

183 sh -

GENİŞ AÇIKLIKLI MEKANLARIN ÜSTÜNÜ ÖRTEN TAŞIYICI SİSTEM İNCELEMESİ

119642

Dokuz Eylül Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi
Mimarlık Bölümü, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Tayfun ATALAY

T-119642

Ekim, 2002

İZMİR

Yüksek Lisans Tezi Sınav Sonuç Formu

Tayfun ATALAY, tarafından; Yard. Doç. Dr. Abdullah SÖNMEZ yönetiminde hazırlanan “GENİŞ AÇIKLI MEKANLARIN ÜSTÜNÜ ÖRTEN TAŞIYICI SİSTEM İNCELEMESİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Abdullah Sönmez

Yönetici

Doç. Dr. Yeşim Kaniye Akıncı Arslan

[Signature]

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. H. Murat Güneş

[Signature]

Jüri Üyesi

[Signature]

Prof. Dr. Cahit Helvacı

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜRLER

Tez çalışmam boyunca yoğun çalışmalarına rağmen çok değerli bilgileri ile yardım ve önerilerini esirgemeyen, her zaman destek olan, eleştirileri ile araştırmalarımı yönlendirerek, olumlu yaklaşımlarıyla bana yol gösteren hocam Yard. Doç. Dr. Abdullah Sönmez'e teşekkürü borç bilirim. Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'ndeki taşıyıcı sistem analizi konusunda gerekli verilerin sağlanmasında yardımcı olan Yard. Doç. Dr. Cengiz Yesügey'e çok teşekkür ederim. Tez süresince bana her bakımdan destek olan aileme ve yakınlarıma, bu tezin tamamlanmasındaki tüm katkılarından dolayı sonsuz teşekkürler.

Tayfun ATALAY

ÖZET

İnsanların barınma ve fiziksel çevre gereksinmelerinin karşılamada mevcut taşıyıcı sistemlerin ve mekansal düzenlemelerin tekrarı yeterli gelmemekte; teknolojinin gelişimi ve toplumsal ilişkilerin değişimi ile birlikte yeni mekan tipleri ve yeni taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesine duyulan gereksinim giderek artmaktadır.

İnsanoğlu ilk çağlardan beri, daha geniş açıklıklı yapılar elde etmek için kullandığı malzemenin niteliklerini zorlamış ve çeşitli taşıyıcı sistemler geliştirmiştir. Bu taşıyıcı sistemleri, malzeme kullanımı açısından daha etkin ve ekonomik olarak oluşturabilmek için çeşitli geometrik biçimleri deneyerek her taşıyıcı sistem için ideal geometrik biçimleri araştırmıştır. Zaman içinde artan ihtiyaçlardan dolayı yeni mekanların oluşumunda, geniş açıklık kavramı ve bununla birlikte geniş açıklık geçme sorunu ortaya çıkmaktadır. Genel olarak, geleneksel sistemlerle geçilemeyen açıklıklara sahip yapıları, geniş açıklıklı yapılar olarak tanımlayabilmekteyiz.

Bu çalışmada, günümüzde artan geniş açıklıklı mekan ihtiyacı dikkate alınarak, geniş açıklıklı taşıyıcı sistemlerin ve bu taşıyıcı sistemlerden doğrusal çubuk elemanlarla oluşturulan, ülkemizde de diğer taşıyıcı sistemlere göre daha yaygın olarak kullanılan düzlem kafes giriş ve uzay kafes sistemler incelenmiştir. Literatür araştırmasıyla birlikte, bu iki taşıyıcı sistem için ülkemizdeki uygulamalarının durumu hakkında bir taşıyıcı sistem analiz çalışması yapılmaktadır.

Beş ana bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde, programın tanımlanması, amacı, çalışmanın yöntemi ve kapsamı açıklanmaktadır.

“Geniş Açıklıklı Yapılar ve Taşıyıcı Sistemleri” başlığı altında oluşturulan ikinci bölümde, geniş açıklıklı yapılar ve taşıyıcı sistem kavramları açıklanmıştır. Öncelikle, geniş açıklık ve geniş açıklıklı yapılar kavramı, ihtiyacı ve tarihsel süreç içinde geniş açıklıklı yapı örnekleri üzerinde durulmuştur. Taşıyıcı sistem konusu içinde de taşıyıcı sistem sınıflandırmasıyla birlikte yapının dış etkilere karşı bütünlüğünü koruyan taşıyıcı sistem kavramı, amacı ve taşıyıcı sistemin biçimlenmesine doğrudan etkisi olan yükler ve taşıyıcı sistem gereksinimleri açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde, çubuk sistemler içinde yer alan ve diğer taşıyıcı sistemlere göre ülkemizde de kullanımı daha yaygın olan, doğrusal çubuk elemanlarla oluşturulmuş düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemler incelenmektedir. Düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin imalatı, malzemesi, geometrik biçimleri, yapım sistemleri ve kurulumu açısından araştırılarak, her iki taşıyıcı sistemin tanımı, amacı, oluşum ilkeleri, bileşenleri ve birleşim özellikleri sunulmaktadır.

Dördüncü bölümde, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan çubuk elemanlı düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin uygulamalarının da bulunduğu, Atatürk Organize Sanayi Bölgesi içindeki yapıların taşıyıcı sistemlerine ilişkin bir analiz çalışması yapılmaktadır.

Sonuç bölümü olan beşinci bölümde, geniş açıklıklı yapıları taşıyıcı sistem tiplerinden olan düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemler, üçüncü bölümde elde edilen veriler ve dördüncü bölümde incelenen İzmir’deki uygulama örnekleri doğrultusunda karşılaştırılmalı olarak ele alınıp irdelenmekte ve yorumlanarak kendi içindeki farklı sınıflandırma ve tablolarla sonuçlar açıklanmaktadır.

ABSTRACT

The repetition of the present structures and spatial arrangements is not insufficient to serve needs of the environment and people's shelter. Together with the development of the technology and the changes in the social relations, the new kind of spaces and the necessity of development in the new structure increase gradually.

Since the human being has started to make buildings, they are still trying to obtain wide span buildings. They had tried to exceed the limits of the materials which were used, to obtain wide span buildings and they had developed the different structures. They had searched the ideal geometric forms of every structure by trying the different geometric forms according to using material more efficiently and economically. In the formation of the new spaces by the needs that increases over the years, the term of the wide span and the spanning become a problem. Generally, the buildings that have a spanning that can not span with the traditional structural systems, can be recognised as wide span buildings.

In this study, the need of the space which has wide span was taken into consideration. The truss and space structure that are commonly used more than according to the other structures in our country and getting formed with linear rod elements have been examined. Together with literature research, for these two structures, about the situations of the their applications in our country is made analysis.

This study consists of five chapters. The first chapter explains the introduction of the program, the aim, the method and the scope of the study.

The second chapter that is called “Wide Span Buildings and Their Structures” explains the terms of the wide span buildings and structures. In the beginning of the second chapter, terms of the wide span, wide span buildings and their needs have been explained and it has been done study of the wide span buildings that are built in the past, also in this chapter, it has been explained needs of the structures that keep the wholeness of the building against the exterior effects, together with the classification of the structures.

In the third chapter, truss and space structures that were formed with linear rod elements, have been examined. The manufacture, material, geometric forms, construction methods and assembly of the trusses and space structures have been researched. Then, the definition, goal, principles of formation, components, shape and joints of the both of these structures have been submitted.

In the fourth chapter, the structure analysis of the buildings that have truss and space structure, have been made in İzmir Atatürk Organise Industry Zone.

Finally, in the fifth chapter, trusses and space structures have been examined the direction of the information obtained in Chapter Two and Three and applications that were examined in Chapter Four comparatively and results have been explained by interpreted.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İçindekiler	VIII
Şekil Listesi	XII
Resim Listesi	XVII
Tablo Listesi	XVIII
Grafik Listesi	XIX

Bölüm Bir GİRİŞ

1.1 Konunun Tanımlanması	1
1.2 Çalışmanın Amacı	1
1.3 Çalışmanın Kapsamı	2
1.4 Çalışmanın Yöntemi	3

Bölüm İki GENİŞ AÇIKLIKLI YAPILAR ve TAŞIYICI SİSTEMLERİ

2.1 Geniş Açıklıklı Yapılar	4
2.2 Geniş Açıklıklı Yapılarda Fonksiyon	6
2.3 Geniş Açıklıklı Yapıların Ortaya Çıkışı ve Tarihsel Gelişimi	8
2.4 Taşıyıcı Sistem	18

2.5 Taşıyıcı Sistem Kavramı ve Amacı	19
2.6 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler	20
2.6.1 Düşey Yükler	20
2.6.1.1 Statik Yükler	20
2.6.1.2 Dinamik Yükler	20
2.6.2 Yatay Yükler	20
2.7 Taşıyıcı Sistem Gereksinimleri	21
2.8 Taşıyıcı Sistemlerde Oluşan Gerilmeler	22
2.9 Taşıyıcı Sistemlerin Sınıflandırılması.....	23
2.9.1 Çubuk sistemler.....	25
2.9.1.1 Tek doğrultuda yük aktaran.....	25
2.9.1.1.1 Kolon-kiriş Sistemler	25
2.9.1.1.2 Çerçeve Sistemler	32
2.9.1.1.3 Kemer Sistemler	39
2.9.1.1.4 Düzlem kafes sistemler	42
2.9.1.2 İki doğrultuda yük aktaranlar	43
2.9.1.2.1 Uzak kafes sistemler	44
2.9.2 Yüzeysel taşıyıcı sistemler	46
2.9.2.1 Düzlem yüzeyli taşıyıcı sistemler	46
2.9.2.1.1 Plak Sistemler	46
2.9.2.1.2 Katlanmış plaklar	49
2.9.2.2 Eğri yüzeyli taşıyıcı sistemler	52
2.9.2.2.1 Kabuk Sistemler	52
2.9.2.2.2 Pnömatik (Şişme) sistemler	56
2.9.3 Kablo (Asma) sistemler	59

Bölüm Üç
DÜZLEM KAFES KİRİŞ ve
UZAY KAFES SİSTEMLER

3.1 Düzlem Kafes Kirişler	64
---------------------------------	----

3.1.1 Düzlem Kafes Kirişin Denge Koşulu ve Geometrisi	66
3.1.2 Düzle Kafes Kiriş Yüksekliği – Açıklık İlişkisi	67
3.1.3 Düzlem Kafeslerde Mesnet Uygulamaları	67
3.1.4 Düzlem Kafes Kiriş Tipleri	68
3.1.5 Düzlem Kafes Kiriş ve Dikme Aralıkları Tayini	71
3.1.5.1 Kafes Kiriş Aralıkları	72
3.2 Taşıyıcı Sistem Malzemelerine Göre Düzlem Kafes Kirişler	73
3.2.1 Ahşap Düzlem Kafes Kirişler	73
3.2.1.1 Üçgen Başlıklı Düzlem Kafes Kirişler	74
3.2.1.2 Düzlem Kafeslerde Düşey Taşıyıcılar	75
3.2.1.3 Ahşap Yatay Taşıyıcı Birleşimleri	75
3.2.1.4 Ahşap Aşık Düzenlemeleri	76
3.2.2 Çelik Düzlem Kafes Kirişler	77
3.2.2.1 Çelik Kafes Kiriş Birleşim Teknikleri	77
3.2.2.2 Çelik Kafes Kirişlerde Aşık ve Rüzgar Kirişleri	81
3.2.3 Betonarme Düzlem Kafes Kirişler	81
3.2.3.1 Betonarme Kafes Kiriş Tipleri	82
3.2.3.2 Betonarme Kafes Kiriş Birleşim Teknikleri	84
3.3 Uzay Kafes Sistemler	84
3.3.1 Uzay Kafes Sistem Tanımı ve Oluşum İlkeleri	84
3.3.1.1 Uzay Kafes Sistemin Sağlaması Gereken Koşullar	86
3.3.2 Uzay Kafes Sistem Teknik Şartnamesi	87
3.3.2.1 Hesap Yöntemi	87
3.3.2.2 Uzay kafes Sistem Bileşenleri	88
3.3.2.3 Aşık Elemanları ve Aşıklar	90
3.3.2.4 Korozyona Karşı Koruma	90
3.4 Uzay Kafes Sistem Geometrilere	90
3.4.1 Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	92
3.4.1.1 Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemlerde Modüller	92
3.4.1.2 Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistem Düzenlemeleri	94
3.4.1.3 Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Yapım Sistemleri	98
3.4.2 Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler	108

3.4.2.1 Tek Eğrilikli (Silindir Yüzeyli) Uzay Kafes Sistemler	109
3.4.2.2 Çift Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler	110
3.4.2.2.1 Eş Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler.....	111
3.4.2.2.2 Ters Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler.....	116
3.5 Uzay Kafes Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları	117
3.6 Yapım Sistemlerindeki Problemler	119
3.7 Uzay Kafes Sistemlerin Kurulumu	120
3.7.1 Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistem – Düşey Taşıyıcı İlişkisi	121
3.7.2 Pantadome Sistemi - Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Kurulumu	122

Bölüm Dört

İZMİR ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ TAŞIYICI SİSTEM ANALİZİ

4.1 İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi ve Taşıyıcı Sistem Analizi	124
4.2 Düzlem Kafes Kiriş Örnekleri ve Özellikleri	127
4.2.1 İncelenen Örneklerdeki Kafes Kiriş Tipleri	129
4.2.2 Düzlem Kafes Kiriş Yüzey Alanı – Açıklık İlişkisi	133
4.2.3 Düzlem Kafes Kiriş Örneklerde Aşıklar ve Rüzgar Bağlantıları	133
4.2.4 Düzlem Kafes Kiriş Örneklerde Düşey Taşıyıcılar	134
4.3 Uzay Kafes Sistem Örnekleri ve Özellikleri	135

Bölüm Beş

SONUÇ

Sonuç	143
Kaynaklar	156
Ek 4.1 İncelenen Taşıyıcı Sistem Örneklerin Bilgi Formu	165

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yatay ve düşey elemanlarla sınırlandırılmış bir Çin kampı	5
Şekil 2.2 Fonksiyonlara göre mekanların tanımlanması	7
Şekil 2.3 İzlanda'da bir "Dolmen"	8
Şekil 2.4 Salisbury'de bir "Stonehenge"	8
Şekil 2.5 Klasik bir tapınağın üst yapısı	9
Şekil 2.6 Hadrian Villası'nın demir donatılı düz atkı kemerleri	10
Şekil 2.7 Bir kilisenin kemer ve tonoz örgüsü	11
Şekil 2.8 Pantheon, Roma	12
Şekil 2.9 Ayasofya Kilisesi, İstanbul	13
Şekil 2.10 Floransa Katedrali kubbesinin aksonometrik kesiti	13
Şekil 2.11 Süleymaniye Cami kesiti	14
Şekil 2.12 Selimiye Cami kesit ve isometrisi	15
Şekil 2.13 St. Pancras tren istasyonu, Londra	16
Şekil 2.14 Crystal Palace, Londra	16
Şekil 2.15 Sydney Opera Binası kesiti	18
Şekil 2.16 Kolon-kiriş sistem taşıyıcı elemanları	25
Şekil 2.17 Yatay ve düşey yüklerin kolon ve kiriş üzerindeki etkisi	26
Şekil 2.18 Lamine ahşap kiriş şekilleri	27
Şekil 2.19 Ahşap kolon-kiriş yan birleşimleri	27
Şekil 2.20 Kolon üstü birleşimler	28
Şekil 2.21 Çelik kolon-kiriş bağlantıları	29
Şekil 2.22 Kastella kirişi oluşumu	29
Şekil 2.23 Paralel başlıklı betonarme kirişlerin biçim ve kesitleri	30
Şekil 2.24 Üst başlığı eğimli betonarme kirişler	31

Şekil 2.25 Betonarme kolon-kiriş birleşim tipleri	32
Şekil 2.26 Çerçeve sistemlerde yük etkisi	32
Şekil 2.27 Çeşitli çelik çerçeve oluşumları	34
Şekil 2.28 Çelik çerçeve temel bağlantıları	34
Şekil 2.29 Çelik çerçeve tepe noktası bağlantıları	35
Şekil 2.30 Betonarme ankastre çerçeveler	36
Şekil 2.31 Betonarme üç mafsallı çerçeve ve tepe noktası detayı	36
Şekil 2.32 Betonarme lambdalı çerçeve ve birleşim detayı	37
Şekil 2.33 Ahşap kafes çerçeve köşe birleşimi	38
Şekil 2.34 Ahşap çerçevelerin kurulumunda "Folding leg" yöntemi	39
Şekil 2.35 Kemer tipleri	40
Şekil 2.36 Çelik kemer sistemleri	40
Şekil 2.37 Ahşap kemer sistemi	41
Şekil 2.38 Kolonlara mafsallı kemer sistemler	41
Şekil 2.39 Kansai Havaalanı uzay kafes kiriş taşıyıcıları	43
Şekil 2.40 Plak tipleri	48
Şekil 2.41 Kolon ve kirişlere oturan plaklar	48
Şekil 2.42 Kolonlara oturan plaklar	49
Şekil 2.43 Katlanmış plaklarda yüklerin mesnetlere iletimi	50
Şekil 2.44. Prizmatik ve piramidal katlanmış plak enkesitleri	51
Şekil 2.45 Katlanmış plaklardaki deformasyonlar ve önlemler	51
Şekil 2.46 Silindir tonozlar ve kombinasyonları	53
Şekil 2.47 Yarım küre ve küre kapağı kabuklar	54
Şekil 2.48 Hiperbolik paraboloid yüzeyin oluşum şekilleri	55
Şekil 2.49 Düz kenarlı HP kabukta kuvvet dağılımı	56
Şekil 2.50 Tek cidarlı şişme sistem kesitleri	58
Şekil 2.51 Kablo destekli şişme sistemler	58
Şekil 2.52 Şişme sistemlerde zemin bağlantıları	59
Şekil 2.53 Tek kablo sistemlerde statik çalışma	60
Şekil 2.54 Çift kablo sistem düzenlemeleri	61
Şekil 2.55 Hiperbolik paraboloid kablo ağları	62
Şekil 2.56 Radyal kablo ağ düzenlemeleri	62

Şekil 2.57 Çelik kablo türleri	63
Şekil 2.58 Tek ve çift kablolu düğüm noktası detayı	63
Şekil 3.1 Düzlem kafes kiriş	65
Şekil 3.2 Dolu gövdeli ve kafes gövdeli kirişler	65
Şekil 3.3 Düzlem kafes kirişin başlangıç üçgeni	66
Şekil 3.4 Labil, izostatik ve hiperstatik sistemler	66
Şekil 3.5 Düzlem kafes kirişlerin mesnet uygulamaları	68
Şekil 3.6 Farklı aralıklarla düzenlenmiş kafes kirişler	73
Şekil 3.7 Yük altında Pratt ve Howe tipi kafes kirişler	74
Şekil 3.8 Ahşap kafes kiriş çubuk birleşimleri	76
Şekil 3.9 Ahşap kafes kirişlerde aşık uygulamaları	76
Şekil 3.10 Çeşitli profillerle oluşturulabilecek perçinli başlık kesitleri	77
Şekil 3.11 Çeşitli profillerle oluşturulabilecek kaynaklı başlık kesitleri	78
Şekil 3.12 Çelik düzlem kafes kiriş birleşimleri	80
Şekil 3.13 Makas, aşık ve rüzgar kirişlerinin düzenlenmesi	81
Şekil 3.14 Paralel başlıklı betonarme kafes kiriş tipleri	83
Şekil 3.15 Üçgen başlıklı betonarme kafes kirişler	83
Şekil 3.16. Basit kiriş, kafes kiriş ve uzay kafes sistem	85
Şekil 3.17. Düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem ilişkisi	86
Şekil 3.18. İki, üç ve dört yönlü ızgara düzenlemeleri	91
Şekil 3.19. Uzay kafes sistem çubuk düzenleri	92
Şekil 3.20. 60° açıyla 4 yüzeyden oluşan dörtyüzlü	93
Şekil 3.21. Düzgün sekizyüzlü ve düzgün yirmiyüzlü	94
Şekil 3.22. Küp ve onikiyüzlü	94
Şekil 3.23. Her iki tabaka aynı olan dik kare ızgara	95
Şekil 3.24. Her iki tabakası açılı ve alt tabaka çapraz, üst tabaka dik kare ızgara.....	96
Şekil 3.25. Her iki tabakası eşkenar üçgen ızgara	97
Şekil 3.26. Dört yönlü düzenleme	97
Şekil 3.27. Mero sistem çelik bileşenleri	99
Şekil 3.28. Orona Seo sistem düğüm noktası detayı	101
Şekil 3.29 Nodus sistem düğüm noktası	102

Şekil 3.30 Oktaplatte sistem	103
Şekil 3.31. SDC (Stéphane du Château) sistemi	104
Şekil 3.32. Triodetic sistem	105
Şekil 3.33. Space Deck sistemi	108
Şekil 3.34. Tonoz uzay kafes sistem düzenlemeleri	109
Şekil 3.35. Wuppermann sistemi düğüm noktası	110
Şekil 3.36. Çift tabakalı kubbesel uzay kafes sistemi	112
Şekil 3.37. Sky Top düğüm noktası sistemi	112
Şekil 3.38. Kaburgalı Kubbeler	113
Şekil 3.39. Schwedler kubbesi	114
Şekil 3.40. Lamel kubbe uygulamaları	114
Şekil 3.41. Küre yüzeyinin eşit üçgenlere bölünmesi	115
Şekil 3.42. Jeodezik kubbe oluşumu	116
Şekil 3.43. Hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistem	117
Şekil 3.44. Düzlem yüzeyli kafes sistem-düşey taşıyıcı ilişkisi	121
Şekil 3.45. Köşe mesnetli sistemlerde basınç elemanı eğilmeleri.....	121
Şekil 3.46. Uzay kafes sistem mesnet detayları	122
Şekil 3.47. 3 mafsallı Pantadome uygulaması	123
Şekil 3.48. 5 mafsallı Pantadome uygulaması	123
 Şekil 4.1. İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi vaziyet planı	 125
Şekil 4.2. Çift korniyerli kafes giriş düğüm noktası detayı	129
Şekil 4.3. İncelenen örneklerdeki düzlem kafes giriş tipleri	129
Şekil 4.4. Düzlem kafes giriş yüzey alanı	133
 Şekil 5.1. N-Pratt ve dikmeli-V tipi düzlem kafes girişler	 145
Şekil 5.2. “H”, “T”, kutu ve daire kesitli profil kafes girişler	148

RESİM LİSTESİ

	Sayfa
Resim 2.1 1889 Makineler Galerisi, Paris	17
Resim 2.2 Uçak hangarı, Orvieto, 1936	17
Resim 2.3 Ahşap düzlem kafes giriş	42
Resim 2.4 Expo 70, Osaka, Açıklıklar 291.6m x 108m	44
Resim 2.5 Ahşap uzay kafes sistem Oguni Dome, Japonya	45
Resim 2.6 Çubuk ağı kubbesi, Astrodome, Houston	46
Resim 2.7 Küçük spor sarayı, P.L. Nervi	54
Resim 2.8. 201m açıklığındaki Tokyo Dome, Japonya	58
 Resim 3.1. Hamburg Havaalanı	 79
Resim 3.2. Mero sistem çelik küre.....	100
Resim 3.3. Mero sistemde çubuk birleşimleri	100
Resim 3.4. Moduspan sistemi bileşenleri	106
Resim 3.5. Harley sistem	107
 Resim 4.1. İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi, Çiğli	 126
Resim 4.2. Düzlem kafes giriş sistem kurulumu, İAOSB	128
Resim 4.3. Bir dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüller	136

GRAFİK LİSTESİ

	Sayfa
Grafik 4.1. Bölgedeki çalışma sonucu taşıyıcı sistem türleri	127
Grafik 4.2. Düzlem kafes kiriş sınıflandırmaları ve değerleri	130
Grafik 4.3.Çubuk düzenlemelerinin başlık tiplerine göre geçtiği en çok açıklıklar	131
Grafik 4.4. Başlık tiplerine göre N-Pratt tipi için kolon aks aralıkları, konstrüksiyon yüksekliği, dikme aralığı ilişkisi ve ortalama değerleri	132
Grafik 4.5. Uzay kafes örneklerin açıklık, konstrüksiyon yüksekliği ve düğüm noktası aralıkları	135

BÖLÜM BİR

GİRİŞ

1.1. Konunun Tanımlanması

19.yy.'da Sanayi Devrimi ile demirin seri üretime geçmesiyle geniş açıklıkların ara kolonsuz olarak geçilmesi mümkün olmuştur. Zamanla bu gelişme, artan ihtiyaca cevap verebilecek düşük maliyetli, hafif ve yeni taşıyıcı sistemlerin gelişimine neden olmuştur. Daha sonra betonla birlikte kullanılan demir ve çelik malzemede yapıya yeni boyutlar kazandırmıştır.

Artan açıklıkla birlikte, ölü yüklerin etkisi taşıyıcı sistem tasarımında daha çok artmaktadır. Böylece, monolitik ve dolu gövdeli taşıyıcı öğeleri, geniş açıklıklı yapıların taşıyıcı sistem tasarımında yeterince etkin olmamaktadır. Bu tür taşıyıcı sistem tasarımlarında, dolu gövdeli eğilmeye çalışan kirişler yerine daha etkin malzeme kullanımıyla birlikte, çekme ve basınç çubuklarıyla daha çok yükü karşılayacak yeterlilikte, düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem gibi hafif taşıyıcı sistemler oluşturulabilir (Barthel&Markert, 2001).

Günümüzün değişen ortamı kişi ve toplumları her alanda olduğu gibi barınma ve fiziksel çevre gereksinimlerinin karşılanmasında da çözüm bekleyen yeni sorunlarla yüz yüze getirmiş bulunmaktadır. Yapımı gereksinen mekanların sayıca arttırılması, artık sorunların çözümünde yeterli gelmemektedir. Teknolojinin gelişimi ve toplumsal ilişkilerin değişimi ile birlikte yeni mekan tipleri ve yeni taşıyıcı sistemlerin geliştirilmesine duyulan gereksinim giderek artmaktadır. Bu amaçla yapılan araştırmalar ve denemeler, mevcut taşıyıcı sistemlerinin etkinliklerinin artırılmasının yanı sıra daha etkin yeni sistemlerin geliştirilmesi üzerinde

yoğunlaşmaktadır. İnsan eylemlerini kolaylaştırmak ve düzene sokmak üzere yapılan tasarımlarda, en az sınır elemanı ile en büyük boşluğun sınırlandırılması isteği önemli bir tasarım ilkesi olarak karşımıza çıkmaktadır (Yurtsever, 1998).

Türkiye’de yaygın olarak kullanılan düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem uygulamalarından yola çıkarak, mimar ve mühendislerin bu sistemler üzerinde yeterince bilgi sahibi olmadığı ve deneme yanılma yöntemiyle uygulamaların yapıldığı gözlemlenmektedir. Benzer uygulamaların ve tiplerin, farklı açıklıklar için uygulandığı ve bunlarla birlikte gelen taşıyıcı sorunlarının da detaylandırılmadan gerçekleştirildiği görülmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı

Tez çalışmasının amacı, son yıllarda kullanımı hızla artan geniş açıklıklı yapıların, taşıyıcı sistemlerinin gelişim sürecini araştırmak ve taşıyıcı sistem tasarımında etkili olan kriterleri ortaya koymaktır. Taşıyıcı sistemleri inceleyerek kendi aralarında karşılaştırılmalarına olanak sağlamak ve taşıyıcı sistem seçimine yardımcı olabilecek bilgileri elde etmektir.

Bu amaç doğrultusunda yapılan çalışmada, ülkemizde de yoğun olarak kullanılan, çubuk elemanlarla oluşturulmuş düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin tasarım özellikleriyle birlikte yapım sistemlerinin belirlenmekte ve tanıtılmaktadır. Bunun için, belirli bir bölge seçilerek taşıyıcı sistem analiz çalışmasının yapılarak, konuyla ilgili literatür araştırması sonucu elde edilen bilgiler doğrultusunda Türkiye’deki uygulamalar değerlendirilmektedir.

1.3. Çalışmanın Kapsamı

“Geniş açıklıklı yapılarda taşıyıcı sistemler” adı altında hazırlanan bu çalışmada, geniş açıklıklı yapılar ve taşıyıcı sistem kavramı tanımlanmakta, tarihteki uygulamaları ile sınıflandırmalar doğrultusunda taşıyıcı sistemler incelenmektedir.

Düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin tanımı, amacı, oluşum ilkeleri, bileşenleri, teknik şartnamesi, yapım sistemleri ve biçim özellikleri açıklanmıştır.

Fabrika ve depo gibi geniş açıklıkların uygulandığı yapıların yer aldığı ve taşıyıcı sistem analiz çalışmasının yapılacağı İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'ndeki yapılar incelenmekte ve literatür bilgileri doğrultusunda düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemleri için sonuçlar değerlendirilmektedir.

1.4. Çalışmanın Yöntemi

Bu çalışmada belirlenen amaçlar ve kapsam doğrultusunda genel kavramların çıkarılarak, konuların detaylandırılması için literatür taraması, internette ve üretici firmalarda araştırma yapılmıştır.

Türkiye'de geniş açıklık gerektiren mekanlardan oluşan fabrika ve depo binalarının yoğun olarak kullanıldığı, taşıyıcı sistem analizinin yapılacağı bölge olarak İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nin seçilmesiyle gerekli olan taşıyıcı sistem bilgileri, İ.A.O.S.B. arşivi ve Çiğli Belediyesi imar arşivi bölümlerinden elde edilmiştir. Şekil 4.1.'de İ.A.O.S.B. vaziyet planında gösterilen 400 yapıya sahip bölgenin Havaalanı-Çiğli yolunun güneyinde kalan ve tüm yapıların %30'unu oluşturan 16 ada üzerindeki 135 yapının taşıyıcı sistem bilgileri, Ek 4.1.'deki bilgi formu örneğine göre toplanarak, hazırlanan tablo ve grafiklerle analiz çalışması tamamlanmaktadır. Literatür bilgileri ile uygulama bilgileri karşılaştırılarak, değerlendirme yapılmaktadır.

BÖLÜM İKİ

GENİŞ AÇIKLIKLI YAPILAR

ve TAŞIYICI SİSTEMLERİ

Geniş açıklık ve taşıyıcı sistem kavramlarının ele alındığı bu bölümde geniş açıklıklı yapılar ve bu yapıların tarihsel gelişimi ile taşıyıcı sistem gereksinimi, etkiyen yükler ve taşıyıcı sistem türleri açıklanmaktadır.

2.1. Geniş Açıklıklı Yapılar

Mimarlık özel bir yapı eylemidir. İnsanoğlunun doğal bir gereksinmesi olan korunma içgüdüsüne yanıt olarak başlanmış olmalıdır. Korunma içgüdüsü bütün canlı varlıkları, doğal çevrenin yaşama ve gelişmeyi etkileyen koşullarına uyabilmek için bir özel yapı eylemine zorluyor. Sığınmak, örtülü bir yere girmek, saklanmak ve bir yuva yapmak evrensel ve doğal olgulardır. Arıların, kuşların, karıncaların, kunduzların ve daha pek çok canlının oldukça gelişmiş bir yapım sürecine dayanan ilginç biçimli yuvaları var. Daha büyük hayvanların ve ilkel insanların bu derecede gelişmiş bir yapı faaliyetine girişmediklerini ve doğal sığınakları kullandıklarını görüyoruz.

Büyük cüsseli canlılar içinde sadece insanlar, toplumsal evrimlerinin belirli bir aşamasına geldikten sonra, büyük ölçüde bir yapı üretimini gerçekleştiriyorlar. Bu üretim herhangi bir eşyanın üretilmesinde görülen süreç içinde yapılıyor.: belirli bir gereksinme, gereksinmeye uygun bir biçim tasarımı bu biçimi ayakta tutacak bir strüktür tasarımı, biçimi gerçekleştirecek uygun malzeme ve teknik mimari yapıt için de söz konusudur. (Kuban, 1992, s.14).

Yapı üretim süreci olarak belirtilen; belirli bir gereksinim, uygun biçim tasarımı, biçimi ayakta tutacak strüktür tasarımı ve uygun malzeme-teknik seçim işlemleri doğrultusunda mimari eylemin ilk basamağı insanın içinde kendini güvende hissedebileceği sınırlı bir hacim oluşturmaktır. Gereksinimlerimize cevap verecek şekilde meydana getirilmiş basit bir örtüde belirli bir boşluğu tanımlamaktadır. Tek bir duvarda, boşluğu bir yönde sınırladığı gibi yerden belli bir yükseklikte, yatay bir öge ile sınırlanan boşluk, düşey bir öge ile sınırlanan boşluktan daha belirgindir. Bu durumda, görsel bir sınırlama ile yapının ve mekânın tam olarak ortaya çıktığını söyleyebiliriz.



Şekil 2.1 Yatay ve düşey elemanlarla sınırlandırılmış bir Çin kampı
(Ching, 1995, s.116)

Böylece, zaman içinde artan gereksinimlerden dolayı mekân oluşumunda, açıklık kavramı ve bununla birlikte açıklık geçme sorunu ortaya çıkmaktadır. Mimaride açıklık kavramını, bir taşıyıcı elemanın mesnet noktaları arasındaki uzaklık olarak tanımlayabiliriz. Açıklığın geçilmesi ise tasarımda seçilen yapı malzemesi ve strüktür olanaklarına bağlı olarak mekânın sahip olduğu açıklığın örtülmesidir.

Genel olarak, geleneksel sistemlerle geçilemeyen açıklıklar geniş açıklıklı yapılar olarak tanımlanır. Tarih boyunca, her yeni yapı kültürü gittikçe daha büyük açıklıkları daha kolay gerçekleştirilen strüktür sistemleri ile geçme çabasında bulunmuştur. Günümüzde ise geniş açıklıkların geçilebilmesi için gelenekselden

farklı teknoloji ve imkanlara ihtiyaç vardır. Bir mekanı örtmek için geçilebilecek açıklık başta kullanılan malzemenin boyutsal olanakları ile sınırlıdır. Örneğin, tek bir ahşap elemanla geçilecek açıklık, ahşabın uzunluğu ile sınırlıdır. Ancak, birden fazla ahşap elemandan oluşan bir taşıyıcı sistem daha geniş açıklıklar geçebilir.

2.2 Geniş Açıklıklı Yapılarda Fonksiyon

Çağlar boyunca insanoğlu daha geniş açıklıkları geçme çabası içinde olmuştur. Tarihte daha çok dini yapılar, geniş açıklıklı olarak yapıldığı halde bugün çok çeşitli fonksiyonları barındırmak üzere geniş açıklıklı yapılar yapılmaktadır.

Geniş açıklıklı yapı kavramı tarihinden günümüze kadar geçirmiş olduğu süreç boyunca, genellikle köprü, endüstri yapıları, hangarlar, istasyon yapıları ve kapalı spor salonları (yüzme havuzu, basketbol salonu, buz pateni pisti vs.) tasarımında karşımıza çıkmıştır. Bu tip yapılarda, geniş açıklık kullanma zorunluluğu fonksiyonlarının gerektirdiği bir takım özelliklerden dolayı ortaya çıkar.

Endüstri yapıları, hangarlar ve istasyonların tasarımında öncelikle gelen nokta bu yapılardaki kullanıcı sayısıdır. Endüstri yapılarında genel olarak kullanıcı sayısı fazladır. Bununla beraber yapı tipi ve amacına göre değişmekle birlikte makine, motor, ekipman boyutları ve sayısı da endüstri yapılarında geniş açıklık kullanma zorunluluğu getirir. Genellikle tek katlı, özellikle bir doğrultuda geniş açıklıklardan oluşan taşıyıcı sistemleri içerirler. Bu tür yapılarda ana malzeme olarak betonarme, çelik veya karma sistemler kullanılabilir.

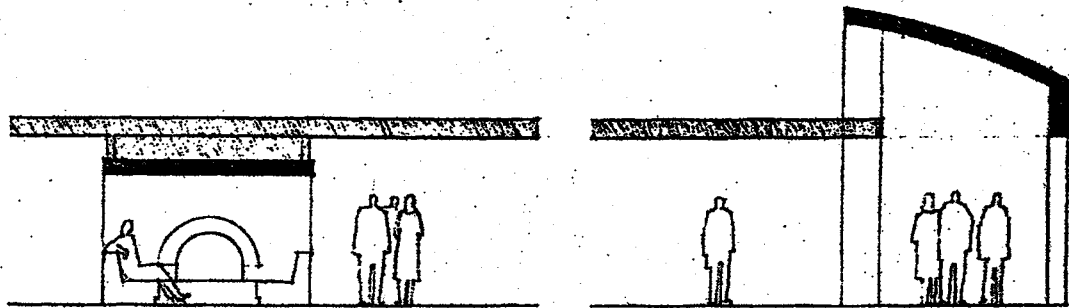
Betonarme malzemenin endüstri yapılarında gündeme gelmesi ancak prefabrike elemanların kullanılmasıyla olasıdır. Bu sistemlerde ana taşıyıcı için ekonomik olan açıklık maksimum 20m.'dir. Bazı uygulamalarda bu değer 22~24m'ye çıkarılabilmektedir. Çelik bir taşıyıcı sistem kullanılması halinde, ana taşıyıcı sistem açıklığı, rahatlıkla 30m'ye çıkabileceği gibi diğer yöndeki açıklıkta 10 ~ 15m hatta 20m bile alınabilir (Bahadır, 1997).

Kapalı spor salonlarında seyirci kapasitesine ve fonksiyon gerekliliklerine göre planlanacak olan açıklık oranı değişim gösterir. Spor salonlarında, spor tip ve amacına göre (yüzme ,basketbol vs.) kullanım alanı içersinde düşey taşıyıcı strüktür olmaması önemli bir noktadır. Açıklıklar, gerekli oyun sahalarına göre belirlenir.

Düşey taşıyıcılar, genellikle bina formunu belirleyen dış sınırlar üzerinde çözülür. Bu da yapı içersinde geniş kullanım alanı yaratabilmemizi sağlar. Boyutları 20x40m olan bir salonda tenis, basketbol, voleybol vb. salon oyunları oynanabilir. Buz hokeyi ve salon atletizm yarışmaları için 30x60m boyutlarında salon gereklidir. Salon büyüklüğüne bağlı olmak üzere net salon yüksekliği 7 ~ 15m arasındadır.

Bir tiyatro ve sinema binasında öncelikle seyirci salonunun görüş kalitesi sağlanmalıdır. Bunu sağlanmasında etkili olan kriterlerden biri görüş uzaklığıdır. Bu kriter, kapalı tiyatrolarda 20 ~ 25m, açık hava tiyatrolarında da 70m'dir. Sahne açıklığı, görüş açısı ve seyirci mesafesine göre değişir. Sinemalarda ise gerekli olan mekan boyutları 40 ~ 50m arasında değişir.

Geniş açıklıklar, kullanım alanının esnek bir yapıya sahip olmasını ve daha sonraki kullanım değişikliklerinin kolayca çözülebilmesini sağlar. Ekonomik olması, kullanışa ve estetik değerlere cevap vermesi, atmosfer etkilerine ve iç etkenlere dayanıklı olması, yapım kolaylığı da yapıdan beklenen diğer temel özelliklerdir.



Şekil 2.2 Fonksiyonlara göre mekanların tanımlanması (Ching,1995, s.118)

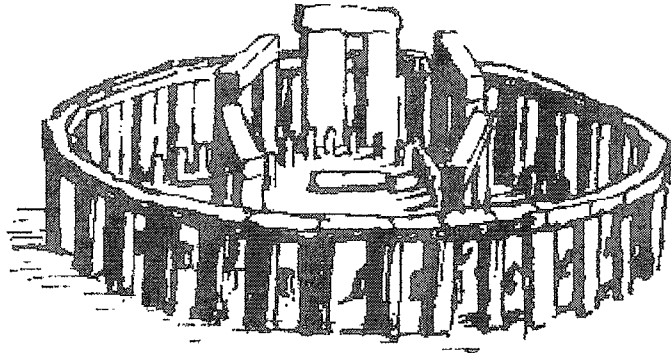
2.3 Geniş Açıklıklı Yapıların Ortaya Çıkışı ve Tarihsel Gelişimi

Mimarlığın tarihsel gelişim süreci boyunca, strüktür her dönemde mimariyi biçimlendiren, formu etkileyen en önemli faktördür. Aynı biçimde, barınma ihtiyacına ve farklı gereksinimlere cevap verebilecek; gün geçtikçe artan geniş mekan ihtiyacı ve teknolojik gelişmelerde mimarlığı etkilemiştir.

20. yüzyılın başına kadar açıklıkların geçilmesi, en basit şekilde geleneksel malzemelerle (taş ve ahşap) sağlanmıştır ve yine bu geçiş, eldeki malzemelerin olanaklarına göre aynı malzemelerden yan yana getirilen çok sayıda parça ile gerçekleştirilmiştir. Bu tür uygulamaların ilk örnekleri Dolmen'ler ve Stonehenge dir. (Şekil 2.3 ve 2.4) İlk dini yapılar olarak bilinen bu yapılar, iki düşey taşıyıcı üzerine yerleştirilmiş bir yatay taşıyıcıdan oluşan taş düzenlerdir.



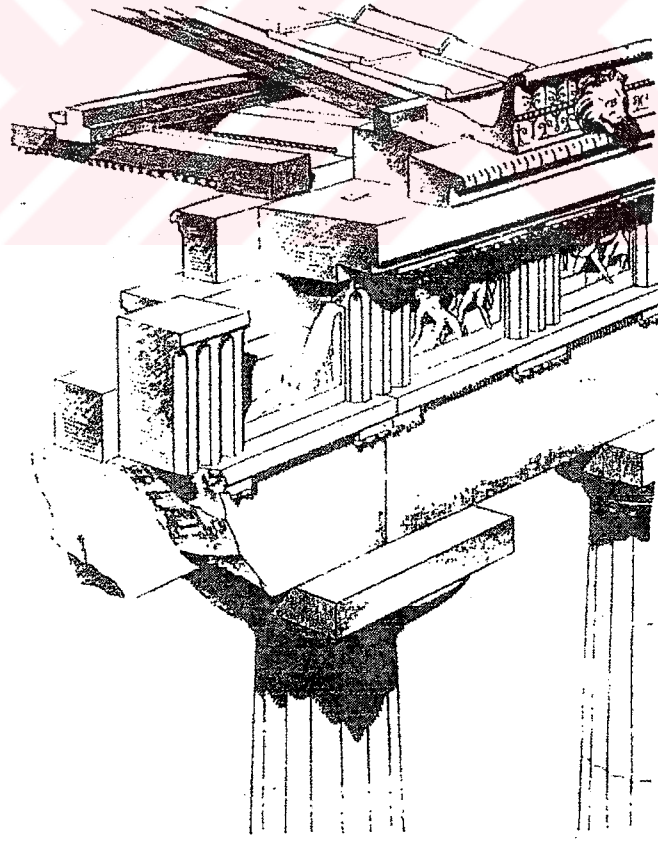
Şekil 2.3 İzlanda'da bir "Dolmen" (Baugeschichte, 1974, s.2)



Şekil 2.4 Salisbury'de bir "Stonehenge", M.Ö. 1850 (Baugeschichte, 1974, s.2)

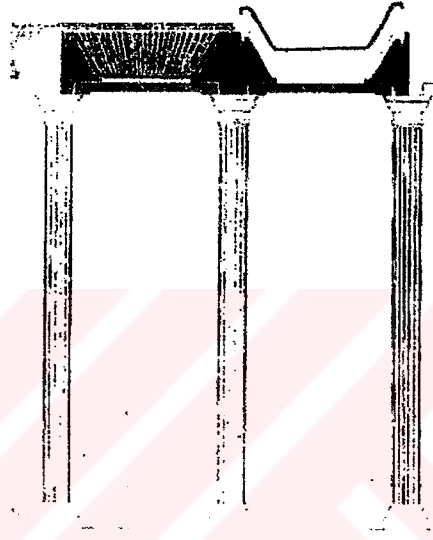
İnsanlar taşı, kaba olarak, doğada bulunduğu yada ocaktan çıkardığı gibi kullanmışlardır. Taş kesmek için aletlerin geliştirilmesiyle, taş mimarlığının daha ayrıntılı biçimlere ulaşması sağlanmıştır. “Eski çağlarda taş yapı teknolojisi, taşın ocaktan çıkarılması, istenilen biçimde yontulması, taşınması, yapı yerinde istenilen yere çıkarılması, birbirleriyle birleştirilmesi gibi basit işlemlerden oluşurdu.”(Kuban, 1992) Daha gelişmiş dönemlerde, Antik Yunan dünyasında, yapılarında taş blokları birbirine bağlamak için harç kullanmayan Yunanlılar, bu amaçla metal kenet ve pimlerden ve bunları taşa tespit etmek için de ergimiş kurşundan yararlanmışlardır.

Taşıma ve kaldırma zorunluluğuna karşın taş, statik yönden emniyetli ve dayanıklı strüktürleri gerçekleştirmeyi sağlar. Yunan tapınaklarında mesnet aralıkları, taş malzemenin izin verdiği ölçüde kısa aralıklara sahip olurken; geniş açıklıklar ahşap çatı elemanları ile geçilmiştir.



Şekil 2.5 Klasik bir tapınağın üst yapısı (Baugeschichte, 1974, s.21)

Taşın harçla birlikte, küçük boyutlarda farklı yapım yöntemleri içinde kullanılması, Roma döneminde ortaya çıkmıştır. Romalılar inşaat teknolojisinin pek çok alanında olduğu gibi demir kullanımı açısından da yüzyıllar boyunca aşılamayacak bir gelişmişlik düzeyini temsil ederler. Demiri ilk olarak donatı niteliğinde kullanmayı düşünen onlardır. Şekil 2.6'de görüldüğü gibi Hadrian Villası'nın demir donatılı düz atkı kemerleri, bugünkü betonarmenin atası sayılmaktadır.



Şekil 2.6 Hadrian Villası'nın demir donatılı düz atkı kemerleri (Tanyeli,1993, s.105)

Kemerin bulunması ve geliştirilmesi, geniş açıklıkları geçmede en önemli gelişmelerden biri olmuştur. İnsanlar geçilmesi istenilen açıklığı tek bir eleman ile geçemeyince, küçük parçaları yan yana getirerek açıklığı geçmeye çalışmışlardır. Bunu da kemer elemanlarının düşmesini engellemek için parabolik, eliptik veya dairesel olarak uygulamışlardır. Biçimdeki amaç, basınca çalışan malzeme kullanımıyla üzerine gelen yükleri, basınç gerilmesiyle birbirine ileterek açıklığın mesnet noktalarına aktarmaktır.

Tarih boyunca malzeme ve bileşenlerinin uygun biçimde kullanılmasıyla geniş açıklıklı yapılarda, tonozlar kullanılmaya başlamıştır. İlk olarak birbirinden bağımsız kemerlerin, bir araya gelmesinden oluşan tonozlar, bir kemerin kendi düzlemine dik eksen boyunca ötelenmesiyle oluşan bir yapı elemanıdır. Tonozun taşıyıcılık özelliği, mesnet noktalarında yük aktarabilmesi için sürekli bir taşıyıcıya gerek duymasıdır.

İki beşik tonozun dik olarak birbirlerini kesmesi ile meydana gelen tonozlara, haçvari tonozlar denmektedir. Bu tür tonozlarda yükler, köşelerde toplanmakta ve sütunlar gibi tekil düşey taşıyıcı elemanlara yüklerini aktarmaktadır. İki tonozun kesişmesinden oluşan farklı bir tonoz tipide, manastır tonozudur. Kare planlı geniş açıklıkları örtme olanağı sağlamaktadır. (Şekil 2.7)

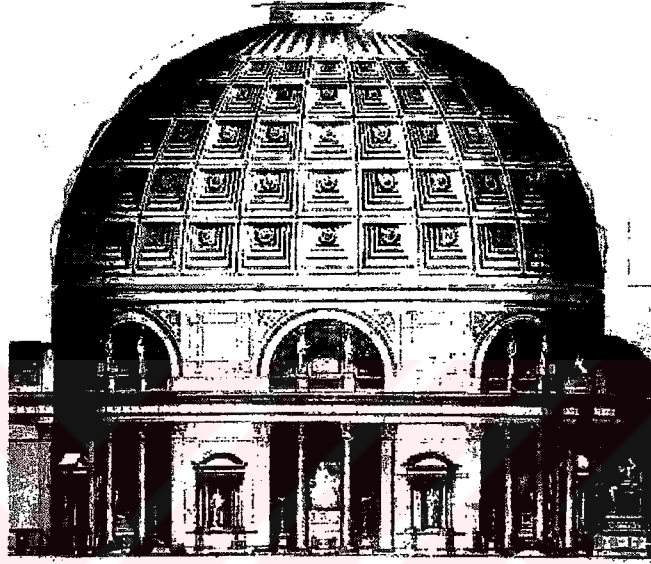
Geçmiş dönemlerde, geniş açıklığa sahip, özellikle dini yapılarda yoğun bir şekilde, basınca dayanıklı malzeme ile uygulanan bir diğer üst örtü sistemide kubbelerdir. En büyük hacmi en az yüzeyle örten kubbe konstrüksiyonları, daire, parabol veya elips geometrilere sahiptir. Kubbenin geometrisi, bir daire yayının asal eksenini etrafında döndürülmesi ile oluşmaktadır. Ayrıca, kubbe yüzeyi, hem taşıyıcı hem de örtü elemanı olarak kullanılarak, sahip olduğu geometriden de ek bir stabilite kazanarak, geniş açıklıklı yapılarda yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle, Roma döneminde kubbeler, dairesel planlı mekanların örtüsü olmuştur.



Şekil 2.7 Bir kilisenin, kemer ve tonoz örgüsü (Baugeschichte, 1974, s.56)

M.Ö. 27 yılında İmparatorun Augustus'un baş danışmanı Agrippa tarafından, yedi Olimpik Tanrısı için yaptırılan Pantheon, M.S. 80 yılında ki yangından hasar

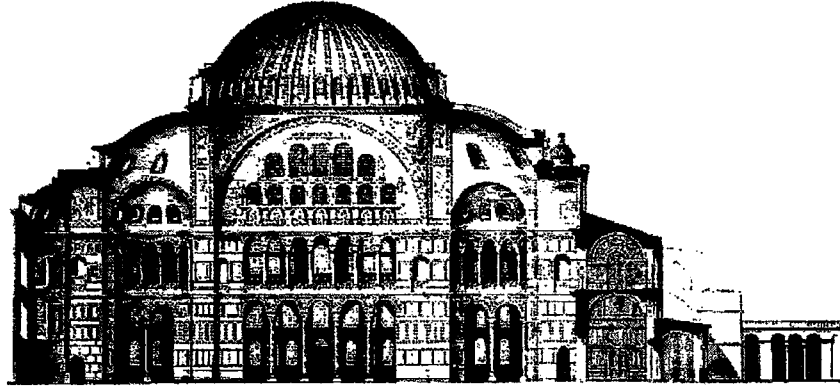
görmesiyle 120 yılında Hadrian tarafından tamamen yeniden yapılmıştır. Dairesel bir plana sahip ve beton kubbesinin çapı 43.60m'dir. Kubbe yüksekliği, açıklığın yarısı kadar olup, 6m kalınlığında olan kenar duvarları ile kubbe aynı yüksekliğe sahiptir. (Şekil 2.8) Beton konstrüksiyona sahip çatı çeperleri ve kaburgaları, tepe noktasına yaklaştıkça kalınlığı incelmekte ve tek bir merkezi noktada birleştiklerinden sık bir yapıya sahip olur.



Şekil 2.8 Pantheon, Roma (Baugeschichte, 1974, s.35)

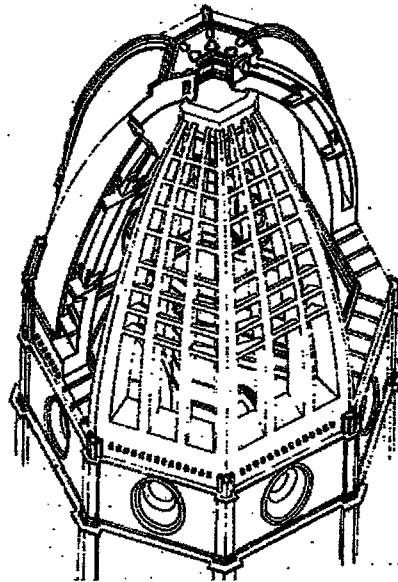
Geniş açıklıklı yapıların örtülmesi yönünden dünyanın en önemli dini yapılarından bir diğeri de İstanbul'daki Ayasofya Kilisesi'dir. (Hagia Sophia (Yun.) Kutsal Bilge) 532-537 yılları arasında Tralles'li Anthemios ve Milet'li İshodorus tarafından inşa edilen, yaklaşık 1500m²'lik dikdörtgen bir mekana sahip olan Ayasofya Kilisesi'nin merkezi kubbe çapı 33m., net kubbe açıklığı 31.3m, yüksekliği ise 15.65m.'dir. (Şekil 2.9)

Merkezi kubbe, kemerler ve yarım kubbeler yardımıyla tuğla kullanarak kolonsuz olarak ve cidar kalınlığı 65cm'ye kadar azalan bir konstrüksiyonla yapı, yaklaşık 1500 yıllık geçmişe sahiptir. Öncelikle yapının inşasına, kubbeyi taşıyacak büyük kemerlerin yapılması ve onları destekleyecek dört payandanın yapımına başlanmıştır. Hristiyanlık'ta kubbe, laikliği, dikdörtgen plan şeması da maneviyatı simgelemektedir. Bu nedenle dini yapılarda, bu iki simge bir araya getirilmiştir.



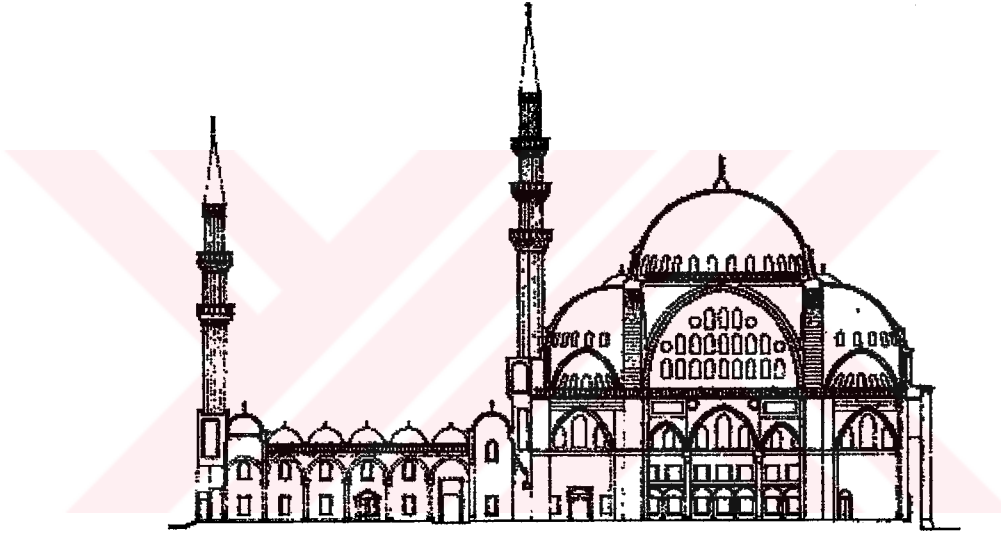
Şekil 2.9 Ayasofya Kilisesi, İstanbul (Baugeschichte, 1974, s.42)

Kubbenin tek başına bir tasarım ögesi olarak, geniş açıklıkları geçmede kullanımına en iyi örneklerden biri F. Brunelleschi'nin 1420'de tasarladığı, Floransa Katedrali'nin 40m çapında, 30m yüksekliğindeki kubbesidir. Gotik tarzda tasarlanmış yapıda yeni bir strüktür önerilmiş ve kubbeyi taşıyan sekizgen yapı, uçan payandalar ile desteklenerek hafif malzemeler kullanılmıştır. Yanlardan desteğe ihtiyaç duyan yığma sistem yerine çift cidarlı bir sistem önerilmiştir. Kubbe tepe noktasına doğru uzanan beton köşe kaburgaları ve onların aralarındaki daha küçük kesitli kaburga çiftleri uygulanmıştır. Bu 24 adet kaburga, beton yatay elemanlarla birbirine bağlanarak üst örtü için boşluklu bir alt taşıyıcıyı oluşturmuştur.



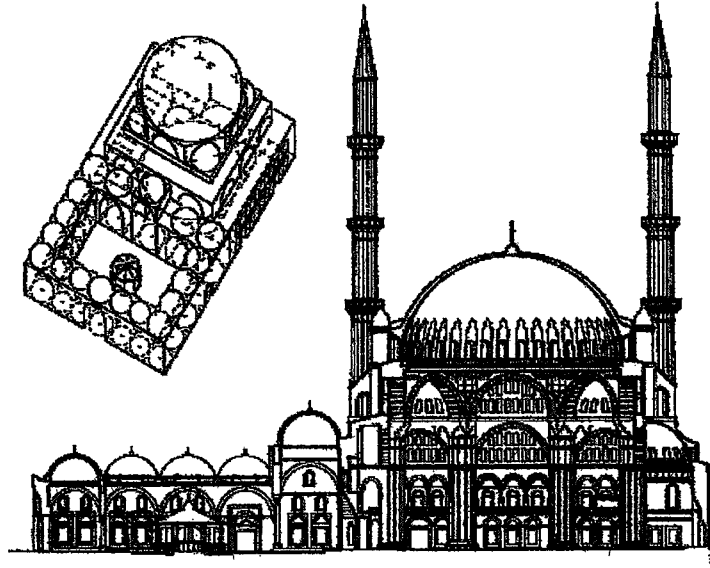
Şekil 2.10 Floransa Katedrali kubbesinin aksonometrik kesiti (Murray, 1985, s.17)

1550–1556 yılları arasında Mimar Sinan tarafından yapılan İstanbul'daki Süleymaniye Cami'si, geniş açıklığa sahip önemli Osmanlı yapılarından biridir. Yapı, dış ölçüleri 70 x 61m olan ana kütleinin ortasında dört fil ayağı üstünde yükselen, 26.2m çapında ve 49.5m yüksekliğindeki bir kubbe ile örtülmüştür. (Şekil 2.11) Mimar Sinan'ın kubbe tasarımıındaki amacı, Ayasofya'ya rakip olmanın dışında, geniş iç mekana ulaşmak istemesidir. Mekanlar kubbe ile vurgulanmakta ve böylece merkezi kubbe önemli bir tasarım öğesi olmaya başlıyor. Açıklığı geçmek için kare plan üzerine kubbe oturtma sistemini uygulanmış ve temel yapımında ilk defa derin temel inşa edilmiştir. (Tanyeli, Mimarlık Tarihi II Ders Notları)



Şekil 2.11 Süleymaniye Cami'si kesiti (Vogt & Widmer, 1965, s.17)

Osmanlı-Türk mimarlık tarihinin olduğu kadar dünya mimarlık tarihinde başyapıtlarından biri olan Selimiye Cami, 1569 ve 1575 yılları arasında II. Selim tarafından Edirne'de yaptırılmıştır. 1.575 m²'lik bir alan ile mimarlık tarihine en geniş cami diye geçmiştir. Yaklaşık 40m boyunda ve 60m eninde olan caminin içeriden yüksekliği 41.25m'dir. 31.22m çapındaki büyük kubbesi, 6m genişliğindeki kemerlerle birbirine bağlanan ve fil ayağı denen dev sütunlar üzerine oturur. Etrafındaki 32 adet küçük pencere ile kubbe, kare plan üzerine pandantiflerle oturtulmuştur. (Şekil 2.12) (Tanyeli, Mimarlık Tarihi II Ders Notları)



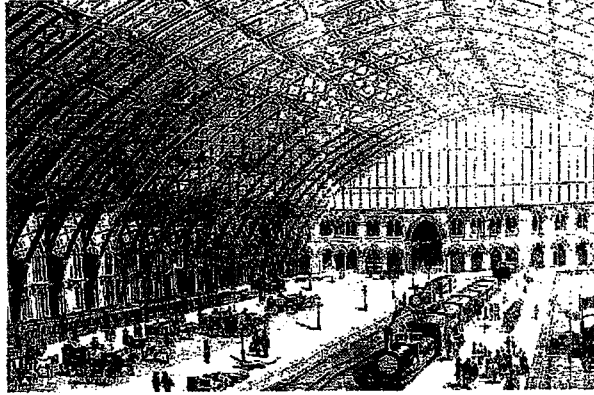
Şekil 2.12 Selimiye Cami'si kesit ve isometrisi (Vogt & Widmer, 1965, s. 105)

1789 Fransız İhtilali'nden sonra yaşanan Endüstri Devrimi ile birlikte modern döneme girilmiş ve geniş açıklıklı yapı uygulamaları dikkate değer ölçüde yaygınlaşarak günlük yaşam içerisine sokulmuştur. Ancak, o döneme kadar kullanılan geleneksel malzeme ve strüktürler, devrim sonrasında yeni malzemelerin yapı sektörüne girmesi ile birlikte yapıda yetersiz kalmış ve yeni arayışlara girilmiştir. Demir, bu dönemde endüstriyel olarak üretilmeye ve yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Eyüce, 2001).

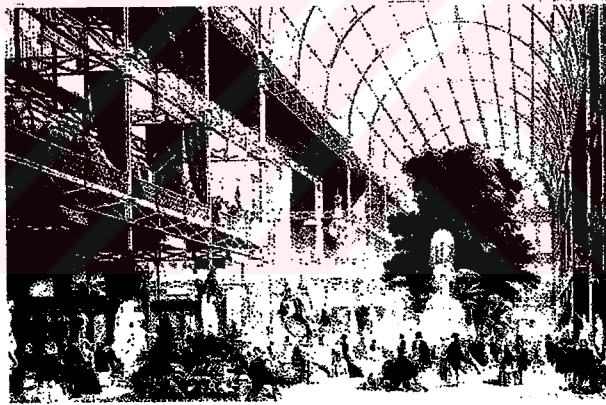
1830'lu yıllarda ulaşımın önem kazanması ile terminal yapılarına olan gereksinim de artmıştır. İşlevsel olarak terminal ve bekleme bölümünden oluşan yapılarda; birden fazla tren rayını ve platformunu kapsayabilecek yeterli genişliğe ve buharın kolayca dağılabileceği yükseklik ve derinliğe ihtiyaç duyulmasından dolayı yeni strüktür ve teknik anlayışına gidilmiştir. Basit makas kirişler ve kafes sistemler kullanılarak, 1863-1876 yıllarında Londra'da W.H.Barlow ve R.M.Ordish ikilisinin yaptığı "St. Pancras Station" ise 74m açıklık geçmektedir. (Şekil 2.13)

Yine bu dönemde gerçekleştirilen büyük açıklıklı yapı türlerinde biri olan sergilerde de taşıyıcı sistem malzemesi olarak demir ve çelik kullanılmıştır. Bu tür yapılara ilk örnek, J.Paxton tarafından tasarlanan Crystal Palace adlı sergi yapısıdır.

(Şekil 2.14) 1851 yılında 75.000m²'lik alan üzerine 563x124m boyutlarında , 40m yüksekliğinde tümüyle prefabrike elemanlarla inşa edilmiştir. Hafif, ucuz ve kısa sürede inşa edilebilir olan proje dönemin ilk modüler sistemli yapısıdır.



Şekil 2.13 St. Pancras Tren İstasyonu, Londra (Elliott, 1992, s.84)



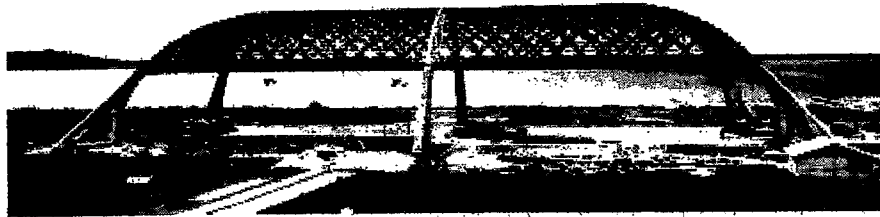
Şekil 2.14 Crystal Palace, Londra (Frampton, 1995, s.44)

Paris Fuarı'nın önemli yapılarından olan Makineler Galerisi'nin uzunluğu 114.3m olup üç eklemli kemer ile açıklık geçilmektedir. Çapları 35.6 ve 50.8 cm olan çelik silindirler tepe noktasında ve kemerlerin her iki ayağında kullanılmıştır. Kemerlerin konstrüksiyonunda çelik düşünülmüşse de ekonomik olmaması sonucu dövme demir tercih edilmiştir. İki kattan oluşan yapının zemin katında makineler sergisi, birinci katında ise ziyaretçilerin bu makineleri gözlemleyebileceği galeriler yapılmıştır. (Resim 2.1)



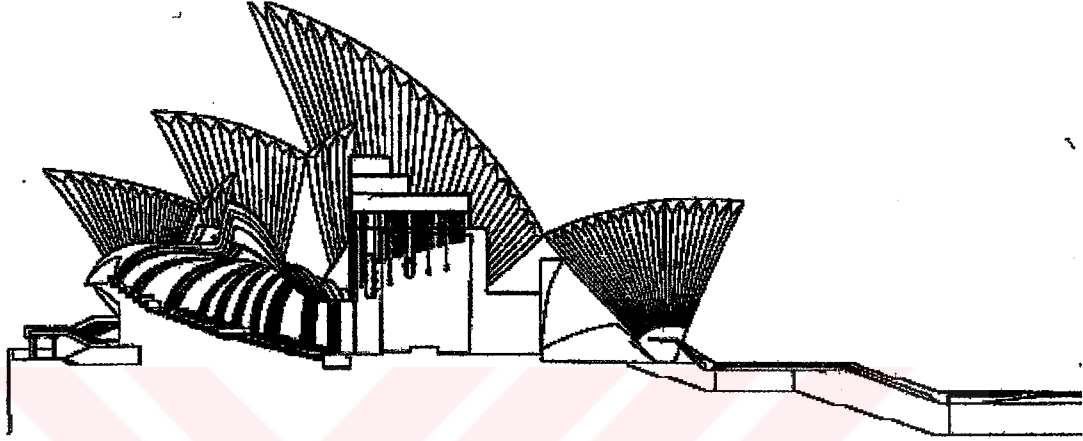
Resim 2.1. 1889 Makineler Galerisi, Paris (Eyüce, 2001, s.7)

Birinci ve İkinci Dünya Savaşları sırasında çelik yapı uygulamalarında, dönemin getirdiği olumsuz etkileri sonucunda bir duraklama dönemine girmiştir. Savaş sonrasında uygulamalarda canlanma oluşarak, geniş açıklıkların en az malzeme ile en verimli biçimde geçilmesi çabaları ve asma sistemlerdeki gelişmeler, ölü yükü azaltarak yapıyı hafifleten, böylece, hafifleyen yapının yeni strüktürel çözümler ile tasarlanması ve bunların mimari bir anlatım aracı olarak kullanılması sonucunu getirmiştir (Eyüce, 2001). İkinci Dünya Savaşında 1939-41 yılları arasında Nervi tarafından tasarlanmış, betonarme malzemeyi kullanarak gerçekleştirilmiş ikinci tip olan uçak hangarları 100x41m boyutlarındadır. (Resim 2.2) Tasarladığı büyük yapılarda çok az sayıda taşıyıcı öğeye yer veren Nervi, bu hangar binasında, konstrüksiyon altı simetrik kolon üzerine oluşturulmuştur.



Resim 2.2. Uçak hangarı, Orvieto, 1936 (Nervi, 1957, s.37)

Jorn Utzon tarafından tasarlanan ve tasarıma uygun yapım yöntemlerinin uygulandığı Sydney Opera Binası, 67m'lik yükseklik ile Sydney Köprüsü'nün yol kotundan 9m daha yüksektir. Aynı zamanda bu bina, kabukların ne kadar büyük bir açıklık geçtiğini göstermektedir. Binada, ana salon 120m uzunluğunda 54m genişliğinde küçük salon ise yaklaşık olarak 105x39m boyutlarındadır. Çatı formu, eğri yüzeyli serbest biçimlendirilmiş geometrilerden oluşmaktadır (Frampton, 1995).



Şekil 2.15. Sydney Opera Binası kesiti (Frampton, 1995, s.282)

2.4. Taşıyıcı Sistem

Özellikle son yıllarda büyük önem kazanan ve uzun yıllar insanlar tarafından istenildiği şekilde değiştirilebilen doğal ve yapay bütün fiziksel çevre ile kendi yaşantısı arasında bir bağ oluşturmaya çalışılmıştır. Bunu da sürekli olarak artan gereksinimlerini karşılayacak şekilde, doğal çevresini kendi yaptıklarıyla değiştirme ve düzene sokma çabası içinde yapmaya çalışmaktadır.

İnsanoğlunun çevresini düzene sokması Taş Çağının karanlıklarında başlıyor. Doğanın sağladığı sığınaklar yeterli olmayınca, kendisinin yapıcılığı başlıyor. Daha sonraları ailenin veya daha büyük grupların çeşitli faaliyetlerini barındıran yapılar, belli düzenler içinde bir araya geldikleri zaman, kişinin boyutunu aşan, meydan, sokak, mahalle gibi büyük yerleşme öğeleri ortaya çıkıyor. ...Böylece içinde yaşanan yapının birey için bir ilk kabuk, onu çeviren daha geniş çevrenin toplum için bir ikinci kabuk olduğu söylenebilir (Kuban,1992, s.9).

Okul, işyeri, konut ve yol gibi çevreyi oluşturan her öge insanın yaşantısının koşullarından biri olmaktadır. Bu öğelerin çoğu, çevre ile birlikte düşünüldüğünde büyük bir bütünün parçası olan mimari ürünler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yapı oluşturma eylemini, en basit şekilde, çevremizdeki nesnelerin üretilmesi olarak tanımlayabiliriz. Üretilen tüm nesnelerin bir yapısı olduğuna göre yapı kavramı, nesnenin geometrisi, malzemesi ve nesneye bütünlük kazandıran, ayakta tutan sistemler arasındaki ilişkileri içermektedir.

2.5. Taşıyıcı Sistem Kavramı ve Amacı

Mekansal gereksinimlerin karşılanabilmesi amacı ile yapılan düzenlemelerin belirli bir yapısal bütünlüğe sahip olması gerekmektedir. Yapının dış etkilere karşı bütünlüğünü koruması ile ilgili sorunlar “taşıyıcı sistem” konusu içinde ele alınmaktadır. “Strüktür” sözcüğü “inşa etmek, yığmak” anlamına gelen Latince “struere” sözcüğünden türetilmiştir. Bu anlamları dışında strüktür kavramı, bileşenlerin örgütlenmesi sonucu oluşan bütünlük anlamında da kullanılmaktadır. Strüktür için aşağıda belirtilen tanımlamalar yapılabilir.

“Üzerine etki eden kuvvet ve yükleri belirli yerlere aktarıp, öngörülen statik dengeyi sağlamak ve sürdürmek amacıyla doğal veya yapay taşıyıcı öğelerden meydana gelen bütüne strüktür denir ” (Türkçü, 1990, s.8).

“Strüktür, mekanı sınırlandıran öğeleri ayakta tutan sistem olarak tanımlanabilir. ... Statik açıdan strüktür, örtü ile taşıyıcılar arasında bir denge sistemidir ” (Kuban, 1992, s.40).

Taşıyıcı sistemler her zaman belirli bir amaç ve işlev için inşa edilir. Mimarlık alanında taşıyıcı sistemin temel amacı, kullanım amacına uygun olarak bir hacmi, mekanı tanımlamak, tamamen yada parçalı olarak örtmek sınırlamaktır. Aynı zamanda taşıyıcı sistem, üzerine etkiyen yükleri, kendi ağırlığı ile birlikte statik dengeyi sağlayarak güvenli bir biçimde zemine aktarmaktadır.

2.6 Taşıyıcı Sisteme Etkiyen Yükler

Taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılmasından önce, taşıyıcı sistemin biçimlenmesine ve düzenlenmesine doğrudan etkili olan yükler üzerinde durulacaktır. Yapıya etkiyen yükleri genel olarak yatay ve düşey yükler olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz.

2.6.1 Düşey Yükler

Yerçekimi etkisi ile oluşan bu yükler statik ve dinamik yükler olmak üzere iki sınıfta toplanabilir. Yapı üzerinde her zaman varlığını koruyan statik yükleri, yapının öz ağırlıkları oluştururken, dinamik yükleri de kar, buz gibi yükler oluşturmaktadır.

2.6.1.1. Statik Yükler

Kolon, kiriş, çatı ve döşeme gibi yapıyı oluşturan elemanları ve bu elemanların üzerindeki kaplamaların, sabit bölücü elemanlar, mekanik sistemlerin oluşturduğu ağırlıkların tümüne öz ağırlık adı verilir. Sabit yüklerdir.

2.6.1.2. Dinamik Yükler

Yapıyı oluşturan elemanların dışında, yapı üzerindeki hareketli elemanların (kullanıcılar, mobilya, mekanik aletler vb.) oluşturduğu ve yapıya etki eden tüm yükler dinamik yüklerdir. Hareketli yüklerdir.

2.6.2 Yatay Yükler

Yatay yükleri rüzgar ve deprem yükleri oluşturur. Dinamik yükler olmalarına rağmen hesap kolaylığı açısından statik yük olarak kabul edilirler.

Rüzgar Yükü: Rüzgarın yapı üzerindeki etkisi, rüzgarın esiş hızına ve doğrultusuna, yapı yüksekliğine, geometrisine ve çevre yapıların konumuna bağlı olarak değişim gösterir. Eğimli çatılarda ve yüksek yapılarda önemli oranda yük oluşturan bir etkidir.

Deprem Yüğü: Yer kabuğunda meydana gelen gerilme yığılmalarının veya deformasyon enerjisi birikiminin, jeolojik fay hatlarındaki ani kaymalarla, serbest kalması sonucu ortaya çıkan sismik olayın adı depremdir. Yapıya, temeller vasıtasıyla ulaşır ve yapının üst katlarında daha büyük hareketlere neden olur. Sürekli değişim halinde olduğu için deprem yükleri statik olarak kabul edilmez.

2.7 Taşıyıcı Sistem Gereksinimleri

Bir strüktürü tanımlarken dengeli, güzel, ekonomik, dayanıklı sıfatlarını kullanıyoruz. Gerçekte bu sıfatlar strüktürün temel gereksinimleri olup, bir strüktürü onlardan bağımsız düşünmek mümkün görünmektedir.

Denge: Bir strüktürün ayakta kalabilmesi için en temel gereksinme onun dengede ve hareketsiz olmasıdır. Elbette ki böylesi bir isteğin tam anlamıyla gerçekleşmesi olası değildir. Çünkü, hemen her strüktürde gözle izlenmeyecek ölçüde az yada çok hareket doğmaktadır. Bu hareketler strüktürdeki dengeyi direkt olarak etkiler. Denge durumunu, taşıyan ile taşınan arasındaki denklik olarak düşünebiliriz. Taşıyan ile taşınan arasındaki denklik yük ile onun karşılayan arasında doğan bir ilişkidir.

Stabilite: Bir bina kendi iç dengesi ile ayakta kalabiliyor, bir strüktür tasarlandığı özelliklerini kaybetmeden işlevini sürdürebiliyorsa o strüktür stabildir. Strüktür, mimari mekanla birlikte oluşmak zorunda olduğundan, stabilite sağlamak ancak üç boyutluluk ile mümkündür.

Dayanım: Strüktür tasarımında, strüktürü oluşturan bileşenlerde ya da bütünde basınç, çekme ve kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeleri karşılamak için gerilmelerin doğduğu noktalarda mukavemet gösteren malzemeye gereksinme vardır. Çekme gerilmelerine karşı çekme mukavemeti, basınç gerilmelerine karşı basınç mukavemeti gösteren malzemeler yer almalıdır.

İşlevsellik: Oluşturulan taşıyıcı sistemin, mimari amaçlarla bütünleşmesidir. İşlevsel olan bir taşıyıcı sistem, başka bir mimar, proje için işlevsel olmayabilir.

Örneğin, eğri bir yüzey, yapısı gereği bir düzlemde daha etkindir. İşlevselliğin önemi, strüktürel tasarım ile mimari tasarım bütünleştğinde ortaya çıkmaktadır.

Etkinlik : En az malzeme ile en geniş açıklığın geçilmesi veya alanın örtülmesi olarak açıklanabilir. Örneğin, düzlem kafes kirişlerde her bir çubuk üzerine etkiyen farklı gerilme miktarı nedeniyle çubuk kesitleri de etkin malzeme kullanımı açısından farklı olmaktadır. Fakat, işçilik ve malzeme sarfıyatı nedeniyle çubukların çoğunda gereğinden daha büyük kesitte profil kullanılması etkinliği azaltmaktadır.

Ekonomi: En az malzeme – en geniş alan kavramı ile yapım maliyetinin bir arada düşünülmesiyle optimum yaklaşımın bulunmasıdır. Taşıyıcı sistem maliyeti, genellikle tüm maliyetin yaklaşık %20 ile 30'u arasında değişmektedir. Gerçekte, yapı maliyetini en çok etkileyen etkenler malzeme ve işçiliktir (Şen, 1990).

Estetik: Estetiğin, taşıyıcı sistem üzerindeki etkisi, tasarım amaçları ile bunların mimari ifadelerinin belirli sınırlar içinde dengelenmesi olarak karşımıza çıkmaktadır. Taşıyıcı sistemin gerektirdiği oran, biçim, ölçü, birlik, ritm ve simetri gibi mimari düzenler sınırları belirleyen ölçütlerdir.

2.8 Taşıyıcı Sistemde Oluşan Gerilmeler

Çekme Gerilmesi: “Çekilen malzemenin her parçasının birbirinden ayrılma eğilimi gösterdiği durum” diye tanımlanan çekme gerilmesinde beliren durum, çekilen malzemedeki” uzama durumu”dur. Bu uzama aşamasında izlenen diğer bir oluşum ise, kablo yada çekilen malzeme kesintisindeki küçülme, alan azalışıdır.

Basıncı Gerilmesi: Çekmenin tam ters uygulaması basıncı tanımlar. Örneğin bir düşey çubuk, belli bir yük altında boy kısalmasına uğrar. Çubuğun düşey eksenine dik doğrultuda oluşan bu kısalma çekmenin tam tersi bir kesit artışı olarak izlenebilir. Çubuğun sıkışma limitinin eksenden sapması, sonucu itibarıyla bir burkulma doğar. Eğer çubuk kesitinde, çubuğun orta noktasına doğru bir kalınlık verecek olursak, burkulma gecikir, taşıma artar.

Kesme (Kayma) Gerilmesi: Malzemeyi oluşturan parçacıkların kendi aralarında birbirleri üzerinden akmaları olarak tanımlanır. Bir çubuğun ekseni doğrultusuna dik ve ters yönde döndürülmesi burkulmayı ve buda kayma gerilmesini doğurur.

Eğilme Gerilmesi: Çekme, basınç ve kayma gerilmelerinin karmaşık bir biçimde oluşması hali eğilme olarak tanımlanabilir. İki mesnete oturtulmuş bir çubuğa yük uygulandığında çubuğun belli bölümlerinde kısıalma, belli bölümlerinde uzama, mesnetlerde ise kayma gerilmeleri görülür (Şen,1990).

2.9 TAŞIYICI SİSTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Taşıyıcı sistem sınıflandırmaları içinde, Tablo 2.1’de gösterilen geometrik çıkışlı sınıflandırmada malzeme özelliği dikkate alınmayarak, taşıyıcı sistem geometrik özellikleri, gerilme durumları ve taşıyıcı sistem öğeleri açıklanmaktadır. Tablonun sütunları çizgi, düzlem ve hacim kavramlarına ayrılmıştır.

Bu sınıflandırmada, “ayrık” terimi, geometrik kavramların kesik veya süreksiz elemanlardan oluştuğunu; “sürekli” terimi de elemanlarda kesikliliğin olmadığını belirtmektedir. Eğilme, basınç, basınç+çekme ve çekme olarak verilen gerilme türleri ana taşıyıcı elemanlar için geçerli olmaktadır.

Sınıflandırmanın önemli özelliklerinden biri tabloda çizgisel taşıyıcılardan hacimsel taşıyıcılara gittikçe, strüktür sistemlerinin taşıma kapasitelerinin artmasıdır... Örnek olarak kafes kiriş, uzay kafes kiriş ve çubuk ağı kubbeleri verilebilir. Böylece geçilecek açıklığın artmasıyla, kafes kirişten, uzay kafes kirişe, bundan da örneğin bir jeodezik kubbeye geçiş açıklık kazanmaktadır (Türkçü, 1990, s.33).

