

**T.C.  
HALIÇ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MİMARLIK ANABİLİM DALI  
MİMARLIK PROGRAMI**

**KOMPOZİT ESASLI HİPERBOLİK VE PARABOLİK  
YAPILARIN KONSTRÜKTİF ÇÖZÜMLEME  
SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPI SANAYİNE  
GETİRECEĞİ AVANTAJLAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Hazırlayan  
Mimar Adil GÜLER**

**Danışmanı  
Prof. Dr. Vefa ÇETİN**

**İstanbul – 2011**



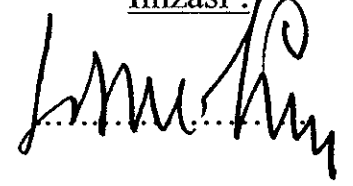
**T.C.**  
**HALIÇ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE**

Mimarlık Anabilim Dalı Mimarlık Programı Tezli Yüksek Lisans öğrencisi **Adil GÜLER** tarafından hazırlanan “**Kompozit Esaslı Hiperbolik ve Parabolik Yapıların Konstrüktif Çözümleme Sistemlerinin Araştırılması ve Yapı Sanayine Getireceği Avantajlar**” adlı bu çalışma jürimizce Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

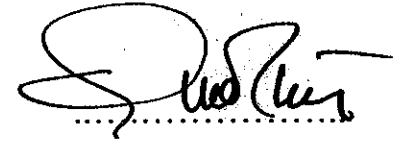
Sınav Tarihi : 03.06.2011

( Jüri Üyesinin Ünvanı , Adı , Soyadı ve Kurumu ) :

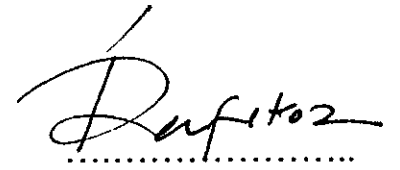
Jüri Üyesi : Prof.Dr.Vefa ÇETİN  
Danışman-HAL.Üniv.Mimarlık ABD Öğr.Üyesi

İmzası :  


Jüri Üyesi: Prof.Dr.Onur ALTAN  
HAL.Üniv.Mimarlık ABD Öğr.Üyesi



Jüri Üyesi : Doç.Dr.İpek FİTÖZ  
MSGSÜ Öğr.Üyesi



Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Ergun GÜRPINAR  
HAL.Üniv.Mimarlık ABD (Yedek)

.....

Jüri Üyesi : Yrd.Doç.Dr.Genco BERKİN  
HAL.Üniv.İç Mimarlık ABD (Yedek)

.....

## ÖNSÖZ

Günümüzde kompozit malzemelerin tarih içindeki gelişim süreci ve gelişen teknoloji ile birlikte, farklı malzemelerin değişik tekniklerle bir araya getirildiği, amaca uygun özellikler taşıyan, bir anlamda kompozit malzemenin gitgide arttığı, yaygınlaştığı görülmektedir.

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre daha hafif olması sebebiyle; özellikle yapıların çatı bölgelerinde kullanılan hiperbolik parabolit kabuk yapıların malzemesinin kompozit olarak seçilmesini öne çıkarmıştır.

Kabuk yapı formlarının geometrik kavram ve tanımlamaları ile sınıflandırılması yapılmıştır. Bu sınıflandırmalar sonucunda tasarımı etkileyecek form tipleri belirlenip yapımlarına ait genel özellikler açıklanmaktadır.

Günümüzde kabuk yapı formlarının genel anlamıyla, uygulamada pratik ve yapıyı hızlı inşa edebilme özelliğinin yanında, malzeme ve yapı sistemi olarak da pek çok teknolojik ilerlemeyi bünyesinde barındırmaktadır. Tasarım ve uygulama kolaylıkları ilerledikçe kabuk yapı örneklerini gelecek yıllarda sıkça görülecektir.

Bu tez çalışmasında; kitap, dergi, makale ve çeşitli kütüphanelerden yararlanılmış olup, kompozit malzemeleri genel anlamda inceleyip, kabuk yapı örnekleri ve hiperbolik, parabolik tasarımlar doğrultusunda yapı sektöründe kullanım alanları incelenmiştir.

Ayrıca bana bu tez hakkında araştırma imkânı sağlayan ve tezim hazırlanması sırasında bana her zaman destek olan danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Vefa Çetin'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Mayıs,2011

Adil GÜLER

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa No.</b>
ÖNSÖZ .....	I
İÇİNDEKİLER .....	II
KISALTMALAR LİSTESİ.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	VII
RESİMLER LİSTESİ.....	IX
TABLolar LİSTESİ .....	XII
ÖZET .....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM I.....	2
1. KOMPOZİT MALZEMELER .....	2
1.1. Kompozit Malzeme Tanımı .....	2
1.1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri .....	6
1.1.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları .....	7
1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması .....	8
1.1.3.1. Elyafli Kompozitler .....	8
1.1.3.2. Parçacıklı Kompozitler .....	9
1.1.3.3. Tabakalı Kompozitler .....	9
1.1.3.4. Karma Kompozitler .....	9
1.1.4. Matrisler .....	11
1.1.5. Termoplastikler.....	15
1.1.6. Termosetler.....	15
1.1.7. Duroplastların Takviyeli Üretim Yöntemleri.....	16
1.1.8. Duroplast Takviyeli Uygulama.....	17
1.1.9. Elyaf Tabakalar (Çekme Kuvvetini Karşılaman) .....	18
1.1.9.1. Cam Elyafı .....	18
1.1.9.2. Aramid Elyafı .....	19
1.1.10. Bağlayıcı Malzemeler (Sıvı Reçineler) .....	20
1.1.10.1. Polyesterler .....	20
1.1.10.2. Vinylesterler .....	20
1.1.10.3. Epoksiler.....	20
1.1.11. Yan Malzemeler .....	20
1.1.11.1. Sertleştirici Malzeme.....	20
1.1.11.2. Hızlandırıcı Malzeme .....	21
1.1.12. Sandwich Elemanlar.....	22
1.1.12.1. Sandwich Dolgu Malzemeleri .....	24
1.2. Kompozit Malzemelerin Kalıp Üretim Yöntemleri .....	25
1.2.1. El Yatırma Üretim Yöntemi .....	25

1.2.2.	Püskürtme Yöntemi .....	27
1.2.3.	Reçine Enjeksiyon Yöntemi .....	29
1.2.4.	Hazır Kalıplama Yöntemi .....	30
1.2.5.	Elyaf Sarma Yöntemi .....	31
1.2.6.	Savurma Döküm Yöntemi .....	32
1.3.	Kompozit Malzeme Kullanımında Tasarım Esasları .....	32
1.4.	Kompozit Esaslı Kabuk Yüzeylerin Sınıflandırılması .....	35
BÖLÜM II.....		39
2.	TAŞIYICI ELEMANLAR STRÜKTÜR YAPI SİSTEMLERİ.....	39
2.1.	Yığma Sistemler .....	39
2.2.	İskelet Sistemler .....	39
2.3.	Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler .....	40
BÖLÜM III .....		44
3.	KABUK SİSTEMLER .....	44
3.1.	Tarihçe.....	48
3.2.	Kabuk Sistemlerde Kullanılan Malzemeler .....	53
3.2.1.	Betonarme .....	53
3.2.2.	Metal Saçlar .....	54
3.2.3.	Takviyeli Plastik Malzemeler .....	54
3.2.4.	Elyaf Donatılı Beton .....	55
3.3.	Kabuk Geometrisi ile İlgili Kavram ve Tanımlamalar .....	55
3.3.1.	Kabuk Yüzeylerin Sınıflandırılması.....	56
3.3.1.1.	Gauss Eğriliği Pozitif Yüzeyler .....	57
3.3.1.2.	Gauss Eğriliği Sıfır Yüzeyler .....	61
3.3.1.3.	Gauss Eğriliği Negatif Yüzeyler .....	63
3.3.1.4.	Hiper Yan Yana Getirilerek ve Kesiştirilerek Oluşturulan Yüzeyler .....	65
3.3.1.5.	Gauss Eğriliği Hem Pozitif Hem Negatif Yüzeyler .....	66
3.3.2.	Eğriliklere Göre Sınıflandırma .....	66
3.3.3.	Yüzey Geometrileri Esas Alınarak Sınıflandırma.....	67
3.3.4.	Kabuk Kalıp Yapımı Sınıflandırması ve Uygulanan Yüzeyler .....	67
3.4.	Dönel Yüzeyler (Rotasyon Yüzeyleri).....	68
3.4.1.	Tek Eğrilikli Dönel Yüzeyler .....	69
3.4.2.	Çift Eğrilikli Dönel Yüzeyler .....	70
3.4.3.	Eş Eğrilikli Dönel Yüzeyler .....	70
3.4.3.1.	Dönel Paraboloid .....	71
3.4.3.2.	Elipsoit .....	72
3.4.4.	Ters Eğrilikli Dönel Yüzeyler .....	72
3.5.	Dönel Yüzeylerin Ortak Geometrik Özellikleri.....	73
3.6.	Öteleme (Translasyon) Yüzeyleri .....	74
3.6.1.	Tek Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri.....	75

3.6.2.	Eş Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri .....	75
3.6.3.	Ters Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri.....	76
3.7.	Çizel Yüzeyler .....	77
3.7.1.	Çift Eğrilikli Çizel Yüzeyler .....	77
3.7.1.1.	Hiperbolik Parabolit .....	77
3.7.1.2.	Konoit.....	79
3.7.1.3.	Konoidal Yüzeysel.....	79
3.7.1.4.	Tek Yüzeyli Hiperbolit.....	80
3.8.	Karışık Yüzeyler .....	81
3.9.	Kabukların Statik Çalışmalarına ve Yapılarına Ait Genel Özellikler .....	82
BÖLÜM IV	.....	84
4.	HİPERBOLİK PARABOLOİT KABUKLAR .....	84
4.1.	Kompozit Esaslı Hiperbolik Parabolit Yapılar .....	94
BÖLÜM V	.....	95
5.	KABUK YAPILARIN TASARIM VE ANALİZ STANDARTLARI .....	95
5.1.	Kabuk Yapıların Temel Olarak Modellenmesi ve Dizaynı .....	95
5.2.	Kabuk Yapıların Analiz Türleri .....	95
BÖLÜM VI	.....	98
6.	KABUK YAPI UYGULAMALARI .....	98
6.1.	National Centre for the Performing Arts, Beijing, China .....	98
6.2.	Pisanka, Kiev .....	99
6.3.	Sampsel Near Husnes, Norveç.....	100
6.4.	Tacoma Dome, Washington, ABD .....	100
6.5.	Randstadrail - Beatrixlaan Between The Hague and Rotterdam.....	101
6.6.	Khan Shatry Entertainment Centre .....	102
6.7.	Shukhov Towers on the Oka River .....	102
6.8.	Watertower in Ciechanów, Poland .....	103
6.9.	Japan Pavilion, EXPO 2000, Hannover, Germany .....	104
6.10.	Kunsthaus, Graz, Austria .....	104
6.11.	Golden Terraces, Warsaw, Poland.....	106
6.12.	The Astana the Capital of Kazakhstan Bird.....	107
6.13.	Interior of the Southern Cross Station, Melbourne .....	108
6.14.	Cargo Lifter, Germany.....	109
6.15.	Nuestra Senora De La Soledad Kilisesi.....	109
6.16.	St. Mary Katedrali, Los Angeles .....	110
6.17.	Takeshi Hosaka Mimarlık, Hoto Fudo .....	111
6.18.	Yas Hotel, Abu Dhabi .....	113
6.19.	Eden Projesi,Cornwall .....	114
6.20.	Santiago Calatrava L'Hemisferic (Planetaryun), Valencia.....	114
6.21.	Haydar Aliyev Kültür Merkezi, Bakü, Azerbaycan .....	115

6.22. Candela' nın (Betonarme Kabuk) Tasarım Örnekleri .....	116
6.22.1. Kozmik Işınlr Laboratuarı .....	120
6.22.2. Şapel Lomas de Cuernavaca.....	121
6.22.3. Los Xochimilco Restaurant .....	122
BÖLÜM VII.....	123
7. KABUK SİSTEMLERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI .....	123
7.1. Kabuk Sistemlerin Avantajları.....	123
7.1.1. Fonksiyonel Uygunluk .....	123
7.1.2. Ekonomi .....	123
7.1.3. Estetik.....	123
7.2. Kabuk Sistemlerin Dezavantajları .....	124
SONUÇ .....	125
KAYNAKLAR .....	127
ÖZGEÇMİŞ.....	130



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>CTP</b>	: Cam Takviyeli Polyester
<b>GRP</b>	: Glassfiber Reinforced Polyester
<b>M.Ö.</b>	: Milattan Önce
<b>PVC</b>	: Poli Vinil Klorür
<b>H.P</b>	: Hiperbolik Paraboloid
<b>CEN</b>	: European Committee for Standardization
<b>EN</b>	: European standards
<b>LA</b>	: Lineer Elastik Kabuk Analizi
<b>LBA</b>	: Lineer Elastik Ayrılma Analizi
<b>GNA</b>	: Geometrik Nonlineer Elastik Analizi
<b>MNA</b>	: Maddesel Nonlineer Analiz
<b>GMNA</b>	: Geometrik ve Maddesel Nonlineer Analiz
<b>GNIA</b>	: Geometrik Nonlineer Elastik İle Hata Analizi
<b>GMNIA</b>	: Geometrik ve Maddesel Nonlineer İle Hata Analizi
<b>DMA</b>	: Dimetil Anilin
<b>DEA</b>	: Dietilen Anilin

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa No.
Şekil 1.1. Kompozit Malzemenin Fazları.....	3
Şekil 1.2. Kompozit malzemenin kesit görünüsü.....	3
Şekil 1.3. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi.....	5
Şekil 1.4. Kompozit Malzeme Çekme – Uzaman eğrisi.....	11
Şekil 1.5. Sandwich Yapıda Oluşan Gerilmeler.....	24
Şekil 1.6. El Yatırma üretim yöntemi.....	25
Şekil 1.7. Püskürtme Yöntemi.....	28
Şekil 1.8. Reçine Enjeksiyon Metodu.....	29
Şekil 1.9. Reçine Enjeksiyonu Sistematik Yöntemi.....	30
Şekil 1.10. SMC Hazır kalıplama yöntemi.....	30
Şekil 1.11. Elyaf Sarma Metodu.....	31
Şekil 1.12. Savurma Döküm Metodu.....	32
Şekil 1.13. Bazı Kabuk Yüzey Oluşum Tipleri.....	35
Şekil 2.1 Plastik Hücreler.....	41
Şekil 2.2. Kabuk Sistemler.....	41
Şekil 2.3. Hiperbolik ve Parabolik Kabuk Sistemler.....	42
Şekil 3.1. Mukavemeti Biçimine Bağlı Tabaka Kâğıdın Rijitliği ve Yük Taşıma Kapasitesi Benzetmesi.....	44
Şekil 3.2. Eğrilik Dairesi ve Eğrilik Yarıçapı.....	56
Şekil 3.3. Eğriliklerine Göre Kabuk Yüzeyler.....	57
Şekil 3.4. Pozitif Eğrilikli Yüzey.....	57
Şekil 3.5. Kabuk Yüzeyin Sinklastik Açılımı.....	59
Şekil 3.6. Doğru ve Eğri Kenarlı Yüzeyler.....	59
Şekil 3.7. Pozitif Eğrilikli Üç Elemanlı Kesiştirilen Yüzeyler.....	60
Şekil 3.8. Silindirik - Konik Yüzeyler.....	61
Şekil 3.9. Sıfır Eğrilikli Yüzeyler.....	62
Şekil 3.10. Negatif Eğrilikli Yüzeyler.....	63
Şekil 3.11. Negatif Eğrilikli Yüzeyler.....	63
Şekil 3.12. Negatif Eğrilikli Yüzeyler.....	64
Şekil 3.13. Negatif Eğrilikli Yüzeyler.....	64
Şekil 3.14. Negatif Eğrilikli Yüzeyler 4 Doğru Kenarlı.....	65
Şekil 3.15. Negatif Eğrilikli Yüzeylerin Birleşimi.....	66
Şekil 3.16. Alternatif Eğrilikli Yüzeyler.....	66
Şekil 3.17. Dönel Yüzeylerde Doğuray ve Doğrultmanlar.....	68
Şekil 3.18. Dairesel Silindir.....	69
Şekil 3.19. Dairesel Koni.....	69
Şekil 3.20. Tam ve Yarım Küre.....	71
Şekil 3.21. Dönel Parabolit.....	71

Şekil 3.22. Sivri Elipsoit .....	72
Şekil 3.23. Yassı Elipsoit.....	72
Şekil 3.24. Diğer Eğrilerden Toroit Yüzeyi Türetmenin Yolu .....	72
Şekil 3.25. Parabol Eğrisinden Türetilen Eş Eğrilikli Toroit Yüzey .....	73
Şekil 3.26. Parabol Eğrisinden Türetilen Ters Eğrilikli Toroit Yüzey .....	73
Şekil 3.27. Tek Yüzeyleli Hiperboloit.....	74
Şekil 3.28. Öteleme Yüzeylerin Genel Türetimi .....	74
Şekil 3.29. Dairesel, Parabolik, Eliptik Silindir - Tek Eğrilikli Öteleme Yüzeyler.....	75
Şekil 3.30. Eliptik Paraboloid Şematik Plan ve Perspektif Gösterimi .....	75
Şekil 3.31. Şematik Hiperbolik Paraboloid .....	76
Şekil 3.32. Tek Eğrilikli Çizel Yüzey .....	77
Şekil 3.33. Düz Kenarlı Hiperbolik Paraboloid .....	78
Şekil 3.34. Hiperbolik Paraboloid.....	78
Şekil 3.35. Eğri ve Düz Kenarlı Hiperbolik Paraboloid .....	78
Şekil 3.36. Yatay Doğru Eğri Konoit Yüzey.....	79
Şekil 3.37. Şematik Konoidal Yüzeyler .....	79
Şekil 3.38. Şematik Konsol konoid Yüzeyler .....	80
Şekil 3.39. Şematik Eğri Konoidal Yüzey .....	80
Şekil 3.40. Şematik Tek Yüzeyleli Hiperboloid .....	80
Şekil 3.41. Silindirlerin Şematik Kesişmesi .....	81
Şekil 3.42. Dalgalı şematik silindirik yüzey .....	81
Şekil 3.43. Dalgalı şematik konik yüzey .....	81
Şekil 3.44. İstiridye'kabağı görünümünde şematik elipsoid .....	82
Şekil 3.45. Dalgalı şematik parabolik silindir .....	82
Şekil 4.1. Eğri kenarlı H.P. kabuk geometrisi .....	84
Şekil 4.2. Düz kenarlı H.P. kabuk geometrisi .....	84
Şekil 4.3. Eğri Kenarlı H.P. Görünüş ve Planı .....	85
Şekil 4.4. Düz Kenarlı H.P. Görünüş ve Planı .....	85
Şekil 4.5. Hiperbolik Paraboloid'in Yüzey Olarak Oluşumu.....	86
Şekil 4.6. İç ve Dış Bükey Parabollerin Basınca ve Çekmeye Çalışması .....	86
Şekil 4.7. Duran bir parabolde oluşan basınç kuvveti .....	88
Şekil 4.8. H.P kabukta asal eğriler doğrultusunda çekme ve basınç kuvvetleri .....	88
Şekil 4.9. Geometriksel Tasarım Örnekleri 1.....	89
Şekil 4.10. Geometriksel Tasarım Örnekleri 2.....	90
Şekil 4.11. Geometriksel Tasarım Örnekleri 3.....	91
Şekil 4.12. Geometriksel Tasarım Örnekleri 4.....	92
Şekil 4.13. Geometriksel Tasarım Örnekleri 5.....	93
Şekil 6.1. Takeshi Hosaka Evin Kabuk Yapısı .....	112
Şekil 6.2. Laboratuvarın Tasarım Aşaması .....	120
Şekil 6.3. Los Xochimilco Restaurant Perspektif ve Görünüş.....	122

## RESİMLER LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
Resim 1.1. Sandwich Bir Yapının Temel Elemanları .....	23
Resim 1.2. El yatırma yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (1).....	26
Resim 1.3. El yatırma yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (2).....	27
Resim 1.4. Püskürtme yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (1) .....	28
Resim 1.5. Püskürtme yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (2) .....	29
Resim 1.6. Hazır kalıplama yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı .....	31
Resim 1.7. Dönel Hiperbolit, Şirket Caddesi Köprüsü, Manchester, İngiltere.....	36
Resim 1.8. Hiperbolik parabolit, Los Manantiales Restoranı, Meksika-Xochimilco.....	36
Resim 1.9. Kabuk Yapı Sistemli Bazı Yapı Formları .....	37
Resim 2.1. Crystal Palace .....	40
Resim 2.2. Hiperbolik ve Parabolik Kabuk Yapı Örneği .....	42
Resim 2.3. Kompozit Esaslı Kalıp Dökümlü Prefabrik Çatı Kaplaması .....	42
Resim 2.4. Katlanmış Plak Uygulamaları.....	43
Resim 2.5. Piramidal Katlanmış Plak Uygulamaları.....	43
Resim 3.1. Örnek Kabuk Yapı Uygulamaları .....	45
Resim 3.2. National Centre For The Performing Arts, Çin.....	46
Resim 3.3. Cargo Lifter, Almanya .....	46
Resim 3.4. Brüksel dünya fuarı'nda le corbusier'in philips firması için gerçekleştirdiği hiperbolik paraboloid yapı .....	47
Resim 3.5. Interior of the Southern Cross Station, Amerika.....	48
Resim 3.6. Plateneryum, Küre Kabuk.....	49
Resim 3.7. Zementhalle (Kabuğun Çökmesi), Zürih .....	49
Resim 3.8. Radyatör Fabrikası, Bagneax .....	50
Resim 3.9. Fransız Pavyonu, Zagreb.....	50
Resim 3.10. Prostejov Fabrika Binası, Çek Cumhuriyeti.....	51
Resim 3.11. Algericas hal binası, İspanya .....	51
Resim 3.12. Zarzuela Hipodrom, İspanya.....	52
Resim 3.13. Kennedy Havalimanı, Newyork.....	52
Resim 3.14. Palacio de los Deportes, Meksika .....	53
Resim 3.15. Infosys Campus, Pune, Maharashtra, Hindistan (dönel paraboloid) .....	58
Resim 3.16. Hava Trafik Kontrol Kulesi, Klia, Malezya (elipsoid) .....	58
Resim 3.17. Katar Doha Camii (Doğru Kenarlı Yüzey Örneği).....	60
Resim 3.18. Kresge Auditorium Cambridge, Amerika (Eğri Kenarlı Yüzey Örneği) .....	60
Resim 3.19. Eğlence Merkezi Utah, Amerika (Üç Eksenli Elipsoid) .....	61
Resim 3.20. Fan-Shell Beach, Florida Amerika.....	62
Resim 3.21. Railway Repair Shop, Bagneux, France .....	65
Resim 3.22. Olimpik Stadyum, Atina, Yunanistan .....	75
Resim 3.23. Açık Hava Sahnesi, Harriet Island Park, Londra .....	76

Resim 6.1. National Centre For The Performing Arts.....	98
Resim 6.2. National Centre For The Performing Arts.....	98
Resim 6.3.Pisanka.....	99
Resim 6.4. Samspel Near Husnes.....	100
Resim 6.5 Tacoma Dome Dıştan Görünüş.....	100
Resim 6.6. Tacoma Dome İçten Görünüş.....	101
Resim 6.7. Randstadri- Beatrixlaan.....	101
Resim 6.8. Khan Shatry Entertainment Centre.....	102
Resim 6.9 Shukhov Towers.....	103
Resim 6.10. Watertower in Ciechanow.....	103
Resim 6.11. Japan Pavilion.....	104
Resim 6.12. Kunsthaus.....	104
Resim 6.13. Kunsthaus.....	105
Resim 6.14. Kunsthaus.....	105
Resim 6.15. Kunsthaus.....	105
Resim 6.16. Golden Terraces.....	106
Resim 6.17. Golden Terraces.....	106
Resim 6.18. The Astana the Capital of Kazakhstan Bird.....	107
Resim 6.19. The Astana the Capital of Kazakhstan Bird.....	107
Resim 6.20. Interior of the Southern Cross Station.....	108
Resim 6.21. Interior of the Southern Cross Station.....	108
Resim 6.22. Cargo Lifter.....	109
Resim 6.23. Cargo Lifter.....	109
Resim 6.24. Nuestra Senora De La Soledad Kilisesi.....	110
Resim 6.25. St. Mary Katedrali.....	110
Resim 6.26. Takeshi Hosaka.....	111
Resim 6.27. Takeshi Hosaka.....	111
Resim 6.28. Takeshi Hosaka.....	111
Resim 6.29. Takeshi Hosaka Evi.....	112
Resim 6.30. Yas Hotel.....	113
Resim 6.31. Yas Hotel.....	113
Resim 6.32. Eden Projesi.....	114
Resim 6.33. Santiago Calatrava L'Hemisferic.....	114
Resim 6.34. Hayder Aliyev Kültür Merkezi' nin İç Görünümü.....	115
Resim 6.35. Hayder Aliyev Kültür Merkezi' nin Yapım Aşaması.....	116
Resim 6.36. Hayder Aliyev Kültür Merkezi' nin Dış Görünümü.....	116
Resim 6.37. Candela' nın Tasarım Örnekleri.....	117
Resim 6.38. Candela' nın Tasarım Örnekleri.....	118
Resim 6.39. Candela' nın İnşaatı.....	119
Resim 6.40. Bolsa de Volares (Menkul Kıymetler Borsası) için kesişen hypars.....	119

Resim 6.41. Kozmik Işınlar Laboratuarı .....	120
Resim 6.42. Laboratuarı Yapım Aşaması .....	121
Resim 6.43. Şapel Lomas de Cuernavaca.....	121
Resim 6.44. Los Xochimilco Restaurant .....	122

## TABLolar LİSTESİ

	<b>Sayfa No.</b>
Tablo 1.1. Kompozit Yapı Eleman Tipleri.....	6
Tablo 1.2. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerle karşılaştırılması .....	10

## GENEL BİLGİLER

Adı ve Soyadı : Adil GÜLER  
Anabilim Dalı : Mimarlık  
Programı : Mimarlık  
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Vefa ÇETİN  
Tez Türü ve Tarihi : Yüksek Lisans – Mayıs 2011

### KOMPOZİT ESASLI HİPERBOLİK VE PARABOLİK YAPILARIN KONSTRÜKTİF ÇÖZÜMLEME SİSTEMLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE YAPI SANAYİNE GETİRECEĞİ AVANTAJLAR

#### ÖZET

Bu çalışmada; kompozit esaslı hiperbolik ve paraboloid yapıların özellikleri ile bu yapıların inşaat sektörüne getirdiği yenilikler ve avantajlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Özellikle kabuk yapılar, bu kabuk yapıların çeşitlerinden ince kabuklar, serbest biçimli kabuklar, kubbeler ile hiperbolik ve paraboloid kabuk yapılar incelenmiştir.

Çalışma kapsamında önce kompozit esaslı malzemelerin özellikleri, avantajları, dezavantajları ve yapı sanayisine uyarlanması anlatılacaktır. Daha sonra bu kabuk yapıların inşaat sektörüne getirdiği yenilikler ile birlikte dünyada var olan örnek yapılardan bahsedilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Kompozit Yapılar, Kabuklar, Hiperbolik ve Paraboloid



## GENERAL KNOWLEDGE

Name and Surname : Adil GÜLER  
Field : Architecture  
Program : Architecture  
Supervisor : Assoc. Prof.Dr. Vefa ÇETİN  
Degree Awarded and Date : Master – May 2011

### RESEARCHING CONSTRUCTIVE ANALYSIS OF COMPOSITE STRUCTURES BASED ON HYPERBOLIC AND PARABOLIC SYSTEMS IN THE BUILDING INDUSTRY AND GETTING ADVANTAGES

#### ABSTRACT

In this study, basic of hyperbolic and paraboloid structures composite charecteristic and determining of the innovations and advantages which are brought to construction sector of these structures were purposed. Especially the shell structures, thin shells which one of the kinds of these shells structures, free form shells, and domes, with the hyperbolic and paraboloid shell structures are examined.

In the scope of the study firstly features of the materials which are basic of composite advantages, disadvantages and implementation of these materials in construction industry will be explained. After the innovations which are introduced to the construction sector of these shell materials and sample structures existing in the world were mentioned.

**Key Words:** Composite Structures, Shells, Hyperbolic and Paraboloid

## GİRİŞ

Kabuk yapıların yapım aşamalarını zorlaştırdığı, bu yapılar için ideal bir malzeme kompozisyonu sağlamadığı ve bu tür yapı sistemlerinin oluşturulmasındaki zorluklar, doğada en ideal yapı biçimlerinden olan kabuk yapı formlarının, hak ettiği popülerliğe yeterince ulaşamamasına sebep olmuştur. Kabuk yapılarına duyulan ihtiyaç, onun alternatif malzemelerle ve yapısal anlamda sistemsel gelişimi gereksinimini doğurmuştur.

Hiperbolik parabolik yapılar geometrik şekilleri doğrultusunda gerilme ve burulma kuvvetlerine karşı diğer kabuk yapılara göre daha dayanıklı olmaları yaygın kullanılma sebeplerinin en önemli nedenidir.

Malzeme teknolojisindeki ilerlemesiyle birlikte kompozit malzemelerin bulunması ve kullanımının yaygınlaşması diğer sektörlerde olduğu gibi yapı sektöründe de kompozit malzeme kullanımında önemli yer almıştır. Kabuk yapıların mimarisinde kompozit malzeme kullanımı sayesinde dış kuvvetlere karşı daha da dayanıklı yapılar yapılmaya başlanmıştır.

## BÖLÜM I

### 1. KOMPOZİT MALZEMELER

#### 1.1. Kompozit Malzeme Tanımı

Zamanımızda kompozit malzemeler, hayatımızın her noktasında karşılaşılabileceğimiz bir yaygınlıkta kullanılmaktadır. Kompozit malzemenin tanımı kısaca; farklı iki maddenin heterojen bir yapıda, maddelerin iyi özelliklerinin bir araya toplanması veya yeni bir özellik ortaya çıkarmak için birleştirilmesi olarak verilebilir.

Genel olarak kompozit malzeme fiziksel ve kimyasal özellikleri farklı olan iki veya daha fazla malzemenin bir araya gelerek oluşturduğu daha iyi mekanik özelliklere sahip olan malzemelerdir. Kompozit malzemenin yapısını fiberler ve matris oluşturur. En çok kullanılan şekliyle, matris malzeme içerisine daha farklı bir malzemenin fiber veya parçacık olarak konması ve kür işlemiyle tek bir yapı oluşturulmasıdır. Bu bileşenler birbirleri içinde çözünmezler veya karışmazlar. Fiberler, kompozit yapının takviye elemanı olup mekanik mukavemeti sağlarlar. Matris, fiberleri bir arada tutan, fiberler arasında gerilim aktarımını sağlayarak mekanik yapının oluşumunu dolaylı olarak etkileyen ve fiberleri fiziksel ve kimyasal dış etkilere koruyarak kompozit yapının bir sistem olarak ortaya çıkmasını sağlayan ana yapıdır. Matris malzemesi olarak metal alaşımları kullanıldığı gibi daha uygun olan reçinelerde kullanılmaktadır. Matrislere (bağlayıcılar) örnek olarak polimer, seramik ve metalleri; güçlendiricilere örnek olarak ta fiberler, partiküller, whiskers (polimer, seramik veya metalde olabilir) verilebilir. Kompozit malzemelerin tercih edilmesinin sebebi ağırlık olarak % 25 lere ulaşan miktarda tasarruf sağlamalarıdır.<sup>1</sup>

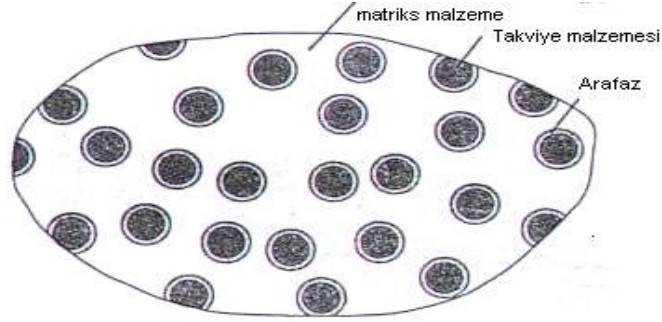
Kompozit malzemenin üretim amaçları;

- a) Mukavemeti arttırmak
- b) Yorulma dayanımı arttırmak
- c) Aşınma dayanımını arttırmak

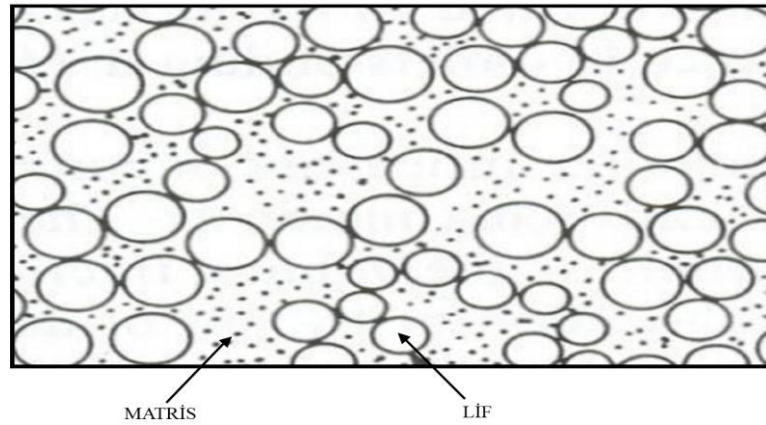
---

<sup>1</sup> Gümüşderelioğlu, Menekşe,“ Kompozit Malzemeler”, Bilim ve Teknik Yeni Ufuklara,S.2-5,2004

- d) Korozyon dayanımını arttırmak
- e) Kırılma tokluğunu arttırmak
- f) Yüksek sıcaklıklardaki özellikleri iyileştirmek
- g) Isıl iletkenliği arttırmak
- h) Elektrik iletkenliğini arttırmak
- i) Rijitliği arttırmak
- j) Ağırlığı azaltmak
- k) Estetik çekicilik kazandırmak



Şekil 1.1. Kompozit Malzemenin Fazları<sup>2</sup>



Şekil 1.2. Kompozit malzemenin kesit görüntüsü<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Daniel I. M., Ishai O., 1994, Engineering Mechanics Of Composite Materials, Oxford University

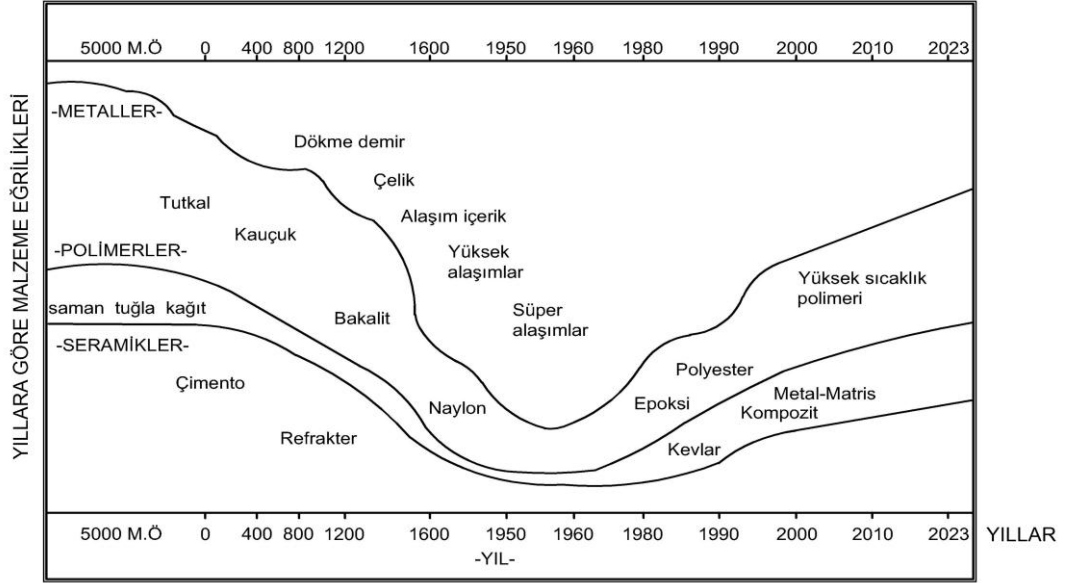
<sup>3</sup> Agarwall, B.D., Broutman L.J. 1980. Analysis And Performance Of Fiber Composites. John Wiley & Sons, New York

En çok kullanılan kompozit malzeme kombinasyonları; Cam elyafı + polyester, karbon elyafı + epoksi ve aramid elyafı+epoksi birleşimleridir. Kompozit malzemeler katlı tabakalar veya ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. 1940'ların sonlarında geliştirilen CTP ( Cam Takviyeli Polyester – CTP/ Glassfiber Reinforced Polyester- GRP) günümüzde en çok kullanılan ve ilk modern polimer esaslı kompozit malzemedir. Bugün üretilen tüm kompozit malzemelerin yaklaşık olarak % 85'i CTP'dir ve çoğunlukla tekne gövdeleri, spor araçları, paneller, araba gövdeleri ev aletlerinden uzay teknolojisinde kadar hemen hemen her alanda çok yaygın kullanımı bulunan kompozit malzemenin üretimi son birkaç yüz yılda ortaya çıkmasına rağmen bazı örnekleri çok eskilere dayanmaktadır.(Şekil 1.3) CTP ve diğer kompozit kombinasyonlarının günümüzde tercih edilmesinin ve kullanımlarındaki artışın mutlak sebepleri sağlamlıkları ve hafiflikleridir. Çeşitli plastik malzemelerin seramik, metal bazen de sert polimerlerin elyafları ile güçlendirilerek ileri derecede faydalar sağlayan malzemeler üretmek mümkündür. İçindeki plastik sayesinde kolaylıkla şekil verilebilen ve takviye elyaflar sayesinde son derece sağlam, sert ve hafif olan bu malzeme kombinasyonları her gün yeni uygulama alanlarında karşımıza çıkmaktadırlar. Ayrıca metallere kıyasla malzeme yorulması, malzeme üzerinde hasarların tolere edilmesi ve korozyona dayanıklılık özellikleri bakımından avantaj sağlamaktadır.<sup>4</sup>

Kompozit malzeme kavramının ortaya atılması ve konunun bir mühendislik konusu olarak ele alınması ancak 1940'lı yılların başında gerçekleşmiştir. İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemelerin içine bitkisel veya hayvansal lifler koyarak bu kırılğanlık özelliğinin giderilmesine çalışmışlardır. Bu konularda en iyi örneklerden biri kerpiç malzemedir. Kerpiç üretiminde killi çamur içine katılan saman, sarmaşık dalları gibi sap ve lifler, malzemenin gerek üretimi ve gerekse kullanımını sırasındaki dayanımını artırmaktadır. Cam liflerinin üretimi, eski Mısır'a kadar tarihlendirilmektedir. M.Ö 1600 yıllarında Mısır'da ince cam liflerinin yapımının bilindiği söylenmektedir. Cam liflerinin sanayide kullanımıyla ilgili ilk kayıt, 1877 tarihine kadar dayanmaktadır.

---

<sup>4</sup> Kazanç Volkan,“ Kompozit Malzemeler ve Mekanik Özellikleri”, Isparta 2002.



Şekil 1.3. Kompozit Malzemelerin Tarihsel Gelişimi<sup>5</sup>

Günlük uygulamalarda en yaygın kullanım olanağı bulmuş olan liflerle donatılmış kompozit malzemelerden ikisi, asbest lifleriyle donatılı kompozit malzemeler ve cam lifleriyle donatılı polyester kompozitlerdir. İlk kez ince levha yapımında kullanılan çimento ve asbest kompozitleri yıllar boyu önemini koruyan ve bu gün hala kullanılan bir malzemedir. Öte yandan, liflerle donatılı sentetik reçineler 1950’li yılların ortalarından itibaren endüstride kullanılmaya başlanmıştır. Bu malzemenin en tanınmış grubunu “cam lifi donatılı polyester reçine kompoziti” oluşturmaktadır. Ülkemizde “fiberglass” diye tanınan bu malzeme 1960’lı yılların başından itibaren Türkiye’de su tankları, çatı levhaları, küçük boyda deniz teknelerinin yapımı gibi alanlarda uygulanmaktadır.

Ülkemizde seri üretimi yapılmış ilk yerli otomobil olan “Anadol”un kaportası bu malzemedен üretilmiştir. Cam lifleriyle donatılı sentetik reçine matrisli malzemeler için dilimizde “Cam Takviyeli Plastik (CTP)” adı yerleşmiştir. Cam takviyeli plastiklerin üretiminde, en çok kullanılan malzeme olan polyesterin yanı sıra, günümüzde, diğer termoset ve termoplastik reçinelerde kullanılmaktadır.<sup>6</sup>

<sup>5</sup> Uğur Ö.Aydın, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Sandviç Kompozitlerde “Balpeteği” Yapısının Optimizasyonu, İzmir, 2009.

<sup>6</sup> Yaşa E.Halit, “Kompozit Malzeme”, Literatur yayınları, İstanbul,2004.

### 1.1.1. Kompozit Malzemelerin Genel Özellikleri

Uygulamada, kompozit malzeme üretiminde genellikle belli özelliklerden birinin veya bir kaçının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu belirli amaçlara yönelik olarak kompozit malzeme üretiminde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Hepsinde değişmeyen temel ilke, bileşenlerin zayıf yönlerinin amaç doğrultusunda iyileştirilerek daha nitelikli bir yapının elde edilmesidir. Kompozit malzemeyi oluşturan matris (takviyelendirilen malzeme) ve takviye eden malzeme olarak iki ana madde vardır. Bu yapı elemanlarının tipleri Tablo 1.1.' de gösterilmektedir.

Tablo 1.1. Kompozit Yapı Eleman Tipleri

Matris Malzemeler	Takviye Elemanları	Kompozit Malzeme
Polimerler	Lifler	Tabakalar
Metaller	Kıl-kristal	Film-Folye
Seramikler	Pudra	Honey-Combs
	Yonga	Filament Sarılmış Yapılar
	Granül	Kaplamalar

Kompozit malzemeler, mevcut geleneksel malzemelerin teknoloji karşısında belli ihtiyaçlara cevap verememesi durumunda üretilmektedir. Kompozit malzemelerin mekanik özellikleriyle ilgili araştırma ve geliştirme faaliyetleri her geçen gün artarak devam etmektedir. Kompozit malzemeler yüksek dayanım/yoğunluk ve yüksek elastik modülü/yoğunluk oranına sahip olmalarından dolayı, uygulama alanları hızla artmaktadır.

