



T.C.

NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) PROFİLLERDEN OLUŞAN
TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES KİRİŞLERİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZİ

AHMET ARSLAN

Haziran 2019

T.C.
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) PROFİLLERDEN OLUŞAN
TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES KİRİŞLERİN
YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZİ

AHMET ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Haziran 2019

Ahmet ARSLAN tarafından Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN danışmanlığında hazırlanan “Cam Elyaf Takviyeli Polyester (Ctp) Profillerden Oluşan Tek Eğrilikli Uzay Kafes Kirişlerin Yapay Sinir Ağları İle Analizi” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Prof. Dr. Mustafa SARIDEMİR, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Üye : Doç.Dr. İbrahim Özgür DENEME, Aksaray Üniversitesi

ONAY:

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından/....../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun/....../20.... tarih ve sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

Doç. Dr. Murat BARUT
MÜDÜR

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Ahmet ARSLAN

ÖZET

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER (CTP) PROFİLLERDEN OLUŞAN TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES KİRİŞLERİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE ANALİZİ

ARSLAN, Ahmet

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

:Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

Haziran 2019, 143 sayfa

Bu tez çalışmasında, cam elyaf takviyeli polyester (CTP) malzemen kullanılarak üretilen profillerin tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanımı incelenmiştir. Farklı sistem davranışlarını görmek üzere, 40 m açıklık, 10 m yükseklik ve 60 m derinliğe sahip sistemden başlamak üzere, 85 m açıklık 22,5 m yükseklik ve 120 m derinliğe sahip sisteme kadar 20 farklı sistem modeli tasarlanmıştır. Bu tasarlanan sistemlerde 12 farklı yükleme kullanılarak oluşturulan toplam 240 farklı model, SAP 2000 programı ile statik olarak analiz edilmiş ve AISC-ASD89' a göre de boyutlandırılmıştır. Daha sonra boyutlandırılan çubuk elemanların 12 farklı girdi değişkeni kullanılarak minimum kesit alanı değerleri yapay sinir ağı yönteminde geliştirilen model ile tahmin edilmiş ve analiz sonuçlarına yakın değerler elde edilmiştir. Bu çözümler sonunda cam elyaf takviyeli polyester malzemenin yapı malzemesi olarak tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanılabileceği gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Cam elyaf takviyeli polyester, tek eğrilikli uzay kafes sistem, yapay sinir ağı

SUMMARY

GLASS FIBER REINFORCED POLYESTER (CTP) PROFILES ANALYSIS OF SİNGLE-CURVED SPACE CAGE BEAMS WITH ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ARSLAN, Ahmet

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor

:Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN

June 2019, 143 page

In this thesis, the use of profiles in single curvature space truss systems has been used in the preparation of glass fiber reinforced polyester (GRP) materials. To see the different system behavior, is planned from a system with 40 m span, 10 m span and 60 m depth, 85 m span to create 20 different system models up to 22.5 m span and 120 m depth system. In these designed systems, 240 different models in 12 different loading sections were analyzed statically by SAP 2000 program and dimensioned in AISC-ASD89. Then, if the dimensioned bar elements had 12 different input variables, the minimum cross-sectional area was finally estimated with the model on the map in the artificial neural network method and the results of the analysis were obtained soon. It has been observed that this window can be used in single curvature space frame systems as the construction material of glass fiber reinforced polyester material.

Keywords: Glass fiber reinforced polyester, single curvature space lattice system, artificial neural networks

ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, son yıllarda her alanda kullanımı oldukça artmış olan cam elyaf takviyeli polyester (CTP) malzemenin tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde yapı malzemesi olarak kullanımı irdelenmiştir. Bu irdellemelerde, farklı sistem davranışlarını görmek üzere, 240 farklı sistemin statik analizi yapılmış ve tasarlanmıştır. Bu şekilde cam elyaf takviyeli polyester malzemenin yapı malzemesi olarak tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmış ve analizi yapılan sistemlere benzer sistemlerin analizi için tahmin yapabileceğimiz bir yapay sinir ağı geliştirilmiş ve sonuçları birbirleri ile karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans eğitimim boyunca, bana her konuda yardımcı olan, tez çalışmamda da benden yardımlarını hiç esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN' a minnet ve şükran duygularımı belirtmek isterim.

Bu tezi, tez konusunu belirlememde emeği geçen ve araştırmalarımın başında bana maddi manevi her konuda yardımcı olan ve 21.09.2013 yılında aramızdan ayrılan rahmetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Yaşar UĞUR' a ithaf ediyorum ve Allahtan rahmet diliyorum.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
SUMMARY	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
FOTOĞRAFLAR DİZİNİ	xvi
SİMGE VE KISALTMALAR	xvii
BÖLÜM I GİRİŞ	1
1.1 Önceki Çalışmalar	3
BÖLÜM II UZAY KAFES SİSTEMLER	7
2.1 Uzay Kafes Sistemlere Giriş	7
2.2 Uzay Kafes Sistem Şekilleri	9
2.2.1 Düz çatı	9
2.2.2 Kırık çatı	10
2.2.3 Tonoz çatı	10
2.2.4 Kubbe uzay kafes sistem	10
2.2.5 Piramit kafes sistem	11
2.3 Uzay Kafes Sistemlerin Türleri	11
2.3.1 Uzay kafes sistemlerin geometrik olarak sınıflandırılması.....	13
2.3.1.1 Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler	13
2.3.1.2 Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler	14
2.4 Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler	15
2.4.1 Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin oluşumu	17
2.4.2 Tek eğrilikli uzay kafes sistem türleri	20
2.4.2.1 Föppl ağ kabukları.....	20
2.4.2.2 Üç doğrultulu ağ kabuklar.....	21
2.4.2.3 Baklava tipi ağ kabuklar	21
2.4.2.4 Enine katlanmış ağ kabuklar	21
2.4.2.5 Boyuna katlanmış ağ kabuklar	22
2.4.3 Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin yapım sistemleri	23

2.4.3.1 Wuppermann sistemi.....	23
2.4.3.2 Lamella sistemi	23
2.4.3.3 Üçgen çubuk sistemi	25
2.4.3.4 Blumfield sistemi	25
2.5 Çift Eğrilikli (Kubbesel) Uzak Kafes Taşıyıcı Sistemler	26
2.5.1 Çift eğrilikli uzak kafes taşıyıcı sistemlerin oluşumu	27
2.5.2 Çift eğrilikli uzak kafes taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması	27
2.5.2.1 Radyal nervürlü kubbeler	27
2.5.2.2 Schwedler kubbeler	30
2.5.2.3 Lamella kubbeler.....	31
2.5.2.4 Jeodezik kubbeler	32
2.5.2.5 Üç doğrultuda ızgara kubbeler	34
2.5.2.6 Schlink kubbeler.....	35
2.5.2.7 Föppl (ağ, network) kubbeler	35
2.6 Uzak Kafes Sistemlerin Bileşenleri	36
2.6.1 Düğüm noktaları	36
2.6.1.1 Düğüm noktaları türleri.....	37
2.6.1.1.1 Mero düğüm noktası.....	37
2.6.1.1.2 Wachsmann düğüm noktası.....	38
2.6.1.1.3 Oktaplatte düğüm noktası.....	40
2.6.1.1.4 Stafen de Chateau düğüm noktası	40
2.6.2 Çubuklar	41
2.6.3 Konikler	45
2.6.4 Cıvata somun ve pimler	45
2.6.5 Aşıklar ve diğer çelik elemanlar	47
2.6.6 Mesnetler	48
2.6.7 Temel	49
2.6.8 Kaplama.....	49
2.6.9 Korozyona karşı koruma malzemesi	51
2.7. Uzak Kafes Sistem Malzemeleri.....	52
2.7.1 Çelik veya alüminyum malzeme	52
2.7.2 Ahşap	52
2.7.3 Suni Malzemeler.....	52
2.8. Uzak Kafes Sistemlerin Mimarideki İşlevi.....	53

2.8.1 Sanayi yapıları	53
2.8.2 Ürün gösteri salonları	54
2.8.3 Sergi ve fuar yapıları	54
2.8.4 Ulaşım yapıları	54
2.8.5 Spor kompleksleri	55
2.8.6 Alışveriş merkezleri	55
2.9 Uzay Kafes Sistemlerin Avantajları	56
2.9.1 Uzay kafes sistemlerin yapı sistemi olarak avantajları	58
2.9.2 Uzay kafes sistemlerin depreme karşı avantajları	58
2.9.3 Uzay kafes sistemlerin maliyet yönünden avantajları	59
2.10 Uzay Kafes Sistemlerin Montajı	59
2.11 Uzay Kafes Sistemlerin Uygulamasında Karşılaşılan Sorunlar	60
2.11.1 Uzay kafes sistemlerin projelendirme aşaması sorunları	61
2.11.2 Uzay kafes sistemlerin üretim aşaması sorunları	62
2.11.3 Uzay kafes sistemlerin montaj aşaması sorunları	62
BÖLÜM III CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER	63
3.1 Cam Elyaf Takviyeli Polyestere Giriş	63
3.2 Cam Elyaf Takviyeli Polyesterlerin Bileşenleri	64
3.2.1 Elyaf lar	65
3.2.1.1 Cam elyaf lar	65
3.2.1.2 Karbon elyaf lar	66
3.2.1.3 Kelvar 49	66
3.2.2 Dolgu maddeleri	67
3.3 Cam Elyaf Takviyeli Polyesterlerin Özellikleri	69
3.3 Cam Elyaf Takviyeli Polyesterlerin Üretim Metotları	70
3.3.1 El yatırması ve püskürtme yöntemleri	71
3.3.2 Pres kalıplama	73
3.3.3 Takviyeli reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama (RRIM)	76
3.3.4 Reçine enjeksiyon kalıplama (RTM)	77
3.3.5 Elyaf sarma	78
3.3.6 Enjeksiyon kalıplama	79
3.3.7 Otomatik şerit yerleştirme (ATP)	80
3.3.8 Santrifüj kalıplama	80
3.3.9 Devamlı levha	80

3.3.10 Ekstrüzyon	81
3.3.11 Prepreg kalıplama	82
3.3.12 Rotasyon kalıplama	83
3.3.13 Rijitleştirilmiş termoplastik levha.....	83
3.3.14 Vakum torba kalıplama	83
3.3.15 Basınç torba kalıplama	84
3.3.16 Otoklav yöntemi	85
3.3.17 Pultrüzyon yöntemi.....	85
BÖLÜM IV YAPAY SİNİR AĞLARI	91
4.1 Yapay Sinir Ağlarına Giriş	91
4.2 Yapay Sinir Ağları Genel Özellikleri ve Yapısı	92
4.3 Yapay Sinir Ağ Çeşitleri.....	93
4.3.1 Yapılarına göre ağ çeşitleri.....	94
4.3.1.1 İleri beslemeli ağlar	94
4.3.1.2 Geri beslemeli ağlar	94
4.3.1.3 İleri beslemeli geri yayımlı ağlar.....	94
4.3.2 Öğrenme algoritmalarına göre ağ çeşitleri	95
4.3.2.1 Öğretmenli eğitim	96
4.3.2.2 Öğretmensiz eğitim	96
4.3.2.3 Yarı öğretmenli eğitim	96
BÖLÜM V TEK EĞİRLİKLİ UZAY KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ VE	
BOYULANDIRILMASI	97
5.1 Sistemlerin Analiz ve Boyutlandırma Aşamaları	97
5.2. Sisteme Etki Eden Yük Türleri ve Değerleri	98
5.2.1 Sistemlere girilen yük değerleri.....	99
5.3. Sistemin Malzeme Değerlerinin Tanımlanması	119
5.4. Yük Kombinasyonlarının Belirlenip Tanımlanması	120
5.5. Sistemlerde Kullanılacak Olan Kesitlerin Atanması	122
5.6 Sistemin Analizi ve Kesit Atamalarının Yapılması ve Sonuçların Düzenlenmesi.	122
5.7 AISC-ASD89 Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma İlkeleri	127
5.7.1 Kesitlerin sınıflandırılması	127
5.7.2 Gerilmelerin hesabı.....	128
5.7.2.1 Müsaade edilebilir çekme gerilmesi	129
5.7.2.2 Müsaade edilebilir basınç gerilmesi.....	129

BÖLÜM VI CTP PROFİLLERDEN OLUŞAN TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES SİSTEMLERİN KESİT ALANLARININ YSA İLE BELİRLENMESİ	133
BÖLÜM VII SONUÇLAR	135
KAYNAKLAR	137
ÖZ GEÇMİŞ	143



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Uzay kafes sistem hesabında kullanılan çubuk tip ve ölçüleri	44
Çizelge 2.2. Bulonlar ve bunların pim deliği çapları ile net bulon çapları	46
Çizelge 3.1. Genel olarak kullanılan dolgu maddelerinin takviye edici katkılarla birlikte tüketim içerisindeki yüzdeleri	68
Çizelge 3.2. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş profillerin diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırılması	90
Çizelge 5.1 Örnek sistemlerin ölçüleri	97
Çizelge 5.2 Alüminyum sandviç panel birim ağırlık tablosu	100
Çizelge 5.3 Paralel başlıklı U profil kesit değerleri tablosu	101
Çizelge 5.4 Zati kar yükü (P_{k0}) Değerleri tablosu (kg/m^2)	105
Çizelge 5.5 Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme kuvveti	106
Çizelge 5.6 Deprem yer hareketi düzeyleri	108
Çizelge 5.7 Yerel zemin sınıfları	109
Çizelge 5.8 Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	110
Çizelge 5.9 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları	111
Çizelge 5.10 Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları	115
Çizelge 5.11 Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı	116
Çizelge 5.12 Yük kombinasyonları	121
Çizelge 5.13 Sistemlerde kullanılan boru profil kesitlerin özellikleri	123
Çizelge 5.14 Örnek sistem sonuçları	124
Çizelge 5.15. AISC-ASD yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları	128
Çizelge 6.1 Çift eğrilikli uzay kafes sistemler için model parametreleri	133

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Düz eksenli çubuk	8
Şekil 2.2. Eğri eksenli çubuk	8
Şekil 2.3. Düzgün dörtyüzlü (tetrahedion)	9
Şekil 2.4. Düz çatı.....	9
Şekil 2.5. Kırık çatı	10
Şekil 2.6. Tonoz çatı (a) ve Kubbe uzay kafes sistem (b)	10
Şekil 2.7. Piramit kafes sistem.....	11
Şekil 2.8. Doğuray ve doğrultman	12
Şekil 2.9. Uzay kafes sistemlerin geometrik olarak sınıflandırılması	12
Şekil 2.10. Uzay kafes sistemlerin tabakalarına göre sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.11. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem.....	14
Şekil 2.12. Tek eğrilikli uzay kafes sistem (tonoz) (a), Çift eğrilikli uzay kafes sistem (Kubbe) (b) ve Ters eğrilikli uzay kafes sistem (Hiperbolik paraboloid) (c)	15
Şekil 2.13. Düzlem uzay kafes sistemlerin birleştirilmesiyle katlanmış kafes sistem kurulması.....	18
Şekil 2.14. Düzlem uzay kafes sistemlerin birleştirilmesiyle poligonal ve silindir biçimli kafes sistemlerin kurulması	18
Şekil 2.15. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde makas örnekleri	19
Şekil 2.16. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerle enine ve boyuna mekan örtülmesi	19
Şekil 2.17. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde tek veya çift makasla mekan örtülmesi	19
Şekil 2.18. Föppl ağ kabuklarının görüşleri (a) ve Föppl ağ kabuklarının açılımları ve perspektif görüşleri (b)	20
Şekil 2.19. Föppl ağ kabuklarının yan yana kullanılması.....	20
Şekil 2.20. Üç doğrultulu ağ kabuk planı	21
Şekil 2.21. Baklava tipi ağ kabuk planı	22
Şekil 2.22. Enine katlanmış ağ kabuk görüşleri.....	22
Şekil 2.23. Boyuna katlanmış ağ kabuk görüşleri	23
Şekil 2.24. Wuppermann sistemi detayı	24

Şekil 2.25. Wuppermann sistemi	24
Şekil 2.26. Lamella sistemi.....	24
Şekil 2.27. Üçgen çubuk sistemi.....	25
Şekil 2.28. Blumfield sistemi.....	25
Şekil 2.29. Kubbesel uzay kafes sistem	26
Şekil 2.30. Tek katlı kubbesel uzay kafes sistem	28
Şekil 2.31. Çift katlı kubbesel uzay kafes sistem	28
Şekil 2.32. Kubbede bir beşgenin yerleştirilişi	29
Şekil 2.33. Radyal nervürlü kubbeler	29
Şekil 2.34. Schwedler kubbeler	30
Şekil 2.35. Schwedler kubbelerin plan ve görünüşleri	31
Şekil 2.36. Lamella kubbeler	32
Şekil 2.37. Jeodezik kubbeler	33
Şekil 2.38. Üç doğrultulu ızgara kubbeler	34
Şekil 2.39. Schlink kubbelerin plan ve görünüşleri	35
Şekil 2.40. Föppl (ağ, network) kubbelerin plan ve görünüşleri	36
Şekil 2.41. Uzay kafes sistem elemanları	37
Şekil 2.42. Mero sistem küre tipleri.....	38
Şekil 2.43. Mero düğüm noktası.....	39
Şekil 2.44. Wachsmann düğüm noktası.....	39
Şekil 2.45. Çubuk eleman ve küre detayları	42
Şekil 2.46. Çubuklar ve sistemdeki yerleri	43
Şekil 2.47. Çubuk eleman ve küre birleşimi detayları.....	44
Şekil 2.48. Aşık ve eğim dikmesi detayları	48
Şekil 2.49. Mesnet küre ve kolona bağlanmış mesnet detayları.....	49
Şekil 2.50. Dere ve kaplama detayı	50
Şekil 2.51. Uzay kafes sistemde aydınlatma ve havalandırma detayı	51
Şekil 2.52. İçinden tesisat geçen uzay kafes sistem modeli.....	57
Şekil 3.1. Kompozit malzeme bileşenleri	64
Şekil 3.2 Mineral dolgulu kompozitlerde matrisin dolgu maddesi ile ilişkisi	69
Şekil 3.3. El yatırması kalıplama yöntemi	72
Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi	72
Şekil 3.5. SMC hazır kalıplama bileşimi üretimi.....	73
Şekil 3.6. BMC hazır kalıplama bileşimi üretimi	74

Şekil 3.7. GMT kalıplama.....	76
Şekil 3.8. RRIM prosesi.....	77
Şekil 3.9. RTM kalıplama yöntemi.....	78
Şekil 3.10. Elyaf sarma yöntemi.....	78
Şekil 3.11. Enjeksiyon kalıplama	79
Şekil 3.12. Devamlı levha.....	81
Şekil 3.13. Prepreg üretimi	82
Şekil 3.14. Vakum torba kalıplama	84
Şekil 3.15. Başınç torba kalıplama	84
Şekil 3.16. Otoklav yöntemi	85
Şekil 3.17. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş profil detayı.....	88
Şekil 3.18. Pultrüzyon kalıplama yöntemi.....	89
Şekil 4.1. Yapay sinir ağı örneği.....	91
Şekil 4.2. Basit bir sinir hücresi modeli.....	93
Şekil 4.3. Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayılması ağ modeli	96
Şekil 5.1. Uzay kafes sistem çatı kaplaması ve sistem birleşim detayı	101
Şekil 5.2. Paralel başlıklı U profil kesiti (Aşık)	102
Şekil 5.3. Sisteme rüzgar yükünün sağdan yüklenmesi	106
Şekil 5.4. Sisteme rüzgar yükünün soldan yüklenmesi	107
Şekil 5.5. Antalya için yatay elastik tasarım spektrum grafiği	112
Şekil 5.6. Antalya için düşey elastik tasarım spektrum grafiği	114
Şekil 5.7. Kayseri için yatay elastik tasarım spektrum grafiği	117
Şekil 5.8. Kayseri için düşey elastik tasarım spektrum grafiği	117
Şekil 5.9. Niğde için yatay elastik tasarım spektrum grafiği	118
Şekil 5.10. Niğde için düşey elastik tasarım spektrum grafiği	118
Şekil 5.11. Erzincan için yatay elastik tasarım spektrum grafiği	119
Şekil 5.12. Erzincan için düşey elastik tasarım spektrum grafiği	120
Şekil 5.13. Örnek sistem perspektif görüntüsü.....	126
Şekil 5.14. Örnek sistem 3D görüntüsü	126
Şekil 5.15. Sistem kapasite oranlarının grafiği.....	127
Şekil 6.1. Eğitim, doğrulama ve test sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması	134
Şekil 6.2. Eğitim, doğrulama ve test sonuçlarının 973 adet döngü için hata grafiği	134

FOTOĞRAFLAR DİZİNİ

Fotoğraf 2.1. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem uygulaması.....	14
Fotoğraf 2.2. Silindir Yüzeyli Uzay Kafes Sistem (tonoz).....	15
Fotoğraf 2.3. Rodos'daki Rodos Palace Otel'inin üstünü örten net açıklığı 61 m olan radyal nervürlü kubbenin dış görünüşü.....	30
Fotoğraf 2.4. Houston kubbesi.....	32
Fotoğraf 2.5. Jeodezik kubbe.....	33
Fotoğraf 2.6. Britain festivali için yapılan kubbe.....	34
Fotoğraf 2.7. Düğüm noktası birleşim küreleri.....	38
Fotoğraf 2.8. Wachsmann düğüm noktası.....	39
Fotoğraf 2.9. Octaplatte düğüm noktası örnekleri.....	40
Fotoğraf 2.10. Uzay kafes sistem çubukları.....	42
Fotoğraf 2.11. Düğüm noktası ile çubukların birleştirilmesi.....	43
Fotoğraf 2.12. Cıvatalar sıkıldıktan sonra sistemin görünüşü.....	43
Fotoğraf 2.13. Konikler.....	45
Fotoğraf 2.14. Cıvata örnekleri.....	47
Fotoğraf 2.15. Sıcak daldırma ile elektro galvaniz kaplama yapılmış boru profiller.....	51
Fotoğraf 2.16. Elektrostatik toz boya uygulanmış boru profiller.....	53
Fotoğraf 2.17. Uzay kafes taşıyıcı sistem kullanılmış bir karayolu köprüsü.....	55
Fotoğraf 2.18. Spor sahası örnekleri.....	55
Fotoğraf 2.19. Geniş açıklığa sahip uzay kafes sistemin dıştan görünüşü.....	57
Fotoğraf 2.20. Geniş açıklığa sahip uzay kafes sistemin içten görünüşü.....	58
Fotoğraf 2.21. Yerde montajı yapılan sistemin vinçle yerine montajı.....	60
Fotoğraf 2.22. Uzay kafes sistem çatının yerde birleştirilmesi ve yerine montajı.....	60
Fotoğraf 3.1 Profil çekme metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri.....	86
Fotoğraf 5.1 Örnek sistem 2D çizimi.....	98
Fotoğraf 5.2. Alüminyum sandviç panel.....	100

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler	Açıklama
A	Kesit alanı
b	Kesit genişliği
C_{c-w}	Çarpılma sabiti
$(C_u)_{30}$	Üst 30 m de ortalama drenajsız kayma dayanımı
D	Boru kesit dış çapı
D	Dayanım fazlalığı katsayısı
DD-1	Deprem yer hareketi düzeyi-1
DD-2	Deprem yer hareketi düzeyi-2
DD-3	Deprem yer hareketi düzeyi-3
DD-4	Deprem yer hareketi düzeyi-4
e	Maksimum sehim katsayısı
E	Deprem yükü
E	Elastisite modülü
f	Sehim
F_I	1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_a	Hem basınçta hem çekmedeki eksenel gerilme
F_a	Müsaade edilebilir akma gerilme değeri
F_e	Eğilmeli burulmalı burkulma için müsaade edilebilir akma gerilmesi
F_S	Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısı
f_x	x-x eksenine göre sehim
f_y	y-y eksenine göre sehim
F_y	Malzemenin akma gerilmesi
G	Kayma modülü
G	Kesit ağırlığı
γ	Birim hacim ağırlık
g	Yerçekimi ivmesi
g_1	Zati yük

g_2	Kaplama + Aşık yükü
g_3	Tesisat yükü
GJ	Elemanın J ucu sınır değeri
H	Sistem yüksekliği
h	Kesit yüksekliği
I	Bina önem katsayısı
I_y	Kuvvetli eksene göre atalet momenti
I_z	Zayıf eksene göre atalet momenti
i_y	Kuvvetli eksene göre atalet yarıçapı
i_z	Zayıf eksene göre atalet yarıçapı
K	Etkili boy çarpanı
KH	Kontrollü hasar performans düzeyi
K_z	Burulmalı burkulma için etkili boy çarpanı
L	Eleman uzunluğu
L	Sistem uzunluğu
l	Eleman boyu
l_{22-33}	Zayıf ve kuvvetli yönlerdeki etkili eleman boyları
m	Yük azaltma katsayısı
m	Kütle
M_x	x-x eksenine göre moment
M_y	y-y eksenine göre moment
ν	Poisson oranı
$(N_{60})_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı
P	Kesite etkiyen eksenel yük
PGA	En büyük yer ivmesi
PGV	En büyük yer hızı
P_{ko}	Kar yükü
Q	Azaltma çarpanı
q_x	x-x eksenine göre yayılı yük
q_y	y-y eksenine göre yayılı yük
r	Kesit iç pah çapı
r	Atalet yarıçapı
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı

$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
S_I	1.0 saniye periyot için harita spektral ivme katsayısı
$S_{ae}(T)$	Yatay elastik tasarım spektral ivmesi
$S_{aeD}(T)$	Düşey elastik tasarım spektral ivmesi
S_{DI}	1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı
S_{DS}	Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı
S_S	Kısa periyot harita spektral ivme katsayısı
T	Bina doğal titreşim periyodu
t	Boru kesit et kalınlığı
T_A	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{AD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_B	Yatay elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
T_{BD}	Düşey elastik tasarım ivme spektrumu köşe periyodu
t_f	Kesit flanş kalınlığı
T_L	Yatay elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
T_{LD}	Düşey elastik tasarım spektrumunda sabit yerdeğiştirme bölgesine geçiş periyodu
t_w	Kesit et kalınlığı
$(V_S)_{30}$	Üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı
V_t	Taban kesme kuvveti
W	Sistem genişliği
W	Rüzgâr yükü
W	Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı
$W_{el.y}$	Kuvvetli eksene göre mukavemet momenti
$W_{el.z}$	Zayıf eksene göre mukavemet momenti
W_{pl}	Plastisite momenti
W_x	x-x eksenine göre kesitin mukavemet momenti
W_y	y-y eksenine göre kesitin mukavemet momenti
Z	Yerel zemin sınıfı
α	Çatının yatay düzlemle olan açısı
Δt	Sıcaklık farkı
σ	Kesitte oluşan gerilme değeri

σ_d	Çekme dayanımı
σ_{em}	Malzeme emniyetli gerilme değeri
σ_f	Akma gerilmesi

Kısaltmalar

Açıklama

AISC-ASD89	Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü - Müsaade edilebilir Gerilme Tasarımı 1989
ATP	Automatic Tape Placement
BKS	Bina Kullanım Sınıfı
BMC	Bulk Molding Compound
CTP	Camelyaf Takviyeli Polyester
DIN	Deutsches Institut für Normung
GTM	Glass Fiber Thermoplastic Molding
M	Metrik
RRIM	Reinforced Reaction Injection Molding
RTM	Resin Injection Molding
SMC	Sheet Molding Compound
ST	Stahl
TS	Türk Standardı
ÜPT	Üçgen Piramit Tetrahedral
YSA	Yapay Sinir Ağları

BÖLÜM I

GİRİŞ

Uzay kafes taşıyıcı sistemler sistem stabilitesi yüksek yapılardır. Mimaride mümkün olduğunca geniş açıklıklı alanları veya mekânları kolonsuz geçmek tüm çağların bir sorunu olmuştur. Günümüzde, bu sorun uzay kafes taşıyıcı sistemlerle çözülmüştür. Uzay kafes sistemler üç farklı düzlemde bulunan çubuk elemanların bir mafsalsal kürede birleşmesiyle oluşan ve sistem olarak üç doğrultuda da çalışan hiperstatik modüler sistemlerdir. Bütün dünyada uzun yıllardır kullanılan bu sistemler geniş uygulama alanına sahiptirler. Hem geniş hem uzun sistem açıklıklarının geçilmesinde kullanılan öngerilmeli beton, standart çelik makas gibi sistemler yerine daha ekonomik ve uygulaması daha kolay olan uzay kafes sistemler kullanılmaktadır (Soykan, 2007).

Uzay kafes sistemler hafif, rijit ve hiperstatiklik derecesi yüksek olduğundan sistemdeki herhangi bir çubukta meydana gelebilecek bir kopma veya burkulmadan tüm yapı etkilenmemektedir. Bu sistemlerin hiperstatiklik derecelerinin yüksek olması, sistem içinde yük dağılımının sürekli olmasını sağlaması açısından bir avantajdır. Uzay kafes sistemler minimum malzeme ile maksimum verimin alındığı yapısal taşıyıcı sistemlerdir (Soykan, 2007).

Uzay kafes taşıyıcı sistemler, temel biçimleri ve oluşum ilkeleri açısından incelenebilir. Bunlardan biri de tek eğrilikli tonoz şeklindeki uzay kafes sistemlerdir. Bu çalışmada yapı sistemi olarak tek eğrilikli uzay kafes sistemler kullanılmıştır.

İnsanoğlunun 18. yüzyılın ortalarına kadar kullandığı yapı malzemeleri; kâgır malzemeler yani taş, tuğla ve ahşaptır. Metaller üretimlerinin pahalı ve zahmetli olması ve az bulunmaları nedeniyle ana yapı malzemesi olarak değil de yardımcı malzeme (kapı, pencere, birleşim elemanı v.b) olarak kullanılmıştır. Kâgır malzemeler, basınç yönünden mukavemetli olmalarına rağmen çekme mukavemetlerinin düşük olması nedeniyle genellikle duvar, kemer, tonoz gibi yapılarda kullanılmaktadır. Ahşap ise statik açıdan kuvvetli bir malzeme olmasına rağmen, çeşitli dış etkilere özellikle yangına karşı dayanıksızdır. Ayrıca uzunluğu ve kesiti sınırlı olduğundan geniş açıklıklı yapılarda kullanım alanı bulamamıştır (Özbahar, 2007).

18. yüzyılda özellikle körüklü fırının bulunması ile sanayi daha fazla gelişmiş, demir ve çelik; yüksek çekme ve basınç mukavemetleri nedeniyle diğer malzemelere göre daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Çelik binaların statik hesabındaki ve düğüm noktası detaylarının çözümündeki zorluklar nedeniyle çelik, ilk başlarda çok fazla kullanım alanı bulamamıştır. Ancak zaman içerisinde bu malzeme ile ilgili matematiksel metotların geliştirilmesi ve çeliğin endüstriyel üretiminin artması ile yeni yapı formları kazanılmıştır. Özellikle 20. yüzyılda, yapı sistemlerindeki hızlı ve olumlu gelişmeler neticesinde, yüksek yapıların yapılması ve büyük açıklıkların geçilmesinde tercih edilmiştir. Çeliğin ana malzeme olarak kullanıldığı bu yapı sistemlerinin başlıcası belki de en önemlisi uzay kafes sistemlerdir. Fakat ülkemizin, bütün dünyanın en etkili deprem kuşaklarından birisi olan Kuzey Anadolu fay hattının üzerinde olmasından dolayı depreme dayanıklı yapı araştırmaları tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de önem kazanmıştır (Özbahar, 2007).

Deprem hareketi olarak bilinen ivmen tam anlamıyla kontrol altına alınamamaktadır. Fakat yapı kütesinin hafifletilmesi ile orantılı olarak yapıya etkiyen deprem yükü azaltılabilir. Bu durum göz önüne alınarak, depreme dayanıklı yapı ihtiyacını karşılayabilmek için ikame teknolojik ürünler araştırılmaktadır. En son teknolojik ürünlerden birisi de, çelik yapı malzemesine göre daha hafif, korozyon dayanımı yüksek olan Cam elyaf takviyeli polyeester (CTP) malzemelerdir (Sarıbiyık, 2007).

CTP uygulamalarının üstün yanları özetlenecek olursa en başta yüksek mukavemet gelmektedir. CTP yüksek mukavemete sahip malzemeler arasında en etkili olanlardan bir tanesidir. CTP'ler birim alan ağırlığına göre takviyesiz plastikler ve metallere göre çok daha yüksek mukavemet değerlerine sahiptir.

CTP ürünlerin tüm meslek grupları tarafından yaygın olarak kabul görmesinin en önemli nedeni sağlamış olduğu yüksek performandır. CTP malzemeler hem tüketicilerin hem de üreticilerin kullanımında çeşitli yararlar sağlamaktadır.

Yapay sinir ağırları (YSA) yöntemleri son yıllarda birçok mühendislik uygulamasında yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Özellikle inşaat mühendisliği uygulamalarında çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Daha önce yapılmış deneysel ya da teorik çalışmalardan yararlanılarak YSA ile geliştirilen modellerle birçok ham maddenin yâda

sistemin özellikleri çok kısa bir zamanda tahmin edilebilmekte ve genelleştirme yapılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, uzay kafes sistemlerde çelik yapı malzemesi yerine CTP yapı malzemesinin kullanımı incelenmiştir. Bu inceleme yapılırken de farklı sistem davranışlarını görmek üzere, 20 farklı sistem modeli tasarlanmıştır. Bu tasarlanan sistemlerde 12 farklı yükleme kullanılarak toplam 240 farklı modelin, SAP 2000 programı ile statik analizi yapılmış ve AISC-ASD89' e göre de boyutlandırılmıştır. Yapılan analiz ve boyutlandır sonucunda elde edilen teorik sonuçlar kullanılarak YSA'da modeller geliştirilmiş ve geliştirilen modellerle daha farklı sistemlerin çözümlerinin çok kısa bir zamanda tahmin edileceği görülmüştür.

1.1 Önceki Çalışmalar

Depreme dayanıklı yapı tasarımında yapının ağırlığı ile yapıya etki eden deprem yükü doğru orantılıdır. Özellikle insanların yoğun ve kısa süreli bulunduğu geniş açıklıklı uzay kafes sistemlerde yapı ağırlığı bir kat daha önem kazanmaktadır. Bu yapı ağırlığını düşürüp yüksek mukavemetli malzeme olarak CTP düşünülebilmektedir. Daha sonra CTP yapı malzemesi ile hazırlanan sistemler yapay sinir ağları ile de eğitimi sağlanabilmektedir. Bu doğrultuda bu konu ile alakalı yapılmış akademik çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Cumhur (2007), “Pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerle sera modellemesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında pultrüzyon metodu ile üretilen cam elyaf takviyeli plastikler ile yapılacak serada kullanılan profillerin fiziksel ve mekanik özelliklerini, ulusal ve uluslararası düzeyde kabul edilen test metotlarını kullanarak belirlemiştir. Çalışmada standart test metotları ile belirlenen mekanik özellikler deneysel olarak belirlenen fiber ve matriks hacim oranları kullanılarak belirlenen mekanik özelliklerle karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak belirlenen fiber matriks hacim oranları ile üretici firma tarafından verilen fiber matriks hacim oranları ile de karşılaştırılmıştır. Belirlenen mekanik özellikleri kullanarak yapı sistem, bilgisayar ortamında sonlu elemanlar metodu (SAP 2000) ile modellenerek statik ve dinamik yükler altındaki davranışı tespit edilmiş ve seracılıkta yaygın olarak kullanılan geleneksel malzemelerden olan çelik yapılarla karşılaştırılmıştır. CTP profiller ile tasarlanan sera modeli proje ile diğer

geleneksel malzemelerden olan elik profiller ile tasarlanan sera modeli ile proje bazında maliyet açısından karşılaştırılmıştır.

Orhan (2007), “Statik yayılı yük altındaki katmanlı kompozit plakların deneysel ve sayısal incelenmesi” isimli yüksek lisans tez çalışmasında kompozit malzemeden üretilmiş katmanlı kompozit cam ve karbon elyaf plakların statik yayılı yük altındaki gerilme davranışını, dört kenarı ankastre ve basit mesnet olmak üzere iki farklı sınır şartı için deneysel ve sayısal olarak incelemiştir. Cam elyaf kompozit plakların deney sonuçlarının sonlu elemanlar analizinden bulunan sonuçlara daha yakın olduğunu saptamıştır.

Dağ (2012), “Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) ile üçgen piramit modülünde uzay çatı sistemi” adlı tez çalışmasında üçgen piramit veya tetrahedral (PT) modüllerin bir serisine sahip uzay çatı sistemin en az bir kiriş veya yapısal element içerdiğini belirtmiştir. PT modülü bir merkez bağlantı elemanının dört ağ yesi vasıtasıyla tetrahedron köşelerdeki bağlantı elemanlarıyla ilişkilendirerek bir bütün oluşturmuştur. Kübik elmas olarak bilinen kristalli örnek yapı içerisinde her bir PT'yi hayali ve rgsz bir kübik birim kafes içine yerleştirmiştir. PT paralel çubuk içerisinde tek basına veya daha ötesi kiriş içerisine tekrarlanan yönlenmiş modüllerin bir serisini bağlayarak toplamıştır. Paralel ubuklardan birisi bir köşe düğümünün içerisinden geçerek bir PT’e bağlanmıştır. Bu şekilde her bir PT modülünün dört ağ üyesini dört paralel çubuğa bağlamıştır. Dört paralel çubuk içinde bağlanmış PT modüllerinin kombinasyonuyla yapısal eleman, kiriş veya uzay çatı oluşturmuştur.

Alçiçek ve Vatansever (2015), “Uzay kafes çatı sistemlerinin artan düşey yükler altında doğrusal olmayan davranışı” adlı sempozyum çalışmalarında elik uzay kafes sistemlerde yağmur yükü, kar yükü gibi yüklerin tahliye edilememesi ve belli bölgelerde birikmesi sistemlerin göçmesine neden olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca ubuk eleman narinliklerinin ve çubuk eleman başlangıç kusurunun da çubuk eksenel basınç dayanımlarının belirlenmesinde etkin olduğu belirtmişlerdir. Bu sempozyum çalışmalarında, plan boyutu 15mx15m olan bir uzay kafes çatı sistem iki farklı durumu dikkate alarak tasarlamışlar ve düşey doğrultuda artan düşey yükler altında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirmişlerdir.

Koçer (2016), “Fretli kolonların kesme, eğilme ve süneklik kapasitelerinin yapay sinir ağıları ile belirlenmesi” adlı yüksek lisans tezinde betonarme yapılarda bazı durumlarda tercih sebebi olan fretli kolonların eğilme momenti ve kesme kuvveti taşıma kapasiteleri ile deplasman sünekliklerinin akıllı sistem tabanlı bir algoritma ile belirlemişlerdir. Literatürde testleri gerçekleştirilmiş olan 79 adet fretli kolon deneyinden elde edilen moment, kesme kuvveti taşıma kapasitelerini belirli bir düzende hazırlamıştır. Ayrıca test edilen kolonların deplasman süneklikleri de deneysel verilerden faydalanıp hesaplamıştır. Söz konusu derlenen veriler kullanılarak YSA aracılığı ile kolonların moment taşıma kapasiteleri, kesme kapasiteleri ve deplasman süneklikleri yüksek başarı oranında tahmin edilmiştir.

Bayraktar (2016), “Yapay sinir ağıları kullanılarak betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliklerinin tespiti” adlı yüksek lisans tez çalışmasında ülkemiz deprem yönetmeliğinde B2 düzensizliği olarak isimlendirilen taşıyıcı sistemlerdeki rijitlik/yumuşak kat düzensizliklerinin tespiti için YSA algoritmalarını kullanmıştır. Çalışmada birçok betonarme yapıda dükkân, banka veya vitrin gibi tasarım ihtiyaçları sebebiyle zemin kat yüksekliğinin diğer katlardan daha fazla olduğu ve bu tür düzensizlikler depremlerde büyük can ve mal kaybına sebebiyet verdiğini belirtilmiştir. YSA eğitimi için proje çizim aşamasında yapısal çözümleme programı olan STA4CAD yazılımını tercih etmiştir. Üç farklı aks sistemine sahip, toplamda 288 adet kat planı oluşturmuş ve her birinin yapısal çözümlemesini gerçekleştirmiştir. Kat planlarının tasarıma dair özellikleri ve yumuşak kat düzensizliği katsayıları üzerinden ileri beslemeli-geri yayımlı bir YSA eğitimi yapmıştır. Elde edilen sonuçlar gerçek veriler ile karşılaştırmış ve eğitim değişkenlerinin ağıdaki etkinliğini incelemiştir. Çalışma neticesinde betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliğinin mevcut olup olmadığının ve yapısal tasarım özelliklerinin bu düzensizliği hangi seviyede etkilediğinin tespiti için yapısal çözümlemeye ihtiyaç duymadan sadece tasarıma dair muhtelif özelliklerin YSA ile değerlendirilmesi halinde başarılı sonuçlara ulaşacağını saptamıştır.

Özcan (2019), “Tek katmanlı uzay kafes kubbelerde çapraz eleman kullanımının tasarıma etkisinin belirlenmesi” adlı yüksek lisans tez çalışmasında tek katmanlı uzay kafes kubbelerin kullanım alanlarını incelemiştir. En çok tercih edilen kubbe tiplerinden rijit birleşimli nervürlü kubbe ile schwedler tipi mafsallı kubbelerin asimetrik yük

kombinasyonları altındaki davranışını araştırmıştır. Eleman boyutlandırması esnasında güvenlik faktörü olarak doğrusallaştırılmış burkulma analizi ile tespit edilen burkulma katsayısı değeri esas alınmıştır. İnceleme esnasında, global burkulma kontrolünün özellikle narin yapılarda önemine dikkat etmiştir. Her iki modelde de kullanılan malzeme miktarı ve burkulma katsayısı değerlerinin birbirine yakın olduğunu saptamıştır. Ancak sehim miktarı açısından modeller arasında büyük fark olduğunu görmüştür. Mafsallı birleşimli kubbedeki sehim değerinin ise makul düzeyde olduğu ve schwedler tipi kubbenin daha rijit olduğunu saptamıştır.



BÖLÜM II

UZAY KAFES SİSTEMLER

2.1 Uzak Kafes Sistemlere Giriş

İnsanlar uzun yıllar boyunca, yapılar da büyük açıklıkları geçebilmek için birçok yapı malzemesi kullanmışlar fakat kısıtlı ölçülerden ileriye gidememişlerdir. İlerleyen zaman içerisinde gelişen teknoloji ile beraber yeni yapı malzemeleri de kullanılmaya başlanmıştır. Örneğin betonarme ve çeliğin yapı endüstrisinde kullanımı, birçok yapı problemin e çözüm üretmiştir. Bu çözümlerle beraber çeliğin daha yaygın kullanılır hale gelmesi ile birlikte uzak kafes sistemler geniş bir şekilde kullanılır hale gelmiştir.

Uzak kafes sistemler; temel elemanları çubuk elemanlar ve noktasal düğüm noktaları olan ve bu çubuk elemanları birbirlerine bu düğüm noktalarından bağlanmış olan birden fazla düzlem oluşturan, basit çekmeye ya da basınca çalışan ve yükleri uzak içinde üç boyutta dağıtılan hiperstatik yapı sistemleridir (Orbay ve Savaşır, 2004).

Uzak kafes sistemler, üzerinde bulunan ya da etkiyen çeşitli dış yükleri iki doğrultuda olmak üzere mesnetlere iletilir. Bu sistemler statik olarak kesitlerde aşırı zorlama olmaksızın büyük açıklıklı, estetik mimari yapıların inşa edilmesini sağlamıştır. Bu yapıların geniş açıklıklı olması ile mekanlar daha ferah ve kullanışlı bir hal almıştır (Orbay ve Savaşır, 2004).

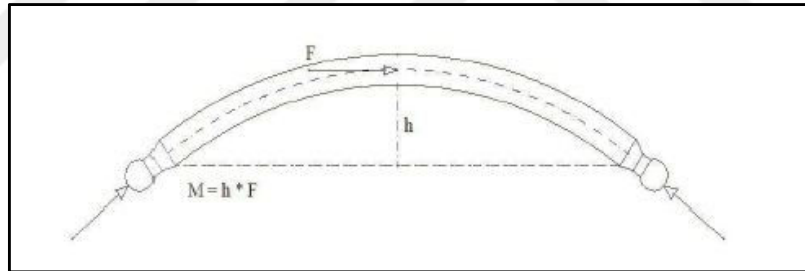
Uzak kafes sistem boru, küre, konik eleman, cıvata, somun, aşı k ve mesnet elemanlarından oluşmasına karşın genel üretimi boru ve küre üzerinedir. Sistemin bu iki ana bileşenden oluşmasından dolayı ve bu elemanların belirli standartlar çerçevesinde üretilmesi, bu sistemin daha fabrikasyona yatkın olmasını sağlamaktadır. Ayrıca bu fabrikasyon durum sistemi modüler hale getirmektedir. Bu bileşenler diğer sistemlerin elemanlarına nazaran çok daha hafif olması ile birlikte aşırı rijit üç boyutlu sisteme sahip yapılar oluşturmaktadır. Sistemin modüler olmasından dolayı kolay ve hızlı bir şekilde montajı yapılmaktadır. Fabrikasyon üretimden dolayı elemanlar milimetre duyarlılığında üretilmektedir. Elemanların hepsi demonte olarak üretilmesinden dolayı kurulan bir yapının yeri kolayca değişebilmektedir. Basit montaj aletleri kullanılarak

çok büyük alana sahip uzay kafes sistemler oluşturulabilmektedir. Montaj yerde yapıp vinçle yerine monte edilebildiği gibi yerinde örme işlemi ile destekler vasıtasıyla yapılabilir. İmalat ve montaj sürelerindeki kısaltmalar yapı maliyetini oldukça düşürmektedir (Ülker, 2007).