Bu çalışmada, taşıyıcı sistemlerin incelendiği diğer sınıflandırmada da taşıyıcı sistemler çubuk taşıyıcı sistemler, yüzeysel taşıyıcı sistemler ve asma sistemler olarak üç sınıfta incelenmiştir.

2.9.1 Çubuk Taşıyıcı Sistemler

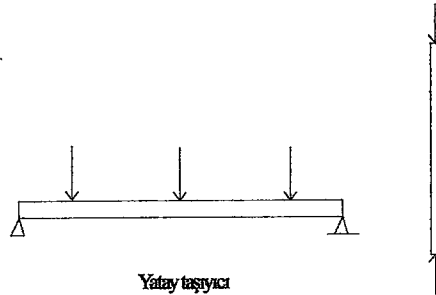
Çubuk sistemler çubuk elemanlardan oluşur. Çubuk elemanların uzunlukları diğer boyutlarına oranla çok büyüktür. Ağırlık merkezinden geçen doğru ya da eğri eksen ile tanımlanırlar. Çubuk sistemler, çubuk elemanlarla oluşturulan taşıyıcılık açısından tek boyutlu sistemlerdir. Çubuk sistemler yük dağılımlarına göre tek doğrultuda ve iki doğrultuda yük aktaranlar olmak üzere sınıflandırılabilir.

2.9.1.1 Tek Doğrultuda Yük Aktaran

- Kolon-kiriş sistemler
- Çerçeve sistemler
- Kemerler
- Düzlem kafes kirişler

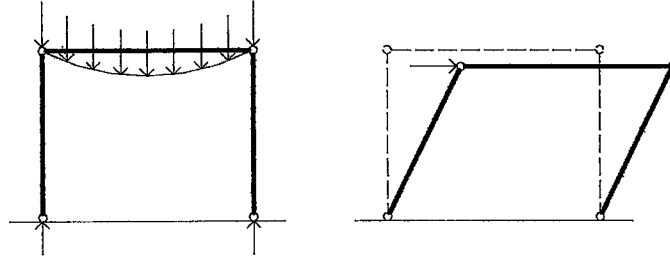
2.9.1.1.1 Kolon-Kiriş Sistemler

Kirişlerin kolonlar üzerine basit olarak oturtulması ile oluşan sistemlere kolon-kiriş sistemler denir. Kolon-kiriş sistemlerde yapı elemanları taşıyan ve taşınan olmak üzere iki değişik görev üstlenmişlerdir. Yan etkilere karşı da sistem bütünlüğünü koruyabilme özelliğine sahip olan bu sistemin belirgin taşıyıcı elemanları kolonlar ve kirişlerdir. Yatay taşıyıcı olarak kullanılan ve genellikle düşey yükler etkisi altında, kolon üzerine basit mesnetli olarak oturan doğru eksenli çubuklara kiriş adı verilir. Kolon ise düşey taşıyıcı eleman olarak kullanılan ve kirişler altında basınca çalışan bir yapı elemanıdır.



Şekil 2.16. Kolon-kiriş sistemi taşıyıcı elemanları

Kolon-kiriş sistemlerde yük dağılımı, yüklerin kirişlerden mesnet noktalarına, mesnet noktalarında toplanan yüklerin de sırayla kolonlara ve temellere iletilmesi ile gerçekleşir. Düşey ve yatay yük etkisi karşısında kolon-kiriş sistem elemanları ayrı ayrı bu yükleri karşılamaktadır. Yatay taşıyıcı eleman olan kiriş, etkiyen yükleri eğilmeye çalışarak taşımakta ve eğilme momenti ile kesme kuvvetinin etkisi altındadır.



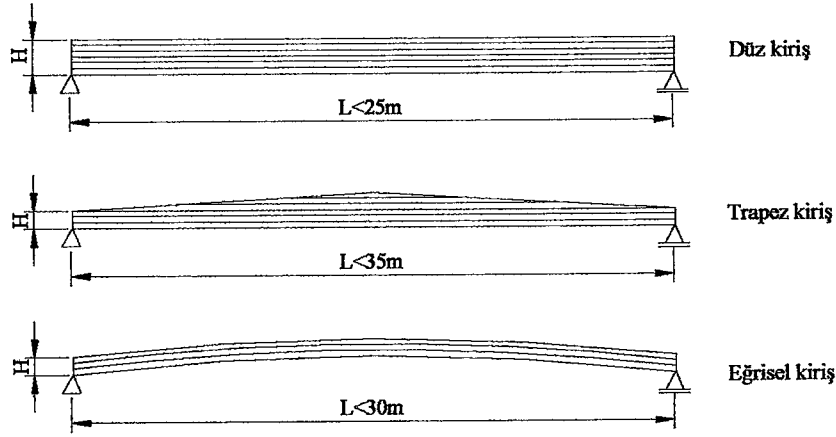
Şekil 2.17. Yatay ve düşey yüklerin kolon ve kiriş üzerindeki etkisi

a) Ahşap kolon-kiriş sistemi

Ahşap yapı malzemesi ile elde edilen kirişler geçilmek istenilen açıklığa bağlı olarak dolu gövdeli veya lamine ahşap olabilmektedir. Bu elemanlar tiplerine göre çeşitli kesit özelliklerine sahiptir. Projelendirme yapılırken, öncelikle yükseklik ve geçilmek istenen açıklığa göre bir sistem elemanı seçilir. Seçilen elemanın kesitlerinin belirlenmesinde iki faktör önemlidir (Mutlubaş, 1999).

1. Üzerine gelen yük miktarı (kg/m^2)
2. Geçilecek açıklık (m)

Standart boyutlardaki dolu gövdeli ahşap elemanlarla geçilebilen açıklıklar sınırlıdır. Bu nedenle daha büyük açıklıkları geçmek için standart kesitli ahşap elemanların, yüksek basınç altında birbirlerine tutkallanması ile elde edilen lamine ahşap kirişler kullanılmaktadır. Lamine ahşap elemanlar, dolu gövdeli ahşap elemanlara göre daha dayanıklı malzemelerdir. Kiriş geometrileri düz, eğrisel veya trapez şeklinde olmaktadır.

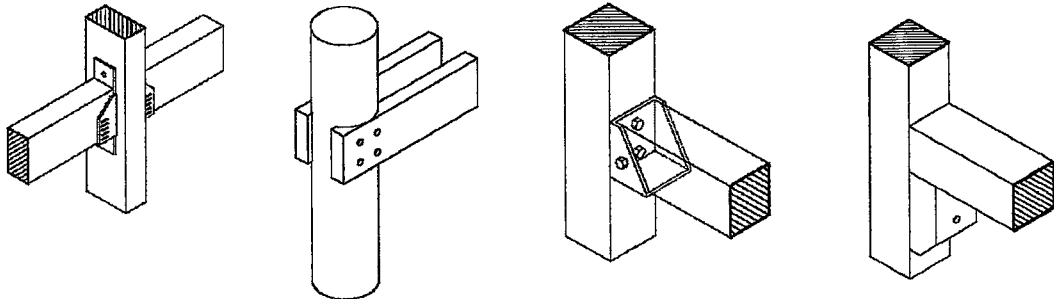


Şekil 2.18. Lamine ahşap kiriş şekilleri ([http:// www.holzbau.com](http://www.holzbau.com))

Düşey taşıyıcılarda olduğu gibi yatay taşıyıcılarda da kare, dikdörtgen ve daire kesitli elemanlar kullanılmaktadır. Sistemi oluşturan ana kirişler, çatı ve döşeme yükünü taşıırken, ara kirişler de sistemi yan yüklere karşı desteklemektedir. Ahşap kolon ve kirişlerin birleşimleri birbirlerinin konumlarına göre iki tipte olmaktadır.

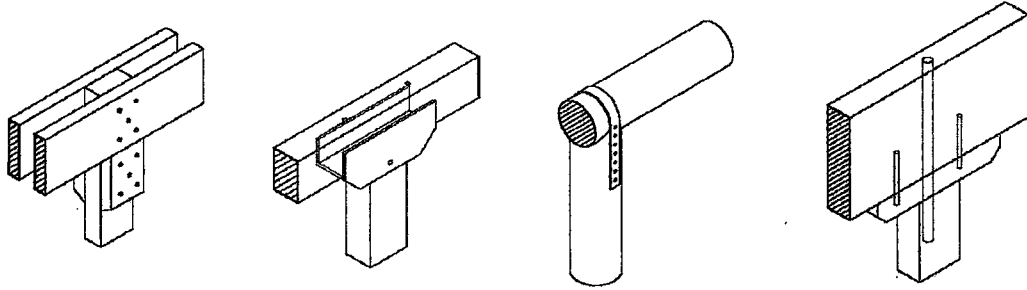
1. Kolon yanı birleşimleri
2. Kolon üstü birleşimleri

Kolon yanı birleşimleri, sürekli bir kolon ile ona saplanan kiriş arasındaki birleşimlerde uygulanır. Detaylandırma problemlerini en aza indirmek için kolon kesitlerinde genellikle düzlem yüzeylere sahip kare ve dikdörtgen kesitler tercih edilmektedir. Şekil 2.19’de gösterildiği gibi yan birleşimler çivi, metal bağlantı elemanları veya ahşap destek elemanlarıyla gerçekleştirilmektedir. Metal bağlantılarla yapılan birleşimlerde, “T” ve “L” parçalar kullanılarak, eleman kesitlerinin zayıflatılmamasına dikkat edilmelidir.



Şekil 2.19. Ahşap kolon-kiriş yan birleşimleri ([http:// www.tastimber.tas.gov.au](http://www.tastimber.tas.gov.au))

Kirişlerin, kolon üzerine oturtularak oluşturulan birleşimler Şekil 2.20’de gösterilmiştir. Bu tür birleşimlerde, daire kesitli kolonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bağlantılar, çivi, metal plakalar veya kesme kuvvetini önlemek amacıyla ahşap destekler ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2.20. Kolon üstü birleşimler ([http:// www.tastimber.tas.gov.au](http://www.tastimber.tas.gov.au))

b) Çelik kolon-kiriş sistemi

Yapısal çeliklerin , yapıda düşey taşıyıcı eleman olarak kullanılan kesitleri, "I, kutu ve U" profillerdir. Eksenel olarak , kolon üzerine gelen yükler en uygun biçimde zemine aktaran profil, paralel flanş yüzeyli geniş I-profildir. Bunların dışında yaygın olarak kullanılan diğer kolon tipide, iki U-profilin yan yana getirilmesiyle oluşan kesitlerdir. Bu tip, I-profiller gibi çukur iç yüzeylere sahip olmadığından kolon-kiriş birleşimlerinde , detaylandırma sorunuyla karşı karşıya kalınmaz.

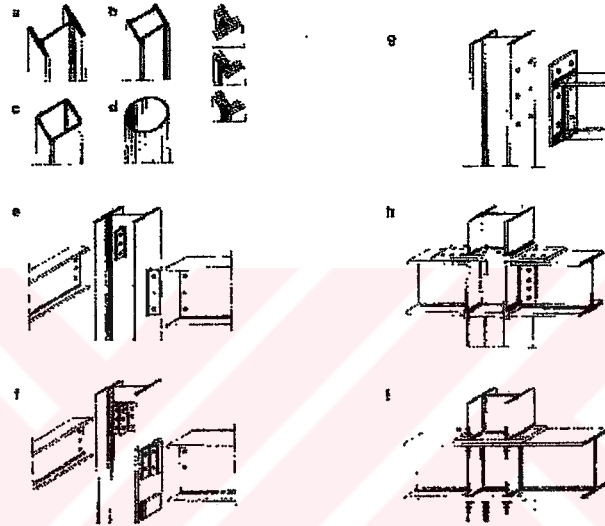
Yapılarda kullanılan, yatay taşıyıcı elemanlar I-profiller, boşluklu, petek kirişler veya makas kirişler olarak karşımıza çıkmaktadır. I –kesitli kirişlerin, kolon ile olan birleşim detayları Şekil 2.21' da gösterildiği gibi kaynak ve bulonlar ile olmaktadır. Taşıyıcılar birbirine köşebent veya çelik plakalarla sabitlenmiştir.

Kastella (Petek) Kirişler

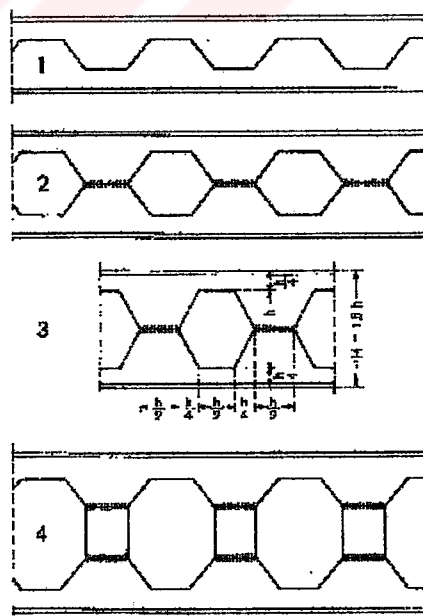
Boru profiller, kutu profiller, raylar, "Z" profiller gibi hadde ürünleri de çelik yapılarda, hatta bazı alanlarda yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. Bu ürün grupları özel profiller olarak adlandırılır. Özel profillerden biri olan kastella kirişlerinde;

kiriş, belirli bir kırıklı çizgiden kesilerek iki parçaya ayrılır. Bu parçaların kaydırılarak üst üste kaynaklanması ile kastella kirişi elde edilir. (şekil 2.22)

Kastella kirişi normal kirişi yüksekliğinin 1,5 katı yüksekliğe sahip ve yükler altındaki deformasyonu daha azdır. Hafif ağırlıktaki döşemeler ile uzun mesafe geçen çatılarda kullanılabilecek uygun ve ekonomik bir sistemdir. Ayrıca elektrik ve ısıtma (iklimlendirme) tesisatlarının geğtiği sistemlerde de tercih edilir.



şekil 2.21. Kolon – kiriş bağlantıları (Corus ürün broşürü)



şekil 2.22. Kastella kirişi oluşumu (Schmitt, 1977, s.512)

c) Betonarme Kolon- Kirişler

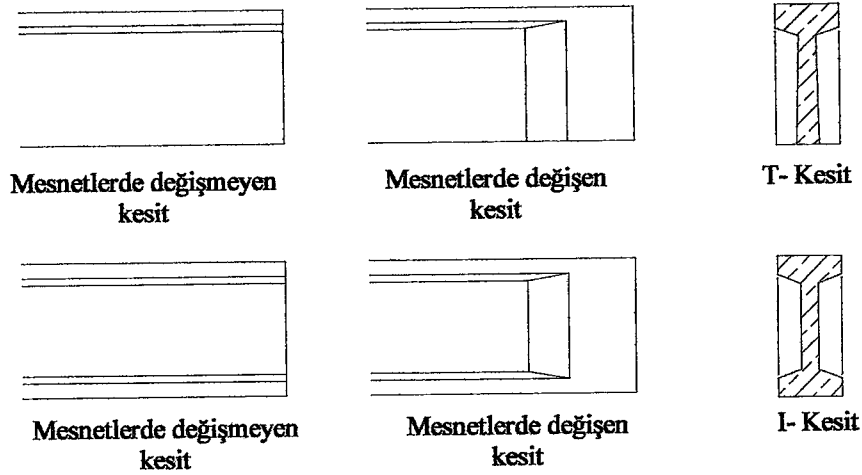
Prefabrike kolon ve kiriş elemanların, belirli bir düzen içinde bir araya getirilmesiyle oluşan çubuk taşıyıcı sistemlerdir. Bu tür sistemlerdeki en basit çözüm, paralel başlıklı bir ana kirişin, temellere ankastre kolonlara oturtulmasıdır. Dolu gövdeli kirişlere sahip sistemlerde taşıyıcı sistem bileşenleri, ana ve tali kirişler ve kolonlardır.

Üretim ve montaj yöntemi, geçilen açıklık, öngerilme yapımı, kalıp, tesisat bağlantılarına ve kullanılacak aşık tipine bağlı olarak yaygın olarak kullanılan betonarme kirişlerin kesit ve biçimleri iki gruba ayırabiliriz.

- Paralel başlıklı kirişler
- Üst başlığı eğimli (Trapez) kirişler

Paralel başlıklı kirişler

Kolonlara düz veya eğik olarak oturan bu tür kirişler, normal donatılı olarak en çok 15m, sisteme hafiflik ve malzeme tasarrufu sağlayan öngerilmeli olarak da 30m açıklık geçebilmektedir (Schmitt,1977). Paralel başlıklı kirişler, dikdörtgen kesitli, malzemenin en ekonomik biçimde kullanıldığı “T “ ve “I” kesitli olarak imal edilir.

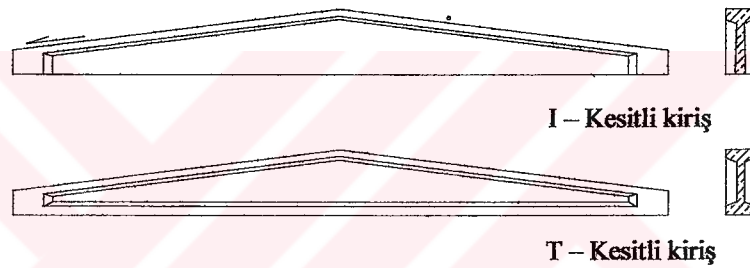


Şekil 2.23. Paralel başlıklı betonarme kirişlerin biçim ve kesitleri

“T” kirişler, mesnetlerde değişen ve değişmeyen kesitli olmak üzere iki tip kesite sahiptir. Bu tür kirişlerde alt başlığın ince kesitinden dolayı, karşılanamayan basınç gerilmeleri oluşabilir. Bunu önlemek için gövde aşağıya doğru kalınlaştırılır.

Üst başlığı eğimli (trapez) kirişler

Mesnetlere doğru eğimli bu kirişler, “T” ve “I” kesitli olarak imal edilir. Bu tür eğimli kirişlerde başlık eğimleri çatı kaplama malzemelerine de bağlı olarak %2-15 arasında olabildiğince en azda tutulmaya çalışılır. Momentin fazla olduğu orta kısımda kesitin artması bir avantaj olmasına rağmen kiriş yüksekliğinin artması ağırlığını da arttırmaktadır.



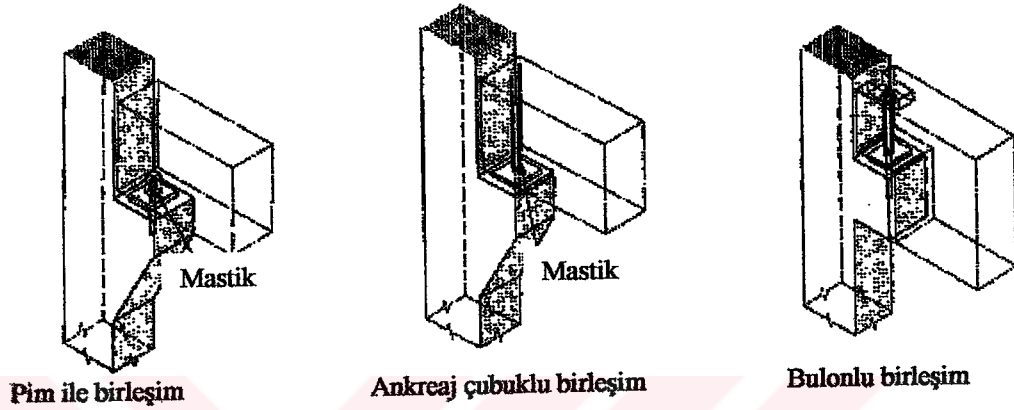
Şekil 2.24. Üst başlığı eğimli betonarme kirişler

Aşıklı uygulamalarda, kolon aralıkları 5-8 m arasında tutulur. Genellikle, 6 m’lik aşık uzunlukları tercih edilmektedir. 8-10 m’den daha büyük kiriş aralıklarında, ince kesitli aşıklar deformasyona uğrayacağından aşık kesitini arttırmak, öngerme vermek veya kafes kiriş şeklindeki aşıkları uygulamak zorunluluğu doğmakta; bu da sistemin maliyetini arttırmaktadır.

Kolon – kiriş birleşimleri

Kolon ve kiriş birleşimlerini, kolonun kenarlarda veya ortada olmasına göre detaylandırmada farklılık olmasına rağmen çoğu zaman aynı olmaktadır. Genellikle kirişler beton konsol üzerine, alt başlığıyla veya uçları inceltilmiş olarak oturur. Şekil 2.25’de neopren yastık üzerine oturmuş ve kolonda betonlama sırasında bırakılmış pim ile mastik dolgulu pim yuvasına sahip kiriş birleşimi gösterilmektedir.

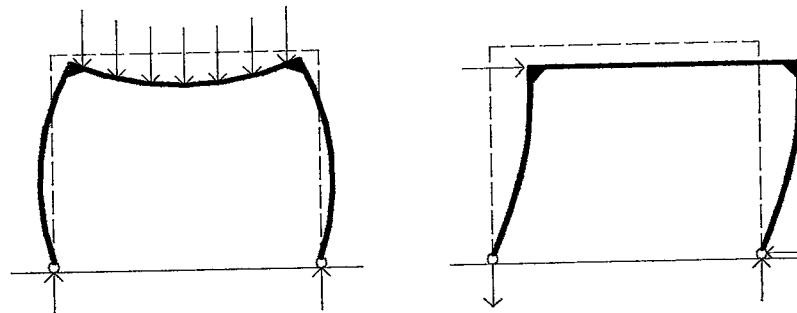
Konsol yada kolon başında bırakılmış ankraj çubuğu ile yapılan mesnetlerde, kirişteki yuvaya yerleştirilmesi ve daha sonra yuvanın sulu harç ile doldurulmasıyla tamamlanır. (Şekil 2.25) Diğer bir birleşim yöntemi de, konsola veya kolon başına gömülmüş bulon ile birleştirilmesidir. Yatay ve düşey hareketi engellemek için bulon, kiriş içindeki yuvaya yerleştirilerek pul ve somunla sıkılarak bağlantı tamamlanır. Montaj için açılan boşluklar, harçla kapatılır.



Şekil 2.25. Kolon – kiriş birleşim tipleri (Türkiye Prefabrike Birliğı, 1997, s.8)

2.9.1.1.2. Çerçeve Sistemler

Çerçeveler, yatay yüklere karşı dayanımı, düğüm noktalarındaki elemanların rijitlikleri ile sağlanan taşıyıcı sistemlerdir. En kesit ölçüleri boylarına oranla küçük olan çubuk şeklindeki elemanların yatay ve düşey elemanlarıyla oluşmuş formlardır. Dolayısıyla, yatay ve düşey yüklerin aktarılmasına yararlar. Düşey yük altında çerçeve sistem, sürekli kiriş davranışı gösterir ve kesit tesirleri azalır. Çerçeveler birlikte çalışacak şekilde yan yana getirilerek çok gözlü çerçeveler oluşturulabilir.



Şekil 2.26. Çerçeve sistemlerde yük etkisi

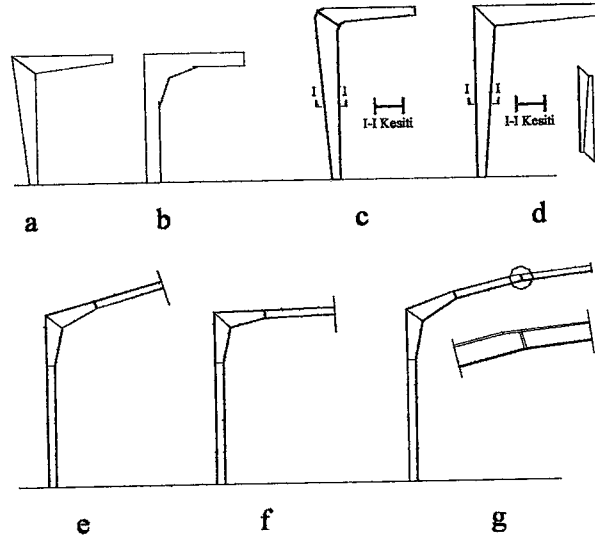
a) Çelik Çerçeveler

Çerçevelerde dirseklerin formu değiştikçe, gerilimlerin yoğunluğu ve izlediği yollar değişir. Çoğu zaman kesitlerin ağırlık merkezi, asal eksenini ile uymayabilir. Örneğin, Şekil 2.27-a'da gösterilen tasarım (b)'den farklıdır. Açının 90° 'den az olduğu dış köşeler her zaman gerilmelerin etkisi altındadır. Keskin bir iç köşe etrafında yoğunlaşmış küçük alanda, basınç gerilmeleri karşı gelmektedir. Çekme gerilmeleri, dışta daha büyük bir alana sahiptir, köşelerde kesme eğilimindedir. Dirsek düzenlemeleri, kesme kuralları ve çeşitli ihtiyaçlara uyumlu birkaç tipte sınırlandırılabilir (Asce & Kan, 1953).

Kaynaklı çerçeve tasarımlarında, en ekonomik düzenlemeyi elde etmek için bileşenlerdeki kaynak işlemini sınırlandırmak gerekmektedir. Bu bize, çerçeve tipi seçimindeki dikkat edilmesi gereken en önemli ölçütü vermektedir. Şekil 2.27-c'de bileşenleri oluşturan bütün parçaların birbirine kaynaklanmasıyla elde edilmiş bir çerçeve gösterilmektedir. Kaynak işleminin fazla olması nedeniyle tamamen ekonomik bir sistem değildir. Şekil 2.27-d'de ise bir I-kesitli profilden iki parça çıkarılarak, parça çeliklerin kaynaklanmasıyla işlemler yarıya indirilmiştir.

Şekil 2.27-e ve f'de kaynaklı basit çerçeve tipleri gösterilmektedir. Bu tiplerde, standart kesitli profiller, bunları birbirine birleştiren ve dayanımı arttıran ara plakalarla birlikte kullanılır. Daha geniş açıklıkları geçmek için (g)'deki sistem uygulanabilir. Tepe noktasına doğru yaklaştıkça, daha küçük momentler için profil kesitleri azalmaktadır. Farklı kesit yüksekliğine elemanların birleşiminde ise alt veya üst flanşlardan üçgen parçalar kesilerek çıkarılır ve ara plaka ile kaynaklanır.

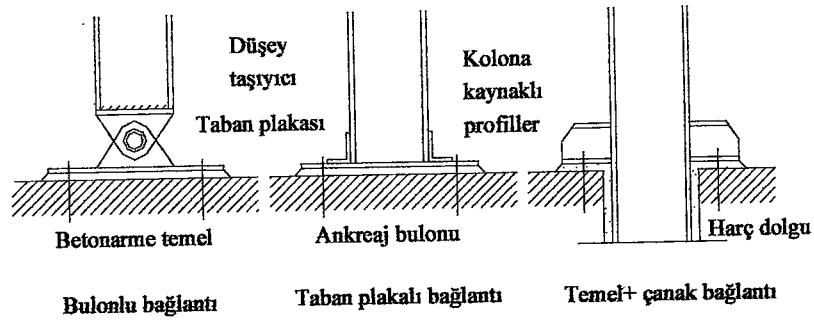
Kesme, istenilen forma eğme, yerleştirme ve kaynaklama bütün çelik çerçevelerde uygulanan işlemlerdir. Genelde, kaynaklı köşeli (açısal) çerçeveler daha rijit, basit üretimi ve düşük maliyetlidir. Çerçeve tipi seçiminde sadece kaynak işlemi değil köşelerin şekli, boyutu ve bileşenlerin düzenlenmesi de önemlidir (Asce & Kan, 1953).



Şekil 2.27. Çeşitli çelik çerçeve oluşumları

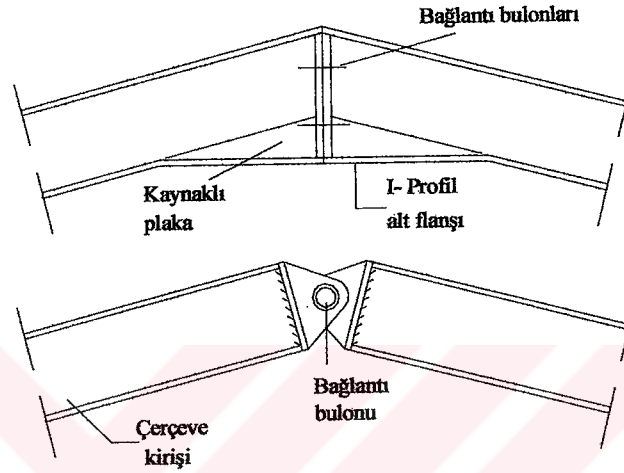
Celik Çerçevelerde Birleşimler

Çerçeve sistemlerde koşullara göre önceden hazırlanmış veya yerinde olarak uygulanan temel, köşe ve tepe noktası birleşimleri vardır. Çelik çerçevelerde temeller çoğu zaman betonarme olarak uygulanmaktadır. Çerçevenin temelle olan bağlantısı, üç yöntemle olmaktadır. Şekil 2.28’de gösterildiği gibi birinci yöntem, ayakların temel içine yerleştirildikten sonra sulu harç ile boşlukların doldurularak, sabitlenmesi ile oluşturulur. İkinci yöntem, ayakların çelik taban plakası üzerine kaynaklanarak, çelik kelebeklerle desteklenmesidir. Üçüncü yöntemde, bağlantının mafsallı olarak, bulonlarla gerçekleştirilmesidir.



Şekil 2.28. Çelik çerçeve temel bağlantıları

Çelik çerçevelerde tepe noktaları birbirine rijit olarak bağlanabildiği gibi, geniş açıklıklı tiplerde azda olsa yatay taşıyıcılarda eğilmeye izin verebilen mafsallı tepe noktaları uygulanabilir. Şekil 2.29'da gösterildiği gibi standart I-profillerle oluşturulan çerçevelerin tepe noktalarında rijit bir bağlantı için profil alt flanşı kesilerek araya kaynaklanan çelik bir levha ile kesitler büyütülür. Mafsallı bağlantıda ise profil kesitlerinde bir değişim olmadan bağlantı plakalarıyla bağlanır.



Şekil 2.29. Çelik çerçeve tepe noktası bağlantıları

Çerçeve sistemler, kısa açıklık olarak 15m'ye kadar, 16 ve 35m arasında orta açıklıkları ve geniş açıklık olarak da 36 ve 60m arasında geçebilmektedir. Kısa açıklıklı çerçeveler genellikle 3-5m aralıklarla, orta açıklıklı sistemler köşebent ve soğuk hadde profillerden oluşan aşıklar için 4-8m aralıklarla uygulanır. Geniş açıklıklı çelik çerçeveler de U, I- profillerin ve kafes aşıkların kullanılmasıyla 8-12m aralıklarla uygulanır (Barry,1993,s.14).

b) Betonarme Çerçeveler

Betonarme çerçeveler, yeterince kuvvetlendirilmiş yüksek kaliteli betondan üretilmiş prefabrik taşıyıcı sistemlerdir. Yerinde yapımı, kalıp maliyeti yönünden ekonomik olmayan bu tip çerçevelerin kullanımı, düşük eğimli tek açıklıklı olarak sınırlansa da, çok gözlü veya çok katlı olarak da hafif çatı kaplamaları ve prefabrik betonarme aşıkları taşımak için tasarlanmaktadır (Ayaydın, 1981).

Standart elemanlarla büyüyebilme imkanı sağlayan betonarme çerçeveler, yangına karşı dayanıklı, hızlı üretim , bakım kolaylığı ve kolayca sökülüp takılabılme gibi avantajlara sahiptir. Bu sistemler, genellikle 4.5-6m aralıklarla en çok 24m açıklıklar geçebilmektedir (Barry,1993).

Ankastre çerçeveler

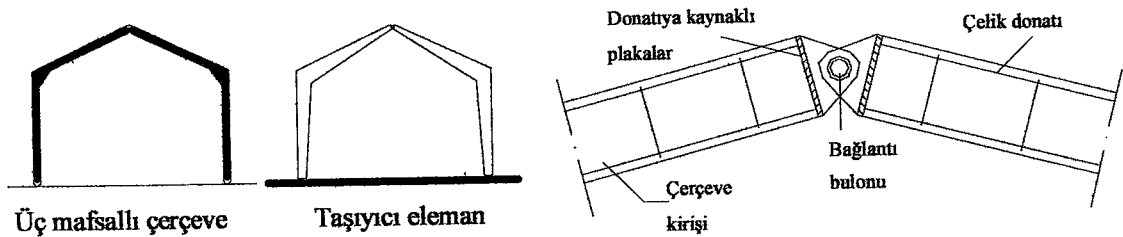
Yatay kuvvetlerin fazla olduğu durumlarda veya açıklığın, yüksekliğe oranının 1 veya 1'e yakın olduğu yapılarda çerçeve tek parça halinde döküldükten sonra temellere ankastre veya iki mafsallı olarak bağlantısı yapılabilir. (Şekil 2.30) Ancak bu kaldırma ve montaj işlemleri nedeniyle kısa açıklıklı yapılar için daha uygundur.



Şekil 2.30. Betonarme ankastre çerçeveler

Üç mafsallı çerçeve

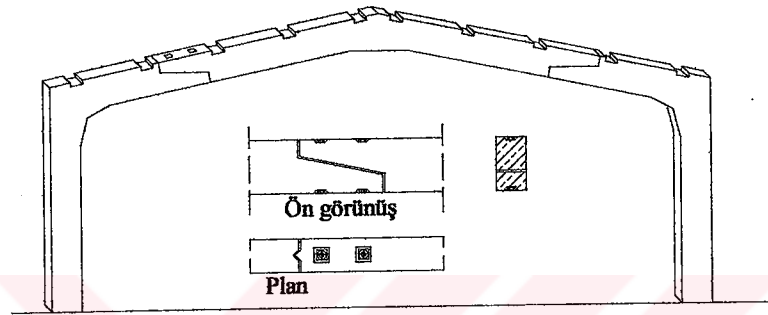
Çerçeve tek parça halinde dökülüp kaldırılamadığı zamanlar üç mafsallı çerçeve çözümlerine gidilir. “Bu tür sistemler , açıklığın yüksekliğe oranının 1'e yakın olduğu dik çatılı yapılarda kullanılır. Geçilebilecek açıklık 7.5m ile 20m arasındadır. Ancak 40 m'ye varan büyük açıklıklarda ise çerçeve dört bölüm halinde dökülür ve köşeler art çekmeli öngerme sistemi ile rijit olarak bağlanır “ (Bahadır,1997,s.79).



Şekil 2.31. Betonarme üç mafsallı çerçeve ve tepe noktası detayı

Lambdalı Çerçeveler

Eğimli yapılarda momentin sıfır olduğu, eğilmeye karşı koyabilecek noktalarda mafsallı bağlantılar yapılarak üç bölümlü çerçeveler elde edilir. (Şekil 2.32) Yatay kuvvetler göz önünde tutularak tasarlanan bu tip çerçevelerin, daha geniş açıklıkları geçmek dört bölümlü olarak da uygulanmaktadır (Ayaydın,1981). Lambdalı çerçevelerdeki mafsallı birleşimler, çerçeve bölümleri arasında eğik yüzeyli, bindirmeli ve bulonlu birleşimlerdir.



Şekil 2.32. Betonarme lambdalı çerçeve ve birleşim detayı

c) Ahşap Çerçeveler

Ahşap çerçeveler, temiz açıklığın ve iç mekanda görünümünün önemli olduğu yapılarda, hafif ve dayanımı yüksek bir çerçeve istendiği zaman tercih edilen bir taşıyıcı sistemdir. Uygun malzeme kullanımı ile ekonomik ve hafif bir sistem elde edilir. Yerinde kolayca kesilip, ayarlanabilen bu sistemler, kolay taşınma ve kurulum özelliklerine sahiptir. Yaygın olarak kullanılan ahşap çerçeve türleri tutkallı lamine ahşap çerçeveler, ahşap kafes çerçevelerdir.

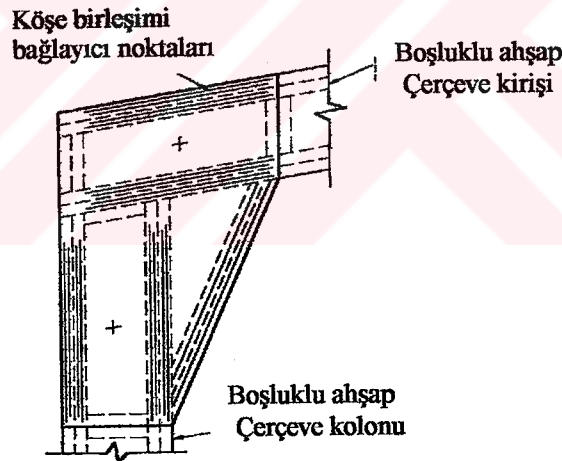
Tutkallı Lamine Ahşap Çerçeveler

Bu tür çerçeveler, benzer boyutlardaki diğer ahşap çerçevelerden beklenenin üzerinde, sağlam bir yapıya sahip olan bu sistemler, özel firmalar tarafından uygun nem oranına sahip kaliteli ahşaptan, taşıma ve montaj kolaylığı açısından iki bölümden üretilir. Yaygın türleri tamamen rijit, iki veya üç mafsallı sistemlerdir.

İki bölümden oluşan bu çerçevelerde, ayaklar zemindeki çelik ayaklara, yatay taşıyıcılarda tepe noktasında birbirine bulonlanır. “ Diğerlerine göre pahalı sistemler olan tutkallı lamine ahşap çerçeveler, ahşap veya çelik aşıkların geçebileceği şekilde, oldukça geniş aralıklarda uygulanır. Dayanım ve rijitlik için gerekli en az kesitlerdeki tepe ve zemin noktalarından köşelere doğru kesitler büyümektedir” (Barry,1993,s.25).

Ahşap Kafes Çerçeveler

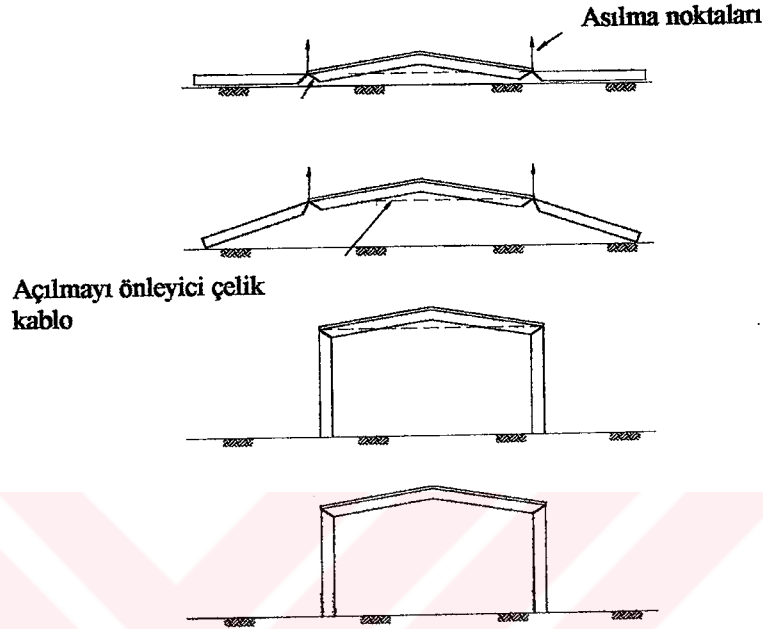
Ahşap kafes çerçeveler, alt ve üst başlıkları ile ağı oluşturan diyagonellerde dikdörtgen kesitli ahşap elemanların yatayda ve düşeyde kullanımıyla elde edilen çerçeve tipidir. Kafes çerçevenin her iki yanı, sistem dayanımını arttıran kontrplak levhalarla kaplanır. Aydınlatma, havalandırma gibi donatıların yerleştirilmesine olanak sağlayan boşluklu yapısıyla genellikle iki bölüm halinde üretilir.



Şekil 2.33. Ahşap kafes çerçeve köşe birleşim detayı (Yttrop,1989, s.4)

Ahşap Çerçeve Kurulumu: Özellikle kafes ve standart kesitli ahşap elemanlarla oluşturulan basit çerçevelerde, 1989 yılında Yeni Zelandalı P.J. Yttrop tarafından geliştirilen “folding leg” adı verilen bir yöntem kullanılabilmektedir. Bu yöntemde, zeminde bir eksen boyunca yanyana yatırılmış ve birbirine köşe noktalarından tek bir bulonla bağlı sistemin bir vinç yardımıyla kaldırılarak son halini alması sağlanır. (Şekil 2.34)

Her iki yöne eğimli yatay taşıyıcı, köşe noktalarından bir çelik halatla birleştirilerek vince bağlanır. Önceden hesaplanmış köşe birleşim açlarına göre bileşenler boyutlandırılır ve kurulum çerçeve yerine yerleştirildikten sonra bulonlanmasıyla tamamlanır (Yttrup,1989).



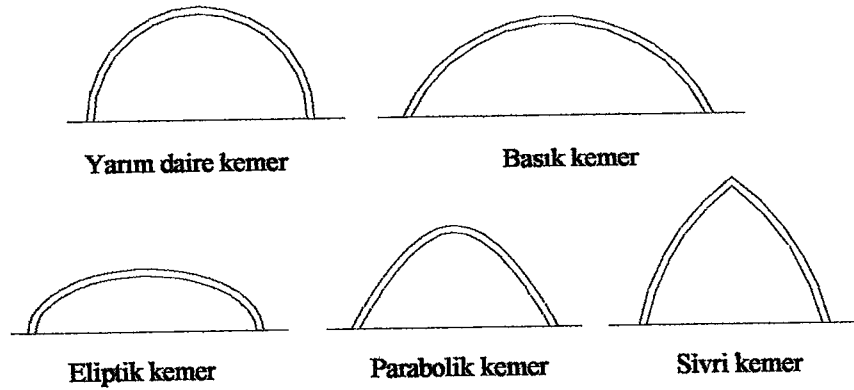
Şekil 2.34. Ahşap çerçeve kurulumunda “Folding leg” yöntemi (Yttrup,1989,s.5)

2.9.1.1.3. Kemer Sistemler

Çubuk taşıyıcı sistemler sınıfındaki kemerler, basınca çalışan ve üzerine gelen yüklerin iki uçtaki taşıyıcılara aktaran eğri eksenli sistemlerdir. Belirli basınç kuvveti altında, doğru eksenli çubuklarda olduğu gibi kemerlerde de burkulma olur. Kemerler, farklı tipteki eğrilerle oluşturulabilirler, bunların içinde ikinci derece parabol en uygun kemer şeklidir. (Şekil 2.35) Açıklığa göre kemerler, sehim kazandıkça yarım daire kemer, tam sivri, eliptik kemer, basık kemer ve parabolik kemer gibi isimler alırlar.

Tasarımda, kemer yüksekliğinin açıklığa oranı $H/L = 1/5 \sim 1/6$ 'dan az olmamalıdır. Bu oran küçüldükçe mesnet itkileri artar. Artan itkiler, mesnetlenme durumları da uygun değilse bir gergi çubuğu ile karşılanır.... Kemerler kagir, ahşap, betonarme ve çelik olarak yapılabilir.” Malzeme türüne bağlı olarak geçebildikleri en büyük

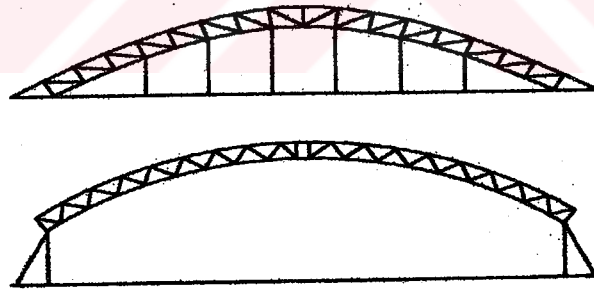
açıklıklar kagir için ~ 30 m, tutkallı lamine ahşap için ~ 100 m, betonarme (öngerilmeli) için ~ 280 m, çelik için ~ 500 m'dir (Özşen&Yamantürk, 1991, s.66).



Şekil 2.35. Kemer tipleri

a) Çelik kemerler

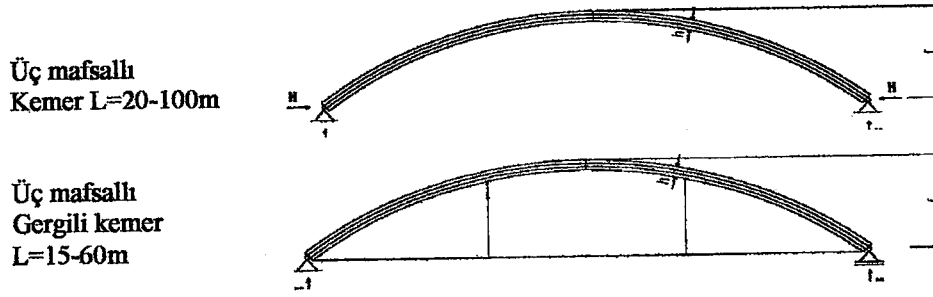
Kemerler, geniş açıklıkları örtmek için kullanılan en eski taşıyıcı sistemdir. Ancak kemerlerin bitmiş formları ve ölü mekanları nedeniyle kullanımları sınırlı olmakla birlikte kemerin çelik kafes sistemle oluşturulmasıyla oldukça ekonomik bir sistem elde edilir. Çelik kemerler iki ya da üç mafsallı olarak yapılabilir.



Şekil 2.36. Çelik kemer sistemleri (Schmitt, 1977, s.469)

b) Ahşap kemerler

Basınca çalışan eğri eksenli çubuk taşıyıcı sistem olan ahşap kemer yapımında genellikle lamine ahşaplar kullanılır. Lamine ahşaplara eğrisel form verebilmesi nedeniyle, özellikle kemer yapımında lamine ahşaplar tercih edilir.

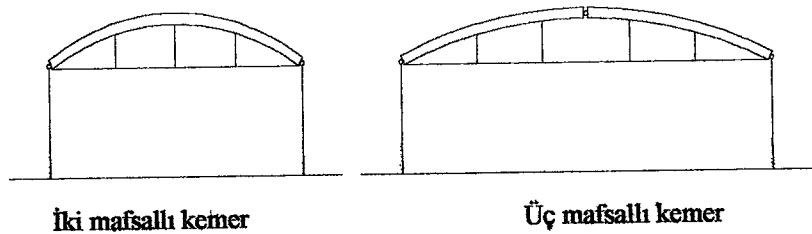


Şekil 2.37. Ahşap kemer sistemi (<http://www.holzbau.com>)

c) Betonarme kemerler

Betonarme kemerlerin geleneksel yöntemlerle uygulanmasında kalıp, kalıp iskelesi teşkili özellikle maliyeti ve süreyi negatif yönde etkiler. Bu nedenle betonarme çerçeve sistemler gibi kemerler de prefabrike olarak üretilirler. Ancak imalat, nakliye, montaj açısından dolu gövdeli kirişlere göre çok daha pahalıya mal oldukları için öz ağırlığının önem kazandığı 30-50 m'ye kadar olan geniş açıklıklı yapılarda statik açıdan daha uygun olduğundan tercih edilir.

Kolonlara serbestce oturan kemer kirişler : Bu tür kemer kirişler, mekan yüksekliğini arttırmamak, imalat, nakliye ve montajı kolaylaştırmak için, dairesel yassı kemerler şeklinde yapılırlar. Kemer okunun yüksekliği, açıklığın $1/6-1/12$ 'si arasında değişir... Açıklık 20-25 m arasında, ok yüksekliği $f=L/6-L/10$ olduğu zaman, tek parçada betonlanan, iki mafsallı gergili şekli kullanılır. Açıklığın 20 m'den büyük olduğu durumlarda ise kemer iki ya da daha fazla bölümden oluşturulur. 50 m'ye kadar olan büyük açıklıklarda genellikle üç mafsallı kemerler kullanılmaktadır (Bahadır, 1997,s.80).



Şekil 2.38. Kolonlara mafsallı kemer sistemler

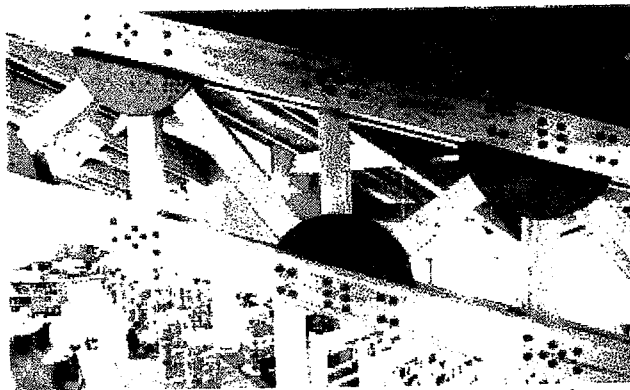
Kemer kirişlerin, mesnet noktalarında oluşabilecek açılmaları önlemek için kemer uçları çelik bir çubuk, çift yapılı “U”-“T” ve “L” kesitli çelik profiller veya öngerilmeli beton gergiler ile elemanlardaki genleşmelerde göz önünde bulundurularak birbirine bağlanır.

Bu tür kemer kirişler, küçük parçalı bir seri üretime imkan vermesine karşın hesaplama güçlüğü, hareketli montaj iskelesi, düğüm noktası fazlalığı ve buna bağlı olarak montaj süresinin uzun olması gibi dezavantajlara da sahiptir.

Doğrudan temellere veya istinat duvarlarına oturan kemerler : İç mekanda kullanılabilir yüksekliği arttıran bu tür kemerlerin ekseni, kemeri etkileyen düşey kuvvetler için çizilen ip poligonu ile çalışacak şekilde seçildiğinden, bu kemerde yalnız basınç kuvvetleri oluşur. Çok ince kesitli kemerlerle geniş açıklıklar geçilebilen bu kemerler iki veya üç mafsallı yapılabildiği gibi ankastre olarak da uygulanabilmektedir.

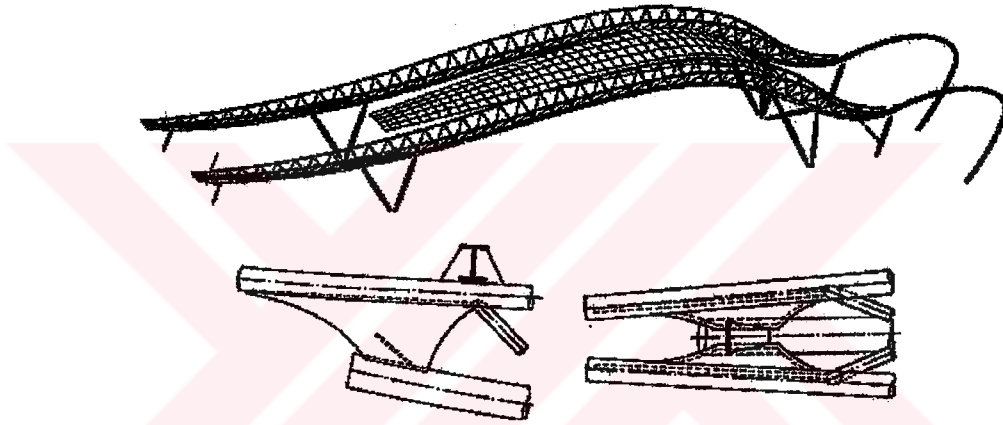
2.9.1.1.4. Düzlem Kafes Kiriş Sistemler

Bölüm Dört’de detaylı olarak incelenen düzlem kafes kirişler, aynı düzlem içinde birbirlerine uçlarından rijit bir çerçeve oluşturacak şekilde birleştirilen doğrusal çubuklar sistemidir. Düzlem kafes kirişler, üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında düzenlenen dikme ve diyagonallerden oluşur. Doğrusal çubukların birleşim noktalarına düğüm noktası adı verilir. Üst başlıklarda aksenal basınç gerilmeleri, ara elemanlarda hem basınç hem çekme, alt başlıklarda da çekme gerilmeleri görülür.



Resim 2.3. Ahşap düzlem kafes kiriş (<http://www.universaltimber.com>)

Taşıyıcı sistem malzemesi olarak ahşap, çelik ve betonarme kullanılmaktadır. Ahşap kafes kirişler, doğal veya geniş açıkların geçmede daha etkin olan lamine ahşap ile uygulanırlar. Dolu gövdeli veya makaslar olarak çelik, ahşap aşıklar kullanılmaktadır. Çelik düzlem kafes kirişler, kısa sürede üretim, kurulum ve ekonomik çözümler gibi avantajlara sahiptir. Şekil 2.39'de Kansai Havaalanı'nın taşıyıcı elemanları 14.4m x 82m'lik bir aks sistemi üzerinde düzenlenmiştir. 82m açıklık geçen 4m derinliğindeki büyük uzay kafes kirişler, çelik diyagonal ayaklar üzerinde taşınmaktadır. Ters üçgen kesitli, eğrisel çatı kirişleri, en düşük seviyelerinde gittikçe konikleşen ve konsol olarak çalışan saçak uçlarında alt ve üst başlıklar çelik plakalarla birleştirilmiştir.



Şekil 2.39. Kansai Havaalanı uzay kafes kiriş taşıyıcıları (Buchanan, 1994, s.81)

Betonarme kafes kirişler, kalıp ve beton dökümü gibi güçlüklerle sahip olmasına karşın bakım gerektirmez ve yangına karşı dayanımı yüksektir. Paralel başlıklı betonarme kafes kirişler en çok uygulanan tiplerdir. Paralel başlıklı dışında üçgen başlıklı ve trapez kafes kirişlerde uygulanmaktadır. Birleşimler, kolonda bırakılan donatı filizlerinin kirişteki yuvalarına yerleştirilerek, desteklenmesiyle gerçekleşir.

2.9.1.2 İki Doğrultuda Yük Aktaran Taşıyıcı Sistemler

Üzerine etkiyen yüklerin çubuk elemanlarla oluşturulan çatı taşıyıcısının kenarlarına ve oradan da mesnetlere iletiildiği uzay kafes sistemin yer aldığı bu

grupta taşıyıcı sistemin oluşum ilkeleri, geometrik biçim ve özellikleri açıklanmaktadır.

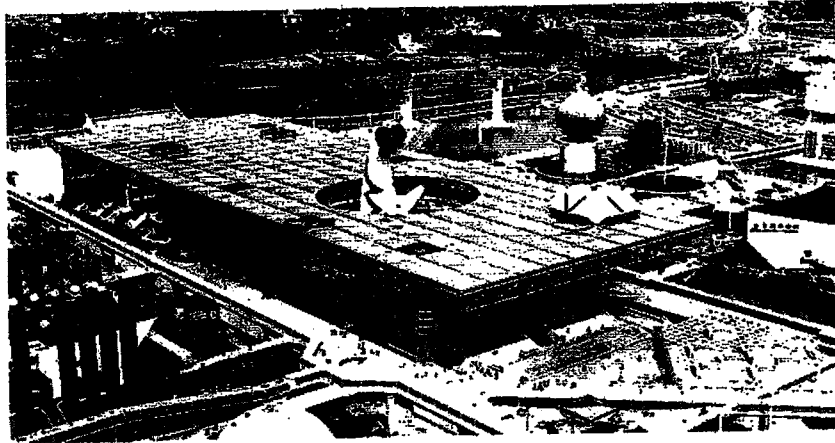
2.9.1.2.1 Uzay Kafes Sistemler

Uzay kafes sistemler, birbirlerine düğüm noktalarından bağlı çubuk ağından kurulu düzenlerdir. Çekme ve basınca çalışan doğrusal çubukların, çok yönlü bir yayılıma uğrayarak oluşturulan boşluklu yapıya sahiptir. Stabil üçgensel ağlar oluşturmak için çubuk ve düğüm noktası elemanlarına ihtiyaç vardır. Uzay kafes sistemlerle tek, çift veya çok tabakalı düzlem yada eğri yüzeyler oluşturulabilir. Bu sistemler temel formları yönünden üç gruba ayrılabilir.

1. Düzlem yüzeyli
2. Tonozsallı (tek eğrilikli) yüzeyli
3. Kubbesel (aynı yönde çift eğrilikli) yüzeyli

1. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler

Paralel iki düzlem ağın, düğüm noktalarından birbirlerine ara çubuklarla birleştirilmesiyle oluşur. Uzay kafeslerde kullanılan düzgün çok yüzlüler dörtyüzlü, sekizyüzlü ve yirmiyüzlüdür.



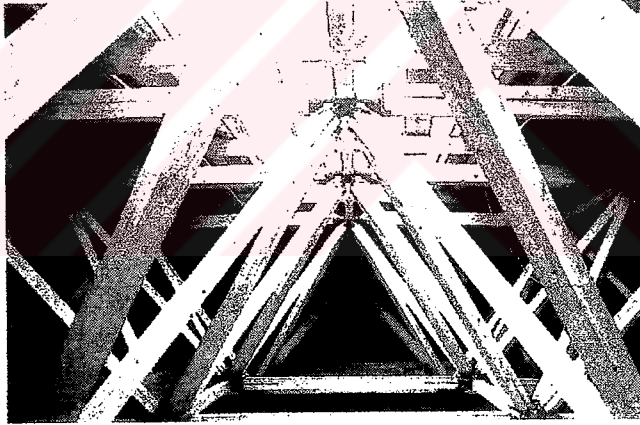
Resim 2.4. Expo 70, Osaka, Açıklıklar 291.6m x 108m (Chilton, 2000, s.61)

2. Eğri yüzeyli uzay kafes sistem

Tek veya çift eğrilikli yüzeyler üzerinde yer alan ağların, düz çubuklarla birleştirilmesiyle oluşur. Geometrik oluşumları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Tek eğrilikli uzay kafes sistemler
2. Çift eğrilikli uzay kafes sistemler
 - a) Eş eğrilikli
 - b) Ters eğrilikli

Çift eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanılan eş eğrilikli geometriler küre, paraboloid ve elipsoid kesitleri, ters eğrilikli yüzey geometrisi de hiperbolik paraboloiddir. Kubbe oluşumu, çift tabakalı düzlem yüzeyli bir uzay kafes sistemin her iki yöndeki alt başlık çubuklarının kısılmasıyla elde edilir.

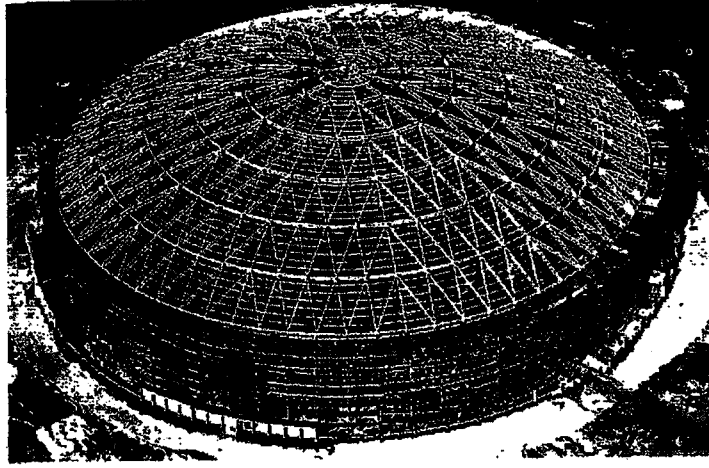


Resim 2.5. Ahşap uzay kafes sistem Oguni Dome, Japonya (Chilton, 2000, s.61)

Kubbesel uzay kafes sistemler, çubuk düzenlemelerine göre bir çok değişik tipte tek tabakalı çubuk ağı kubbelerine sahiptir. Bunlardan bazıları;

- | | |
|----------------------|----------------------|
| - Kaburgalı Kubbeler | - Jeodezik Kubbe |
| - Schwedler Kubbesi | - Zimmermann Kubbesi |
| - Lamel Kubbe | - Çerçeve Kubbeler |

Ters eğrilikli hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistemler, kare ızgaraya sahip bir uzay kafesin üst tabaka çubuklarının bir yönde kısalmışken, diğer yönde de alt tabaka çubuklarının kısaltılmasıyla elde edilir.



Resim 2.6. Çubuk ağı kubbesi, AstroDome, Houston (Barthel&Markert, 2001; s.839)

2.9.2. Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler

Yüzeysel taşıyıcı sistemler , düzlem veya eğri yüzeyli olarak yapılabilirler ve bir boyutu diğer iki boyutundan çok küçük olan taşıyıcı sistemlerdir. Plak ve katlanmış plaklar düzlem, kabuk ve şişme sistemler ise eğri yüzeyli taşıyıcı sistemlerdir.

2.9.2.1. Düzlem Yüzeyli Taşıyıcı Sistemler

2.9.2.1.1. Plak Sistemler

Plaklar, uzunluk ve genişliklerine oranla kalınlıklarının daha küçük olduğu düzlem yüzeyli taşıyıcı sistemlerdir. Bu sistemlerin yapıdaki görevi, üzerine etkiyen yükleri, boyutlandırmayı belirleyen eğilme gerilmeleri altında toplayarak kiriş ve kolonlar aracılığı ile zemine aktarmaktır.

Plakları, kalınlıkları doğrultusundaki gerilme dağılışına ve geçeceği açıklıklara bağlı olarak farklı kesitlerde yapmak mümkündür. Buna göre plak sistemleri;

- Kaset plaklar,
- Nervürlü plaklar,
 - “U” Plaklar
 - “T” Plaklar
 - “TT” veya “Çift T” Plaklar
- Boşluklu plaklar, olmak üzere üç grupta oluşturmak mümkündür.

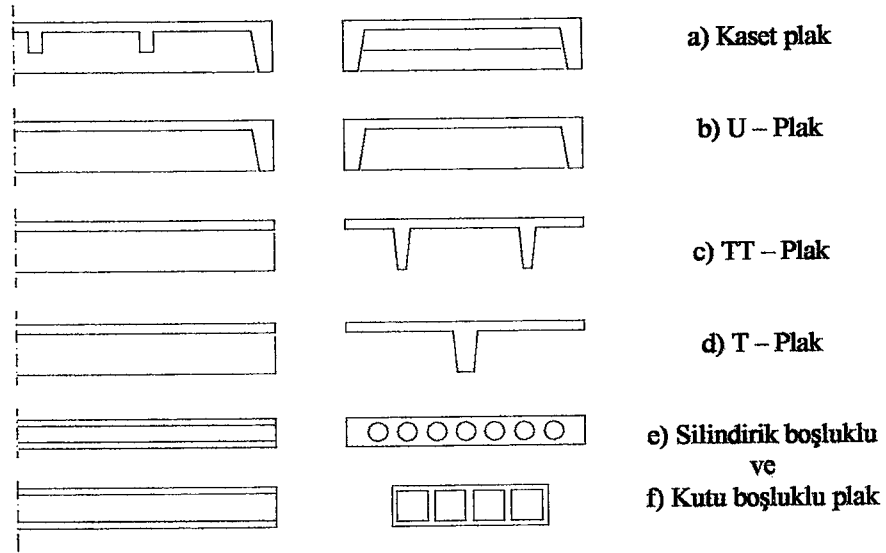
Kaset Plaklar: Plak çevresi boyunca ve kısa kenarlara paralel olarak düzenlenmiş nervürlerden oluşan plaklardır. Maksimum 12m açıklık geçebilen, hafif ve nervürlü yapısı nedeniyle ince döşeme kalınlığına sahip olmasına rağmen bu tip plaklarda, kalıp, donatı ve öngerme işlemlerinde güçlükler oluşmaktadır. (Şekil 2.40-a)

“U” Plaklar: Nervürlerin plak boyunca veya sadece uzun kenarlara uygulandığı plaklardır. Maksimum 20m açıklık geçebilmesine rağmen en uygun açıklık 12m’ye kadardır. İmalat ve kalıp işçiliği kaset plaklara göre daha kolaydır. (Şekil 2.40-b)

“TT” Plaklar : İki nervürlü olan bu plaklar uzun kenarlarında konsollara sahiptir. Öngerilmeli uygulamalarında küçük kesitlere sahip olduğundan maksimum 25m açıklık geçebilir. (Şekil 2.40-c)

“T” Plaklar: Plak ortasında, diğerlerine göre daha yüksek tek bir nervürden oluşan plaklardır. İstifleme ve montaj işlemleri sırasında devrilmeye karşı ek önlemlerin alınmasını gerektiren bu plaklar 20-25m arasında açıklıklar geçebilir. (Şekil 2.40-d)

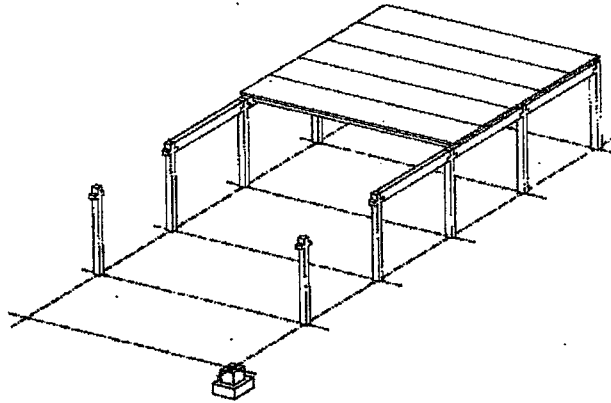
Boşluklu plaklar: Silindirik veya kutu boşluklu olarak imal edilen bu plaklar, tesisat donatılarının yerleştirilmesi için uygun, iyi bir ısı yalıtımı sağlaması ve istifleme kolaylığı gibi avantajlara sahiptir. İmalatı güç olan bu plakların silindirik boşluklu olanlarında maksimum 15m, keson boşluklularda ise maksimum 20m açıklık geçmektedir (Schmitt,1977).(Şekil 2.40-e-f)



Şekil 2.40. Plak tipleri

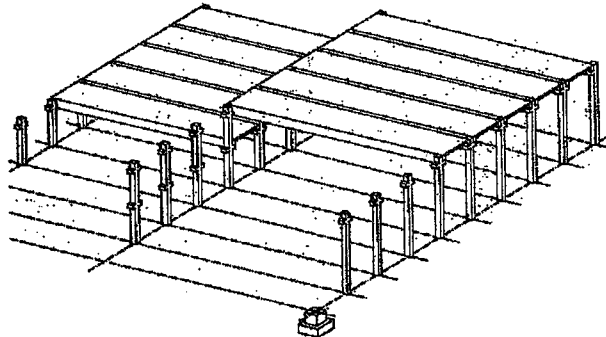
Plaklarla oluşturulan sistemler tek ve iki doğrultuda çalışan sistemler olarak iki sınıfta toplanabilirler. Tek doğrultuda çalışan sistemler, düz yüzeysel plak taşıyıcılarla kurulup düz ya da eğimli çatılı olabilirler. İki doğrultuda yük aktaranlar ise kaset döşeme elemanları ile ve kaset plakların birleştirilmesiyle oluşturulan sistemlerdir.

Kolon ve kirişlere oturan plaklar : Yüzeysel plak taşıyıcıların, düşey taşıyıcı elemanlar olan kolonlara tespit edilmiş bağlama kirişlerine oturtulmasıyla oluşan sistemlerdir.



Şekil 2.41. Kolon ve kirişlere oturan plaklar (Schmitt, 1977, s. 521)

Doğrudan kolonlara oturan plaklar : Rüzgar ve özellikle deprem gibi yatay kuvvetlerin fazla olmadığı yörelerde ve tek açıklıklı yapılarda, cephe kolonlarının aralıkları plak genişliği kadar (yani 2-3m) tutularak, bağlama kirişi yapılmaksızın bir sistem çözümüne gidilebilir.



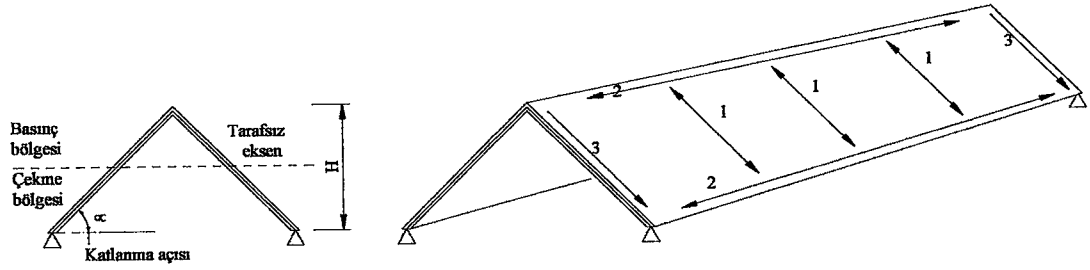
Şekil 2.42. Kolonlara oturan plaklar (Schmitt,1977,s.523)

Taşıyıcı duvarlara mafsallı oturan gergili plak sistem: Taşıyıcı iki yüzeysel plak ile çelik gergilerden oluşan bir sistemdir. Bu her iki yöne eğik çatı sistemi, düşey taşıyıcı plak veya kolonlara mafsallı olarak oturabilir. Mahya noktasında, mafsallı veya rijit bağlantılar uygulanabilir. Plak boylarının küçük tutulmasıyla geniş açıklıkların geçilmesine karşın gerginin konumu, mekan içinde sorun yaratabilir.

2.9.2.1.2. Katlanmış Plaklar

“Katlanmış plaklar, düzlem sürekli yüzeylerin bir açı altında monolitik birleşerek oluşturduğu, düzlem yüzeysel taşıyıcı sistemler olarak tanımlanabilir. Katlanmış plakların yük taşıma biçimi plak ve perde çalışmasına benzetilmektedir” (Türkçü,1990,s.38).

Dikdörtgen alanlardan oluşan katlanmış plağın uzunluğu, genişliğine göre çok büyük olduğu için tek yönlü plak çalışması göstererek, üzerine etkiyen yükleri uzun kenarlara doğru iletmektedir. (Şekil 2.43-1) Sistemin monolitik özelliğinden dolayı katlama çizgileri, kiriş görevi görerek uzun kenarlarda toplanan kuvvetleri, kısa kenarlara doğru iletirler. (Şekil 2.43-2) Bu kuvvetlerde kısa kenarlar boyunca mesnetlere iletilir. (Şekil 2.43-3)



Şekil 2.43. Katlanmış plaklarda yüklerin mesnetlere iletimi

Katlanmış plak yüzeylerine uygulanan düşey yükler, plak yüzeyine paralel ve dik olmak üzere iki bileşene ayrılır. Dik bileşen yüzeylerde eğilmeye neden olmaktadır. Bu sistemlerde plakların katlanma açıları küçüldükçe plak etkisi artmakta, perde etkisi azalmaktadır. Katlanma açısının büyütülmesiyle de katlanmış plağın yüksekliği ve yük taşıma kapasitesi artmaktadır. Katlanma açısının beton dökümü gibi nedenlerle 20° - 45° arasında uygulanmalıdır (Türkçü,1990).

a) Katlanmış plak geometrileri

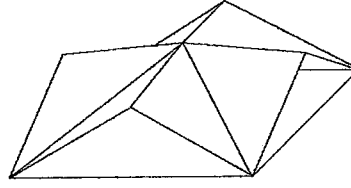
Ara kesitlerinin birbirleriyle olan konumlarına göre prizmatik ve piramidal katlanmış plaklar olmak üzere iki gruba ayrılabilir.

Prizmatik Katlanmış Plaklar : Yaygın olarak kullanılan, dikdörtgen yüzeyli katlanmış plaklardır. Farklı kesitlerde düzenlenebilen bu tür katlanmış plakların bir gözünün en kesitleri Şekil 2.44’de gösterildiği gibi “V”, “ ters U”, “U”, tonoz biçimli ve “Z” tipi olabilmektedir.

Piramidal Katlanmış Plaklar : Üçgen veya kesik üçgen (yamuk) biçimli yüzeylerden oluşur. Prizmatik katlanmış plaklarda plak çalışması kısa kenar doğrultusunda ve tek yönlüdür. Piramidal plaklarda iki yöne doğru plak çalışması gerçekleşir. Tüm düzgün ve yarıdüzgün çokyüzlüler tek başlarına veya bir araya getirilerek piramidal katlanmış yüzeyler oluşturulabilir (Türkçü,1990,s.45).



Prizmatik Katlanmış Plaklar



Piramidal Katlanmış Plaklar

Şekil 2.44. Prizmatik ve piramidal katlanmış plak enkesitleri

b) Katlanmış plaklarda oluşabilecek deformasyonlar

Katlanmış plaklarda enlemesine oluşa n açma kuvvetleri nedeniyle plakların biçim değiştirmesini önlemek için mesnetlerde ve alın yüzeylerinde sağlamlaştırma işlemleri yapılmalıdır. Ayrıca basınç gerilmelerinin etkisiyle, iki yüzeyli ters V kesitli bir katlanmış plakta, etkiyen yükün doğrultusuna bağlı olarak tek yüzeyde veya her iki yüzeyde de burkulma oluşabilir. (Şekil 2.45) Kenarların açılması nedeniyle sistemde stabiliteyi sağlamak için kolonlar arasına gergi, yan yüzeylerin çerçeve veya perde ile desteklenmesi gerekir.



Şekil 2.45. Katlanmış plaklardaki deformasyonlar ve önlemler (Ayaydın,1981,s.139)

2.9.2.2 Eğri Yüzeyle Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler

2.9.2.2.1. Kabuk Sistemler

“İki boyutu kalınlığından çok büyük olan, taşıma ve örtme işini aynı anda gören, dış kuvvetlere karşı kabuğun orta çizgisine teğet eksenel kuvvetlerle direnen tek veya çift eğrilikli hacimsel taşıyıcı sistemlerdir ” (Türkçü,1990,s.54).

Kabukların kalınlıkları geçtikleri açıklığa oranla çok azdır. Ayrıca, eğrilikli formlarının üstünlüğü ile üzerlerine etkiyen yükleri orta yüzeylerinde paralel membran gerilmeleriyle karşılandığında taşıma kapasiteleri daha da artar. Üzerlerine etkiyen düzgün yayılı yükleri de orta yüzeyleri içinde basit normal gerilmelerle mesnetlere taşırlar. Kabuklar, eğriliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilirler.

1. Tek eğrilikli kabuklar
2. Çift eğrilikli kabuklar
 - Eş eğrilikli (Sinklastik yüzeyler)
 - Ters eğrilikli (Antiklastik yüzeyler)

Kabuk sistemlerin yapımı için en uygun malzeme, betonarmedir. Basınca dayanıklı olan betonarme, kalıp yapımına olanak tanıyan her türlü geometride kullanılabilir. Eğriliklerine göre tek veya çift eğrilikli yüzeylerden oluşur.

1. Tek Eğrilikli (Silindirik) Kabuklar

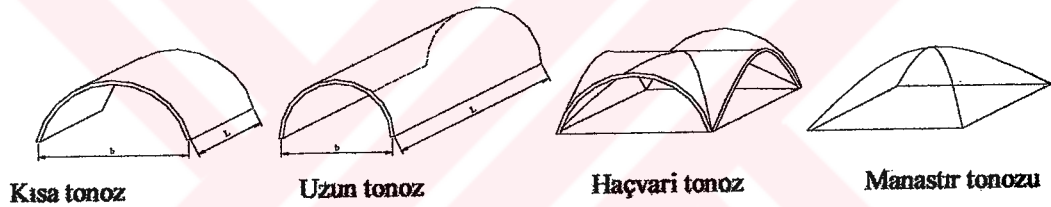
Tonoz kabuklar olarak da isimlendirilen silindirik kabuklar, çizel yüzey olmasından dolayı kalıp ve çözüm kolaylığı sağlamaktadır. Asimetrik yükler karşısında, deforme olduklarından basınca ek olarak çekme ve eğilmeye uygun malzeme kullanılmalıdır. Kısa ve uzun tonoz kabuklar olmak üzere gruplandırılabilir.

Kısa tonoz kabuklar : Tonoz uzunluğunun (L), geçilen açıklıktan (b) ve tonoz yarıçapından (r) kısa olduğu silindirik kabuklardır. (Şekil 2.46) Kemer gibi çalışan

bu kabukların kenarlarında ki çekme kuvvetlerini ve açılmayı karşılamak için kenar kirişlerinin yapılması ve kenarların yeterli donatı ile kalınlaştırılması gerekir.

Uzun tonoz kabuklar : Tonoz uzunluğunun (L), geçilen açıklıktan (b) ve tonoz yarıçapından (r) uzun olduğu silindirik kabuklardır. (Şekil 2.46) Tonoz yüzeyi, alın öğeleri, kenar kirişleri ve mesnetler olmak üzere dört taşıyıcı öğeden oluşmaktadır. Yük aktarımı katlanmış plağa benzermekte ve açılmaya karşı da katlanmış plaklardaki önlemlerin alınması gerekir.

Tek eğrilikli kabuklar, birbirine dik iki doğrultudan birinin eğri, diğerinin ise doğru olduğu formlardır. Bunlar, kısa ya da uzun silindirik kabuk olarak gerçekleştirilebildikleri gibi, bunların yan yana getirilmeleri ya da kesiştirilmeleri ile de manastır tonozu ve haçvari tonoz gibi değişik formlar elde edilebilir.



Şekil 2.46. Silindirik tonozlar ve kombinasyonları

2. Çift Eğrilikli Kabuklar

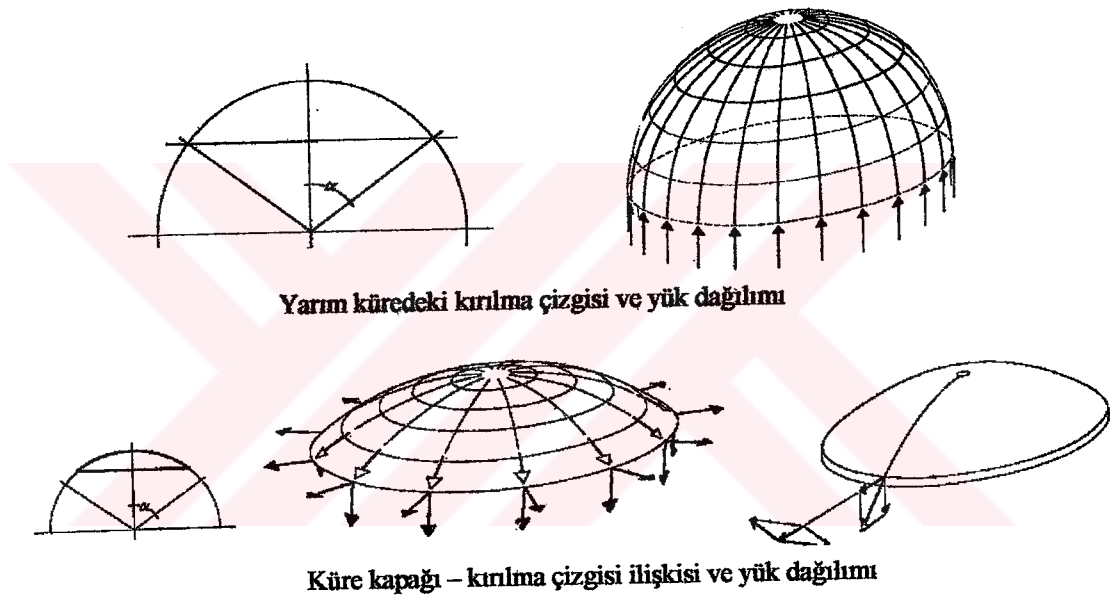
2.1 Eş eğrilikli kabuklar

Eş eğrilikli kabuklarda en yaygın olarak kullanılanlar, küresel kabuklardır. Bu kabuğun herhangi bir noktasına kuvvet uygulandığında, kabuk yüzeyi içinde, meridyenler ve paralel halkalar (enlemler) doğrultusunda olmak üzere, iki doğrultuda kuvvetler oluşur.

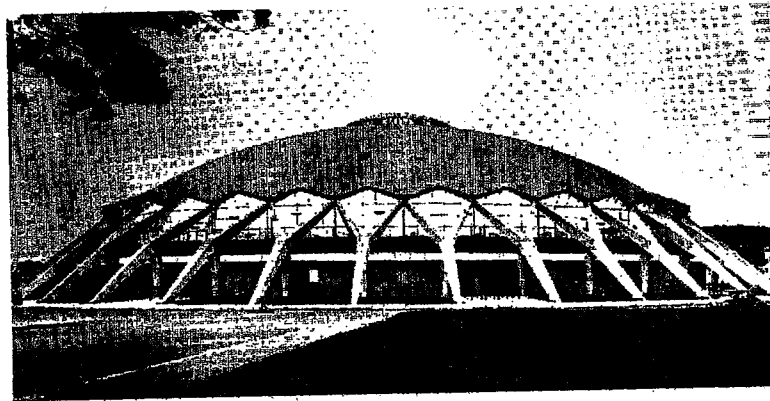
Meridyen kuvvetleri her zaman basınç kuvvetleridir. Yük altındaki küresel kabukların üst enlemlerinde bir azalma, dolayısıyla basınç kuvveti; alt enlemlerin boylarında ise uzama yani çekme kuvvetleri oluşacaktır. Bu iki enlem grubu arasında

“kırılma veya 0” çizgisi olarak tanımlanan, uzunluğu değişmeyen bir enlem bulunmaktadır. (Şekil 2.47-a) Kırılma çizgisi, kendi ağırlığı altında döndürme eksenini ile $\sim 52^\circ$, düşey yük altında da 45° ’lik açı yapmaktadır. Kırılma çizgisinin altındaki halkalarda çekme, üstündekiler ise basınç gerilmeleri görülür (Jeodicke, 1963).

