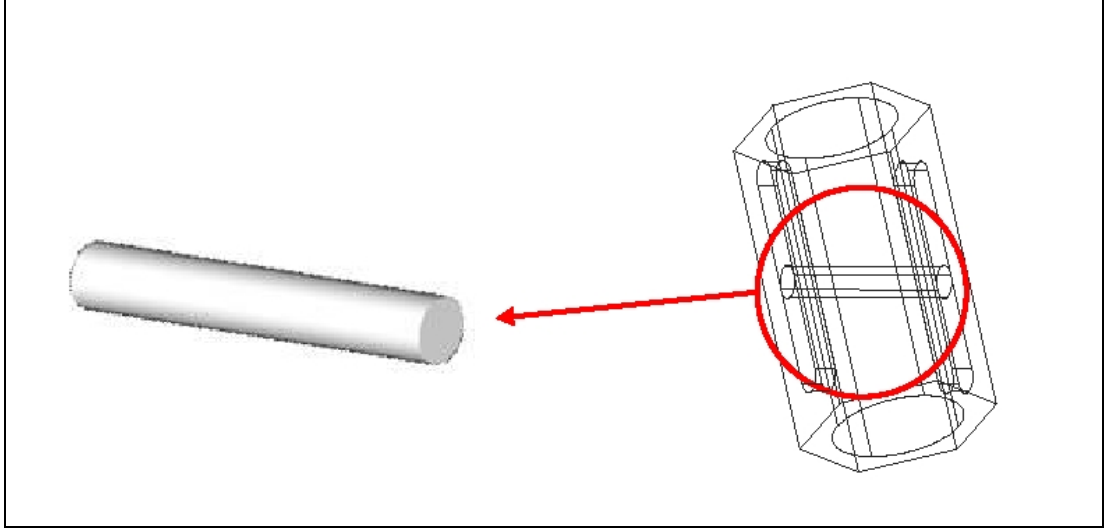
Anma Çapı	Dış Çap	Et Kalınlığı	Alan
$\frac{3}{4}$ "	26.9 mm	2.65 mm	2.02 cm ²
1"	33.7 mm	3.25 mm	3.11 cm ²
1 $\frac{1}{4}$ "	42.4 mm	3.25 mm	4.00 cm ²
1 $\frac{1}{2}$ "	48.3 mm	3.25 mm	4.60 cm ²
2 $\frac{1}{2}$ "	76.1 mm	3.65 mm	8.31 cm ²
3"	88.9 mm	4.05 mm	10.80 cm ²
4"	114.3 mm	5.40 mm	18.47 cm ²
5"	139.7 mm	4.85 mm	20.55 cm ²
6"	165.1 mm	5.40 mm	27.09 cm ²

Çizelge 3.2. Çelik emniyet gerilmesi

Kalite	Emniyet Gerilmesi (H)	Emniyet Gerilmesi (HZ)	Akma Sınırı
St 37.2	1.440 kg/cm ²	1.656 kg/cm ²	2.400 kg/cm ²
St 52.3	2.160 kg/cm ²	2.484 kg/cm ²	3.600 kg/cm ²

3.1.4.2. Pimler

Cıvataların ortasında geçerek montaj aşamasında somunun çevrilmesiyle cıvatanın küreye dönerek girmesini sağlayan sitemin yardımcı elemanıdır. Pimler ve aşık cıvataları TS 1715 (Metallerin korozyonla kaplanması standardı)'e göre uygun elektro galvaniz yöntemi ile çinko kaplanır (Ayhün, 2006).



Şekil 3.18. Pim 3D modeli



Şekil 3.19. Değişik ölçülerde küre örnekleri

3.1.4.3. Küreler

DIN 17200'e uygun olarak Asilçelik 1040 malzemeden üretilen küreler, proje tasarımına göre 50 mm veya 250 mm çapları arasında boyutlandırılırlar. Sıcak dövme tekniği ile şekillendirilip kumlanarak üzerindeki tufal tabakası alınır. İmalat projesinin gereksinimlerine göre delme, dış çekme, yüzey düzeltme işlemleri CNC tezgahlarda yapılır. Aksine bir talep yok ise 25 mikron kalınlığında elektro galvaniz ile kaplanır.

3.1.4.4. Somunlar

Somun tipleri hesaplanan basınç ve çekme kuvvetine göre belirlenir. Somunlar iki yüzeyine açılan yarıklardan ve cıvatalardan geçen pim ile monte edilirler. Çelik somunlar soğuk şekillendirilmiş hexagonal geometrilidir. TS 914 EN ISO 1461, TS 951 EN 1179 (Galvaniz kaplama standardı, anonim) standartlarına uygun sıcak galvaniz ile kaplanır.



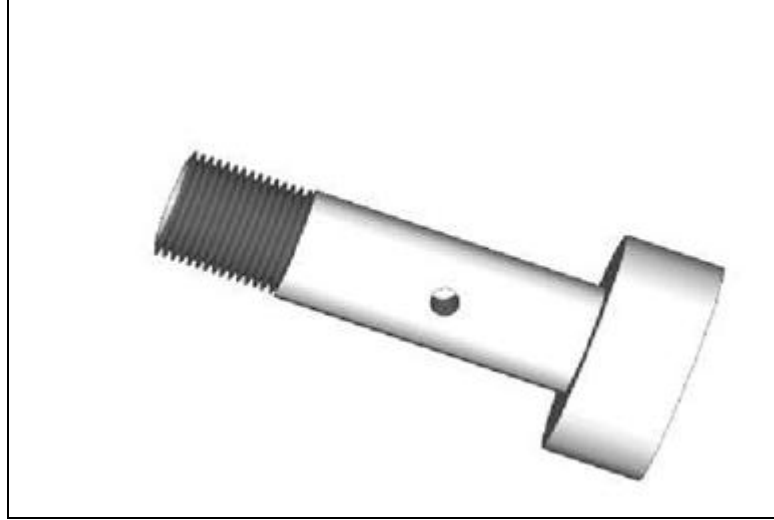
Şekil 3.20. Somun 3D modeli

3.1.4.5. Aşıklar ve Aşık Dikmeleri

İstenilen eğimi sağlamak amacıyla kullanılırlar. Çatı kaplaması ve cephe sistemlerinin montajının yapılabilmesini sağlayan ara elemanlardır. Genellikle dikdörtgen kesitli olan aşıklar St 34 veya St 37 kalitededirler. Aşıklar kullanılacak kaplama cinsine ve uzay kafes sisteminin durumuna göre fabrikada imal edilir. Aksine bir istek olmazsa malzeme temizliği yapıldıktan sonra bir kat antipas ve bir kat sonkat boya ile boyanır. Şantiyede cıvatalar ile monte edilir.

Aşık Dikmeleri küreler ile aşık bağlantılarını yapmakta kullanılır. Eğer sistemin kendisi çatı eğimini aynı zamanda oluşturumuyor ise, aşık dikme boyları ile bu eğim oluşturulur (Ayhün, 2006).

3.1.4.6. Cıvatalar



Şekil 3.21. Cıvata 3D modeli

Cıvatalar sistemi küreye bağlayarak çekmede rol oynarlar. Cıvatalar kullanıldığı borunun aktardığı yüke göre değişik çap ve kalitede olabilir. DIN 13'e uygun olarak üretilen ISO dişli cıvatalar 8.8 veya 10.9 kalitede ve titreşimlerden etkilenmemesi için sık dişli olarak üretilirler. Cıvatalar; titanyum bağlayıcı içinde depolanmış alüminyum ve çinko parçacıklardan oluşan ve yüksek korozyon direnci sağlayan ISO 10683 (Ts Iso 9227, anonim) standardına uygun kaplama ile kaplanır ve TS ISO 9227/DIN 50021 standardının (Ts En Iso 10683, anonim) gereklerini sağlar. Cıvatalar uygun bulon olup dişleri ovalama makinelerinde açılmaktadır.

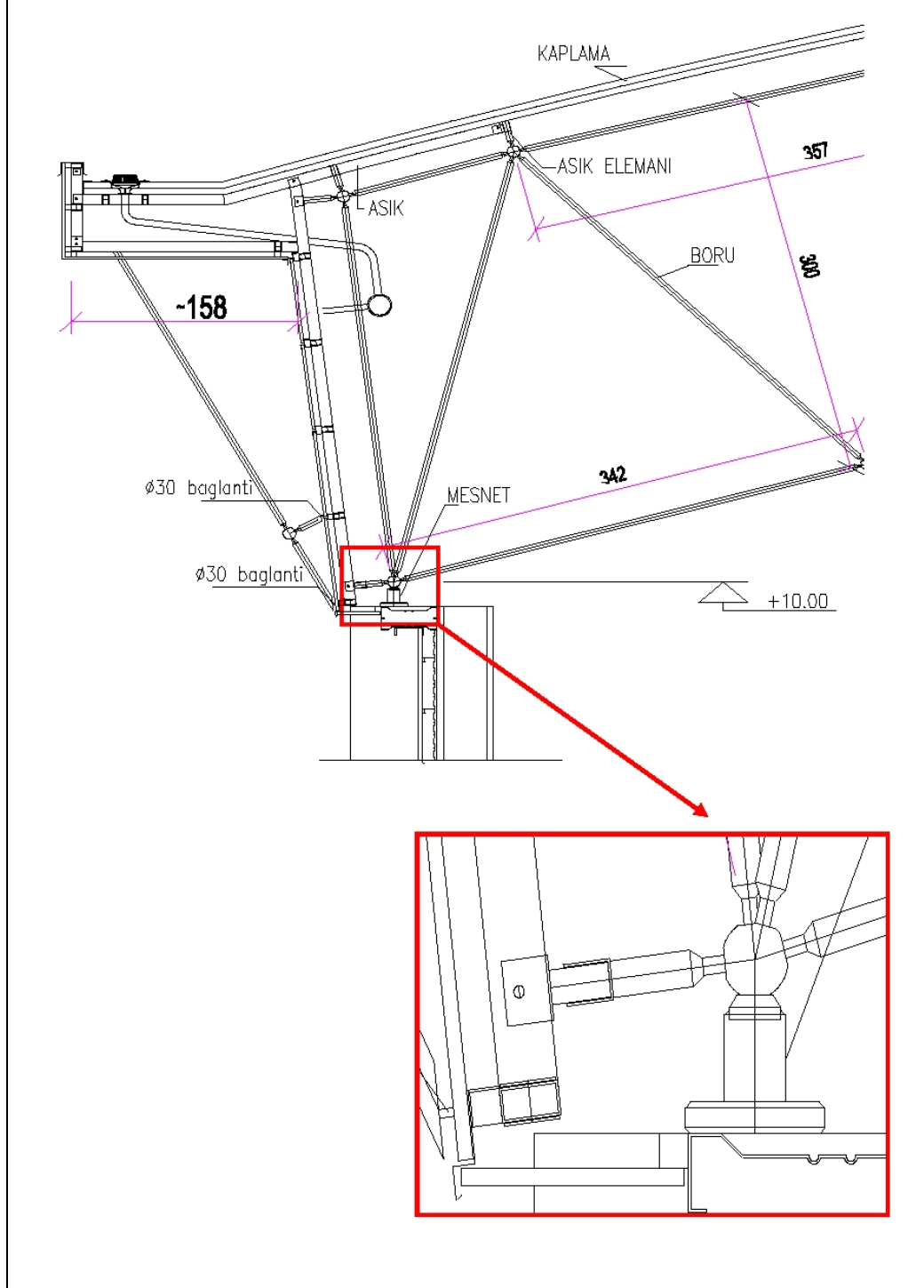
Çizelge 3.3. Cıvata emniyet gerilmeleri

Cıvata Kalitesi	8.8	10.9
Orantısız uzama gerilmesi (%0.2 kalıcı uzamaya tekabül eden akma gerilmesi)	64kg/mm ²	90kg/mm ²
Çekme Dayanımı	80kg/mm ²	104kg/mm ²

3.1.4.7. Konikler

Konik parçalar içi dolu silindirik malzemenin CNC tornalarda işlenmesi ile elde edilir. Boru ve küre bağlantısını sağlamak için kullanılacak cıvataya uygun şekilde konikler üzerine diş açılır (kılavuz çekilir). Konik parçaların malzemesi

kullanılacak boru malzemesi ile aynı kalitede olup açılan dış çapı ve boyu eleman kuvvetlerine göre tespit edilmektedir. Konik parçalar kaynak ağzı açılmış olan boruların iki ucuna gaz altı kaynak ile kaynatırlar (Ayhün, 2006).



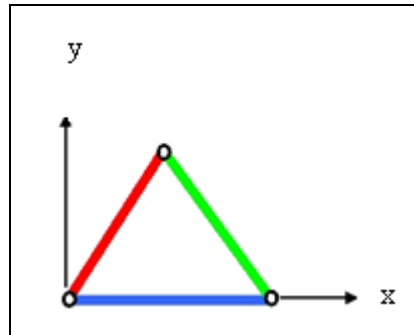
Şekil 3. 22. Uzay kafes sistem birleşim detayı (Ayhün, 2006)

3.1.5. Uzak kafes sistemin statik açılarından incelenmesi

Uzak kafes sistem yapılar yüksek derecede hiperstatik olması nedeni ile hiçbir basitleştirici kabul yapılmadan bilgisayar yardımı ile çözülür. Uzak kafes sistemlerin statik çözümü için deplasman (stiffness matris) yöntemi ile analiz yapan bilgisayar programını kullanmaktadır. Sisteme etkiyen tüm dış yükler düğüm noktalarındaki kürelere etkimektedir. Dış yükler, uzak çatının her düğüm noktasında kürelere vasıtası ile borulara aksel kuvvet olarak aktarılıp sistematik olarak mesnetlere kadar iletilir. Aksi belirtilmedikçe uzak sistem borularına elemanlarda moment doğuracak şekilde (boru akseline dik yönde) yükleme yapılmaz. Uzak kafes sistemi oluşturan elemanlar statik analizden çıkan kuvvetler altında elastik teori kullanılarak dizayn edilir (Bedford ve Fowler 1995).

Temel olarak mühendislik literatüründe kafes sistemler; en az üç elemandan (çubuktan) oluşur, ikişer ikişer eleman ilave etmek suretiyle düzlem kafes büyütülmüş olunur, uzak kafeste ise mevcut sisteme z-akseni doğrultusunda üç eleman daha ilave edilerek en az altı eleman kullanılır, doğrusal akselidirler, basınç ve çekme olmak üzere aksel kuvvetlere maruz kalırlar, aldıkları kuvvetleri akselleri doğrultusunda düğüm noktalarına aktarırlar, moment taşımadıkları kabulü yapılır, düğüm noktaları mafsallı birleşimlere sahiptir.

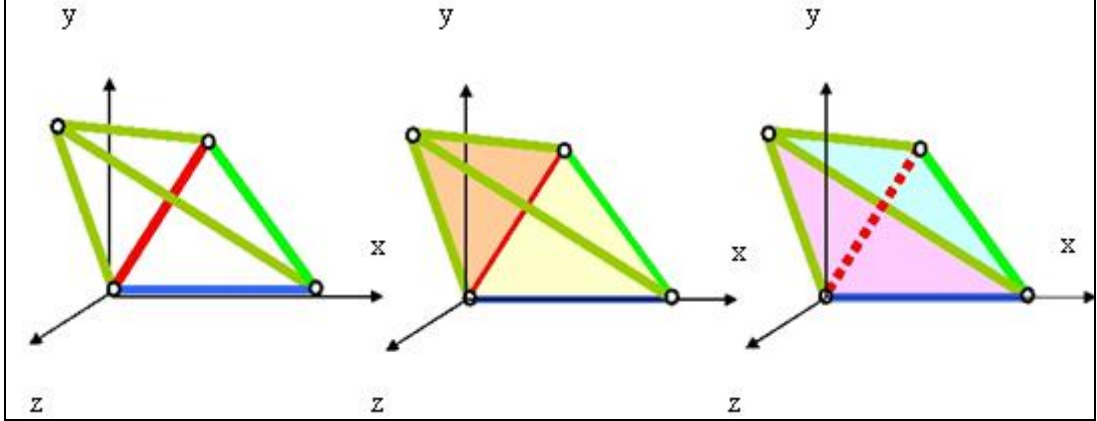
İki boyutlu kafes en az üç elemanlı ve üç düğüm noktalı olmak üzere elde edilmiştir,



Şekil 3.23. İki boyutlu kafes modeli

Bu üç elemanlılarda ise,

- Yeni üç eleman ekleyerek
- Dört düğüm noktası [üç düğüm ile aynı düzlemde olmayan ilave bir düğüm noktası yani üç boyutlu olacak şekilde]
- Dört yüzlü bir sistem

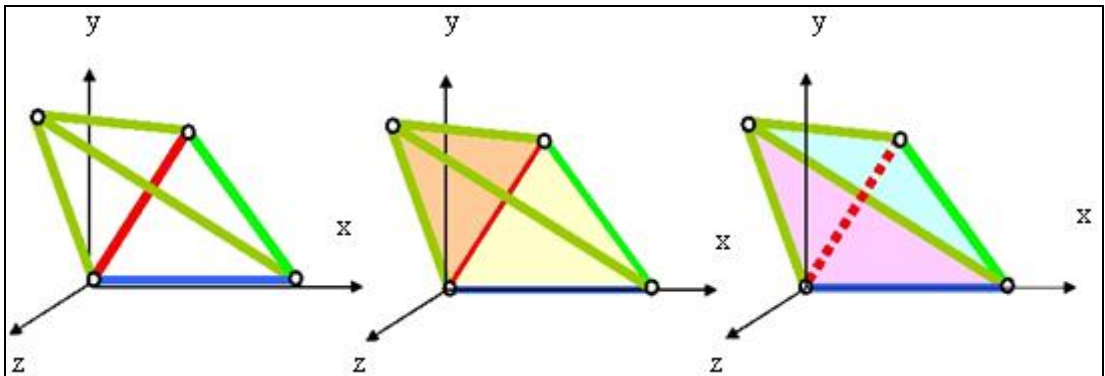


Şekil 3.24. Düzgün dört yüzlü modeli

- Altı bilinmeyenli olacak şekilde sabit ve kayıcı mesnet düzenlenmesiyle [daha fazla olması durumunda sistem hiperstatik olacağı için çözümü bu aşamada olmaz.

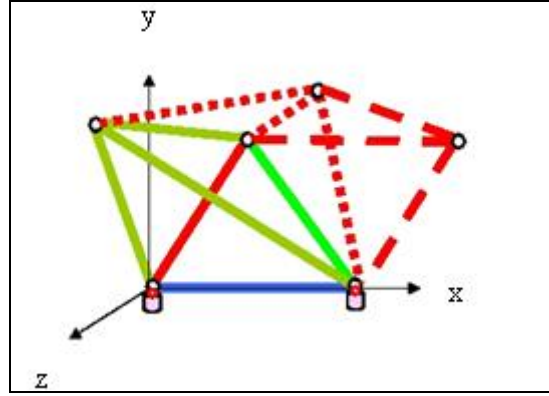
$$\Sigma F_x=0 \Sigma F_y=0 \Sigma F_z=0 \quad (3.1)$$

$$\Sigma M_x=0 \Sigma M_y=0 \Sigma M_z=0 \quad (3.2)$$



Şekil 3.25. Düzgün 4 yüzlü mesnetleme

- Büyütmek için ilave bir düğüm teşkil edecek şekilde üç eleman ekleyerek yapılan;



Şekil 3.26. Uzay kafes sistem elde edilmesi

Düğüm noktaları moment taşımayan yani mafsallı taşıyıcı sistemlere UZAY KAFES sistem denir. Bu kafes sistemde,

m: çubuk sayısı

n: düğüm sayısı

r: mesnet tepki sayısı (6)

olmak üzere,

$m+6=3n$ ise sistem izostatik

$m+6>3n$ ise sistem hiperstatik

$m+6<3n$ ise sistem labil

olur.

- Uzay kafes sistemlerin çözümünde, düzlem kafes sistemlerin düğüm noktalarında yazılan,

$$F_x=0 \quad F_y=0 \quad F_z=0 \quad M_x=0 \quad M_y=0 \quad M_z=0 \quad (3.3)$$

denge denklemleri yazılır. Ayrıca kesim metodu uzay kafes sistemlerin çözümünde de uygulanabilir. Kesim metodunun uygulandığında kesim ile en fazla 6 çubuk kesilebilir (Genç Araştırmacılar Kongresi, 2005).

3.1.6. Uzak kafes sistemlerinin projelendirme aşamaları

Uzak kafes sistemlerinin projelendirme aşamalarını aşağıdaki başlıklar altında açıklayabiliriz. Bunlar;

3.1.6.1. Mimari tasarım

Mimari projeye uygun olarak tasarlanan uzak sistemi çelik çatılar, estetik, kullanım amacı ve ekonomik parametreler göz önüne alınarak dizayn edilir. Ayrıca diğer çatı sistemlerine göre hafif ve prefabrik olması, çok büyük açıklıkları geçebilme imkanı vermesi ve istenilen renklerde toz fırın boya ile boyanması dolayısı ile mimaride aranan bir sistem olmaktadır. Uzak sistem yapısı itibarı ile yatay yüklere karşı oldukça mukavemetli olduğu için ülkemiz gibi deprem kuşağında bulunan ülkelerde özellikle tercih edilmektedir.

3.1.6.2. Statik hesap yönetimi

Yüksek dereceden hiperstatik olan uzak kafes sisteminin statik hesapları tümüyle bilgisayar destekli yapılır. Kullanılan hesap programları matris-deplasman yöntemine dayanır. Hesap çıkışlarında, düğüm noktası deplasmanları, çubuk kuvvetleri, mesnet reaksiyonları ve bütün eleman kesitleri mevcuttur. Tüm yükler düğüm noktalarına etki ettirilir ve küreler yardımı ile çubuklara aktarılır. Böylece borular sadece eksenel çekme basınç yüklerine maruz bırakılır. Yüklemeler TS 498'e (TS 498, 1987) uygun olarak yapılmaktadır.