Genelde kompozit malzemeler, düşük modül ve dayanıma sahip reçine ve bu reçinenin içerisinde daha az oranda dağılmış olan takviye elemanından oluşmaktadır. Takviye elemanları olarak kullanılan kısa ve uzun elyaflar, whiskerler, kırılmış veya parçacıklı seramikler değişik yapılara sahiplerdir. Takviye elemanlarının ana işlevi gelen yükü taşıyarak matrisin dayanımını ve rijitliğini arttırmaktır.

Matrisin fonksiyonlarından biri, elyaf-matrisi bir arada tutarak yükü ve gerilimi takviye elemanına aktarmaktadır. Matrisin fonksiyonlarından bir diğeri ise, takviye elemanları kırılğan olduğundan bu elemanları dış etkilere karşı korumak ve matrisin plastiklik ve süneklik özelliğinden dolayı elyaflarda oluşan çatlakları engellemektir. Bir kompozit malzemenin yoğunluk ve çekme dayanımı gibi özellikleri kendisini oluşturan bileşenlerin özelliklerinden hesaplanabilir. Bahsedilen özellikleri sağlayabilmek için, gerekli şartlar, uygun matris-takviye elemanı seçimi, üretim tekniği, bileşenlerin mukavemet özellikleri ve diğere faktörler göz önüne alınarak yapılmalıdır. Matrisler gelen yükü takviye elemanlarına ilettikleri için matris-takviye elemanı ara yüzeyinin kuvvetli olması gerektiğinden, uygun matris-takviye elemanının seçimi, sistemin fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir.<sup>7</sup>

### **1.1.2. Kompozit Malzemelerin Avantaj ve Dezavantajları**

Kompozit malzemelerin avantajları;

- a) Farklı mekanik özellikler elde etmek için farklı katmanlardan ve farklı kombinasyonlarla kompozit malzeme oluşturulabilir.
- b) Kompozit malzemeler kimyasallara, korozyona ve hava şartlarına dayanıklıdır.
- c) Karmaşık parçaların tek olarak üretilebilmesinden dolayı parça sayısının azalmasını sağlarlar. Böylece ara birleştirme detay ve parçalarının azalmasıyla üretim süresi kısılır.
- d) Yüksek dayanıklılık/ yoğunluk oranı
- e) Yüksek modül/ağırlık oranı

Kompozit malzemelerin Dezavantajları;

- a) Hammaddenin pahalı olması
- b) Lamine edilmiş kompozitlerin özellikleri her zaman ideal değildir, kalınlık yönünde düşük dayanıklılık ve katlar arası düşük kesme dayanıklılık özelliği bulunmaktadır.

---

<sup>7</sup> Sönmez, Fazıl Önder, Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 39, Sayı 465, Mayıs 2000.



- c) Malzemenin kalitesi üretim yöntemlerinin kalitesine bağlıdır, standartlaşmış bir kalite yoktur.
- d) Kompozitler kırılğan (gevrek) malzeme olmalarından dolayı kolaylıkla zarar görürler, onarılmaları yeni problemler yaratabilir.

Mevcut malzemelerle kompozit malzemeler karşılaştırıldığında birbirlerine göre avantajları ve dezavantajları vardır. Dolayısıyla kompozit malzemeler diğer malzemelere göre daha hafif olduğundan kullanım alanı geniş olmaktadır. Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre çekme dayanımı ve elastik modülünün daha yüksek, uzama miktarı ise daha düşüktür.<sup>8</sup>

### **1.1.3. Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması**

Yapılarında çok sayıda farklı malzeme kullanılabilen kompozitlerin gruplandırılmasında kesin sınırlar çizmek mümkün olmamakla birlikte, yapıdaki malzemelerinin formuna göre bir sınıflama yapmak mümkündür.

1. Elyafli kompozitler
2. Parçacıklı kompozitler
3. Tabakalı kompozitler
4. Karma kompozitler

#### **1.1.3.1. Elyafli Kompozitler**

Bu kompozit tipi ince elyafların matris yapıda yer almasıyla meydana gelmiştir. Elyafların matris içindeki yerlesimi kompozit yapının mukavemetini etkileyen önemli bir unsurdur. Uzun elyafların matris içinde birbirlerine paralel şekilde yerleştirilmeleri ile elyaflar doğrultusunda yüksek mukavemet sağlanırken, elyaflara dik doğrultuda düşük mukavemet elde edilir. İki boyutlu yerleştirilmiş elyaf takviyelerle her iki yönde de eşit mukavemet sağlanırken, matris yapısında homojen dağılmış kısa elyaflarla ise izotrop bir yapı oluşturmak mümkündür. Elyafların mukavemeti kompozit yapının mukavemeti açısından çok önemlidir.

---

<sup>8</sup> ARMATLI, K. M. , “Havacılık Kompozitleri ve Mukavemet Maliyet Analizleri” Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu, S.175, Eskişehir 1999.

Ayrıca, elyafların uzunluk/çap oranları arttıkça matris tarafından elyaflara iletilen yük miktarı artmaktadır. Elyaf yapının hatasız olması da mukavemet açısından çok önemlidir.

Kompozit yapının mukavemetinde önemli olan diğer bir unsur ise elyaf matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise elyaflarla temas azalacaktır. Nem absorpsiyonu da elyaf ile matris arasındaki bağı bozan olumsuz bir özelliktir. Matris arasındaki bağın yapısıdır. Matris yapıda boşluklar söz konusu ise, elyaflarla temas azalacaktır.

#### **1.1.3.2. Parçacıklı Kompozitler**

Bir matris malzeme içinde başka bir malzemenin parçacıklar halinde bulunması ile elde edilen izotrop yapılardır. Yapının mukavemeti parçacıkların sertliğine bağlıdır. En yaygın tip plastik matris içinde yer alan metal parçacıklardır. Metal parçacıklar ısı ve elektrik iletkenlik sağlar. Metal matris içinde seramik matris içeren yapıların sertlikleri ve yüksek sıcaklık dayanımları yüksektir. Bunlar kollar, kulplar, elektrik parçaları, muhafazalar vb. gibi küçük parçacıkların yapımında kullanılırlar.

#### **1.1.3.3. Tabakalı Kompozitler**

Tabakalı kompozit yapı, en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip olan tiptir. Farklı elyaf yönlenmelerine sahip tabakaların bileşimi ile çok yüksek mukavemet değerleri elde edilir. Isıya ve neme dayanıklı yapılardır. Metallerle göre hafif ve aynı zamanda mukavemetli olmaları nedeniyle tercih edilen malzemelerdir. Pek çok katmanlı kompozit düşük maliyet, yüksek dayanım veya hafifliğini korurken, aşınma direnci, gelişmiş görünüm ve mükemmel ısı genleşme özelliklerini kapsamaktadır. Buna karşın korozyon ve aşınma direnci gibi önemli özelliklerin pek çoğu öncelikle kompoziti oluşturan elemanlardan birine bağlıdır. Elektrik şarjını depolamak için kullanılan kondansatörler esas itibarıyla dönüşümlü olarak bir iletken ve bir yalıtkan katmanların üst üste gelerek meydana getirdiği katmanlı kompozitlerdir.

#### **1.1.3.4. Karma Kompozitler**

Karma kompozitler, uçak ve uzay sanayisi gibi dayanım bükülmezlik ve hafiflik kombinasyonunun gerekli olduğu uygulamalarla ilgilidir. Karma

kompozitlerde tipik olarak polimer veya metal matris içerisinde boron grafit veya kevlar fiber kullanılır. İleri kompozitler fiber cam ve yüksek dayanım alaşımlarından daha iyi dayanım ve yorulma direncine sahiptirler.<sup>9</sup>

Tablo 1.2. Kompozit malzemelerin geleneksel malzemelerle karşılaştırılması<sup>10</sup>

Malzeme cinsi	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastik modülü (GPa)	Uzama (%)
Aluminyum	2.8	84	71	-
Al-2024	2.8	247	89	8-20
Al alaşımı	2.8	600	71	-
Titanyum	4.45	700	117	20
Ni alaşımı	8.18	450-1200	204	26-45
Ahşap	0.7	110	13	
Alaşımsız çelik	7.86	460	210	20
Ötektik çelik	7.8	300	210	-
Düşük alaşımlı çelik	7.8	600	207	20-30
Dökme demir	-	275	138	0.6
Prinç/%30 Zn	8.5	550	100	-
Karbon/epoksi	1.62	1400	220	0.8
Kevlar/epoksi	1.38	1310	83	-
Cam/epoksi	1.66	1510	165	-
Cam/polyester	1.90	750	38	1.8
Karbon/epoksi	1.50	1650	140	-

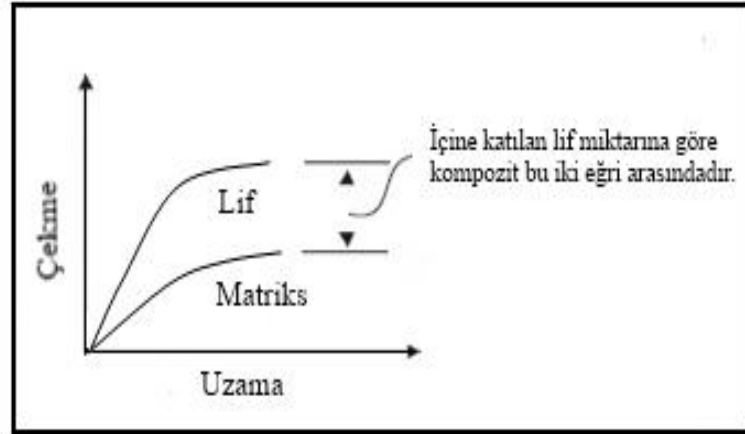
<sup>9</sup> Yasa E. Halit, “Kompozit Malzeme”, Literatür yayınları, İstanbul, Ekim 2009.

<sup>10</sup> TARAĞÇILAR, A.R., TOPÇU, M., ve TAŞGETİREN, S., 1995. Kompozitler ve Özelliklerini Belirleyen Faktörler. Mühendis ve Makine, 36:322-329.

#### 1.1.4. Matrisler

Kompozit malzeme genellikle lif ve matris olmak üzere en az iki malzemeden oluşmaktadır. Şekil 1.4'te genel olarak lif ve matrisin çekme–uzama eğrisi görülmektedir. Kompozit yapıda lif seçimine etki eden faktörler şunlardır:

- Hafiflik (özgül ağırlık)
- Mukavemet ve modül (çekme ve basma)
- Yorulma mukavemeti
- Yorulmadaki kopma mekanizması (malzemenin gevrek ya da sünek olması)
- Elektrik ve ısı iletkenliği
- Ekonomiklik



Şekil 1.4. Kompozit Malzeme Çekme – Uzama eğrisi<sup>11</sup>

Kompozit malzemelerde takviye amacıyla kullanılan elyaflar aşağıdaki gibidir.

- Sentetik, organik elyaflar; Naylon, aramid (düşük yoğunluklu ve güçlü elyaflardır)
- Sentetik inorganik, elyaflar; Cam, karbon boron
- Doğal elyaflar (günümüzde yerlerini sentetik elyaflara bırakmışlardır) vb.

<sup>11</sup> GÜVEN, Ş. Y."Kompozit Malzemeler ve Kullanım Alanları", Isparta Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Isparta 1990.

Kompozit yapılarda matrisin üç temel fonksiyonu vardır. Bunlar, elyafları bir arada tutmak, yükü elyaflara dağıtmak ve elyafları çevresel etkilerden korumaktır. İdeal bir matris malzemesi başlangıçta düşük viskoziteli bir yapıda iken daha sonra elyafları sağlam ve uygun şekilde çevreleyebilecek katı forma kolaylıkla geçebilmelidir<sup>1</sup>.

Kompozit yapılarda yükü taşıyan elyafların fonksiyonlarını yerine getirmeleri açısından matrisin mekanik özelliklerinin rolü çok büyüktür. Örneğin matris malzemesi olmaksızın bir elyaf demeti düşünüldüğünde yük bir ya da birkaç elyaf tarafından taşınacaktır. Matrisin varlığı ise yükün tüm elyaflara eşit dağılımını sağlayacaktır. Kesme yükü altındaki bir gerilmeye dayanım, elyaflarla matris arasında iyi bir yapışma ve matrisin yüksek kesme mukavemeti özelliklerini gösterir. Elyaf yönlenmelerine dik doğrultuda, matrisin mekanik özellikleri ve elyaf ile matrisarasındaki bağ kuvvetleri, kompozit yapının mukavemetini belirleyen etkenlerdir. Matris elyafa göre zayıf ve daha esnektir. Bu özellik kompozit yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Matrisin kesme mukavemeti ve matris ile elyaf arası bağ kuvvetleri çok yüksek ise, elyaf ya da matriste oluşacak bir çatlakın yön değiştirmeksizin ilerlemesi mümkündür. Bu durumda kompozit gevrek bir malzeme gibi davrandığından kopma yüzeyi temiz ve parlak bir yapı gösterir. Eğer bağ mukavemeti çok düşükse, elyaflar boşluktaki bir elyaf demeti gibi davranır ve kompozit zayıflar. Orta seviyede bir bağ mukavemetinde ise, elyaf veya matristen başlayan enlemesine doğru bir çatlak elyaf-matris ara yüzeyine dönüp elyaf doğrultusunda ilerleyebilir. Bu durumda kompozit sünek malzemelerin kopması gibi lifli bir yüzey sergiler. Kompozit malzemelerin üretiminde kullanılan matris malzeme tipleri epoksi, polyester, vinylester ve fenolik reçinelerdir. Yüksek mukavemet göstermeyen durumlarda en çok kullanılan matris malzemesi polyester reçinesidir. Gelişmiş kompozitlerin üretiminde ise genellikle epoksi reçinesi kullanılmaktadır.

Matris, kompozitlerin ikinci ana bileşenidir. Matris malzemeler, polimer matrisler, metalik matrisler ve kullanım alanları çok az olan yüksek sıcaklık matrisleri şeklinde gruplanabilir. Kompozitin istenen başarıyı göstermesi, matris seçimine bağlıdır.

Matris seçiminde malzeme özellikleri;

- a) Kuvvetleri liflere iletmek,
- b) Lifleri, korozyon ve oksidasyon gibi, ortamın etkisi ve darbelerden korumak
- c) İstenen özelliklere uygun olması
- d) Maliyet
- e) Nem ve su alma özelliği
- f) Kayma sertliği, darbe özellikleri
- g) Viskozite, erime noktası
- h) Kür zamanı.

Kompozit malzemelerde polimer esaslı matrislerin yanı sıra metal, seramik türevi malzemeler de matris olarak kullanılmaktadır. Diğer matrislerin kullanılmasına rağmen kompozit malzemelerin % 90'ı polimer esaslı matrislerle üretilmektedir. Matris malzemelerinin genellikle plastik esaslı olmasından dolayı kompozit malzemeler de genellikle takviye edilmiş plastikler olarak adlandırılırlar. Metal matrislerin büyük çaplı uygulamalarda kullanılması pahalı ve çalışılmaları zordur. Seramik matrisler ise yüksek oranda kırılğan olmalarından dolayı yeterli dayanıklılığa sahip olmamaları nedeniyle kullanım alanları yüksek ısı ile kullanılan yerlerle sınırlanmaktadır. Karbon matrisli kompozit malzemeleri üretimi oldukça zor ve pahalıdır.

Matrisler güçlü yapışma, çevre ve atmosfer şartlarına yüksek dayanım ve yüksek mekanik özellikler gösterirler. Bir matrisin öncelikle sağladığı mekanik özellikler yüksek sertlik ve yüksek dayanıklılık değerleridir. İyi bir malzeme sert olmalıdır, fakat gevrek bir malzemenin gösterdiği davranışlardan dolayı performansı düşmemelidir. Bu özellikleri büyük ölçüde karşılayan polimer esaslı matrisler termoset ve termoplastik matrisler olarak iki türdür. Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri en çok kullanılandır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak, kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi yumuşamazlar. Termoset reçineler kimyasal

etkiler altında çözülmez ve olağandışı hava şartlarında uzun ömürlüdürler. Termoplastik polimerlerinin çeşitlerinin çok fazla olmasına karşılık matris olarak kullanılan türleri sınırlıdır.

Termoplastikler düşük sıcaklıklarda sert halde bulunurlar ısıtıldıklarında yumuşarlar. Termosetlere göre matris olarak kullanımları daha az olmakla birlikte, üstün kırılma tokluğu, hammaddenin raf ömrünün uzun olması, geri dönüşüm kapasitesi ve sertleşme prosesi için organik çözücülere ihtiyaç duyulmamasından dolayı güvenli çalışma ortamı sağlaması gibi avantajları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra şekil verilen termoplastik parça işlem sonrası ısıtılarak yeniden şekillendirilebilir. Termoplastikler yüksek sertlik ve çarpma dayanımı özelliğine de sahiptirler. Termoplastiklerin kompozit malzemelerde matris olarak tercih edilmemelerinin başlıca nedeni üretimindeki zorlukların yanı sıra yüksek maliyetidir. Kompozit yapının bağ oluşumu, arabirim kavramı ile açıklanabilir. Arabirimin sahip olduğu bağ kuvveti değeri, kompozitin davranış karakterlerini belirler. Arabirimde fiziksel kimyasal ve mekaniksel bağların ve takviye elemanının geometrisinin önemi vardır. Arabirimdeki yapışmaya bağlı olan etmenler;

- a) Yüzeylerin şekillerine,
- b) Arabirimi meydana getiren malzemelerin yapılarına,
- c) Temas basınçlarına,
- d) Yüzeylerde kalan elementlere,
- e) Yüzeylerdeki fonksiyonel gruplara,
- f) Gerilmelere,
- g) Çalışma sıcaklığına bağlıdır.

Reçine maddesi, takviye elemanını çok iyi sarabilmeli ve ıslatabilmelidir. Islanma iyi olmazsa, zayıf bir arabirim meydana gelir. Arabirimdeki bağ normal koşullarda yeterli sağlamlıkta oluşmuyorsa, bir takım yöntemler kullanılır. Arabirimi kuvvetlendirmekte kullanılan en geçerli yöntem birleştirme maddeleri kullanmaktır. Kimyasal ajan olarak adlandırılan bu maddeler matris ve takviye elemanına uygun

olarak seçilmelidir. Mekanik bağ oluşumu yeterli değildir, çok çabuk ayrılma ve kopmalar meydana gelebilmektedir.<sup>12</sup>

### **1.1.5. Termoplastikler**

Termoplastikler oda sıcaklığında sertleştirilmiş malzemelerdir. Rijit bir yapıya sahip değildir. Isıtılırsa yumuşar, sıcaklığı arttıkça vizkositesi düşmektedir. Bu özellik bunlardan yapılan ürünleri daha ekonomik yapar ve kolaylıkla şekillenmesini sağlar. Tekrar soğutulduklarında yeniden sertleşirler. Sıvı halde bulunduğu sıcaklıklarda, vizkositesi yüksektir. Bu nedenle ara yüzey bağı termosete göre daha zordur. Ancak şekillendirme kapasitesi iyi olduğundan bunların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu polimerler, kristalin veya şekilsiz (amorf) olabilir. Kristal şekilli olanlarda moleküller büyük uzaklıklarda, oldukça düzenli şekil oluştururlar.

Amorf polimerlerde ise uzun zincirler birçok noktada birbirine dolaşmıştır. Bunlar polimeri daha büyük sıcaklıklarda rijit yapar. Kısa elyafla, küçük hacim ortamında, hamur ve levha kalıplama yöntemi ile kullanılmaktadırlar. Kimyasal etkilere karşı hassastırlar. Tutuşma direnci daha yüksektir.

Termoplastiklerin özellikleri şöyle özetlenebilir.

- a) Çok düşük rijitlik
- b) Çok düşük çekme dayanımı ve sertlik
- c) Daha büyük süneklik, yaklaşık %1 ila 500 arasında değişir.
- d) Kuvvet etkisinde oda sıcaklığında bile sünme ve zamana bağlı şekil değiştirmeler oluşur.

### **1.1.6. Termosetler**

Termoset esaslı kompozit malzeme matrisleri olarak en çok kullanılanlardır. Termoset plastikler sıvı halde bulunurlar, ısıtılarak ve kimyasal tepkimelerle sertleşir ve sağlamlaşırlar. Termoset polimerlerin polimerizasyon süreci termoplastiklerden farklı olarak geri dönüşü olmayan bir süreçtir. Yüksek sıcaklıklarda dahi

---

<sup>12</sup> YILMAZ,Zeynep“Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” Harran Üniversitesi,Şanlıurfa 2007.



yumuşamazlar. Çoğu termoset matris sertleşmemeleri için dondurulmuş olarak depolanmak zorundadır. Dondurucudan çıkarılıp oda sıcaklığında bir müddet (1-4 hafta arası) bekletildiğinde sertleşmeye başlar ve özelliklerini kaybederek biçim verilmesi zor bir hâl alır ve kullanılamaz duruma gelir. Termoset reçineler kimyasal etkiler altında çözülmezler ve olağandışı hava şartlarında dahi uzun ömürlü olmaktadır. Epoksi ve polyesterler, elyaf takviyeli kompozitlerde yaygın olarak kullanılan matris malzemeleridir. Bunların fiziksel ve mekaniksel özellikleri, moleküllerin büyüklüğüne, yoğunluğa ve çapraz bağın uzunluğuna bağlıdır. Ancak, polyesterler cam elyafı iyi ıslatır ve dolgu maddesi olarak kullanılabilirler. Bunların sakıncası ise, sertleşme sırasında % 10 kadar kendini çekmesidir (büzülmesidir). Bu büzülme ise, liflerin basma gerilmeleri altında burkulmasına neden olur. Termosetlerin dayanımları termoplastiklere göre yüksektir.<sup>13</sup>

#### **1.1.7. Duroplastların Takviyeli Üretim Yöntemleri**

Duroplast esaslı malzemelerin binalarda, eskiden kullanılan klasik yapı malzemelerinin yerlerini alarak hafiflik, zaman ve ekonomi yönü ile bu malzemenin yapı sanayinde çatılarda, cephelerde ve taşıyıcı duvarlarla yapı içi ıslak hacimlerde yalıtımlarda kullanıldıklarını görürüz.

Arzu edilen performansa uygun olarak da kompozit malzemelerinin üretiminde, maliyet unsuru ilk düşünülmesi gereken parametrelerden biridir. Üretim maliyetini, performans, tasarım, malzeme seçimi ve şekil verme yöntemi doğrudan etkilemektedir. Kompozit yapıyı oluşturan bileşenlerin seçimi ve bileşen konfigürasyonu, üretim maliyetini önemli ölçüde düşürebilir. Tasarım konsepti ile maliyetin düşürülmesi, her zaman geçerli bir yöntem olup daima göz önüne alınmalıdır. Mukavemet ve tokluk, minimum ağırlık, yüksek sıcaklıkta kullanılabilirlik, yorulma mukavemeti, düşük bakım masrafı, korozyon dayanımı, hasar toleransları ve tamir kolaylıkları gibi, faktörler birlikte düşünülerek, en düşük maliyetli, en kolay üretilebilir bir kompozit sistemi seçilmelidir.

Doğranmış, ufaltılmış, tanelere ayrılmış kısa boylu elyaf ve partiküller ile dokunmuş demet şeklinde veya dokunmamış kumaş yapısındaki takviye malzemesi,

---

<sup>13</sup> Zeynep YILMAZ “Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” Harran Üniversitesi Şanlıurfa 2007

reçine yüzüne yatırılarak, çeşitli el aletleri ile sıvanıp tam ısıtma temin edilerek kompozit malzemenin elde edilmesi günümüzde çok yaygın olarak kullanılan bir metodudur.

Duroplastların Üretim yönteminin bazı avantajları;

- a) Sürekli elyaf ağı ile yüksek mukavemet sağlar
- b) Ardarda sarılan elyaflar mukavemeti arttırır.
- c) İmalatı kolaydır.
- d) Oldukça geniş açıklıklı yapılar elde edilebilir.
- e) Yüksek elyaf yoğunluğuna ulaşılabilir.
- f) Avantajlı üretim maliyetine sahiptir.

Dezavantajları;

- a) Mandrelin çıkartılabileceği şekilde tasarlanması
- b) Konveks yüzeylerin elde edilememesi
- c) Sarım yolunun kolaylıkla değiştirilememesi
- d) Kompleks ve pahalı mandrellerin kullanılması
- e) Zayıf bir dış yüzeye sahip bulunması<sup>14</sup>

### **1.1.8. Duroplast Takviyeli Uygulama**

Kompozit malzemelerin oluşturulmasında matris içerisinde yüksek dayanımlı takviye elemanları olan cam, karbon, boron, alüminyum oksit ve silisyum karbür gibi değişik yapıya sahip malzemeler kullanılmaktadır. Bir kompozit malzemede optimum özelliklerin elde edilmesi isteniyorsa, elyaf veya kılcal kristalli formun kullanılması gerekmektedir.

Kompozit malzemede kullanılan takviye elemanının görevi, gelen yükü taşımak, matrisin dayanımını ve rijitliğini arttırmaktır. Kompozit malzemeye gelen

---

<sup>14</sup> Robert. C. Forney, “Kompozit Malzemeler Çağı, Teknik ve Uygulama”, Sayı 11, Ekim 1987.

yükün elyaflara iletilebilmesi için ara yüzey bağının kuvvetli olması gerekir ve ana faz ile ara faz arasında fiziksel ve kimyasal uyumun olması gereklidir. Kalıcı yapısal gerilmelerin oluşması açısından matris ve takviye elemanının ısı genleşme katsayıları arasında da uyumun olması gereklidir.

Kompozitin dayanımını elyafların şekli, boyu, yönlendirilmesi, matrisin mekanik özellikleri ve yeterli elyaf/matris ara yüzey bağı gibi faktörler etkilemektedir.

### **1.1.9. Elyaf Tabakalar (Çekme Kuvvetini Karşılaman)**

Matris malzeme içinde yer alan elyaf takviyeler kompozit yapının temel mukavemet elemanlarıdır. Düşük yoğunluklarının yanı sıra yüksek elastik modüle ve sertliğe sahip olan elyaflar kimyasal korozyona da dirençlidir. Günümüzde kompozit yapılarda en önemli takviye malzemeleri sürekli elyaflardır. Bu elyaflar özellikle modern kompozitlerin oluşturulmasında önemli bir yer tutarlar. Cam elyaflar teknolojiye kullanılan en eski elyaf tipleridir. Son yıllarda geliştirilmiş olan bor, karbon, silisyum karbür ve aramid elyaflar ise gelişmiş kompozit yapılarda kullanılan elyaf tipleridir. Elyafların ince çaplı olarak üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla yapısal hata olasılıkları en aza indirilmiştir. Bu nedenle üstün mekanik özellikler gösterirler. Ayrıca, elyafların yüksek performanslı mühendislik malzemeleri olmalarının nedenleri aşağıda verilen özelliklere de bağlıdır;

1. Üstün mikroyapısal özellikler, tane boyutlarının küçük oluşu ve küçük çapta üretilmeleri
2. Boy/çap oranı arttıkça matris malzeme tarafından elyaflara iletilen yük miktarının artması
3. Elastik modülünün çok yüksek olması.

#### **1.1.9.1. Cam Elyafları**

İlk kompozit panellerin yapımında kullanılan elyaf cam elyafı idi. Günümüzde çeşitli mukavemet özelliklerine sahip E, S ve R tipi cam elyafları üretilmekte ve kullanılmaktadır. Cam elyafları reçineyi oldukça iyi özümseyebilen ve kullanımını nispeten kolay elyaflardır.

### 1.1.9.2. Aramid Elyafı

1960'lı yılların sonlarında DuPont de Nemours tarafından piyasaya sürülen Kevlar aramidlerin en bilinenidir. Son yıllarda çeşitli imalatçılar değişik ticari isimlerle piyasaya aramid elyaf sürmüşlerdir. Aramid elyafın spesifik çekme mukavemeti çelikten yaklaşık 5 kat daha fazladır. (1 m boyunda 1 kg ağırlığında bir aramid halat, aynı boy ve ağırlıkta bir çelik halattan 5 kat daha fazla yük taşıyabilir).

Aramid kelimesi bir çeşit naylon olan aromatik poliamid'den maddesinden gelmektedir. Aramid elyafı piyasada daha çok ticari isimleri Kevlar (DuPont) ve Twaron (AkzoNobel) olarak bilinmektedir. Farklı uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için birçok farklı özelliklerde aramid elyafı üretilmektedir.

Avantajlar;

- 1) Yüksek dayanıklılık
- 2) Yüksek darbe dayanımı
- 3) Yüksek aşınma dayanımı
- 4) Yüksek yorulma dayanımı
- 5) Yüksek kimyasal dayanımı
- 6) Kevlar elyafı kompozitler Cam elyafı kompozitlere göre 35% daha hafiftir
- 7) E Cam türü elyaflara yakın basınç dayanıklılığı
- 8) Genellikle rengi sarıdır
- 9) Düşük yoğunluktur.

Dezavantajlar şöyle sıralanabilir;

- 1) Bazı tür aramid elyafı ultraviyole ışınlar maruz kaldığında bozulma göstermektedir. Sürekli karanlıkta saklanmaları gerekmektedir.
- 2) Elyaflar çok iyi birleşmeyebilirler. Bu durumda reçinede mikroskopik ataklar oluşabilir. Bu çatlaklar malzeme yorulduğunda su emişine yol açmaktadır.<sup>15</sup>

---

<sup>15</sup> İstanbul Ticaret Odası, "Kompozit Sektör Raporu", Aralık 2006.

### **1.1.10. Bağlayıcı Malzemeler (Sıvı Reçineler)**

Polysterler, vinylesterler ve epoksiler olarak gruplandırılır.

#### **1.1.10.1. Polyesterler**

Reçine matrikslerin bilinen en eskilerinden ve en çok kullanılanıdır. Islak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Genelde ortoftalik ve izoftalik olarak iki tip polyester kullanılır. Polyesterin saf halde korozif elementlere ve suya mukavemeti çok iyi değildir. İmalatta çalışma süresi 30-40 dakika ile sınırlıdır. Bu süreyi uzatmak için çeşitli inhibitörler kullanılabilir. Ancak reaksiyonun egzoterm özelliği ve hızının güç kontrol edilebilmesi vakum altında imalatta çok büyük zorluklar getirir.

#### **1.1.10.2. Vinylesterler**

Polyesterlerden sonra bulunmuş bir matriks tipidir. Vinylester reçine ıslak yatırma için uygundur. Sertleşmesi egzoterm kimyasal bir polimerizasyon sonucu olur. Bu arada solventi styrenmonomer açığa çıkar. Vinylesterler su ve koroziflere karşı yüksek dirence sahiptirler. Polimerizasyon çeşitli ajanlar vasıtası ile 10-12 saate kadar uzatılabilir, bu sayede büyük yüzeylerde vakum tatbikatı yapılabilir.

#### **1.1.10.3. Epoksiler**

Epoksi reçineler de polyester ve vinylesterler gibi kimyasal polimerizasyon sonucu sertleşir. Ancak yapılarında açığa çıkan bir solvent yoktur. İmalatta çalışma süresi oda sıcaklığında 15 saat civarında olabilir. Epoksi reçineler karışımı yapılmış halde, soğuk ortamlarda (0 C altında) iki aya kadar muhafaza edilebilir.<sup>16</sup>

### **1.1.11. Yan Malzemeler**

Yan malzemeler sertleştirici, hızlandırıcı malzemelerdir.

#### **1.1.11.1. Sertleştirici Malzeme**

Polyester reçinenin polimerleşmesi, katalizör aracılığı ile zincirlerin ağ şeklinde birleşmesi ve reçinenin sıvı halden katı hale geçmesidir. Normal ısıda

---

<sup>16</sup> Zeynep YILMAZ “Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması”  
Harran Üniversitesi Şanlıurfa 2007

çalışıldığında bu reaksiyondan ısı açığa çıkar. Katalizör tabiri; kimyada katalizör kendisi kimyasal olaya katılmayan, bir reaksiyonu kolaylaştıran ve sonuçta aynı kalan bir madde olarak tanımlanmaktadır. Katalizör, doymamış polyester veya reaktif monomer zincirlerinin ağ şeklini almasını başlatır. Bunlar organik poroksitlerdir. Doymamış polyesterin, stiren içinde çözülmüş sekline " polyester reçine " denir. Polimerizasyonu başlatmak için ihtiyaç bulunan enerjiyi sertleştiriciler verir. Bunlara (sertleştiricilere) poroksit bileşikler denir. Peroksit parçalanması ısı ile veya kimyasal maddelerle oluşur. Peroksit parçalanması ısı ile meydana gelmişse sıcak sertleşme, kimyasal maddelerle meydana getirilmişse soğuk sertleşme denir. Polyesteri sertleştirmek için kullanılan organik peroksitler katı, sıvı veya pasta halinde bulunurlar. Oksijenin varlığı nedeniyle organik peroksitler tehlikeli olabilmektedir.

#### **1.1.11.2. Hızlandırıcı Malzeme**

Isıtıldığında veya kobalt naftanat gibi bir hızlandırıcı ile birleşerek kullanıldığında, peroksitler reaktif hale dönüşerek, doymamış polyesterin reaksiyona girmesini (polyester moleküllerinin cross link adı verilen bir şebeke yapısı oluşturmasına) ve sertleşmesini sağlar. Başlıca hızlandırıcılar kobalt naftanat, kobalt oktoat, dimetil anilin (DMA) ve dietilen anilindir (DEA). Doymamış Polyesterleri sertleştirmede kullanılan hızlandırıcılar Kobalt ve Vanadyum metallerinin birleşikleri ile azotlu bileşiklerdir. Bu yüzden hızlandırıcılar Kobalt hızlandırıcısı, Vanadyum hızlandırıcısı ve amin hızlandırıcısı diye adlandırılır.

a) Kobalt hızlandırıcıları; organik kobalt tuzlarıdır. Genellikle ya Kobalt oktoat veya Kobalt Naftanat şeklindedirler. Yumuşatıcılarda (ftalat) veya stiren içerisinde çözülmüşlerdir. Dozajı ayarlamak bakımından Kobalt hızlandırıcılar %1, %6 veya %10 metal ihtiva eden çözeltiler şeklinde piyasaya sürülürler. Reçineye %0,1 ile %3 arasında ilave edilirler. Kobalt hızlandırıcılar Ketonperoksitlerle (6. grup katalistler) oda sıcaklığında, Hidroperoksitlerle biraz daha yüksek sıcaklıklarda, Peresterlerle 70°C'nin üstündeki sıcaklıklarda sertleşme verirler. Ketonperoksit ve Kobalt hızlandırıcı miktarları değiştirilerek işletme süresi geniş sınırlar içinde ayarlanabilir. Kalıptan çıkarma süresi genellikle aminli hızlandırıcılara nazaran daha uzundur. Buna karşılık CTP malzemenin ışığa mukavemeti ve dış etkenlere mukavemeti daha yüksek olur. Kobalt yüzeyde kurutucu etki yapar ve havanın inhibitör etkisine

karşıkoyar. Bu yüzden kobalt hızlandırıcı ile ince tabakalarda bile yapışkan olmayan yüzey elde edilebilir.

b) Vanadyum'lu hızlandırıcılar da oktoat veya naftanat şeklinde piyasaya sürülürler. Vanadyum daha etkili bir hızlandırıcıdır. Ancak stabilitesi düşüktür, yani zamanla bozunur. Bu yüzden kullanımı pek yaygınlaşmamıştır. Vanadyum'lu hızlandırıcılar yalnız ketonperoksitlerle değil, aynı zamanda hidroperoksitlerle, perketallerle, peresterlerle (yani daha az aktif peroksitlerle) de birlikte kullanılabilirler. Vanadyum'lu hızlandırıcılar kobalt'a nazaran daha iyi sertleşme ve kimyasal dayanımı daha yüksek CTP parçalar verirler. Sadece Vanadyum'lu hızlandırıcının depolama ömrü daha kısadır.

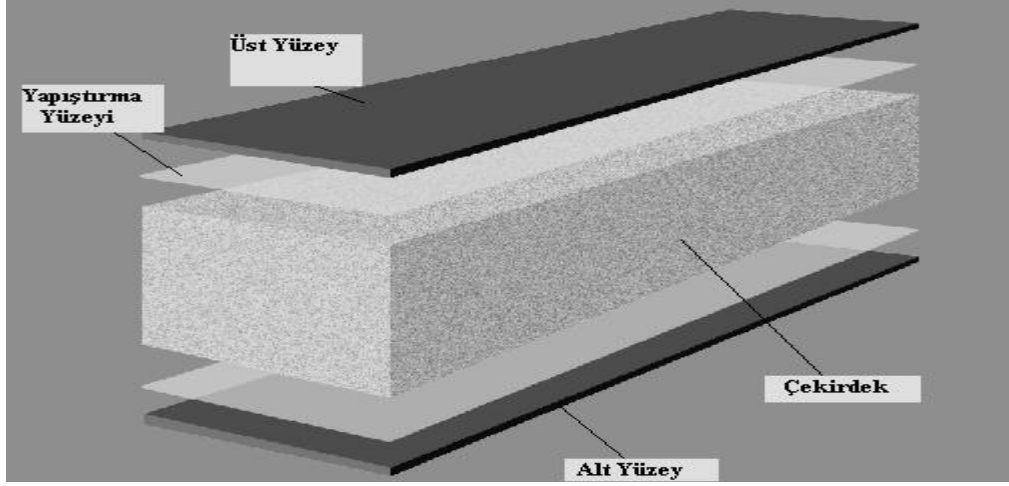
c) Amin hızlandırıcılar da %10'luk çözeltiler halinde stiren içinde veya ftalatlı yumuşatıcılar içinde piyasada bulunmaktadır. En çok kullanılanlar Dimetilparatoluidin, Dietilanilin ve Dimetilanilin cinsleridir. Amin hızlandırıcılar genellikle enzoilperoksit'le beraber kullanılırlar. Normal jelleşme süresine karşılık süratli bir sertleşme verirler. Polyestere hafif sarımtırak bir renk verirler. En etkin olanı Dimetilparatoluidin'dir. Onu sırasıyla Dimetilanilin (en çok kullanılan) ve Dietilanilin takip ederler.<sup>17</sup>

### **1.1.12. Sandwich Elemanlar**

Sandviç malzemeler teknolojik kompozitlerin en önemli uygulamalarındandır. Kompozit malzeme birden fazla esaslı malzemenin belirli bir amaç için makroskobik anlamda birleşmesi ile oluşturulan yapıdır. Sandviç malzemelerde yine bu tanıma uymaktadır, farklı yapılar istenilen çeşitli mekanik özelliklerin sağlanması için birbirleri içinde çözünmeden birleştirilmektedir. Bu birleştirme işlemi yapışkan bir katmanla sağlandığı için sandviç malzemeleri yapıştırma bağlantılı kompozitler kavramı içerisinde incelemek gereklidir. Günümüzde sandviç elemanların kullanım yerleri olarak örnek verecek olursak; Prefabrik duvarlar, hafif ağırlıkta cepheler, Prefabrik evler olarak verebiliriz.

---

<sup>17</sup> Ts 720, "Kompozit malzeme deney ve kondisyonlama için standart atmosfer şartları föyü", 1985.



Resim 1.1. Sandwich Bir Yapının Temel Elemanları<sup>18</sup>

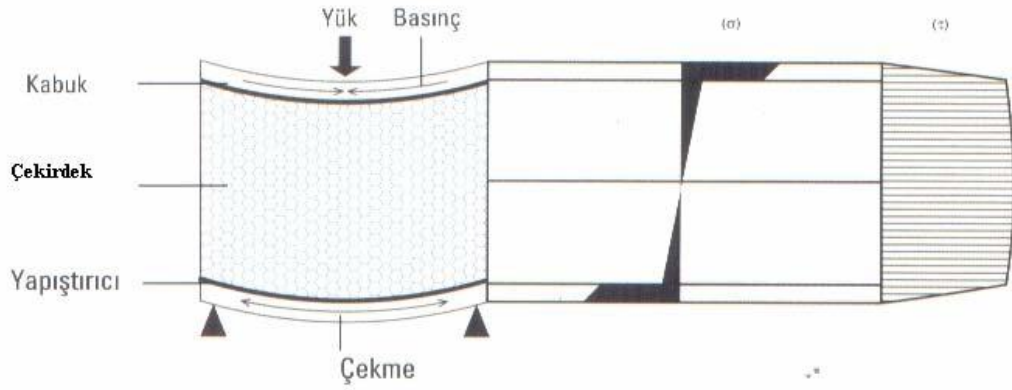
Sandviç bir yapı temel olarak üç önemli elemana sahiptir. Şekil 1.1’de gösterildiği üzere en dışta alt ve üst yüzeyler, orta kısımda çekirdek olarak adlandırılan malzeme ve bağlantıyı sağlayan yapışkan katmanlardan oluşmaktadır. Dış yüzeyler ince ancak mukavim bir yapıya sahipken, çekirdek malzemenin mukavemet değeri düşük ve hafiftir bu sayede mukavemeti yüksek bir eleman oluşturduğumuz gibi konstrüktif açıdan da düşük ağırlıklı bir yapı elde edilmiştir.

İçerideki çekirdek malzemenin temel görevi dış yüzeyler arasındaki mesafeyi muhafaza etmektir; çünkü bu mesafe sandviç malzemenin kesit alanına ait atalet momentinin ve bükülme rijitliğinin yüksek olmasını sağlamaktadır. Kısaca bir sandviç yapının sahip olması gereken özellikler; mukavemetli yüzeyler, düşük yoğunluklu çekirdek ve rijit ve mukavim bir yapıştırma bağlantısıdır.

Yük altında sandviç panelin yüzeyleri bükülmeye maruz kalırlar, yüzeylerden biri basınç etkisinde iken diğeri çekimeye zorlanacaktır (şekil 1.5). Çekirdek malzeme kayma gerilmelerine direnç gösterirken aynı zamanda yüzeyler arasındaki mesafeyi koruyarak yapının rijitliğini artırır ve yüzeylere kesintisiz destek vererek düzenli rijit bir sandviç panel oluşturur. Çekirdek, yüzey ve yapıştırma bağlantısı üniform bir konstrüksiyon oluşturarak tek bir birim olarak davranırlar, böylece sandviç yapı yüksek burulma ve bükülme rijitliğine sahip olur.