Uzay kafes sistemlerde en önemli elemanlardan olan çubuklar sistem maliyetini oldukça etkilemektedir. Sistemdeki çubukların aksenal basınç ve çekmeye çalışmasından dolayı çubukların eksenlerinin oldukça düz olması gerekmektedir aksi takdirde moment alabilirler. Çubuklar genellikle boru kesite sahiptirler. Şekil 2.1.'de düz eksenli çubuk, Şekil 2.2.'de ise eğri eksenli çubuk elemanların çizimleri verilmiştir (Ülker, 2007).



Şekil 2.1. Düz eksenli çubuk

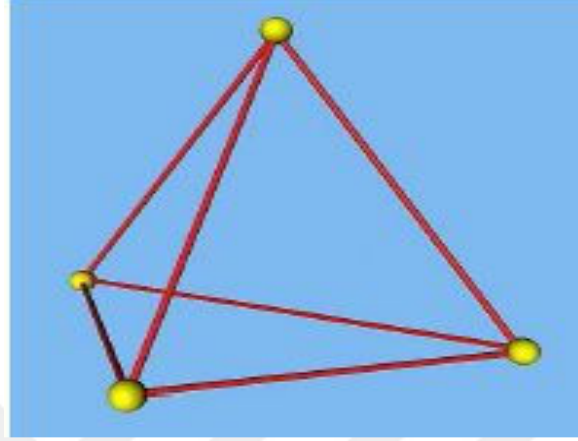


Şekil 2.2. Eğri eksenli çubuk

Uzay kafes sistemler genel olarak sisteme gelecek bütün dış yüklere karşı dayanıklı olması için düzgün dörtyüzlü oluşturacak şekilde üretilirler. Şekil 2.3.'de görüldüğü gibi bir düzgün dörtyüzlü dört düğüm ve altı çubuktan oluşturulurlar.

Ülkemizde yirmi civarında firma çelik malzeme kullanarak uzay kafes sistem imalat ve montajı yapmaktadır. Bu firmaların çok sayıda uzay kafes sistemin başarılı bir şekilde inşa edilmesinin yanında çok az sayıda değişik sebepten dolayı uzay kafes sistemin ya tamamı ya da kısmı bir bölümünün göçtüğü de bir gerçektir. Uzay kafes sistemler strüktür geometrisinden dolayı kare, dikdörtgen poligon ve daire şeklindeki mekânları düzgün biçimde kapatabilir. Düzlem yüzeyler ve katlı düzlem yüzeyler bunun örneği

olacağı gibi, kubbe ve tonozsal biçimlerde oluşabilmektedirler. Farklı sistemleri de içinde rahatça barındırabilmektedir. Elektrik ve sıhhi tesisat, havalandırma ve klima sistemleri oldukça kolay bir şekilde uzay kafes sistemlerin içerisinde yer bulur (Ülker, 2007).

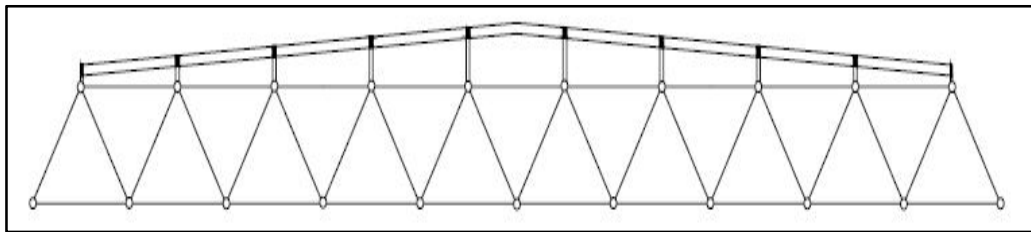


Şekil 2.3. Düzgün dörtyüzlü (tetrahedion)

2.2 Uzay Kafes Sistem Şekilleri

2.2.1 Düz çatı

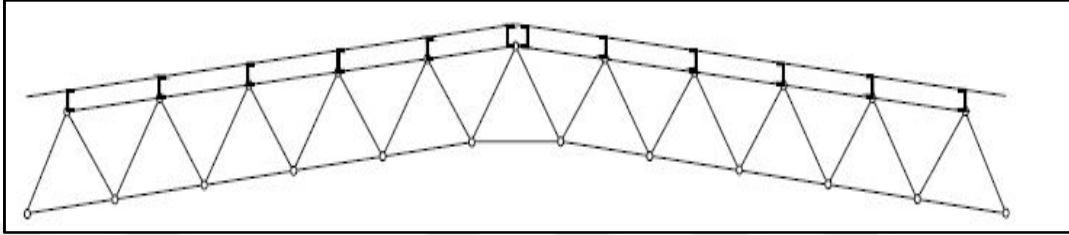
İki doğrultulu yatay kesitli uzay kafes sistemdir. Eğer kafes sistem çatı kaplama malzemesi eğimli bir şekilde kaplanacak ise, çeşitli boylardaki eğim dikmeleri üst düğüm noktalarına yerleştirilir. Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi eğim dikmelerinin üzerine aşıklar oturtularak çatının çözümü yapılmış olur (Özbahar, 2007).



Şekil 2.4. Düz çatı

2.2.2 Kırık çatı

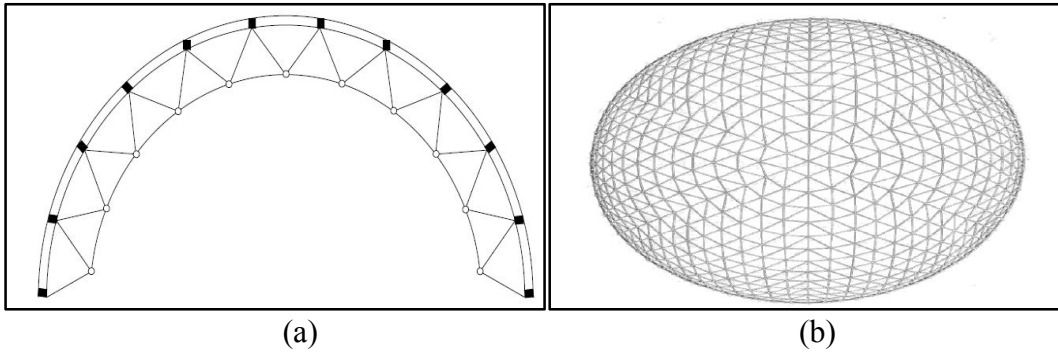
Bir doğrultulu yatay kesiti kırık olan uzay kafes çatı sistemlerdir. Çatının eğimi, uzay kafes sistemin sahip olduğu eğimle aynıdır. Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi çatı kaplama malzemesi direk olarak uzay kafes üst başlık çubuklarına veya eğim dikmesi kullanılmaksızın aşıklara oturtulur. (Özbahar, 2007).



Şekil 2.5. Kırık çatı

2.2.3 Tonoz çatı

Sistem kesiti yarım daire veya bir daire parçası olan uzay kafes sistemlerdir. Çatı kaplama malzemesi yapıya direk montaj edilir (Özbahar, 2007). Tezin ana konusu olan tek eğrilikli uzay kafes sistemin kendisidir. Şekil 2.6.(a)'da bir tonoz çatı örneği yatay kesiti çizimi görülmektedir.



Şekil 2.6. Tonoz çatı (a) ve Kubbe uzay kafes sistem (b)

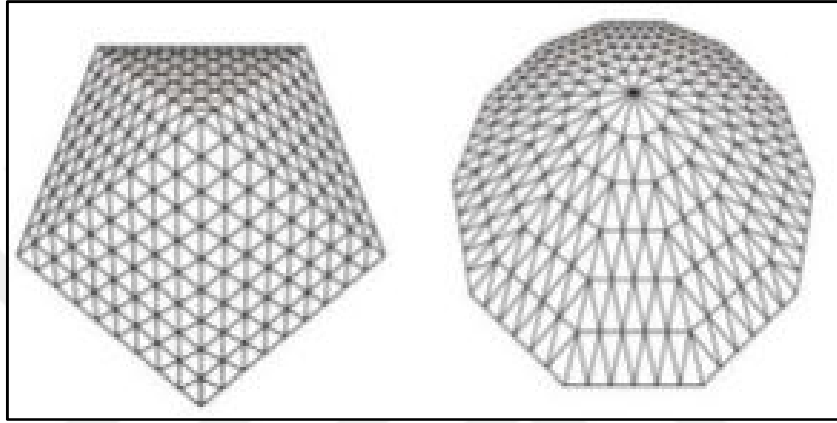
2.2.4 Kubbe uzay kafes sistem

Kubbesel uzay kafes sistemler, yarım küre veya bir küre parçası şeklinde olan uzay kafes sistemlerdir. Kürenin doğal geometrik yapısı sebebi ile tek katmanlı kubbe yapısı

oluşturur. Şekil 2.6.(b)' de kubbesel uzay kafes sistemin üstten görünüşü verilmiştir (Özbahar, 2007).

2.2.5 Piramit kafes sistem

Mimari planda iki doğrultuda da kırık şeklinde olan piramit şeklinde uzay kafes sistemdir Şekil 2.7.'de piramit kafes sistem örnekleri görülmektedir (Özbahar, 2007).

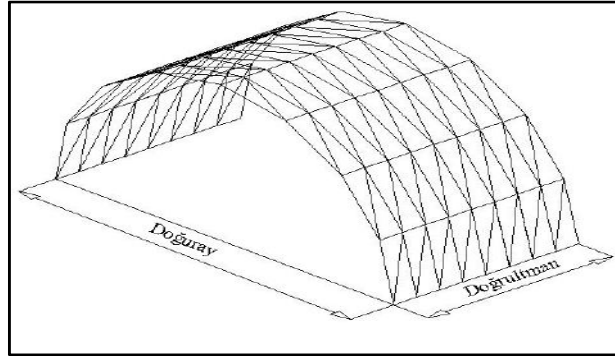


Şekil 2.7. Piramit kafes sistem

2.3 Uzay Kafes Sistemlerin Türleri

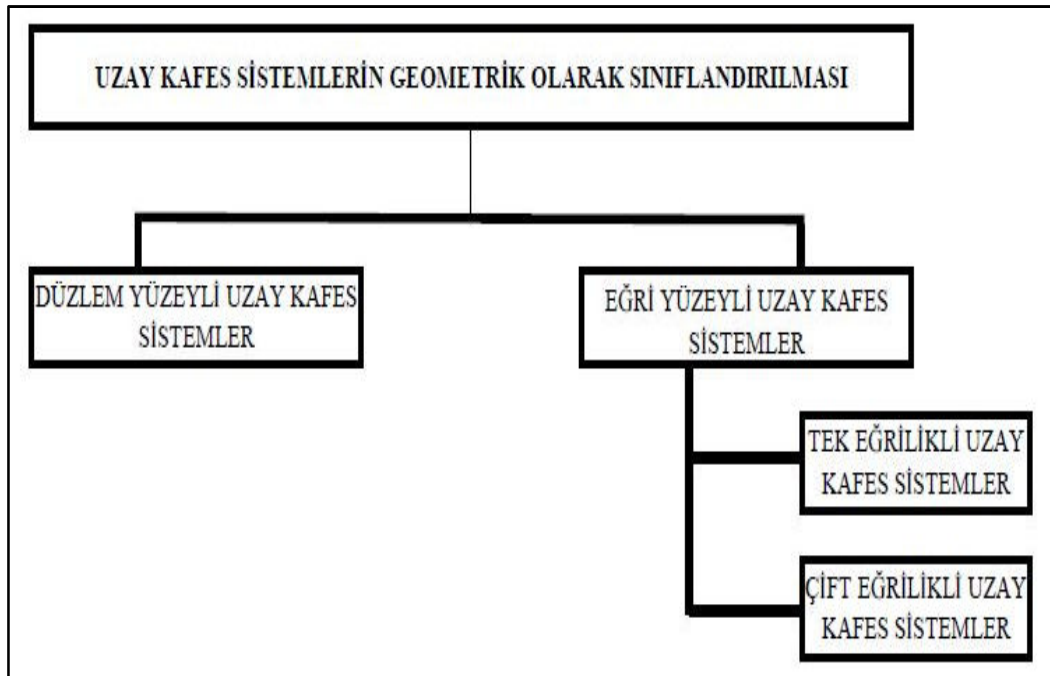
Genellikle yapının strüktür geometrisi oluşturulurken nokta, çizgi, düzlem ve hacim gibi temel geometrik kavramlar kullanılmaktadır. Bu geometrik kavramları baz alacak olur ve uzay kafes sistemlere uygulayacak olursak düğümler bir noktaya, tek doğrultulu çubuk elemanları da çizgiye benzetilmektedir. Uzay kafes sistemler 3 boyutlu belirli bir hacmi olan geometrik sistemlerdir. Yapı geometrisinin türetilmesi için 2 ayrı yöntem izlenir. İlk olarak doğru ya da eğri aynı düzlem üzerinde yer alan eksen etrafında belirli bir açıyla döndürülerek ile hacimsel bir yüzey türetilir. Hacimsel yüzey elde etmeye örnek verecek olursak, bir çember yayı düşünelim merkezinden geçmekte olan bir doğru etrafında düzleme dik yönde bulunan diğer düzlem içerisinde bulunan bir doğru üzerinde ötelenmesi ile üretilir. Eğer çember parçasını düzlemine dik bir doğru parçası üzerinde ötelersek silindir yüzeyi, bir çember ya da bir parabol yayı üzerinde ötelersek hiperbolik paraboloid ya da eliptik paraboloid elde edilir. Bu ötelenen yaya doğuray yayı, doğuray yayının ötelenmiş olduğu doğru parçasına doğrultman ismi verilir.

Doğuray yayının ve doğrultman parçasının bir uzay kafes sistem üzerinde gösterimi Şekil 2.8.'de verilmiştir (Soykan, 2007).

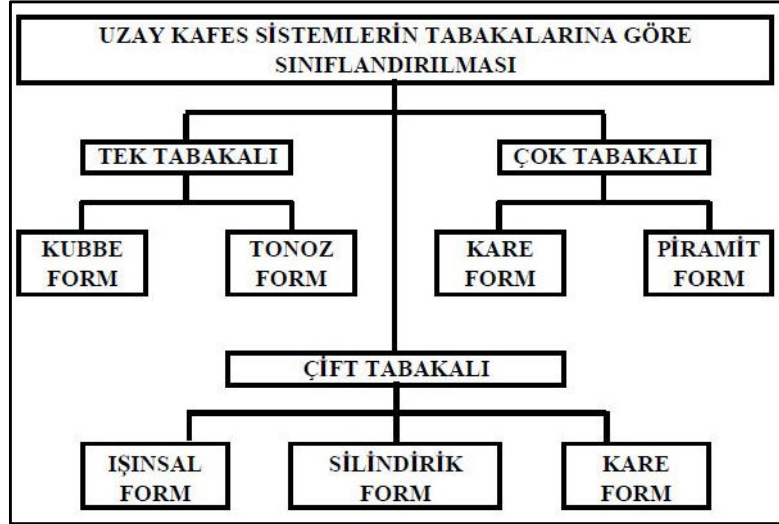


Şekil 2.8. Doğuray ve doğrultman

Uzay kafes sistemler, strüktür geometrisi bakımından incelenecek olursa; düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli şeklinde iki ana grubu ayrılabilirler. Başka açıdan bir inceleme yapılacak olursa tek katlı, çift katlı ve çok tabakalı sistemler olarak da ayırım yapılabilir. Şekil 2.9.'da uzay kafes sistemlerin geometrik olarak sınıflandırılması, Şekil 2.10.'da ise uzay kafes sistemlerin tabakalarına göre sınıflandırılması verilmiştir (Soykan, 2007).



Şekil 2.9. Uzay kafes sistemlerin geometrik olarak sınıflandırılması



Şekil 2.10. Uzay kafes sistemlerin tabakalarına göre sınıflandırılması

2.3.1 Uzay kafes sistemlerin geometrik olarak sınıflandırılması

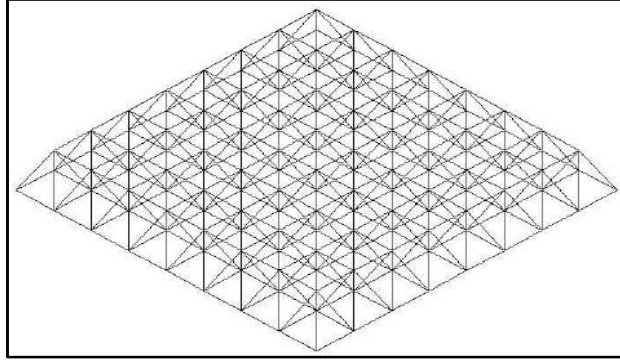
2.3.1.1 Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler

En yaygın kullanılan uzay kafes sistemlerdir. Başka bir deyişle düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler en iyi bilinen, en basit formda olan uzay kafes sistem türüdür. Şekil 2.11.'de görüldüğü gibi düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, çubuklardan yapılmış minimum iki adet düz ızgaranın düğüm noktalarından birbirine kendi aralarında belirli bir mesafe kalacak biçimde bağlanmasıyla oluşturulur.

Bu tür uzay kafeslerin doğuray yayı ve doğrultman çizgisi düz çizgidir. Bu her iki çizginin düz olması sebebi ile herhangi bir eğrilığe sahip değildir. Düz, eğik ve katlanmış yüzeyler olarak kullanılabilirler.

Düzlem yüzeyli uzay kafesler çift katlı üretilirler. Tek katlı yapıyorsa, mafsallı düğüm noktaları kullanımından dolayı sistemde stabilite sağlanmamaktadır. Üst ve alt tabaka çubukları arasında yükseklikten dolayı kiriş şeklinde çalışmaktadır. Çatı sistemlerinde kullanılabildikleri gibi düz olmalarından dolayı döşeme olarak da kullanılabilirler. Yüzeysel uzay kafes sistemlerin ana modülü çubukların birleştirilmesi ile oluşan üçgen, dörtgen veya altıgen piramitlerdir. Bu sistemler doğrusal eleman biçiminde kule ve köprü yapımında kullanılabilirler. Bu piramitlerin birbirlerine bağlanması ile de taşıyıcı

sistem oluşturulabilmektedir. Fotoğraf 2.1.'de bir düzlem yüzeyli uzay kafes sistem uygulaması örneği verilmiştir (Soykan, 2007).



Şekil 2.11. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem



Fotoğraf 2.1. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistem uygulaması

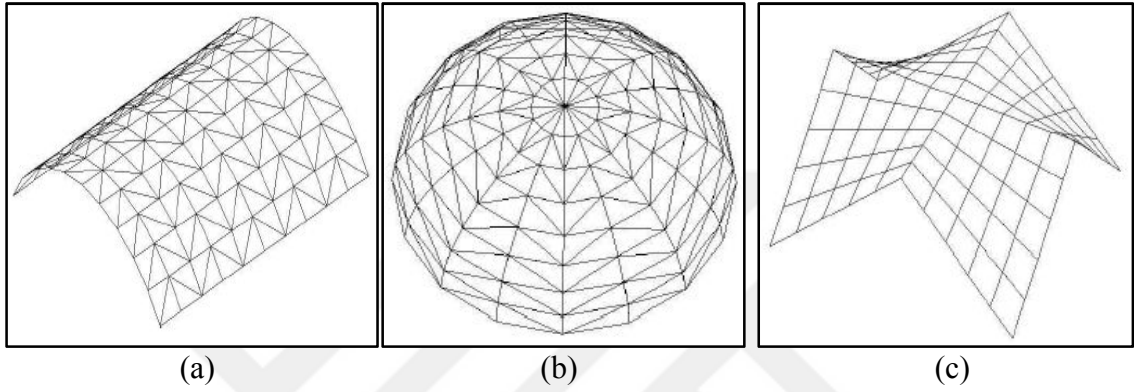
2.3.1.2 Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler

Doğuray ve doğrultman yayının bir tanesinin eğri olmasından dolayı eğri yüzeyli bir uzay kafes sistem elde edilir. Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler, yüzey geometrilerine göre ikiye ayrılır. Doğuray ve doğrultman yayından sadece bir tanesi eğri ve diğeri bir doğru ise “tek eğrilikli sistemler” ikisi de eğri ise “çift eğrilikli sistemler” elde edilir (Eşsizoğlu, 2007).

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemler, eğri yüzey çizgi ağına bölündükten sonra, çizgilerin kesişme noktalarına düğüm noktaları, düğüm noktalarının aralarına da çizgi boyunca

Çubuklar yerleştirilerek oluşturulur. şekil 2.12.(a) 'da tek eğrilikli uzay kafes sistem (tonoz) perspektif çizimi verilmiştir (Eşsizoğlu, 2007).

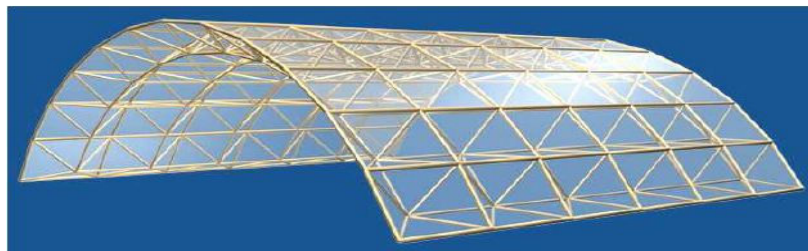
Çift eğrilikli uzay kafes sistemler eğrilik yönlerine göre ikiye ayrılır. şekil 2.12.(b)' de görüldüğü gibi eğrilikleri aynı tek bir yönde ise eş eğrilikli (kubbe ve eliptik paraboloid), şekil 2.12.(c)'de görüldüğü gibi ters yönde ise ters eğrilikli (hiperbolik paraboloid) sistemler elde edilir. (Eşsizoğlu, 2007).



şekil 2.12. Tek eğrilikli uzay kafes sistem (tonoz) (a), çift eğrilikli uzay kafes sistem (Kubbe) (b) ve Ters eğrilikli uzay kafes sistem (Hiperbolik paraboloid) (c)

2.4 Tek Eğrilikli Uzay Kafes Sistemler

Eğri yüzeyli doğurayın, bir doğru parçası olan doğrultman üzerinde ötelenmesiyle oluşan sisteme tek eğrilikli uzay kafes sistem denir. Fotoğraf 2.2. 'de görüldüğü gibi elde edilen geometrik şekil, tonoz şeklinde dir. Bu nedenle böyle sistemler tonoz veya silindir yüzeyli uzay kafes sistem olarak da ifade edilir. Tonoz, bir kemerin kendi düzlemine dik bir eksen boyunca tekrarlanması ile elde edilen eğrisel örtü elemanıdır. Tonoz yapılar, yükleri mekân içinde yönlendirerek zemine aktaran sistemlerdir (Eşsizoğlu, 2007).



Fotoğraf 2.2. Silindir yüzeyli uzay kafes sistem (tonoz)

Doğuray yayı; daire, elips, parabol yayı gibi herhangi bir yay olabilir. Tek eğrilikli uzay kafes sistemler; doğuray yayının şekline göre, çember yaylı, parabol yaylı ve elips yaylı uzay kafes sistemler olmak üzere sınıflandırılır. Bu sistemler, tek veya çift tabakalı yapılabilir. Özellikle 20 ile 25 metre gibi açıklıklardan sonra çift tabakalı yapılmaları tavsiye edilir. Çünkü çubuklar arasındaki açı 180 dereceye yaklaştıkça çubuklar üzerindeki eksenel kuvvetler oldukça büyümektedir. Bu durum sistemde bir instabilite tehlikesine yol açar. Yani büyük tekil yükler altında düğüm noktalarının içeriye itilmesi olasılığı vardır. Bu nedenle çubuk açılarının 170 dereceyi aşmaması, aşması durumunda ise sistemin çift tabakalı olarak yapılması gerekmektedir (Özbahar, 2007).

Çift tabakalı uzay kafes sistemlerdeki düğüm noktalarının mafsallı oldukları ve moment taşımadıkları kabul edilir. Tek tabakalı uzay kafes sistemlerde ise mafsallı düğüm noktaları kullanmak mümkün değildir. Mafsallı düğüm noktası kullanıldığı zaman sistem labil olur, hareketi önlenemez. Bu nedenle tek tabakalı uzay kafes sistemlerde çubuklar, birbirlerine veya düğüm noktalarına kaynakla birleştirilir. Kaynakla birleşim sistemin temel mantığına aykırı olduğu için tek eğrilikli uzay kafes sistemler genellikle çift tabakalı olarak yapılır.

Tek tabakalı silindir yüzeylere piramitler eklenerek bir bakıma üst tabakası olmayan, sadece alt tabaka ve çubuklardan oluşmuş bir tonoz sistem elde etmekte mümkündür. Böyle bir çözümlemeyle çubuklar arası açının açılması önlenerek daha büyük açıklıkları tek tabaka ile örtmek mümkün olabilmektedir.

Tek eğrilikli ve tek tabakalı uzay kafes sistem uygulamalarında çubukların arasında kalan alanların üçgen olması sistemin dayanımını arttırmaktadır. Çünkü en stabil şekil üçgendir. Bu nedenle doğuray yönündeki çubuklarla doğrultman yönündeki çubukların arasından bir sıra daha çubuk geçirilir. Böylece sistem üç yönlü ızgara şekline dönüşür. Yapılan testler ve analizler sonunda, üç yönlü kafes ızgaradan meydana gelen kemerlerde kuvvet dağılımının eşit olduğu ve sistemin son derece rijit davrandığı tespit edilmiştir (Özbahar, 2007).

Tek eğrilikli uzay kafes sistemler ile geniş açıklıklı binaların örtülmesi fiyat ve malzeme bakımından diğer sistemlere göre daha ekonomiktir. Tek eğrilikli uzay kafes

sistemler, özellikle 25 ile 30 metreden sonra ekonomik olmaktadır. Örtülecek alanın planı kareye yakınsa sonuçlar daha da ekonomiktir (Eşsizozğlu, 2007).

Tek eğrilikli uzay kafes sistemler, geometrik özellikleri nedeniyle kolay çözülürler. Ancak statik dirençleri çift eğrilikli yüzeylere göre daha azdır. Tek eğrilikli uzay kafes sistemler, bir yönde sabit diğer yönde de hareketli mesnetlere oturtulursa, hesaplanan çubuk kalınlıklarına bağlı olarak sistemin ağırlığı ve maliyeti artmaktadır. Eğer her iki yönde sabit mesnetlere oturtulursa sistem daha ekonomik olmaktadır.

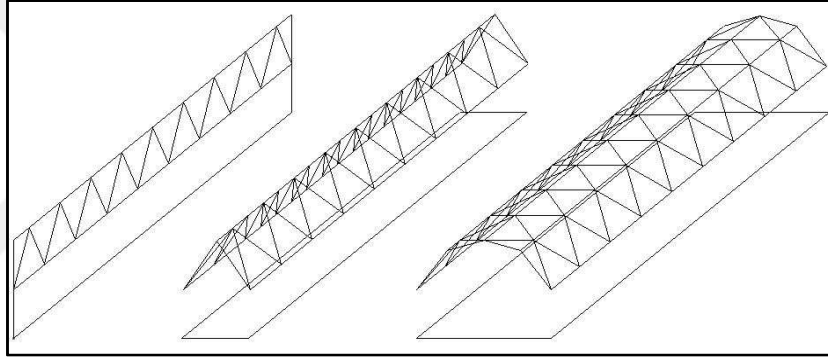
Düzlem uzay kafes sistemlerle tek eğrilikli uzay kafes sistemler karşılaştırılacak olursa, tonoz şekli sisteme yapısal bir üstünlük getirir. Düzlem sistemlerde sisteme etkiyen yükler, etki yönüne dik olarak mesnetlere iletilir. Tek eğrilikli sistemlerde ise çubuk elemanlar arasındaki açı, sistemin ortasında bile 180° den küçüktür. Bu durum statik ve stabilite yönünden tek eğrilikli uzay kafes sistemleri üstün kılmaktadır. Ayrıca sistemin geometrik yapısı çubuk en kesitlerinin azalmasına da yol açmaktadır. Böylece tek eğrilikli sistemler, benzeri diğer sistemlere göre hem daha hafif hem de maliyet açısından daha ekonomik sonuçlar vermektedir. Fakat aynı şartlarda yüzey alanı düzlem uzay kafes sistemlere göre daha fazla olmaktadır (Vural, 2005).

2.4.1 Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin oluşumu

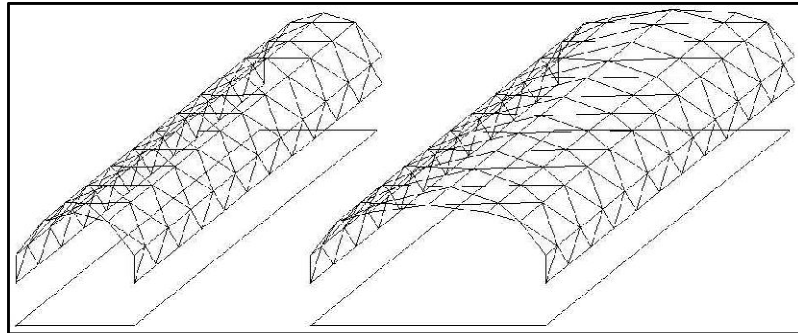
Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin oluşumunu incelerken, öncelikle düzlem uzay kafes sistemlerin nasıl oluştuğuna bakmak gerekir. Şekil 2.13.'de görüldüğü gibi düzlem uzay kafes sistemler birleştirilerek, katlanmış bir kafes sistem kurulabilir. Şekil 2.14.'de görüldüğü gibi birleştirmeye devam edilecek olursa poligonal ve devamında silindir biçiminde katlanmış sistemler ortaya çıkar. Ancak oluşturulan bu sistemler rijit olmaz, yükler karşısında deforme olur. Çünkü örtülecek mekan sadece karşılıklı iki kenarı üzerinde mesnetlenmektedir. Yani mesnetler iki doğrultu üzerindedir. Sistemi rijit hale getirebilmek için mekânın diğer kenarları üzerinde de mesnetlerin oluşturulması gerekir. Bunu sağlamak için mesnet görevini gören Şekil 2.15.'de örnekleri verilen makaslar kullanılır. Tonoz biçimli bu sistemler, dengeli yükler altında çok iyi performans gösterir (Vural, 2005).

Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerle açıklıkları Şekil 2.16'da görüldüğü gibi enine ve boyuna geçmek mümkündür. Boyuna ve enine geçişlerde sistemler birbirinden farklı çalışır. Boyuna geçişlerde örtünün boyu uzayıp eni kısalmır, enine geçişlerde ise tam tersine örtünün eni uzayıp boyu kısalmaktadır Boyuna geçişte yüklerin, iki uç makasa (veya iki kalkan duvara) iletildiği varsayılarak hesap yapılır. Bu durumda uzun kenar boyunca bağlantılar çekmeye çalışır. Enine geçişte ise çekme doğrultusu yine uç makas boyuncadır. Yükü karşılamak için makasa paralel kirişlere gereksinim vardır (Vural, 2005).

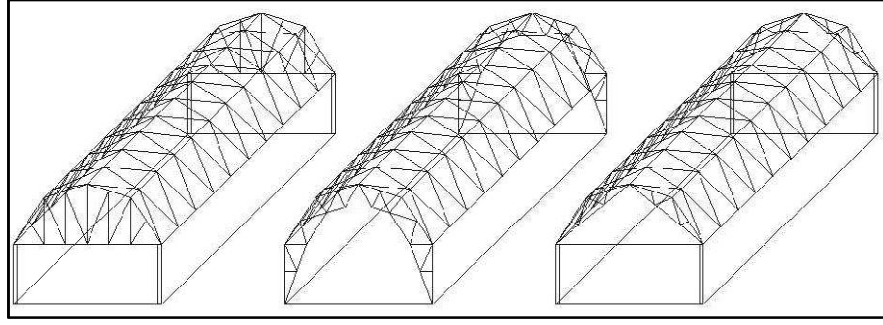
Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde çubuk elemanların diziliş biçimleri değişiktir. Dolayısıyla yüklerin dağılımı da değişik olmaktadır. Bu durumda her çubuk hesap edilerek çalışma prensipleri bulunur.



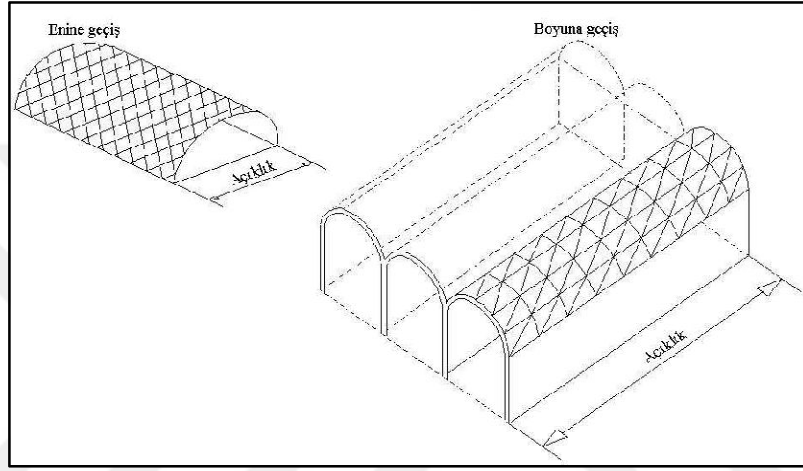
Şekil 2.13. Düzlem uzay kafes sistemlerin birleştirilmesiyle katlanmış kafes sistem kurulması



Şekil 2.14. Düzlem uzay kafes sistemlerin birleştirilmesiyle poligonal ve silindirik biçimli kafes sistemlerin kurulması

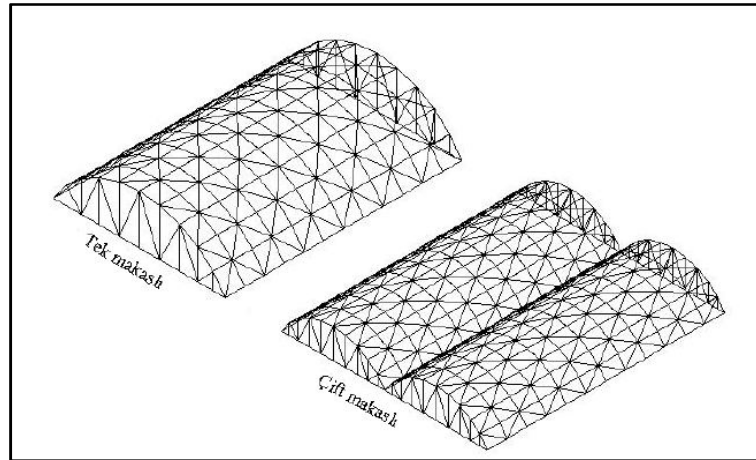


Şekil 2.15. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde makas örnekleri



Şekil 2.16. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerle enine ve boyuna mekan örtülmesi

Şekil 2.17.'de verilmiş olduğu gibi mekânları tek bir tonozla örtmek mümkün olduğu gibi iki veya daha fazla tonozla da örtmek mümkündür.

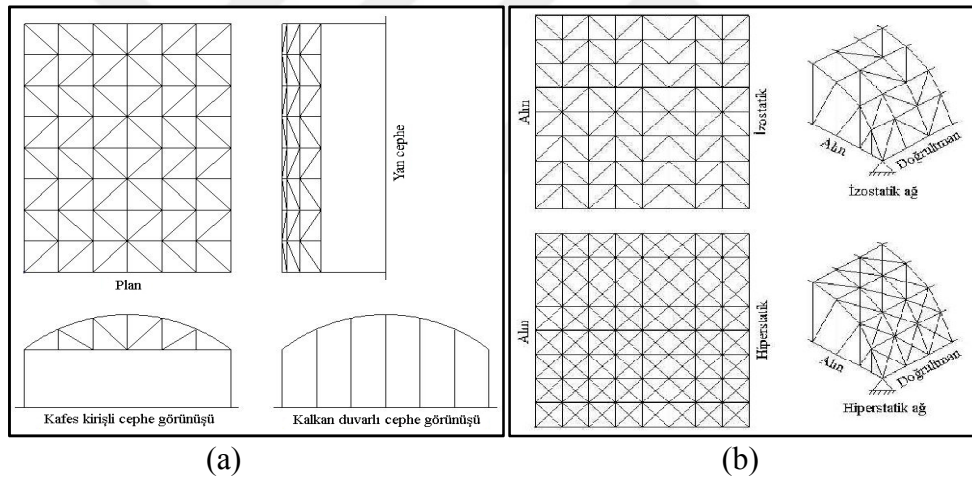


Şekil 2.17. Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde tek veya çift makasla mekân örtülmesi

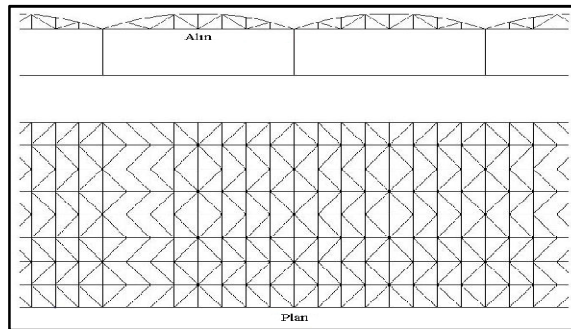
2.4.2 Tek eğrilikli uzay kafes sistem türleri

2.4.2.1 Föppl ağ kabukları

Föppl ağ kabukları, en kesit olarak belirli bir eğri seçilerek düğüm noktaları bu eğri üzerinde olacak şekilde düzlem kafes sistemlerin birleştirilmesi ile yani, birinin üst başlığı diğerinin alt başlığı olacak şekilde bağlanmasıyla oluşmaktadır. Şekil 2.18.(b)'de görüldüğü gibi föppl ağ kabukları izostatik ve hiperstatik olmak üzere ikiye ayrılır. İzostatik ağ kabuklarında aralara çekme çubukları konulmak suretiyle hiperstatik sistemler elde edilir. Eğer sistem kare veya kareye yakın ise sonuçlar daha ekonomiktir. Şekil 2.19.'da verilmiş olduğu gibi föppl ağ kabuklarını yan yana kullanarak daha geniş açıklıkları geçmek mümkündür. Şekil 2.18.(a)'da Föppl ağ kabuklarının cephe ve plan görüşleri verilmiştir (Özbahar, 2007).



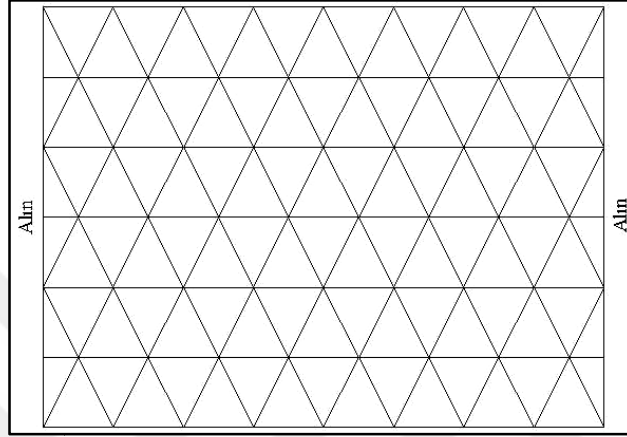
Şekil 2.18. Föppl ağ kabuklarının görüşleri (a) ve Föppl ağ kabuklarının açılımları ve perspektif görüşleri (b)



Şekil 2.19. Föppl ağ kabuklarının yan yana kullanılması

2.4.2.2 Üç doğrultulu ağ kabuklar

Föppl ağ kabuklarının dikmelerinin kaldırılması ile üç doğrultulu ağ kabuklar elde edilir. Bu sistemin en büyük avantajı tek bir düğüm noktası tipi ile çözülebilmesidir . Şekil 2.20.'de herhangi bir üç doğrultulu ağ kabuğun plan görünüşü verilmiştir. (Özbahar, 2007).



Şekil 2.20. Üç doğrultulu ağ kabuk planı

2.4.2.3 Baklava tipi ağ kabuklar

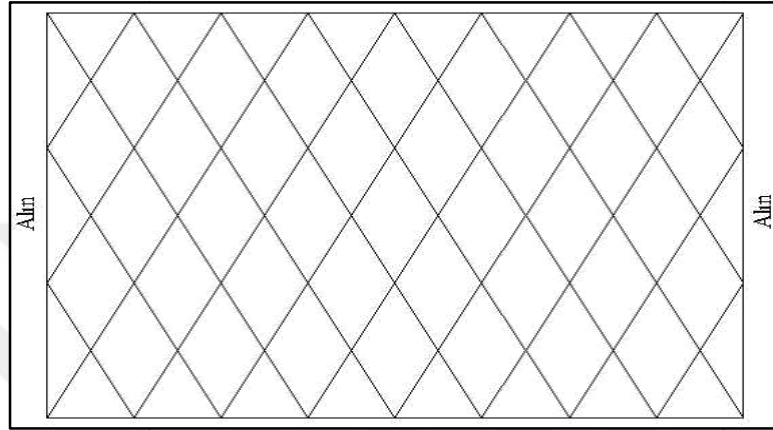
Baklava tipi ağ kabuk sisteminde Şekil 2.21.'de görüldüğü gibi diğer sistemlerden farklı olarak doğrultman şeklindeki elemanlar bulunmaz. Baklava tipi ağ kabuklarında, eğik giden çubuklara boy kesitte bakıldığında, zeminle yaptığı açı küçük olmamalı, yatık olmalıdır. Tersine bir durum olursa çubuklar yükleri bir uçta zemine verirken diğer uçta alın elemanına verecek, bu şekilde de alın elemanı açmaya zorlanacaktır. Böyle bir durumda alın elemanı çok rijit yapılmalı ve yükleri emecek ilave tedbirler alınmalıdır (Özbahar, 2007).

2.4.2.4 Enine katlanmış ağ kabuklar

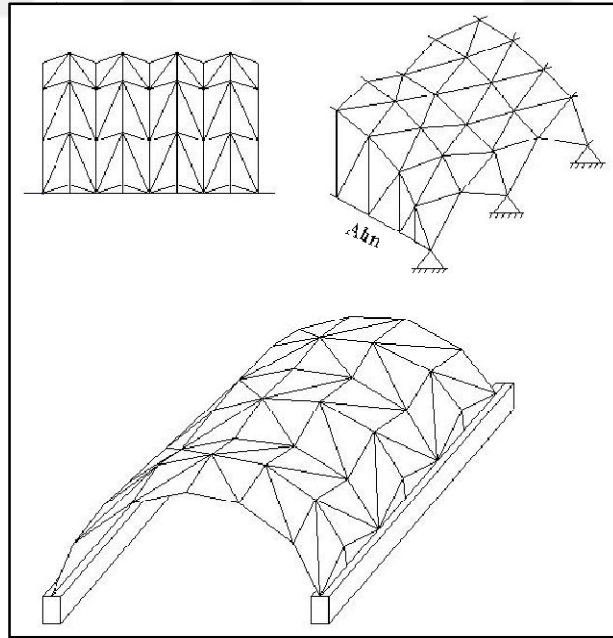
Bu tip ağ kabuklarının montajı çok zordur. Boyuna nervürler ile sistemin stabilitesini arttırmak mümkündür. Şekil 2.22.'de enine katlanmış ağ kabuk görünüşleri verilmiştir.

2.4.2.5 Boyuna katlanmış ağ kabuklar

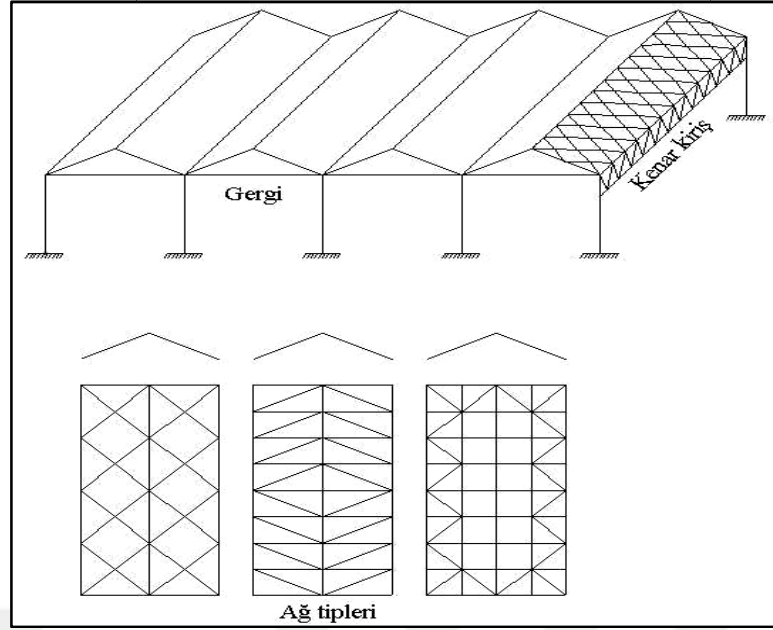
Bu tarz kabuklar, Föppl ve diğer ağ kabuklarının değişik bir uygulaması olarak düşünülebilir. Ağ tipleri değişik olabilir. Şekil 2.23.'de görüldüğü gibi eğer sık kolon kullanımı var ise alın elemanı olarak gergi kullanmak mümkündür ve en son elemanlarda kenar kiriş olmalıdır (Özbahar, 2007).



Şekil 2.21. Baklava tipi ağ kabuk planı



Şekil 2.22. Enine katlanmış ağ kabuk görüşleri



Şekil 2.23. Boyuna katlanmış ağ kabuk görünüşleri

2.4.3 Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin yapım sistemleri

Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin uygulama biçimleri incelenirse, farklı pek çok yapım sistemlerinin olduğu görülür (Özbahar, 2007).