Kubbesel yarım kürelerin mesnet noktalarında tepki kuvvetlerinin yatay bileşeni bulunmadığı için kenar bölgesi boyunca çekme çemberine gerek olmamaktadır. (Şekil 2.47-b) Fakat, yarım küreden daha küçük basık kürelerin mesnet noktalarında teğet olan etki kuvvetinin yatay bileşenini karşılamak için çekme çemberine ihtiyaç vardır. (Şekil 2.47.-c,d,e)



Şekil 2.47. Yarım küre ve küre kapağı kabuklar (Jeodicke, 1963, s.100-101)



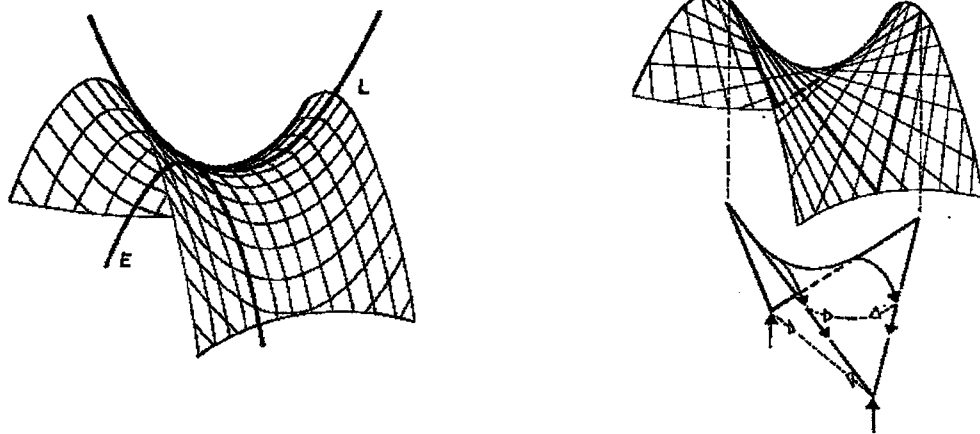
Resim 2.7. Küçük spor sarayı, P.L. Nervi (Jeodicke, 1963, s.112)

Kabuklarda burkulmaya karşı sistemin dayanımını arttırmak için aynı malzemede kabuk kalınlığını arttırmak, kabuğu yükselterek eğrilik yarıçapını azaltmak veya kaburgalarla desteklemek gerekir. Avrupa standartlarına göre kabuk kalınlığı en az 5-6cm olmalıdır (Türkçü,1990). Kubbe kabuklarda gerçekleştirilmesi istenen koşullar:

- Kabuk eğriliğinin düzgün olması,
- Kalınlığın aynı kalması; ani değişimlerin yapılmaması,
- Mesnetlendirmenin sürekli olması, eğer olamıyorsa; kabuk çevresinde gerekli önlemlerin alınması,
- Mesnetlerde, kabuğun deformasyonlarına yol açacak rijit bağlantıların yapılmaması şeklinde özetlenebilir.
- Kabuğa büyük tekil yüklerin gelmemesinin sağlanması (Ayaydın,1981),

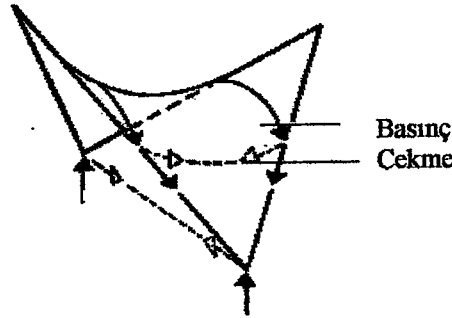
2.2. Ters eğrilikli kabuklar

Hiperbolik paraboloid kabuklar : Her iki doğrultuda da büyük boyutlar gösteren; kare, büyük dikdörtgen veya polgonal plan izdüşümlü, çift eğrilikli, ters-eğil yüzeyli kabukların en önemlisi, parabol biçimindeki bir doğuray eğrisinin, kendisine dik bir düzlemdeki ve gene parabol olan bir doğrultman eğrisi üzerinde, kendisine paralel olacak şekilde kaydırılması ile oluşan öteleme yüzeyli, hiperbolik paraboloid (kısaca HP) kabuktur (Ayaydın,1981,s.163).



Şekil 2.48. Hiperbolik paraboloid yüzeyin oluşum şekilleri (Wegler,1975, s.394)

Düz kenarlı hiperbolik paraboloid : Dört kenarında doğrusal olan ve alt noktalarından mesnetlendirilen HP kabuklardır. Bu kabukların alt uçlarında, üst noktalardan başlayarak kenarlar boyunca artan basınç kuvvetleri oluşur. Bu kuvvetler, mesnetlerde yanlara doğru açılmaya neden olmaktadır. Açılımı engellemek için gergi ile desteklenmesi veya mesnet hareketlerini engelleyici bağlantıların yapılması gerekir.



Şekil 2.49. Düz kenarlı HP kabukta kuvvet dağılımı (Schmitt, 1977, s.540)

Düz kenarlı HP kabukların yanyana gelmesiyle Şekil 2.49 da gösterildiği gibi farklı yüzey geometrileri ortaya çıkmaktadır. Bu kombinasyonlardan, tek mesnetli huni kabuklarda mesnete doğru artan basınç kuvveti oluşur. Alt uçlarından dört mesnetli bileşik kabuklarda da basınç etkisiyle artan itme kuvveti için gergiler kullanılmalıdır.

Hiperboloid paraboloid kabuklarda diğer bir sorunda sistemin yatay yüklere bağlı olarak öne veya arkaya devrilmesi tehlikesidir. Bunu engellemek için kenar kirişleri boyunca basınca ve çekmeye çalışabilen düşey taşıyıcılarla desteklenmelidir. Diğer alınması gereken önlemler, sistemi tepe noktalarından zemine sabitlemek veya birkaç hiperbolik paraboloid kabuğu yanyana getirilerek birbirlerini desteklemesi sağlanmalıdır.

2.9.2.2.2 Şişme (Pnömatik) Sistemler

Şişme sistemleri, hava veya çeşitli gazlar ile kapalı bir hacim içerisinde yaratılan basınç farkı etkisiyle, esnek, hafif, ince ve dayanıklı yapıya sahip membran

malzemenin taşınması olarak tanımlayabiliriz. Membran örtüye uygulanan öngerilme ile hem örtme hem de taşıyıcılık özelliği kazandırılır.

Şişme sistemler, membran malzeme, membranı taşıyan hava veya gaz, zemin bağlantıları ve yapıya giriş-çıkışı sağlayan giriş bölümleri olmak üzere dört temel elemandan oluşur. Genellikle membran olarak PVC, cam elyafli dokumalar, polietilen, çelik ve alüminyum levha vb. malzemeler kullanılır (Dent,1971).

Şişme sistemler içlerindeki basınç düzeyine göre :

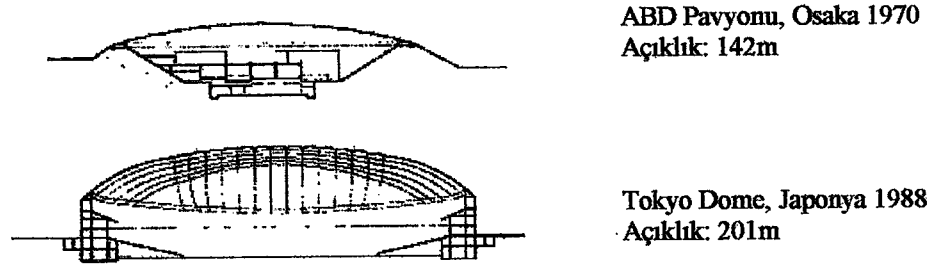
- Alçak basınçlı ~ 200 kgf/m²
- Yüksek basınçlı ~ 2000-70000 kgf/m²

olarak iki grupta sınıflandırılan bu sistemlerdeki basınç seviyesi, örtülecek hacmin ve alanın büyüklüğüne, yüksekliğine ve rüzgarın şiddetine paralel olarak artmakta veya azalmaktadır (Türkçü,1997).

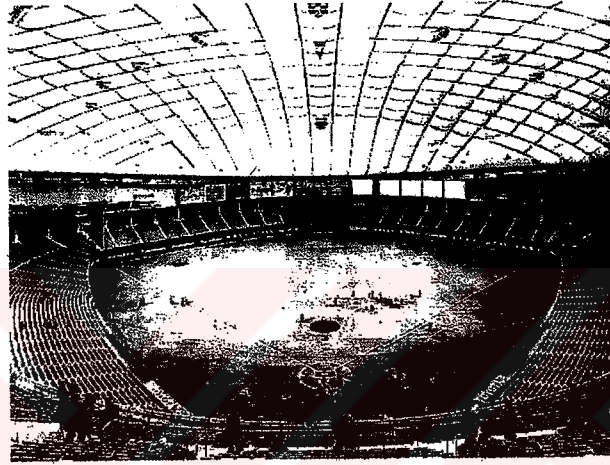
Tek cidarlı şişme sistemler : Alçak basınçlı şişme sistemleri, tek cidarlı veya hava destekli şişme sistemler olarak da adlandırabiliriz. Tek membranlı geometrik şekilleri silindir, küre kesitleri, elipsoid ve tor yüzeyleri ile bu yüzeylerin kombinasyonundan oluşur. Basınç farkının yaratıldığı kapalı hacim olarak, pozitif bölge olarak tanımlanan iç mekanın tümü kullanılmaktadır. Basınç farkı, çekme gerilmelerinin yüzey üzerinde her bir noktada aynı değere sahip olmasıyla membran gerilmeleri meydana gelir.

Basınçlı mekanlarda, insanların fiziksel ve biyolojik olarak dayanabileceği alçak basınç düzeyinde basınç seviyesi olması gerekir. Sistemde taşıyıcı olarak kullanılan havanın yapı içine belirli aralıklarla verilmesiyle oluşturulan basınç fazlalığı, kompresörler yardımıyla sağlanır. Ayrıca, bu uygulamada iç mekanda kullanılan hava, temiz hava ile değiştirilmektedir.

Tek cidarlı şişme sistemlerde iç mekandaki basınç farkının korunabilmesi için rüzgarın şiddeti göz önüne alınarak, giriş-çıkışların hava kaçırmayacak şekilde düzenlenmesi gerekir.

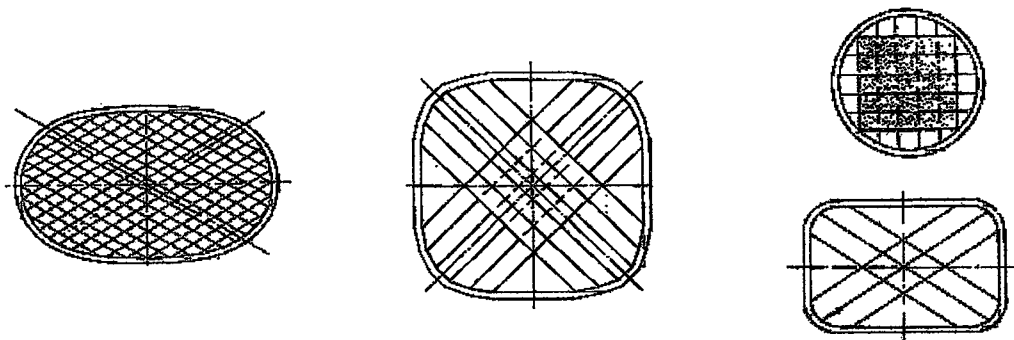


Şekil 2.50. Tek cidarlı şişme sistem kesitleri (Barthel&Markert, 2001, s.840)



Resim 2.8. 201m açıklığındaki Tokyo Dome, Japonya (Müramatsu, 1988, s.28)

Şişme sistemlerde membran örtünün kablolar ile desteklenmesi, örtü yüzeyi üzerindeki gerilmeleri azaltmaktadır. Ayrıca, bu destekleme, taşıyıcı sistem yüksekliğini ve dolayısıyla hacmi azalttığından kapalı hacmin büyümesi önlenerek ısıtma giderleri de azaltılır.



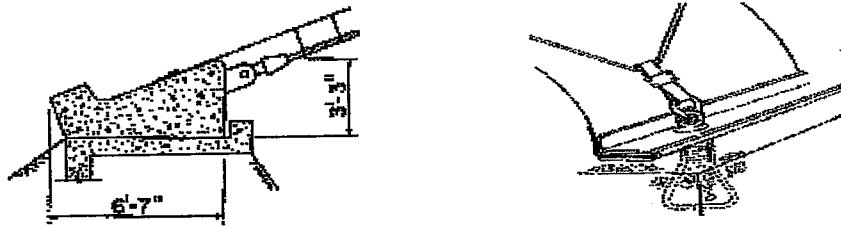
Şekil 2.51. Kablo destekli şişme sistemler ([http:// www.ec.njit.edu](http://www.ec.njit.edu))

Cift cidarlı şişme sistemler : Basınç fazlalığının iki membran tabakası arasında oluşturulduğu ve eylemlerin gerçekleştirildiği iç mekanın şişme sistemin altında yer aldığı taşıyıcılardır. Bu durumda girişlerin hava kaçırmayacak şekilde düzenlenmesine gerek yoktur.

İnsanların kullanmadığı kapalı bir hacim olduğundan havanın temizlenmesine gerek olmamakta ve hava kaybı azalmaktadır. Fakat, yinede birleşim noktalarındaki kayıplar nedeniyle belirli aralıklarla hava pompalanır. Malzemeye bağlı olarak iç basıncın arttırılmasıyla hortum ve yastık taşıyıcılar oluşturulabilir.

Geniş açıklıklarda membran örtü, kablo ve kablo ağı gibi çekme elemanlarıyla desteklenerek geçilebilecek açıklık arttırılabilir. Ayrıca, daha ince malzeme kullanılabilir, rüzgar etkisiyle oluşabilecek dalgalanmalar önlenebilir. Sistemde mekan yüksekliği azaltılarak ısıtma ve havalandırma ihtiyacı azalır.

Şişme sistemler, doğrudan veya ara düşey taşıyıcı elemanlarla zemine bağlanırlar. Birleşimlerin düzenlenmesinde, sistem içindeki basınç fazlalığının korunması gerekmektedir. Bunun için ankraj elemanlarının seçimi, temel türüne ve sistemin büyüklüğüne bağlı olarak değişmektedir. Fakat uygulama noktası olarak birleşimlerin, membran yüzeyine teğet olarak yapılması gerekmektedir.



Şekil 2.52. Şişme sistemlerde zemin bağlantıları ([http:// www.ec.njit.edu](http://www.ec.njit.edu))

2.9.3 Kablo (Asma) Sistemler

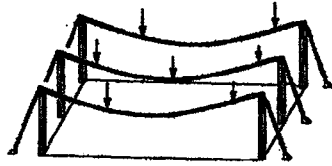
"Yük taşıma işleminin kablolar tarafından gerçekleştirildiği, esas yüklerin ankraj noktaları arasına gerilmiş çekme elemanları tarafından taşındığı taşıyıcı sistemler kablo sistemler olarak tanımlanmaktadır" (Türkçü, 1997, s.19).

Çekmeye çalışan elemanlar için burkulma tehlikesi söz konusu olmadığından, bu tür yapılarda çok ince kesitlere varılabilmektedir .Ancak, asma sistemlerin hafifliği nedeniyle, rüzgarın emme etkisi ve simetrik olmayan yükler, stabilitenin bozulmasına ve “dalgalanma” olayına sebep olabilirler. Buna karşı alınan önlemler, çözümlere büyük bir çeşitlilik kazandırır (Ayaydın,1981,s.202).

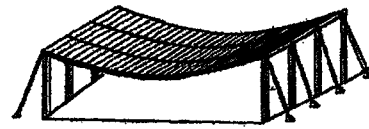
Kablo sistemler, üç grupta incelenebilir. Bunlar;

- Tek kablo sistemler
- Çift kablo sistemler
- Kablo ağ sistemleri

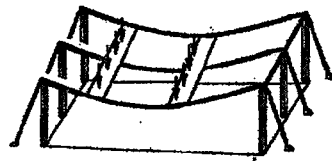
Tek kablo sistemler : Dikdörtgen planlı mekanları örtmek için uygun tek kablo sistemler, iki mesnet arasında kendi ağırlığı ile sarkan ve paralel olarak sıralanmasıyla tek eğrilikli tonoz yüzeyleri oluşturan tek tabakalı kablo sistemlerdir. Tek eğrilikli tek kablo sistemlerin stabilitesi için çatı örtüsünün ağır olması gerekir. Bu nedenle doğrudan kabloları oturan örtü elemanları düşünüldüğünde prefabrike beton plaklar kullanılmalıdır. Plaklarla kabloları birbirine bağlamak ve sistemin eğilme rijitliğini artırarak stabilite güvenliğini sağlamak ve sistemin rüzgar etkisiyle dalgalanmasını önlemek için çatıya öngerilme uygulanır.



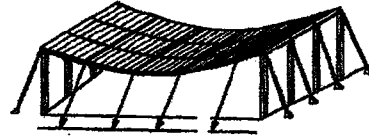
Tek başına çalışan kablolar



Çatıyı bir bütün olarak çalıştıran döşeme elemanlarının kabloları birleştirmesi



Enine elemanlarla kabloların birlikte çalışması

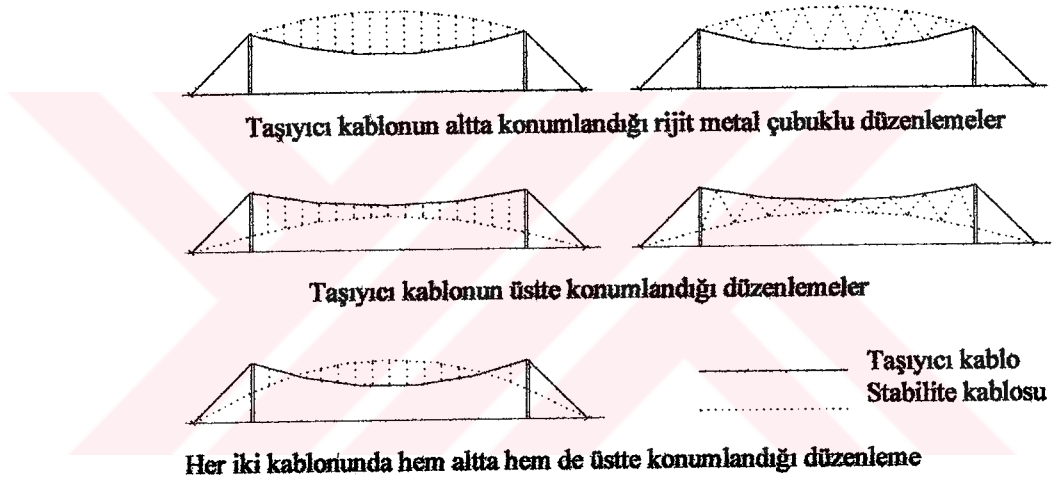


Enine yöndeki kablolarla sisteme öngerilme verilmesi

Şekil 2.53. Tek kablo sistemlerde statik çalışma (Türkçü,1997,s.38)

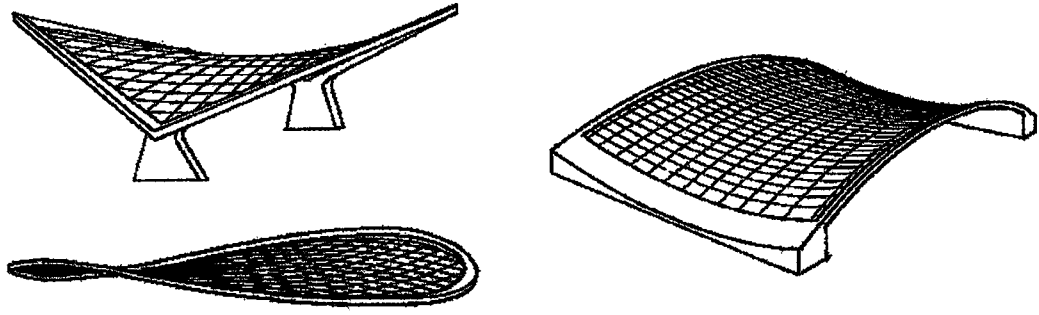
Çift kablo sistemler : Tek kablo sistemlerin, hareketli yük etkisiyle oluşan dalgalanma ve ağır çatı kaplaması gerektirmesi nedeniyle çift kablo sistemler geliştirilmiş ve dikdörtgen alanların daha hafif bir örtü ile kapatılması sağlanmıştır. Çift kablo sistemler, aynı düzlemde ve eğrilikleri birbirine göre ters olan taşıyıcı ve stabilite kablosu olmak üzere iki tür kablodan oluşur (Türkçü,1997).

Taşıyıcı kablolar, sarkan konumda tüm yükleri taşıırken; kemer biçimli stabilite kablosu da iki kabloyu birbirine bağlayan düşey veya diyagonal ağ elemanlarıyla birlikte öngerilim sağlarlar. (Şekil 2.54) Her iki kablo da çekmeye çalışırken, ağ elemanları stabilite kablosu üstte olduğunda basınca, altta olduğunda da çekmeye çalışır.



Şekil 2.54. Çift kablo sistem düzenlemeleri

Kablo ağı : Birbirlerini kesen taşıyıcı ve stabilite kablolarının, iki veya üç yönlü olarak düzenlenmesiyle oluşturulan tek veya çift eğrilikli sisteme kablo ağı adı verilir. Çift kablo sistemlerdeki gibi sarkan taşıyıcı kablo, yükleri taşıırken; öngerilmeyi stabilite kablosu sağlamaktadır. Çift eğrilikli kablo ağları stabilitesi daha yüksek olduğundan daha yaygın kullanılmaktadır. Bunlar eş veya ters eğrilikli olmaktadır. Kablo ağlarında en çok uygulanan sistem, iki veya üç yönlü kablolarla oluşturulmuş hiperbolik paraboloid biçimlinli kablo sistemlerdir. Başlıca elemanları taşıyıcı ve stabilite kabloları ile kenar elemanlarıdır.

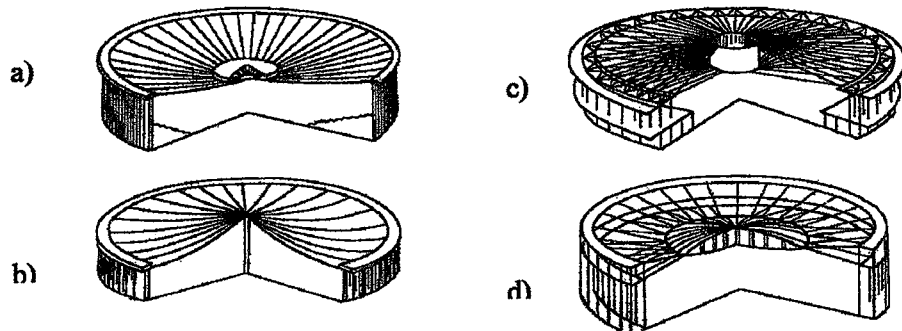


Şekil 2.55. Hiperbolik paraboloid kablo ağı (Vandenberg,1998,s.21)

Daire planlı mekanların örtülmesinde kullanılan diğer bir kablo ağı sistemi de radyal kablo ağıdır. İçte bir çekme çemberi, dışta bir basınç çemberi ve bu çemberler arasında radyal taşıyıcı kablolarla oluşturulan bu sistemde öngerilme, gerekli stabilite kablolarıyla ağ üzerinde düzenlenir.

Radyal kablo ağılarda iç çember için üç konum söz konusudur.

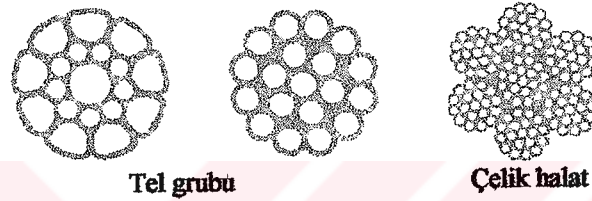
- İç çember, dıştaki basınç çemberinden daha alttadır. Bu durumda iç çember, taşıyıcı kablolarla basınç çemberine bağlandığından iç çemberin kendi ağırlığı da kenara aktarılmaktadır.(Şekil 2.56-a)
- İç çember, dış çemberden daha üsttedir. Şekil 2.56-b’de gösterilen merkezi bir pilon tarafından desteklendiği gibi iç çemberi taşıyacak bir elemana ihtiyaç vardır.
- Silindirik biçiminde oluşturulan iç çemberin bir kenarı dış çemberin üstünde konumlanırken diğer kenarı dış çemberin altında kalmaktadır. İç çemberin alt ve üst kenarından çıkan kablolar dış çembere bağlanır (Türkçü,1997).(Şekil 2.56-c ve d)



Şekil 2.56. Radyal kablo ağı düzenlemeleri (Rühle, 1970, s.18-19)

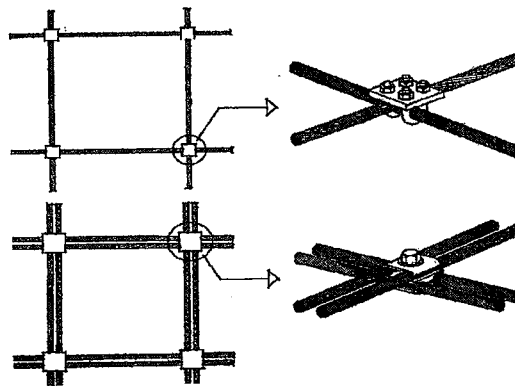
Kablolar : Kablolar bükülebilir ve çekme kuvvetlerini alabilen elemanlar olarak tanımlanabilir. Genellikle çelikten üretilen kablolar, tel grupları ve çelik halatlar olarak ikiye ayrılırlar.

- a) Tel Grupları : Bir tel grubu, bir merkezi tel etrafına helisel olarak sarılmış bir veya daha fazla tabakalı çelik tellerin toplamı olup enkesitleri Şekil 2.57’de gösterilmiştir. Normal, kapalı, paralel tel grupları olarak üçe ayrılır.
- b) Çelik halatlar : Tellerin veya tel gruplarının helisel olarak bir araya getirilmesiyle oluşan çelik kablolardır. (Şekil 2.57)



Şekil 2.57. Çelik kablo türleri (Vandenberg,1998,s.26)

Düğüm Noktaları : Kabloları birbirine bağlayan, çatı örtülerine mesnet oluşturan birleşim elemanlarıdır. (Şekil 2.58) Görevleri ayrıca kablo sisteminin geometrisini sabitleştirmek, sisteme ön gerilme verilebilmesini sağlamak, çatı örtüsü ve ısıtma tesisat vb. aygıtların asılmasını sağlamaktır (Türkçü,1997).



Şekil 2.58. Tek ve çift kablolu düğüm noktası detayı (Vandenberg,1998,s.34)

BÖLÜM ÜÇ

DÜZLEM KAFES KİRİŞ ve UZAY KAFES SİSTEMLER

Bu bölümde, çubuk sistemler içinde yer alan, doğrusal çubuk elemanlarla oluşturulmuş düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin imalatı, malzemesi, geometrik biçimleri, yapım sistemleri açısından araştırılarak, her iki taşıyıcı sistemin tanımı, oluşum ilkeleri, bileşenleri ve birleşim özellikleri sunulmaktadır.

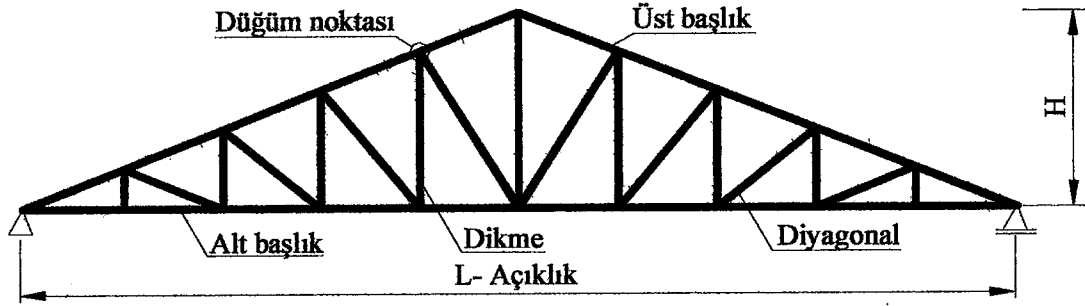
3.1. Düzlem Kafes Kirişler

Düzlem kafes sistemler, doğru eksenli çubukların uçlarından birbirlerine birleştirilmesiyle elde edilen taşıyıcı sistemlerdir. “Düzlem kafes sistemler bütün yapı sistemleri içersinde en önemlilerinden biridir. Böyle bir sistemi, hepsi bir düzlem içersinde bulunan ve birbirlerine uçlarından, rijit bir çerçeve oluşturacak şekilde birleştirilmiş çubuklar sistemi olarak tanımlamak mümkündür” (Timoshenko&Young, 1981, s.1).

Düzlem kafes kirişler, üst ve alt başlık çubukları ile bunların arasında düzenlenen örgü çubuklarından oluşur. Çubukların birleştiği noktalara düğüm noktası adı verilir. Sistemi oluşturan doğrusal çubuklar, düğüm noktaları ve etkiyen yükler aynı düzlem üzerinde yer alırlar. (Şekil 3.1)

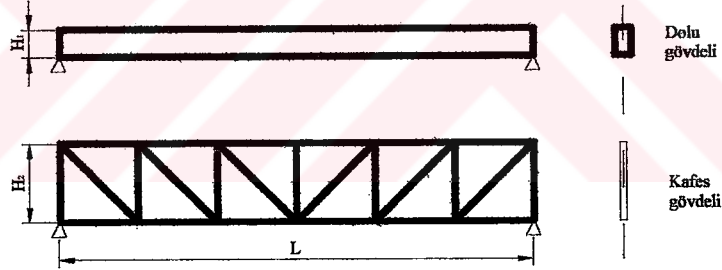
Dolu gövdeli basit kirişlerin üst bölümünde basınç gerilmeleri, alt bölümünde ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Bu oluşum, kirişin alt ve üst bölümlerinde malzeme yoğunluğunun toplanması için bir avantajdır. Sürekli dolu gövdeli bir kiriş yerine,

bir düzlem üzerindeki çubukların belirli bir geometrik düzen içinde, yeterli yükseklik ve kalınlıkta birleştirilmesiyle oluşan kafes kirişin kullanılması geniş açıklıklı yapılarda daha uygun bir sistemdir (Buckle,1990, s.99).



Şekil 3.1. Düzlem Kafes Kiriş

Sonuç olarak, daha az malzeme kullanarak daha yüksek bir taşıma gücünü elde etmek için kiriş yüksekliğinin önemli miktarlarda arttırılması ve tekil çubuklarla oluşturulması gerekir.



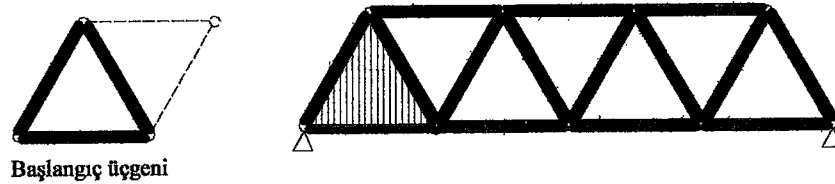
Şekil 3.2. Dolu gövdeli ve kafes gövdeli kirişler

En küçük kafes sistem, üç çubuğun uçlarından birleştirilmesi ile oluşan üçgen çerçevedir. Birbirine mafsallı çubuklardan oluşan dikdörtgen veya çokgenler yüklemenin etkisiyle rijit olmadıkları için geometrileri değişir. Üçgen ise dengeli ve rijit yapısı nedeniyle deformasyona uğramaz. Düğüm noktalarının yeri değişmez.

“Bir rijit düzlem kafes sistem, daima, birbirlerine uçlarından bir üçgen oluşturacak şekilde mafsallanmış üç çubuktan başlayıp buna her yeni mafsal için iki çubuk ilave ederek elde edilir ” (Timoshenko&Young, 1981, s.2).

3.1.1. Düzlem Kafes Kirişin Denge Koşulu ve Geometrisi

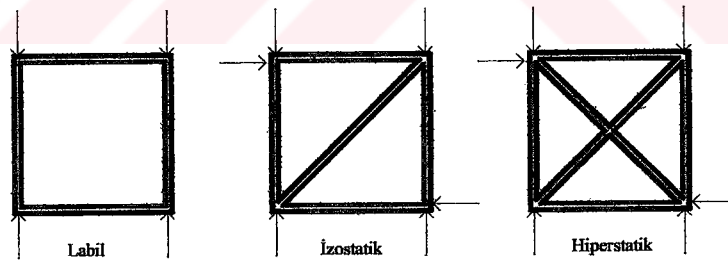
Bir kafes sisteminde çubuk sayısı ile düğüm noktası sayısı arasında kesin bir bağıntı vardır. Üç çubuk ve üç düğüm noktasından oluşan başlangıç üçgeni, sistem içinde düşünülmezse her düğüm noktası için iki çubuğa ihtiyaç vardır.



Şekil 3.3. Düzlem kafes kirişin başlangıç üçgeni

Sistemde , (m) çubuk sayısı ve (j) düğüm noktası sayısı ise $m = 2j - 3$ eşitliği yazılabilir. Eşitlikler ile bilinmeyenler arasındaki ilişki:

1. $m < 2j - 3 \rightarrow$ Bilinmeyenlerin sayısı, eşitlikten daha azdır. Sistem labildir.
2. $m = 2j - 3 \rightarrow$ Sisteme etkiyen yükler ile eksenel yükler dengededir. Sistem, izostatiktir.
3. $m > 2j - 3 \rightarrow$ Sistem, hiperstatiktir. Statik eşitlikler eksenel yüklerden daha fazladır. Dengede değildir. Fazla sayıda çubuğa sahiptir.



Şekil 3.4. Labil, izostatik ve hiperstatik sistemler

Bir makas kiriş, doğru bir şekilde üçgenlere ayrılmasıyla çubuklar üzerindeki gerilmeleri hesaplamak ve stabiliteyi sağlamak için yeterli sayıda elemana sahip olmalıdır. ... Makas kirişler yetersiz veya fazla sayıda elemanla üretilir. Yetersiz olduğu durumda yük altında biçimini değiştirebileceği için bu tür makaslarda düğüm noktaları rijit veya yarı rijit olmalıdır. Fazla sayıdaki elemana sahip makaslar gerçekte daha stabildir fakat hesaplamaları zor olmaktadır (Buckle,1990,s.100).

Taşıyıcı sistemlerde geometriyi belirleyen etkenlerden biri çatı kaplama malzemesidir. Düzlem kafes kiriş geometrisi de çatı kaplama malzemesine bağlı olmakla birlikte geometri tasarımında malzeme ekonomisi ve etkinliği de yer almaktadır. Örneğin, üst başlığı eğimli düzlem kafes kirişlerde, geçilen açıklık sabit kalmak koşuluyla eğimin arttırılmasıyla kiriş yüksekliği artmakta ve malzeme miktarı azalmaktadır. Bu durum, belirli bir noktaya geldiğinde açının artmasıyla basınca çalışan çubuklardaki burkulma nedeniyle çubuk kesiti artmakta ve tekrar kullanılan malzeme miktarı artmaktadır. Kiriş geometrisi için bu etkenler dikkate alınarak geçilecek açıklık için en iyi değeri uygulamak gerekmektedir.

3.1.2. Kafes Kiriş Yüksekliği - Açıklık İlişkisi

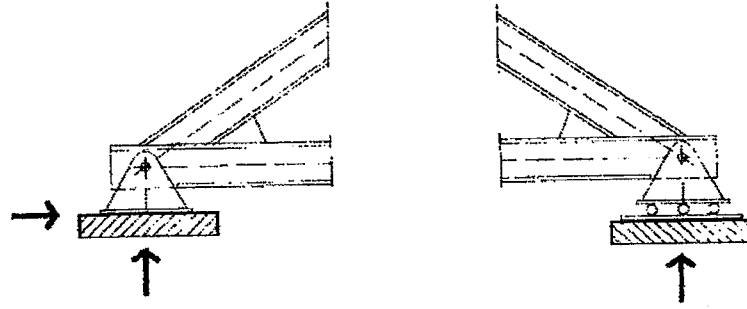
Düzlem kafes kirişlerde kiriş yüksekliğinin açıklığa oranı ve geçebileceği maksimum açıklık malzeme türüne göre değişmektedir.

	<u>Yükseklik/açıklık (H/L)</u>	<u>L_{max}</u>
Ahşap	1/6-1/10.....	24m
Çelik	1/12-1/16.....	50m
Öngerilmeli çelik	1/6-1/25.....	60m
Betonarme	1/5-1/15.....	40m (Özşen & Yamantürk,1991)

3.1.3. Düzlem Kafeslerde Mesnet Uygulamaları

Kafes kirişlerin, duvar yada kolona sabitlendiği noktalarda biri sabit diğeri hareketli olmak üzere iki tür mesnet kullanılır. Sabit mesnet, makasın düşey ve yatay hareketini engelleyerek dönmesine izin vermektedir. Hareketli mesnet ise sistemin rijitliğini korumak için sadece düşey hareketini engeller ve yatay harekete izin verir.

Bir kafes sistemi kendi düzlemi içerisinde mesnetlemede kullanılan diğer metod, sistemi temele, kendi elamanlarına benzeyen ek çubuklar yardımı ile bağlamaktır. Genel olarak, bir kafes sistemin bir düzlem içerisinde tam olarak bağlanması, eksenleri birbirlerine paralel olmayan veya bir noktada kesişen üç çubukla elde edilir (Timoshenko&Young,1981,s.6).



Şekil 3.5. Düzlem kafes kirişlerin mesnet uygulamaları (Sönmez, 1998, s.25)

Sistemin üç paralel çubukla mesnetlendiği durumda yatay yönde hareket serbestliğine sahip olduğundan kafes kiriş stabil olmamaktadır. Bir noktada kesişen üç çubukla mesnetlenmiş düzenleme, dönmeye karşı serbest olup, tam olarak sabitlenmemektedir. Birbirine paralel olmayan iki çubuğun bir noktada kesiştiği düzenlemede, dönmeyi engelleyen üçüncü bir paralel çubuğun aynı düzlemde bağlanması ile sabitlenir.

3.1.4. Düzlem Kafes Kiriş Tipleri

Düzlem kafes kiriş tiplerini hem sistem bileşenlerinden alt ve üst başlık şekillerine göre hem de diyagonal ve dikme düzenlemelerine göre farklı sınıflandırmalar yapabiliriz. Bunlardan birincisi, Tablo 3.1’de verilen başlık şekillerine göre yapılan sınıflandırmadır.

Düzlem kafes kiriş tiplerindeki ikinci sınıflama, dikme ve diyagonal düzenlemelerine göre yapılan sınıflamadır. (Tablo 3.2) Bu düzenlemelerdeki tiplerin çoğu, bunları geliştiren kişiler tarafından kendi isimleriyle tanımlanmıştır. Alt ve üst başlık şekillerine göre düzlem kafes kirişlerde uygulanan dikme ve diyagonal düzenlemeleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

Paralel Başlıklı Kafes Kiriş

- “N”-Pratt tip
- Warren tipi
- Howe tipi
- Vierendeel tipi
- Çift dikmeli-V

Her İki Başlığı Üçgen Kafes Kiriş

- “N” –Pratt tipi
- Warren tipi
- Howe tipi

Üst Başlığı yada Her İki Başlığı Parabolik Kafes Kiriş

- “N” –Pratt tipi
- Warren tipi
- Howe tipi

Üçgen Başlıklı Kafes Kiriş

- | | |
|-------------------|--------------------|
| • “N” –Pratt tipi | • Fransız makası |
| • Warren tipi | • Kirişli makas |
| • Howe tipi | • Yelpaze tipi |
| • Dikmeli-V tipi | • Kuzey ışığı tipi |
| • Çift dikmeli-V | • Makas ağız tipi |
| • Belçika makası | |

Trapez Başlıklı Kafes Kiriş

- | | |
|-------------------|------------------|
| • “N” –Pratt tipi | • Howe tipi |
| • Warren tipi | • Dikmeli-V tipi |

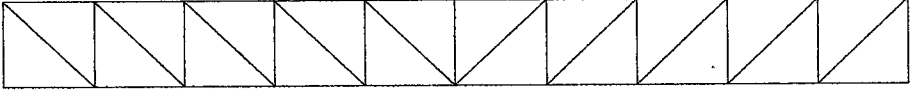
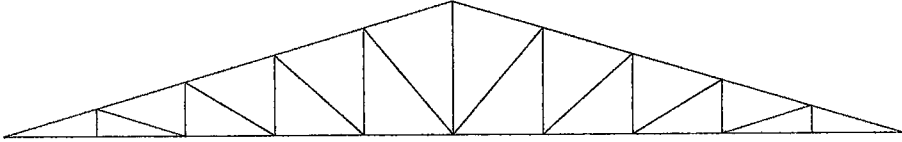
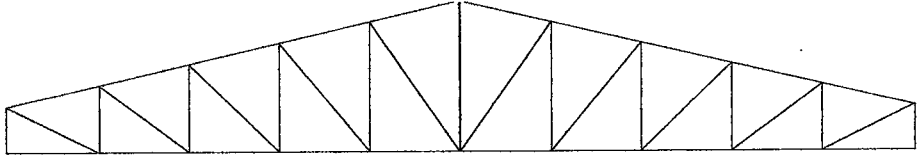
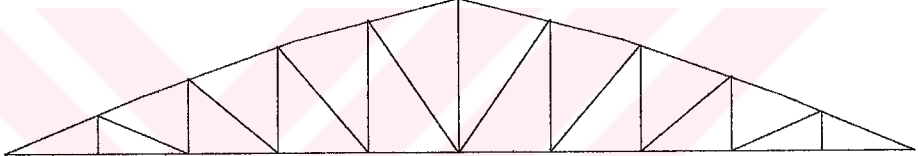
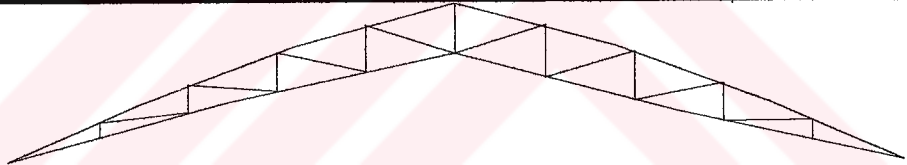
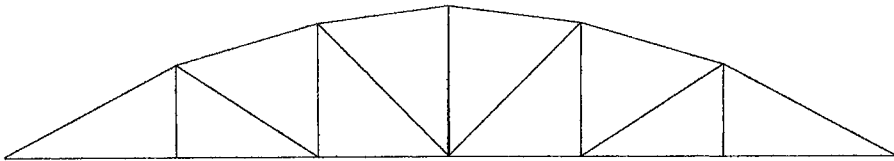
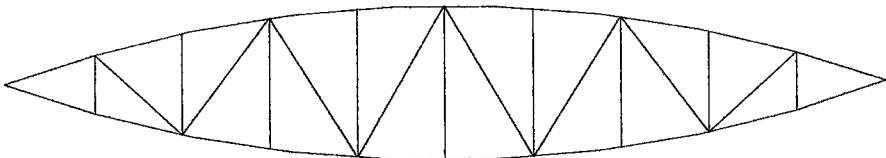
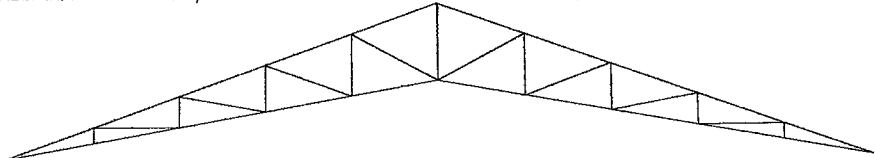
Mansard Tipi Kafes Kiriş

- | | |
|-------------------|------------------|
| • “N” –Pratt tipi | • Dikmeli-V tipi |
| • Warren tipi | • “K” Makası |
| • Howe tipi | |

Mekik Tipi Kafes Kiriş

- Warren tipi
- Dikmeli-V tipi
- Çift dikmeli-V

Tablo 3.1. Başlık şekillerine göre düzlem kafes kirişler

Düzlem Kafes Kiriş Tipleri
 Paralel Başlıklı Düzlem Kafes Kiriş
 Üçgen Başlıklı Düzlem Kafes Kiriş
 Trapez Düzlem Kafes Kiriş
 Üst Başlığı Parabolik Kafes Kiriş
 Her İki Başlığı Parabolik Kafes Kiriş
 Mansard (Deve Sırtı) Kafes Kiriş
 Mekik (Yay Kirişi) Kafes Kiriş
 Her İki Başlığı Üçgen Kafes Kiriş

Tablo 3.2. Çubuk düzenlemelerine göre düzlem kafes kiriş tipleri

Düzlem Kafes Kirişlerde Çubuk Düzenlemeleri	
"N" yada Pratt Tipi	
Warren Tipi	
Howe Tipi	
Vierendeel Tipi	
Belçika Tipi	
Yelpaze Tipi	
Fransız Tipi	
Kuzey Işığlı Makası	
Dikmeli-V Tipi	
Çift Dikmeli-V Tipi	
Makas Ağızı Tipi	
Kirişli Makas Tipi	
"K" Makası	

3.1.5. Kafes Kiriş ve Dikme Aralıkları Tayini

Bir kafes kiriş üzerine etkiyen düşey yükler, aşıklar aracılığı ile düğüm noktalarına iletiğinden dolayı bölünme aralıkları, seçilen çatı kaplama

malzemesine bağılı olarak değışen aşıık aralıklarına bağılıdır. Tablo 3.3’de seçilen çatı kaplama malzemesi, eğimi, boyutları ve aşıık aralıkları verilmektedir.

Tablo 3.3. Çatı kaplama malzemeleri ve özellikleri

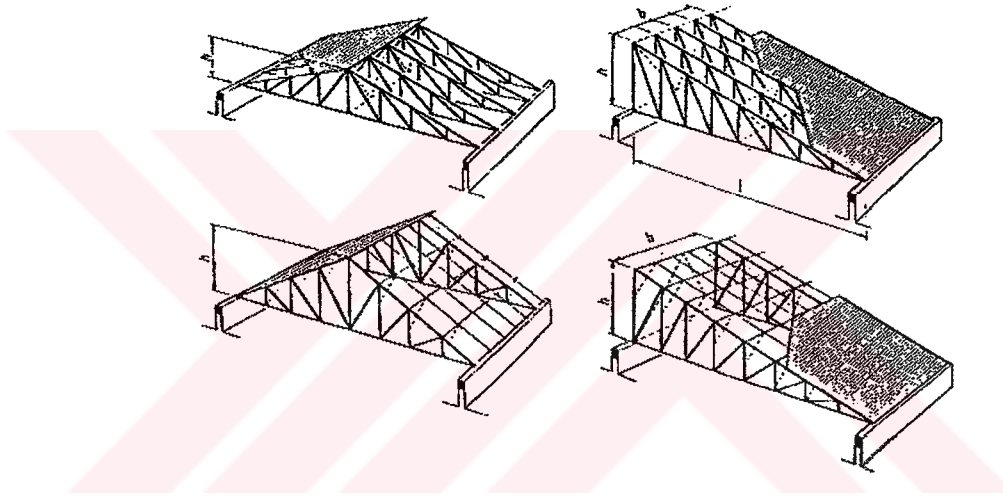
Çatı kaplama malzemesi	Çatı eğimi (%)	Standart boy-L (cm)	Binme payı(cm)	Aşıık aralıkları (m)	Malzeme boyutları
Oluklu Levha (Eternit)	min.10	310	20	2 x 145	Lxdxs
		250		2 x 115	Lx92x8
		220		2 x 100	
		200		2 x 90	
		160		140	
		125		105	
Metal Ondüle	min.7	620	15-20	200	Lx110x3
		520		180	
		420		160	
		310		140	
		210		120	
		max. 12m		100	
Trapez Levha	min.7	620	15-20	350 200	Lx120x3
		520		325 175	
		420		300 150	
		310		375 125	
		210		250 100	
		max. 12m		200	
Sandviç Panel	min.7	620	15-20	600	Lx120x35
		520		560	
		420		530	
		310		500	
		210		470	
		max. 12m		440	

3.1.5.1. Kafes Kiriş Aralıkları

“Kafes kiriş aralıkları, çatı kaplaması ve aşııkların tipine bağılıdır. Genellikle 3-6m arasında değışmektedir. Daha büyük aralıklarda düzenlediklerinde aşıık olarak paralel başlıklı makas kullanılmalıdır ” (Özşen & Yamantürk, 1991, s.63).

“ Sistemde kullanılan aşık tipleri basit kiriş ve gerber kirişidir. Tipler arasında en çok sürekli kiriş uygulanmaktadır. Mesnetlerde, moment eşitliği sağlanarak makas aralıkları belirlenir. Bunun sonucu kenar açıklıklar küçük, orta açıklıklar ise nispeten büyük olmaktadır ” (Çelebi, 1977, s.4).

Kafes kirişler aracılığı ile geniş açıklıkları kolonsuz geçme sorunu, iki makas arasındaki daha küçük açıklıkların geçilmesine indirgenmiştir. Aşıkların, bu küçük açıklıkları geçmesi ile çatının taşıyıcısı tamamlanmış olur. Şekil 3.6’de çeşitli düzlem kafes kirişlerin yapıda sık veya seyrek aralıklarla düzenlenmeleri görülmektedir.



Şekil 3.6. Farklı aralıklarla düzenlenmiş kafes kirişler
(Özşen & Yamantürk,1991,s.64)

3.2. Taşıyıcı Sistem Malzemesine Göre Düzlem Kafes Kirişler

Düzlem kafes kirişler, taşıyıcı sistem malzemelerine göre sırayla ahşap, çelik ve betonarme olarak incelenmektedir.

3.2.1. Ahşap Düzlem Kafes Kirişler

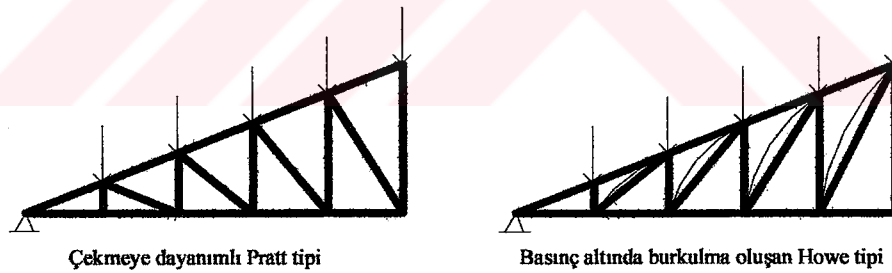
Düzlem kafesi oluşturan doğrusal çubukların tümünde ahşap yapı malzemesinin kullanılmasıyla oluşturulan sisteme ahşap düzlem kafes kiriş adı verilir.

Genel olarak ahşap malzeme, doğal ve yapay (lamine) ahşap olmak üzere düzlem kafeslerde kullanılmaktadır. Doğal ahşap boyutları nedeni ile geniş açıklıklı taşıyıcı sistem oluşturmada yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle birden fazla doğal ahşabın belirli bir düzen içinde birleştirilmesi veya lamine ahşap uygulamaları geniş açıklıkların geçilmesinde çok daha etkin sonuçlar vermektedir

3.2.1.1. Üçgen Başlıklı Ahşap Düzlem Kafes Kirişler

Bu tip kafes kirişler, üst başlıkların tek yönde veya iki yönde mesnet noktalarına doğru eğimli olarak düzenlenir. Genellikle çatı eğiminin %25 den az olduğu çatılarda tercih edilir. 15m'ye kadar olan açıklıklarda %25, bunun üzerindeki açıklıklarda ise zorlayıcı nedenler yoksa %33'ün altına inilmemelidir (Schmitt, 1977).

Üçgen başlıklı Pratt ve Belçika tipi kafes kirişler 27m'ye kadar olan açıklıklarda uygulanabilir. Fakat, ekonomik olduğu açıklıklar 18m'nin altındadır. Bu kafes kirişlerde, Howe tipine göre basınç elemanlarının boyları daha kısadır. Bu nedenle eğilmeye karşı daha stabildir. Çekme çubuklarında ise uzunluk önemli değildir.



Şekil 3.7. Yük altında Pratt ve Howe tipi kafes kirişler

Üçgen başlıklarda, lamine ahşap kullanılmasıyla geçilen açıklıklar, malzemenin özelliklerinden dolayı artmaktadır. 25m-80m açıklıklar geçebilen kirişlerde, konstrüksiyon yüksekliğinin açıklığa oranı 1/6-1/8 arasında, başlık elemanının derinliği de açıklığın 1/30'u oranında değişmektedir. Geçilen açıklığın ve etkiyen yüklerin artmasıyla birlikte kirişlerde sarkma olmaktadır. Bu sarkma etkisini karşılayabilmek için üretim sırasında alt başlıklara, kiriş ortasından yaklaşık olarak açıklığın 1/200'ü kadar ters sehim verilir (Vandenberg, 1995).

3.2.1.2. Düzlem Kafes Kirişlerde Düşey Taşıyıcılar

Ahşap düzlem kafesler çelik, ahşap ve betonarme kolonlar yada yığma duvarlar tarafından taşınır. Düşey taşıyıcılar, seçilen taşıyıcı sistem malzemesine, geçilen açıklığa, taşıyıcı aralıklarına ve iç mekan yüksekliğine bağlı olarak boyutlandırılır. Bunların yanı sıra düşey taşıyıcıların boyutları, kolon aralarının açık veya kapalı olmasına bağlı olarak değişmektedir.

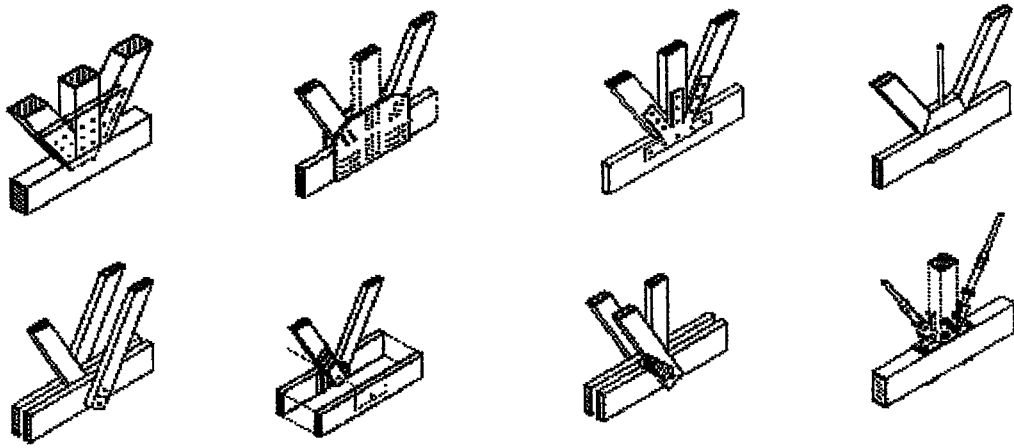
Ahşap kolonlarda kesit genişliği, özellikle dikdörtgen kesitlerde yeterlilik açısından önemlidir. Eğilmeye karşı koyabilecek genişlikte olmalıdır. Bunun için kare kesitli ahşap kolonlar, eğilmeye karşı her iki yönde gösterdiği eşit dayanım nedeniyle kolonlarda tercih edilir. Kirişlerde dikdörtgen kesitler daha ekonomik olmasına rağmen, kolonlarda kare kesitler daha ekonomiktir (Buckle, 1990).

3.2.1.3. Ahşap Yatay Taşıyıcı Birleşimleri

Düzlem kafes kirişlerde en büyük gerilim, mesnetlerde oluşur. Mesnet üzerindeki yük dağılımını en uygun biçimde çözümlemek gerekir. Mesnet noktasında makastan gelen alt ve üst başlık eksenleri ve düşey taşıyıcının ekseni tek bir noktada kesişmesi gerekir. Aynı noktada kesişmediği takdirde bileşenler üzerinde istenmeyen gerilmeler oluşabilir. Bunların dikkate alınarak boyutlandırma işlemleri yapılmalıdır.

Geçilen açıklık ile düzlem kafes kirişin ağırlığının ve düğüm noktalarına etkiyen yüklerinde artması sonucu alt, üst başlık ve diyagonallerin tek bir eleman yerine aynı noktada birleşen tekli, ikili veya üçlü elemanların kullanılması ile, gerilimin daha uygun biçimde yüklerin iletilmesi sağlanır. (Şekil 3.8)

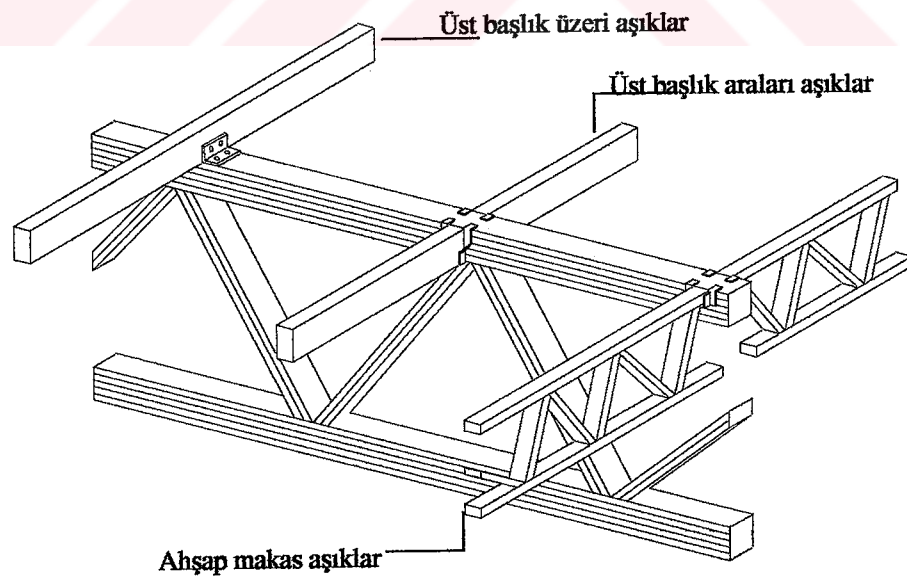
Sistemin ahşap başlık, diyagonal ve dikmelerinin birleşimleri, parçalı yada bütün levha olarak kullanılan metal plakalar ve birbirine geçmeli olarak bulonlarla elde edilir. Şekil 3.8’de de gösterildiği gibi çekme çubuklarında ahşap yerine çelik kablo elemanlar kullanılabilir.



Şekil 3.8. Ahşap kafes kiriş çubuk birleşimleri ([http:// www.tastimber.tas.gov.au](http://www.tastimber.tas.gov.au))

3.2.1.4. Ahşap Aşık Düzenlemeleri

Düzlem kafes kirişlerde çatı döşemesi aşıklar tarafından taşınır. Sistemde kuvvetler eksenel olarak iletildiğinden aşıklar kafes kiriş üzerinde ki düğüm noktalarına yerleşmelidir. Şekil 3.9’de gösterildiği gibi aşıklar, dolu gövdeli lamine ahşap veya ahşap makas aşıklar olarak, üst başlık üzerine veya üst başlığın yan yüzeyine metal özel bağlantı veya köşebentlerle birleştirilerek uygulanır.



Şekil 3.9. Ahşap kafes kirişlerde aşık uygulamaları (Mann, P.A)

3.2.2. Çelik Düzlem Kafes Kirişler

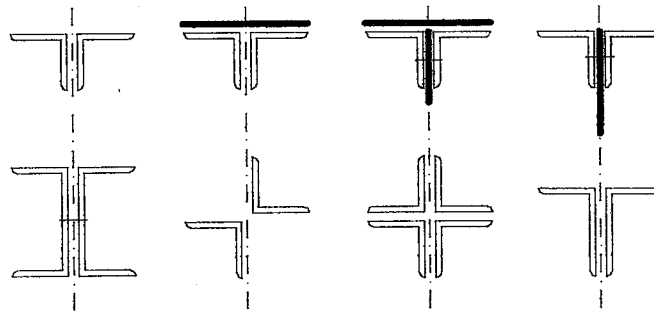
Çelik düzlem kafes kirişler, geniş açıklıkları geçmede strüktürel etkinliği fazla olan hafif taşıyıcı sistemlerdir. Kısa sürede üretim, ekonomik çözümler ve hızlı kurulum gibi avantajlara sahiptir.

“Düzlem Kafes Kiriş Tipleri” başlıklı önceki çalışmalarda belirtilen tablolar halinde sınıflandırılmış kafes kiriş tiplerinin hepsi çelik kafes kirişlerde de uygulanabilmektedir. Çelik kafes kirişlerde konstrüksiyon yüksekliğinin açıklığa oranı $1/12 - 1/16$ oranında değişmektedir. Fakat bazı durumlarda bu oran $1/4$ yükselebilmektedir. Gerektiğinde mahya noktaları yükseltilerek iç mekanda doğal aydınlatma ve havalandırma sağlanabilir.

3.2.2.1. Çelik Kafes Kiriş Birleşim Teknikleri

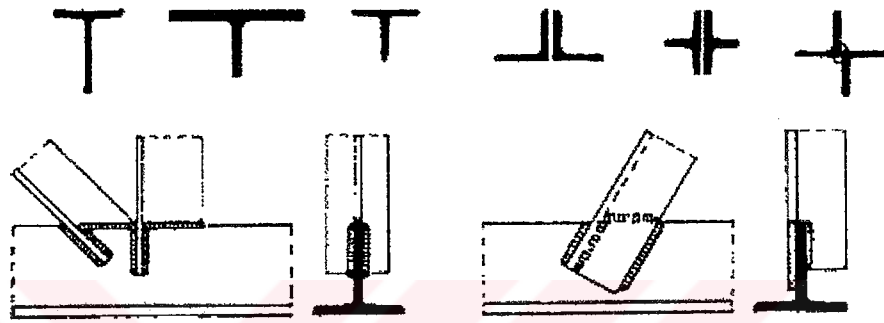
Çelik kafes kirişlerde sistem elemanları birbirlerine bulon, perçin veya kaynakla birleştirilir. Ancak bulon ve perçinle yapılan birleşimlerde teknolojik bir farklılık olmadığından kafes kiriş birleşimlerini iki başlık altında toplayabiliriz.

Perçinle yapılan birleşimler : Üretim kolaylığı bakımından sistemin tüm çubukları çift köşebentten oluşturulur. İki köşebent birbirine sırt sırta dayandırılarak, düğüm noktalarında köşebent aralarındaki levhalara perçinle veya bulonla bağlanır. Çelik kafes kirişlerde kullanılan minimum köşebent kesiti $50 \times 50 \times 5 \text{ mm}$ ve perçin çapıda 13 mm olmaktadır.



Şekil 3.10. Çeşitli profillerle oluşturulabilecek perçinli başlık kesitleri

Kaynakla Yapılan Birleşimler : Kaynaklı birleşimlerle oluşturulan çelik düzlem kafesleri detaylandırmada eleman boyutları en aza indirgenerek ağırlığın azaltılması sağlanır. Düzlem kafeslerdeki tüm çekme elemanları, diyagonaller etkin bir durumda çalışır. Alt ve üst başlıklarda “T”, “H” profilleri ile çift köşebent kullanılırken, dikme ve diyagonaller ise çift yada tek köşebent veya “H”, daire, kare kesitli profiller kullanılır. (Şekil 3.11) Düğüm noktalarında birleşimler, profillerin durumuna göre levhalı yada levhasız olarak yapılır.



Şekil 3.11 Çeşitli profillerle oluşturulan kaynaklı başlıklar (Schmitt,1977, s.560)

En basit tiplerinden biri köşebent ve “T” profillerden oluşturulan makaslardır. Şekil 3.12-a’da görüldüğü gibi alt ve üst başlıklar “T” kesitli profilden oluşmuştur. Bu tür makaslarda, elemanlar birbirine bindirme yoluyla ve dolgu kaynak kullanarak sabitlendiğinden üretim ve kaynak işlemi diğerlerine göre daha kolaydır.

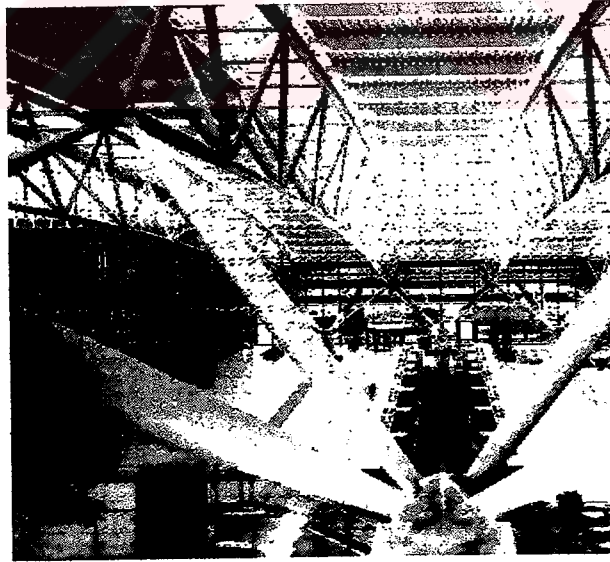
Yük taşıma kapasitesi daha fazla olan makaslarda, düşey elemanlar “T” veya “IPE” kesitli profiller olabilir. Şekil 3.12-b’deki gibi alt başlık olarak kullanılan “T” profilin gövdesine, düşey taşıyıcıda girebileceği bir kanal açılarak yerleştirilir. Alt ve üst başlıklarda “T”, diyagonallerde ise çift köşebentler kullanılır. Şekil 3.12-c’deki gibi bazı makaslarda, sadece “T” profillerden üretilir. Kanallar açılarak diyagonaller başlıkların gövdelerine yerleştirilir. Diyagonaller arkadan kesilerek, kaynaklı birleşim uygulanır.

Bazı makaslarda tümüyle “H” profillerden oluşur. (Şekil 3.12-d) Bütün elemanları birbirine kaynaklanır. Yüksek eğilme mukavemeti nedeniyle “H” profiller yükleri,

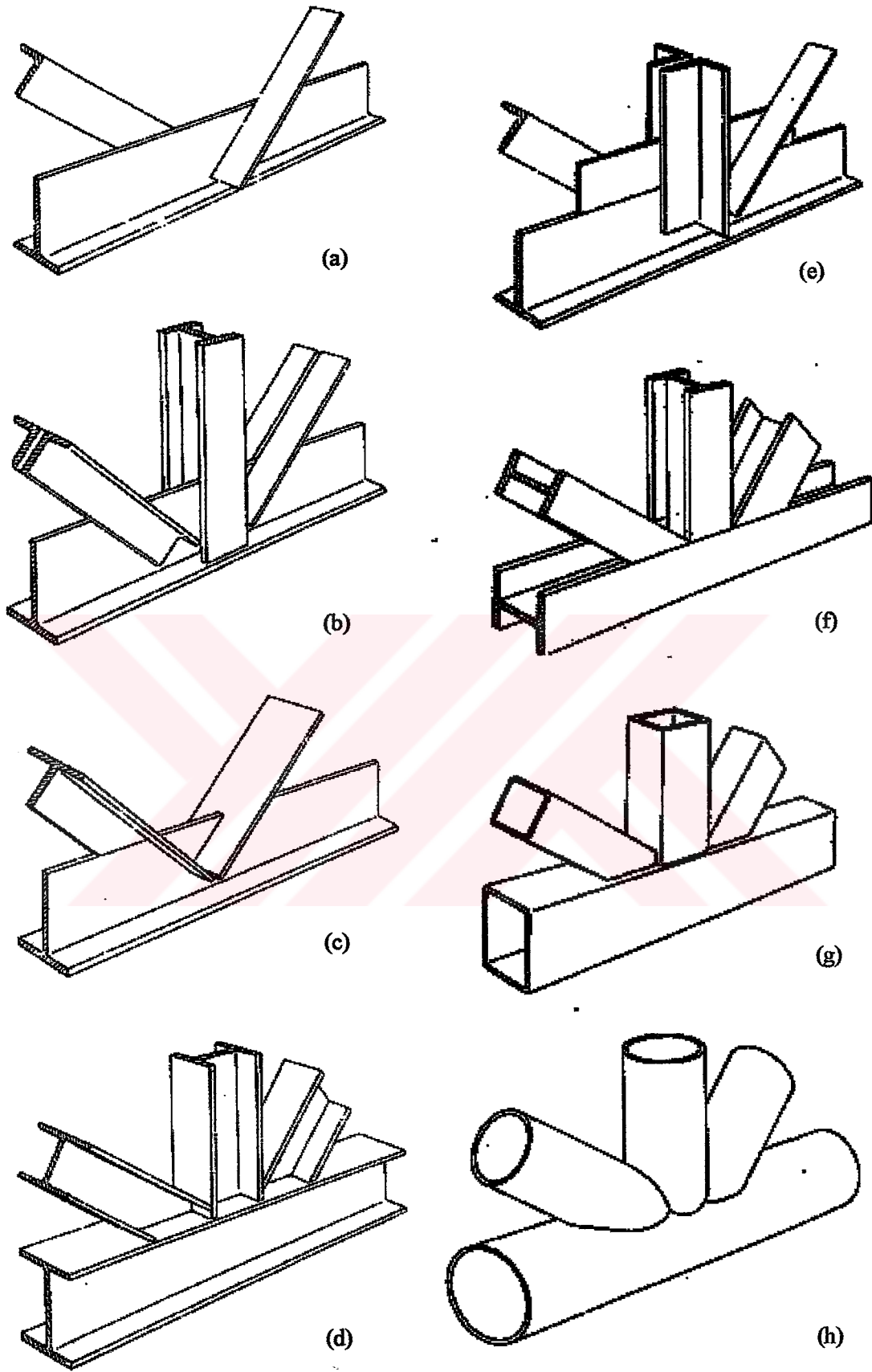
üst ve alt başlığın herhangi bir yerine aktarır. Kaynaklama işlemi, sistemdeki elemanların düz yüzeylere sahip olmasından dolayı kolaylıkla gerçekleşir. Makas düğüm noktalarında, kaynaklanacak olan elemanların yoğun olduğu zaman alt başlığın gövdesine çelik plaka yerleştirilir.(Şekil 3.12-e) Çok ağır yükleri karşılayabilen diğer makas tipide, “H” profillerden oluşan alt ve üst başlıkların yatay olarak konumlandırılmasıdır. (Şekil 3.12-f)

Şekil 3.12-g ve h’de gösterildiği gibi çelik kafes kirişler, kutu ve daire kesitli profillerden de üretilmektedir. Bu tür kesitlerin bir çok avantajı vardır. Eğilmeye karşı iyi dayanım gösterir. Aynı kesit ve düzdün yüzeylere sahip olmasından dolayı üretimi kolaydır.

Daire kesitli profillerden oluşan kafes kirişler, basınç ve burkulma gerilmelerine karşı yüksek dayanıma sahiptir. (Şekil 3.12-h) Temiz, deliksiz bir kaynaklama işlemi uygulanırsa, profillerin iç yüzeylerinde paslanma problemleri oluşmaz. Dikkatli bir üretim gerektiren bu tip kafes kirişlerde, profillerin kesilmesi ve kaynaklanması zor olmasına rağmen üretimi kolay olmaktadır.



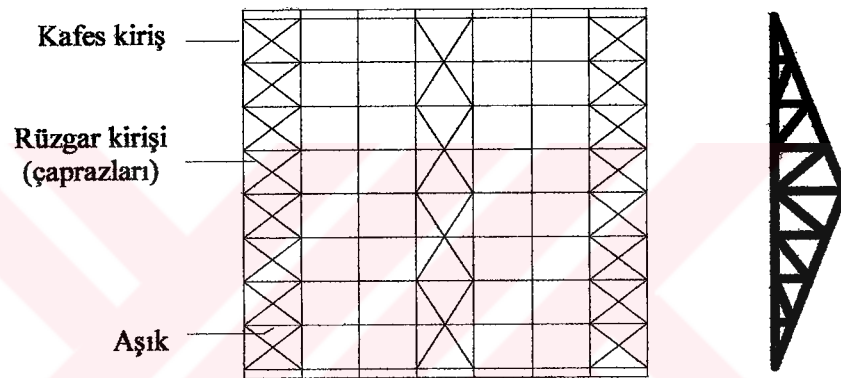
Resim 3.1. Hamburg Havaalanı, M. von Gerkan (Yapı 211, 1999, s.94)



Şekil 3.12. Çelik düzlem kafes kiriş birleşimleri (Göksal, Yapı Bilgisi II ders notları)

3.2.2.2. Çelik Kafes Kirişlerde Aşık ve Rüzgar Bağlantıları

Çelik kafes kirişlerde açıklığa bağlı olarak “L”, “I”, “U” ve “Z” kesitli profillerin dışında artan açıklık ile makas aşıklar kullanılır. İkincil kiriş olarak da adlandırılan makas aşıklar, çift köşebentli paralel başlıklı olarak ana kiriş üzerine yerleştirilir. Çelik çatı kirişine dik doğrultuda gelen, rüzgar etkisini karşılamak için çatı düzlemine paralel olarak rüzgar kirişleri kullanılır. Genellikle 45x45x5mm’lik köşebentlerle oluşturulur. Rüzgar kirişleri, paralel yerleştirilmiş kafes kirişlerin baştaki ve sondaki makas araları ile orta noktaya veya yakınlarına aşıkların arasında uygulanır.



Şekil 3.13. Makas, aşık ve rüzgar kirişlerinin düzenlenmesi

3.2.3. Betonarme Düzlem Kafes Kirişler

Betonarme düzlem kafes kirişler, kalıp işçiliği ve beton dökümü gibi güçlüklerden dolayı günümüzde az kullanılan bir sistemdir. Türkiye’de de yaygın olmakla birlikte prefabrike kafes kirişli yapılara zaman zaman rastlanmaktadır.

Avantajlar

- Betonarme kafes kirişler, dolu gövdeli kirişlerden daha hafiftir. Ve daha az malzeme ile üretilir.
- Kirişin ağırlığı artmadan, üst başlığa istenilen eğim verilebilir. Bu da her çeşit çatı kaplamasını kullanma olanağını sağlar.

- Ahşap ve çelik kafes kirişlerle karşılaştırıldığında, sonradan bakım gerektirmez ve yangına karşı dayanıklıdır.
- Sistemdeki çubuklar arasına tesisat öğeleri yerleştirilebilir.
- Kafes kirişin alt başlığı, aynı zamanda vinç kirişi olarak kullanılabilir.

Dezavantajlar

- Kalıp- donatı işçiliği ve ince betonarme kesitlerinin betonlama zorluğu
- Düğüm noktalarının rijit olmasından dolayı oluşabilecek yan gerilmeler
- Montaj sırasında kirişlerin yana yatmaması için ek tedbirlerin alınması
- Çekme çubuğunun farklı malzemeden üretimi sonucu birleşimlerdeki çatlaklar

Betonarme kafes kirişlerin bu dezavantajlarını azaltmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlar;

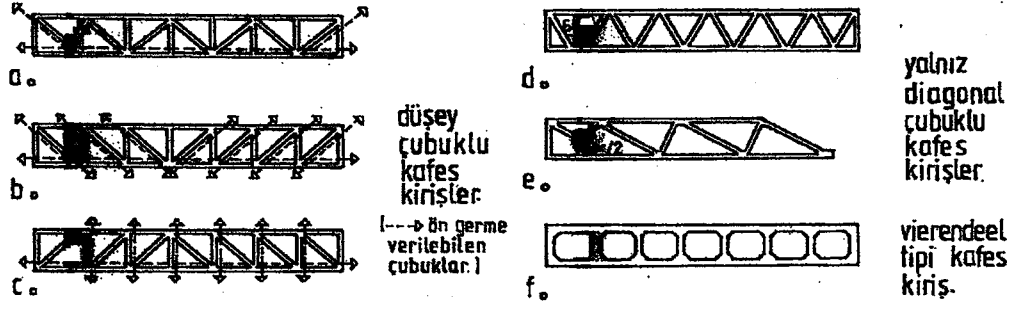
- Kalıp ve nakliye sorunlarına çözüm olarak bileşenler tek tek çubuklar veya eşit bölümler halinde üretilebilir.
- Çekmeye çalışan çubuklar öngerilmeli üretilerek, çatlamlar azaltılır.
- Montaj stabilesini sağlamak için çatal başlı kolonlara veya kirişin ağırlık merkezine yakın yerleştirilmelidir (Ayaydın, 1981).

3.2.3.1. Betonarme Kafes Kiriş Tipleri

Betonarme kafes kirişler, çelik kafes kirişlerde olduğu gibi aşağıda belirtilen başlık tiplerine göre üretilebilmektedir.

- | | |
|-----------------------------------|--------------------------|
| • Paralel başlıklı kafes kirişler | • Mansard kafes kirişler |
| • Üçgen başlıklı kafes kirişler | • Mekik kafes kirişler |
| • Trapez kafes kirişler | • Uzay kafes kirişler |

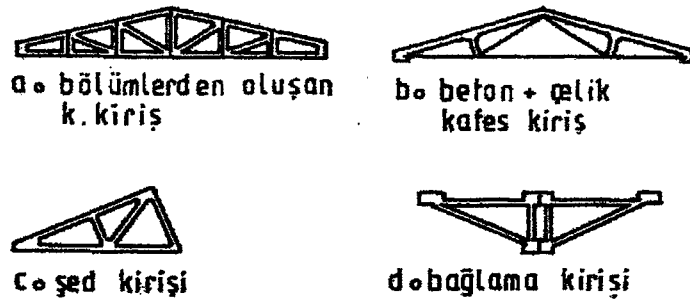
Paralel başlıklı kafes kirişler: Betonarme malzeme ile en çok üretilen türlerden biridir. Şekil 3.14’de paralel başlıklı kirişlerde uygulanan çubuk düzenlemeleri ile oklarla gösterilen öngerilme şekilleri belirtilmiştir.



Şekil 3.14. Paralel başlıklı kafes kiriş tipleri (Ayaydın, 1981, s.111)

Bu tip kafes kirişler düşey çubuklu, diyagonal çubuklu ve vierendeel kafes kiriş olmak üzere üç grupta incelenebilir. Şekil 3.14-a, "b" ve "c"de gösterilen düşey çubuklu kirişlerde, çekme çubuklarına öngerilme uygulanmıştır. "d" ve "e" tipi kafes kirişlerde sadece diyagonaller vardır. Donatı nedeniyle çubukların 60° veya daha küçük açılarla, çekme ile alt başlık arasında açıortay olacak şekilde yerleştirilmelidir. Sadece düşey çubuklardan oluşana da "vierendeel" adı verilmektedir. Gerekliğinde üst başlığa %10 eğim verilebilir. Bu tip kirişlerde konstrüksiyon yüksekliğinin açıklığa oranı 1/12-1/15 arasında, açıklıklar da 18-36m arasında değişmektedir. Öngerilmeli sistemlerde açıklık 60m'ye çıkabilmektedir.

Üçgen başlıklı kafes kirişler: Üst başlıkları eğimli olarak düzenlenmiş kafes kirişlerdir. Eğimli çatılar için uygun olan bu tip kirişler 12-30m açıklıklar geçebilmektedir. Çubuk düzenlemeleri, kirişin parçalı olup olmamasına ve çatı kuruluşuna göre değişir. Şekil 3.15'da gösterildiği gibi bölümlerden oluşan, çelik çekme çubuklarından oluşan kafes kirişler ve şed kirişleri kullanılır.



Şekil 3.15. Betonarme üçgen başlıklı kafes kirişler (Ayaydın, 1981, s.112)

Trapez kafes kirişler: Çubuk düzenleri farklı şekillerde olabilen trapez kafes kirişler, bölümlerden oluşabilen tiplerde uygulanmaktadır. Bölümlerden oluşan kiriş tipi, art çekmeli olarak birleştirilir. Çelik gergili beton-çelik kafes kirişi, geniş açıklıkları geçen aşık uygulamasında kullanılır. Çatı feneri ve şed kirişleri, aydınlatma açısından iyi sonuçlar vermektedir.

3.2.3.2. Betonarme Kafes Kiriş Birleşim Teknikleri

Kolon-kiriş bağlantısı genellikle sabit mafsallık şeklinde olup, kolonda bırakılan uzun donatı filizlerinin kirişteki yuvalarına geçirilerek, desteklenmesi ile gerçekleşir. Kafes kirişin başlıkları, genellikle “T” ve “L” kesitli yapılır. Çekme gerilmelerini aktaran birleşimler, çelik plakaların birbirine bulonlanması veya art çekme ile yapılır. Basınç kuvvetlerini aktaran birleşimler ise çelik plakaların bulonlanması, kaynaklanması veya öngerilme gibi yöntemler uygulanabilir.