<sup>18</sup> Kolat, Koray, “Farklı Ortamların Sandwich Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi”, İzmir, Şubat 2005.





Şekil 1.5. Sandwich Yapıda Oluşan Gerilmeler<sup>19</sup>

### 1.1.12.1. Sandwich Dolgu Malzemeleri

Sandwich dolgu malzemeleri pvc köpükler, balsa, ahşap ve bal peteği olarak aşağıda gruplandırılmıştır.

#### a) PVC Köpükler

PVC köpükler çok kullanılan bir çekirdek malzemesidir. Rutubet/su absorpsiyonu direnci iyidir. 40-300 kg/m<sup>3</sup> yoğunluklarda bulunabilir. Yapılarına göre:

- i. Çapraz bağlı PVC köpük: nispeten kırılğan
- ii. Doğrusal PVC köpük: mukavemet özellikleri bozulmadan deformasyon kabul edebilen
- iii. Yüksek ısı dirençli tipleri vardır.

#### b) Balsa

Hafif balsa ağacı, elyafları deriye dik gelecek şekilde kesilerek çekirdek olarak kullanılır. Balsa çekirdekli sandviçler çok iyi bir rijitlik sağlarlar. Ancak, kırılmaları ani ve büyük boyutlu olur. Bunun yanı sıra, tabii kaynaklı malzemenin standardizasyonu imkânsız denecek kadar zordur. Nispeten yüksek yoğunluğu ise, PVC köpük gibi geniş bir seçim şansı vermez.

<sup>19</sup> Mardav yalıtım ve inşaat firma kataloğu

c) Ahşap

Balsa dışında tahta da, bilhassa iyi ezilme mukavemeti beklenen yerlerde çekirdek malzemesi olarak kullanılabilir. Genelde kontrplak veya lamine şeklindedir. Standardizasyonu balsadan daha iyi kontrol edilebilir ve ağırlığı yönünden bir dezavantajdır.

d) Bal Peteği (Honeycomb)

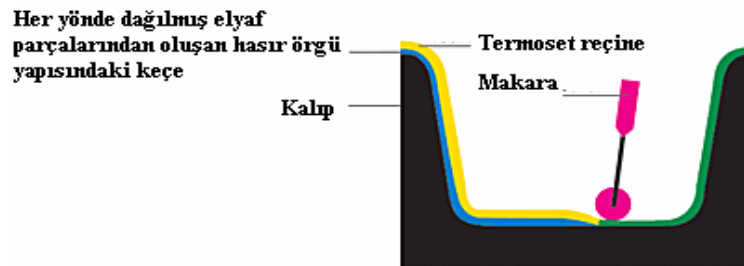
Bal peteği metalik veya kompozit esaslı olabilir. Metalik bal peteği çok ince alüminyumdan, kompozit bal peteği ise kağıt veya naylon/aramid elyafları ve epoksi veya fenolik bir reçineden yapılırlar. Ateşe dayanıklı Nomex en popüler bal petek sistemlerinden biridir. Bal petek sistemleri dış derilere yapıştırılması oldukça zor, ama üstün mukavemet/ağırlık oranları sağlayan çekirdek yapıları oluştururlar. Ayrıca, eğimli yüzeyleri bal peteği ile kaplamak için özel bir teknik gerekmektedir.<sup>20</sup>

## 1.2. Kompozit Malzemelerin Kalıp Üretim Yöntemleri

İstenilen özelliklerde ve biçimde kompozit malzeme kalıp üretim yöntemi için birçok yöntem bulunmaktadır.

### 1.2.1. El Yatırma Üretim Yöntemi

Düşük ve orta hacimli temas kalıplama yöntemidir. Kayık teknesi, tanklar, bina panelleri gibi büyük boyutlu yapısal parçalar için kullanılan en basit yöntemdir. Genellikle keçe dokuma biçimindeki elyaflar, takviye elemanı olarak seçilir. Fakat ek dayanım ve elastisite modülü kazandırmak için belirli konumlarda dokuma şeklindeki elyaflar yanında sürekli cam elyaf ve karbon elyaflarda yerleştirilir (Şekil 1.6).



Şekil 1.6. El Yatırma üretim yöntemi

<sup>20</sup> TORTOÇ. Alper, “BALSA / Pvc Sandviç Yapılarda Kırılma Tokluğu Etkisinin Nümerik Çalışması”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Kasım 2009.

Kalıp reçine ile kaplanılmadan önce kalıptan parça ayrılmasını sağlamak için polivinil alkol, silikon sürülür. Sonra vizkozitesi yüksek reçine, fırçayla kalıp içine sürülür. Daha sonra elyaf demeti hazırlanarak dolgu maddeli reçine, elyaflar üzerine emdirilir. Bu şekilde istenilen yön, doğrultuda ve hacim oranlarında arzulan kalınlığa ulaşılmaya dek işlem devam ettirilir. Ancak işlem sırasında hava kabarcıklarını yok etmek için rulolar ile hazırlanan malzeme ezilerek hazırlanan malzeme kalıptan dışarı çıkarılır. Bu işlemde reçine olarak oda sıcaklığında sertleşen genel amaçlı polyesterler ve belli epoksilerde kullanılmaktadır. El yatırma yöntemi diğer kompozit malzeme üretim yöntemleri arasında en kolay metot olup, kalıplama ve takım maliyeti oldukça düşüktür. Bu üretim yöntemi dâhilinde parçalar üzerinde tasarım değişiklikleri kolayca yapılabilir. Kalıplar tek veya çok parçalı olabilir. Bitmiş parça yüzeyini iyileştirmek için vakum altında da işlem yapılması mümkündür. Bu işlemde elyaf dağılımının düzensiz olduğu kalınlıktaki değişimler nedeniyle düşük kalitede parçalar üretilir. Ancak basit takımlar kullanıldığından, yatırım maliyeti genellikle düşük, prototip veya model gibi az sayıda parça üretimi istendiğinde tercih edilir. Kullanılan elyaf hacim oranı da sınırlı olup yaklaşık % 30 civarındadır.



Resim 1.2. El yatırma yöntemi ile yapılan kompozit esash prekast kabuk kalıp yapımı (1)



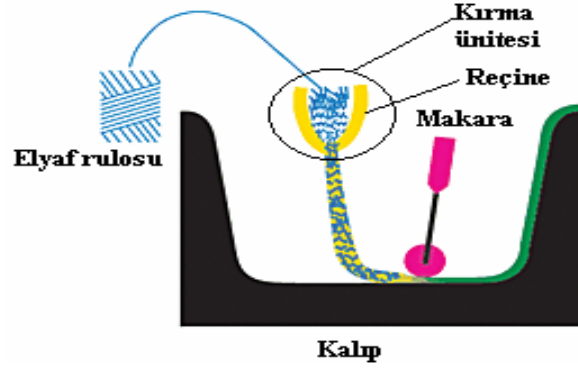
Resim 1.3. El yatırma yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (2)<sup>21</sup>

### 1.2.2. Püskürtme Yöntemi

El yatırma metoduna benzeyen bu yöntem, üretilmesi istenen düşük ve orta hacimdeki tekneler ve kayıklar, su depoları, duş ünitesi gibi elemanların karmaşık geometriye ve büyük hacme sahip olması durumunda tercih edilir. Kırıcı ve püskürtme ünitesi arasından sürekli cam elyaf demeti beslenir. Bu yöntem aynı zamanda elyafları kırarak kalıp üzerine reçineyi kataliz eder. Bu nedenle kalıplanan katmanlar arasındaki havayı boşaltabilmek ve gerekli kalınlığı elde edebilmek için elyaf ve reçine ilave edilir. Katılma genellikle oda sıcaklığında gerçekleşir ve ısı kullanılarak katılma işlemi hızlandırılabilir. Ana malzemeyi püskürtmeden önce kalıp içerisine silikon sürülür. Bunun nedeni daha iyi yüzey kalitesi elde edebilmektir. Reçine olarak yine polyesterler kullanılır. Bu metot parça karmaşıklığı

<sup>21</sup> C.A.S.T. The Centre for Architectural Structures and Technology University of Manitoba Faculty of Architecture Prepared by Mark West, 2009

fazla ise oldukça verimlidir. Bu tekniğin avantajı basit, maliyeti düşük olması, taşınabilir aygıt ve parça boyutu sınırlamasının olmamasıdır (Şekil 1.7).



Şekil 1.7. Püskürtme Yöntemi



Resim 1.4. Püskürtme yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (1)

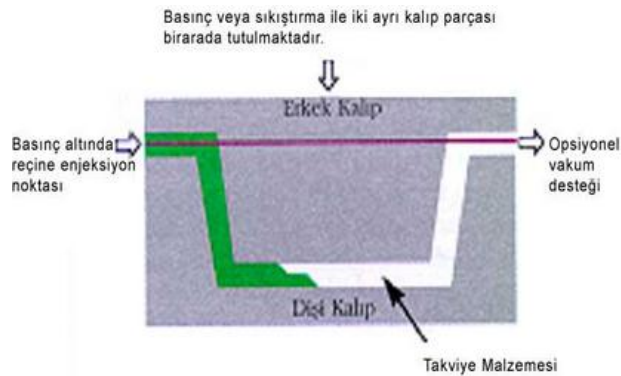




Resim 1.5. Püskürtme yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı (2)<sup>22</sup>

### 1.2.3. Reçine Enjeksiyon Yöntemi

Bu üretim metodunda dişi ve erkek olmak üzere iki kalıp kullanılarak iki yüzü düzgün ürün elde edilir. Reçine enjeksiyonu için üretilmiş olan özel cam keçe, kalıp üzerine yerleştirilir ve kalıplar kapatılır (Şekil 1.8 – Şekil 1.9).



Şekil 1.8. Reçine Enjeksiyon Metodu

<sup>22</sup> C.A.S.T. The Centre for Architectural Structures and Technology University of Manitoba Faculty of Architecture Prepared by Mark West, 2009

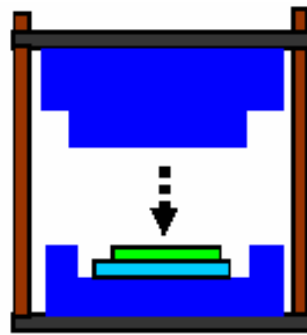
Önceden hazırlanmış olan bir reçine, enjeksiyon noktasından, basınç altında polyeester, kalıp içine enjekte edilir. Reçine enjeksiyonu metodu ile daha seri ve ekonomik olarak, el yatırma metoduna oranla daha kaliteli ürün elde edilir.



Şekil 1.9. Reçine Enjeksiyonu Sistemik Yöntemi

#### 1.2.4. Hazır Kalıplama Yöntemi

Ürün boyutuna göre 3-6 dakikalık bir kalıplama süresi sağlayan hızlı, seri bir kalıplama metodudur. Önceden hazırlanmış, pestil veya hamur haldeki cam elyafı – polyeester dolgu ve katkı malzemeleri karışımının, 150-170 °C sıcaklıkta ve istenilen aralıklarla atmosferik basınç altında çelik kalıplarda şekillendirilmesi metodudur.



(SMC) Pres Kalıplama

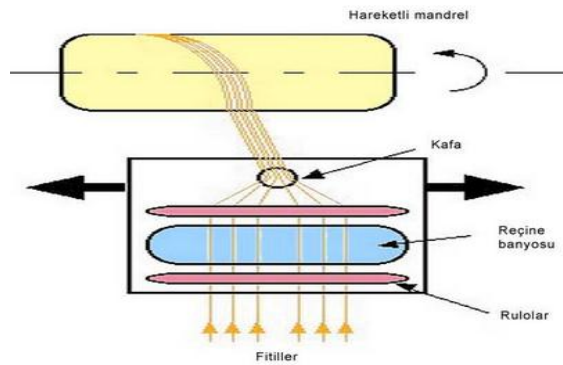
Şekil 1.10. SMC Hazır kalıplama yöntemi



Resim 1.6. Hazır kalıplama yöntemi ile yapılan kompozit esaslı prekast kabuk kalıp yapımı<sup>23</sup>

### 1.2.5. Elyaf Sarma Yöntemi

Özellikle sıvı tank ve elektrik direği gibi üretimlerde kullanılır. Devamlı cam elyaf- polyester banyosundan ıslatıldıktan sonra dönen bir kalıp üzerine belirli açılarda sarılması şeklindedir.



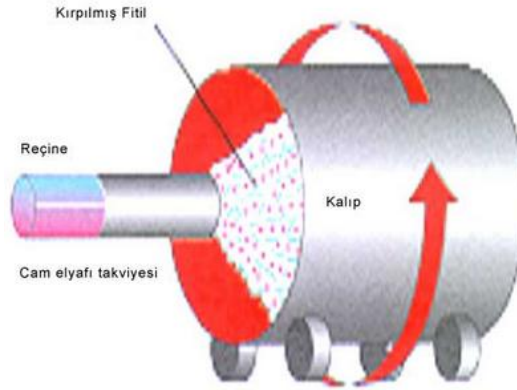
Şekil 1.11. Elyaf Sarma Metodu

<sup>23</sup> C.A.S.T. The Centre for Architectural Structures and Technology University of Manitoba Faculty of Architecture Prepared by Mark West, 2009



### 1.2.6. Savurma Döküm Yöntemi

Boru, su deposu, direk gibi silindirik ürünlerin yapımında kullanılır. Döner bir kalıp içine cam elyafı ve polyester birlikte püskürtülür. Kalıbın dönmesinden meydana gelen merkezkaç kuvvet, laminatın kalıp yüzeyine yapışmasını ve her iki yüzü düzgün ürün elde edilmesini sağlar.<sup>24</sup>



Şekil 1.12. Savurma Döküm Metodu

### 1.3. Kompozit Malzeme Kullanımında Tasarım Esasları

Takviye doğrultusunda çok yüksek özgül mukavemet ve rijitlik, şekillendirilebilme kabiliyeti ve elastik olarak yüksek kopma uzaması, çok iyi yorulma dayanımı, kalıcı deformasyon olmaması, düşük ve kontrol edilebilir ısıl genleşme katsayısı, çok düşük enine ve ısıl elektrik iletim katsayısı, tabakalı kompozitlerin tabaka yapılarının istenen amaca göre düzenlenebilmesi kompozitlerin tercih nedenleridir. Kısacası kompozit malzemelerin yapılarda kullanım nedenleri; Paslanmaya ve aşınmaya dayanıklılık, renk değişkenliğinin olmaması, hafif olması, yük taşıyıcı olmasıdır. Dezavantajları ise; malzeme bünyesinde hasara sebep olacak şekilde ikincil gerilmelerin meydana gelebilmesi, kritik uygulamalarda uzun zaman alan masraf gerektiren detaylı gerilme analizi, üretim ve kullanım yerinde yüksek sıcaklık olması durumunda, fiber matris ısıl genleşmelerinin farklı olması sebebiyle hasar oluşturan gerilmeler, lineer elastik özellikleri sebebiyle gevrek kırılma tehlikesi, kullanım ortamı sıcaklığının matris malzeme özellikleriyle sınırlanması,

<sup>24</sup> MAZUMDAR, S.K, Composites Manufacturing: Material, Product and Process Engineering. CRC Pres, Boca Raton London New York Washington, D.C,2002.

sıcaklık sebebiyle özellikle polimer matrisli malzemelerde çekme tehlikesi, bağlantı yerlerinde çok dikkatli dizayn gerekliliği, olarak sayılabilir.

Kompozit malzemedeki yapılan tanklar, sütunlar, basınçlı kaplar gibi yapı elemanları ve bunların tasarımı; öncelikle kompozit için uygun üretim metodu, elyaf doğrultusu ve en uygun malzemelerin seçimini gerektirir. Bunlardan herbirinin, malzemenin mekanik özellikleri ve son ürünün dayanımını ve elastikliği üzerine belirli etkisi vardır. Belirli uygulamalar için metal ve plastik esaslı kompozitlerin tasarımı arasındaki fark, kompozit parçayı meydana getiren bileşenlerin fabrikasyon zamanında olmasıdır. Bu nedenle tasarım aşaması üretim tekniğinin seçimiyle birlikte düşünülmelidir. İlk önce kompozitin tasarım işlemleri için elyaf ve matris malzemeleri seçimi yapılır.

Polimer malzemelerin özellikleri çok farklıdır. Çünkü bunların mekanik davranışları visko-elastiktir. Bunun sonucu olarak da rijitlik ve dayanım özellikleri, frekans ve yükleme miktarı zamana bağlıdır. Bununla beraber, polimerlerin davranışları anizotropiktir. Bu anizotropiklik malzemenin üretimi sırasında, polimer molekülleri yönlendiği zaman ortaya çıkmaktadır. Kompozit malzemede elyaf düzenlenmesi rastgele değilse, elyaflar düzenli yönlendirilmişse, malzeme anizotropik özellikler verecektir. Klasik malzemelerden farklı olarak, kompozit malzeme üzerine gelecek kuvvetin doğrultusu, şiddeti ve tesirleri çok büyük önem arzeder. Çünkü kompozit malzemede fiberlerin takviye açısına göre malzeme üzerindeki gerilme dağılımı değişmektedir.

Örnek olarak; kompozit yapıda bile, kullanılan malzemelerin ısıl genişleme özelliklerinin farklı olması sebebiyle, ısı yükü altında farklı uzamalar sonucu büyük gerilmeler ortaya çıkabilir. Bu gerilmeler, dışarıdan malzemeye herhangi bir yük uygulansa bile malzemede hasara yol açacak kadar büyük olabilmektedir. Tabakalı üretimde ise farklı tabakalar arasında aynı uzama gerilmeleri hasara sebep vermektedir. İzotropik malzemelerde oluşan bu gerilmeler ise çeşitli ısıl işlemler ile ortadan kaldırılabılırken kompozit malzemelerde bu durum mümkün olmamaktadır. Bu yüzden ikincil bir yük olarak ısı yükünün de bulunduğu durumlarda malzeme tayini önem kazanır. Tabakalı üretim durumunda tabakalar, gerilmeler birbirini ortadan kaldıracak şekilde yerleştirilmelidir.

Fiber-matris ara yüzey bağ kuvvetine bağlı olarak oluşan yorulma, yük doğrultusu ile fiber doğrultusunun farklı olduğu durumlarda oluşan yorulma şeklidir. Fiber boyunca oluşan çatlakın ilerlemesi ile hasar meydana gelir. Kumaş şeklindeki takviyelerde genellikle bu şekilde yorulma oluşur. Fiber ve yük doğrultusu aynı olursa oldukça yüksek yorulma direnci elde edilir. Bu durumda, fiber hacim oranı arttıkça yorulma direncide artmaktadır. Tabakalı yapıdaki yorulma ise, mukavemetlerine göre daha yüksek gerilme uygulanan tabakalardan başlayarak yayılır. Tabakalı yapının kumaş fiberlere göre yorulma dirençleri daha büyüktür. Sünek malzemelerde çarpışma sonucu plastik deformasyon ve gözle görülebilen hasarlar oluşur. Kompozitlerin çarpmaya karşı davranışı çarpmada absorbe ettikleri enerji ile belirlenir. Bu da ara yüzey bağ gerilmelerinin değerine bağlıdır. Eğer bağ dayanımı düşükse malzeme zayıf mukavemet özellikleri göstermekle beraber enerji absorpsiyonu iyi olacağından çarpmaya karşı iyi bir dayanım gösterecektir. Çok yüksek bağ dayanımına sahip kompozitler gevrekleşme eğilimindedir. Pratikte fiberlere yapılan yüzey işlemleri ile ara yüzey bağ dayanımı kontrol edilebilmektedir. Tokluk, malzemenin kırılma dayanımının bir ölçüsüdür. Yorulma ve çarpma yüklerine karşı kompozit malzemelerin davranışlarının belirlenmesinde önemli bir karşılaştırma parametresidir.

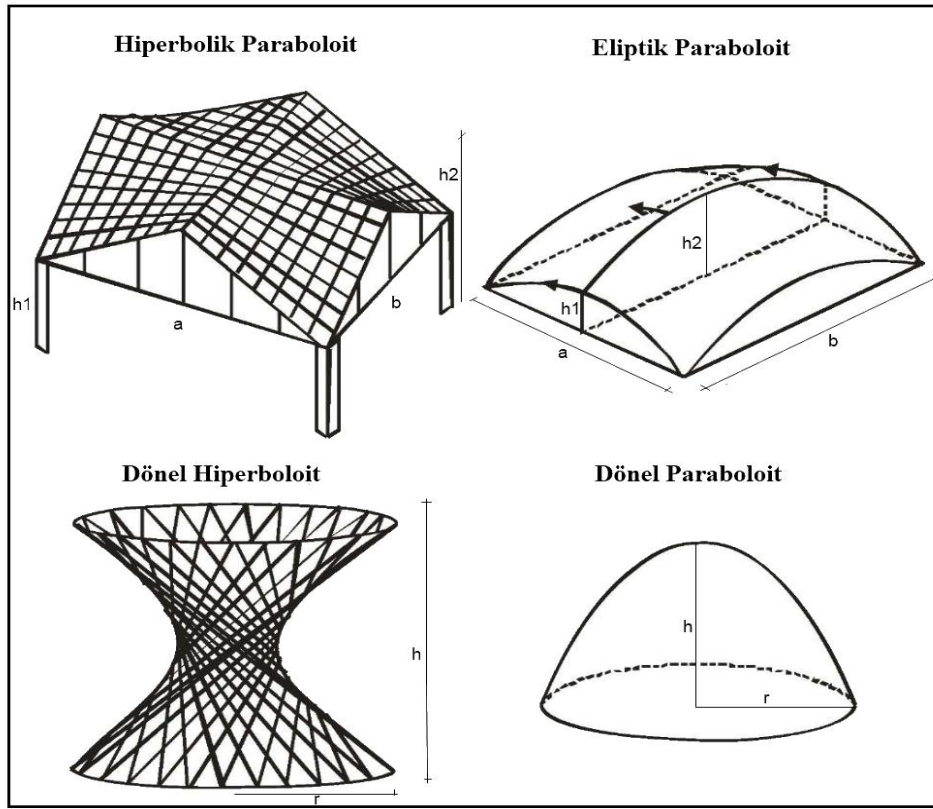
Dizaynda göz önünde bulundurulması gereken diğer önemli bir faktörde kompozit elemanlarının başka bir parça ile birleştirilmesi durumudur. Gerek “kompozit-kompozit”, gerekse “kompozit-diğer malzemeler” arasındaki birleşmelerde birleştirme şekilleri, yerleri düzgün bir şekilde yapılmalıdır. Kompozitten yapılacak eleman komple eleman olarak, birleştirme yerlerindeki delik, pim, vida v.s.de mümkünse komple imalat için düşünülmelidir. Çok parçadan imal edilen elemanların, kompozit malzemenin hafifliği sebebiyle yekpare olarak imal edilmesi ise bir avantaj sağlamaktadır.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Sönmez, Fazıl Önder, Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı, Mühendis ve Makine, Cilt 39, Sayı 465, Mayıs 2000.

#### 1.4. Kompozit Esaslı Kabuk Yüzeylerin Sınıflandırılması

Kabuk yüzeylerini sınıflamadan önce bazı ek tanımlamalar yapılmaya ihtiyaç vardır. Üretilen yüzey düz bir hattın hareketi tarafından biçimlenen bir yüzey olarak tanımlanabilir. Eğer her noktada tek bir düzlemsel hat kullanılıyorsa, o yüzeye tek biçimli yüzey denir. Eğer her noktada iki düz hat kullanılmışsa bu yüzeye çift biçimli yüzey denir. Konik kabuklar, konoidler ve silindirler tek biçimli yüzeylere örnektir. Hiperbolik paraboloid ve hiperboloid eğriler çift biçimli yüzeylere örnek verilebilir. (Şekil 1.13).



Şekil 1.13. Bazı Kabuk Yüzey Oluşum Tipleri

Manchester’da bulunan Şirket Caddesi Köprüsü, alışveriş merkezini bağlayan yaya köprüsü bir hiperbolik paraboloid şeklini almakta ve sokak boyunca gerilmiş hafif camlı membran olarak görünmektedir. Saydam membran dışında 18 düz 25 mm çapında gergi çubuklar ve 110 mm kalınlığında cam elyaf takviyeli kompozit bir malzeme ile kabuk örtüsü şeklinde saat yönünde ve saat yönünün tersine yönde tasarlanmıştır (Resim 1.7).



Resim 1.7. Dönel Hiperbolit, Şirket Caddesi Köprüsü, Manchester, İngiltere<sup>26</sup>

Eğri Kenarlı 4 adet hiperbolik parabolit kabuğun haçvari tonozlarla birbirleriyle kesişmesinden oluşan bir geometride inşa edilmiştir. Geometrinin simetrik olması kabuk çalışmasını olumlu yönde etkilemektedir (Resim 1.8).



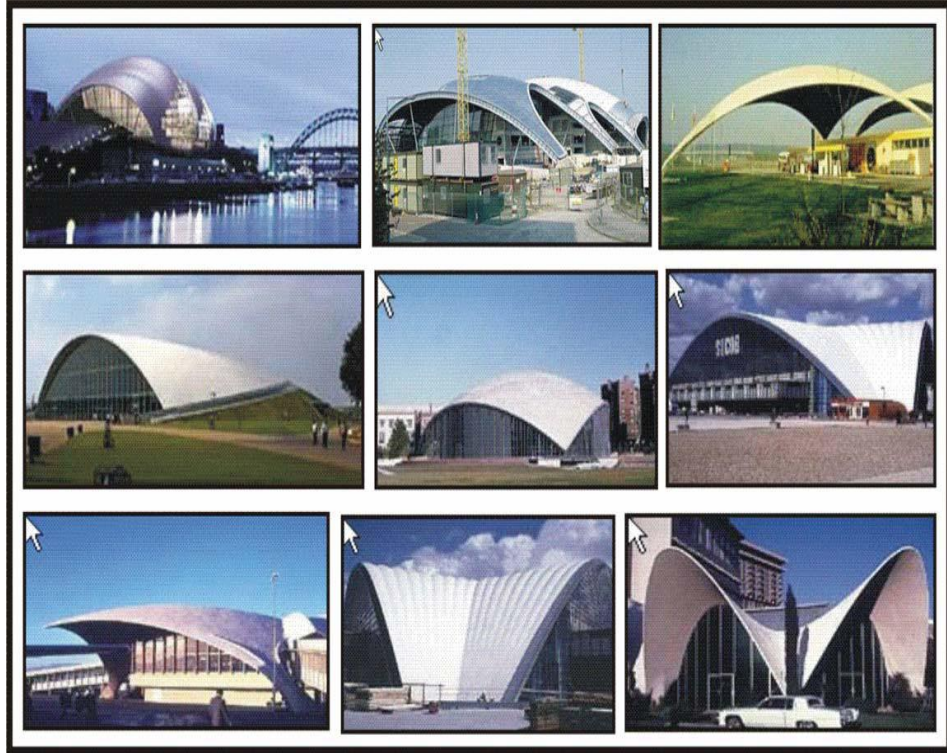
Resim 1.8. Hiperbolik parabolit, Los Manantiales Restoranı, Meksika-Xochimilco<sup>27</sup>

<sup>26</sup> <http://www.hodderandpartners.com/projects/corporation-street-bridge-manchester#1>

<sup>27</sup> [http://1.bp.blogspot.com/\\_3hcToe4e4jg/S75XSreuPjI/AAAAAAAAAHQ/5YsYghy4X9Y/s1600/11530.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_3hcToe4e4jg/S75XSreuPjI/AAAAAAAAAHQ/5YsYghy4X9Y/s1600/11530.jpg)



Bıçımlanmış yüzeyler düzlem kalıplar tarafından şekillendiğinden pratikte avantajları vardır. Değişen bir yüzey düzlem eğriye paralel diğer bir eğri üzerindeki hareket tarafından üretilebilir. Düzlemler, birbirlerine sağ açılı iki eğriden oluşur. Eğrilerden biri silindirdeki gibi, bir düz hat olabilir. Eliptik paraboloid bir konveks parabol tarafından üretilir ve bu konveks parabolün diğer bir konveks parabol üzerindeki hareketiyle oluşur veya bir konkav parabolün diğer bir konkav parabol üzerinde hareketiyle oluşur (Resim 1.9).



Resim 1.9. Kabuk Yapı Sistemli Bazı Yapı Formları<sup>28</sup>

Bunun özel durumu, her iki parabolünde aynı olmasıyla oluşan parabolik yüzey eğrileridir. Eğer bir konveks parabol bir konkav parabol üzerinde hareket ediyorsa veya tam tersi oluşuyorsa bir hiperbolik paraboloid oluşur. Kabuk yüzeyleri genel olarak tek eğrili veya çift eğrili olarak sınıflandırılır. Silindirler ve konik yüzeyler tek eğrili yüzeylere örnek olarak verilebilir. Tek eğrili yüzeyler geliştirilebilir. Bu durumda bir silindir, uzatma, kısaltma ve yırtılma olmadan düzlem dikdörtgene dönüştürülebilir. Benzer şekilde de bir koni bir daire parçasına dönüştürülebilir. Çift eğrili yüzeyler geliştirilebilir değildir. Bu durumda yük

<sup>28</sup> YILMAZ, Zeynep ‘‘Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması’’ Harran Üniversitesi, Şanlıurfa 2007.

altında düzlemsel hale gelme eğilimleri yoktur. Bu durum, bu tür yüzeylerin üstün performansını açıklamaktadır.

Takviyeli polimer kompozitler, yaşam alanlarımızın her yerinde bizlere modern ve çağdaş çözümler sunmaktadır. Bindığımız otomobilde ve toplu taşıma araçlarında, yaşadığımız binalarda, kentimizin alt ve üst yapısında, denizde, havada, çok yönlü malzeme olarak sorunlara çözüm üretmektedir.<sup>29</sup>

### **1.5. Yapı Sektöründe Kompozit Malzemenin Yeri**

Kompozit malzemeler artık gittikçe artan oranlarda ve yeni sektörlerde kullanılmaya başlanmıştır. Uzun zaman uçak sanayisindeki ihtiyaçların yönlendirdiği kompozit malzeme gelişimleri son dönemde yeni birçok sektörde birçok farklı amaç için kullanılmaktadır.

Kompozite yapılar; Yapı taşıyıcı sisteminde aynı anda betonarme yapı elemanları ile birlikte çelik yapı elemanları ve beton- hafif beton gibi farklı yapı elemanları kullanılarak tasarlanıp yapıldığı yapılardır.

Kompozite yapı sistemleri, betonarme binalara göre yapı zati ağırlığını etkili bir şekilde azalttığı ve sismik yüklere karşı istenilen yapı sünekliğini oluşturmada iyi performans sağladığı için dünyada yüksek yapı uygulamalarının vazgeçilmez taşıyıcı sistemi haline gelmiştir.<sup>30</sup>

---

<sup>29</sup> Zeynep Yılmaz “Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” Harran Üniversitesi Şanlıurfa 2007

<sup>30</sup> AKBULUT, Hatem “ Kompozit Malzemeler” Sakarya Üniversitesi, Şubat 2007.

## BÖLÜM II

### 2. TAŞIYICI ELEMANLAR STRÜKTÜR YAPI SİSTEMLERİ

Geçmiş zamanlarda kullanılan sistemlerin günümüz teknolojisi ve imkânları ile oluşan strüktür sistemlerini genel olarak belirtmek gerekirse üç grupta ele alınmaktadır.

#### 2.1. Yığma Sistemler

Yığma sistemleri belirleyen özellikler, basit yöntemlerle düzleştirilen taşıyıcı elemanların üst üste getirilip yığılması sonucunda bir bağlayıcı madde (harç) ile bütünleştirilerek oluşturulmasıdır. Harca ek olarak metal kenetler de taş blokları bir arada tutmak, ahşap hatıllar duvarların birlikte çalışmasını sağlamak için kullanılır. Harç kullanılmadığı, sadece taş kütlelerin ağırlığı veya taş sıralarının aralarına sokulan kamaların yarattığı sürtünme ile stabilitesini sağlayan yığma duvar örnekleri varsa da bunlar güvenilir değildir. İnsanoğlunun en eski zamanlardan beri uygulamaya başladığı bu taşıyıcı sistem türünde, duvarlar ve kolon, pilon, payanda gibi diğer tüm düşey veya eğik elemanlar hem taşıyıcı, hem de mekân sınırlayıcı elemanlardır. Taş ve benzeri kagir malzemenin kullanılmasında ilk oluşturulan statik düzenleme, bu malzemenin basınç dayanımının yüksek, çekme dayanımının yok denecek kadar az olması nedeniyle, düşey duvar ve kolonları içerir. Oluşturulan mekânın üstünün örtülebilmesi için ahşap gibi çekmeye dayanıklı farklı bir malzeme gereklidir. İnsanoğlu üstün yaratma gücü ile basınca çalışan malzeme kullanarak mekan örtme yolunu, kemer, tonoz ve kubbe konstrüksiyonlarını geliştirmişlerdir. Ama günümüzde yığma sistemlerdeki malzeme kullanımının azalmasında en büyük etken de kemer ve kubbe gibi yığma sistem elemanlarının basınç gerilmesi altındaki strüktürel etkinliğidir.

#### 2.2. İskelet Sistemler

Taşıyıcı sistemi ayakta tutan elemanlarla fiziksel etkilerden korunmak, yaşanabilir mekanlar yaratmak için gereken örtücü elemanların birbirlerinden statik görevler açısından ayrıldığı taşıyıcı sistemlere genel bir yaklaşımla iskelet sistemler denmektedir. Böylece ana taşıyıcı sistem kurgusu içindeki görevleri



farklı olan örtücü ve taşıyıcı elemanlar birbirlerinden çok değişik özellikteki malzemelerden yapılabilir.

İskelet sistemler geometrik yönden her türlü biçimlerde serbestçe tasarlanabilirler ve taşıyıcılık açısından her yönde ve doğrultuda yük aktarabilirler. Dolayısıyla iskelet sistemler için çok sayıda geometrik biçim, gerilme türü ve malzeme kullanımı söz konusudur. Malzeme seçimindeki ana ilke çekme, basınç ve eğilmeye dayanımdır.



Resim 2.1. Crystal Palace<sup>31</sup>

### 2.3. Yüzeysel Taşıyıcı Sistemler

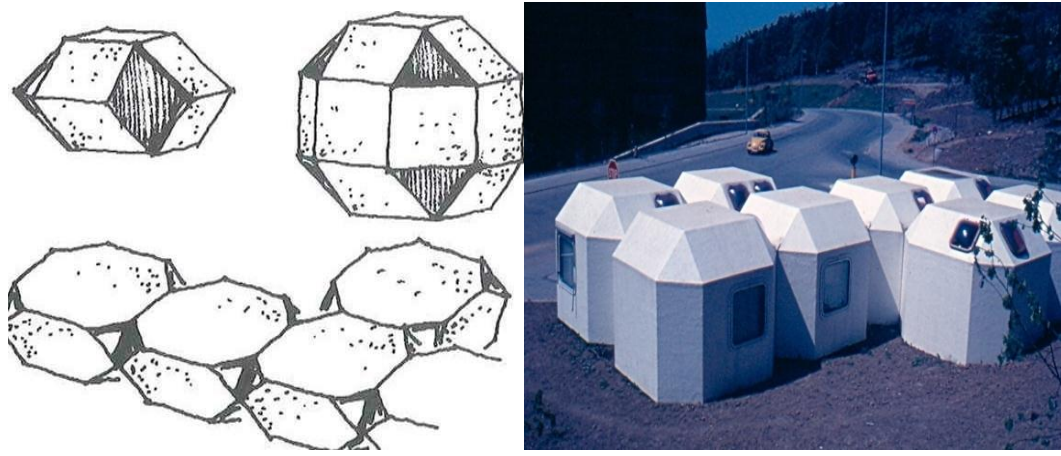
Yüzeysel taşıyıcı sistemlerde yükler iki veya üç doğrultuya aktarılır. iki doğrultulu yük aktarımında düzlem yüzeysel elemanlar, üç doğrultulu yük aktarımında uzaysal taşıyıcı sistemler söz konusudur. Bu gruba, katlanmış plaklar, kabuklar, betonarme veya plastik hücreler (Şekil 2.1), vb. gibi örnekler verilebilir.

Genellikle eğri ve katlanmış yüzeylerden oluşan geometrilere sahiptirler. Ancak hücrelerde ve betonarme panel sistemlerde, düzlem yüzeyler söz konusudur. Eğri ve katlanmış yüzeylerin taşıma güçleri, katlanma ve eğrilik gibi

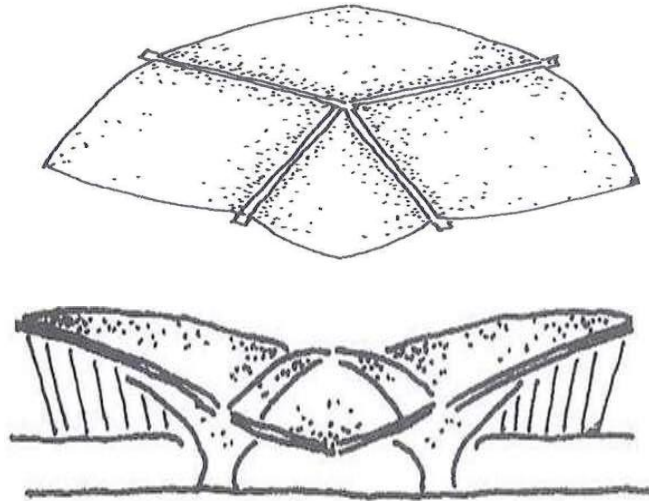
<sup>31</sup> [http://roselli.org/tour/09\\_2000/098.html](http://roselli.org/tour/09_2000/098.html)

biçimsel direnç artıran geometrik özellikleri nedeniyle düzlemsel elemanlara göre artmaktadır.

Ana taşıyıcı sistemin bütününde duvar, döşeme, çatı ayırımı yapılmamaktadır çünkü taşıyıcı sistem bütünleşmesiyle bu elemanlarda strüktürel, yapısal ve işlevsel birleşmiş olurlar. Bu özellikleri bakımından yığma sistemlere benzerler. Ancak yük aktarımları yığma sistemlerdeki gibi sadece tek doğrultu ile sınırlı değildir. Bunlar düzlem yüzeyler içinde iki doğrultuda, hacimsel elemanlarda, katlanmış plak (Resim 2.4 ve Resim 2.5) kabuk sistemlerde (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3) ise üç doğrultuda yük aktarabilirler.<sup>32</sup>

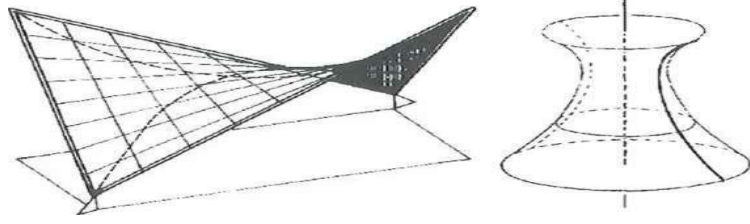


Şekil 2.1 Plastik Hücreler



Şekil 2.2. Kabuk Sistemler

<sup>32</sup> Pearce P. "Structure in Nature is a Strategy for Design" MIT Eylül, 1978.



Şekil 2.3. Hiperbolik ve Parabolik Kabuk Sistemler



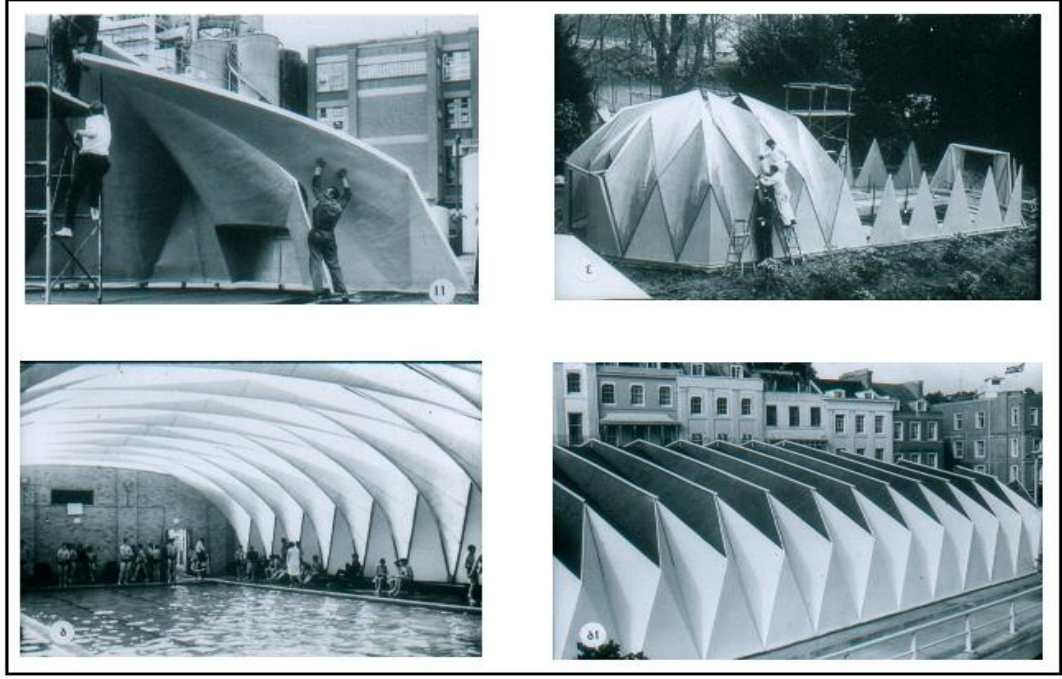
Resim 2.2. Hiperbolik ve Parabolik Kabuk Yapı Örneği



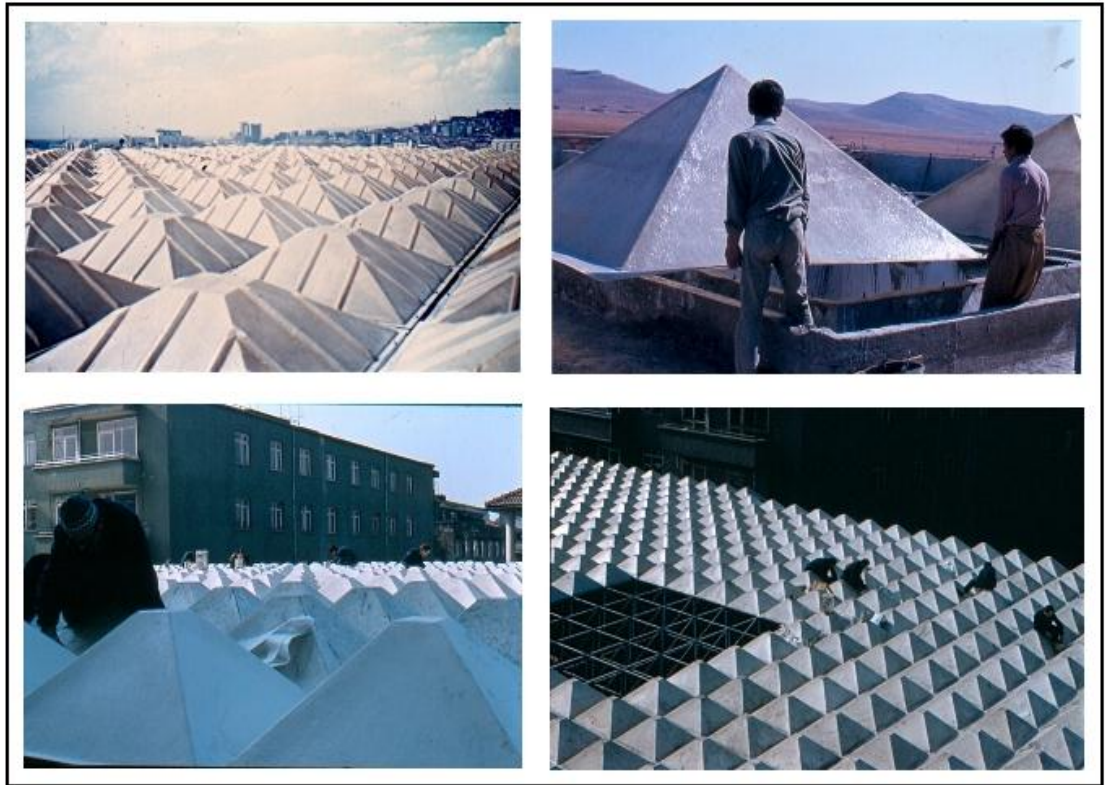
Resim 2.3. Kompozit Esaslı Kalıp Dökümlü Prefabrik Çatı Kaplaması<sup>33</sup>

<sup>33</sup><http://buildipedia.com/in-studio/building-materials-and-methods/item/799-concrete-innovations?tmpl=component&print=>





Resim 2.4. Katlanmış Plak Uygulamaları<sup>34</sup>



Resim 2.5. Piramidal Katlanmış Plak Uygulamaları

<sup>34</sup> Çetin Vefa, “Kompozit Yapı Elemanları Ders Notları”, 2008

## BÖLÜM III

### 3. KABUK SİSTEMLER

Büyük alanları ekonomik ve ara mesnetsiz olarak örtmek amacı ile kullanılırlar. Bir alanı örtmek için eskiden beri bilinen klasik çözüm, kirişlere oturan düzlem bir örtü sisteminden oluşmaktadır. Bu klasik halde birbirinden ayrı iki tür eleman vardır: Örtü elemanları ve taşıyıcı elemanlar.