3.1.6.3. Montaj

Montaja başlamadan önce montaj şefi uzak sisteminin kurulacağı yeri, kolon akslarını, ankraj plakalarını mevcut şantiye şartlarını kontrol eder ve şantiye sorumlusundan teslim alır. Varsa montaja engel durumları bir rapor halinde şantiye sorumlusuna sunar ve düzeltilmesini ister. Uygun koşullar sağlandıktan sonra

projesine uygun olarak montaja başlanır. Bütün uzay kafes sistem elemanları zorlanmadan ve serbest eksenel durumda cıvataları sonuna kadar sıkılarak yerine takılır. Montaj sırasında şantiye şefinin talimatlarına uygun olarak sistemin geçici mesnetlenmesi, sisteme gerekli ters sehimin verilmesi ve yapının genel güvenliği sağlanarak, hiçbir cıvata gevşek olmayacak ve bütün elemanlar tam aksında olacak şekilde montaj tamamlanır. Varsa cıvata takma ve galvanizleme delikleri yağmur almayacak durumda bırakılır. Yapıda mümkün olduğu kadar kaynaklı işlemlerden kaçınılır. Buna rağmen yapılması gereken kaynaklar korozyona karşı koruması yapılarak teslim edilir. En çok kullanılan montaj yöntemleri;

1. Sistemin yerde kurularak düşey taşıyıcılar yardımı ile kaldırılması.
2. Sistemin olduğu yerde tekli veya üçlü sistemler halinde kurulması
3. İlk iki yöntemin birlikte kullanılması
4. Sistemi montaj seviyesinde kurup raylar üzerinde kaydırarak nihai pozisyonda sabitlenmesi

3.1.6.4. Nakliye

Uzay sistem elemanları taşıma esnasında dağılmayacak, çizilmeyecek ve zedelenmeyecek şekilde özel ambalajlarda montaj sahasına nakledilirler. Bu şekilde montaj sırasında geniş stok alanı gerektirmeyen, yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlayan ve hava şartlarından etkilenmeyen güvenli bir taşıma sağlanır.

3.1.7. Uzay kafes sistemlerinin statik hesap kriterleri

Sistemin tasarımı ve analizi yapılırken hesaplama kriterleri ve yükleme kombinasyonları aşağıdaki gibi yapılır.

3.1.7.1. Yükleme türleri:

Çizelge 3.4. Yükleme türleri

Yükleme Numarası	Yükleme Tipi	Yükleme yönü
1	Uzay kafes ağırlığı (Ölü Yük)+ Kaplama ağırlığı	
2	Kar yükü (TS 498)	
3	Rüzgar yükü	Basınç
4	Rüzgar yükü	-Emme
5	Deprem yükü	

3.1.7.2. Yük kombinasyonlar

Uzay kafes yapılarının türüne ve yapım şartlarına bağlı olarak uygulanan kombinasyonlar değişebilmektedir.

Bu tezde uygulanan örnekte uygulanan kombinasyonlar ;

$H = \text{ölü yük (uzay+kaplama+aşık+tesisat)+kar}$

$HZ1 = \text{ölü yük (uzay+kaplama+aşık+tesisat)+kar+rüzgarın basınç etkisi}$

$HZ2 = \text{ölü yük (uzay+kaplama+aşık+tesisat)+ rüzgarın emme etkisi}$

$HZ3 = \text{ölü yük (uzay+kaplama+aşık+tesisat) + deprem yükü}$

$MAX = (H+HZ1+HZ2)$ üç kombinasyonun en elverişsiz durumu

dur.

3.1.7.3. Bilgisayar hesapları ve neticeleri:

Bilgisayar ile sistemin analizinden elde edilen sonuçlar istenilen düzende oluşturulabilmektedir. Bunlar projede istenilen düzende sunulmaktadır.

- * Düğüm noktaları ve çubuk elemanları numaraları
- * Düğüm noktaları koordinatları
- * Mesnet şartları
- * Çubuk eleman bilgileri
- * Yükler
- *Kombinasyonlar

- *Statik yükleme durumları
- * Deplasmanlar
- * Mesnet reaksiyonları
- * Eleman kuvvetleri
- * Max reaksiyon ve deplasmanlar Őeması
- * Dizayn tablosu
- * Mesnet Hesapları (Uzkom, 2007)

3.1.8. Uzay kafes sistemlerinde ülkemizde kullanılan dizayn, malzeme ve üretim standartları

- TS 498 (DIN 1055) - Yük analizi Türk Standart
- DIN 4114 - Çelik dizaynı Alman Standardı
- TS 648 (DIN 1050) - Çelik binaların dizayn Türk Standardı
- DIN 17100 - Malzeme Standardı
- DIN 13 - Cıvata Standardı
- DIN 267 - Cıvata Standardı
- DIN 4100 - Kaynaklı yapılar Standardı
- DIN 4115 - Bükme Çelik elemanlar Standardı
- DIN 2444 - Galvanizleme Standardı
- DIN 18800 - Çelik yapılar dizayn Standardı
- DIN 55928 - Boya Standardı

3.1.9. Uzay Kafes Sistemlerinin projelendirme esasları ve teknik Şartnamesi

3.1.9.1. Projelendirme esasları

- Uzay kafes Çatıların hesaplarında yükler düğüm noktalarından aktarılır. Sadece eksenel yük alacak Şekilde kesitler boyutlandırılır. Bu yüzden imalat ve montaj sonrası da bu koŐul sağlanmalı, gerek kaplama detayları gerekse aksesuar bağlantıları elemanlara doğrudan veya kelepŐeler ile bağlanmalı, tüm bu yükler küre elemanlar üzerinde bırakılmıŐ ve diş ŐekilmiŐ delikler yardımı ile sisteme aktarılmalıdır.
- Statik hesaplar yapılırken, projenin yapıldığı ülkenin standartları esas alınmalıdır. Yürürlükteki lke standartlarının kapsamadığı özel konularda ilgili farklı bir

standarda başvurulması zorunlu hallerde, seçilecek standart, yöntem bakımından diğer hesaplar ile uyumlu olmalıdır. Seçilecek standart, uluslar arası alanda kabul gören ve yaygın olarak kullanılan bir standart olmalıdır. Bu durumda hesaplarda bir standart bütünlüğü olmalı, bir kaç ülke normu bir arada kullanılmamalıdır.

- Uzak kafes sistem elemanları üzerlerine gelecek kuvvetleri taşıyabilecek nitelikte seçilmelidir. Her elemana gelen çekme ve basınç yüklerinin mutlak değerce en büyük olanı boyutlamada esas alınmalıdır. Bir elemanın çekme taşıma kapasitesi, boru galvaniz deliği en kesiti, kaynak, konik ve cıvata çekme kapasitesinin en küçüğü olarak seçilmelidir. Benzer şekilde bir borunun basınç taşıma kapasitesi, boru ortasında burulmalı basınç, galvaniz deliği en kesitine basınç, kaynak, konik ve somun basınç kapasitesinin en küçüğü olarak seçilmelidir.
- Aşıklar kaplama, kar, rüzgar vs gibi dış yükleri düğüm noktalarına aktarmak amacıyla teşkil edilen, eğilme momenti de taşıyabilecek elemanlardır. Tek, çift veya çok açıklık geçilecek şekilde yapılabilirler. Eğik duran aşıkların iki eksenli eğilmeleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır ve gerekli stabilite önlemleri alınmalıdır.
- Eğim dikmeleri ile yükseltilmiş aşıkların yatay yöndeki stabiliteleri mutlaka sağlanmalıdır.

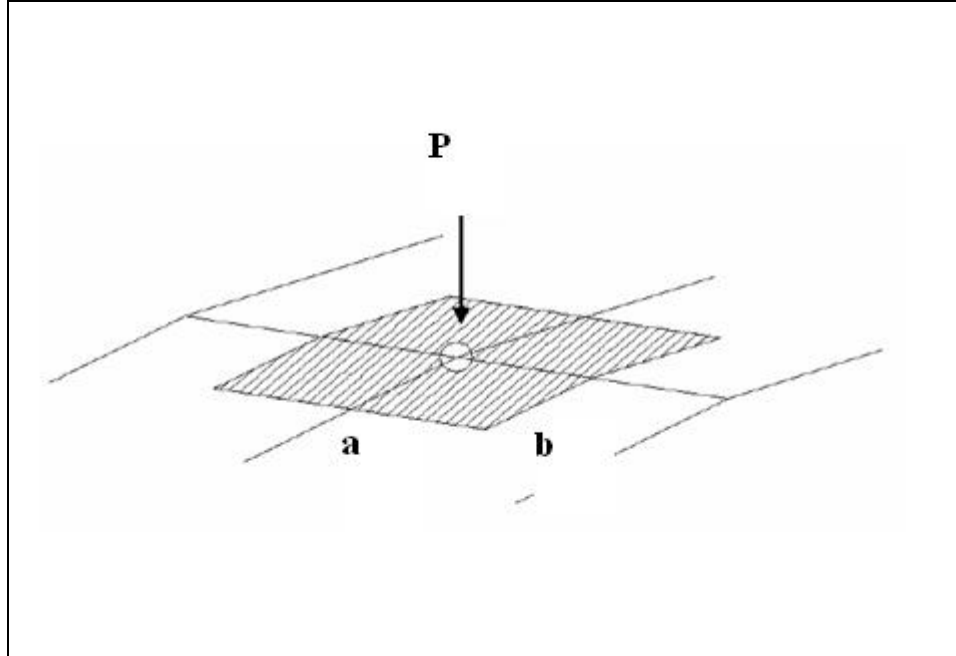
Statik hesaplarda, proje ve sözleşme şartlarına bağlı olarak göz önüne alınabilecek başlıca yük kriterleri şunlardır:

- i. Zati ağırlıklar
- ii. Servis yükleri (aydınlatma, havalandırma, temizlik teçhizatı...)
- iii. Deprem yükleri
- iv. Hareketli yükler
- v. Rüzgar yükleri
- vi. Sıcaklık tesirleri

- Statik hesaplarda dikkate alınan yükler, standartlarda öngörülen minimum tasarım yüklerinden az olamaz.
- Uygulamada kullanılacak kaplama özellikleri, statik hesaplarda dikkate alınan dış yükleri, projede belirtilen aşık aralığında mukavemet ve sehim bakımından taşıyabilir nitelikte olmalıdır.
- Uzak çatıya komşu olan daha yüksek binaların bulunması veya uzak çatıda kot farklılığı oluşturan kademeler bulunması halinde, bu kısımlarda oluşabilecek ilave kar yığılması, hem uzak sistem analizlerinde, hem aşık kesit hesaplarında hem de kaplama seçiminde göz önüne alınmalıdır. Kar yığılmaları ve rüzgar yükleri için TS498/Kasım1997 tarif koşulları bulunmaktadır. Deprem kuvveti ABYYHY' de belirtilen koşullarda olmalıdır. Projenin başka bir ülkede olması halinde, bu kurallar o ülke normlarına göre dikkate alınmalıdır.
- Statik hesaplarda seçilen mesnet koşulları, alt yapının yatay ve düşey yük taşıyabilme koşullarına bağlı olarak tayin edilmelidir. Statik hesaplar sonucu bulunan yatay ve düşey reaksiyonlar, proje alt yapı mükellefine mutlaka sunulmalı ve taşıyabilir teyidi alınmalıdır.
- Mesnet olarak seçilmiş noktaların yatay veya düşey kabiliyetleri, statik hesaplarda seçilen deplasman özellikleri ile uyumlu olmalıdır. Örneğin, tabandan ankastre bir kolonun boştaki üst kısımda uzaya bağlanan noktası sabit bir mesnet olarak düşünülemez. Ayrıca, çerçeve üzerindeki yatay yönde tutulmuş bir nokta, sistemde perde yoksa, yatay yönde tutulu kabul edilemez. Bunun gibi, belirli bir açıklık geçen kiriş ortalarına yapılan mesnetlerde kirisin düşey reaksiyon altında düşey yöndeki ötelenmesi, o noktanın tutulu mesnet olma koşulunu ortadan kaldıracaktır. Bu tür durumlarda, yapı elemanının yapacağı yer değiştirme statik hesapların içine katılmalı, uzak çatı ve alt yapı bir bütün olarak çözülmelidir.
- Mesnetlerin yatay hareket özellikleri varsa, bu özelliklerinin imalat detayları ile sağlanması zorunludur. Reaksiyon kuvvetleri altında flanşların, gövdenin,

kaynakların varsa bulonların taşıma kapasitelerinin yeterliliği hesapla gösterilmelidir.

- Mesnetlerin alt yapıya eksantrik yük aktarmasına izin verilmemelidir. Bu tür durum varsa hesaba katılmalı ve altyapı proje müellifinin onayı alınmalıdır.
- Statik hesaplarda kabul edilen mesnet hareket kabiliyetleri ve sınırlandırılmalar, uygulamada da aynen gerçekleştirilmelidir.
- Uzay çatı hesaplarında düğümlere gelen yükler doğru ve tam şekilde hesaplanmalıdır. Yük alanı olarak yükleme almayacak bölgeler hesaplarda açıkça belirtilmelidir. Burada: P =düğüm noktasındaki tekil yük , q =kg/m² cinsinden birim alana gelecek yayılı yük ve a,b x-y yönündeki modül boyutları olmak üzere;



Şekil 3.27. Nokta yük alanı

$$\text{Yük alanı} = a.b \quad (3.4)$$

$$P = q (a.b) \quad (3.5)$$

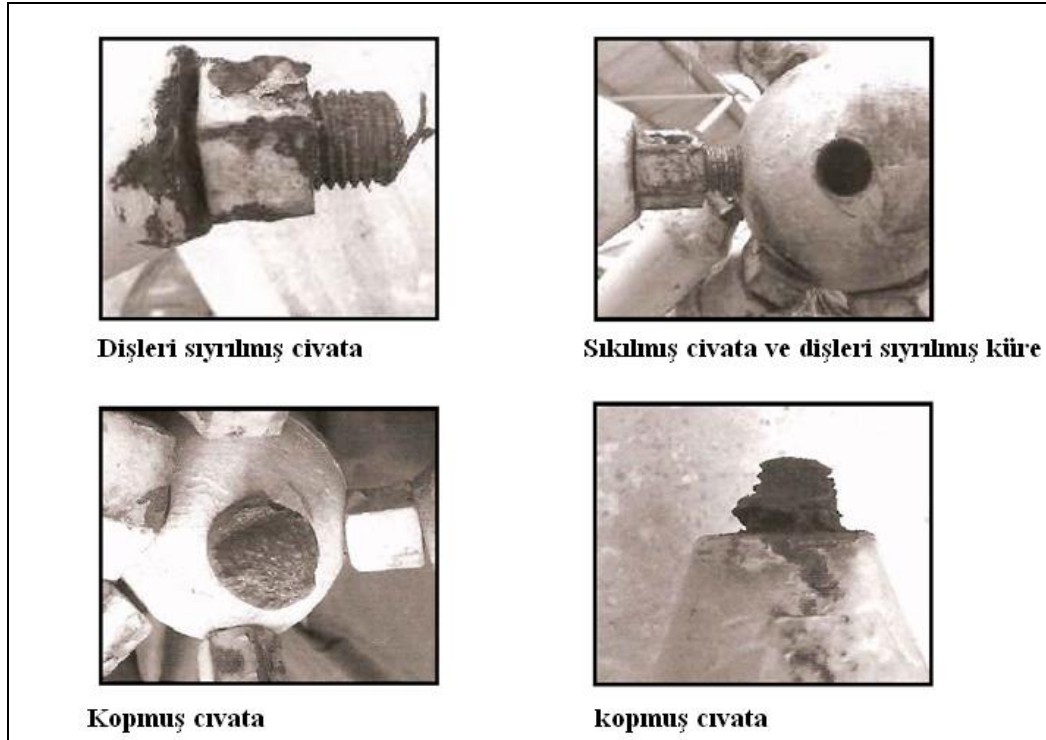
- Kaynakların emniyet gerilmeleri şartnamelerde verilen limitlere uygun seçilmelidir. Kaynak kalınlığı boru kalınlığından fazla olamaz. Kaynak kalınlığının üst sınırı boru et kalınlığını geçmeyecek şekilde standartlarda yer alan koşullar ile sınırlı tutulmalıdır. (Örneğin max. $a \leq 0,7t$ min.)
- Farklı malzeme kalitesinde olan çelik elemanların kaynaklanması halinde kaynak emniyet gerilmesi, düşük kalitedeki malzeme esas alınarak hesaplanmalıdır. Örneğin St52 boru kullanılarak yapılmış uzay çatılarda koniklerin St37 imalatı dahilinde, kaynak emniyet gerilmesi St37 için verilen değere göre seçilmelidir.
- Etrafı açık yapılarda rüzgar basınç faktörleri, kapalı alanlara göre 3 kat daha fazla olmaktadır. Örneğin açık bir uzay sisteme etkileyen rüzgar yükü emme katsayısı $C=1.2$ kapalı bir uzay sisteme etkileyen rüzgar yükü emme katsayısı $C=0.4$ olmaktadır, (TS498, 1987). Bu durum hesaplarda ve imalatta mutlaka göz önüne alınmış olmalıdır.
- Uzay çatı boru elemanlarının narinlik hesabında burkulma boyu hesaplanırken, küre aksından küre aksına olan boy esas alınmalıdır. Ayrıca çubukların maksimum olarak seçilen narinlik oranı standartlarda belirtilen orandan fazla olmamalıdır.
- Çubuklara gelen maksimum çekme ve basınç kuvvetlerine göre, eleman üzerinde teşkil edilen boru, cıvata, konik ve küre çapları uyumlu olmalıdır. Bu homojenliğin sistemin tamamında sağlanmış olmasına dikkat edilmelidir.
- Standartlar gün geçtikçe daha bilimsel yöntemlere dayanan ve deneysel tecrübe ile bulunmuş sonuçlara göre revize edilir. Statik hesaplarda ve imalatta standartların geçerli olan son versiyonları dikkate alınmış olmalıdır. Eskiye ve yürürlükte olmayan standartların kullanılmış olması, art niyetli ve düşük maliyetli çözümler bulmak amacıyla yapılmış uygulamalar olabilir.
- Uzay model geometrisi tasarlanırken modül genişliğinin yüksekliğe oranı 0,8

sabitiyle pratik olarak hesaplanabilir, TS498. Bu şekilde düğüm detaylarında min. ölçülerle geçilmiş olunur. Bunun dışında boru akslarında dar açılar bırakmaktan kaçınılmalıdır. Aksi durumda somun yada cıvata çakışması sebebiyle büyük çapta küreler sistemde belirir

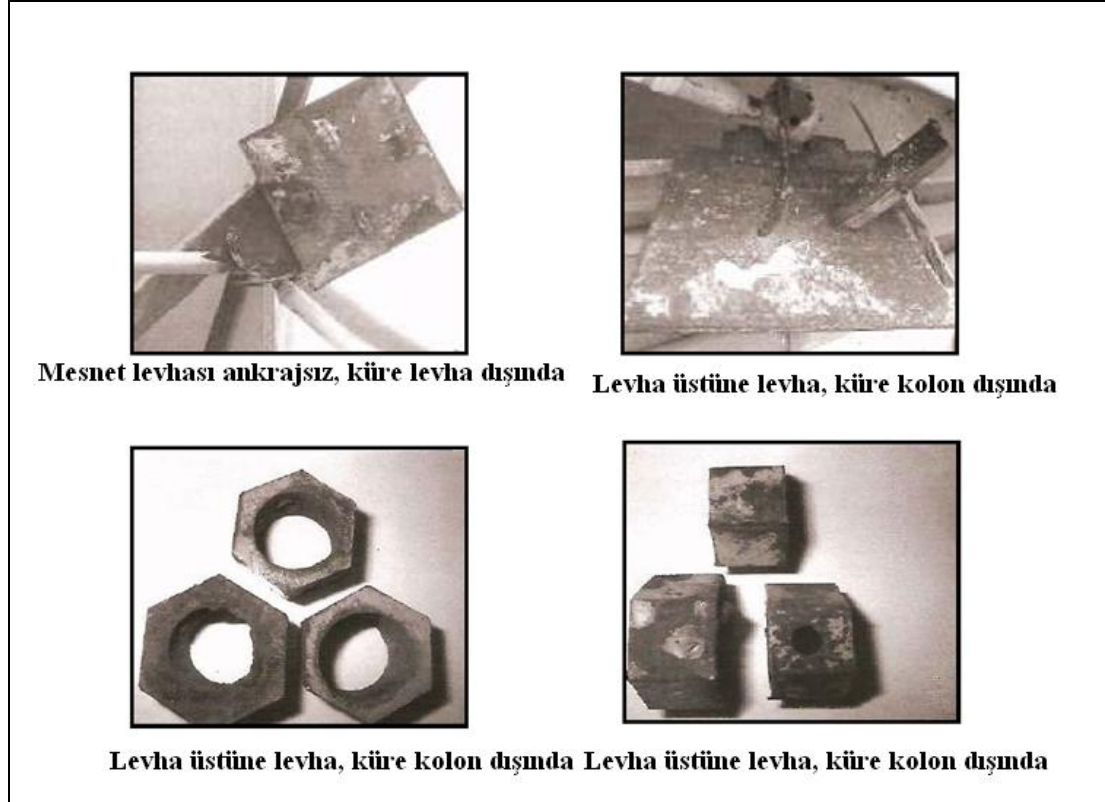
- Montaj her zaman statik hesapların bir parçasıdır. Montaj aşamaları tasarımın en başında dikkate alınmalı ve alınması gereken önlemler tespit edilmelidir. Örneğin dört açıklıklı bir uzayın ilk açıklığı komşu açıklıkların yardımıyla hafifletilse bile, montaj aşamasında bu dengeleyici yerleşimin olmaması ilk açıklıkta sorun yaratabilir. Benzer bir şekilde vinç ile kaldırılan uzay sistemlerin kaldırma noktalarına yakın yerlerde veya farklı diğer bilgilerde, dikkate alınmaması halinde elemanlar tehlike oluşturulabilir. Bu yüzden montaj yöntemi, mutlaka analizin bir parçası olarak düşünülmeli ve paralel hazırlanmalıdır.

3.1.9.2.Projelendirme hataları

Uzay kafes sistemlerde montaj ve imalat hataları Şekil 3.28 ve Şekil 3.29'da verilmiştir.



Şekil 3.28. Uzay kafes sistem montaj ve imalat hataları (Topçu, 2006)



Şekil 3.29. Uzay kafes sistem montaj ve imalat hataları (Topçu, 2006)

2006 yılında çöken Eskişehir Kılıçoğlu Anadolu Lisesi spor salonu çatısı (28.80x43.68=1258 m) çökmüştür. Çökme raporu: 25.01.2006 günü yaklaşık 35-40 cm kar vardı. Biriken kar çökmeyi tetikledi. Okulların tatil olması faciayı önledi. Salon kullanılmaya başladığından beri çatı açılıyor, gökyüzü görülüyor, akıtıyor, çıt-çıt sesler geliyor, onarılıyor fakat olay tekrarlanıyordu (salonu kullananların ifadesi). Projesinde ölçü ve analiz hataları vardı. Hesaplar ile inşa edilen bağdaşmıyordu. Uygulama son derece gelişi güzel yapılmıştı. Mesnet levhaları kolonlara ankre edilmemiş ve mesnet küreleri levha üstüne levha -yetmemiş- bir levha daha eklenerek kolon dışında iğreti kaynatılmıştı. Kısa parça borular uç uca özensiz kaynatılarak borular oluşturulmuştu. Somunlarda pim yerine nokta kaynak kullanılmış, bazılarında kaynak dahi yapılmamıştı. Cıvatalar kopmuş, ya cıvata ya da küre dişleri sıyırılmış, borular kaynak yerinden kopmuş ve burkulmuşlardı. Çatıdaki hasarlar göçme anından çok daha önce kullanıma açıldığı gün, belki de montaj sırasında başlamıştı (Topçu, 2006).