3.3. Uzak Kafes Sistemler

Uzak kafes sistemin geleneksel taşıyıcı sistemlere göre geniş açıklıkları geçmedeki başarısı ve genel taşıyıcı içindeki özellikli yeri, kullanım açısından değerlendirilmesi, tanıtılması, en gelişmiş yöntem ve malzemelerin incelenerek sistem özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Avrupa ve Amerika’da yaklaşık 35 yıldır kullanılan bu sistemler çok geniş bir uygulama alanına sahiptir. Geniş açıklıkların geçilmesinde eskiden kullanılan gerilmeli beton, klasik çelik çatı konstrüksiyonları veya benzeri sistemler günümüzde yerini uzak kafes sistemlere bırakmıştır.

3.3.1. Uzak Kafes Sistemin Tanımı ve Oluşum İlkeleri

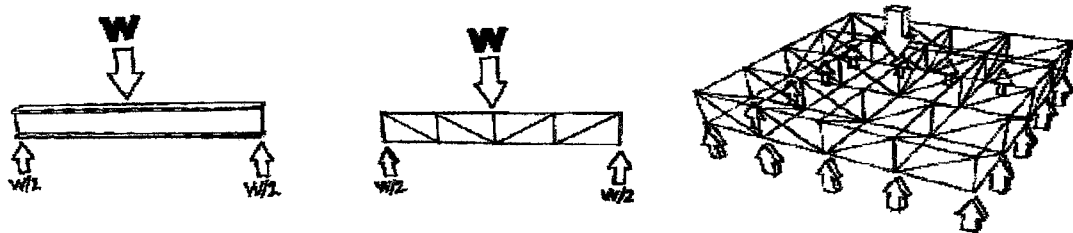
“Uzak kafes sistemler birbirlerine düğüm noktalarından bağlı çubuklar ağından kurulu düzenlerdir. Yüklerin, basit çekme ve basit basınca çalışan doğrusal çubuklar şeklinde küçük boyutlu elemanlarla, çok yönlü bir yayılıma uğratarak zemine aktarıldığı, boşluklu bünyeli yapılardır.”(Parlak,1998, s.1).

Uzay kafes sistemlerde kuvvet çizgileri oluşturulurken üçgen biçimler kullanılmaktadır. Çünkü, üç çubuktan oluşan üçgen, düğüm noktaları mafsallı olsa bile, denge durumunu korumaktadır. Rijit bir yapıya sahip üçgen, düzlem ve uzay kafes sistemler için başlangıç geometrisini oluşturmaktadır. Ayrıca, diyagonaller sistemdeki alt ve üst tabakaları ayıran stabil üçgensel ağları oluşturur. Bir üçgen ağ oluşturmak için gerekli temel elemanlar:

- a) uzayda bir nokta - düğüm noktası
- b) uzayda bir doğru - bir çubuk ve iki düğüm noktası
- c) bir düzlem - üçgen için üç çubuk ve üç düğüm noktası
- d) uzayda bir hacim – tetrahedron (dört yüzlü) için altı çubuk ve üç düğüm noktası, uzay kafes sistemi birim modulu

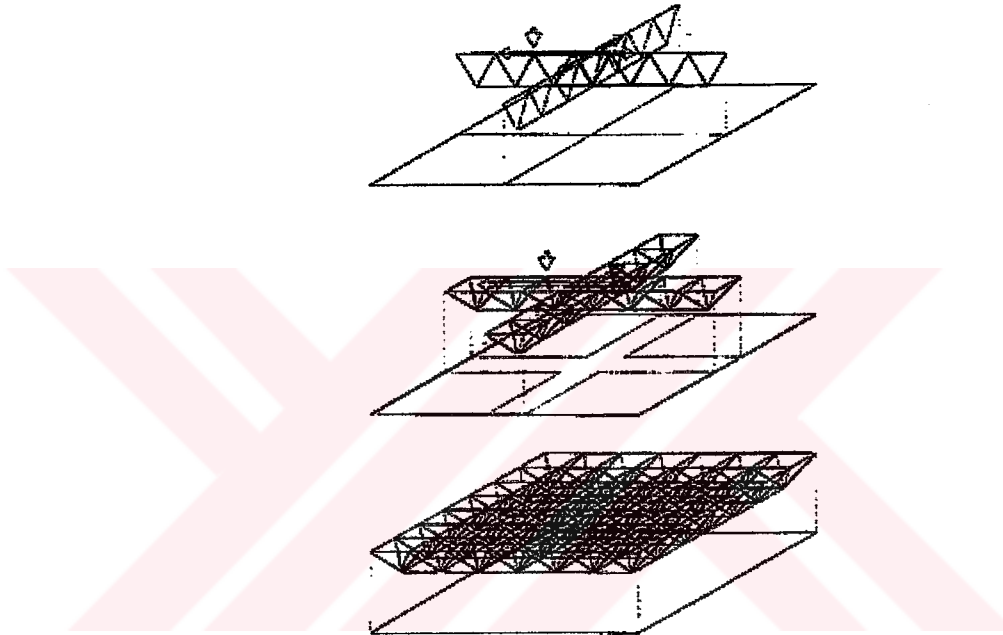
Bütün strüktürler uzunluk, derinlik ve kalınlıkları sayesinde üç boyutlu yapılara sahiptirler. Buna karşın basit kiriş ve düzlem kafes kirişler strüktürel etki açısından iki boyutlu sistemlerdir. Bu sistemlerde yük dağılımı, bir düzlem içinde ve tek doğrultu boyunca olmaktadır. Düzlem kafes kirişler ile bir mekanın örtülmesi, bu kirişlerin birbirine paralel veya birbirini dik konumda kurulması ile gerçekleştirilebilir.

Düzlem kafes kirişler, paralel konumda kullanıldıklarında yükler kirişlerin düzlemleri içinde, birbirinden ayrı olarak mesnetlere iletilirler. (Şekil 3.16) Her kiriş için ayrı mesnetler gereken bu düzenlemede yük akışına dik sürekli bir mesnet de kullanılabilir. Sisteme etkiyecek bir yük, kendisine en yakın düzlem kafes kirişi büyük ölçüde etkileyeceğinden artan açıklıkla birlikte şehim artacaktır. Bunu önlemek için kiriş yüksekliği artırılmalıdır. Birbirini dik kesen düzlem kirişlerde yük dağılımı, kirişler boyunca olmaktadır. Bu tip düzenleme sistemin yapısından dolayı paralel sisteme göre daha rijit bir yapıya sahiptir.



Şekil 3.16. Basit kiriş, kafes kiriş ve uzay kafes sistem (<http://www.ce.ufl.edu>)

Düzlem kafes kirişler, alt başlık ortada olacak şekilde paralel olarak kirişin her iki tarafa yatırılması sonucu üst başlıkların birleştirilmesi ile daha rijid bir yapıya sahip uzay kafes kirişler elde edilmektedir. (Şekil 3.17) Düzlem kafes kirişlerle oluşturulan bu düzenlemelerle düzlem yüzeyli uzay kafes sistemlerin temeli oluşturulmaktadır. Düzlem kirişleri oluşturan üçgenlerin üç boyutlu formlara dönüştürülmesiyle oluşan modüllerin bir araya getirilmesi ile elde edilen uzay kafes sistem, elemanlarının birleşim türlerine ve diyagonal düzenlemelerine bağlı olarak iki tabakalı veya uzay ağlar olarak da adlandırılmaktadır.



Şekil 3.17. Düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem ilişkisi (Engel, 1967, s.102)

3.3.1.1. Uzay Kafes Sistemin Sağlaması Gereken Koşullar

Uzay kafes sistemlerde, düğüm noktalarının moment taşımadığını kabul etmek için sağlaması gereken koşullar vardır. Bunlar sırayla;

- Sistemin düğüm noktalarının mafsallı olarak yapılması gerekir.
- Bir düğüm noktasında birleşen çubukların eksenleri, düğüm noktasının merkezinde tek bir noktada birleşerek, eksenel bağlantıların olması gerekir.
- Çubuklar, kendi ağırlıkları altında eğilmeyecek boyutlarda üretilmeli
- Çubuklar, doğrusal elemanlar olmalıdır. Eğri çubuklarda eğilme oluşur.

- Sisteme gelen dış yükler bir tek düğüm noktalarına etki etmelidir. Dış yüklerin, çubuklar üzerine etki etmesi sonucu momentin oluşması ile düğüm noktaları momentin etkisi altında kalacaktır.

Sistemin çözümünü kolaylaştıran bu koşulları, hiperstatik sistemler olan uzay kafes sistemlerde sağlamak gerekmektedir. Örneğin, kendi ağırlığı altında eğilebilecek boyutlardaki uzun çubuklar, daha küçük çubuklara bölünmelidir.

Sistem çubuklarının doğrusallığını bozacak çatı kaplama malzemeleri, aşık elemanları, aydınlatma elemanları, asma tavan ve havalandırma tesisatı gibi sisteme yük getiren gereçler, sistem çubuklarının doğrusallığını etkilememek için düğüm noktalarına birleştirilmelidir.

3.3.2. Uzay Kafes Sistem Teknik Şartnamesi

3.3.2.1. Hesap Yöntemi

Uzay kafes sistemin yüksek dereceden hiperstatik olması nedeni ile hiçbir basitleştirici kabul yapılmadan sistem bilgisayar yardımı ile çözülür. Kullanılan program Matris - Deplasman yöntemine dayanır. Analiz çıkışlarından düğüm noktalarının x, y, z deplasmanları, çubuk kuvvetleri, seçilen boru kesitleri, mesnet reaksiyonları ve çubuklardaki gerilmeler alınabilir.

Yükler, düğüm noktalarındaki küreler vasıtasıyla borulara aktarılır. Bu durumda borular yalnızca eksenel çekme ya da basınç kuvveti alır. Aksi belirtilmedikçe uzay sistem borularında moment doğuracak, boru eksenine dik doğrultuda yükleme yapılmaz. Bağlantı elemanları TS 648 ve TS 3357' ye göre Elastik Teori kullanılarak dizayn edilir.

Hesaplara uygun olarak montaj planları ve imalat resimleri tamamen bilgisayar destekli hazırlanır. Uzay sistemin bağlantılı bulunduğu duvar, kolon, döşeme ve bitişik yapılar ile ilgili detaylar da çıkartılır. Mesnetleme ve ankraj detayları verilir. Statik hesapta göz önüne alınacak yük kriterleri şunlardır:

a) Zati ağırlıklar

- Uzay kafes sistem
- Aşık sistemi
- Kaplama

b) Hareketli yük

c) Servis yükleri

- Aydınlatma
- Havalandırma
- Temizlik
- Kedi yolları
- Asma tavanlar
- Tesisat yükleri
- Noktasal konsantre yükler

d) Kar yükü

e) Rüzgar yükü

f) Deprem etkisi

g) Sıcaklık etkisi

3.3.2.2. Uzay Kafes Sistem Bileşenleri

Uzay kafes sistemi oluşturan bileşenler:

- Düğüm noktaları
- Çubuklar
- Modüller

Borular : Uzay kafes sistemde hesapların öngördüğü kuvvetlere göre kesitleri tayin edilen borular, DIN 17100'e göre düşük karbonlu, kaynaklanabilme kabiliyeti yüksek St 37.2 veya St 52.3 dikişli borulardır.

Tablo 3.4. Uzay sistem çubuk çekme ve akma gerilmeleri (<http://www.uskon.com.tr>)

Çelik Kalitesi	Çekme Gerilmesi	Akma Gerilmesi
St 37-2	37-45 kg/mm ²	24 kg/mm ²
St 52-3	52-62 kg/mm ²	36 kg/mm ²

Tablo 3.5 Standart boru ölçüleri (<http://www.uskon.com.tr>)

Anma çapı		Dış çapı	Et kalınlığı
inç	mm	mm	mm
3 / 4	20	26,9	2,65
1	25	33,7	2,50-3,25
1 1/4	32	42,4	2,50-3,25
1 1/2	40	48,3	2,50-3,25
2	50	60,3	2,50-3,65
2 1/2	60	76,1	3,00-3,65
3	80	88,9	3,00-4,05-5,50
4	100	114,3	4,50-6,00
5	125	139,7	4,85-6,00
6	150	165,1	4,85-6,30
8	200	219	4,00-4,50-5,00-6,30
			7,10-8,00-8,80

Konik parçalar, kaynak ağzı açılmış olan borunun iki ucuna gazaltı kaynağı ile DIN 18800'e uygun olarak kaynatılırlar. Malzemesi, kullanılan boru malzemesi ile aynıdır. Sıcak dövme tekniği ile şekillendirilen koniklere yüzey temizlemesi için kumlama metodu kullanılır.

Küreler: Boru uçlarındaki cıvataların ve yüklerin aktarıldığı noktalardır. Çapları kullanıldığı yere ve aldığı yüke göre 50 mm ile 240 mm arasında değişen küreler DIN 17200'e uygun C 45 malzemeden üretilirler. Küre üretiminin iki aşaması vardır. Önce, sıcak dövme tekniği ile malzeme küresel şekle dönüştürülüp arkasından kumlama yöntemiyle yüzey temizlenir. İkinci aşamada ise, bu küresel parçaların, geliştirilmiş özel tezgahlar ve aparatlarda bilgisayar kontrollü hazırlanan resimlerine uygun üretimi, talaşlı imalat usulleri ile gerçekleştirilir. Kürelerde sistemde gerekmeven delikler açılmaz.

Civata, Somun ve Pim: Cıvatalar, kullanıldığı borunun aktardığı yüke göre değişik çaplarda ve kalitelere olabilir. DIN 13'e uygun ISO dişli olan cıvatalar, DIN 267'de öngörülen şartları sağlarlar. Boru uçlarına kaynatılmış olan koniklere takılan

cıvatanın kafası konik parçanın içinde kalır ve rahatça dönebilir. Konik parça ile küre arasında kalan cıvataya soğuk çekme altıgen kesitli somun takılır. Somun et kalınlıkları, basınç ve çekme kuvveti taşımaya bağlı olarak değişir. Her iki tarafına açılan yarıklardan geçen pim, cıvataların sıkılmasını sağlar.

3.3.2.3. Aşık Elemanları ve Aşıklar

Aşık Elemanları: Çatı meyilini düzenleme amacı ile kullanılırlar. Üst başlık kürelerinde bulunan deliklere uçlarındaki cıvatalar aracılığıyla bağlanırlar. Bir ucunda konik, cıvata, somun ve pim, diğer ucunda ise minimum 3 mm saçtan bükülmüş "L" ya da "U" kesit kaynatılmış borudan oluşurlar. Aşık elemanlarının boyu, eğime bağlı olarak değişir.

Aşıklar:Yapılacak kaplama cinsine uygun, düzgün ve yeterli yüzeyler oluşturmak ve gerekli çatı meyilini sağlamak için, aşık elemanları yardımıyla uzay sistem çatıya monte edilirler. Taşıdıkları yüke göre kutu veya değişik kesitli olan aşıklar, ST37 malzemeden imal edilirler.

3.3.2.4. Korozyona Karşı Koruma

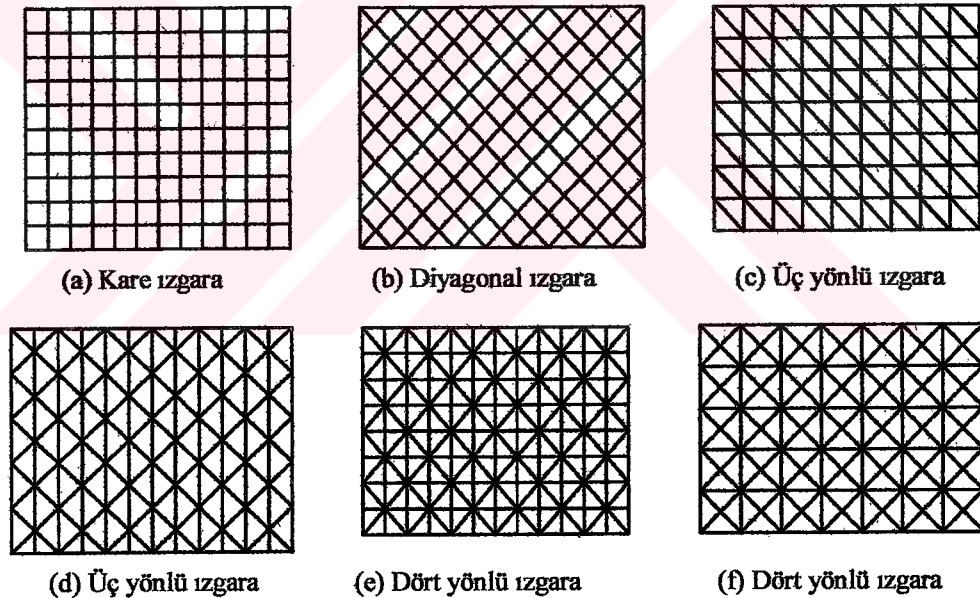
Küre ve mesnetler ortalama 25 mikron kalınlıkta elektro-galvaniz kaplanır. Cıvatalar, elektro galvaniz veya titanyum bağlayıcı içinde depolanmış alüminyum ve çinko parçacıklarından oluşan ve yüksek korozyon direnci sağlayan Delta-Tone ile kaplanır. Bu kaplama daldırma yöntemiyle uygulanır ve 180°C civarındaki sıcaklıkta fırınlanır. Ortalama kaplama kalınlığı 10 mikrondur. (Uzaymodül Ürün Broşürü)

3.4. Uzay Kafes Sistem Geometrilere

Uzay kafes sistemlerde yüzeyleri oluşturan alt ve üst tabakalardaki bölünmelerin birçok yöntemi vardır. Dokuyu oluşturan ağlar, çubukların kesişim açılarına ve çubuk uzunluklarına bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Yük taşıma eylemine bütün olarak katılan tek veya çift tabakalı ızgara sistemler, farklı uzunluktaki eleman sayılarını sınırlamak ve düğüm noktalarının standartlaşması ile taşıyıcı sistemler

arasında avantajlı konuma gelmektedir. Fakat, günümüzde gelişen bilgisayar teknolojisi ile aşırı bir maliyet getirmeden farklı elemanların uzunlukları hesaplanmaktadır.

Uzay kafes sistemin her iki tabakasında yaygın olarak kullanılan üçgen, kare ve altıgen bütün yüzeyi tamamlayan üç temel çokgendir. Tüm ağ düzenlemelerini düzlem ve hacimsel yüzeylerde yer almalarına göre düzlem (açık) ve uzay (kapalı) ağlar olmak üzere iki gruba ayırabiliriz (Türkçü, 1982). Şekil 3.18-a'da ağ çubuklarının sınır çizgilerine paralel olarak düzenlendiği kare ızgara ve b'de de ağ çubuklarının sınır çizgileri ile 45°'lik açı yapacak şekilde düzenlenen diyagonal ızgara gösterilmektedir. Bu iki ağ tipi, iki yönlü düzlem ağ olarak sınıflandırılmaktadır. Üç yönlü ağlar c ve d'de, dört yönlü ağlarda e ve f'de gösterilmektedir.



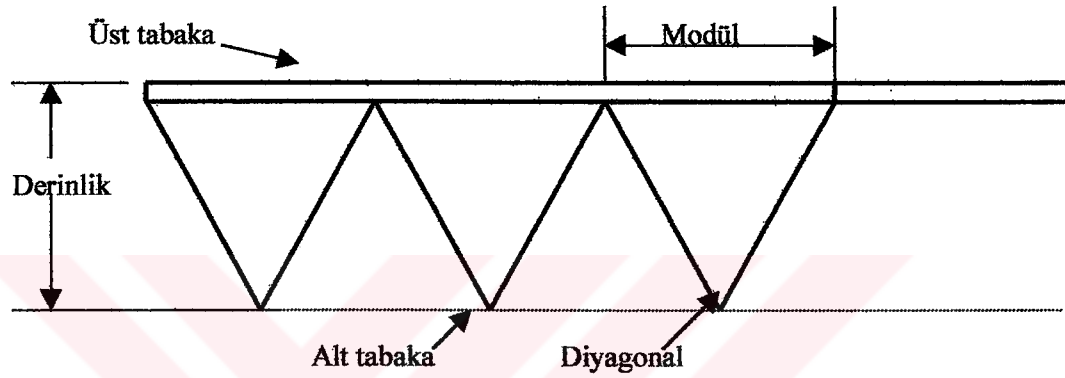
Şekil 3.18. İki, üç ve dört yönlü ızgara düzenlemeleri ([http:// www.surrey.ac.uk](http://www.surrey.ac.uk))

Uzay kafes sistemlerle tek, çift veya çok tabakalı düzlem yada eğri yüzeyler oluşturulabilir. Bu sistemler temel formları yönünden üç gruba ayırabiliriz.

- Düzlem yüzeyli
- Tonozsal (Tek eğrilikli) yüzeyli
- Kubbesel (Aynı yönde çift eğrilikli) yüzeyli

3.4.1. Düzlem Yüzeyle Uzak Kafes Sistemler

Düzlem yüzeyle uzak kafes sistemler, geçilen açıklığa bağı olarak belirlenmiş bir yükseklikte birbirine paralel iki düzlem ağı, düğüm noktalarından birbirlerine ara çubuklarla birleştirilmeleri sonucu oluşmaktadır. Bu sistemler çok tabakalı olarak da uygulanmaktadır. Bu ayrı tabakalardaki çubuklar düzeninin, aynı doğrultuda veya aynı düşey düzlemde olması gerekmemektedir.



Şekil 3.19. Uzak kafes sistem çubuk düzenleri

3.4.1.1. Düzlem Yüzeyle Uzak Kafes Sistemlerde Modüller

Uzak kafes sistemlerin geometrileri, bazı basit çokyüzlü geometrilerle ilişkilendirilmiştir. Düzlem yüzeyle sistemlerin ana modülü üçgen, dörtgen ve altıgen piramitlerdir. Sistemin kurulması ve çalışabilmesi için bu piramitlerin tepe noktalarından birbirine rijit bir şekilde bağlanmaları gerekmektedir. Böylece üçgen, dörtgen ve altıgen piramitlerin yan yana montajı ile taşıyıcı sistem oluşturulmaktadır (Parlak,1998, s.25).

Uzak kafes sistemde çubuklarla oluşturulacak geometrinin belirlenmesi için çeşitli sistematik düzenler vardır. Taşıyıcı sistemin tasarımda, eleman boyutlarını ve uygun birleşim açılarını geliştirmek için trigonometri ve geometriden yararlanılır. Uzak kafes sistemlerde kullanılan beş düzgün çokyüzlüden üçü:

- Dörtüzlü (Tetrahedron)
- Sekizyüzlü (Oktahedron)
- Yirmiyüzlü (İkosahedron)

Düzgün çokyüzlülerin diğer ikisi olan küp ve onikiyüzlü (dodekahedron) , uzay kafes sistemin boyutlarının ve açılarının hesaplanmasında yardımcı olmaktadır.

Dörtüzlü (Tetrahedron) : Uzay kafes sistemlerin temel elemanı 6 çubuk ve 4 düğüm noktasından oluşan, çubukların herhangi bir temele bağlı kalmaksızın kendi kendine rijit bir çerçeve oluşturdukları, dörtüzlüdür.(Şekil 3.20) Bunun nedeni, dörtüzlünün etkiler altında şekil değiştirmemesidir.

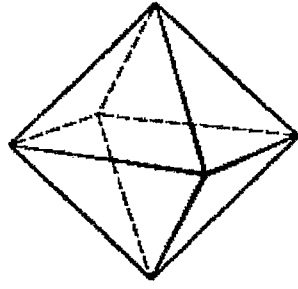


Şekil 3.20. 60° açıyla 4 yüzeyden oluşan dörtüzlü (<http://www.starnetint.com>)

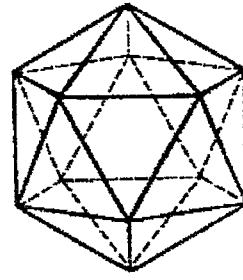
Bir dörtüzlü aynı düzlem içinde bulunmayan üç çubukla kolaylıkla büyütülebilir. Bir düğüm noktasını diğer üçüne rijit olarak bağlamak için üç çubuk gerekmektedir. Bu şekilde oluşturulan sistemler içten izostatiktir. Uzay kafes sistemlerin çubuk sayısı genellikle izostatiklik koşulu ile belirtilenden çoktur ve hiperstatiklik dereceleri yüksektir. Hiperstatiklik yüksek olduğu için tek bir elemanın burkulması bütün sistemin çökmesine neden olmaz (Zorer, 1995, s.45).

Sekizyüzlü (Oktahedron): 6 düğüm noktası, 12 çubuk ve aralarında 60° açıyla 8 üçgen yüzeyden oluşan sekizyüzlü rijit bir yapıya sahiptir.

Yirmiyüzlü (İkosahedron) :12 düğüm noktası, 30 çubuk ve aralarında 60° açıyla 20 üçgen yüzeyden oluşan yirmiyüzlünün düğüm noktaları, cismi içine alan aynı merkezli küre yüzeyinin üzerinde bulunmaktadır.



Sekizyüzli

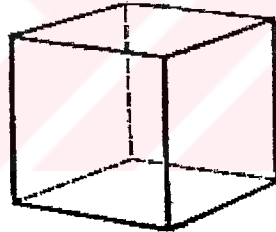


Yirmiyüzli

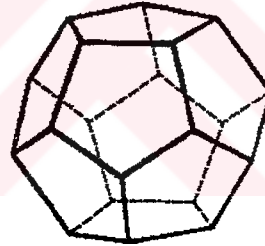
Şekil 3.21. Düzgün sekizyüzli ve düzgün yirmiyüzli (<http://www.starnetint.com>)

Küp: 8 düğüm noktası, 12 çubuk ve birbirine dik 6 kare yüzeyden oluşan küp, uzay kafes sistemde geometrik çözümlerde kolaylık sağlayan düzgün çokyüzlüden biridir.

Onikiyüzli (dodekahedron) : Onikiyüzli, 12 düğüm noktası, 30 çubuk ve 12 beşgen yüzeye sahiptir. İki yüzey arasındaki açı $116^{\circ} 34'$ dir. Geometrik çözümlerde kolaylık sağlayan diğer düzgün çokyüzlüden biridir.



Küp



Onikiyüzli

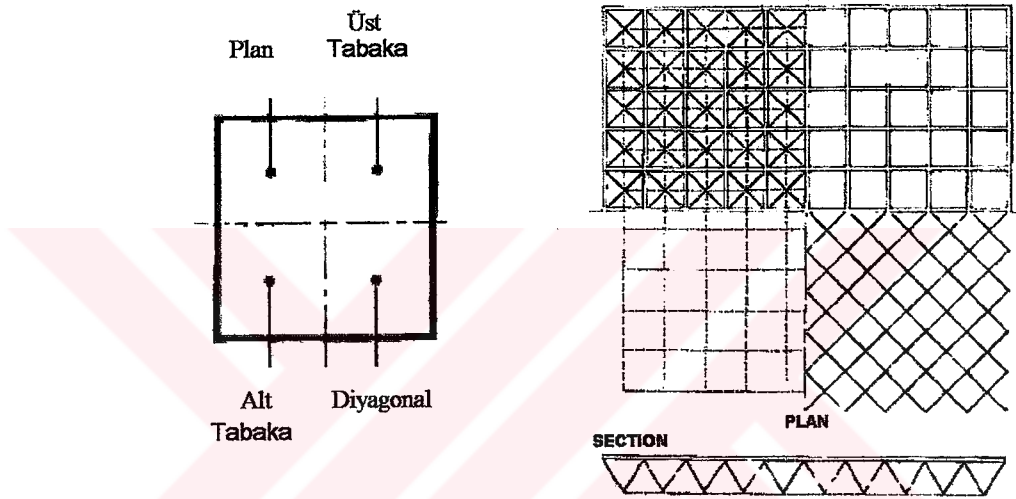
Şekil 3.22. Küp ve Onikiyüzli (<http://www.starnetint.com>)

3.4.1.2. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistem Düzenlemeleri

Çift tabakalı uzay kafes sistemler, aynı veya farklı yönlerdeki düzlem ağların birbirine birleştirilmesiyle elde edilmektedir. Yaygın olarak kullanılan çift tabakalı düzenlemeler sırasıyla iki, üç ve dört yönlü olmak üzere üç grupta incelenir.

3.4.1.2.1 İki Yönlü Düzenleme

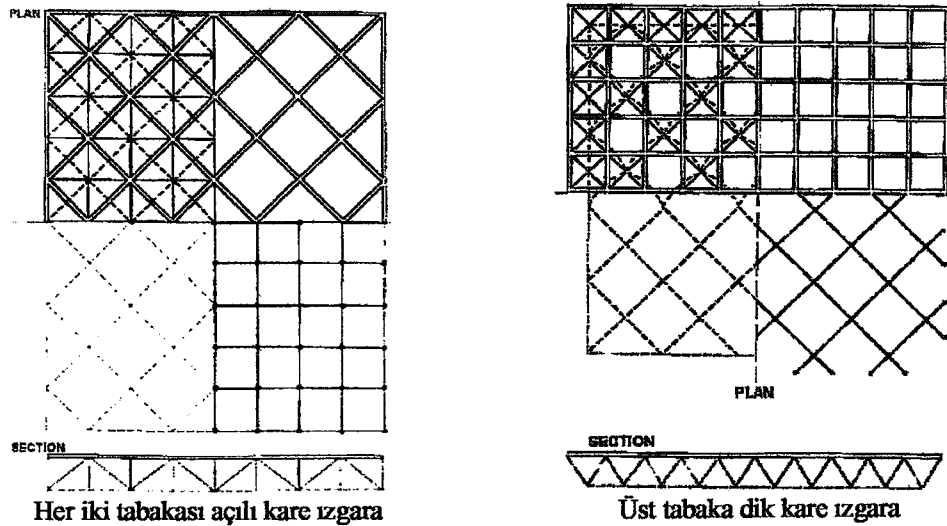
a- Kare Düzenleme : Her iki tabakası aynı boyutta dik kare ızgaralardan oluşan kare düzenlemeler, en çok uygulanan türdür. Yarım sekizyüzlü ve bir dörtyüzlünün kenarlara paralel sıralanmasıyla oluşur. Bu düzenlemenin fazla sayıda modülün kullanılmayacağı veya içten ve dıştan yükleme etkisinin fazla olduğu kısa açıklıklarda kullanıldığında daha etkindir. Sistemin alt tabakası çekmeye, üst tabakası basınca çalışmaktadır. Tabakalar, 45°'lik diyagonallerle sistemi oluşturur.



Şekil 3.23. Her iki tabaka aynı olan dik kare ızgara ([http:// www.starnetone.com](http://www.starnetone.com))

b-Açılı Düzenleme: Üst ve alt tabaka dörtgenlerinin birbirleriyle 45° açı ile birleştirilmesiyle oluşturulur. Sistemde, kenarlara açılı dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüller elde edilir. Bu düzenleme, açılı köşelere sahip yapılarda tercih edilebilir. Ayrıca, kısa ve uzun kenar arasındaki oranın 1/1 olduğu durumlarda etkin bir çözüm olmasına rağmen bu oran 1/3'e çıkabilmektedir (Zorer, 1995). (Şekil 3.24)

c- Çapraz Düzenleme : Yarım ondörtyüzlü ve yarım sekizyüzlülerin sıralanması ile oluşur. Alt tabaka dörtgenleri üst tabaka ile 45° açı yaparlar ve alt tabaka çubukları, üst tabaka çubuklarından $\sqrt{2}$ katı kadar daha uzun olan bu düzenleme, diğer iki doğrultudaki düzenlemelerin beraber çözümüdür. (Şekil 3.24)



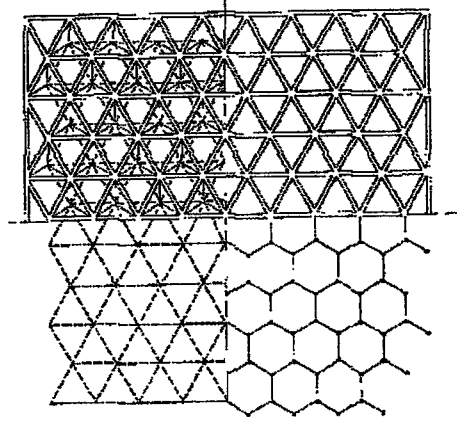
Şekil 3.24 Her iki tabakası açılı kare ızgara ve alt tabaka çapraz, üst tabaka dik kare ızgara ([http:// www.starnetone.com](http://www.starnetone.com))

Alt tabaka çubuklarının çekmeye çalışmasından dolayı geniş açıklıklı yatay ve eğik formlar için istenilen bir uygulamadır. Sistemdeki iki tabakanın 45° açı ile birleşmesi, burkulma rijitliğini arttırmaktadır. Ayrıca, çapraz düzenlemede, kare düzenlemeye nazaran daha az malzeme kullanılmaktadır. Mimarlar tarafından tercih edilmesinin nedenleri sistemin bütünde estetik bir görünüme sahip olması ve cam, metal, polikarbon gibi birçok kaplama türüne uygun olmasıdır.

3.4.1.2.2 Üç Yönlü Düzenleme

a-Düz Üçgen Düzenleme: Yarım küp sıralamalarıyla düzenlenir. Üst ve alt çubuk başlıkları eşit uzunlukta düzlem kafes kirişin 60° açı ile birbirlerine paralel olarak konumlanmasıyla oluşan sistemde, üst ve alt tabaka düğüm noktalarının hepsi üst üste gelmektedir.

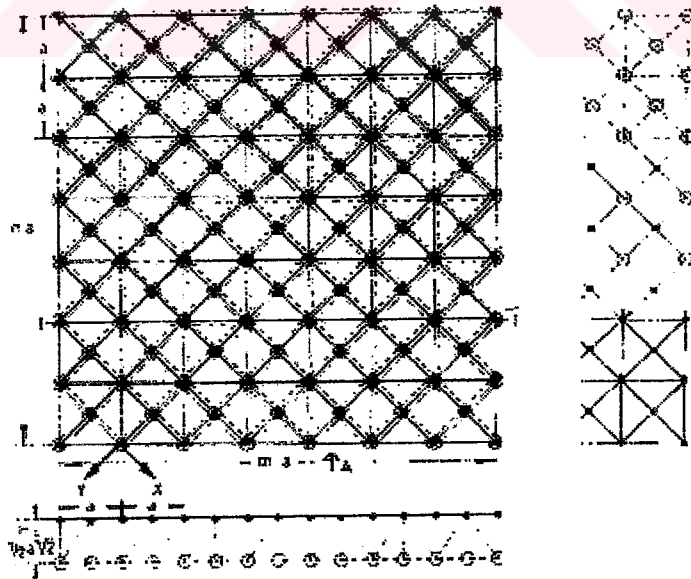
b-Ters Üçgen Düzenleme: Ters üçgen düzenleme, sekizyüzlü ve dörtyüzlü modüllerin sıralamalarıyla elde edilir. Eşkenar üçgenlerle oluşturulduğu gibi tabakalar ikizkenar üçgenlerle de oluşturulur. “Her türlü açıklık için uygun olan bu sistemin, mesnet çökmelerine karşı çok hassas olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Bu nedenle sağlam zeminlerde uygulanması uygun olur” (Zorer,1995,s.50).



Şekil 3.25. Her iki tabakası eşkenar üçgen ızgara ([http:// www.starnetone.com](http://www.starnetone.com))

3.4.1.2.3 Dört Yönlü Düzenleme

Dört yönlü düzenleme, yarım küp sıralamalarıyla oluşturulur. Fakat bu yarım küpler, tek başına stabil değildir. Bundan dolayı, stabiliteyi sağlayacak ilave diyagonaller kullanılır. Bu düzenlemede alt ve üst tabakalar, kenarlara paralel ve açılı olarak yerleştirilen çubuk ağlarından oluşur. (Şekil 3.26) Üst ve alt tabakanın düğüm noktaları üst üstedir. Ayrıca bu tür düzenlemeleri, dört düzlem kafes kirisin 45° ile birbirine paralel olarak düzenlenmiş bir sistem olarak da düşünebiliriz.



Şekil 3.26. Dört yönlü düzenleme (Mengeringhausen, 1975, s.49)

3.4.1.3. Düzlem Yüzeyli Uzak Kafes Sistemleri Yapım Sistemleri

Uzak kafes sistemin 50 yıl önce ilk üretiminden bu yana, düğüm noktaları ile ilgili yüzlerce farklı yapım sistemi geliştirilmiş ve her yılda yeni sistemler geliştirilerek, üretime geçilmektedir. Her sistemin kendine özgü teknik ve yer üstünlüklerinin olmasına karşın sakıncaları ve belirli sınırları vardır. Günümüzde uygulanmakta olan belirgin yapım sistemlerini üç grupta toplayabiliriz. Bunlar sırasıyla;

1. Parçalı sistemler
2. Başlıkların sürekli olduğu sistemler
3. Modül sistemler (Chilton, 2000)

3.4.1.3.1 Parçalı sistemler

Parçalı yapım sistemine sahip uzak kafes sistemlerde, eksenel yükler karşısında iyi bir performans gösterdiği için içleri boş olan dairesel veya küre birleşim elemanları kullanılır. Parçalı yapım sistemleri arasındaki ana fark, düğüm noktalarındaki detaylandırmadan kaynaklanmaktadır. Bu sistem içindeki tipler, çubuklarında bazı parçalar içermektedir. Örneğin, Mero KK sisteminde bir konik parça, Nodus sisteminde döküm elemanlar bulunmaktadır. Bu sınıflandırmayı ayıran özellikler, düğüm noktalarının şekli ve bu noktalardaki birleşim işlemleridir. Parçalı yapım sistemleri de kendi arasında dört alt gruba ayrılmaktadır (Chilton,2000).

- Küreli birleşimler
- Silindirik birleşimler
- Plakalı birleşimler
- Düğüm elemanı olmayan birleşimler,

a) Küreli birleşimler

Uzak kafes sisteminde, iki çubuğu birleştirici özelliğe sahip küre elemanlardan oluşan birleşimlerdir. Yalnız veya üzerinde yüzeyler oluşturulmuş küreler sisteme

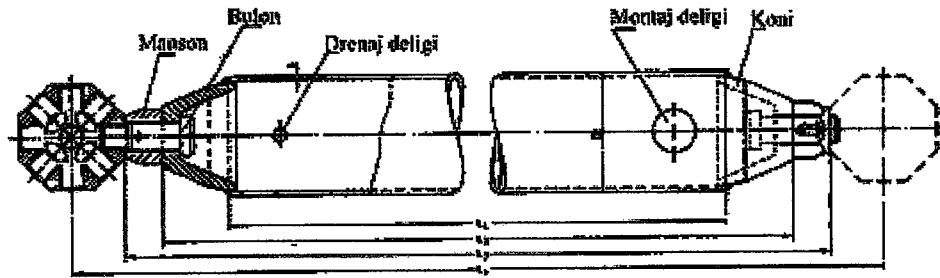
düzenli bir görünüm kazandırmaktadır. Birleştirici elemanlar, dolu ve boşluklu yapıya sahip küreler olmak üzere ikiye ayrılır.

a.1 Dolu yapıya sahip küreli birleşimler

Mero Sistem

İlk olarak 1942 yılında üretime başlayan Mero (Mengeringhausen Rohrbauweise) sistemi, hala uzay kafes sistemi yapımında kullanılan en iyi çözümlerden biri olarak inceliği, yalınlığı ve kolaylığı ile sadece binalarda değil, hafif malzemelerle oluşturulan sergi standlarında ve gösterilerde de kullanılmaktadır. Daire kesitli çubuk elemanlarla, düğüm noktalarındaki küreler tek gizli bir bulonla birleştirilir.

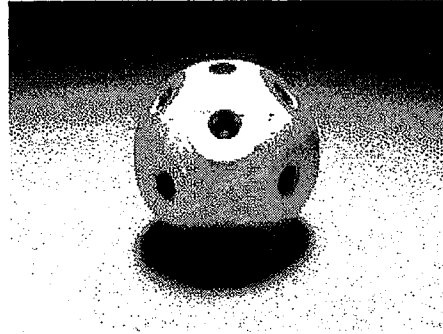
Sistem, bir düğüm noktası ve bir dizi standart uzunlukta çubuk elemanlardan oluşur. Çubuk boyları, 1m'den başlar ve sırayla 1m, 1.41m, 2m, 2.82m ... gibi boyutlar arasında $\sqrt{2}$ katı kadar değişmektedir. Mero tarafından düğüm noktaları için çeşitli yapım sistemleri geliştirilmiştir. Mero KK sistemi olarak bilinen bağlayıcı, 18 vida dişli ve 45° - 60° ve 90° 'lik açılarda traşlanmış taşıyıcı yüzeylerden oluşan dolu gövdeli çelik küredir.



Şekil 3.27. Mero sistem çelik bileşenleri (Mengeringhausen, 1975, s.68)

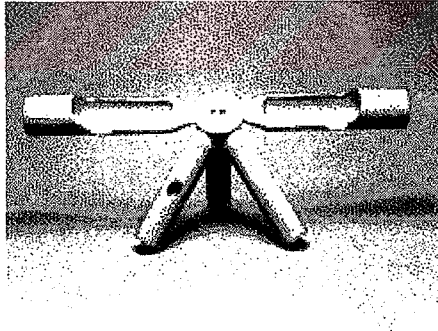
Standart küreler, çubuk elemanların farklı büyüklükteki kuvvetleri iletebilecek uygun boyutlarda üretilmektedir. Küreler üzerindeki dişli boşlukların sayısı, sistem içindeki konumuna göre değişmektedir. Mesnet noktalarında kullanılan kürelerde boşluk sayısı diğerlerine göre daha az olmaktadır. Ayrıca, bitişik iki boşluk arasında minimum 35° açı olmasına rağmen standart açılardan başka gerekli açılarda da

işlemler yapılabilmektedir. Mero sistemin bu özelliği, uzay kafes sistemi geometri seçiminde büyük bir esneklik sağlamaktadır.



Resim 3.2. Mero sistem çelik küre (<http://www.krupp.de>)

Standart boyutlardaki çubuk elemanları, daire kesitli çelik veya alüminyum profillerdir. Çubukların her iki ucunda, kaynaklanmış konik parçalar ve konilerin de ucunda küre ile bağlantıyı sağlayan bulonlar bulunmaktadır. Bulon ve küre boyutları, iletilecek yüke göre belirlenmekte ve çubuklar korozyona karşı içten ve dıştan galvanizlenmektedir.



Resim 3.3. Mero sistemde çubuk birleşimleri (<http://www.krupp.de>)

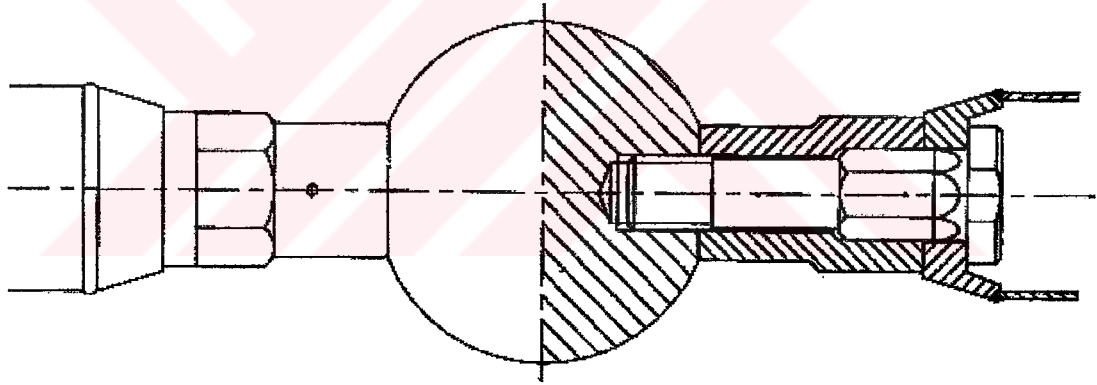
Mero sistemle oluşturulan bir sistemde çekme elemanları üzerindeki gerilmeler daire kesitli çubuklardan konik parçaya, koninin iç taşıyıcı yüzeyi yolu ile bulona aktarılır. Çubuk ve küre arasına gelen çekme gerilmesi bulonun dişleri aracılığı ile küreye aktarılır. Eksenel yüklemelerle oluşturulan sistemde, yükler küre merkezinde tek bir

noktada kesişirler. Basınç gerilmeleri ise küre yüzeyinden çubuklara doğru, çekme gerilmelerinin izlediği yolun tersi yönde sistem içinde dengeye ulaştırılır.

Orone Seo Sistem

Orone Seo sistemi, 1980'li yıllarda İspanya'da üretilmeye ve uygulanmaya başlanmış, çubuk ve küreden oluşan düğüm noktasına sahip bir sistemdir. Bu sistemde dolu küre birleşimler, ızgara ve geometrisine bağlı olarak sayısı ve konumu sınırlandırılmış, dişli bağlantı yuvalarına sahiptir.

Çubuk uçlarına kaynaklı, tepesi kesik çelik konik eleman hexagonal başlıklı bağlantı bulonunu tutmaktadır. Şekil 3.28'de gösterildiği gibi bağlantı sonunda olması istenilen uzunlukta hesaplanarak, küre ve koni arasında konumlanan çelik eleman bulonu sarmakta ve bağlantı noktasını dış etkenlere karşı korumaktadır.



Şekil 3.28. Orone Seo sistem düğüm noktası detayı (Chilton, 2000, s.36)

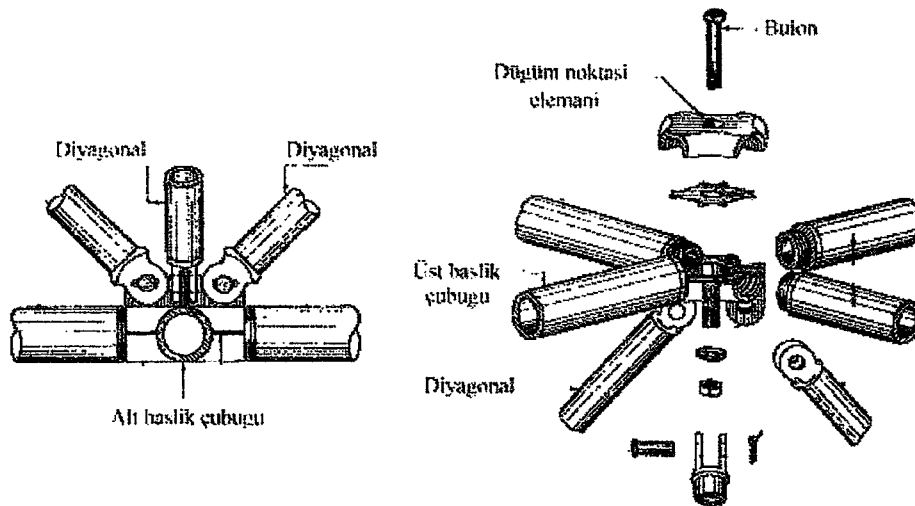
Sistemdeki çubuk elemanın, küreye sabitlenmesi için bulonu saran dıştaki parçanın hexagonal başlığının sıkıştırarak yönde döndürülmesi ile olmaktadır. Orone Seo sisteminde ki elemanlar sökülüp tekrar kullanılabilir. Bu sistem, zamanla zarar görmüş parçaların değiştirilmesine ve uygulama sonrası çubukların taşıma kapasitesinin artırılmasına olanak sağlamaktadır.

a.2 Boşluklu yapıya sahip küreli birleşimler

Nodus Sistem

1960'lı yıllarda uygulanmaya başlanan Nodus sisteminin düğüm noktaları, çok parçalı yapıya sahiptir. *Nodus sistem, tek tabakalı sitemlere oranla daha çok çift tabakalı sistemlerde kullanılmaktadır. Aynı açıklık ve yükleme koşulları altında çift tabakalı sistemler, diğer uzay kafes yapım sistemlerine göre daha az derinliğe sahiptir. Kenarlar boyunca taşınan Nodus sistemde derinliğin, açıklığa oranı 1/20 değerinde, sadece köşe noktaları ile taşınması sonucu bu oran 1/15 değerine çıkmaktadır* (Chudley,1987,s.150).

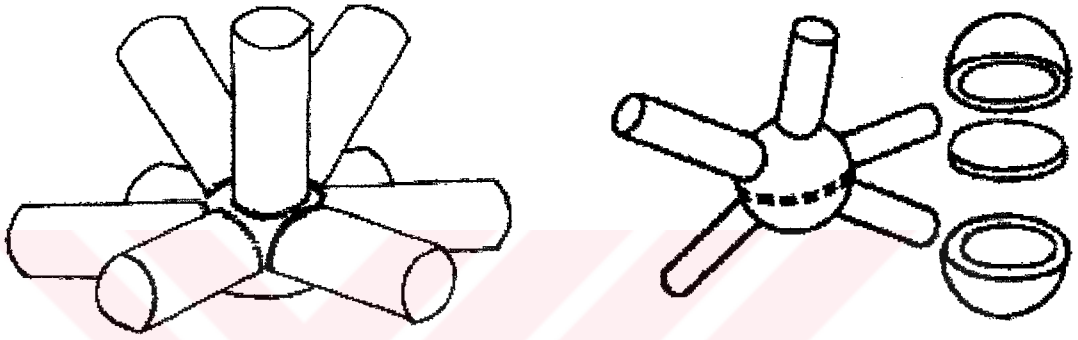
Nodus sistemin düğüm noktası, diyagonallerin ve başlık çubuklarının bağlantılarının olduğu iki parçadan oluşur.(Şekil 3.29) Bu iki parça, merkezde bir bulon, pul ve somunla sıkıştırılır. Böylece, yuvalarına oturtulan başlık çubukları, iki parça arasında kalarak, düğüm noktasına birleştirilir. Diyagonaller aksel olarak hareketli birleşimlere sahiptir. Bu özellik, çatı kaplaması için uygulanan aşıkların, sürekliliğini bozmayarak ikinci bir aşık uygulamasına gerek kalmamaktadır. Üst tabaka çubukları, sistemin detaylandırma özelliğinden kaynaklanan sürekli olarak uzanan bir başlık davranışına yakın bir özellik gösterirler. Bu özellik, tabakaların eğilme momentini azaltmaktadır (Chudley,1987).



Şekil 3.29 Nodus sistem düğüm noktası (Chudley,1987,s.151)

Oktaplatte Sistem

Mannesmann AG tarafından geliştirilip, üretilen bu sistem sekizyüzlü çubuk modülleri ile oluşturulan uzay kafes sistemler için uygundur. Bulonlu birleşimlerin tersine, bu sistemde çubuklar, iki yarım küre ve bu yarım küreleri birleştiren, bağlantının dayanımını artıran metal halkadan oluşan düğüm küresine kaynaklanır. Belirli şablonlara göre kesilen çubuklar, taşınabilir boyutlarda parçalar oluşturacak şekilde fabrikada bir araya getirilir.



Şekil 3.30 Oktaplatte sistem (Rühle, 1970, s.66)

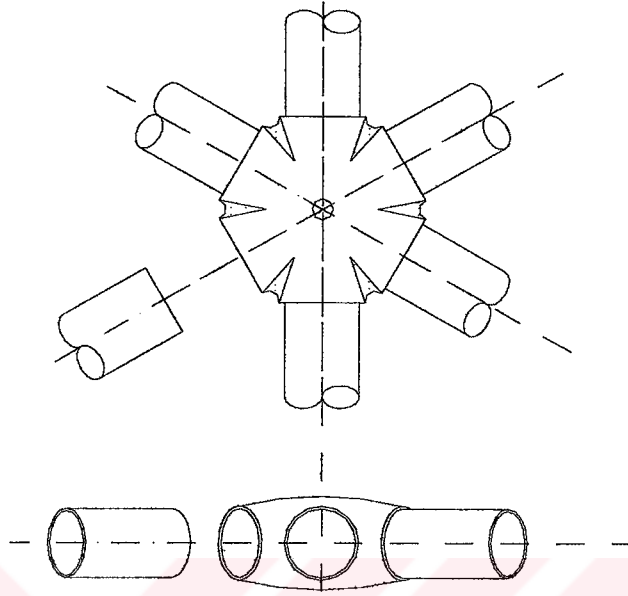
Oktaplatte sistem sadece çatı taşıyıcı sistemi olarak kullanılır. Çubukların doğrultuları düğüm noktası detayına bağlı olmaksızın belirlenebildiğinden bu sistemle tonoz şeklinde taşıyıcılarda yapılabilir. Sistem bileşenleri tekrar sökülüp kullanılamaz (Parlak, 1998).

SDC ve Pyramitec Sistemleri

SDC sistemi kaynaklı yapımı nedeni ile Oktoplatte sistemine benzemektedir. Düğüm noktaları, çubuk elemanların yerleştirilebileceği genişlikte boşluklara sahip yarım kürelerden oluşmaktadır.

Montaj şeklinin bir sonucu olarak düğüm noktalarının ve çubuklarının bir araya getirilmesi, başlangıçta düğüm plakalarındaki bağlantılar hareketli olduğundan, düğüm noktalarının kaynaklanmasından önce konstrüksiyonun düzeltilmesi gereklidir. Bundan dolayı, eğri yüzeyli taşıyıcı sistemler oluşturmak belirli sınırlar

içinde mümkün olabilmektedir. 1.30m'lik bir konstrüksiyon yüksekliğe sahip bu sistemle, 50x50m boyutlarında bir alan örtülebilmektedir.



Şekil 3.31. SDC (Stéphane du Château) sistemi

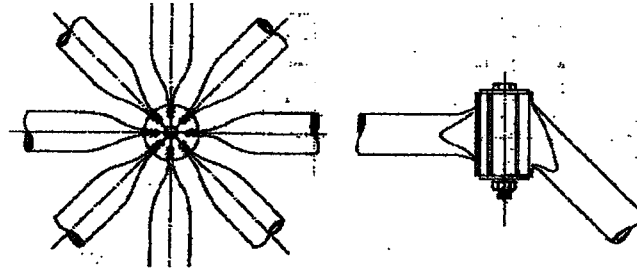
Pyramitec sistemi, SDC sisteminin geliştirilerek civatalı bir bağlantı sağlanarak elde edilmiştir. Bu sistem dörtgen, üçgen veya altıgen ızgara düzenlemeleri halinde prefabrik pramitler ile oluşturulmaktadır. Tridimatec sistemi önceden kaynaklanmış elemanlardan oluşmaktadır. Bunlarda montaj noktalarında yerinde yüksek dayanımlı civatalarla birleştirilmektedir. Bu sistemle iki veya üç yönlü taşıyıcılar yapılabilir. (Parlak, 1998).

b-Silindirik birleşimler

Triodetic sistem

İlk olarak 1953 yılında Kanada'da Fentiman & Sons firması tarafından geliştirilen Triodetic sistem, en iyi bilinen silindirik düğüm noktası yapım sistemidir. Diğer bütün sistemlerdeki üstünlükleri kendisinde toplayan sistemin çubuk elemanları, preslenmiş bitiş uçlarına sahip alüminyum profillerden elde edilir.

Triodetic sistem, çubuk ve düğüm noktası elemanlarında alüminyumun baskın bir şekilde kullanıldığı sistemlerden biridir. Yassılaştırılmış bitiş uçlarına sahip boşluklu alüminyum profiller kullanılır. Silindirik düğüm noktası üzerinde ki yuvalara geçirilen başlık ve diyagonal çubukları, silindirin her iki tarafına yerleştirilen plakalar arasında kalarak çubuk hareketleri engellenir. ...Çelik ve alüminyum birlikte kullanılabilir. Fakat iki metal arasındaki elektrolit etkiler için uygun temas boyaları kullanılmalıdır (Chilton.2000. s.39).



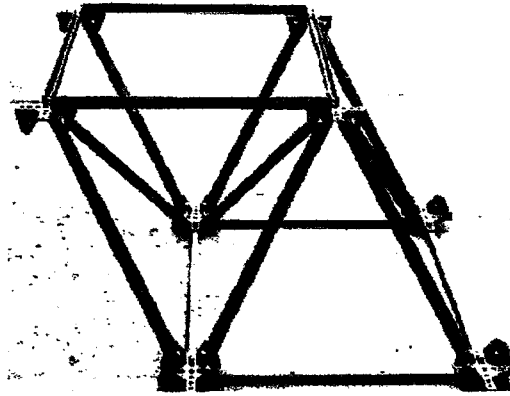
Şekil 3.32. Triodetic sistem (<http://www.unb.br>)

c-Plakalı birleşimler

Moduspan (Unistrut) sistem

Moduspan sistemi, Amerikalı Charles Wayne Attwood tarafından geliştirilmiş, küçük parçalı, civatalı birleşimlerin ilk üretilen sistemlerinden biridir. Soğuk hadde U- profiller ve bu profillerin bağlanacağı yuvalara sahip 6mm kalınlığında iki sekizgen düğüm levhasından oluşur.

Sistemin kuvvet aktarımı, yüksek dayanımlı çelik bulonlardan olmasına karşın sadece bulonlar yeterli olmadığından, sıkılarak oluşturulan 40x40 ve 40x60'lık kayma kamalarından yararlanır. Kullanımı sekizyüzlü-dörtüüzlü sistemler ile sınırlı olan Moduspan sisteminin parçaları, sökülerek tekrar kullanılabilir. Daire kesitli profillere oranla statik bakımdan daha elverişsiz olan U-profillerden oluşan bu sistemde malzeme sarfiyatı fazla olmaktadır (Parlak, 1998).



Resim 3.4. Moduspan sistemi bileşenleri (<http://www.unb.br>)

d- Düğüm elemanı olmayan birleşimler

Octet Truss ve Multi Hinge Sistem

Uzay kafes sistemlerde malzeme maliyetinin büyük bir bölümünü düğüm elemanları oluşturmaktadır. Bu nedenle bazı sistemler, düğüm noktalarında maliyeti düşürücü detaylandırmalara gitmişlerdir. “Düğüm elemanı kullanılmadan geliştirilen sistemlerin ilki Buckminster Fuller’in Octet Truss’ıdır. Bu sistem, tetrahedral ve octahedral geometri için uygun açılarda kesilmiş ve “x” çubuk uçlarının cıvatalarla sıkıştırılmasıyla elde edilir ” (Chilton. 2000. s,41).

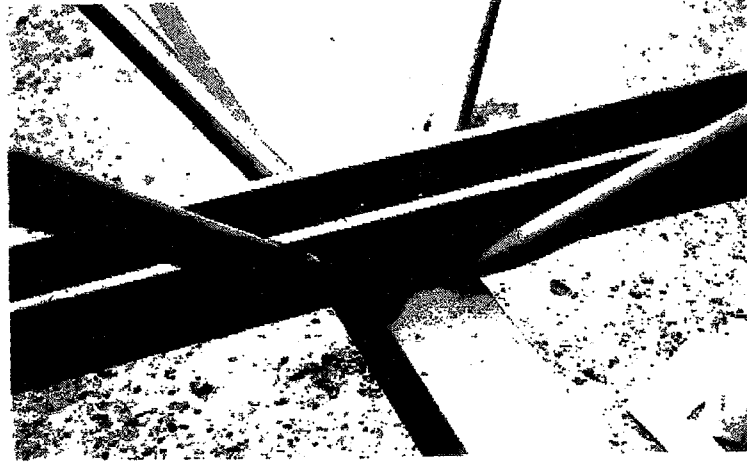
Aynı sistem oluşumu doğrultusunda, Peter Pierce tarafından geliştirilmiş benzer özelliklere sahip olan sistem, Multi Hinge sistemidir. Üzerinde cıvata deliklerinin bulunduğu, çelik plakalar çubuklara kaynaklanır. Düğüm noktası, bu plakaların birbirlerine cıvatalanması sonucu elde edilir ve yükdağılımı gerçekleştirir.

3.4.1.3.2 Sürekli başlığa sahip birleşimler

Harley Sistem

Harley sistemi, 1989 yılında Conder Group tarafından Avustralya’da üretilmeye başlanmıştır. Bu tip sistemler diğer gruplarda ki sistemlere göre olan farkı, alt ve üst başlıklarının kesintisiz tek bir çelik profillerden elde edilmesidir. Düğüm noktasında

az parçalı bir birleşim meydana gelmektedir. Kesişen U-profilli başlık elemanları sırt sırta getirilerek, çelik boru diyagonalleri bulonlarla sıkıştırmaktadır. Diyagonal uçları, gerekli bağlantı açılarında preslenerek, bulon yuvaları açılmaktadır.



Resim 3.5. Harley sistem (Chilton.2000 s.41)

“Bu sistem üzerinde yapılan araştırmalar sonucunda $250m^2$ ’nin üstündeki alanların taşıyıcı sistemi için uygun olduğu görülmüştür. ... Düğüm noktasındaki elemanların eksenleri tek bir noktada kesişmemektedir. Sistemin birleşiminden kaynaklanan bölgesel bir öngerilimle dağıtılmaktadır.” (Chilton. 2000, s.41).

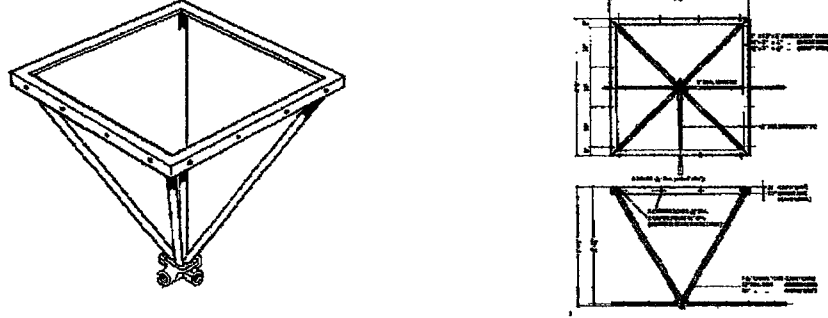
3.4.1.3.3 Modül Sistemler

Space Deck sistemi

1950’li yılların başlarında, İngiltere’de Dennigs of Chard firması tarafından geliştirilmiş modüler bir uzay kafes yapım sistemidir. Üretim amacı, ekonomik ve uygulaması kolay bir sistem ortaya çıkarmaktır. Standart boyutları 120x120, 150x150 ve 200x200cm ve konstrüksiyon yükseklikleri de sırayla 75, 120,150 ve 200cm olarak değişmektedir. Modül boyutlarında ki değişim, farklı dayanıma sahip diyagonal boyutlarından kaynaklanmaktadır.

Sistemin üretiminde üst başlığı oluşturacak olan çelik köşebentler gerekli uzunlukta kesilerek, kaynaklanır. Alt başlıkta olan piramit tepeleri ise uçlarına dış

açılmış çelik çekme çubukları ile birbirine bağlanır. Bu tür birleşim, tek eğrilikli yüzeyler oluşturmaya da olanak sağlamaktadır. İşlemler sonucunda bir çerçeve, dört diyagonal ve bir düğüm elemanından oluşan piramit elde edilir. Bileşenler şantiye üretiminde oluşabilecek hataları önlemek için hazır olarak getirilir. Sistem standart modüllerden oluştuğu için depolama ve taşıma kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 3.33. Space Deck sistemi (<http://www.unb.br>)

3.4.2. Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

Herhangi bir eğri yüzey bir çizgi ağına bölündükten sonra çizgiler boyunca taşıyıcı çubuklar, çizgilerin kesiştikleri yerlere düğüm noktaları yerleştirilerek bir eğri yüzeyli uzay kafes sistemi üretilebilir. Kısaca köşeleri (düğüm noktaları) tek veya çift eğrilikli yüzeylerin üzerinde yer alan ağların düz çubuklarla birleştirilmesiyle eğri yüzeyli uzay kafes sistem ortaya çıkar (Türkçü, Structure and Geometry II ders notları).

Çubuk elemanlardan oluşan eğri yüzeyli uzay kafes sistemlerin kabuk sistemlere benzeyen geometrik oluşumlarını aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

1. Tek eğrilikli uzay kafes sistemler
2. Çift eğrilikli uzay kafes sistemler
 - a) Eş eğrilikli
 - b) Ters eğrilikli

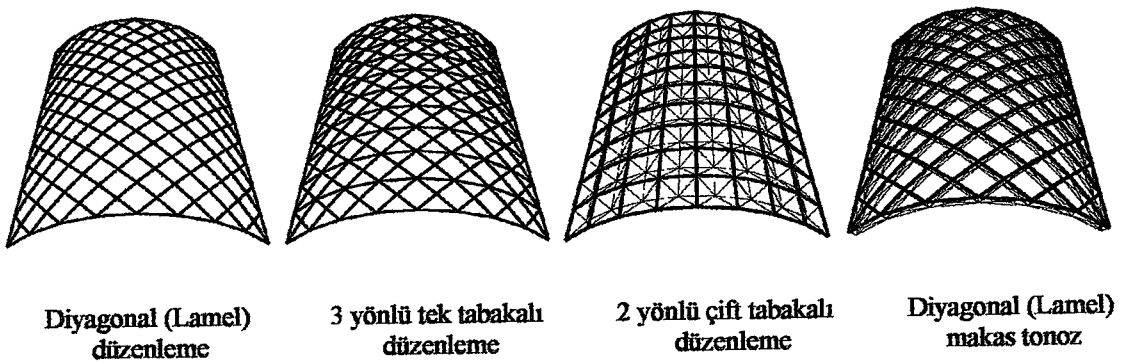
3.4.2.1 Tek eğrilikli uzay kafes sistemler- Silindir yüzeyli

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemleri elde etmek için doğuray ve doğrultman çizgilerinden en az birinin eğri olması gerekir. Doğuray ve doğrultman çizgilerinden yalnız bir tanesi eğri diğeri doğru ise bu tür sistemlere tek eğrilikli sistemler denir. Silindir yüzeyli uzay kafes sistemler tek eğrilikli sistemlere, örnek gösterilebilir. “Tonoz uzay kafes” olarak da adlandırılan bu tür sistemler, günümüzde geniş açıklıklı mekanların örtülmelerinde, basınca çalışan çelik çubuklarla boşluklu bünyeler oluşturarak yeni bir uygulama alanına kavuşturulmuştur.

Tonoz uzay kafesler ile düzlem uzay kafesleri karşılaştırsak, tonoz şeklinin sisteme getirdiği strüktürel bir üstünlük de vardır. Düzlem uzay kafeslerde, sisteme etki eden dış yükler, etkidikleri yöne dik yönde mesnetlere iletilirler. Oysaki ki tonoz şeklinde bu açılar 180° den küçük açılardır. Tonozun ortasında bile bu açı 180° olmaktadır. Bundan dolayı statik olarak silindir yüzeyli uzay kafes sistemler daha üstündürler. Fakat böyle bir uygulamada yüzey alanı, düzlem uzay kafes kirişlerinden daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla da maliyet açısından düzlem kafes kirişler tonoz kafes sistemden daha ekonomik olmaktadır (Savaşır,1999,s.18).

3.4.2.1.1 Tonoz uzay kafes sisteminin oluşum ilkeleri

Tonoz çatılı uzay kafes sistemlere eğrilikliğini veren doğuray yayıdır. Bu yay geometrik olarak daire, parabol ve elips yayı olabilir.



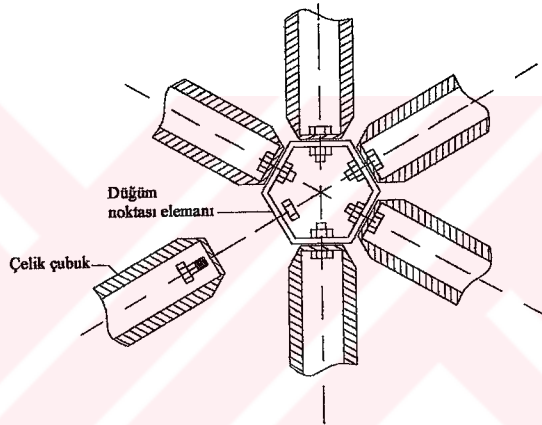
Şekil 3.34. Tonoz uzay kafes sistem düzenlemeleri (<http://www.surrey.ac.uk>)

Yayın aldığı isimlere göre de tonoz uzay kafes sistemleri; daire yaylı tonoz sistemler, parabol yaylı tonoz sistemler ve elips yaylı tonoz sistemler olarak üç grupta toplayabiliriz. Şekil 4.34’de gösterildiği gibi enine, boyuna ve diyagonal elemanlarla tek veya çift tabakalı tonoz uzay kafes sistemler oluşturulabilir.

3.4.2.1.2 Tonoz Uzay Kafes Yapım Sistemleri

Wuppermann Sistemi

Prefabrik çelik konstrüksiyon çubukların eşit boyda her düğüm noktasında altı adet önceden üretilmiş çubukların cıvatalanmaları suretiyle birleştirilmesidir.



Şekil 3.35. Wuppermann sistemi düğüm noktası

Lamel Sistemi

Örtü yüzeyi çok sayıda lamaların birleştirilmesi ile oluşmuştur. Bu sistemde lamalar silindir, parabol, hiperbol ve küresel olarak biçimlendirirler.

3.4.2.2. Çift Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler

Çift eğrilikli yüzeyler, tezin ikinci bölümü içerisinde yer alan “Kabuk sistemler” konusunda da incelendiği üzere, yüzeylerin asal eğriliklerinin birbirleriyle aynı veya ters yönde olmaları sonucunda eş eğrilikli ve ters eğrilikli yüzeyler olarak ayrılmaktadır. Çift eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanılan eş eğrilikli geometriler

küre, paraboloid ve elipsoid kesitleri, ters eğrilikli yüzey geometrisi de hiperbolik paraboloiddir.

3.4.2.2.1 Eş Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler

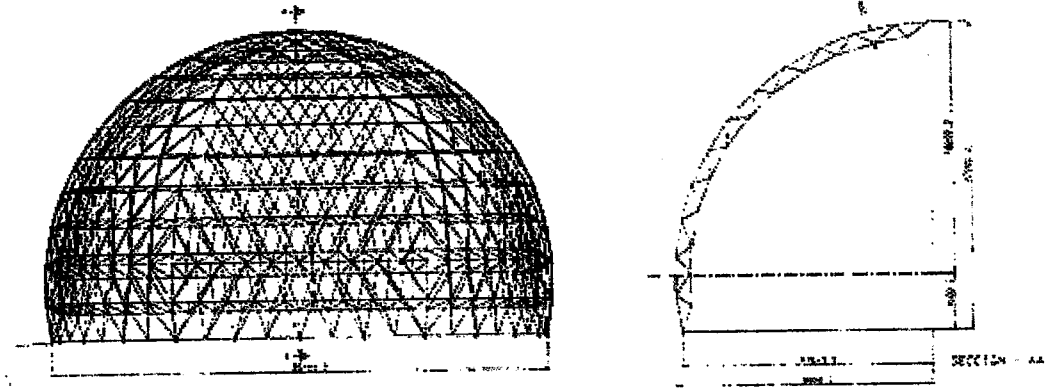
Eş eğrilikli uzay kafes sistemlerde yaygın olarak kullanılan ve en eski yapı biçimlerinden olan kubbelerin temel yüzey geometrisi, küre kesitleridir. Geçmişte geniş açıklıkları geçmek için çok yaygın olarak kullanılan kubbenin yapısal oluşumu, bir kemerin asal eksen çevresinde döndürülmesi ile elde edilir.

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler içinde küre ve küre kesitlerinden yararlanılmasının ve farklı malzeme ve taşıyıcı sisteme sahip kubbe konstrüksiyonlarının çağımızda da bu denli yaygın olması nedenleri şöyle açıklanabilir.

- Küre en büyük hacmi, en küçük yüzeyle kaplar.
- Küre yüzeyi hem taşıyıcı hem de örtücü yüzey olarak kullanım bulur.
- Örtülen mekan içinde mekan bölücü duvar, kolon, giriş v.b. gerekmez.
- Küre yüzeyinin geometrisi; matematik formülasyonu belli ve kolaydır.
- Küre yüzeyleri çift eğrilikli olduklarından ötürü, düzlem tek yüzeyli veya eğrilikli uzay kafes sistemlere oranla, şeklin kazandırdığı ek bir stabiliteye sahip olup, büyük açıklıklar için daha uygun olmaktadır (Türkçü, Structure and Geometry II ders notları).

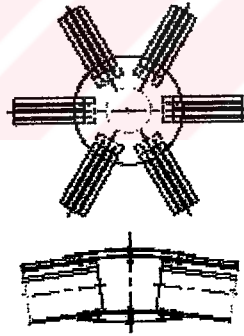
“Kubbesel uzay kafes sistem” olarak da isimlendirebileceğimiz bu sistemler, çift tabakalı olabileceği gibi hesaplar sonucunda çıkan yeterli çubuk kesitleri doğrultusunda tek tabakalı olarak da uygulanan, basınca çalışan hafif taşıyıcılardır.

Çift tabakalı kubbesel uzay kafes sistemin yüzey eğriliği, başlık çubuk uzunluklarındaki gerekli kısaltmalara bağlı olarak oluşur. Kubbe oluşumu, çift tabakalı düzlem yüzeyli bir uzay kafes sistemin her iki yöndeki alt başlık çubuklarının kısaltmasıyla elde edilir.(Şekil 3.36)



Şekil 3.36. Çift tabakalı kubbesel uzay kafes sistemi (Chilton, 2000, s.105)

Üçgen, dörtgen, çokgen ve dairesel planlı geniş açıklıkların geçilmesinde büyük ölçüde ekonomi sağlayan bu sistemin düğüm noktaları, çok hassas detaylandırma gerektiren bileşenlerdir. Kubbesel uzay kafes sistemlerde kullanılan düğüm noktası yapım sistemleri Mero, Triodetic, SDC ve Şekil 3.37’de gösterilen iki dairesel alüminyum plaka arasında eksenlerinin tek bir noktada birleştiği I- profillerden oluşturulan Sky Top sistemidir.



Şekil 3.37. Sky Top düğüm noktası sistemi (<http://www.starntone.com>)

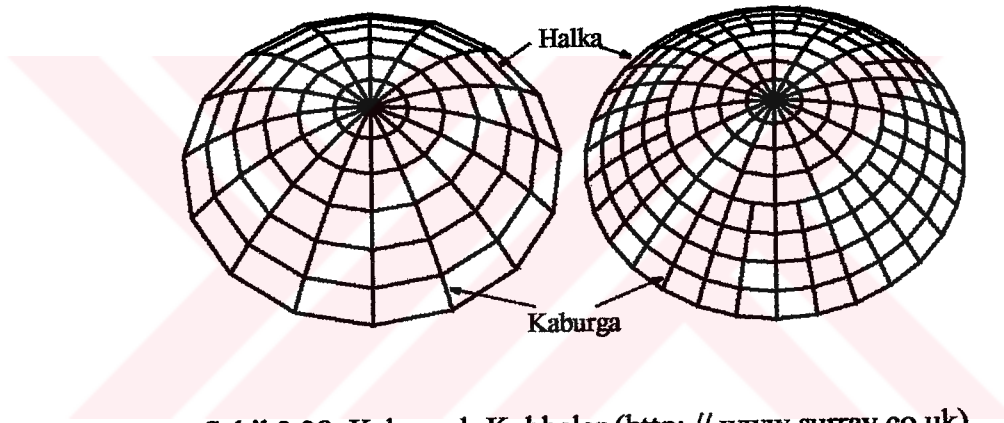
Kubbesel uzay kafes sistemler, çubuk düzenlemelerine göre bir çok değişik tipte tek tabakalı çubuk ağı kubbelerine sahiptir. Bunlardan bazıları;

- Kaburgalı Kubbeler
- Schwedler Kubbesi
- Lamel Kubbe
- Jeodezik Kubbe
- Zimmermann Kubbesi
- Çerçeve Kubbeler

a) Kaburgalı Kubbeler

Kaburgalı kubbeler, birbirine tepe noktasında tek bir noktada birleşen ve zemine kadar uzanan bir sıra özdeş kaburgadan oluşur. Kubbenin iskeletini oluşturan bu taşıyıcılara, sisteme yapısal bir bütünlük kazandırmak ve dayanımı arttırmak için temelde çekme halkası uygulanır.

Bu tür kubbe konstrüksiyonlar, rijit düğüm noktalarına sahip olmadıkça strüktürel olarak stabil değildir. Tepe noktasına doğru kaburga aralıkları daralmakta ve birleşim noktasında problemler meydana gelmektedir. Bu problemten kaçınmak için kaburga elemanları, tepe noktasında uygulanan basınç halkasına bağlanmaktadır.



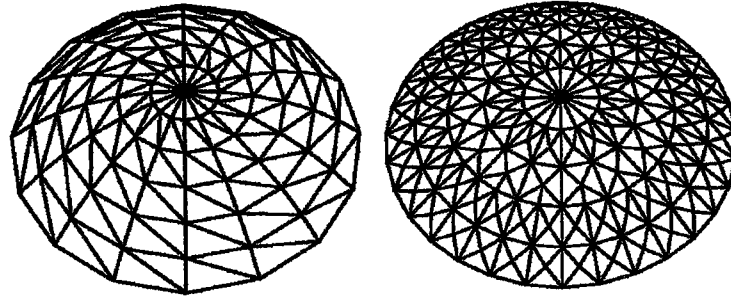
Şekil 3.38. Kaburgalı Kubbeler (<http://www.surray.co.uk>)

b) Schwedler Kubbesi

Çubuk ağı kubbeler arasında en çok uygulanan kubbe sistemlerinden biride Schwedler kubbeleridir. Bu kubbeler, yüzey boyunca paralel uzanan halkalara bağlanmış kaburgalardan oluşur. Kaburga ile halkaların kesiştiği noktalar arasında bir halkadan diğerine uzanan diyagonaller de sistemi oluşturan çubuk elemanlardır.

Alman mühendis J.W. Schwedler tarafından 1863 yılında geliştirilen bu sistemin yaygın olarak uygulanmasının nedeni, açıklığa oranla büyük oranda malzeme maliyetinde ekonomi sağlamaktadır.

“ Sistemi oluşturan kaburgalar, sürekli elemanlardır ve halkalara rijit bir şekilde birleştirilmelidir. Elemanların hepsi, eksenel yüklerin yanı sıra, eğilme ve burkulma momentlerinin etkisi altındadır” (Makowski,1988,s.44).



Tek yönlü diyagonal
düzenleme

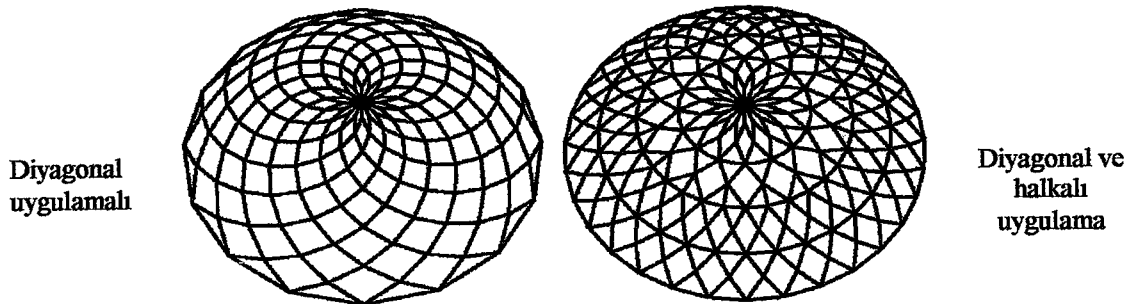
Çift yönlü diyagonal
düzenleme

Şekil 3.39. Schwedler kubbesi ([http:// www.surray.co.uk](http://www.surray.co.uk))

c) Lamel Kubbe

Lamel kubbeler, ilk olarak 1906 yılında Almanya’da Zollinger tarafından geliştirilen bir çubuk ağı kubbesidir. Küre yüzeyini oluşturan diyagonaller, tepe noktasından çekme halkasına doğru saat yönü ve tersi yönde sıralanarak uzanır. Bu sistemde kaburga elemanlar kullanılmazken yatay halkalar uygulanabilir.

“Çapraz bir düzenleme içinde ‘lamel’ olarak adlandırılan benzer birimlerin sıralanması ile oluşmaktadır. Her bir lamel birimi, bir baklavanın kenar uzunluğunun iki katı uzunluğa sahiptir. ... Bu sistem yangın ve deprem dayanımının dışında, aşırı rüzgar yüküne karşı da iyi bir dayanım göstermektedir” (Makowski,1988,s.44).

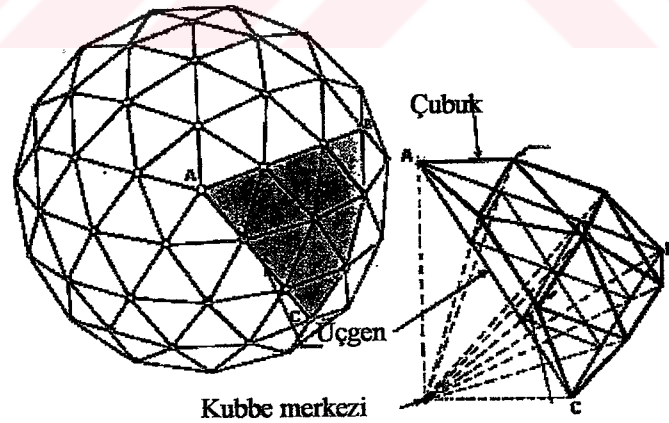


Şekil 3.40. Lamel kubbe uygulamaları ([http:// www.surray.co.uk](http://www.surray.co.uk))

d) Jeodezik Kubbe

Jeodezik kubbeler, ilk olarak 1958 yılında R. Buckminster Fuller tarafından geliştirilmiş ve ilk uygulamaları yapılmıştır. Jeodezik kubbe, kubbe geometrisini oluşturan küre yüzeyinin jeodezik yaylarla bölünmesiyle elde edilen çubuk ağı kubbeleridir. Ağı oluşturan bu yaylar, küre yüzeyindeki iki noktayı birleştiren en kısa yay olarak tanımlanır. Jeodezik yayların özelliği, uzantısının küreyi iki eşit parçaya bölmesi ve yay düzleminin küre merkezinden geçmesidir.