Örtü elemanları ile taşıyıcı elemanlar birleştirilirse kendi kendini taşıyan yapılar elde edilmektedir. Bunlar arasında betonarme ve kompozit esaslı kabuklar son derece önemli bir gruba oluştururlar.

Kabukların başlıca yararı hafifliklerinde bulunmaktadır. Örtü elemanlarına verilen özel biçim sayesinde taşıyıcı elemanlar ortadan kaldırılmış ve örtü elemanlarının kalınlığı genel olarak arttırılmamıştır. Bu yarar özellikle çatılar için ilgi çekicidir çünkü çatılar kar ve rüzgar gibi hafif hareketli yükler etkisindedir ve başlıca etkiler sabit yüklerden oluşmaktadır.

Kabukların hafifliği, donatıda ve temellerde ekonomikliğin sağlanmasında etkin rol oynamaktadır. Diğer bir yararı, bu yapıların zarif ve hafif görünüşündedir. Böyle bir görünüş yapılar da estetik açıdan önemli bir etkidir.

Sakıncaları; pahalı olan kalıp masrafını beraberinde getirmektedirler. Genellikle örtü elemanları çoğu kez eğri yüzeylerden oluşur ve bu yüzeylerin açınımı her zaman olanaklı değildir. Kalıplar büyük bir titizlikle hazırlanmış olmalıdır.



Şekil 3.1. Mukavemeti Biçimine Bağlı Tabaka Kâğıdın Rijitliği ve Yük Taşıma Kapasitesi Benzetmesi

Şekil 3.1’de gösterildiği gibi elde tutulan bir kâğıt bir kenarından düz olarak tutulduğunda kolayca eğilir ve kendi ağırlığını bile taşıyamaz. Aynı kâğıt kıvrılarak, hafifçe yukarı doğru eğri bir biçim alacak olursa, kendi ağırlığına ek olarak belirli bir düzeyde yük de taşıyabilir. Bu taşıma kapasitesi kullanılan malzemeyi arttırarak

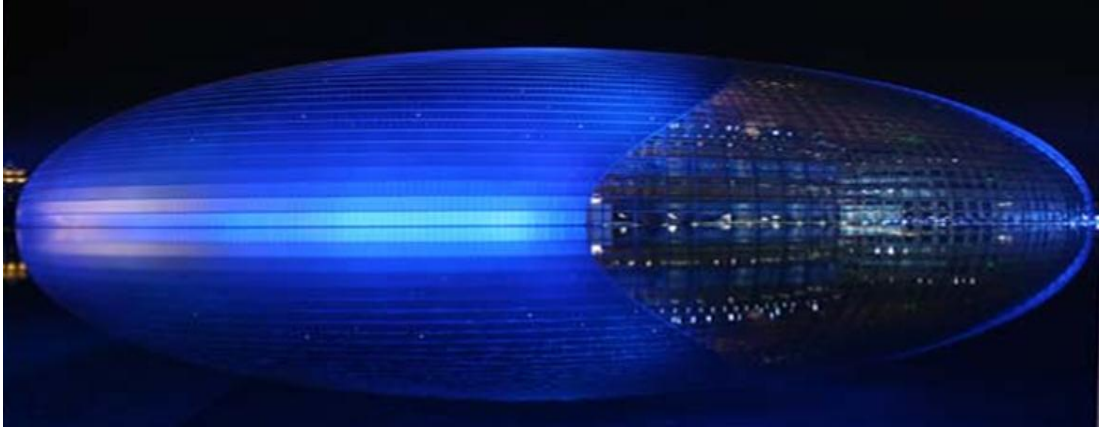
değil, aynı malzemeye uygun bir şekil vererek ortaya çıkar. Yukarı doğru eğrilik, tabaka kağıdın rijitliğini ve yük taşıma kapasitesini arttır. Bunun nedeni, eğrilik sonucu bir kısım malzeme tarafsız eksenden uzaklaşmış ve böylece eğilme rijitliği bir kiriş gibi gözönüne alındığında büyük oranda artmıştır. Aynı sonuç kağıdı katlayarak, ani eğim değişiklikleri ya da tekil eğrilikler vererek de sağlanabilmektedir.



Resim 3.1. Örnek Kabuk Yapı Uygulamaları



Kabuklar, önemli eğilme gerilmeleri oluşturmayacak kadar ince, fakat yükleri basınç, kayma ve çekme ile taşıyabilecek kalınlıkta olan iki boyutlu eğrisel taşıyıcılardır. Kabuklar, kubbe ya da diğer biçimlerdeki eğrisel çatıların çeşitli biçim ve estetikte yüksek dayanım ve ekonomi sağlayarak yapılmalarına olanak sağlarlar. Bu tür sistemler, çağdaş yapı projelerinin en gelişmiş örnekleri arasındadır.



Resim 3.2. National Centre For The Performing Arts, Çin<sup>35</sup>

Hiperbolik paraboloid, doğrusal doğrular ile mesnetlendirilirse, asal gerilmeler parabolle doğrultusunda oluşmaktadır. Yukarı doğru olan parabolle oluşan çekme etkisi, eğriliği aşağı doğru olan parabolde oluşan basınç etkisiyle birleştirilirse, doğrusal kenarlar boyunca etkiyen bir basit kayma durumu elde edilmektedir. Böylece, kabuğa etki eden yükler, mesnetleri oluşturan kenarlara, bu kenarlar doğrultusunda yer alan basit kayma ile aktarılmaktadırlar. Mesnet elemanları genellikle kirişlerdir, fakat bu elemanlar düşey yüklerden çok, uzunlukları boyunca toplanan kayma etkileriyle yüklüdürler, dolayısıyla kendi ağırlıklarının etkisi dışında, basınç ya da çekme çubuğu gibi davranmaktadırlar.



Resim 3.3. Cargo Lifter, Almanya<sup>36</sup>

<sup>35</sup> [http://farm4.static.flickr.com/3359/3305465577\\_66492760f7.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3359/3305465577_66492760f7.jpg)

Hiperbolik paraboloid basık olduğunda, başlıca oluşan gerilme durumları, aynı şiddette kayma gerilmelerini doğrudan çekme ve basınç gerilmelerine eşittir. Bu gerilmeler kabuğun her yerinde aynı değerdedir. Ayrıca, başlıca oluşan gerilme durumları kabuğun kalınlığı boyunca düzgün yayılı olmaları nedeniyle, kabuğun yüzde yüz etkin çalıştığı söylenebilir ve herhangi bir kesitin herhangi bir noktası eşit gerilme altındadır. Paraboloidde oluşan gerilme durumları kabuğa etki eden toplam düzgün yayılı yük ile doğru, kabuk yüksekliği ve kabuk kalınlığı ile ters orantılıdır. Kabuğun burkulmasına neden olabilecek yüksek basınç gerilmelerinden kaçınmak için, kabuk yüksekliğinin açıklığın altıda biri ile onda birinden az olmaması gerekir.

Çatılar genellikle, hiperbolik paraboloid parçaların birleşik düzenlenmeleri biçiminde yapılmaktadırlar. En yaygın düzenlemelerden biri dört parçalı olup her parçanın dış köşesi kolonlarla mesnetlenirler. Bu durumda, eğimli dış rijitleştiriciler ile yatay iç rijitleştiriciler kenar kaymalarının toplanmasıyla tamamen basınç kuvveti etkisinde kalmaktadırlar. Eğimli dış rijitleştiricilerden doğan yatay tepki kuvveti gergi çubuklarıyla karşılanabilmektedirler. Buna karşılık iç rijitleştiricilerin kesişme noktası eşit değerde fakat ters yönde etkiyen değerlerle dengelenmektedirler. Böyle bir çatı düzgün kırık bir çatı görünümündedir.<sup>37</sup>



Resim 3.4. Brüksel dünya fuarı'nda le corbusier'in philips firması için gerçekleştirdiği hiperbolik paraboloid yapı<sup>38</sup>

<sup>36</sup> <http://www.strangeharvest.com/mt/archive/tropicalislandresort.jpg>

<sup>37</sup> <http://www.ins.itu.edu.tr/kutlu/kdtr/shell.htm>

<sup>38</sup> <http://www.frieze.com/uploads/images/back/philips.jpg>



Kabuk sistemler için özetle belirtilecek olunursa aşağıdaki üç özellik ortaya çıkmaktadırlar. Eğrilik; kabuk sistemlerde örtü tabakası (dış kabuk) eğri bir yüzeydir. Kabuk yüzeyleri tek veya çift eğrilikli olabilmektedir. Sertlik/rijitlik; kabuğun yapıldığı malzeme serttir, her noktada aynı sürekliliği ve teknik özelliği göstermektedir. Kabuk sistemlerin malzemesi rijit ve homojen olup eğilmeye karşı dayanıklıdırlar. İncelik; kabuğun kalınlığı geçilen açıklığa oranla çok küçüktür.



Resim 3.5. Interior of the Southern Cross Station, Amerika<sup>39</sup>

### 3.1. Tarihçe

Kabuklar, kalınlığı yüzeysel yayılımına oranla çok ince olan, sürekli veya süreksiz eğrilikli yüzeysel strüktür elemanlardır. Bu strüktür elemanlarının gerek teorik gerek deneysel olarak hazırlanması yaklaşık 35 yıllık bir çalışma sonucudur. Bu çalışmalar, yeni uzaysal mekanlar yaratma ilgisinin doğmasıyla daha da gelişmiştir.

Kabuklar üzerine teorik çalışmalar XIX. yüzyıl sonlarında başlamış ve uygulamalar XX. yüzyıl başlarında mühendislik alanında gelişmiştir. İlk betonarme kabuk uygulaması, mühendis Walter Bauerfeld' in kabuk çalışmaları hakkındaki gelişmeleri makalesinde Almanya'da tanıtmasıyla, 1910 da gerçekleştirilmiştir. 1920 de Jena da Zeiss planetaryum için Carl Zeiss ın Dyckerhoff ve Widmann inşaat

<sup>39</sup>[http://lh5.ggpht.com/\\_Uzm9uY6ln\\_c/TOxRcuICRI/AAAAAAAAAC4U/VCxV2odTjM/image9.png](http://lh5.ggpht.com/_Uzm9uY6ln_c/TOxRcuICRI/AAAAAAAAAC4U/VCxV2odTjM/image9.png)

firmasına dört kolon üzerine küçük bir silindir kabuk yaptırmasıyla silindirik ve küre kabuklar uygulanmaya başlanmıştır (Resim 3.6).



Resim 3.6. Platenerium, Küre Kabuk<sup>40</sup>

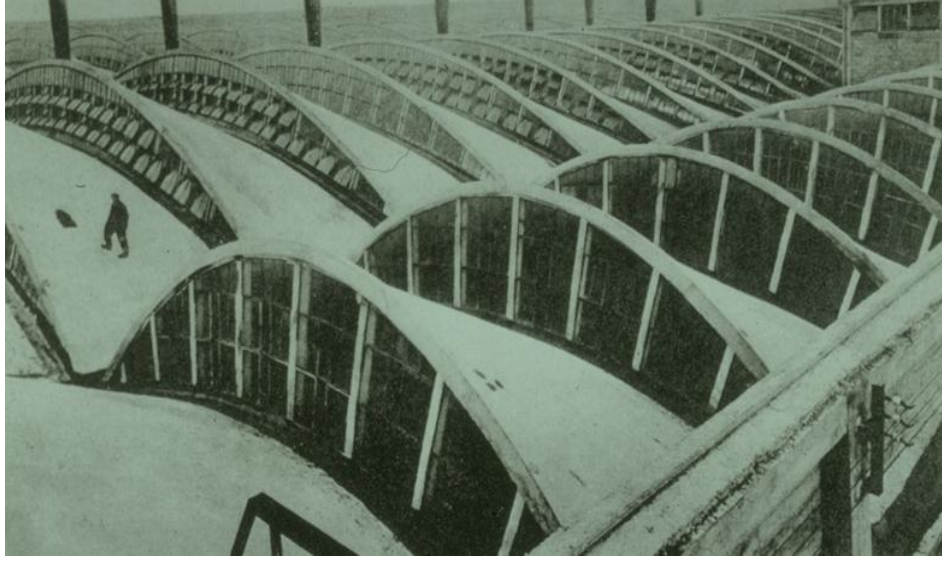
Dyckerhoff ve Widmann firması mühendisleri, bu çalışmalar sonucunda silindirik ve küre kabuk prensipleriyle birçok hal ve fabrika binaları yapmışlardır. 1939 da Mailart, kabukların uygulanabilirliğini gösteren bir konstrüktif sembol olarak Zürih’ te ‘‘Zementhalle’’ inşa etmiştir. Günümüz tarihinde yıkılmaya yüz tutmuştur (Resim 3.7). Bagneax’ daki radyatör fabrikasını tasarlarken konoid kabuk prensiplerini uygulamıştır (Resim 3.8).



Resim 3.7. Zementhalle (Kabuğun Çökmesi), Zürih<sup>41</sup>

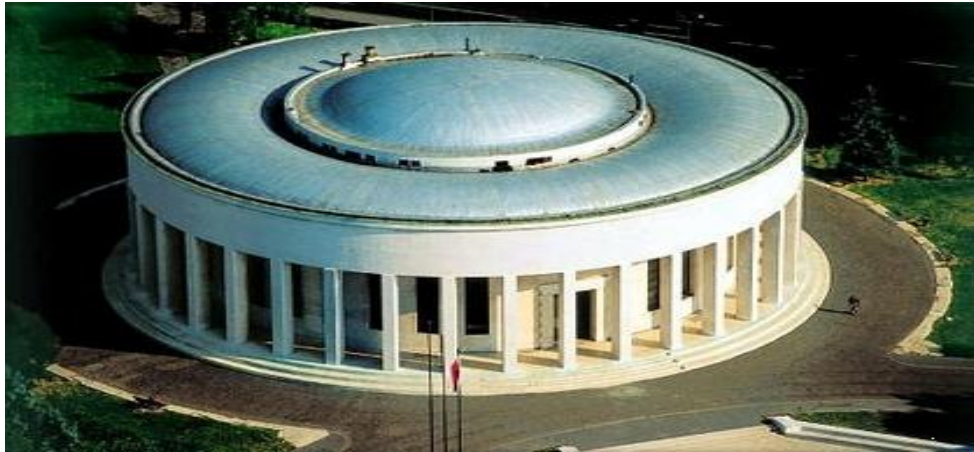
<sup>40</sup>[http://www.thuringen-tourismus.de/files/images/ObjektekreisfreieStadtJena/Zeiss\\_Planetarium\\_Jena\\_rdax\\_275x192.jpg](http://www.thuringen-tourismus.de/files/images/ObjektekreisfreieStadtJena/Zeiss_Planetarium_Jena_rdax_275x192.jpg)

<sup>41</sup> [http://www.e-pics.ethz.ch/index/ETHBIB.Bildarchiv/images/ETHBIB.Bildarchiv\\_Hs\\_1085-1938-39-1-41\\_42998.jpg](http://www.e-pics.ethz.ch/index/ETHBIB.Bildarchiv/images/ETHBIB.Bildarchiv_Hs_1085-1938-39-1-41_42998.jpg)



Resim 3.8. Radyatör Fabrikası, Bagneax<sup>42</sup>

Bernard Laffaille, ' Memories de l'Association Internationale des Ponts et Charpenter' adlı enstitüde doğrusal yüzeyli kabuk konstrüksiyonlar üzerine 1926'dan beri yaptığı çalışmalar (Elastik olmayan ince hiperbolik paraboloidlerin statik araştırmasını inceleyerek hesap metotlarını) geliştirmiş ve günümüzde kullanılan temel prensiplerini bulmuştur. 1933'te dört doğru kenarlı hiperbolik parabdloid ile oluşmuş her yönden 15,5 m serbest çıkmalı bileşik kabuk sistemini geliştirerek Zagreb 'teki Fransız pavyonunu yapmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.9. Fransız Pavyonu, Zagreb<sup>43</sup>

<sup>42</sup> [http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL\\_MS/img0034.jpg](http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL_MS/img0034.jpg)

<sup>43</sup> [http://farm1.static.flickr.com/41/98195532\\_7a9094400c.jpg](http://farm1.static.flickr.com/41/98195532_7a9094400c.jpg)

İtalya'da Giorgio Baroni hiperbolik paraboloid kabuklar üzerine çalışmaları sonucunda 1934 de Milano'da bir dökümhane uygulamıştır. Rusya'da Konrad Hruban da hiperbolik paraboloid kabuklar üzerine çalışmaları yürütmüş ve 1940'lardan sonra endüstri yapılarında kullanıma elverişli bir tip geliştirmiştir. 1945'de Nove Mesto'da, 1948'de Prostejov'da yaptığı fabrika binalarında bu tipleri uygulamıştır (Resim 3.10).



Resim 3.10. Prostejov Fabrika Binası, Çek Cumhuriyeti<sup>44</sup>

İspanya'da, uyguladığı çeşitli kabuk çatı örtüleriyle dikkati çekmiş; 1934'de Algericas hal binasında küre kabuk, (Resim 3.11) 1935 de Zarzuela 'da hipodrom tribünlerinde hiperbolik paraboloid (Resim 3.12) kabuk prensiplerini uygulamıştır.



Resim 3.11. Algericas hal binası, İspanya<sup>45</sup>

<sup>44</sup> [http://www.encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil\\_osobnosti&load=2623](http://www.encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_osobnosti&load=2623)

<sup>45</sup> [http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Halles\\_Vue\\_G%C3%A9n%C3%A9rale\\_Mars\\_3.JPG](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Halles_Vue_G%C3%A9n%C3%A9rale_Mars_3.JPG)





Resim 3.12. Zarzuela Hipodrom, İspanya<sup>46</sup>

Kabuk yüzeylerin Amerika 'da kullanılması, 1930 da Roberts ve Schaeffer firmasının Zeiss-Difidag patentlerini satın almasıyla başlamıştır. Bu firma, Anton Tedesco yönetiminde birçok proje gerçekleştirmiştir. Amman ve Whitney firması mühendisleri çeşitli kabuk yüzeylerin birleşimleri üzerine çalışmalarını yoğunlaştırıp ilginç uygulamalar gerçekleştirmişlerdir, Amerika'da Eero Saarinen çeşitli küre ve paraboloid uygulamalarıyla, (Resim 3.13) Meksika'da Candela hiperbolik paraboloid uygulamaları ile çağdaş kabuk tasarımında öncü olmuşlardır. (Resim 3.14)



Resim 3.13. Kennedy Havalimanı, Newyork<sup>47</sup>

<sup>46</sup> <http://en.structurae.de/photos/index.cfm?JS=68082>

<sup>47</sup> <http://www.teoremedu.com/content/uploads/17/eski/images/jfk-airport.jpg>



Resim 3.14. Palacio de los Deportes, Meksika<sup>48</sup>

### 3.2. Kabuk Sistemlerde Kullanılan Malzemeler

Kabuk sistemlere uygun olan malzemeler ilk adımda homojen ve rijit olmalıdırlar. Rijit malzemeler arasından da kabuk sistemlerde görülen gerilmelere, kısaca çekme, basınç ve kayma gerilmelerine dayanıklı olan malzemeler seçilmelidir. Bu tip malzemeler, aynı zamanda eğilmeye de dayanıklı olduklarından, kabuk sistemlerin belli bölgelerinde (eğilme gerilmelerinin ortaya çıkacağı bölgeler ayrıntılı açıklanmaktadır) ortaya çıkması kaçınılmaz olan eğilme etkisinin gerektirdiği malzeme kullanımına da uymaktadırlar. Bugün bilinen yapı malzemeleri ve bileşenleri arasında bu özelliğe sahip olanlar şunlardır; betonarme, metal saçlar, ahşap levhalar, takviyeli plastik malzemeler, cam elyaf takviyeli beton, vb.'dir.

#### 3.2.1. Betonarme

Kabuk sistem yapımına en uygun malzemedir. Beton istenen ve kalıbı yapılabilen her şekle dökülebilen, basınca dayanıklı bir malzemedir. Çekme kuvveti oluşan bölgelerde betonun bünyesine beton çeliği (donatı), çelik hasır katılmaktadır. Kabukların sadece basınca çalışan bölgelerinde de ısı ve sünme nedeniyle oluşabilecek çatlamları önlemek için belli ölçüde çelik donatı

<sup>48</sup> <http://www.teoremedu.com/content/uploads/17/eski/images/jfk-airport.jpg>

kullanılmalıdır. Beton sınıfı olarak en az C25 olmalıdır, hatta daha kaliteli beton türleri yeğlenmelidir. Kalıp giderleri betonarme kabuklarda önemli bir yer tutar. Bu nedenle kalıp yapımı kolay olan geometriler maliyeti azaltıcı olmaları nedeniyle tercih edilirler. Ayrıca çelik donatının alt ve\veya üstüne sıva teli yerleştirerek beton püskürtme yöntemi de uygulanmaktadır. Bugüne değin uygulanmış kabukların büyük çoğunluğunun malzemesi betonarmedir. Betonarme kabuklar büyük açıklıkları geçmek için uygundur.

### **3.2.2. Metal Saçlar**

Çelik saçlarla, alüminyum alaşımlı saçlar söz konusu olmaktadır. Metal saçlar; tek cidarlı olarak ve silindirik, küre gibi biçimlerde endüstri tesislerinin su depoları, yakıt ve rafineri tankları gibi bölümlerinde kullanılmıştır. Anlaşılacağı gibi kabuk geometrisinde ince saçlardan yapılan taşıyıcılar (örneğin rafinerilerde yakıt depoları vb.) bir anlamda membran gibi içten basınçlı kullanımlara uygundur. Çubuk iskeletle takviye edilen metal saçlı jeodezik kubbeler (entegre çatılı jeodezik kubbeler) de yaygındır. Saç gibi dayanımı fazla, ancak çok ince olan bir malzemenin basınç ve eğilme gerilmelerinin bulunduğu bir taşıyıcıda ekonomik kullanılabilmesi için, ya sandviç plak tipindeki konstrüksiyonlara gitmek veya metal yüzeylerin rijitliğini bir takım katlanmalarla (bükülme, biçimlendirmelerle) artırmak doğru olacaktır. Metal saçların istenen her biçime bükülebilmeleri olanaksız veya çok zor olduğundan, kullanımı çoğunlukla belli geometriye endüstri yapılarına sınırlanmıştır.

### **3.2.3. Takviyeli Plastik Malzemeler**

Plastik malzemeler betona benzer özellikler gösterirler. Bunlar da arzulanan ve kalıbı yapılabilen her şekle dökülebilir veya bir kalıp üzerine püskürtülebilirler. Ana malzemeleri basınca dayanıklı iken, çekme dayanımları bir donatı ile (örneğin cam elyaf) artırılır. Betonarme elemanlardan farklı olarak ışık geçirgen veya yarı geçirgen olabilirler. Prefabriğe kabuklar söz konusu olduğunda plastik malzemeli olanlar hafifliklerinden ötürü betonarme elemanlardan daha kolay taşınabilir ve monte edilebilirler. Plastik malzemeler betonarmeye oranla daha pahalıdır. Bir petrol türevi olması nedeniyle hem daha pahalı, hem de ülkemiz için dışa bağımlı olması bunun olumsuz yönünü oluşturur. Küçük ve orta açıklıkları geçen kabuk sistemler için uygun olabilirler.

Maliyetinin fazla olması nedeniyle böyle elemanların plastik malzeme ve çelik saç kullanımında olduğu gibi ekonomik maliyetler sağlamak için sandviç plak uygulamasına gidilmesi yeğlenmektedir. Sandviç plaklar, rijit, statik yönden daha dayanıklı ve daha pahalı iki ince tabaka arasına yerleştirilen, az maliyetli, fakat kapaklara oranla çok kalın bir çekirdek tabakanın bir bütün olarak çalışmasının sağlandığı bir strüktürel elemandır. Sandviç plak çalışmasının gerçekleşebilmesi için sözü edilen üç tabakanın birlikte, bir bütün olarak davranması gerekmektedir. Bu nedenle ince kapakların arasına poliüretan köpük sıkılmadan önce kapakların altlarına cam elyaf yapııştırılarak bunların sürtünme yüzeyleri artırılmaktadır. Sandviç plakta üst tabaka basınçla, alt tabaka çekmeyle ve ara tabaka da kayma kuvvetleriyle etkilenmektedir.

#### **3.2.4. Elyaf Donatılı Beton**

Betonarme yapıların çelik donatısı yerine daha ince kesitli elemanların yapımında cam elyaf lifleriyle donatılan beton kullanımı da dış ülkelerde uygulanmaktadır. Sandviç plak türünde uygulanması uygun olacaktır, üst ve alt tabakaları 1,25 - 1,8 cm arasında bir kalınlıkta, ara tabakası da 20 - 40 cm dolayında çekirdekten oluşan cam elyaf donatılı plastik veya betondan üretilmiş örnekler bulunmaktadır.

Kabuk biçimi olarak matematiksel çözümü basit, kalıp yapımı kolay olan geometrilerin seçilmesi, toplam yapı giderlerini ve statik hesaplamayı büyük ölçüde etkilemektedir.<sup>49</sup>

### **3.3. Kabuk Geometrisi ile İlgili Kavram ve Tanımlamalar**

Kabuklar geometrileri itibarıyla eğri olmak zorundadır, bir kabuk sistemin geometrisini anlamamanın yolu eğri yüzeylerin geometrisini anlamakla paralel yürümektedir. Eğri bir geometri sadece kabuklara özgü değildir. Hemen her türlü taşıyıcı sistemin düz veya eğri yüzeylere uyarlanmış türleri bulunmaktadır. Eğri geometriler, taşıyıcı sistemlerin dayanımlarını biçimleriyle artıran bir özelliğe sahiptirler ve eğri yüzeylerin geometrileri her ne kadar kabuk kavramı olduğu gibi bütün taşıyıcı sistemler için geçerlidir.<sup>50</sup>

<sup>49</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, "Çağdaş Taşıyıcı Sistemler", Birsen Yayınevi, s.79-83, İstanbul, 2009.

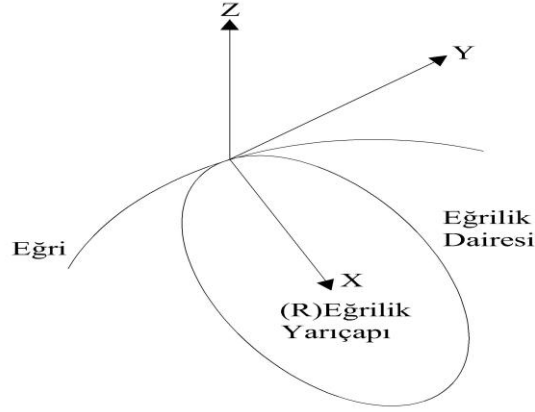
<sup>50</sup> Alphonse Zingoni "Shell Structures" 1997 New York



### 3.3.1. Kabuk Yüzeylerin Sınıflandırılması

Kalınlığı diğer iki boyutu ve eğrilik yarıçapına oranla çok ince olan kabuklar, sürekli veya süreksiz eğrilikli yüzeysel yapılar. Bu eğrilikli yüzeyleri eğriliklerine veya yüzey oluşumu yöntemlerine göre sınıflandırılmasında yüzeyler; regle (doğuraylı), translasyonel (ötelenen), rotasyonel (dönel) olarak ayrılır. Yüzeyin eğriliklerine göre sınıflandırma, yüzeyi oluşturan asal eğriliklerin işaretlerine göre yapılmaktadır.

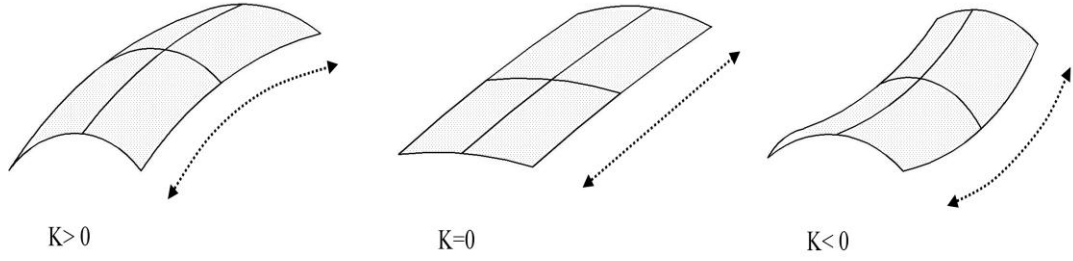
İşte bir eğrinin iç tarafında kalacak ve bir noktada eğriye teğet olacak şekilde çizilen daireye eğrilik dairesi denir. Bu dairenin yarıçapı, eğrilik yarıçapı (R) olarak adlandırılır. (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Eğrilik Dairesi ve Eğrilik Yarıçapı

Bir yüzeyin herhangi bir noktasından yüzeyin normali doğrultusunda geçen ve yüzeyi bir eğri boyunca kesen sonsuz sayıda düzlem geçirilebilir. Yüzeyin birbirine dik düzlemlerle kesiminde eğrilik yarıçapı minimum veya maksimum olan iki arakesit eğrisine yüzeyin asal eğrilikleri denir. Asal eğrilikler yüzeyi belirlemektedir. Bu eğrilikler birbirinin aynı veya ters işarette olabilirler. Asal eğriliklerin çarpımı, bir yüzeyin Gauss eğriliği olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda yüzeyler, Gauss eğriliği sıfır ( $K=0$ ), pozitif ( $K>0$ ), negatif ( $K<0$ ) olarak sınıflandırılır (Şekil 3.3). Bir yüzey her üç tip eğriliği de içinde bulundurabilir.<sup>51</sup>

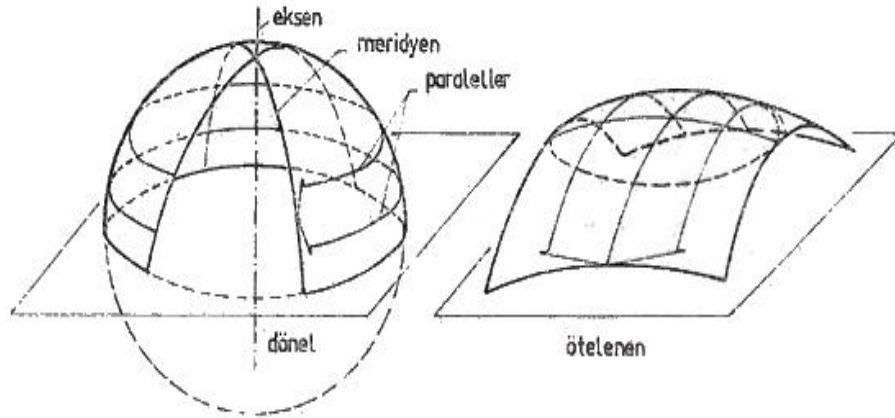
<sup>51</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, “Çağdaş Taşıyıcı Sistemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.



Şekil 3.3. Eğriliklerine Göre Kabuk Yüzeyler<sup>52</sup>

### 3.3.1.1. Gauss Eğriliği Pozitif Yüzeyler

Asal eğrilik merkezleri aynı yönde, çift eğrilikli yüzeylerdir. Asal eğrilikleri aynı yönde çift eğrilik yüzeylerdir. Eliptik paraboloid, küre, dönel paraboloid ve elipsoid yüzeyler bunlara örnektir.



Şekil 3.4. Pozitif Eğrilikli Yüzey

Bu yüzeyler, dönel ve ötelenen olarak iki ayrı grupta incelenmektedirler. Dönel yüzeyler, meridyen diye adlandırılan bir eğrinin düzleminde bulunan bir eksen etrafında dönmesiyle oluşmaktadır. Eksen etrafında dönen eğri bir çember parçası olduğuna küre, bir parabol olduğuna dönel paraboloid (Resim 3.15), bir elips olduğuna elipsoid diye adlandırılır (Resim 3.16). Eksene dik düzlemlerle kesimler daima daire olduğu için bunlara dairesel yüzeyler de denir.

<sup>52</sup> Billington, David.P., "Betonarme Kabuk Yapılar", Princeton Üniversitesi, Çağlayan Basım Evi, İstanbul, 1975.



Resim 3.15. Infosys Campus, Pune, Maharashtra, Hindistan (dönel paraboloid)<sup>53</sup>

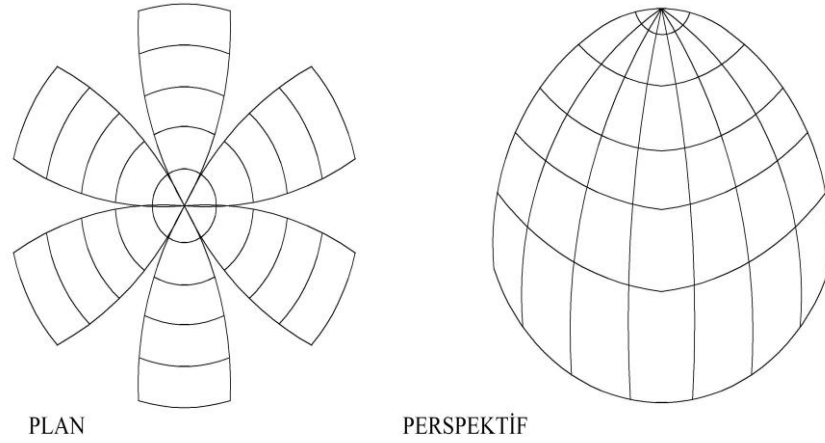


Resim 3.16. Hava Trafik Kontrol Kulesi, Klia, Malezya (elipsoid)<sup>54</sup>

Gauss eğriliği pozitif ötelenen yüzeyler, bir eğri düzlemin (doğrultman) kendine dik aynı işaretli bir başka eğri düzlemi (doğuray) üzerinde paralel olarak kaydırılmasıyla oluşturulmaktadır. Bu yüzey üzerindeki bir noktadan yüzey normalindeki kesimler parabol, yatay kesimler elips olduğu için bunlara eliptik paraboloid yüzeyler denir.

<sup>53</sup> [http://i446.photobucket.com/albums/qq183/rammanpandu/2544477282\\_71ab60c0a2\\_b.jpg](http://i446.photobucket.com/albums/qq183/rammanpandu/2544477282_71ab60c0a2_b.jpg)

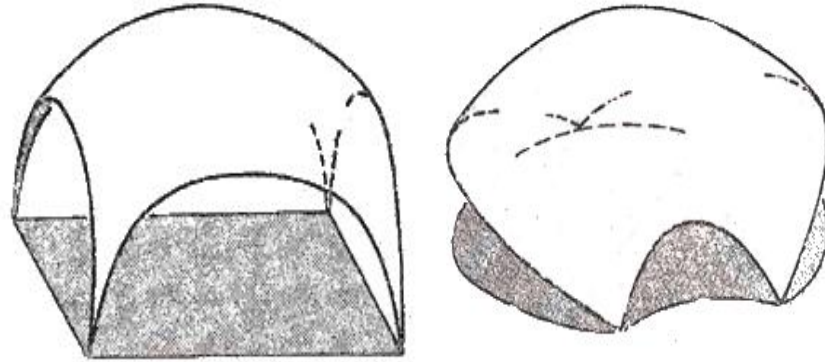
<sup>54</sup> [http://farm4.static.flickr.com/3083/2872439624\\_dbae61691.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3083/2872439624_dbae61691.jpg)



Şekil 3.5. Kabuk Yüzeyin Sinklastik Açılımı

Gauss eğriliği pozitif yüzeylerin açınımı yapılmak istendiğinde kesmek gerektiği için bunlara sinklastik (parçalanan) yüzeyler de denir (Şekil 3.5). Bu yüzeyler çok ince bile yapılsalar, bu özelliklerinden dolayı oldukça stabildir ve geniş açıklıkları örtmek için uygundurlar. Fakat uygulanmaları kalıp ve işçilik bakımından güçtür.

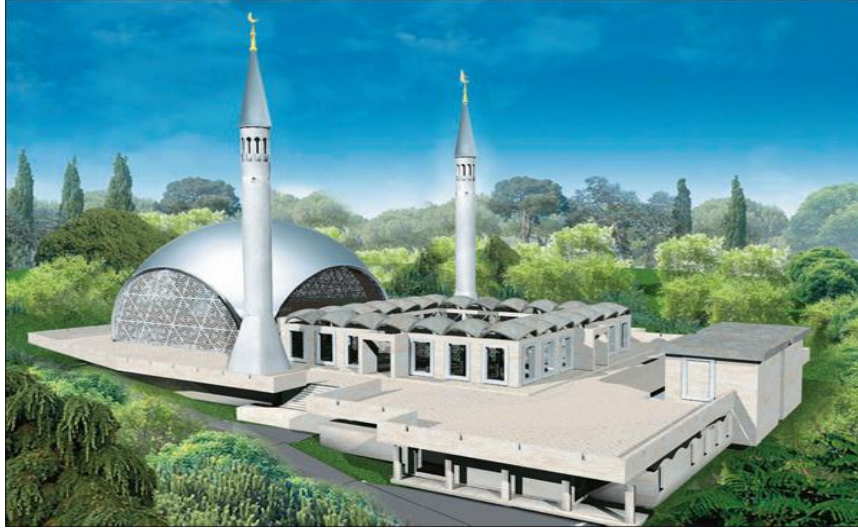
Bu yüzeyler, çeşitli açılarda düzlemlerle doğru veya eğri kenarlı geometrik planlar üzerinde tek kullanılabildikleri gibi değişik şekillerde birbirleriyle kesiştirilerek değişik yüzeyler oluşturulmaktadır.



Şekil 3.6. Doğru ve Eğri Kenarlı Yüzeyler<sup>55</sup>

<sup>55</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.

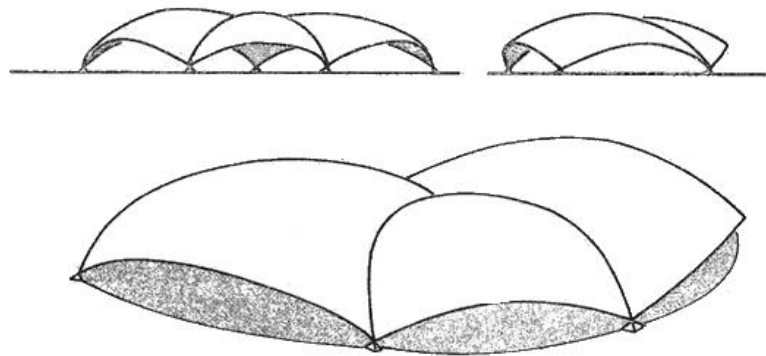




Resim 3.17. Katar Doha Camii (Doğru Kenarlı Yüzey Örneği)<sup>56</sup>



Resim 3.18. Kresge Auditorium Cambridge, Amerika (Eğri Kenarlı Yüzey Örneği)<sup>57</sup>



Şekil 3.7. Pozitif Eğrilikli Üç Elemanlı Kesiştirilen Yüzeyler

<sup>56</sup> <http://www.mimdap.org/wp-content/uploads/z-fadillioğlu-15.jpg>

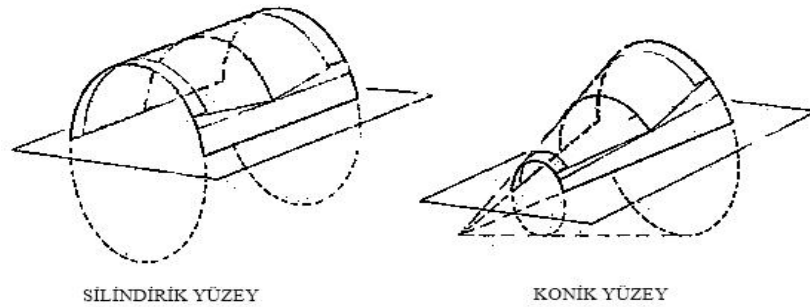
<sup>57</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/archive/9/9d/201012021218!MIT\\_Kresge\\_Auditorium.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/archive/9/9d/201012021218!MIT_Kresge_Auditorium.jpg)



Resim 3.19. Eğlence Merkezi Utah, Amerika (Üç Eksenli Elipsoid)<sup>58</sup>

### 3.3.1.2. Gauss Eğriliği Sıfır Yüzeyler

Asal eğriliklerinden birinin doğru, diğerinin eğri bir geometrik elemanla oluşturduğu, tek eğrilikli yüzeylerdir. Bu yüzeylere örnek olarak silindirik ve konik kabuklar gösterilebilirler. Silindirik yüzeyler, bir doğrunun (doğrultman) kendi düzlemine dik bir düzlemdeki eğri (doğuray) üzerinde kendisine paralel olarak kaymasıyla; konik yüzeyler, bir eğri ile bu eğrinin bulunduğu düzleme dik bir düzlem üzerindeki bir noktayı birleştirecek şekilde bir doğrunun (doğrultman), nokta merkez olmak üzere bir eğri (doğuray) üzerinde hareketiyle oluşur. Geometrik özelliklerinden dolayı bu yüzeylerin açılımı yapıldığında, germeden veya kesmeden bir düzlem haline getirilebildiği için uygulanmaları kolaydır.