Yukarıdaki rapor incelendiğinde benzer örnekleri dünya çapında görmek mümkündür. Dünyada her kış yüzlerce çatı kar yükü altında çökmekte can ve mal kaybına neden olmaktadır. Özellikle büyük alanları kaplayan spor, sergi, kongre salonu, süper market pazaryeri ve hangar türü yapıların çelik ya da ahşap taşıyıcılı çatıları çökmektedir. Çökme nedeni ilk bakışta kar yükü gibi görünmekle birlikte bu doğru değildir. Çöken çatıların hemen hepsi de proje, inşaat ve bakım hataları içermektedir. Kar yükü sadece çökmeyi tetiklemektedir.

Bad Reichenhall/Almanya spor salonunun çökmesi sonrası Alman Teknik Denetim Kurumu(T ÜV) geniş kapsamlı inceleme başlatmış, 200 den çok spor salonunda yaptığı incelemede çatıların %24'ünde proje ve hesap hatası, %29'ünde malzeme ve inşaat hatası ve %37'sine bakım hataları belirlemiştir. Kar yükü nedeniyle çöken çatı miktarının sadece %16' dır (Topçu, 2006).

Kusursuz bir projelendirme bilgisayar ortamında simüle edilse dahi bütün bu çalışmalar kağıt üzerinde kalmaktadır. Uygulama hataları bütünüyle yapılan çalışmaları hiçe saymakta ve anlamsız kılmaktadır. Genel olarak başarılı bir yapı bütünlüğünün sağlanması için proje, imalat ve montaj üçlüsünün koordinasyonlu ve hatasız çalışması gerekmektedir.

3.1.9.3. Teknik şartnamesi

Uzay kafes sistemler iki uçlarına konik parçalar kaynatılmış olan ve çubuk olarak adlandırılan çelik boruların, içlerine yerleştirilen cıvatalar ile çelik birleşim kürelerine tespiti yolu ile üç boyutlu olarak oluşturulmaktadır. İmalatın tamamı atölyede hazırlanıp şantiyede montajı yapılacak şekilde dizayn edilmektedir. Sistem boru, küre, cıvata aşık ve mesnet elemanlarından oluşmaktadır.

Uzay kafes sistem çubukları : Çubuk borularının malzemesi DIN 17100 (EN 10.025) normuna uygun ST37.2 çeliğidir (malzeme no.1.0037). Boru çapları tasarım gereksinmelerine bağlı olarak 42 mm ile 219.1 mm arasında olabilmektedir.

Konik parçalar da borular ile aynı malzemedden yapılmaktadır. 60.3 mm çapa kadar olan konikler dolu malzemedden tornalanarak, daha büyük konikler sıcak dövme yöntemi ile şekillendirilmektedir.

Konikler boru uçlarına SG2 tipi kaynak teli kullanılarak ve DIN 8569, DIN 4100, DIN 4115 (EN759, EN 440, EN 758, EN 1668) normlarına uygun şekilde gaz altı yöntemi ile kaynatılmaktadır.

Her çubuk, montaj sırasında cıvataların içlerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılabilmesi için gerekli delikler ile imal edilmektedir. 60.3mm çapa kadar olan çubuklarda bu delikler borulara, daha büyük çaplarda ise koniklerin yanlarına açılmaktadır.

Küreler : Birleşim küreleri DIN 17200 (EN 10.083) normuna uygun 1040 çelikten sıcak dövme yöntemi ile yapılmaktadır. Küre çapları tasarıma bağlı olarak 60 mm ile 190 mm arasında değişebilmektedir.

Çubukların tespiti için kürelere dişli cıvata delikleri açılmaktadır. Deliklerin adedi, çapları ve açıları uzay sistemin şekil ve diğer özelliklerine bağlı olarak saptanmaktadır. Küreler ile konikler arasındaki temas yüzeyini arttırmak için deliklerin üstünde yüzey düzeltmesi yapılmaktadır.

Cıvatalar : Uzay sistem elemanlarının birleşimlerinde DIN 1654 ve DIN 17200 (EN 10.083) normlarına uygun 8.8 veya 10.9 kalitede cıvatalar kullanılmaktadır. Cıvata çapları 12 mm ile 48 mm arasında değişmekte olup dişler DIN 13 ISO tiplerine uygun boyutlardadır.

8.8 kalite cıvatalar 34Cr4 malzemedden olup minimum çekme gerilmeleri 80 kg/mm², minimum akma gerilmeleri 64 kg/mm², akmada uzamaları %12'dir. 10.9 kalite cıvatalar 41Cr4 malzemedden olup minimum çekme gerilmeleri 100 kg/mm², minimum akma gerilmeleri 90 kg/mm², akmada uzamaları % 9'dur.

Aşıklar ve diğer çelik elemanlar : Çatı ve cephe kaplamaları ve derelerin uzay kafes sisteme irtibatını sağlayan aşık elemanları ile kolon, çapraz, cephe kuşağı gibi diğer çelik elemanlar I, U, C formlarında veya kutu kesitli St37.2 çelik malzemedan imal edilmektedir.

Mesnetler : Sistemin genel stabilitesini sağlarken ısı değişimi ve diğer nedenlerden oluşacak hareketleri minimize edecek şekilde düzenlenen sabit ve kayıcı mesnetler St-37 veya St-52 malzemedan yapılmaktadır. Mesnetlerin şekil ve boyutları sistem özelliklerine göre çok çeşitli olabilmektedir.

Korozyona karşı koruma : Mekanik ve kimyasal yöntemlerle temizlenen çubuk yüzeyleri tercihe göre aşağıdaki yöntemlerden biri ile kaplanmaktadır :

- i. İstenilen RAL renginde daldırma fırın boya,
- ii. İstenilen RAL renginde elektrostatik toz boya,
- iii. Sıcak daldırma galvaniz kaplama,
- iv. Sıcak daldırma galvaniz üzerine istenilen RAL renginde elektrostatik toz boya.
- v. Küreler ve cıvatalar 15 mikron kalınlığında elektro galvaniz kaplanmaktadır.

Montaj : Uzay kafes sistemlerinin montajı basit el aletleri kullanılarak sistem ve şantiye özelliklerine göre aşağıdaki yöntemlerden biri ile yapılır :

- i. Sistemin tamamı yerde monte edilip vinçle yerine yerleştirilebilir
- ii. Sistemin tamamı kısmi iskeleler yardımı ile yerinde monte edilebilir
- iii. Sistemin bir bölümü yerde hazırlanıp vinçle yerine yerleştirildikten sonra montaja havada devam edilebilir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Sonlu elemanlar metodu hakkında genel bilgi

20. asrın başlarından itibaren sanayinin gelişmesiyle beraber sistemler projelendirilmesi de karmaşık hale gelmişti. İri hacimli el hesaplarını basitleştirmek amacıyla 20. asrın ellinci yıllarında elektronik hesap makineleri (EHM) geliştirilmeye başlandı. EHM' nin meydana çıkmasıyla sistemlerin analiz metotlarına (EHM nin çıkmasına kadar-klasik metotların) yeni talepler eklendi. Bu talepler;

- Çeşitli sistemlere uygulanabilmesinin genel karakterde olması,
- Halledici (çözme) denklemlerin yapıma düzeninin nispeten basit olması,
- Kullanılacak matrislerin sayısal özelliklerinin iyi olması

Bu talepler çeşitli sistemleri farklı yönlerden analiz etme imkanı verebilmektedirler. İlk defa olarak R.Clough makalesinde, 'sonlu elemanlar metodu' ismini kullanmıştır. Metodun esası sonsuz sayıda serbestlik derecesi olan sistemi, düğüm noktalarında birbiriyle bağlantılı olan sonlu sayıda basit elemanlarla tahmin etmekten ibarettir. Düğüm kuvvetleriyle düğüm yer değiştirmeleri arasındaki ilişkinin (rijitlik veya esneklik matrisinin) kurulması, sistemlerin analizinde sonlu elemanlar metodunun uygulanmasının esas mercilerinden biridir (Kasımzade, 2004) .

Geçen süre içinde sonlu elemanlar metodu Oden J.T., Zienkewicz, R. Gallagher , K.J.Batle ve E.L.Wilson, Strank ve G.J.Fix ve diğer mühendislerin esaslı çalışmaları neticesinde çok gelişmiştir. Uygulamadaki mühendislerin büyük hacimli kompleks hesaplamaları yaparken; (İces-integrated Civil engineering system, GENESY- SAP – Structural Analysis program, NONSAP , ADINA, STRUDL- Structural Desing Language (Scool of engineering, Massachusetts Institute of

Technology , U.S.A) NASTRAN (ABD, Uzay ve kozmik sistemler enstitüsü) MARS-STRAS (ABD, IBM firması), ANSYS, ASKA (Almanya, Stuttgart Üniversitesi), SESAM (Norvege Teknik Üniversitesi), FESS-Finite Element Solution Swansea(Divion of civil engineering, university of Wales, swansea, Great Britania), STRESS, ETABS PLUS-Extended three Dimensional Analysis of Building systems, SAFE- Slab Analysis using Finite Elements, PROÇNOST-80(KİSİ), PK_85, SPRİNG (MİİT), PARSEK (SNİİSK), DİANA(MMZ'OPİT'), STAN, RADIUS (MİSİ) LİRA (FENİKS)MİRAJ (Kiev-1984-eski Sovyetler birliği), RALİNS (University of Belgrat), WAT-KM (Warszawa), LUSAS (London, Structurel Analysis for engeering Professional) bu gibi sonlu elemanlar metodu prensibi ile çalışan analiz programları oluşturulmuşlardır (Kasımzade, 2004).

Sonlu Elemanlar Metodu'nun amacı, verilen diferansiyel denklemi ve sınır değer koşullarını yaklaşık olarak sağlayan aynı zamanda da bilinen basit fonksiyonlar aracılığı ile ifade edilebilen çözüm fonksiyonları bulmaktır. Ana felsefe olarak bütün bir aralıkta yaklaşık çözüm bulmaya çalışmaktansa, tanım aralığını "sonlu eleman" olarak adlandırılan belirli parçalara bölmek, her bir parça için yaklaşık çözüm bulmak ve sonra her bir eleman için bulunan yaklaşık çözümleri belirli kurallar dâhilinde birleştirerek tüm aralıkta yaklaşık bir çözüm elde etmektir (Genç Araştırmacılar Kongresi, 2005).

Sonlu elemanlar metodu esasında yapılmış herhangi analiz kompleksi için, giriş parametrelerinin kolaylıkla verilmesini sağlayan sıra hizmet programları (Moskova inşaat mühendisleri üniversitesinde yapılmış MKE-DIALOG, tedris için GRID ve başkaları) yazılmıştır. SEM' un ilk önce Yapı Mekaniği problemlerine uygulanması ile ilgili gelişme göz önüne alınarak onun esasları ağırlıklı olarak Lagrange varyasyon prensibi temelinde (yerdeğiştirmeler metodu şeklinde) verilmiştir. İncelenen çubuk ve sürekli-plak, levha, elastik esas üzerinde plak, kabuk, solid sonlu eleman sistem problemlerinin her biri için SEM'a özgü olan analizin aşağıdaki klasik ardışıklığı saklanılmıştır (Kasımzade, 2004).

Çözüm aşamasında verilmiş sürekli sistem sadece düğümleri vasıtasıyla (bir-biri ile birleşmiş sonlu sayıda sayılaştırılmış) sonlu elemanlar ile değiştirilir. Bu esnada, düğümlerin yer değiştirmeleri sonlu elemanların yer değiştirmeleri ile belirlendiği göz önünde tutulur. Sınır koşulları göz önüne alınır. Böylelikle bulunan *çözüm* denklem takımı çözülür ve sistemin sonlu elemanlarında düğüm yer değiştirmeleri (uygun olarak deformasyon ve gerilmeler) bulunur.

Bakılan problemlerin statik, geometrik ve fiziki denklemleri, cisimlerin mukavemeti ve elastisite teorisinin uygun konularda etraflı incelendiğinden burada direk verilmiştir. Bellidir ki, sayısal metotlar bilgisayar analizine yönlendirilmiştir.

Sonlu Elemanlar Metodu'nda yaklaşık çözüm, parçalı polinomlar olarak tanımlanan sonlu sayıdaki $\varphi_i(t)$ taban fonksiyonlarının lineer kombinasyonu olarak ifade edilir. Yaklaşık çözüm fonksiyonu,

$$x(t) \approx u(t) = \sum_{i=0}^n \alpha_i \varphi_i(t) = \alpha_0 \varphi_0(t) + \alpha_1 \varphi_1(t) + \dots + \alpha_n \varphi_n(t) \quad (3.6)$$

olarak hesaplanır. Burada $x(t)$ asıl çözüm fonksiyonunu, $u(t)$ ise yaklaşık çözüm fonksiyonunu temsil etmektedir.

α_i katsayılarını bulmak amacıyla geliştirilmiş olan ve Sonlu Elemanlar Metodu dahilindeki başlıca yöntemler Rayleigh-Ritz Metodu, Collocation Metodu, ve Galerkin Metodu olup üçü de residual minimizasyonu prensibine dayanır. (Residual bir diferansiyel denklemin sol tarafındaki ifadeden sağ tarafındaki ifadenin çıkarılması olarak tanımlanır). Sonlu Elemanlar Metodu'nda amaç, tanımlanan aralıkta $R(t)$ yi mümkün olduğunca küçük yapacak α_i katsayılarını bulmak ve böylelikle yaklaşık değer fonksiyonu olan $u(t)$ yi oluşturabilmektir.

Ritz Metodu, değişimler hesabına (variational calculus) ve uygun fonksiyonların oluşturulmasına dayanır. Verilen her diferansiyel denklem eşitliği için farklı fonksiyonlar oluşturulması gerekir.

Collocation Metodu'nda $u(t)$ fonksiyonu $R(t)$ de $x(t)$ yerine uygulanır ve $R(t)=0$ yapacak uygun katsayılar belirlenir. Bu metotta $R(t)$ nin, tamamlanan aralık dâhilinde kalmak üzere t_1, t_2, \dots, t_m gibi m tane noktada sifıra eşitlenmesi sağlanır.

$$R(t_i) = 0 \quad i=1,2,\dots,m \quad (3.7)$$

Collocation Metodu'nda yaklaşık çözüm fonksiyonu yüksek dereceli seçilerek, yaklaşıklık hata miktarı azaltılabilir. Ancak, ara değerlere bakıldığında yüksek dereceli fonksiyon kullanımı sonucu çözüm fonksiyonunda oluşmaya başlayan titreşimler yüzünden aslında hata miktarı artmaktadır (ESC Web Sitesi, 2007).

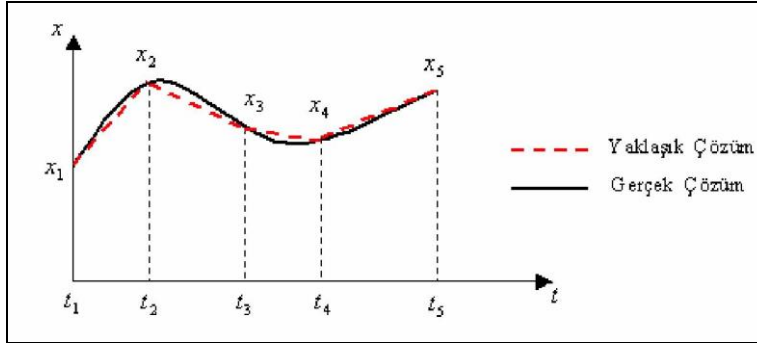
Galerkin metodunda ise yaklaşık çözümü veren bir $u(t)$ ifadesinin olduğu kabul edilir ve bu ifade aşağıdaki gibi gösterilir:

$$x(t) \approx u(t) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \varphi_i(t) = \alpha_1 \varphi_1(t) + \alpha_2 \varphi_2(t) + \dots + \alpha_n \varphi_n(t) \quad (3.8)$$

Burada $\varphi_i(t)$ fonksiyonları taban fonksiyonlarıdır. Çözümdeki α_i katsayılarının bulunması için gerekli lineer denklem sistemi aşağıdaki ifadeden faydalanılarak oluşturulur:

$$\int_{t_0}^{t_f} \varphi_i(t) \cdot R(t) \cdot dt = 0 \quad i=1,2,\dots,n \quad (3.9)$$

$R(t)$ ifadesinde, $x(t)$ ve türevleri yerine yaklaşık çözüm $u(t)$ ile onun türevleri yazılır. Bu integral ifadesinin sifıra eşitlenmesi sonucunda bulunan eşitlikler birleştirilerek bir lineer sistem oluşturulur ve bulunması istenen α_i değerleri hesaplanır. Gerçekte α_i değerleri, $x(t_i)$ değerlerinin yaklaşık değerleridir. Bu noktalar şekil 3.30 de görüldüğü üzere uygun bir interpolasyon eğrisi ile birleştirildiğinde $x(t)$ gerçek çözüm eğrisine yaklaşık çözüm veren eğri bulunmuş olur.



Şekil 3.30. Sonlu elemanlar metodu için örnek yaklaşık çözüm ve gerçek çözüm eğrileri

3.2.2. SAP 2000

3.2.2.1. Giriş

SAP 2000 yazılımı, yapı sistemi modellerinin geliştirilmesi, analizi ve boyutlandırılması için kullanılan genel amaçlı bir programdır. Program Windows ortamında çalışmakta ve tüm işlemler özel Grafik Kullanıcı Ara yüzü (Graphical User Interface) yardımı ile SAP 2000 ekranı üzerinde gerçekleştirilmektedir.

Tamamı Windows uyumlu olan bu programın ilk versiyonu 1996 da sap80 ardından da sap90 adı altında kullanıma sunulmuştur. Program yapı analizinde sonlu elemanlar metodunu kullanmaktadır. Bu programda yapı elemanlarının boyutlandırılmasında kullanılan birçok yerel ve uluslararası yönetmelikler mevcuttur ve her çıkan yeni versiyona da yeni yönetmelikler eklenmektedir. Örneğin çelik yapılar için **AISC-LRFD93** betonarme yapılar için de **EUROCODE 2-1992** kullanılmaktadır Bu metoda göre yapı küçük elemanlara ayrılmakta ve her elemandaki fiziksel parametrelerin davranışı belirlenerek bütün yapının yaklaşık denklem sistemi ortaya çıkarılmaktadır. Bunun için elemanlar düğüm noktalarında birleştirilerek bu noktalardaki bilinmeyen parametreleri (deplasman) içeren denklem sistemi çözülür (Özmen, 2004).

SAP 2000 “Çelik, Betonarme, Kompozit yapılar ayrıca tanımlanan diğer malzemelere” göre yapısal analiz yapan bir programdır. Sonlu elemanlar yöntemi ile analiz yapan ve güvenilirliği mühendisler tarafından kabul gören bir hesap ve boyutlama programı haline gelmiştir. Mühendisler tarafında kabul görülen bu bilgisayar yazılımı. Çubuk (frame) bir boyutlu, alan (shell) iki boyutlu (Kabuk eleman), katı cisim üç boyutlu elemanlar ile mühendislik problemlerinin çözümüne katkıda bulunmaktadır.

Herhangi bir yapı sisteminin SAP 2000 yardımı ile analiz ve boyutlandırmasında, genel olarak, aşağıdaki yol izlenmektedir :

a) Sistem modellerinin oluşturulması: Bu ilk aşamada, ya doğrudan doğruya veya SAP 2000 içinde bulunan Şablon (Template) sistemler kullanılarak

- Kiriş, kolon v.b. çubuk elemanlar,
- Duvar, döşeme, kabuk gibi yapı bölümlerini temsil eden sonlu elemanlar,
- Düğüm noktalarında veya mesnetlerde elastik veya lineer olmayan birleşimler veya yaylar,
- Çeşitli tipte mesnetler

tanımlanarak sistem modeli oluşturulur. Bu sırada, çeşitli yapı elemanlarının birleştiği düğüm noktaları (Joints), Program tarafından otomatik olarak, türetilmektedir. Bazı durumlarda, ele alınan sistemin önce küçük (veya kaba) bir bölümü oluşturulur. Daha sonra SAP 2000’in Copy, Paste, Replicate, Mesh Areas gibi olanaklarından yararlanarak sistem tamamlanır.

b) Malzeme özelliklerinin tanımlanması: SAP 2000 içinde standart olarak, tüm özellikleri ile tanımlanmış olan Beton (CONC), Çelik (STEEL) ve Alüminyum (ALUM) malzemeleri mevcuttur. İstenirse bu malzeme türlerine ait özelliklerin bazıları veya tümü değiştirilebileceği gibi, yeni malzeme türleri de tanımlanıp kullanılabilir. Seçilen veya tanımlanan malzeme türleri, kesit tanımlaması sırasında kullanılmaktadır.

- c) **Kesit özelliklerinin tanımlanması** : Çeşitli kesit tipleri ayrı kütükler içinde verilmiş bulunmaktadır. Özellikle çelik yapılarda bu kesit tipleri, doğrudan doğruya veya bazı özellikleri değiştirilerek kullanılabilmesi gibi, istenen türde kesit tanımlamak için, pek çok seçenek vardır. Seçilen veya tanımlanan kesitler sistem elemanlarına atanmaktadır.
- d) **Yüklerin Tanımlanması** : Tekil, yayılı, üçgen veya yamuk yüklerle sıcaklık değişimleri tanımlanıp düğüm noktalarına, çubuklara veya sonlu elemanlara atanabilmektedir. Ayrıca, kütle ve spektrum diyagramları tanımlandıktan sonra, mod birleştirme yöntemi ile Dinamik Hesap da yapılabilir. Çok sayıda (Sabit, hareketli, rüzgar, deprem v.b.) değişik yüklemeler tanımlanabileceği gibi, bunlar çeşitli süperpozisyon katsayıları ile çarpılarak Yükleme Kombinasyonları da oluşturulabilmektedir.
- e) **Çözüm (Analiz)** : Sistem modelinin malzeme, kesit özellikleri ve yüklemeleri ile birlikte tanımlanması bittikten sonra Çözüm (Analiz) yapılır. Çözüm sonuçları da SAP 2000 ekranında görüntülenmektedir. Bu görüntü üzerinde istenen her türlü ayrıntı ayrıca görüntülenip incelenebilir. İstenirse, çözüm sonuçları bir kütüğe yazdırılıp orada incelenir veya bastırılabilir.
- f) **Boyutlandırma** : Çözüm işlemi tamamlandıktan sonra, seçilen bir yönetmeliğin kuralları uygulanarak, çelik veya betonarme elemanların boyutlandırmaları da yapılabilir.