Uzay kafes sistemlerde çubukların yalnız aksel kuvvetlerle yüklenebilmesi düğüm noktalarının mafsallı olmasını, mafsallı düğüm noktalarını kullanan tek tabakalı eğri yüzeyli çubuk sistemlerde ancak üçgenlere bölünmüş yüzeylerin stabil olması da küre yüzeyinin jeodezik yaylarla üç yönlü bir ağa (ızgaraya) bölünmesini gerektirmektedir. İmalat ve montaj süreci bakımından uzay kafes sistemlerde en ekonomik durum bütün düğüm noktalarının aynı geometriye, taşıma gücüne, bütün çubukların eşit uzunluğa ve taşıma gücüne sahip olduğu durumdur. Denilebilir ki, küre yüzeyini üçgenlere bölerken bir yandan da çubuk uzunluklarının eşit veya bir birine yakın uzunluklarda olmasına çalışılmalıdır (Türkçü,2001,s.4).

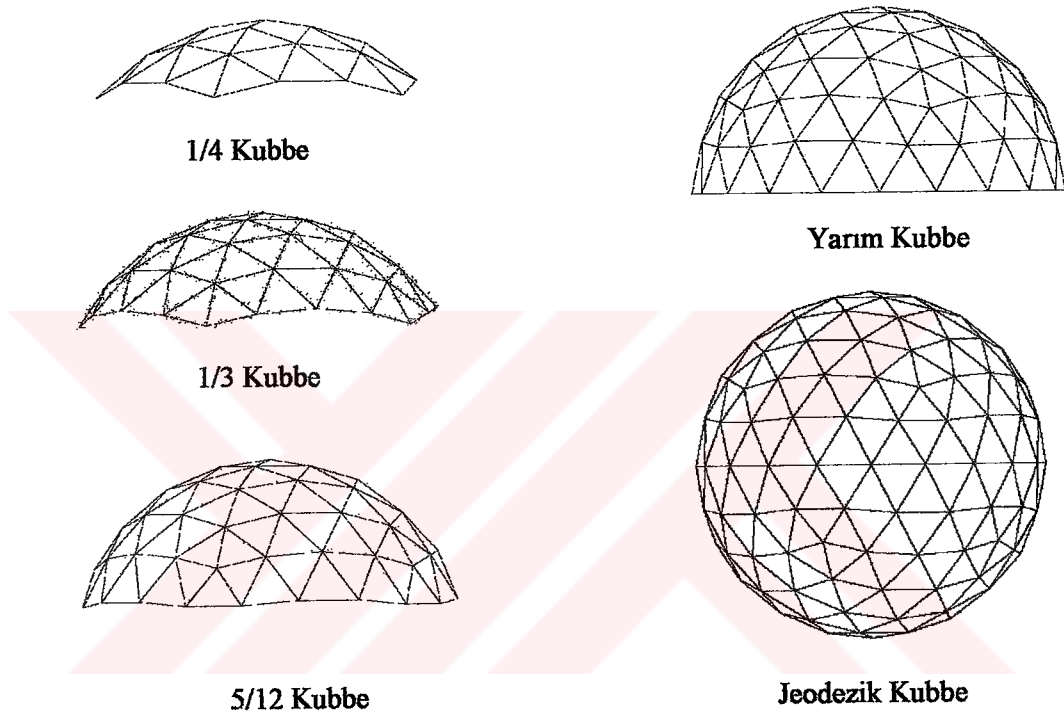


Şekil 3.41. Küre yüzeyinin eşit üçgenlere bölünmesi ([http:// www.starnetint.com](http://www.starnetint.com))

Jeodezik kubbeler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda küre yüzeyinin, 4-yüzlü, 8-yüzlü ve 20-yüzlü stabil, düzgün çokyüzlülerin yüzeye yansıtılmasıyla eşkenar üçgenlere bölünmesi gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, stabil bir yapı elde edilerek, küre

yüzeyinin diğer çokyüzlülere göre daha çok eşit parçaya bölen ve yüzeye en yakın geometriyi sağlayan 20-yüzlü, kubbe oluşumunda esas alınmıştır.

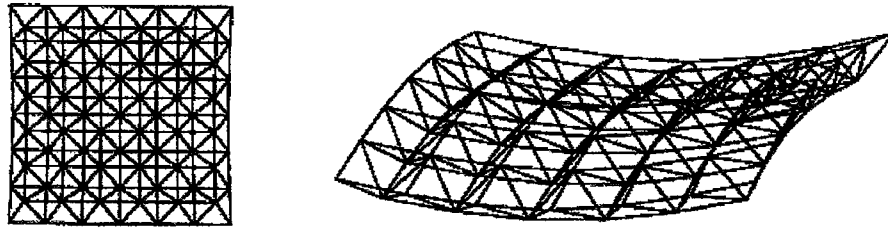
20-yüzlü üçgeninin kenarlarının daha küçük eşit üçgenlere bölünmesine “frekans” denir. Yüksek frekanslı jeodezik kubbeler, daha çok üçgen bileşenlere sahip ve küre yüzeyinin eğriliğine daha yakındır. Bu bölünme, kenarlara paralel ve kenarlara dik bölme olarak iki farklı uygulamayla karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 3.42. Jeodezik kubbe oluşumu ([http:// www.geodesics-unlimited.com](http://www.geodesics-unlimited.com))

3.4.2.2.2 Ters Eğrilikli Uzak Kafes Sistemler

Hiperbolik paraboloid yüzeyli uzak kafes sistemler birbirine ters yönde çift eğrilige sahip sistemlerdir. “Semer yüzeyli sistemler olarak da adlandırılan bu yüzeyler, parabol yaylarından oluşur. Şekil 3.43’de gösterildiği gibi hiperbolik paraboloid yüzeyli uzak kafes sistemler, kare ızgaraya sahip bir uzak kafesin üst tabaka çubuklarının bir yönde kısaltılırken, diğer yönde de alt tabaka çubuklarının kısaltılmasıyla elde edilir.



Şekil 3.43. Hiperbolik paraboloid yüzeyli uzay kafes sistem (Chilton.2000 s.56)

“Bu tür ters eğrilikli sistemlerde dikkat edilmesi gereken nokta, başlık elemanlarında yapılan kısaltma ve uzatma miktarlarının tüm sistemde düşünüldüğünde, çok küçük uzunlukta olması gerektiğidir ” (Chilton.2000 s.55).

3.5. Uzay Kafes Sistemlerin Avantaj ve Dezavantajları

Uzay kafes sistemler, rijit ve ekonomik olmalarının yanı sıra düzlemsel, eğik, silindirik (tonoz) ve küresel kabuk şeklinde tasarlanarak, bir veya iki yönde geniş açıklıklı yapı tasarımıda büyük imkanlar yaratmaktadır.

Uzay kafes sistemin avantajları;

- Uzay kafes sistem tasarım, imalat ve montaj şekli ile tam bir prefabrik sistem olup şantiyede boya dahil hiçbir ilave imalatın yapılmasına gereksinim göstermez,
- Sistem küçük ve hafif parçalardan oluştuğu için üretim süresi çok kısadır. Ayrıca, vinçin girmesi mümkün olmayan yerlerde tekerlekli iskele ile montajı mümkündür. İmalat ve montaj süreleri çok kısaldığı için inşaat maliyetlerinde zamanla ortaya çıkan artışlar ortadan kaldırılmaktadır
- Uzay sistemler tek yönlü geniş açıklık geçen diğer sistemlere nazaran iki yönde ara düşey taşıyıcılara gerek kalmadan geniş açıklıklar geçebilmektedir.
- İki yönlü taşıyıcı özelliği ve değişken modüler yapısı nedeni ile düzlemsel, küresel, silindirik ve prizmatik her türlü geometrik şeklin tasarımı mümkündür,
- Yüksek rijitliği nedeniyle, diğer sistemlere göre daha hafiftir ve bu da alt yapıda, kolon ve temel kesitlerini minimumda tutarak, ekonomi sağlamaktadır.

- Sadece somun anahtarı kullanılarak, cıvatalı birleşim şeklinde uygulanarak oluşturulan binlerce metrekairelik uzay kafes sistemler gerektiğinde sökülüp başka bir yerde yeniden kurulabilir,
- Düğüm noktalarında gerekli önlemleri almak koşulu ile havalandırma, elektrik, aydınlatma tesisatlarını çatıya taşımak mümkün olabilmektedir. Ayrıca bu tesisatların uzay kafes sistem kalınlığı arasından monte edilmesi durumunda kat yüksekliği bakımından yer kazancı olmaktadır.
- Sistem elemanlarının depolama ve nakliye avantajı
- Projelendirmede tasarım serbestliği nedeniyle, mimara mesnet yerlerinde esneklik sağlamaktadır. Yapılara, estetik bir görünüş kazandırarak, Yapının durumuna göre dört tarafta konsollar oluşturabilme imkanı sağlamaktadır.
- Sistem yüksekliğinin azlığı kapatılan hacmi minimum kılarak, ısıtma giderlerinde ekstra ekonomi sağlamaktadır
- Doğal Uzay sistem üzerine her türlü çatı kaplaması uygulanabilir ve içi mekanda asma tavan rahatlıkla düzenlenebilir . Isı değişimi yönünden , diğer sistemlere göre daha flexible bir yapıya sahiptir .
- Korozyona karşı yüksek dayanıklılık

Uzay kafes sistemin dikkate değer dezavantajlarının başında, maliyet etkeni gelmektedir. Özellikle, kısa açıklıkları geçmek için kullanıldığında bu sistemlerin maliyeti, diğer sistemlere göre daha yüksek olabilmektedir. Eğer, uzay kafes sistem, uygulanacak proje için ekonomik olarak uygulanabilir seçenekler sunabiliyorsa, bu yüksek maliyet avantajlarının yanında tekrar düşünülebilir.

Düzenli geometriye sahip uzay kafes sistemler, bir taraftan hafif ve estetik görünümüne rağmen, bazı durumlarda aşırı yoğun, hoş görünmeyen bir doku olabilmektedir. Ayrıca kısa sürede kurulumu bir avantaj sayılmasının yanında, bu süre, çözülmesi güç tasarımlarda çok uzun sürebilmektedir. Bunu önlemek için tasarımlarda, düğüm noktası sayısı en azda tutmaya çalışılmaktadır.

Uzay kafes sistemlerin üst örtü taşıyıcı sistemi olarak kullanımının yanında, duvar ve döşeme taşıyıcısı olarak da kullanılmaktadır. Bu amaçla kullanımında, yangın

şartnamesi gereklerinin uygulanması gerekir. Bu koruma işlemlerinin, bütün eleman ve yüzeylere uygulaması çoğu zaman bir külfet olarak görülmektedir.

3.6. Yapım Sistemlerindeki Problemler

Uzay kafes sistemlerde düğüm noktası elemanları çelik veya alüminyum malzemelerden kontrollü bir şekilde üretilir. Çünkü, çubuk uzunlukları, birleşim açıları, uç ve bağlantı elemanlarının bir araya gelmesi, sistemin en önemli noktaları olan bu kısımların kusursuz bir üretimini olmasını gerektirmektedir. Bu nedenle, uzay kafes sistem tasarımında ki başlıca problem, birleşim noktalarındaki yığılmalar sonucunda oluşabilecek hatalardır.

Üretim, nakliye, depolama ve montaj sırasında oluşabilecek bu hatalardan kaçınmak için bileşen boyutlarının ve açıların doğru olarak malzeme üzerine aktarılması gerekir. Üretim ve kurulum aşamalarında bileşenler de oluşabilecek olası hatalar belirlenerek, izin verilen hata değerleri yani toleranslara sahip elemanların üretilmesiyle sistemler gerçekleştirilmektedir. Tablo 3.6'de hatalara neden olabilecek etkenler ve hata değerleri verilmektedir.

Tablo 3.6. Yapım sistemleri hata değerleri (Abel, Leonard & Penalba, 1994, s.354)

Faktörler	Açı hataları	Buyut hataları	Şekiller
Düğüm noktaları	(radyan)	(mm)	
Konumu (1)	0,9	20	1-
Doğrultusu (2)	1,0	0	2-
Çubukların uzunluğu	0	3	
Çubuk sonları (3)	1,1	0	
Çubuk çapı	0	2x2	
Bağlantı delikleri			
Konumu (4)	0,8	0	3-
Doğrultusu (5)	0,8	0	
Bulon çapları	0,3	0	
Çubuklarda sapma	1,0	0	4-
Yüzey eğimi	3,2	0	
Isı deformasyonları			
Kurulum öncesi	1,1	2x6	5-
kurulum sonrası	1,9	3	

3.7. Uzak Kafes Sistemlerin Montaj ve Kurumu

Uzak kafes sistem elemanları taşıma esnasında dağılmayacak, çizilme ve zedelenmelere maruz kalmayacak şekilde ambalajlama standartlarına uygun olarak tek tek paketlenerek, tahta sandıklarda montaj sahasına nakledilirler. Bu şekilde montaj sırasında geniş stok alanı gerektirmeyen, yükleme ve boşaltmada kolaylık sağlayan, hava şartlarından etkilenmeyen güvenli bir taşıma sağlanır.

Bütün uzak kafes sistem elemanları zorlanmadan ve serbest eksenel durumda civataları sonuna kadar sıkılarak yerlerine takılırlar. Montaj sırasında, sistemin geçici mesnetlenmesi, sisteme gerekli ters sehmin verilmesi ve yapının genel güvenliği sağlanarak hiçbir civata gevşek olmayacak ve bütün uzak kafes sistem elemanları tam aksında olacak şekilde montaj tamamlanır. Galvanizleme delikleri varsa bunlar su biriktirmeyecek şekilde aşağıya bakacak durumda bırakılırlar. Sahada kaynak yapılmasından kaçınılmakla birlikte, özellikle mesnetlemeler ya da aşık sisteminde yapılması gerekli olan kaynaklar uygun şekilde paslanmaya karşı korunur.

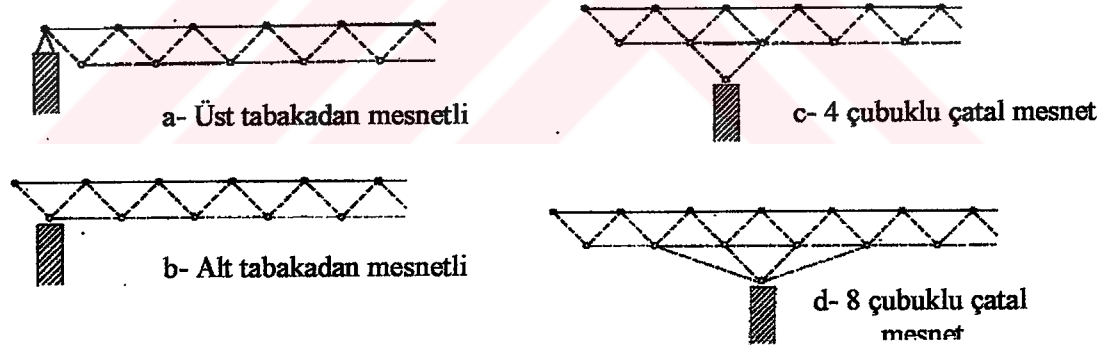
Uzak kafes sistemin kurulumunda kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemlerin kullanımı, ızgara boyutlarına, şantiye alanına ve eleman boyutlarına bağlıdır. En çok kullanılan montaj yöntemleri:

- Sistemin yerde kurulup daha sonra vinçler yardımıyla kaldırılması, bu yöntem, yapı çevresi, tüm sistemin zeminde kurulumuna izin verebilecek ve vinç hareketlerini sınırlandırmayacak yeterli alana sahipse uygulanabilir.
- İstenilen yükseklikte doğrudan tekli ya da üçlü elemanların montajı
- Sistemin montaj seviyesinde kurulup raylar üzerinde kaydırılarak sabitlenmesi,
- Sistemin zeminde kurularak hidrolik kaldırıcılarla kaldırılması, bu yöntem, sistemin kurulumu için yeterli alana sahipken vinç kullanımı için yeterli alan olmadığı zamanlarda kullanılabilir. Sistemin düşey taşıyıcılar üzerine yerleştirecek, yeterli kapasitede ve uygulama sırasında hepsinin aynı oranda yükseleceği çok sayıda hidrolik kaldırıcı kullanılır (Zorer, 1995).

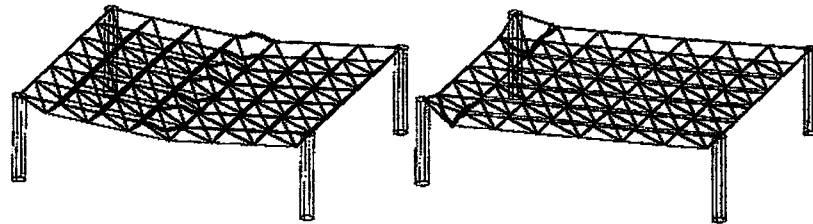
3.7.1. Düzlem Yüzeyli Uzak Kafes Sistem – Düşey Taşıyıcı İlişkisi

Düzlem yüzeyli uzak kafesleri düşey taşıyıcılarla olan bağlantıları dört şekilde olabilmektedir. Şekil 3.44-a’da gösterildiği gibi, sistem üst tabakasının kenar düğüm noktaları, ızgara köşelerinde veya kenar boyunca düğüm noktalarının altına gelecek şekilde, kolonlara mesnetlendirilir. *Köşe taşıyıcılara sahip uzak kafes sistem üst tabakalarının aşırı yüklenmesi, elemanlarda eğilmeye neden olabilir. Ve sırayla çubuk, düğüm noktalarında bozulmalarla sistemin çökmesine neden olabilir. Kolon çevresinde basınçtan dolayı oluşan aşırı kesme kuvvetleri diyagonallerde eğilmeye neden olabilir* (Chilton,2000,s.52) (Şekil 3.45).

Sistemin alt tabaka kenar düğüm noktalarının kolon üzerine oturduğu Şekil 3.44-b’de ki uygulamada ayrıca, üst tabaka daha önde olacak şekilde çatı sınırı boyunca saçak oluşturulmaktadır. Şekil 3.44-c ve d ise sırayla 4’lü ve 8’li çubuklarla oluşturulan çatal birleşimlerdir. Daha geniş saçaklar oluşturularak, örtülü alan artarak çatı sehimini azaltılabilir.

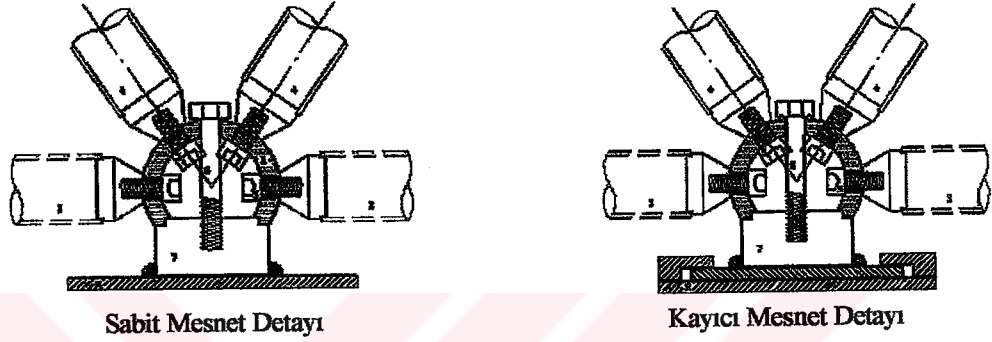


Şekil 3.44. Düzlem yüzeyli kafes sistem-düşey taşıyıcı ilişkisi (Schmitt,1977,s.510)



Şekil 3.45. Köşe mesnetli sistemlerde basınç elemanı eğilmeleri (Chilton,2000,s.52)

Uzay kafes sistemlerde, yatay yükler ve bileşenlerdeki ısı değişimlerinden dolayı oluşan gözle görülemeyen hareketler, sabit ve kayıcı mesnetlerin uygun bir konumda düzenlenmeleri ile karşılanabilir. Kayıcı mesnetlerdeki rehber plakaları, hareketi tek doğrultuda sınırlamaktadır. Metal taşıyıcı sistemlerdeki hareketlerin ana kaynağı, ısı değişimleridir. Açıklığın artması ile bu hareketin etkisi daha belirgin olmaktadır. Uzama ve kısalmaların etkisi, taşıyıcıların konum ve yönüne bağlı olarak değişmektedir.



Şekil 3.46. Uzay kafes sistem mesnet detayları ([http:// www.uzaysistem.com](http://www.uzaysistem.com))

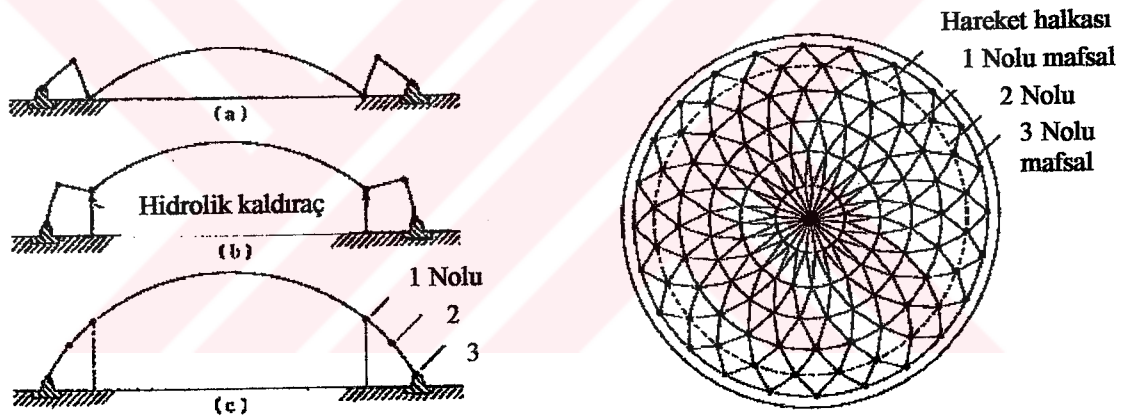
3.7.2. Pantadome Sistemi – Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Kurulumu

Geniş açıklıklı yapılarda yaygın olarak kullanılan uzay kafes sistemler için kurulum, yapı maliyetini etkileyen en önemli etkenlerden biridir. Eğer çatı, en az çalışma ile olabildiğince zemine yakın ve vinç maliyetini azaltarak kullanılabilirse, zamanda ve maliyette gözle görülür azalmalar olabilir. Düzlem yüzeyli uzay kafesler, zeminden birkaç metre yukarıda, bütün tesisat donatıları ile birlikte kurularak kolayca yerine yerleştirilebilir. Fakat, bu işlemleri çift eğrilikli sistemlerde yapmak kolay olmayabilir (Abel,Leonard &Penalba,1994,s.362).

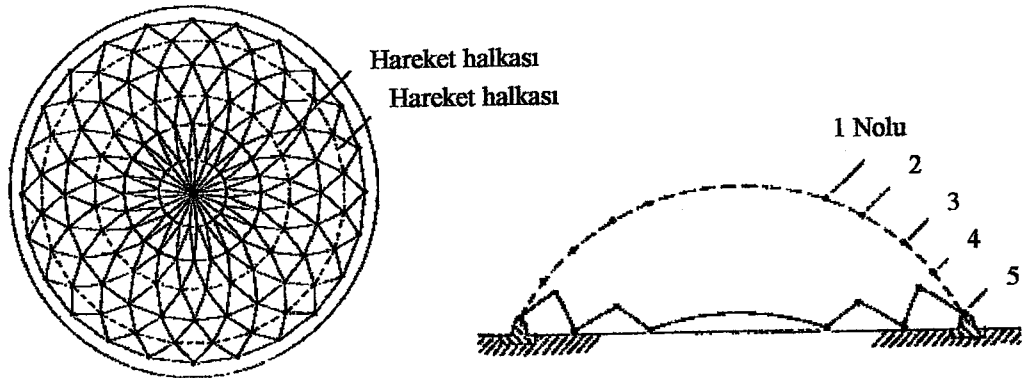
Uzay kafes sistem kurulumundaki son çalışma, Japon Mamuro Kawaguchi tarafından geliştirilen “Pantadome Sistemi”dir. Bu sistemin çalışma prensibi, tek bir yüzey üzerinde dört veya daha fazla mafsallı bağlantılara sahip bir mekanizmaya dayanır. Kawaguchi, mafsallı bağlantıların sağladığı esnekliği, eğri yüzeyli çatı geometrilerinin kurulumunda kullanmıştır.

Uzay kafes sistem çatı taşıyıcısına sahip yapılarda, birbirlerinin hareketine izin verecek uygun noktaların seçimiyle, tüm çatı yüzeyini zemine yakın olarak katlamak mümkün olabilir. Katlanmış bu bölümlerin, yerine yerleştirilmesi sırasında yatayda hareketini önlemek için kablo yada diyagonaller kullanılmadan, sadece düşey hareketle kurulum sağlanır. Uygulama sırasında çalışma alanının çok az bir yüksekliğe sahip olmasının yanında, diğer yöntemlere göre daha hızlı, ekonomik ve güvenlidir. Bu yöntem ile sadece taşıyıcı sistem değil, çatı ve tavan kaplamaları, tüm tesisat donatıları da yerleştirilebilir (Kawaguchi,1997).

Pantadome sistemin, Şekil 3.47-48'de sırayla üç ve beş mafsallı kubbeler için uygulamaları gösterilmektedir. Kubbeler, hidrolik kaldırıcılar ile yerine kaldırıldıktan sonra stabilizeyi sağlamak için, Şekil 3.47'de 2 nolu mafsal halkası, Şekil 3.48'de de 2 ve 4 nolu mafsal halkalarına ilave çubukların monte edilmesi gerekir.



Şekil 3.47. 3 mafsallı Pantadome uygulaması (Abel,Leonard & Penalba,1994,s.363)



Şekil 3.48. 5 mafsallı Pantadome uygulaması (Abel,Leonard & Penalba,1994,s.364)

BÖLÜM DÖRT

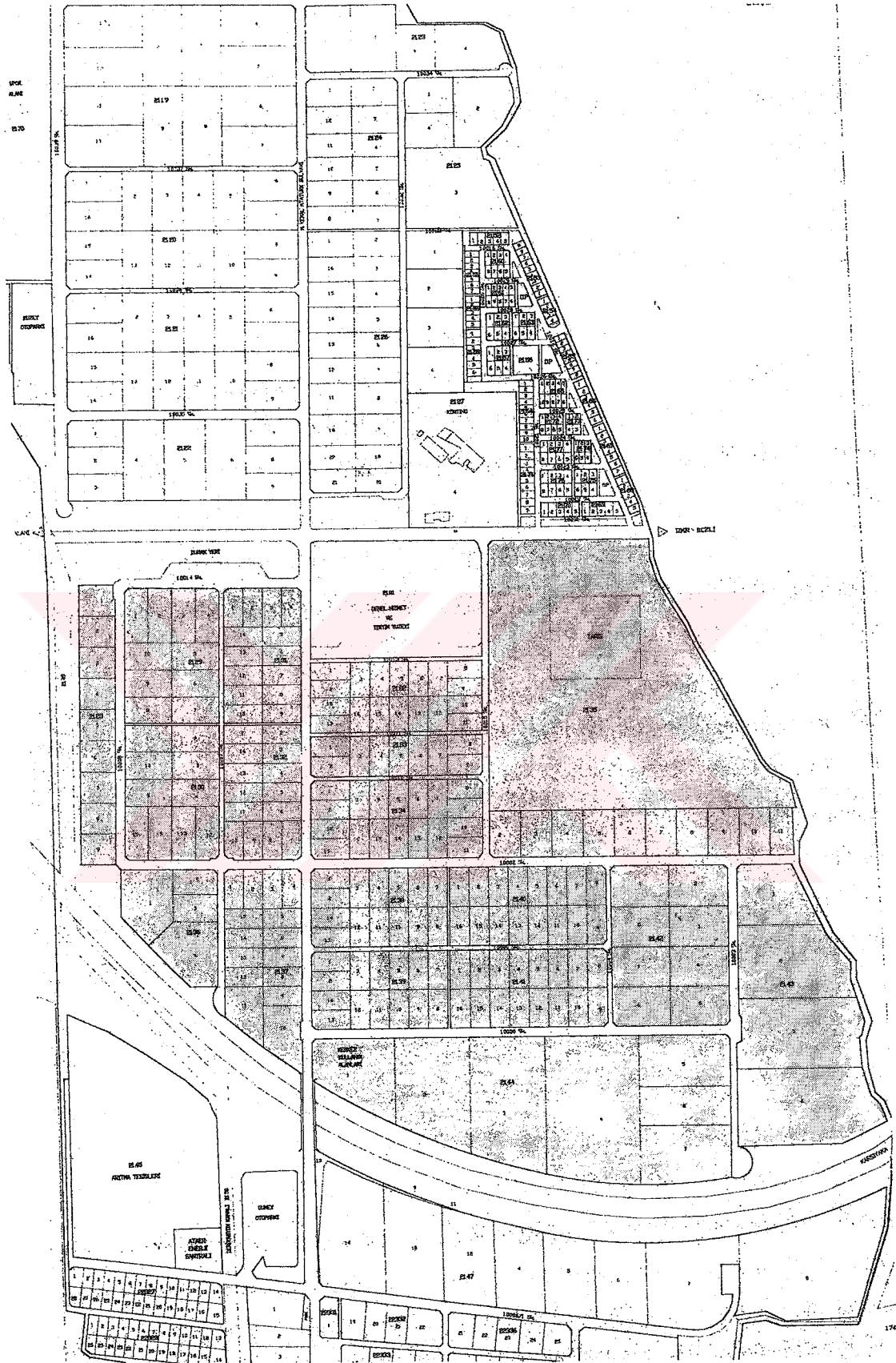
İZMİR ATATÜRK ORGANİZE SANAYİ BÖLGESİ TAŞIYICI SİSTEM ANALİZİ

Bu bölümde, ülkemizde de yaygın olarak kullanılan, çubuk elemanlarla oluşturulmuş düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin gelişiminin yanında Türkiye'deki uygulamalarının geniş açıklıklı taşıyıcı sistem gerektiren yapı tiplerinden olan fabrika ve depoların çok sayıda bir arada bulunduğu, İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) seçilerek taşıyıcı sistem analiz çalışmasının yapılması amaçlanmıştır.

Öncelikle, bölgenin konumu, özellikleri tanıtılmakta ve örneklerdeki taşıyıcı sistem verilerinin nerelerden elde edildiği üzerinde kısaca bahsedilmiştir. Daha sonra sırayla, incelenen örneklerde kullanılan taşıyıcı sistemler ve malzemeleri; düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem tipleri, bileşenleri, yüzey alanı-açıklık ilişkisi, aşık ve rüzgar bağlantılarıyla özellikleri belirtilmektedir.

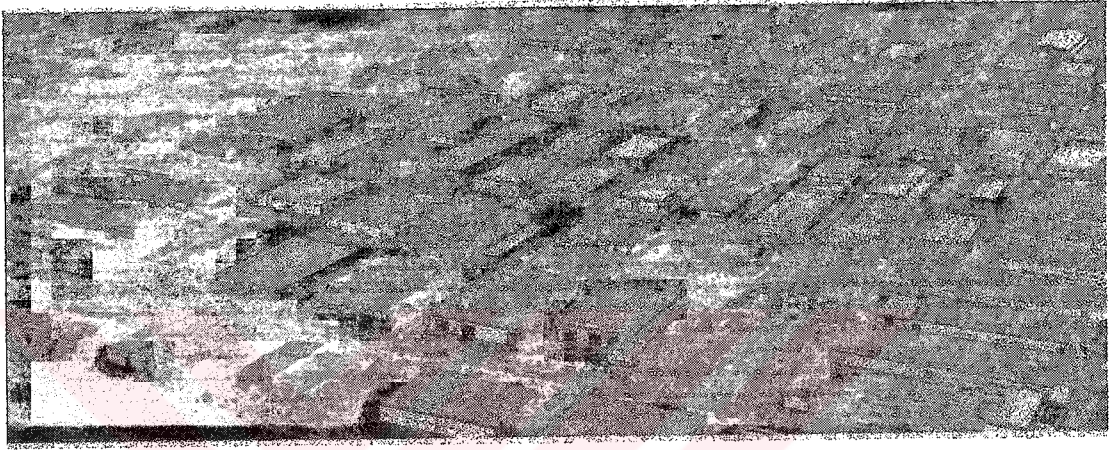
4.1. İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi (İAOSB) ve Taşıyıcı Sistem Analizi

Atatürk Organize Sanayi Bölgesi, İzmir il merkezinin kuzeybatısında, Çiğli Havaalanı eski yolunun kuzey ve güneyinde 6.314.000 m²'lik bir alan üzerine kurulmuştur. (Resim 4.1) Yaklaşık 3.5 km boyunda, 2 km eninde bir araziye kaplamaktadır. Bölgede, büyüklükleri 5.000 ile 90.000 m² arasında değişen 318 büyük ve yine büyüklükleri 350 ile 850 m² arasında değişen 117 küçük parsel olmak üzere toplam 495 parsel mevcuttur (İAOSB Broşürü, 2002) .(Şekil 4.1)



Şekil 4.1. İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi vaziyet planı (İAOSB arşivi)

Taşıyıcı sistem analizinin yapılacağı bölge olarak İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nin seçilmesiyle gerekli olan taşıyıcı sistem bilgileri, A.O.S.B. arşivi ve Çiğli Belediyesi imar arşivi bölümlerinden elde edilmiştir. Şekil 4.1'de İ.A.O.S.B. vaziyet planında gösterildiği üzere 400 yapıya sahip bölgenin Havaalanı-Çiğli yolu ile Karşıyaka yolu arasında kalan ve tüm yapıların %30'unu oluşturan 16 ada üzerindeki 135 yapının taşıyıcı sistem bilgileri, Ek 1'deki bilgi formu örneğine göre toplanarak, hazırlanan tablo ve grafiklerle analiz çalışması tamamlanmaktadır.

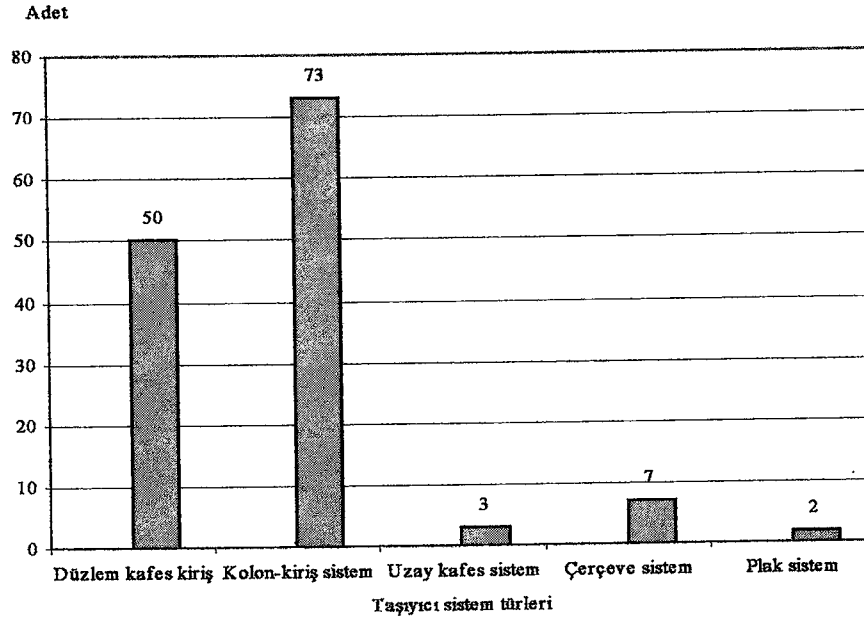


Resim 4.1. İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi, Çiğli (Oral,1999, s.28)

Yaklaşık olarak 450 yapıya sahip Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde yapılan bu çalışmada taşıyıcı sistemleri incelenen 135 yapı mevcudun %30'unu oluşturmaktadır. Tez kapsamı içinde çubuk elemanlarla oluşturulan düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin diğer sistemlerle birlikte sınıflandırmalar çerçevesinde incelenmiştir. Grafik 4.1'de bölgede incelenen yapıların taşıyıcı sistemlerin değerleri verilmiştir.

Grafik 4.1'e göre bölgede uygulanan taşıyıcı sistemler içinde kolon-kiriş sistemler 73 yapı ile %55'lik bir oranla en çok uygulanan taşıyıcı sistemlerdir. Doğru eksenli çubukların birbirlerine uçlarından birleştirilmesiyle oluşan düzlem kafesler 50 örnek ile uygulamaların %37'ni oluşturmaktadır. Sırasıyla çerçeve sistemler 7 örnekle %5, uzay kafes sistemler 3 örnek ile %2 ve 2 örnekle de plak sistemler %1'lik bir oran ile çalışmada yer almaktadır.

Grafik 4.1. Bölgedeki çalışma sonucu taşıyıcı sistem türleri



İncelenen 135 örnekte en az 10m ile en çok 26.50m arasında açıklıkların geçildiği görülmekte ve bu açıklıklara uygun malzeme, imalat, nakliye gibi taşıyıcı sistem seçiminde etkili olan ekonomik etkenler doğrultusunda diğer sistemlere göre düzlem kafes ve kolon-kiriş sistemler daha çok sayıda uygulanmıştır. Tüm taşıyıcı sistemler içinde çerçeve ve kolon-kiriş sistemler betonarme ve çelik olarak uygulanmışlardır. Betonarme iskelet sistemler, prefabrike kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Plak sistemler ise “TT” kesitli plakların kolon ve kirişlere oturtulmasıyla düzenlenmiştir.

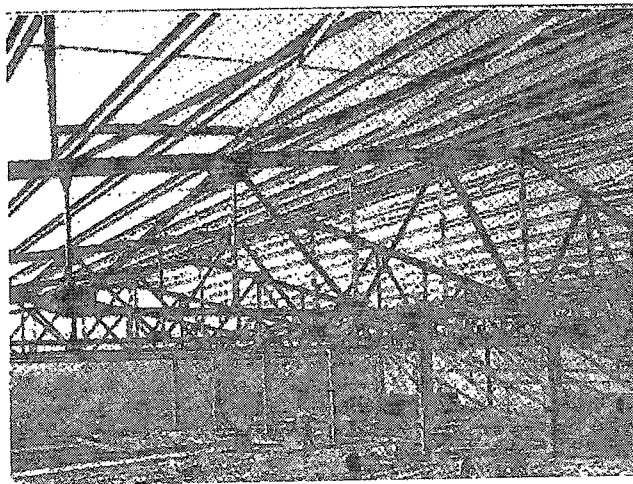
4.2 Düzlem Kafes Kiriş Örnekleri ve Özellikleri

Yapılan çalışmada incelenen düzlem kafes kirişlerin tümü çelik bileşenlere sahiptir. Çelik düzlem kafesler, geniş açıklıkları geçmede strüktürel etkinliği fazla olan hafif taşıyıcı sistemlerdir. Kısa sürede üretim, kurulum ve farklı ekonomik çözümler gibi avantajlara sahip düzlem kafes örneklerde kullanılan elemanlar 40x40, 50x50 ve 60x60’lık korniyerlerden oluşmaktadır. Örneklerin birinin alt başlıklarında 60’lık, ara elemanlarında 70’lik ve üst başlıklarında da 80’lik kare profillerin kullanılmasının dışında diğer kafes kiriş uygulamalarında birbirlerine çelik plakalarla kaynaklı çift korniyerli bileşenler kullanılmıştır.

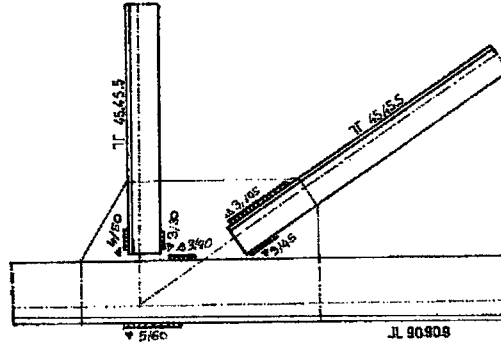
Düzlem kafes kirişlerde, artan yük etkisi nedeniyle düğüm noktası arasında kalan üst başlık çubuğunun her birinin kesitinin, mesnetlere doğru artması gerekmektedir. Bu kesit artışı, üst başlık elemanının mesnetlere doğru gittikçe artan farklı kesitlerdeki çelik profillerden oluşması gerekmektedir. Bu uygulama, sistemdeki malzeme kullanımını, en etkin biçimde düzenlenmesini sağlarken, çoğu zaman, farklı kesitteki profillerin kesilerek kaynaklanmasıyla imalat ve işçilik maliyetinin arttırdığından ekonomik olmamaktadır.

Taşıyıcı sistem maliyetinin önemli olduğu incelenen sanayi yapılarındaki üst ve alt başlık için taşıyıcılık özelliğini güvenli bir şekilde sağlayabilecek en büyük gerilmeye göre belirlenen kesitte tek bir profil kullanılmıştır. Bu uygulamada, imalat ve işçilik maliyetini azalttığı için ekonomik olurken, daha az kesitli profillerin kullanılması gereken yerlerde başlığın sürekli olmasından dolayı daha büyük kesitte profil kullanılmasıyla etkin malzeme kullanımı gerçekleştirilememektedir.

Çelik düzlem kafes kirişlerde genel olarak birleşimler, bulonlu ve kaynaklı olarak ikiye ayrılabilir. Kaynaklı birleşimlerde amaç eleman boyutlarını en aza indirerek, ağırlığı azaltmaktır. İncelenen düzlem kafes kirişlerde çoğunlukla sistemin tüm çubukları, üretim kolaylığı bakımından çelik korniyerlerden oluşturulmuş ve birbirine sırt sırta dayandırılarak çelik plakalara kaynaklanmıştır. (Şekil 4.2)



Resim 4.2. Düzlem kafes kiriş sistem kurulumu, İAOSB (Oral, 1999, s.11)



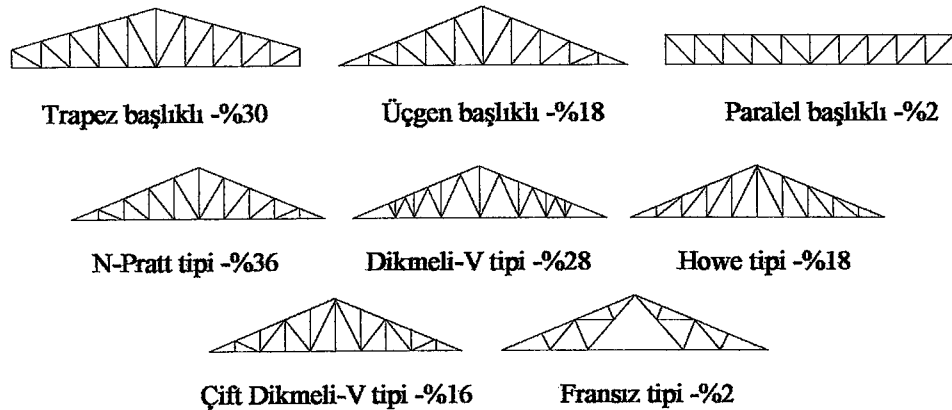
Şekil 4.2. Çift korniyerli kafes kiriş düğüm noktası detayı

4.2.1 İncelenen Örneklerdeki Kafes Kiriş Tipleri

Çubuk elemanların uçlarından birbirine bağlanmasıyla çok farklı biçimde düzenlenebilen düzlem kafes kiriş için yapılan çalışma sonucunda başlık şekillerine göre sadece trapez, üçgen ve paralel başlıklı düzlem kafes kirişler ve bu üç başlık tipi içinde de N-Pratt, dikmeli-V, Howe, çift dikmeli-V ve Fransız tipi dikme ve diyagonal düzenlemeleri uygulanmıştır. Grafik 4.2’de başlık ve ara çubuk düzenlemelerine göre uygulanan kafes kiriş örneklerinin değerleri gösterilirken aşağıda düzlem kafes kiriş tiplerinin kendi içindeki yüzdeleri verilmektedir.

Başlık tiplerine göre;

- Trapez başlıklı – 30 uygulamayla %60’lık,
- Üçgen başlıklı – 18 uygulamayla %36’lık,
- Paralel başlıklı – 2 uygulamayla %4’lük orana sahiptir.

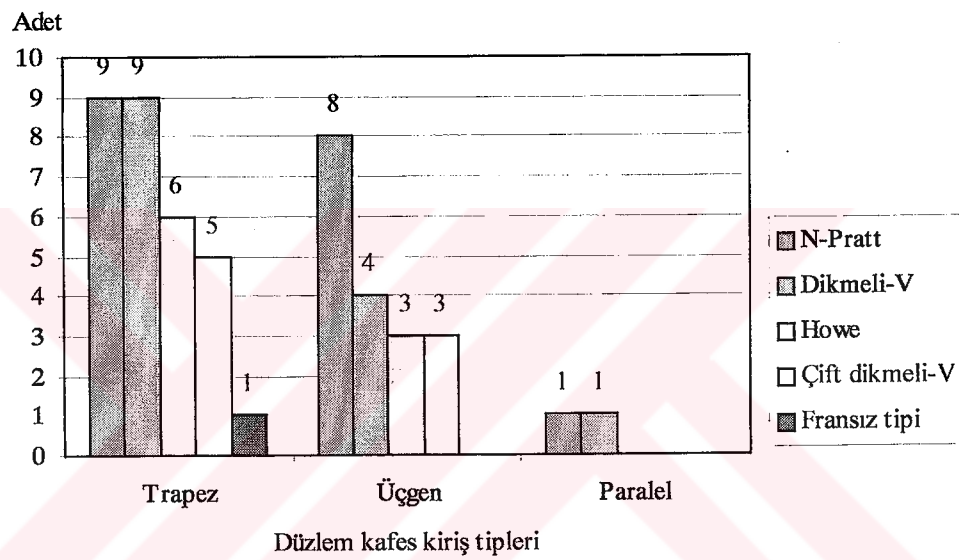


Şekil 4.3. İncelenen örneklerdeki düzlem kafes kiriş tipleri

Ara çubuk düzenlemelerine göre;

- N-Pratt tipi – toplam 18 uygulamayla %36’lık,
- Dikmeli-V tipi – toplam 14 uygulamayla %28’lik
- Howe tipi – toplam 9 uygulamayla %18’lik
- Çift dikmeli-V tipi – toplam 8 uygulamayla %16’lık
- Fransız tipi – toplam 1 uygulamayla %2’lik orana sahiptir.

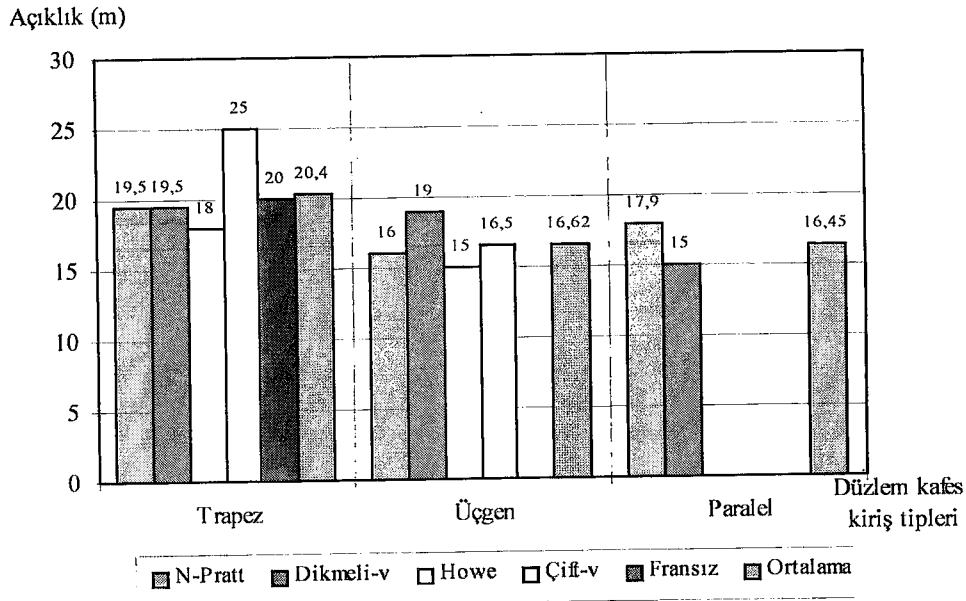
Grafik 4.2. Düzlem kafes kiriş sınıflandırmaları ve değerleri



Tablo 4.1. ve Grafik 4.2’deki veriler doğrultusunda, çalışma kapsamındaki örnekleri içinde başlık tipine göre yaygın olarak uygulanan düzlem kafes kiriş, trapez kafes kirişlerdir. Bunu sırayla, üçgen ve paralel başlıklı kafes kirişler izlemektedir.

Tüm düzenlemeler içinde N-Pratt tipi ara çubuk düzenlemeleri, her üç başlık tipinde de en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Yine tüm başlık tipleri arasında da ortak olan N-Pratt sistemiyle birlikte dikmeli-V sistemi de uygulanmıştır. Hem ortak hemde en çok uygulanan N-Pratt sistemiyle birlikte diğer düzenlemelerin bütün içindeki değerleri Grafik 4.3’de verilmiştir.

Grafik 4.3.Çubuk düzenlemelerinin başlık tiplerine göre geçtiği en çok açıklıklar

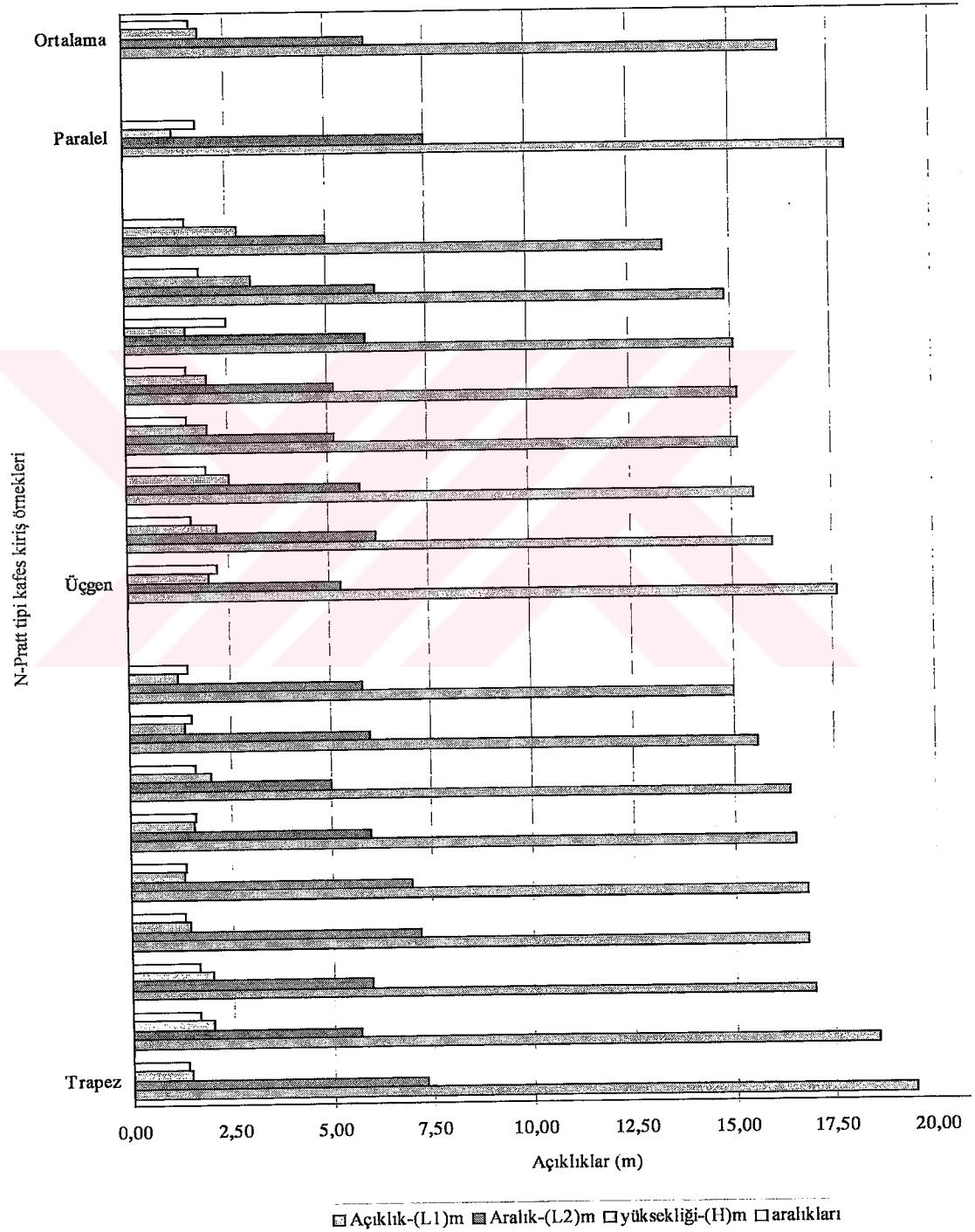


Grafik 4.3’de gösterildiği gibi çift dikmeli-V tipi düzlem kafes kirişler daha geniş açıklıklar geçmektedir. Yaklaşık olarak 20m açıklığa kadar N-Pratt ve dikmeli-V sistemleri yaygın olarak uygulanmışken, 20m’nin üzerindeki açıklıklarda da Fransız tipi ve çift dikmeli-V tipi gibi farklı ara çubuk düzenlemelerine sahip düzlem kafes kirişlerde çözümler aranmıştır. Ara çubuk düzenlemeleriyle birlikte, konstrüksiyon yüksekliği ve eleman kesitlerinde de artmalar gerçekleşmiştir. Örneklerdeki her üç başlık tipi için geçilen ortalama açıklıklar trapez başlıklı için 20.40m, üçgen başlıklı için 16.62m, paralel başlıklı için 16.45m değerindedir.

İAOSB örneklerinin taşıyıcı sistemlerinde düzlem kafes kirişin alt başlıklarında 6cm ile 8cm arasında değişen ters sehim değerleriyle karşılaşılmaktadır. Geçilen açıklığın ve etkiyen yüklerin artmasıyla birlikte kirişlerde sarkma olmakta ve bu sarkma etkisini karşılayabilmek için imalat sırasında alt başlıklara, kiriş ortasından yaklaşık olarak açıklığın 1/200’ü kadar ters sehim verilmektedir. İncelediğimiz örneklerde çelik düzlem kafes kirişler için verilen ters sehim, açıklığın 1/209-1/213’ü arasında değişmektedir.

Her üç başlık tipinde ortak ve en fazla uygulanan N-Pratt sistemi için Grafik 4.4'te aks aralıklarını, konstrüksiyon yüksekliği ve dikme aralıkları arasındaki ilişkiler gösterilmektedir.

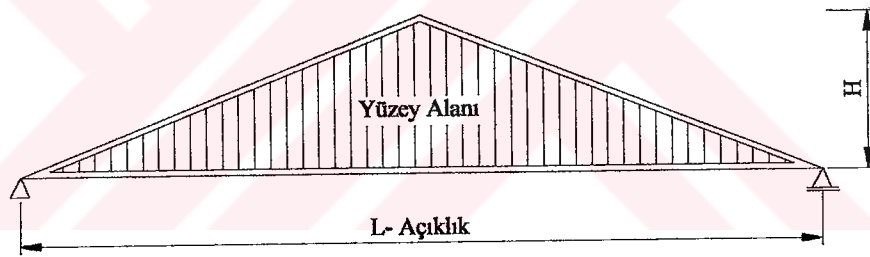
Grafik 4.4. Başlık tiplerine göre N-Pratt tipi için kolon aks aralıkları, konstrüksiyon Yüksekliği, dikme aralığı ilişkisi ve ortalama değerleri



N-Pratt tipi için Grafik 4.4 ve Tablo 4.1 ve 4.2 verileriyle, tüm düzlem kafes kiriş tipleri için dikme sayısı sabit kalmak koşulu ile geçilen açıklığın artırılmasıyla dikme aralıklarının da arttığı sonucunu çıkarılabilir. Dolayısıyla, aşıkların eksenel birleştiği, düğüm noktası ve aşık aralıkları artmaktadır. Bunların sonucu, aynı eğimde dikme aralıklarının artmasıyla basınç elemanlarının boyu artmakta ve burkulmaya karşı stabilite azalmaktadır. Bunu önlemek için basınç elemanı kesitlerinin artırılması, kutu veya daire kesitli çelik profil kullanılması daha uygun olacaktır.

4.2.2 Düzlem Kafes Kiriş Yüzey Alanı – Açıklık İlişkisi

Düzlem kafes kiriş yüzey alanı – açıklık ilişkisi için Tablo 4.1 ve 4.2’den benzer açıklıklardaki örneklerin ortalama yüzey alanları değerlendirmeye alınmıştır. (Şekil 4.4) Trapez kafes kirişler, 15m-17.50m arası açıklıklarda ortalama olarak 23m^2 yüzey alanına, 17.50m-19.50m arası açıklıklarda ortalama olarak 28m^2 yüzey alanına ve 20m-25m arası açıklıklarda da ortalama 35m^2 yüzey alanına sahiptir.



Şekil 4.4. Düzlem kafes kiriş yüzey alanı

Üçgen başlıklı kafes kirişler için açıklıklara göre ortalama yüzey alanları ise 13m-15.50m arası açıklıklarda 18m^2 , 15.50m-17.50m arası açıklıklarda 19m^2 , 17.50m-19m arası açıklıklarda da 21m^2 ’dir. Paralel başlıklı kafes kirişlerde de 15m-17m arası açıklıklarda ortalama olarak 21m^2 yüzey alanına sahiptirler

4.2.3 Düzlem Kafes Kiriş Örneklerde Aşıklar ve Rüzgar Bağlantıları

Düzlem kafes kirişlerde geniş açıklık geçme sorunu, iki kafes kiriş arasında daha küçük açıklıkların geçilmesine indirgenmiştir. Aşıkların, bu küçük açıklıkları

geçmesi ile çatının taşıyıcısı tamamlanmış olmaktadır. Taşıyıcı sistemde kuvvetler aksenal olarak iletildiğinden aşıkların düğüm noktası üzerine gelmesi gerekmektedir.

Düzlem kafes kiriş örneklerinde kullanılan aşık elemanları, Tablo 4.1 ve 4.2’de de verildiği üzere I-80-100-120-160-180, U-80-100-140 çelik profillerde ve makas aşıklardan oluşmuştur. Üst başlık üzerinde uygulanan aşıklar, taşıyıcı sistem aralığı kadar açıklık geçmektedir. 5m-6m arası açıklıklarda 1.40-1.70m aralıklarla I-U-80-100 kesitli profiller kullanılmıştır. Çatı kaplama malzemesine bağlı olarak değişebilen aşıklar, 6-7m açıklıklarda 2-2.5m aralıklarda da I-120-160-180 ile U-100-140 kesitli profiller uygulanmıştır. Aşıkların geçtiği açıklıkların çok geniş olduğu örneklerde düzlem kafes veya uzay kafes aşıklar kullanılmıştır. Ayrıca, rüzgar etkisini karşılamak için 40x40x4mm L-profiller kullanılmıştır.

Genel olarak, incelenen uygulamalarda yukarıda verilen açıklık aralıkları için belirli aşık türleri uygulanmış olsa da, bazı uygulamalarda farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Düzlem kafes kiriş için Tablo 4.1 ve 4.2’de belirtilen aşık birim alanlarına göre I-100 kesitli aşık en çok 10m²’lik en azda 6.3m²’lik alanlarda uygulanmıştır. Diğer bir uygulamada da 5.5m²’lik alan için I-120 tipi aşık kullanılmıştır.

Daha az alanlar için büyük kesitli profillerin kullanıldığı bu tür uygulamalarda kullanılan malzeme miktarı ve maliyeti artmaktadır. Büyük kesitlerin yerine daha küçük alanlarda aynı yükü güvenle taşıyabilecek daha küçük kesitte profillerin kullanılması hem malzemenin etkin kullanımı hem de taşıyıcı sistem ağırlığının ve maliyetinin azalması açısından daha uygun bir kullanım olmaktadır.

4.2.4 Düzlem Kafes Kiriş Örneklerde Düşey Taşıyıcılar

İncelenen çelik düzlem kafes kirişlerdeki düşey taşıyıcılar prefabrik veya yerinde dökme betonarme ve çelik kolonlardan oluşmaktadır. Genellikle, 6-9m kolon yüksekliğine sahip taşıyıcı sistemlerde çelik kolonlar I-220 veya U-200-240 kesitli

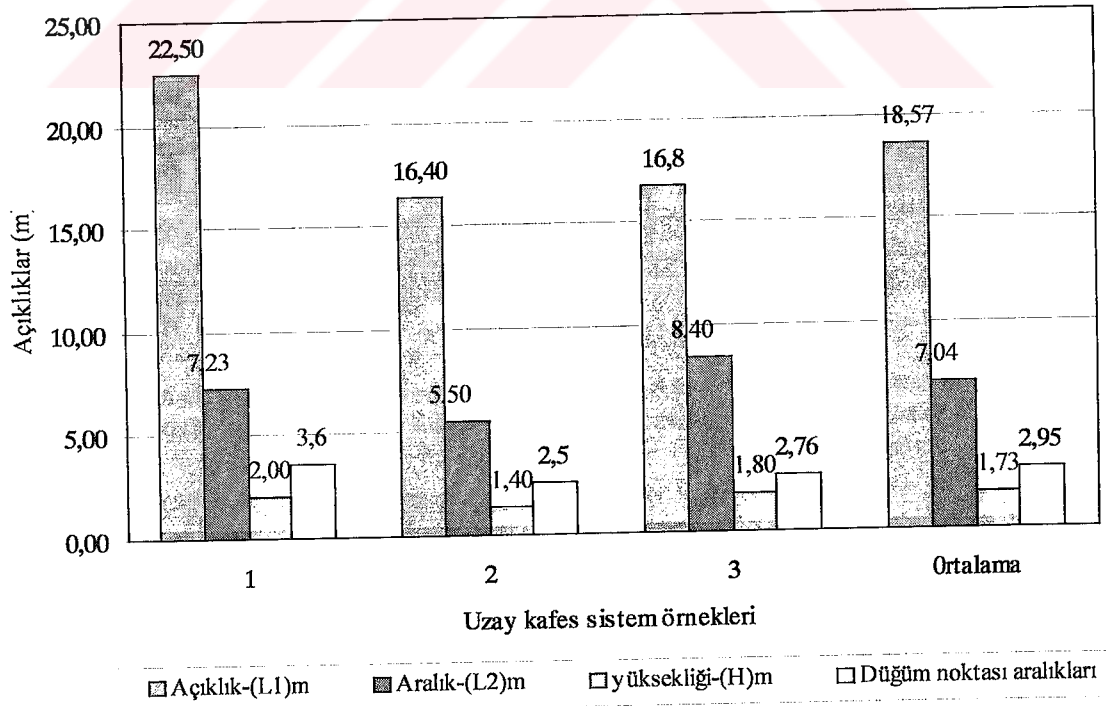
profillerin bağlantı plakalarıyla birleştirilmesiyle oluşturulmuş dikdörtgen kesitli yapıya, betonarme prefabrik kolonlarda 40x40cm veya 40x50cm kesitlere sahiptir.

Düzlem kafes kirişlerde sabit ve hareketli olmak üzere iki tür mesnet kullanılmıştır. Taşıyıcı sistemin rijitliğini koruyan hareketli mesnetler, genellikle kolon üzerindeki çelik plakalar arasına yerleştirilen kafes kiriş alt başlığının yatayda hareketine izin verecek şekilde tasarlanmıştır.

4.3 Uzay Kafes Sistem Örnekleri ve Özellikleri

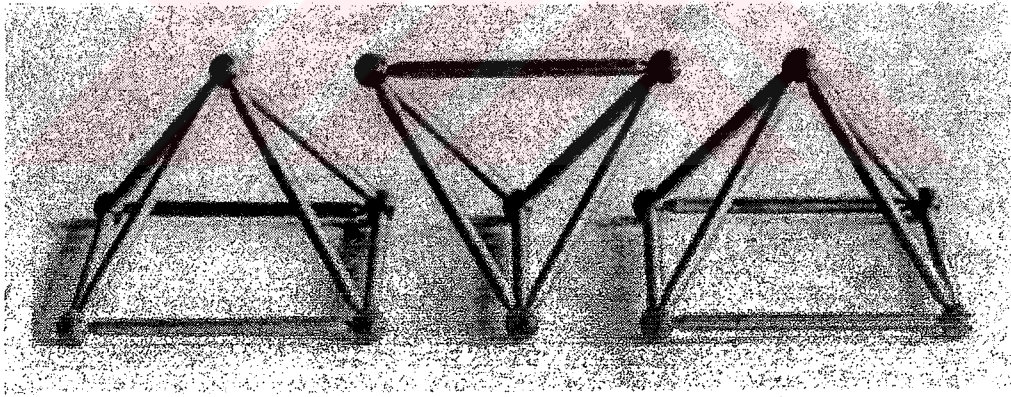
İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi'nde yapılan taşıyıcı sistem analiz çalışmasında uzay kafes sistem, üç örnekle yer almaktadır. Tablo 4.5'de verilen veriler doğrultusunda yatay ve eğik olarak uygulanan uzay kafes sistem uygulamaları için Grafik 4.5'de açıklık, konstrüksiyon yüksekliği ve düğüm noktası aralıkları verilmiştir.

Grafik 4.5. Uzay kafes örneklerin açıklık, konstrüksiyon yüksekliği ve düğüm noktası aralıkları



Her üç uzay kafes sistem örneği de alt ve üst tabakaları aynı boyutlarda dik kare ızgaralara sahiptir. Ara çubuklarla birlikte bir dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüllerin kenarlara paralel olarak sıralanmasıyla oluşturulmuştur. (Resim 4.3) Yatay olarak düzenlenen uzay kafes örnekler $90m^2$ ve $163m^2$ 'lik alanlar örterken, eğik yüzeyli uzay kafes sistem $141m^2$ alan örtmektedir. Bu sistemlerde artan aks aralıkları ile örtülen alanlarda artmış ve sistemin her iki yöne eğik olarak tasarlanmasıyla taşıyıcılığı arttırılmış, yatay uygulamalara göre de konstrüksiyon yüksekliği azaltılmıştır. Yüksekliğin azalması ile birlikte alt ve üst başlıklardaki düğüm noktası aralıkları da küçülmüş, %6 eğim uygulanmıştır.

İncelenen uzay kafes sistem örneklerindeki çelik çubuk uzunlukları 180-360cm arasında değişmektedir. Mero yapım sistemiyle kullanılan çelik borular ve küreler aksel olarak birleştirilmişlerdir. Bu yapım sisteminin sökülüp tekrar kullanılabilme özelliğiyle bileşenlerin yeniden kullanılma olasılığı da düşünülmelidir. Standart boyutlarda borular ile sistemdeki çubuk maliyetini en düşük sınıra çekmek daha uygun bir çözüm olmaktadır.



Resim 4.3. Bir dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüller (Mengerlinghausen, 1975, s.52)

Çubukların işçiler tarafından kaldırılarak yerinde montajının yapılabilmesi için 3m'nin altındaki çubuklar tercih edilmelidir. Çubuk uzunluğuyla birlikte ağırlığı da artmakta ve vinç kullanımı gerekmektedir. Bu işlem montaj maliyetini arttırıcı etkenlerden biridir.

Bu bölümde, taşıyıcı sistem analizleri yapılan 135 örnek içinde, ne tür taşıyıcı sistemlerin uygulandığı ve bunların içinde çubuk elemanlarla oluşturulan düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin taşıyıcı sistem verileri değerlendirilmiştir. Düzlem kafes kirişlerde trapez, üçgen ve paralel başlıklarla birlikte en çok uygulanan N-Pratt sistemi olmak üzere dikmeli-V, çift dikmeli-V, Howe ve Fransız tipi çubuk düzenlemeleri uygulandığı görülmektedir. Uzay kafes sistemlerde ise bir dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüllerden oluşturulmuştur.

Her iki taşıyıcı sistemde de çelik malzeme kullanılarak düzlem kafes kirişler için ortalama 17.80m, uzay kafes sistem için de ortalama 18.60m açıklıklar geçilmektedir.



Tablo 4.1. Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde incelenen örneklerin taşıyıcı sistem verileri

Taşıyıcı Sistem Türü	Ada-Parsel No	Taşıyıcı Sistem Açıklıkları ve alanı		Konsrüksiyon	Aşık Açıklıkları ve birim alanı		Aşık Tipi	Çatı Eğimi (%)	Dikme aralıkları	Yüzey alanı (m ²)	Çatı hacmi (m ³)
		Açıklık-(L ₁)	Açıklık-(L ₂)	(L ₁ x L ₂) m ²	Açıklık-m	Alan					
DÜZLEM BAŞLIKLI DÜZLEM KAFES KİRİŞ	N- Pratt Sistem	2128/2	15,00	5,80	87	1,20	5,80	1,47	8,5	15	225
		2135/2	15,60	6,00	94	1,40	6,00	1,58	9,5	15,6	243
		2183/8	17,00	6,00	102	2,00	6,00	1,70	10,2	17	289
		2183/9	18,55	5,70	106	2,00	5,70	1,69	9,6	18,55	344
		2130/3	16,80	7,00	118	1,35	7,00	1,43	10,0	16,8	282
		2182/5	16,80	7,20	121	1,46	7,20	1,36	9,8	16,80	282
		2139/6	19,50	7,30	142	1,45	7,30	1,40	10,2	19,50	380
		2139/7	16,50	6,00	99	1,60	6,00	1,67	10,0	16,50	272
		2140/15	16,40	5,00	82	2,00	5,00	1,67	8,4	16,4	269
		2128/4	15,00	4,90	74	2,15	4,90	1,00	4,9	15,00	225
TRAPEZ BAŞLIKLI DÜZLEM KAFES KİRİŞ	Dikmeli-V Sistem	2130/12	19,50	6,00	117	1,80	6,00	1,25	7,5	19,50	380
		2130/15	18,00	5,25	95	1,00	5,25	1,30	6,8	18	324
		2136/2	14,80	6,00	89	1,35	6,00	1,28	7,7	14,8	219
		2139/8	16,65	5,00	83	2,20	5,00	1,17	5,9	16,65	277
		2138/10	16,80	5,60	94	2,00	5,60	1,38	7,7	16,8	282
		2138/12	16,65	5,40	90	2,20	5,40	1,17	6,3	16,65	277
		2138/13	16,50	5,00	83	1,55	5,00	1,37	6,9	16,50	272
		2138/14	11,10	5,50	61	1,20	5,50	1,50	8,3	11,1	123
		2128/3	13,50	4,00	54	1,50	4,00	1,10	4,4	13,5	182
		2128/6	14,90	5,00	75	1,49	5,00	1,48	7,4	14,90	222
ÇİFT-V sistemi	Howe Sistem	2131/9	16,80	7,00	118	1,90	7,00	1,65	11,6	16,8	282
		2134/5	16,70	6,00	100	1,22	6,00	1,67	10,0	16,70	279
		2136/3	18,00	5,00	90	1,80	5,00	1,30	6,5	18	324
		2139/2	17,00	5,80	99	2,00	5,80	1,72	10,0	17	289
		2129/1	22,00	5,70	125	2,50	5,70	2,75	15,7	22	484
		2134/6	17,85	5,60	100	1,30	5,60	1,32	7,4	17,85	319
		2135/1	25,00	5,00	125	2,40	5,00	1,10	5,5	25	625
		2140/10	17,00	5,05	86	2,38	5,05	1,44	7,3	17	289
		2144/7	23,50	15,0	353	2,00	15,0	1,68	25,2	23,50	552
	Fransız tipi	2128/5	20,00	5,33	107	2,60	5,33	1,43	7,6	20	400

Tablo 4.2. Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde incelenen örneklerin taşıyıcı sistem verileri

Taşıyıcı Sistem Türü	Ada-Parsel No	Taşıyıcı Sistem Açıklıkları ve alanı			Aşık Açıklığı-(H)	Aşık Açıklıkları ve birim alanı			Aşık Tipi	Çatı Eğimi (%)	Dikme aralıkları	Yüzey alanı (m ²)	Çatı hacmi (m ³)	
		Açıklık-(L ₁)m	Açıklık-(L ₂)m	(L ₁ ×L ₂) m ²		Açıklık-m	Alan							
DÜZLEM KAFES KIRIŞ	N- Pratt Sistem	2132/4	16,00	6,20	99	2,20	6,20	1,62	10,0	I-120	28	1,60	17,6	282
		2135/5	15,20	5,20	79	2,00	5,20	1,53	8,0	U-100	26	1,50	15,2	231
		2135/6	15,20	5,20	79	2,00	5,20	1,53	8,0	U-100	26	1,50	15,2	231
		2136/4	17,60	5,30	93	2,00	5,30	2,23	11,8	I-100	23	2,20	17,6	310
		2183/1	15,55	5,80	90	2,55	5,80	1,96	11,4	I-100	33	1,95	19,83	308
		2182/9	13,40	5,00	67	2,80	5,00	1,52	7,6	I-180	41	1,50	18,76	251
	ÜÇGEN BAŞLIKLİ D.K.K	2182/17	14,90	6,25	93	3,15	6,25	1,90	11,9	I-180	42	1,86	23,47	350
		2140/14	15,1	6,00	91	1,50	6,00	2,54	15,2	I-120	30	2,50	11,33	171
		2130/1	15,00	6,00	90	2,50	6,00	1,54	9,2		33	1,50	18,75	281
		2130/10	14,00	6,00	84	1,75	6,00	2,00	12,0	U-100	25	1,35	12,25	172
		2143/1	14,50	6,20	90	2,00	6,20	1,45	9,0	I-100	28	1,42	14,5	210
		2132/3	17,00	6,00	102	2,30	6,00	1,85	11,1	I-100	27	1,85	19,55	332
Dikmeli-V Sistem	2135/4	17,60	5,50	97	1,90	5,50	1,08	5,9	I-100	27	2,20	16,72	294	
	2142/5	19,00	6,20	118	2,25	6,20	1,15	7,1	I-100	20	2,30	21,4	406	
	2142/7	16,00	5,60	90	2,00	5,60	2,05	11,5	I-80	25	2,00	16	256	
	2132/14	16,50	5,20	86	1,70	5,20	1,38	7,2	U-80	20	2,76	14,03	231	
	2139/4	15,25	5,60	85	1,52	5,60	1,28	7,2	U-80	20	1,27	11,59	177	
	2144/3	10,00	5,00	50	1,70	5,00	2,55	12,8	I-80	34	2,50	8,5	85	
PARALEL BAŞLIKLİ D.K.K.	2130/9	17,90	7,50	134	1,20	7,50	1,80	13,5	I-160		1,80	21,48	384	
	2182/18	15,00	6,00	90	0,70	6,00	1,16	7,0	I-100		1,16	10,5	158	

Tablo 4.3. Atattürk Organize Sanayi Bölgesinde incelenen örneklerin taşıyıcı sistem verileri

Taşıyıcı Sistem Türü	Ada-Parsel No	Taşıyıcı Sistem Açıklıkları		Konstrüksiyon	H/L ₁ oranı	Aşık Açıklıkları		Aşık Tipi	Çatı Eğimi (%)	Dikme aralıkları	Birim alan (L ₁ x L ₂) m ²
		Açıklık-(L ₁)m	Aralık-(L ₂)m			Açıklık-m	Aralık-m				
KOLON-KIRIŞ SİSTEMİ	2128/7	19,50	9,90	1,66	0,09	9,90	1,92	T-Aşık	17	0,45	193
	2128/8	19,50	7,30	1,70	0,09	7,30	1,58	T-Aşık	17	0,55	142
	2128/11	20,00	7,45	1,80	0,09	7,45	1,27	T-Aşık	18	0,55	149
	2129/2	18,20	7,50	0,81	0,04	7,50	1,32	T-Aşık	9	0,45	137
	2129/3	13,85	6,00	1,32	0,10	6,00	1,16	T-Aşık	19	0,41	83
	2129/4	22,00	7,30	1,50	0,07	7,30	1,50	T-Aşık	14	0,63	161
	2129/5	16,30	7,00	2,00	0,12	7,00	1,35	T-Aşık	25	0,40	114
	2129/6	17,30	5,42	2,30	0,13	5,42	1,86	T-Aşık	27	0,41	94
	2129/8	15,80	7,80	1,44	0,09	7,80	1,30	T-Aşık	18	0,25	123
	2129/9	16,30	7,60	0,95	0,06	7,60	1,42	T-Aşık	12	0,40	124
	2129/10	16,85	7,50	1,30	0,08	7,50	1,70	T-Aşık	15	0,40	126
	2130/2	22,50	7,50	2,00	0,09	7,50	1,72	T-Aşık	18	0,61	169
	2130/4	12,50	7,00	0,60	0,05	7,00	1,62	T-Aşık	10	0,20	88
	2130/11	16,40	6,60	1,40	0,09	6,60	2,02	T-Aşık	17	0,38	108
	2130/12	17,00	6,00	1,40	0,08	7,60	2,02	T-Aşık	16	0,38	102
	2130/13	16,40	6,60	1,40	0,09	8,60	2,02	T-Aşık	17	0,38	108
	2130/14	14,52	8,00	0,60	0,04	8,00	1,40	T-Aşık	8	0,32	116
	2131/1	16,30	6,80	1,43	0,09	6,80	1,40	T-Aşık	18	0,38	111
	2131/2	14,50	8,00	1,32	0,09	8,00	1,75	T-Aşık	18	0,28	116
	2131/4	16,30	7,00	1,47	0,09	7,00	1,36	T-Aşık	18	0,45	114
	2131/5	17,00	6,00	1,43	0,08	6,00	1,70	T-Aşık	17	0,40	102
	2131/6	15,00	6,00	1,13	0,08	6,00	1,70	T-Aşık	15	0,21	90
	2131/7	15,40	6,00	1,40	0,09	6,00	1,92	T-Aşık	18	0,25	92
	2131/12	16,30	5,70	1,62	0,10	5,70	1,38	T-Aşık	20	0,41	93
	2131/13	16,35	7,60	1,25	0,08	7,60	2,00	T-Aşık	15	0,41	124
	2131/14	12,50	7,00	0,60	0,05	7,00	1,15	T-Aşık	10	0,20	88
	2132/1	16,43	7,00	1,31	0,08	7,00	2,02	T-Aşık	16	0,40	115
	2132/2	16,40	6,60	1,40	0,09	8,60	2,02	T-Aşık	17	0,38	108
	2132/4	17,00	6,50	1,32	0,08	6,50	1,80	T-Aşık	16	0,36	111
	2132/5	13,90	8,00	1,50	0,11	8,00	1,35	T-Aşık	22	0,41	111
	2132/8	17,30	6,80	1,70	0,10	6,80	1,80	T-Aşık	20	0,41	118

BETONARME
ÜÇGEN
BAŞLIKLİ

Tablo 4.4. Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde incelenen örneklerin taşıyıcı sistem verileri

Taşıyıcı Sistem Türü	Ada-Parsel No	Taşıyıcı Sistem Açıklıkları		Konstrüksiyon	H/L ₁ oranı	Aşık Açıklıkları		Aşık Tipi	Çatı Eğimi (%)	Dikme aralıkları	Birim alan (L ₁ ×L ₂) m ²
		Açıklık-(L ₁)m	Aralık-(L ₂)m			Açıklık-m	Aralık-m				
KOLON-KIRIŞ SİSTEMİ	2132/10	16,40	6,60	1,40	0,09	6,60	2,02	T-Aşık	17	0,38	108
	2134/2	16,35	7,60	1,25	0,08	7,60	2,00	T-Aşık	15	0,41	124
	2134/7	16,43	8,00	1,32	0,08	8,00	2,02	T-Aşık	16	0,45	131
	2134/9	16,75	6,80	1,48	0,09	7,00	1,36	gerber	18	0,45	114
	2134/10	16,43	7,00	1,31	0,08	7,00	2,02	T-Aşık	16	0,40	115
	2134/18	16,35	7,20	1,44	0,09	7,20	1,60	T-Aşık	18	0,33	118
	2136/1	16,30	7,00	1,31	0,08	7,00	1,40	T-Aşık	16	0,4	114
	2138/2	18,60	7,26	1,43	0,08	7,26	1,40	T-Aşık	15	0,38	135
	2138/8	16,43	8,00	1,31	0,08	8,00	2,02	T-Aşık	16	0,40	131
	2138/9	16,30	5,70	1,62	0,10	5,70	1,38	T-Aşık	20	0,41	93
	2138/11	16,30	7,00	2,00	0,12	7,00	1,35	T-Aşık	25	0,38	114
	2139/1	16,38	6,20	1,44	0,09	6,20	1,60	T-Aşık	18	0,41	102
	2139/3	16,30	7,00	1,47	0,09	7,00	1,36	T-Aşık	18	0,45	114
	2139/9	16,30	6,00	1,43	0,09	6,00	1,35	T-Aşık	18	0,43	98
	2139/10	16,30	6,00	1,43	0,09	6,00	1,35	T-Aşık	18	0,43	98
	2140/9	16,30	6,00	1,45	0,09	6,00	1,13	T-Aşık	18	0,45	98
	2140/11	16,30	7,00	1,45	0,09	7,00	1,62	gerber	18	0,43	114
	2140/12	16,30	7,00	1,45	0,09	7,00	1,62	gerber	18	0,43	114
	2140/13	16,43	7,33	1,71	0,10	7,33	2,02	T-Aşık	21	0,40	120
	2140/16	16,30	7,00	1,45	0,09	7,00	1,62	gerber	18	0,43	114
	2144/2	16,30	8,00	1,40	0,09	8,00	1,32	T-Aşık	17	0,32	130
	2144/4	17,00	6,00	1,70	0,10	6,00	1,40	T-Aşık	20	0,41	102
	2144/5	20,00	7,20	1,50	0,08	7,20	1,30	T-Aşık	15	0,50	144
	2144/6	20,00	7,20	1,50	0,08	7,20	1,30	T-Aşık	15	0,50	144
	2182/6	16,80	7,50	1,31	0,08	7,50	1,40	T-Aşık	16	0,33	126
	2182/11	14,35	7,50	1,30	0,09	7,50	1,45	T-Aşık	18	0,30	108
	2182/14	16,30	6,00	1,44	0,09	6,00	1,35	T-Aşık	18	0,45	98
	2182/15	15,85	7,30	1,44	0,09	7,30	1,35	T-Aşık	18	0,45	116
	2183/2	16,43	7,25	1,32	0,08	7,25	2,02	T-Aşık	16	0,40	119
	2183/3	16,43	7,50	1,31	0,08	7,50	2,00	T-Aşık	16	0,33	123

BÖLÜM BEŞ

SONUÇ

Demir ve çeliğin seri üretimiyle daha geniş açıklıkların geçilmesi mümkün olmuştur. Açıklıkla birlikte artan kiriş yüksekliği, dolu gövdeli kirişlerde ölü yüklerin etkisini daha çok arttırmakta ve böylece, eğilmeye çalışan kirişler yerine daha etkin malzeme kullanımıyla birlikte, sadece çekme ve basınç gerilmeleri etkisindeki çubukların kullanıldığı, düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistem gibi daha hafif çubuk taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, günümüzde artan geniş açıklık ihtiyacı dikkate alınarak, geniş açıklıklı taşıyıcı sistemlerin ve bu taşıyıcı sistemlerden doğrusal çubuk elemanlarla oluşturulan, ülkemizde de diğer taşıyıcı sistemlere göre daha yaygın olarak kullanılan düzlem kafes kiriş ve uzay kafes sistemlerin incelenmesi amaçlanmıştır.