Şekil 3.8. Silindirik - Konik Yüzeyler<sup>59</sup>

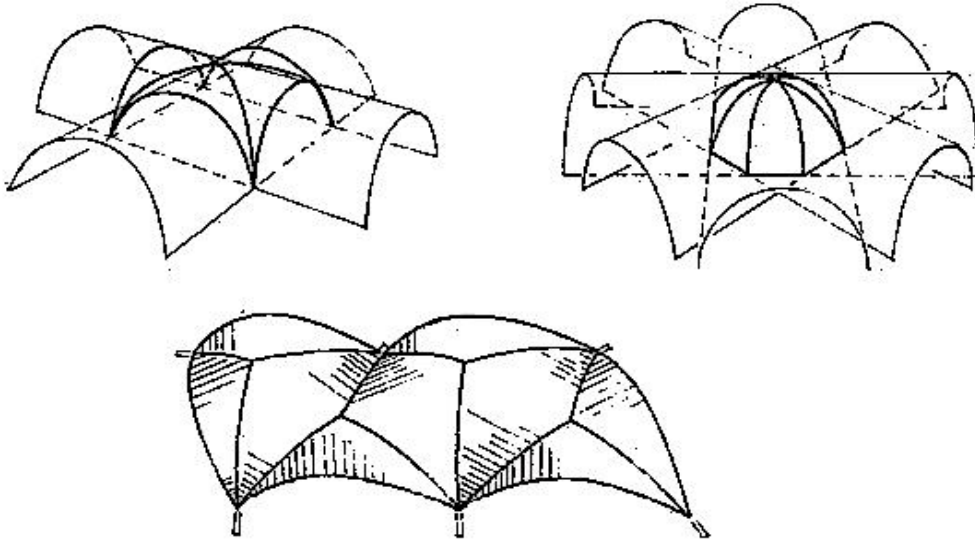
<sup>58</sup> <http://content.lib.utah.edu/cdm4>

<sup>59</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.



Resim 3.20. Fan-Shell Beach, Florida Amerika<sup>60</sup>

Gauss eğriliği sıfır kabuklarda yapısal benzerliklerinden dolayı sadece silindirik kabukların incelenmesi için yeterlidir. Bu yüzeyler düşey olarak duvar elemanları şeklinde kullanılabilirler gibi bir mekan örtmede tek veya birleşik olarak kullanılırlar. Büyük açıklıkları geçmek için değişik şekillerde birleştirilerek birleşik formlar elde edilebilir.



Şekil 3.9. Sıfır Eğrilikli Yüzeyler<sup>61</sup>

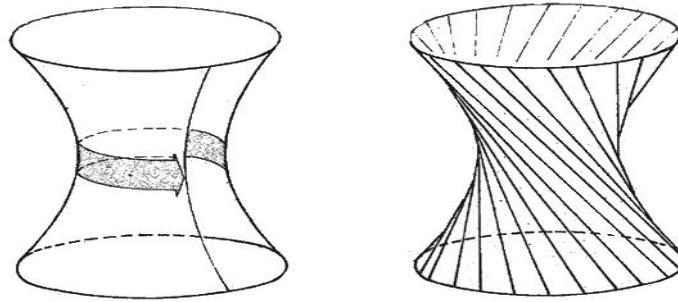
<sup>60</sup> <http://www.janeybennett.com/images/mills2.jpg>

<sup>61</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.

### 3.3.1.3. Gauss Eğriliği Negatif Yüzeyley

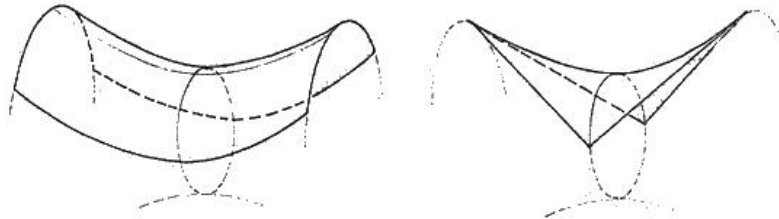
Asal eğrilik merkezleri birbirinin aksi yönünde çift eğrilikli yüzeyleydir. Asal eğrilik yarıçapları işaretleri birbirinin tersidir. Bu yüzeyleylerin aynı zamanda doğrulardan oluşması uygulamada kolaylık, birbirinin tersi eğriliğe sahip olması da stabiliteyi sağlamaktadırlar. Bu yüzeyleylerin açınım yapılmak istendiğinde germek gerektiği için bunlara antiklasik (parçalanamayan) yüzeyleyler de denir. Bir hiperboloid, hiperbolik paraboloid veya konoid yüzeyleyin açınımı yapılamaz.

Hiperboloid yüzeyleyler, bir hiperbol eğrisinin kendi düzlemi üzerindeki bir eksen etrafında döndürülmesiyle oluşan dönel yüzeyleylerdir. Bu yüzeyleylerin eksen doğrultusunda geçen düzlemlerle kesimi hiperbol eğrisi, eksene dik düzlemlerle kesimi kapalı bir daire veya elipstir. Gauss eğriliği negatif yüzeyleylerde gibi bu yüzeyleyler de doğrulardan oluşur ve aynı eksendeki iki kapalı eğri üzerinde bir doğrunun eğri düzlemiyle belli bir açı yaparak kendine paralel hareketiyle de oluşmaktadırlar (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Negatif Eğrilikli Yüzeyleyler<sup>62</sup>

Hiperboloid yüzeyleyler soğutma kuleleri gibi yapılarda kapalı olarak kullanılabildikleri gibi çeşitli şekillerle elde edilmiş değişik formlar çatı örtüsü olarakta uygulanabilmektedirler.



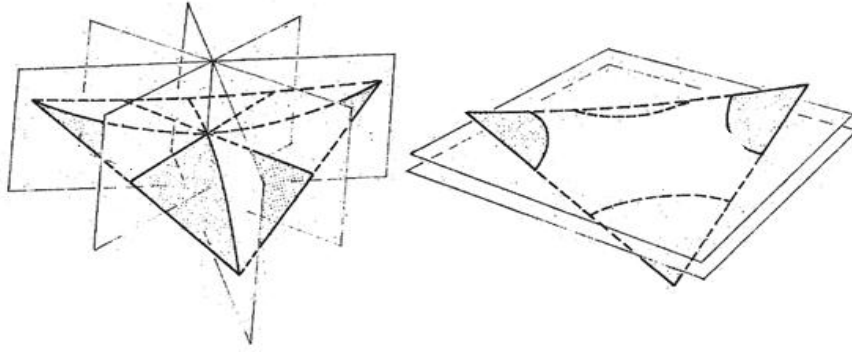
Şekil 3.11. Negatif Eğrilikli Yüzeyleyler

<sup>62</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.



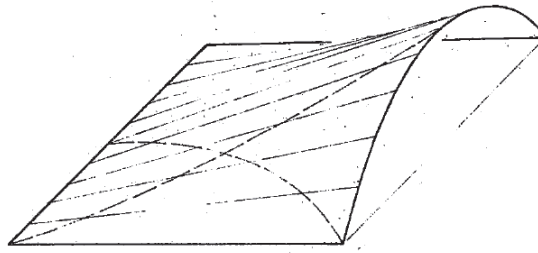
Hiperbolik paraboloid yüzeyler, bir eğrinin bulunduğu düzleme dik bir düzlemdeki ters işaretli bir başka eğri üzerinde kaymasıyla oluştuğu gibi birbirleriyle herhangi bir açı yapan iki doğuray düzlemi ile bunlara paralel doğru sistemlerinden de oluşmaktadırlar. Bu tanıma göre bu yüzeyler hem ötelenen hem de doğuraylı yüzeylerdir.

Hiperbolik paraboloid yüzeylerin yüzey normalinde düzlemlerle kesimleri pozitif veya negatif eğrilikli parabol, yatay düzlemlerle kesimleri de hiperboldür. Hiperboller yüzeyin kesildiği yüksekliğe göre değişirler. Düşey kesimlerde negatif parabolün pozitif parabole geçtiği düzlem, bir doğrudur (Şekil 3.12 ).

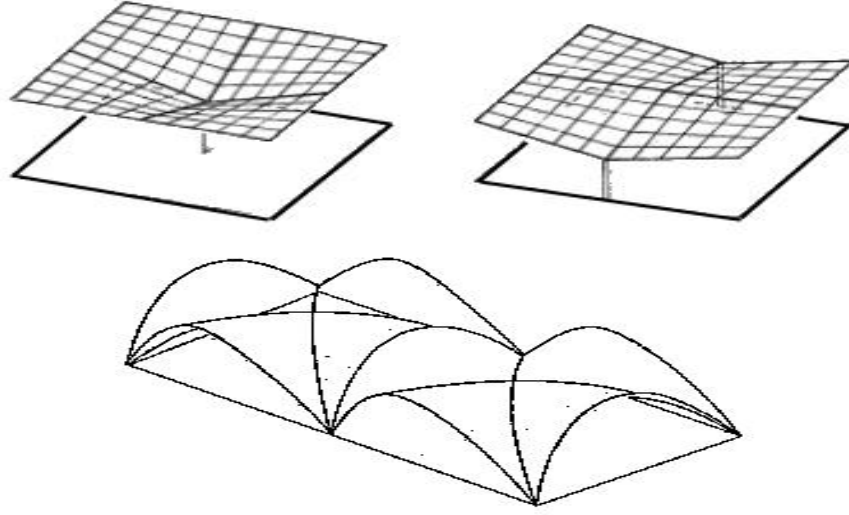


Şekil 3.12. Negatif Eğrilikli Yüzeyler

Hiper yüzeylerde; semere benzediği için semer yüzeyler veya hiperbolik paraboloid kelimesinin kısaltılmışı olarak hiper yüzeyler denir. Hiperler basit veya birleşik olarak kullanılırken kesim şekillerine göre çeşitli kenarlar elde edilmektedir. Hiper yüzeylerin sınırları, bu kesimler doğuraylar olduğunda parabol, gelişigüzel olduğunda herhangi bir eğridir. Bu yüzeyler gerek yan yana getirilerek gerekse kesiştirilerek çeşitli birleşik formlar oluşturmaktadırlar (Şekil 3.13 ve Şekil 3.14).



Şekil 3.13. Negatif Eğrilikli Yüzeyler



Şekil 3.14. Negatif Eğrilikli Yüzeyle 4 Doğru Kenarlı<sup>63</sup>

#### 3.3.1.4. Hiper Yan Yana Getirilerek ve Kesiştirilerek Oluşturulan Yüzeyle

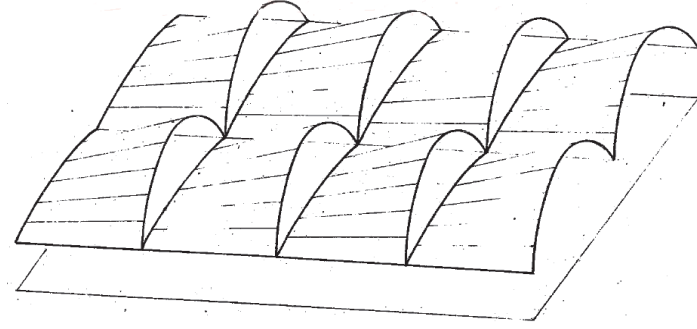
Konoid yüzeyle, birbirine paralel bir doğru düzlemiyle bir eğri düzlemi üzerinde bir doğru parçasının kendine paralel hareketiyle oluşmaktadır. Bu yüzeyle de yüzeylelerin oluşum yöntemlerine göre sınıflandırmada hem doğuraylı hem de ötelenen yüzeylelerdir.

Konoid yüzeyleler formları itibariyle çatıdan ışık almaya elverişli oldukları için uygulamada genellikle endüstri yapılarında kullanılmışlardır (Resim 3.21- Şekil 3.15).



Resim 3.21. Railway Repair Shop, Bagneux, France<sup>64</sup>

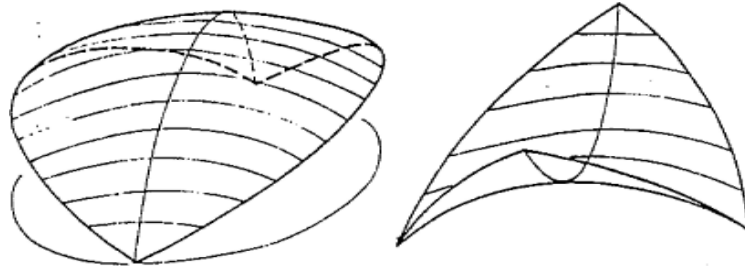
<sup>63</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.



Şekil 3.15. Negatif Eğrilikli Yüzeylerin Birleşimi

### 3.3.1.5. Gauss Eğriliği Hem Pozitif Hem Negatif Yüzeyler

Bu yüzeylerin eksene uzak dış bölgelerindeki kesimi asal eğrilik yarıçapları aynı yönde pozitif işaretli yüzeyler, eksen tarafında iç bölgelerindeki kesimler de asal eğrilik yarıçapları negatif işaretli yüzeylerdir. Diğer bir tanımlama ile birbirlerine paralel ya da dik kesitlerden bazılarının aynı, bazıları tek, yönde eğrilik gösterdiği ya da kesitlerden en az birinin dalgalı bir eğri olduğu alternatif eğrilikli yüzeyler denir.<sup>65</sup>



Şekil 3.16. Alternatif Eğrilikli Yüzeyler

### 3.3.2. Eğriliklere Göre Sınıflandırma

- Tek eğrilikli kabuklar
- Çift eğrilikli kabuklar
- Eş eğrilikli
- Ters eğrilikli
- Eş ve Ters eğrilikli
- Serbest Biçimli Kabuklar

<sup>64</sup> [http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL\\_MS/img0031.jpg](http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL_MS/img0031.jpg)

<sup>65</sup> E. Görün Arun “Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi” Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.

### 3.3.3. Yüzey Geometrileri Esas Alınarak Sınıflandırma

- a) Dönel Yüzey Geometrilili Kabuklar.
- b) Öteleme Yüzey Geometrilili Kabuklar.
- c) Çizel Yüzey Geometrilili Kabuklar

Döndürme; birbirine dik iki düzlem üzerinde bulunan doğru veya eğri gibi geometrik öğelerden birbirinin diğeri üzerinde iki düzlem birbirine dik olacak şekilde ötelenmesiyle eğri yüzeylerin bulunmasıdır.

Öteleme; birbirine dik iki düzlem üzerinde bulunan doğru veya eğri gibi geometrik öğelerden birini diğeri üzerinde iki düzlem birbirine dik olacak şekilde ötelenmesiyle eğri yüzeylerin bulunmasıdır.

Çizel; bir doğrunun iki ucunu farklı düzlemlerde yer alan iki doğrultman (nokta, doğru, eğri gibi geometrik öğeler) üzerinde kaydırma yoluyla çizel yüzeylerin bulunmasıdır.

### 3.3.4. Kabuk Kalıp Yapımı Sınıflandırması ve Uygulanan Yüzeyler

Düz bir çizginin ötelenmesi veya döndürülmesiyle bulunan çizel yüzeylerdir.

Eğri bir çizginin döndürülmesi veya diğeri bir eğri üzerinde ötelenmesi ile bulunan yüzeyler. Bu yüzeylerde kalıp yapımı;

- a) Saç veya plastikten eğri kalıp parçaları yaparak,
  - b) Çok küçük elemanlar kullanılıp eğri yüzey elde edilerek,
  - c) Kabuk yüzeyine CTP malzemesi kullanarak kalıp parçaları yaparak,
  - d) Ahşap kalıp parçaları ile yüzeysel modüller yaparak,
- Kabuk kalıp sisteminin uygulandığı yüzeyler;

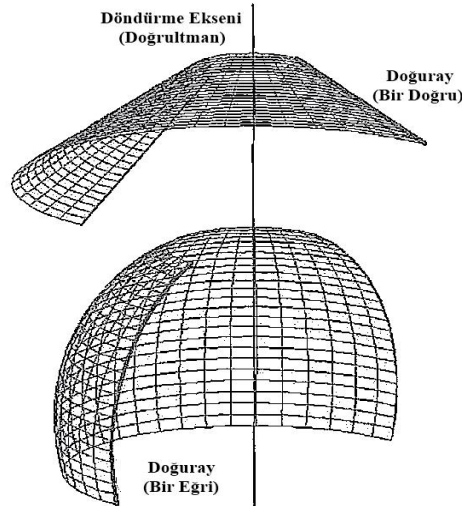
- a) Silindir kabuklar
- b) Dönel kabuklar
- c) Konoid kabuklar

d) Hiperbolik Paraboloidler

e) Serbest kabuk biçimleri<sup>66</sup>

### 3.4. Dönel Yüzeyler (Rotasyon Yüzeyleri)

Dönel yüzeyler, düzlem bir eğrinin düşey bir eksen etrafında dönmesiyle elde edilen yüzeylerdir. Düzlem eğri, çeşitli geometrik biçimlerde olabileceğinden, dairesel bir alanı örtecek çatı türüne iyi uyan değişik kubbe biçimlerine olanak vermektedir. En çok kullanılan kubbe, küresel kubbedir: Böyle bir kubbe yüzeyi, bir daire yayını düşey bir eksen etrafında döndürerek elde edilir. Benzer şekilde rotasyon yüzeyleri, döndürme yüzeyleri gibi adlandırılmalar da kullanılmaktadır. Kabuk mimarisinde en önemli, en çok uygulanan grubu dönel yüzeyler oluştururlar.<sup>67</sup>



Şekil 3.17. Dönel Yüzeylerde Doğuray ve Doğrultmanlar

a) Döndürülen doğru veya eğriye doğuray, döndürme /rotasyon eğrisi

b) Döndürme eksenine, doğrultman, döndürme/rotasyon eksenine, denilmektedir.

Bir dönel yüzeyin parçalarının veya kesitlerinin dönel yüzey olarak tanımlanabilmesi için, bu parçanın dönel yüzeyin doğrultmanına dik düzlemlerle kesilmiş olması gerekir. Bu tanıma aykırı olan tek yüzey küredir. Çünkü kürenin, nereden kesilirse kesilmiş olsun, tüm kesitlerine göre bir döndürme eksenine bulunabilir. Birden fazla yüzeyin birleşmesiyle oluşan bir yüzeyin dönel

<sup>66</sup> Curt Siegel:Struktur Formen der Modernen Architektur,Verlag Callwey,München,1972.

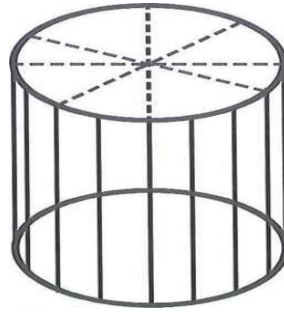
<sup>67</sup> Mario Salvadori, Robert Heller, "Mimarlıkta taşıyıcı sistem" İstanbul Üniversitesi Mimarlık Fakültesi,Baskı Atölyesi 1980.

yüze olarak kabul edilebilmesi için de bu yüzeylerin doğrultmanları tek ve aynı eksenli olmalıdır.<sup>68</sup>

### 3.4.1. Tek Eğrilikli Dönel Yüzeyler

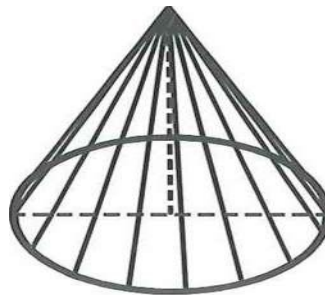
Asal eğriliklerinden biri sıfır olan yüzeyler tek eğrilikli veya Gauss eğriliği sıfır olan yüzeyler olarak tanımlanırlar. Tek eğrilikli hacimsel yüzeylerin açılarak düzlemsel bir yüzeye dönüştürülmesi olası ve kolaydır. Tek eğrilikli dönel yüzeyler;

**Dairesel Silindir:** Döndürme (rotasyon) eksenine paralel bir doğrunun bu eksen etrafında döndürülmesiyle dairese silindir bulunur. Doğuray silindir yüzeyinin asal minimum eğriliğini, buna dik doğrultuda oluşan daire yayı da maksimum asal eğriliği verir.



Şekil 3.18. Dairesel Silindir

**Dairesel Koni:** Bir doğru olan doğuray doğrultmana paralel olmayan ona açılı bir konumda alınıp döndürülerek dairese koni ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.19. Dairesel Koni

<sup>68</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, “Çağdaş Taşıyıcı Sistemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.

### 3.4.2. Çift Eğrilikli Dönel Yüzeyler

Silindir ve koni dışındaki tüm diğer dönel yüzeyler çift eğrilikli dir. Çift eğrilikli yüzeylerin açınımı yapılamaz, yani bu eğri yüzeyler silindir veya konide olduğu gibi düzlemlenemezler. Çift eğrilikli dönel yüzeyler eş veya ters eğrilikli olmak üzere iki ana grupta incelenebilirler.

Eş eğrilikli tüm yüzeylere (dönel veya öteleme yüzeylerine) çizilen teğet düzlemler bu yüzeyleri kesmez. Ters eğrilikli yüzeylerde ise (dönel, öteleme veya çizel yüzeyler) teğet düzlemler yüzeyi bir kaç parçaya bölerler.

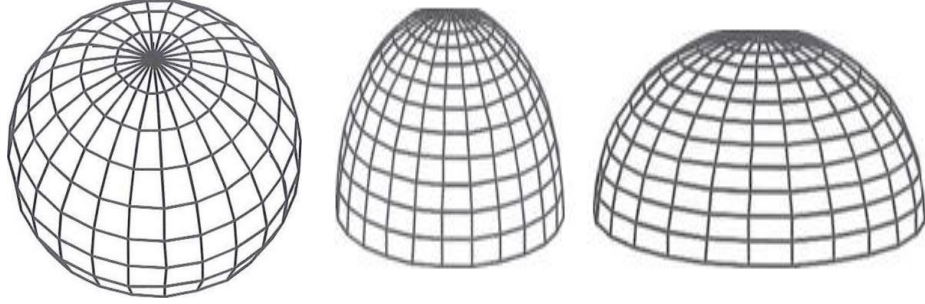
### 3.4.3. Eş Eğrilikli Dönel Yüzeyler

Küre ve küre parçaları; küre, geometride önemli bir yeri olan eğri yüzeyler arasındadır. Bir merkezden uzay içinde eşit uzaklıkta bulunan sonsuz sayıdaki noktanın tanımladığı geometrik yüzey küredir. Küre; geçmiş dönemlerde basınca dayanıklı malzeme ile yapılabilen taş veya pişmiş toprak kubbe konstrüksiyonların da ana geometrisidir. Başka bir deyişle küre geometrik bir tanımı, kubbe de bunun taşıyıcı konstrüksiyonunu ifade etmektedir.

Eskiden merkezi büyük açıklıkları arada kolon veya duvar olmadan örtmenin tek çözümü kubbe idi. Dinsel veya yönetsel önemli binaların çatılarından yaygın kullanılan kubbe strüktürleri günümüzde de çeşitli çağdaş malzemeler kullanılarak toplantı salonları, spor ve sergi yapıları ve endüstri tesislerinde uygulanmaya devam etmektedir. Kubbe strüktürleri daire, parabol, elips, hiperbol gibi matematiksel formüle edilebilen ve yaygın bilinen eğrilerden veya zincir eğriliği, serbest eğri geometrilerinden dönel yüzey olarak türetilmektedir.

Bir çember veya parçası asal eksenlerinden biri doğrultman olmak üzere döndürüldüğünde ortaya küre veya küre parçası çıkmaktadır. Kısaca doğuray çember veya bunun bir parçası, doğrultman ise çemberin asal eksenlerinden (tam çemberi iki eşit parçaya bölen eksenler) biridir.

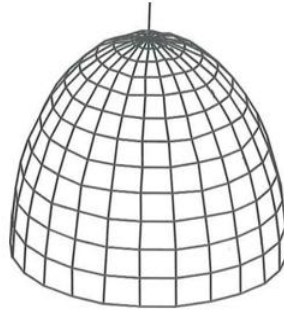
Doğurayın tam, yarım veya daha farklı çember yayları olmalarına bağlı olarak ortaya tam küre, yarım küre veya küre parçaları çıkmaktadır. Kürenin her noktasındaki eğrilikleri birbirine ve de bu eğrilik kürenin yarıçapına eşittir.<sup>69</sup>



Şekil 3.20. Tam ve Yarım Küre

#### 3.4.3.1. Dönel Paraboloid

Bir parabol eğrisinin parabolün tepe noktasından geçen asal eksenini etrafında döndürülmesiyle paraboloid elde edilmektedir. Paraboloidte doğuray bir parabol, doğrultman da onun asal eksenidir. Zincir eğrisine çok yaygın bir eğri olması nedeniyle parabolden türeyen dönel yüzey paraboloid, kubbe konstrüksiyonları için en uygun biçimlerden birisidir.



Şekil 3.21. Dönel Paraboloid

Zincir eğrisinde biçim doğrudan doğruya yük etkisiyle oluşur ve her noktada çekme kuvveti ile etkilenmektedir. Zincir eğrisinin ters döndürülmesiyle bulunan ve sarkan eğriye göre duran eğri konumuna gelen parabolik ve zincir eğrilikli kemerlerde ise ana yük doğrultusu yerçekimi yönünde ise çekme kuvveti yerini basınca bırakmaktadır.

<sup>69</sup> Joedicke, Jürgen, "Shell architecture" Karl Kramer Verlag, Stuttgart, 1963.



### 3.4.3.2. Elipsoit

Elipsin uzun veya kısa eksenini etrafında döndürülmesiyle bulunan yüzeye elipsoit denilmektedir. Uzun eksen etrafında döndürüldüğünde bir yumurta biçimini andıran sivri elipsoit (Şekil 3.23), kısa eksen etrafında döndürüldüğünde bir disk parçasını anımsatan yassı elipsoit bulunur. Her durumda döndürme eksenine dik alınan kesitler çemberi, bu eksene paralel alınan kesitler elips yaylarını vermektedir. Bu türde elipsoit yüzeylerden eliptik veya dairesel alanlar üzerine oturan kabuk yapıları yapılabilirler.



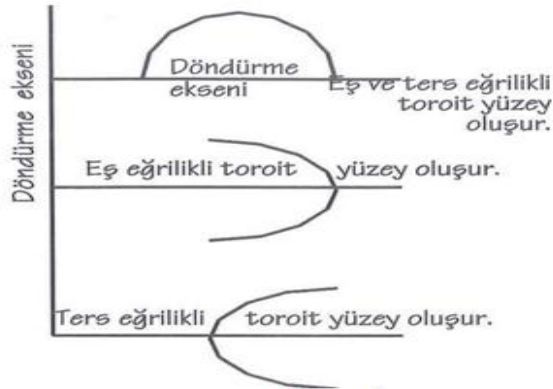
Şekil 3.22. Sivri Elipsoit



Şekil 3.23. Yassı Elipsoit

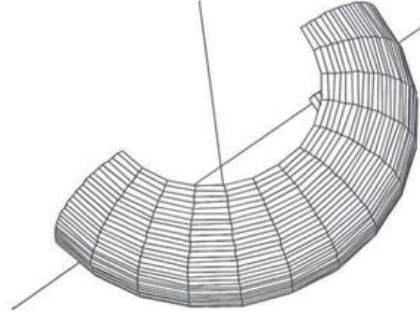
### 3.4.4. Ters Eğrilikli Dönel Yüzeyler

Tek yüzeyli hiperboloit; bir hiperbol yayı (eğrisi) kendini kesmeyen bir eksen etrafında döndürülecek olursa, tek yüzeyli dönel hiperboloit bulunmaktadır.



Şekil 3.24. Diğer Eğriliklerden Toroit Yüzeyi Türetmenin Yolu

Kabuk yapı geometrisinde özellikle endüstri yapılarının, termik santral ve reaktörlerin soğutma kulelerinin yapımında geniş uygulaması olan bir yüzeydir. Bu yüzeyin türetilmesine benzer bir biçimde, herhangi bir döndürme eksenine göre konveks olan bir eğrinin döndürülmesi çift eğrilikli yüzeyleri ortaya çıkarmaktadır. Daire yayı, parabol veya elips yayı da döndürülerek ters eğrilikli dönел yüzeyler oluşturulabilir.



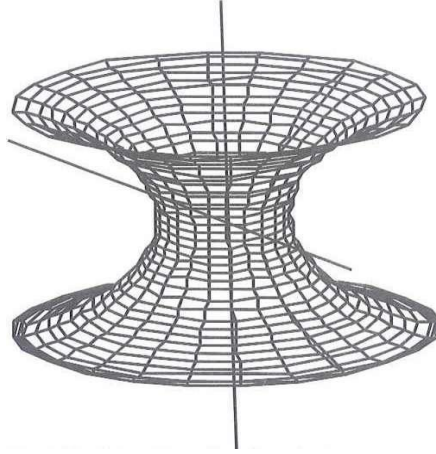
Şekil 3.25. Parabol Eğrisinden Türetilen Eş Eğrilikli Toroit Yüzey



Şekil 3.26. Parabol Eğrisinden Türetilen Ters Eğrilikli Toroit Yüzey

### 3.5. Dönел Yüzeylerin Ortak Geometrik Özellikleri

- Dairesel koni ve silindir dışında tüm dönел yüzeyler çift eğriliklidir.
- Dönел yüzeylerin döndürme eksenine dik alınan kesitleri bir tam daire veya daire yayıdır. Bu nedenle dönел yüzeyler dairesel alanları örtmeye uygun eğri yüzeylerdendir.
- Döndürme eksenini içine alan bir düzlemle dönел yüzeyin arakesiti, doğurayı, yani yüzeyi türeten geometrik elemanı oluşturur.
- Minimum yüzeyle maksimum hacmi örten küre yüzeyi, dönел yüzeylerin en tanınmış ve taşıyıcı sistemlerde en çok uygulanan yüzeyidir.

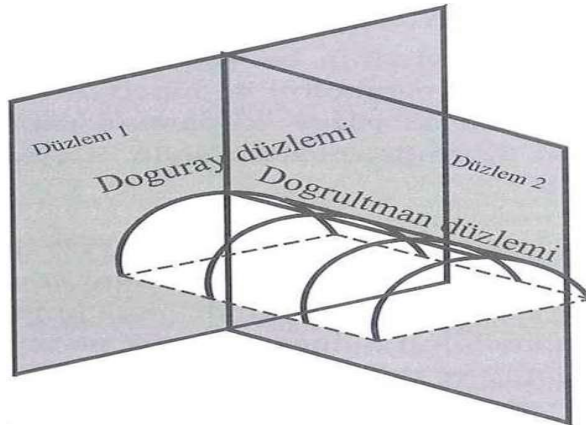


Şekil 3.27. Tek Yüzeyle Hiperboloit

### 3.6. Öteleme (Translasyon) Yüzeyleri

Bir öteleme kabuğunun yüzeyi öteleme ile yani bir düzlem eğriyi, genellikle kendine dik olan diğer bir düzlem eğri üzerinde kaydırmakla elde edilmektedir. Bir silindir, yatay bir doğruyu, düşey bir eğri üzerinde hareket ettirerek ya da düşey bir eğriyi kendine dik, olan yatay bir doğru üzerinde ötelerek elde edilmektedir. Eğriye bağlı olarak silindir, dairesel, parabolik ya da eliptik olabilir. Doğru eğik ise silindir de eğik olmakta ve bu tür bir yüzey bir merdiveni tonozvari bir kubbe ile örtmek için çok uygundur.<sup>70</sup>

Doğuray - doğrultman düzlemlerinin birbirlerine dikliğinden dolayı doğurayın doğrultmanla yer değiştirmesi durumunda da aynı öteleme yüzeyi ortaya çıkmaktadır. Öteleme yüzeyleri tek veya çift eğrilikli olabilirler.

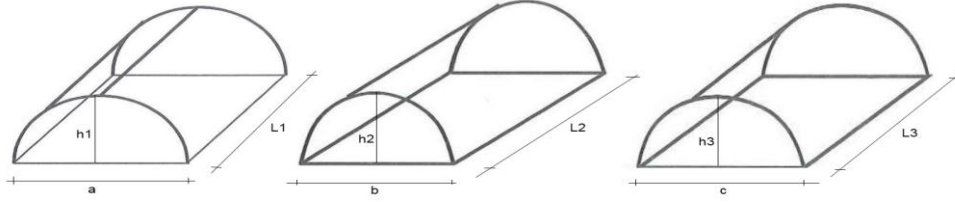


Şekil 3.28. Öteleme Yüzeylerin Genel Türetimi

<sup>70</sup> Alphose Zingoni "Shell Structures" 1997 New York

### 3.6.1. Tek Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri

Silindir yüzeyleri: Tek eğrilikli öteleme yüzeyine örnek olarak çeşitli silindir yüzeyler örnek verilebilir. Örneğin dairesel, eliptik, parabolik silindir, vb.

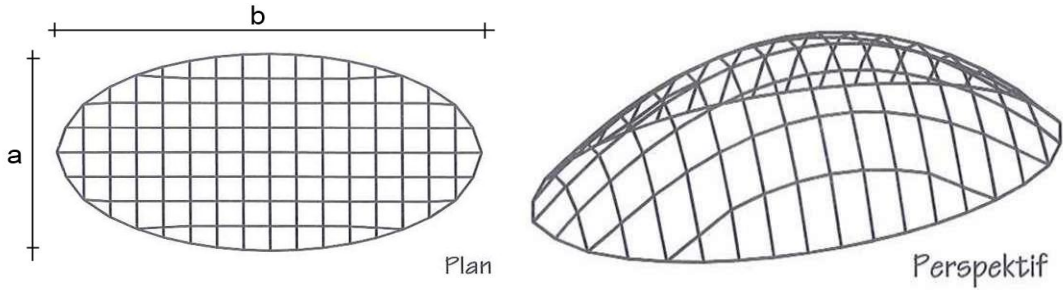


Şekil 3.29. Dairesel, Parabolik, Eliptik Silindir - Tek Eğrilikli Öteleme Yüzeyler

### 3.6.2. Eş Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri

Öteleme yüzeylerinin en yaygın örnekleri eliptik paraboloid ile hiperbolik paraboloid'tir. Bu iki yüzey iki parabol eğrisinin birbirleri üzerinde ötelenmesiyle ortaya çıkmaktadır.

Eliptik paraboloid; yönü aşağıya doğru olan (yani duran) bir parabolün aynı yöndeki (duran) bir parabol üzerinde ötelenmesiyle eliptik paraboloid bulunur.



Şekil 3.30. Eliptik Paraboloid Şematik Plan ve Perspektif Gösterimi

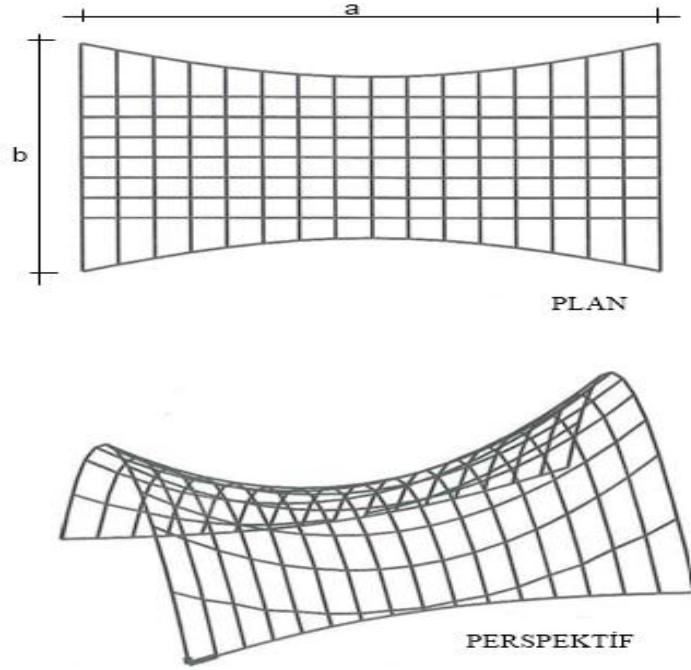


Resim 3.22. Olimpik Stadyum, Atina, Yunanistan<sup>71</sup>

<sup>71</sup><http://www.football-pictures.net/data/media/399/Olympic-Stadium-Athens-picture.jpg>

### 3.6.3. Ters Eğrilikli Öteleme Yüzeyleri

Hiperbolik paraboloid, yönü aşağıya doğru olan (duran) bir parabol üzerinde buna ters yönde (sarkan) bir parabolün ötelenmesiyle hiperbolik paraboloid bulunmaktadır. Düşey düzlemlerle arakesitler parabolü, yatay düzlemlerle arakesitler (planlar) hiperbolü vermektedir. Ters eğrilikli yüzeylerin daha genel bir adı semer yüzeylerdir.



Şekil 3.31. Şematik Hiperbolik Paraboloid



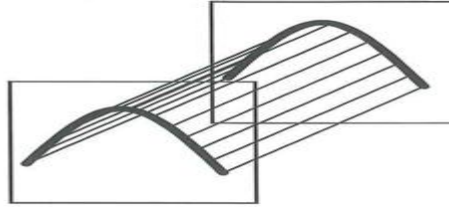
Resim 3.23. Açık Hava Sahnesi, Harriet Island Park, Londra<sup>72</sup>

<sup>72</sup> <http://www.minnesota-visitor.com/harriet-island-park.html>

### 3.7. Çizel Yüzeyle

Doğurayı bir düz bir çizgi (doğru parçası) olan, yani bir doğrunun kullanılmasıyla türetilen, tüm yüzeyle çizel yüzeylelerdir. Dolayısıyla tek eğrilikli tüm dönel veya öteleme yüzeylelerle ters eğrilikli öteleme yüzeyleleri arasındaki bazı örnekler aynı şekilde bu gruba girmektedirler.

Çizel yüzeylelerin türetilmesi için iki doğrultman ve bir doğru parçası (doğuray) düşünölmelidir. Bu yaklaşımda doğrultmanlar birbirlerine paralel olan iki farklı düzlem üzerinde yer almaktadırlar. Tek eğrilikli yüzeylelerin tümü aynı zamanda çizel yüzeyleydir (örneğin her türlü silindir ve koni).



Şekil 3.32. Tek Eğrilikli Çizel Yüzeyle

Çizel yüzeylelerin en belirgin özelliği betonarme kabuklar gibi kalıp yapımı zor ve pahalı olan taşıyıcı sistemlerde maliyeti azaltıcı bir unsur olarak çizel yüzeylelere bir üstünlük sağlamaktadır. Çünkü böylelikle kalıp yapımı kolay olan tek eğrilikli yüzeylelere ek olarak, taşıyıcılık yönünden daha dirençli olan çift eğrilikli yüzeyleler uygulanırken kalıplar doğrusal elemanlar (kalıp tahtaları) kullanılarak düşük bir maliyetle yapılabilmektedir.<sup>73</sup>

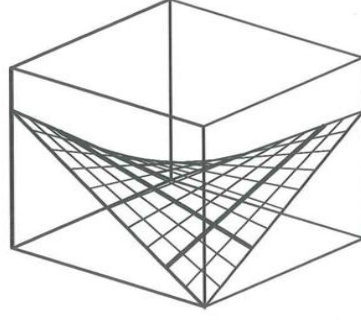
#### 3.7.1. Çift Eğrilikli Çizel Yüzeyleler

##### 3.7.1.1. Hiperbolik Paraboloid

Bir doğrunun iki ucu, iki paralel düzlem içindeki birbirine paralel olmayan iki doğru üzerinde kaydırıldığında hiperbolik paraboloid bir çizel yüzeyle olarak türetilir. Ters eğrilikli bir çizel yüzeyle olan ve dört kenarı doğrularla sınırlanmış olan bu hiperbolik paraboloid (H.P) semere benzeyen eğri biçimden ayırt edebilmek için düz kenarlı H.P' de denebilir.

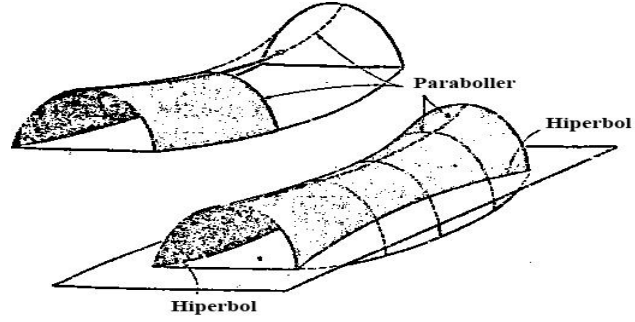
<sup>73</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, "Çağdaş Taşıyıcı Sistemler", Birsen Yayınevi,s.99-102,İstanbul, 2009.