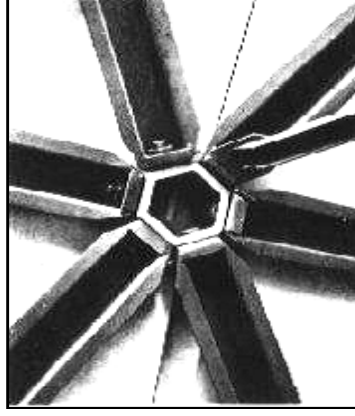
2.4.3.1 Wuppermann sistemi

Almanya kökenli olan bu sistemde; eşit boyda altı adet çubuk, cıvatalanarak aynı düğüm noktasında birleştirilir. Hangar, istasyon, garaj gibi yapıların örtülmesinde kullanılmıştır. Sistem, prefabrike olması ve montajının kolaylığı nedeniyle geniş uygulama alanı bulmuştur. Şekil 2.24.'de bir wuppermann sistemi detayı, Şekil 2.25.'de ise bir wuppermann sisteminin genel görünüşü verilmiştir (Özbahar, 2007).

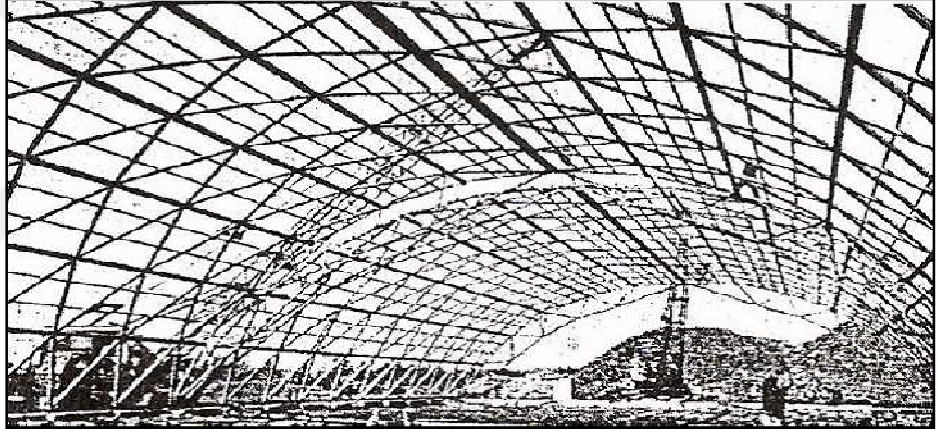
2.4.3.2 Lamella sistemi

Genellikle ABD'de kullanılan bir sistemdir. Şekil 2.26.'da görüldüğü gibi çatı yüzeyi çok sayıda farklı lamanın (uzun, ensiz, yassı, dikdörtgen kesitli) baklava dilimi şeklinde birleştirilmesiyle oluşturulur. Silindir, parabol, hiperbolik parabolit, küre gibi farklı biçimlerde yapılabilir. Birleşimler oldukça basittir. Stabilitayı sağlamak için lamalar

dilimler şeklinde cıvatalanarak, kiriş aralarında eşkenar dörtgenler meydana getirilir. Şantiyede uygulanır ve montajı kolaylıkla yapılabilir (Özbahar, 2007).



Şekil 2.24. Wuppermann sistemi detayı



Şekil 2.25. Wuppermann sistemi



Şekil 2.26. Lamella sistemi

2.4.3.3 Üçgen çubuk sistemi

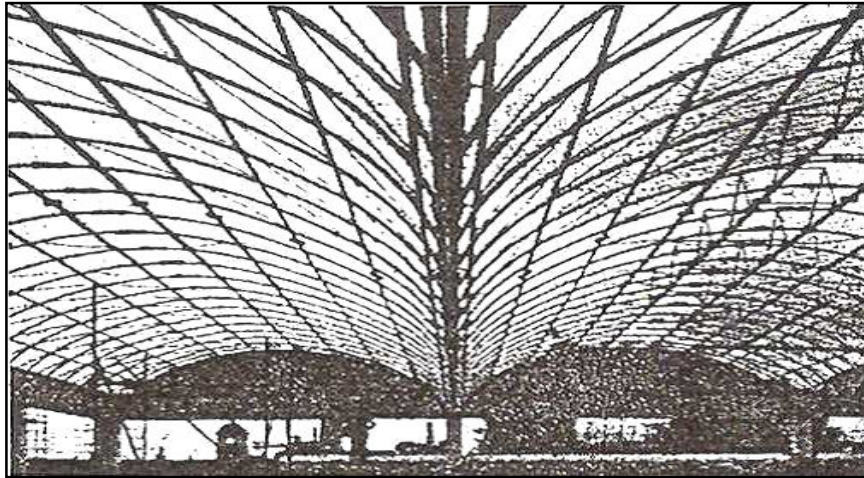
Bu sistem, eşit uzunluktaki çubuklar, çapraz diyagonaller ve düğüm noktalarından oluşur. Sistem hafiftir. Kar ve rüzgâr yüklerine oldukça dayanıklıdır. Şekil 2.27.'de bir üçgen çubuk sistem genel çatı görünümü verilmiştir (Özbahar, 2007).



Şekil 2.27. Üçgen çubuk sistemi

2.4.3.4 Blumfield sistemi

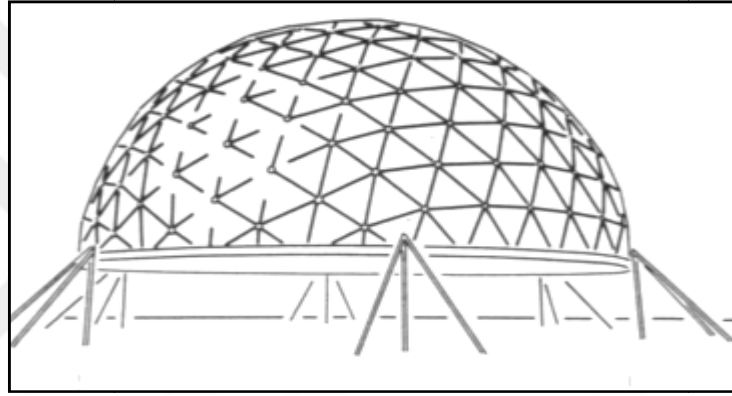
Çelik kafes kabuk adı verilen bu sistem İngiltere’de geliştirilmiştir. Kare biçimli dilimlerden meydana gelmiştir. Şekil 2.28.'de görülen blumfield sisteminde yükler, çelik boru profiller ve hafif yapı profilleri yardımı ile tüm kabuk sisteme iletilir. Çapraz biçimdeki diyagonaller, sistemi çekme gerilmelerine karşı korur (Özbahar, 2007).



Şekil 2.28. Blumfield sistemi

2.5. Çift Eğrilikli (Kubbesel) Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler

Kubbesel uzay kafes taşıyıcı sistemler yükleri mekân içinde yönlendirerek zemine aktarılmasına olanak veren basınca ve çekmeye çalışan son derece hafif taşıyıcı sistemlerdir. Büyük açıklıkların örtülmesinde önemli ölçüde malzemeden ekonomi sağlamaktadır. Bu tür taşıyıcı sistemlerde çubukların düğüm noktaları çok duyarlı ve karmaşıktır. Maliyeti büyük ölçüde arttırırlar. Yaygın geometrik alanların örtülmesinde tercih edilmektedir. Kubbesel sistemlerin kullanım alanları olarak konser salonları, stadyumlar, kapalı spor salonları, üniversite kafeteryaları, okul binaları alışveriş merkezleri ve büyük sergi salonları v.b. yapılar sayılabilir (Soykan, 2007).



Şekil 2.29. Kubbesel uzay kafes sistem

Kubbe, bir kemerin ekseni çevresinde döndürülmesiyle elde edilen, yarıküre biçimindeki eğrisel örtü elemanıdır. Dahası kubbesel uzay kafesler, az miktarda malzeme kullanılarak çok geniş açıklıklı yapıların kapanmasını sağlayabilen sistemlerdir. Şekil 2.29.'da bir kubbesel uzay kafes sistemin genel görünümü verilmiştir. Bu sistemlerde bağlantı elemanları narin elemanlardır ve tüm yapının ağırlığını taşırlar. Yüklerin tümü çubuk ve düğüm noktalarından oluşan bir iskelet tarafından taşınır. Çift eğrilikli (kubbesel) uzay kafes sistemler; çubuk elemanların yer aldığı katmanlar bakımından; tek katlı veya çift katlı kubbesel uzay kafes sistemler olarak düzenlenebilir. Taşıyıcı sistem; rijit çubuklarla düğüm noktalarından oluşan bir iskelettir (Soykan, 2007).

Tek katlı kubbesel uzay kafes sistemler, çubuk ve düğüm noktaları tek bir küre yüzeyi üzerinde bulunduğu veya alt ve diyagonal çubukların olmadığı sistemlerdir. Tek katlı

kubbeler otuz kırk metrelik orta açıklıklara uygundur. Daha büyük açıklıklarda çubukların burkulma olasılığı artmaktadır. Çubukların burkulması, belli kurallara bağlı olan ve üstesinden gelinebilecek bir boyutlandırma sorunudur. Şekil 2.30.'da bir tek katlı kubbesel uzay kafes sistem genel görünüşü verilmiştir (Soykan,2007).

Çift katlı kubbesel uzay kafes sistemler, büyük açıklıklar için uygun olmaktadır. Çubuk ve düğüm noktaları eşmerkezli iki kürenin üzerinde yer alıyorsa çift katlı kubbeler söz konusudur. Bunlar üst, alt ve diyagonal çubuklardan oluşan sistemlerdir. Şekil 2.31.'de örnek bir çizimi görülen çift katlı kubbesel uzay kafes sistemlerin özellikleri ise, asimetrik yüklere karşı daha dirençli olmasıdır. Basınç çubuklarının burkulma tehlikesi ile çubuk sistemlerde ikincil derecede ortaya çıkan eğilme gerilmeleri tek katlı sistemlere oranla daha azdır (Soykan,2007).

2.5.1 Çift eğrilikli uzay kafes taşıyıcı sistemlerin oluşumu

Farklı iskelet yapısında kubbenin yüzey alanı bazı geometrik şekillere bölünebilir. Bu bölünmeler üçgen, dörtgen, beşgen ve altıgen şeklindedir. Bu bölünmelerden beşgen olanı Şekil 2.32.'de verilmiştir. Kubbe yüzeyini oluşturan elemanlar cıvatalı birleşim ile inşa edildikleri zaman, yalnızca üçgenlerden oluşturulan bölünmeler kaymaya, devrilmeye, çökmeye dayanıklıdır. Kubbe yüzeyinde dörtgen bölünmeler ek rüzgar bağlantılarına veya rijit birleşimlere gereksinim duyar. Kubbe yüzeyindeki beşgen veya altıgen bölünmeler ise ilave çapraz bağlantıların yapılmasını gerektirir (Soykan,2007).

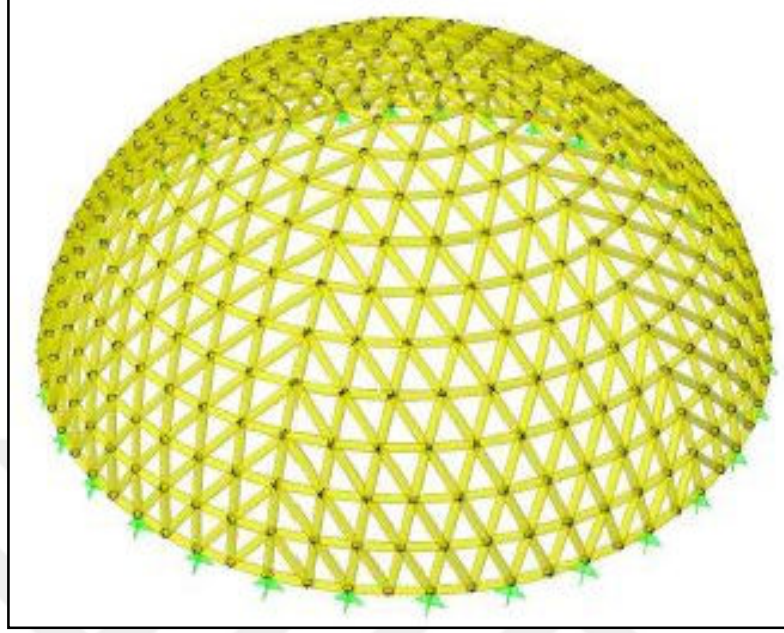
2.5.2 Çift eğrilikli uzay kafes taşıyıcı sistemlerin sınıflandırılması

Çelik uzay kubbe sistemler, kubbeyi oluşturan yüzey üzerinde yer alan taşıyıcı elemanlardan ya da düğüm noktaları yüzey üzerindeki düzgün doğrusal elemanlardan oluşur. Kuvvetlerin tüm alana yayılmasını sağlayan kubbesel taşıyıcılar, taşıyıcı yapıları yönünden çeşitli gruplara ayrılır.

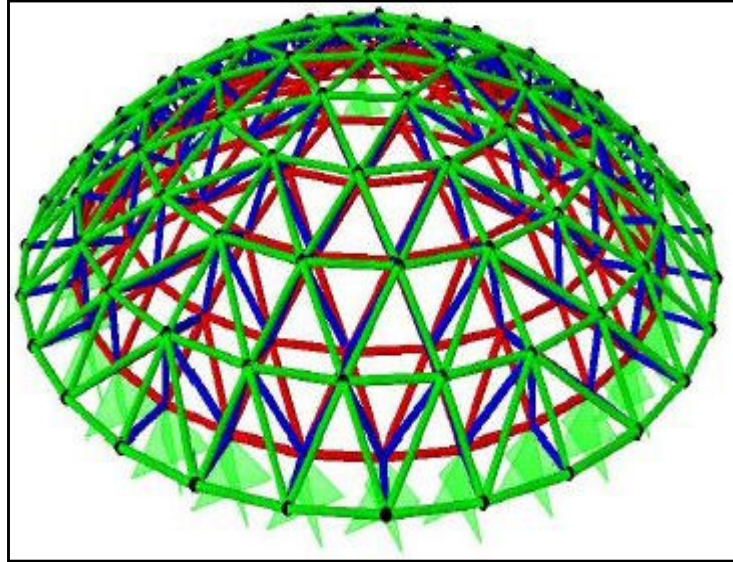
2.5.2.1 Radyal nervürlü kubbeler

Radyal nervürlü sistemler, planda bakıldığında örümcek ağına benzemektedir. Ortada bir basınç çemberi en altta ise sistemin stabilitesini sağlamak için çekme çemberi

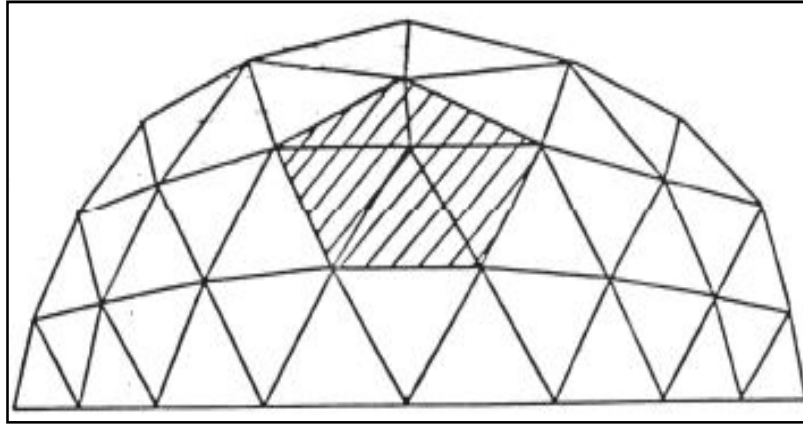
bulunmaktadır. Bütün nervürler bu basınç çemberine mesnetlenmektedir. Şekil 2.33.'de örümce ağına benzeyen radyal nervürlü kubbelerin çizimleri verilmiştir.



Şekil 2.30. Tek katlı kubbesel uzay kafes sistem

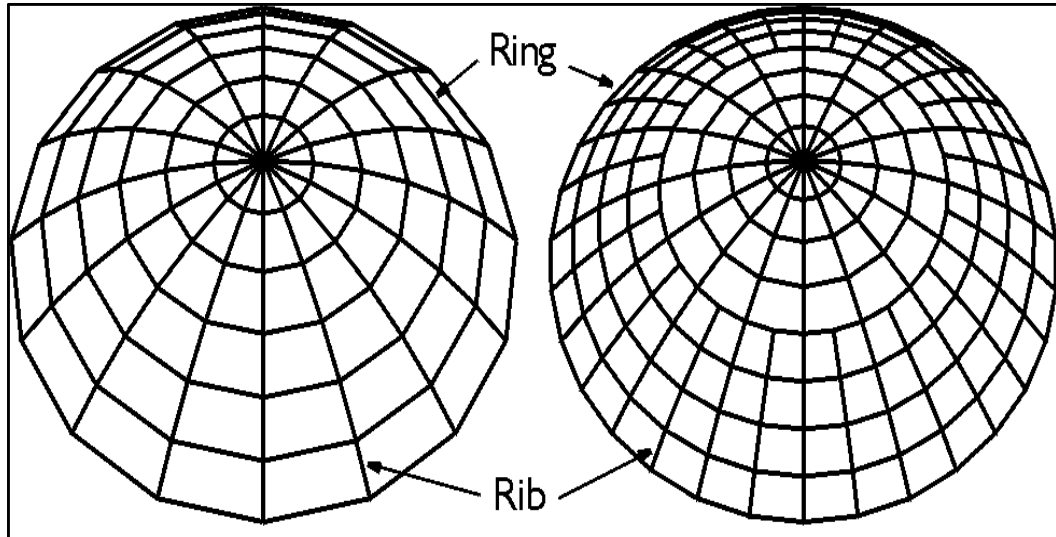


Şekil 2.31. Çift katlı kubbesel uzay kafes sistem



Şekil 2.32. Kubbeye bir beşgenin yerleştirilişi

Küçük açıklıklarda nervürler tek bir profil ile yapılabilirken, açıklık büyüdükçe eğrisel düzlem kafes sistemler kullanılmaktadır. Nervürler basınç çemberinden ınsal olarak uzamaktadır ve kayıcı mesnetlerle sistem izostatik hale getirilir. Kayıcı mesnetler daima radyal doğrultuda olmalıdır, böylece ısı genleşmesinden oluşacak iç gerilmelerin önüne geçilmiş olur. Mutlaka dairesel alanın örtülmesi gerekmez, değişik alanların (elips, kare, dikdörtgen ve diğer çokgenler) örtülmesinde de kullanılabilir. Koni, kesik koni, kesik piramit formları elde edilebilir. Fotoğraf 2.3.'de Rodos'daki Rodos Palace Otel'inin üstünü örten net açıklığı 61 m olan radyal nervürlü kubbenin dış görünüşü verilmiştir (Soykan,2007).



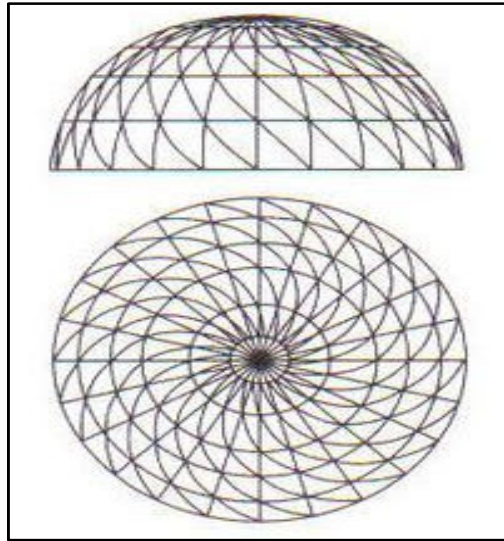
Şekil 2.33. Radyal nervürlü kubbeler

2.5.2.2 Schwedler kubbeler

Schwedler kubbeler, kubbenin tepe noktasından aşağı yönde yer alan kaburga elemanlar bunlara bağlı yatay halka elemanlar ve bunları birleşme noktasından geçiren diyagonal elemanlardan oluşur. Şekil 2.34. ve 2.35.'de schwedler kubbelerin plan görünüş çizimleri verilmiştir (Soykan,2007).

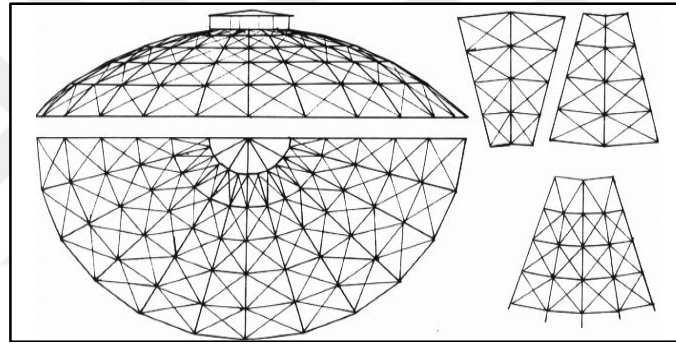


Fotoğraf 2.3. Rodos'daki Rodos Palace Otel'inin üstünü örten net açıklığı 61 m olan radyal nervürlü kubbenin dış görünüşü



Şekil 2.34. Schwedler kubbeler

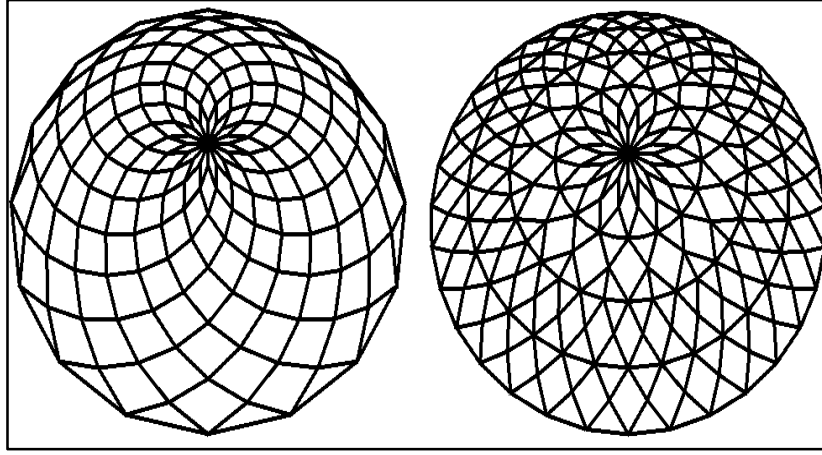
Schwedler kubbe sistemler nervürlü kubbeler sınıfında yer alırlar. Bu sistemlerin aralarındaki fark radyal nervürlerin her biri tek eleman olarak alınmasıdır. Schwedler kubbe sistemler 3-4 radyal nervür, kendi aralarında düzenlenme şekli ile kubbenin imalat aşamasında bu elemanların sadece yan yana getirilmesi oluşturulur. Kubbenin tepe noktasında radyal nervürler basınç çemberine ankastre ya da mafsallı şekilde bağlanır. Taban kısmında ise çekme çemberine mafsallı olarak bağlanır. Mesnetlere yükün düşey etkimesi istenirse taban kısmına yerleştirilen çekme çemberi radyal nervürlerle ankastre şeklinde bağlanır. Yapı sistem stabilitesini artırabilmek için radyal nervürler yatay kararlılık bağları ile birbirlerine bağlanır. Yatay kararlılık bağları tek ve ya çift köşegen elemanlarla birleştirilir. Köşegen elemanlar tek ya da çift olmasına göre tek köşegenli ya da çift köşegenli Schwedler kubbeler olarak tanımlanırlar (Soykan,2007).



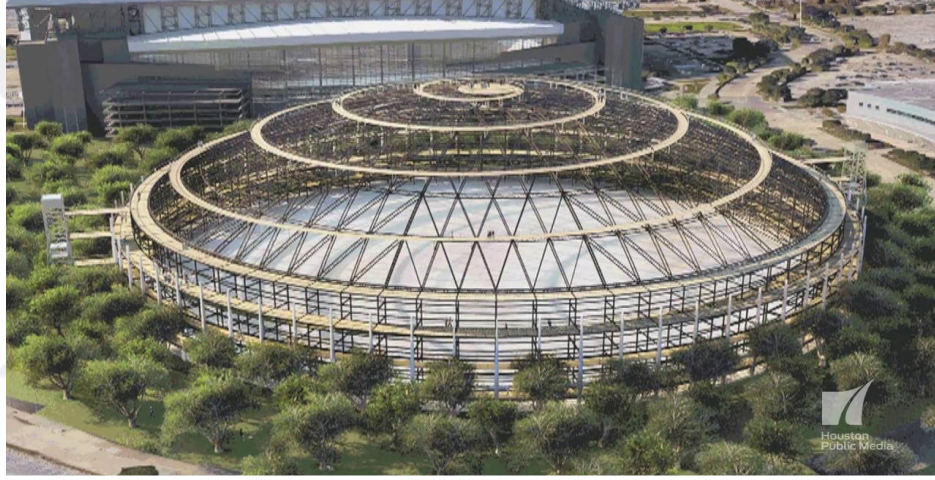
Şekil 2.35. Schwedler kubbelerin plan ve görünüşleri

2.5.2.3 Lamella kubbeler

Lamella kubbe sistemler, benzer çok sayıda elemandan oluşur. Şekil 2.36.'da görüldüğü gibi elmas veya baklavaya benzeyen elamanlara Lamella denir. Kubbede stabiliteyi çatı kaplaması ya da aşıklar olarak kullanılan yapı elemanları sağlarlar. Fotoğraf 2.4.'de görülen Lamella kubbe şeklinde inşa edilmiş olan Houston kubbesi 90.000 m² alanı kapatmaktadır. Lamella kubbe sistemleri Dr. Kiewitl geliştirmiş ve geniş açıklıkları geçebilmek için rantabl hale getirmiştir. Japonya' da birçok firma bu tür kubbelerin prefabrikasyon olarak üretimi ile uğraşmaktadırlar. 240 km/h hıza çıkan rüzgar etkisinde, Miami'de ki bu şekilde imal edilmiş bir kubbenin en ufak bir hasar görmediği biliniyor (Soykan, 2007).



Şekil 2.36. Lamella kubbeler



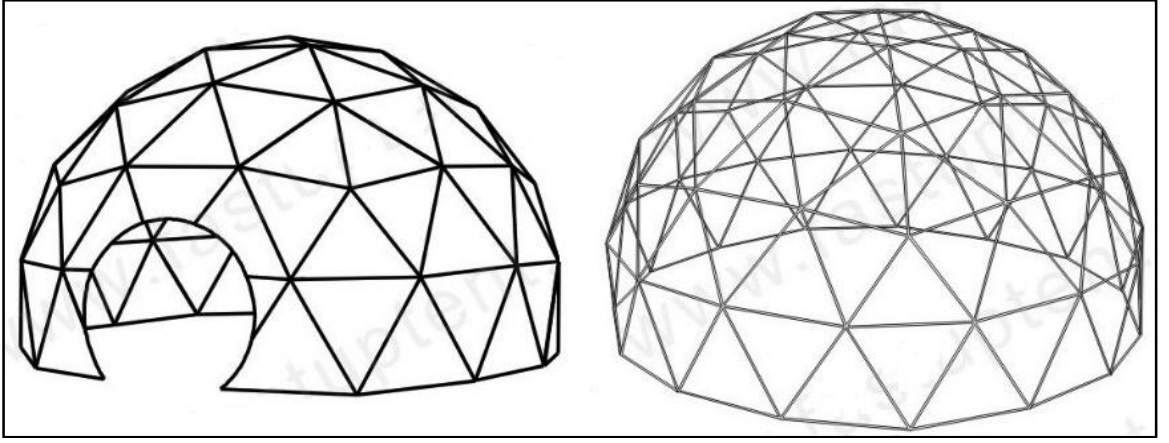
Fotoğraf 2.4. Houston kubbesi

2.5.2.4 Jeodezik kubbeler

Geometrisi küre yüzeyinin jeodezik bölünme ilkelerine dayanılarak belirlenen çubuk ağı kubbelerine jeodezik kubbe denmektedir. Jeodezik kubbeler, yüksek taşıyıcı güçlerine karşın hafiftirler, çabuk ve kolay kurulabilirler, ayrıca düşük maliyete sahiptirler. Jeodezik kubbelerin olumlu yönleri şöyle özetlenebilir: küre, en büyük hacmi en küçük yüzeyle örter, yani belli bir hacim için en az malzeme gerektiren bir geometriye sahiptir. Küresel yüzeylerin çift eğrilikleri nedeniyle kazandığı biçimsel direnç yüksektir (Soykan,2007).

1945 yılında Buckminster Fuller tarafından geliştirilerek patenti alınan jeodezik kubbeler hem strüktürel etkinliği, hem de endüstrileşmiş üretime uygunluğu yüzünden 1960'lı yıllardan başlayarak özellikle gösteri değeri yüksek olması istenen büyük ve merkezi mekanların örtülmesinde uygulanan sistemlerin basında yer almıştır (Soykan, 2007).

Jeodezik kubbeler, Şekil 2.37.'de görüldüğü gibi kürenin yüzeyinin altıgen alanlara ayrılmasıyla tasarlanan tek katlı sistemlerdir. Mafsallı uçlu çubuk eleman birleşimlerinin ortaya çıkarttığı stabilite sorununa karşı Fuller iki katlı yapı sistemleri önermiştir. Fotoğraf 2.5.'de bir jeodezik kubbe görüntüsü verilmiştir (Soykan,2007).



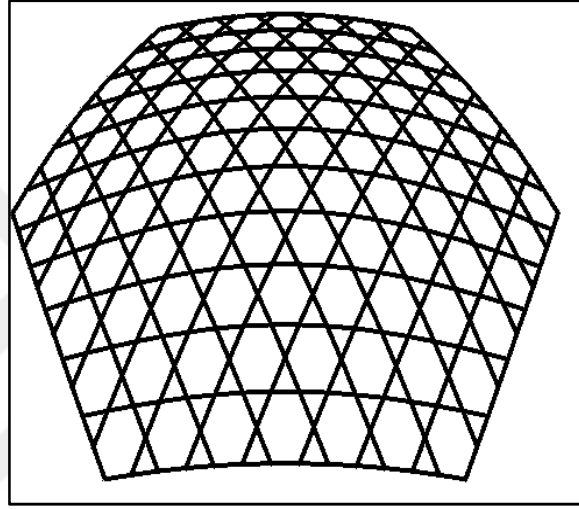
Şekil 2.37. Jeodezik kubbeler



Fotoğraf 2.5. Jeodezik kubbe

2.5.2.5 Üç doğrultuda ızgara kubbeler

Bu tür kubbeler günümüzde Avrupa'nın birçok ülkesinde kullanılmakta. Fotoğraf 2.6.'da verilmiş olan 1951'de İngiltere'de Büyük Britanya festivali için inşa edilen kubbe bu tipe örnek olabilir. Bu kubbelerin teorik analizi, asimetrik yüklemelerle bile malzeme sarfiyatında oldukça eşit bir dağılım olduğunu ortaya koymuştur. Şekil 2.38.'de planı verilmiş olan bu tür kubbeler, standart geometrilerdeki mimari yapıları kapatmak için en uygun sistemlerdir.



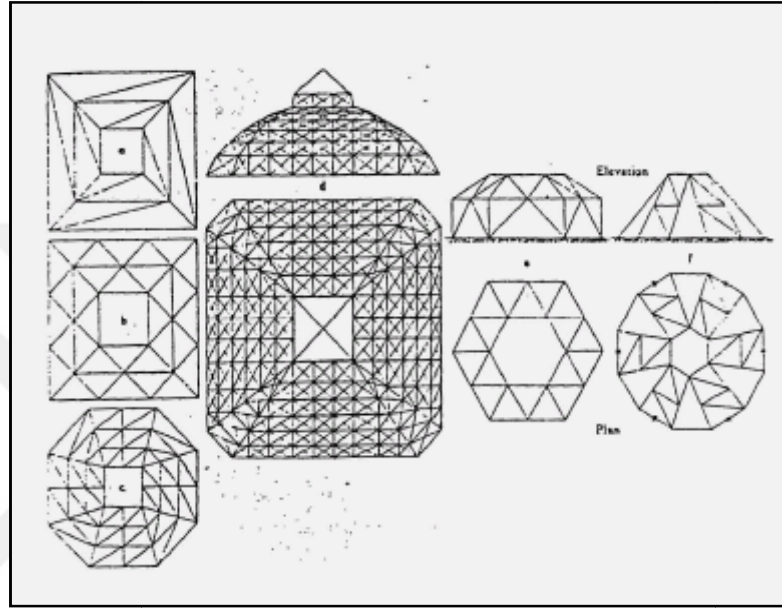
Şekil 2.38. Üç doğrultulu ızgara kubbeler



Fotoğraf 2.6. Britain festivali için yapılan kubbe

2.5.2.6 Schlink kubbeler

Schlink kubbelerin, özelliği kimi zaman trapez düzlem, kimi zaman ortogonal üçgen düzlemlerle oluşturulmasıdır. Şekil 2.39.'da plan ve görünüşleri verilmiş olan Schlink kubbelerin en büyük dezavantajı, bütün düğüm noktalarının farklı olmasıdır (Soykan,2007).

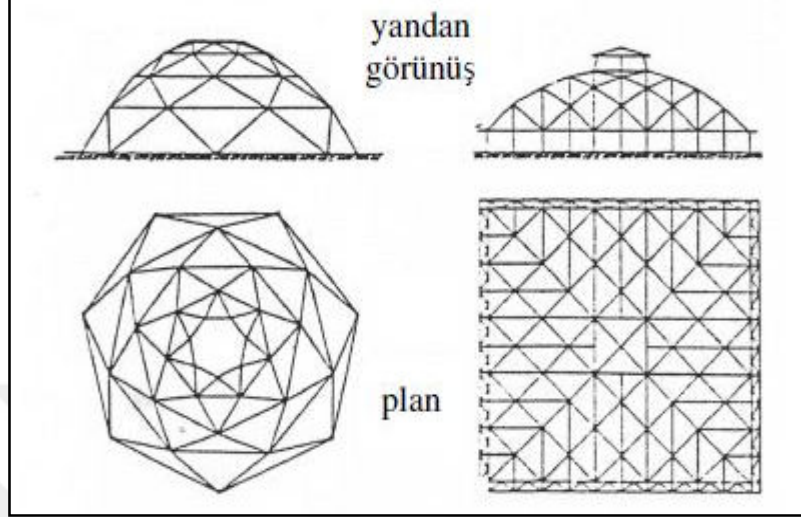


Şekil 2.39. Schlink kubbelerin plan ve görünüşleri

2.5.2.7 Föppl (ağ, network) kubbeler

Föppl kubbeler, çift diyagonal Schwedler kubbelerde boylamların kaldırılmasıyla elde edilmiş sistemdir. Bu tür kubbeler, Schwedler kubbelerin tasarımı için kullanılan şekilden esinlenilmiştir. Lakin ondakinin tersine, aynı düzlemde yer alan üç adet çubuk mevcuttur. Bu sebepten dolayı kubbenin elemanlarının mafsallı birleşim olmasına rağmen, aktif olmayan hiç bir çubuk eleman yoktur. Herhangi bir düğüm noktasına etki eden yük, sistemin geometrik yapısında dolayı, bütün sistem elemanlarında gerilmelere neden olmaktadır. Şekil 2.40.'da Föppl kubbelerin plan ve görünüşleri verilmiştir (Soykan,2007).

Günümüzde Almanya’da bulunan Mero firması kendi firmalarına özel düğüm (Mero düğümü) sistemi tasarlayıp kullanarak Föppl ağ kubbelerinin daha yaygın olarak kullanılmasını sağlamıştır.



Şekil 2.40. Föppl (ağ, network) kubbelerin plan ve görünüşleri

2.6 Uzak Kafes Sistemlerin Bileşenleri

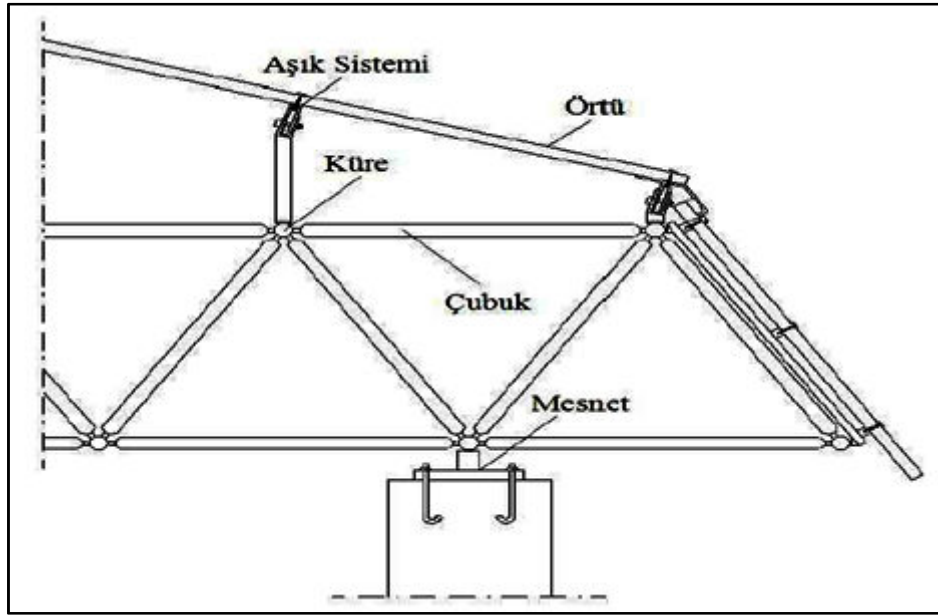
Uzak kafes sistemler; uçlarına konik biçimli elemanlar kaynaklanmış olan çubuk isimli çelik boruların civatalar vasıtasıyla mafsallı kürelerine bağlanması yoluyla üç boyutlu şekilde oluşturulmaktadır. Sistemin birim elemanları, dört adet düğüm noktası ve altı adet çubuk elemanın oluşturduğu bir düzgün dörtyüzlüdür. Bu dörtyüzün her biri aynı düzlemde olmayan üç ayrı çubukla kolaylıkla büyütülebilir. Tüm imalat elemanları atölyede hazırlanıp şantiye sahasında montajı yapılacak biçimde dizayn edilir. Bu sistem küre, (mero), civata, boru, aşık, mesnet ve konik elemanlarından oluşmaktadır. Uzak kafes sistem elemanlarının sistem içerisindeki yerleri Şekil 2.41.'de gösterilmiştir.

2.6.1 Düğüm noktaları

Uzak kafes sistemlerin en önemli yeri olan düğüm noktaları, çelik çubuk elemanların tek noktada birleştirip mafsallanmasını sağlayan ve sisteme gelen bütün dış yüklerin ilk tesir ettiği yerdir. Düğüm noktalarının değişik biçimlerdeki çözümü, birbirinden farklı yapı sistemlerini oluşturmuştur. Bu yapı sistemleri düğüm noktalarının kendi isimleriyle

anılmaktadır. Bu sistemler içinde en yaygın kullanılan ve en bilinen mero düğüm sistemidir.

Çeşitli yapı sistemlerine göre farklı özellikte olan düğüm noktaları vasıtasıyla, dikme ve diyagonallere gelen yapı yükleri mesnetlere iletilmektedir. Düğüm noktaları, uzay kafes sistemlerde çubuklara göre çok daha önemli öğelerdir. Birçok çubuğu tek noktada birleştirerek, sistemin bütün olarak çalışmasını sağlamaktadır.



Şekil 2.41. Uzay kafes sistem elemanları

2.6.1.1 Düğüm noktaları türleri

2.6.1.1.1 Mero düğüm noktası

Dr. Max Mengerhausen tarafından ilk kez 1942 yılında kullanılan bu sistem, halen uzay kafes sistemi yapımında kullanılan en iyi ve popüler sistemlerden bir tanesidir. Mero sistem üzerinde en fazla 18 delik bulunan içi dolu özel olarak yapılmış çelik kürelerdir.

Fotoğraf 2.7.'de verilmiş olan birleşim küreleri Alman DIN 17200 normuna göre 1040 çelikten sıcak dövme yöntemi ile üretilmektedir. Şekil 2.42.'de de görüldüğü gibi kürelerin çapları yapı tasarısına bağlı bir şekilde 60 mm ile 190 mm arasında

değişmektedir. Çubukların montajı için mero kürelerine dişli cıvata delikleri açılır. Bu deliklerin sayısı, açısı ve çapları uzay kafes sistemin biçim ve diğer özelliklerine bağlı bir şekilde ayarlanmaktadır.



Şekil 2.42. Mero sistem küre tipleri

Bu sistemi söküp başka bir yerde kullanmak mümkündür. Estetiktir. Düğüm noktaları küçük ve düzgündür, montajı kolaydır. Birleşimlerin zayıf mukavemeti ve pahalı olması sistemin olumsuz yanlarıdır. Şekil 2.43.'de mero düğüm noktasının çubuk elemanlarla birleşim şekli verilmiştir.

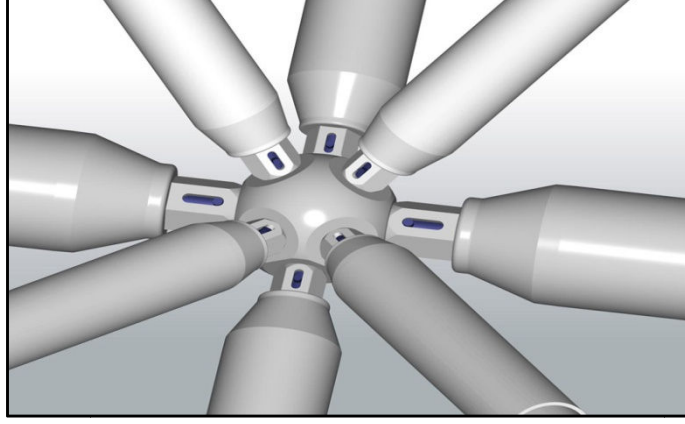


Fotoğraf 2.7. Düğüm noktası birleşim küreleri

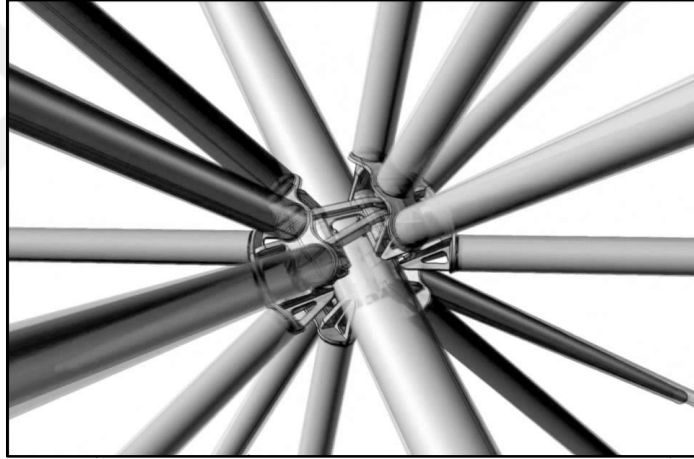
2.6.1.1.2 Wachsmann düğüm noktası

Bu sistem ilk olarak uçak hangarlarının üstlerinin örtülmesinde kullanılmıştır. Bu sistem Amerika patentli ve 1946 tarihli bir düğüm noktası tipidir. Düğüm noktaları mafsallı olan diğer bir düğüm noktası tipidir. Karmaşık yapısı nedeniyle günümüzde kullanılmamaktadır. Şekil 2.44.'de görüldüğü gibi köşegenlerin tırnaklar yardımıyla birleşimini sağlayan çeneler

elemanların üzerine bağlanmıştır. Fotoğraf 2.8.'de bir wachsmann düğüm noktası teşkili verilmiştir.



Şekil 2.43. Mero düğüm noktası



Şekil 2.44. Wachsmann düğüm noktası

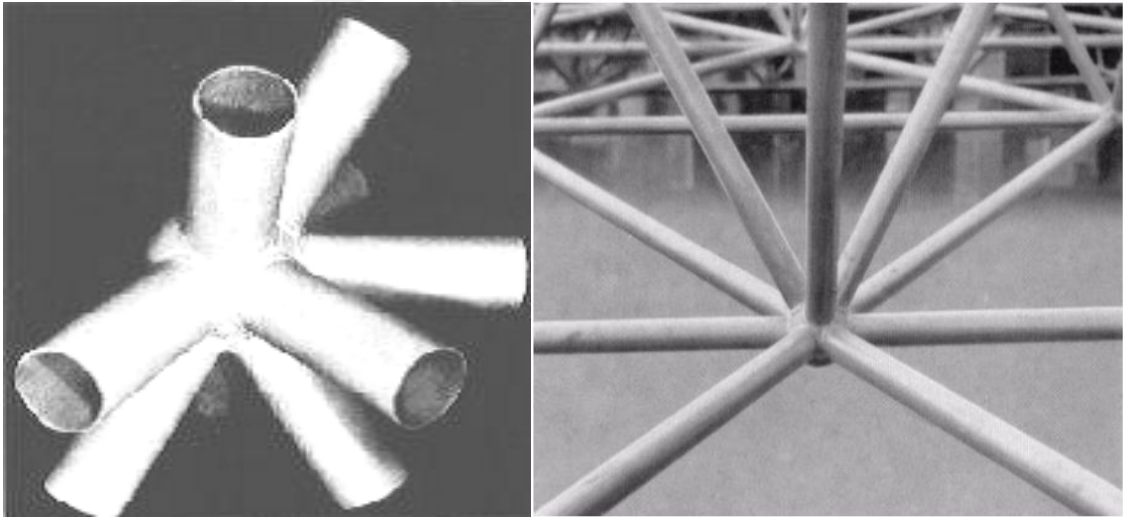


Fotoğraf 2.8. Wachsmann düğüm noktası

2.6.1.1.3 Oktaplatte düğüm noktası

Mannesmann şirketi tarafından geliştirilmiştir bir sistemdir. Sistemde çubuklar, iki adet yarım küre ve bu kürelerin arasında bağlantıyı sağlayan, dayanımını arttıran metal bir halkadan oluşan düğüm noktasına kaynaklanır. Çubuklar taşınabilir şekilde fabrikalarda bir araya getirilir (Tekgüvercin, 2002).