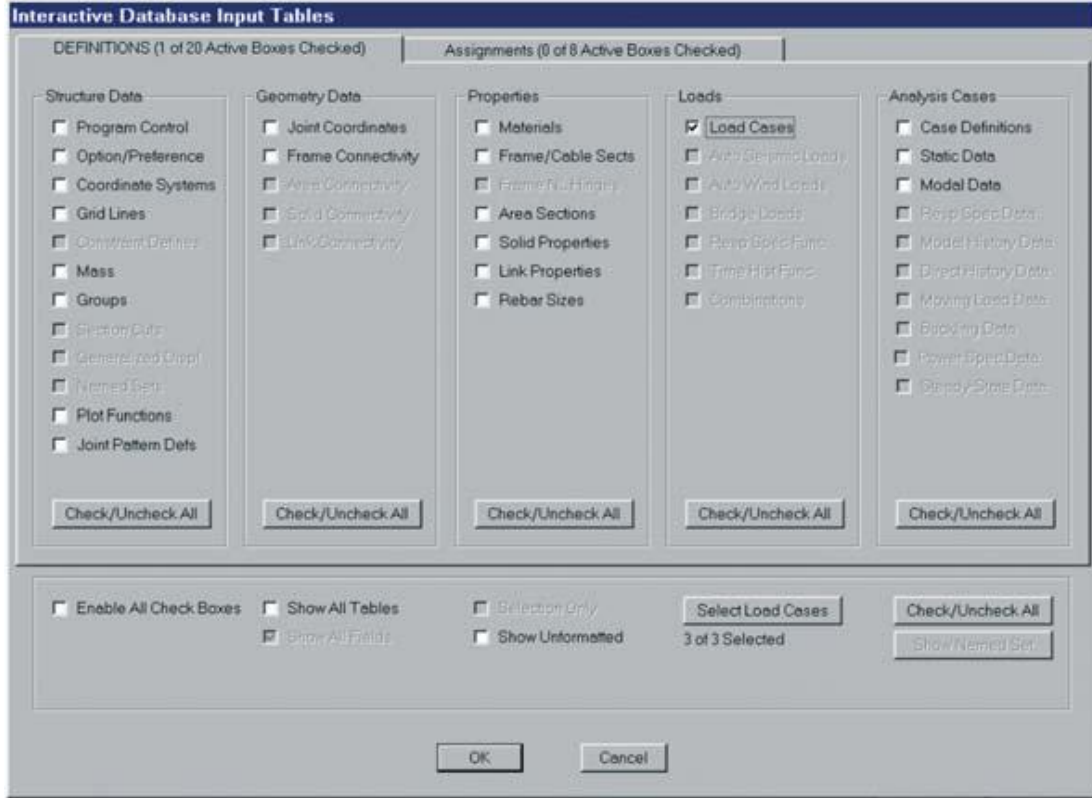
Bazı özel durumlarda, özellikle sistem geometrisinin tanımlanmasını doğrudan SAP 2000 ekranında yapmak pek pratik olmamaktadır. Bu durumda geometriyi AutoCAD ortamında oluşturup DXF kütükleri yardımı ile SAP 2000 ortamına aktarmak daha uygun olmaktadır. Özellikle geometrisi pek düzenli olmayan kafes sistemlerde bu yolun uygulanması çok pratik olmaktadır (Özmen, 2004). Bazen de düğüm noktalarının koordinatları belirli bir formülün ardışık olarak uygulanması ile kolayca saptanabilmektedir. Bu durumda da koordinatları Elektronik Tablo ortamında oluşturduktan sonra SAP 2000 ortamına aktarmak pratik olmaktadır. Ekte bu uygulamayı açıklayan bir uzay kafes sistem örneği verilmiş bulunmaktadır (Özmen, 2004).

SAP 2000 yazılımının (V8) sürümünde, gerek geometri tanımında, gerekse çeşitli atamaların yapılmasında geniş kolaylıklar sağlayan yeni bir olanak sunulmuştur. Etkileşimli Veritabanı Düzeni (Interactive Database Editing) adı verilen bu olanak sayesinde, her türlü işlem Elektronik Tablo ortamında gerçekleştirildikten sonra SAP 2000 ortamına aktarılabilir. Böylece hesaplama işlemleri, büyük bir olasılıkla, zaten Elektronik Tablo ortamında yapılan atama büyüklüklerinin SAP 2000 ortamına aktarılması hem çok kolaylaşmakta hem de olası kullanıcı (giriş) hataları tümüyle ortadan kaldırılmış olmaktadır. Ekteki örnekte, çözülen örnek yapının yüklemeler karşı çubukların güvenliliği gösterilmiştir. Bu bölümde Etkileşimli Veritabanı Düzeninin özellikleri kısaca açıklandıktan sonra, sayısal bir örnek üzerinde, Elektronik Tablolar ile etkileşimli olarak nasıl uygulanacağı gösterilecektir.

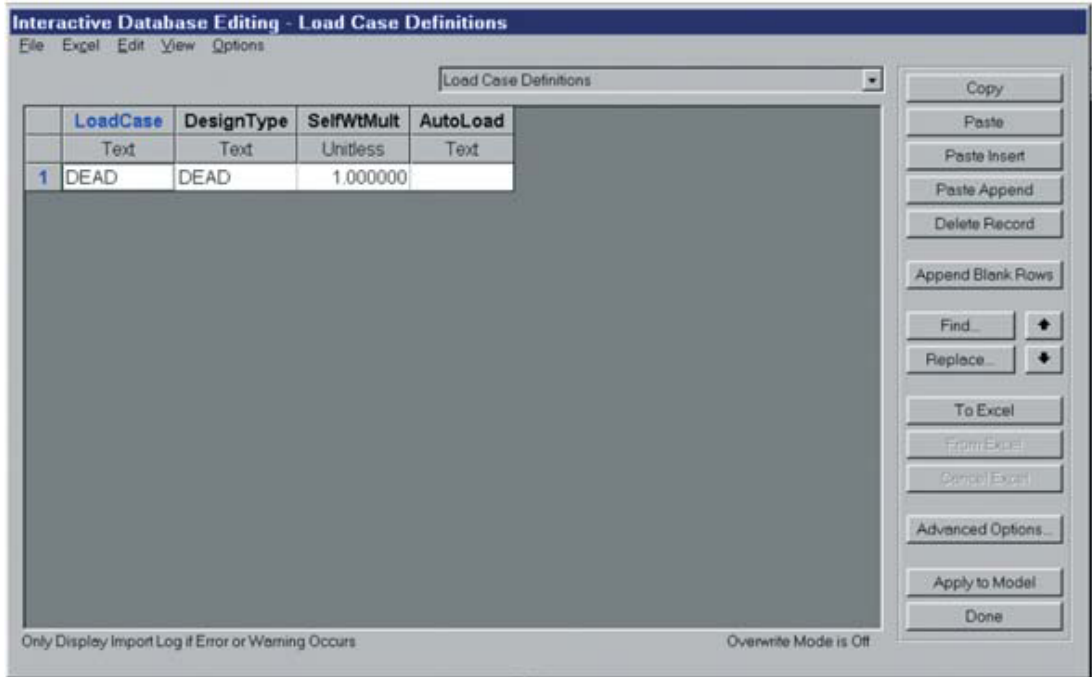
3.2.2.2. Etkileşimli veritabanı düzeni

SAP 2000 ekranının üst bölümündeki Edit menüsünde bulunan Interactive Database Editing... komutu tıklandığında ekrana Interactive Database Input Tables ileti kutusu gelir (Şekil 3.31).

Görüldüğü gibi, bu ileti kutusunda Definitions (Tanımlar) ve Assignments (Atamalar) başlıklı iki bölüm bulunmaktadır. Her bir bölümde, oluşturulan modelin özelliklerine göre, aktif olan ve olmayan kutucuklar bulunmaktadır. Aktif kutucuklardan herhangi biri (veya birkaçı) işaretlenip OK düğmesine basıldığında, ekrana ilgili kutucuğa ait Interactive Database Editing (Etkileşimli Veritabanı Düzeni) ileti kutusu gelir (Şekil 3.32).



Şekil 3.31. Interactive database input tables ileti kutusu



Şekil 3.32. Etkileşimli veritabanı düzeni ileti kutusu

Bu ileti kutusunun sol tarafında, geliştirilmiş olan modelin özelliklerine bağlı olarak düzenlenmiş bir tablo, bu tablonun üst tarafında da File (Kütük), Excel, Edit (Düzenle), View (Görünüm) ve Options (Seçenekler) başlıkları ile sıralanmış olan çekme menüler bulunmaktadır. Bu menülerde, alt bölümdeki tablo üzerinde çeşitli işlemler yapılmasını sağlayan komutlar vardır. İleti kutusunun sağ tarafında da, çok kullanılan komutlara kolayca erişilmesini sağlayan düğmeler bulunmaktadır. Copy (Kopyala), Paste (Yapıştır), Paste Insert (Araya Sokarak Yapıştır), Paste Append (Ekleyerek Yapıştır), Delete Record (Kayıt Sil), Append Blank Rows (Boş Satırlar Ekle), Find (Bul), Replace (Bul ve Değiştir) düğmeleri yardımı ile, sol taraftaki tablo bir Elektronik Tablo gibi kullanılıp çeşitli işlemler yapılabilmektedir. Ayrıca To Excel (Excel Tablosuna Aktar), komutu yardımı ile tablonun tümü Excel ortamına aktarılarak daha geniş Elektronik Tablo olanaklarını kullanmak da mümkün olmaktadır. Elektronik Tablodaki işlemler tamamlandıktan sonra sonuçların tümü veya bir bölümü ileti kutusundaki tabloya aktarılabilir. Tablo üzerindeki işlemler sona erdikten sonra, Apply to Model (Modele Uyarla) veya Done (Tamam) düğmelerinden biri kullanılarak üretilen tüm bilgiler modele aktarılır. Bu işlemlerin nasıl yapıldığı aşağıda sayısal bir örnek üzerinde açıklanacaktır (Özmen, 2004).

3.2.2.3. Diğer uygulamalar

Bir yapı modelinde uygulanmış olan tanımlamaların bir başka modele aktarılmasında; bir yapı modelinde tanımlanmış olan, örneğin;

- Malzemeler (Materials)
- Kesitler (Frame/Cable Sects)
- Yükleme Türleri (Load Cases)
- Spektrum Diyagramları (Resp Spec Func)
- Superpozisyon Türleri (Combinations)

gibi özellikler kolayca bir başka yapı modeline aktarılabilir. Bunun için

- İlk yapı modelinde Edit menüsündeki Interactive Database Editing... komutu tıklanarak ekrana Interactive Database Input Tables ileti kutusu getirilir.

- Bu ileti kutusunun DEFINITIONS bölümünde, aktarılabacak bilgi ile ilgili kutucuk işaretlenir ve OK düğmesine basılır. Kutucukların tanımları yukarıdaki listede parantez içinde gösterilmiştir.
 - Ekranaya gelen Interactive Database Editing ileti kutusundaki bilgiler seçilir ve Copy düğmesine tıklanır.
 - İkinci yapı modeline geçilip yeniden Interactive Database Editing... komutu kullanılır ve aynı kutucuk işaretlenir.
 - Ekranaya gelen Interactive Database Editing ileti kutusunda, yeter sayıda Append Blank Rows komutu kullanıldıktan sonra, Paste düğmesine tıklanır.
- Bazı özel durumlarda bilgilerin önce Excel ortamına oradan da yeni modele aktarılması uygun olabilmektedir (Özmen, 2004).

3.2.3. Çalışılan uygulama

Bu bölümde belirli bir alan üzerine yapılmış olan yapının çatı sistemi uzay kafes sistemi ile tasarlanıp , SAP 2000 yazılımı ile modelleyip analizi ele alınacaktır. Ele alınan uygulamada; 30m*27m açıklıklı bir salonun çatısını uzay kafes sistemi ile tasarımı yapılacaktır. Çatının kotu 7m, yüksekliği 2m dir. Sistemin kolonlarının 0.2m*0.2m , kalınlığı da t=0.015m profilden seçilmiştir. Alt ve üst başlıklarla köşe diyagonallerin çapları sırası ile 11.43 cm, 13.97cm ve 16.51cm, et kalınlıkları da 0.54 cm dir. Salonun bulunduğu bölge Diyarbakır ili olarak seçilmiştir. Diyarbakır için kar yükü=75kg/m², Rüzgar yükü=80 kg/m² olarak TS498'den seçilmiştir. Özağırlık (ölü yük) hesaplanmış ve 42 kg/m² olarak bulunmuştur. Örnekte; sistemin tasarımı, hesaplanması, yüklere göre analizi ve kontrolü yapılacaktır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu bölümde 27m*36m açıklıklı uzay kafes sistemi tasarlanıp , statik ve dinamik yükler altında TS498 ve TS648 yönetmeliklerinden yararlanılarak SAP 2000 yazılımı ile modellenip, analizi ve boyutlandırılması yapılmıştır. Bölüme ait sonuçlar Ek'te verilmiştir.

4.1. Çözüm

Seçilen uygulamada; 36m*27m açıklıklı bir salonun çatısı uzay kafes sistemi ile tasarlanacaktır. Çatının kotu 7m, yüksekliği 2m dir. Sistemin kolonlarının ebatları 0.2m*0.2m , kalınlığı da t=0.015m seçilmiştir. Kullanılacak malzeme çelik olarak seçilmiştir. SAP 2000 programında kullanılan çelik St37 olup akma dayanım değeri 2.48 KN/m², sıcaklık genleşme sayısı $\alpha_t=12 \cdot 10^{-6}$ 1/C, poisson oranı ise $\nu=0.30$ dür. Kullanılan tüm kesitler boru kesitlidir Alt ve üst başlıklarla köşe diyagonallerin çapları sırası ile 11.43 cm, 13.97cm ve 16.51cm, et kalınlıkları da 0.54 cm' dir. (Boru seçimi yapılırken Çizelge 4.3. referans olarak alınmıştır.) Salonun bulunduğu bölge Diyarbakır ili seçilmiştir. Diyarbakır için kar yükü=75kg/m², (Kaynak: TS498 EK1 İl ve ilçelere göre zati kar yükü bölgeleri, (Çizelge 4.1.), Rüzgar yükü=80 kg/m² (Çizelge 4.2.) olarak TS498 den seçilmiştir. SAP 2000 programında kullanılan çelik standart AISC-ASD89'dır (EUROCODE 2 1992). Özağırlık (ölü yük) hesaplanmış ve 40824 kg olarak bulunmuştur. Örnekte; sistemin tasarımı, hesaplanması, yüklere göre analizi ve kontrolü yapılacaktır.

4.2. Sistemin SAP 2000'de oluşturulması

Öncelikle düğüm noktalarına etkiyecek tekil kuvvetler hesaplanmıştır. Bu kuvvetler özağırlık, kar yükü, rüzgar emme va rüzgar basınç yükleridir. Özağırlık yükünü hesaplamak için önce sistem hiçbir yüklemeye maruz kalmadan çizilmiş ve

boyutlandırılmıştır. Oluşturulan sistemde mesnet tepkilerinin toplam kuvveti ($\Sigma F_y=0$) yapının özağırlık değerine eşittir. Sistemin oluşturulması aşağıda anlatıldığı için ; sistemin ağırlığı: 40824 Kg olduğu hesaplanmıştır. Sistemin maruz kalacağı bütün yükler düğüm noktalarında kabul edilir. Bir modülün alanı da $3 \times 3 = 9 \text{ m}^2$ dir. Aşağıda yüklemeler yapılırken, düğüm noktalarına gelecek yükü hesaplamak için; bir modüle gelen kuvvet değeri ile modülün alanı çarpılır. Sistemin alanı;

$$A=36 \times 27=972 \text{ m}^2, \quad (4.1)$$

$$1 \text{ m}^2 \text{ etkiyen kuvvet} : 40824/972=42 \text{ Kg/m}^2 \quad (4.2)$$

$$\text{Öz ağırlık yüklemesi} \quad : P_G = 42 \times 3 \times 3 = 378 \text{ Kg} \quad (4.3)$$

$$\text{Kar yüklemesi} \quad : P_k = 75 \times 3 \times 3 = 675 \text{ Kg} \quad (4.4)$$

$$\text{Rüzgar basınç yüklemesinde} : P_{wb} = 80 \times 3 \times 3 = 720 \text{ Kg} \quad (4.5)$$

$$\text{Rüzgar emme yüklemesinde} \quad P_{we} = -80 \times 3 \times 3 = -720 \text{ Kg} \quad (4.6)$$

Çözümde kullanılan yük kombinasyonlar ;

H=ölü yük (sistemin kendi öz ağırlığı+kaplama+aşık+tesisat)+kar

HZ1= ölü yük (sistemin kendi öz ağırlığı +kaplama+aşık+tesisat)+kar+rüzgarın basınç etkisi

HZ2= ölü yük (sistemin kendi öz ağırlığı +kaplama+aşık+tesisat)+ rüzgarın emme etkisi

MAX= (H+HZ1+HZ2) üç kombinasyonun en elverişsiz durumu

Yapıya etkiyen deprem yükünün hesaplanması aşağıdaki gibidir;

Çeliğinin elastisite modülü; $E=2 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

Kolonun atalet momenti; $I=a^4/12 \text{ KN/m}^2$

Burada a = kolon uzunluğu olup, atalet momenti hesaplandığında;

$$I= (0.2^4-0.17^4)/12 = 6.373 \times 10^{-5} \quad (4.7)$$

$$k= (3EI/h^3) \times 8 = (3 \times 2 \times 10^{11} \times 6.373 \times 10^{-5}) \times 8/8^3 = 597492.188 \quad (4.8)$$

$$W= 40824 \text{ kg} = 408240 \text{ N} \quad (4.9)$$

$$m= W/g = (408240/9.81) = 41614.68 \text{ N} \quad (4.10.)$$

$$w= \sqrt{(k/m)} \text{ rad/sn} = \sqrt{(597492.188/41614.68)} = 3.789 \text{ rad/sn} \quad (4.11)$$

$$T= 2\pi/w \text{ saniye} = 2\pi/3.789 = 1.658 \text{ saniye} \quad (4.12)$$

Yerel zemin sınıfı 2. Bölge kabul edilir ve buna bağlı olarak T değeri T_A ve T_B (Spektrum karakteristik periyotları) değerlerinden daha büyük olduğu görülür. Ve S_T (Spektrum katsayısı) değerini hesaplamak için aşağıdaki bağıntı kullanılır.

$$S_T = 2.5(T_B/T)^{0.8} = 2.5(0.40/1.658)^{0.8} = 0.80. \quad (4.13)$$

Bu değere göre $A(T)$ (Spektral ivme katsayısı) değeri; (4.14)

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) = 0.3 \times 1.2 \times 0.80 = 0.288 \quad (4.15)$$

olarak bulunur. V_t Eşdeğer deprem yükü;

$$V_t = (W \cdot A(T)) / R_a(T) = 408240 \times 0.288 / 4 = 29393 \text{ N} = 2939.3 \text{ kg} \quad (4.16)$$

Burada R_a ve T_B değerleri deprem yönetmeliğinin ilgili tablolarından okunmuştur. Sistemde 236 düğüm noktası mevcut olduğundan, her bir düğüm noktasına etki eden deprem kuvveti hesaplamak için ;

$$\Sigma V / \Sigma \text{Düğüm sayısı} = (2939.3 / 236) = 12.35 \text{ kg} \quad (4.17)$$

Böylece her bir düğüm noktasına X yönünde 12.35 kg değerinde deprem yüklemesi etkisi altında bırakılacaktır.

4.3. Sistemin SAP2000'de çözümü aşamaları

1. SAP 2000 ekranı açıldığında önce sağ alt köşeden birim Kgf, cm olarak ayarlanır.

2. Yeni bir sistem oluşturmak için;

- File ⇒ New Model seçilir. Açılan pencerede grid Only seçilir.
- Açılan pencerede Number of Grid Lines X;Y;Z=2 ; 2 ; 1 ve Grid Spacing X;Y;Z=150 ; 150 ; 200 olarak düzenlenir.

3. Kesit özelliklerin tanımlamak için;

Define ⇒ Materials ⇒ STEEL seçilip OK basılır. Kullanılacak çubukların profilini seçmek için;

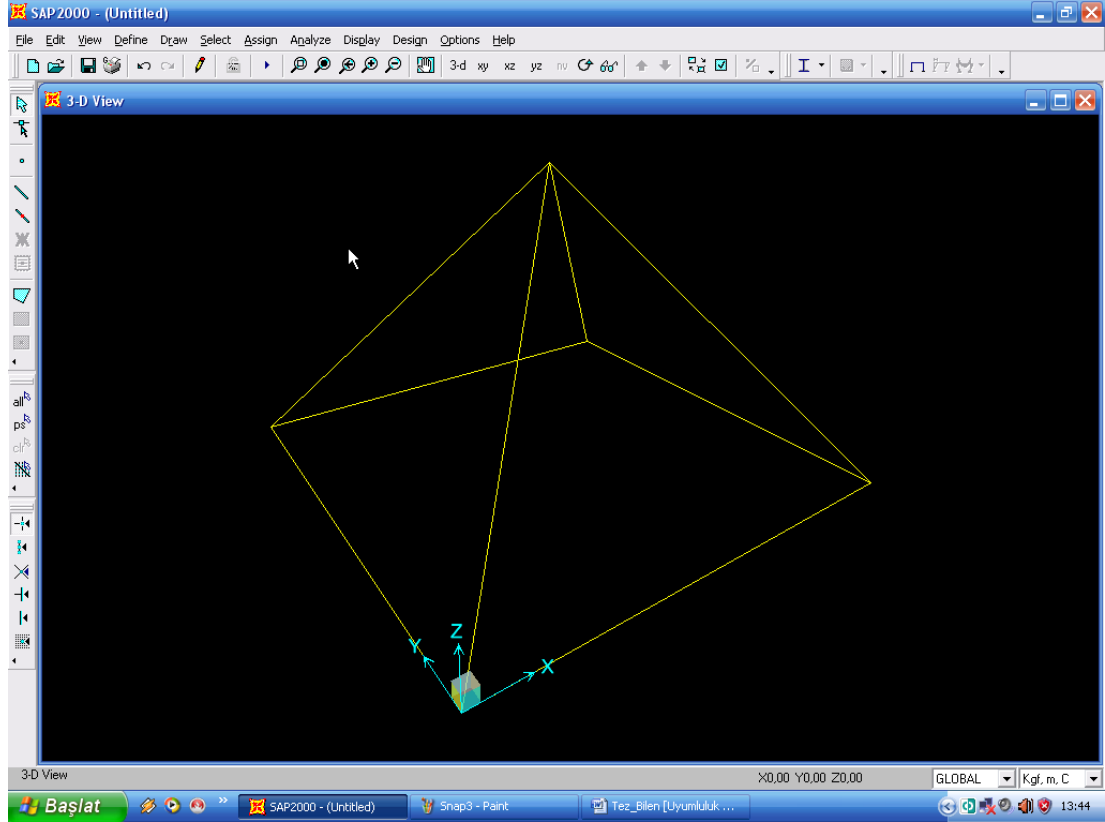
- Define ⇒Frame /Cable Sections⇒Add Pipe⇒Add New Property seçilir. Açılan pencerede; Section Name kısmına; B1 yazılır. t3 bölümüne 11.43; tw bölümüne 0.54 yazılır ve OK düğmesine basılır.
- Tekrar Add New Property seçilir. Açılan pencerede; Section Name kısmına; B2 yazılır. t3 bölümüne 13.97; tw bölümüne 0.54 yazılır ve OK düğmesine basılır.
- Tekrar Add New Property seçilir. Açılan pencerede; Section Name kısmına; B3 yazılır. t3 bölümüne 16.51; tw bölümüne 0.54 yazılır ve OK düğmesine basılır.
- Kullanılacak kolonların kesit değerlerini tanımlamak için Define ⇒Frame /Cable Sections⇒Add box/Tube⇒Add New Property seçilir. Açılan pencerede; Section Name kutucuğuna KOLON yazılır, Dimesions kısmındaki; t3'e : 0.2; t2'e : 0.2, tf'e : 0.015; tw: 0.015 yazılır ve iki kez OK düğmesine basılır. Böylece kullanılacak malzemenin kesit özellikleri tanımlanmış olur.