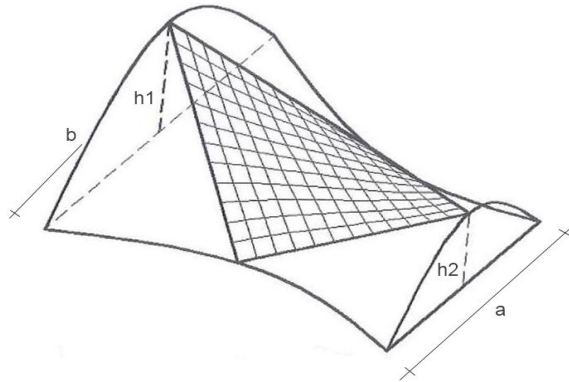
Şekil 3.33. Düz Kenarlı Hiperbolik Paraboloid

Düz kenarlı H.P’ de yüzeyi sınırlayan dörtkenardan karşılıklı her iki kenar üzerinde bir doğrunun ötelenmesi olasıdır. Başka bir deyişle, bir hiperbolik paraboloidin her bir noktasında, her iki doğrultuda da eğrilik sıfır olmakta, bu nedenle H.P, çift çizel yüzeyler grubunda yer alır.



Şekil 3.34. Hiperbolik Paraboloid

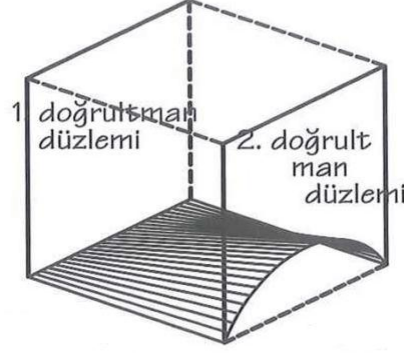
Düşey kesitleri parabol, yatay kesitleri hiperbol yayılan eğri kenarlı Hiperbolik Paraboloid; asimptotları doğrultusunda kesildiği zaman bir düz kenarlı H.P. elde edilir.



Şekil 3.35. Eğri ve Düz Kenarlı Hiperbolik Paraboloid

### 3.7.1.2. Konoit

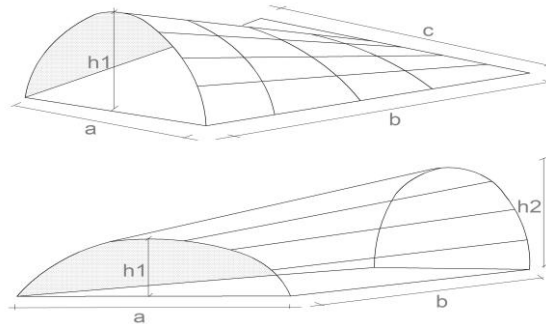
Bir doğru parçasının bir ucu 1. Doğrultman düzlemi üzerinde bulunan bir doğru ile diğer ucu da buna paralel 2. Doğrultman düzlemindeki bir eğri üzerinde kalacak biçimde kaydırıldığında konoit ortaya çıkmaktadır. 1. Doğrultman düzlemindeki doğru parçasının konumu düz veya eğik olabilir (Şekil 3.37).



Şekil 3.36. Yatay Doğru Eğri Konoit Yüzey

### 3.7.1.3. Konoidal Yüzeysel

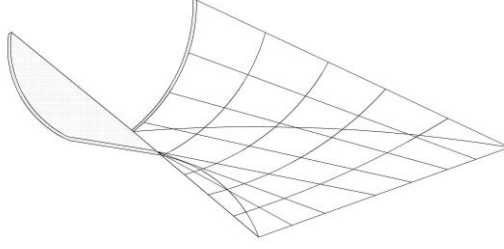
Konoidler, bir doğru parçasının bir ucunu bir eğri, diğer ucunu bir doğru üzerinde kaydırmakla elde edilen konoid yüzeylerdir. Konoidler, bir ucundaki eğrinin daire yayı, parabol ya da elips olmasına göre dairesel, parabolik ya da eliptik olarak adlandırılırlar. Konoid aynı zamanda bir semer yüzeyidir. Eğrinin tepesini, diğer ucun kaşelerine birleştiren çizgilerin eğrilikleri yukarıya doğru, enine eğrilik ise aşağıya doğrudur (Şekil 3.38). Eğri uçları ankastre mesneti oluşturmak üzere, konsol kabuklar olarak da kullanılabilirler. Bu durumda enine eğrilik genellikle yukarıya doğrudur (Şekil 3.39).<sup>74</sup>



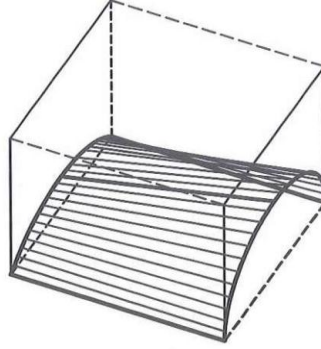
Şekil 3.37. Şematik Konoidal Yüzeyler

<sup>74</sup> Prof. Dr. Cengiz Bayülgen “Çağdaş Stüktür Sistemleri” Yıldız Teknik Üniversitesi Eylül 1993, Birsen Yayın Evi, İstanbul 79-162





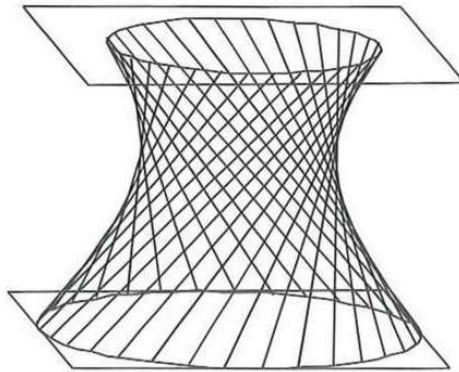
Şekil 3.38. Şematik Konsol konoid Yüzeyler



Şekil 3.39. Şematik Eğri Konoidal Yüzey

#### 3.7.1.4. Tek Yüzeyle Hiperboloit

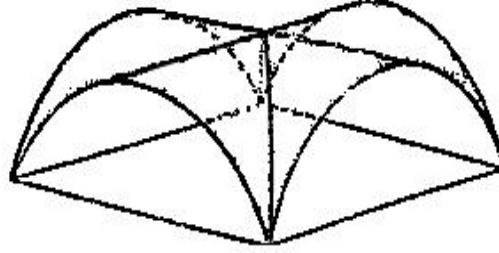
Birbirine paralel iki daire üzerinde bu iki daireyi birleştiren eksene eğik olan bir doğru kaydırıldığında tek yüzeyle hiperboloidin çizel yüzey olarak türetilmesi gerçekleşmektedir. Birbirine iplerle bağlı iki çember ters yönde döndürüldüğünde, önce silindir olan yüzeyin böylece çift ve ters eğrilikli bir hacim olan tek yüzeyle hiperboloide dönüşmektedir. Tek yüzeyle hiperboloit; endüstri tesislerinin su deposu, soğutma kuleleri vb. gibi yapılarında betonarme bina olarak 20. yüzyılda sıkça uygulanmıştır.



Şekil 3.40. Şematik Tek Yüzeyle Hiperbolit

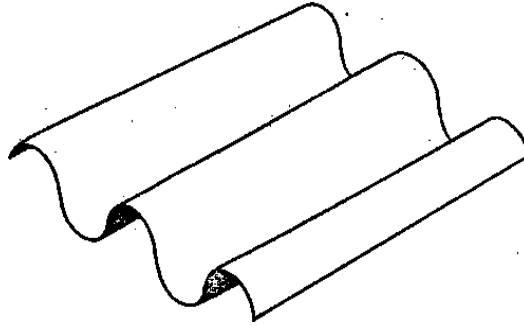
### 3.8. Karışık Yüzeyler

Geometrik karışık yüzeyler, birçok şekilde bir araya getirilerek daha karışık yüzeyler elde edilebilir iki silindirik kabuk dik açıyla kesiştirilerek kare ya da dikdörtgen bir alanın örtülmesinde kullanılabilir.



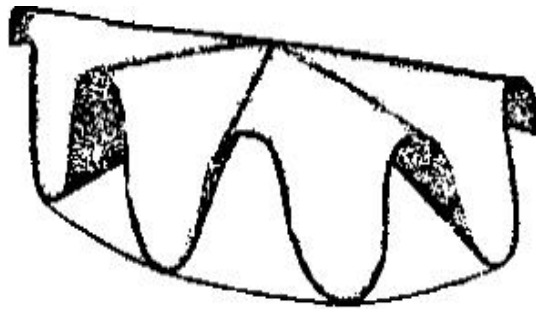
Şekil 3.41. Silindirlerin Şematik Kesişmesi

Eğrilikleri sıra ile aşağı ve yukarı doğru olan paralel silindirler, katlanmış plağa benzeyen dalgalı bir çatı oluştururlar.



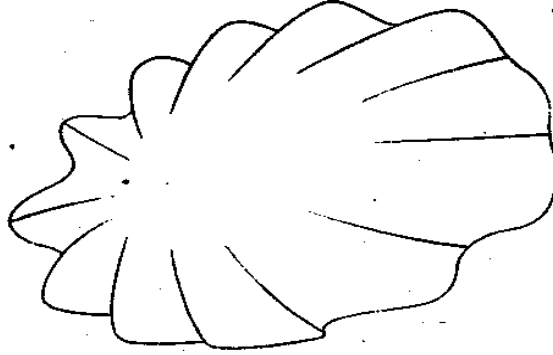
Şekil 3.42. Dalgalı şematik silindirik yüzey

Eğrilikleri sıra ile aşağı ve yukarı doğru olan kesik koniler birleştirilerek istiridye kabuğu şeklindeki çatılar elde edilmektedir.



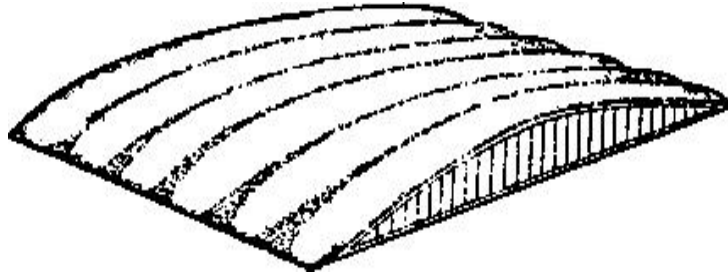
Şekil 3.43. Dalgalı şematik konik yüzey

Herhangi bir elemanter form, istiridye kabuğu biçiminde yapılarak daha ilginç ve bazan strüktürel yönden daha etkin kabuklar elde edilebilir, örneğin bir elipsoid, mesnetlenmiş kenara doğru eğrilik verilerek istiridye kabuğu şekline getirilebilirler.



Şekil 3.44. İstiridye kabuğu görünümünde şematik elipsoid

Bir parabolik silindir dalgalı yapılarak, iki doğrultuda eğrilik verilmiş ve böylece daha çok rijitlik kazandırılabilir.<sup>75</sup>



Şekil 3.45. Dalgalı şematik parabolik silindir

### 3.9. Kabukların Statik Çalışmalarına ve Yapılarına Ait Genel Özellikler

Kabuklar, kalınlıkları diğer boyutlarına ve eğrilik yarıçaplarına göre çok daha küçük olan eğri yüzeyli plaklar şeklindedir. Kabuklar da diğer taşıyıcı sistemler gibi kendi ağırlıklarını, eşit yayılı veya tekil yükleri, kar, rüzgar ve deprem yüklerini vb. taşıyacak biçimde model statik hesaplara göre dizayn edilmektedirler. Kabuk sistemlerin hesaplanmasında; ısı farklarından, mesnet çökmelerinden vb. doğabilecek ve bazı taşıyıcı sistemlerde pek sorun yaratmayacak ikincil gerilmeler, konvansiyonel taşıyıcı sistemlere oranla daha büyük önem kazanmaktadır.

<sup>75</sup> Mario Salvadori, Robert Heller, "Mimarlıkta taşıyıcı sistem" İstanbul Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Baskı Atölyesi 1980.

Kabukların yük taşıma kapasiteleri biçimleriyle de ilişkilidir. Çift eğrilikli bir kabuk, tek eğrilikli kabuklardan daha dirençlidir.

Kabukların eğrilikleri azaldıkça, eksenel kuvvetleri büyümektedir. Tek eğrilikli kabuklarla, çizel yüzeylerin kalıp giderleri diğer yüzeylere oranla daha azdır, o nedenle çift eğrilikli çizel yüzeylerin hem dirençli olmaları, hem de kalıp giderlerinin azlığı bir tercih nedenidir.

Kenar çemberi ve kenar kirişleriyle kabuk yüzeylerinin birleştiği hatlarda (arakesit çizgilerinde) düşey kuvvetler eğilme veya burulma momenti oluşturmaktadır.

Betonarme kabuklarda minimum kalınlık Avrupa standartlarına göre tek eğrilikli kabuklarda 5 cm, çift eğriliklerde 4 cm' den az olmamalıdır.

Kompozit malzemeli kabuklarda kabuk kalınlığı büyük değişkenlikler göstermez.

Kabuk yapımında kullanılan malzemeler betonarme, metal saç, takviyeli plastik ve fiber donatılı betonlardan yapılabilir.<sup>76</sup>

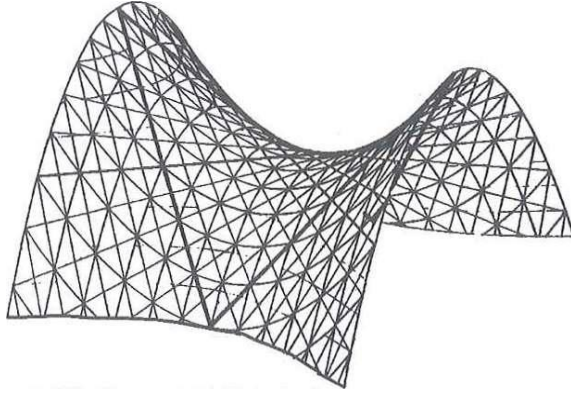
---

<sup>76</sup> Bilgütay Atilla, “Betonarme Kabuk ve katlanmış plak Tasarımı için Esaslar”.Ankara,1974.

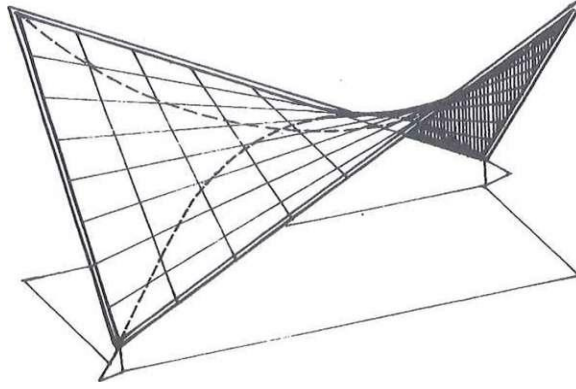
## BÖLÜM IV

### 4. HİPERBOLİK PARABOLOİT KABUKLAR

Hiperbolik paraboloidler (H.P), bir düzlem içindeki parabolün bu düzleme dik diğer bir düzlem içindeki aksi eğrilikli parabol Üzerinde kayması ile oluşan yüzeylerdir. Bunlara "Semer yüzeyler" de denir. Semer yüzeylerinin kabuk yapımında en çok uygulananı hiperbolik paraboloidlerdir. Hiperbolik paraboloidler geometrileri mimarlıkta, düz kenarlı veya eğri kenarlı olarak kullanılmaktadırlar.<sup>77</sup>



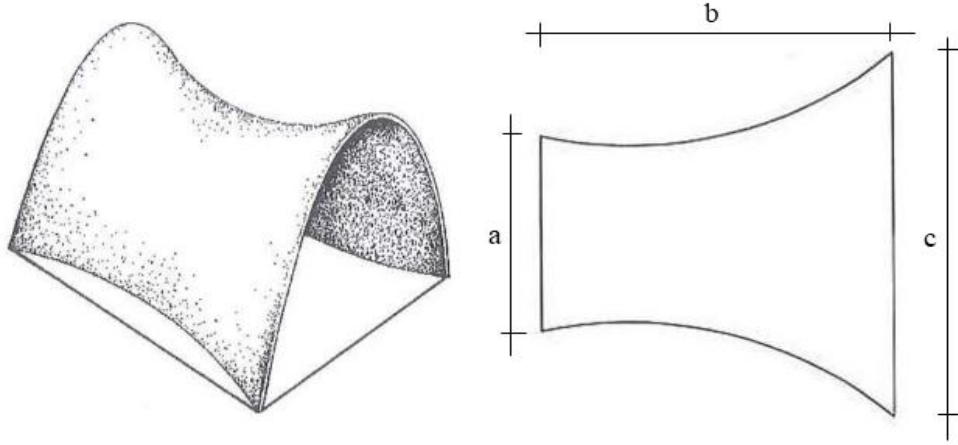
Şekil 4.1. Eğri kenarlı H.P. kabuk geometrisi



Şekil 4.2. Düz kenarlı H.P. kabuk geometrisi

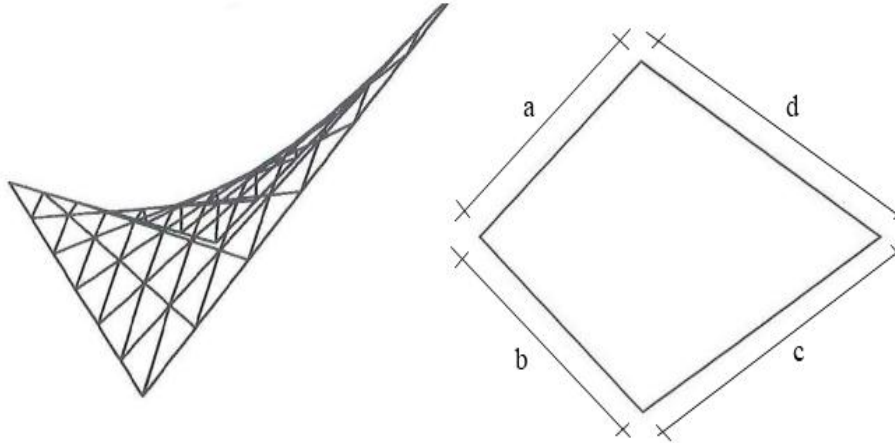
Eğri Kenarlı H.P; Geometrik türetimi bir öteleme yüzeyi şeklindedir ve duran bir parabol eğrisi üzerinde sarkan bir parabol eğrisi kaydırılır. Alın yüzeyindeki kenarları parabol, eğik ve yatay kenarları hiperbol eğinlerinden oluşur. Planda 2 kenar doğru, 2 kenar hiperbol eğrisidir.

<sup>77</sup> Prof. Dr. Cengiz Bayülgen "Çağdaş Stüktür Sistemleri" Yıldız Teknik Üniversitesi Eylül 1993, Birsen Yayın Evi, İstanbul 79-162



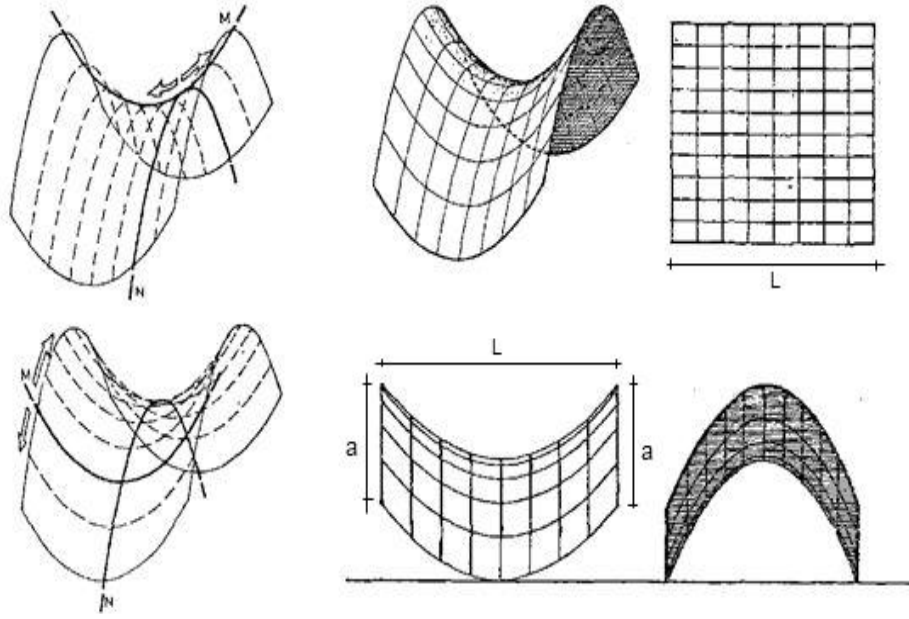
Şekil 4.3. Eğri Kenarlı H.P. Görünüş ve Planı

Düz kenarlı H.P; Karşılıklı 2 eğik doğru üzerinde yine bir doğrunun kaydırılmasıyla türetilen bir çizel yüzey olarak düşünülebilir. Planı 4 doğru ile tanımlanan bir dörtgendir (kare, dikdörtgen, eşkenar dörtgen ve baklava dilimi uygun olabilecek geometrilerdir). Bu geometri, eğri kenarlı H.P.'in 4 asimptotu doğrultusunda kesilmesiyle de bulunur. 2 tepe nokta ile 2 mesnet noktasını birleştiren doğrular simetri eksenleri olup uzun eksen simetrisindeki kenarlar eşit uzunluktadır.

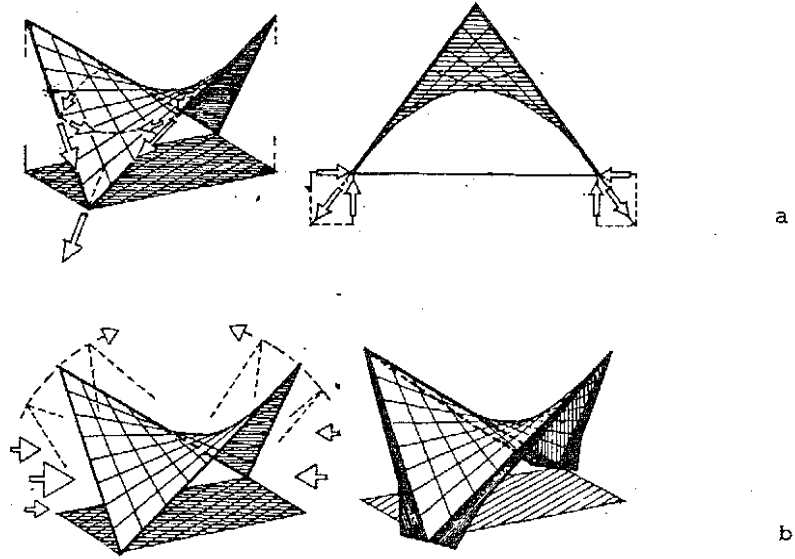


Şekil 4.4. Düz Kenarlı H.P. Görünüş ve Planı

Hiperbolik paraboloid yüzeyin doğrusal elemanlarla oluşturulabilmesi, uygulanmasında özellikle kalıplarının yapılmasında büyük kolaylıklar getirir. Bu sistemlerin ana eğriliğini veren parabollerin birbirine göre ters eğrilikli olması yüzeyde stabiliteyi sağlamaktadır.



Şekil 4.5. Hiperbolik Paraboloid'in Yüzey Olarak Oluşumu



Şekil 4.6. İç ve Dış Bükey Parabollerin Basınca ve Çekmeye Çalışması

Yüzeyin uçları yukarı doğru olan iç bükey paraboller çekmeye çalışır. Yüzeyin diğer eğriliğini veren dış bükey paraboller basınca çalışmaktadır (Şekil 4.6).<sup>78</sup>

<sup>78</sup> BOBLİNGEN, D,W. "Das Hyperbolische Paraboloid",DBZ. Nisan 1975.

Hiperbolik Parabolik Kabuklar, kabuk uygulamalarında önemli yer tutması aşağıdaki nedenlere bağlı olarak açıklanabilir;

- a) Çift eğriliğinden ötürü büyük bir strüktürel etkinliğe sahiptir
- b) Ters eğriliği nedeniyle her noktada aynı anda basınç ve çekme gerilmelerinin ortaya çıkması, basınç elemanlarındaki burkulma eğilimini azaltmaktadır.
- c) Çizel yüzey olduğundan kalıp giderleri, eğrilikleri aynı yöndeki diğer çift eğrilikli (eş eğrilikli) yüzeylere oranla (örneğin dönel kubbeler) daha azdır.
- d) Görünüşü güzel olup mimari ve estetik etkisi vardır.

Hiperbolik paraboloid'in çağdaş taşıyıcı sistemlerde kullanılması ve uygulamalarıyla mimarlık dünyasına tanıtan ve kazandıran, kişi Felix Candela'dır. Candela hiperbolik paraboloid kabuklarla her türlü denemeleri, (tek birimlik uygulama, ikili, üçlü, dördü kombinasyonlar, eğri ve düz kenarlı H.P. geometrileri, v.b.) gerçekleştirmiştir. H.P.'nin ilk uygulamalarını ise 1930'lu yıllarda Baroni ve Hruban gerçekleştirmişti. Ünlü İspanyol strüktür tasarımcısı E. Torroja'nın da ters eğrilikli kabuklar üzerine yapmış olduğu çalışmalar bulunmaktadır.

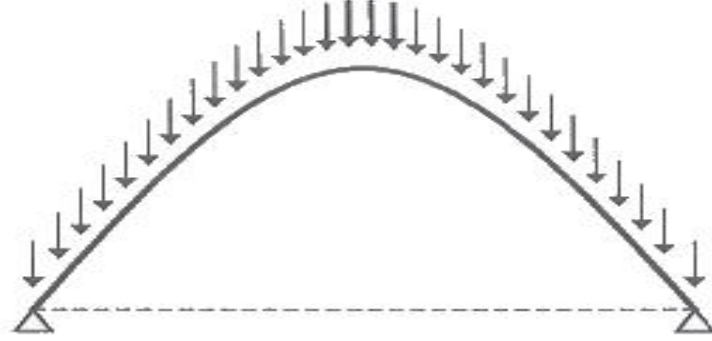
Asal eğrileri sarkan ve duran iki parabol eğrisi olan hiperbolik paraboloid (H.P.) kabuğun statik davranışı zincir eğriliği yardımıyla açıklanabilir. Duran parabol üzerinde, örneğin kemerlerde olduğu gibi, basınç kuvvetleri (Şekil 4.7), Kısaca ters eğrilikli bir kabuk yüzeyinin serbest bölge olarak tanımlanan tüm alanlarında, sarkan asal eğriler doğrultusunda çekme, duran asal eğriler doğrultusunda basınç kuvvetleri oluşmaktadır (Şekil 4.8).

Sarkan parabolde farklı gerilmelerin meydana gelmesi, H.P.'yi ve genel olarak semer yüzeyleri burkulmaya karşı eş eğrilikli yüzeylere oranla daha dirençli yapmaktadır. Çünkü basınç kuvvetinin neden olduğu eğilme, çekme kuvvetleri tarafından dengelenerek burkulma tehlikesi azalmaktadır.<sup>79</sup>

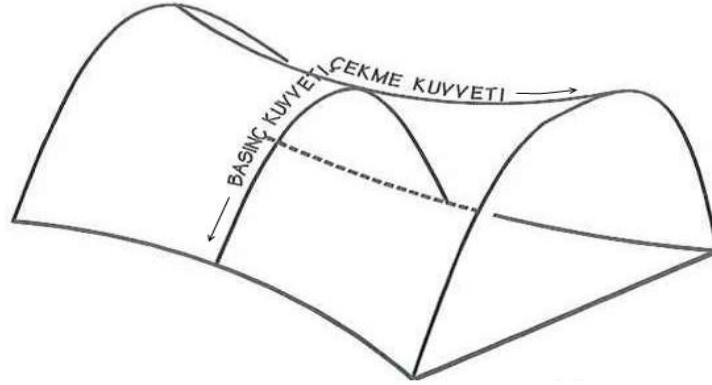
---

<sup>79</sup> Bayülgen.Cengiz,“Çağdaş Strüktür Sistemleri”Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atöylesi,İstanbul-1993



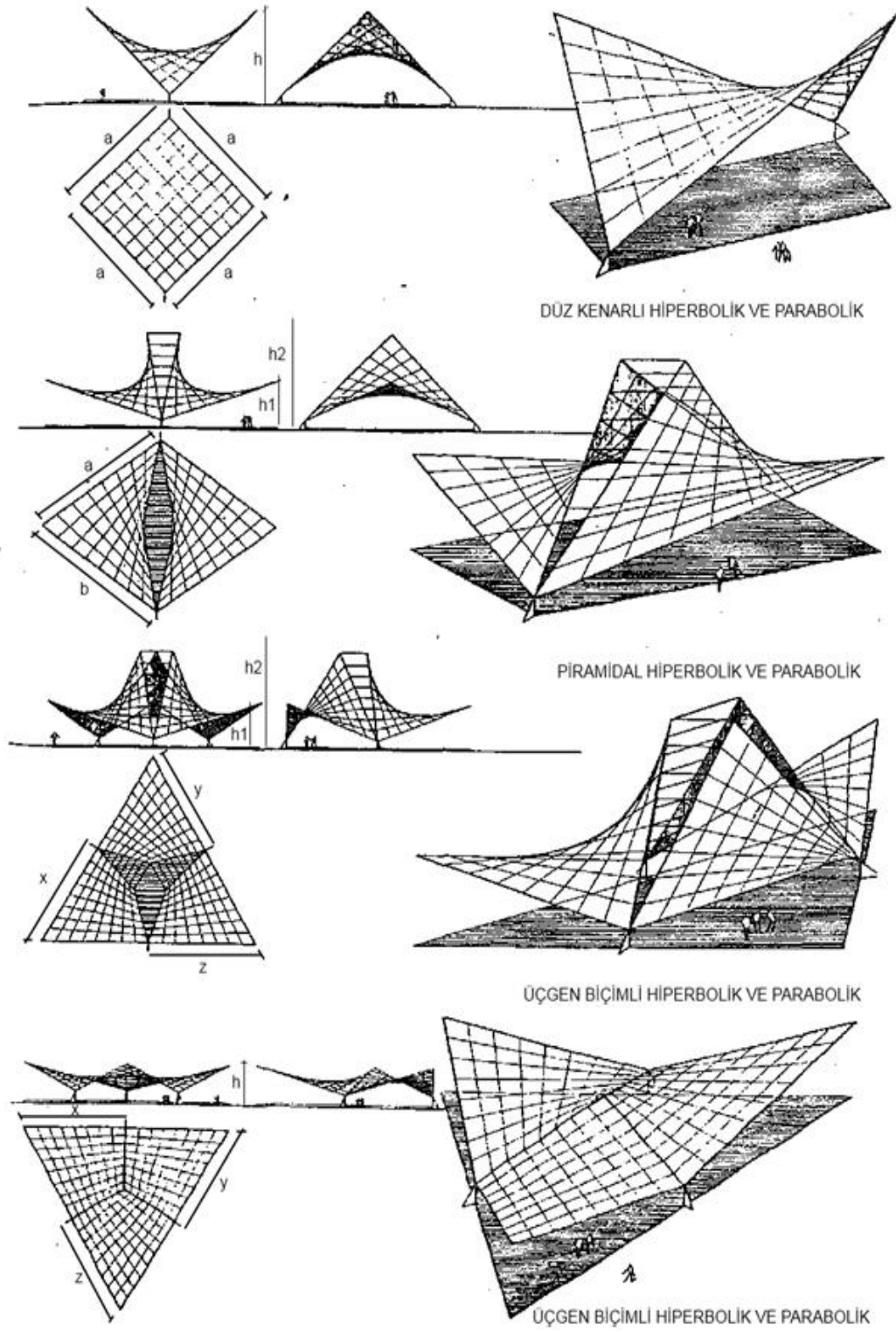


Şekil 4.7. Duran bir parabolde oluşan basınç kuvveti



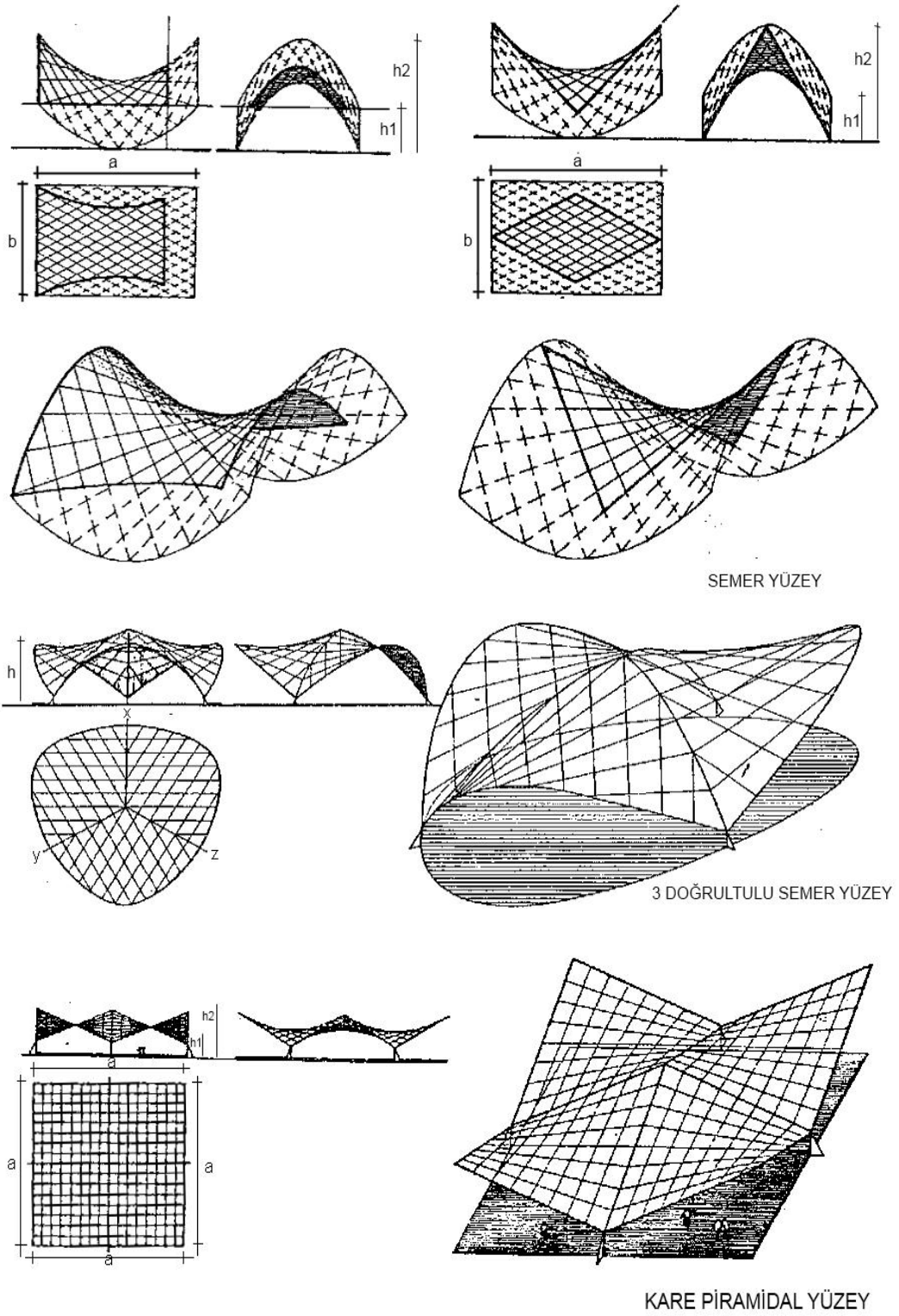
Şekil 4.8. H.P kabukta asal eğriler doğrultusunda çekme ve basınç kuvvetleri<sup>80</sup>

<sup>80</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, "Çağdaş Taşıyıcı Sistemler", Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.



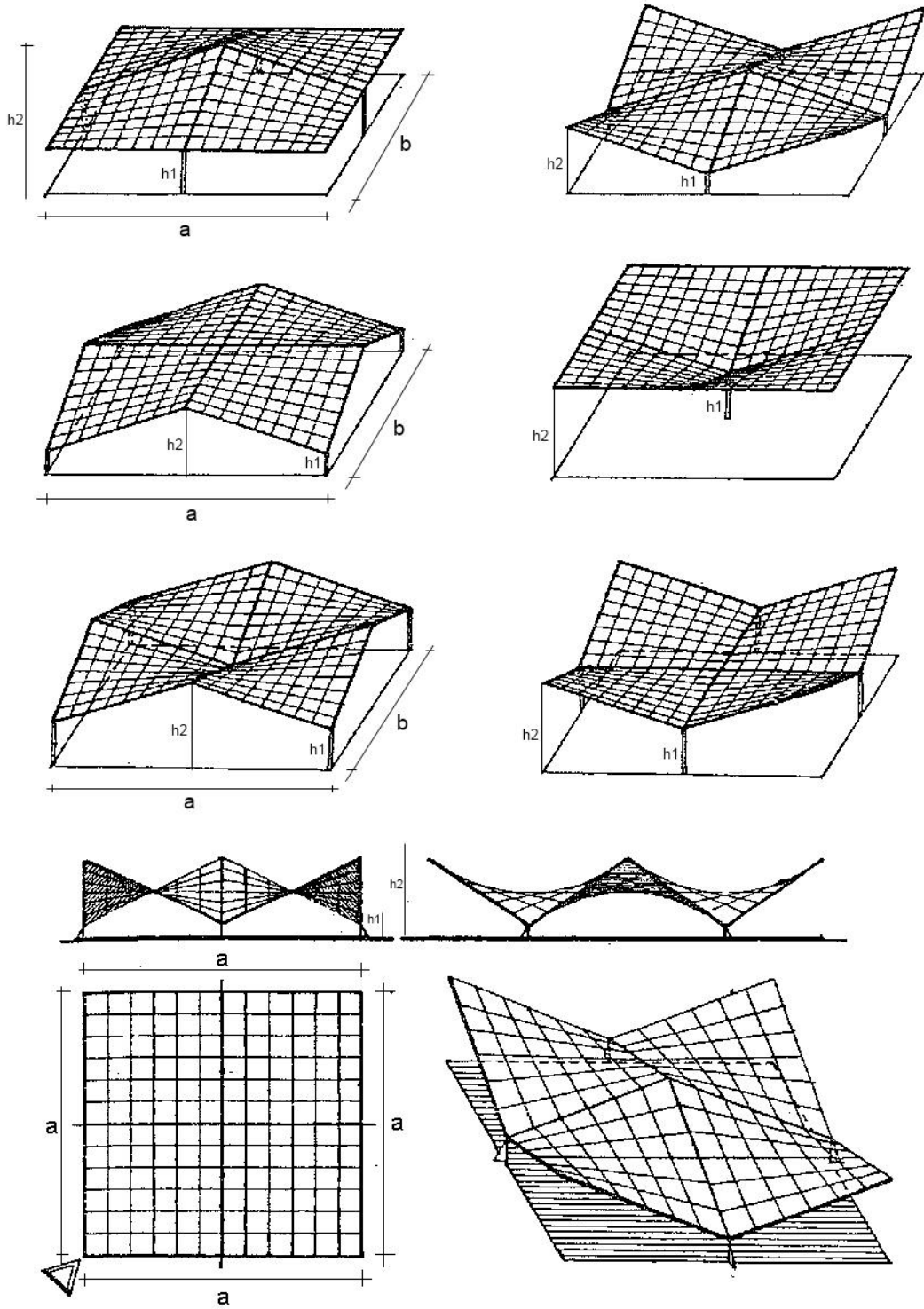
Şekil 4.9. Geometrisel Tasarım Örnekleri 1<sup>81</sup>

<sup>81</sup> Bayülgen.Cengiz, "Çağdaş Strüktür Sistemleri" Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul-1993



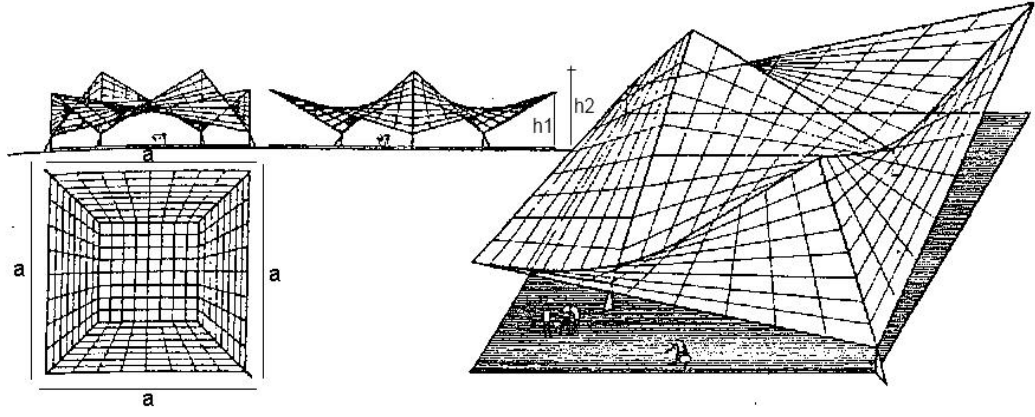
Şekil 4.10. Geometrikel Tasarım Örnekleri 2<sup>82</sup>

<sup>82</sup> Bayülgen.Cengiz, "Çağdaş Strüktür Sistemleri"Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atöylesi,İstanbul-1993