Sadece çatı taşıyıcı sistemi yapımında kullanılır. Sistem çubuklarının doğrultusu düğüm noktası üretim detayına bağlı olmadan belirlenebildiği için, tonoz şeklinde taşıyıcılar yapılabilir. Kuruluş şekli oldukça basittir. Boru uçlarında özel kesim gerektirmemesi, güzel görünümü, büyük rijitliği, eğri yüzeylerin kurulabilmesine olanak sağlaması ve kolay gerçekleştirilen kaynak işlemleri gibi üstünlükleri vardır. Fotoğraf 2.9.'da örnekleri verilen Octaplatte düğüm noktasının sakıncaları ise, kurulduktan sonra sökülmesinin zor oluşu, boru uzunluklarının kesin olarak belirlenmesi gerekliliği ve çok büyük açıklıkların geçilmesinde kullanılamamasıdır (Tekgüvercin, 2002).



Fotoğraf 2.9. Octaplatte düğüm noktası örnekleri

2.6.1.1.4 Stefan de Chateau düğüm noktası

Stefan de Chateau tarafından Fransa'da üretilen bu düğüm noktası sistemi, kaynaklı yapısı nedeniyle octaplatte sistemine benzemektedir. Düğüm noktaları; eş düzlemlili ve aynı noktada kesişen altı adet boru en kesitli çubuğun birleşimine olanak verir. Hafif bombeli dökme çelik iki yarım kabuktan oluşur. Bu kabuklar kaynakla birleştirilir. Üst

ve alt başlık ağlarının çubukları düğümlerinin içine yerleştirildikten sonra boyları ayarlanır ve kaynaklanır. İki ağ arasındaki örgü çubukları ise doğrudan kabukların üzerine kaynaklanır. Kaynak dikişlerinin karmaşıklığını gidermek için örgü çubuklarının uçları dolu gövdelidir (Tekgüvercin, 2002).

Bu sistemle eğri yüzeyli sistemleri oluşturmak belli sınırlar içinde mümkündür. Kubbe ve tonoz yapılarda, çok sayıda çift katlı ızgarada oldukça başarılı bir şekilde kullanılır. Bu sistem özellikle büyük açıklıklı çatılarda uygun çözümler vermektedir.

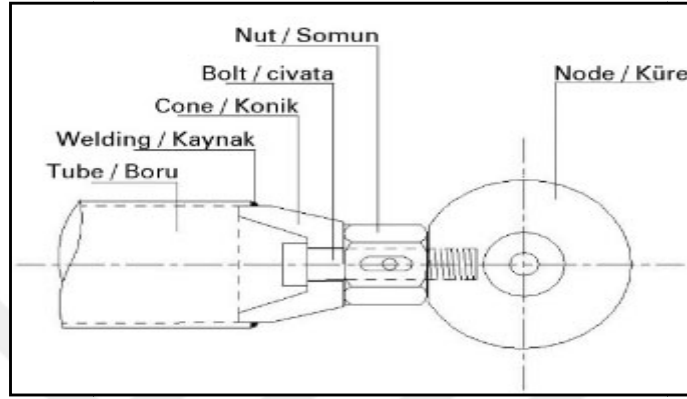
Çubuk boylarının ayarlanabilmesi kolaylığı, çubukların düğüm noktalarında oynatılabilmeleri nedeniyle küçük açı değişimleri yapılabilmesi, dolayısıyla eğri yüzeylerin kurulabilmesi, kolay yapılan kaynak işlemleri, güzel görünümlü düğüm noktaları ve büyük rijitlik bu düğüm noktasının olumlu yanlarıdır. Ancak bu düğüm noktasını sökmek zordur ve sadece üç doğrultulu düzenlemelere uygundur (Tekgüvercin, 2002).

2.6.2 Çubuklar

Çelik çubuklar uzay kafes sistemlerin düğüm noktalarından sonra en önemli bileşenidir. Bu çubuk birleşimleri düğüm noktası elemanı olan küreler vasıtasıyla gerçekleşmektedir. Çubuklar, doğrusal birimlerdir. Çubukların imalatında alüminyumda kullanılabilmektedir. Lakin çeliğin alüminyuma kıyasla daha hesaplı ve daha emniyet gerilmesi yüksek olması sebebiyle ağırlıklı olarak çelik tercih edilmektedir. Sistem üst başlıkları, piramit modüllerin tepe noktalarını birleştiren çubuk elemanlar olup, basınç çubuğu şeklinde dizayn edilmektedir. Sistem tüm alt başlıkları, genel olarak çekmeye çalışacak biçimde dizayn edilen ve piramit modüllerin alt noktalarını birleştiren çubuk elemanlardır. Diyagonal ve dikme elemanlar ise, yapı yüklerini düğüm noktalarına iletilmesini sağlayan çubuk elemanlardır. Şekil 2.46.'da bu elemanların sistem içerisindeki yerleri verilmiştir (Tekgüvercin, 2002).

Çubuk boru elemanların malzemesi Alman DIN 17100 normuna uygun üretilmiş St 37 çeliğidir. Bunun yanı sıra, siyah galvanizsiz su tesisatı borularıdır. Yapı yüklerine göre St 52, St 44, St 37 çeliklerinden imal edilebilirler. Bu boruların çapları mimari tasarım şekline göre 42 mm ile 219,1 mm arasında olabilir. Her çubuk eleman, içerisine montaj

esnasında cıvataları yerleştiribilmek için kullanılan delikler ile birlikte imal edilmektedir. 21,3 mm den, 60,3 mm çapa sahip borulara kadar bu delikler boruların yan yüzeylerine, 60,3 mm çaptan daha büyük çaplara sahip borularda ise koniklerin yan yüzeylerine açılmaktadır. şekil 2.45. ve 2.47.'de çubuk elemanları ile mero düğüm noktası küresi ile birleşim detayları verilmiştir (Tekgüvercin, 2002).

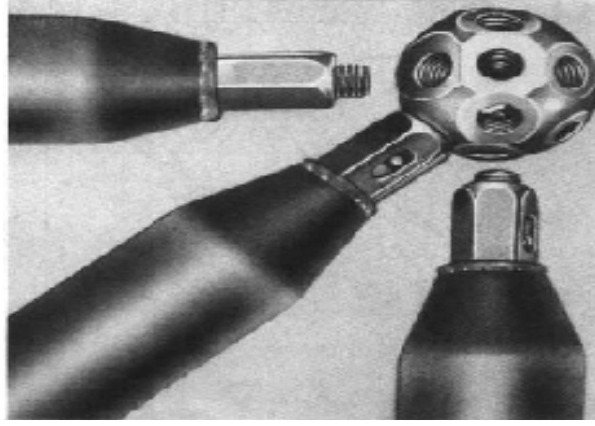


şekil 2.45. ubuk eleman ve küre detayları

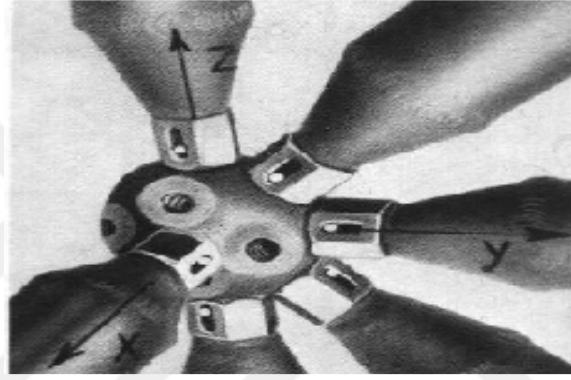


Fotoğraf 2.10. Uzak kafes sistem çubukları

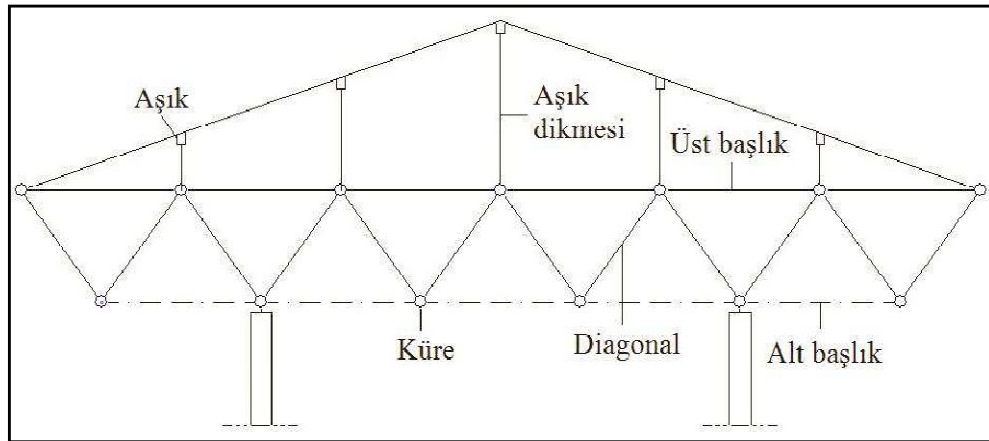
Fotoğraf 2.10.'da görülen boru elemanlar, düğüm noktaları gibi özel bir üretim şekli olan birimler değildir. Her yerde çok rahatlıkla bulunabilen belli bir standarda sahip yapı profilleri arasından seçilebilirler. nl Borusan firmasının üretmiş olduğu ve uzak kafes yapı sistemlerinde kullanılabilen çubuk elemanların et kalınlığı, dış çap ve en kesit alanları izelge 2.1.'de gösterilmiştir. Bu ubuk elemanlar proje ölçülerine göre kesilerek yapı sisteminde kullanılırlar. Fotoğraf 2.11.'de ve 2.12.'de uzak kafes sistem çubuklarının düğüm noktası ile birleşimleri verilmiştir.



Fotoğraf 2.11. Düğüm noktası ile çubukların birleştirilmesi



Fotoğraf 2.12. Cıvatalar sıkıldıktan sonra sistemin görünüşü



Şekil 2.46. Çubuklar ve sistemdeki yerleri

2.6.3 Konikler

Konikler, çubuklarla düğüm noktaları arasındaki elemanlardır. Konik elemanlar aracılığıyla yapı sisteminde oluşan basınç-çekme kuvvetleri düğüm noktalarına ulaştırılır. Konik malzemesi, kullanılan boru malzemesi ile aynı kalitede olmalıdır. Konik elemanlarda 60,3 mm çapına kadar olanlar dolu malzemeden imal edilirler. Bu çaptan daha büyük konik elemanlar ise sıcak dövme yöntemi kullanılarak imal edilirler. Yüzeylerin temizlenmesi için kumlama metodu uygulanır. İşçiliği azaltmak için borular düzgün olarak kesilir ve konikler kaynak ağzı açılmış boruların uçlarına gaz altı kaynağı ile ilgili standartlara uygun olarak kaynatılır. Eksantrisite doğmaması için çubuk eksenine konik eksenini aynı hizada olmalıdır. Konik elemanların üzerindeki diş boyu ve çapı çubuk üzerine gelen kuvvete göre hesaplanabilmektedir (Eşsizoglu,2007). Fotoğraf 2.13.'de konik elemanlarınların çaplarına göre sırayla dizilimi verilmiştir.



Fotoğraf 2.13. Konikler

2.6.4 Cıvata somun ve pimler

Cıvatalar, konikler içerisinde döndürülebilen sistem elemanlarında oluşan çekmek kuvvetlerini karşı gelen, dişsiz bölümünde delik bulunduran ve dişli olan kısmı ile de düğüm noktasındaki kürete bağlanabilen sistem elemanıdır. Fotoğraf 2.14.'de cıvata örnekleri verilmiştir. Bütünüyle uluslararası şartnameler baz alınarak imalatı yapılan bu elemanlar statik hesaba göre boyutlandırılır.

Cıvataların kafa bölümünde hangi imalathanede imal edildiği ve hangi kalitede olduğunu belirten işaret ve yazılar bulunmaktadır. Bu elemanların düğüm noktası

kürelerine bağlanabilmesi için yan yüzeyinde oluk olan, dişi olmayan, uzun özel somunlar kullanılmaktadır. Somunlar deliklerine ve bunları çeviren anahtar çaplarına göre 19/13, 30/22 gibi rakamlarla isimlendirilirler. Yapı sisteminde oluşan basınç kuvvetlerine göre kesit atamaları yapılmaktadır. Hesaplanmış olan kuvvet niteliğine göre malzeme kalitesi artırılabilir yada azaltılabilir. Uzay kafes sistem elemanlarının birlerlerine montajında Alman DIN 1654 ile 17200 normlarına uygun imal edilmiş cıvatalar kullanılmaktadır (Eşsizoglu,2007).

Kesinlikle taşıyıcı bir fonksiyonu olmaya pimler cıvata ve somunlardaki deliklere geçirilerek cıvataların dönmesini sağlarlar. (Eşsizoglu,2007).

Uzay kafes sistemlerde kullanılan elemanların montajı için metrik bulonlar kullanılmaktadır. Montajda kullanılan bulon tipi, bulon çapı, net bulon çapı ve pim deliği çapı Çizelge 2.2.' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. Bulonlar ve bunların pim deliği çapları ile net bulon çapları

Bulon Tipi	Bulon Çapı (mm)	Net Bulon Çapı (mm)	Pim Deliği Çapı(mm)
M16	16	14.00	4
M20	20	17.50	5
M24	24	21.00	5
M27	27	24.00	5
M30	30	26.50	5
M33	33	29.50	5
M36	36	32.00	5
M42	42	37.50	6
M48	48	43.00	6
M56	56	51.00	6



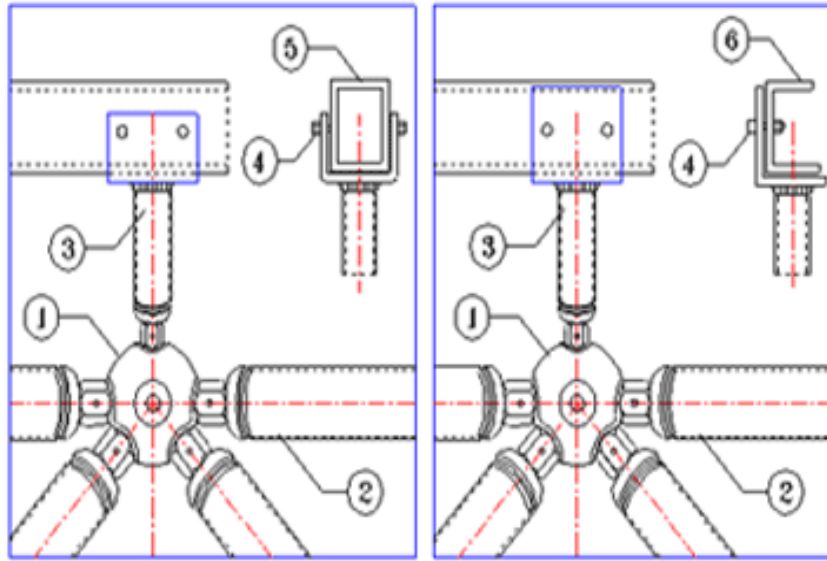
Fotoğraf 2.14. Cıvata örnekleri

2.6.5 Aşıklar ve diğer çelik elemanlar

Çatı kaplamaların sisteme bağlanmasını sağlayan profillere aşık denir. Aşıklar uzay kafes sistemin üst düğüm noktaları üzerine bağlanan eğim dikmeleri vasıtasıyla istenilen yükseklikte bağlanabilirler. Aşıklar, düşey kolon elemanlar ve çapraz cephe kuşakları gibi uzay kafes sistemin yardımcı çelik elemanları ST 37 çeliğinden standart C, I, ve U yada kutu kesitli olarak üretilmektedirler. Aşıklara antipas ve boya yada galvanizleme işlemleri uygulanabilir (Tekgüvercin, 2002).

Çatı kaplamasının eğimli olmasını sağlayan yükseltme parçalarına eğim dikmeleri denir. Eğim açısı ve yüksekliğine, bağlanacağı düğüm noktası çapına göre eğim dikmeleri değişik boylarda olabilirler. Dereler, galvanizli veya antipas boyalı sacdan proje boyutlarında bükülerek üretilirler. Şekil 2.48.'de aşık ve eğim dikmesi bağlantı detayları verilmiştir (Tekgüvercin, 2002).

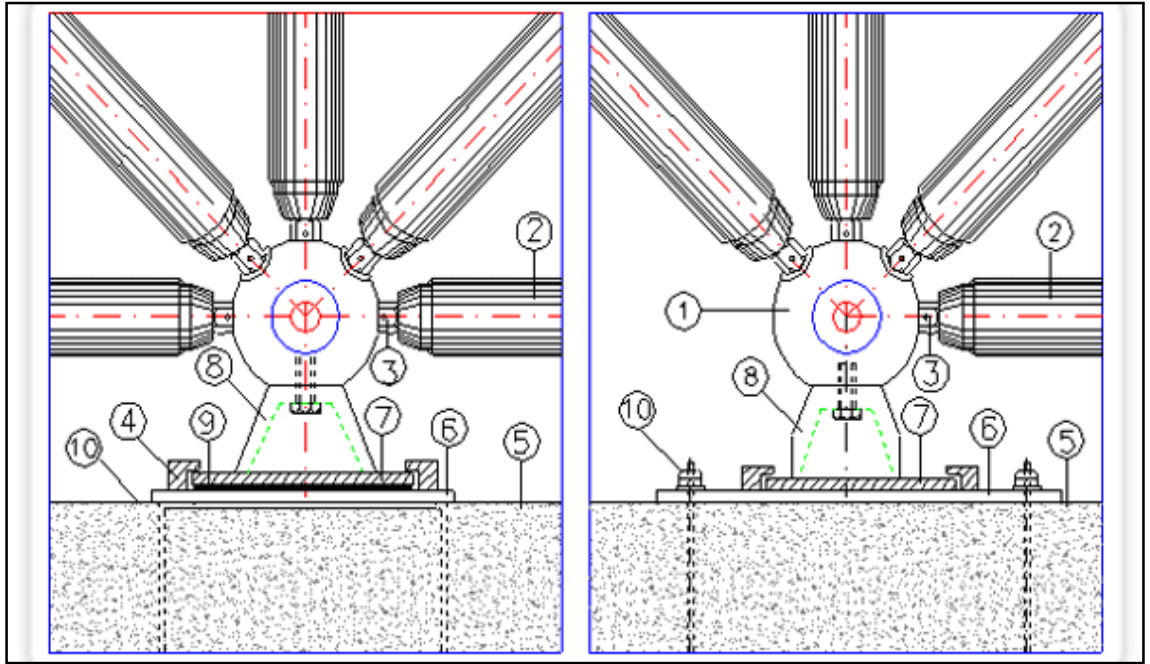
Şekil 2.52.' de 1 numaralı kısım sistem küresini, 2 numaralı kısım sistem çubuğunu, 3 numara ile gösterilen kısım eğim dikmesini, 4 numaralı kısım cıvatayı, 5 ve 6 numaralı kısımlar ise aşık bölümlerini gösterir.



kısım uzay sistem küresini, 2 numaralı uzay sistem çubuğunu, 3 numaralı kısım somunu, 4 numaralı kısım mesnet tutucu cıvataları, 5 numaralı kısım betonarme kolonu, 6 numaralı kısım ankraj plakasını, 7 numaralı kısım taşıyıcı levhasını, 8 numaralı kısım konik bölümü, 9 numaralı kısım teflonu, 10 numaralı kısım ise ankraj çubuklarını göstermektedir (Ülker, 2007).

2.6.7 Temel

Temeller, düşey kolon elemanların, destek duvarların ya da sistemin direkt olarak zemin üzerine oturmasını sağlayan betonarme elemanlardır. Uzay kafes sistemlerde yaygın olarak tekil temel kullanılır (Ülker, 2007).



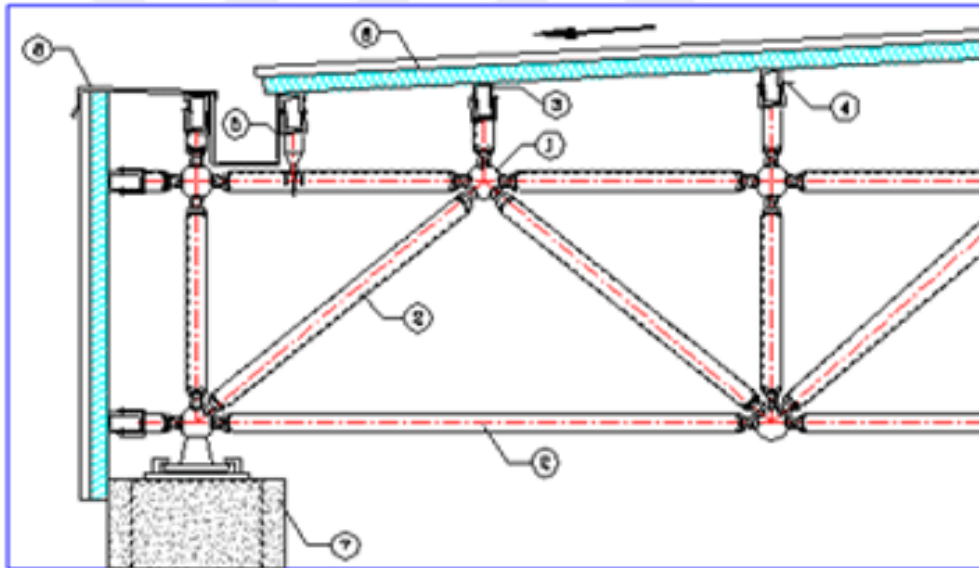
Şekil 2.49. Mesnet küre ve kolona bağlanmış mesnet detayları

2.6.8 Kaplama

Çatı veya duvar kaplamaları farklı yapı malzemelerinden yapılabilmektedir. Kafes sistem bitirildikten sonra çatı, alüminyum sandviç panelden veya galvanizli sac ile kaplanır. Bu kaplamaların ısı ve su yalıtımını sağlaması gerekir. Burada en dikkat edilecek durum su yalıtımı ve çatının eğimidir. Bu kaplama malzemeleri ile ister tek ister çok tabakalı düzlemler veya eğri yüzeyli alanlar Kaplanabilir. Eğri yüzeyli alanlar

genellikle tek tabakalı, düzlem yüzeyli alanlar ise çok tabakalıdırlar. Uzak kafes sistemler, düzlem yüzeyli tasarlandıklarında 100 m' ye kadar açıklıkları geçebilirler. Yapının yüksekliğinin uzunluğuna oranı 1/20 ila 1/30 dur. Uzak kafes sistemler, iskele ihtiyacını ortadan kaldırmak için genel olarak su basman kotunda montajı yapılmakta ve yerlerine vinç vasıtasıyla montaj edilmektedirler. Yapı sistemi demonte parçalardan oluşturulduğu için istenildiği zaman sökülerek başka bir yerde yeniden kurulabilir. Buda ekonomik avantajlarından bir tanesidir (Ülker, 2007).

Şekil 2.50.'ye göre 1 numaralı kısım sistem küresini, 2 numaralı kısım çubuk elemanı, 3 numaralı kısım aşık elemanı, 4 numaralı kısım cıvataları, 5 numaralı kısım dereyi, 6 numaralı kısım çatı kaplama malzemesini, 7 numaralı kısım betonarme kolonu, 8 numaralı kısım aksesuarı, 9 numaralı kısım dere taşıyıcısını, 10 numaralı kısım ise teflon bölümlerini göstermektedir (Ülker, 2007).



Şekil 2.50. Dere ve kaplama detayı

Şekil 2.51.'e göre 1 numaralı kısım uzak sistem küresini, 2 numaralı kısım uzak sistem çubuğunu, 3 numaralı kısım aşık elemanı, 4 numaralı kısım aydınlatmayı, 5 numaralı kısım tesisatı, 6 numaralı kısım havalandırmayı, 7 numaralı kısım çatı kaplamasını, 8 numaralı kısım ise aksesuar bölümlerini göstermektedir (Ülker, 2007).

Çubuk elemanlara galvaniz kaplamadan önce boya uygulanacak ise, kimyasal banyolarla temizlendikten sonra boyanın yüzeye iyi nüfuz etmesi için fosfat banyosuna yatırılır. Çubuk elemanlar temizlendikten sonra polyester toz boyayla boyanırlar. Boyama yapılırken karboksil içeren polyester tozu elemanların üzerine püskürtülür ve 200 °C' lik fırında boyaların kuruması sağlanır. Bütün bu işlemlerden sonra tüm yüzeyler 80 mikron kalınlığında boya tabakası ile kaplanmış olur (Soykan, 2007).

Uluslararası renk kataloğunda bulunan tüm renkler seçilebilir. Bu renklerin parlak, yarı parlak, mat ve yarı mat gibi tonları da bu işlemle sağlanabilir. Küre ve somunlar da aynı renklerle boyanabilir. Elektrostatik toz boya, fiziksel koşullara çok dayanıklıdır. Bu boya -50 °C ile +280 °C arasındaki sıcaklıklara dayanabilmektedir. Ayrıca ultraviyole ışınlarına karşı da mukavemetlidir. Yaş boya uygulanacak olur ise elemana 40-50 µ kalınlığında ince boya uygulanır. Fotoğraf 2.16.'da elektrostatik toz boya uygulanmış boru profiller verilmiştir (Soykan, 2007).

2.7. Uzay Kafes Sistem Malzemeleri

2.7.1 Çelik veya alüminyum malzeme

Uzay kafes sistemin imalatında alüminyum yapı malzemesine göre çok daha ucuz ve mukavemet değerleri yüksek olmasından dolayı çelik tercih edilir. Çelik korozyona karşı dirençli olmamasından dolayı galvanizleme işlemi yapılır. Yapının hafif olarak tasarlanması istenildiği zaman alüminyum kullanılabilir.

2.7.2 Ahşap

Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanıldığı yapılarda sistem düğüm noktalarına göre şekil alır. Düğüm noktaları imalatı ahşap sistemlerde çok zor olduğu için uzay kafes sistemlerde kullanımı uygun değildir.

2.7.3 Suni malzemeler

Suni malzemeler günümüzde oldukça yenidir. Suni yapı malzemeleri yüzeysel taşıyıcı bölümlerde kullanılmaktadır. Uzay kafes sistemlerde kullanılmamaktadır.



Fotoğraf 2.16. Elektrostatik toz boya uygulanmış boru profiller

2.8. Uzak Kafes Sistemlerin Mimarideki İşlevi

Makinenin ve insanların aktif olarak devam eden işlevlerini dış etkilere koruyacak yapıların tasarımı yapılırken yapının da herhangi bir zarar görmemesi gerekir. Bu sebepten dolayı geniş açıklıklı yapılar tasarlanır. Uzak kafes sistemler geniş açıklıklı yapıların tasarımında en çok kullanılan yapılardır. Yapıların işlevlerine göre ayrımı aşağıdaki başlıklarda anlatılmıştır.

2.8.1 Sanayi yapıları

Sanayi yapıları, içerisinde imalatın gerçekleştirildiği ve üretim ile alakalı işlemlerin birbirleriyle bağlandığı alanlardır. Üretim süreçleri hem aynı yapıda hem de yan yana farklı yapılarda gerçekleştirilebilir. En önemli nokta üretiminin sağlıklı bir şekilde ilerlemesi için doğru bir şekilde makine ve ekipmanların yerleştirilmesidir. Uzak kafes sistem sayesinde mekânın kolonsuz bir şekilde geçilmesi üretim için çok avantajlı bir yerleşim alanı sunmaktadır. Ürün giriş ve çıkışlarında transfer işlemi yapan araçların hareketi kolaydır.

2.8.2 Ürün gösteri salonları

Mimari açıdan ürün gösteri salonları (showroom) ürün sergileyebilmek için oluşturulan yapılardır. Geniş ve ferah bir mekân içinde bütün ürünlerin sergilenebilmesi ve mekânın kaliteli tasarımı müşterilerin dikkatini çekmektedir. Uzay kafes sistemler çok sayıda sergi alanları oluşturmasını sağlamaktadır.

2.8.3 Sergi ve fuar yapıları

Sergi ve fuar alanları işlevsel olarak ürün gösteri salonları ile oldukça benzerlik göstermektedir. Ürünlerin gösterim şekli çok önemlidir. Bu mekanlar için uzay kafes sistem kullanılması fuar ya da sergiye katılacak firmalara farklı yerleşim planları sunmaktadır. Sergi ve fuar süreleri sınırlıdır. Sergi ve fuar dışı zaman dilimlerinde stantların kurulduğu bir şantiye alanı halindedir. Bahsetmiş olduğumuz bu işlerin veriminin artması için mekânın kolonsuz olması gerekmektedir buda uzay kafes sistem sayesinde sağlanmaktadır.

2.8.4 Ulaşım yapıları

Ulaşım yapıları hareketin çok sık olduğu yapılardır. Bu yapılarda görsel trafik ve yönlendirme işaretlerinin görünebilmesi çok önemlidir. Son dönemde hem turizmin gelişmiş olduğu hem de nüfusun kalabalık olduğu metropol ya da büyük şehirlerde belediyeler bu tarz devlet yapılarını işlevine uygun aynı zamanda etkileyici bir tasarıma sahip şekilde yapılmasını sağlamaktadırlar. Uzay kafes sistemler işte bu tarz ulaşım yapılarını bu özellikleri taşıyacak şekilde yapılmasını sağlamaktadır. Uzay kafes sistemler gerekli statik hesapları yapıldığı sürece her büyüklükte yükü taşıyabilmektedir. Fotoğraf 2.17.'de uzay kafes taşıyıcı sistem kullanılmış ulaşım yapılarına bir örnek olarak taşıyıcı sistemi uzay kafes giriş olan bir karayolu köprüsü verilmiştir.

2.8.5 Spor kompleksleri

Spor faaliyetlerinin gerçekleştirildiği spor salonları çok geniş açıklığa sahip olmak zorunda olan alanlardır. Fotoğraf 2.18.'de verilmiş olan spor sahası örneklerinde görüldüğü gibi salon ya da sahada seyirci ve spor sahası arasında görüntüyü kesecek herhangi bir taşıyıcı eleman bulunmamalıdır. Bu özelliği sağlayabilecek yapı sistemi uzay kafes sistemlerdir.



Fotoğraf 2.17. Uzay kafes taşıyıcı sistem kullanılmış bir karayolu köprüsü



Fotoğraf 2.18. Spor sahası örnekleri

2.8.6 Alışveriş merkezleri

Sosyal aktivitelerin ve her türlü alışverişin birlikte sunulabildiği kapalı ya da yarı açık alışveriş merkezleri tercih edilen yapılar haline gelmiştir. Bu yapılarda sinema, restoran

ve alışveriş gibi sosyal hizmetler sunulduğu için hareketli yük yoğunluğu oldukça fazladır. Alışveriş merkezleri hem görsel olarak imajını güçlendirmek alanlara hem de çok kalabalık insan hareketini sağlayabilmesi için çok geniş açıklıklı çatı ve alanlara sahip olması gerekmektedir. Bu bahsettiğimiz durumları da ancak uzay kafes sistemler sağlamaktadır.

2.9 Uzay Kafes Sistemlerin Avantajları

Uzay kafes sistemler üç boyutlu şekilde tasarlanmaktadır. Elemanların hepsi imalathanede hazırlanıp şantiye sahasında montajı yapılacak biçimde dizaynı gerçekleştirilmektedir. Daha öncede bahsetmiş olduğumuz gibi yapı sistemi boru eleman, düğüm noktası küresi, aşık, cıvata ve mesnetlerden oluşur. Bu saydığımız elemanlardan oluşan uzay kafes sistemler günümüzde hem mimaride hem de statikte daha fazla verim sağlaması için kullanılmaktadır (Eşsizoglu, 2008).

Uzay kafes sistemler sistem modüllerinin üç boyutlu olması ile birlikte hafif olduğu için Fotoğraf 2.19. ve 2.20.'de de verilmiş olduğu gibi geniş açıklıkları kolonsuz geçebilir. İki yönlü geniş açıklıklar bu sistem ile geçilebildiğinden dolayı kullanım alanı artmaktadır. Yapının oturumuna göre dört cephede 15 metre uzunluğunda uzay kafes konsollar kullanılabilir. Üretim ve montaj açısından hazır elemanlardan oluşması büyük kolaylık getirmektedir. Termal değişimler açısından, diğer yapı sistemlerine göre daha esnektir. Çubuk elemanların boyları kısa olmasından dolayı düğüm noktası deplasmanları çok küçüktür (Eşsizoglu, 2008).

Uzay sistem sayesinde çatı istenildiği şekilde yapılabilir. Tek veya iki yönde eğime sahip çatı, kırık ve küresel şekilli çatı örnek olarak verilebilir. Şekil 2.52.'de verilmiş olduğu gibi uzay sistem içerisinden, mekanik ve elektrik tesisatları istenilen yönde kolaylıkla geçirilebilir. Uzay kafes sistemde istenilen çatı kaplaması uygulaması yapılabilir (Eşsizoglu, 2008).

Üretimde bütün çubuk elemanlar, statik açıdan en ekonomik olduğu düşünülen boru kesitli çubuklardan yapılır. Daha önce projesi ve eleman detaylarına uygun şekilde atölyede tamamı üretilip paketlenip, gruplandırılıp şantiye sahasına gönderilir.



Fotoğraf 2.20. Geniş açıklığa sahip uzay kafes sistemin içten görünüşü

2.9.1 Uzay kafes sistemlerin yapı sistemi olarak avantajları

Uzay kafes sistemler sayesinde kazanılan alan ile sarf edilen yapı malzemesi arasındaki oran diğer sistemlerdekine göre oldukça düşüktür. Yapının büyüklüğü ile yapının maliyeti birbiri ile ters orantılıdır. Bu sistemler, iskele gereksinimini ortadan kaldırmak için genellikle zemin kotunda kurulmakta ve çeşitli yöntemler ile yerlerine monte edilmektedirler. Sistem demonte elemanlardan oluşmasından dolayı, sökülüp yeni bir işlevsel alana çevrilebilmektedir. Bu da yeni bir yapı oluşması için oluşan kalıp ve iskele masraflarını yok etmektedir (Eşsizozlu, 2008).

2.9.2 Uzay kafes sistemlerin depreme karşı avantajları

Türkiye’de bulunan illerin % 90’ı deprem bölgesindedir. Endüstrinin yaygınlaştığı Marmara bölgesinin de % 100’ü deprem bölgesidir. Ülke olarak yaşamış olduğumuz depremler yapı sistemlerinde hatalı seçimler yapıldığını göstermektedir. Deprem hattında bulunan üretim tesisleri için uygulanacak en güvenli ve elverişli yapı sistemi çeliğin üç boyutlu en hafif statik çözümü olan uzay kafes sistemlerdir (Eşsizozlu, 2008).

Uzay kafes sistemler ileri derecede hiperstatik yapı sistemlerdir. Yapı yüklerini tüm doğrultulara aktararak çekme ve basınç çubukları ile taşırlar. Sistem çubuk elemanlarında moment oluşmadığı için yapısal emniyet sağlanmaktadır. Bilinen diğer yapı sistemlerine göre daha hafiftir ve deprem yükü yapının ağırlığına bağlı olduğu için

deprem yüklerinden az etkilenirler. Betonarme yapılara göre daha sünektirler (Eşsizoglu, 2008).

2.9.3 Uzay kafes sistemlerin maliyet yönünden avantajları

Uzay kafes sistemler statik açıdan, diğer taşıyıcı yapı sistemlerine oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin çatıda az olması nedeniyle alt sistem öğeleri ve temeller daha küçük boyutludur, buda maliyeti önemli ölçüde azaltmaktadır. Genel olarak uzun sürede imalat yapmak ve bu sürelerin getirmiş olduğu sabit giderlerin artması endüstrileşmiş imalat sayesinde engellemektedir. Şantiye sahasında sadece montaj yapılmaktadır bu durum masrafları azaltmaktadır. Çok kısa sürede yapımı bitirilebilen yapılar sayesinde işletmeye kısa süre açılabilir. Standart yapım sistemlerinde yapı malzemeleri şantiye tedarikçilerden tek tek alınarak getirilir ve yapı elemanları olarak kullanılırlar, bu da nakliyenin çok sık olması anlamına gelmektedir. Uzay kafes sistemlerde bu işlem tek seferde yapılır buda maliyetin düşmesini sağlar.

2.10 Uzay Kafes Sistemlerin Montajı

Uzay kafes sistemlerinin montajı daha öncede bahsettiğimiz gibi sadece somun sıkın anahtarlar kullanılarak sistem ve şantiyeye göre çeşitli yöntemler ile yapılır. Montaja başlanmadan önce montajı yapacak usta, uzay kafes sistem mesnet ve aksların kontrolünü yapıp şantiye şefinden teslim alır ve montaja elverişli koşullar sağlandıktan sonra montaja başlanır (Vural, 2005).

Tüm sistem elemanları Fotoğraf 2.22.'de görüldüğü gibi serbest durumda cıvatalar sıkılarak zemin üzerinde monte edilirler. Montaj esnasında montaj şefinin direktiflerine uygun şekilde sistem geçici olarak mesnetlenir. Yapı stabilitesinin bozulmaması için hiçbir cıvata gevşek olmayacaktır. Bütün sistemin tam aksında olması çok önemlidir. Fotoğraf 2.21.'de yerde montajı yapılmış olan uzay kafes sistemin vinçle yerine montajı verilmiştir (Vural, 2005).

Montaj sırası ile ilk önce ankrajlar ve plakalar hazırlanır. Yapı planına göre beton dökülecek kısımlara ankraj plakaları demirlere kotunda bağlanır ve beton dökülür. Bazen ankrajlar kimyasal dübellere sayesinde mevcut betona yerleştirilirler. Sistem

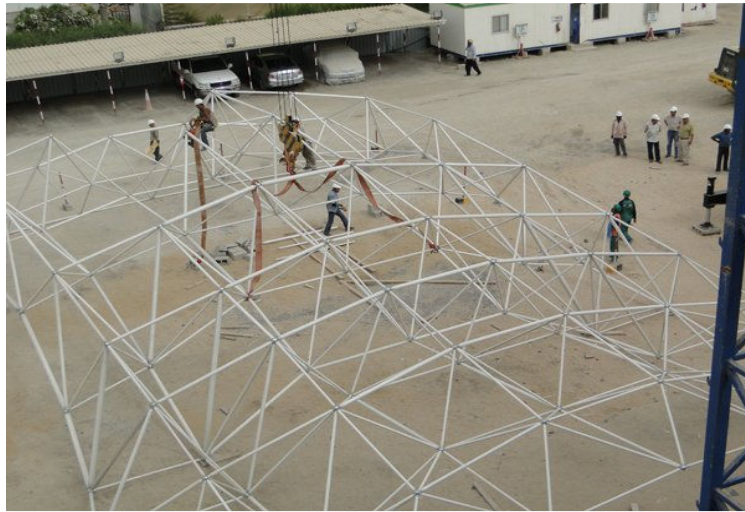
projesine göre havada ya da yerde örölerek monte edilir. Bütün montaj işlemleri yetkin elemanlar tarafından kontrol edilerek belirli standartlara uygun olarak gerçekleştirilir. En son olarak mesnetlere sistem kaynaklanır ve teslimatı yapılır (Vural, 2005).

2.11 Uzay Kafes Sistemlerin Uygulamasında Karşılaşılan Sorunlar

Ülkemizde devlet kurumlarının ihalesini yaptıktan sonra yükleniciler tarafından çok sayıda uzay kafes sistem yapım işi gerçekleştirilmektedir. Uzay kafes sistem yapım işi üç ana aşamadan oluşmaktadır. Bunlar proje, imalat ve montaj aşamalarıdır. Uygulamada karşılaşılan sorunları anlamak için bu aşamalar incelenecektir.



Fotoğraf 2.21. Yerde montajı yapılan sistemin vinçle yerine montajı



Fotoğraf 2.22. Uzay kafes sistem çatının yerde birleştirilmesi ve yerine montajı

2.11.1 Uzay kafes sistemlerin projelendirme aşaması sorunları

Ülkemizde uzay kafes sistemlerin statik projeleri genel olarak Framecad programı ile yapılmaktadır. Bilgisayar programları doğru statik çözümü ortaya koysa bile, statik çözümü ortaya koyacak olan mühendisin mesleki bilgisi ortaya konan çözümün doğruluğunu olumlu ya da olumsuz etkileyecektir (Ülker, 2007).

Uzay kafes sistem üretim firmalarında ikame eden mühendislerin çok azı alanında yetkindir. Özel sektördeki firmaların personel politikalarında dolayı yetkin mühendislerin farklı mesleklere geçmeleriyle birlikte uzay kafes sistem firmalarında yetkin eleman her zaman önemli bir sorun teşkil etmektedir.

Ülkemizde ki yasaların oluşturduğu boşluklar ve piyasa şartları uzay kafes sistem imalat firmaları, yükleniciler ve taşeronlar her şartta para kazanmak mantığında olduklarından dolayı uygulama aşamasında eksik imalatlar yapılmaktadır.

Çoğunlukla, uzay kafes sistem ile kapatılmak istenen bir yapının mimari projesinde uyumsuzluklar bulunmaktadır. Bunun en önemli sebebi, projeyi hazırlayan mimarların uzay kafes sistem konusunda tecrübelerinin bulunmamasıdır. Mimarlar yapı mimarisinin yapının değişik yükler altında sistem davranışını ne derecede etkilediğini bilmemektedirler. Hem mimari proje, hem taşıyıcı sistem hazırlanırken, uzay kafes sisteminden bağımsız hareket edilmektedir. Örneğin 50-60 m açıklığa sahip bir spor salonunu tek eğimli olarak tasarlanırsa, çatının bir kısmında biriken kar yükü çatının göçmesine neden olabilir.

Uzay kafes sistemin, statik projesinde alınmış olan yükler gerçeği yansıtmak zorundadır. Çeşitli sebeplerden dolayı, projelerde ya fazla ya da az yük alınmaktadır. Bu sebepten, yapılan statik çözümler ya güvenlik sınırları altında kalmakta ve yapı emniyetsiz olmakta, ya da eleman kesitleri yüke bağlı arttırılarak ağır konstrüksiyon oluşturmaktadır. Bazen de, gereksiz ağırlıkta ama güvenlik sınırları altında kalabilen yapılarda üretilebilmektedir. Bu sebeplerden dolayı 2006 yılında Antalya'da 79 km/sa hızla esen rüzgâr yükü doğru tahmin edilememiş ve Antalya Kipa alışveriş merkezinin çatısı çökmüş can ve mal kaybına sebep olmuştur.

2.11.2 Uzay kafes sistemlerin üretim aşaması sorunları

Uzay kafes sistem üretimi çok hassas ve ince işçilik isteyen bir imalattır. Proje şartnamelere uygun hazırlanmış ise ve projeye uygun iş emirleri hazırlanmış ise, imalat sırasında hata yapma ihtimali düşüktür. İmalatta yapılan hatalar montajda ortaya çıkar ve buda daha büyük sorunlara yol açabilir.

Üretim aşamasında, fazla para kazanma hırısı, üretim yapan firmaları hatalı seçimlere itmektedir. Bu yanlış seçimlerin en başında yanlış boru kullanımı gelmektedir. Hatalı olarak düşündüğümüz borular deformasyona yada korozyona uğramış yada yetersiz boyanmış borulardır. Özellikle, koniklerin ve boru kaynaklı birleşimlerinde de hatalar olmaktadır. Düşük kaliteli olarak kullanılan konik elemanların kullanılması da problem yaratmaktadır.

Dolu küre elemanlara bağlanan bulonlar da dış sıyırması, boş küre elemanlarda da küre patlaması olabilmektedir. Yön değiştirebilen yük altında boş küreli düğüm noktasının iyi sabitlenmesi gerekmektedir. Küreler, ısıtılıp ve daha sonra dövülerek şekil verilen elemanlardır. Malzeme plastik kıvama getirilirken fazla ısıtıldığında malzeme kalite olarak düşmektedir. Yeterli ısıtma ya da düzgün olmayan bir dövme işlemi de kürenin taşıma gücünü azaltmaktadır. Uzay kafes sistemlerde kullanılan elemanların birleşim araçları bulon ve pimlerdir. Bu elemanlar piyasadan hazır alınmaktadır. Bu elemanların kalitesi çok önemlidir. (Eşsizoglu, 2008).

2.11.3 Uzay kafes sistemlerin montaj aşaması sorunları

Uzay kafes sistemlerin çökme sebeplerinden biriside montaj hatalarıdır. Çok iyi bir projelendirme ve imalat çıkarsanız bile montajda yapılacak hatalar yapı stabilitesini bozabilir. Montaj esnasında, uzay kafes sistemi taşıyacak olan taşıyıcı sisteme düzgün oturtulması hataların ortadan kaldırılmasında çok önemli bir etkidir. Eğer, sistem, projesinde tasarlandığı gibi, taşıyıcı sisteme oturtulmaz ise elemanlar gerilme sınırlarını aşır taşıma güçlerini kaybederler ve yapı çökebilir (Eşsizoglu, 2008).