4. Ekranın sağ tarafındaki 3 D View penceresi X basılarak kapatılır.

5. Sistemin oluşturulması ;

- Ana araç çubuğundaki Down One Gridline tuşuna basılarak Z=2 konumundan Z=0 konumuna gelinir.
- View menüsünden 3-D Wiew penceresi tıklanır, ekrana gelen pencerede Plan:235, Elevatin :20 Aperure: 60 olacak şekilde düzenlenip OK'e basılır.
- Çubukları çizmek için; gelen pencerede Draw Frame/Cable Element düğmesine basılır. Ekrana gelen Properties of Object penceresinden Property B2 olarak seçilir. Daha sonra önce 1 sonra 2 numaralı düğüm noktalarına tıklanarak 1 numaralı çubuk çizilmiş olur. Benzer şekilde diğer düğüm noktalarına da tıklanır ve diğer çubuklar da çizilmiş olunur.
- Dört adet diyagonal çubuğu oluşturmak için, yine Ana araç çubuğundaki Down One Gridline tuşuna basılarak Z=0 konumundan Z=2 konumuna gelinir Draw Frame/Cable Element ⇒ Properties of Object penceresinden Property B1 olarak seçilir. Sonra önce 5 sonra 1 numaralı düğüm noktalarına

tıklanarak ve 5 numaralı çubuk çizilmiş olunur. Benzer şekilde diğer düğüm noktalarına da tıklanır ve diğer diyagonal çubuklarda çizilmiş olunur (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Ana modül

6. Sistemde kullanılacak yükleme durumlarının tanımlanması;

- Define⇒Load Cases seçilir. Ekranı gelen pencerede Define Loads penceresinden Load Names kutusu tıklanır ve buraya DL yazılarak 1. Yükleme (öz ağırlık) durumuna verilecek ad yazılmış olur. Self Weight Multiplier penceresindeki 1 sayısının yerine 0 yazılır ve çubukların kendi ağırlığının dikkate alınmaması sağlanır.
- Benzer şekilde Load Names kutusu tıklanır ve buraya SL yazılır ve Type penceresinde SNOW seçilir. Self Weight Multiplier penceresindeki 0 korunur. Add Load tuşuna basılarak SL adlı kar yükü tanımlanmış olur.
- Aynı şekilde Load Names kutusu tıklanır ve buraya WLB yazılır ve Type penceresinde WIND seçilir. Self Weight Multiplier penceresindeki 0 korunur. Add Load tuşuna basılarak WLB adlı rüzgar basınç yükü

tanımlanmış olur.

- Aynı şekilde Load Names kutusu tıklanır ve buraya WLE yazılır ve Type penceresinde WIND seçilir. Self Weight Multiplier penceresindeki 0 korunur. Add Load tuşuna basılarak WLE adlı rüzgar emme yükü tanımlanmış olur

7. Sistemde Düğüm Noktalarına Etkiyen Kuvvetlerin Girilmesi

- Assign⇒Joint Loads⇒Forces tıklanır. Açılan pencerede Load Case Name penceresinde DL seçilir. Load bölümündeki Force Global Z kutusuna -378 yazılır. Ok düğmesine basılır.
- Benzer şekilde Assign⇒Joint Loads⇒Forces tıklanır. Açılan pencerede Load Case Name penceresinde SL seçilir. Load bölümündeki Force Global Z kutusuna -675 yazılır. Ok düğmesine basılır.
- Benzer şekilde Assign⇒Joint Loads⇒Forces tıklanır. Açılan pencerede Load Case Name penceresinde WLB seçilir. Load bölümündeki Force Global Z kutusuna -720 yazılır. Ok düğmesine basılır.
- Assign⇒Joint Loads⇒Forces tıklanır. Açılan pencerede Load Case Name penceresinde WLE seçilir. Load bölümündeki Force Global Z kutusuna 720 yazılır. Ok düğmesine basılır.

8. Yük kombinasyonlarının sisteme tanıtılması

- Üst menü'den Define menüsü ve buradan Load Combination seçilir. Gelen Define Load Combination penceresine Add New Combo tuşuna basılır. Gelen Load Combination Data diyalog kutusunda Load Combination Name penceresine tıklanır ve 1. kombinasyona verilecek ad, H yazılır. Load Combination Type penceresinde ADD görülmektedir Title penceresine tıklanarak buraya 'öz ağırlık+tam kar' yazılır. Case Name penceresindeki 1.yüklemenin ismine(DL Load Case) gelinir. Scale factor penceresindeki 1 sayısı korunur. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 1. satırda "DL Load Case 1" görülür. Case name penceresinden 2. yüklemenin ismine (SL Load Case) gelinir. Add tuşuna basılır. Case Name penceresinin altında

2. satırda “SL Load Case 1” görülür. OK tuşuna basılır.böylece birinci kombinasyon (öz ağırlık+tam kar) girilmiş olur.

- Aynı adımları tekrarlayarak ; Add New Combo tuşuna basılır. Gelen Load Combiğnation Data diyalog kutusunda Load Combination Name penceresine tıklanır ve 2. kombinasyona verilecek ad, HZ1 yazılır. Title penceresine tıklanarak buraya ‘öz ağırlık + tam kar + Rüzgar basınç’ yazılır. Case Name penceresindeki 1.yüklemenin ismine(DL Load Case) gelinir. Scale factor penceresindeki 1 sayısı korunur. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 1. Satırda “DL Load Case 1” görülür. Case name penceresinden 2. Yüklemenin ismine (SL Load Case) gelinir. Add tuşuna basılır. Case Name penceresinin altında 3. satırda “WLB Load Case 1” görülür. Case Name penceresindeki 3.yüklemenin ismine (WLB Load Case) gelinir. Scale factor penceresindeki 1 sayısı korunur. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 1. Satırda “WLB Load Case 1” görülür. OK tuşuna basılır.böylece ikinci kombinasyon (öz ağırlık+tam kar+rüzgar basınç) girilmiş olur.
- Tekrar Add New Combo tuşuna basılır. Gelen Load Combination Data diyalog kutusunda Load Combination Name penceresine tıklanır ve 3. kombinasyona verilecek ad, HZ2 yazılır. Title penceresine tıklanarak buraya ‘öz ağırlık + rüzgar emme’ yazılır. Case name penceresinin altında 1. Satırda “DL Load Case 1” görülür. Case name penceresinden 2. Yüklemenin ismine (WLE load case) gelinir. Scale factor penceresindeki 1 sayısı korunur. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 2. Satırda “WLB Load Case 1” görülür. OK tuşuna basılır. Böylece üçüncü kombinasyon (öz ağırlık + rüzgar emme) girilmiş olur.
- Üst menü’den Define menüsü ve buradan Load Combination seçilir. Gelen Define Load Combination penceresine Add New Combo tuşuna basılır. Gelen Load Combination Data diyalog kutusunda Load Combination Name penceresine tıklanır ve 1. kombinasyona verilecek ad, HZ3 yazılır. Load Combination Type penceresinde ADD görülmektedir Title penceresine tıklanarak buraya ‘öz ağırlık+tam kar’ yazılır. Case Name penceresindeki

1.yüklemenin ismine(DL Load Case) gelinir. Scale factor penceresindeki 1 sayısı korunur. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 1. satırda “DL Load Case 1” görülür. Case name penceresinden 2. yüklemenin ismine (QU Load Case) gelinir. Add tuşuna basılır. Case Name penceresinin altında 2. satırda “QU Load Case 1” görülür. OK tuşuna basılır.böylece birinci kombinasyon (öz ağırlık+deprem) girilmiş olur.

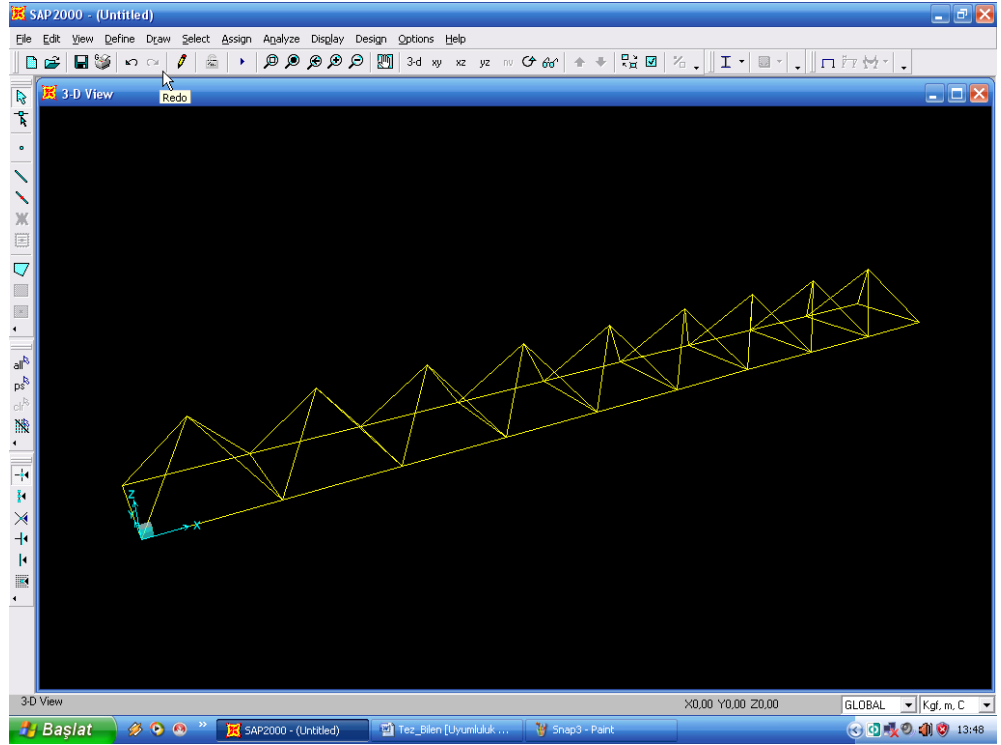
- Tekrar Add New Combo tuşuna basılır. Gelen Load Combination Data diyalog kutusunda Load Combination Name penceresine tıklanır ve 4. kombinasyona verilecek ad, MAX yazılır. Case name penceresinin altında 1. Satırda “H Load Case 1” görülür. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 2. Satırda “HZ1 Load Case 1” görülür. Add tuşuna basılır. Case name penceresinin altında 3. Satırda “HZ2’ Load Case 1” görülür. Add tuşuna basılır. 4. Satırda “HZ3’ Load Case 1” görülür. Add tuşuna basılır. Combination Type bölümünden envelope kısmı seçilir ve OK düğmesine basılır. Böylece sisteme etki eden en elverişsiz kombinasyon tanımlanmış olur.

9. Modüler sistem tekrarlanarak sistemin oluşturulması

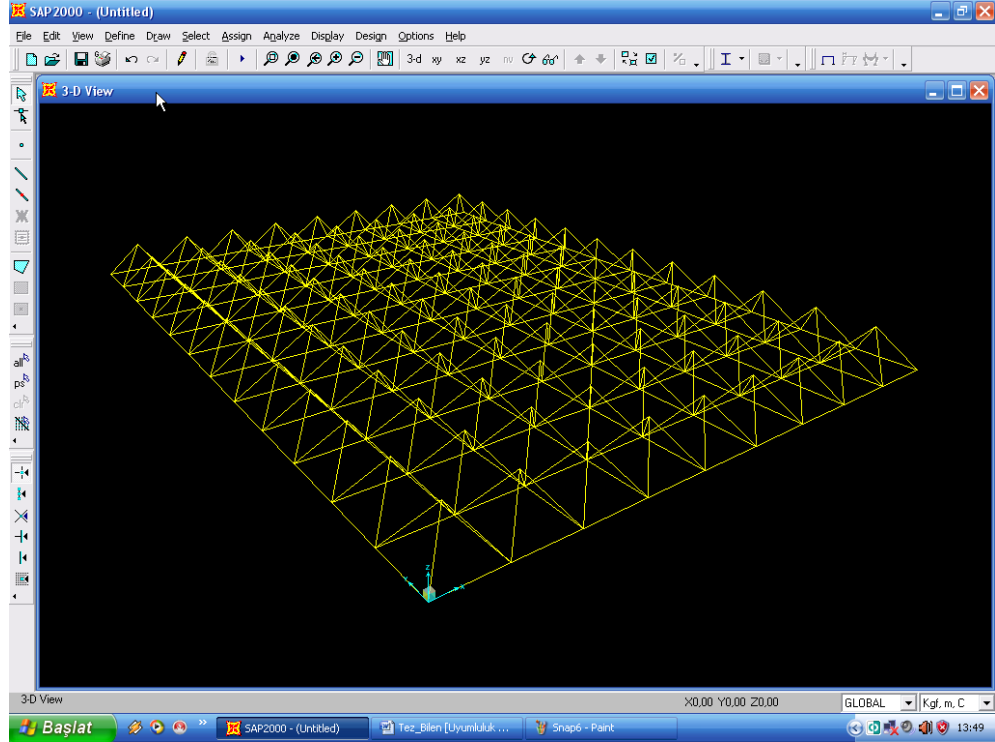
- Yan araç çubuğunda all tuşuna basılır. Böylece tüm çubuk ve düğüm noktaları seçilmiş olur.
- Üst menü’den Edit⇒Replicate seçilir.
- Gelen pencerede, increments bölümündeki dx penceresine 300 yazılır. Number kutucuğuna 8 yazılır ve OK düğmesine basılır. Böylece Z=0 kotunda X doğrultusunda 8 modül daha çizilmiş olunur (Şekil 4.2).
- Yan araç çubuğundan all basılır, gelen kutucuğuna increments bölümündeki dx penceresine 0 yazılır. dy kutucuğuna 300 yazılır. Number kutucuğuna 11 yazılır ve OK düğmesine basılır. Böylece Z=0 kotunda Y doğrultusunda 11 modül daha çizilmiş olunur (Şekil 4.3).
- X –Y düzlemindeki çubukları birbirine bağlayan çubukları oluşturmak için Draw Frame/Cable Element düğmesine basılır. Ekranı gelen Properties of Object ileti kutusunun Property bölümünde B2 seçeneği tıklanır. 5-8 ve 5-2 düğüm noktalarının arasına iki adet üst başlık çubuğu eklenir ve ESC tuşuna

basılır.

- Oluşturulan 5-8 arasındaki çubuk seçilir. Edit⇒Replicate seçilir. Increments bölümündeki dx penceresine 3 yazılır. Number kutucuğuna 7 yazılır ve OK düğmesine basılır. Böylece X yönünde 7 adet üst başlık çubukları oluşturulmuş olur.
- X yönündeki 8 üst başlık seçilir. Edit⇒Replicate seçilir. Increments bölümündeki dy penceresine 3 yazılır. Number kutucuğuna 11 yazılır Ve OK düğmesine basılır. Böylece Y yönünde üst başlık çubuklarının türetilmesi tamamlanmış olur.
- Y yönündeki X eksenine dik olan 11 üst başlık çubuk seçilir. Edit⇒Replicate seçilir. Increments bölümündeki dx penceresine 3 yazılır. Number kutucuğuna 8 yazılır ve OK düğmesine basılır. Böylece X yönünde üst başlık çubuklarının türetilmesi tamamlanmış olur.



Şekil 4.2. Modüllerin türetilmesi



Şekil 4.3. Kafes sistemin oluşturulması

10.Kolonların oluşturulması

- Pencere üzerine farenin sağ tuşuna basılır, ekrana gelen Edit Grid Data seçeneği tıklanır.
- Ekrana gelen Coordinate / Grid Systems ileti kutusunda Global seçeneğine tıklanır ve Modify/Show System... düğmesine basılır. Ekrana gelen ileti kutusunda Z radyo düğmesi seçili durumuna getirilir. Z Locaton yazı kutucuğuna -7 yazılıp Add Grid Line düğmesine basılır. 2 kez OK düğmesine basılarak pencere kapatılır.
- Quik Draw Frame düğmesine basılır, ekrana gelen Properties of Object ileti kutusundaki Property kutusundaki KOLON seçeneği tıklanır. Sol alt köşedeki düşey grid çizgisinin Z=-7 ve Z=0 grid çizgileri arasında kalan bölümün üzeri tıklanır. Böylece sol alt köşeye bir kolon yerleştirilmiş olur.
- Edit⇒Replicate ⇒dx kutucuğuna 1500 yazılır. Number 1 yazılır. böylece X yönünde 1500 cm aralıklı 1 kolon daha oluşmuş olur. Edit⇒Replicate

⇒dx kutucuğuna 2700 yazılır. Number 1 yazılır. böylece X yönünde 2700 cm aralıklı 1 kolon daha oluşmuş olur. Benzer şekilde Edit⇒Replicate ⇒dy kutucuğuna 18 yazılır. Number 2 yazılır. böylece Y yönünde 18 m aralıklı 2 kolon daha oluşmuş olur.

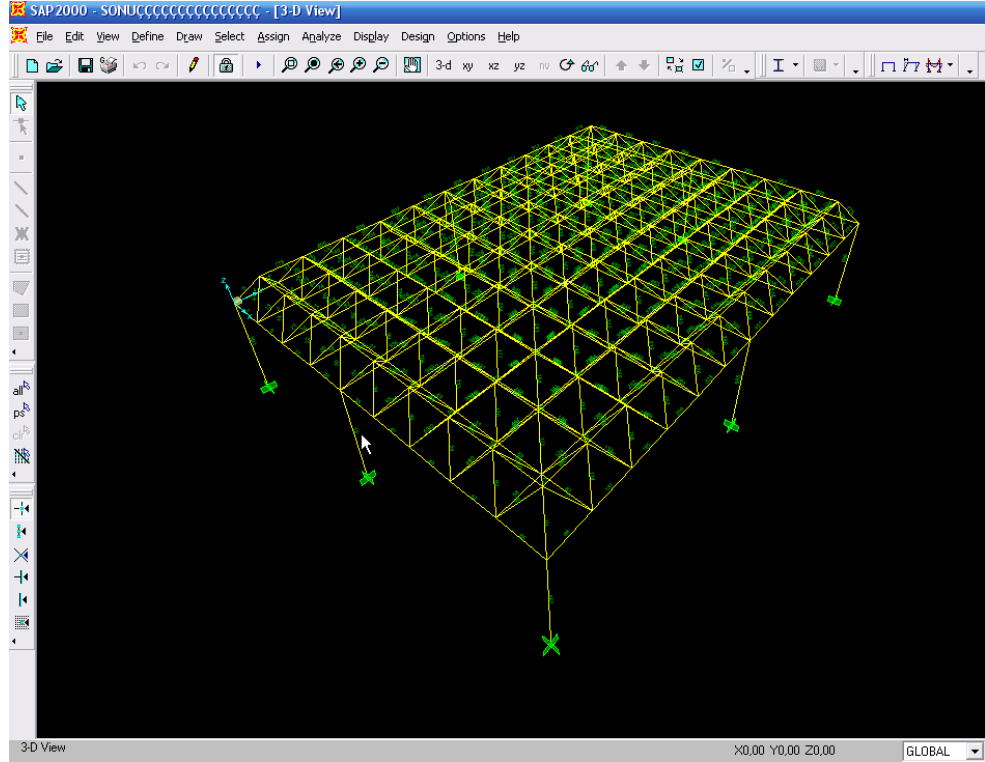
- Y yönündeki Y=36m kotundaki kolon seçilir. Edit⇒Replicate ⇒dx kutucuğuna 13.5 yazılır. Number 1 yazılır. böylece X yönünde 13.5 m aralıklı 1 kolon oluşmuş olur. Aynı şekilde Y yönündeki Y=18m kotundaki kolon seçilir. Edit⇒Replicate ⇒dx kutucuğuna 27 yazılır. Number 1 yazılır. böylece X yönünde 27 m aralıklı 1 kolon oluşmuş olur (Şekil 4.4).

11. Mesnetlerin tanımlanması

- Kolonların alt uçlarına tıklanarak seçilir.
- Üst menüden Assing ⇒Joint ⇒Restrains bölümündeki Fast Restraints kısmındaki 1. Kutucuk seçili duruma getirilip mesnetler ankastre mesnet olarak tanımlanmış olur.

12. Çubukların sadece eksenek kuvvet taşıması için ;

- Select⇒Select Frame /Cable Sections seçeneği tıklanır. B1, B2 ve B3 seçenekleri Ctrl yardımı ile tıklanıp OK tuşuna basılır. B1, B2 ve B3 çubukları seçili duruma getirilmiş olur.
- Assign⇒ Frame /Cable⇒Releases / Partial Fixity... seçeneğine basılır. Ekranı gelen Assign Frame Releases ileti kutusundaki kafes davranışını tanımlamak için Moment 22 (Minor) ve Moment 33 (Major) büyüklüklerine ait Start ve End kutucuklarını seçili duruma getirilip OK düğmesine basılır. Böylece moment taşıma özellikleri ile ilgili terimler boşaltılmış olunur.