Bölüm İki’de bileşenleri, malzemesi ve çalışma ilkeleri doğrultusunda incelenen taşıyıcı sistemleri, kolon-kiriş sistemler, çerçeveler, kemerler ve düzlem kafes sistemler için tek doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistemler; uzay kafes sistemleri iki doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistemler; plak ve katlanmış plakları düzlem yüzeyli yüzeysel taşıyıcı sistemler; kabukları ve şişme sistemleri de eğri yüzeyli yüzeysel taşıyıcı sistemler ve üçüncü grup olarak da kablo sistemler olarak sınıflandırabilmekteyiz.

İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi’nde yapılan taşıyıcı sistem analizi için incelediğimiz örneklerin taşıyıcı sistemlerini sınıflandırdığımızda tek doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistemlerden kolon-kiriş sistemler, çerçeveler, ve düzlem kafesler; iki doğrultuda yük aktaran çubuk taşıyıcı sistem olan uzay kafes sistem;

düzlem yüzeyli yüzeysel taşıyıcı sistemlerden de plaklar karşımıza çıkmaktadır. Bölgede incelenen yapıların taşıyıcı sistemlerinin değerleri sırasıyla;

- Kolon-kiriş sistemler – 73 uygulamayla tüm taşıyıcı sistemlerin %55'i
- Düzlem kafes kirişler – 50 uygulamayla tüm taşıyıcı sistemlerin %37'si
- Çerçeve sistemler – 7 uygulamayla tüm taşıyıcı sistemlerin %5'i
- Uzay kafes sistemler – 3 uygulamayla tüm taşıyıcı sistemlerin %2'si
- Plak sistemler – 2 uygulamayla tüm taşıyıcı sistemlerin %1'i

Bölüm Dört'te, taşıyıcı sistem analizleri yapılan düzlem kafes kiriş taşıyıcılara sahip uygulamalarda başlık tipleri olarak %60 trapez, %36 üçgen ve %4 paralel başlıklı; ara çubuk düzenlemelerine göre de %36 N-Pratt, %28 dikmeli-V, %18 Howe, %16 çift dikmeli-V ve %2 Fransız tipi düzlem kafesler en çok uygulanan tipler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çubuk elemanların uçlarından birbirine bağlanmasıyla, çatı kaplama malzemesine bağlı olarak da çok farklı tipte düzenlenebilen düzlem kafes kirişlerin, başlık şekillerine göre Tablo 3.1 şekilleriyle gösterilen tipleri aşağıda maddeler halinde toplanabilir. Başlık tiplerine göre düzlem kafes kirişler,

- Paralel başlıklı
- Üçgen başlıklı
- Her iki başlığı üçgen
- Trapez kafes kiriş
- Üst başlığı parabolik
- Her iki başlığı parabolik
- Mansard (Deve sırtı)
- Mekik (Yay kirişi)

Örneklerde en çok uygulanan sistem olan trapez kafes kiriş için diğerlerine göre tercih edilmesinin nedenlerini eğimli üst başlıklara sahip olmasıyla birlikte üçgen başlıklıya göre mesnet noktalarından yükseltilmesiyle yük taşıma kapasitesinin

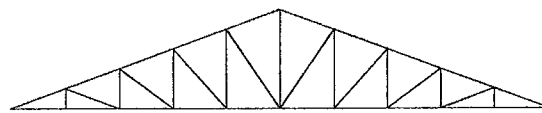
artmasını sıralayabiliriz. Bu yükseklik artışı, dikme aralarındaki boşlukların büyümesine neden olmakta ve havalandırma, aydınlatma gibi tesisat donatılarının rahatlıkla yerleştirilmesi sağlanmaktadır.

Bölüm Dört’de belirtilen ara çubuk düzenlemeleri dışında, literatür çerçevesinde oluşturulan Tablo 3.2’de şekilleriyle gösterilen diğer ara çubuk düzenlemeleri de aşağıda maddeler halinde verebiliriz.

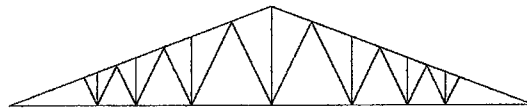
Düzlem kafes kirişler, çubuk düzenlemelerine göre de ikinci bir sınıflandırma ;

- | | |
|-------------------|----------------------|
| - “N” –Pratt tipi | - Vierendeel tipi |
| - Warren tipi | - Yelpaze tipi |
| - Howe tipi | - Kuzey ışığı makası |
| - Dikmeli-V tipi | - Makas ağzı tipi |
| - Çift dikmeli-V | - “K”makası |
| - Belçika makası | |
| - Fransız makası | |
| - Kirişli makas | |

Tüm düzenlemeler içinde N-Pratt tipi ara çubuk düzenlemeleri, her üç başlık tipinde de en yaygın olarak kullanılan sistemdir. Yine tüm başlık tipleri arasında da ortak olan N-Pratt sistemiyle birlikte dikmeli-V sistemi de uygulanmıştır.



N-Pratt tipi



Dikmeli-V tipi

Şekil 5.1. N-Pratt ve dikmeli-V tipi düzlem kafes kirişler

Genel olarak düzlem kafes kirişler için yapılan sınıflandırmalar içinde N-Pratt tipinde Howe tipine göre basınç elemanlarının boyu daha kısadır. Bu nedenle basınç

karşı daha küçük kesit gerektirir. Çekme çubuklarında ise uzunluğun önemli olmadığı düzlem kafes kiriş sistem ve diğer taşıyıcı sistemler için söyleyebileceğimiz genel özellik, açıklığın artmasıyla birlikte konstrüksiyon yüksekliğinin ve dolayısıyla taşıma kapasitesinin artmasıdır. Sonuç olarak, N-Pratt tipi bu nedenlerden dolayı daha çok uygulanmaktadır. Taşıyıcı sistemler için verilen bu genel özellik doğrultusunda trapez düzlem kafesin N-Pratt tipi için şunları söyleyebiliriz. Örneklerde geçilen açıklıklar arttıkça kafes kirişlerin konstrüksiyon yükseklikleri de artma ve azalma göstermektedir. Bu açıklık ve konstrüksiyon yüksekliği arasındaki farklılık örneklerdeki dikme aralıklarının ve bileşen kesitlerinin farklı düzenlenmesinden kaynaklanmaktadır.

Tüm düzlem kafes kiriş tipleri için bölünme sayısı sabit kalmak koşulu ile geçilen açıklığın arttırılmasıyla birlikte düğüm noktası aralıklarının da arttığı sonucunu çıkarabiliriz. Aynı eğimde dikme aralıklarının artmasıyla basınç elemanlarının boyu artmakta ve burkulmaya karşı stabilitesi azalmaktadır. Bunu önlemek için basınç elemanlarının kesitlerinin arttırılması ve kutu veya daire kesitli çelik profillerin kullanılması daha uygun olacaktır.

Artan açıklıkla birlikte dikme aralıklarının sabit kalmasıyla dikme sayısı ve dolayısıyla düğüm noktası ve aşık sayısı artmaktadır. Bunlarla birlikte bileşen sayısındaki artış, taşıyıcı sistem ağırlığının artmasına neden olmaktadır. Bu gelişmelerle, dikme sayısını azaltmak ve artan aşık aralığı nedeniyle ara aşıklara ihtiyaç duyulması, “dikmeli-V” ve “çift dikmeli-V” gibi yeni ara çubuk düzenlemelerine sahip etkin kafes kiriş çözümlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.

Geniş açıklıkları geçmede, çoğunlukla çelik malzemeli farklı kesitlerde düzenlenen düzlem kafes kirişlerde daha stabil bir yapı için kutu veya daire kesitli profillerin kullanılması daha uygun olmaktadır. Fakat, incelediğimiz örneklerde korniyerlerin kutu ve daire kesitli profillere göre kesme ve kaynaklama işlemlerinin daha kolay olması nedeniyle uygulamalarda daha çok tercih edilmektedir. Çok farklı başlık kesitlerine sahip düzlem kafes kirişlerde en yaygın olarak üretim ve kaynak işlemi diğerlerine göre daha kolay olan çift korniyerli kafes kirişler uygulanmaktadır.

Düzlem kafes kiriş açıklığının artmasıyla taşınan birim açıklık oranı da artmaktadır. Bazı uygulamalarda, geçilen açıklığın azalması sonucu, kullanılan aşık tipine bağlı olarak, taşıyıcı sistem aralıkları arttırılmakta ve taşınan açıklık alanı da artmaktadır. Tablo 4.1'deki trapez başlıklı düzlem kafes kirişlerde, 23.50m'lik açıklıkla çift dikmeli-V sistemi, 15m açıklığında uzay aşık kullanılmasıyla 353m² ile en geniş alanı örtmektedir. Üçgen başlıklı sistemlerde de dikmeli-V sistemi daha geniş açıklıklar geçebilmekte ve dolayısıyla, örtülen birim alan artmaktadır. Paralel başlıklı sistemlerde, 134m²'lik taşıyıcı birim alana sahip N-Pratt sistemi geniş alanlar örtmektedir. İncelenen örnekler doğrultusunda, düzlem kafes kiriş tipleri içinde başlık tiplerine göre trapez başlıklı; çubuk düzenlemelerine göre de çift dikmeli-V sistemi daha geniş açıklıklar geçebilmekte ve daha geniş alanlar örtebilmektedir.

Düzlem kafes kirişlerde, artan yük etkisiyle düğüm noktası arasında kalan üst başlık çubuğunun her birinin kesitinin, mesnetlere doğru artması gerekmektedir. Bu uygulama, sistemdeki etkin malzeme kullanımını, en etkin biçimde düzenlenmesini sağlarken, çoğu zaman, farklı kesitteki profillerin kesilerek kaynaklanmasıyla imalat ve işçilik maliyetinin arttırdığından ekonomik olmamaktadır.

Taşıyıcı sistem maliyetinin önemli olduğu, incelenen sanayi yapılarında üst ve alt başlık için taşıyıcılık özelliğini güvenli bir şekilde sağlayabilecek kesitte tek bir profil kullanılmıştır. Bu uygulamada, imalat ve işçilik maliyetini azalttığı için ekonomik olurken, daha az kesitli profillerin kullanılması gereken yerlerde başlığın sürekli olmasından dolayı daha büyük kesitte profil kullanılmasıyla etkin malzeme kullanımı gerçekleştirilememektedir.

Düzlem kafes kirişlerde geniş açıklık geçme sorunu, iki kafes kiriş arasında daha küçük açıklıkların geçilmesine indirgenmiştir. Bölüm Üç ve Bölüm Dört'te incelendiği üzere, çelik kafes kirişlerde açıklığa bağlı olarak "L", "T", "U" ve "Z" kesitli profillerin dışında artan açıklık ile makas aşıklar kullanılmıştır. Üst başlık üzerinde düğüm noktaları üzerine yerleştirilen aşıklar 5m-6m arası açıklıklarda I-U-80-100 kesitli profiller kullanılmıştır. Çatı kaplama malzemesine bağlı olarak değişebilen aşıklar, 6-7m açıklıklarda I-120-160-180 ile U-100-140 kesitli profiller

uygulanmıştır. Çatı kirişine dik doğrultuda gelen, rüzgar etkisini karşılamak için çatı düzlemine paralel olarak genellikle 45x45x5mm'lik rüzgar bağlantıları kullanılır.

Çatı yüzeyinde, daha az taşıyıcı aşık alana sahip aşıklarda büyük kesitli profillerin kullanıldığı uygulamalarda kullanılan malzeme miktarı ve maliyeti artmaktadır. Büyük kesitlerin yerine daha küçük alanlarda aynı yükü güvenle taşıyabilecek daha küçük kesitte profil kullanılması hem etkin malzeme kullanımı hem de taşıyıcı sistem ağırlığının ve maliyetinin azalması açısından daha uygun bir kullanım olmaktadır.

Düzlem kafes kirişlerde, taşıyıcı sistemin rijitliğini koruyan hareketli ve sabit olmak üzere iki tür mesnet kullanılmaktadır. Düşey taşıyıcılar konumları gereği basınç ve eğilme etkisindedirler. Tüm taşıyıcı sistemlerde kolon yüksekliği arttıkça sistem yatay yüklerden daha çok etkileneceğinden kolon kesitleri de artmaktadır. İç mekan yüksekliğinin ve taşıyıcı aralıklarının az olduğu durumlarda yerinde dökme betonarme kolonlar kullanılabilir. Taşıyıcı sistem aralığı ile birlikte iç mekan yüksekliğinin de artmasıyla çelik veya prefabrik betonarme kolonlar kullanılması daha uygun olmaktadır. Böylece şantiyede beton kalıp ve dökme işleri azalarak, kısa sürede taşıyıcı sistemin kurulması sağlanır.

Düzlem kafes kirişlerde en büyük gerilim, mesnetlerde olduğundan mesnet üzerindeki yük dağılımını en uygun biçimde çözümlemek gerekir. Mesnet noktasında kafes kirişin alt ve üst başlık eksenleri ve düşey taşıyıcının ekseni tek bir noktada kesişmesi gerekir. Aynı noktada kesişmediği takdirde bileşenler üzerinde istenmeyen gerilmeler oluşabilir. Bunların dikkate alınarak boyutlandırma işlemleri yapılmalıdır.

Düzlem kafes kiriş yüzey alanı-açıklık arasında, artan açıklıkla birlikte yüksekliğinin ve dolayısıyla yüzey alanlarının arttığını söyleyebiliriz. Trapez tipi kafes kirişler daha geniş yüzey alanına ve çatı hacmine sahipken, sırayla paralel ve üçgen başlıklı tipler yer almaktadır.

Düzlem kafes kirişin yüzey alanının artması sonucu iç mekanda kapladığı çatı hacminin büyümesi, geniş ve yüksek mekanlar oluşturmaya karşın, aynı işlevi

görebilecek diğer taşıyıcı sistemlere göre ısıtma ve havalandırma giderlerinin artmasına neden olacaktır. Fakat, ısıtma , aydınlatma ve havalandırma tesisatı donatılarının düzlem kafes kirişin uygun yüksekliğindeki dikme ve diyagonal aralarından geçirilmesi, hem artan hacmin bu donatılara dağıtılması sağlanır hem de donatıların düzlem kafes kiriş altına yerleştirilmesiyle iç mekan yüksekliğinin azalması önlenir.

Birbirlerine düğüm noktalarından bağlı çubuklar ağından kurulu **uzay kafes sistemler**, incelediğimiz bölgede 3 örnekle %2’lik bir değerle yatay ve eğik olarak düzlem yüzeylere sahiptir. Bölüm Üç’te elde ettiğimiz bilgilerle birlikte sağlaması gereken koşullar sırasıyla;

- Sistemin düğüm noktalarının mafsallı olarak yapılması gerekir.
- Bir düğüm noktasında birleşen çubukların eksenleri, düğüm noktasının merkezinde tek bir noktada birleşerek, eksenel bağlantıların olması gerekir.
- Sisteme gelen dış yükler bir tek düğüm noktalarına etki etmelidir. Dış yüklerin, çubuklar üzerine etki etmesi sonucu momentin oluşması ile düğüm noktaları momentin etkisi altında kalacaktır.
- Çubuklar, kendi ağırlıkları altında eğilmeyecek boyutlarda üretilmeli
- Çubuklar, doğrusal elemanlar olmalıdır. Eğri çubuklarda eğilme oluşur.

Yüzeylerinin üçgen, kare veya altıgenlere bölünmesiyle oluşan tüm ağ düzenlemelerini, düzlem ve hacimsel yüzeylerde yer almalarına göre düzlem (açık) ve uzay (kapalı) ağlar olmak üzere iki gruba ayırabiliriz. (Tablo 5.1)

Bölüm Üç’te elde ettiğimiz veriler doğrultusunda uzay kafes sistemlerle tek, çift veya çok tabakalı düzlem yada eğri yüzeyler oluşturulabilmektedir. Bu sistemleri, yüzey geometrileri yönünden üç gruba ayırabiliriz. (Tablo 5.2)

- Düzlem yüzeyli
- Tonozsal (Tek eğrilikli) yüzeyli
- Kubbesel (Aynı yönde çift eğrilikli) yüzeyli

Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, geçilen açıklığa bağlı olarak belirlenmiş bir yükseklikte birbirine paralel iki düzlem ağı, düğüm noktalarından birbirlerine ara çubuklarla birleştirilmeleri sonucu oluşmaktadır.

Tablo 5.1. Yüzey şekillerine göre çubuk ağları

Düzlem yüzeylerde yer almalarına göre	Hacimsel yüzeylerde yer almalarına göre
Düzlem (Açık) Ağ	Uzay (Kapalı) Ağ
<u>İki Yönlü</u> Dik açılı (Dörtgen Ağ) Diyagonal (Köşegen Ağ)	
<u>Üç Yönlü</u> Kare ızgara + tek doğrultuda diyagonal Çift doğrultuda diyagonal	
<u>Dört Yönlü</u> Kare ızgara + çift doğrultuda diyagonal	

Çift tabakalı ve iki yönlü olarak düzenlenen örneklerin üçü de bir dörtyüzlü ve yarım sekizyüzlü modüllerden oluşmaktadır. Bu tip düzenlemeler kolay hesaplanma, farklı çubuk boylarının çok az sayıda olması, uygulama ve kurulum kolaylığı gibi nedenlerle daha çok tercih edilmektedirler.

Uzay kafes sistemin 50 yıl önce ilk üretiminden bu yana, düğüm noktaları ile ilgili yüzlerce farklı yapım sistemi geliştirilmiş ve her yılda yeni sistemler geliştirilerek, üretime geçilmektedir. Günümüzde uygulanmakta olan belirgin yapım sistemlerini üç grupta toplayabiliriz. (Tablo 5.3)

Tablo 5.2. Yüzey geometrilerine göre uzay kafes sistemler

Yüzey Geometrilerine Göre Uzay Kafes Sistemler			
Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler		Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler	
• Tek tabakalı - 2, 3 ve 4 yönlü • Çift tabakalı - 2, 3 ve 4 yönlü • Çok tabakalı - 2, 3 ve 4 yönlü		Tek eğrilikli uzay kafes sistemler	Çift eğrilikli uzay kafes sis.
			Eş eğrilikli Ters eğrilikli
		• Daire yayı • Elips yayı • Parabol yayı	• Küre • Elipsoid • Paraboloid
			Hiperbolik paraboloid

İncelediğimiz uzay kafes sistem örneklerde de görüldüğü üzere en çok uygulanan düğüm noktası yapım sistemi olan Mero sistemi, inceliği, yalınlığı ve kolaylığıyla en az 35° olmak üzere 45° , 60° ve 90° 'nin dışında ara açılarda da düzenlenebilmektedir. Mero sistemin bu özelliği, uzay kafes sistem geometrisinin seçiminde büyük esneklik sağlayabilmektedir. Bu yapım sisteminin sökülüp tekrar kullanılabilme özelliğiyle bileşenlerin yeniden kullanılma olasılığı da düşünülmelidir. Standart boyutlarda borular ile sistemdeki çubuk maliyetini en düşük sınıra çekmek daha uygun bir çözüm olmaktadır.

Genel olarak, düzlem kafes giriş ve uzay kafes sistemler için taşıyıcı sistem çözümü kolay olan kare, dikdörtgen veya dairesel planlar üzerinde daha yaygın olarak uygulandığı belirtilebilir. Böylece, artan ihtiyaca göre üst örtünün uzatılmasıyla birlikte taşıyıcı sistemin de genişleyebilme imkanı sağlanmaktadır.

Taşıyıcı sistem elemanlarının sistemin diğer elemanları ile bütünleşebilmesi için kendi aralarında boyutsal açıdan sayısal bir benzerlik, yani taşıyıcı sistemin aks aralıklarının modüler bir çözüm içinde düzenlenmesi hem taşıyıcı sistem çözümünü kolaylaştırmakta hem de iç mekanda fonksiyonların dağılımına yön vermektedir.

Tablo 5.3. Uzak kafes sistemlerde düğüm noktası yapımlar sistemleri

Yapım Sistemleri	Yapım sistemi türleri ve tanımı			Sistemler
Parçalı Yapım Sistemi	Eksenel yükler karşısında İyi bir performans gösterdiğinden boşluklu dairesel veya küre birleşim elemanları kullanılır.	Kürelî birleşimler	Dolu yapılı	Mero sistem Orone Seo sistem
			Boşluklu yapılı	Nodus sistem Oktaplatte sistem SDC ve Pyramitec sistemleri
		Silindirik birleşimler		Triodetic sistem
		Plakalı birleşimler		Moduspan (Unistrut) sistem
		Düğüm elemansız birleşimler		Multi hinge sistem Octet truss
		Sürekli Başlığa Sahip Yapım Sistemi	Alt ve üst başlıkları kesintisiz elemanlarla oluşturarak az parçalı bir birleşim oluşturulur.	
Modüller Yapım Sistemi	Ekonomik ve uygulaması kolay bir yapımlar sistemi oluşturmak için piramit modüller kullanılır.			Space Deck sistemi

Geniş açıklıklı taşıyıcı sistemler için Bölüm İki ve Üç'teki literatür araştırması ve Bölüm Dört'de düzlem kafes giriş ve uzak kafes sistem uygulamalarının incelenmesi doğrultusunda, Y. Ayaydın, H. Schmitt ve M. Vandenberg'in taşıyıcı sistem açıklıklarıyla ilgili verilerinden yararlanılarak Tablo 5.4 ve 5.5 oluşturulmuştur. Tablolarda farklı geometrik biçimlere göre ele alınan taşıyıcı sistemler içinde, çok geniş açıklıklarda ekonomik olması nedeniyle asma sistemler en geniş açıklıkları geçebilen taşıyıcı sistemdir.

Kolon-kiriş sistemler, prefabrik betonarme bileşenler olarak seri üretim koşullarının oluşmuş olması, yüksek beton kalitesi, öngerilmenin sağlanabilmesi ve yangına karşı yüksek dayanımı gibi nedenlerle İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesinde belirlenen diğer taşıyıcı sistemlere göre yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çerçeve sistemler, seri üretim koşullarının oluşmuş olması, yüksek beton kalitesi gibi nedenlerle tercih edilmesine rağmen bazı durumlarda genişleyebilme olanağının olmaması ve inşaat alanına ulaştırma gibi dezavantajlara sahiptir.

Plak sistemler, seri üretim koşullarının oluşmuş olması, yüksek beton kalitesi gibi nedenlerle tercih edilmesine rağmen geniş açıklıklı yapılarda tercih edilen bir taşıyıcı sistem değildir.

Uzay kafes sistemler, fabrikasyon üretime dayalı olması, montajının kısa sürede yapılabilirliği, olarak seri üretim koşullarının oluşmuş olması, strüktürel yüksekliğinin az olması, bileşenlerinin sökülerek tekrar kullanılması veya sisteme yeni çubuk bileşenlerinin eklenebilmesi gibi nedenlerle geniş açıklıklı yapılarda tercih edilmesine rağmen, yangına karşı dayanımının az olması, düğüm noktaları aralıklarına bağlı olarak çatı kaplama malzemesinin kalınlığının artması ve orta büyüklükteki açıklıklarda ekonomik olmaması bu sistemlerin tercih edilmeme nedenleridir.

İncelenen taşıyıcı sistemler arasında **düzlem kafes kirişler**, daha az malzeme kullanımı ve kiriş yüksekliğinin artmasıyla daha yüksek bir taşıma kapasitesine sahip olması ve her iki yönde genişleyebilme olanağının olması gibi nedenlerle; yangına karşı dayanımının az olması ve korozyona karşı belirli aralıklar bakım gerektirmesine rağmen geniş açıklıklı yapılarda daha uygun bir taşıyıcı sistem olmaktadır.

KAYNAKLAR

Abel, J.F, Leonard J.W. & Penalba, C.U. (1994) IASS-ASCE International Symposium. Spatial, Lattice and Tension Structures, Atlanta, USA

Asce, M. & Kan M.P. (1953) Steel Rigid Frames. Michagen, America: Published by J.W. Edwards

Ayaydın, Y. (1981) Büyük Açıklıklı Prefabrike Betonarme Yapılar, İstanbul:Birsen Kitabevi Yayınları

Bahadır, Ş.S. (1997) Büyük Açıklıklı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Barış, Z. (1998) Metalin Özelde Demir ve Çeliğin Yapıdaki Strüktürel İşlevinin Tarihsel Gelişim Çerçevesinde Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Barry, R. (1993) The Construction of Buildings, 4th Edition, Blackwell Scientific Publications, 3

Barthel, R. & Markert, H. (2001) Large-Spann Roof Structures, Detail, 5, 837-840

Baugeschichte (1974)

Borrega, J. (1968) Space Grid Structures, Skeletal Frameworks and Stressed-Skin Systems, The M.I.T. Press, Massachusetts

Brodka, J. (1968) Stahlrohr Konstruktionen. Köln: Arkady Verlag

Buchanan, P. (1994) Kansai Airport, Architectural Review, 11, 33-81

Buckle, I.G. (1990) The Elements of The Structure. An Introduction to The Principles of Building and Structural Engineering. 2nd edition, Longmann Scientific & Technical

Chilton, J. (2000) Space Grid Structures. Oxford: The Architectural Press

Ching, F. (1995) Overhead Plane, Architecture: Form, Space and Order. s.116-118

Chudley, R. (1992) Roof Structures, Costruction Technology. 4, 2nd Edition, Longman Group UK s.80-86

Chudley, R. (1987) Portal Frames, Costruction Technology. 3, Longman Group UK s.145-150

Corus Ürün Broşürü

Crane, T. (1956) Wide Span Designs, Architectural Construction, Second Edition s.234-244

Çatak, N. (1997) Büyük Açıklıklı Yapılarda Çatı Örtü Malzemeleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Çelebi, T. (1978) Sanayi Yapı Projeleri. 2. Baskı, İstanbul: Üçer Matbaacılık

- Dent, R.N. (1971) Principles of Pneumatic Architecture, The Architectural Press, London
- Dilber, K.K. (2001) Taşıyıcı Sistem Malzemesinin Seçimindeki Etkenler. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doll, K. H. (1977) Natursteinbauten DBZ, 4 , 31-34
- Elliott, C.D. (1992) Technics and Architecture. Massachusetts: The MIT Press
- Engel, H. (1967) Tragsysteme. Deutsche Verlags
- Eyüce, Ö. (2001) Çelik ve Cam Mimarlığı, Egemimarlık. 37. 7
- Foster, J.S. (1993) Struture and Fabric, Longman Scientific & Technical, London
- Frampton, K. (1996) Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction In Nineteenth and Twentieth Century Architecture, The M.I.T. Press
- Gerçek, C. (1979) Yapıda Taşıyıcı Sistemler Proje Uygulama 3, Yaprak Kitabevi, Ankara
- Göksal, T. (1996) Yapı Bilgisi II Ders Notları
- Güler, Ö. (1999) Orta Büyüklükteki Spor Salonlarında Taşıyıcı Sistem Tasarımı. Yapımsal Sorunları ve Çözüm Önerileri, Yüksek Lisans Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Güney, R. (1998) Sinan The Architect and His Works, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları. İstanbul

Günsoy, O, Kendik, M. & Anıl, K. (1979) Asma Sistemler. İstanbul Devlet Güzel Sanatlar Akademisi Yüksek Mimarlık Bölümü Statik Kürsüsü Yayınları 1

Hamburg Havalimanı Yolcu Terminali, (1999) Yapı, 211. 89-97

[http:// www.civilzone.com](http://www.civilzone.com)

[http:// www.columbia.edu](http://www.columbia.edu)

[http:// www.detail.de](http://www.detail.de)

[http:// www.discoveryeuropa.com](http://www.discoveryeuropa.com)

[http:// www.e-arbed.com](http://www.e-arbed.com)

[http:// www.ec.njit.edu](http://www.ec.njit.edu)

[http:// www.geodesics-unlimited.com](http://www.geodesics-unlimited.com)

[http:// www.holzbau.com](http://www.holzbau.com)

[http:// www.kajimadesing.co.jp](http://www.kajimadesing.co.jp)

[http:// www.kajimadesign.com](http://www.kajimadesign.com)

[http:// www.ketchum.org](http://www.ketchum.org)

[http:// www.krupp.de](http://www.krupp.de)

[http:// www.mero.com](http://www.mero.com)

[http:// www.nisso-mero.co.jp](http://www.nisso-mero.co.jp)

[http:// www.oak.arch.utas.edu.au](http://www.oak.arch.utas.edu.au)

[http:// www.roofsindia.com](http://www.roofsindia.com)

[http:// www.starnetint.com](http://www.starnetint.com)

[http:// www.starnetone.com](http://www.starnetone.com)

[http:// www.surray.co.uk](http://www.surray.co.uk)

[http:// www.surrey.ac.uk](http://www.surrey.ac.uk)

[http:// www.tastimber.tas.gov.au](http://www.tastimber.tas.gov.au)

[http:// www.unb.br](http://www.unb.br)

[http:// www.universaltimber.com](http://www.universaltimber.com)

[http:// www.uskon.com.tr](http://www.uskon.com.tr)

[http:// www.uzaysistem.com](http://www.uzaysistem.com)

İzmir Atatürk Organize Sanayi Bölgesi Broşürü (2001) İ.A.O.S.B. İzmir

Jeodicke, J. (1963) Shell Architecture, New York: Reinhold Publishing Corporation

Kawaguchi, M. (1997) Reden bei der Akademischen Feier aus AnluB der Verleihung der Ehrendoktorwürde an Prof. Dr.-Eng. Mamuro Kawaguchi durch die Universität Stuttgart. Universitatbibliothek Stuttgart

Koncz, T. (1974) Handbuch der Fertigteil-Bauweise Band III, Wiesbaden: Rud. Bechtold & Comp.

Kronenberg, P. (2000) Portable Architecture, 2nd edition, Oxford: Architectural Press
New Technology Series

Kuban, D. (1992) Mimarlık Kavramları: Tarihsel Perspektif İçinde Mimarlığın Kuramsal Sözlüğüne Giriş, 4.Baskı, İstanbul: Yem Yayın

Makowski, Z.S. (1988) History of The Development of Braced Domes, Domes From Antiquity To The Present, İstanbul: Mimar Sinan Üniversitesi

Mann P.A. Illustrated Residential and Commercial Konstruktion, Volume 2

Mannesmann Stahlrohrbau, Mannesmann AG. Dritte auflage, Düsseldorf: Schwann

Marimatsu, E. (1988) Tokyo Dome “Big Egg” The Japan Architect, 375, 27-29

Mengeringhausen, M. (1975) Raumfachwerk aus Staben und Knoten. Bauverlag GmbH, Würzburg

Millais, M. (1999) Building Structures, Alden Press

Murray, P. (1985) Renaissance Architecture. New York: Rizzoli International Publication

Mutlubaş, F. (1999) Çağdaş Yapımda Ahşabın Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Natterer, J. (1976) Rosttragwerke aus Holz, DBZ, 9, 512-515

Nervi, P.L. (1957) Bauten und Projecte. Stuttgart :Verlag Gert Hatje.

Oral, Y. (1999) İzmir’de Sanayi Alanları Planlaması. Egemimarlık. 31. 27-28

Özalp, Ö. Uzay Kafes Sistemler, Bitirme Tezi, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Özcan, K. (1994) Çelik Çatı Makasları, Yapı, 5. Baskı, Ankara

Özşen, G. & Yamantürk, E. (1991) Taşıyıcı Sistem Tasarımı, Yıldız Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Birsen Yayınevi, İstanbul

Parker, H. (1949) Simplified Design and Roof Trusses for Architects and Builders. London: Chapman & Hall Limited

Parlak, N. (1998) Uzay Kafes Sistem ve Örtü Elemanları, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü

Pearce, P. (1978) Struture in Nature is a Stragedy For Design, The M.I.T. Press, Cambridge

Rühle, H. (1970) Raumliche Dachtragwerk Konstruktion und Ausführung: Band 2. Verlagsgesellschaft, Köln

Savaşır, K. (1999) Silindir Yüzeyli Uzay Kafes Sistemlerde Yükseklik ve Geçilen Açıklık Bakımından Tek ve Çift Tabakalı Sistemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Salvadori, M. & Heller, R. (1975) Structure in Architecture. 2nd edition, New Jersey: Prentice-Hall Inc.

Schmitt, H. (1977) Hochbau Konstruktion. Braunschweig: Vieweg

Siegel, C. (1960) Strukturformen der Modernen Architektur, Verlag George D.W. München

Sönmez, A. (1998) An Optimation Method for Economic Design of The Hall Buildings. Doktora Tezi, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi

Şen, N. (1990) Mimarlıkta Strüktür ve Strüktürel Kavramlar. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayınları, No: 199

Tanyeli, G. (1990) Mimarlıkta Demir ve Çelik Arredamento Dekorasyon, 104-113

Tanyeli, U. (1997) Mimarlık Tarihi II Ders Notları

Timoshenko, S. & Young D.H. (1981) Düzlem ve Uzay Kafes Sistemler, (İlhan Kaya), İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi

Türkçü, H.Ç. (1990) Çağdaş Yapım ve Strüktür Sistemleri I, 2. Baskı, İzmir: Dokuz Eylül Yayınları

Türkçü, H.Ç. (1997) Çekmeye Çalışan Taşıyıcı Sistemler, 1. Baskı, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Türkçü, H.Ç. (2001) Structure and Geometry II Ders Notları

Türkçü, H.Ç. (1982) Uzay Çerçeve Çatıyı Farklı Geometrik Olanaklar Arasından Seçmede Kullanılabilecek Ölçütler ve Yöntemi. E.Ü. Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları. Yayın No:15. Ticaret Matbaacılık, İzmir

Türkiye Prefabrik Birliği, (1997) Beton Prefabrike Elemanların Birleşim Detayları, Ankara

Vandenberg, M. (1995) Architectural Journal Handbook of Building Enclosure. AJ: The Architectural Press, London

Vandenberg, M. (1998) Cable Nets. A.D. Academy Editions, Great Britain

Vogt U. & Widmer, E. (1965) Moschee in İstanbul. Osmanische Türkei. Aberegg-Steiner & Cie AG. Bern

Wegler, D. (1975) Das Hyperbolische Paraboloid, DBZ, 4, 393-397

Yorulmaz, M. (1972) Kablolarla AsılıÇatı Yapımının Bugünkü Durumu. İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi

Yurtsever, H. (1998) Doğrusal Elemanlarla Strüktür Tasarımı. Yapı, 198, 84-93

Yttrup, P.J. (1989), Construction techniques for timber portal framed buildings using on ground assembly, Second Pacific Timber Engineering Conference, Auckland, New Zeland

Zorer, A. (1995) Uzay Kafes Sistemler-Proje 2, Kocaeli Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Ek 4.1. Taşıyıcı Sistem Analiz Çalışması Bilgi Formu

1. YAPI HAKKINDA

- Yapı yeri ve yılı :
- Kullanım amacı :

2. TASIYICI SİSTEM BİLGİLERİ**2.1. Taşıyıcı Sistem Malzemesi**

Ahşap ☐ Çelik ☐ Betonarme ☐ Karma ☐

2.2. Taşıyıcı Sistem Türü

- Kolon-kiriş sistem ☐
- Çerçeve sistem ☐
- Kemer sistem..... ☐
- Düzlem kafes sistem ☐
- Uzay kafes sistem ☐
- Plaklar ☐
- Diğer ☐

2.3. Taşıyıcı Sistem Açıklıkları**Geçilen açıklık -L Aralık**

- Ana taşıyıcı eleman için : ☐
- Ara taşıyıcılar -aşıklar : ☐
- Konstrüksiyon yüksekliği -H : ☐
- Açıklık- Yükseklik oranı H/L : ☐
- İç mekan yüksekliği : ☐
- Çatı eğimi -m : ☐ Yapı alanı :

2.4. Düşey Taşıyıcı Türü

Yığma ☐ Kolon : Ahşap ☐ Çelik ☐ Betonarme ☐

where $[\partial L/\partial a]$ and $[\partial H/\partial a]$ are the changes in the coefficient matrices $[L]$ and $[H]$ respectively, due to a change in the design variable. The term $\{\partial u_n/\partial a\}$ is the change in the normal surface velocity vector due to a change in the design variable. Rearranging Equation (2.38) gives,

$$[L]\left\{\frac{\partial p}{\partial a}\right\} = \left[\frac{\partial H}{\partial a}\right]\{u_n\} + [H]\left\{\frac{\partial u_n}{\partial a}\right\} - \left[\frac{\partial L}{\partial a}\right]\{p\} \quad (2.39)$$

and

$$[L]\left\{\frac{\partial p}{\partial a}\right\} = \{f\} \quad (2.40)$$

where the vector $\{f\}$ represents the right-hand side of Equation (2.39). The surface velocity distribution may be determined by the measurements (Bernhard & Smith, 1991) or structural analysis programs (Wang & Lee, 2001). Velocity sensitivity distribution may be determined by structural analysis programs (Wang & Lee, 2001) or assumptions may be made in some cases (Bernhard & Smith, 1991). Equation (2.40) can be solved by using the Gaussian – elimination method in order to obtain surface pressure sensitivity with respect to the design variable.

The sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the design variable a , is expressed as $\partial p_s/\partial a$. The differentiation of Equation (2.37) with respect to a is (Bernard & Smith, 1991),

$$\frac{\partial p_s}{\partial a} = -\left\{\frac{\partial K_c}{\partial a}\right\}^T \{p\} - \{K_c\}^T \left\{\frac{\partial p}{\partial a}\right\} + \left\{\frac{\partial H_c}{\partial a}\right\}^T \{u_n\} + \{H_c\}^T \left\{\frac{\partial u_n}{\partial a}\right\} \quad (2.41)$$

The vector $\{\partial p/\partial a\}$ on the right hand side is the surface pressure sensitivity obtained from Equation (2.40).

The coefficient matrix sensitivities are computed by using the first order forward difference approximation (Bernhard & Smith, 1991)

$$\left[\frac{\partial L}{\partial a} \right] = \frac{[L]_{i+1} - [L]_i}{\Delta a}, \quad \left[\frac{\partial H}{\partial a} \right] = \frac{[H]_{i+1} - [H]_i}{\Delta a} \quad (2.42)$$

and

$$\left\{ \frac{\partial K_e}{\partial a} \right\}^T = \frac{\{K_e\}_{i+1}^T - \{K_e\}_i^T}{\Delta a}, \quad \left\{ \frac{\partial H_e}{\partial a} \right\}^T = \frac{\{H_e\}_{i+1}^T - \{H_e\}_i^T}{\Delta a} \quad (2.43)$$

where i denotes the initial matrix and $i+1$ indicates the matrix of the perturbed or incrementally changed state of the body. The step size Δa should be chosen as small as possible in order to reduce finite difference errors.

This sensitivity formulation has some advantages with regard to the recomputation of the Equation (2.35) so as to determine the tendency of the pressure. This formulation have an easy programmable structure and expresses a reliable general sensitivity information. Modifying this formulation by obtaining the inverse matrix of $[C]$ as mentioned in reference (Bernhard & Smith, 1991), the computational cost of the matrix coefficients will be significantly less than the recomputation of the pressure.

2.3.2. Model Size Sensitivity

Equations (2.39) and (2.41) can be used in order to compute model size sensitivity, if a characteristic dimension of the vibrating body, such as radius, or height is chosen as the design variable.

2.3.3. Velocity Sensitivity

If the design variable is chosen as the normal velocity of the surface of the vibrating body, the coefficient matrices will not be affected by the variation of the normal velocity (Bernard & Smith, 1991). Therefore,

$$\left[\frac{\partial L}{\partial a} \right] = 0, \quad \left[\frac{\partial H}{\partial a} \right] = 0 \quad (2.44)$$

and

$$\left\{ \frac{\partial K_e}{\partial a} \right\}^T = 0, \quad \left\{ \frac{\partial H_e}{\partial a} \right\}^T = 0. \quad (2.45)$$

Omitting these vanishing terms and designating the normal velocity of the surface u_n as the design variable, Equation (2.39) and (2.41) take a form that provides velocity sensitivity information for the surface and field pressures. For the surface pressures,

$$[L] \left\{ \frac{\partial p}{\partial u_n} \right\} = [H] \left\{ \frac{\partial u_n}{\partial u_n} \right\} \quad (2.46)$$

and for the field pressures,

$$\left\{ \frac{\partial p_e}{\partial u_n} \right\} = -\{K_e\}^T \left\{ \frac{\partial p}{\partial u_n} \right\} + \{H_e\}^T \left\{ \frac{\partial u_n}{\partial u_n} \right\} \quad (2.47)$$

where the vector $\{\partial p / \partial u_n\}$ represents the velocity sensitivity of the surface pressures obtained from Equation (2.46).

2.3.4. Frequency Sensitivity

Sensitivity of the acoustic variables to a frequency change can be obtained with only slight modifications to the general sensitivity formulations in Equations (2.39) and (2.41). The modification is necessary because in this derivation wavenumber is implicitly included in $[H]$ and $\{H_e\}$ matrices. Although this kind of sensitivity is known in general as the “frequency sensitivity”, since the formulation of the Helmholtz integral is established in terms of the wavenumber k , the sensitivity formulations are also performed in terms of k . Equations (2.35) and (2.37) can be rewritten as (Bernard & Smith, 1991),

$$[L]\{p\} = [\hat{H}]\{iz_0 k u_n\} \quad (2.48)$$

and

$$p_e = -\{K_e\}^T \{p\} + \{\hat{H}_e\}^T \{iz_0 k u_n\} \quad (2.49)$$

by separating the multipliers $iz_0 k$ from the matrices $[H]$ and $\{H_e\}^T$ and forming new matrices $[\hat{H}]$ and $\{\hat{H}_e\}^T$. Differentiating Equation (2.48) and (2.49) with respect to the wavenumber k , one can obtain the surface and field pressure sensitivity with respect to the wavenumber, respectively. For the surface pressures,

$$[L]\left\{\frac{\partial p}{\partial k}\right\} = \left[\frac{\partial \hat{H}}{\partial k}\right]\{iz_0 k u_n\} + [\hat{H}]\{iz_0 u_n\} + [\hat{H}]\left\{iz_0 k \frac{\partial u_n}{\partial k}\right\} - \left[\frac{\partial L}{\partial k}\right]\{p\} \quad (2.50)$$

where the vector $\{\partial u_n / \partial k\}$ represents the sensitivity of the nodal velocities to the wavenumber. For the field pressures,

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \mathbf{p}_e}{\partial \mathbf{k}} = & -\left\{ \frac{\partial \mathbf{K}_e}{\partial \mathbf{k}} \right\}^T \{ \mathbf{p} \} - \{ \mathbf{K}_e \}^T \left\{ \frac{\partial \mathbf{p}}{\partial \mathbf{k}} \right\} \\
& + \left\{ \frac{\partial \hat{\mathbf{H}}_e}{\partial \mathbf{k}} \right\}^T \{ i \mathbf{z}_0 \mathbf{k} \mathbf{u}_n \} + \{ \hat{\mathbf{H}}_e \}^T \{ i \mathbf{z}_0 \mathbf{u}_n \} + \{ \hat{\mathbf{H}}_e \}^T \left\{ i \mathbf{z}_0 \mathbf{k} \frac{\partial \mathbf{u}_n}{\partial \mathbf{k}} \right\} .
\end{aligned} \tag{2.51}$$

where $\{ \partial \mathbf{p} / \partial \mathbf{k} \}$ is the surface pressure sensitivity calculated from Equation (2.50).

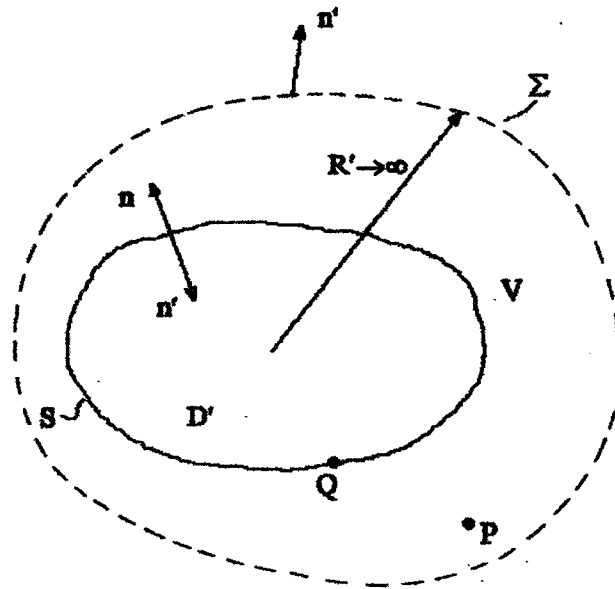


Figure 2.1 Exterior acoustic problem geometry.

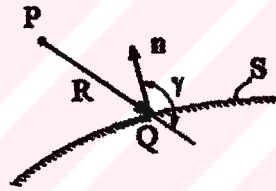


Figure 2.2 R vector and γ angle.

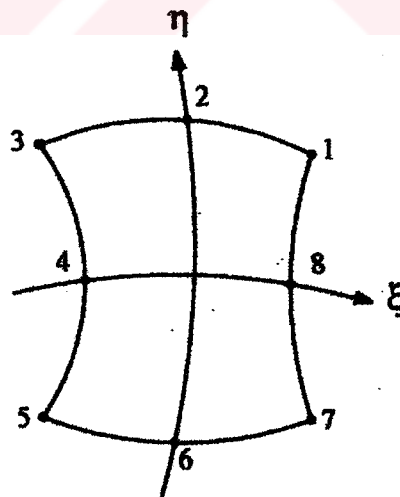


Figure 2.3 8 – node curvilinear quadrilateral element.

CHAPTER THREE
NUMERICAL RESULTS - 1
ACOUSTIC SENSITIVITY ANALYSIS OF
SPHERICAL SOURCES

3.1. Introduction

In this study, first of all a dilating spherical source was considered and the validity of the computer code to be developed was verified by the comparisons of different acoustic sensitivity solutions with theoretical and other BEM solutions. Then two-dilating-spherical-source was examined and the sensitivity information of the acoustic field pressures with respect to the radius change was obtained.

3.2. Single Spherical Source

In this thesis, a spherical source vibrating with a uniform radial velocity was solved as a preliminary problem to verify the validity of the computer code because its theoretical solutions are available.

3.2.1. Analytical Expressions for A Dilating Sphere

The analytical solution for the surface and field pressures of a spherical source vibrating with a uniform radial velocity U_0 is (Wu & Seybert – eds: Ciskowski & Brebbia, 1991).

$$p = \frac{a}{r} U_0 \frac{iz_0 ka}{1 + ika} e^{-ik(r-a)} \quad (3.1)$$

where a is the radius of the sphere, r is the radial distance from the centre of the sphere to a field location.

If the radius of the sphere is chosen as the design variable, the size sensitivity for the acoustic pressure is obtained by differentiating Equation (3.1) with respect to the radius of the sphere, a . Thus,

$$\frac{\partial p}{\partial a} = iz_0 k \frac{e^{-ik(r-a)}}{r(1+ika)} \left[a^2 \frac{\partial U_0}{\partial a} + \frac{2a - (ka)^2 + 2ika^2}{1+ika} U_0 \right] \quad (3.2)$$

gives the theoretical pressure sensitivity of the sphere to a radius change.

If the normal velocity of the surface is chosen as the design variable, differentiation of Equation (3.1) with respect to the normal velocity U_0 yields the velocity sensitivity information of the acoustic pressure as,

$$\frac{\partial p}{\partial U_0} = \frac{a}{r} \frac{iz_0 ka}{1+ika} e^{-ik(r-a)} \quad (3.3)$$

If the design variable is the wavenumber k , differentiation of Equation (3.1) with respect to the k ,

$$\frac{\partial p}{\partial k} = \frac{a^2}{r} \frac{U_0 z_0}{(1+ika)} e^{-ik(r-a)} \left[\frac{-2ka + kr + a + i(1 + k^2 ra - (ka)^2)}{1+ika} + \frac{\partial U_0}{\partial k} \right] \quad (3.4)$$

yields the frequency sensitivity of the surface and field pressures.

3.2.2. Numerical Solutions of A Dilating Sphere

In order to examine the accuracy of the numerical results 3 different sphere models were used in this study.

3.2.2.1. 24 – element model

In the numerical solution of a dilating sphere the boundary element discretization presented by (Sarigül, 1990) was used. This model has 24 quadrilateral, quadratic, isoparametric elements and 82 nodes as shown in Figure 3.1. 256 Gaussian points were used in the numerical integration of each element to increase the accuracy of the solution. The effects of edges and corners were taken into account in all of the numerical solutions.

In this study, acoustic pressure sensitivity of the spherical source with respect to the radius, normal velocity and frequency change was examined. The solutions were performed for the following 5 conditions and the variation of the pressure sensitivity with regard to the wavenumber was presented.

1. $\partial p / \partial a$ for $a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta a = 0.01$ m ; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0,0\}$,
2. $\partial p / \partial a$ for $a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta a = 0.01$ m ; $U_0 = a = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{1,0\}$,
3. $\partial p / \partial U_0$ for $a = 1$ m; $r = 6$ m ; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial U_0 = \{1,0\}$,
4. $\partial p / \partial k$ for $a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta k = 0.01$ 1/m ; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial k = \{0,0\}$,
5. $\partial p / \partial a$ for $a = 1$ m; $r = 2$ m; $\Delta a = 0.01$ m ; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0,0\}$.

The present BEM solutions for the real and the imaginary parts of the acoustic pressure of a field point at $r = 6$ m away from the centre of the sphere of $a = 1$ m are presented in Figure 3.2 and compared with the theoretical solutions obtained from Equation (3.1). The first 4 conditions represent the sensitivities of the pressures in Figure 3.2.

1. In Figure 3.3, the present BEM solutions for the pressure sensitivity of the field points, 6 m away from the centre of a sphere of 1 m radius, to the radius change are compared with the real and imaginary parts of the theoretical solution obtained from Equation (3.2). The surface velocity is assumed as 1 m/s with no sensitivity to the radius change. The BEM solution is obtained for a radius increment of 0.01 m. Figure 3.3 was established by marking the

present BEM solutions on a figure given by (Bernhard & Smith, 1991) for the sake of comparison. In this reference, the same problem has been solved by 48 elements and Figure 3.3 shows much better accuracy of the present results that were obtained by only 24 elements.

2. The results of the second condition, which are obtained by adding the sensitivity of the surface velocity with respect to the radius change into the first condition, are shown in Figure 3.4. In this condition the magnitude of the surface velocity is assumed to be equal to a yielding a velocity sensitivity of $\partial U_0 / \partial a = \{1, 0\}$. Also Figure 3.4 was formed by marking the present BEM solutions on a figure presented by Bernhard & Smith showing the results of the same problem solved by 256 elements. Figure 3.4 shows the perfect degree of accuracy for both of the BEM solutions and proves that the present code gives excellent results even by using very low number of elements. Although it does not reflect to the figures, the numerical results show that the acoustic field pressure sensitivity results obtained by adding the velocity sensitivity give better approximation to the theoretical solutions compared to sensitivity results obtained by neglecting the velocity sensitivity. Therefore it may be said that the contribution of the velocity sensitivity, while increasing the pressure sensitivity, yields better sensitivity information.
3. This condition expresses the acoustic pressure sensitivity of the same field points with respect to the surface velocity change of the same spherical source. Figure 3.5 compares the present BEM solutions with the theoretical results obtained from Equation (3.3) and shows the reliability of the presented code for the calculation of the acoustic pressure sensitivity with respect to the surface velocity. The velocity increment ΔU_0 is not used for this sensitivity computation because the coefficient matrices are not be affected by the variation of the normal velocity as expressed in Equations (2.44) and (2.45). Since the surface normal velocity is taken to be 1 m/s, Equation (3.3) for the pressure sensitivity gives the same results as Equation (3.1) for the pressure. Therefore, the acoustic pressure sensitivity with respect to the velocity

change shows the same configuration with the acoustic pressure as shown in Figures (3.2) and (3.5).

4. This condition represents the frequency sensitivity of the acoustic pressure of the same field points. It is assumed that the surface velocity of the sphere is constant and not sensitive to the frequency change. Figure 3.6 shows the agreement between the theoretical results calculated from Equation (3.4) and the BEM solutions with a low number of elements, verifying the reliability of the code for the frequency sensitivity analysis.
5. This condition is the same as the 1st condition except calculation of the pressure sensitivity of the field points located 2 m away from the centre of the sphere, with respect to the incremental increase of the spherical radius. Figure 3.7 shows the good agreement between the theoretical and present solutions for the pressure and pressure sensitivity. The behaviour of the sensitivity should be evaluated together with the pressure information since the sensitivity prediction is related with the algebraic sign of the pressure. Therefore, for the positive pressures, the positive values of the sensitivity information predict the increment tendency in the pressures whereas the negative values refer to the decrement. If the pressures have negative values, the negative sensitivity predicts a negative increment in the pressures whereas the positive sensitivity implies a decrease in the negative values of the pressures. In Figure 3.7, the real parts of the sensitivity values are entirely positive. This predicts an increment tendency in the real pressures up to the wavenumber $k = 2 \text{ 1/m}$, but just after a decrement in the negative values of the pressures is expected. The sensitivities in the imaginary parts predict a positive increment tendency up to $k = 0.75$ and a negative increment tendency from $k = 1.25$ to $k = 2.5$. The decrement tendency occurs only for the negative value at $k = 1$.

Considering Figures 3.5 - 3.7, it is observed that the BEM results start to deviate from the theoretical results toward the higher wavenumbers. This situation is more

apparent in Figure 3.7 showing the pressure sensitivities at the field points that may be considered as in the near field of the sphere. The differences between the theoretical and present solutions are caused by the boundary element method itself and the finite difference method for the sensitivity analysis. In the boundary element method the real surface of the source is modelled by a finite number of elements whereas in the finite difference method the derivatives representing sensitivities are approximated by finite step sizes causing truncation errors. In addition to this, since the surface and the field pressures constituting the bases of acoustic sensitivities include numerical errors, the error in the sensitivity information increases cumulatively as shown in Figure 3.7. On the other hand in order to avoid the “non-uniqueness” problem, which arises in the numerical solution of the exterior surface Helmholtz integral in the vicinity of the characteristic wavenumbers associated with the interior of the body (Sarigül, 1990), the pressure and the pressure sensitivity spectra are computed up to $k = 2.5$ 1/m.

3.2.2.2. 48 – element model

In order to reduce the boundary element errors a new sphere model with 48 elements shown in Figure 3.8 was formed. Table 3.1 compares the frequency sensitivities of the field pressures at 6 m away from the centre of the sphere obtained from the new and previous models, with the theoretical solutions. It is observed that the BEM solution for the 48 – element – model gives slightly better results than the 24 – element – model, which can not be detected in the spectra in Figure 3.6. Therefore it may be said that 48 – element – model does not provide a recordable increase in the accuracy of the solutions and if there is such an objective a much more increase in the number of elements should be accomplished. However 24 – element – model is sufficient with regard to the general conformity of the BEM and theoretical spectra of the sensitivities as presented in Figure 3.6.

In order to reduce the truncation error, which is the difference between the analytical and numerical derivatives of a function depending on the step size, the frequency sensitivities of the previous field points were calculated by using 48 –

element – model and taking $\Delta k = 0.005 \text{ 1/m}$ as the step size. Table 3.2 compares the solutions of different step sizes with the theoretical results. The frequency sensitivities obtained by taking $\Delta k = 0.005$ are slightly more accurate. Therefore, it was concluded that $\Delta k = 0.01$ gives sensitivity information with sufficient accuracy and 0.01 was used as the step size in all applications throughout this thesis.

3.2.2.3. 12 – element model

A spherical source was coarsely discretized as shown in Figure 3.9 by using 12 quadrilateral elements in order to examine whether the sensitivity information reflects the actual sensitivity tendency for even very coarse models.

Figure 3.10 compares the real and imaginary parts of the BEM and theoretical results of pressures and pressure sensitivities of the field points, 6 m apart from the centre of the sphere, with respect to radius change. For these far field points, the pressures are in agreement with the theoretical results. Although the sensitivities may be seen to be less accurate they follow the general variation of the theoretical spectra. By examining the BEM spectra all maxima and minima of the sensitivities may be locally determined.

The comparisons for the field points located 2 m away from the centre of the sphere are shown in Figure 3.11. For these near field points, the pressures may be considered as inaccurate and the sensitivities are even more inaccurate. However this much inaccurate sensitivity information display the general tendency of the problem regionally.

Consequently, an approximate sensitivity information may be obtained easily and quickly even by a coarse discretization of the vibrating body.

3.3. Two Spherical Sources

As a second problem, two – dilating – spherical source for which no theoretical solution exists was examined. Each of the spheres was modelled by using 48 elements in order to determine the field under the effect of acoustic radiation and scattering more precisely. As shown in Figure 3.12 the distance between the centres of the spheres is 4 m, the radius of each sphere is $a = 1$ m and the normal surface velocity is $U_0 = 1$ m/s. The sensitivity of the acoustic pressure to the radius change were calculated at different field points located at 2 m away from each of the source centres. It was assumed that the surface velocity is not sensitive to the radius change ($\partial U_0 / \partial a = \{0,0\}$) and the radius change is approximated by the increment step size $\Delta a = 0.01$ m. In Figures 3.13 – 3.15, the pressures and their sensitivities for 3 different acoustic locations are illustrated.

In Figure 3.13 for Point 1 located between the two spherical sources, the positive values of the real part of the sensitivity in the wavenumber interval of $k = 0.1 - 0.75$ 1/m express the increment tendency of the real pressures. On the other hand, the negative sensitivity values for $k = 1 - 2$ imply the decrement tendency of the real pressures in this interval. After $k = 2$, negative pressures and negative sensitivities are obtained. This negative sensitivity information predicts a negative increment in the real pressures for $k = 2.25 - 2.5$. The maximum sensitivity is obtained at $k = 2.5$. For the imaginary sensitivities, considerable values are not obtained up to $k = 0.5$. The imaginary sensitivities predict the decrement tendency in imaginary pressures in the interval where $k = 0.5 - 0.75$. The negative sensitivity values in the interval of $k = 1 - 2.5$ predict a negative increment in the imaginary pressures. The maximum negative sensitivity occurs at the wavenumber of $k = 1$.

In Figure 3.14, for Point 2 located under and above the spherical sources, the real pressures and sensitivities are positive up to the wavenumber values of $k = 2.25$ 1/m. Although, the sensitivity information predicts the increment tendency of the real pressures in this interval, the considerable increments may only be expected in the wavenumber interval where $k = 1.25 - 2.25$. The negative pressure and sensitivity at

$k = 2.5$ imply a negative increment in the real pressure at this wavenumber. The maximum real sensitivity is obtained for $k = 1.75$. Imaginary pressures are not too much sensitive up to $k = 1.5$, however then they show continuously increasing negative increment tendency.

The pressure and pressure sensitivity spectra for Point 3 located on the left and right sides of the sources are presented in Figure 3.15. The real sensitivities have considerable values after the wavenumber $k = 1 \text{ 1/m}$ as shown in Figure 3.15. The real positive pressure sensitivities express the increment tendency of the real pressures in the wavenumber interval where $k = 1 - 1.75$, whereas a decrement tendency just over $k = 1.75$. The maximum sensitivity value is obtained at $k = 2.25$, although the pressure is very small in this wavenumber. The imaginary sensitivities show almost the same variation as those of Point 2, but higher values. The considerable sensitivities for $k = 0.75 - 1$ and $k = 2 - 2.5$ imply an increase in the positive and negative pressures respectively. When Figure 3.15 is compared with Figure 3.7, the sensitivity of the pressures at Point 3 shows a high similarity with that of the field points at the same distance from the single spherical source. This similarity may be explained as the Point 3 is a field point where the acoustic radiation by the nearest spherical source is dominated and the radiation and scattering effects of the other source is very slight. Therefore Point 3 behaves as a field point around a single spherical source. On the other hand, Point 3 is found to be the most sensitive one among the three points examined with regard to the effect of the radius increment on the acoustic pressures.

Furthermore, the pressure sensitivity information was verified by calculating the pressures at the same field points of the spherical sources with a radii of $a = 1.01 \text{ m}$. The results showed that the real and imaginary parts of the pressure sensitivities reflect the actual tendency in all of the spectra given in Figures 3.13 – 3.15.

In general, an increment tendency is obtained in the amplitudes of pressures in the whole range of wavenumbers. Since the pressures are very small in the regions

where the decrement tendency occurs, the amplitudes of the pressures are not affected by this tendency.



Table 3.1 The effect of number of elements on the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the frequency change for the dilating sphere ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta k = 0.01$ 1/m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial k = \{0, 0\}$).

$\partial p / \partial k$ (Real Part)			
Wavenumber (k)	Theory	BEM (24 elements)	BEM (48 elements)
0.50	-191.0807	-164.1728	-165.0196
0.75	-101.7332	-99.2365	-99.7625
1.00	220.8842	223.6412	222.7168
1.25	199.9501	194.6148	195.2269
1.50	-156.7965	-175.3326	-173.9732
1.75	-289.2747	-297.9266	-297.0325
2.00	16.4044	35.5925	33.5634

$\partial p / \partial k$ (Imaginary Part)			
Wavenumber (k)	Theory	BEM (24 elements)	BEM (48 elements)
0.50	-71.4435	-74.0404	-73.6625
0.75	217.9074	208.0301	208.7061
1.00	147.3980	141.2517	141.8850
1.25	-200.1458	-212.2772	-211.7152
1.50	-250.1189	-249.8390	-250.0191
1.75	93.8383	115.1924	113.2154
2.00	310.2902	331.0596	328.2555

Table 3.2 The effect of step size on the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the frequency change for the 48 - element - dilating - sphere model ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial k = \{0,0\}$).

$\partial p / \partial k$ (Real Part)			
Wavenumber (k)	Theory	BEM ($\Delta k = 0.01$)	BEM ($\Delta k = 0.005$)
0.50	-191.0807	-165.0196	-166.5962
0.75	-101.7332	-99.7625	-100.0124
1.00	220.8842	222.7168	222.2265
1.25	199.9501	195.2269	196.8751
1.50	-156.7965	-173.9732	-171.8362
1.75	-289.2747	-297.0325	-295.8035
2.00	16.4044	33.5634	31.9602

$\partial p / \partial k$ (Imaginary Part)			
Wavenumber (k)	Theory	BEM ($\Delta k = 0.01$)	BEM ($\Delta k = 0.005$)
0.50	-71.4435	-73.6625	-73.0125
0.75	217.9074	208.7061	209.1258
1.00	147.3980	141.8850	142.2845
1.25	-200.1458	-211.7152	-211.2130
1.50	-250.1189	-250.0191	-250.0452
1.75	93.8383	113.2154	112.6146
2.00	310.2902	328.2555	326.7042

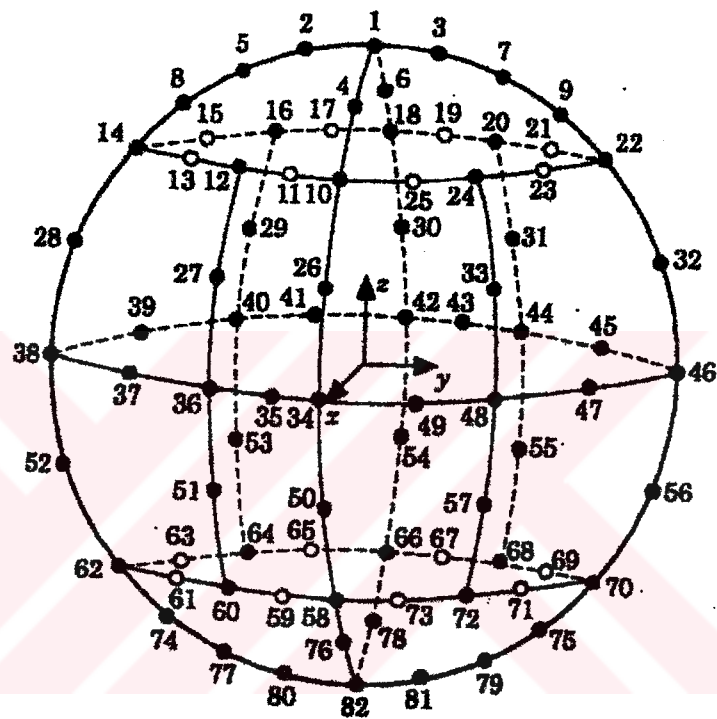


Figure 3.1 The boundary element discretization of a sphere with 24 elements (Sarigül, 1990)

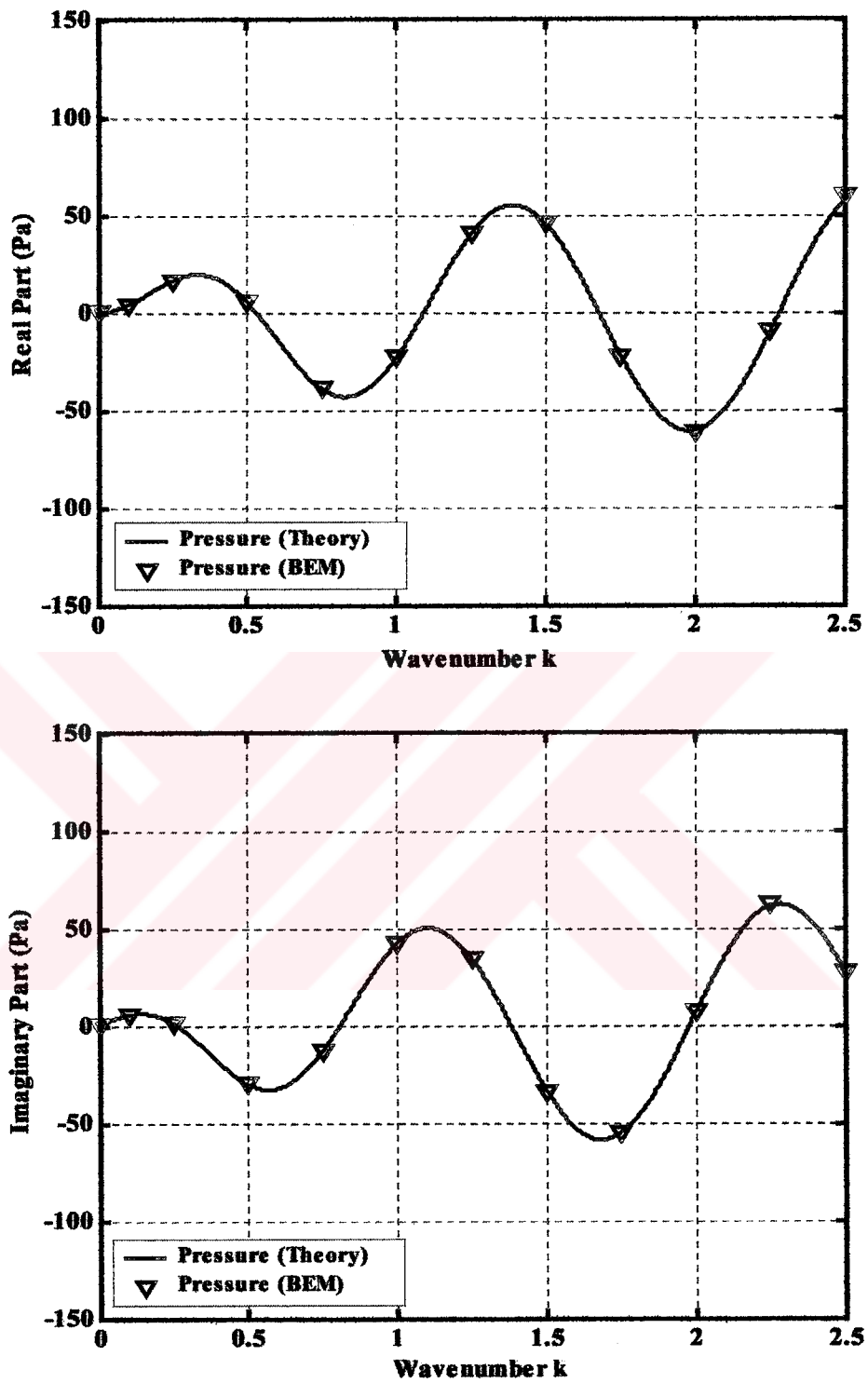


Figure 3.2 Real and imaginary parts of the acoustic pressure of a field point located at 6m away from the centre of the dilating sphere with a radius of 1m.

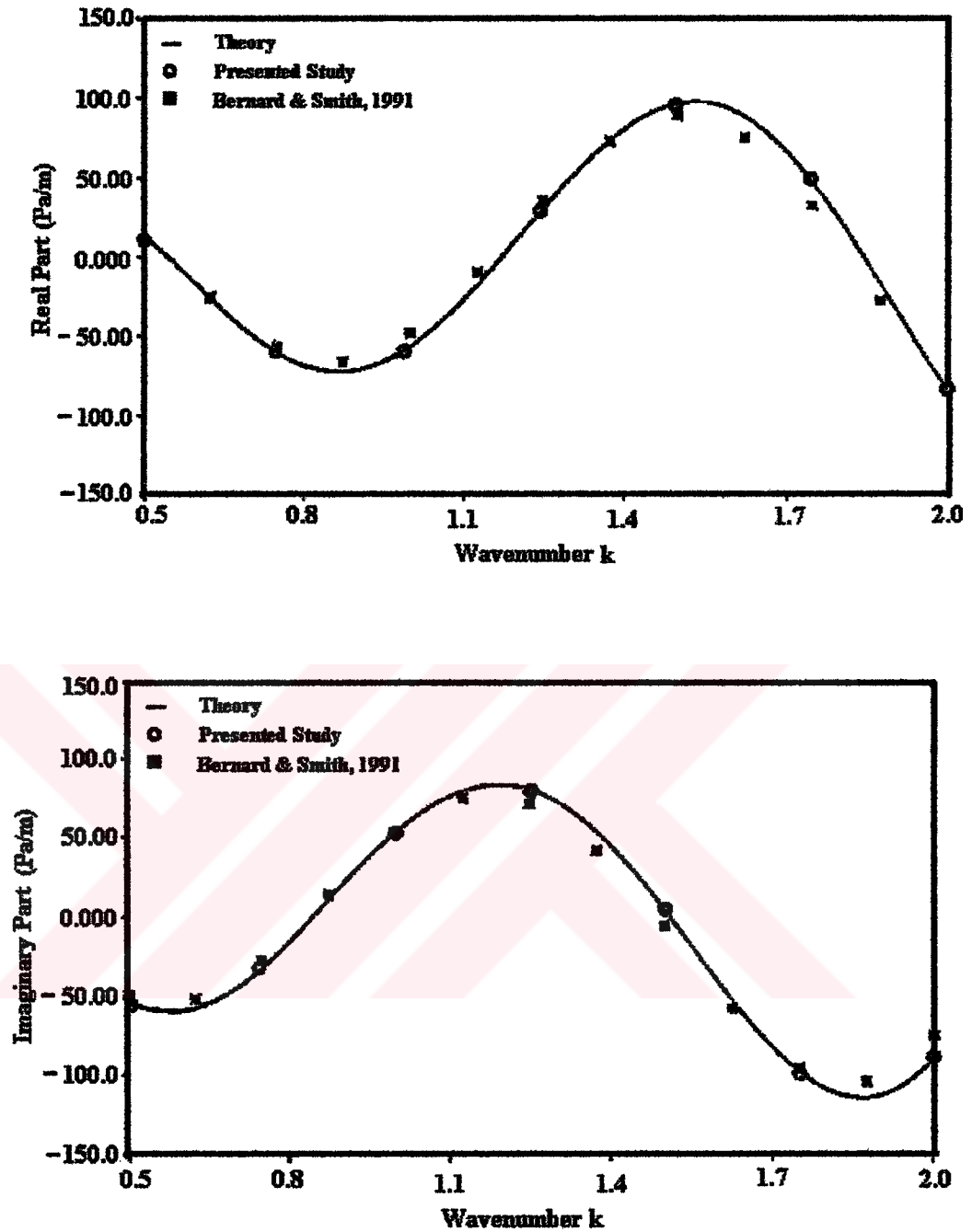


Figure 3.3 Real and imaginary parts of the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$ for the 24 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta a = 0.01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0, 0\}$).

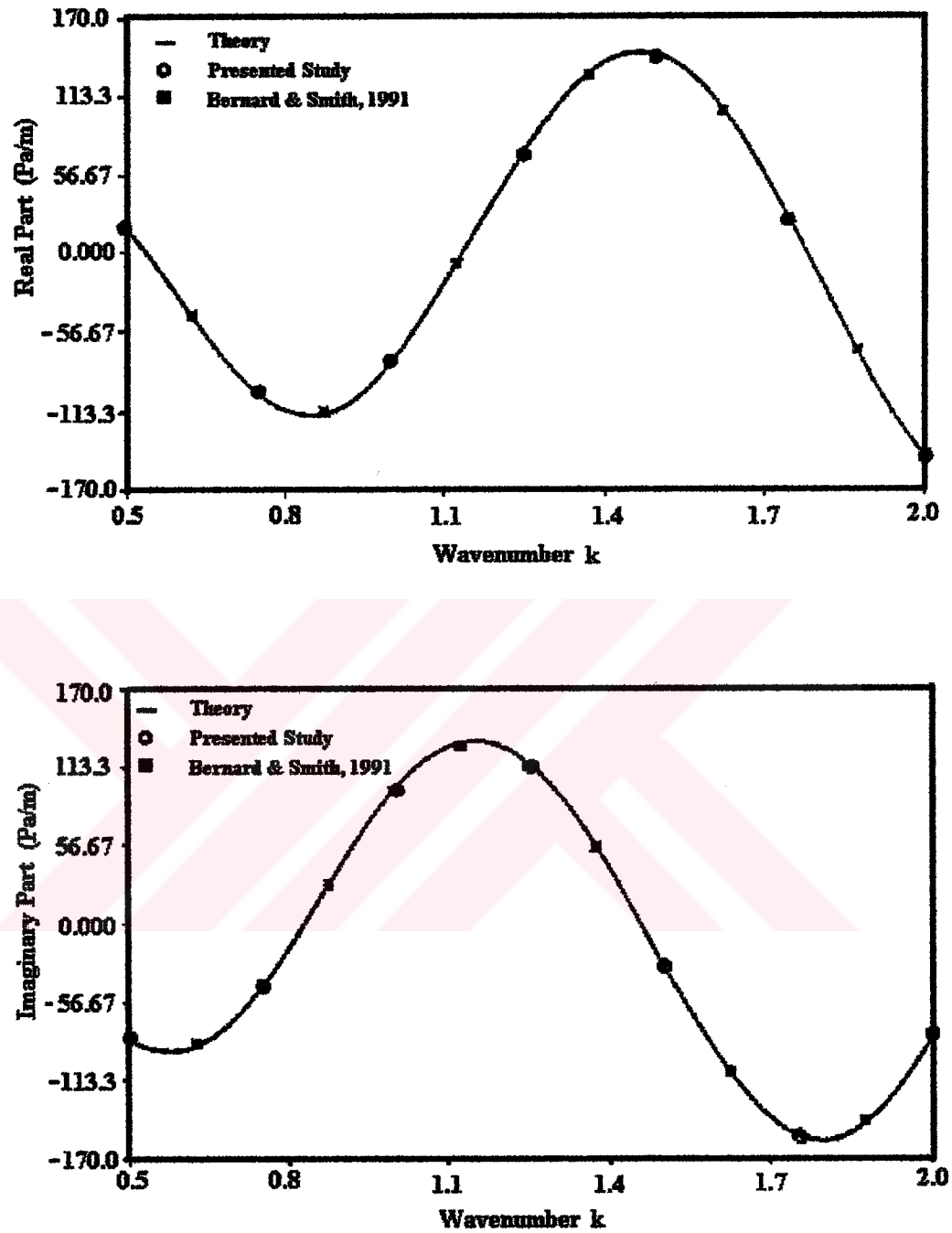


Figure 3.4 Real and imaginary parts of the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$ for the 24 – element – dilating sphere model with surface velocity sensitivity ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta a = 0.01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{1, 0\}$).