BÖLÜM III

CAM ELYAF TAKVİYELİ POLYESTER

3.1 Cam Elyaf Takviyeli Polyestere Giriş

İnsanoğlu her zaman yapı çözümleri için farklı malzeme arayışları içerine girmiştir. Örnek verecek olur isek Mısır'da laminasyon yapılmış tahtalar, eğilme dayanımını yükseltmek için birbirinden farklı lif yönleriyle çalışacak biçimde tasarlanmışlardır. Bu durumumla birlikte, sentetik plastiklerin geliştirilmesiyle plastikler diğer malzeme çeşitleri ile yarışabilir hale gelmiştir (Sarıbiyık, 2007).

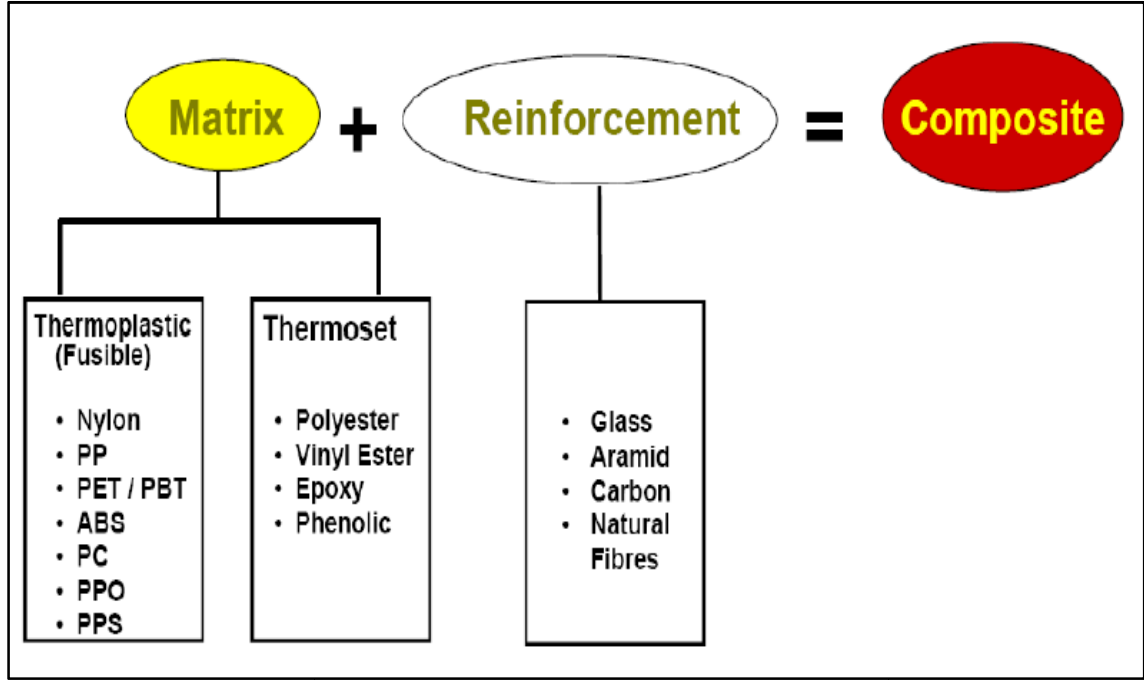
İki ya da daha fazla farklı fiziksel ve kimyasal özelliklere sahip malzemelerin birleştirilmesiyle elde edilen ürüne kompozit malzeme denir. Yakın tarihlerde yapılmış olan çalışmalarla, yapı malzemesi olarak kullanılan malzemeler ikiye ayrılmıştır. Biri homojen malzemeler; diğeri ise içinde ikiden fazla homojen malzeme barındıran kompozit malzemelerdir (Şahin, 2000).

Günümüzde en fazla kullanılabilen kompozit malzemeler; cam fiber takviyeli reçine, karbon, fiber cam elyaf takviyeli polyesterlerdir. Şekil 3.1.'de verilmiş olduğu gibi kompozitler takviye (Reinforcement) ve reçine (Matrix) bileşenleriyle oluşturulur. Bu malzeme türüne en genel örnek, "fiberglass" olarak bilinen cam fiber takviyeli polyesterdir (Sayman vd., 2000).

Kompozit malzemeler çok avantajlı özelliklere sahip olmasının yanı sıra dayanıklılık ve sertlik açısından zayıf olması nedeniyle güçlendirilme çalışmalarına ihtiyaç duyulmuştur. 1950 ve 1960 yılları arasında yapılan çalışmalarda polimer esaslı kompozit malzemeler üretilmiştir. Bunun yanı sıra farklı türde matris ve takviye elemanları kullanılmaya başlanmıştır (Mallick, 1997).

Kompozit malzemelerin daha önce ki paragraflarda da değindiğimiz gibi en yaygın kullanılan elyaf takviyeli kompozitlerdir. Bu kompozitler malzemelerde de takviye malzemesi olarak cam tercih edilmiştir. Matriks malzemesin olarak plastik reçineler

yaygın olarak kullanılır. Plastik reçinelerden ucuzluğundan dolayı polyester tercih edilmektedir. Epoksi reçine matriks malzemesi ise yüksek gerilme dayanımı ve kimyasal dayanıklılığından dolayı yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır (Güldü vd.,2003).



Şekil 3.1. Kompozit malzeme bileşimleri

3.2 Cam Elyaf Takviyeli Polyesterlerin Bileşimleri

Kompozitler; reçineler (Matriks) ve takviye malzemelerinden (Reinforcement) oluşmaktadır. Yani reçineye gömülen mütemadi veya kesilmiş elyaf malzemelerden oluşur. Bu malzemeler heterojen olarak karışımlarda ayrı dururlar. Elyafın sağlamlık ve sertlik özelliklerinin yanı sıra plastik reçinelerle entegre olmasıyla birlikte sisteme gelen yüklerin elyaf içinde dağılması sağlanır (Sain ve Li, 2003).

Kompozitlerin önemli bileşimleri, elyaflar gibi güçlendirici malzemeler ya da özel doldurucular gibi ucuzlatıcı malzemelerdir. Bulunabilecek diğer malzemeler eşleştirme vasıtaları, kaplamalar ve dolduruculardır. Eşleştirme malzemeleri ve kaplamalar elyaflara ve dolduruculara uygulanarak, elyafın matrisle etkileşimini artırırlar ve ayrıca matrisi nemlendirerek reçine özelliğini arttırmaktadırlar. Daha sonra bu elyaflar ve

matris arasında daha iyi yük transferini sağlarlar. Doldurucular özellikle maliyeti düşürmek ve boyutsal stabiliteyi sağlamak için bazı polimerik matrislerle kullanılırlar (Sain ve Li, 2003).

3.2.1 Elyaf lar

Elyaf ve reçinelerin birleşimiyle oluşan kompozitlerde, elyaf lar kuvvet yükünü taşıyan ana elamanlardır ve polimerlerin takviye işleminde kullanılmaktadır. Takviye malzemelerinin bir kısmı doğada mevcut olup bir kısmı da endüstriyel olarak üretilmektedir. Takviye malzemeleri içinde en geniş yer bulan cam elyaf takviyelerdir. Bu malzemenin dışında kalan karbon, polietilen, aramid, naylon ve polyesterdir (Kut, 2005).

Isı dayanımı olarak ve mukavemeti arttırmak için özel amaçlı metal ve metal oksitler takviye malzemesi kullanılır. Takviye malzemesi çeşitliliği sayesinde alternatifli ürün hizmetleri sunulabilmektedir (İnci, 2006).

3.2.1.1 Cam elyaf lar

Cam elyaf lar matriks olarak polyester olan kompozitlerin en yaygın takviye elemanı olarak kullanılmaktadır. Ucuzluğu, yüksek gerilim dayanımı, yüksek kimyasal dayanımı ve güçlü yalıtım özellikleri gibi avantajlarının olmasının yanı sıra, yüksek özgül ağırlık, düşük gerilim modülü, aşınmaya karşı dirençsizlik, nispeten çabuk yorulma gibi dezavantajları da vardır. (Sain ve Li, 2003) .

Cam elyaf ın takviye malzemesi olarak kullanılabilmesi için polimerlerle bir bağlantı oluşturabilecek bir bağlayıcı kullanılması gerekir. Polimerlerin elyaf takviyesine yapışmasını daha da kolaylaştırabilmek için ise bağlayıcı içerisine yüzey kaplama malzemeleri eklenir (Kut, 2005).

Alüminyum oksit, doğal kireç ve borosilikat elementlerinden imal edilen E camından olan cam elyaf, yüksek yalıtım ve mukavemet özelliklerinden dolayı daha önce de bahsetmiş olduğumuz gibi en sık kullanıma sahip takviye malzemesidir. Diğer bir

endüstriyel ürün olan S camı, daha yüksek gerilme, ısı dayanımı özelliklerinin yanı sıra geliştirilen kimyasal özellikleri sayesinde daha özel bir takviye malzemesi olarak kullanılır (Kut, 2005).

Cam elyaf lifleri 9-23 μ arasındadır. Lifler, platin rosyum alışımlı delikleri bulunan kovanlardan çekilir. Bu kovanların 4000'i aşkın deliği mevcuttur. Serbest hareket eden cam fiberlerin ısısı; su ve hava kullanılarak soğutulur. Soğutma işleminden sonra cam fiberlerin korunması için yüzeyine bağlayıcı sürülmektedir (İnci, 2006).

Kompozit laminatın aşağıdaki karakteristiklerini etkilemesinden dolayı elyafın uygun biçimde seçilmesi çok önemlidir.

- Maliyet
- Özgül ağırlık
- Gerilim kuvveti ve modülü
- Sıkıştırma direnci ve modülü
- Yorgunluk başarısızlığı mekanizması kadar yorgunluk sağlamlığı
- Elektriksel ve termal iletkenlik

3.2.1.2 Karbon elyaflar

Karbon elyafların gerilme modülü 270-517 GPa arasındadır. Ağırlığına oranla gerilme modülünün ve çok yüksek gerilme kuvvetinin olması, düşük doğrusal genişleyebilme katsayısı, yüksek sistem stabilitesi, uzun servis ömrü avantajlarının yanı sıra, darbeye karşı zayıflığı, yüksek elektrik akım iletkenliği ve yüksek maliyet gibi dezavantajları vardır (Sain ve Li, 2003).

3.2.1.3 Kelvar 49

Kelvar 49 güçlendirici elyaflardan biridir. Minimum yoğunluk, maksimum gerilme kuvvetinin ağırlığa oranı ve yapısal uygulamalar için kullanılan elyaf olması gibi avantajlarının yanı sıra, düşük dayanım, üretim zorluğu, düşük ağırlık gibi dezavantajları vardır (Sain ve Li, 2003).

3.2.2 Dolgu maddeleri

Doldurucular sadece doldurucu özelliği göstermemekte aynı zamanda reçine özelliği de göstermektedir. Ancak, özel doldurucu kompozitler için sağlamlık geliştirmede ilerlemeler ne olursa olsun, hala elyafı güçlendirilmiş kompozitlere göre ikinci sıradadır. Kompozitlerde en sık kullanılan dolgu maddeleri: karbonat CaCO_3 , kireç, kil, mika, mineraller, tarımsal atık ürünler, organik silikonlar ve talktır. Ancak, şu anda bu tipteki tüm doldurucular kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek için yüzey modifiyedir. Mesela, ticari olarak üretilen kilin iyi bir saflığa, beyazlığa, yüksek modüle ve eğilme direncine, yüksek ısı eğilme derecesine sahip olduğu ifade edilmektedir. CaCO_3 , kompozitlerin özelliklerini iyileştirmek için birçok aktif yüzey malzemesi ile birlikte kullanılmaktadır. Genel olarak kullanılan dolgu maddelerinin takviye edici katkılarıyla birlikte tüketim içerisindeki yüzdeleri Çizelge 3.1.'de verilmiştir (Sain ve Li, 2003).

Polimer kompozitlerin parçacık dolgulu olanları genel amaca hizmet eden malzemeler olarak bilinmektedir. Bu tür malzemeler ekstrüzyon ve enjeksiyon gibi CTP kalıplama yöntemleriyle üretilmektedirler. Siyah karbon, cam elyaf (kırılmış), toz kireç gibi dolgu malzemeleri kimi zaman gerilme dayanımı artışı, sert yüzey, ısıl genleşme ve yangına karşı dayanımı etkileyebileceği gibi kimi zamanda maliyeti düşüren bir malzeme gibi kullanılır. Özellikle partikül dolgulu kompozit malzemelerde üretilen kompozitin elastiklik modülü ve çekme mukavemetleri dolgu tarafından önemli ölçüde etkilenmektedir. Dolgu maddesi miktarı arttıkça kompozitin elastisite modülü yükselmektedir. Ancak polimer kompozit yapıyı oluşturan elemanların birbiri ile olan etkileşimi çok önemlidir. Bunun için farklı yapılardan oluşan elemanların etkileşimini ve mekanik özelliklerini yükseltmek için ara yüzey özelliklerini geliştiren maddelerin kullanılması zorunludur. Ancak burada yapıyı oluşturan elemanların birbiri içindeki oranları oldukça önemlidir. Yapıyı oluşturan elemanların oranlarının yanında dolgu maddelerinin boyut ölçüleri de çok önemlidir. Mineral dolgunun boyutu küçüldükçe kompozitin özellikleri yükselmektedir (Tavlı, 2004).

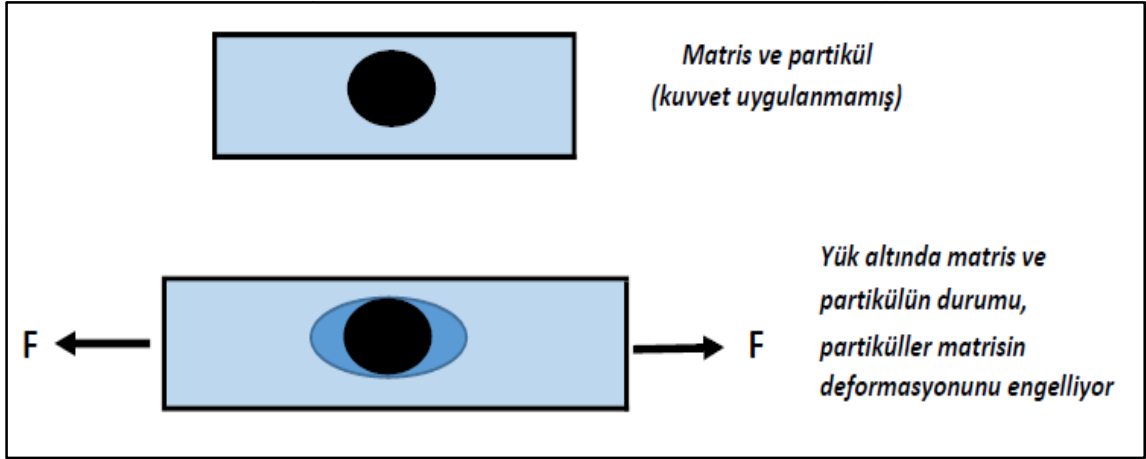
Çizelge 3.1. Genel olarak kullanılan dolgu maddelerinin takviye edici katkılarla birlikte tüketim içerisindeki yüzdeleri

<i>Dolgu Maddesi/Takviye Edici Katkı</i>	<i>Toplam Tüketim İçindeki Yüzde Payı (%)</i>
Karbonatlar (genellikle CaCO ₃)	50-55
<i>Silikatlar</i>	
Talk	5.0-6.0
Asbest	5.0-6.0
Kaolin	2.0-3.0
Mika	0.01-0.02
Çeşitli silikatlar	0.4-0.5
Silisyum dioksit	2.5-3.5
Çeşitli mineraller	0.2-0.4
Alüminyum trihidrat	6.0-7.0
Karbon siyahı	0.6-0.8
Organik dolgu maddeleri(odun talaşı, öğütülmüş, fındık kabuğu vb.)	3.5-5.0
Cam elyaf	20.0-25.0
İçi dolu veya boş cam kürecikler	0.5-0.7
Karbon elyaf, aramid elyaf etc.	0.01-0.02

Mineral dolgunun boyutunun yanında dolgu maddesinin yüzey alanı da önemli bir faktördür. Özellikle mineral dolgulu kompozitlerin çekme mukavemeti mineral dolgunun çapı küçüldükçe azalmaktadır. Bu azalmada ara faz alanının etkisinin önemi büyüktür. Bu sayede matris ile elyaf ya da dolgu arasında bağlanma artmakta ve de mukavemet yükselmektedir. Mineral dolgulu polimer kompozitlerde çatlak ilerlemesi de oldukça zordur. Burada mineral önemli rol oynar.

Dolgu şekli parçacıklı olan dolgulu olan kompozit malzemelerde ürün performansını etkileyebilen farklı etkenler vardır. Bunlar parçacıkların ebatları, bu ebatların kendi içerisindeki dağılımları, yüzey kısmının enerjisi, parçacıkların hacminin matriksin hacmine olan oran dağılım şekli yani homojenlik, parçacığın eksen uzunluklarının birbirine oranı, imalat aşamasında eksenlerin yön değiştirme miktarıdır.

Bunların içinde, parçacık boyutları, boyut dağılımları, yüzey enerjileri (yapılma etkisi nedeniyle), matris hacmine olan oranların dağılım şekilleri (homojen olup olmamaları) eksen oranı denilen parçacığın iki ana eksen uzunluğunun oranı, üretim sırasında eksenlerin yönlenme miktarı, bunlar bir bir veya gruplar şeklinde birbirlerine bağlı şekilde kompozitin özelliklerini etkiler (Tavlı, 2004). Şekil 3.2.'de matrisin partikülle olan ilişkisi görülmektedir.



Şekil 3.2. Mineral dolgulu kompozitlerde matrisin dolgu maddesi ile ilişkisi

3.3 Cam Elyaf Takviyeli Polyester Profillerin Özellikleri

Elyafla güçlendirilmiş kompozitler geleneksel metallere göre daha iyi bir sağlamlığa ve modüle sahiptirler.

Elyafla güçlendirilmiş kompozitler şu özelliklere sahiptir:

- I. Düşük özgül ağırlık, sağlamlık / ağırlık oranı ve modül /ağırlık oranı diğer malzemelere oranla daha üstündür. Kompozit yapıların çoğunun yorulma dayanımı / ağırlık oranı kadar yorulma hasar toleransı da mükemmeldir.
- II. Çelik ve Al alaşımlar gibi geleneksel yapısal malzemeler hemen hemen her yönde benzer özellikler sergilediğinden izotropik olarak düşünülürler. Ancak, elyafla güçlendirilmiş kompozitlerin sağlamlığı önemli derecede elyaf yayılma yönüne bağlıdır. En yüksek sağlamlık elyaf ekseninin uzunlamasına yönlenmesinde ve minimum elyaf eksenini 90 °C' de

sağlanır. Benzer açısal ayrımlar termal genişleme katsayı, termal iletkenlik ve darbe sağlamlık gibi diğer fiziksel ve mekanik özellikler için gözlenir (Sain ve Li, 2003).

- III. Elyafı güçlendirilmiş yapının dizaynı özellikle yön özelliklerindeki farklardan dolayı metal bir yapıya göre zordur.
- IV. Özelliklerin yönsel bağımlılığına ek olarak, yapısal metaller ve elyafı güçlendirilmiş kompozitler arasında birkaç farklılık vardır. Mesela, metal genellikle eğilme ve plastik deformasyonu sergiler. Elyafı güçlendirilmiş kompozitlerin çoğunluğu kendi gerilme kuvvetlerinde elastiktir. Ayrıca, metal ve kompozit yapıda hasar gelişme mekanizması oldukça farklıdır.
- V. Elyafı güçlendirilmiş kompozitlerin çoğunun termal genişleme katsayısı metallerinkinden daha düşüktür. Sonuç olarak, kompozit yapılar geniş bir ısı yelpazesinde daha iyi boyutsal stabilite sergilerler.
- VI. Elyafı güçlendirilmiş kompozitler yüksek iç sönüme sahiptir. Böylece metallere göre daha iyi bir titreşim emilimi gösterir.

Elyafı güçlendirilmiş kompozitlerin en önemli avantajı anti-korozyon davranışdır. Metal matris kompozisyonlarda, elyaf ve matris arasında gerçekleşen yan kimyasal reaksiyon kadar matrisin oksidasyonu yüksek ısı uygulamalarında önemli bir yer tutar. Kompozitlerin çeşitli uygulamaları mevcuttur. Önemli uygulama alanları; uçak, uzay, otomotiv, spor ve eşyalarıdır (Sain ve Li, 2003).

3.3 Cam Elyaf Takviyeli Polyester Profillerin Üretim Metotları

Seçilen kompozit malzeme ile son ürünün fonksiyonelliği ve şekli arasındaki ilişkinin yanı sıra, uygun kalıplama şeklinin seçimi son mamulü etkilemektedir.

Tercih edilen malzeme ve üretim metodu arasındaki ilişki, kompozitlerin sağladığı avantajları ve son mamulün sınırlarını geleneksel malzemelerde olduğundan daha fazla etkilemektedir. Kompozitlerin tasarım avantajlarından biri de, son mamulün fiziksel ve

mekanik ihtiyaçlarının karşılanmasında istenen takviye malzemesinin ve miktarının seçilmesidir. Buna rağmen, takviye elemanı kalıplama yönteminin sınırları içinde, uygulama veya uygun maliyet açısından optimum şekilde kullanılamıyorsa, uygulamadaki tüm tasarım avantajları kullanışsız veya erişilemez bir boyuttur. Örneğin, tasarım mukavemetini sağlamak için ağırlıkça % 60 içeren cam elyafı kullanılması gereken yapısal bir parçanın, BMC hazır kalıplama bileşiminde olduğu gibi kırpma ağırlıklı bir üretim yöntemiyle üretilmesi uygun değildir (Kut, 2005).

Kompozitlerin imalatında beklenen çeşitli ihtiyaçları karşılayabilmek için çok fazla bağımsız üretim metodu geliştirilmiştir. Bu retim süreçlerinin her birinin kompozit imalatında kullanılabilecek çeşitli avantajları ve spesifik faydaları bulunmaktadır. Tüm temel üretim süreçlerinin özelliklerini kavramak ve düşünülen uygulama sahası için gerekli en verimli kompozit üretim metodunun nasıl seçileceğini bilmek, kompozitlerin üretim yöntemlerine giriş bölümünün konusunu oluşturmaktadır (Kut, 2005).

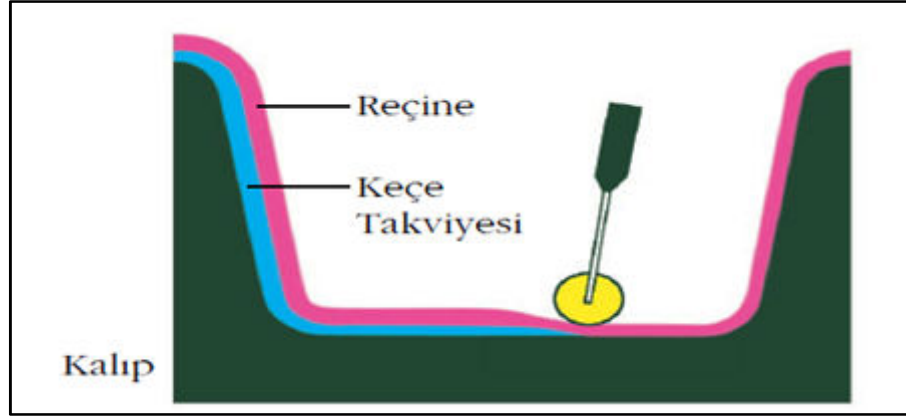
3.3.1 El yatırması ve püskürtme yöntemleri

Cam elyaf takviyeli polyester kalıplama metotları içinde en sık kullanılan ve çok fazla avantaj sağlayan el yatırması ve püskürtme yöntemleridir.

Püskürtme ve el yatırması üretim metotlarının her biri, kalıba yatırılan takviye malzemesinin üstüne sıvı haldeki reçinenin uygulanması ilkesine dayanmaktadır. Kalıbın retiminde de yine kompozit malzeme kullanılmaktadır. El yatırması metodunda reçine el ile, püskürtme metodunda ise reçine püskürtme tabancasıyla takviye malzemesine uygulanmaktadır. Her iki üretim metodunun da kolay işlenebilme sayesinde üretim kolaylığı ucuz maliyet gibi avantajları mevcuttur. Bu retim metotları diğer yöntemlere göre daha basittir (Kut, 2005).

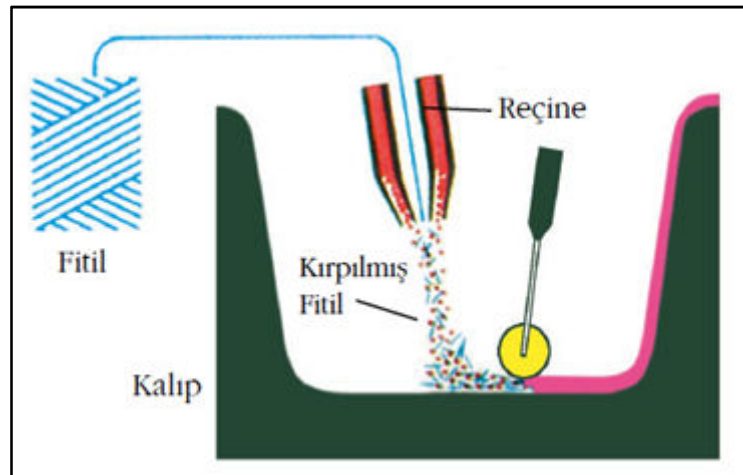
El yatırması yöntemi, düşük imalat seviyelerinde en çok kullanıma sahip bu kalıplama metodu, üretimine başladığından beri sanayide devamlı gelişmeye olanak veren ve üzerinde araştırma yapılan imalat metotlarından biridir. Kompozit sanayisinde en genel ve temel kalıplama yöntemi olarak kabul görmektedir. şekil 3.3.'de grldğu gibi bu üretim sürecinde takviye malzemesi (Sıvı reçine) ile dokuma birlikte üzeri aık kalıba

uygulanmaktadır. Matriksde (Reçine) oluşan kimyasal reaksiyonlar hafif ve mukavemetli malzeme oluşturur (Kut, 2005).



Şekil 3.3. El Yatırması kalıplama yöntemi

Püskürtme yöntemi, birçok açıdan, el yatırması yöntemine benzemektedir. Püskürtme metodu, CTP imalatında kullanılan bir metottur. Bu metotta cam elyafı takviyesi ile birlikte katalize olmuş reçineler, kendine has bir püskürtme tabancasıyla kalıba uygulanmaktadır. Tabanca ayrıca elyaf takviye malzemesini kırıp reçine üzerine uygulama işlemini de yapabilmektedir. Uygulanan malzeme kalıba püskürtme yöntemiyle uygulanmaktadır. Daha sonra laminat malzemenin tam olarak ıslanması ve reçine içinde kalabilen hava kabarcıklarının tam olarak çıkartılması için rulo ile rulolama işlemi yapılır. Şekil 3.4.'de püskürtme yöntemiyle kalıplamanın gösterimi verilmiştir (İnci, 2006).



Şekil 3.4. Püskürtme yöntemi

3.3.2 Pres kalıplama

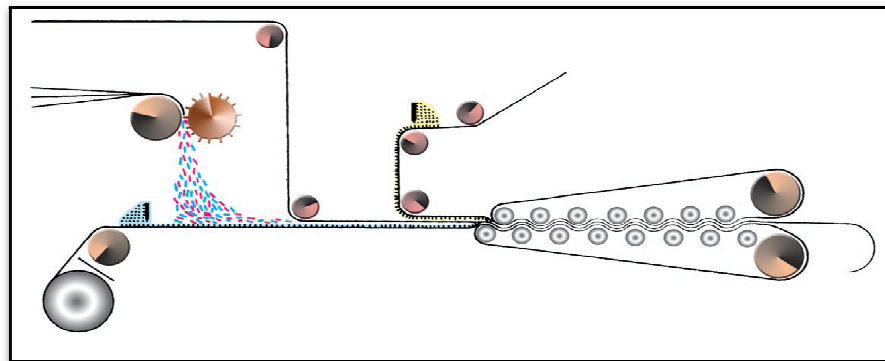
Pres kalıplama, CTP'lerin, yüksek ölçekli imalatlarda geldiği en üst noktadır. Dört tip pres kalıplama metodu bulunmaktadır.

- SMC (Sheet molding compound) Hazır Kalıplama Bileşimi
- BMC (Bulk Molding Compound) Hazır Kalıplama Bileşimi
- Islak sistemli preform ve keçeleri presleme
- Takviyeli termoplastik levha presleme

Bu üretim tipi önceden ısıtılan metalden yapılmış kalıplarda, malzemenin ihtiyaç duyulduğu şekilde, reçinenin 170-200 bar hidrolik basınçla sıkıştırılıp sertleştirilmesiyle yapılır.

SMC hazır kalıplama bileşimi, takviyeler, matriksler, dolguda kullanılanlar, kalınlaştırıcı malzemeler, katalizör görevli malzemeler, kalıp ayrıştırıcıları ile raf ömrünü uzatan katkıların birleştirildiği, kolaylıkla pestil haline getirilebilen hazır kalıplama bileşimidir. Kavram olarak düşünülen SMC bileşimi, levha olarak bulunan çeliğin kompozit olarak karşılığıdır (Kut, 2005).

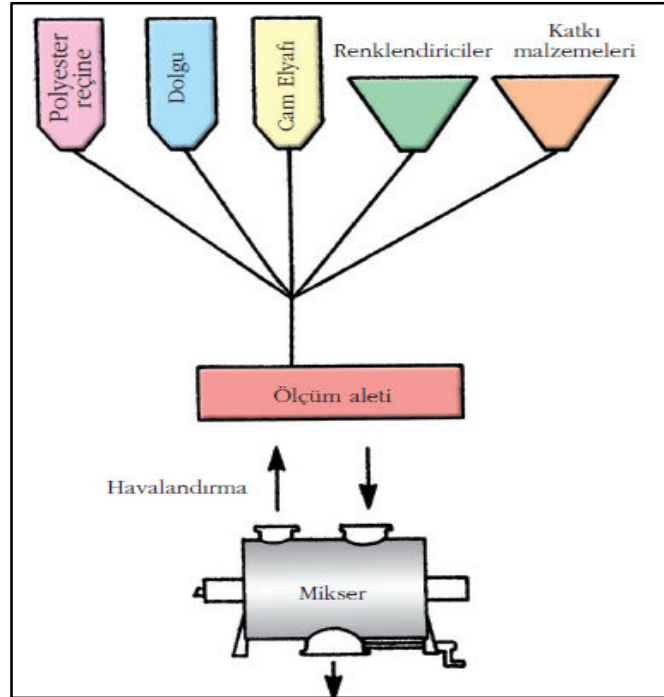
SMC tekniğinde, sürekli lifler 25-50 mm boylarında kırılarak matris malzemesi (reçine) ile birlikte pestil biçiminde birleştirilir. Kompozitin toplam ağırlığındaki elyaf oranı, %25-30 civarındadır. Üretilen levhalar genellikle 1 m genişliğinde ve 3 mm kalınlığındadır. Şekil 3.5.'de SMC hazır kalıplama bileşimi üretim şeması verilmiştir (Zor, 2018).



Şekil 3.5. SMC Hazır kalıplama bileşimi üretimi

BMC hazır kalıplama bileşimi polyester esaslı hazır kalıplama malzemesidir. Polyester BMC'nin ilk uygulamaları 1940'ların ortalarında başlamıştır. Hamur şeklindeki kalıplama bileşiği; reçineler, katalizör malzemeler, toz halinde bulunan dolguda kullanılan malzemeler, kırılmış fitil (BMC1, BMC3), pigment, kaydırıcı (Lubrikant) ve diğer performans artırıcı malzemelerin harmanlanması ile oluşur. Malzeme yüksek termal dayanımı, boyutsal stabilite, gerilme mukavemeti gibi kendine has özellikleri ile tanımlanır. BMC, ayrıca yüksek sıcaklıklarda renk değişimi meydana gelmeyecek, korozyona, yanmaya ve mor ötesi ışınların etkisine dayanıklılık gösterecek şekilde formülize edilir. Kompozit malzemeleri; basınç, enjeksiyon veya transfer kalıplamayla uygulanır. BMC'lerde en dikkat edilmesi gereken şey, CTP uygulamasındaki isteklere uyan en ucuz maliyetle en iyi performansı sağlayabilecek özelliklerin ayarlanabilmesidir (Kut, 2005).

BMC, takviye malzemesiyle matriksin daha önceden birleştirilmesinden oluşan malzemedir. Düşük viskoziteli termoset reçineler bu yöntem için çok uygundur. Şekil 3.6'da verilmiş olan BMC hazır kalıplama bileşimi üretim yöntemi diğerlerine göre daha hızlıdır (Zor, 2018).



Şekil 3.6. BMC Hazır kalıplama bileşimi üretimi

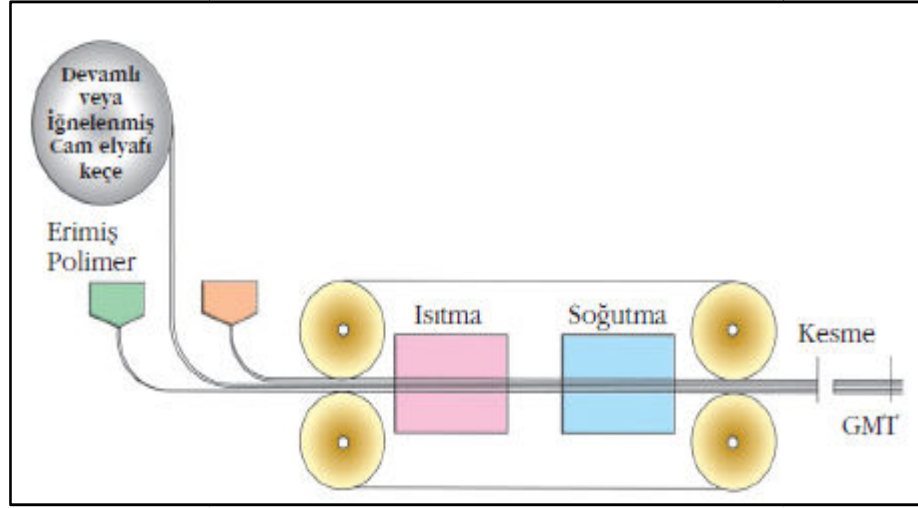
Islak sistemler pres kalıplama yönteminde, sıvı reçine, prese bağlanmış ve ısıtılmış uygun metal kalıplar içinde bulunan kuru biçimdeki takviye malzemesi üstüne dökülür ya da pompalanır. 17–70 bar arasında uygulanacak olan hidrolik basınç sıvı reçinenin takviye malzemeleri arasında akmasını ve sertleşme tamamlanana kadar malzemenin kalıp içinde sabit tutulmasını sağlar. Sertleşme sıcaklığı ortalama 96-177 °C arasında değişir. Islak sistem kalıplama yöntemi 1940’ların başlarında kullanılmaya başlanan ilk basınçlı kalıplama yöntemidir (Kut, 2005).

Takviyeli termoplastik levha pres kalıplama (GMT) yöntemi keçe formunda elyaf takviyesi içeren termoplastik reçineden oluşmuş plaka halinde preslenebilen kalıplama işlemene özel takviye malzemesi kullanılarak yapılır. GMT’nin hazırlanma şekli SMC kalıplamaya benzemektedir (Zor, 2018).

GMT, yüksek darbe dayanımı ve malzeme sertliğinin bir arada olabildiğini sağlayan teknoloji takviyeli termoplastikden oluşan preslenmiş kompozit levhadır. İmalat sürecinde cam elyaf takviyeli ile termoplastik reçinenin birleştirilmesi sayesinde oluşan levha kullanılır (Kut, 2005).

Belirlenmiş sıcaklıkta ısıtılan bu tip levhalar, kalıbın ebatlarına uygun biçimde plaka şeklinde kesilir, istenilen sıcaklığa ulaşan plakalar pres üstüne bağlanmış kalıpların arasına konulur ve kapatılarak şekil alması sağlanır. Presler üzerinde bazı değişiklikler yapılması gerekmesine rağmen takviyeli termoplastiklerin büyük bir kısmı hızlı yüksek preslerde yapılır. Kullanılan basınç 100 ile 200 bar arasında olup, parçanın kalınlığı kalıplama süresini etkilediğinden dolayı 30 ile 90 saniye arasındadır. Eğilme gerilmesine bağlı olarak 42,5 – 105,5 kg/cm² arasında değer alan eğilme modülü sağlanmaktadır (Kut, 2005).

Ekstruder olarak adlandırdığımız sistemden çekilmiş olan bir termoplastik levhaya yumuşakken belirlenen bir elyaf takviyesi eklenir. Bu oluşturulan katmanlara diğer bir termoplastik levha yumuşak haldeyken eklenerek soğuk hadde silindirlerden geçirilerek işlem tamamlanır. Daha sonra sertleşmesi beklenen plakalar, sertleştikten sonra kesilerek preslenme işlemine hazır hale gelmiş olur. Şekil 3.7.'de GTM kalıplama üretim aşamaları verilmiştir (Zor, 2018).



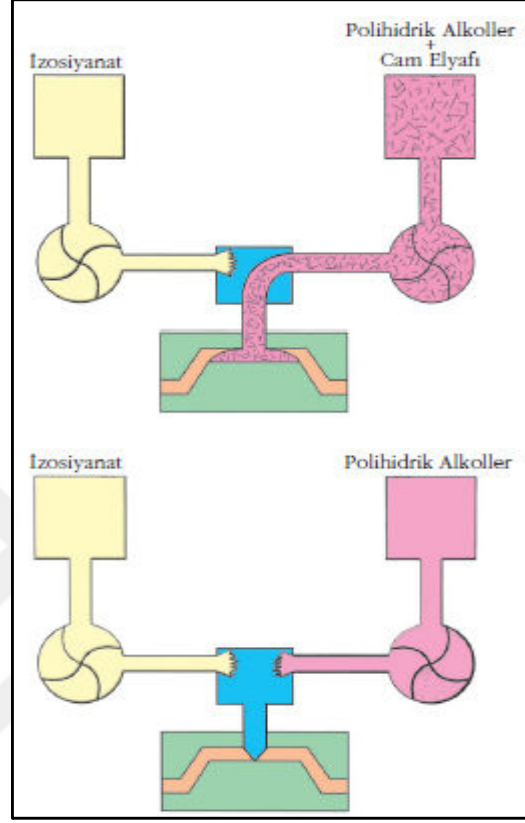
Şekil 3.7. GMT kalıplama

3.3.3 Takviyeli reaksiyonlu enjeksiyon kalıplama (RRIM)

RRIM üretim sürecinde iki veya ikiden fazla aktif olmayan reçine yada reçineler tartılıp, yüksek basınç altında karıştırılarak, termoset halde bir polimer oluşturmak için kalıp içine enjektesi yapılır ve kalıp içinde sertleşme sağlanır. RRIM kalıplama metodunda reçinenin kimyasal ve fiziksel özelliklerini geliştirmek için takviye malzemesi kullanılır. Takviye malzemesi kullanımıyla polimerizasyon reaksiyonunun sebep olduğu çekme gerilmesi ve termal genleşme düşürülür. Yüksek sıcaklıklarda kompozitin eninde rastlanan sehim (eğilme) minimuma inmesi sağlanır ve yüzey rijitliği, çekme gerilmesi ve uzaması gibi diğer dikkat çekici özellikleri artırılır. Takviye malzemesi olarak kullanılan öğütülmüş lifler karıştırma işleminden önce doğrudan doğruya reçine içerisine ilave edilir (Kut, 2005).

Ölçüm işlemleri yüksek basınçlı pompalarla veya enjeksiyon silindirleriyle tamamlanır. Genellikle küçük alanlı bir “karıştırma odası” kullanılır. İki farklı reçine akışı, yüksek basınç altında ve birbirine ters yönden karıştırma odasına alınır. Karıştırma, bu iki reçine akışının karşılaşmasıyla oluşan yüksek enerji sayesinde gerçekleşir. Reçine bileşenlerinin çok yüksek basınç altında karıştırılmasına rağmen, karışım olarak çok düşük viskoziteli bir sıvı elde edilir (Kut, 2005).

Düşük viskoziteli reçine karışımı, nispeten düşük basınçla (3,5 bar) kalıba enjekte edilir. Polimerizasyon, kalıp boşluğunda hızlı bir şekilde, dışarıdan ayrıca ısı gerektirmeden gerçekleşir. Şekil 3.8.'de RRIM üretim şeması verilmiştir (Kut, 2005).

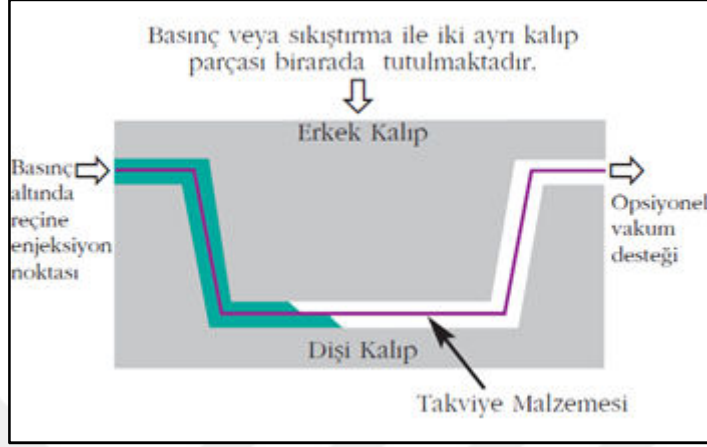


Şekil 3.8. RRIM prosesi

3.3.4 Reçine enjeksiyon kalıplama (RTM)

Şekillendirme ve kesilme işlemi daha önceden yapılmış olarak takviye elemanlarının, erkekli dişili zıvana şeklinde birbirine girebilen kalıpların arasına bu takviye malzemelerinin yerleştirilmesi şartıyla yapılan kapalı kalıplama yöntemidir. Kalıpta bulunan enjeksiyon kanallarından, reçine 2,75-3,5 bar basınçla kalıp içine pompalanma suretiyle yerleştirilir. Kalıbın çevresinde bulunan conta sistemi ile sızdırmazlık sağlanmakta ayrıca, contaya yakın bir yerden hava çıkışını sağlayacak ve reçine firesini azaltacak hava vanaları yerleştirilmektedir. Şekil 3.9.'da RTM kalıplama yöntemi şeması verilmiştir (Kut, 2005).

Korozyona karşı dayanımın ya da yüzeyinin daha da iyi olması için yüzey keçesi ya da tül kullanılır. Sandviç konstrüksiyonunda kullanılan diğer metal aksamlar kalıplama esnasında kalıp içerisine yerleştirilerek birlikte kalıplama yapılır (Kut, 2005).

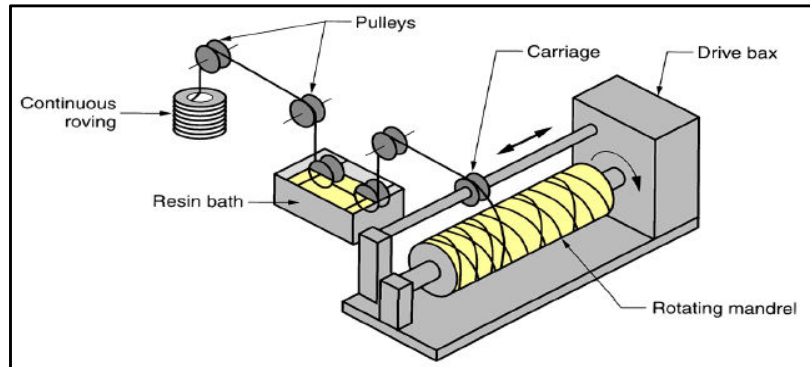


Şekil 3.9. RTM kalıplama yöntemi

3.3.5 Elyaf sarma

Elyaf sarma üretim metodu Şekil 3.10.'da verilmiş olduğu gibi mütemadi elyafın reçineyle ıslatılma işleminden sonra makaradan çekilip dönen kalıbın (mandrel) üzerine sarılması işlemidir. Mütemadi elyafın farklı açılar kullanılarak kalıba sarılmasından dolayı mekanik özellikleri farklı mamüller elde edilebilir (Zor, 2018).

Bu metotta herhangi bir seçilen termoset reçine (epoxy, polyester, vinylester, phenolic) kullanılır. Takviye malzemesi olarak da bobine sarılmış mütemadi lifler kullanılır. Kumaş şeklinde olan elyaflar kullanılmamaktadır (Zor, 2018).