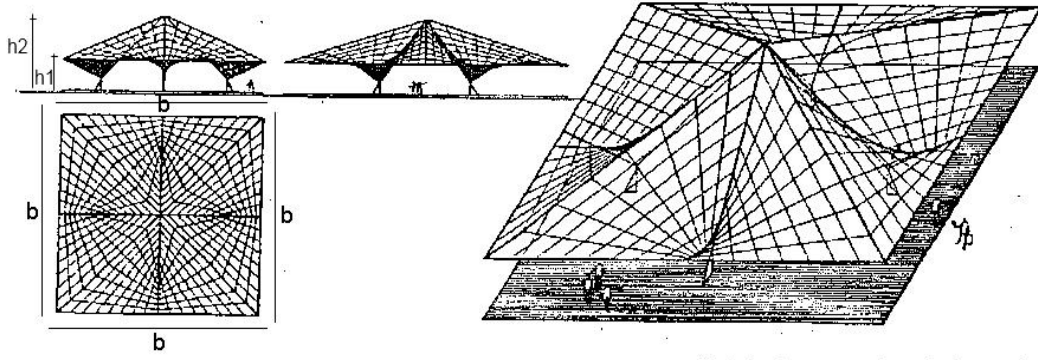


Şekil 4.11. Geometrikel Tasarım Örnekleri 3<sup>83</sup>

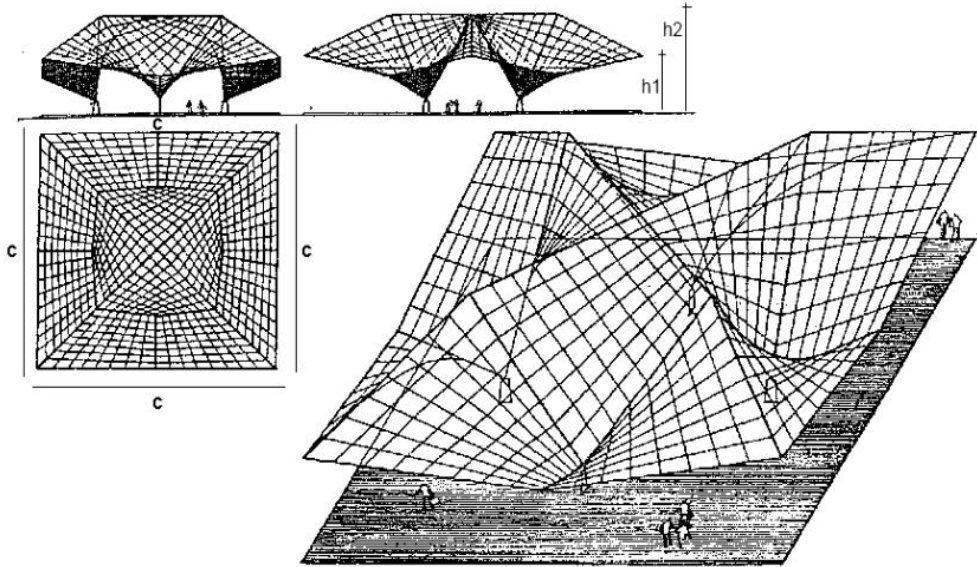
<sup>83</sup> Bayülgen.Cengiz,“Çağdaş Strüktür Sistemleri”Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi,İstanbul-1993



FARKLI EĞRİLİKLİ KABUK ÖRTÜ SİSTEMİ 1



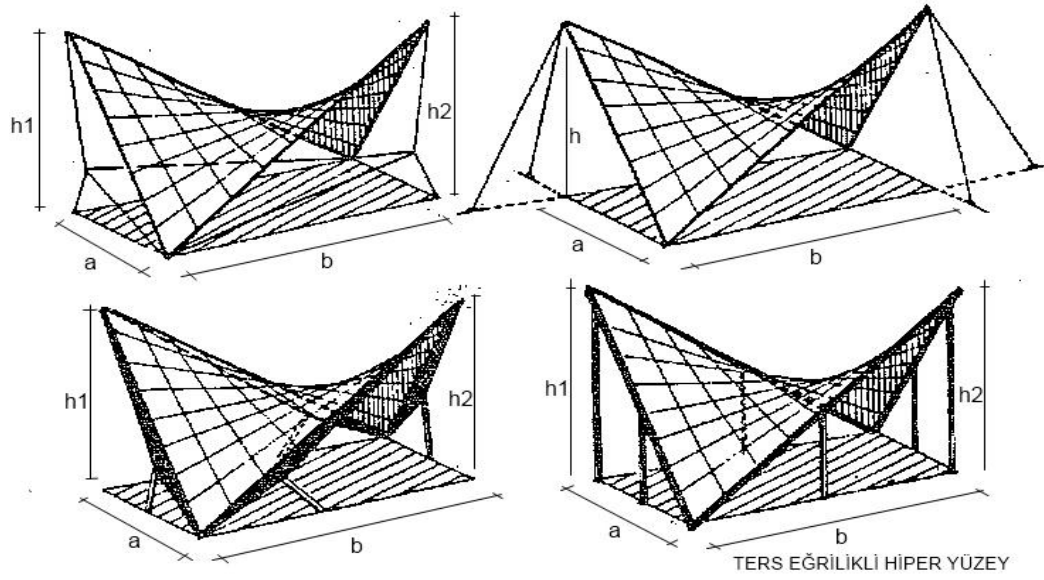
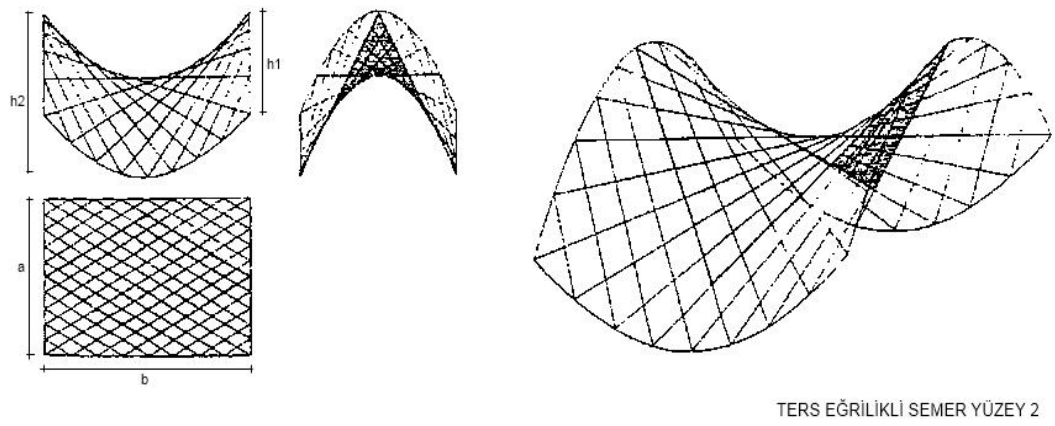
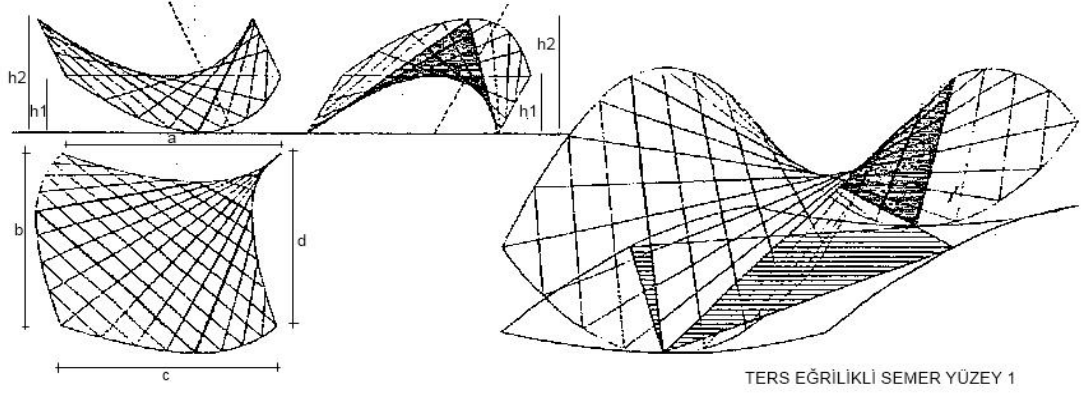
FARKLI EĞRİLİKLİ KABUK ÖRTÜ SİSTEMİ 2



FARKLI EĞRİLİKLİ KABUK ÖRTÜ SİSTEMİ 3

Şekil 4.12. Geometrik Tasarım Örnekleri 4<sup>84</sup>

<sup>84</sup> Bayülgen.Cengiz, "Çağdaş Strüktür Sistemleri"Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi,İstanbul-1993



Şekil 4.13. Geometrikel Tasarım Örnekleri 5<sup>85</sup>

<sup>85</sup> Bayülgen.Cengiz, "Çağdaş Strüktür Sistemleri"Ytü Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi,İstanbul-1993

#### 4.1. Kompozit Esaslı Hiperbolik Paraboloid Yapılar

Hiperbolik ve paraboloid yapılar geometrik özelliklerinden ötürü diğer kabuk yapılara göre mimarlıkta daha çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu yapılar geometrik şekilleri doğrultusunda gerilme ve burulma kuvvetlerine karşı diğer kabuk yapılara göre daha dayanıklı olmaları yaygın kullanılma sebeplerinin en önemli nedenidir.

Malzeme teknolojisindeki ilerlemeyle birlikte kompozit malzemelerin bulunması ve kullanımının yaygınlaşması diğer sektörlerde olduğu gibi yapı sektöründe de kompozit malzeme kullanımında önemli yer almıştır.

Kabuk yapıların mimarisinde kompozit malzeme kullanımı sayesinde dış kuvvetlere karşı daha da dayanıklı yapılar yapılmaya başlanmıştır.

Kompozit malzemelerin diğer malzemelere göre daha hafif olması sebebiyle; özellikle yapıların çatı bölgelerinde kullanılan hiperbolik paraboloid kabuk yapıların malzemesinin kompozit olarak seçilmesini öne çıkarmıştır.

Bu kabuk yapılarda oluşan kuvvetlerin hesabı daha kolay yapılmaktadır. Bu sebepten de dolayı mimarlıkta bu sistemlerin yüzey olması nedeniyle de daha kolay tasarlanması sağlanmıştır. Bu tür yapılar çeşitli bileşik ve kesişmeli türleri ile biçimsel yönden çok daha zengin tasarımlar yapılabilmektedir.

Tüm bu gelişimleri sayesinde kompozit esaslı hiperbolik paraboloid yapılar yapı sektörünün gelişiminde önemli bir yer almıştır. Bu tasarımlar ile Dünya’ da çeşitli modern yapı örnekleri verilmiştir.<sup>86</sup>

---

<sup>86</sup> Boblingen,D,W. 'Das Hyperbolische Paraboloid',Dbz.Nisan 1975

## BÖLÜM V

### 5. KABUK YAPILARIN TASARIM ve ANALİZ STANDARTLARI

Kabuk yapıların the European Committee for Standardization (CEN) ile Avrupa Standartları'na uygun olarak tasarım ve analiz yapılmaktadır. CEN Avrupa Standartları' nın üyeleri Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Güney Kıbrıs Rum Kesimi, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Malta, Hollanda, Norveç, Polonya, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, İzlanda, İrlanda, İtalya, Letonya, Litvanya, Portekiz, Lüksemburg, Romanya, Slovakya, Slovenya, İspanya, İsveç, İsviçre ve İngiltere'dir.

#### 5.1. Kabuk Yapıların Temel Olarak Modellenmesi ve Dizaynı

Bu yapılarının dizaynlarını yaparken temelde EN 1990 ile birlikte uyum sağlaması, birbirini takip etmesi gerekmektedir. Özellikle de kabuk yapıların tasarımları yapılırken aşağıdaki özelliklere dikkat edilmelidir;

- a) Genel Denge,
- b) İç Kuvvetleri ve Momentleri Arasında Denge,
- c) Çatlakların Plastik Hale Dönüşmesi Nedeniyle Sınırlanması,
- d) Çatlakların Yorulma Analizi Nedeniyle Sınırlandırılması

Kabuk tasarımı uygulamalarında uygun standart tarafından belirtilen gerekli gereksinimleri karşılanması zorunludur. Kabuk tasarımı yapılırken test yardımının kullanılması uygun olabilir. Uygun durumlarda uygun olan uygulama şartlarına göre standart verilmiştir. EN 1991 ve EN 1993'te belirtilen tüm bu yöntemlere göre tasarım değerleri hazırlanmaktadır.

#### 5.2. Kabuk Yapıların Analiz Türleri

Sınır şartlarına ve bağlı limit durumlarına göre kabuk yapılarda aşağıda belirtildiği üzere birçok analiz çeşidi vardır. Bunlar;

- a) Genel Analiz; yapılan genel analiz, yapının bazı bölümlerinin bölgesel olarak yaklaşık düzelmesini sağlar.



b) Membran Teorisi Analizi; Aşağıda yer alan şartlar olduğu takdirde membran teorisi analizi kullanılmamalıdır.

- i. Sınır koşulları bükme etkilere neden olmadan destek reaksiyonlar içine kabuk çekme ve basınç transferi için uygun olması,
- ii. Kabuk geometrisi şeklinin sorunsuz değişmesi (Süreksizlikler olmadan),
- iii. Yüklerin düzgün bir dağılıma sahip olması (Bölgesel veya nokta yük olmadan),

Bir membran teorisi analizi mutlaka sınırlarında, farklı şekil kabuk segmentleri arasında veya farklı yüklemeye maruz segmentleri arasındaki deformasyonlar nedeniyle uyumunu yerine getirmemektedir.

c) Lineer Elastik Kabuk Analizi (LA); lineer elastik maddesel kural ve doğrusal küçük sapma teorisinin varsayım sonuçlarının doğrusallık ile bulunmasıdır. LA analizi deformasyonları uyumlu gibi denge ile eğilme gerilmesi sonucu birincil alana ilave uygun ikincil gerilmenin gereksinimidir.

d) Lineer Elastik Ayrılma Analizi (LBA); lineer elastik kabuk analizi koşulları ve malzeme ile ilgili geometrik özelliklerin yerine getirilmesi ile yapılmaktadır. Ancak bu lineer ayrılma analiz kabuk geometrisi üzerinde herhangi bir değişiklik, yüklerin hareket yönünde değişikliğinin olmadığını varsayarak, düşük özdeğer ve hiçbir maddesel bozulma ile farklı bir deformasyon moduna ilişkin her türlü hatalar göz ardı edilmektedir. Bu analiz kritik burkulma direncini değerlendirmenin temelini oluşturmaktadır.

e) Geometrik Nonlineer Elastik Analizi (GNA); bir GNA analiz dâhil yapının geometri değişimi yüklemeye nedeniyle hangi koşullar altında dengede olduğunu ve sapsmaların uyumunu tahmin etmektedir. Gerilmeler sonucunda birincil alan ikincil alan gerilmelerine ilave edilmektedir.

f) Maddesel Nonlineer Analiz (MNA); bir MNA analizi sonucunda sabit yüklerin tasarım sonucu üzerinde belli miktarda bir yük artımı oluşur ve bunun plastik limit yükü verdiği şeklinde yorumlanmaktadır. Bu limit durumu plastik limit durumunu doğrulamak için kullanılabilir. Bir MNA analizi tekrarlı yüklemeye döngüsü sırasında plastik gerilme artımı vermek için kullanılabilir. Bu limit durum periyodik plastiteyi doğrulamak için kullanılabilir.

g) Geometrik ve Maddesel Nonlineer Analiz (GMNA); bir GMNA analizi sonucunda geometrik olarak lineer olmayan plastik limit yük vermektedir.

h) Geometrik Nonlineer Elastik İle Hata Analizi (GNIA); bir GNIA analizi sıkıştırma veya kesme kabuk gerilmeleri durumunda kullanılır ve bu analiz bir burkulma yükünün değerlendirilmesi için kullanıldığı durumlarda, sistemin öz değeri kontrol edilmelidir.

i) Geometrik ve Maddesel Nonlineer İle Hata Analizi; (GMNIA); bir GMNIA analizi kabuk sıkıştırma veya kayma gerilmelerinin yüksek olduğu durumlarda kullanılır. Bu limit durum burulmayı kontrol için kullanılabilir. Kusurlu yapı için elastoplastik burkulma yükleri oluşturur. Bu analiz bir burkulma yükü değerlendirilmesi için kullanıldığı durumlarda, sistemin öz değer sayısal işlem yükü yolunda bir ayrılma algılanır ve doğru sonuç elde edilir ve bu analiz bir burkulma yükü değerlendirilmesi için kullanıldığı durumlarda yapısal sistemin hata duyarlılık derecesini tespit etmeye yardımcı olmaktadır.<sup>87</sup>

---

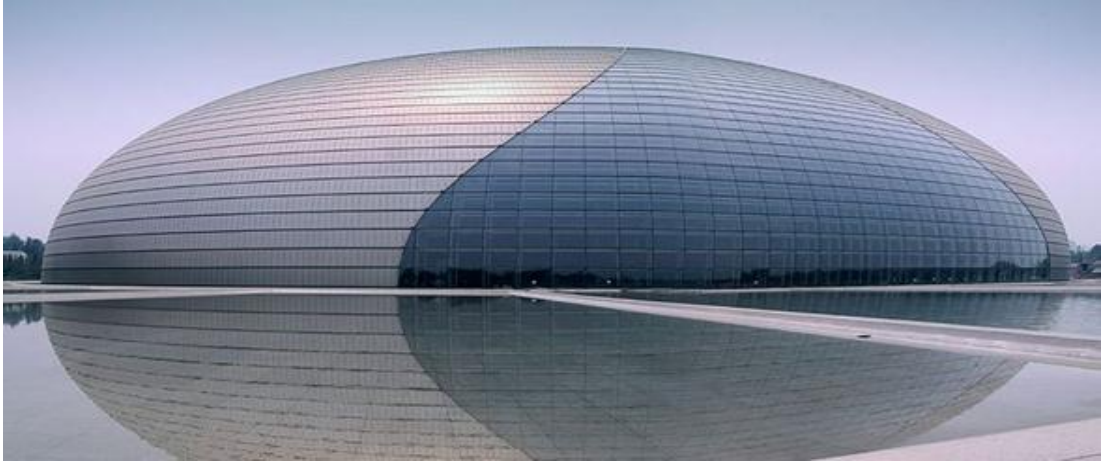
<sup>87</sup> EUROCODE “Design of Shell Structures” Ekim 2004

## BÖLÜM VI

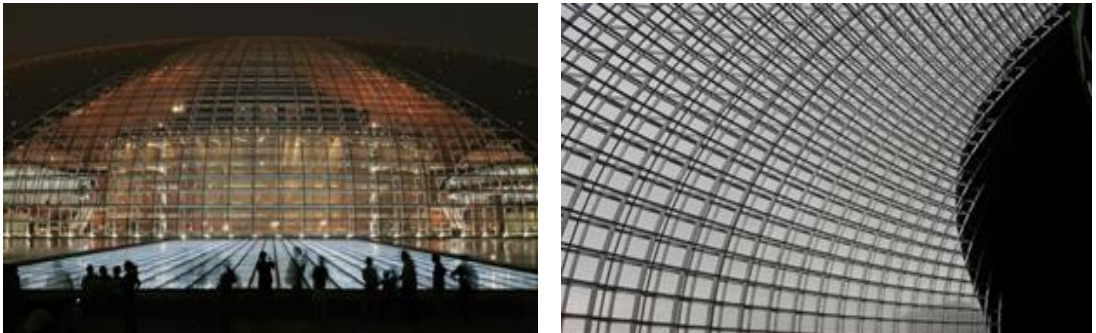
### 6. KABUK YAPI UYGULAMALARI

#### 6.1. National Centre for the Performing Arts, Beijing, China

Fransız mimar Paul Andrew tarafından tasarlanan uluslar arası kültür merkezi 2007 yılında yapılmıştır. Kültür merkezinin dışı titanyum ve cam kaplama tarafından örtülmüştür. Ana giriş kuzey tarafındadır. Kubbe 212 metre doğu yönüne eğimli, 144 metre kuzey güney yönüne eğimli ve 46 metre yükseklikindedir. Lokasyon olarak büyük meydan ortasında yer alan etrafı ağaçlarla çevrili, gölün içinden geçilerek ulaşılan modern bir yapıdır. Opera salonu 2.146 kişilik, Müzik Salonu 2.017 kişilik ve tiyatro salonu 1.040 kişiliktir.



Resim 6.1. National Centre For The Performing Arts



Resim 6.2. National Centre For The Performing Arts<sup>88</sup>

<sup>88</sup> Saunders W. "Modern Architecture" Ezra Stoller, Harry N. Abrams, N.Y., Ocak, 1990

## 6.2. Pisanka, Kiev

Ukraynalı mimarlar Alexander Popov, Dmitry Vasilyev, Anton Khilko. Artist Kirill Protsenko tarafından fikir projesi hiperbolik tasarım olarak ortaya çıkmıştır. Ukrayna'nın yeni bir sembole ihtiyacı olduğunu düşünen mimari olarak değişiklik kazandırmak amacı ile paskalya yumurtası formunu şehre yansıtmak istemişleridir.



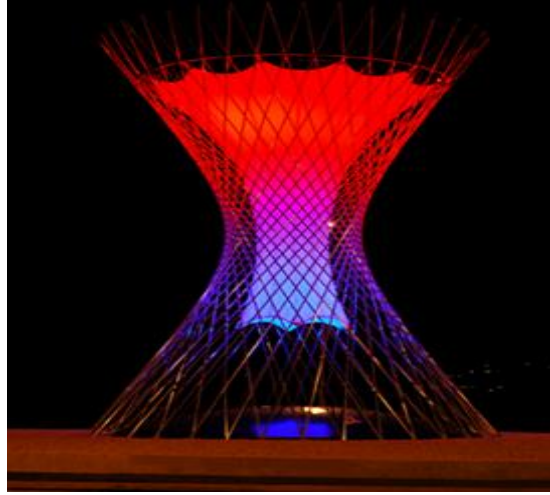
Resim 6.3. Pisanka

Ukrayna da tarihi yapıların çok olması nedeni ile modern yapı üzerine çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmaların başlıca sebebi ülkenin tarihi kültürel miras açısından turistik ziyaret sayısı az olduğundan ülkenin ziyaretçi sayısını artırmak amacı ile karar alınmıştır. Ülkeyi sembolize edecek bir mimari yapılmak istenmiş ve örnek olarak Sydney opera binasını ele almışlardır. Bu şekilde akıllarda kalan yapı yapmak üzere Ukraynalıların fikir olarak, 200m yüksekliğinde kırmızı, yeşil, mavi renkleri 33.000 LED ışık ile ışık gösterisi yapılması ve boyalı yumurtaları andırmak için renkli ışıklar kullanılması düşünülmüştür. 37 katlı olup bunun 8 katı ise teknik kat olarak ayrılmıştır. İlk 4 kat mağaza ve restaurant katı, 4-7 kat arası ofis merkezi, 7. kat oteldir. Kat arası panoramik asansörler vardır. Mağaza alanı 28800 m<sup>2</sup>, sinema ve bowling salonu 9600 m<sup>2</sup>, restoranlar ve diğer iş yerleri 6900m<sup>2</sup>, otel 29500 m<sup>2</sup>, pentahouse 12000 m<sup>2</sup>'dir. Proje maliyeti 483 milyon dolardır. Ukrayna için dönüm noktası olarak bu proje önem kazanmıştır.<sup>89</sup>

<sup>89</sup> SAUNDERS W. "Modern Architecture" Ezra Stoller, Harry N. Abrams, N.Y, Ocak, 1990

### 6.3. Samsel Near Husnes, Norveç

Norveç de mimar Marcel Duchamp tarafından tasarlanmıştır. Bir alüminyum rafinerisi olarak düşünülen dizayn dik ve ortadadır. Projenin amacı halkı sanata mimari yönden yakınlaştırmak olup strüktür light-tech teknolojisi ile donatılmıştır.



Resim 6.4. Samsel Near Husnes<sup>90</sup>

### 6.4. Tacoma Dome, Washington, ABD

Mimar Mc. Granahan tarafından jeodezik kubbeli spor salonu olarak yapılmıştır. Genişliği 161.5 metre, yüksekliği 48 metredir. Dünyanın en büyük keresteden oluşan kubbesine sahiptir. Kubbede ahşap işçiliği dışında plastik kompozit yapı malzemeleri kullanılmıştır. 23.000 kişilik oturma kapasitesi vardır.



Resim 6.5 Tacoma Dome Dıştan Görünüşü<sup>91</sup>

<sup>90</sup> <http://picasaweb.google.com/jbgood47/BilderFraKvinnherad#5240290213961736546>

<sup>91</sup> <http://sprudge.com/breaking-nwrbc-announced-for-tacoma-wa-jan-27-30.html>





Resim 6.6. Tacoma Dome İçten GrnŖ<sup>92</sup>

### 6.5. Randstadrail - Beatrixlaan Between The Hague and Rotterdam

Mimar Zwart & Jansma tarafından Rotterdam da (Rotterdam ve Lahey arası) tren istasyonu için tasarlanmıŖtır. Ŗehre ait ray Ŗebekesini saran uzun ağ yapı Ŗeklinde 2006 yılında yapılmıŖtır. Uzunluğu 400 metre ve çapı 10 metredir.



Resim 6.7. Randstadril- Beatrixlaan<sup>93</sup>

<sup>92</sup> <http://sprudge.com/breaking-nwrbc-announced-for-tacoma-wa-jan-27-30.html>

<sup>93</sup> <http://www.archdaily.com/18304/randstadrail-station-beatrixlaan-den-haag-zwarts-jansma-architecten/>

## 6.6. Khan Shatyry Entertainment Centre

41.406 m<sup>2</sup> mağaza alanına sahip olacak dünyanın en büyük çadırı, Kazakistan'ın başkenti Astana'da inşa edildi. Yapımına 2006 yılının Haziran ayında başlanan Han Çadırı'nın yüksekliği 150 metre, 200 m çapında eliptik bir plan üzerine kurulmuştur ve kompozit esaslı kabuk çatı örtüsü ile örtülmüştür. 5 Temmuz 2010 tarihinde hizmete açılmıştır.



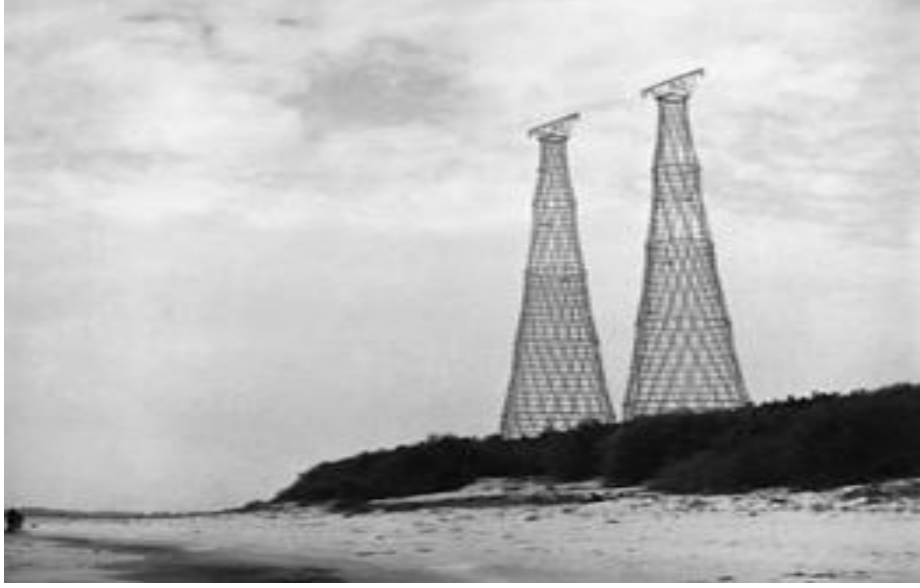
Resim 6.8. Khan Shatyry Entertainment Centre<sup>94</sup>

## 6.7. Shukhov Towers on the Oka River

Shukhow kulesi hiperbolik kule olup 1927-29 yıllarında İspanyol mimar Cadiz tarafından tasarlanmıştır. Elektrik kulesi 110 kw akımı elektrik telleriyle karşıdan karşıya geçirilmiştir. Rusya'nın en önemli enerji bağlantı kulesidir. Boyları; 20 m, 68 m, 128 m olarak 3 direk vardır. 25 metrede bir kafes kısımları bağlanmış daire şeklinde sarmal olarak yukarıya doğru daralarak şekil oluşturulmuştur. 2005 yılında 128 m' lik kule yıkılmıştır.<sup>95</sup>

<sup>94</sup> <http://www.fosterandpartners.com/projects/1438/default.aspx>

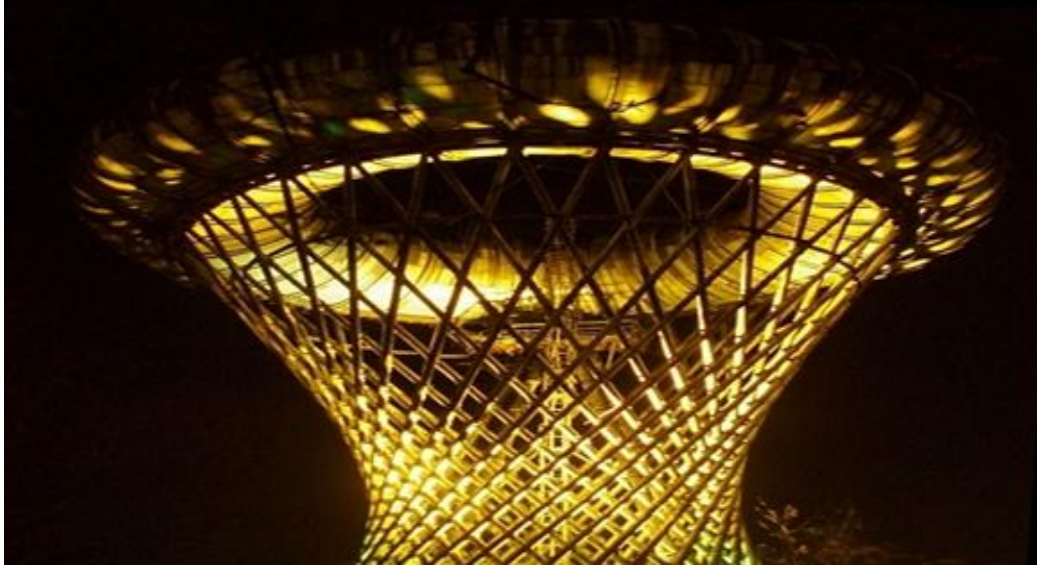
<sup>95</sup> Saunders W. "Modern Architecture" Ezra Stoller, Harry N. Abrams, N.Y, Ocak, 1990



Resim 6.9 Shukhov Towers<sup>96</sup>

### 6.8. Watertower in Ciechanów, Poland

1972 yılında mimar Jerzy tarafından su kulesi olarak yapılmıştır. 1560 m<sup>3</sup> su kapasitelidir. Taç giyimimli şaşırtıcı hiperbolik bir su kulesidir. Su kulesi günümüzde işlevini yitirmiş olup yeni işlev vermek üzere proje çalışmaları yapılmaktadır. Örneğin; Panoramik restaurant şeklinde düşünülmüştür.



Resim 6.10. Watertower in Ciechanow<sup>97</sup>

<sup>96</sup> <http://www.essential-architecture.com/STYLE/STY-M05.htm>

<sup>97</sup> Saunders W. "Modern Architecture" Ezra Stoller, Harry N. Abrams, N.Y, Ocak, 1990



### 6.9. Japan Pavilion, EXPO 2000, Hannover, Germany

Japon fuar merkezi olarak 2000 yılında Almanya da Hannover kentinde mimar Frei Otto tarafından tünel şeklinde yaklaşık 73.8 m uzunluğunda, 25 m genişliğinde ve 15.9 m yüksekliğindedir. Alman makamları ile proje görüşmelerinden sonra ortak noktada fikir alışverişinden sonra strüktür olarak yapılmış olup ızgara şeklinde sarmal bir yapıya sahiptir. Japon fuarının dış çeperi ateşe, suya dayanıklı şekilde plastik esaslı kompozit malzemeler ile örtülmüştür.



Resim 6.11. Japan Pavilion<sup>98</sup>

### 6.10. Kunsthaus, Graz, Austria

Avusturya da tarihi binaların arasında çağdaş özgün bir yapıt olan müze binasını Peter Cook & Colin Fournier tarafından tasarlanmıştır. 60 metre eninde biometrik strüktür olarak mimari tasarımı geçmişten geleceğe köprü kurgusu içindedir ve çatı örtüsünün üstündeki delikler kuzeye dönüktür. Bu delikler doğal ışığı içeri almakta ve kompozit cephe kaplaması yağmur suyunu, kiri ve tozu tutmayacak şekilde düşünülmüştür.



Resim 6.12. Kunsthaus

<sup>98</sup> [http://www.pfeifer.de/ref/p56996\\_en\\_y.htm](http://www.pfeifer.de/ref/p56996_en_y.htm)



Resim 6.13. Kunsthaus



Resim 6.14. Kunsthaus



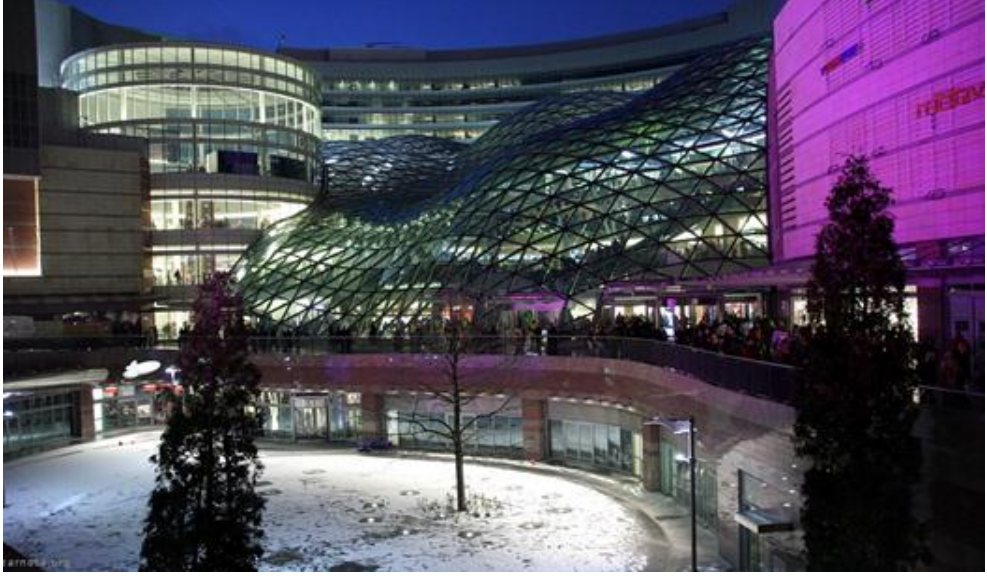
Resim 6.15. Kunsthaus<sup>99</sup>

---

<sup>99</sup> <http://unusual-architecture.com/kunsthau-graz-austria/>

## 6.11. Golden Terraces, Warsaw, Poland

Polonya da mimar David Rogers tarafından tasarlanıp 2003 yılında inşasına başlanmış ve 2007 yılında bitmiştir. 105 metre ofis kulesi altında ağ örgü tasarımı ile ofis binaları arasında bağlayıcı strüktür olarak düşünülmüş dev camlarla örtülmüştür. 225.000 m<sup>2</sup> kat alanı vardır.



Resim 6.16. Golden Terraces



Resim 6.17. Golden Terraces<sup>100</sup>

<sup>100</sup> <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=452647>



## 6.12. The Astana the Capital of Kazakhstan Bird

Kazakistan'ın Astana şehrinde inşaaı biten görkemli kuş kulesi mitolojik inanış olarak kuşların doğada kavak ağacı üzerine yaptıkları yuvaların mimariye yansıtılması vurgulanmıştır. Kuş kulesi 97 metre uzunluğunda üzerinde kuş yuvasını andıran ve kuş yumurtası olan simgesel kuledir. Astana şehir meydanında görkemini göstermektedir.



Resim 6.18. The Astana the Capital of Kazakhstan Bird



Resim 6.19. The Astana the Capital of Kazakhstan Bird<sup>101</sup>

---

<sup>101</sup> <http://www.flickr.com/photos/mytripsmypics/5508793485/>

### 6.13. Interior of the Southern Cross Station, Melbourne

Mimar Grimshaw Jackson tarafından eski tren istasyonunun çatı örtüsü 2002 yılında yeniden inşa edilmek üzere tasarlanmıştır. Çatı formu sarmal ızgara sistem istasyonun çatısını örtmektedir. Sarmal yapının oluşumunu 3 boyutlu modelleme ile elde edilmiştir. Çatı örtüsü zeminden min 6 m, max 23 m yüksekliktedir ve 200 m genişliğinde vadi şeklinde kuşbakışı görünüşü vardır. Avusturalya' nın tarihi istasyonuna canlılık ve yenilik getirmiştir.



Resim 6.20. Interior of the Southern Cross Station

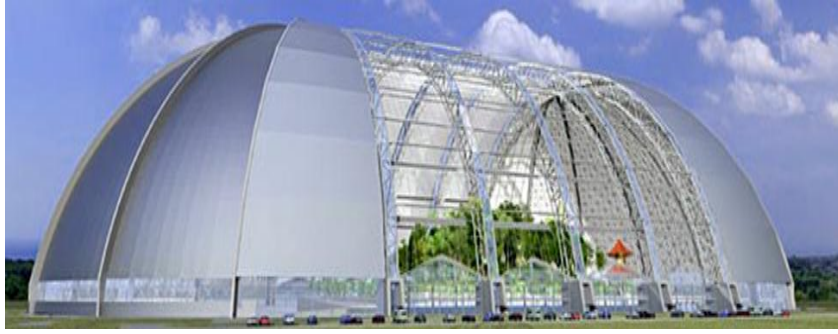


Resim 6.21. Interior of the Southern Cross Station <sup>102</sup>

<sup>102</sup> <http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=326635&page=2>

#### 6.14. Cargo Lifter, Germany

Mimar Cargo Lifter tarafından tasarlanmış yapay tropikal ada şeklinde 360 m uzunlukta 210 m genişliğinde 107 m yüksekliğinde Almanya da inşaa edilmiştir. Yaz ve kış aylarında tatil mekânı olarak düşünülen yapı, aileler için eğlenceli, stresten uzak ve oyun dünyası halindedir. İklimlendirme sistemi kışın 26-30 derece hava ve su sıcaklığı 28-31 derece arasındadır. Nem oranı ise %40-60 arasındadır. Doğal ortam gibi hizmet vermektedir.



Resim 6.22. Cargo Lifter



Resim 6.23. Cargo Lifter <sup>103</sup>

#### 6.15. Nuestra Senora De La Soledad Kilisesi

Candela' nın bu (hiper betonarme) uygulamasında plan geometrisi tabanlarından birleştirilmiş iki ikizkenar üçgenin oluşturduğu bir dörtgendir. Zeminde küçük üçgenin tepesi kesilerek giriş bölümü yaratılmış ve plan da böylece bir deltoide dönüşmüştür. Ancak çatı örtüsü olan kabuk asimetrik, düz kenarlı tek bir hiperbolik paraboloidten oluşmaktadır.

<sup>103</sup> [http://www.strangeharvest.com/mt/archive/read\\_mes/anything\\_to\\_fee\\_1.php](http://www.strangeharvest.com/mt/archive/read_mes/anything_to_fee_1.php)

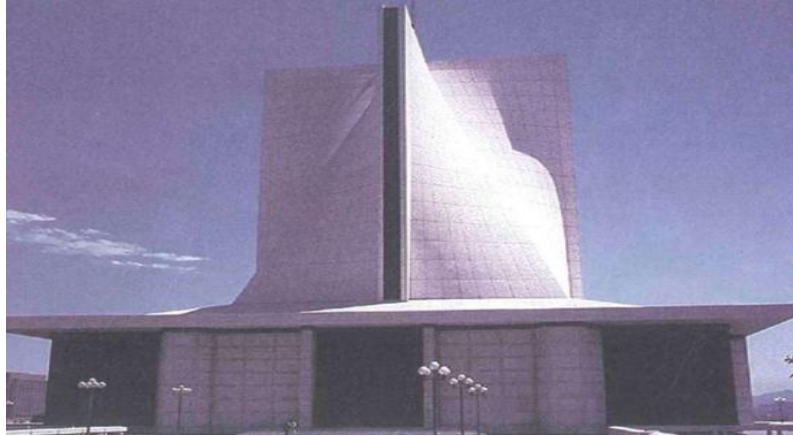
Betonarme perde duvar yerine taş duvar bir bölümde kabuk kenarına kadar yükselerek kenar kirişlerine destek olur. Diğer bölümler de ise, kabuğun kenar kirişlerine kadar yükselen çelik pencere kasaları, hem renkli vitrayların kasası olarak görev görmekte, hem de kabuğu asimetrik yüklerin (örneğin kar yükü, deprem ve özellikle rüzgâr etkisi) neden olabileceği kayma ve dönmelere karşı, desteklemektedir.



Resim 6.24. Nuestra Senora De La Soledad Kilisesi<sup>104</sup>

#### **6.16. St. Mary Katedrali, Los Angeles**

Kenzo Tange'nin Tokyo'daki katedral binasını anımsatan yapı, simetrik ve birbirine eşit, düz kenarlı betonarme H.P' den yapılmıştır. Kabuk örtüsüne sahip katedral 60 m yükseklikte olup 2500 kişilik oturma kapasitesine sahiptir.



Resim 6.25. St. Mary Katedrali

<sup>104</sup> TÜRKÇÜ. H. Çetin, “Çağdaş Taşıyıcı Sistemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.



### 6.17. Takeshi Hosaka Mimarlık, Hoto Fudo

Bu binanın mimarisi dağlar ve bulutlar gibi doğa nesnelere aittir. Bu dörtgenler ve daireler gibi ortaya çıkan yumuşak geometrik yapılardır. Sürekli sayısız poligon ağı çalışma noktaları ile kabuk yüzey tutarlılık ve düzensizlikleri belirlemiştir. Kübik yüzeyler ile plastik takviyeli kabuk yapı 530 m<sup>2</sup> alana sahiptir ve içerisinde mutfak, dinlenme odası, çalışma salonu gibi mekanlar yapılmıştır.



Resim 6.26. Takeshi Hosaka



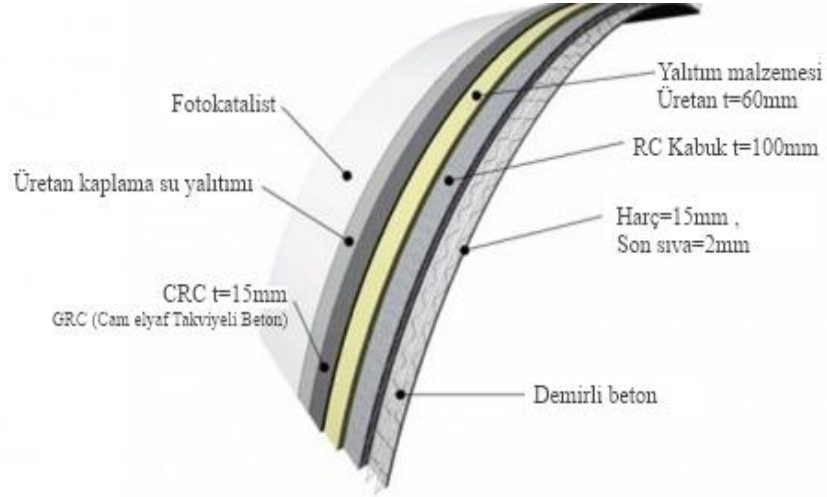
Resim 6.27. Takeshi Hosaka



Resim 6.28. Takeshi Hosaka



Sandwich kaplamada çatlamayı önlemek ve yüksek dayanıklılık vermek için ısı yalıtımı ve dış kabuk 15 mm GRC (Cam elyaf takviyeli beton) için 60 mm sert üretilen sandwich 100 mm kalınlıkta ana RC yapı oluşur. Yapısal gücü gelişmiş ve böylece uzun ömürlü kabuk yapısı sağlanmıştır.