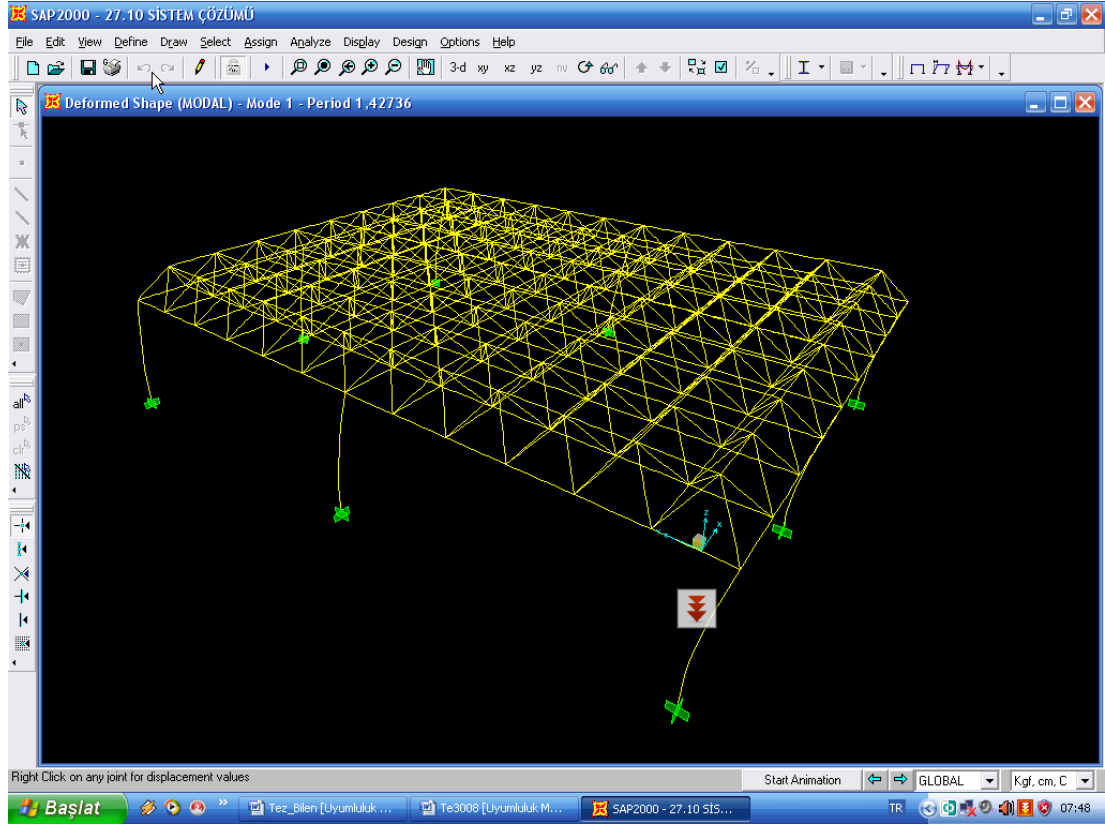
Şekil 4.4. Uzak kafes sistem

13.Kombinasyonlar

Desing ⇒ Steel Frame Desing ⇒ Select Desing Combos ekrana gelen Choose Combos penceresindeki List of combos ile Desing Combos'taki bütün kombinasyonlar yer değiştirilir. Böylelikle kombinasyonların etki etmesi sağlanır.

14. Sistemin analizi

- Run düğmesine basılır. Gelen pencerede Run Now düğmesine basılarak sistemin çözümüne başlanır.
- Analiz tamamlandığında ekrana gelen analiz adımlarını gösteren ileti kutusunda uyarı veya hata mesajları bulunmadığı görüldükten sonra ileti kutusunu kapatmak için OK düğmesine basılır. Ekranda sistemin deforme olmuş durumu görülür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Sistemin deforme olmuş durumu

15. Sistemin kontrolü

- Tasarımı yapılan sistemin yüklemeler ve kombinasyonlar altındaki çubukların ve kolonların yüklemelere karşı kontrolünü yapmak için; üst menüden Desing ⇒ Steel Frame Desing ⇒ Start desing / Check of Structure düğmesine basılır. Çubuk ve kolonların kontrolü yapılmış olur.
- Ayrıca tablo halinde görmek için Display menüsünden Show Analiz Results Tables... seçeneği tıklanıp, gelen pencerede Joint Output bölümünden Displacements kutucuğu işaretlenir. Gelen tabloda çubukların kombinasyonlara karşı analizi yapılır. Çıkan sonuçta hiçbir çubuğun değeri 1.'den büyük olmamalıdır. Aksi takdirde sistem doğru tasarlanmamış olur.

Çizelge 4.1. (TS 498) Zati karyükü (Pko) değerleri kN/m² (*)

	1	2	3	4	5
1	Yapı yerinin denizden yüksekliği	BÖLGELER			
	m	I	II	III	IV
	≤200	0.75	0.75	0.75	0.75
2	300	0.75	0.75	0.75	0.80
	400	0.75	0.75	0.75	0.80
	500	0.75	0.75	0.75	0.85
3	600	0.75	0.75	0.80	0.90
	700	0.75	0.75	0.85	0.95
	800	0.80	0.85	1.25	1.40
4	900.	0.80	0.95	1.30	1.50
	1000	0.80	1.05	1.35	1.60
5	>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar %10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde %15 artırılır.			

* Kar yağmayan yerlerde kar yükü hesap değeri sıfır alınır.

Çizelge 4.2. (TS498) Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme

Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı Emme v m/s	Emme q (kN/m ²)
0 - 8	28	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1.1
> 100	46	1.3

Uzay kafes sistem boruları TS EN 10255'e uygun olarak imal edilen orta seri dikişli borulardan göre aşağıda çapları ve et kalınlıkları belirtilen borulardan oluşabilir.

Çizelge 4.3. Boru çapları ve et kalınlıkları

Anma Çapı	Dış Çap	Et Kalınlığı	Alan
¾"	26.9 mm	2.65 mm	2.02 cm ²
1"	33.7 mm	3.25 mm	3.11 cm ²
1 ¼"	42.4 mm	3.25 mm	4.00 cm ²
1 ½"	48.3 mm	3.25 mm	4.60 cm ²
2"	60.3 mm	3.65 mm	6.50 cm ²
2 ½"	76.1 mm	3.65 mm	8.31 cm ²
3"	88.9 mm	4.05 mm	10.80 cm ²
4"	114.3 mm	4.50 mm	15.52 cm ²
4"	114.3 mm	5.40 mm	18.47 cm ²
5"	139.7 mm	4.85 mm	20.55 cm ²
5"	139.7 mm	5.40 mm	22.78 cm ²
6"	165.1 mm	4.85 mm	24.42 cm ²
6"	165.1 mm	5.40 mm	27.09 cm ²

Not: Ek Çizelge 1.'de yer alan gerilme kontrolü sütunundaki değerler 1'in altında olduğundan seçilen elemanlar güvenlidir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Çelik yapıların dezavantajları içerisinde bulunan proje azlığı ve literatür eksikliğini gidermek amacıyla bu tez kapsamı belirlenmiştir. Bu tez kapsamında; çelik ve çelik yapı tasarımı ile ilgili mevcut bilgi düzeyini artırmanın yanında, çelik yapıların SAP 2000 programı ile analizi ve tasarımı hakkında ışık tutması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada çelik yapı çözümüne örnekleme yapılmıştır. Örneğin çözümünde bilgisayar programının kullanılması, zaman kaybını azaltmış, projeye uygulanabilirlik ve güncellik kazandırmış, verimli ve etkin sonuçlanmasını sağlamıştır. Seçilen çubuk değerleri fabrikalarda üretilen boru ebatlarıdır. Bunların kullanılması bu çalışmanın uygulanabilirliğine imkan sağlamaktadır.

Ayrıca uzay kafes sistemlerin üretim ve montaj hataları anlatılmış ve çöken bir yapının, çökme nedeni araştırılmış ve alınacak önlemler açıklanmıştır. Kar yükünün yapıya etkisi anlatılmış, proje yapılırken bölgenin ve karakteristik yüklemelerin dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

4. Bölümde 36m açıklıklı ve 9m yüksekliğinde kafes sistemin, SAP 2000'de modellenmesi ve çözümü yapılmıştır. Yapıya ait özellikler dikkate alınarak ve TS 498 ve TS648 ve güncel yönetmelikler kullanılarak statik yükler ve rüzgarın etkisinde yük analizi için gerekli olan değerler ilgili tablolardan okunmuştur. Ekte verilen tabloda elemanlarda oluşan aksel basınç ve çekme değerleri, elemanların analiz değerleri verilmiş ve gerekli kontroller yapılmıştır. Sistemin güvenli olduğu gösterilmiştir.

Bilindiği gibi inşaat mühendisliğinde tasarım yapılırken amaç en düşük maliyetle ve en güvenli yapıyı oluşturmaktır. Bu örnekte SAP 2000 programında

modelleme yapılırken, maliyeti ve ölü yükü azaltmak amacıyla daha küçük çaplı profiller denenmiştir. Fakat ölü yük azalmasına rağmen kar ve rüzgar yüklerinin etkisiyle, sistemin analizi yapıldığında kolon ve çubukların sistemi taşıyamayacağı görülmüştür. Maliyeti minimum tutmak amacıyla çubuk ve kolon değerleri büyütülerek en ekonomik ve en güvenli boru çapları bulunmuştur. Üç tip boru kullanmaktaki amaç maliyeti minimum seviyede tutmaktır.

KAYNAKLAR

- ABYYHY., 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara. 159s.
- KASIMZADE, A., 2004. Sonlu Elemanlar Metodu. Birsen Yayınevi, 454s.
- BEDFORD A. and FOWLER W., 1995. Statics Engineering Mechanics. Wesley Publishing Company. 624p.
- DOĞAN M., 2002, Depreme Karşı Dayanıklı Tasarım Ders Notları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, 23s.
- ÖZMEN G., ORAKDÖĞEN E. ve DARILMAZ K., 2004. Örneklerle SAP 2000 v8. Birsen Yayınevi, İstanbul, 145s.
- ESC Web Sitesi, 2007 http://www.esc.auckland.ac.nz/teching/Engsci450FC/FEModule/fembemnotes_2up.pdf.
- AYHÜN, E., 2006. Uzak Kafes sistemlerin farklı bölge koşullarında davranışlarının incelenmesi ve karşılaştırmalı proje çözümleri. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 115s.
- UZKOM WEB SİTESİ, 2007. <http://www.uzkom.com.tr/t3.asp>.
- TS 1715, 2002. Metallerin Korozyonla Kaplanması Standardı. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 14s
- ÖZMEN G., 2004. SAP 2000 yazılımında etkileşimli veritabanı uygulamaları. Türkiye Mühendislik Haberleri. 434(1):23-29.
- ÇAĞDAŞ S., 2004. Uygulamalı SAP 2000. Türkmen Kitapevi, İstanbul, 558s.
- KOCABAŞ S., 2006. Çelik Yapıların SAP 2000 Programı ile Analiz ve Tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, 107s.
- TOPÇU A., 2006. Kar yükü ve Çöken Çatılar. Yapı Mekaniği Semineri, ODTÜ Konferans salonu, Ankara.
- TS EN 10255, 2007. Kaynak Etmeye ve Dış Açmaya Uygun Alaşimsız Çelik Borular. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 20s.
- TS 498, 1987. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 24s.
- TS 648, 1980. Çelik Yapıların Hesap ve Kural Hataları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 51s.
- TS 914 EN ISO 1461, 2001. Demir ve Çelikten Yapılmış Malzemeler Üzerine Sıcak Daldırılmış Galvaniz Kaplamalar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13s.
- TS EN ISO 10683, 2003. Bağlantı Elemanları-Elektrolitik Olarak Uygulanmayan Çinko Pul Kaplamalar. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 13s
- TS ISO 9227, 1999. Korozyon Deneyleri-Yapay Atmosferlerde Tuz Püskürtme Deneyleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 20s
- SANAYİTESİSLERİ WEB SİTESİ, 2008. <http://www.sanayitesisleri.com/uzaykafes.asp>.
- NERU WEB SİTESİ, 2008. <http://www.neru.com>.
- ÖZGÜR Z., 2006. Prefabriğe Çelik Uzak Kafes Çatı Sistemli Büyük Açıklıklı Yapıların Sismik Performansı. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 125s.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Diyarbakır'da doğdu. İlköğretimini Diyarbakır'da tamamladı. Daha sonra Ortaöğrenimine Diyarbakır Özel Amid Lisesi'nde devam etti. 1999 yılında Şanlıurfa Harran Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde Lisans programına başladı. Ailevi nedenlerden dolayı 2001 yılında Dicle üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yapmak zorunda kaldı. 2004 yılında Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu, 2005 yılında Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitime başladı ve halen aynı bölümde öğrenimine devam etmektedir.

EKLER

Ek Çizelge 1. Uzak kafes sistem elemanlarının kontrol değerleri

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
1	B2	MAX	-1881.99	9756.65	0.226797
2	B2		-6.46E-11	-9.095E-13	0
3	B2		-1.151E-10	9.55E-12	0
4	B2	MAX	-1880.4	9748.41	0.226572
5	B3	MAX	-19010.37	3666.97	0.440844
6	B1	MAX	-999.65	5182.41	0.069366
7	B1	MAX	-1436.51	7447.16	0.22012
8	B1	MAX	-732.27	3796.23	0.163363
9	B2	MAX	-2635.49	13662.94	0.284674
10	B2		-3.81E-11	1.182E-11	0
11	B2	MAX	-1197.88	6210.08	0.119089
12	B1	MAX	-3796.23	732.27	0.094623
13	B1	MAX	-332.91	64.22	0.174693
14	B1	MAX	-590.96	3063.64	0.081029
15	B1	MAX	-1519.07	293.02	0.024278
16	B2	MAX	-2333.98	12099.82	0.177821
17	B2		-1.455E-11	1.091E-11	0
18	B2	MAX	-1665.01	8631.77	0.12009
19	B1	MAX	-293.02	1519.07	0.128063
20	B1	MAX	-82.5	427.71	0.417175
21	B1	MAX	-81.87	424.45	0.012469
22	B1	MAX	-4955.8	955.94	0.094777
23	B2	MAX	-1350.32	7000.35	0.097563
24	B2	MAX	-2.001E-11	5.457E-12	0.569271
25	B2	MAX	-1296.56	6721.65	0.006961
26	B1	MAX	-955.94	4955.8	0.305822
27	B1	MAX	-575.48	2983.4	0.92312
28	B1	MAX	-1267.41	244.48	0.00475
29	B1	MAX	-9256.35	1785.49	0.274023
30	B2	MAX	-2524.36	486.93	0.088991
31	B2		-3805.2	19726.97	0
32	B2	MAX	-199.57	1034.6	0.031512
33	B1	MAX	-1785.49	9256.35	0.945842
34	B1	MAX	-1579.61	8189.03	0.328813
35	B1	MAX	-532.42	102.7	0.291291
36	B1	MAX	-19497.53	3760.95	0.025716
37	B2	MAX	-2776.19	535.51	0.2038
38	B2		-3.638E-11	-3.638E-12	0
39	B2	MAX	-33.52	173.8	0.195171

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
40	B1	MAX	-19000.82	3665.13	0.448538
41	B1	MAX	-97.74	126.69	0.1763
42	B1	MAX	-1483.16	7689.02	0.105713
43	B1	MAX	-1658.99	8600.54	0.061826
44	B2	MAX	-1171.57	6073.69	0.350901
45	B2		-5.477E-11	5.457E-12	0
46	B2	MAX	-791.58	4103.72	0.250023
47	B1	MAX	-8600.54	1658.99	0.240493
48	B1	MAX	-266.6	51.43	0.054406
49	B1	MAX	-511.88	2653.68	0.014812
50	B1	MAX	-699.99	3628.89	0.01496
51	B2	MAX	-1891.86	9807.79	0.396296
52	B2		-3.413E-11	8.185E-12	0
53	B2	MAX	-790.27	4096.91	0.179897
54	B1	MAX	-3628.89	699.99	0.074216
55	B1	MAX	-438.29	2272.21	0.18485
56	B1	MAX	-131.79	683.23	0.015982
57	B1	MAX	-1911.12	368.64	0.109509
58	B2	MAX	-1512.53	7841.26	0.28323
59	B2	MAX	-1510.71	7831.85	0.282943
60	B2		-4.411E-11	1.069E-10	0
61	B1	MAX	-368.64	1911.12	0.135509
62	B2	MAX	-1192.46	6181.99	0.688955
63	B1	MAX	-886.76	4597.14	0.186288
64	B1	MAX	-15274.82	2946.41	0.266551
65	B2	MAX	-1412.08	7320.51	0.203921
66	B2		-1.328E-10	-1.364E-11	0
67	B2	MAX	-2909.04	15081.07	0.362879
68	B1	MAX	-5182.41	999.65	0.222846
69	B1	MAX	-80.93	419.58	0.105571
70	B1	MAX	-692.55	3590.31	0.111742
71	B1	MAX	-1412.05	272.37	0.03689
72	B2	MAX	-692.98	3592.57	0.146688
73	B2	MAX	-584.35	3029.38	0.058711
74	B1	MAX	-5702.2	1099.92	0.227815
75	B1	MAX	-69.03	357.84	0.108896
76	B1	MAX	-669.33	3469.97	0.111433
77	B1	MAX	-710.18	136.99	0.04328
78	B2	MAX	-676.41	3506.65	0.221013
79	B2	MAX	-1271.32	6590.77	0.137686

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu = \sigma / \sigma_{em}$
80	B1	MAX	-2781.17	536.47	0.130922
81	B1	MAX	-74.81	387.82	0.172485
82	B1	MAX	-403.05	2089.52	0.082146
83	B1	MAX	-2280.75	439.94	0.048153
84	B2	MAX	-1373.84	7122.29	0.557505
85	B2	MAX	-1606.42	8328.04	0.214599
86	B1	MAX	-1127.1	217.41	0.188845
87	B1	MAX	-337.76	1751.03	0.024674
88	B1	MAX	-202.71	1050.91	0.032096
89	B1	MAX	-4259.41	821.61	0.04517
90	B2	MAX	-3724.67	19309.48	0.205231
91	B2	MAX	-1681.3	8716.21	0.252621
92	B1	MAX	-2662.21	513.52	0.014423
93	B1	MAX	-447.32	2319.01	0.129791
94	B1	MAX	-1937.25	373.68	0.082626
95	B1	MAX	-304.12	58.66	0.094163
96	B2	MAX	-1473.24	7637.61	0.100687
97	B2	MAX	-1427.71	7401.56	0.241309
98	B1	MAX	-136.93	709.85	0.205738
99	B1	MAX	-681.02	131.36	0.054528
100	B1	MAX	-242.35	1256.42	0.061805
101	B1	MAX	-3869.82	746.46	0.036868
102	B2	MAX	-977.72	5068.7	0.103731
103	B2	MAX	-916.28	4750.2	0.191012
104	B1	MAX	-3552.6	685.27	0.110083
105	B1	MAX	-441.66	2289.63	0.134853
106	B1	MAX	-258.23	1338.69	0.013308
107	B1	MAX	-2660.3	513.15	0.074127
108	B2	MAX	-1362.65	7064.25	0.21263
109	B2	MAX	-391.67	2030.48	0.087918
110	B1	MAX	-2265.59	437.02	0.034735
111	B1	MAX	-604.13	3131.96	0.278129
112	B1	MAX	-234.13	1213.77	0.013004
113	B1	MAX	-4664.71	899.79	0.124226
114	B2	MAX	-2423.18	12562.27	0.438378
115	B2		-4.629E-10	1E-11	0
116	B1	MAX	-2200.51	424.46	0.069496
117	B1	MAX	-609.06	3157.51	0.254118
118	B1	MAX	-203.61	1055.57	0.016061
119	B1	MAX	-4597.14	886.76	0.12905

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
120	B2	MAX	-2195.73	11383.12	0.333268
121	B2		-1.728E-11	2.819E-11	0
122	B2	MAX	-2992.32	15512.81	0.393659
123	B1	MAX	-419.58	80.93	0.050322
124	B1	MAX	-3145.66	606.78	0.056443
125	B1	MAX	-313.83	1626.95	0.063442
126	B1	MAX	-646.28	124.66	0.105442
127	B2	MAX	-1458.7	7562.21	0.279843
128	B2	MAX	-663.95	3442.06	0.096356
129	B1	MAX	-3301.87	636.91	0.155025
130	B1	MAX	-1937	373.63	0.022893
131	B1	MAX	-513.72	2663.22	0.095175
132	B1	MAX	-76.43	1.72	0.077577
133	B2	MAX	-1438.7	7458.54	0.327243
134	B2	MAX	-1636.58	8484.35	0.246164
135	B1	MAX	-3848.88	742.42	0.194801
136	B1	MAX	-1185.77	228.73	0.010034
137	B1	MAX	-549.99	2851.28	0.090171
138	B1	MAX	-401.2	77.39	0.067556
139	B2	MAX	-2042.72	10589.91	0.480277
140	B2	MAX	-2441.15	12655.44	0.380683
141	B1	MAX	-3439.35	663.43	0.187361
142	B1	MAX	-152.31	29.38	0.069097
143	B1	MAX	-324.21	1680.77	0.012517
144	B1	MAX	-673.68	129.95	0.049635
145	B2	MAX	-3204.98	16615.3	0.304935
146	B2	MAX	-2837.49	14710.16	0.425136
147	B1	MAX	-2696.25	520.09	0.02346
148	B1	MAX	-111.85	579.87	0.131205
149	B1	MAX	-1127.82	217.55	0.021505
150	B1	MAX	-127.24	659.63	0.055799
151	B2	MAX	-2177.08	11286.46	0.214105
152	B2	MAX	-2549.24	13215.8	0.367026
153	B1	MAX	-377.81	1958.63	0.031799
154	B1	MAX	-60.69	314.63	0.166539
155	B1	MAX	-1024.77	197.67	0.007455
156	B1	MAX	-3833.07	739.37	0.05874
157	B2	MAX	-1865.08	9668.96	0.218487
158	B2	MAX	-1654.36	8576.55	0.246905
159	B1	MAX	-55.36	287.02	0.018887

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
160	B1	MAX	-485.25	2515.63	0.1867
161	B1	MAX	-1405.44	271.1	0.058139
162	B1	MAX	-3981.78	768.06	0.10121
163	B2	MAX	-2230.28	11562.25	0.331157
164	B2	MAX	-650.9	3374.42	0.100613
165	B1	MAX	-488.87	94.3	0.000912
166	B1	MAX	-519.84	2694.98	0.161475
167	B1	MAX	-1603.63	309.33	0.094082
168	B1	MAX	-3187.04	614.76	0.09589
169	B2	MAX	-2632.69	13648.44	0.451779
170	B2		-2.21E-10	1.91E-11	0
171	B1	MAX	-1184.23	228.43	0.032303
172	B1	MAX	-350.77	1818.45	0.021909
173	B1	MAX	-2163.22	417.27	0.152383
174	B1	MAX	-1055.57	203.61	0.059328
175	B2	MAX	-2134.19	11064.08	0.338752
176	B2		-3.638E-12	2.219E-10	0
177	B2	MAX	-2367.95	12275.95	0.329164
178	B1	MAX	-606.78	3145.66	0.077297
179	B1	MAX	-7700.02	1485.28	0.05204
180	B1	MAX	-48.54	251.65	0.02142
181	B1	MAX	-331.42	1718.14	0.331314
182	B2	MAX	-1751.95	9082.49	0.317934
183	B2	MAX	-1249.69	6478.64	0.194744
184	B1	MAX	-1408.08	271.61	0.079953
185	B1	MAX	-5456.34	1052.49	0.08437
186	B1	MAX	-394.05	2042.86	0.075674
187	B1	MAX	-431.5	2237	0.26403
188	B2	MAX	-1974.41	10235.75	0.372119
189	B2	MAX	-2594.18	13448.78	0.405499
190	B1	MAX	-3714.45	716.49	0.177364
191	B1	MAX	-2944	567.88	0.07105
192	B1	MAX	-553.91	2871.6	0.087412
193	B1	MAX	-231.91	1202.28	0.164462
194	B2	MAX	-2491.43	12916.09	0.456591
195	B2	MAX	-3526.9	18284.17	0.546527
196	B1	MAX	-3901.25	752.53	0.170288
197	B1	MAX	-908.52	175.25	0.04076
198	B1	MAX	-368.26	1909.14	0.042101
199	B1	MAX	-60.97	316.07	0.068408