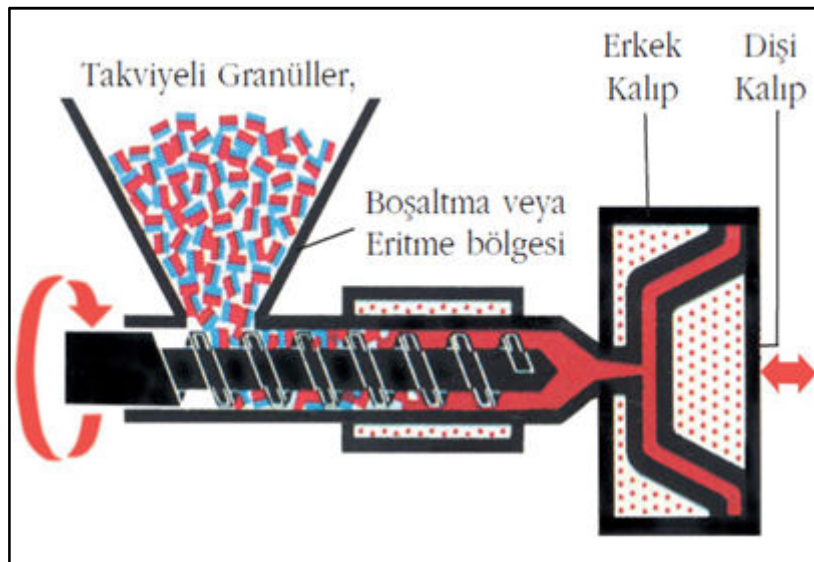


Şekil 3.10. Elyaf sarma yöntemi

3.3.6 Enjeksiyon kalıplama

Bu yöntem boyutsal stabilitesi yüksek, şekli karmaşık olan ürünlerin kalıplanması işleminde kullanılan bir üretim metodudur. İmalat hacmi yüksek olan üretimler için daha çok kullanılmaktadır. Bu metotta üretilen ürünlerin çoğunluğu takviyesiz termoplastik malzemelerdir. Yöntem, termoplastiklerin ısıtılma sonucunda yumuşaması ve soğutularak sertleşmesi prensibine dayanır. Kalıplamada granül olarak bulunan termoplastik reçine parçacıkları huni şeklindeki kaptan yüksek sıcaklığa sahip metal silindirin bir ucundan iletilir. Reçine silindirin içinde bulunan vida şeklindeki burgulu yivlerden ısıyı yüksek silindire geçer ve oradan da kalıbın içine enjeksiyonu gerçekleştirir (Kut, 2005).

Şekil 3.11.'de verilmiş olduğu gibi vida burgulu yivle dönerken, silindiri ileri ve geri salınım yaptırırlar. Bu salınım ile erimiş reçinenin hacminin ölçülüp yeteri miktarda da reçinenin kalıba aktarılmasını sağlar. Ayrıca enjeksiyon esnasında kapalı olan kalıbı basınç altında tutar ve soğutulduktan sonra mamulün kalıptan çıkartılmasını sağlar. Kalıbın boşluğu imal edilecek ürünün şeklini sağlayabilecek konuma sahiptir. Kalıp genellikle erimiş plastiğin işlem görebileceği sıcaklık derecesinden düşük bir sıcaklık derecesinde ısıtılır (Kut, 2005).



Şekil 3.11. Enjeksiyon kalıplama

3.3.7 Otomatik şerit yerleştirme (ATP)

Otomatik şerit yerleştirme, yüksek teknolojiye yapısal kompozit imalatında kullanılan bir üretim yöntemidir. Reçine emdirilmiş cam elyafı takviyeleri işlemeyi kolaylaştırmak amacıyla, katlar arasında kâğıt ya da film kullanılarak bant şeklinde biçimlendirilir (Zor, 2018).

Reçine emdirilmiş cam elyaf takviyeli şeritler, çeşitli genişliklerde otomatik olarak kalıp yüzeyine döşenir. Modern bilgisayar ekipmanları bu şeritlerin kontrol altında, kalıp yüzeyine hassasiyeti yüksek bir şekilde döşenmesini sağlayabilir. Düz ve karmaşık yüzey geometrileri bu yöntemle üretilebilir (Zor, 2018).

3.3.8 Santrifüj kalıplama

Bu kalıplama yönteminde reçineler ile takviye malzemeleri yüksek dairesel hareketlerle kalıbın iç yüzey alanına uygulanır. Bu yöntemle iki yüzü de düzgün olan, rijitliği yüksek, boru tipli parçaların imalatı yapılmaktadır. Santrifüj kuvveti sayesinde, reçineyle temaslı takviye lifleri ısıtır. Bu metotla imal edilen mamulün kalıp iç yüzey kısmı, mamulün düzgün yüzeyidir (Zor, 2018).

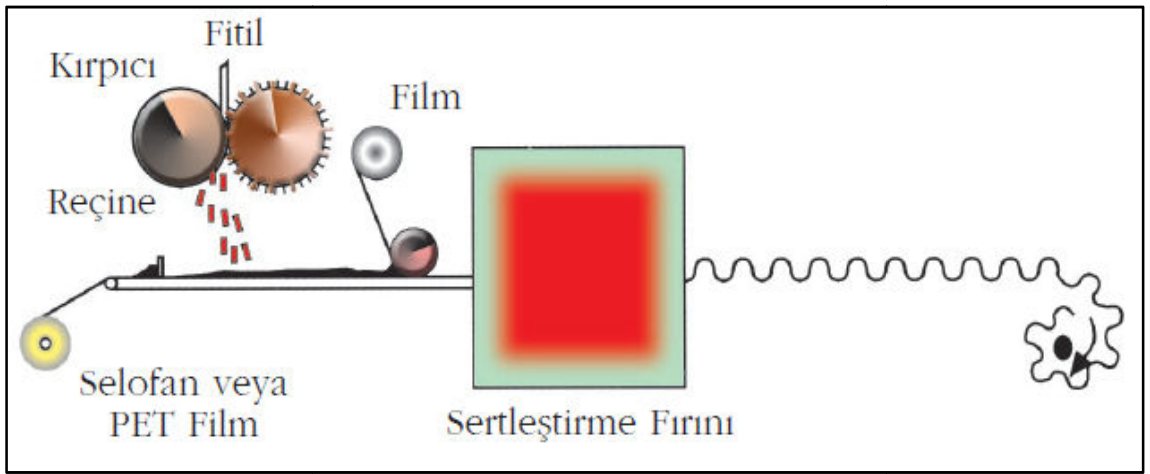
Santrifüj kalıplama yöntemi ile üretilen parçaların iç yüzüne ince yüzey oluşturacak şekilde sade reçine püskürtülmesiyle, kompozit parçanın kimyasal dayanımı artırılabilir. Geniş çaplı kompozit borular ve tanklar bu kalıplama yöntemi ile üretilmektedir (Zor, 2018).

3.3.9 Devamlı levha

Opak ya da şeffaf düz paneller, kamyon kasa panelleri, buzdolabı kaplamaları, dezenfekte malzemeleri, trafik işaretleri gibi uygulama alanlarında kullanılan bir metottur. Genellikle üretim kapasitesi yüksek makinelerde, üretim süreci boyunca çekimi yapılan plastik filmin üzerinde, reçineler ve takviye malzemeleri bir araya gelmektedir.

Başka bir plastik film, reçine ve takviye üzerinde yayılıp üzerinde rulo gezdirilerek hava kabarcıkları atılır ve bu sayede homojen bir karışım elde edilir. Sertleşme ise fırın içinde ısıtılarak gerçekleştirilir. Levhaların enleri ve boyları otomatik olarak kesilip budanır. Şekil 3.12.'de devamlı levha üretim şeması verilmiştir (Kut, 2005).

Desenli ya da daha farklı yüzeyler elde edebilmek için şeffaf filmler kullanılmaktadır. Hem keçe hem kırılmış fitil biçiminde bulunan cam elyaf takviye malzemeleri bu üretim sürecinde kullanılmaktadır. Polyester ve modifiye akrilik polyesterler, bu işlemde en sık kullanılan reçine türleridir (Kut, 2005).



Şekil 3.12. Devamlı levha

3.3.10 Ekstrüzyon

Hem takviyeli hem takviyesiz termoplastiklerden kompozit elde etmeyi sağlayan bir yöntemdir. Bu metot üç basamaktan oluşmaktadır. Viskoziteyi azaltmak için malzemenin ısıtılması ve şekillenmesi için malzemenin metalden yapılmış kalıba konması ve parçanın soğutulup mamulün oluşturulması gerekir. Ekstrüzyon ile imal edilen parçaların boyu, kesit alanı ve şekli aynıdır (Kut, 2005).

Birçok termoplastik malzeme türü üretiminde bu metotta kullanılır. Takviyesiz termoplastiklerin kullanımı bu üretim yönteminde daha yaygındır. Takviyeli parçalar takviyesiz parçalara göre daha fazla gerilme ve sertlik sağlayabilmektedir. Uzun boylu

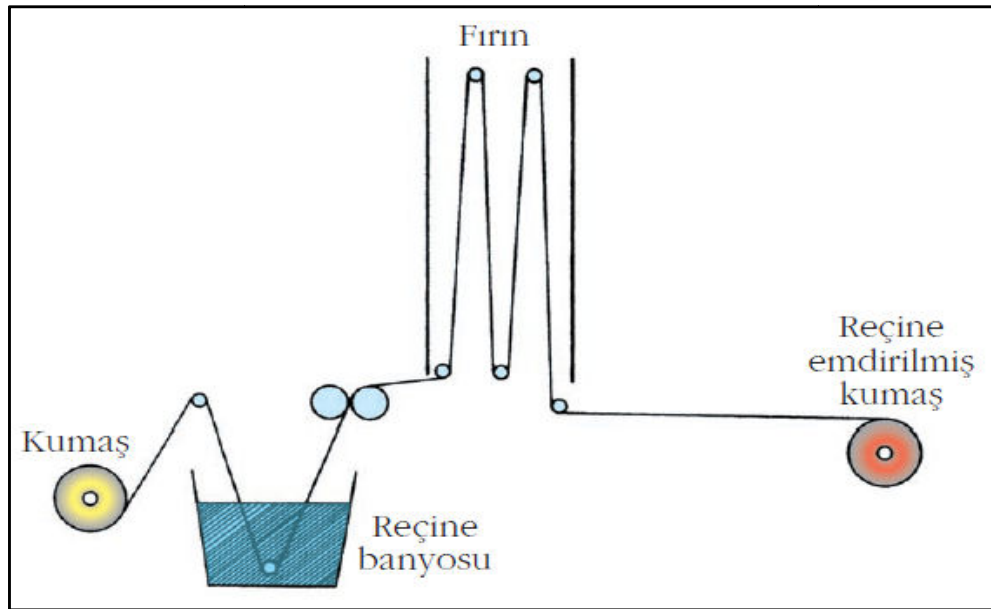
elyaf ile takviyesi yapılmış termoplastiklerin ekstrüzyon yöntemiyle üretilmesi darbe dayanımını da yükseltir (Kut, 2005).

3.3.11 Prepreg kalıplama

İleri teknolojiyle üretilen kompozitlerde yaygın şekilde prepreg kalıplama kullanılmaktadır. Takviye ve reçinenin birleştirilmesiyle kalıplama malzemesi elde edilebilen bir yöntemdir. Elyafın düzgün bir şekilde yerleştirilmesi gerektiği bir yöntemdir. Şekil 3.13.'de prepreg kalıplama yönteminin şeması verilmiştir (Kut, 2005).

Prepreg malzemedede, takviyenin reçineye olan oranı çok ciddi şekilde kontrol edilmesi gereken bir durumdur. Bu kontrol mamulün elde edilmesinden hemen önce, mamulün kalite kontrol testlerinin yapılmasına imkân sağlamaktadır.

Prepreg de takviye malzemesi olarak devamlı lifler, keçeler, düz dokumalar ve kumaşlar kullanılmaktadır. Reçine olarak polyester, epoksi ve fenolik reçinelerin yanı sıra, polyester ve termoplastiklerin bir kısmı üretimde kullanılmaktadır (Kut, 2005).



Şekil 3.13. Prepreg üretimi

3.3.12 Rotasyon kalıplama

Bu yöntem herhangi bir ek olmaması gereken içi boş tanklar gibi elemanların kalıplanmasında kullanılır. Bu metotta reçine ile takviye malzemesi kapalı bir kaba yerleştirilir. Kalıp iki yönde dönerek kalıp içindeki malzemeyi karıştırır ve kalıbın iç kısmının malzemeyle kaplanmasını sağlar. Kalıplama süreci; ısıtılma, soğutulma, kalıptan alınma ve yeniden yüklenme şeklinde dört ana süreçten oluşmaktadır (Kut, 2005).

Bu metotta bu zamana kadar termoplastik reçineler kullanılmıştır. Şuan da ise polietilenler ile termoset reçineler kullanılmaktadır. Avantajları ise düşük sermaye istemesi, farklı ve karmaşık şekilli parçaların kalıplanması, en düşük seviyede fire ve kontrol edilebilen gaz emisyonudur (Kut, 2005).

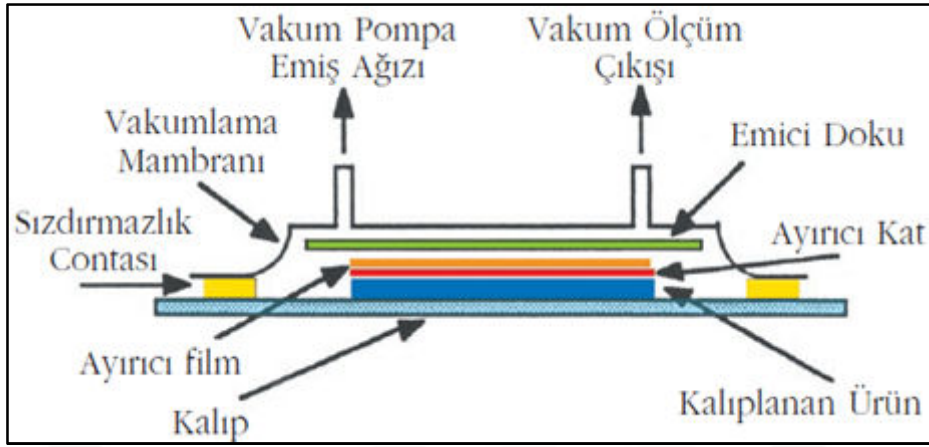
3.3.13 Rijitleştirilmiş termoplastik levha

Rijitleştirilmiş termoplastik levha , termoformla şekillendirilebilen termoplastik levha malzemenin arka yüzünün takviye edilmesiyle rijit hale getirildiği yöntemdir. Bu metotta ABS veya akrilik gibi takviyesiz termoplastik plaka yumuşayana kadar ısıtılır ve basınç veya vakum ile şekillendirilir. Plakalar şekillendirilip soğutulduktan sonra arka yüzeyleri açık kalıplama metotlarıyla cam elyaf ve polyester reçine takviyesi uygulanarak rijit şekle getirilir (Kut, 2005).

3.3.14 Vakum torba kalıplama

Uygulama esnasında, ıslak sistemler ile prepregler kullanılır. Islak sistemlerde ise dokunmuş fitil takviyeleri ya da keçe kalıba yerleştirilir. Sıvı haldeki reçine, takviye malzemesinin yüzeyine uygulanmaktadır. Kolay şekil alabilen bir torba, reçineyle emdirilmiş takviye malzemesine yerleştirilip kalıba yapıştırılır. Islak sisteme ikame prepreg kullanıldığı zaman, levhalar ve şeritler kalıba elle veya ATP metodu ile yerleştirilmesinden sonra, plastik film kaplanır. Bu kalıplama sisteminde, kalıbın yüzeyiyle torba arasında kalan hava vakumlanmaktadır. Islak sistem kullanıldığında, önce reçine takviye malzemesine emdirilir. Akabinde, sertleşme işlemi bitene kadar vakumlanarak, plastik filmin atmosfer basıncı altında kalması sağlanır. Sertleşme süreci,

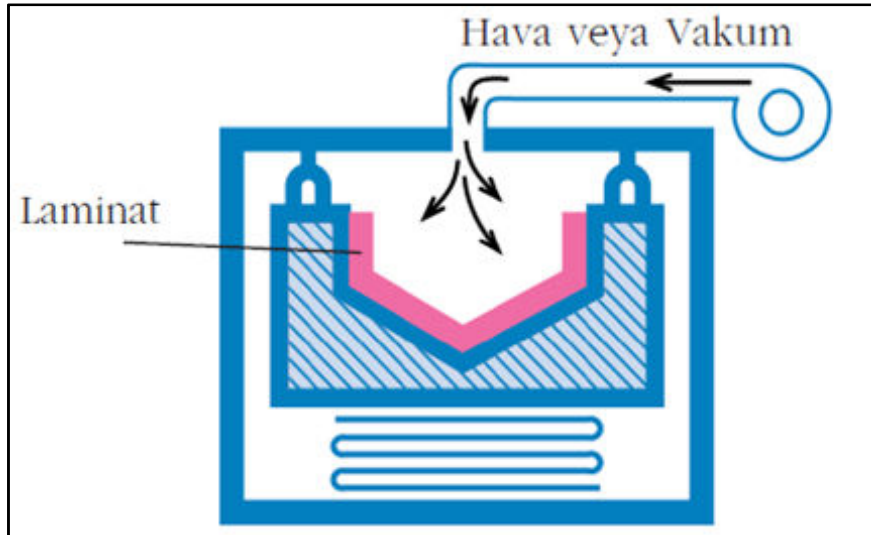
ayrıca ısı uygulanarak da hızlandırılabilir. Şekil 3.14.'de vakum torba kalıplama yönteminin birimlerinin gösterimi verilmiştir (Aktaş, 2010).



Şekil 3.14. Vakum torba kalıplama

3.3.15 Basınçlı torba kalıplama

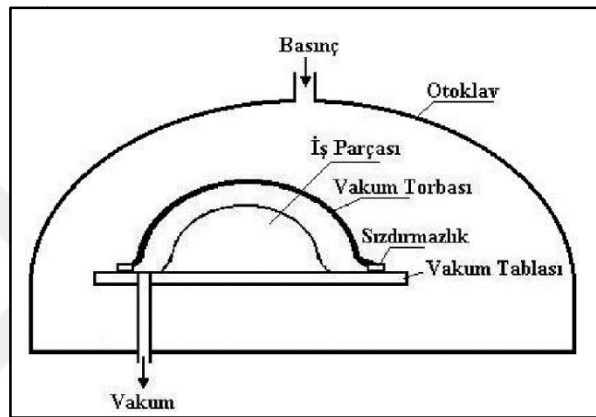
Vakumlu torba kalıplama yöntemine benzemektedir. Şekil 3.15.'de şematik gösterimi verilmiş olan basınçlı torba kalıplama yönteminin vakumlu torba kalıplama metodundan farkı torba içindeki basıncın dışarıdan verilmesidir (Aktaş, 2010).



Şekil 3.15. Basınçlı torba kalıplama

3.3.16 Otoklav yöntemi

Otoklav yöntemi vakumlu torba kalıplama yönteminden farklı olarak imalatın basınçlı metal bir kap içinde yapılması daha yüksek bir basıncın parça üstünden sağlanmasıdır. Basınç için Azot (N) gazı kullanılır. Malzemenin sertleşmesini hızlandırmak için otoklav kabı (basınç kabı) ısıtılır ya da sıcak gaz eklenir. Bu metot diğer yöntemlere göre daha uzun süre ister ve daha pahalıdır. Şekil 3.16.'da otoklav kabı ve otoklav yönteminin diğer elemanlarının çizimi verilmiştir. (Aktaş, 2010).



Şekil 3.16. Otoklav yöntemi

3.3.17 Pultrüzyon yöntemi

Bu tez çalışmasında yapı malzemesi olarak seçilen cam elyaf takviyeli polyester malzeme, bu üretim yöntemi ile üretilen malzemeden seçilmiştir. Bu sebepten dolayı bu üretim yöntemi daha detaylı bir şekilde incelenmiştir.

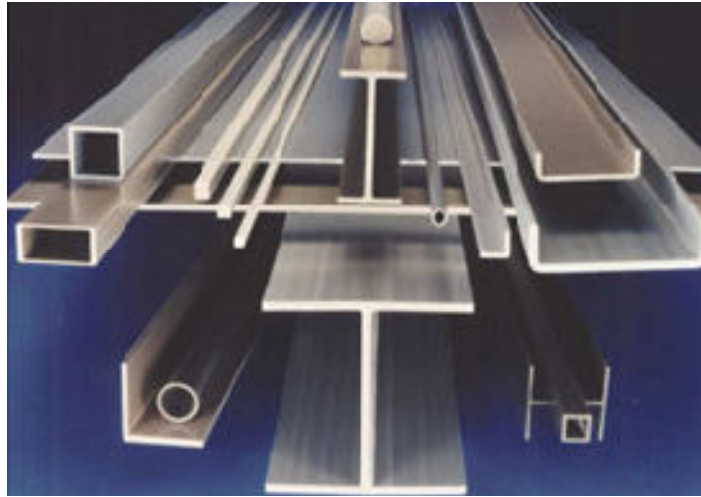
Bu kelime pull ve extrusion kelimelerinden türetilmiştir. Bundan dolayı ismi pultrüzyon (Pultrusion) olarak adlandırılmıştır (Zor, 2018).

Pultrüzyon üretim yöntemi haricinde ki üretim metotları da farklı elyaf türleri kullanılarak çeşitli otomobil, uçak parçaları ve yapı sektöründe yardımcı ya da dekoratif malzemeler yapılabilmektedir. Fakat bu metotlar kullanılarak üretilen CTP ürünler inşaat alanında taşıyıcı olarak kullanılmamıştır. Profillerin yapı sisteminde taşıyıcı eleman olarak kullanılabilmesi için gereken gerilme kuvvetlerine karşı direnç gösterebilmesi ve ucuz bir biçimde üretebilmek için pultrüzyon yöntemi geliştirilmiştir.

Bu yöntemle boru, kutu, L, T, I ve U profillerine ek olarak düzgün bir şekilde olmayan profiller de üretilmektedir. Fotoğraf 3.1.'de profil çekme metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri verilmiştir (Sarıbyık vd. 2009).

Pultrüzyon işlemi ile çeşitli ürünler elde edilebilmiştir. Bunlar rijit çubuk elemanlar, lamalar, tip borular, tip kanal ve standart kiriş gibi profillerdir. Pultrüzyon yöntemi, malzemenin kalıp boyunca çekilerek üretilmesi dışında, termoplastik ve alüminyumun imal edilmesinde kullanılan ekstrüzyon imalat sürecine benzemektedir. Pultrüzyon da cam elyafı takviye malzemesi olarak kullanılmaktadır. Dahası mütemadi fitil, keçe ya da bu malzemelerin kombinasyonları da kullanılmaktadır. Öncelikle termoset; reçine banyosundan geçirilir, daha sonra şekillendirme yapan kılavuzdan geçirilir. Daha önce ısıtılan çelik kalıp içinden geçirilerek, belirlenen kesitte sertleşmesi sağlanır. Kalıptan çıkan mamüller kesme aparatlarıyla belirtilen uzunluklarda kesilir (Kut, 2005).

Pultrüzyon yöntemi, düşük işgücü gerektirmektedir. Üretim hızı genellikle 0,6 - 1,2 m/dk. olup, malzemenin uygun yapıya sahip olması şartıyla hız 3 m/dk.'ya kadar çıkartılabilir (Kut, 2005).



Fotoğraf 3.1 Profil çekme metodu ile üretilmiş CTP profil örnekleri

Bu yöntemde kullanılmakta olan reçine malzemesinin % 90'ını polyesterler ve viniller oluşturmaktadır. Farklı performans özelliklerine sahip olması istenen malzemelerin kalıplanmasında epoksiler ile fenolik reçineler kullanılmaktadır. Fenolik reçineler, pultrüzyon üretim metodu ile üretilen mamüllere düşük duman yayma ve yanmazlık

özelliklerini kazandırır. Epoksiler ise yüksek rijitlik, yüksek ısıya karşı dayanım ve yüksek elektriksel özellik performansı sağlamaktadır. Mühendislikte kullanılan termoplastiklerin bu yöntemde bir kaç uygulaması olmasına rağmen, günlük uygulamalar için kullanılan termoplastiklerin geliştirme çalışmaları devam etmektedir (Kut, 2005).

Katkılar ve dolgu malzemeleri, ürüne farklı ve çeşitli özellikler kazandırmak, imalat karakteristiklerini geliştirmek ve üretim maliyetini düşürmek amacıyla pultrüzyon yönteminde kullanılmaktadır. Başlıca kullanılan üç adet dolgu malzemesi şöyledir:

- Kalsiyum karbonat; üretim maliyetini düşürür.
- Kil; korozyona karşı dayanımı yükseltir.
- Alüminyum trihidrat; elektriksel izolasyonu artırır.

Birden çok türde takviye malzemesi kullanılmaktadır. Bunlar;

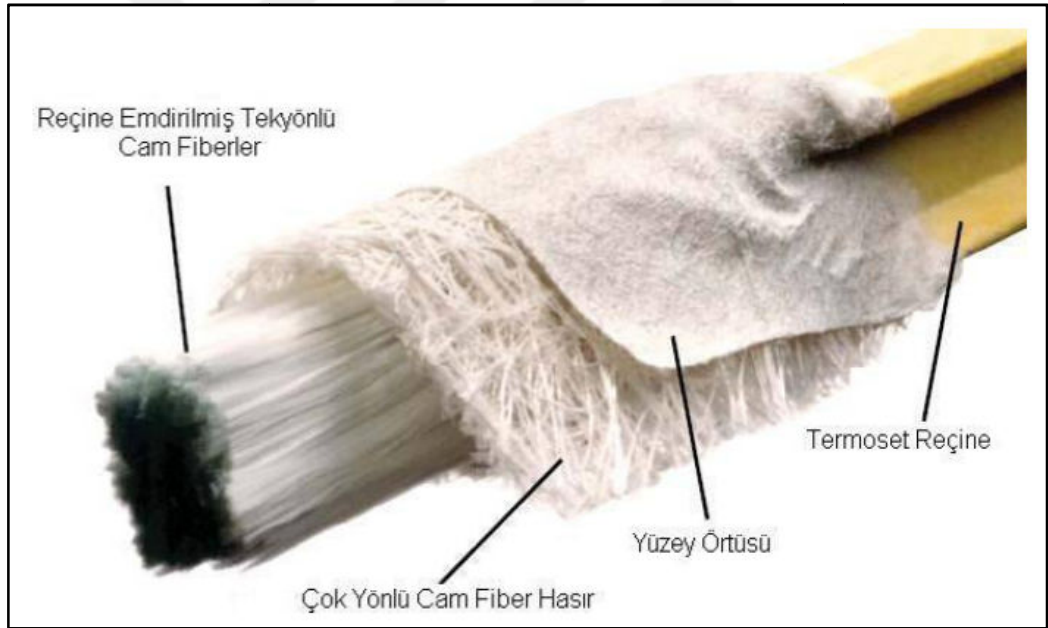
- Tek uca sahip ya da çok uca sahip fitiller ve karbon elyafı,
- Tekstürize bükümlü fitiller,
- Mütemadi keçeler,
- Cam veya karbon elyafı tüller ile yüzey keçeleri,
- Örgü kumaşlar ve dikişli ya da dokunmuş ürünlerdir,

Ticari amaçlı kullanılabilir pultrüzyon kullanılan ekipmanlar şöyledir;

- Takviye malzemelerinin depolanmasını ve dağıtımını sağlayan için fitil ve keçe sehpaları.
- Takviye malzemelerinin ıslanmasını sağlayan reçine banyoları (Bazı uygulamalar için ayrıca bir reçine enjeksiyon birimi de gerekli olmaktadır.)
- Takviye malzemesini kalıp şekline bağlı olarak ön bir şekillendirme aşamasına sokan ve reçine malzemesinin fazla kısmını ayıran şekillendirme kılavuzları.
- Operatörün kalıp sıcaklıkları, çekme hızı, çekme şekli (devamlı ya da kesikli), kesme uzunlukları gibi tüm makine fonksiyonlarını kontrol edebileceği bir kontrol paneli.
- Çekilmiş takviye elemanlarını kesebilen kesme bıçakları ve kesim sırasında oluşan tozları toplayan bir aspiratörlü çekme sistemi.

Ürünün özelliklerine bağlı olarak bu sistem üzerine radyo frekanslı ön ısıtma ekipmanı, çevresel sarma ekipmanı ve bunlardan da farklı özel ekipmanlar eklenebilmektedir. Şekil 3.18.'de pultrüzyon kalıplama yönteminin ekipmanlarının yerleşimi verilmiştir (Kut, 2005).

Pultrüzyon, yön verilmiş elyafların kullanıldığı bir yöntemdir. Elyaf malzemenin çoğunluğu optimum seviyede çekme dayanımı kazanacak şekilde boyuna yerleştirilir. Hem makineleşmiş hem otomatikleşmiş düşük bir imalat işçiliği mevcuttur. İşçilik toplam maliyetin % 5 ile % 10'u arasındadır. Bu yöntemde ilk tesis maliyeti diğer yüksek miktartlı imalat yapılan yöntemlere göre daha düşüktür. Tüm bunlar düşünüldüğünde orta ve yüksek ölçekli uygulama alanlar için bu yöntem ekonomik olmaktadır. Şekil 3.17.'de pultrüzyon metodu ile üretilmiş bir profilin katmanları gösterilmiştir (Kut, 2005).

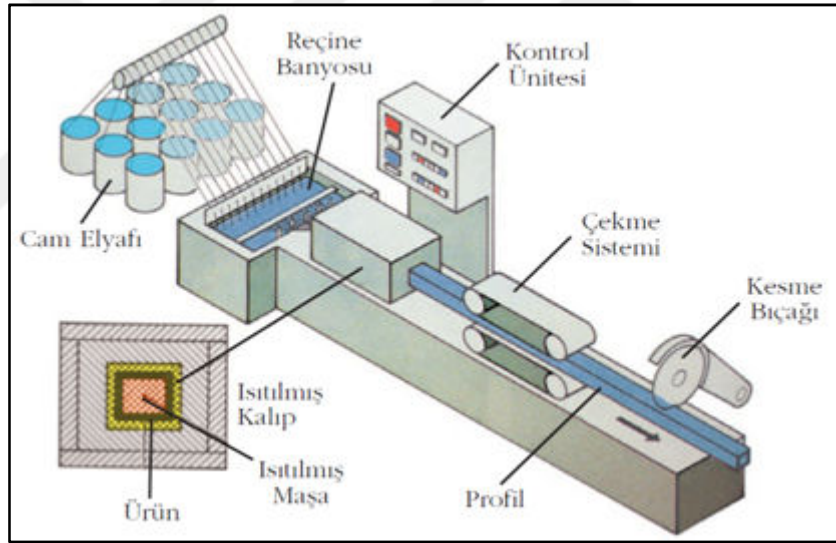


Şekil 3.17. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş profil detayı

Pultrüzyon teknolojisi mamullerinin avantajları aşağıda sıralanmıştır:

- Yüksek mukavemet momenti ve güçlü ısıl özellikler
- Kimyasallara karşı dayanım
- Korozyona karşı dayanım
- Dış hava koşullarına karşı dayanım

- Yanma seviyesinin yüksekliği
- Düşük özgül ağırlık
- Uygulama kolaylığı
- Yüksek elastik özellik
- Yüksek dielektrik özellik
- Yüksek sistem stabilitesi
- Tasarım çeşitliliği
- Servis bakım maliyeti olmaması
- Düşük hurda değeri sayesinde çalınmaması
- Tamir kolaylığı
- İmalatta renklenebilmesi
- Işık geçirgenliği sağlanabilmesi
- Amortisman süresinin yüksek olmasıdır (Zor, 2018).



Şekil 3.18. Pultrüzyon kalıplama yöntemi

İnşaat sektöründe yaygın biçimde kullanılmakta olan yapı malzemeleri betonarme, çelik ve ahşaptır. Fakat bazı yapılarda bu malzemeler kompozit profillerin düşük özgül ağırlığı ve diğer güçlü özelliklerinden dolayı diğer malzemelerin yerine kullanılmaktadır. Çizelge 3.2.'de, yapıda taşıyıcı olarak kullanılan çeşitli malzemeler kıyaslanmaktadır

Pultrüzyon üretim sürecinde elyaf ağırlıklı olarak çekme dayanımını arttıracak yönde yerleştirilmiş olmasından dolayı, çapraz kuvvetlere karşı mukavemeti düşüktür oluşmaktadır. Genellikle farklı yönler için sağlanan özellikler, çekme dayanımının % 10 ile % 25'i arasındadır. Pultrüzyon ürünleri genellikle rekabet halinde oldukları malzemelerle aynı rijitlik değerlerine sahip değildir. Bu durum rakip malzemelerin rijitlik değerlerine ulaşmak için kesitte ya da et kalınlığında tasarım değişikliklerinin yapılmasını zorunlu kılmaktadır (Kut, 2005).

Çizelge 3.2. Pultrüzyon metodu ile üretilmiş profillerin diğer yapı malzemeleri ile karşılaştırılması

Kıyaslamalı Malzeme Tablosu					
	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Gerilme Kuvveti (MPa)	Elastik Modül (Gpa)	Termal Genleşme Katsayısı (K ⁻¹)	Termal İletkenlik (W/mK)
Pultrüzyon	1,8	240	25	11 X 10 ⁻⁶	0,35
Ağaç	0,7	80	12	14 X 10 ⁻⁶	0,1
Alüminyum	2,7	150	70	23 X 10 ⁻⁶	170
Çelik	7,8	246	210	12 X 10 ⁻⁶	40
Pvc	1,5	70	3	85 X 10 ⁻⁶	0,1

BÖLÜM IV

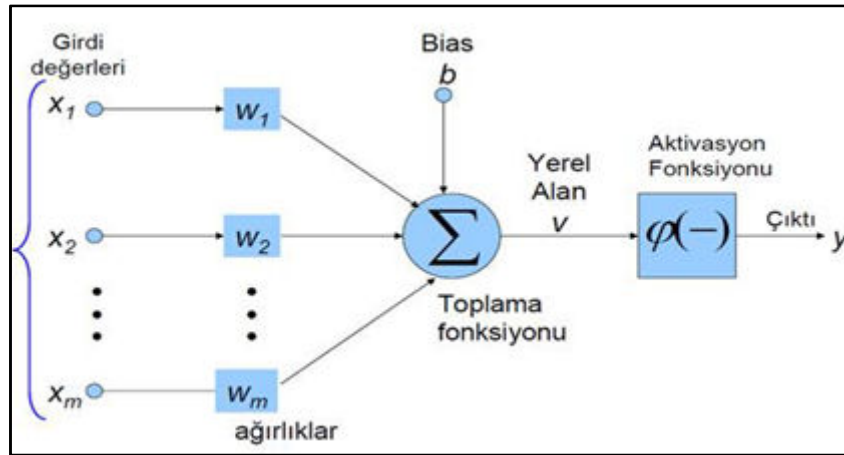
YAPAY SİNİR AĞLARI

4.1 Yapay Sinir Ağlarına Giriş

Yapay zekâ uygulamalarından biri olan yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin çalışma yapısını taklit ederek mevcut verileri analiz edip, bu verilerden farklı öğrenme algoritmaları ile yeni bilgiler oluşturan bilgi işlem teknolojisidir. Genel olarak YSA insan beyninin biyolojik sinir yapısını taklit ederek sinirsel algılayıcılar yardımı ile önceden öğrenilmiş ya da sınıflandırılmış bilgileri kullanarak yeni bilgiler türetebilen ve oluşturabilen, karar verebilen bilgisayar programlarıdır. Örüntü tanıma, sistem tanılama, robotik, sinyal işleme, nonlinear denetim alanları gibi birçok uygulama alanında yapay sinir ağları yaygın olarak kullanılmaktadır (Abadoğlu vd,1990).

Teknik açıdan yapay sinir ağının görevi, girdi seti olarak kendisine verilen bilgilere karşılık Şekil 4.1.'de verildiği gibi bir çıktı üretebilmektir. Bunun yapılabilmesi için ağ belirli örneklerle eğitilir. Sonra ağ genelleme yapabilecek ve karar verebilecek seviyeye kavuşur. Daha sonra bu kazanılan yetenek ile çıktıları belirler. (Keskenler, 2007).

Bu çıktıların doğruya en yakın sonucu verebilmesi için girdilerin çeşitliliği ve sayısı çok önemlidir. Girdi değeri ne kadar fazla ve çeşitli ise doğru çıktıya ulaşma oranı o kadar yüksektir.



Şekil 4.1. Yapay sinir ağı örneği

YSA, paralel dağıtılmış ağlar, bağlantılı ağlar, nuromorfik ağlar gibi adlarla da tanımlanmaktadır.

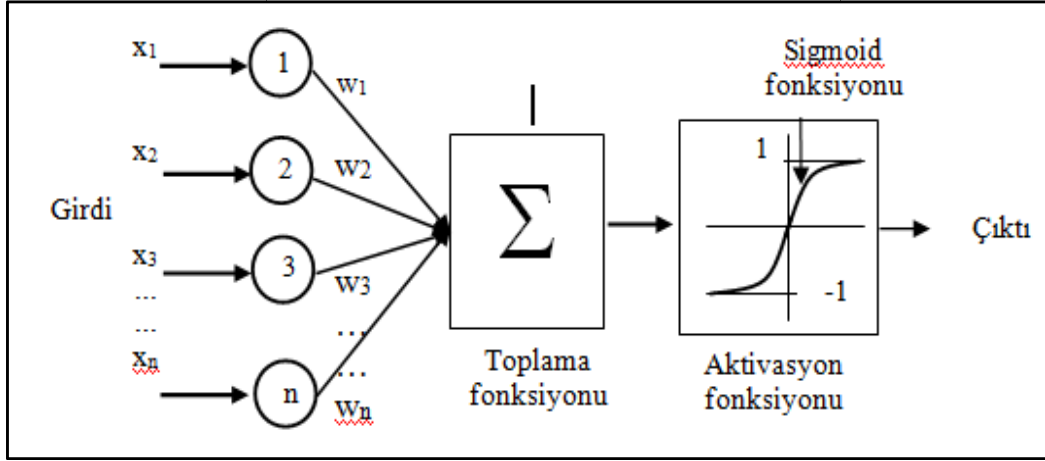
4.2 Yapay Sinir Ağları Genel Özellikleri ve Yapısı

Araştırmacıların evreni ve yaratılışı araştırırken var olan şeylerden çıkılarak yapılan çalışmalardan bir tanesi de yapay zekâ uygulamalarından birisi olan YSA yöntemidir (Şen, 2004a).

YSA, insanın sinir sisteminden esinlenerek yola çıkılmasının yanı sıra düz ve basit birimlerin ya da elemanların birbirlerine paralel biçimde bağlanmasıyla oluşan ağlar olarak da nitelendirilebilir. Paralel bağlanma şekli ile hücrelerdeki taşınan bilgilerin birbirlerinden bağımsız olması ve çözüm esnasında herhangi bir birimde olan aksaklık durumu tüm çözümde kesin bir hataya sebep olmamaktadır fakat hücrelerin ağırlık oranında bir etki oluşturabilmektedir.

Bağlantı ağırlıkları çeşitli örnekler vasıtasıyla eğitilerek tekrar yinelenme hareketiyle YSA'da öğrenmeyi sağlar. Yine YSA'nın paralel bağlanma şeklinden dolayı, ağ üzerinde olan elemanların bağlantıdaki aktiflikleri ağırlıklarla simgelenerek girdi ve çıktı datalarına göre ağların eğitilmensin ardından çıktıların hesaplanmasındaki hücrelerin katkı oranları tek tek hesaplanmaktadır. Ağlar bundan sonra gerçekleştirilecek olan bir takım testlerde bu çıktı ve yeni oluşturulup girilen bilgileri baz almaktadır.

YSA'da oluşturulan ağ için teorik yada deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler YSA'ya girdi olarak girilip eğitilirken, YSA'dan beklenen çıktıları elde etmek için ardışık yaklaşımlar kullanılır. Bu eğitimin sonucunda hesaplamalarla ulaşılan çıktılar tahmin edilen çıktılarla karşılaştırılıp beklenen sonuçlara uygun sonuçlar alındığı zaman oluşturulan modelin eğitimi sonlandırılır.YSA çıktılarıyla beklenen çıktılar arasındaki hata miktarları geri yayılma yoluyla eğitilerek değiştirilir ve hatalar azaltılmaya çalışılır (Şen, 2004a).



Şekil 4.2. Basit bir sinir hücresi modeli

YSA'da girdi ile çıktıların arasında çok sayıda hücre ve bağ bulunmaktadır. Sinir hücrelerinin arasındaki bağların aktarım değerlerine ağırlık denilmektedir. Ağırlıklar girilmiş olan tüm yeni datalar için yenilenmektedir. Mevcut veri tabanı oluşturulup öğretimi yapılmasından sonra, yeni elde edilebilecek veriler sisteme kolay bir şekilde girilip güncellenebilmektedir.

Şekil 4.2.'de görüldüğü gibi temel bir yapay sinir hücresi girdi, ağırlık, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktı olmak üzere beş temel bölümden oluşmaktadır. Girdiler ağın oluşması için girilen datalardır. Ağırlıklar, girdilerin kendinden sonraki işlem üzerindeki etkisini gösteren değerlerdir. Toplama fonksiyonu ise girdi ve ağırlıkların toplanıp fonksiyon haline geldiği kısımdır. Aktivasyon fonksiyonu, toplama fonksiyonu sayesinde ulaşılan net girdiyi belirli bir işleme tabi tutarak hücre çıkışını oluşturan fonksiyondur. Sinir hücresinden ulaşılan çıktılar hücre dışına ya da başka mevcut bir hücreye gönderilir. Sigmoid fonksiyonu 0 ile 1 arasında çıkış değerleri verir. Tercih edildiğinde fonksiyon çıkışları -1 ile 1 arasında olacak biçimde ayarlanabilir (Saridemir, 2008).

4.3 Yapay Sinir Ağ Çeşitleri

Yapay sinir ağlarının birden fazla çeşidi mevcuttur. Bu kadar fazla çeşidin temel sebebi kullanılan yapı şekli, öğrenme metodu, bağlantının yapısı ve gizli tabaka sayısı gibi özelliklerin farklı kullanımıdır. Genel olarak YSA üç temel kısıtasa göre çeşitlenmektedir. Bunlardan birinsici ağın öğrenme yöntemi, ikincisi ağın oluşumunda

kullanılan veri, üçüncüsü ve son olan ağı kendi yapısıdır. Kimi ağ şekli ileri beslemeli (feedforward) olarak hazırlanırken, kimi ağ şekilleri ise geri beslemeli (feedback) veya ileri beslemeli geri yayımlı (feedforward backpropagation) olarak ağ yapısı oluşturulabilmektedir.

4.3.1 Yapılarına göre ağ çeşitleri

YSA, yapılarına göre ileri beslemeli veya geri beslemeli ağlar olarak iki türde sınıflandırılmaktadır.

4.3.1.1 İleri beslemeli ağlar

YSA'da en sık kullanılan ağ türüdür. Girişten çıkışa doğru sinyaller tek yönlü olarak iletilir.

4.3.1.2 Geri beslemeli ağlar

Geri beslemeli YSA, çıkış ve ara bölümlerdeki çıkışların, girişe ya da önceki ara bölümlere aktarıldığı ağ yapısıdır. Bu şekilde girişler hem ileri, hem geri yönde iletilmiştir.

4.3.1.3 İleri beslemeli geri yayımlı ağlar

Bu ağ tipleri 1970 ile 1980 yılları arasında geliştirilmiştir. Bu besleme türünün geliştirilmesinde birçok araştırmacının etkisi olmuştur. Ortaya çıkmış olduğu tarihten itibaren en yaygın kullanılan ağ türü olmuştur. Bu ağlar birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. En büyük özelliği ise lineer olmayan yapı problemlerin de rahatlıkla uygulanabilmesidir.

Hataların geriye doğru çıkıştan girişe doğru azaltılmaya çalışılmasından dolayı geri yayımlı öğrenimi adını almıştır. Ağ çıkışında elde edilen mevcut hatanın seviyesine göre ayrı ayrı her katmandaki ağırlıklar yeniden hesaplanabilmesi için geri yayılma kullanılmaktadır. Şekil 4.3'de görüldüğü gibi geri yayımlı ağlarda giriş katmanı, gizli

katmanlar ve çıkış katmanı bulunmaktadır fakat problemin tür ve özelliklerine bağlı olarak gizli katman sayısı arttırılabilir (Bayzan vd., 2006)

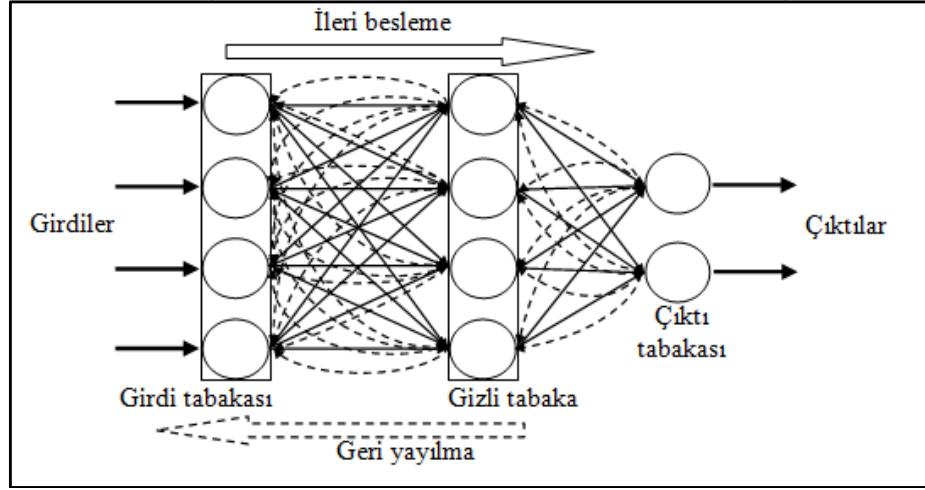
Giriş katmanında veriler işlenmeden bir sonraki katman konumunda olan gizli katmana geçer. Gizli katman ağıın asıl işlevini yapan katman ya da katmanlardır. Giriş katmanından alınmış olan verilere ağırlık değerleri atanarak problemin çözümüne uygun bir fonksiyon sayesinde işlenip bir sonraki katmana iletilir. Çıkış katmanı YSA'nın en son katmanıdır. Gizli katmandan almış olduğu veriyi ağıın kullanmış olduğu fonksiyon ile işleyerek sonuç çıktısını vermektedir. Geri yayımlımlı ağılarda bir katmandan başka bir katmana, aradaki herhangi bir katman atlanarak geçilemez (Bayzan vd., 2006).