Şekil 6.1. Takeshi Hosaka Evin Kabuk Yapısı

Oluşan şekil ters kabuk düzlemde şekil değiştirme enerjisi en aza indirmek ve rasyonel bir form yapısal özgün mimari şekile dayalı yapmak için Gaudi' nin prensibi kullanılarak "Form Bulma Analizi" ile hesaplanmaktadır. Karmaşık kabuk yapısına uygun deprem yükü kurmak için, dinamik bir tepki analizi dikkate alınarak sismik dalgaları kullanarak modelleme yapılmıştır.<sup>105</sup>



Resim 6.29. Takeshi Hosaka Evi

<sup>105</sup> <http://www.architectural.com/takeshi-hosaka-architects-hoto-fudo/> "Takeshi Hosaka Mimarlık"

### 6.18. Yas Hotel, Abu Dhabi

New York merkezli Asimptot Mimarlık tarafından mimar Hani Rashid ve Lise Anne Couture tasarlamıştır. Formula 1 pisti üzerinde spaned bir köprü ile bağlantılı iki kuleden oluşan Yas Adasının içinde yer alan bir güzel kabuk yapı tarzıdır. Hız, hareket ve İslam sanatından esinlenerek baklava biçimli cam paneller ile kabuk çatı örtüsü tasarlanmıştır.



Resim 6.30. Yas Hotel



Resim 6.31. Yas Hotel<sup>106</sup>

<sup>106</sup> <http://www.worldcitypics.com/yas-hotel-abu-dhabi/>

### 6.19. Eden Projesi, Cornwall

St. Blazey, Cornwall, İngiltere’de mimar Nicholas Grimshaw tarafından organik mimariden ilham alıp, uygun yaratıcılığın sembolü olarak sera kompleksi olarak tasarlanmış ve taşıyıcı sistemi çerçeve sistemli termoplastiktir. Eden Projesi ekoloji, bahçecilik, bilim, sanat ve mimariyi birleştirmiştir. Bitki ve ağaçlar üzerine sürdürülebilir bir gelecek sağlamak için sergilenen dünyanın farklı iklim bölgelerinden birçok bitki türleri bulunmaktadır.



Resim 6.32. Eden Projesi<sup>107</sup>

### 6.20. Santiago Calatrava L’Hemisferic (Planetarium), Valencia

El Hemisferic veya L’Hemisferic, İspanya’nın Valencia bölgesinde yer alan, değişik mimari anlayışla, eğlence ve kültür amaçlı yapılmış olup, Valencia şehrindeki en önemli modern turistik merkezlerden biridir. Bina bünyesinde bir sinema merkezi, bir planetarium ve lazeryum bulunmaktadır. Bina göz şeklindedir ve yaklaşık olarak 13.000 m<sup>2</sup> lik alanı kaplamaktadır.



Resim 6.33. Santiago Calatrava L’Hemisferic<sup>108</sup>

<sup>107</sup> <http://www.insaatdergisi.com/insaat-mimari-menu-11-264-mimari.html>

<sup>108</sup> <http://www.arcspace.com/architects/calatrava/planetarium/>

## 6.21. Haydar Aliyev Kültür Merkezi, Bakü, Azerbaycan

Mimar Zaha Hadid tarafından Bakü’de inşaat alanı 52417m<sup>2</sup> olan bir yüzeye Bakü Kenti için bir landmark oluşturulmak istenmektedir. Kompleks’te bir konferans salonu, üç oditoryum, bir kütüphane ve müze yer alacaktır. Bu kompleksin kentin entelektüel yaşantısında belirleyici yer alması beklenmektedir.

Haydar Aliyev Kültür Merkezi kabuk örtüsünün üst noktası 74 metre olan ve geniş bir açıklığı geçen eğrisel formlu dış kabuğun sistem detaylarının çözülmesi, imalatı ve montajı çok farklı detaylar ile çözümlenmiştir. Kabuğun taşıyıcı sistemi uzay kafes olara tasarlanmıştır. İç ve dış kabuk kaplamalarında kullanılması düşünülen cam elyafı katkılı beton veya alçının özel kalıplara dökülmesiyle hazırlanan modüller tek cidar için hesaplandığında 48.100 m<sup>2</sup> alanı örtmektedir ve eğrisellik nedeniyle yaklaşık 23.000 farklı kalıp çıkmaktadır.<sup>109</sup>



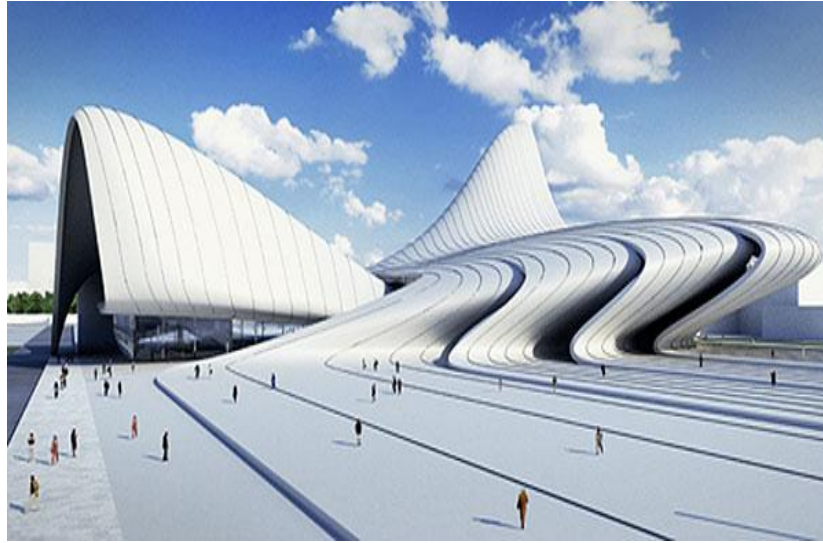
Resim 6.34. Haydar Aliyev Kültür Merkezi’ nin İç Görünümü

<sup>109</sup> <http://www.zaha-hadid.com/cultural>





Resim 6.35. Hayder Aliyev Kültür Merkezi'nin Yapım Aşaması



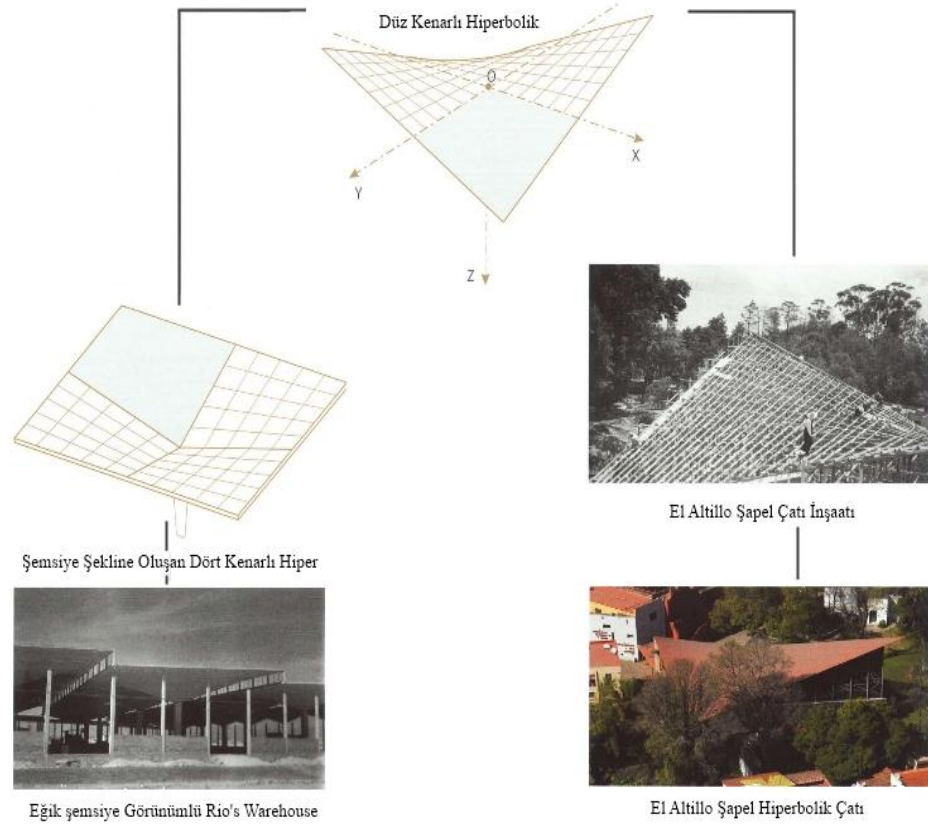
Resim 6.36. Hayder Aliyev Kültür Merkezi' nin Dış Görünümü<sup>110</sup>

## 6.22. Candela' nın (Betonarme Kabuk) Tasarım Örnekleri

Candela' nın tasarımların bazıları bükme yoluyla, eğrisel kabukları ve eğilme gerilmelerini önlemek için çifte kavisli eğrilik genişliği ve uzunluğu, bir eyer gibi bir formu bulunmaktadır. Candela kabukları iki kategoride belirlenmiştir. Kabuk yapısı,

<sup>110</sup> <http://www.zaha-hadid.com/cultural>

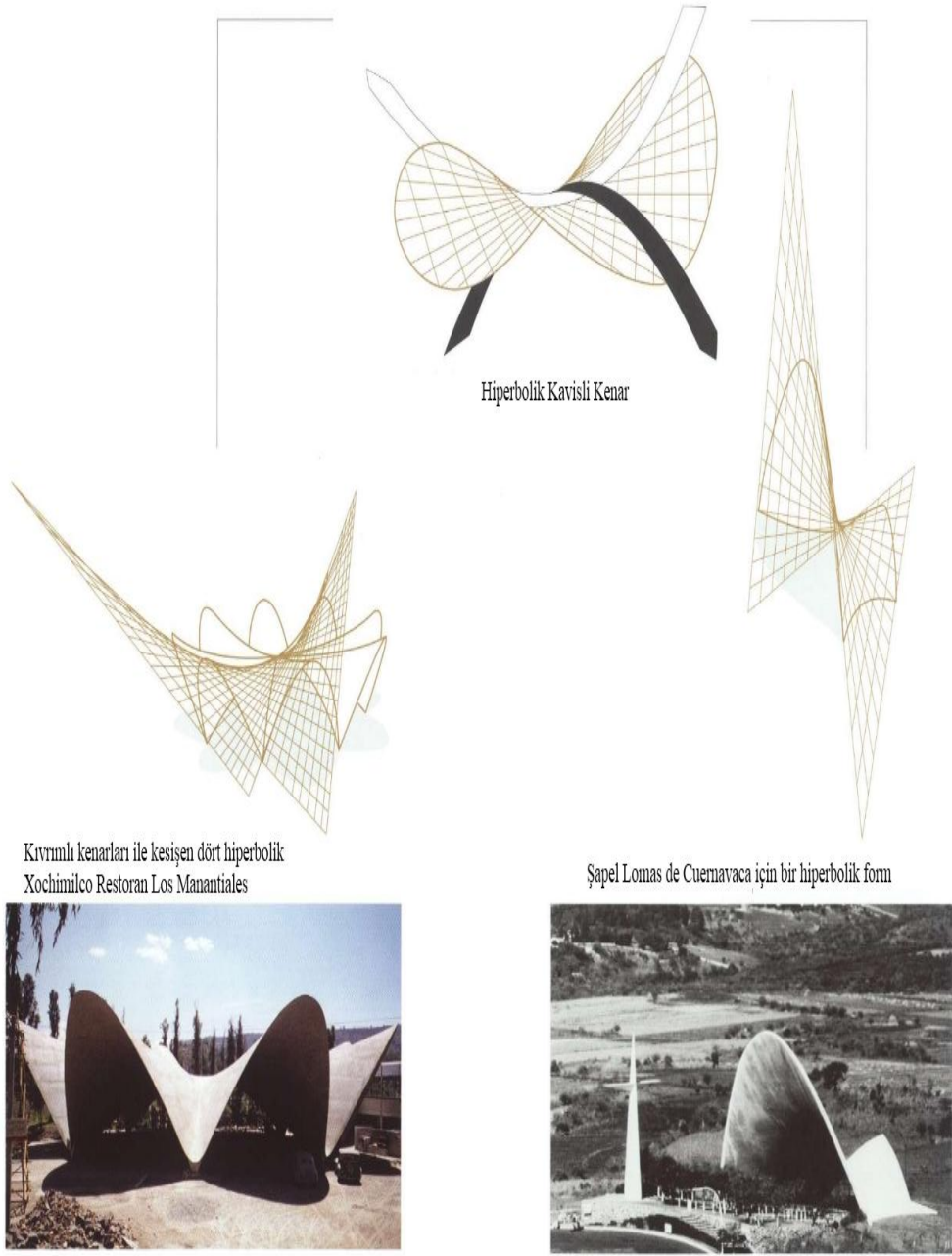
kalınlığı faydalı eni boyundan daha küçüktür. Bükme; kopma veya burkulmaya yol açabileceğinden kaçınılması gerekliliği vurgulanmıştır. Kabuk halinde şekillendirme, eğilmeyi engellemek için beton eğrilik vererek tasarlanması, büyük mesafelerin azaltılması gerekmektedir. Membran gerilmeleri üzerinden düzgün bir kabuk eşit levha kalınlığı boyunca dağıtılan, sıkıştırma veya gerginlik, stres anlamına gelen yükleri taşımaktadır.



Resim 6.37. Candela'nın Tasarım Örnekleri<sup>111</sup>

Candela tasarımları oluşturmak için düz kenarlı ve kıvrımlı kenarları kullanmıştır. Candela'nın düz kenarlı tasarımları bazı gelişimleri göstermektedir. Şekil 7.38' de hyper kabataslak şemsiye yapısının bir kadrans oluşturmak için kullanılmıştır. El Altılo Şapel, için çatı olarak bu tasarımda şemsiye, yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi büyük çatı kaplamaları oluşturmak için birden fazla hyper kullanılmıştır. Kıvrımlı kenarları ile yaptığı tasarımları benzer bir seyir izlemiştir. Hyper Şapel Lomas de Cuernavaca için form oluşturmak için kullanılmıştır.

<sup>111</sup> Garlock, Maria E. Moreyra "Felix Candela Engineer, Builder, Structural Artist" Yale University, 2008



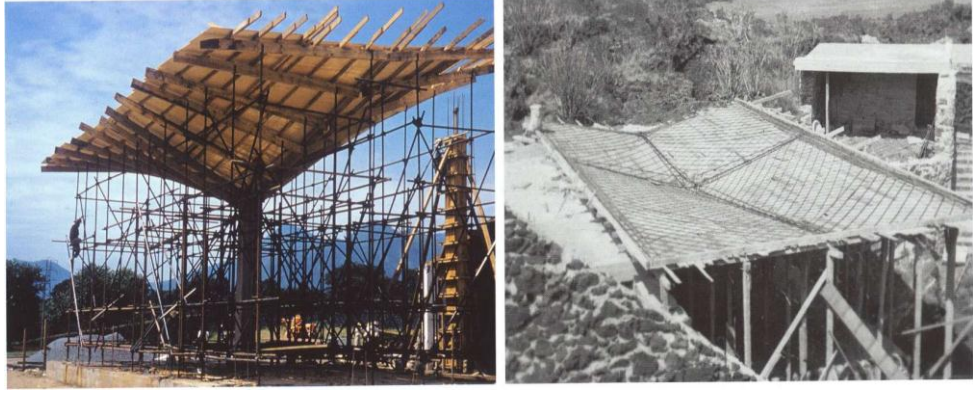
Resim 6.38. Candela' nın Tasarım Örnekleri<sup>112</sup>

Beton kalıp için tasarımcılar ve müteahhitler genelde pahalı, özel, kavisli formların üretimi geciktireceğine düşüncesi ile, eğimli betondan uzak durularak, shied kullanılmıştır. Candela' da ancak hiperbolik paraboloidler, iki kat kavisli iken, aslında düz çizgiler oluşabileceği anlaşılmaktadır. Formların genişliği nispeten küçük

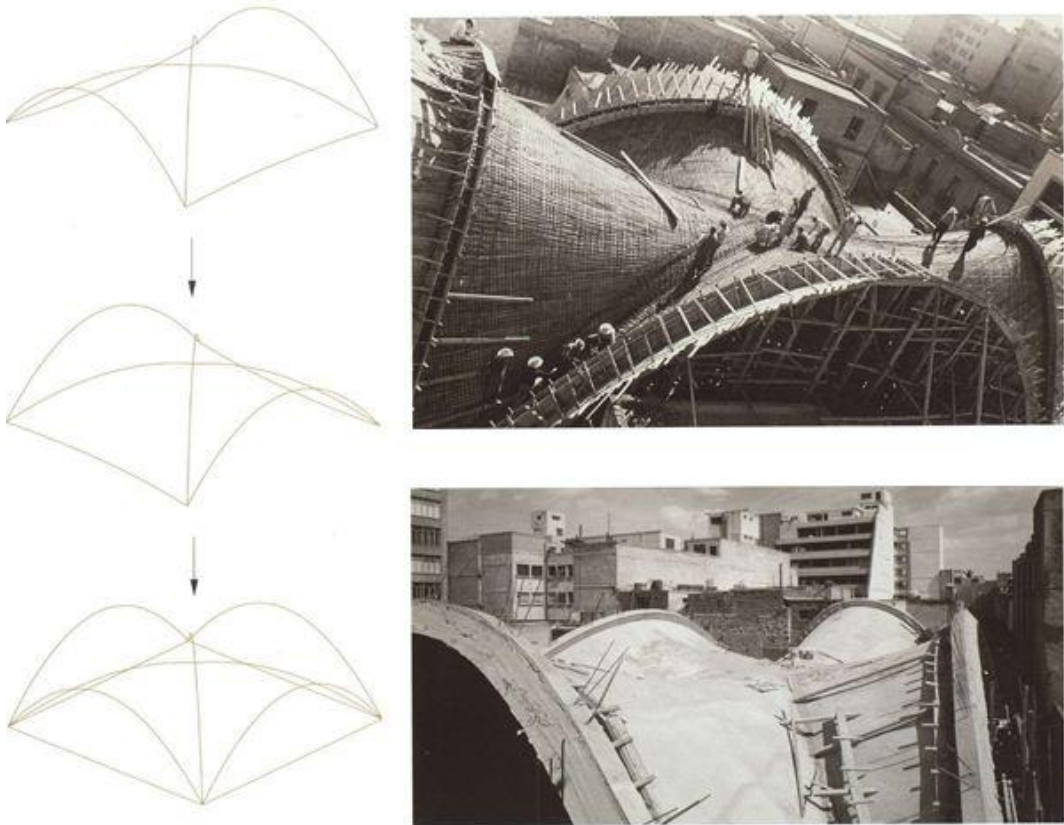
<sup>112</sup> Garlock, Maria E. Moreyra "Felix Candela Engineer, Builder, Structurel Artist" Yale University, 2008



olduğundan, panoları ve önemsiz kıvrımları, bükme küçük warpings için ihtiyacı kolayca oluşabilmektedir. Daha büyük warpings için özel kama panoları kullanılmaktadır.<sup>113</sup>



Resim 6.39. Candela' nın İnşaatı



Resim 6.40. Bolsa de Volares (Menkul Kıymetler Borsası) için kesişen hypars

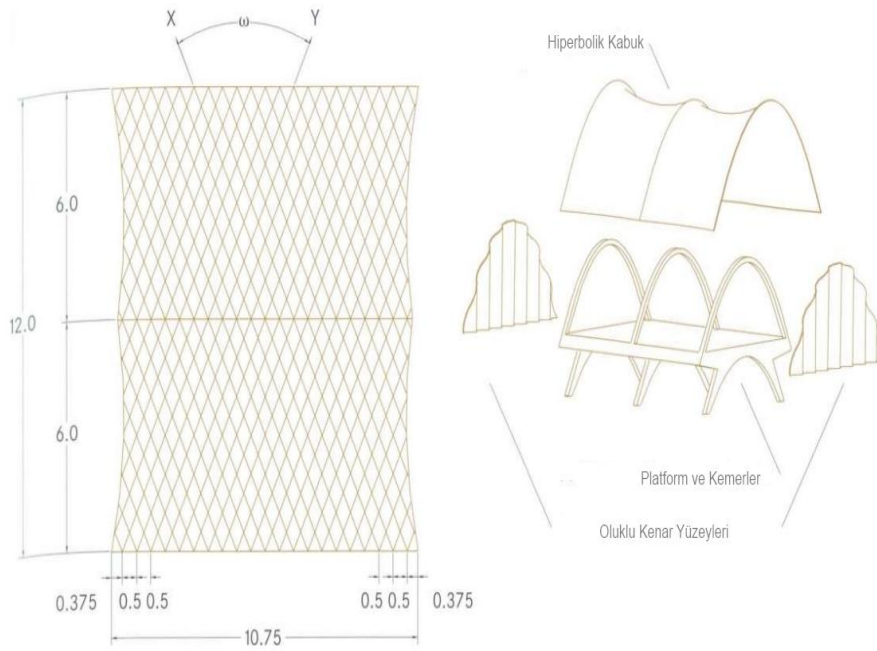
<sup>113</sup> Garlock, Maria E. Moreyra “Felix Candela Engineer, Builder, Structurel Artist” Yale University, 2008

### 6.22.1.Kozmik Işınlar Laboratuvarı

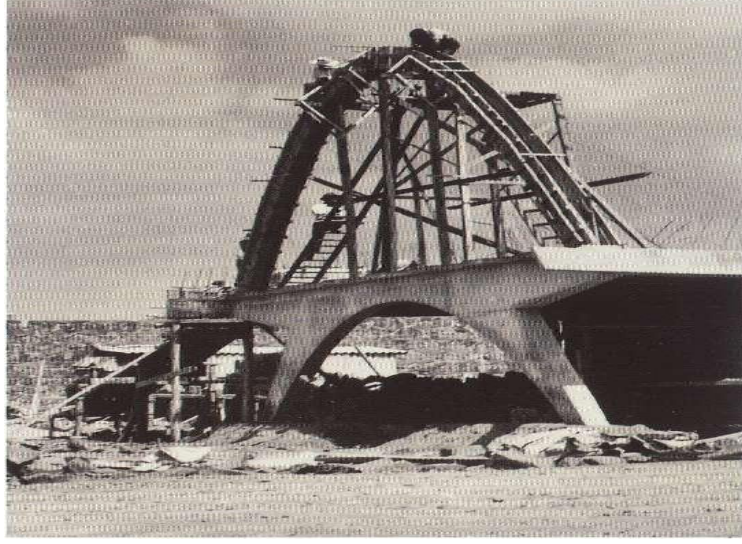
1951 yılında Mexico City’ de Candela’ nın tamamladığı Kozmik Işınlar Laboratuvarı en ince üretilen (Betonarme kabuk) yapılarıdır. Bu yapı Candela’ nın en ünlü yapılarının önemli bir özelliği halinde hiperbolik paraboloid tasarıma yakındır. Binanın yapımını mimarlar Gonzalez Reyna ve Arozarena ile beraber tamamlamışlardır.



Resim 6.41. Kozmik Işınlar Laboratuvarı



Şekil 6.2. Laboratuvarın Tasarım Aşaması



Resim 6.42. Laboratuvarın Yapım Aşaması<sup>114</sup>

### 6.22.2. Şapel Lomas de Cuernavaca

Cuernavaca dışında yer alan bir plato üzerinde, Candela'nın en büyük eserlerinden biri olan Şapel Lomas de Cuernavaca 1958 yılında inşa (betonarme olarak) edilmiştir. Bu yapının inşasını mimarlar Guillermo Rosell ve Manuel Larrosa ile tamamlamıştır.



Resim 6.43. Şapel Lomas de Cuernavaca<sup>115</sup>

<sup>114</sup> Garlock, Maria E. Moreyra "Felix Candela Engineer, Builder, Structural Artist" Yale University, 2008

<sup>115</sup> <http://mcis2.princeton.edu/candela/cuernavaca.html>

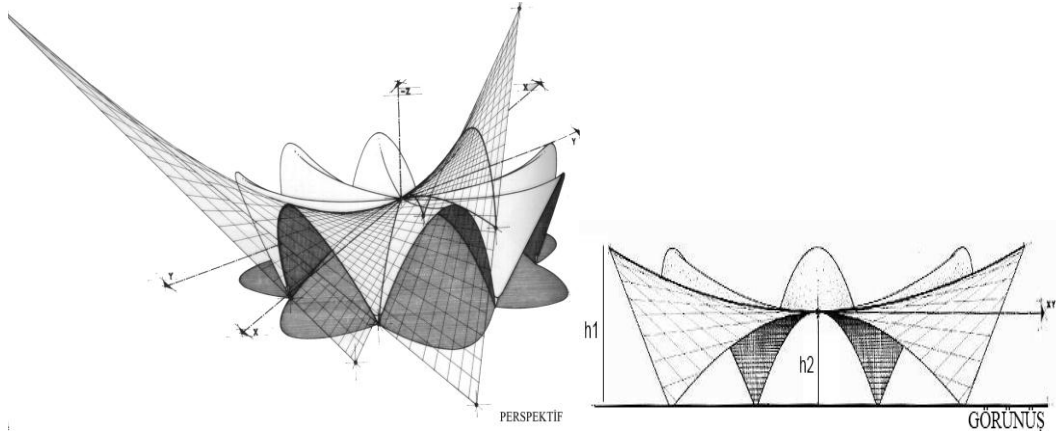


### 6.22.3. Los Xochimilco Restaurant

Los Manantiales Restoran mimar J. ve F. Ordonez ve yapısal mühendis F. Candela tarafından Xochimilco, Meksikada 1958 yılında (betonarme olarak) inşa edilmiştir. Candela Hypar şemsiye kabuk tasarımında kendine özgü işareti kullanılmış ve muhtemelen en iyi tanınmış yapısıdır. Los Manantiales sekizgen şekil ve yayılır onun merkezinde 5.8m yüksekliğinde, 46m çapı üzerinde form kesişen dört hiperbolden oluşur. Bu kabuk yapısı 34mm 17mm arasında kalınlığında değişen ince kabuk yapıdan oluşmaktadır.<sup>116</sup>



Resim 6.44. Los Xochimilco Restaurant



Şekil 6.3. Los Xochimilco Restaurant Perspektif ve Görünüş<sup>117</sup>

<sup>116</sup> Garlock, Maria E. Moreyra “Felix Candela Engineer, Builder, Structurel Artist” Yale University, 2008

<sup>117</sup> [http://anengineersaspect.blogspot.com/2009\\_06\\_01\\_archive.html](http://anengineersaspect.blogspot.com/2009_06_01_archive.html)

## BÖLÜM VII

### 7. KABUK SİSTEMLERİN AVANTAJ ve DEZAVANTAJLARI

#### 7.1. Kabuk Sistemlerin Avantajları

##### 7.1.1. Fonksiyonel Uygunluk

Fonksiyonel uygunluk, taşıyıcı sistemin binanın yapılma amaçlarına olan etkisiyle ilgilidir. Kabuklar büyük alanları ara mesnetsiz olarak örtmek amacı ile kullanılırlar ve fonksiyonel uygunluk taşıyıcı sistemin binanın yapılma amaçlarına olan etkisiyle ilgilidir.

##### 7.1.2. Ekonomi

Kabukların inşası zor değildir, ancak mimarların ve mühendislerin çözümlenmeleri doğrultusunda iyi ve uygulanabilir çözümler elde edilebilir. Bu tür yapıların uygulanabilirliğini yüklenicilere kabul ettirebilmek için yapı tasarımını ekonomik olması gerekmektedir.

Bir hiperbolik paraboloid veya dönele yüzeyli bir kabuk uygulamak için mekân, bina ve sorunlarıyla ortamın bu yapı için uygun olup olmadığını ve yapılacak strüktür formunu iyi bilmek gerekir. Kabuk uygulamalarında bunu sağlamak için bir tasarımcı olarak mimarın görevi oldukça güçtür. Mimarlar tasarımın yanında mühendisin görevlerini anlayacak teknik bilgilerinin olması; projelendirebilmek için üç boyutlu düşünüp geometrinin esiri olmayacak şekilde ustanın olması; malzeme ve malzeme mukavemetlerini, gerilmeleri ekonomik olarak yönlendirebilmek için yüzeylerdeki gerilme dağılımlarını bilmeli yapının çevreye uyumunu sağlamalıdır.

Bir kabuk sistemin en büyük maliyet bileşenleri malzeme ve işçiliktir. Bunlarla ilgili olarak, günümüzde dünyada iki temel ekonomi türü vardır. Çoğunlukla sanayileşmiş ülkelerde karşılaşılan birinci türde malzeme fiyatları rölatif olarak düşük, işçilik yüksektir. Az gelişmiş ya da gelişmemiş ülkelerde karşılaşılan ikinci türde ise durum bunun tersidir.

##### 7.1.3. Estetik

Estetiğin kabuk sistem üzerindeki etkisi inkâr edilemez: Estetik inançlarını mühendise dayatmaya çalışan mimar, çoğu kez taşıyıcı sisteme esaslı limitler koyar. Gerçekte mimar, kendi yapı anlayışını en iyi şekilde ifade edeceğine inandığı sistemi

tavsiye eder ve mühendis mimarın önerisini nadiren köklü olarak değiştirecek bir pozisyonda bulunmaktadır.

Bazı durumlarda mimar, proje çalışmalarının en başından itibaren mühendise danışır ve mühendis projedeki anlayışa katkıda bulunarak taşıyıcı sistemi, mimari ifadenin tamamlayıcı bir parçası haline getirir. Bu şekilde ulaşılan amaç ve anlamlar dengesi daha iyi bir taşıyıcı sistem ve daha tatminkar bir mimari doğurmaktadır.

## **7.2. Kabuk Sistemlerin Dezavantajları**

Kabukların, taşıyıcı sistem olarak sahip oldukları büyük etkinliğe karşılık, bir kısmı uygulama güçlükleri, bu tür sistemlerin çok daha yaygın hale gelmelerini sınırlandırmaktadır.

Kabuklar için, eğrisel yüzeylerin kalıbının yapılması sorunu, işçiliğin yüksek olduğu ülkelerde bu tür kalıplama sistemlerinin kullanılmasını zorlaştırmaktadır. Kalıp sorunu çeşitli yollarla azaltılabilir. Aynı elemanın tekrarlandığı çatılar, birkaç gün ya da birkaç saat sonra değiştirilen bir kalıp üzerinde her bir eleman uygulanabilmektedir.

Küçük eğrilikli tekrarlanan öğeler insan gözü ile daha kolay algılanır ve hapsedilmeksizin koruyucu bir etki verir. Konik kabuklar, hem bir koruma hissi verirler hem de bir doğrultudan örtülü alana ışık girmesini sağlarlar. Alçak noktaları üzerinde mesnetlendirilmiş olan hiperbolik paraboloidler, yüksek noktaları doğrultusunda yukarı doğru eğimleri nedeniyle gökyüzünün içine belirsiz şekilde iz düşürülmüş gibidir ve düşey doğrultuda bir koruma hissi vermektedir.

Bu nedenle, mimar tarafından seçilecek kabuk biçimi; ekonomi, yapım tekniği, strüktürel, estetik ve hatta psikolojik yönlerden çok sayıda etkene bağlıdır. Ancak tüm bu gerekler sağlandığı takdirde, başarılı bir kabuk tasarımı elde edilmiş olmaktadır.

## SONUÇ

Kabuk yapı sisteminde ileri polimer kimyası teknolojisindeki reçine gelişmelerinden yararlanılarak ve ön döküm tekniği kullanılarak önceden imal edilmiş, belli geometrideki modüller, parçacıklı kabuk yapı, değişken pek çok yüzeysel forma sahip olacak tarzda oluşturulabilmektedirler. Günümüzde monolitik ve yerinde yapılan kabuk yapılarda kullanılan, betonarme, çelik ve elyaf takviyeli polimerler sistemlerinden pek çok açıdan daha üstün bir yapı sistemi olduğu düşünülen kabuk yapı sistemi, genel anlamıyla, uygulamada pratik ve yapıyı hızlı inşa edebilme özelliğinin yanında, malzeme ve yapı sistemi olarak da pek çok teknolojik ilerlemeyi bünyesinde barındırmaktadırlar.

Kabuk yapılarda sınırlı kullanıma sahip olan, fiber elyaf takviyeli polimerler, yapı sektöründe önceden üretilmiş taşıyıcı eleman olarak kullanılabilir. Bu sistem mevcut tüm kabuk yapı sistemleriyle kıyaslanmış olup, yapısal, konstrüksiyonel ve estetik olarak, üstün ve önemli özellikleridir.

Aynı zamanda bu yeni yapı sisteminin mimarlık açısından muhtemel tasarım metodunun nasıl olacağına ilişkin, mevcut teorik kabuk yapıları yöntemleri araştırılmış ve bu yolla yapısal tasarımının alt yapısının nasıl oluşturulabileceği açıklanmaya çalışılmıştır.

Hiperbolik ve paraboloid yapılar geometrik özelliklerinden ötürü diğer kabuk yapılara göre mimarlıkta daha çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü bu yapılar geometrik şekilleri doğrultusunda gerilme ve burulma kuvvetlerine karşı diğer kabuk yapılara göre daha dayanıklı olmaları yaygın kullanılma sebeplerinin en önemli nedenidir.

Malzeme teknolojisindeki ilerlemesiyle birlikte kompozit malzemelerin bulunması ve kullanımının yaygınlaşması diğer sektörlerde olduğu gibi yapı sektöründe de kompozit malzeme kullanımında önemli yer almıştır.

Kabuk yapıların mimarisinde kompozit malzeme kullanımı sayesinde dış kuvvetlere karşı daha da dayanıklı yapılar yapılmaya başlanmıştır.



Kompozit malzemelerin diğer malzemelere gore daha hafif olması sebebiyle; özellikle yapıların çatı bölgelerinde kullanılan hiperbolik parabolit kabuk yapıların malzemesinin kompozit olarak seçilmesini ne çıkarmıştır.

Bu kabuk yapılarda oluşan kuvvetlerin hesabı daha kolay yapılabilmektedir. Bu sebepten de dolayđ mimarlıkta bu sistemlerin yüzey olması nedeniyle de daha kolay tasarlanması sağlanmıştır. Bu tür yapılar çeşitli bileşik ve kesişmeli türleri ile biçimsel yönden çok daha zengin tasarımlar yapılabilmektedir. Tüm bu gelişimleri sayesinde kompozit esaslı hiperbolik parabolit yapılar yapı sektörünün gelişiminde önemli bir yer almıştır.

Kabuk geometrisi ve kabuk yüzey sınıflandırılması olan tek eğrili, çift eğrili kabuk yapı, öteleme, izel, karışık yüzey formları ve katlanmış plak teorisi anlatılmış olup yapı sanayine getireceği avantajlara değinilmiştir. Bu kavramlar dikkate alınarak kabuk yapı formlarını tasarlamak gerekmektedir.

Günümüz mimarisinin görevi münferit anıtlar yaratmak değil, ağdaş mimar yalnız form sanatıyla yetinmeyerek çeşitli malzemelerle konstrüksiyon metotlarına vakıf ve bütün bu bilgilere dayanarak bugünün şartlarına göre yapı sanatı oluşturmaktır.

## **KAYNAKLAR**

AGARWALL, B.D., Broutman L.J. 1980. Analysis And Performance Of Fiber Composites. John Wiley & Sons, New York

AKBULUT, Hatem “ Kompozit Malzemeler” Sakarya Üniversitesi, Şubat 2007.

ARMATLI, K. M. , “Havacılık Kompozitleri Ve Mukavemet Maliyet Analizleri”, Anadolu Üniversitesi, Sivil Havacılık Yüksek Okulu,S.175, Eskişehir 1999.

BILLINGTON, David. P.“Betonarme Kabuk Yapılar”,Princeton Üniversitesi, Çağlayan Basım Evi, İstanbul,1975.

BOBLINGEN, D,W. “Das Hyperbolische Paraboloid”,Dbz. Nisan 1975.

CURT, Siegel,“Struktur Formen Der Modernen Architektur”,Verlag Callwey, München,1972.

DANIEL I. M, Ishai O. “ Engineering Mechanics Of Composite Materials”, Oxford University, 1994

E. GÖRÜN. Arun,“Kabuklarda Geometrinin İç Kuvvetler Dağılımına Etkisi”,Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 1983.

GARLOCK, Maria E. Moreyra “Felix Candela Engineer, Builder, Structurel Artist” Yale University, 2008.

GÜMÜŞDERELİOĞLU, Menekşe,“ Kompozit Malzemeler”, Bilim Ve Teknik Yeni Ufuklara, S.2-5,2004.

GÜVEN, Ş. Y.”Kompozit Malzemeler Ve Kullanım Alanları”, Isparta Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Müh. Bölümü, Isparta 1990.

İstanbul Ticaret Odası,“Kompozit Sektör Raporu”, Aralık 2006.

JOEDİCKE, Jürgen, “Shell Architecture” Karl Kramer Verlag, Stuttgart, 1963.

KAZANÇ. Volkan,“ Kompozit Malzemeler Ve Mekanik Özellikleri”, Isparta 2002.

KOLAT. Koray , “Farklı Ortamların Sandwich Kompozitlerin Kırılma Tokluğu Üzerindeki Etkisi”,İzmir, Şubat 2005.

SALVADORI. Mario, Robert Heller, “Mimarlıkta Taşıyıcı Sistem” İstanbul Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Baskı Atölyesi 1980.

MAZUMDAR, S.K, Composites Manufacturing: Material, Product And Process Engineering. Crc Pres, Boca Raton London New York Washington, D.C,2002.

PEARCE P. “Structure İn Nature İs A Strategy For Design” Mıt Eylül, 1978

ROBERT. C. Forney, “Kompozit Malzemeler Çağı, Teknik Ve Uygulama”, Sayı 11, Ekim 1987.

SÖNMEZ. Fazıl Önder, Otomotiv Sanayiinde Kompozit Malzeme Kullanımı, Mühendis Ve Makine, Cilt 39, Sayı 465, Mayıs 2000.

TARAKÇILAR, A.R., Topçu, M., Ve Taşgetiren, S., 1995. Kompozitler Ve Özelliklerini Belirleyen Faktörler. Mühendis Ve Makine, 36:322-329.

TORTOÇ. Alper, “Balsa / Pvc Sandviç Yapılarda Kırılma Tokluğu Etkisinin Nümerik Çalışması”, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Kasım 2009.

Ts 720, “Kompozit Malzeme Deney Ve Kondisyonlama İçin Standart Atmosfer Şartları Föyü”, 1985.

TÜRKÇÜ. H. Çetin, “Çağdaş Taşıyıcı Sistemler”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2009.

TÜRKÇÜ. H. Çetin, “Plastik Malzemelerin Taşıyıcı Sistemlerde Kullanımı”. Eü.Gsf Dergisi, Sayı 4, S.11-18, 1980.

UĞUR. Ö. Aydın, T.C. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Sandviç Kompozitlerde “Balpeteği” Yapısının Optimizasyonu, İzmir, 2009.

YASA E. Halit, “Kompozit Malzeme”, Literatür Yayınları, İstanbul, Ekim 2009.

YILMAZ, Zeynep “Modüler Kabuk Yapıları Sisteminin Uygulanabilirliğinin Araştırılması” Harran Üniversitesi, Şanlıurfa 2007.

## İNTERNET KAYNAKÇASI

<http://www.thuringen-tourismus.de>

[http://i446.photobucket.com/albums/qq183/rammanpandu/25442\\_71ab60c0a2\\_b.jpg](http://i446.photobucket.com/albums/qq183/rammanpandu/25442_71ab60c0a2_b.jpg)

[http://farm4.static.flickr.com/3083/2872439624\\_dbae61691.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3083/2872439624_dbae61691.jpg)

<http://www.mimdap.org/wp-content/uploads/z-fadillioglu-15.jpg>

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/archive/9/9d/201012021218!MIT\\_Kresge\\_Auditorium.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/archive/9/9d/201012021218!MIT_Kresge_Auditorium.jpg)

[http://www.e-pics.ethz.ch/index/ETHBIB.Bildarchiv/images/ETHBIB.Bildarchiv\\_Hs\\_1085-1938-39-1-41\\_42998.jpg](http://www.e-pics.ethz.ch/index/ETHBIB.Bildarchiv/images/ETHBIB.Bildarchiv_Hs_1085-1938-39-1-41_42998.jpg)

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Halles\\_Vue\\_GC3%A9rale\\_Mars\\_3.JPG](http://fr.wikipedia.org/wiki/Fichier:Halles_Vue_GC3%A9rale_Mars_3.JPG)

[http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL\\_MS/img0034.jpg](http://www.columbia.edu/cu/gsap/BT/BSI/SHELL_MS/img0034.jpg)

<http://www.teoremedu.com/content/uploads/17/eski/images/jfk-airport.jpg>

<http://www.teoremedu.com/content/uploads/17/eski/images/jfk-airport.jpg>

[http://farm4.static.flickr.com/3359/3305465577\\_66492760f7.jpg](http://farm4.static.flickr.com/3359/3305465577_66492760f7.jpg)

<http://www.strangeharvest.com/mt/archive/tropicalislandresort.jpg>

<http://www.ins.itu.edu.tr/kutlu/kdtr/shell.htm>

<http://www.frieze.com/uploads/images/back/phillips.jpg>

<http://buildipedia.com/in-studio/building-materials-and-methods/item/799-concrete-innovations?tmpl=component&print=>

[http://roselli.org/tour/09\\_2000/098.html](http://roselli.org/tour/09_2000/098.html)

[http://www.thuringen-tourismus.de/files/Zeiss\\_Planetarium\\_Jenardax\\_275x192.jpg](http://www.thuringen-tourismus.de/files/Zeiss_Planetarium_Jenardax_275x192.jpg)

## ÖZGEÇMİŞ

Adil GÜLER 1984 yılında İstanbul'da doğdu. 2003 yılında Haliç Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümünden 2008'da mezun oldu.2008-2009 güz döneminde Haliç Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisansa başlayıp, Tekfen Mühendislik A.Ş, Fideltus – Öztaş emlak GYO A.Ş, K Mühendislik Ltd. Şti, CCC-TAV taşeronluğunda yurtdışı projesinde görev almıştır ve Astas Grup. Ltd. Şti'de yurtdışı projelerinde çalışma hayatına devam etmektedir.