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
200	B2	MAX	-3043.58	15778.54	0.37189
201	B2	MAX	-3935.86	20404.34	0.589169
202	B1	MAX	-2576.7	497.03	0.016876
203	B1	MAX	-88.06	456.51	0.12434
204	B1	MAX	-139.93	26.99	0.018851
205	B1	MAX	-324.44	62.58	0.010164
206	B2	MAX	-2473	12820.55	0.293993
207	B2	MAX	-3685.25	19105.1	0.533069
208	B1	MAX	-219.44	1137.63	0.010905
209	B1	MAX	-218.75	1134.03	0.188928
210	B1	MAX	-1372.45	264.74	0.042183
211	B1	MAX	-3483.78	672	0.066395
212	B2	MAX	-2121.03	10995.88	0.262934
213	B2	MAX	-2749.76	14255.32	0.394425
214	B1	MAX	-384.42	1992.91	0.042754
215	B1	MAX	-476.36	2469.53	0.181031
216	B1	MAX	-3396.88	655.24	0.143297
217	B1	MAX	-3650.12	704.08	0.10288
218	B2	MAX	-2272.92	11783.3	0.323113
219	B2	MAX	-1322.75	6857.42	0.190307
220	B1	MAX	-455.34	2360.59	0.07944
221	B1	MAX	-421.62	2185.78	0.070409
222	B1	MAX	-5455.23	1052.28	0.265802
223	B1	MAX	-1675.71	323.23	0.074906
224	B2	MAX	-2203.33	11422.51	0.358572
225	B2		-3.729E-10	4.184E-11	0
226	B1	MAX	-281.8	1460.89	0.061256
227	B1	MAX	-122.54	635.29	0.111709
228	B1	MAX	-6843.97	1320.16	0.375318
229	B1	MAX	-417.27	2163.22	0.01005
230	B2	MAX	-1101.13	5708.49	0.195127
231	B2		-2.183E-11	0	0
232	B2	MAX	-839.61	4352.7	0.126511
233	B1	MAX	-1485.28	7700.02	0.242879
234	B1	MAX	-15250.21	2941.66	0.21198
235	B1	MAX	-1078.83	208.1	0.036086
236	B1	MAX	-1165.94	6044.46	0.710059
237	B2	MAX	-1573.09	8155.22	0.280479
238	B2	MAX	-2615.42	13558.91	0.398786
239	B1	MAX	-839.76	161.99	0.054354

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
240	B1	MAX	-8616.92	1662.15	0.176915
241	B1	MAX	-413.03	2141.21	0.080064
242	B1	MAX	-912.56	4730.9	0.42186
243	B2	MAX	-2364.05	12255.74	0.403212
244	B2	MAX	-3979.64	20631.32	0.611538
245	B1	MAX	-3829.76	738.73	0.180098
246	B1	MAX	-2711.83	523.09	0.081609
247	B1	MAX	-410.76	2129.46	0.066765
248	B1	MAX	-352.52	1827.55	0.147967
249	B2	MAX	-2960.98	15350.32	0.485502
250	B2	MAX	-4661.44	24165.88	0.711329
251	B1	MAX	-3790.63	731.19	0.162157
252	B1	MAX	-378.65	73.04	0.009006
253	B1	MAX	-276.5	1433.41	0.038502
254	B1	MAX	-29.18	151.29	0.028316
255	B2	MAX	-3240.89	16801.45	0.443017
256	B2	MAX	-4992.36	25881.44	0.747124
257	B1	MAX	-2516.95	485.5	0.059552
258	B1	MAX	-109.83	569.4	0.117433
259	B1	MAX	-93.68	485.68	0.02385
260	B1	MAX	-1122.7	216.56	0.013771
261	B2	MAX	-2690.75	13949.43	0.354032
262	B2	MAX	-4875.29	25274.54	0.715822
263	B1	MAX	-24.81	128.61	0.000842
264	B1	MAX	-213.33	1105.93	0.184484
265	B1	MAX	-478.42	92.28	0.013157
266	B1	MAX	-3340.69	644.4	0.051921
267	B2	MAX	-1880.65	9749.67	0.237784
268	B2	MAX	-4222	21887.76	0.615905
269	B1	MAX	-432.78	2243.61	0.063283
270	B1	MAX	-387.79	2010.4	0.190413
271	B1	MAX	-3046	587.55	0.131471
272	B1	MAX	-3792.59	731.56	0.08056
273	B2	MAX	-1316.23	6823.63	0.168917
274	B2	MAX	-2711.17	14055.29	0.398554
275	B1	MAX	-965.18	5003.68	0.169729
276	B1	MAX	-450.12	2333.52	0.045328
277	B1	MAX	-8712.79	1680.64	0.419837
278	B1	MAX	-1208.99	233.21	0.079151
279	B2	MAX	-844.9	4380.12	0.129003

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
280	B2		-2.383E-10	5.457E-12	0
281	B1	MAX	-1162.94	6028.92	0.218032
282	B1	MAX	-819.95	158.16	0.275137
283	B1	MAX	-14637.51	2823.48	0.742059
284	B1	MAX	-1320.16	6843.97	0.056345
285	B2	MAX	-4268.35	823.34	0.107188
286	B3	MAX	-6661.37	34533.92	0.826237
287	B2	MAX	-11339.64	2187.34	0.388236
288	B1	MAX	-2941.66	15250.21	0.520527
289	B1	MAX	-33671.62	6495.03	0.504397
290	B1	MAX	-304.99	1581.11	0.064268
291	B3	MAX	-2749.84	14255.73	0.955602
292	B2	MAX	-1459.83	7568.06	0.256777
293	B3	MAX	-7288.87	37787.03	0.916412
294	B1	MAX	-4559.97	879.59	0.23011
295	B1	MAX	-1584.71	305.68	0.174917
296	B1	MAX	-1171.81	226.04	0.046426
297	B1	MAX	-912.76	4731.93	0.087737
298	B2	MAX	-2711.56	14057.32	0.441599
299	B3	MAX	-6823.19	35372.87	0.868615
300	B1	MAX	-4161.31	802.69	0.199857
301	B1	MAX	-226.08	1172.04	0.052835
302	B1	MAX	-900.81	173.76	0.044327
303	B1	MAX	-251.83	1305.52	0.034048
304	B2	MAX	-3358.51	17411.2	0.529118
305	B3	MAX	-6464.36	33512.62	0.822939
306	B1	MAX	-3056.33	589.55	0.134832
307	B1	MAX	-174.58	905.08	0.004398
308	B1	MAX	-667.13	128.68	0.041267
309	B1	MAX	-45.1	233.81	0.032573
310	B2	MAX	-3556.8	18439.2	0.506239
311	B2	MAX	-6197.8	32130.69	0.927999
312	B1	MAX	-2236.62	431.43	0.077306
313	B1	MAX	-130.05	674.2	0.083711
314	B1	MAX	-10.29	53.33	0.006076
315	B1	MAX	-1075.48	207.45	0.03037
316	B2	MAX	-2994.83	15525.83	0.413202
317	B2	MAX	-6217.38	32232.23	0.920501
318	B1	MAX	-516.13	99.56	0.01965
319	B1	MAX	-45.21	8.98	0.150195

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
320	B1	MAX	-152.33	789.71	0.02783
321	B1	MAX	-2812.94	542.6	0.004558
322	B2	MAX	-1739.23	9016.54	0.22341
323	B2	MAX	-6530.2	33853.96	0.966916
324	B1	MAX	-247.09	1280.96	0.03919
325	B1	MAX	-784.36	151.3	0.223873
326	B1	MAX	-286.37	1484.62	0.060571
327	B1	MAX	-4565.79	880.71	0.037878
328	B2	MAX	-2985.48	575.88	0.154316
329	B3	MAX	-7119.87	36910.92	0.898154
330	B1	MAX	-1018.14	5278.27	0.181343
331	B1	MAX	-1483.61	286.18	0.231752
332	B1	MAX	-1432.73	276.36	0.058665
333	B1	MAX	-4946.5	954.15	0.082621
334	B2	MAX	-10681.75	2060.44	0.409781
335	B2	MAX	-6552.8	33971.1	0.996354
336	B1	MAX	-2792.95	14479.24	0.518971
337	B1	MAX	-275.7	1429.31	0.543986
338	B3	MAX	-33130.63	6390.68	0.969125
339	B1	MAX	-2823.48	14637.51	0.042953
340	B2	MAX	-4272.06	824.05	0.107241
341	B2		-7.276E-11	1.091E-10	0
342	B2	MAX	-11349	2189.15	0.388392
343	B3	MAX	-33653.71	6491.58	0.955365
344	B1	MAX	-2938.57	15234.18	0.064246
345	B1	MAX	-2749.62	14254.62	0.504393
346	B1	MAX	-304.84	1580.35	0.520261
347	B2	MAX	-1459.87	7568.29	0.256789
348	B2	MAX	-2615.07	13557.1	0.398774
349	B1	MAX	-1576.74	304.14	0.08757
350	B1	MAX	-4567.35	881.01	0.046495
351	B1	MAX	-913.13	4733.86	0.174966
352	B1	MAX	-1174.33	226.52	0.230274
353	B2	MAX	-2712.41	14061.71	0.441664
354	B2	MAX	-3978.89	20627.41	0.611509
355	B1	MAX	-226.48	1174.1	0.03407
356	B1	MAX	-4162.79	802.98	0.044471
357	B1	MAX	-252.91	1311.15	0.052935
358	B1	MAX	-907.03	174.96	0.199879
359	B2	MAX	-3359.91	17418.48	0.529217

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
360	B2	MAX	-4660.45	24160.74	0.711284
361	B1	MAX	-174.14	902.76	0.032522
362	B1	MAX	-3053.94	589.08	0.041429
363	B1	MAX	-46.77	242.48	0.004511
364	B1	MAX	-675.87	130.37	0.134754
365	B2	MAX	-3558.41	18447.56	0.506325
366	B2	MAX	-4991.41	25876.51	0.747066
367	B1	MAX	-129.01	668.8	0.030252
368	B1	MAX	-2231.74	430.49	0.006182
369	B1	MAX	-1066.98	205.81	0.083616
370	B1	MAX	-8.95	45.35	0.077135
371	B2	MAX	-2995.89	15531.34	0.413254
372	B2	MAX	-4874.56	25270.72	0.715761
373	B1	MAX	-53.47	10.31	0.004428
374	B1	MAX	-508.23	98.03	0.027798
375	B1	MAX	-2809.2	541.88	0.15015
376	B1	MAX	-151.68	786.33	0.019475
377	B2	MAX	-1739.43	9017.57	0.223413
378	B2	MAX	-4221.54	21885.33	0.615859
379	B1	MAX	-791.68	152.71	0.038004
380	B1	MAX	-248.43	1287.94	0.060603
381	B1	MAX	-4567.05	880.95	0.223905
382	B1	MAX	-286.68	1486.22	0.039274
383	B2	MAX	-2989	576.56	0.154371
384	B2	MAX	-2710.97	14054.24	0.398532
385	B1	MAX	-1487.23	286.88	0.082674
386	B1	MAX	-1018.82	5281.77	0.058503
387	B1	MAX	-4954.85	955.76	0.231902
388	B1	MAX	-1424.26	274.73	0.181373
389	B2	MAX	-10691.98	2062.41	0.409918
390	B2		-1.455E-11	2.365E-10	0
391	B1	MAX	-275.39	1427.68	0.04294
392	B3	MAX	-2792.92	14479.09	0.968912
393	B1	MAX	-2819.93	14619.13	0.54375
394	B1	MAX	-33110.48	6386.79	0.518956
395	B2	MAX	-1098.73	5696.06	0.194981
396	B2		-6.73E-11	4.602E-10	0
397	B2	MAX	-834.62	4326.84	0.126165
398	B1	MAX	-15234.18	2938.57	0.709695
399	B1	MAX	-1482.67	7686.47	0.036101

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
400	B1	MAX	-1165.58	6042.62	0.211963
401	B1	MAX	-1079.48	208.23	0.24264
402	B2	MAX	-1573.22	8155.91	0.280519
403	B2	MAX	-1248.87	6474.42	0.194705
404	B1	MAX	-8607.78	1660.38	0.421676
405	B1	MAX	-844.76	162.95	0.079995
406	B1	MAX	-912.52	4730.72	0.176938
407	B1	MAX	-412.26	2137.25	0.054475
408	B2	MAX	-2366.49	12268.39	0.403408
409	B2	MAX	-2592.21	13438.54	0.405402
410	B1	MAX	-2708.32	522.42	0.147918
411	B1	MAX	-3829.73	738.73	0.066645
412	B1	MAX	-353.16	1830.85	0.081687
413	B1	MAX	-409.44	2122.63	0.18009
414	B2	MAX	-2965.07	15371.55	0.485801
415	B2	MAX	-3524.14	18269.87	0.546385
416	B1	MAX	-379.84	73.27	0.028366
417	B1	MAX	-3788.36	730.75	0.038373
418	B1	MAX	-30.61	158.67	0.009111
419	B1	MAX	-274.86	1424.95	0.162073
420	B2	MAX	-3245.76	16826.68	0.443268
421	B2	MAX	-3933.09	20389.96	0.588999
422	B1	MAX	-108.85	564.31	0.013661
423	B1	MAX	-2513.48	484.83	0.023778
424	B1	MAX	-1113.65	214.82	0.117367
425	B1	MAX	-92.25	478.25	0.05937
426	B2	MAX	-2693.95	13965.98	0.354182
427	B2	MAX	-3682.94	19093.14	0.532899
428	B1	MAX	-211.59	1096.95	0.051796
429	B1	MAX	-26.21	135.9	0.013178
430	B1	MAX	-3336.61	643.61	0.184441
431	B1	MAX	-480.81	92.74	0.000952
432	B2	MAX	-1881.29	9753.02	0.237792
433	B2	MAX	-2748.19	14247.2	0.394304
434	B1	MAX	-386.19	2002.07	0.080458
435	B1	MAX	-433.83	2249.09	0.131398
436	B1	MAX	-3792.31	731.51	0.190415
437	B1	MAX	-3043.41	587.05	0.063334
438	B2	MAX	-1313.87	6811.36	0.16877
439	B2	MAX	-1322.12	6854.16	0.190257

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
440	B1	MAX	-449.19	2328.69	0.079091
441	B1	MAX	-965.5	5005.36	0.419653
442	B1	MAX	-1215.21	234.41	0.04543
443	B1	MAX	-8703.41	1678.83	0.169728
444	B2	MAX	-839.28	4350.98	0.128698
445	B2		-1.455E-11	1.091E-10	0
446	B1	MAX	-820.83	158.33	0.056361
447	B1	MAX	-1162.74	6027.88	0.741737
448	B1	MAX	-1316.98	6827.52	0.274938
449	B1	MAX	-14619.13	2819.93	0.218007
450	B2	MAX	-2130.43	11044.62	0.338518
451	B2		-2.001E-11	1.346E-10	0
452	B2	MAX	-2360.27	12236.15	0.328619
453	B1	MAX	-7686.47	1482.67	0.330989
454	B1	MAX	-605.09	3136.92	0.02139
455	B1	MAX	-330.93	1715.6	0.052002
456	B1	MAX	-48.1	249.38	0.077126
457	B2	MAX	-1752.05	9083.02	0.317997
458	B2	MAX	-662.36	3433.84	0.096254
459	B1	MAX	-5447.25	1050.74	0.263845
460	B1	MAX	-1408.15	271.62	0.075582
461	B1	MAX	-430.85	2233.64	0.08434
462	B1	MAX	-392.96	2037.19	0.079972
463	B2	MAX	-1977.96	10254.14	0.372432
464	B2	MAX	-1632.57	8463.59	0.245921
465	B1	MAX	-2938.17	566.75	0.164376
466	B1	MAX	-3711.52	715.93	0.08728
467	B1	MAX	-231.62	1200.76	0.071074
468	B1	MAX	-552.52	2864.36	0.177302
469	B2	MAX	-2497.68	12948.47	0.457089
470	B2	MAX	-2435.29	12625.04	0.380347
471	B1	MAX	-906.86	174.93	0.068417
472	B1	MAX	-3899.18	752.13	0.041962
473	B1	MAX	-61.69	319.79	0.04085
474	B1	MAX	-366.82	1901.68	0.170213
475	B2	MAX	-3051.69	15820.58	0.372273
476	B2	MAX	-2831.3	14678.06	0.424756
477	B1	MAX	-87.4	453.12	0.0103
478	B1	MAX	-2576.01	496.89	0.018803
479	B1	MAX	-315.07	60.77	0.124328

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
480	B1	MAX	-146.62	28.28	0.016687
481	B2	MAX	-2478.09	12846.93	0.29421
482	B2	MAX	-2543.76	13187.37	0.366666
483	B1	MAX	-216.89	1124.38	0.066284
484	B1	MAX	-220.67	1143.98	0.042147
485	B1	MAX	-3480.13	671.29	0.18889
486	B1	MAX	-1372.8	264.8	0.010961
487	B2	MAX	-2122.07	11001.24	0.26294
488	B2	MAX	-1650.4	8556.03	0.246659
489	B1	MAX	-474.58	2460.32	0.102773
490	B1	MAX	-384.76	1994.68	0.143178
491	B1	MAX	-3647.14	703.51	0.180975
492	B1	MAX	-3392.43	654.38	0.042734
493	B2	MAX	-2269.11	11763.55	0.322882
494	B2	MAX	-649.26	3365.88	0.100516
495	B1	MAX	-420.39	2179.38	0.074821
496	B1	MAX	-454.97	2358.66	0.265618
497	B1	MAX	-1676.78	323.44	0.070413
498	B1	MAX	-5445.83	1050.46	0.079393
499	B2	MAX	-2194.44	11376.44	0.3581
500	B2		0	1.091E-11	0
501	B1	MAX	-122.13	633.16	0.010015
502	B1	MAX	-281.32	1458.41	0.375046
503	B1	MAX	-414.99	2151.37	0.111579
504	B1	MAX	-6827.52	1316.98	0.061221
505	B2	MAX	-2191.46	11360.98	0.332992
506	B2		-1.401E-10	-9.095E-12	0
507	B2	MAX	-2982.91	15464.01	0.392971
508	B1	MAX	-3136.92	605.09	0.105208
509	B1	MAX	-419.56	80.93	0.063359
510	B1	MAX	-649.59	125.3	0.056531
511	B1	MAX	-312.77	1621.49	0.050354
512	B2	MAX	-1458.72	7562.29	0.27992
513	B2	MAX	-581.56	3014.94	0.058497
514	B1	MAX	-1928.94	372.08	0.077393
515	B1	MAX	-3293.02	635.2	0.095035
516	B1	MAX	-78.11	3.28	0.023072
517	B1	MAX	-512.02	2654.41	0.154838
518	B2	MAX	-1442.36	7477.48	0.327621
519	B2	MAX	-1264.48	6555.35	0.137188

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
520	B1	MAX	-1176.53	226.94	0.067386
521	B1	MAX	-3840.7	740.85	0.090035
522	B1	MAX	-410.77	79.24	0.009935
523	B1	MAX	-548.48	2843.44	0.194649
524	B2	MAX	-2049.85	10626.85	0.480967
525	B2	MAX	-1596.03	8274.15	0.213922
526	B1	MAX	-145.01	27.97	0.049557
527	B1	MAX	-3436.79	662.93	0.012374
528	B1	MAX	-678.16	130.81	0.069165
529	B1	MAX	-323.17	1675.39	0.187335
530	B2	MAX	-3216.21	16673.53	0.305372
531	B2	MAX	-1669.48	8654.96	0.251896
532	B1	MAX	-112.04	580.83	0.055917
533	B1	MAX	-2700.06	520.82	0.021521
534	B1	MAX	-128.91	668.29	0.131283
535	B1	MAX	-1133.62	218.67	0.023588
536	B2	MAX	-2183.25	11318.42	0.21433
537	B2	MAX	-1416.67	7344.34	0.240671
538	B1	MAX	-58.78	304.7	0.058659
539	B1	MAX	-378.72	1963.35	0.007307
540	B1	MAX	-3831.9	739.15	0.16649
541	B1	MAX	-1020.72	196.89	0.031886
542	B2	MAX	-1866.32	9675.4	0.218488
543	B2	MAX	-908.17	4708.12	0.190593
544	B1	MAX	-483.42	2506.17	0.101093
545	B1	MAX	-54.07	280.33	0.057952
546	B1	MAX	-3974.3	766.62	0.18654
547	B1	MAX	-1396.77	269.43	0.019075
548	B2	MAX	-2225.77	11538.85	0.330895
549	B2	MAX	-388.18	2012.42	0.087747
550	B1	MAX	-517.97	2685.25	0.095759
551	B1	MAX	-497.77	96.02	0.093919
552	B1	MAX	-3177.78	612.97	0.161302
553	B1	MAX	-1594.27	307.52	0.001071
554	B2	MAX	-2621.46	13590.18	0.451199
555	B2		-2.728E-12	1.137E-10	0
556	B1	MAX	-349.65	1812.64	0.059247
557	B1	MAX	-1188.54	229.26	0.152207
558	B1	MAX	-1057.3	203.95	0.021911
559	B1	MAX	-2151.37	414.99	0.032367