YSA çıkış değerleri ile hedeflenen çıkış değerleri arasındaki fark hata sinyali belirtir. Hesaplanan hata sinyalleri, her çıktının düğüm kısmına tekabül eden ara katmanlardaki düğüm kısımlarına iletilir ve bu şekilde ara katmanlardaki düğümlerin her bir tanesi hesaplanan hatanın bir bölümünü içermektedir. Bu işlem hatanın ara katmanlardaki tüm düğüm noktalarına dağılana kadar tekrarlanır. Elde edilmiş olan hata sinyalleri baz alınarak, bağlantıların ağırlıkları her düğüm kısmında yeniden hesaplanır ve düzenleme yapılır. Bu şekilde tüm verilerin kodlanabileceği bir durum sağlanmaktadır (Bayzan vd., 2006).

İleri besleme aşamasında, giriş katmanında bulunan nöronlar verileri direk olarak gizli katmana gönderir. Gizli katmanda bulunmakta olan her nöron, giriş verilerini ağırlıklandırarak toplam değer hesaplanır ve aktivasyon fonksiyonu ile çalıştırılarak ya bir sonraki katmana ya da direk çıkış katmanına aktarılır. Katmanların arasındaki ağırlık değerleri rastgele olmak üzere küçük rakamlardan seçilmektedir. Hata değeri belirli bir değere düşene kadar iterasyon sürdürülür ve ağıın eğitim aşaması tamamlanır (Bayzan vd., 2006).

4.3.2 Öğrenme algoritmalarına göre ağ çeşitleri

YSA yönteminde genellikle çok kullanılmakta olan üç tip öğrenme yöntemi bulunmakta ve bu yöntemlerin uygulanmış olduğu değişik öğrenme kuralları vardır. Bunlar öğretmenli, öğretmensiz ve yarı öğretmenli eğitim olarak adlandırılmaktadır (Şen, 2004b).



Şekil 4.3. Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı ağ modeli

4.3.2.1 Öğretmenli eğitim

YSA'nın giriş tabakasına girdi ve çıktı değerleri verilmektedir. Öğretmenli eğitimde reel değerler kullanılmaktadır ve işlem bütünüyle eğiticinin kontrolündedir.

4.3.2.2 Öğretmensiz eğitim

YSA'nın giriş tabakasına çıkış bilgisi bulunmayan girdi değerleri girilir. Ağ bu verileri kendisi işledikten sonra gruplandırıp ayırır ve çıktıları üretmiş olur.

4.3.2.3 Yarı öğretmenli eğitim

Bu sistemde hedeflenen çıktıyı vermek için öğretmenin yerine, YSA'dan bir çıkış alınmamakta ancak alınan çıkışın girilen girişe göre yakınlığını değerlendiren bir kıstas kullanılmaktadır.

BÖLÜM V

TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ VE BOYUTLANDIRILMASI

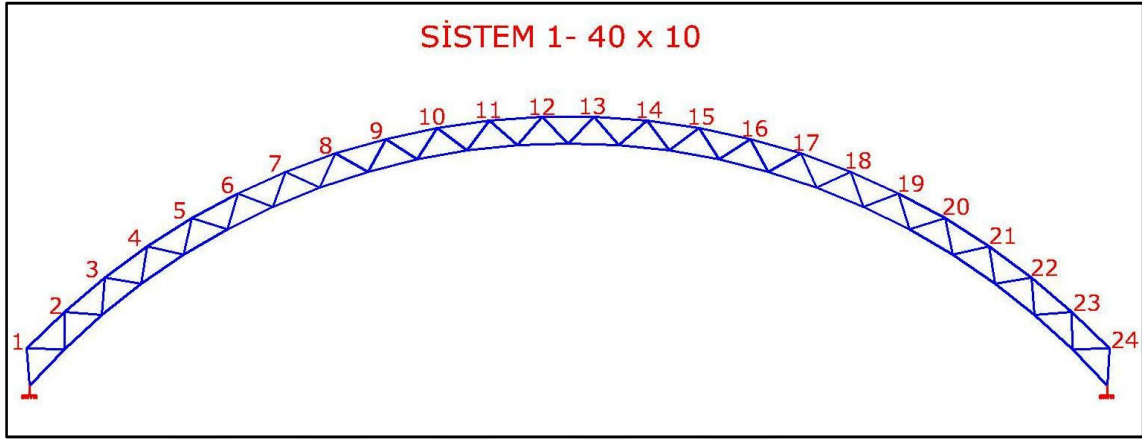
5.1 Sistemlerin Analiz ve Boyutlandırma Aşamaları

Cam elyaf takviyeli polyester profiller kullanılarak oluşturulan tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin minumum kesit alanlarının YSA il tahmin edilebilmesi için öncelikle örnek uzay kafes sistemlere ve çözümlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebepten dolayı öncelikle sistem modül şekli ve sayısı sabit olması koşulu ile sistem açıklıkları ve yükseklikleri değiştirilerek 20 (yirmi) farklı sistem ölçüsü belirlenmiştir. Sistemlerin modül sayısı ve mimarisi aynı olduğu için sistem uzunluğu modüldeki çubuk elemanların uzaması ya da kısılmasına bağlı olarak değişmektedir. Seçilen sistem ölçüleri Çizelge 5.1.'de belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. Örnek sistemlerin ölçüleri

Uzay Kafes Sistem Ölçüleri					
S.No	Genişlik (m)	Yükseklik (m)	Uzunluk (m)	Modül Genişliği (m)	Modül Yüksekliği (m)
1	40.0	10.0	56.50	1.883	1.017
2	45.0	10.0	62.07	2.069	1.021
3	40.0	12.0	59.55	1.985	1.051
4	45.0	12.0	64.83	2.161	1.090
5	50.0	12.0	70.00	2.333	1.195
6	50.0	15.0	74.37	2.479	1.301
7	55.0	12.0	75.42	2.517	1.319
8	55.0	15.0	79.53	2.651	1.405
9	60.0	15.0	84.81	2.827	1.495
10	60.0	17.5	88.47	2.949	1.570
11	65.0	15.0	90.24	3.008	1.585
12	65.0	17.5	95.67	3.189	1.650
13	70.0	17.5	98.94	3.298	1.739
14	70.0	20.0	102.57	3.419	1.814
15	75.0	17.5	104.37	3.479	1.829
16	75.0	20.0	107.61	3.587	1.984
17	80.0	20.0	113.07	3.769	1.983
18	80.0	22.5	116.67	3.889	2.068
19	85.0	20.0	118.50	3.950	2.083
20	85.0	22.5	121.89	4.063	2.148

Sistemlerin 2D ve 3D çizimleri Fotoğraf 5.1.'de görüldüğü gibi CAD çizim programında yapılmıştır. Bu çizimler kullanılarak oluşan sistem mimarisine göre sistem çatılarının eğim ve açıları belirlenmiş ve yük hesapları yapılmıştır. Yük hesapları yapıp belirlendikten sonra SAP 2000 v 16 programında sistemlerin statik analizleri ve boyutlandırılması yapılmıştır.



Fotoğraf 5.1 Örnek sistem 2D çizimi

5.2. Sisteme Etki Eden Yük Türleri ve Değerleri

Bu tez çalışmasında yükleme değerleri ile ilgili kabuller için TS 498'den yararlanılmıştır.

Aynı olan her sistem için 4 (dört) farklı yükleme bölgesi seçilmiştir. Bu seçilmiş olan yükleme bölgelerinde de yine 3 (üç) ayrı rüzgâr yükü hesaplanmıştır. Bu şekilde 20 farklı sistem için 4 ayrı yükleme bölgesi ve bunlar içinde 3 ayrı rüzgâr yükü ile 240 farklı sistem analiz edilmiş ve kesitleri atanmıştır.

Her sistem için ayrı şekilde hesaplanan yükler aşağıdaki gibidir;

- Zati yük (g_1) : Uzak kafes sistem taşıyıcı ve yardımcı elemanlarının zati ağırlıklarıdır.

- Kaplama + aşık yükü (g_2) : Aşık ve çatı kaplaması zati yükleri hesaplanarak sistemin çatı ile temas halinde olduğu düğüm noktalarından düşey yük olarak etki ettirilmiştir.
- Tesisat Yükü (g_3) :Uzay kafes sistem üzerindeki mimari açıdan kullanıma hizmet eden aydınlatma, havalandırma kanalları, tesisatların sistemde oluşturduğu yüklerlerdir.
- Kar Yükü (P_{ko}) : Uzay kafes sistemin yapılacağı bölgeye göre TS 498'den yararlanılarak belirtilen yük değerleri alınmış ve yapının çatı eğimine göre her düğüm noktası için ayrı ayrı hesaplanmıştır.
- Rüzgâr Yükü (W) : Rüzgarın etkisi yapı mimarisine bağlı olarak, yüksekliğe bağlı esiş hızına, doğrultusuna ve çatının eğimine bağlı olarak TS 498'den yararlanılarak hesaplanmıştır. Tez çalışmasında çatı eğimli ve her modül farklı açı oluşturduğu için her düğüm noktası için hesaplanmış ve düğüm noktalarına noktasal yük olarak etki ettirilmiştir.
- Sıcaklık Etkisi (Δt) : Sıcaklık etkisi yapının inşa edildiği bölgede sıcaklık farkı dikkate alınarak etki ettirilmiştir.
- Deprem Yükü (E) : Yapının deprem yükü hesaplanırken Türkiye bina deprem yönetmeliğinden yararlanılarak deprem parametreleri belirlenmiş ve mod birleştirme yöntemi sistem analiz edilmiştir.

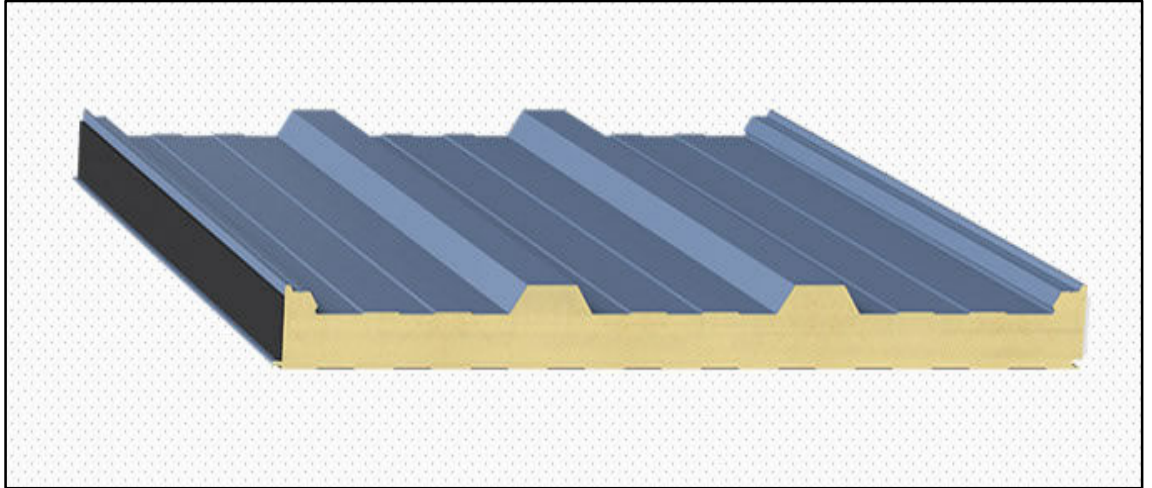
5.2.1 Sistemlere girilen yük değerleri

Sistemlere girilen yük değerleri bölgelere göre değişmesinden dolayı seçilen bölgeler için yük değerleri hesaplanmıştır. Yapıların inşaa edildiği bölgeye göre Antalya, Kayseri, Niğde ve Erzinan illeri seçilmiş ve bu iller için TS 498'e göre yük değerleri belirlenmiştir.

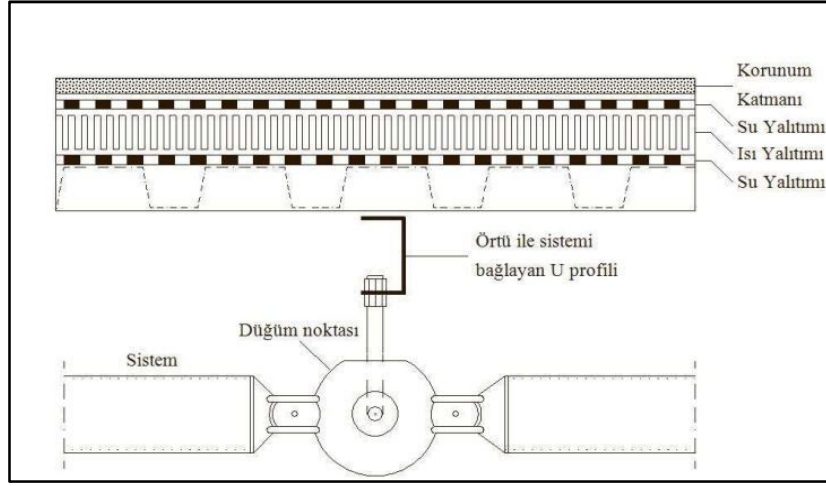
Çatı kaplama malzemesi olarak Fotoğraf 5.2.'de görülen alüminyum sandviç panel kaplama seçilmiştir. Seçilen panelin üst metali 0,7 mm alt metali ise 0,5 mm'dir. Malzeme kalınlığı 50 mm'dir. Bu özelliklere göre yük değeri $5,8 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Bu alınan $5,8 \text{ kg/m}^2$ büyüklüğündeki yük ilgili düğüm noktalarına etki ettirilmiştir. Bu yükler, malzeme değişmediği için, seçilen 4 yükleme bölgesi için de aynı alınmıştır. Çizelge 5.2.'de alüminyum sandviç panellerin kalınlıklarına göre birim ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 5.2. Alüminyum sandviç panel birim ağırlık tablosu

Alüminyum		Birim Ağırlık (Kg/m ²)	Kalınlık (mm)
Üst Metal Kalınlığı (mm)	Alt Metal Kalınlığı (mm)		
0,50	0,40	4,12	30
		4,52	40
		4,92	50
		5,32	60
		5,72	70
0,70	0,50	5,00	30
		5,40	40
		5,80	50
		6,20	60
		6,60	70



Fotoğraf 5.2. Alüminyum sandviç panel

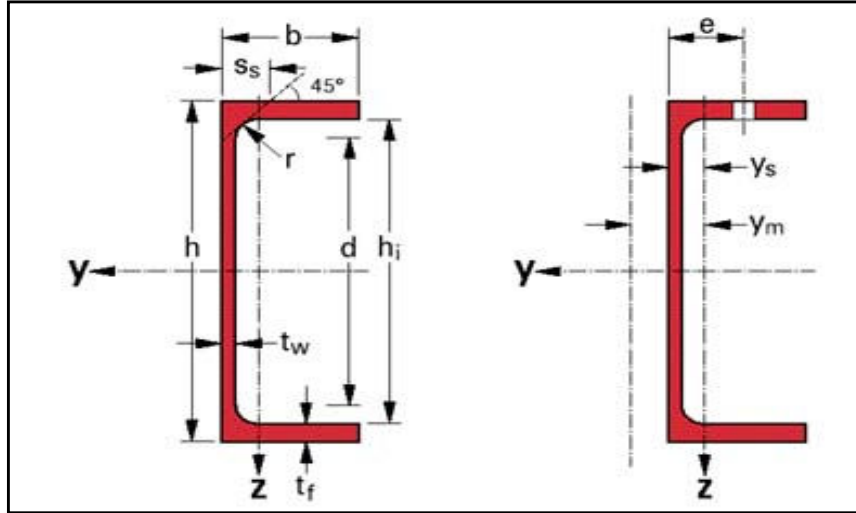


Şekil 5.1. Uzay kafes sistem çatı kaplaması ve sistem birleşim detayı

Aşık yükünü sisteme etki ettirebilmek için öncelikle her sistem için aşık aralığına ve açıklığına göre aşık hesabı yapılmıştır. Aşıklar hesaplanırken Şekil 5.1.'de görüldüğü gibi paralel başlıklı U profil seçilmiş ve yapı malzemesi olarak cam elyaf takviyeli polyester malzeme kullanılacak şekilde Çizelge 5.3.'de verilen profil tablosu hazırlanmıştır.

Çizelge 5.3. Paralel başlıklı U profil kesit değerleri tablosu

	Ölçüler						Kesit Alanı	Kuvvetli Eksen y-y			Zayıf Eksen z-z		
Kesit	G	h	b	t _w	t _f	r	A	I _y	W _{el,y}	i _y	I _z	W _{el,z}	i _z
	kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm
UAP 80	1,92	80	45	5	8	8	10,67	107,1	26,78	3,17	21,33	7,38	1,41
UAP 100	2,41	100	50	5,5	8,5	8,5	13,38	209,5	41,90	3,96	32,83	9,95	1,57
UAP 130	3,15	130	55	6	9,5	9,5	17,50	459,6	70,70	5,12	51,34	13,78	1,71
UAP 150	4,11	150	65	7	10,25	10,25	22,84	796,1	106,1	5,90	93,25	20,97	2,02
UAP 175	4,87	175	70	7,5	10,75	10,75	27,06	1270	145,1	6,85	126,4	25,92	2,16
UAP 200	5,76	200	75	8	11,5	11,5	31,98	1946	194,6	7,80	169,7	32,13	2,30
UAP 220	6,53	220	80	8	12,5	12,5	36,27	2710	246,4	8,64	222,3	39,68	2,48
UAP 250	7,88	250	85	9	13,5	13,5	43,80	4136	330,9	9,72	295,4	48,87	2,60
UAP 300	10,54	300	100	9,5	16	16	58,56	8170	544,7	11,81	562,1	79,88	3,10



Şekil 5.2. Paralel başlıklı U profil kesiti (Aşık)

Aşık hesabında öncelikle öngördüğümüz U profil kesitlerinden bir tanesi seçilmiştir. Şekil 5.2.'de U profilin kesit çizimi ve eksenleri verilmiştir. Bu seçilen aşık birim ağırlığına göre aşığın yatay düzlemle yaptığı açıya bağlı olarak g_{1x} ve g_{1y} olmak iki tip yayılı yük değeri etki ettirilmiştir. Yine aşık üzerine bölgesine ve çatının yatay düzlem ile yaptığı açıya göre P_{kx} ve P_{ky} kar yükleri ve kaplamanın yatay düzlem ile yapmış olduğu açılara göre kaplamanın zati yük değeri olan g_{2x} ve g_{2y} yayılı yük değeri bulunmuş ve sistemde mevcut olan 24 ayrı aşık üzerine etki ediyormuş gibi hesap yapılmıştır. 24 farklı her bir aşık için aşığın zati ağırlığı, kar ve kaplama yüklerinin toplamının en yüksek değeri olan q_x ve q_y değeri bulunmuş ve bu maksimum yüklere göre aşıklar iki açıklıkta sürekli kiriş gibi düşünülerek Denklem 5.1 ve 5. 2'ye moment hesabı yapılmıştır.

$$M_x = \frac{q_x \cdot L^2}{11} \quad (5.1)$$

$$M_y = \frac{q_y \cdot L^2}{11} \quad (5.2)$$

M_x ve M_y moment değerlerimizi bulduktan sonra seçtiğimiz aşık elemanın mevcut yükler altındaki gerilme tahkiki Denklem 5.3'e göre yapılmıştır.

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \quad (5.3)$$

Bulunan bu gerilme değeri CTP malzemesinin emniyet gerilmesi olan σ_{em} ' den daha küçük veya eşit olması gerekir. CTP malzemenin emniyet gerilmesi eğilmeye çalışan elemanlar için AISC-ASD89 yönetmeliğinden baz alınarak hesaplanmıştır ve buna göre kıyas edilmiştir. Bu hesaplama işleminden sonra Denklem 5.4 , 5.5 ve 5.6 ve 5.7'ye göre sehim kontrolü yapılmaktadır.

$$f_x = \frac{2,48 \cdot q_x \cdot L^4}{I_x} \quad (5.4)$$

$$f_y = \frac{2,48 \cdot q_y \cdot L^4}{I_y} \quad (5.5)$$

$$f = \sqrt{f_x + f_y} \quad (5.6)$$

$$f_{max} = \frac{e}{300} \quad (5.7)$$

Aşık elemanı için hesaplanan sehim değeri maksimum sehim değerine eşit yada düşük ise sehim aşığının yapmış olduğu sehim istenilen sınırlar içerisinde dir. Bu şekilde aşık hesabı yapıp aşığının zati ağırlığı da kaplama yükü ile birlikte sistemin kendi içinde elemanların yapmış olduğu açılarda bulundurularak sistem üst düğüm noktalarına noktasal yük olarak etki ettirilmektedir.

Uzay kafes sistem üzerindeki mimari açıdan kullanıma hizmet eden aydınlatma, havalandırma kanalları ve tesisatların sistemde oluşturduğu tesisat yükleri kedi yolu da düşünülerek 12 kg/m² olarak alınmıştır. Bu yük değeri yine 24 düğüm noktasına sistemde yatay düzlem ile 90° açı yapacak şekilde noktasal yük olarak etki ettirilmiştir.

Uzay kafes sistemin yapılacağı bölgeye göre TS 498'den yararlanılarak kar yükü değerleri alınmış ve yapının kendi içinde değişen çatı eğimine göre her düğüm noktası

için ayrı ayrı hesaplanmıştır. P_{ko} hareketli yük sınıfına girmektedir. Bunun bağlı olduğu etkenler coğrafi ve meteorolojik şartlardır. 30° 'ye kadar eğimli çatılarda kar yükü hesap değeri P_k , kar yükü P_{ko} değerine eşit kabul edilir ve çatı alanının plandaki düzgün yayılı yükü olarak dikkate alınır.

Yatayla α açısı kadar eğim yapan ve kar kaymasının engellenmediği çatılarda P_k kar yükü hesap değeri olarak Denklem 5.8 kullanılarak hesaplanır.

$$P_k = m.P_{ko} \quad (5.8)$$

Denklem 5.8'de yer alam m değeri çatının yatay düzlemle yapmış olduğu açıdan dolayı kar kayması düşünülerek hesaplanan yük azaltma katsayısıdır. Bu “ m ” değeri Denklem 5.9 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$m = 1 - \frac{\alpha - 30^\circ}{40^\circ} \quad (5.9)$$

Bu kullanılan m değeri çatının yatay ile yapmış olduğu açılar dikkate alınarak TS 498’den alınmıştır. Bu azaltma katsayısının geçerlilik sınırı $0 \leq m \leq 1$ ’dir.

Sistemlerimizin inşaa edilmiş olduğu illere göre TS 498’de bulunan “İl ve İlçelere Göre Zati Kar Yük Bölgeleri” isimli EK I tablosundan yararlanılarak kar bölgeleri tespit edilmiştir. Kar bölgeleri tespit edildikten sonra P_{ko} kar yayılı yük değeri yine TS 498’de bulunan ve Çizelge 5.4.’te verilen zati kar yükü değerlerinden belirlenmiştir.

Antalya bölgesi için: I. Kar bölgesi ve Rakım:43 m: Buna göre Çizelge 5.4.’e göre P_{ko} $75,0 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmıştır ve üst düğüm noktasına sistem içerisinde değişen açılara göre Denklem 5.8 ve 5.9’a göre hesaplanarak etki ettirilmiştir.

Kayseri bölgesi için: I. Kar bölgesi ve Rakım:1071 m: Buna göre Çizelge 5.4.’e göre P_{ko} $80,00 \text{ kg/m}^2$ olarak alınmış ve rakım $1500 > 1071 > 1000 \text{ m}$ olduğu için P_{ko} % 10 arttırılmıştır P_{ko} $88,00 \text{ kg/m}^2$ kabul edilmiştir. 24 üst düğüm noktasına sistem içerisinde değişen açılara göre Denklem 5.8 ve 5.9’a göre hesaplanarak etki ettirilmiştir.

Çizelge 5.4. Zati kar yükü (P_{k0}) değerleri tablosu (kg/m^2)

Yapı Yerinin Denizden Yüksekliği	Bölgeler			
m (metre)	I	II	III	IV
≤ 200	75,0	75,0	75,0	75,0
300	75,0	75,0	75,0	80,0
400	75,0	75,0	75,0	80,0
500	75,0	75,0	75,0	85,0
600	75,0	75,0	80,0	90,0
700	75,0	75,0	85,0	95,0
800	80,0	85,0	125,0	140,0
900	80,0	95,0	130,0	150,0
1000	80,0	105,0	135,0	160,0
>1000	1000 m'ye tekabül eden değerler, 1500 m'ye kadar % 10, 1500 m'den yukarı yüksekliklerde % 15 arttırılır.			

Niğde bölgesi için: II . Kar bölgesi ve Rakım:1208 m: Buna göre Çizelge 5.4.'e göre P_{k0} 105,00 kg/m^2 olarak alınmış ve rakım 1500>1071>1000 m olduğu için P_{k0} %10 arttırılmıştır P_{k0} 115,50 kg/m^2 kabul edilmiştir. 24 üst düğüm noktasına sistem içerisinde değişen açılara göre Denklem 5.8 ve 5.9'a göre hesaplanarak etki ettirilmiştir.

Erzincan bölgesi için: III . Kar bölgesi ve Rakım:1214 m: Buna göre Çizelge 5.4.'e göre P_{k0} 135,00 kg/m^2 olarak alınmış ve rakım 1500>1071>1000 m olduğu için P_{k0} %10 arttırılmıştır P_{k0} 148,50 kg/m^2 kabul edilmiştir. 24 üst düğüm noktasına sistem içerisinde değişen açılara göre Denklem 5.8 ve 5.9'a göre hesaplanarak etki ettirilmiştir.

Rüzgar yükü yapının yüksekliğine göre rüzgarın esme hızı ve doğrultusuna bağlı olarak TS 498 Çizelge 5.5.' den yararlanılarak rüzgar yüküne karar verilmektedir.

Sistemlerin yükseklikleri 10 m ile 20 m arasındadır fakat sistemlerin farklı rüzgar yükleri altındaki davranışlarını görebilmek için tüm sistemlere 50 kg/m^2 , 80 kg/m^2 ve 110 kg/m^2 rüzgar yükleri etki ettirilmiştir.

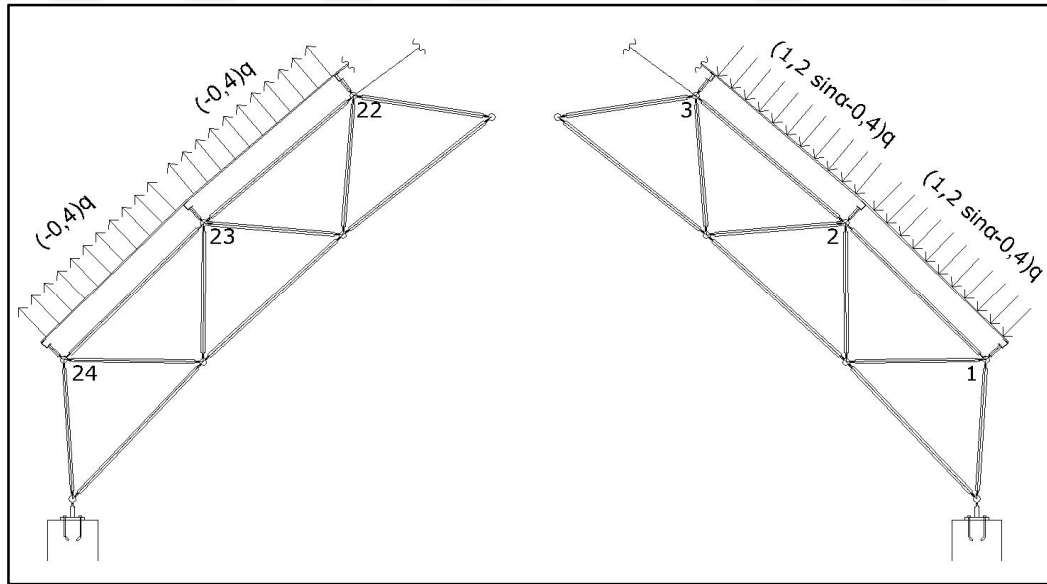
Çizelge 5.5. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme kuvveti

Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı v m/s	Emme q_w (kg/m ²)
0-8	28	50
9-20	36	80
21-100	42	110
>100	46	130

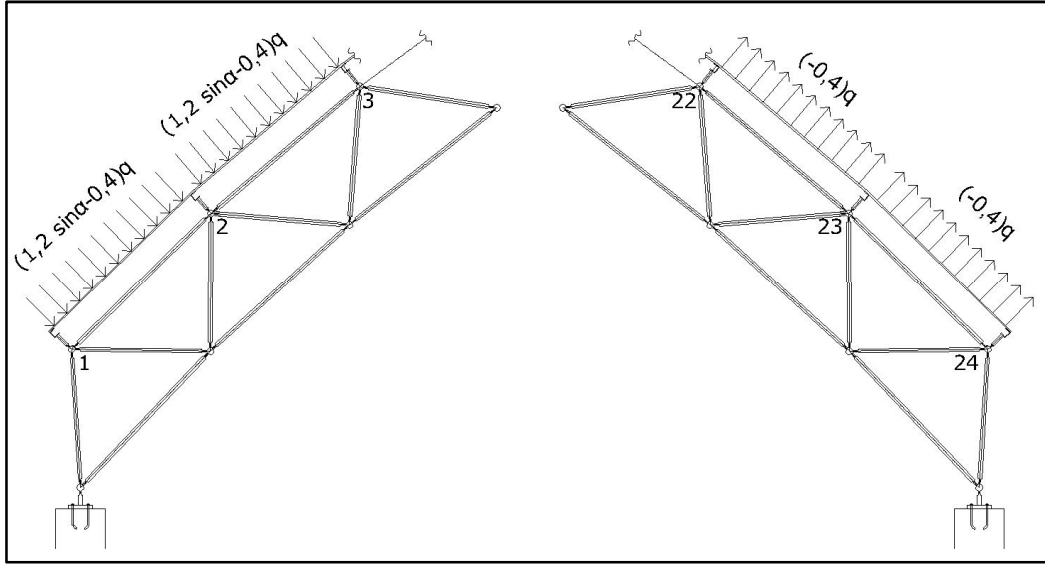
$$W = (1,2 \sin \alpha - 0,4) \cdot q_w \quad (5.9)$$

$$W = (-0,4) \cdot q_w \quad (5.10)$$

Bulmuş olduğumuz bu yükler Şekil 5.3 ve 5.4’de görüldüğü gibi çatı düzlemine dik olmasından dolayı öncelikle bulmuş olduğumuz bu yükler alanla çarpılıp noktasal yük haline getirdikten sonra çatının yatay düzlemi ile yapmış olduğu açığa göre W_x ve W_y yük bileşenlerine dönüştürülerek 24 düğüm noktasına W_x ve W_y noktasal yükleri etki ettirilmiştir.



Şekil 5.3. Sisteme rüzgar yükünün sağdan yüklenmesi



Şekil 5.4. Sisteme rüzgar yükünün soldan yüklenmesi

Sıcaklık etkisi yapının inşa edildiği bölgede sıcaklık farkı dikkate alınarak tesir ettirilmektedir. Sıcaklık sistemlere $\pm 25\text{ C}^\circ$ olarak etki ettirilmiş ve analiz aşamasında Sap 2000 programında hesaplatılarak tüm kesitlere etki ettirilmesi sağlanmıştır.

Yapının deprem yükleri hesaplanırken Türkiye bina deprem yönetmeliğinden yararlanılarak deprem parametreleri bulunmuş Mod birleştirme yöntemi ile SAP 2000 programında hesaplatılarak etki ettirilmesi sağlanmıştır.

Geniş açıklıklı yapıların deprem hesapları yapılırken, eşdeğer deprem yönteminin kullanılması doğru olmayabilir. Bundan dolayı yüksek modların yapının davranışına etkisini göz önüne almak için dinamik analiz yöntemi tercih edilmiştir.

Sistemlerin x ve y yönündeki deprem kuvvetlerinin hesabında tepki spektrum analizi yöntemi kullanılmıştır. Tepki spektrum analizi, yapının modal kütlelerini hesaplar. Yapının belirli salınım periyotlarında farklı deplasmanlar yapmasını sağlar. Böylece yapının dinamik deprem analizi yapılmış olur.

Öncelikle deprem yer hareketi düzeyi belirlenmiştir. Çizelge 5.6.' da bu dört farklı deprem yer hareketi düzeyi görülmektedir. Bu deprem düzeylerinden sistemlerin deprem düzeyi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılan DD-2'dir.

Çizelge 5.6. Deprem yer hareketi düzeyleri

Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)
DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, gözönüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)
DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)
DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.
Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)
DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için deprem verileri, Türkiye Deprem Tehlike Haritaları kullanılarak tanımlanmıştır.

Deprem tasarım spektrumlarını tanımlayabilmek için yapının inşa edileceği yerin yerel zemin sınıfı gerekmektedir. Deprem yönetmeliğinden yararlanılarak Çizelge 5.7. oluşturulmuştur ve yapıların bulunduğu zemin sınıfı ZC olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.7.'de verilen zemin parametreleri, zemin profilinin temel veya kazık başlığı alt kotundan itibaren aşağıya doğru 30 m kalınlığındaki kısmı için belirlenmektedir. Bu çizelgede $(V_s)_{30}$ üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, $(N_{60})_{30}$ üst 30 metredeki ortalama standart penetrasyon darbe sayısı ve $(C_u)_{30}$ ortalama drenajsız kayma dayanımına göre belirlenmektedir.

Deprem yer hareketi spektrumları, DD-2 yer hareketi düzeyine göre referans zemin koşulu $(V_s)_{30} = 760$ m/s esas alınarak %5 sönüm oranı için zemin sınıfı olan ZC seçilerek yapının bulunmuş olduğu enlem ve boylama göre, <https://tdth.afad.gov.tr/>

adresli internet sitesinden Türkiye Deprem Tehlike Haritalarından elde edilmiştir. Buradan ;

- S_s : Kısa periyot *harita spektral ivme katsayısı*
- S_l : 1.0 saniye periyot için *harita spektral ivme katsayısı*
- $PGA(g)$: En büyük yer ivmesi
- $PGV(cm/sn)$: En büyük yer hızı değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 5.7. Yerel zemin sınıfları

Yerel Zemin Sınıfı	Zemin Cinsi	Üst 30 metrede ortalama		
		$(V_s)_{30}$ [m/s]	(N_{60}) [darbe /30cm]	$(C_u)_{30}$ [kPa]
ZA	Sağlam sert kayalar	> 1500	-	-
ZB	Az ayrıışmış, orta sağlam kayalar	760 – 1500	-	-
ZC	Çok sıkı kum, çakıl ve sert kil tabakaları veya ayrıışmış, çok çatlaklı zayıf kayalar	360 – 760	> 50	> 250
ZD	Orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları	180 – 360	15 – 50	70 – 250
ZE	Gevşek kum, çakıl veya yumuşak – katı kil tabakaları veya $PI > 20$ ve $w > \% 40$ koşullarını sağlayan toplamda 3 metreden daha kalın yumuşak kil tabakası ($c_u < 25$ kPa) içeren profiller	< 180	< 15	< 70
ZF	Sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler: 1) Deprem etkisi altında çökme ve potansiyel göçme riskine sahip zeminler (sıvılaşıabilir zeminler, yüksek derecede hassas killler, göçebilir zayıf çimentolu zeminler vb.), 2) Toplam kalınlığı 3 metreden fazla turba ve/veya organik içeriği yüksek killler, 3) Toplam kalınlığı 8 metreden fazla olan yüksek plastisiteli ($PI > 50$) killler, 4) Çok kalın (> 35 m) yumuşak veya orta katı killler.			

Buna göre dört (4) ayrı bölgede yapı tanımlandığı için bu her ayrı bölge için haritadan ayrı ayrı değerler elde edilmiştir.

Antalya için:

- Enlem: 36,891762°
- Boylam: 30,66516°
- $S_s = 0,565$
- $S_l = 0,151$

- $PGV = 11,161$
- $PGA = 0,264$

Birbirine dik iki yatay doğrultudaki deprem etkilerinin geometrik ortalamasına karşı gelen harita spektral ivme katsayıları S_S ve S_I , Denklem 5.11 ve 5.12 kullanılarak tasarım spektral ivme katsayıları olan S_{DS} ve S_{DI} 'e dönüştürülmüştür.

$$S_{DS} = S_S \cdot F_S \quad (5.11)$$

$$S_{DI} = S_I \cdot F_I \quad (5.12)$$

Burada ;

- F_S : Kısa periyot için yerel zemin etki katsayısıdır,
- F_I : 1.0 saniye periyot için yerel zemin etki katsayısıdır,
- S_{DS} : Kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısıdır,
- S_{DI} : 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısıdır,

ZC yerel zemin sınıfına bağlı olarak yerel zemin etki katsayıları F_S ve F_I , sırası ile Çizelge 5.8. ve Çizelge 5.9.'da verilmiştir. Çizelgelerdeki harita spektral ivme katsayılarının ara değerleri için doğrusal enterpolasyon yapılabilir. Çizelge 5.8.'e göre Antalya bölgesi için $F_S = 1,274$ ve Çizelge 5.9.'a göre Antalya bölgesi için $F_I = 1,500$ olarak bulunmaktadır.

Elde edilen bu verilere göre Denklem 5.11 kullanılarak $S_{DS} = 0,720$ ve Denklem 5.12 kullanılarak $S_{DI} = 0,226$ bulunmaktadır.

Çizelge 5.8. Kısa periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	Kısa periyot bölgesi için Yerel Zemin Etki Katsayısı F_S					
	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S = 1.25$	$S_S = 1.50$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
ZC	1.30	1.30	1.20	1.20	1.20	1.20
ZD	1.60	1.40	1.20	1.10	1.00	1.00
ZE	2.40	1.70	1.30	1.10	0.90	0.80
ZF	Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır					

Çizelge 5.9. 1.0 saniye periyot bölgesi için yerel zemin etki katsayıları

Yerel Zemin Sınıfı	1.0 saniye periyot için <i>Yerel Zemin Etki Katsayısı</i> F_I					
	$S_I \leq 0.10$	$S_I = 0.20$	$S_I = 0.30$	$S_I = 0.40$	$S_I = 0.50$	$S_I = 0.60$
ZA	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZB	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
ZC	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.40
ZD	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.70
ZE	4.20	3.30	2.80	2.40	2.20	2.00
ZF	<i>Sahaya özel zemin davranış analizi yapılacaktır</i>					

Elde edilen tüm veriler kullanılarak öncelikle Şekil 5.5.'de görülen yatay elastik tasarım spektrumu grafiği oluşturulmuştur. Bunun için DD-2 yer hareketi düzeyi için yatay elastik tasarım ivme spektrumunun ordinatları olan yatay elastik tasarım spektral ivmeleri “ $S_{ae}(T)$ ”, doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi (g) cinsinden bulunmuştur.

$$0 \leq T \leq T_A \quad \text{ise} \quad S_{ae}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A} \right) S_{DS} \quad (5.13)$$

$$T_A \leq T \leq T_B \quad \text{ise} \quad S_{ae}(T) = S_{DS} \quad (5.14)$$

$$T_B \leq T \leq T_L \quad \text{ise} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (5.15)$$

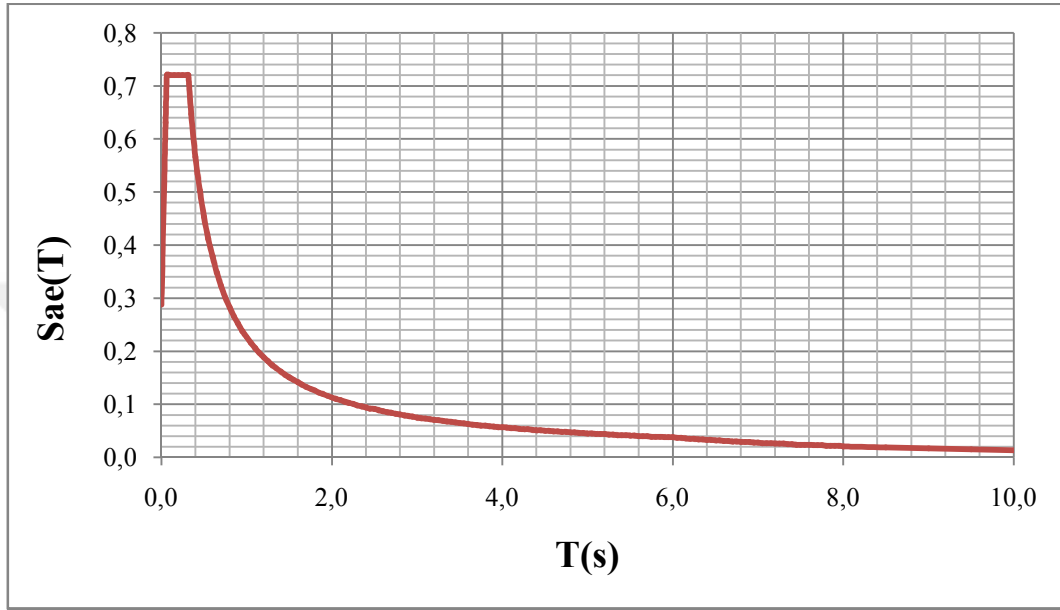
$$T_L \leq T \quad \text{ise} \quad S_{ae}(T) = \frac{S_{D1} \cdot T_L}{T^2} \quad (5.16)$$

Denklem 5.13, 5.14, 5.15 ve 5.16 vasıtasıyla yatay elastik tasarım spektral ivmeleri “ $S_{ae}(T)$ ” ler bulunmuştur. Burada T değerleri 0 ile 10 arasında bina doğal titreşim periyot değerleridir. T_A ve T_B değerleri yatay elastik tasarım spektrumu köşe periyot değerleridir ve S_{DS} ve S_{D1} 'e bağlı olarak Denklem 5.17 ve 5.18 ile hesaplanmaktadır.

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad (5.17)$$

$$T_B = \frac{S_{DI}}{S_{DS}} \quad (5.18)$$

Sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu olan $T_L = 6$ s alınmıştır. Bulunan bu değerler ile yatay elastik tasarım spektrumu grafiği oluşturulmuştur.



şekil 5.5. Antalya için yatay elastik tasarım spektrum grafiği

Yatay ivme spektrumu oluşturulmasının ardında DD-2 deprem yer hareketi düzeyi için düşey elastik tasarım ivme spektrumu oluşturulmuştur.

Bunun için düşey elastik tasarım ivme spektrum grafiğinin ordinatları olan düşey elastik tasarım spektral ivmeleri “ $S_{aeD}(T)$ ”, yatay deprem yer hareketi için tanımlanan kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı olan S_{DS} ve doğal titreşim periyoduna bağlı olarak yerçekimi ivmesi “g” cinsinden hesaplanmaktadır.

$$0 \leq T \leq T_{AD} \quad \text{ise} \quad S_{aeD}(T) = \left(0.32 + 0.48 \frac{T}{T_{AD}} \right) S_{DS} \quad (5.19)$$

$$T_{AD} \leq T \leq T_{BD} \quad \text{ise} \quad S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \quad (5.20)$$

$$T_{BD} \leq T \leq T_{LD} \quad \text{ise} \quad S_{aeD}(T) = 0.8 S_{DS} \frac{T_{BD}}{T} \quad (5.21)$$

Denklem 5.19, 5.20 ve 5.21’de yer alan T_{AD} ve T_{BD} düşey spektrum köşe periyotları ile düşey spektrum sabit yer değiştirme bölgesine geçiş periyodu olan T_{LD} periyodunun hesabı Denklem 5.22, 5.23 ve 5.24’de verilmiştir.

$$T_{AD} = \frac{T_A}{3} \quad (5.22)$$

$$T_{BD} = \frac{T_B}{3} \quad (5.24)$$

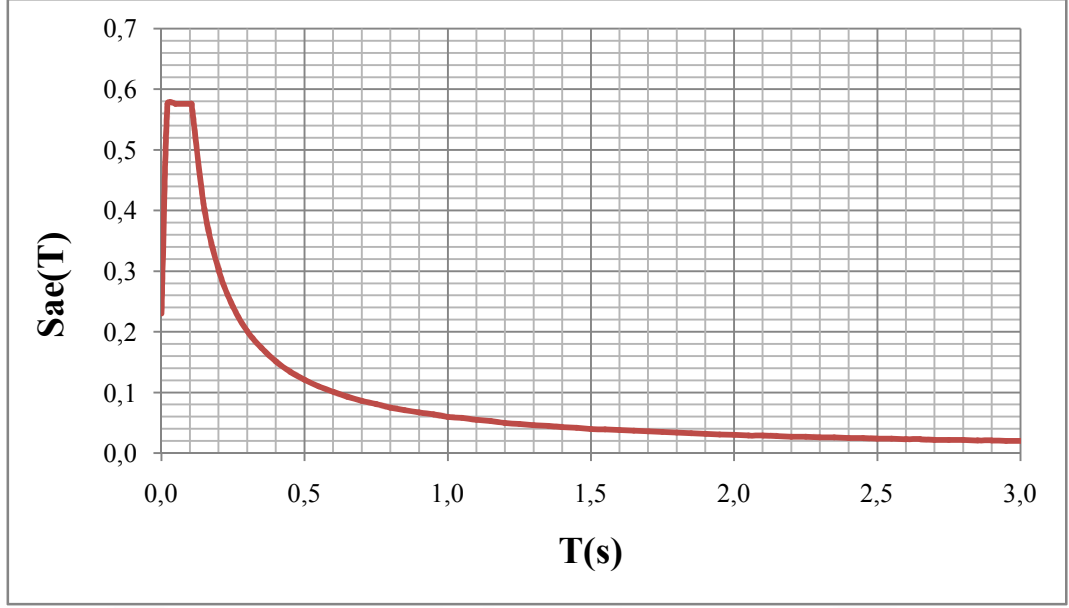
$$T_{LD} = \frac{T_L}{2} \quad (5.25)$$

Bulunan bu değerler ile Şekil 5.6.’da verilen düşey elastik tasarım spektrumu grafiği oluşturulur.