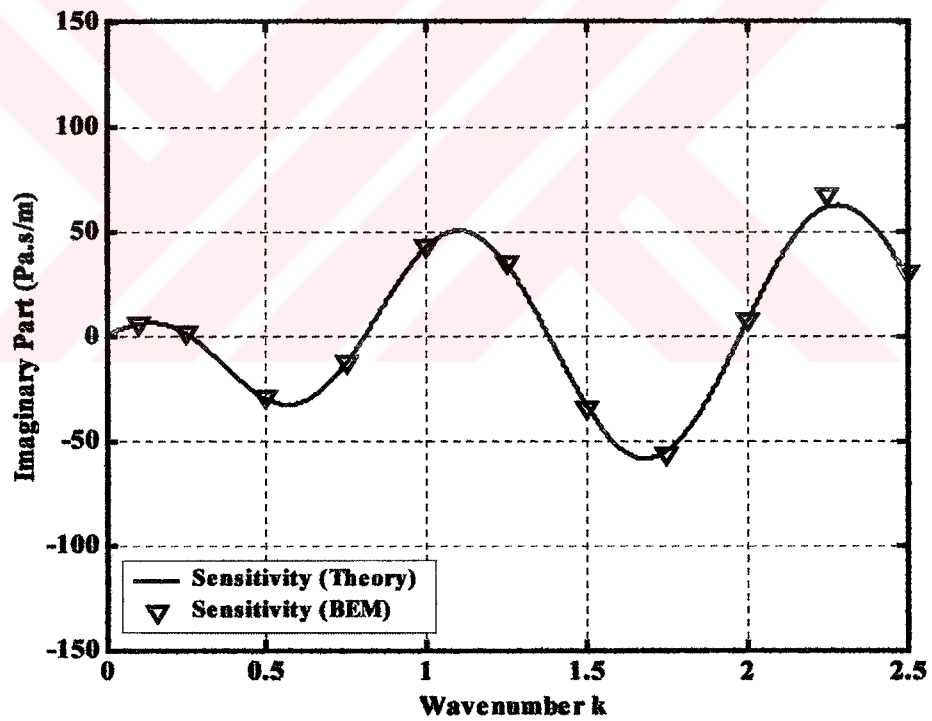
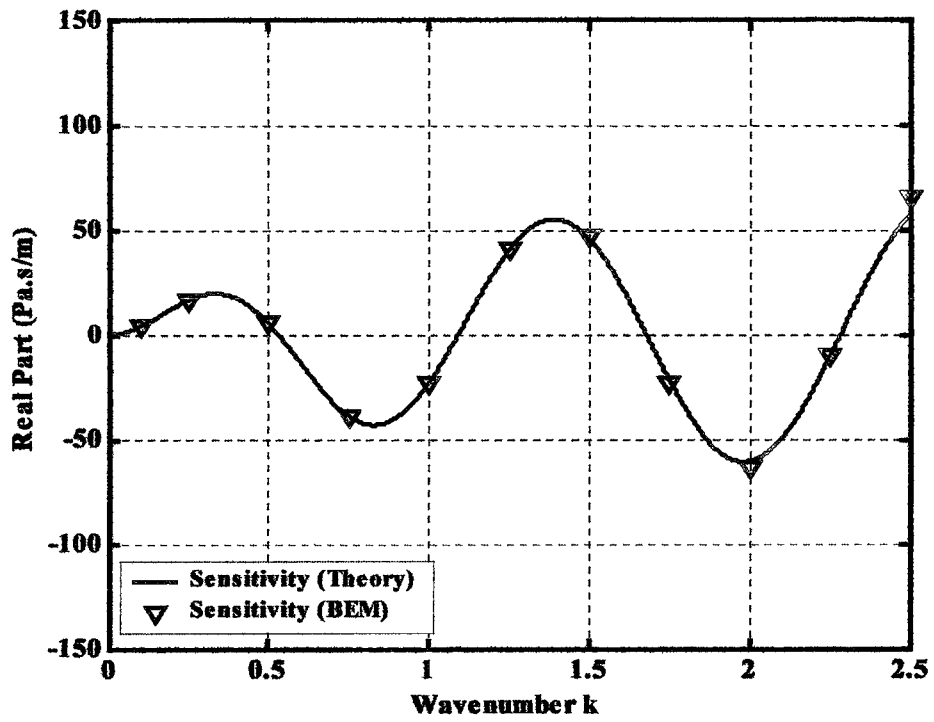


Figure 3.5 Real and imaginary parts of the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the normal velocity change $\partial p / \partial U_0$ for the 24 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial U_0 = \{1, 0\}$).

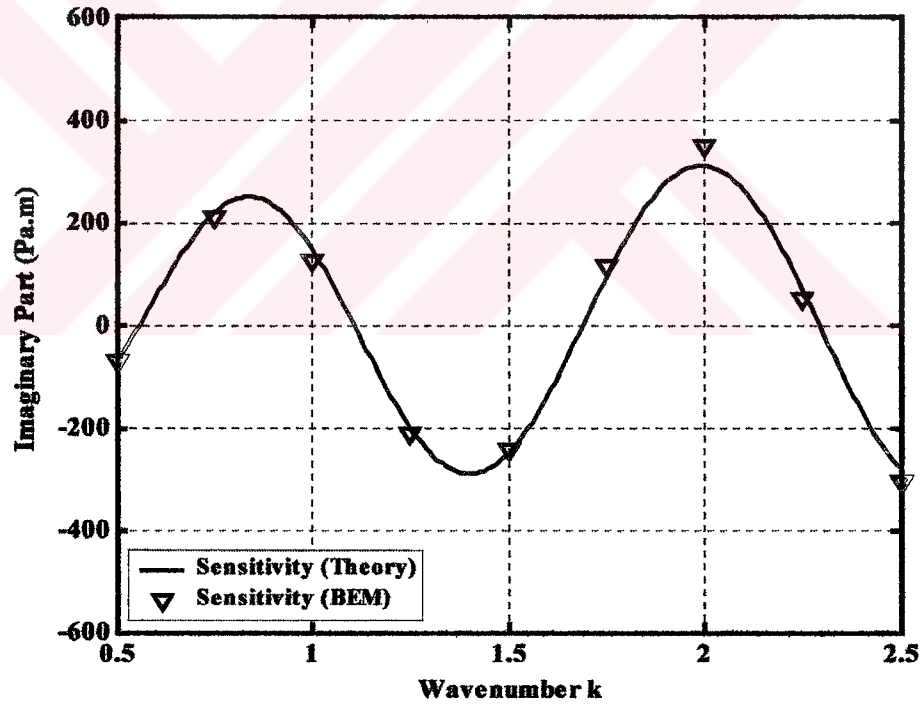
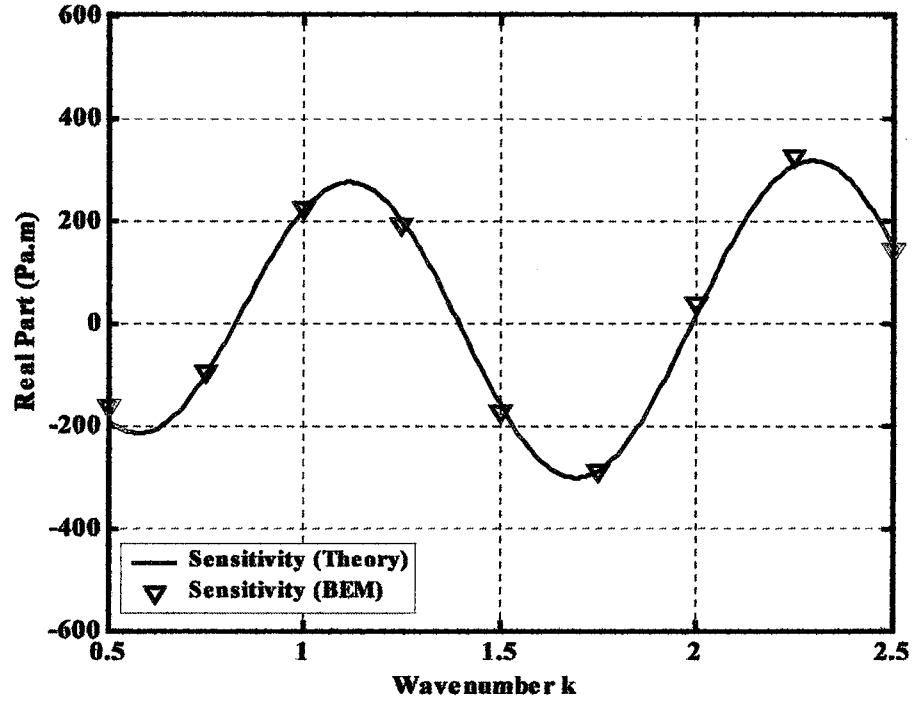


Figure 3.6 Real and imaginary parts of the sensitivity of the acoustic field pressure with respect to the frequency change $\partial p / \partial k$ for the 24 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta k = 0.01$ 1/m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial k = \{0,0\}$).

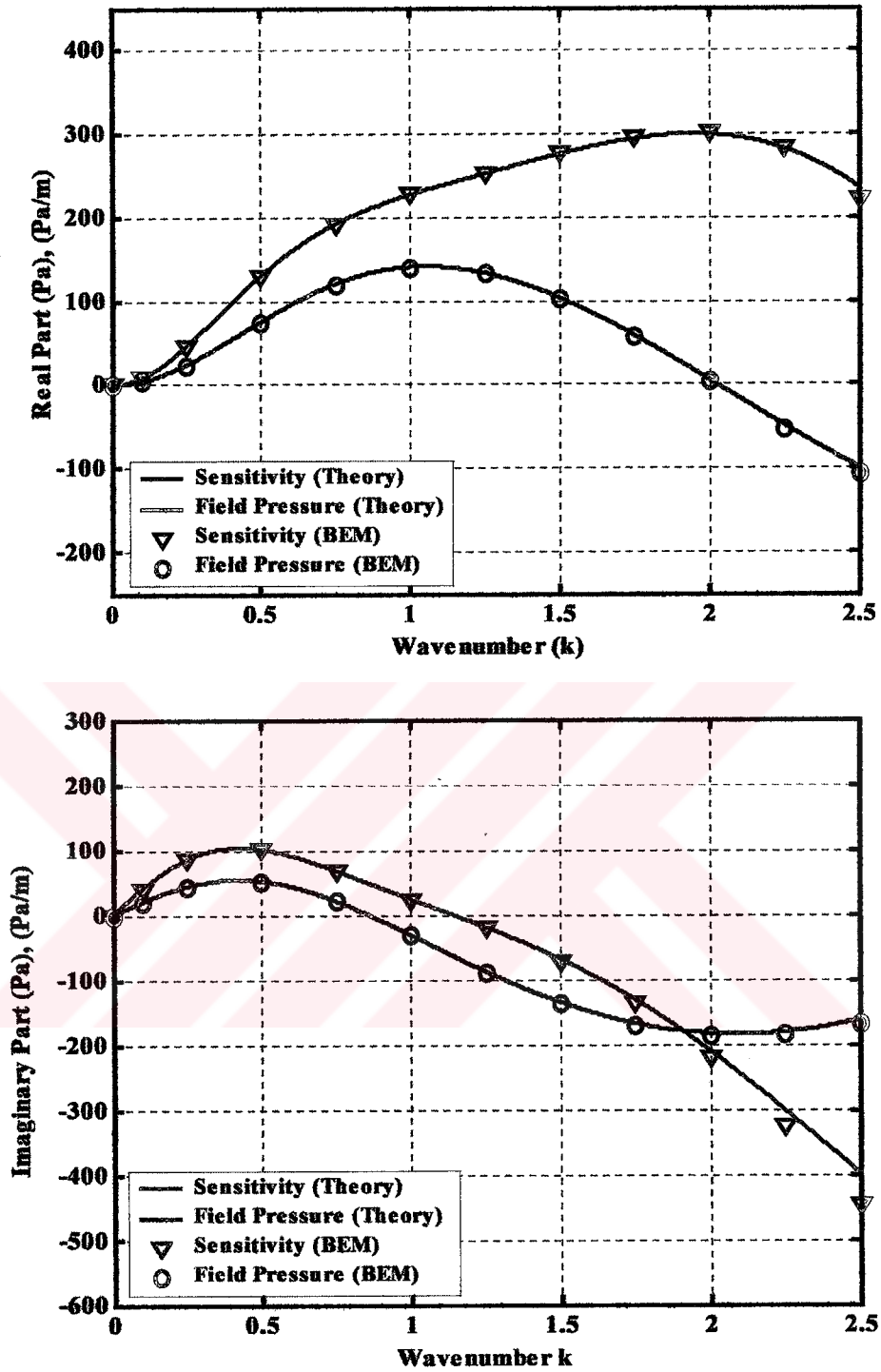


Figure 3.7 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$ for the 24 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 2$ m; $\Delta a = 0.01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0, 0\}$).

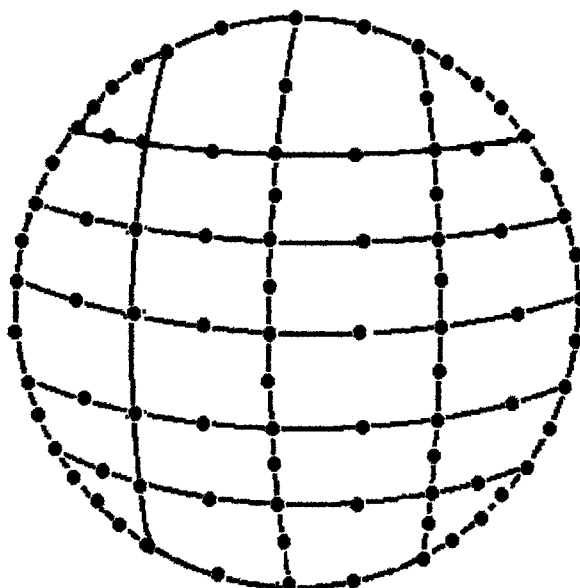


Figure 3.8 The boundary element discretization of a sphere with 48 elements.

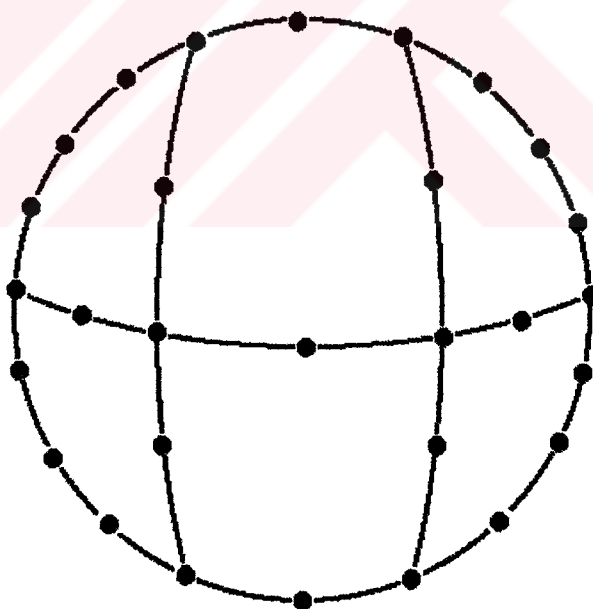


Figure 3.9 The boundary element discretization of a sphere with 12 elements.

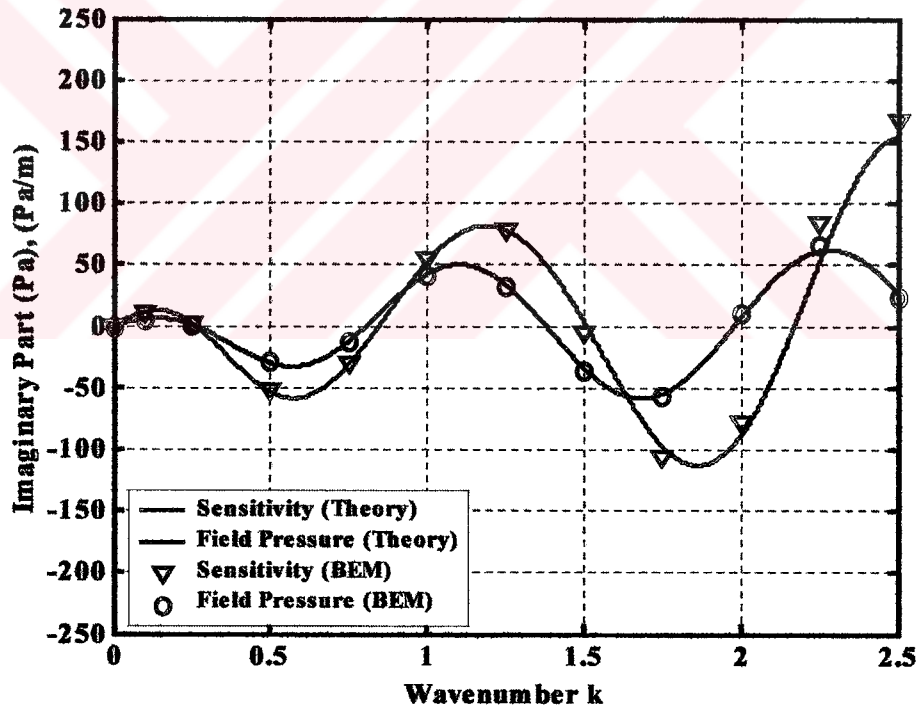
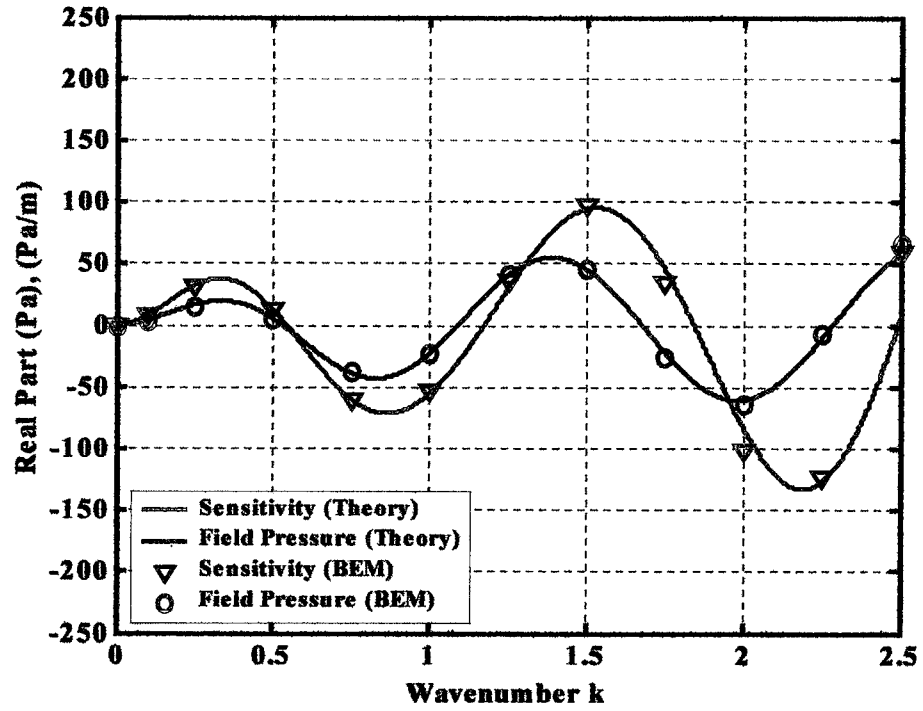


Figure 3.10 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$ for the 12 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 6$ m; $\Delta a = 0.01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0, 0\}$).

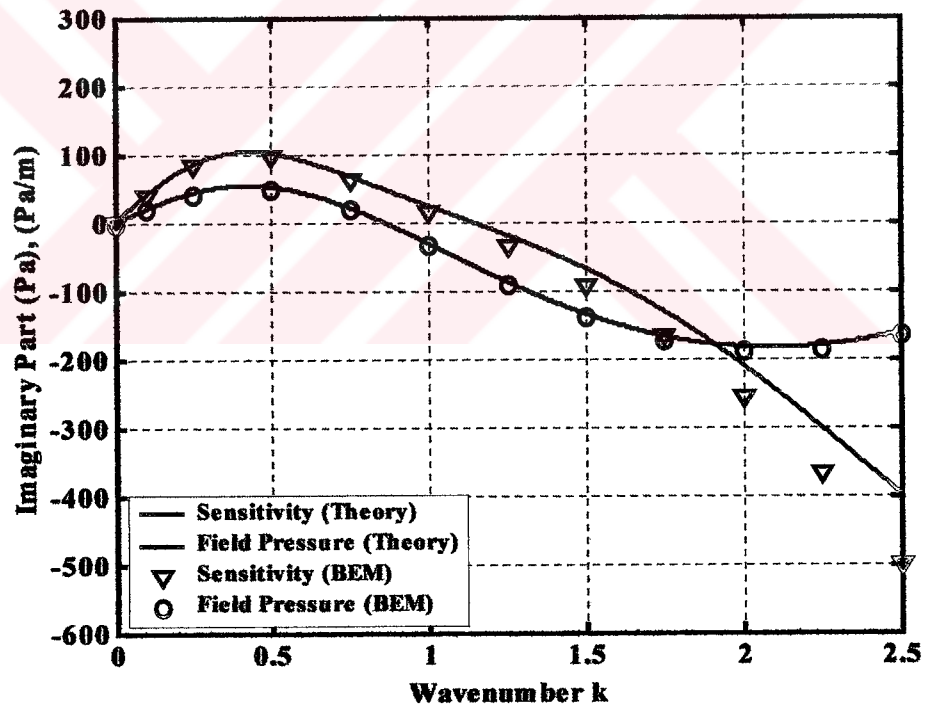
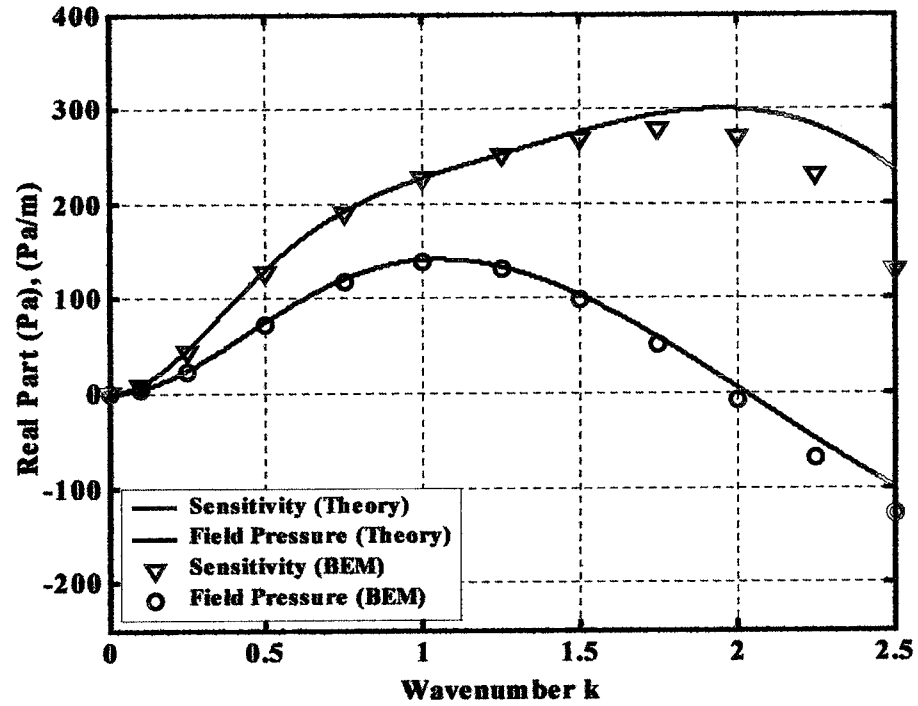


Figure 3.11 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$, for the 12 – element – dilating sphere model ($a = 1$ m; $r = 2$ m; $\Delta a = 0.01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0, 0\}$).

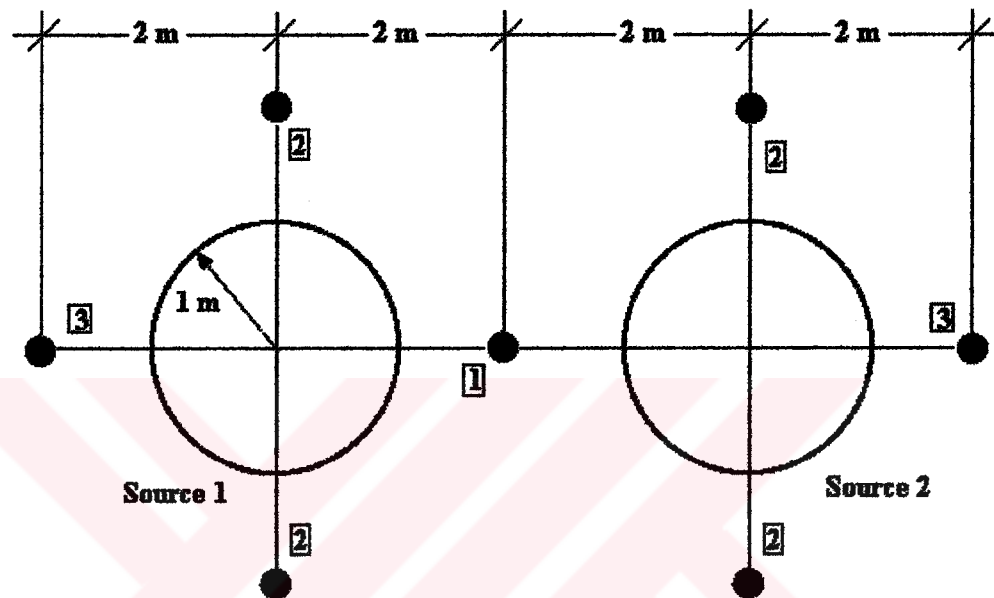


Figure 3.12 The schematic form of the two – dilating – spherical source and locations of the field points.

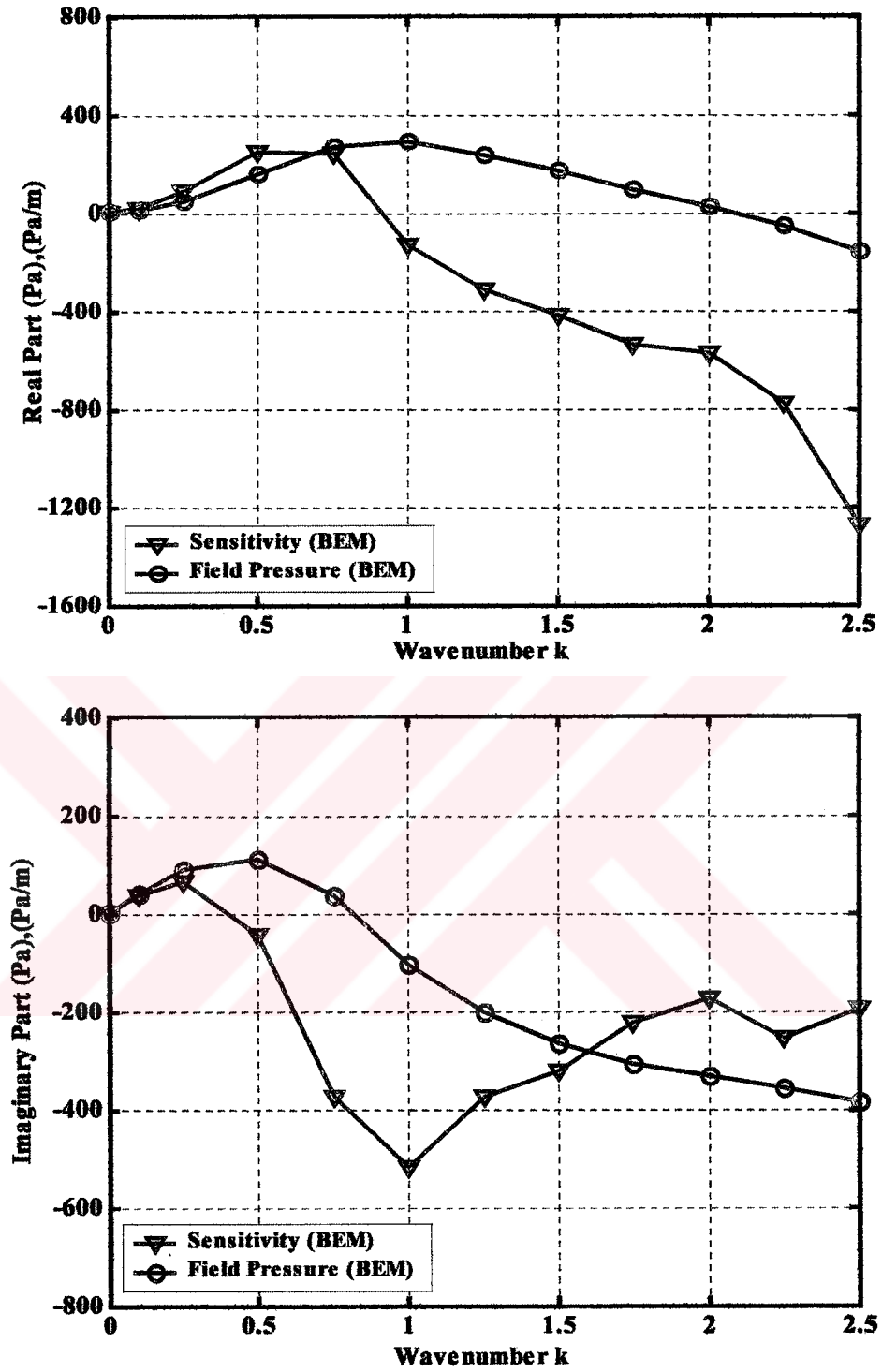


Figure 3.13 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$, at Point 1 of the two – dilating – sphere model.

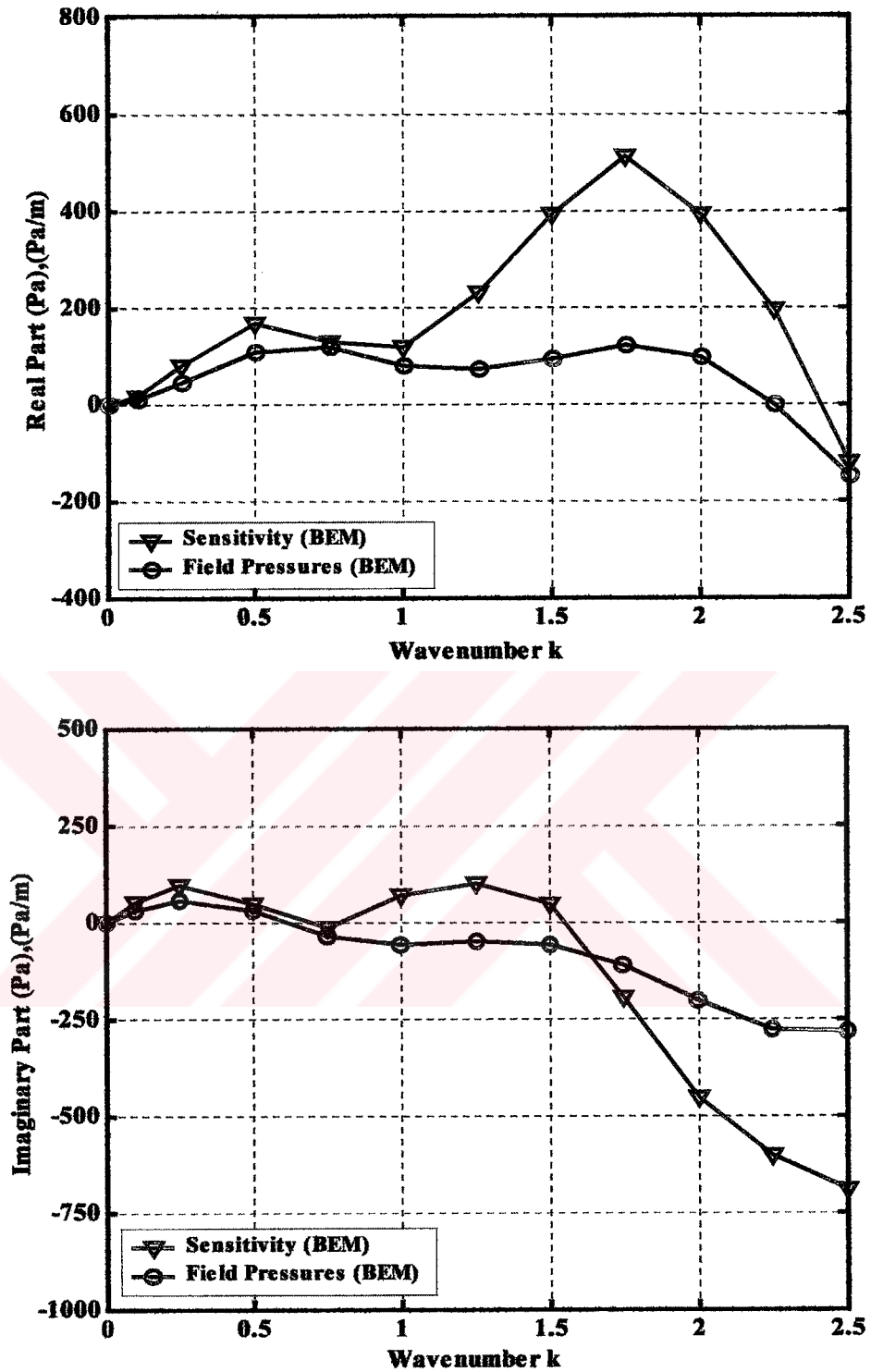


Figure 3.14 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$, at Point 2 of the two – dilating – sphere model.

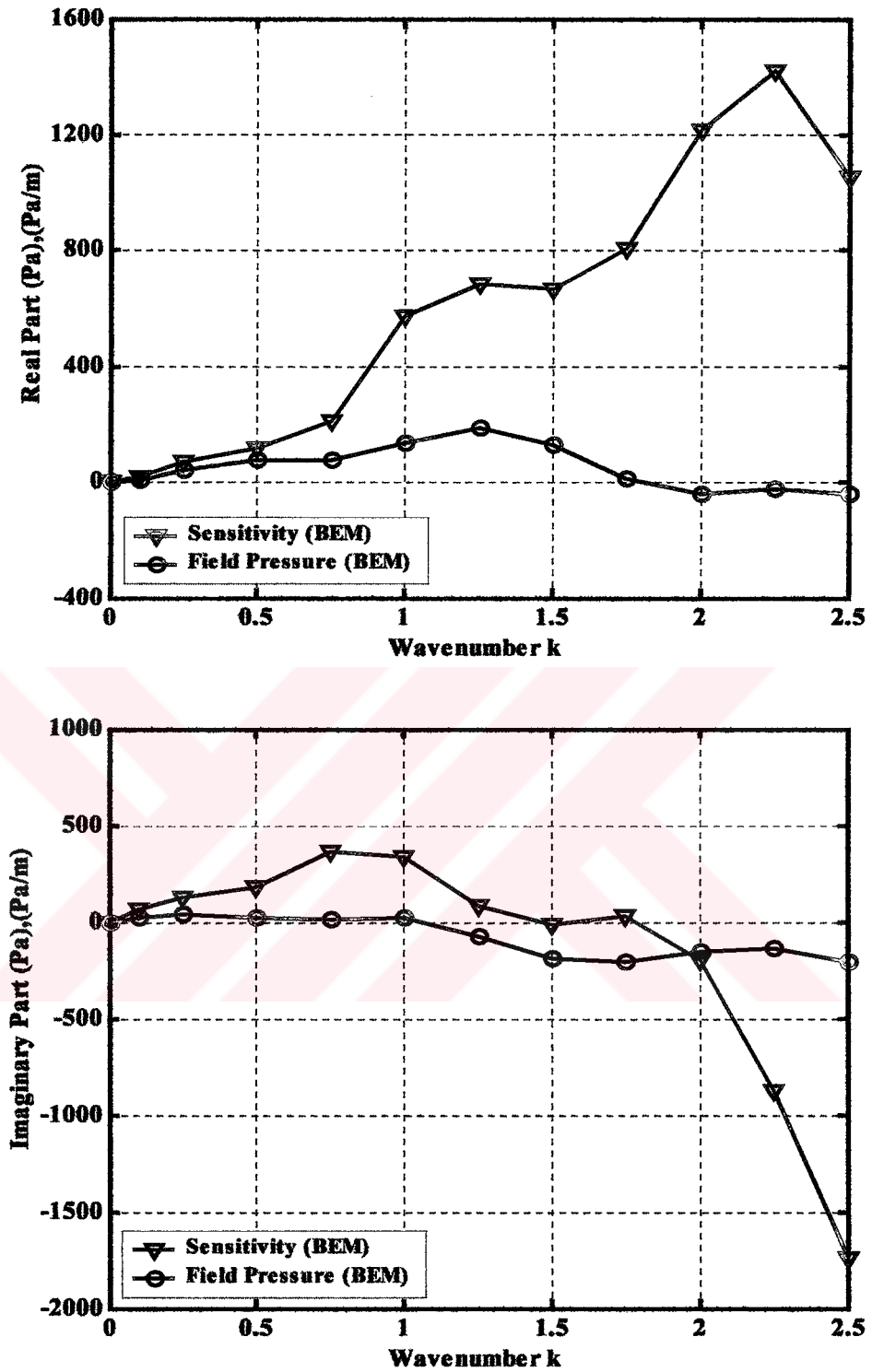


Figure 3.15 Real and imaginary parts of the acoustic field pressure and the sensitivity of the pressure with respect to the radius change $\partial p / \partial a$, at Point 3 of the two – dilating – sphere model.

CHAPTER FOUR

NUMERICAL RESULTS - 2

ACOUSTIC SENSITIVITY ANALYSIS OF A WASHING MACHINE

4.1. Introduction

In this study, a washing machine, for which the surface velocity data was available, was considered as a practical application of the acoustic sensitivity analysis. The machine sits on the floor without any wall nearby, constituting the “half-space contact” case. For this analysis, the former VB code calculating acoustic pressures in half-space contact case (Avsar, 2000) was rewritten and developed as to include sensitivity analysis algorithm, in C programming language. Therefore some new procedures were added to the code used in the previous chapter. In order to verify the new computer code, a hemispherical source sitting on a rigid infinite plane was examined. The field pressure sensitivities of the hemisphere with respect to the radius change were obtained and compared with those of the sphere in the full space in order to reveal the reliability of the half – space algorithm. Then, the pressures and the sizing and frequency sensitivities of the pressures at different field points of the washing machine were calculated and examined through operational speed spectra.

4.2. Half – Space Contact Formulation

For a vibrating body with a surface S_0 near a rigid infinite plane S_p (Figure 4.1), Helmholtz integral in Equation (2.25) may be written in closed form as,

$$C(P)p(P) = \int_{S_0} \left(p \frac{\partial v_H}{\partial n} - v_H \frac{\partial p}{\partial n} \right) dS \quad (4.1)$$

where v_H represents the half – space Green's function (Seybert & Soenarko, 1988),

$$v_H = \frac{e^{-ikR}}{R} + \frac{e^{-ikR'}}{R'} \quad (4.2)$$

which is formed by adding to the usual free – space Green's function in Equation (2.6) a second term due to an image point P' behind the plane (Figure 4.1). $R'(P', Q)$ is the distance from point Q on S_0 or S_p to point P' . The coefficient $C(P)$ is identical to that in Equation (2.21).

Half – space contact condition is a special case of the half – space problems. As shown in Figure 4.2, the boundary S_c is in contact with S_p and S_0 is exposed to the acoustic medium. In this case, the coefficient $C(P)$ in Equation (4.1) is given with the following two conditions (Seybert & Wu, 1989):

1. If point P is on S_0 but not in contact with S_p ,

$$C(P) = 4\pi + \int_{S_0+S_c} \frac{\partial(1/R)}{\partial n} dS \quad (4.3)$$

as in Equation (2.21).

2. If point P is not only on S_0 but also in contact with S_p

$$C(P) = 4\pi + 2 \int_{S_0+S_c} \frac{\partial(1/R)}{\partial n} dS . \quad (4.4)$$

S_c does not contribute to any part of the Helmholtz integral in Equation (4.1). The elements on S_c are called as “dummy elements”. The dummy elements are used only for integrating Equations (4.3) and (4.4), but there is no acoustic variable associated with these elements. Dummy elements are used for the inclusion of edge and corner effects and taken into consideration only on the evaluation of $C(P)$.

A computer code calculating the surface and field pressures of vibrating bodies in the half space – contact condition formulated by (Seybert & Wu, 1989), had been written by (Avsar, 2000) in VB programming language. In this study, this code was rewritten in C programming language under UNIX and adopted to the present sensitivity code.

4.3. Hemispherical Source in a Half Space

In this section, a hemispherical source vibrating with a uniform radial velocity is used to verify the validity of the new code which enables to obtain the sensitivity information for the half-space contact case. The boundary element discretization of the hemispherical source with 54 nodes in the half-space is shown in Figure 4.3. This model is formed by taking one - half of the sphere model in Figure 3.1. A hemisphere sitting on a rigid infinite plane is analogous to a sphere in the full space (Figure 4.4). The bottom surface of the hemisphere is not a part of the acoustic boundary. This hemisphere has 4 dummy elements among 16 elements and 5 dummy nodes among 54 nodes.

The field pressure sensitivities of the hemispherical source with respect to the design parameters (radius, normal surface velocity and frequency) were obtained for the half-space contact case and compared with the numerical results of the spherical source in full space which had been analytically verified. The calculations were performed for the following three conditions:

1. $\partial p / \partial a$ for $a = 1 \text{ m}; r = 2 \text{ m}; \Delta a = 0.01 \text{ m}$; $U_0 = 1 \text{ m/s}; \partial U_0 / \partial a = \{0,0\}$,
2. $\partial p / \partial U_0$ for $a = 1 \text{ m}; r = 2 \text{ m}$; $U_0 = 1 \text{ m/s}; \partial U_0 / \partial U_0 = \{1,0\}$,
3. $\partial p / \partial k$ for $a = 1 \text{ m}; r = 2 \text{ m}; \Delta k = 0.01 \text{ 1/m}$; $U_0 = 1 \text{ m/s}; \partial U_0 / \partial k = \{0,0\}$.

Tables 4.1 – 4.3 show the results of these calculations for different wavenumbers and the agreement between the half and full space cases. According to these results, it may be said that the present computer code can also be used reliably for the acoustic sensitivity analysis of the vibrating bodies in half space.

4.4. Acoustic Sensitivity Analysis of a Washing Machine

4.4.1. Problem Description

The problem is the sensitivity information of the acoustic pressures at various field locations with respect to the size and the frequency of the washing machine in Sound and Vibration Laboratory. This problem constitutes an application of the half – space contact case as shown in Figure 4.5.

The determination of the pressures and pressure sensitivities requires the surface velocities and velocity sensitivities to be prescribed. In this analysis the surface velocity data of the washing machine measured by Avşar at the squeezing speed of 800 rpm. were used and some assumptions were made with regard to the velocity sensitivities.

4.4.2. Model Description

The washing machine has dimensions of 595 mm × 570 mm × 840 mm and has symmetry with respect to the central x-z plane as shown in Figure 4.5. In this study the boundary element discretization performed by Avşar was used. This model shown in Figure 4.6 consists of 190 quadrilateral isoparametric elements and 572 nodes. Each of the side surfaces has 35 elements whereas each of the top and bottom surfaces has 25 elements.

4.4.3. Design Sensitivity Analysis

The sensitivity information of the washing machine was obtained by using two different design parameters. The first one is the size and the second one is the operating frequency of the washing machine.

4.4.3.1. Size sensitivity

The objective of this analysis is to obtain the information that how the increment in the dimensions of the machine affects the acoustic field pressure. It was assumed that all of the dimensions of the machine change in the same degree and normal surface velocity of the machine is not affected by the dimensional changes, i.e. $\partial u_n / \partial a = \{0,0\}$. The solution of the size sensitivity was obtained by using $\Delta a = 0.01$ m as the step size. Although, the rotational speed of the machine has a maximum of 800 rpm, the computations for various field points were performed in the rotational speed range of 0 – 2500 rpm for a theoretical analysis of sensitivity spectra.

18 field points were chosen at the front and right sides of the machine, since the surface velocities on these directions have relatively higher values compared to the back side. The co – ordinates of the field points, which were located on two different horizontal planes, are presented in Appendix 1. The first plane passes through the centre of the machine and the second plane passes through below the centre, positioned at about $\frac{1}{4}$ of the height of the machine.

Acoustic pressures computed for the Field Points FP1 – FP18 are presented in Figures 4.7.a-b-c – 4.12 a-b-c, respectively. Figures 4.13.a-b-c – 4.18.a-b-c show the acoustic pressure sensitivities of these field points with respect to the size changes. Examining each pressure sensitivity Figure with its corresponding pressure Figure, it is observed that the sensitivities represent the same behavior with the acoustic pressures. Therefore, an upward tendency is predicted in both of the real and imaginary pressures for all of the 18 field points. Consequently, it may be stated that

an incremental change in the size of the washing machine causes increase in the acoustic field pressures at all of the rotational speeds.

Figure 4.13.a shows the real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity of the Field Point 1 (FP1) on the central horizontal plane and at a distance of 0.05 m from the front surface, with respect to the size of the machine. Figures 4.13.b, 4.13.c show the field pressure sensitivities of FP2 and FP3 on the same plane and at distances of 0.1 m and 0.5 m from the front surface, respectively. Considering Figures 4.13.a, 4.13.b and 4.13.c together, it may be said that imaginary pressure sensitivities decrease as getting farther from the machine. This tendency can clearly be observed by the transition from 0.1 m to 0.5 m, whereas a slight increase is obtained for the real sensitivities.

Figures 4.14.a, 4.14.b and 4.14.c illustrate the sensitivities of FP4, FP5 and FP6 on the lower horizontal plane at distances of 0.05 m, 0.1 m, 0.5 m from the front surface of the machine. These spectra show the same trend with Figures 4.13.a, 4.13.b and 4.13.c, respectively, but the decrease in the imaginary sensitivities as getting farther from the machine is more evident in these figures. Comparing Figure 4.14.a with 4.13.a, Figure 4.14.b with 4.13.b and Figure 4.14.c with 4.13.c, it is observed that a considerable increase in the imaginary sensitivities is obtained toward the floor while real sensitivities are almost at the same level.

The acoustic sensitivities of the Field Points FP7, FP8 and FP9 on the central horizontal plane at distances of 0.05 m, 0.1 m, 0.5 m from the side surface are shown in Figures 4.15.a, 4.15.b and 4.15.c, respectively, where the same pattern is observed as in the previous figures.

In all of these spectra for the very near field points both the real and imaginary parts of the size sensitivity continuously increase up to 2500 rpm. However, the increment tendency of the imaginary parts is dominant compared to that of the real parts as in the case of pressures. The field pressures on the lower horizontal plane are

found to be more sensitive to the size changes of the machine, compared to the pressures on the front and side central planes.

Figures 4.16.a, 4.16.b and 4.16.c demonstrate the pressure sensitivities of the field points FP10, FP11, FP12 on the central horizontal plane and at distances of 1m, 2m, 2.5m from the front surface. For the acoustic pressure sensitivity of the Field Point FP10, the real parts of the sensitivity become higher than the imaginary parts over 2200 rpm as shown in Figure 4.16.a. The imaginary part of the sensitivity reaches its maximum at about 2100 rpm and preserves this value up to 2500 rpm. In Figure 4.16.b, the increase in the real sensitivity and the decrease in the imaginary sensitivity toward higher rotational speeds become more evident. As the real sensitivities continuously increase up to 2500 rpm, the maximum of the imaginary sensitivities is observed at the rotational speeds of 1000 – 1500 rpm. In Figure 4.16.c, the real sensitivities have a maximum value at 2400 rpm. The maximum value of the imaginary sensitivities shift to lower rotational speeds and occurs at the actual operational speeds of the washing machine.

In Figures 4.17.a, 4.17.b and 4.17.c acoustic pressure sensitivities of the field points FP13, FP14, FP15 located on the lower horizontal plane show similar sensitivity characteristics with the points FP10, FP11, FP12 on the central horizontal plane respectively. Also, the acoustic pressure sensitivity values are almost the same.

Figures 4.18.a, 4.18.b and 4.18.c demonstrate the acoustic sensitivities of field points FP16, FP17, FP18 on the side central horizontal plane. These points also have the same sensitivity characteristics with the points located on the central and lower horizontal planes, at the same distances. However, the field pressures in this region are obtained less sensitive compared to those of the field points located on the front side at the same distances.

If this analysis would continue to include the higher operational speeds and more distant field points a decrement tendency in all real sensitivities could be obtained. However such an analysis would diverge more from the actual practice.

4.4.3.2. Frequency sensitivity

In this analysis the operating frequency of the washing machine was chosen as the design parameter. This analysis is performed by obtaining the partial derivative of the design objective function with respect to the wavenumber. Since there is a linear relationship between the wavenumber and frequency, the analysis is named as “frequency sensitivity” in the literature (Bernhard & Smith, 1991). On the other hand, the sensitivity spectra of the washing machine are presented in rotational speeds (rpm) to be in agreement with the unit of practice. Assuming that the surface velocities have a linear relationship with the operating speed (and also with the wavenumber), the velocities for the other rotational speeds were calculated correspondingly in the following manner:

$$\{u_n\} = \{A\}k, \quad (4.5)$$

where the vector $\{u_n\}$ represents the surface velocities calculated at the wavenumber k . The vector $\{A\}$ is found as

$$\{A\} = \frac{\{u_n\}_m}{0.2464} \quad (\text{m/s})(\text{m}), \quad (4.6)$$

where the vector $\{u_n\}_m$ represents the measured velocities at $k = 0.2464 \text{ 1/m}$ corresponding to the squeezing speed of 800 rpm for $c = 340 \text{ m/s}$. Therefore $\{A\}$ is a constant vector representing the sensitivity of the surface velocity to the frequency change:

$$\left\{ \frac{\partial u_n}{\partial k} \right\} = \{A, 0\} \quad (\text{m/s})(\text{m}) \quad (4.7)$$

Acoustic pressure sensitivities with respect to the frequency change were obtained for 15 of the field locations used in size sensitivity. The variation of the frequency

sensitivity for 13 field points with the rotational speed of the washing machine are presented in Figures 4.19.a-b-c – 4.23.a-b.

Figures 4.19.a, 4.19.b and 4.19.c show an increment tendency for both of the real and imaginary pressures of the Field Points FP1, FP2, FP3 on the central horizontal plane, because of the positive pressures at these points. The real and imaginary sensitivities of very near fields given in Figures 4.19.a and 4.19.b continuously increase with the rotational speed. While no changes are observed in the real sensitivities at the transition from 0.05 m to 0.1 m, a decrease is obtained in the imaginary parts. A slight decrease in the real sensitivities comes out at the transition to 0.5 m however the increase with the rotational speed continues. Imaginary sensitivities decrease over 1500 – 2000 rpm at which maximum values occur.

In Figures 4.20.a, 4.20.b and 4.20.c for points FP4, FP5 and FP6, an increment tendency may be predicted since the sensitivities and the corresponding pressures are positive. The sensitivity spectra for these points on the lower horizontal plane show the same variation as those for the points on the central horizontal plane however higher values particularly in imaginary parts.

Figures 4.21.a, 4.21.b and 4.21.c show the frequency sensitivities of Field Points FP7, FP8 and FP9 located on the side central horizontal plane. These spectra also indicate the increase in pressures with respect to the increase in frequency. However it is observed that the pressure sensitivities of these points are less than the points on the front side of the machine.

In Figures 4.22.a and 4.22.b which show the sensitivities of Field Points FP10 and FP11, an increase tendency is obtained in the real pressures at the whole range of the rotational speed. In Figure 4.22.a, the positive imaginary sensitivity values predict an increment tendency in the imaginary pressures up to 2200 - rpm for FP10. The negative imaginary sensitivity values at the rotational speed interval of 2200 – 2500 rpm predict the decrease in the positive pressures of FP10. In Figure 4.22.b For FP11, the small sensitivity values up to the rotational speed 1200 rpm imply a slight

increase in imaginary pressures. A decrement tendency is observed in positive imaginary pressures after 1300 rpm up to 2300 rpm, whereas, an increment tendency is obtained in negative pressures over 2300 rpm. For FP11, Maximum real sensitivity values come out at about the speed interval of 1900 – 2000 rpm. Maximum positive imaginary values are obtained at about 600 – 800 rpm, in the operating speed interval of the machine. However they are rather small compared to the negative imaginary sensitivities at higher rotational speeds.

The computations show that the pressure sensitivities for the Field Points FP13 and FP14 located on the lower horizontal plane have almost the same values and behaviour with those for FP10 and FP11 and therefore have not presented.

In Figure 4.23.a and 4.23.b, the sensitivities of the side points FP16 and FP17 show the same characteristics with those of the front points. However, the real sensitivity values of FP16 and FP17 are smaller whereas a slight difference is observed in the imaginary parts. On the other hand, considering the sign of the pressures at these points, the increase up to 2000 rpm and the decrease tendencies over this rotational speed are obtained in the imaginary pressures for FP16. In Figure 4.23.b, a slight upward tendency is observed in the imaginary pressures up to 1100 rpm. After 1200 rpm a decrement tendency occurs up to 2200 rpm. The negative imaginary sensitivity values over 2200 rpm imply the increase of the negative pressure values in this region.

4.4.4. General Results

The acoustic sensitivity analysis with respect to increment in the dimensions and the operating frequency of the washing machine puts forward the following general results for the field points considered:

1. Very near field pressures at the lower plane are more sensitive to dimension and frequency changes compared to the pressures at central planes.

2. Field pressures at the side plane, where the surface velocities are relatively lower, are less sensitive to dimension and frequency changes compared to the pressures at the front planes.
3. The imaginary sensitivities are more dominant than the real sensitivities at the very near fields. This characteristic is more dominant especially for the size sensitivity.
4. The real sensitivities become more effective toward the farther field points and toward the higher rotational speeds.
5. Both of the real and imaginary sensitivities are positive in the whole rotational speed range at the very near field.
6. The negative imaginary sensitivities are observed above the operating speeds, toward the further field points. This tendency shifts toward the lower rotational speeds as going away from the surface.
7. In the size sensitivity analysis, the increase both in the negative and positive pressures are predicted in the whole range of the rotational speed since the field pressures and their sensitivities show the same behaviour in all of the rotational speeds.
8. In the frequency sensitivity analysis, an upward tendency is determined in all of the real pressures, since both the real pressures and their sensitivities have positive values in the whole rotational speed range.
9. In the frequency sensitivity analysis, both the increment and the decrement tendencies are obtained in the positive imaginary pressures. In addition, a downward tendency is observed for the negative imaginary pressures at the field points located at 2 m away from the surface of the machine.

10. The acoustic pressures of the field points are more sensitive to the frequency changes than to the size changes. The tendency of the acoustic pressure sensitivity computed with respect to the frequency change is more evident in comparison to the sensitivity to the dimensional change. The frequency sensitivity spectra show direction changes in the lower rotational speeds. Therefore it may be said that the frequency sensitivity information is much more important for the noise optimisation of the washing machine.



Table 4.1 Real and imaginary parts of the pressure sensitivities of the hemisphere in half-space and the sphere in full space with respect to the radius change ($a = 1$ m; $r = 2$ m; $\Delta a = 0,01$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial a = \{0,0\}$).

$\partial p / \partial a$ (Real Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	129.889059	129.899863
0.75	193.583899	193.606725
1	231.266343	231.290696
1.25	259.934047	259.945538
1.5	287.541895	287.526362
1,75	309.955306	309.892473
2	315.634334	315.480665

$\partial p / \partial a$ (Imaginary Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	101.198254	101.200234
0.75	67.983428	67.971801
1	23.311559	23.274664
1.25	-22.752177	-22.817832
1.5	-78.104014	-78.199129
1.75	-152.781014	-152.908720
2	-253.135916	-253.298876

Table 4.2 Real and imaginary parts of the pressure sensitivities of the hemisphere in half-space and the sphere in full space with respect to the velocity change ($a = 1$ m; $r = 2$ m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial U_0 = \{1, 0\}$).

$\partial p / \partial U_0$ (Real Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	74.501947	74.504690
0.75	120.271494	120.278096
1	141.372216	141.379308
1.25	134.815724	134.816440
1.5	105.433044	105.420319
1.75	60.062250	60.030744
2	5.156554	5.102270

$\partial p / \partial U_0$ (Imaginary Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	51.688476	51.688946
0.75	21.369575	21.366159
1	-31.191950	-31.204075
1.25	-88.137018	-88.159213
1.5	-137.588227	-137.617433
1.75	-173.224834	-173.254907
2	-192.417270	-192.440416

Table 4.3 Real and imaginary parts of the pressure sensitivities of the hemisphere in half – space and the sphere in full space with respect to the frequency change ($a = 1$ m; $r = 2$ m; $\Delta k = 0.01$ 1/m; $U_0 = 1$ m/s; $\partial U_0 / \partial k = \{0,0\}$).

$\partial p / \partial k$ (Real Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	211.345556	211.360697
0.75	-137.822213	137.834058
1	26.025526	26.014488
1.25	-76.317691	-76.358538
1.5	-153.070406	-153.136354
1.75	-202.917021	-203.000219
2	-229.567400	-229.666275

$\partial p / \partial k$ (Imaginary Part)		
Wavenumber (k)	Half Space	Full Space
0.5	-51.233912	-51.239354
0.75	-177.950929	-177.977581
1	-226.839349	-226.879960
1.25	-216.027732	-216.064166
1.5	-170.815121	-170.831651
1.75	-109.228472	-109.216436
2	-42.414188	-42.367919

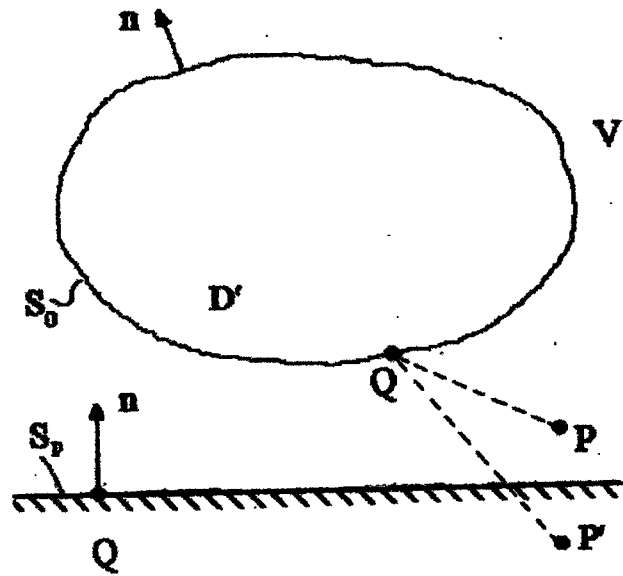


Figure 4.1 Half – space acoustic problem geometry

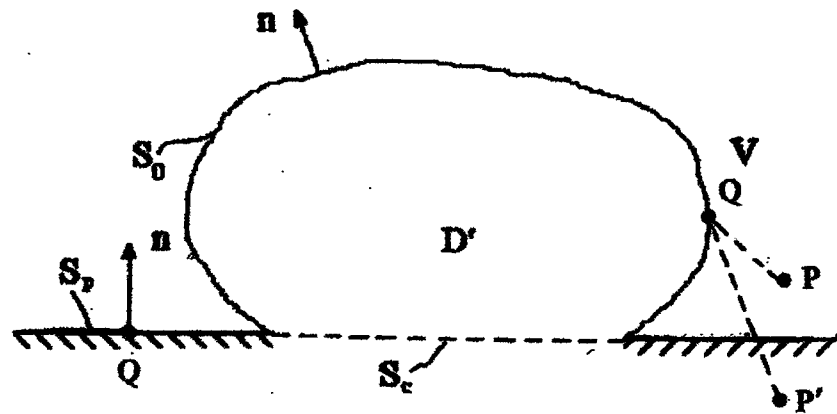


Figure 4.2 Half – space contact acoustic problem geometry

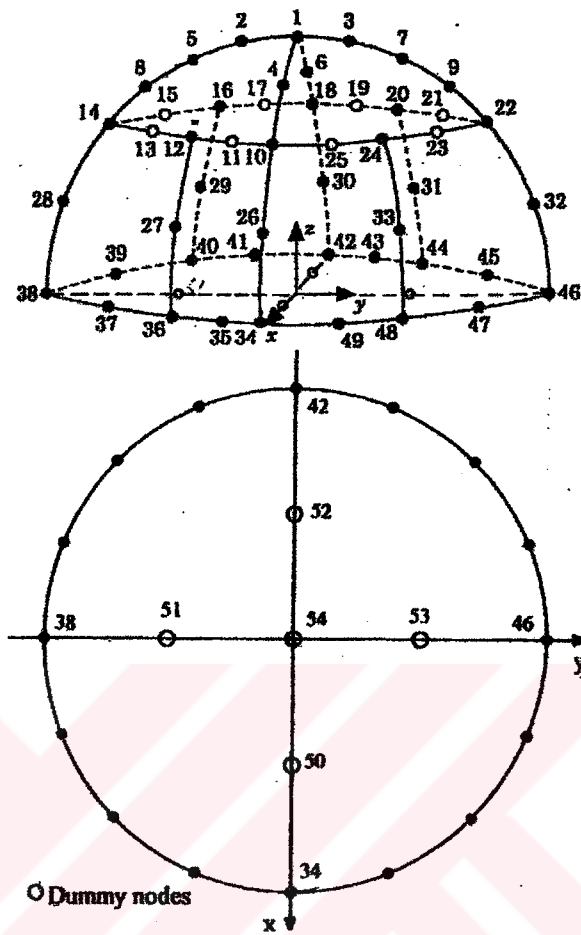
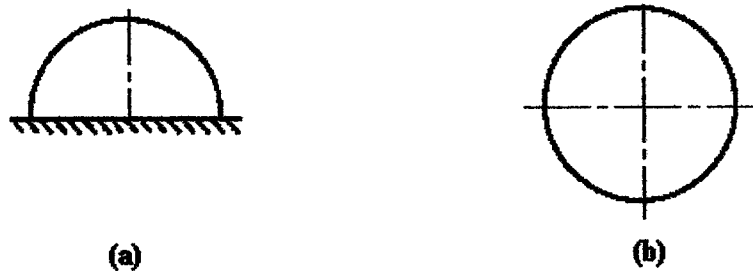


Figure 4.3 Boundary element discretization of a hemisphere and configuration of dummy elements and nodes.



**Figure 4.4 (a) A hemisphere sitting on a rigid infinite plane.
(b) A sphere in a full space.**

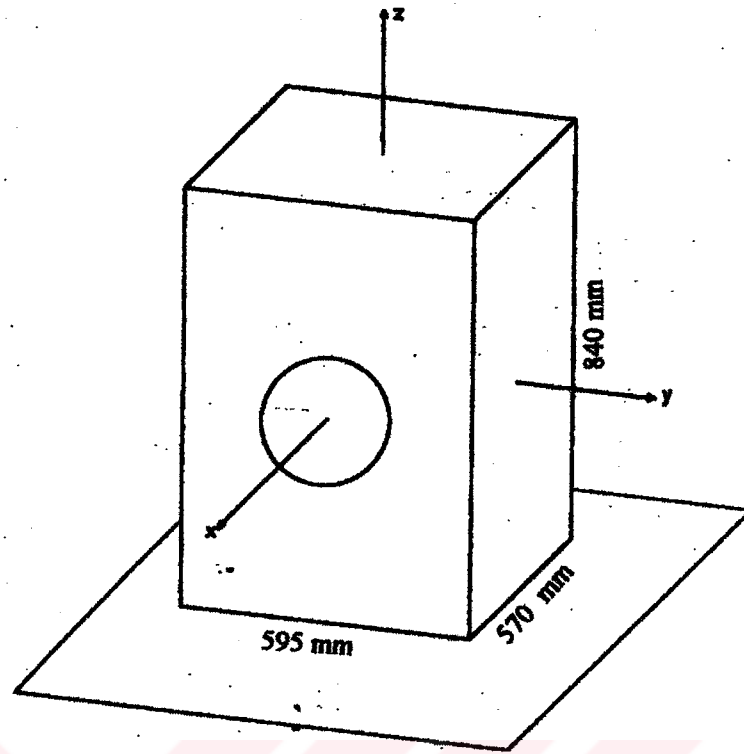


Figure 4.5 The washing machine sitting on the floor.

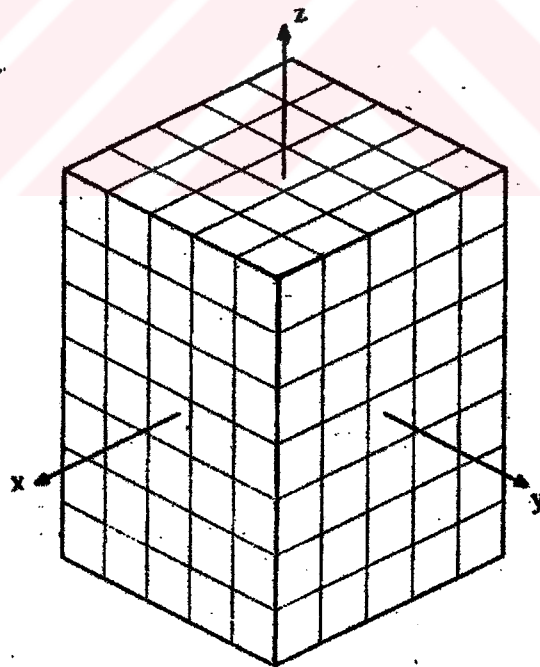
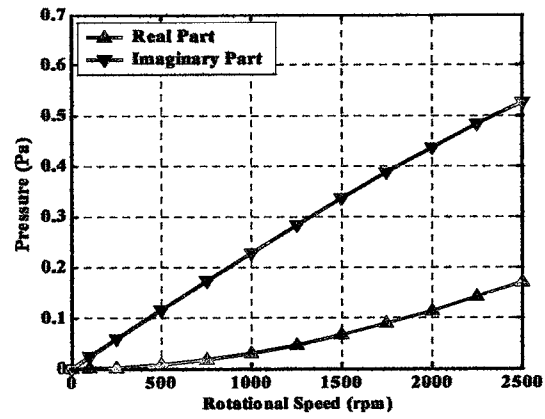
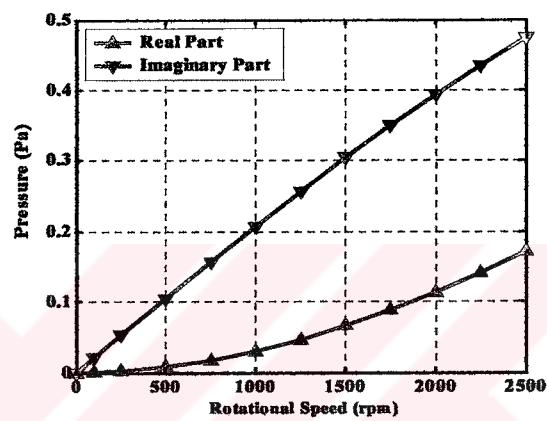


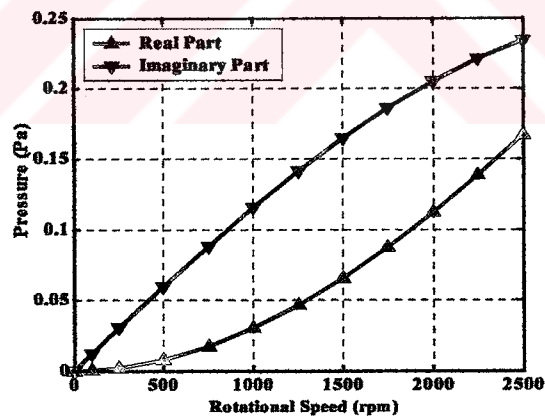
Figure 4.6 Boundary element discretization of the washing machine.



(a)

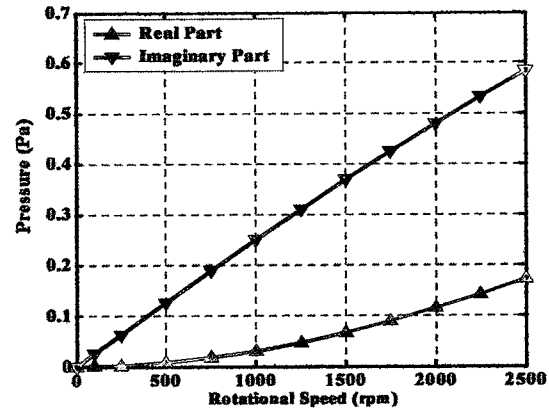


(b)

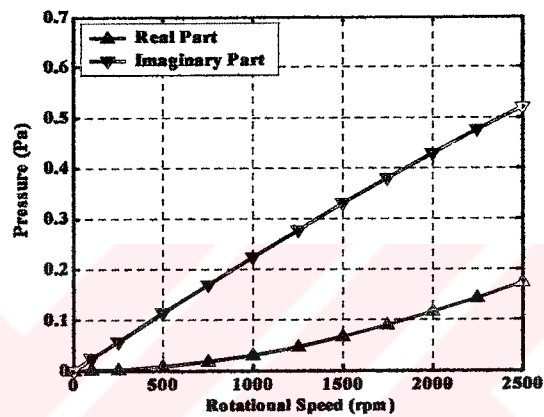


(c)

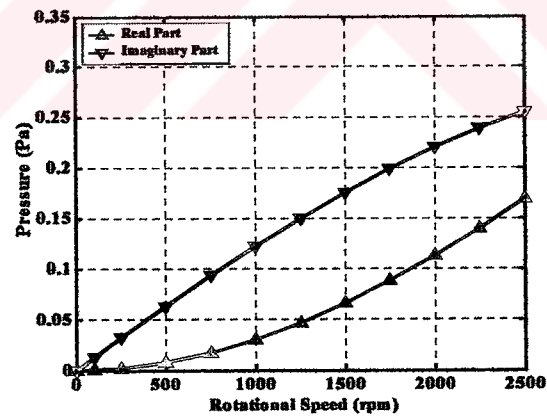
Figure 4.7 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP1, b) FP2, c) FP3, on the central horizontal plane and at distances of 0.05 m, 0.1 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

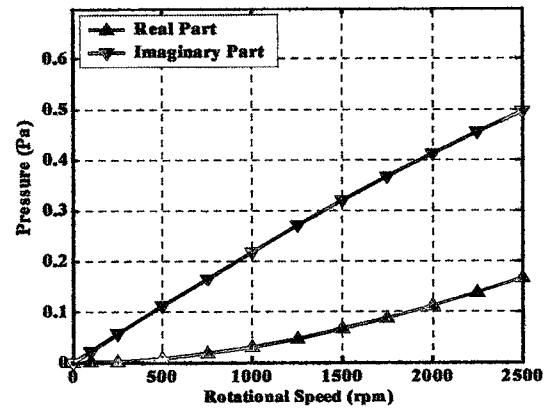


(b)

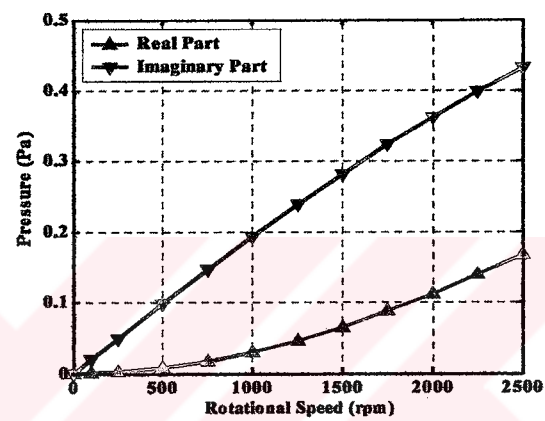


(c)

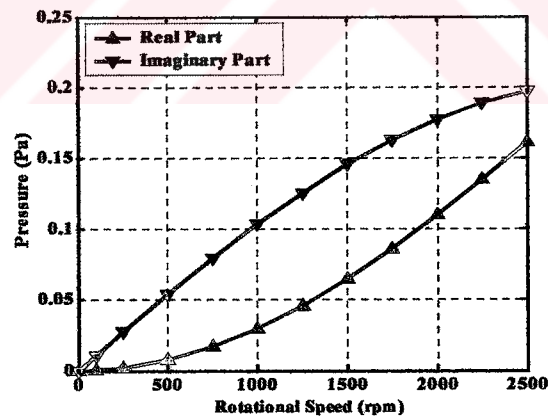
Figure 4.8 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP4, b) FP5, c) FP6, on the lower horizontal plane and at distances of 0.05 m, 0.1 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

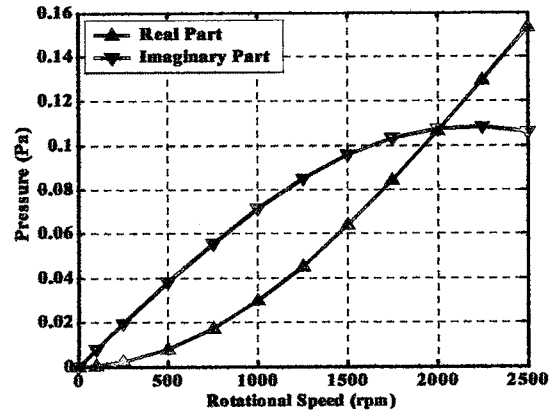


(b)

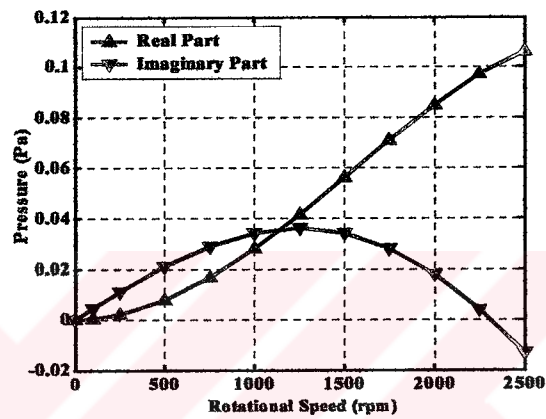


(c)

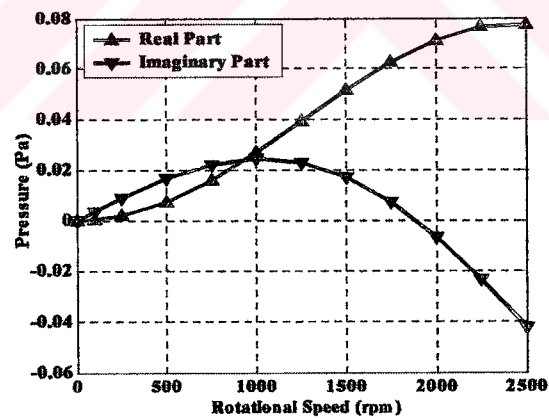
Figure 4.9 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP7, b) FP8, c) FP9, on the central horizontal plane and at distances of 0.05 m, 0.1 m, 0.5 m from the side surface of the machine.



(a)

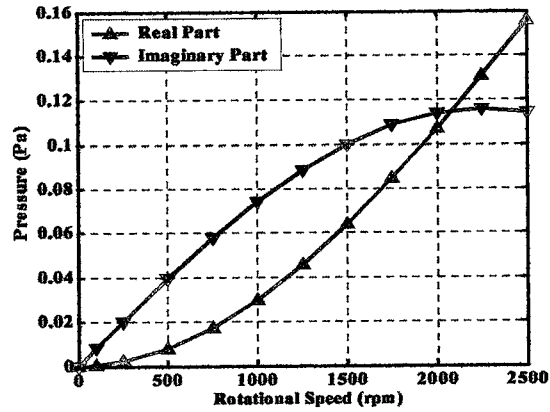


(b)

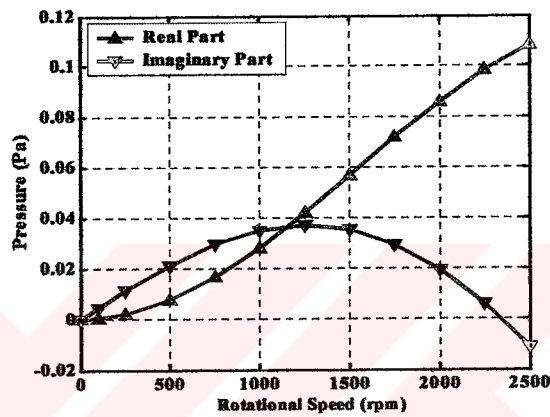


(c)

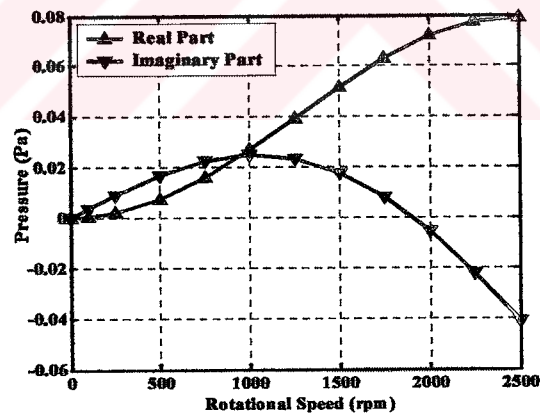
Figure 4.10 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP10, b) FP11, c) FP12, on the central horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the front surface of the machine.



(a)

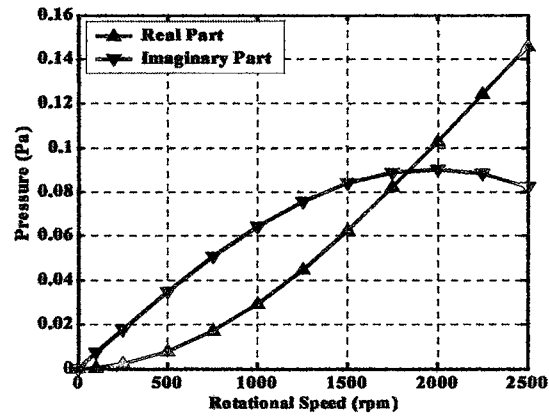


(b)

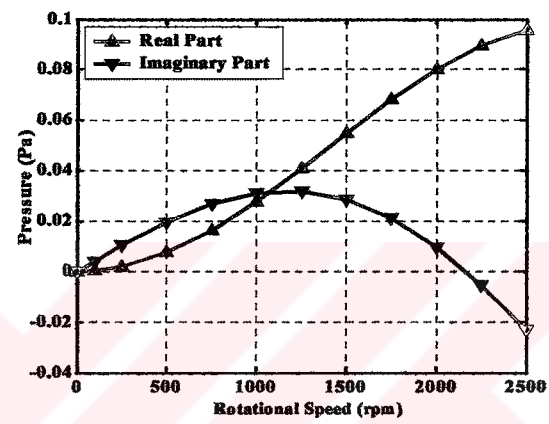


(c)

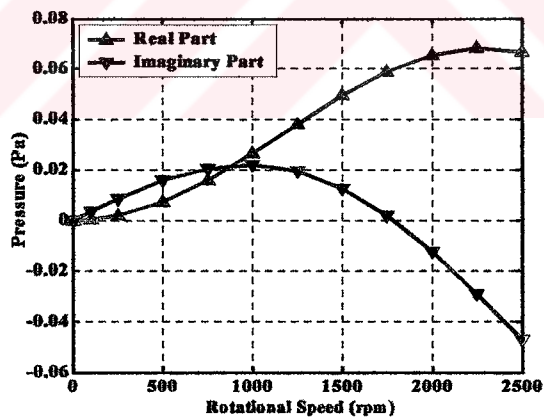
Figure 4.11 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP13, b) FP14, c) FP15, on the lower horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the front surface of the machine.



(a)

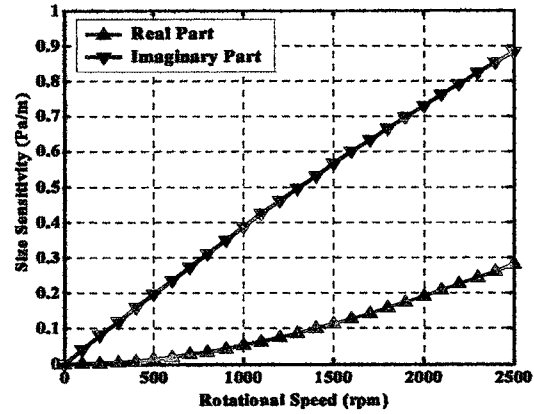


(b)

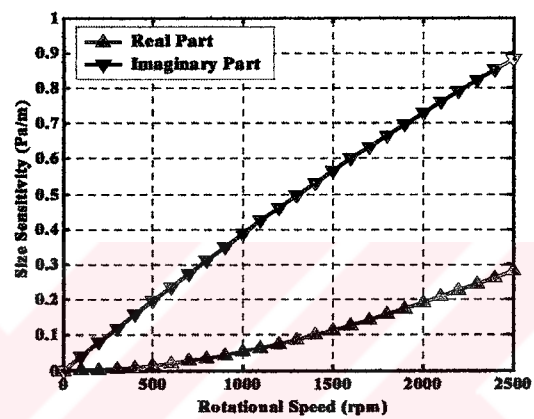


(c)

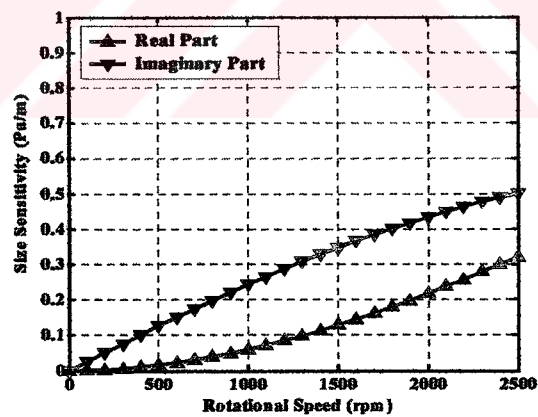
Figure 4.12 Real and imaginary parts of the acoustic pressure for the Field Points a) FP16, b) FP17, c) FP18, on the central horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the side surface of the machine.