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
560	B2	MAX	-1408.91	7304.08	0.203704
561	B2		-4.457E-11	-1.91E-11	0
562	B2	MAX	-2899.63	15032.29	0.362171
563	B1	MAX	-80.93	419.56	0.036913
564	B1	MAX	-5165.33	996.36	0.111551
565	B1	MAX	-1418.37	273.59	0.105741
566	B1	MAX	-690.48	3579.58	0.222446
567	B2	MAX	-693.01	3592.73	0.146747
568	B2	MAX	-1192.8	6183.74	0.118683
569	B1	MAX	-70.02	363.02	0.043399
570	B1	MAX	-5679.91	1095.62	0.111224
571	B1	MAX	-725.35	139.92	0.109297
572	B1	MAX	-666.96	3457.67	0.227292
573	B2	MAX	-678.67	3518.38	0.221324
574	B2	MAX	-1655.04	8580.07	0.119281
575	B1	MAX	-77.17	400.05	0.048383
576	B1	MAX	-2766.15	533.57	0.08203
577	B1	MAX	-2299.61	443.58	0.172946
578	B1	MAX	-401.44	2081.15	0.130618
579	B2	MAX	-1379.32	7150.69	0.558358
580	B2	MAX	-1281.65	6644.36	0.005765
581	B1	MAX	-340.73	1766.41	0.045366
582	B1	MAX	-1119.63	215.97	0.032265
583	B1	MAX	-4279.58	825.5	0.024638
584	B1	MAX	-202.2	1048.23	0.188893
585	B2	MAX	-3738.56	19381.46	0.205567
586	B2	MAX	-179.56	930.86	0.030284
587	B1	MAX	-449.44	2329.99	0.09426
588	B1	MAX	-2669.64	514.96	0.082789
589	B1	MAX	-302.94	58.43	0.129942
590	B1	MAX	-1941.98	374.6	0.014396
591	B2	MAX	-1478.31	7663.88	0.100826
592	B2	MAX	-14.04	72.79	0.194256
593	B1	MAX	-689.66	133.03	0.036827
594	B1	MAX	-136.47	707.47	0.062031
595	B1	MAX	-3872.34	746.95	0.054382
596	B1	MAX	-244.97	1269.96	0.206137
597	B2	MAX	-978.68	5073.68	0.103733
598	B2	MAX	-778.4	4035.37	0.249411
599	B1	MAX	-440.11	2281.62	0.074003

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
600	B1	MAX	-3575.61	689.71	0.013488
601	B1	MAX	-2645.12	510.23	0.134556
602	B1	MAX	-261.28	1354.55	0.110457
603	B2	MAX	-1359.12	7045.95	0.212435
604	B2	MAX	-783.65	4062.6	0.179585
605	B1	MAX	-601.35	3117.52	0.124045
606	B1	MAX	-2285.61	440.88	0.013082
607	B1	MAX	-4638.54	894.74	0.277687
608	B1	MAX	-235.73	1222.06	0.035035
609	B2	MAX	-2411.6	12502.23	0.437797
610	B2		-3.138E-11	1.114E-10	0
611	B1	MAX	-606.51	3144.26	0.128892
612	B1	MAX	-2208.89	426.08	0.016063
613	B1	MAX	-4577.24	882.92	0.253781
614	B1	MAX	-203.95	1057.3	0.069619
615	B2		-2.547E-11	1.648E-11	0
616	B2	MAX	-1875.99	9725.5	0.226334
617	B2	MAX	-1874.38	9717.2	0.226109
618	B1	MAX	-996.36	5165.33	0.16307
619	B1	MAX	-18948.86	3655.11	0.219758
620	B1	MAX	-727.41	3771.07	0.068898
621	B2	MAX	-1432.79	7427.89	0.550629
622	B2		-1E-11	2.456E-11	0
623	B2	MAX	-2624.49	13605.9	0.283821
624	B1	MAX	-329.61	63.58	0.024381
625	B1	MAX	-3771.07	727.41	0.080839
626	B1	MAX	-1538.06	296.68	0.175213
627	B1	MAX	-589.13	3054.16	0.093985
628	B2		-1.417E-11	1.455E-11	0
629	B2	MAX	-2319.2	12023.25	0.17665
630	B1	MAX	-84.36	437.34	0.095036
631	B1	MAX	-296.68	1538.06	0.01264
632	B1	MAX	-4978.41	960.3	0.417878
633	B1	MAX	-80.71	418.44	0.128444
634	B2	MAX	-1.637E-11	9.095E-12	0.570109
635	B2	MAX	-1331.06	6900.5	0.099581
636	B1	MAX	-578.84	3000.81	0.274522
637	B1	MAX	-960.3	4978.41	0.004748
638	B1	MAX	-9290.85	1792.14	0.924499
639	B1	MAX	-1272.94	245.54	0.306337

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
640	B2		-3818.85	19797.73	0
641	B2	MAX	-2659.7	513.04	0.09101
642	B1	MAX	-1586	8222.16	0.025689
643	B1	MAX	-1792.14	9290.85	0.291777
644	B1	MAX	-19566.62	3774.27	0.329315
645	B1	MAX	-530.96	102.42	0.947216
646	B2		-2.183E-11	1.091E-11	0
647	B2	MAX	-2911.3	561.57	0.202618
648	B1	MAX	-97.8	126.43	0.061938
649	B1	MAX	-19069.97	3678.47	0.105969
650	B1	MAX	-1665.77	8635.7	0.176629
651	B1	MAX	-1489.77	7723.28	0.449223
652	B2		-3.638E-12	3.709E-12	0
653	B2	MAX	-1152.49	5974.76	0.349994
654	B1	MAX	-275.33	53.11	0.01487
655	B1	MAX	-8635.7	1665.77	0.014955
656	B1	MAX	-705	3654.87	0.054681
657	B1	MAX	-515.33	2671.59	0.240942
658	B2		-2.64E-11	0	0
659	B2	MAX	-1877.93	9735.58	0.395619
660	B1	MAX	-435.77	2259.15	0.109369
661	B1	MAX	-3654.87	705	0.015913
662	B1	MAX	-1879.25	362.49	0.184351
663	B1	MAX	-133.17	690.4	0.074592
664	B2	MAX	-1503.08	7792.29	0.282568
665	B2	MAX	-1504.93	7801.85	0.282858
666	B1	MAX	-1187.65	6157.03	0.266268
667	B1	MAX	-362.49	1879.25	0.186041
668	B2	MAX	-15198.09	2931.61	0.688047
669	B1	MAX	-882.92	4577.24	0.135144
670	B2	MAX	-12899.1	2488.15	0.35313
671	B2	MAX	-15818.2	3051.23	0.452053
672	B2	MAX	-12485.23	2408.32	0.352106
673	B2	MAX	-2986.11	576	0.069114
674	B2	MAX	-3143.16	16294.79	0.467448
675	B2	MAX	-1796.77	346.59	0.111483
676	B2	MAX	-9591.23	1850.08	0.456749
677	B2	MAX	-9657.49	1862.87	0.57807
678	B2	MAX	-12421.38	2396	0.471605
679	B2	MAX	-18086.35	3488.74	0.65695

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
680	B2	MAX	-19061.34	3676.81	0.690844
681	B2	MAX	-14002.41	2700.97	0.506254
682	B2	MAX	-110.61	573.43	0.016582
683	B2	MAX	-6146.37	31864.07	0.910191
684	B2	MAX	-114.29	592.49	0.016808
685	B2	MAX	-13965.35	2693.82	0.505701
686	B2	MAX	-19009.54	3666.81	0.69007
687	B2	MAX	-18028.34	3477.55	0.656084
688	B2	MAX	-12375.22	2387.1	0.451364
689	B2	MAX	-4370.87	843.11	0.084626
690	B2	MAX	-10172.34	1962.18	0.166361
691	B2	MAX	-12625.07	2435.29	0.168215
692	B2	MAX	-10590.58	2042.85	0.217895
693	B2	MAX	-5356.12	1033.16	0.253194
694	B2	MAX	-3684.98	710.81	0.324644
695	B2	MAX	-5351.12	1032.2	0.283086
696	B2	MAX	-10580.91	2040.99	0.130673
697	B2	MAX	-12612.3	2432.83	0.071696
698	B2	MAX	-10159.94	1959.79	0.202672
699	B2	MAX	-4364.81	841.94	0.356603
700	B2	MAX	-3786.03	730.3	0.490969
701	B2	MAX	-8849.3	1706.97	0.460853
702	B2	MAX	-11321.43	2183.83	0.375093
703	B2	MAX	-11696.94	2256.26	0.234676
704	B2	MAX	-11961.07	2307.21	0.08599
705	B2	MAX	-14011.38	2702.7	0.125784
706	B2	MAX	-11966.96	2308.35	0.342689
707	B2	MAX	-11708.75	2258.54	0.55793
708	B2	MAX	-11338.13	2187.05	0.693608
709	B2	MAX	-8866.82	1710.35	0.665994
710	B2	MAX	-3795.48	732.12	0.536168
711	B2	MAX	-9372.05	1807.81	0.334427
712	B2	MAX	-11293.88	2178.52	0.123518
713	B2	MAX	-11892.91	2294.06	0.243723
714	B2	MAX	-12977.33	2503.24	0.562644
715	B2	MAX	-14952.78	2884.29	0.767268
716	B2	MAX	-17048.61	3288.56	0.865742
717	B2	MAX	-14964.76	2886.6	0.848718
718	B2	MAX	-13001	2507.81	0.744715
719	B2	MAX	-11926.87	2300.62	0.544859

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
720	B2	MAX	-11333.9	2186.24	0.234462
721	B2	MAX	-9407.03	1814.55	0.64694
722	B2	MAX	-9208.33	1776.23	0.843681
723	B2	MAX	-10930.92	2108.5	0.913562
724	B2	MAX	-11696.83	2256.24	0.934828
725	B2	MAX	-13352.34	2575.58	0.914033
726	B2	MAX	-15767.75	3041.5	0.875921
727	B2	MAX	-17846.13	3442.4	0.815425
728	B2	MAX	-15781.53	3044.15	0.639845
729	B2	MAX	-13378.99	2580.72	0.646913
730	B2	MAX	-11733.86	2263.38	0.843652
731	B2	MAX	-10972.93	2116.61	0.913527
732	B2	MAX	-9243.92	1783.09	0.934788
733	B2	MAX	-3095.49	597.1	0.913985
734	B2	MAX	-7308.41	1409.74	0.875874
735	B2	MAX	-10210.93	1969.62	0.815387
736	B2	MAX	-12570.3	2424.73	0.639816
737	B2	MAX	-14985.4	2890.58	0.243694
739	B2	MAX	-14996.78	2892.78	0.767146
740	B2	MAX	-12591.62	2428.84	0.865594
741	B2	MAX	-10238.21	1974.88	0.848545
742	B2	MAX	-7333.71	1414.62	0.744559
743	B2	MAX	-3107.71	599.46	0.544757
744	B2	MAX	-2206.61	425.64	0.234424
745	B2	MAX	-6085.53	1173.86	0.125713
746	B2	MAX	-9129.07	1760.94	0.342491
747	B2	MAX	-10384.32	2003.07	0.557617
748	B2	MAX	-11114.82	2143.97	0.693244
749	B2	MAX	-12723.66	2454.31	0.665589
750	B2	MAX	-11119.08	2144.8	0.535821
751	B2	MAX	-10392	2004.55	0.334215
752	B2	MAX	-9138.2	1762.7	0.123444
753	B2	MAX	-6093.22	1175.34	0.07154
754	B2	MAX	-2210.34	426.36	0.20223
755	B2	MAX	-4139.65	798.51	0.355913
756	B2	MAX	-9408.19	1814.78	0.490199
757	B2	MAX	-11485.22	2215.42	0.460039
758	B2	MAX	-9302.52	1794.4	0.374431
759	B2	MAX	-3968.83	765.56	0.234281
760	B2	MAX	-2462.13	474.93	0.085856

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
761	B2	MAX	-3963.22	764.48	0.084293
762	B2	MAX	-9291.59	1792.29	0.165499
763	B2	MAX	-11470.76	2212.63	0.166876
764	B2	MAX	-9394.51	1812.14	0.216387
765	B2	MAX	-4133.3	797.29	0.25174
766	B2	MAX	-14325.47	2763.29	0.323541
767	B2	MAX	-19781.36	3815.69	0.282402
768	B2	MAX	-19548.36	3770.75	0.130411
769	B2	MAX	-13213.81	2548.86	0.352258
770	B2	MAX	-435.72	2258.89	0.350633
771	B2	MAX	-6548.73	33949.99	0.066966
772	B2	MAX	-439.13	2276.53	0.469996
773	B2	MAX	-13180.34	2542.4	0.109307
774	B2	MAX	-19503.29	3762.06	0.455189
775	B2	MAX	-19732.9	3806.35	0.576949
776	B2	MAX	-14288.07	2756.07	0.470921
777	B2	MAX	-3571.16	688.85	0.1593
778	B2	MAX	-7740.71	1493.13	0.370595
780	B2	MAX	-9795.83	1889.55	0.3838
781	B2	MAX	-5582.18	1076.76	0.191072
782	B2	MAX	-1982.36	382.38	0.136042
783	B2	MAX	-3356.64	647.47	0.190998
784	B2	MAX	-9090.33	1753.46	0.383655
785	B2	MAX	-14612.07	2818.57	0.459192
786	B2	MAX	-18231.54	3516.74	0.37041
787	B2	MAX	-19083.45	3681.07	0.159209
788	B2	MAX	-15416.19	2973.68	0.138599
789	B2	MAX	-9494.63	1831.45	0.3242
790	B2	MAX	-3486.7	672.56	0.415453
791	B2	MAX	-6439.33	1242.11	0.42904
792	B2	MAX	-14840.43	2862.62	0.433623
793	B2	MAX	-20241.92	3904.53	0.483733
794	B2	MAX	-23202.32	4475.57	0.433711
795	B2	MAX	-23876.58	4605.63	0.429216
796	B2	MAX	-21276.5	4104.1	0.415702
797	B2	MAX	-15569.41	3003.24	0.324462
798	B2	MAX	-6689.74	1290.41	0.13874
799	B2	MAX	-17625.72	3399.89	0.341857
800	B2	MAX	-22618.8	4363.02	0.413108
801	B2	MAX	-24364.99	4699.85	0.436462

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
802	B2	MAX	-25248.86	4870.34	0.476468
803	B2	MAX	-25526.83	4923.96	0.543617
804	B2	MAX	-24774.69	4778.87	0.594535
805	B2	MAX	-22933.93	4423.8	0.543796
806	B2	MAX	-17699.51	3414.12	0.476821
807	B2	MAX	-17623.79	3399.51	0.436969
808	B2	MAX	-22616.26	4362.53	0.413705
809	B2	MAX	-24361.85	4699.24	0.34238
810	B2	MAX	-13464.75	2597.26	0.335191
811	B2	MAX	-9795.83	1889.55	0.397976
812	B2	MAX	-5582.18	1076.76	0.426036
813	B2	MAX	-1982.36	382.38	0.486508
814	B2	MAX	-3356.64	647.47	0.574576
815	B2	MAX	-9090.33	1753.46	0.650325
816	B2	MAX	-14612.07	2818.57	0.574781
817	B2	MAX	-18231.54	3516.74	0.486906
818	B2	MAX	-19083.45	3681.07	0.426588
819	B2	MAX	-15416.19	2973.68	0.398604
821	B2	MAX	-25524.15	4923.44	0.11203
822	B2	MAX	-24772.38	4778.43	0.264348
823	B2	MAX	-22931.99	4423.43	0.36889
824	B2	MAX	-17697.68	3413.77	0.454695
825	B2	MAX	-6436.78	1241.61	0.547662
826	B2	MAX	-14833.62	2861.31	0.630221
827	B2	MAX	-20231.46	3902.52	0.547832
828	B2	MAX	-23190.75	4473.34	0.455013
829	B2	MAX	-23866.68	4603.72	0.369297
830	B2	MAX	-21268.34	4102.52	0.264726
831	B2	MAX	-15564.19	3002.23	0.112213
832	B2	MAX	-6687.76	1290.02	0.079807
833	B2	MAX	-3351.7	646.52	0.220299
834	B2	MAX	-9076.09	1750.72	0.330433
835	B2	MAX	-14588.82	2814.09	0.376627
836	B2	MAX	-18204.44	3511.52	0.408454
837	B2	MAX	-19059.12	3676.38	0.491452
838	B2	MAX	-15395.24	2969.64	0.408518
839	B2	MAX	-9481.32	1828.88	0.376742
840	B2	MAX	-3481.97	671.65	0.330569
841	B2	MAX	-2329.83	449.41	0.220414
842	B2	MAX	-6373.43	1229.39	0.079863

Ek Çizelge 1 (Devamı)

Eleman Numarası	Eleman Kesit İsmi	Tasarımın Yapıldığı Kombinasyon	Elemanda Oluşan Eksenel Basınç Kuvveti (KN)	Elemanda Oluşan Eksenel Çekme Kuvveti (KN)	Gerilme Kontrolü * $\mu=\sigma/\sigma_{em}$
843	B2	MAX	-10206.37	1968.74	0.151392
844	B2	MAX	-12562.26	2423.18	0.34429
845	B2	MAX	-13413.18	2587.31	0.421096
846	B2	MAX	-9749.62	1880.64	0.343338
847	B2	MAX	-5552.59	1071.06	0.15121
848	B2	MAX	-1971.94	380.37	0.090684
849	B2	MAX	-3553.62	685.47	0.151126
850	B2	MAX	-7694.9	1484.3	0.343174
851	B2	MAX	-8799.86	1697.43	0.42088
852	B2	MAX	-6804.58	1312.56	0.344085
853	B2	MAX	-5824.33	1123.47	0.151298
854	B2	MAX	-4476.25	863.44	0.525045
855	B2	MAX	-4478.01	863.78	0.726235
856	B2	MAX	-2292.23	442.16	0.719585
857	B2	MAX	-12853.38	2479.33	0.489081
858	B2	MAX	-15743.19	3036.76	0.062163
859	B2	MAX	-12380.76	2388.17	0.987505
860	B2	MAX	-2840.46	547.91	0.062372
869	KOLON	MAX	-26504.48	5112.54	0.52328
870	KOLON	MAX	-10425.8	2011.07	0.161681
871	KOLON	MAX	-46184.79	8908.74	0.306788
872	KOLON	MAX	-45441.02	8765.27	0.307206

ÖZET

Dünya'da çelik vazgeçilmez bir malzeme haline gelmiştir. Ülkemizde de çeliğin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bunun nedeni ise. günden güne değişen, artan ihtiyaçlar ve bilinçlenen toplum çerçevesinde. yapılarda özellikle aranan depreme karşı performans. imalatta yüksek kalite ve uygulamada kontrol edilebilirlik. yapı ağırlığının az olması. düşük temel maliyeti. inşaat süresinin kısalması. mekanda tasarruf vb. gibi vasıflara uygunluğudur.

Çelik malzeme estetik. işlevsellik. kullanım ömrü gibi yapının rekabet gücünü artıran yönler açısından düşünüldüğünde projelendirmeyi yapan mühendise. yapı tasarımına. programlamaya özellikle detaylandırma ve uygulama konusunda değişik seçenekler sunmaktadır.

Kullanılan uzay kafes sistemlerinin gelişmesi ile birlikte. inşaat mühendisliğinde uzay kafes sistemlerinin analizi. tasarımı ve farklı çözüm yöntemlerinin araştırılmasına neden olmuştur. Birçok çözüm yönteminin kullanılmasına karşın; sonlu elemanlar yöntemi günümüzde uygulanan çözüm yöntemleri arasında en kolay ve en kesin sonuçları elde etmek için kullanılan yöntemlerden birisidir. Mühendislik problemlerinin çoğunun çözümünü elde etmek için sonlu elemanlar yöntemi. sayısal bir yöntemdir. Sonlu elemanlar metodunun esası. yapı sistemlerinin sonlu sayıda elemandan oluştuğu ve bu elemanların sonlu sayıdaki düğüm noktalarında birbirine bağlandığı kabulüne dayanmaktadır. Bu metot üç boyutlu yapılarda kullanılırken yapılacak tek kabul deplasman fonksiyonunun iki düğüm noktası arasında ve elastik eksen boyunca sürekli olduğudur. İki boyutlu elemanların birleşimi ile de elastik ortam teşkil edilebilir. Sonlu elemanlar metodu sürekli ortam problemlerinde çözülmektedir. Yapı sistemini oluşturan elemanların farklı malzemelerden olması durumunda metot geçerlidir.

Tez çalışması; sistemin genel tanıtımı. teknik özellikleri. tam çözümlü ve sonlu elemanlar metodu/SAP 2000 programı kullanarak güncel bir projenin adım adım çözümü. kafes sistemlerin rüzgar ve kar yükleri etkisi altındaki davranışının

incelenmesi ve sonuçların değerlendirilmesi. olmak üzere beş bölümden oluşmaktadır.

Bu tez kapsamında SAP 2000 programında modelleme yapılırken, maliyeti ve ölü yükü azaltmak amacıyla daha küçük çaplı profiller denenmiştir. Fakat ölü yük azalmasına rağmen kar ve rüzgar yüklerinin etkisiyle, sistemin analizi yapıldığında kolon ve çubukların sistemi taşıyamayacağı görülmüştür. Maliyeti minimum tutmak amacıyla çubuk ve kolon değerleri büyütülerek en ekonomik ve en güvenli boru çapları bulunmuştur.

SUMMARY

The popularity of using the steel as a construction material has been increased worldwide owing to its indispensability in the current market today. The utilisation of this construction material is swiftly spreading in abroad as well as in our country. The main reasons of this demand are the conformity of steel's performance against earthquakes, high quality in the production, easily controllable in the application, the lightness of the provided contractions, low cost, shorter period of construction, efficiency in the space etc. The efficiency and the reliability of the steel products used in the construction market are being improved on a daily basis since the needs and awareness of society for this material is increasing.

Considering the aesthetics, functionality, lifespan of steel and other aspects, the competitiveness of this material is developing in the market. Steel provides various options to the design of buildings i.e. from the design programming to the project handling especially in terms of detailing and application it is a crucial part of modern building construction.

The advancement of the space cage systems currently used in the civil engineering practices has provided the analysis which lead to the detailed analysis of designation and different solution methods. Despite the various solution methods used, the Finite Elements Method (FEM) provides the most accurate results in terms of the accuracy of the chosen model. FEM is a well-known numerical method used for analysing the most of the engineering problems. The basic concept of this method stems from the fact that the structural systems consist of finite number of elements and these elements are bound together in the finite number of binding points denoted as nodal points. The single displacement function is assumed to be constant between nodal points and along by the elastic axis in 3D structures. Elasticity is assumed with the combination of 2D elements. The model developed using FEM is solved with the various set problems. The different material types provided for the elements are included in the model developed. The applicability of the model and the solution technique are also discussed.

This thesis studies the research areas that are; general demonstration of the system's model, the detailed technical specifications required, the analysis of model developed using FEM, full solution technique and its step by step solution process adopted. The finite element analyses are carried out by using the commercial FEM software named SAP 2000. The behaviours of cage systems under the effects of wind and snow loads are also obtained in these FEM solutions. The results provided are assessed in terms of the variables included in the solution technique.

In order to reduce the cost and dead load of the system modelled various elements having different diameters are analysed and comparatively small profiles are chosen in modelling process with SAP 2000. Although the small diameters reduces the dead load, the snow and wind loads however caused instability in the colons and bearing elements whilst analysing the system with relatively small diameters. Because of this reason the most economical and safe pipe diameter is obtained by increasing the size of colons and bearing elements meantime concerning the minimum cost.