(a)

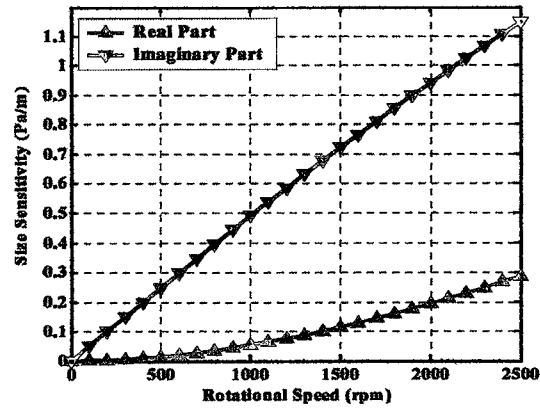


(b)

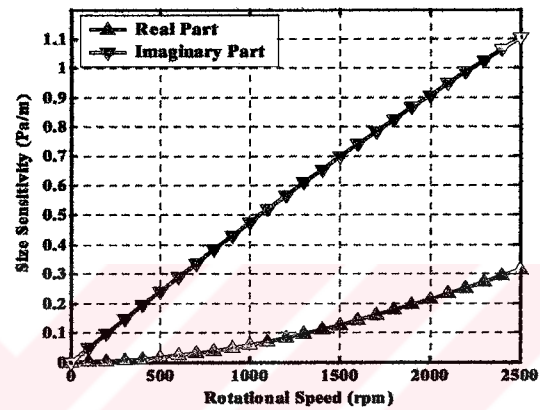


(c)

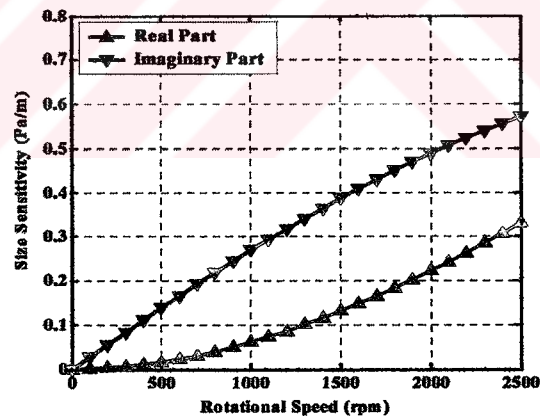
Figure 4.13 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP1, b) FP2, c) FP3, on the central horizontal plane and at distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

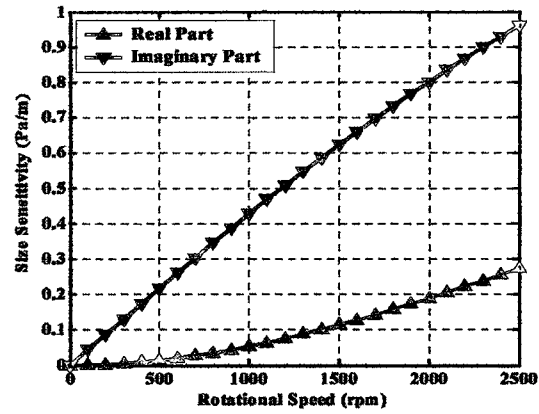


(b)

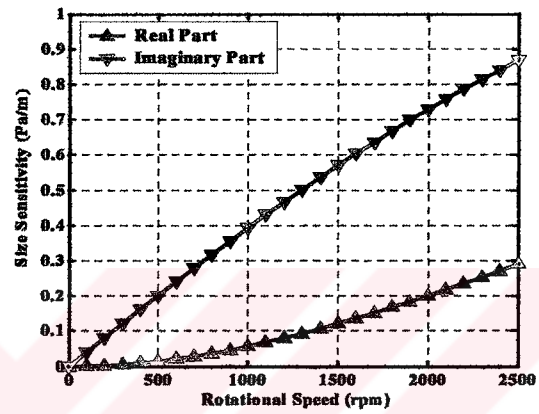


(c)

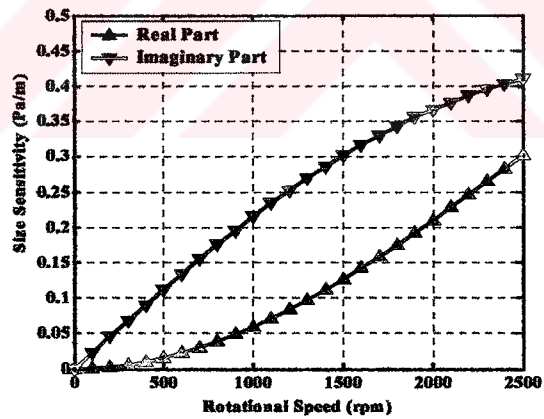
Figure 4.14 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP4, b) FP5, c) FP6, on the lower horizontal plane and at distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

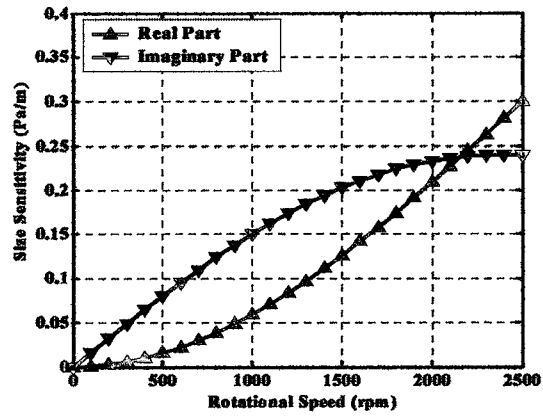


(b)

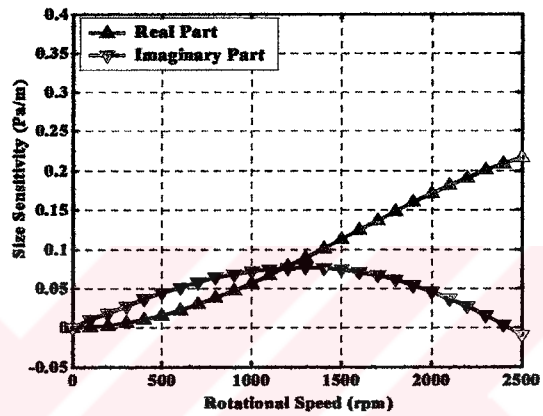


(c)

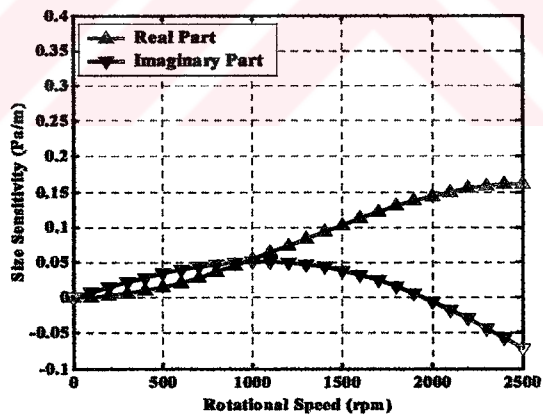
Figure 4.15 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP7, b) FP8, c) FP9, on the central horizontal plane and at distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the side surface of the machine.



(a)

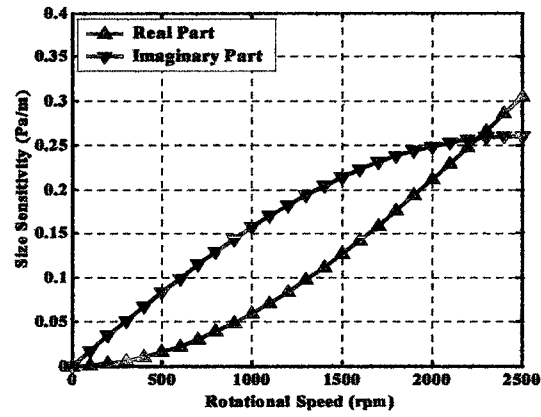


(b)

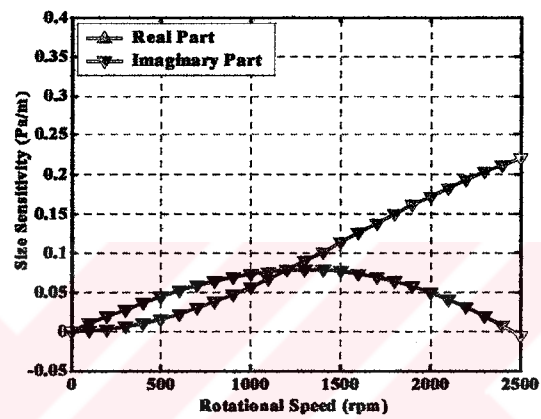


(c)

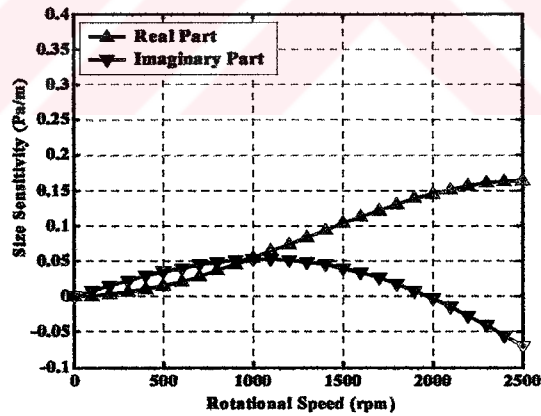
Figure 4.16 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP10, b) FP11, c) FP12, on the central horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the front surface of the machine.



(a)

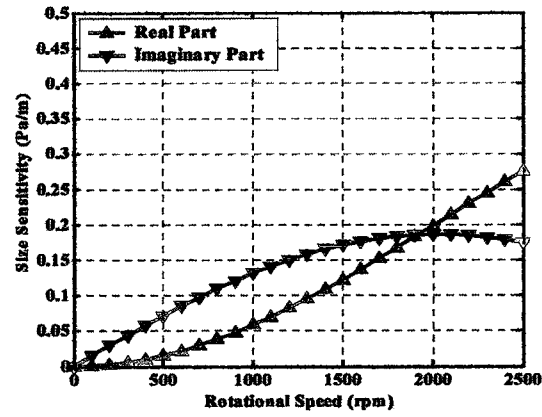


(b)

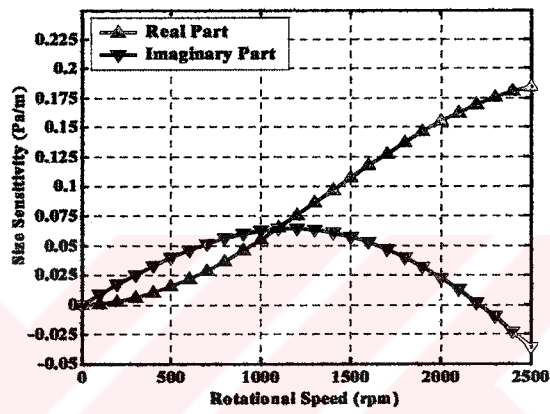


(c)

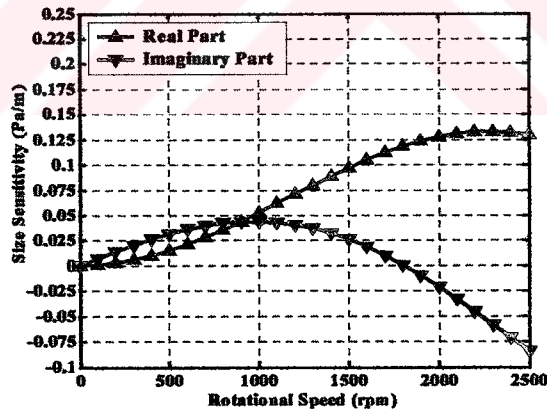
Figure 4.17 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP13, b) FP14, c) FP15, on the lower horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the front surface of the machine.



(a)

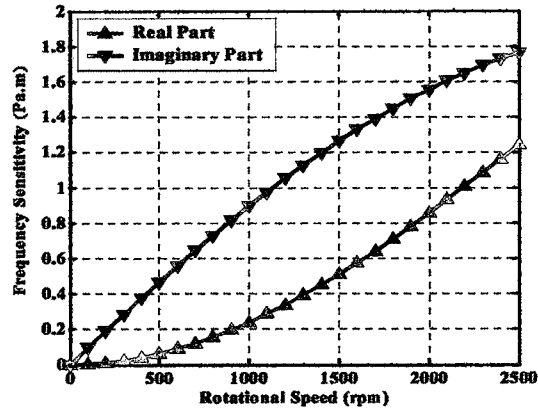


(b)

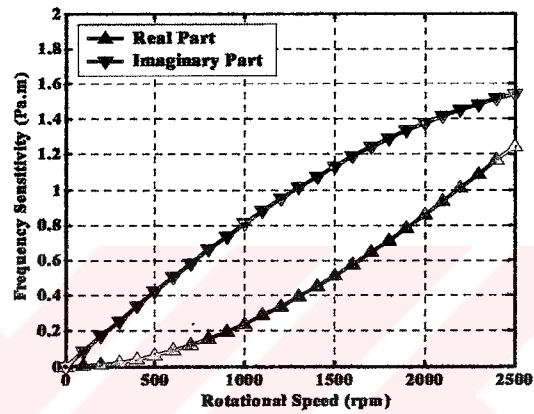


(c)

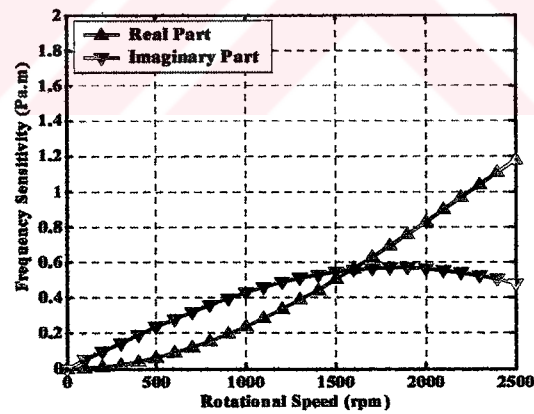
Figure 4.18 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the size ($\partial p / \partial a$) for the Field Points a) FP16, b) FP17, c) FP18, on the central horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m, 2.5 m from the side surface of the machine.



(a)

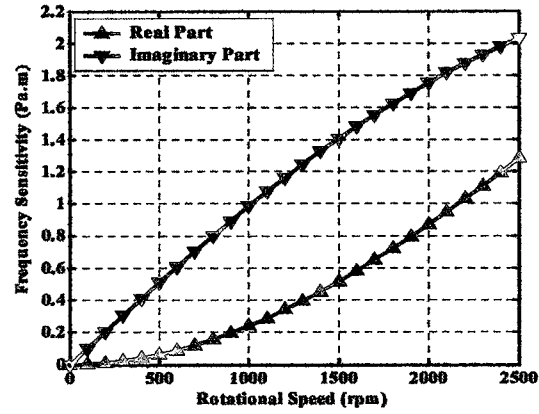


(b)

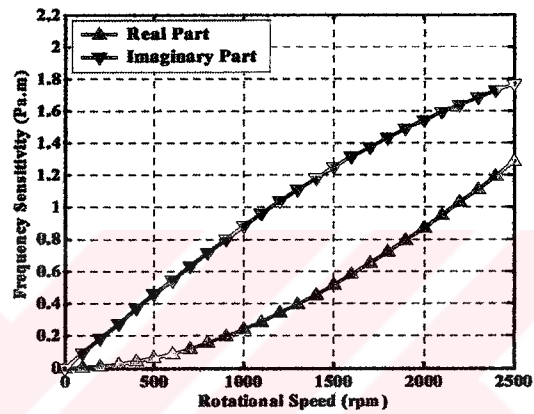


(c)

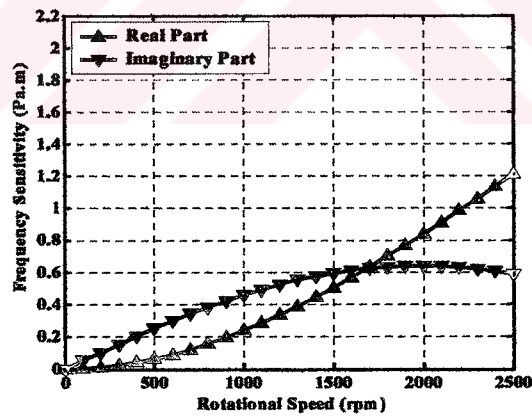
Figure 4.19 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the frequency ($\partial p / \partial k$) for the Field Points a) FP1, b) FP2, c) FP3, on the central horizontal plane and at distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

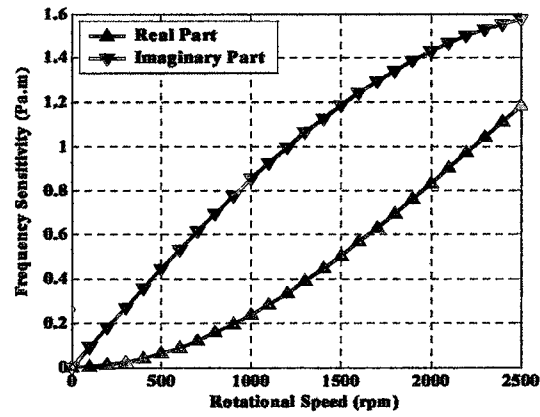


(b)

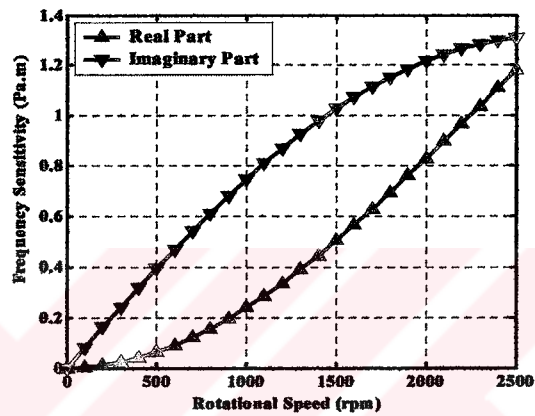


(c)

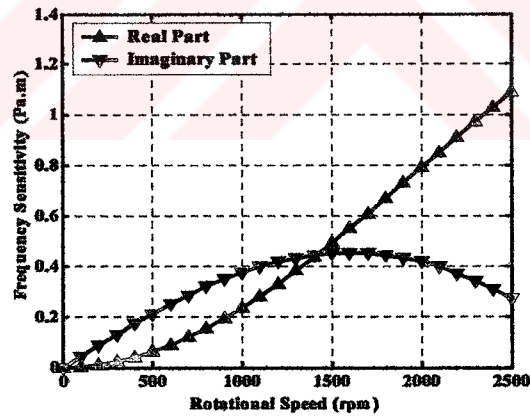
Figure 4.20 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the frequency ($\partial p / \partial k$) for the Field Points a) FP4, b) FP5, c) FP6, on the lower horizontal plane and at the distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the front surface of the machine.



(a)

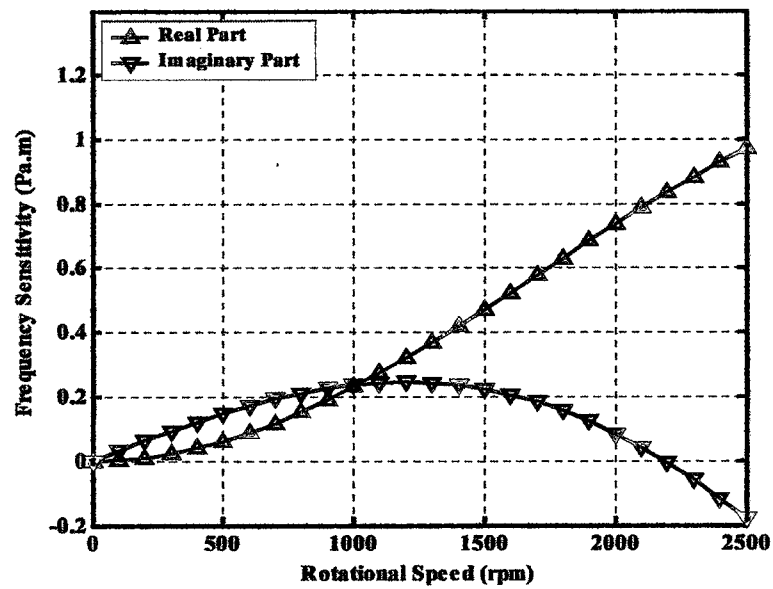


(b)

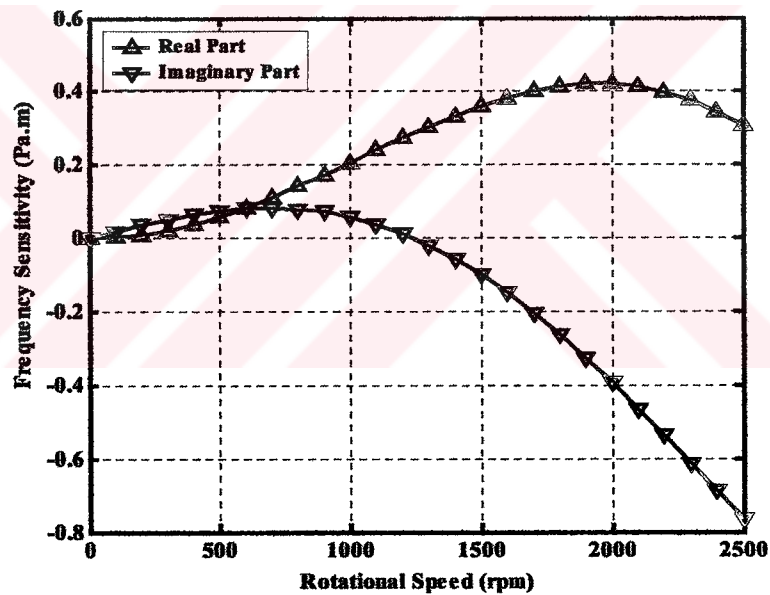


(c)

Figure 4.21 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the frequency ($\partial p / \partial k$) for the Field Points a) FP7, b) FP8, c) FP9, on the central horizontal plane and at distances of 0.01 m, 0.05 m, 0.5 m from the side surface of the machine.

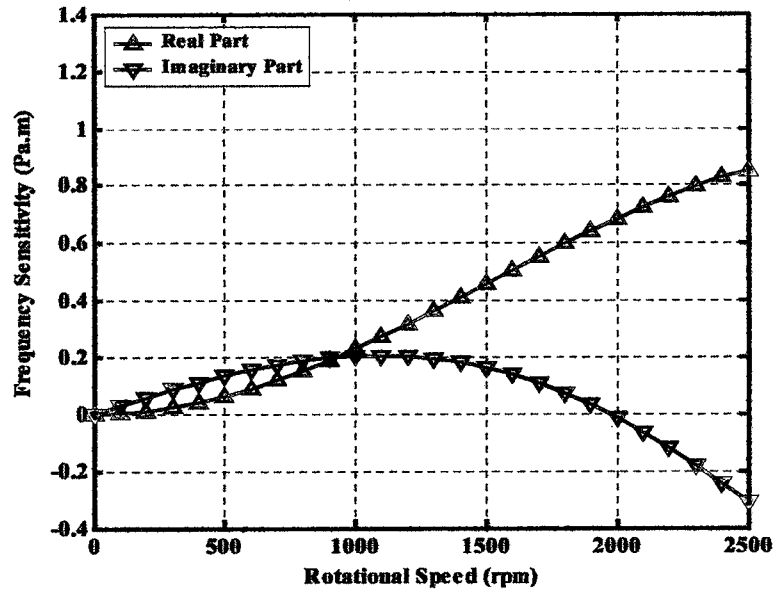


(a)

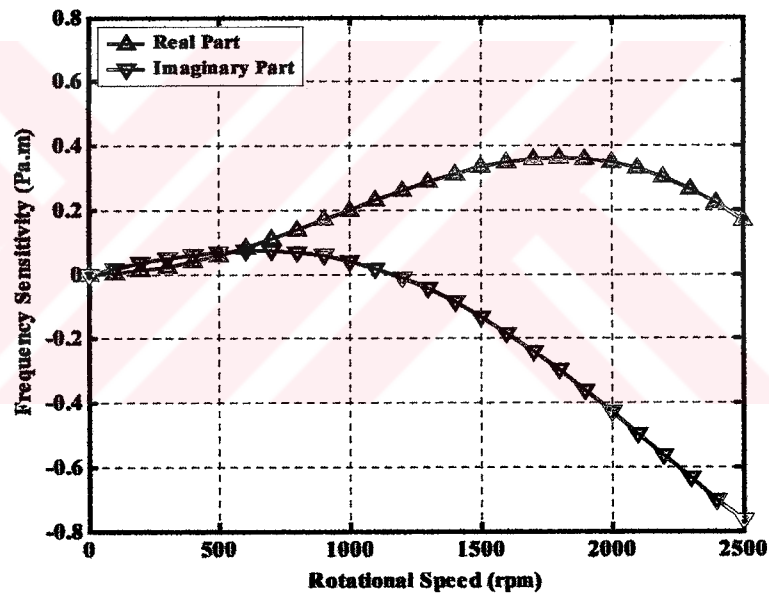


(b)

Figure 4.22 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the frequency ($\partial p / \partial k$) for the Field Points a) FP10, b) FP11 on the central horizontal plane and at distances of 1 m, 2 m from the front surface of the machine.



(a)



(b)

Figure 4.23 Real and imaginary parts of the acoustic pressure sensitivity with respect to the frequency ($\partial p / \partial k$) for the Field Points a) FP16, b) FP17 on the central horizontal plane and at the distances of 1 m, 2 m from the side surface of the machine.

CHAPTER FIVE

EXPLANATIONS ABOUT THE COMPUTER CODE

5.1. Introduction

In the present work, a computer code based on the boundary element and finite difference methods, was developed. Acoustic pressure computation procedure of this code, which had been written by Kiral (Kiral,1996) in Visual Basic programming language, was adopted to C programming language. The BEM code calculates the acoustic surface and field pressures of the vibrating bodies and their sensitivities with respect to three different design variables.

The computer program was named as ADS (Acoustic Design Sensitivity) was written in C programming language, compiled by ANSI-C (Standart C) compiler in UNIX operating system, developed by using SUN Workshop[®] Developer and run on workstation. ADS also was written in Microsoft[®] Visual Basic 6.0 programming language in order to run in Windows / NT operating systems on PC (Personal Computer), but the ADS-C (C Programming language) version is more efficient and faster than the ADS-VB (Visual Basic Programming Language) version with regard to the running time (CPU time) and the CPU usage.

The users or researchers can use ADS easily without any necessary information about the computer programming language.

5.2. Acoustic Design Sensitivity (ADS)

5.2.1. ADS Codes

ADS consists of four basic acoustic codes both the full – space and the half – space analysis.

a. Full – Space Analysis

1. Acoustic Pressure Code for the surface and field points.
2. Size Sensitivity Code for the surface and field pressures.
3. Velocity Sensitivity Code for the surface and field pressures.
4. Frequency Sensitivity Code for the surface and field pressures.

b. Half – Space Analysis

1. Acoustic Pressure Code for the surface and field points in half - space.
2. Size Sensitivity Code for the surface and field pressures in half - space.
3. Velocity Sensitivity Code for the surface and field pressures in half - space.
4. Frequency Sensitivity Code for the surface and field pressures in half - space.

5.2.2. ADS Computation Procedures, Modules, Procedures, Functions

All of the eight main codes given above include following five different computation modules as shown in Figure 5.1. These five modules also include many subroutines (procedures) or functions.

a. BE Model Data Module

This module takes the boundary element data from the input file by using procedure **READ_DATA**. The procedure **READ_DATA** reads data of the

discretized boundary element model from the input file “input_data.txt” and transfers model information to the surface pressure module.

b. Surface Pressure Module

This module takes the model information from **BE Model Data** module and surface velocity information as the input data. This module includes a procedure **SURHEL**. **SURHEL** calculates the surface pressures by using the surface Helmholtz integral equation and makes use of the data calculated by the procedures **READ_DATA**, **COEFF**, **DEPAR**, **CORN**.

c. Field Pressure Module

Field pressure module consists of two main procedures. These are **READ_EXDATA** and **EXTHEL**. **READ_EXDATA** procedure reads the coordinates of the field points from an input file “field_inp.txt” and transfers the desired values to **EXTHEL**. The procedure **EXTHEL** calculates the required field pressures by using the exterior Helmholtz integral equation and the surface pressures which had been previously calculated by **SURHEL**. **EXTHEL** makes use of the data from the procedures **DEPAR1**, **READ_EXDATA** and **COEFF**.

d. Surface Sensitivity Analysis Module

This module includes a procedure **SUR_SENSFOR**. This takes the velocity information, which is surface velocity and its sensitivity with respect to a design variable, and output of the surface pressure module. The procedure **SUR_SENSFOR** calculates the surface pressure sensitivity with respect to a design variable by using the surface sensitivity formulation.

e. Field Sensitivity Analysis Module

This module uses a procedure called EXT_SENSFOR in order to calculate the field pressure sensitivity with respect to a design variable by using the field sensitivity formulation.

ADS also includes four main procedures which provide the required information to the modules and organize the data transformation between some particular modules.

DEPAR

This procedure calculates the distances between the nodes and the Gaussian points and also the Cosines of the angles between R and n vectors, for SURHEL procedure.

CORN

This procedure calculates the term including the effect of edges and corners and adds this term to the diagonal elements of the coefficient matrix of the pressure vector.

DEPAR1

This procedure calculates the distances between the nodes and the Gaussian points and also the Cosines of the angles between R and n vectors, for EXTHEL procedure.

ADS also includes many characteristic functions such as matrix operations, linear equation solver, etc.

The computation times of the analysis are given in Table 5.1. The user interface and a sample code (size sensitivity code) of ADS are presented in Appendix 2 and Appendix 3, respectively.

Table 5.1 Computer Times for Sensitivity Analysis [s].

Sensitivity Analysis	12-element		24-element		48-element		196-element	
	Number of Gaussian Points							
Sphere Model	16	256	16	256	16	256	16	256
Size	1	15	5	59	9	152		
Velocity	0.6	7	3	28	7	98		
Frequency	1.1	16	6	62	11	159		
Washing Machine								
Size							158	587
Frequency							163	595

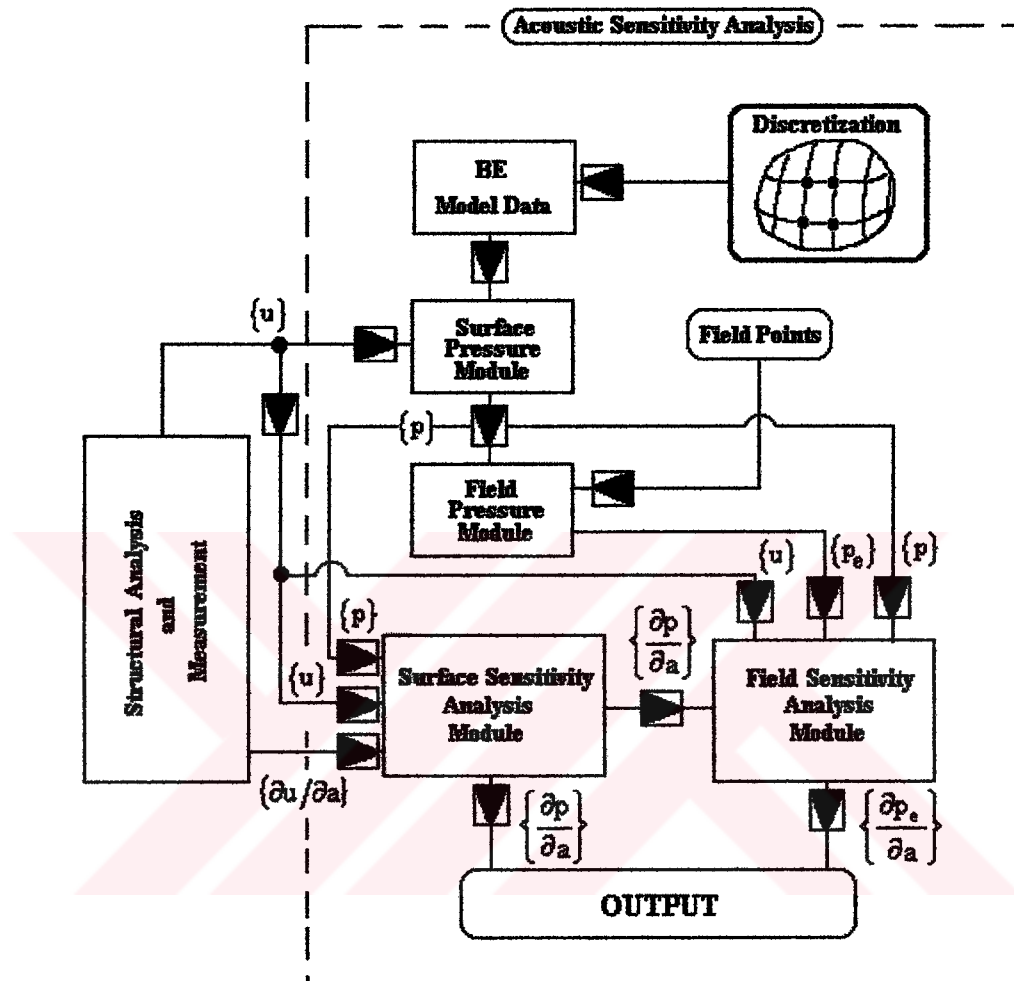


Figure 5.1 Computation Procedures of the Acoustic Design Sensitivity Analysis

CHAPTER SIX

CONCLUSIONS

In the present study, a computer code for the acoustic sensitivity analysis has been developed by using the boundary element method implementation of the Helmholtz integral equation. The code is based on a sensitivity analysis formulation which utilizes the sensitivity of the boundary element matrices to different design variables. The code was written in C programming language by using a workstation and compiled and run under the UNIX operating system. The validity of the code was verified by examining a dilating spherical source for the full space and a dilating hemispherical source for the half space. The code enables to obtain the acoustic surface and field pressures, and size, velocity and frequency sensitivities of the pressures for the vibrating bodies in both of the full and half space cases, in a fairly short time as shown in Table 5.1. This BEM code may be a basis for the noise optimisation procedure of the machinery.

Two dilating spherical source problem was examined as a first application of the sensitivity analysis. The pressure sensitivities were computed for acoustically three different field locations. The field pressures at the left and the right of the spheres are found to be the most sensitive with respect to the increment in the radii of the spheres. Although a downward tendency in the real and imaginary parts of the pressures is predicted in some wavenumbers, in general, an upward tendency dominates over the pressure amplitudes in the whole range of wavenumbers.

A washing machine sitting on the floor was considered as a second and practical application of the acoustic sensitivity prediction. Acoustic pressure sensitivities of various field points with respect to the increment in all dimensions and in the

operating frequency of the machine were computed. The field points were chosen at the front and the side directions of the machine which have relatively higher acoustic pressures. The analysis showed that the pressures at the field points located on the lower horizontal plane, where reflection effects are more profound, are more sensitive to the size and frequency changes of the machine. The field points on the side planes have less sensitive pressures. Size sensitivities represent the same behavior with the acoustic pressures, therefore the upward tendency is obtained in both of the real and imaginary pressures for all the field points considered. The frequency sensitivity analysis shows an upward tendency in the real pressures whereas downward tendency is also obtained in the imaginary pressures of some operational speeds. In this analysis, it has been found that acoustic field pressures are more sensitive to the frequency changes compared to the size changes.

Although, the performance of the present computer code is sufficient, it may be modified by using more efficient matrix algorithms holding the real and imaginary parts together. This modification may provide more efficient modelling because of the possibility of using more boundary elements. The code will be improved further by the inclusion of the acoustic power sensitivity algorithm.

The present code is the first code of the Mechanical Engineering Department, that is developed and run on a workstation. This study may provide the opportunity of working on the workstation to the researchers.

REFERENCES

- AVŞAR, E., (2000). Determination of the Acoustic Radiation Characteristics of Vibrating Bodies Near Reflecting Surfaces, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- BERNHARD, R.J. & SMITH, D.C., (1991). "Acoustic Design Sensitivity Analysis", Boundary Element Methods in Acoustics, Ed.: Ciskowski, R.D. and Brebbia, C.A., Computational Mechanics Publications-Elsevier Applied Science, 77-93.
- COURANT, R., & HILBERT, D. (1962), Methods of Mathematical Physics, New York: Interscience.
- CUNEFARE, K.A., & KOOPMANN, G.H., (1992). Acoustic Design Sensitivity for Structural Radiators. Transactions of the ASME 114, 178-186.
- DING, Y. (1986). Shape Optimization of Structures: A Literature Survey. Computers & Structures 24(6), 985-1004.
- KANE, J.H., MAO,S. & EVERSTINE G.C., (1991). A Boundary Element Formulation for Acoustic Shape Sensitivity Analysis. Journal of the Acoustical Society of America, 90(1), 561-573.
- KIRAL, Z. (1996). Acoustical Analysis of a Truck Cabin, Yüksek Lisans Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- KOO, B. U. (1997) Shape Design Sensitivity Analysis of Acoustic Problems Using Boundary Element Method. Computers & Structures 65(5), 713-719.

- KOO, B.O., IH, J.G. & LEE, B.C.,(1998). Acoustic Shape Sensitivity Analysis Using the Boundary Integral Equation. Journal of the Acoustical Society of America, 104(5), 2851-2860.
- SARIGÜL, A.S. (1990). Çok Cisimli Ses Alanlarının Helmholtz İntegral Denklemi ile Hesaplanması, Doktora Tezi, DEÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- SEYBERT, A.F., SOENARKO, B.,RIZZO,F.J, & SHIPPY, D.J. (1985). An Advanced Computational Method for Radiation and Scattering of Acoustic Waves in Three Dimensions. Journal of the Acoustical Society of America, 77(2), 362-368.
- SEYBERT, A.F. & SOENARKO, B. (1988). Radiation and Scattering of acoustic Waves from Bodies of Arbitrary Shape in a Three – Dimensional Half Space. ASME Trans. Journal of Vibration, Acoustics, Stress and Reliabilty in Design, 110, 112-117.
- SEYBERT, A.F.,& WU,T.W. (1989) Modified Helmholtz Integral Equation for Bodies Sitting on an Infinite Plane. Journal of the Acoustical Society of America, 85(1), 19-23.
- SKUDRYZK, E. (1971). The Foundations of Acoustics. New York: Springer-Verlag.
- SMITH, D.C. & BERNHARD, R,J., (1992). Computation of Acoustic Shape Design Sensitivity Using a Boundary Element Method. Journal of Vibration and Acoustics, 114, 127-132.
- WANG, S.M. & LEE, J., (2001) “Acoustic Design Sensitivity Analysis and Optimization for Reduced Exterior Noise”, AIAA Journal 39 (4), 574-580.

WU, T.W. & SEYBERT, A.F., (1991). "Acoustic Radiation and Scattering",
Boundary Element Methods in Acoustics, Ed.: Ciskowski, R.D. and Brebbia,
C.A., Computational Mechanics Publications-Elsevier Applied Science, 61-76.

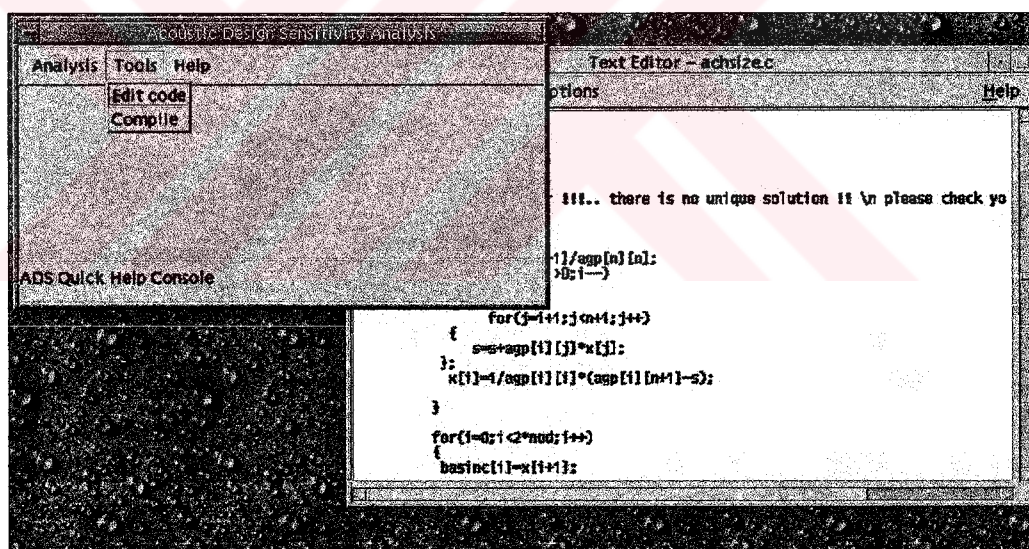
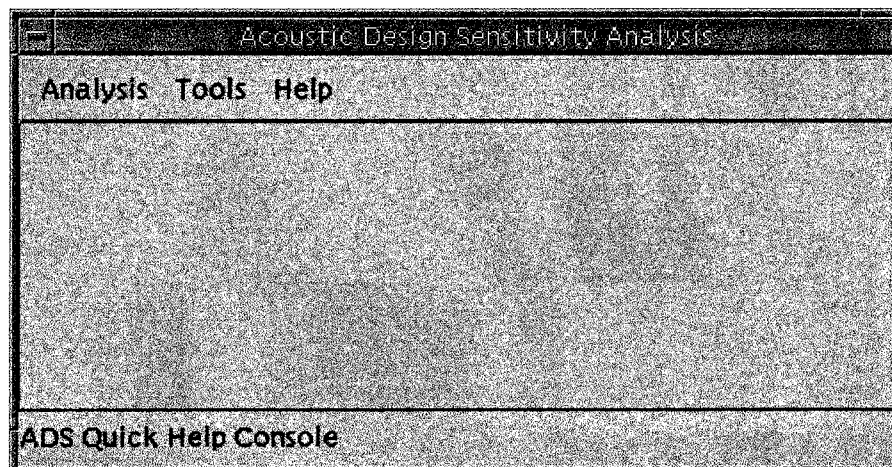


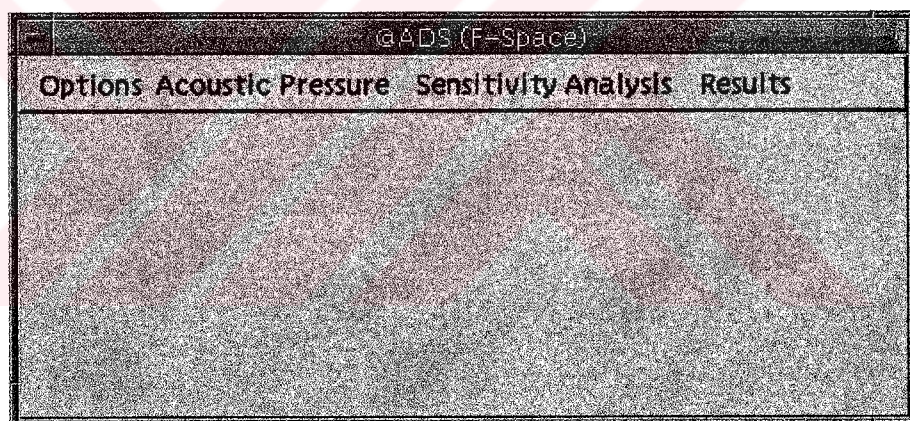
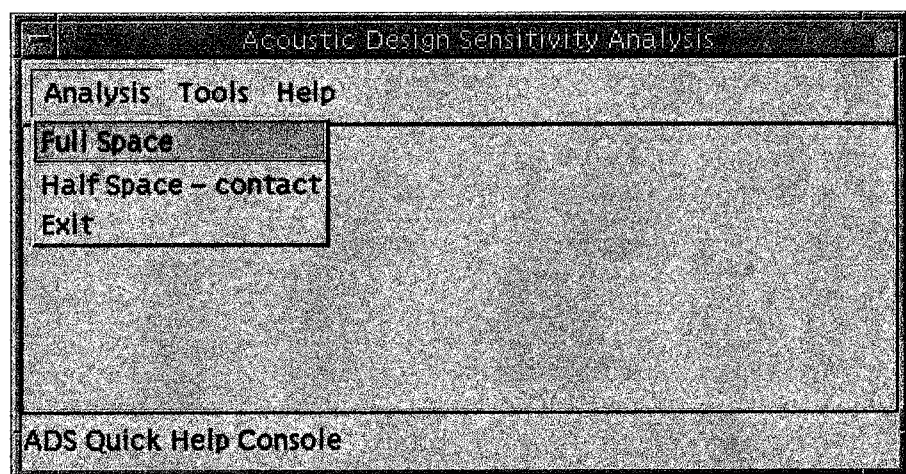
APPENDICES

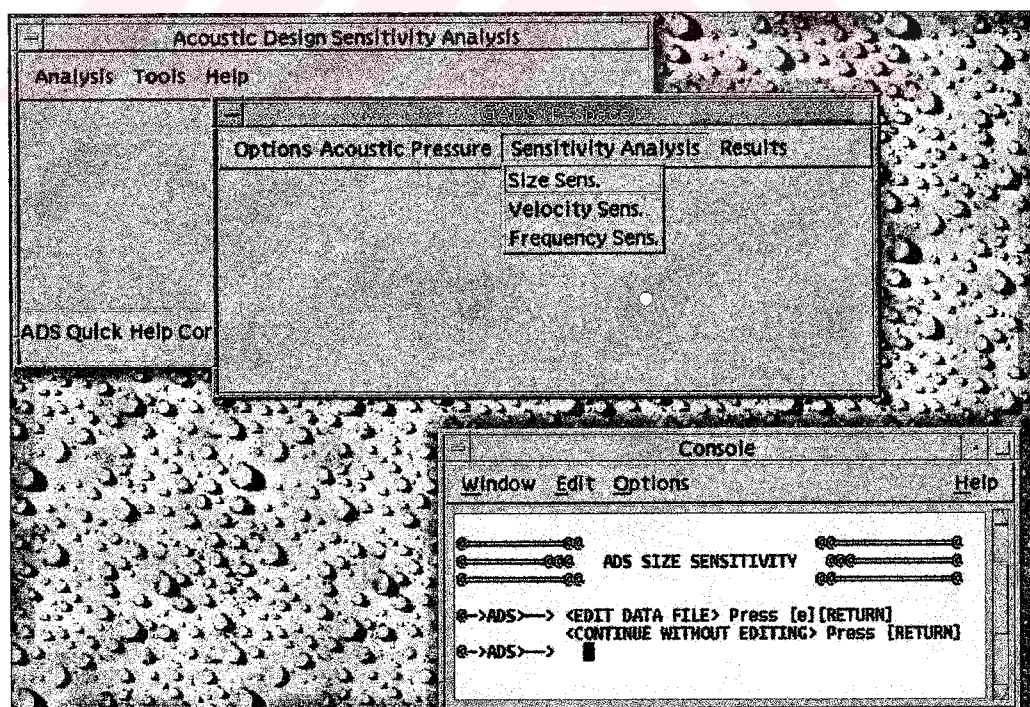
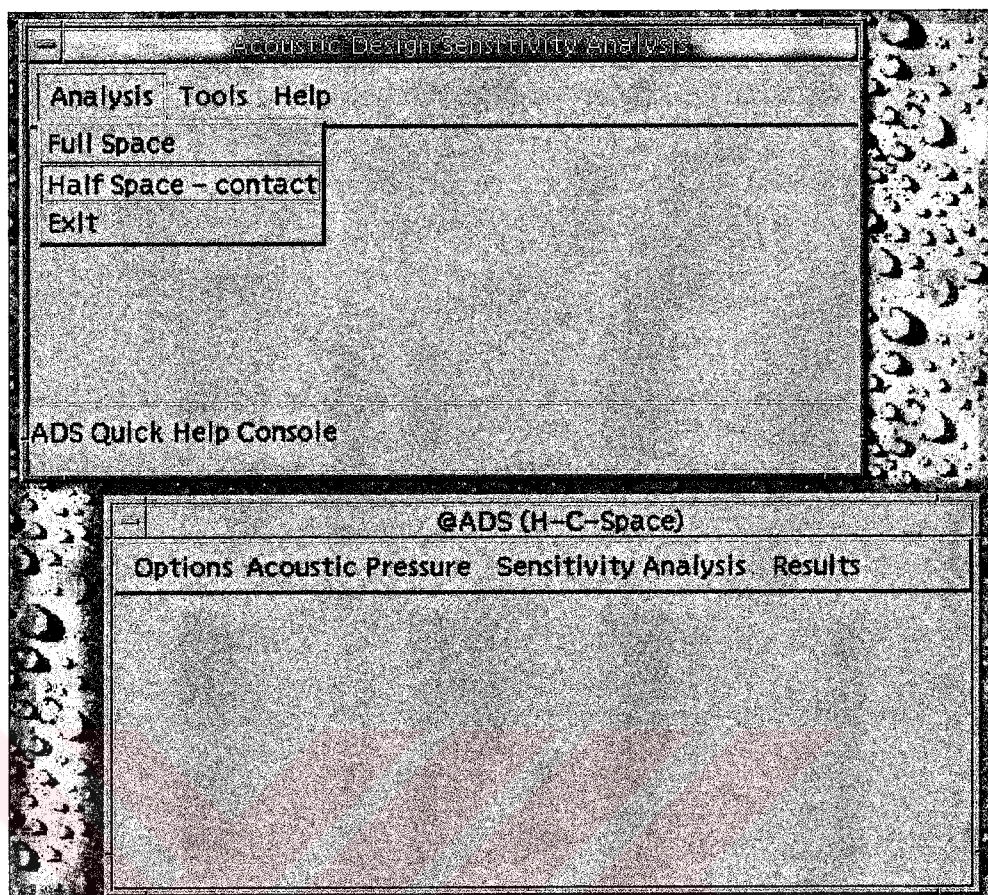
Appendix 1: The co-ordinates of the field points.

Field Points	Co-ordinates			Horizontal Plane
	X (mm.)	Y (mm.)	Z (mm.)	
FP1	335	0	0	Central / Front
FP2	385	0	0	Central / Front
FP3	785	0	0	Central / Front
FP4	335	0	-210	Lower / Front
FP5	385	0	-210	Lower / Front
FP6	785	0	-210	Lower / Front
FP7	57	347.5	0	Central / Side
FP8	57	397.5	0	Central / Side
FP9	57	797.5	0	Central / Side
FP10	1285	0	0	Central / Front
FP11	2285	0	0	Central / Front
FP12	2785	0	0	Central / Front
FP13	1285	0	-210	Lower / Front
FP14	2285	0	-210	Lower / Front
FP15	2785	0	-210	Lower / Front
FP16	57	1297.5	0	Central / Side
FP17	57	2297.5	0	Central / Side
FP18	57	2797.5	0	Central / Side

Appendix 2: ADS User Interface







Appendix 3: ADS Sample Code – Size Sensitivity Analysis

```

/* @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
   @@@@                                                                @@@@
   @@@@ ADS (Acoustic Design Sensitivity) @@@@
   @@@@ by A.Seçgin -2002- @@@@
   @@@@                                                                @@@@
   @@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@*/

/*This code computes the "acoustic size sensitivity"*/
/*-----*/
/* Requirements */
/*-----*/
/* UNIX Operating System
   ANSI - C Compiler
   Work - station */

/*****
/* ADS SIZE SENSITIVITY */
*****/

#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <math.h>

/*=== Declerations ===*/

int sayac;
char kr;
int hiz;
int zzx;
double Rd;
double da;
double z0;
double aba,abb;
int AE,nod;
double kwn,lkar;
int AG,ii,i,j,k,g,a1,n,h,N[2];
int p,m,m1,n1,m2,n2,z,z1,z2,z3;
int ma,na,mb,nb;
int AI[200][8];
double AL[1400][3],AH[1400],AH1[1400][1];
double zz1[1][1],zz2[1][1];

```

```

double HJ,IJ,JJ;
double OD[3],ODd[3];
double W[3],Ww[3];
double M[1400][3];
double ag[1401][1402];
int ksi,ita,D;
int AB[2];
int A[16],B[16],IO[3];
double A1[16],A2[16],B1[256],C1[16][16],AV[136],AA[136];
double TE1[1][1],TE2[1][1],TE3[1][1];
double TF1[1][1],TF2[1][1],TF3[1][1];
double C[256][2],C1T[16][16];
double AU[256],A3[16],A4[16];
double ALtS[8][256],Lb[8][1],LbS[8][1];
double basinc[1400],press[1400][1];
double AJ[200][256],ASMat[8][1],BVc[1400][1];
double AF[200][768],AP[200][768];
double X[8][3],d[6],DK[5][1],e[1][8];
double f[1][8],DKS[8][1],DK1[5][1];
double DK1S[8][1],XX1[8][1],XX2[8][1];
double XX3[8][1],DJ[3],ASMat[8][1];
double XTrp[3][8],XTrpASMat[3][1],vec[3];
double Amat[1400][1400];
double rho=1.2;
int vfs=340;
double freq;
double iii,jj,hh,kk;
int mi,ll,pl,g1,d1;
int il;
double s1,s2,s3,s4,s5,s6,s7,s8;
double CS[8][2],DS[8][2];
double DVec[1][16],DVec1[1][16];
double AHVec[16][1];
int ADM[8][2],xx[8];
double AAY[8],ABY[8];
double R,O; int b,c;
FILE *di,*di1,*di2,*dos,*dos1,*dosres,*de,*dod;
int T,aaa;
double AHVec1[8],AZ[100][3];
double AR1Vec1[8];
double AHVec2[8];
double AR1Vec2[8];
int ie,je,me,le,pe,ge;
double hhe,iie,jje,kke;
double Rr,Oo;
double iie,jje,hhe,kke;
double EA[200][1400],EA1[200][1400];
double EA2[200][1400],EB[200][1400];
double EB1[200][1400],EB2[200][1400];

```

```

double Bmat[1400][1400],Bmat1[1400][1400];
double Bmat2[1400][1400],Cmat1[1400][1400]
double Cmat2[1400][1400];
double es1[200][1],es2[200][1],Dpe[200][1];
double Bda[1400][1400],Cda[1400][1400];
double dpda[1400][1],BSY[1400][1];
double BSY1[1400][1],BSY2[1400][1],CsolY[1400][1];
double AVN[1400][1];
double EAda[200][1400],EBda[200][1400];
double Esy1[200][1],Esy2[200][1];
double Esy3[200][1],Esy4[200][1],dpdae[200][1];

```

```

/*===== Procedures & Functions =====*/

```

```

/*===== DEPAR() =====*/

```

```

depar()
{
  for(d1=0;d1<3;d1++){
    W[d1]=AF[l1][g1*3+d1]-AL[mi][d1];
  }
  R=sqrt(W[0]*W[0]+W[1]*W[1]+W[2]*W[2]);
  for(d1=0;d1<3;d1++){
    OD[d1]=(W[d1]/R)*AP[l1][g1*3+d1];
  }
  O=OD[0]+OD[1]+OD[2];
}

```

```

/*===== DEPAR1()=====*/

```

```

depar1()
{
  for(d1=0;d1<3;d1++){
    Ww[d1]=AF[le][ge*3+d1]-AZ[me][d1];
  }
  Rr=sqrt(Ww[0]*Ww[0]+Ww[1]*Ww[1]+Ww[2]*Ww[2]);
  for(d1=0;d1<3;d1++){
    ODD[d1]=(Ww[d1]/Rr)*AP[le][ge*3+d1];
  }
  Oo=ODD[0]+ODD[1]+ODD[2];
}

```

```

/*===== CORN() =====*/

corn()
{
    if (p1==0){
        Amat[mi][mi]=Amat[mi][mi]-
(AU[g1]*AJ[l1][g1]*O/(R*R));
        Amat[mi+nod][mi+nod]=Amat[mi][mi];
    }
}

/*===== Function diagonal(Xy,Y[]) =====*/

double diagonal(double Xy,double Y[][1400])
{
    for(i=0;i<2*nod;i++){
        for(j=0;j<2*nod;j++){
            if (i==j) {
                Y[i][j]=Xy;
            }
            else Y[i][j]=0;
        }
    }
}

/*===== Function av_aa (void) =====*/

void av_aa(void)
{
    di2=fopen("ava.txt","r");
    for(i=0;i<136;i++){
        fscanf(di2,"%lf",&AV[i]);
    }
    for(i=0;i<136;i++){
        fscanf(di2,"%lf",&AA[i]);
    }
    fclose(di2);
}

/*===== Function multmv(x[][],y[][],z[][]) =====*/

double multmv(double x[][1400],double y[][1],double
z[][1],int m1)
{
    double xxx;
    for(i=0;i<m1;i++)

```

```

        {
            for(j=0;j<1;j++)
            {
                xxx=0;
                for(k=0;k<2*nod;k++)
                {
                    xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
                }
                z[i][j]=xxx;
            }
        }
    }

/*===== Function mult(x[][][],y[][][],z[][][]) =====*/

double mult(double x[][8],double y[][1],double z[][1],int
m1,int n1,int m2,int n2)
{
    double xxx;
    if(n1!=m2)
    {
        puts(" ERROR !!! Matrix Dimension...!!!\n");
        exit(1) ;
    }

    for(i=0;i<m1;i++)
    {
        for(j=0;j<n2;j++)
        {
            xxx=0;
            for(k=0;k<n1;k++)
            {
                xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
            }
            z[i][j]=xxx;
        }
    }
}

/*===== Function multa(x[][][],y[][][],z[][][])=====*/

double multa(double x[][5],double y[][1],double
z[][1],int m1,int n1,int m2,int n2)
{
    double xxx;
    if(n1!=m2)
    {
        puts(" ERROR ...!!!\n");
        exit(1) ;
    }

```

```

    }
    for(i=0;i<m1;i++)
    {
        for(j=0;j<n2;j++)
        {
            xxx=0;
            for(k=0;k<n1;k++)
            {
                xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
            }
            z[i][j]=xxx;
        }
    }
}

/*===== Function multb(x[][],y[][],z[][]) =====*/

double multb(double x[][8],double y[][1],double
z[][1],int m1,int n1,int m2,int n2)
{
    double xxx;
    if(n1!=m2)
    {
        puts(" ERROR ..!!!\n");
        exit(1) ;
    }

    for(i=0;i<m1;i++)
    {
        for(j=0;j<n2;j++)
        {
            xxx=0;
            for(k=0;k<n1;k++)
            {
                xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
            }
            z[i][j]=xxx;
        }
    }
}

/*===== Function multl(x[][],y[][],z[][]) =====*/

double multl(double x[][8],double y[][1],double
z[][1],int m1,int n1,int m2,int n2)
{
    double xxx;
    if(n1!=m2)
    {

```

```

        puts(" ERROR .!!!\n");
        exit(1) ;
    }
    for(i=0;i<m1;i++)
    {
        for(j=0;j<n2;j++)
        {
            xxx=0;
            for(k=0;k<n1;k++)
            {
                xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
            }
            z[i][j]=xxx;
        }
    }
}

/*===== Function mult2(x[][],y[][],z[][]) =====*/

double mult2(double x[][16],double y[][1],double
z[1][1],int m1,int n1,int m2,int n2)
{
    double xxx;
    if(n1!=m2)
    {
        puts(" Error !!! Matrix dimension....!!!\n");
        exit(1) ;
    }
    for(i=0;i<m1;i++)
    {
        for(j=0;j<n2;j++)
        {
            xxx=0;
            for(k=0;k<n1;k++)
            {
                xxx=xxx+x[i][k]*y[k][j];
            }
            z[0][0]=xxx;
        }
    }
}

double AK1[8][5]= {{0,2,1,2,1},{0,-4,0,-4,0},
                    {0,2,-1,2,-1},{-2,0,0,0,2},
                    {0,2,1,-2,-1},{0,-4,0,4,0},
                    {0,2,-1,-2,1},{2,0,0,0,-2}};

```

```
double BK[8][5]={0,1,2,2,1},{2,0,0,0,-2},
                 {0,-1,2,-2,1},{0,0,-4,4,0},
                 {0,1,2,-2,-1},{-2,0,0,0,2},
                 {0,-1,2,2,-1},{0,0,-4,-4,0}};
```

```
double AK[8][8]={-1,0,0,1,1,1,1,1},
                 {2,0,2,0,-2,0,-2,0},
                 {-1,0,0,-1,1,1,1,-1},
                 {2,-2,0,0,0,-2,0,2},
                 {-1,0,0,1,1,1,-1,-1},
                 {2,0,-2,0,-2,0,2,0},
                 {-1,0,0,-1,1,1,-1,1},
                 {2,2,0,0,0,-2,0,-2}};
```

```
/*===== READ_DATA =====*/
```

```
read_data()
{
    di=fopen("input_data.txt", "r+");
    fscanf(di,"%lf",&kwn);
    fscanf(di,"%lf",&aba);
    fscanf(di,"%lf",&da);
    fscanf(di,"%d",&nod);
    fscanf(di,"%d",&AE);
    fscanf(di,"%d %d",&AB[0],&AB[1]);

    for(i=0;i<nod;i++){
        fscanf(di,"%d",&a1);
        for(j=0;j<3;j++){
            fscanf(di,"%lf",&AL[i][j]);
        }
    }
    if (sayac==1){
        for(i=0;i<nod;i++){
            for(j=0;j<3;j++){
                AL[i][j]=aba*AL[i][j];
            }
        }
    }

    if (sayac==2){
        abb=aba+da;
        for(i=0;i<nod;i++){
            for(j=0;j<3;j++){
                AL[i][j]=abb*AL[i][j];
            }
        }
    }
}
```

```

    }

    for(i=0;i<AE;i++)
    {
        fscanf(di,"%d",&a1);
        for(j=0;j<8;j++){
            fscanf(di,"%d",&AI[i][j]);
        }
    }

    fclose(di);
    if (sayac==1){

        printf("@->ADS>--> a (Size- Design Variable) =
        %lf\n",aba);

        printf("\n");
        printf("@->ADS>--> k (Wave Number) = %lf\n",kwn);
        printf("\n");
        printf("@->ADS>--> Gauss = %d and %d
        \n",AB[0],AB[1]);
        printf("\n");

    }

}

/*

/*===== KUREHIZ() =====*/

void kurehiz()
{

    for(hiz=0;hiz<nod;hiz++)
    {
        AH[hiz]=1;
        AH[hiz+nod]=0;

        AH1[hiz][0]=1;
        AH1[hiz+nod][0]=0;
    }
}

/*==== Function solve(Xb[][] ,Yb[][] ,agp[][]) =====*/

char solve(double Xb[][1400],double Yb[][1],
            double agp[][1402])

```

```

{
    double x[1400];
    double s;

    for(i=1;i<=2*nod;i++){
        for(j=1;j<=2*nod;j++){
            agp[i][j]= Xb[i-1][j-1];
        }
    }
    for(i=1;i<=2*nod;i++){
        agp[i][2*nod+1]=Yb[i-1][0];
    }

    n=2*nod;
    for(k=1;k<=n-1;k++)
    {
        for(j=k+1;j<=n;j++)
        {
            for(p=k+1;p<=n;p++)
            {
                agp[j][p]=agp[j][p]-
                agp[j][k]/agp[k][k]*agp[k][p];
            }
        }
        if(agp[n][n]==0)
        {
            printf("\n Error !!!.. there is no unique solution
            !! \n please check your system matrix\n");
            exit(0);
        }
        else
        {
            x[n]=agp[n][n+1]/agp[n][n];
            for(i=n-1;i>0;i--)
            {
                s=0;
                for(j=i+1;j<=n;j++)
                {
                    s=s+agp[i][j]*x[j];
                }
                x[i]=1/agp[i][i]*(agp[i][n+1]-s);
            }

            for(i=0;i<2*nod;i++)
            {
                basinc[i]=x[i+1];
            }
        }
    }
}

```

```

    }

/*===== SWRITE() =====*/

swrite()
{
    for(i=0;i<2*nod;i++){
        press[i][0]=basinc[i];
    }

    dosres=fopen("surpres.txt","w+");
    freq=(vfs*kwn)/((2*M_PI)*25.4/1000);

    fprintf(dosres,"\n === Surface Pressures == \n");

    fprintf(dosres,"KA = %.2lf\nfreq = %.2lf\n",kwn,freq);
    fprintf(dosres,"Gauss = %d and %d\n",AB[0],AB[1]);

    for(i=0;i<nod;i++) {
        fprintf(dosres," %d, %.13lf, %.13lf,
%.13lf\n",i+1,press[i][0]/z0,press[i+nod][0]/z0,sqrt(pres
s[i][0]*press[i][0]/(z0*z0)+press[i+nod][0]*press[i+nod][
0]/(z0*z0)));
    }

    fclose(dosres);
}

/*===== COEFF() =====*/

coeff()
{
    int temp;
    int iz,jz,uba,ubb,l;
    uba=AB[0];
    ubb=AB[1];

    if (sayac==1){
        for(iz=0;iz<8;iz++){
            for(jz=0;jz<8;jz++){
                AK[iz][jz]=AK[iz][jz]/4;
            }
        }
    }
}

```

```

};

    for(iz=0;iz<8;iz++){
for(jz=0;jz<5;jz++){
    AK1[iz][jz]=AK1[iz][jz]/4;
    }
}

for(iz=0;iz<8;iz++){
    for(jz=0;jz<5;jz++){
        BK[iz][jz]=BK[iz][jz]/4;
    }
}
}

    AG=AB[0]*AB[1];

    for(iz=0;iz<uba;iz++)
    {
        A[iz]=(AB[0]*(AB[0]-1)/2)+iz;
    }
    for(iz=0;iz<ubb;iz++){
        B[iz]=(AB[1]*(AB[1]-1)/2)+iz;
    }
    for(iz=0;iz<ubb;iz++){
        A1[iz]=AV[B[iz]];
    }
    for(iz=0;iz<uba;iz++){
        A2[iz]=AV[A[iz]];
    }
    k=0;
    for(iz=0;iz<ubb;iz++){
        for(jz=0;jz<ubb;jz++){
            C[k][1]=A1[jz];
            k++;
        }
    };

    for(iz=0;iz<ubb;iz++){
        for(jz=0;jz<uba;jz++){
            C1[iz][jz]=A2[jz];
        }
    };

    for(iz=0;iz<ubb;iz++){
        for(jz=0;jz<uba;jz++){
            C1T[jz][iz]=C1[iz][jz];
        }
    };

```

```

k=0;

for(iz=0;iz<ubb;iz++){
    for(jz=0;jz<uba;jz++){
        C[k][0]=C1T[iz][jz];
        k++;
    }
};

for(iz=0;iz<uba;iz++){
    A3[iz]=AA[A[iz]];
}
for(iz=0;iz<ubb;iz++){
    A4[iz]=AA[B[iz]];
}

k=0;
for(iz=0;iz<uba;iz++){
    for(jz=0;jz<ubb;jz++){
        AU[k]=A3[iz]*A4[jz];
        k++;
    }
};

for(g=0;g<AG;g++){

    Lb[0][0]=1;
    Lb[1][0]=C[g][0];
    Lb[2][0]=C[g][1];
    Lb[3][0]=C[g][0]*C[g][1];
    Lb[4][0]=C[g][0]*C[g][0];
    Lb[5][0]=C[g][1]*C[g][1];
    Lb[6][0]=C[g][0]*C[g][0]*C[g][1];
    Lb[7][0]=C[g][0]*C[g][1]*C[g][1];

    ma=8;na=8;mb=8;nb=1;
    mult(AK,Lb,LbS,ma,na,mb,nb);
    for(iz=0;iz<8;iz++){

    }
    for(iz=0;iz<8;iz++){
        ALtS[iz][g]=LbS[iz][0];
    }
}

```

```

for(l=0;l<AE;l++){
    for(iz=0;iz<8;iz++){
        for(jz=0;jz<3;jz++){
            temp=AI[l][iz]-1;
            X[iz][jz]=AL[temp][jz];
        }
    }

for(iz=0;iz<8;iz++){
    XX1[iz][0]=X[iz][0];
    XX2[iz][0]=X[iz][1];
    XX3[iz][0]=X[iz][2];
};

for(g=0;g<AG;g++){
    d[0]=1;
    d[1]=C[g][0];
    d[2]=C[g][1];
    d[3]=C[g][0]*C[g][1];
    d[4]=C[g][0]*C[g][0];
    d[5]=C[g][1]*C[g][1];

    DK[0][0]=d[0];
    DK[1][0]=d[1];
    DK[2][0]=d[2];
    DK[3][0]=d[3];
    DK[4][0]=d[5];

ma=8;na=5;mb=5;nb=1;
multa(AK1,DK,DKS,ma,na,mb,nb);

    for(iz=0;iz<8;iz++){
        e[0][iz]=DKS[iz][0];
    }

    DK1[0][0]=d[0];
    DK1[1][0]=d[1];
    DK1[2][0]=d[2];
    DK1[3][0]=d[3];
    DK1[4][0]=d[4];

ma=8;na=5;mb=5;nb=1;
multa(BK,DK1,DK1S,ma,na,mb,nb);

    for(iz=0;iz<8;iz++){
        f[0][iz]=DK1S[iz][0];
    }

```

```

ma=1;na=8;mb=8;nb=1;

mult1(e,XX1,TE1,ma,na,mb,nb);

mult1(e,XX2,TE2,ma,na,mb,nb);
mult1(e,XX3,TE3,ma,na,mb,nb);

mult1(f,XX1,TF1,ma,na,mb,nb);
mult1(f,XX2,TF2,ma,na,mb,nb);
mult1(f,XX3,TF3,ma,na,mb,nb);

HJ=(TE2[0][0]*TF3[0][0])-(TE3[0][0]*TF2[0][0]);
IJ=(TE3[0][0]*TF1[0][0])-(TE1[0][0]*TF3[0][0]);
JJ=(TE1[0][0]*TF2[0][0])-(TE2[0][0]*TF1[0][0]);
DJ[0]=HJ;DJ[1]=IJ;DJ[2]=JJ;

AJ[1][g]=sqrt(HJ*HJ+IJ*IJ+JJ*JJ);

for(i=0;i<3;i++){
    IO[i]=(g*3)+i;
    AP[1][IO[i]]=DJ[i]/AJ[1][g];
}

for(iz=0;iz<8;iz++){
    ASMat[iz][0]=ALtS[iz][g];
}

for(i=0;i<8;i++){
    for(j=0;j<3;j++){
        XTrp[j][i]=X[i][j];
    }
}

ma=3;na=8;mb=8;nb=1;
multb(XTrp,ASMat,XTrpASMat,ma,na,mb,nb);

vec[0]=XTrpASMat[0][0];
vec[1]=XTrpASMat[1][0];
vec[2]=XTrpASMat[2][0];

for(iz=0;iz<3;iz++)
{
    AF[1][IO[iz]]=vec[iz];
}
}/* next g*/
}/* next l*/

```

```

fclose(dod);
}/* main */

/*===== SURHEL() =====*/

surhel()
{
    for(i=0;i<2*nod;i++){
for(j=0;j<2*nod;j++){
    Bmat[i][j]=0;
    }
    }
    for(mi=0;mi<nod;mi++){
        for(l1=0;l1<AE;l1++){
            for(p1=0;p1<8;p1++){
                iii=0,jj=0,hh=0,kk=0;
                for(g1=0;g1<AG;g1++){

depar();
corn();

hh=hh+((cos(kwn*R)/R)+kwn*sin(kwn*R))*O*AU[g1]*ALtS[p1][g
1]*AJ[l1][g1]/R;
    iii=iii+((sin(kwn*R)/R)-kwn*cos(kwn*R))*O*AU[g1]*
                ALtS[p1][g1]*AJ[l1][g1]/R;
    jj=jj+(sin(kwn*R))*AU[g1]*ALtS[p1][g1]*AJ[l1][g1]*
                kwn*z0/R;
    kk=kk+(-1*cos(kwn*R))*AU[g1]*ALtS[p1][g1]*
                AJ[l1][g1]*kwn*z0/R;
    }
    CS[p1][0]=hh;
    CS[p1][1]=iii;
    DS[p1][0]=jj;
    DS[p1][1]=kk;
    }

    for(ii=0;ii<8;ii++){
        xx[ii]=AI[l1][ii]-1;
        Amat[mi][xx[ii]]=Amat[mi][xx[ii]]+CS[ii][0];
        Amat[mi+nod][xx[ii]+nod]=Amat[mi][xx[ii]];
        Amat[mi][xx[ii]+nod]=Amat[mi][xx[ii]+nod]+
                CS[ii][1];
        Amat[mi+nod][xx[ii]]=-1*Amat[mi][xx[ii]+nod];
    }
}

```

```

    }/* next ii */

    for(ii=0;ii<8;ii++){
        xx[ii]=AI[11][ii]-1;

        Bmat[mi][xx[ii]]=Bmat[mi][xx[ii]]+DS[ii][0];
        Bmat[mi+nod][xx[ii]+nod]=Bmat[mi][xx[ii]];
        Bmat[mi][xx[ii]+nod]=Bmat[mi][xx[ii]+nod]+
                                DS[ii][1];
        Bmat[mi+nod][xx[ii]]=-1*Bmat[mi][xx[ii]+nod];
    }
}

if (sayac==1){
    for(i=0;i<2*nod;i++){
        for(j=0;j<2*nod;j++){
            Cmat1[i][j]=Amat[i][j];
            Bmat1[i][j]=Bmat[i][j];
        }
        multmv(Bmat1,AH1,BVc,2*nod);
        solve(Cmat1,BVc,ag);
        swrite();
    }

    if (sayac==2){
        for(i=0;i<2*nod;i++){
            for(j=0;j<2*nod;j++){
                Cmat2[i][j]=Amat[i][j];
                Bmat2[i][j]=Bmat[i][j];
            }
        }
    }
}

/*===== READ_EXDATA() =====*/

read_exdata()
{
FILE *ddx;

    ddx=fopen("field_inp.txt","r+");

    fscanf(ddx,"%lf",&Rd);

```

```

fscanf(ddx,"%d",&T);

for(i=0;i<T;i++){
    fscanf(di,"%d",&a1);
    for(j=0;j<3;j++){
        fscanf(di,"%lf",&AZ[i][j]);
    }
}

for(i=0;i<T;i++)
{
    for (j=0;j<3;j++)
    {
        AZ[i][j]=Rd*aba*AZ[i][j];
    }
}
}

/*===== MAKE_FILE_FOR_EXTHEL() =====*/

void Make_File_for_Exthel()
{
    FILE *exth;
    exth=fopen("extpres.txt","w+");
    fprintf(exth,"==== Field Pressures =====\n");
    fprintf(exth,"== Size <RADIOUS> = %.2lf\n",aba);
    fprintf(exth,"\n");
    fprintf(exth,"== Field Points <DISTANCE>= %.2lf\n",Rd);
    fprintf(exth,"\n");
    for(il=0;il<T;il++){
        fprintf(exth," %d %lf ",il+1,Dpe[il][0]/z0);
        fprintf(exth," %lf ",Dpe[il+T][0]/z0);
        fprintf(exth," %lf \n",sqrt((Dpe[il][0]/z0)*
                                   (Dpe[il][0]/z0)+(Dpe[il+T][0]/z0)*
                                   (Dpe[il+T][0]/z0)));
    }
    fclose(exth);
}

/*===== EXTHEL() =====*/

void Exthel(void)
{
    if (sayac==1){
        exdata();
    }

    for(i=0;i<2*T;i++)
    {

```

```

        for (j=0;j<2*nod;j++)
        {
            EA[i][j]=0;
            EB[i][j]=0;
        }
    }

    for (me=0;me<T;me++) {
        for (le=0;le<AE;le++) {
            for (pe=0;pe<8;pe++) {
                iie=0;jje=0;hhe=0;kke=0;
                for (ge=0;ge<AG;ge++) {
                    deparl();
                    hhe=hhe+((cos(kwn*Rr)/Rr)+kwn*sin(kwn*Rr))*
                        Oo*AU[ge]*ALtS[pe][ge]*AJ[le][ge]/Rr;
                    iie=iie+((sin(kwn*Rr)/Rr)-kwn*cos(kwn*Rr))*
                        Oo*AU[ge]*ALtS[pe][ge]*AJ[le][ge]/Rr;
                    jje=jje+(sin(kwn*Rr))*AU[ge]*ALtS[pe][ge]*
                        AJ[le][ge]*kwn*z0/Rr;
                    kke=kke+(-1*cos(kwn*Rr))*AU[ge]*ALtS[pe][ge]*
                        AJ[le][ge]*kwn*z0/Rr;
                }
                CS[pe][0]=hhe;
                CS[pe][1]=iie;
                DS[pe][0]=jje;
                DS[pe][1]=kke;
            }

            for (ii=0;ii<8;ii++) {
                xx[ii]=AI[le][ii]-1;
                EA[me][xx[ii]]=EA[me][xx[ii]]+CS[ii][0];
                EA[me+T][xx[ii]+nod]=EA[me][xx[ii]];
                EA[me][xx[ii]+nod]=EA[me][xx[ii]+nod]+CS[ii][1];
                EA[me+T][xx[ii]]=-1*EA[me][xx[ii]+nod];
            }

            for (ii=0;ii<8;ii++) {
                xx[ii]=AI[le][ii]-1;
                EB[me][xx[ii]]=EB[me][xx[ii]]+DS[ii][0];
                EB[me+T][xx[ii]+nod]=EB[me][xx[ii]];
                EB[me][xx[ii]+nod]=EB[me][xx[ii]+nod]+DS[ii][1];
                EB[me+T][xx[ii]]=-1*EB[me][xx[ii]+nod];
            }
        }
    }

    if (sayac==1){

```

```

        for(i=0;i<2*T;i++){
            for(j=0;j<2*nod;j++){
                EA1[i][j]=EA[i][j];
                EB1[i][j]=EB[i][j];
            }
        }

        multmv(EA1,press,es1,2*T);
        multmv(EB1,AH1,es2,2*T);

    for (i=0;i<T;i++)
    {
        Dpe[i][0]=(es2[i][0]-es1[i][0])/(4*M_PI);
        Dpe[i+T][0]=(es2[i+T][0]-es1[i+T][0])/(4*M_PI);
    }
    Make_File_for_Exthel();
}

if (sayac==2){
    for(i=0;i<2*T;i++){
        for(j=0;j<2*nod;j++){
            EA2[i][j]=EA[i][j];
            EB2[i][j]=EB[i][j];
        }
    }
}

}

/*===== MAKEFILE_FOR_SUR_SENS() =====*/

makefile_for_sur_sens()
{
    FILE *dsen;
    dsen=fopen("dpda.txt","w+");
    fprintf(dsen,"@ADS v1.0 // by Abdullah Secgin\n");
    fprintf(dsen," WAVENUMBER (k) = %.2lf\n",kwn);
    fprintf(dsen,"===== (dp/da)s (Size Sens.) =====\n");

    for(i=0;i<nod;i++){
        fprintf(dsen," %d %.6lf %.6lf\n",
                    i+1,dpda[i][0],dpda[i+nod][0]);
    }
    fclose(dsen);
}

/*===== SUR_SENS() =====*/

sur_sens()
{

```

```

    for(i=0;i<nod;i++){
        AVN[i][0]=0;
        AVN[i+nod][0]=0;
    }
    for(i=0;i<2*nod;i++){
        for(j=0;j<2*nod;j++){
            Bda[i][j]=(Bmat2[i][j] - Bmat1[i][j])/da;
            Cda[i][j]=(Cmat2[i][j] - Cmat1[i][j])/da;
        }
    }

    multmv(Bda,AH1,BSY1,2*nod);
    multmv(Bmat1,AVN,BSY2,2*nod);
    multmv(Cda,press,Csoly,2*nod);

    for(i=0;i<2*nod;i++){
        BSY[i][0]=BSY1[i][0] - Csoly[i][0] + BSY2[i][0];
    }

    solve(Cmat1,BSY,ag);
    for(i=0;i<2*nod;i++){
        dpda[i][0]=basinc[i];
    }
    makefile_for_sur_sens();
}

/*===== MAKEFILE_FOR_EXT_SENS =====*/

makefile_for_ext_sens()
{
    FILE *dext;
    dext=fopen("dpdae.txt","w+");
    fprintf(dext,"@ADS v1.0 // by Abdullah Secgin\n");
    fprintf(dext,"WAVE NUMBER (k) = %.2lf\n",kwn);
    fprintf(dext,"===== (dp/da)e (Size Sens.)\n");
    fprintf(dext,"=====\\n");

    for(i=0;i<T;i++){
        fprintf(dext," %d %.6lf %.6lf\\n",
            i+1,dpdae[i][0],dpdae[i+T][0]);
    }
    fclose(dext);
}

ext_sens()
{
    for(i=0;i<2*T;i++){
        for(j=0;j<2*nod;j++){
            EAda[i][j]=(EA2[i][j] - EA1[i][j])/da;

```



```

        printf("\n");
    }
/*===== MAIN(args, argv[]) =====*/

double main(int args,char argv[])
{
    int zz;
    z0=rho*vfs;
    menu1();
    sayac=1;

    again:
    read_data();

    if(sayac==1){

printf("@->ADS>--> RUNNING .... Please Wait...!!! \n");
printf("\n");
kurehiz();
av_aa();
    }

    coeff();
    diagonal(4*M_PI,Amat);
    surhel();
    if (sayac==2){
        sursens();
    }

    Exthel();

printf("\n");
printf("@->ADS>-->!!!. COMPLETED .!!! %d
time(s)\n",sayac);
    printf("\n");

    if (sayac==2){
        extsens();
    }

    sayac+=1;
    if(sayac==2){
        goto again;
    }

    menu2();
}

```