Türkiye bina deprem yönetmeliğinde, özel olarak tanımlanmayan yapılar dışındaki DD-2 deprem yer hareketinin etkisi altında bulunan tüm binalarda normal performans hedefi olarak tanımlanan kontrollü hasar (KH) performans düzeyini sağlaması gerekmektedir.

Deprem etkisi altında kalan yapılar için KH performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir. Bu performans düzeyini yapının sağlayabilmek için taşıyıcı sistemde kullanılan kesitlerin kapasitelerinden yararlanılır.

Deprem etkisi altında binaların deprem tasarımlarının sınıflandırılması için Türkiye bina deprem yönetmeliğinde tanımlanan Bina Kullanım Sınıfları "BKS" ve binaların kullanım amaçlarına bağlı olarak bina önem katsayısı olan " I " Çizelge 5.10.’da ki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 5.6. Antalya için düşey elastik tasarım spektrum grafiği

Çizelge 5.10.'a göre uzay kafes sistemlerin bina kullanım sınıfı BKS=2 ve buna karşılık gelen bina önem katsayısı $I = 1.20$ 'dir.

KH performans düzeyini sağlayabilmek için öngörülen süneklik kapasitesi-dayanım talebi ilişkisi ve buna bağlı olarak belirlenen deprem yükü katsayısı " $R_a(T)$ " ile tasarım yükleri olan doğrusal elastik deprem yükleri azaltılmakta ve kesitlerin dayanım kapasitelerinden yararlanılmaktadır. Buna göre Denklem 5.26 ve 5.27 ile deprem yükü katsayıları " $R_a(T)$ " ler hesaplanmaktadır.

$$T > T_B \quad \text{ise} \quad R_a(T) = \frac{R}{I} \quad (5.26)$$

$$T \leq T_B \quad \text{ise} \quad R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad (5.27)$$

Bu formüllerde yer alan R ; taşıyıcı sistem davranış katsayısı, D ; dayanım fazlalığı katsayısı, I ; bina önem katsayısı, T ; sistemin doğal titreşim periyodu ve T_B ; spektrum köşe periyodudur. Buradaki R ve D değerleri Çizelge 5.11.'den alınmaktadır. Türkiye bina deprem yönetmeliğinde kompozit kolonlu sistemlerde, çelik taşıyıcı sistemler için verilen R ve D katsayıları kullanılması gerektiği belirtilmişti buna göre çelik bina

taşıyıcı sistemler için verilmiş olan katsayılar kullanılmıştır. Buna göre $R = 4$ ve $D = 2$ olarak alınmıştır.

Çizelge 5.10. Bina kullanım sınıfları ve bina önem katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı (BKS)	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları) b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb. c) Müzeler d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1.5
BKS = 2	İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.	1.2
BKS = 3	Diğer binalar BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Elde edilen R ve D değerleri Denklem 5.26 ve 5.27’ de kullanılarak deprem yükü azaltma katsayıları “ $R_a(T)$ ” bulunmuş, deprem tasarım yükleri olan doğrusal elastik deprem yükleri olan yatay ve düşey elastik tasarım spektrumları azaltılarak SAP 2000 programına veri girişi yapılmıştır.

Antalya bölgesi için yapılmış olunan bu hesaplama yöntemleri diğer bölgeler için ayrı ayrı yapılmaktadır. Buna göre ;

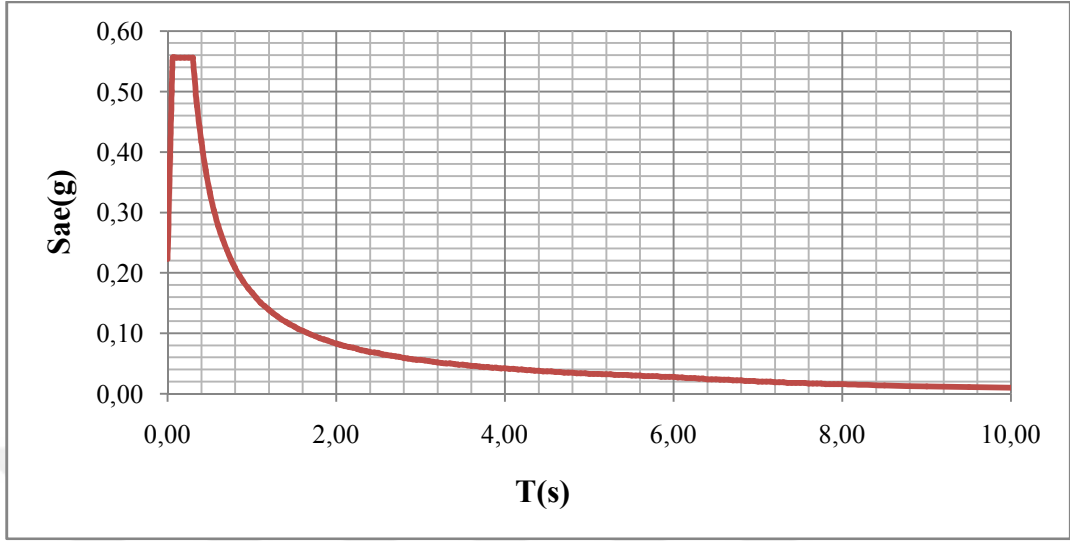
Çizelge 5.11. Bina taşıyıcı sistemleri için taşıyıcı sistem davranış katsayısı ve dayanım fazlalığı katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D
C. ÇELİK BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ		
C1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler		
C11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3
C12. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	8	2.5
C13. Deprem etkilerinin tamamının süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler tarafından karşılandığı binalar	5	2
C14. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek dışmerkez veya burkulması önlenmiş merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	8	3
C15. Deprem etkilerinin moment aktaran süneklik düzeyi yüksek çelik çerçeveler ile süneklik düzeyi yüksek merkezi çaprazlı çelik çerçeveler veya süneklik düzeyi yüksek boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5
C16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsallı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen süneklik düzeyi yüksek çelik kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	4	2

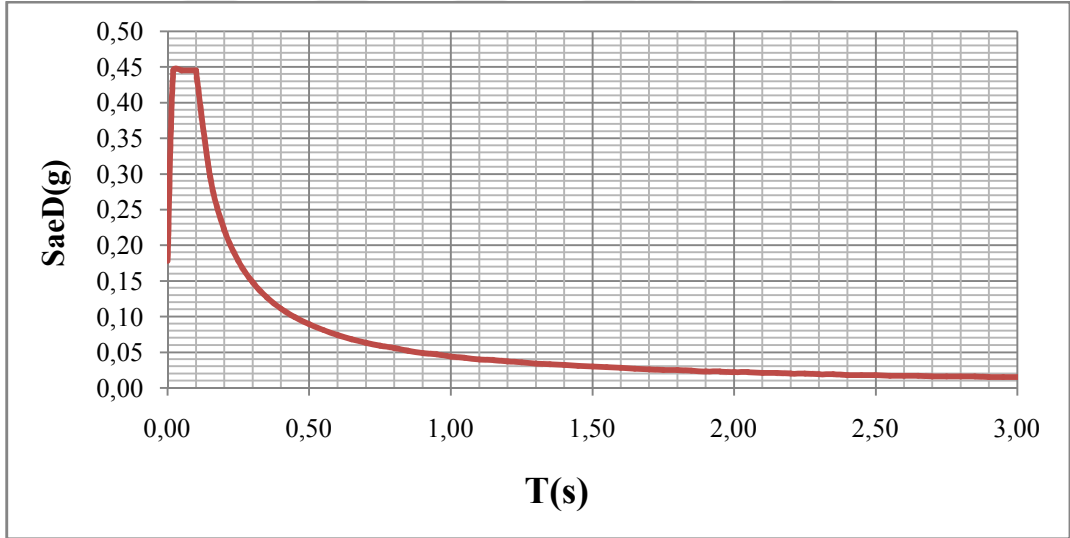
Kayseri için:

- Enlem: 38,688261°
- Boylam: 35,550059°
- $S_s = 0,428$ $S_I = 0,111$
- $PGV = 10,743$ $PGA = 0,186$
- $F_S = 1,300$ $F_I = 1,500$
- $S_{DS} = 0,556$ $S_{DI} = 0,167$
- $T_A = 0,060$ $T_B = 0,229$
- $T_L = 6,000$ $T_{AD} = 0,020$
- $T_{BD} = 0,100$ $T_{LD} = 3,000$

değerleri bulunmuştur ve buna göre Şekil 5.7. ve 5.8.' de ki elastik tasarım spektrum grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.7. Kayseri için yatay elastik tasarım spektrum grafiği



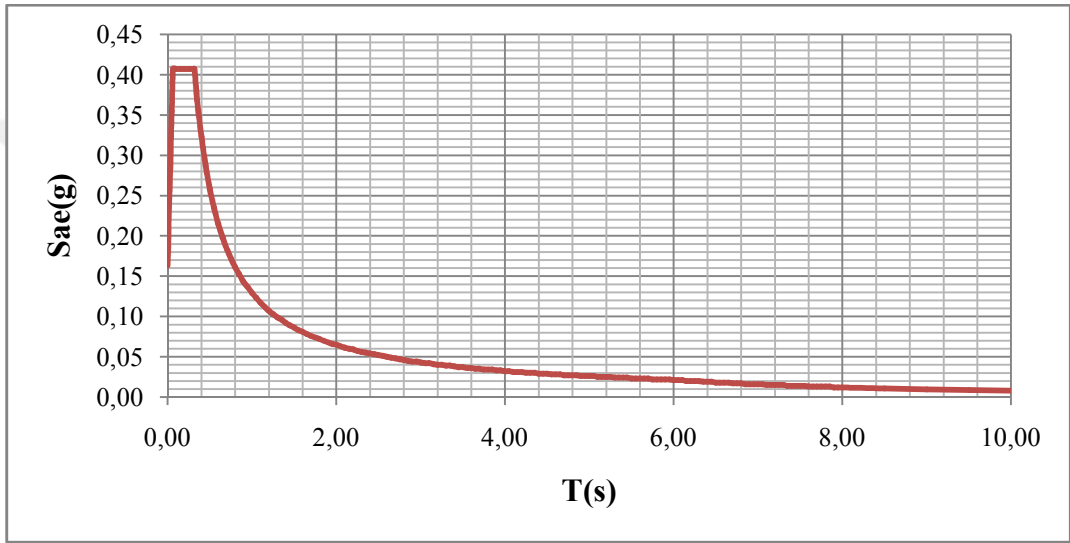
Şekil 5.8. Kayseri için düşey elastik tasarım spektrum grafiği

Niğde için:

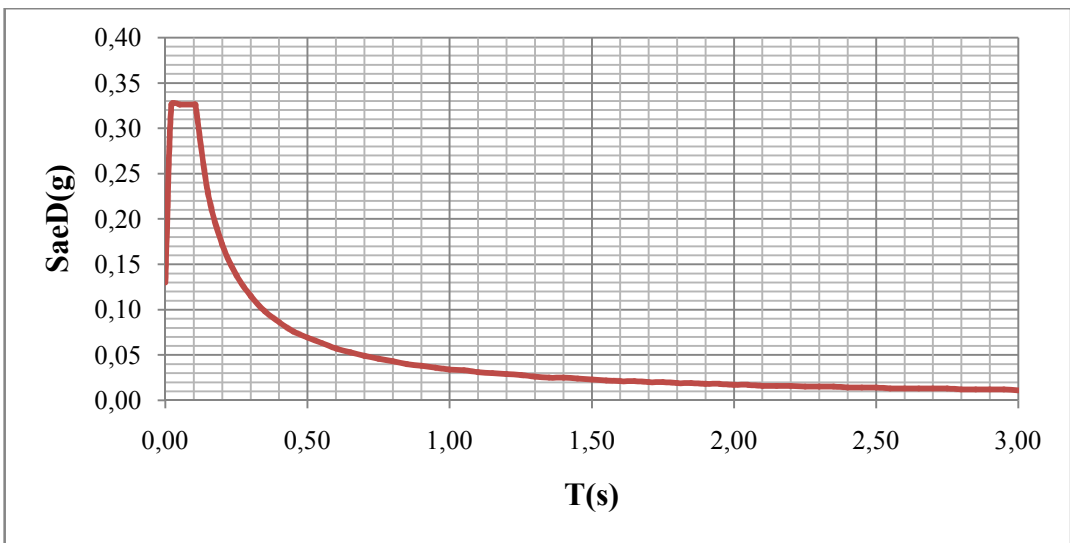
- Enlem: 37,945426°
- Boylam: 34,627226°
- $S_s = 0,313$ $S_I = 0,086$
- $PGV = 8,016$ $PGA = 0,134$

-	F_S	= 1,300	F_I	= 1,500
-	S_{DS}	= 0,407	S_{DI}	= 0,129
-	T_A	= 0,063	T_B	= 0,317
-	T_L	= 6,000	T_{AD}	= 0,021
-	T_{BD}	= 0,106	T_{LD}	= 3,000

değerleri bulunmuştur ve buna göre Şekil 5.9. ve 5.10.' da ki elastik tasarım spektrum grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 5.9. Niğde için yatay elastik tasarım spektrum grafiği

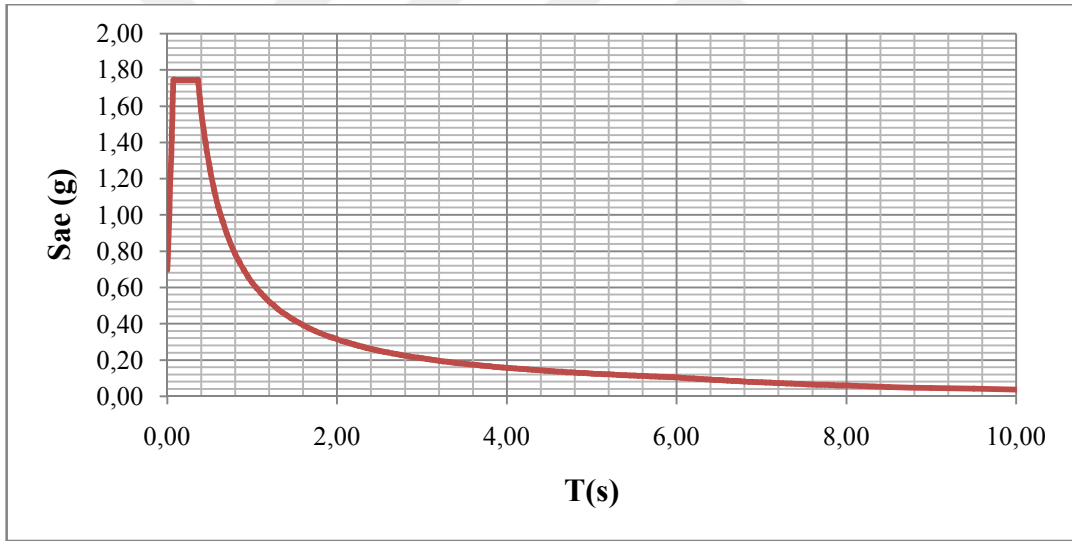


Şekil 5.10. Niğde için düşey elastik tasarım spektrum grafiği

Erzincan için:

- Enlem: 39,748303°
- Boylam: 39,506254°
- $S_s = 1,453$ $S_I = 0,418$
- $PGV = 39,803$ $PGA = 0,605$
- $F_S = 1,200$ $F_I = 1,500$
- $S_{DS} = 1,744$ $S_{DI} = 0,627$
- $T_A = 0,072$ $T_B = 0,360$
- $T_L = 6,000$ $T_{AD} = 0,024$
- $T_{BD} = 0,120$ $T_{LD} = 3,000$

Değerleri bulunmaktadır ve buna göre Şekil 5.12. ve 5.13.' da ki elastik tasarım spektrum grafikleri elde edilir.



Şekil 5.11. Erzincan için yatay elastik tasarım spektrum grafiği

5.3. Sistemin Malzeme Değerlerinin Tanımlanması

Malzeme olarak çeliğin yerine cam elyaf takviyeli polyester malzeme (CTP) seçilmiştir. Bu malzemenin özellikleri Bölüm 3'te detaylı olarak anlatılmıştır. Sisteme girilen malzeme değerleri aşağıdaki gibidir:

Birim hacim ağırlık: $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$

Elastisite modülü: $E = 2,5 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$

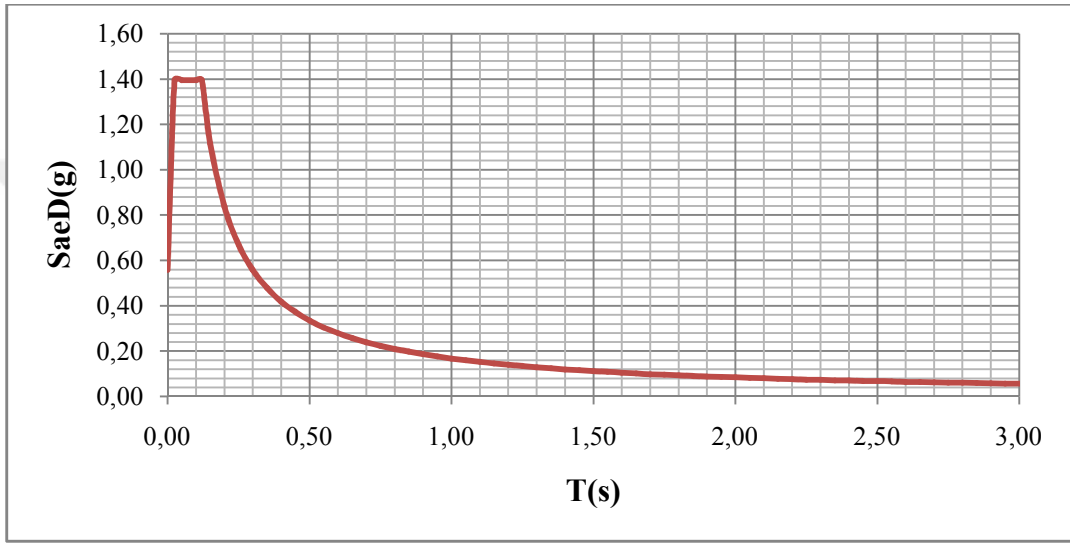
Poisson oranı: $\nu = 0.33$

Akma Gerilmesi: $\sigma_f = 244.731.89,00 \text{ kg/m}^2$

Çekme dayanımı: $\sigma_d = 244.731.89,00 \text{ kg/m}^2$

Kayma modülü: $G = 9.398 \times 10^8 \text{ kg/m}^2$

Isı genleşme katsayısı: $\Delta t = 1,10 \times 10^{-5}$



Şekil 5.12. Erzincan için düşey elastik tasarım spektrum grafiği

5.4. Yük Kombinasyonlarının Belirlenip Tanımlanması

Yük değerleri bölümünde elde edilen ve sisteme yüklemesi yapılan yük değerleri belirli katsayılarla çarpılarak sistemlere kombinasyonlarla etki ettirilmiştir. Statik hesapta kullanılacak yükler için ilgili yönetmelikler dikkate alınarak yük kombinasyonları belirlenmiştir. Çizelge 5.13.'de oluşturulan kombinasyonları verilmiştir.

Statik hesapta kullanılan yüklemeler ise aşağıdaki gibidir:

- Yük 1: Uzay kafes sistem zati ağırlığı
- Yük 2: Aşık + kaplama yükü
- Yük 3: Tesisat yükü
- Yük 4: Kar yükü

- Yük 5: Sağdan Rüzgâr yklemeŖi
- Yük 6: Soldan Rüzgâr yklemeŖi
- Yük 7: Sağdan Rüzgâr yklemeŖi (- yn)
- Yük 8: Soldan Rüzgâr yklemeŖi (-yn)
- Yük 9: Deprem yükü (x yönü)
- Yük 10: Deprem yükü (y yönü)
- Yük 11: Sıcaklık etkisi

Çizelge 5.12. Yük kombinasyonları

Kombo no	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4	Yük 5	Yük 6	Yük 7	Yük 8	Yük 9	Yük 10	Yük 11
1	Yük 1	Yük 2	Yük 3								
2	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4							
3	Yük 1	Yük 2	Yük 3								Yük 11
4	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4							Yük 11
5	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4	0.5 x yk 5						Yük 11
6	Yük 1	Yük 2	Yük 3	Yük 4		0.5 x yk 6					Yük 11
7	Yük 1	Yük 2	Yük 3	0.5 x yk 4	Yük 5						Yük 11
8	Yük 1	Yük 2	Yük 3	0.5 x yk 4		Yük 6					Yük 11
9	Yük 1	Yük 2	Yük 3	0.3 x yk 4					Yük 9		Yük 11
10	Yük 1	Yük 2	Yük 3	0.3 x yk 4						Yük 10	Yük 11
11	Yük 1	Yük 2	Yük 3		Yük 5						Yük 11
12	Yük 1	Yük 2	Yük 3			Yük 6					Yük 11
13	Yük 1	Yük 2	Yük 3						Yük 9		Yük 11
14	Yük 1	Yük 2	Yük 3							Yük 10	Yük 11
15		Yük 2	Yük 3								
16		Yük 2	Yük 3		Yük 5						
17		Yük 2	Yük 3				Yük 7				
18		Yük 2	Yük 3			Yük 6					
19		Yük 2	Yük 3				Yük 7				
20		Yük 2	Yük 3						Yük 9		
21		Yük 2	Yük 3							Yük 10	

Çizelge 5.12.'de verilen kombinasyonları AISC-ASD89 yönetmeliğine göre yapılmaktadır. Bu Ŗekilde yük kombinasyonları oluŖturulmuŖ sistemlere etki ettirilmiŖtir.

5.5. Sistemlerde Kullanılacak Olan Kesitlerin Atanması

Cam elyaf takviyeli polyester profillerin yapı malzemesi olarak kullanılan en yaygın kesitleri boru profillerdir. Özel isteğe göre üretilmesinin yanı sıra kendi standart ölçüleri de mevcuttur. Bu tez çalışmasında standart boru profil ebatları kullanılmıştır. Tanımlama yapılırken kullanılacak boru profillerin hepsi sisteme CTP tipi malzeme olarak tanımlanmıştır. Sistemin statik analizi yapıldıktan sonra bu kesitler kullanılarak sistem dizaynı yaptırılmıştır. Kullanılan boru profillerin ölçüleri ve mukavemet değerleri Çizelge 5.13.'de verilmiştir.

5.6 Sistemin Analizi ve Kesit Atamalarının Yapılması ve Sonuçların Düzenlenmesi

Sistemler daha önceki bölümlerde bahsettiğimiz gibi 20 farklı ölçüde tanımlanmış, bununla birlikte her sistem ölçüsü için 3 ayrı rüzgâr yüklemesi ve 4 ayrı deprem ve kar yüklemesi yapılmıştır. Bu şekilde toplam 240 farklı sistem analizi gerçekleştirilmiştir.

Analizi yapılan 240 farklı tek eğirlikli uzay kafes sistemin boyutlandırılması işlemi CTP yapı malzemesi kullanılarak SAP 2000 programında yapılmıştır. SAP 2000 programı bu boyutlandırmayı yaparken AISC-ASD89 yönetmeliğini ve Çizelge 5.13.' de verilen kesitleri kullanmıştır. Hem statik analizler ve hem de boyutlandırma yapıldıktan sonra elde edilen bu çıktılar düzenlenmiştir. Sistemlerin her birinde 5760 adet eleman bulunmaktadır. Bu elemanların bazıları basınca bazıları çekmeye çalışmaktadır. Uzay kafes sistem gereği hiç bir elemanda moment oluşmamaktadır.

Çıktılar alınırken kesitlerin uzunlukları, kesite gelen basınç ya çekme kuvvetleri, çubuk numaraları, kullanılan kesit ismi ve ratio dediğimiz kesitin kullanım kapasitesi oranları elde edilmiştir. Bu şekilde 240 farklı sistem ve 5760 kesit düşünüldüğünde toplam 1.382.400,00 adet kesit sonucu elde edilmiştir. Sistemlerin geometrisinden dolayı benzer sonuç elde edilen kesitler gruplandırılarak benzerliklere göre kesit sayısı düşürülmüştür. Her bir sistem için 5760 adet olan kesit sayısı 73'e düşürülmüş ve 240 farklı sistem için 17520 adet data elde edilmiştir. Çizelge 5.14.'de analizde kullanılan veriler ve analiz sonucunda elde edilen kesit alan değerleri görülmektedir. Daha sonra bu veriler yapay sinir ağı modelinde kullanılmıştır. Şekil 5.13. ve 5.14.'de SAP 2000 programında üç boyutlu olarak oluşturulmuş olan sistem görüntüleri verilmiştir.

Çizelge 5.13. Sistemlerde kullanılan boru profil kesitlerin özellikleri

Boru türleri	Dış Çap (cm)	Et Kalınlığı (cm)	İç Çap (cm)	Alan (cm ²)	Atalet Momenti "I" (cm ⁴)	Mukavemet Momenti "W" (cm ³)	Atalet Yarıçapı "i" (cm)	Plastisite Momenti "Wpl" (cm ³)
P1	2,130	0,265	1,600	1,553	0,689	0,647	0,666	0,928
P2	2,690	0,265	2,160	2,020	1,502	1,117	0,862	1,565
P3	3,370	0,325	2,720	3,110	3,646	2,164	1,083	3,025
P4	4,240	0,325	3,590	3,999	7,714	3,639	1,389	4,993
P5	4,830	0,325	4,180	4,602	11,734	4,859	1,597	6,607
P6	6,030	0,365	5,300	6,499	26,177	8,682	2,007	11,730
P7	7,610	0,365	6,880	8,311	54,669	14,368	2,565	19,175
P8	8,890	0,405	8,080	10,800	97,417	21,916	3,003	29,180
P9	11,430	0,450	10,530	15,529	234,414	41,017	3,885	54,283
P 10	13,970	0,485	13,000	20,555	467,833	66,977	4,771	88,233
P 11	16,510	0,485	15,540	24,427	784,817	95,072	5,668	124,586
P 12	21,900	0,400	21,100	27,029	1562,285	142,674	7,603	184,921
P 13	21,900	0,500	20,900	33,629	1926,118	175,901	7,568	229,022
P 14	21,900	0,630	20,640	42,115	2383,738	217,693	7,523	285,103
P 15	21,900	0,710	20,480	47,284	2656,888	242,638	7,496	318,921
P 16	21,900	0,800	20,300	53,051	2956,622	270,011	7,465	356,339
P 17	21,900	0,880	20,140	58,135	3216,444	293,739	7,438	389,047
P 18	27,300	0,800	25,700	66,629	5854,070	428,870	9,373	561,971
P 19	27,300	0,880	25,540	73,070	6382,595	467,589	9,346	614,482
P 20	27,300	1,000	25,300	82,657	7156,972	524,320	9,305	692,023
P 21	32,390	0,880	30,630	87,148	10824,333	668,375	11,145	873,962
P 22	32,390	1,000	30,390	98,654	12163,236	751,049	11,104	985,665
P 23	32,390	1,200	29,990	117,631	14325,323	884,552	11,035	1167,955
P 24	32,390	1,270	29,850	124,213	15061,902	930,034	11,012	1230,620
P 25	33,970	1,270	31,430	130,520	17471,743	1028,657	11,570	1358,681
P 26	35,560	1,270	33,020	136,866	20143,557	1132,933	12,132	1493,954

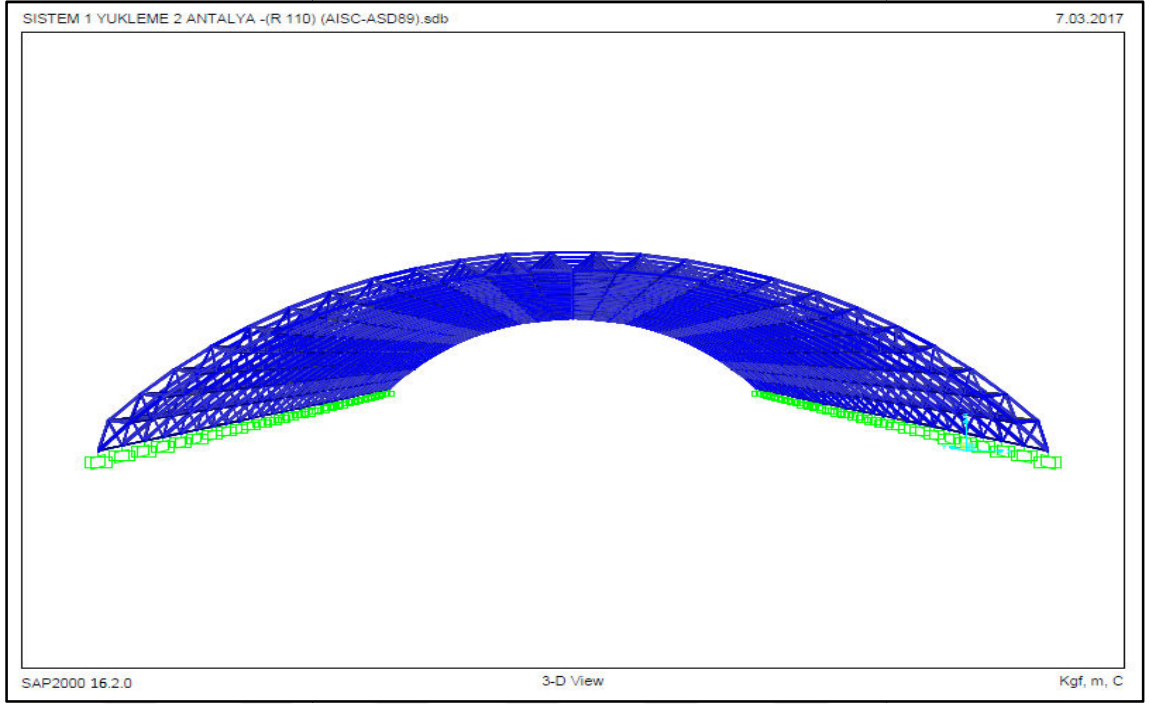
Çizelge 5.14. Örnek sistem sonuçları

Kesit No	W	H	L	Rüzgar Yüğü	Kar Yüğü	Tasarım İvme Katsayısı		Kesit	Eleman Boyu	P (Kuvvet)	Kapasite kullanımı	Alan	Min. Alan
Text	m	m	m	Kg/m ²	Kg/m ²	S _{DS}	S _{D1}	Text	m	Kg	%	cm ²	cm ²
1	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,883	-1142,31	58%	8,31	4,78
2	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-13137,06	81%	20,55	16,73
3	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1614,01	64%	8,31	5,35
4	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-818,11	86%	6,50	5,60
5	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P8	1,675	-2557,19	57%	10,80	6,18
6	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-846,72	89%	6,50	5,79
7	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-13995,58	87%	20,55	17,82
8	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1744,51	70%	8,31	5,79
9	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P8	1,954	-1925,04	59%	10,80	6,33
10	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-726,47	76%	6,50	4,97
11	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1685,29	67%	8,31	5,59
12	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-738,25	78%	6,50	5,05
13	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-14130,84	88%	20,55	17,99
14	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1773,9	71%	8,31	5,88
15	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,954	-3575,14	45%	15,53	7,02
16	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-550,69	58%	6,50	3,77
17	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,675	-1076,94	90%	6,50	5,83
18	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-645,71	68%	6,50	4,42
19	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-14176,63	88%	20,55	18,05
20	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1743,7	70%	8,31	5,78
21	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,954	-4927	62%	15,53	9,68
22	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-349,1	82%	4,60	3,77
23	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,675	-649,62	54%	6,50	3,52
24	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,883	-555,56	58%	6,50	3,80
25	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-13579,29	84%	20,55	17,29
26	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1732,12	69%	8,31	5,74
27	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,954	-5905,7	75%	15,53	11,60
28	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-280,5	66%	4,60	3,03
29	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,675	-413,35	77%	4,60	3,54
30	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-349,74	82%	4,60	3,78
31	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-12512,84	78%	20,55	15,93
32	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1634,830	65%	8,31	5,42
33	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-284,510	67%	4,60	3,07
34	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,954	-7285,240	92%	15,53	14,31
35	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,675	-256,260	72%	4,00	2,90
36	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-11085,680	69%	20,55	14,11
37	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-258,270	61%	4,60	2,79
38	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1626,160	65%	8,31	5,39
39	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-281,910	66%	4,60	3,05
40	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,954	-8734,790	57%	20,55	11,70

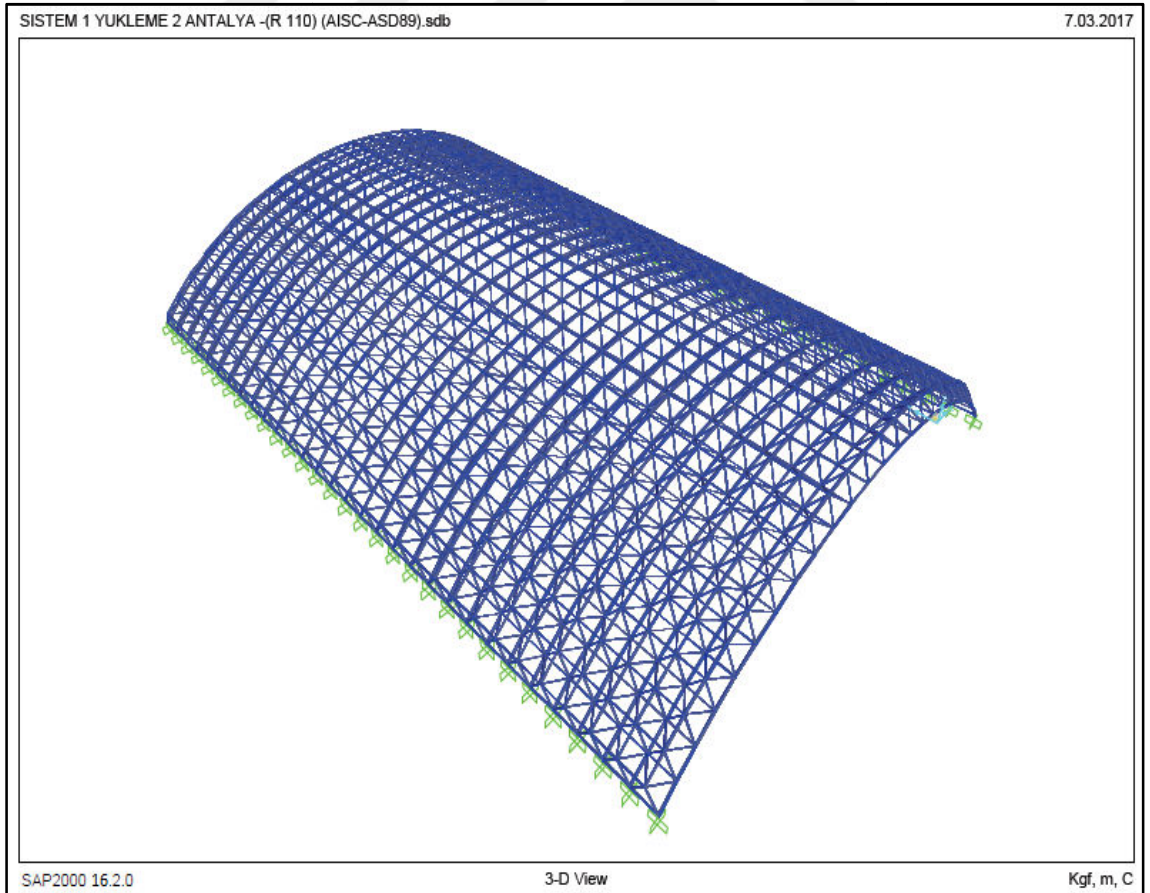
Çizelge 5.14. Örnek sistem sonuçları (devamı)

41	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P3	1,675	-140,290	84%	3,11	2,61
42	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,883	-9413,590	58%	20,55	11,98
43	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-236,810	85%	4,00	3,38
44	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-252,090	90%	4,00	3,60
45	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1585,210	63%	8,31	5,26
46	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,883	-7584,330	89%	15,53	13,84
47	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,954	-9861,920	64%	20,55	13,21
48	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,675	-188,180	53%	4,00	2,13
49	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-213,990	76%	4,00	3,06
50	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1488,050	59%	8,31	4,93
51	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,883	-5630,010	66%	15,53	10,28
52	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,883	-265,770	62%	4,60	2,87
53	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-158,530	57%	4,00	2,26
54	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P5	1,675	-403,730	75%	4,60	3,45
55	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P9	1,883	-3631,610	43%	15,53	6,63
56	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,954	-10686,950	70%	20,55	14,31
57	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P3	1,883	-85,830	65%	3,11	2,02
58	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,883	-1607,000	81%	8,31	6,73
59	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1496,060	60%	8,31	4,96
60	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P3	1,883	-76,760	58%	3,11	1,80
61	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,675	-672,920	56%	6,50	3,64
62	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-140,800	50%	4,00	2,01
63	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1448,160	58%	8,31	4,80
64	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,954	-10922,250	71%	20,55	14,63
65	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P6	1,675	-955,480	80%	6,50	5,17
66	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1361,440	54%	8,31	4,51
67	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P7	1,675	-1206,100	48%	8,31	4,00
68	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-136,13	49%	4,00	1,94
69	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,9535	-10501,17	68%	20,55	14,06
70	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-151,87	54%	4,00	2,17
71	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,9535	-9370,27	61%	20,55	12,55
72	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P4	1,883	-164,13	59%	4,00	2,34
73	40,0	10,0	56,5	80,0	75,0	0,720	0,226	P 10	1,9535	-8632,89	56%	20,55	11,56

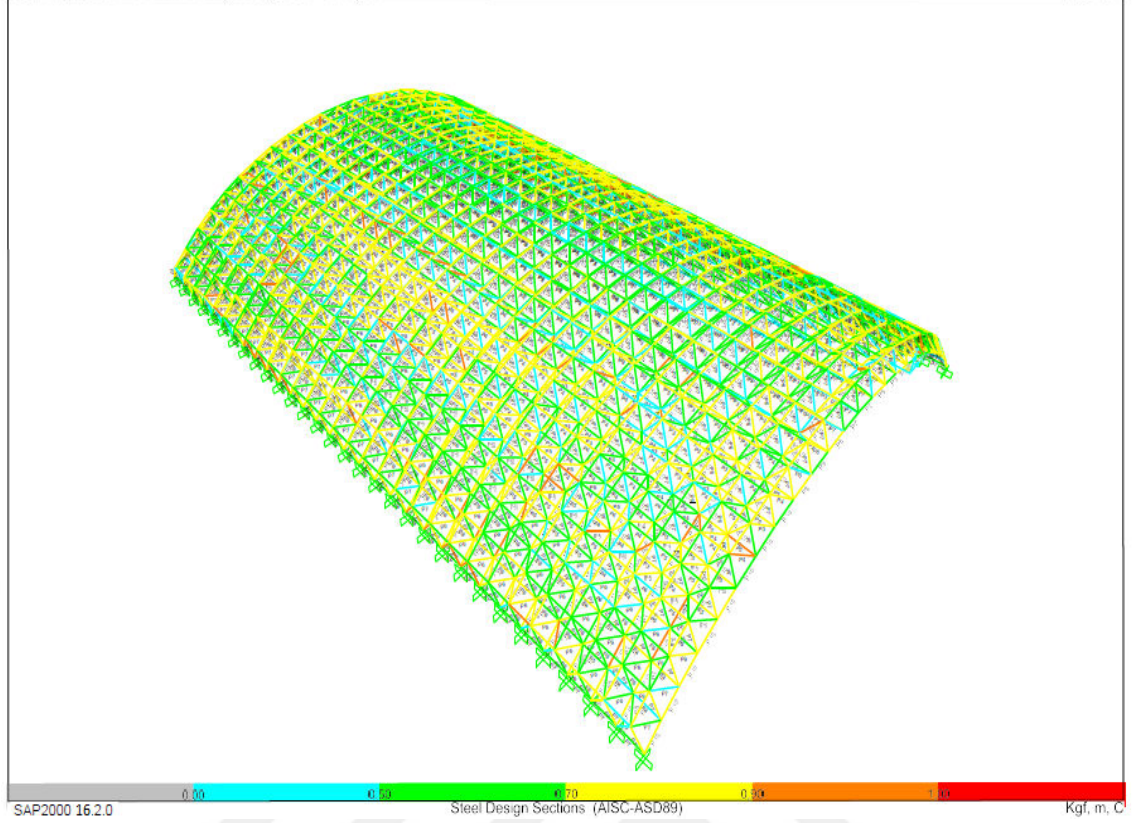
Şekil 5.15.' de görüldüğü gibi şeklin alt bölümünde renk grafiği görülmektedir. Bu renk grafiğindeki değerler 0-1 arasındadır. Gri renk 0'ı kırmızı ise 1'i göstermektedir. Bu değerler kesitlerin kapasite oranlarını temsil etmektedir. Yani kesitlerin kendi kapasitelerinin hangi oranda kullandığını göstermektedir. 3 boyutlu çizimdeki kesitlerde de sarı, kırmızı, turuncu, yeşil ve turkuaz renkleri görmekteyiz. Bu renklerde renk grafiğindeki değerleri temsil etmektedir.



Şekil 5.13. Örnek sistem perspektif görüntüsü



Şekil 5.14. Örnek sistem 3D görüntüsü



Şekil 5.15. Sistem kapasite oranlarının grafiği

5.7 AISC-ASD89 Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma İlkeleri

Eleman kapasite oranlarının hesabında ilk olarak her yük kombinasyonuna karşı gelen kapasiteler hesaplanır. Daha sonra tasarım yük kombinasyonlarının etkisi altında bu bölümde tanımlanan ilgili denklemler kullanarak, her gerilme için kapasite oranları bulunur. Herhangi bir kesit için kapasite oranı 1.0 dan büyük ise bu elemanın kesit alanı yeterli değildir ve bu durumda eleman kesitini arttırmak gerekmektedir.

5.7.1 Kesitlerin sınıflandırılması

Eksenel basınç ve eğilme için müsaade edilebilir gerilmeler, kesitin kompakt, kompakt olmayan, narin veya aşırı narin şeklindeki sınıflandırılmasına bağlıdır. Boru profillerin kesiti Çizelge 5.15. 'de ki sınırlamalar ile sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 5.15. AISC-ASD Yönetmeliğine göre kesitlerin sınıflandırılmasında basınç elemanları için genişlik-kalınlık oranları sınırları

Kesitin Tanımı	Kontrol Edilen Oran	Kompakt Kesit	Kompakt Olmayan Kesit	Narin Kesit
<i>Borular</i>	<i>D/t</i>	$\leq 3300/F_y$	$\leq 3300/F_y$	$\leq 13000 / F_y$ (Sadece basınçta) Eğilme için sınır yok.

Burada; D ; kesitin dış çapını, t ; kalınlığını ve F_y ; malzemenin akma gerilmesini ifade etmektedir. Kesit boyutları Çizelge 5.15.'de gösterilen sınırları aşmıyorsa kesit kompakt, kompakt olmayan ve narin olarak sınıflandırılır. Eğer kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlıyorsa, kesit *kompakt* olarak tanımlanır. Eğer kesit kompakt olan kesitler için gereken şartları sağlamıyorsa, kesit *kompakt olmayan* olarak tanımlanır. Eğer kesit her ikisinin de şartlarını sağlamıyor fakat narin kesitler için gerekli şartları sağlıyorsa, kesit *narin* olarak tanımlanır, narin kesit sınırlarını da aşarsa *aşırı narin* olarak tanımlanır. *Aşırı narin* kesitlerin gerilme kontrolü SAP2000 programının kapsamının dışındadır.

5.7.2 Gerilmelerin hesabı

Gerilmeler, daha önceden tanımlanmış kontrol noktalarının her birinde hesaplanır. Narin olmayan kesitlerin her bir yük kombinezonu için hesaplanan eleman gerilmeleri genelde tüm kesit alanı özelliklerine bağlıdır. Hem basınçta hem de çekmedeki eksenel gerilme olan f_a , kesite etkiyen eksenel yükün (P), kesit alanına (A) bölünmesi ile Denklem 5.21'deki gibi bulunmaktadır.

$$f_a = \frac{P}{A} \quad (5.21)$$

Basınç, çekme, eğilme ve kayma hallerindeki müsaade edilebilir gerilmeler, kompakt, kompakt olmayan ve narin kesitler için aşağıdaki alt bölümlerde bulunan denklemlere göre hesaplanır.

5.7.2.1 Müsaade edilebilir çekme gerilmesi

Müsaade edilebilir eksenel çekme gerilmesi “ F_a ”, $0,6.F_y$ olarak kabul edilir. Burada “ F_y ” malzemenin akma gerilmesidir.

$$F_a = 0,6. F_y \quad (5.22)$$

5.7.2.2 Müsaade edilebilir basınç gerilmesi

Müsaade edilebilir eksenel basınç gerilmesi eğilmeli burkulma ve eğilmeli-burulmalı burkulma değerlerinden en küçüğüdür. Bundan dolayı bu gerilme değerlerinin hepsi bulunmalıdır ve en düşük değer alınmalıdır.

Eğilmeli burkulma

Müsaade edilebilir eksenel basınç gerilmesi değeri “ F_a ”, tüm kesit özellikleri ve buna ilişkin çarpılma sabiti “ C_c ” değerine bağlı olarak hesaplanan narinlik oranına bağlıdır. Narinlik oranı Denklem 5.23' deki gibi hesaplanır.

$$Narinlik = \frac{K.l}{r} \quad (5.23)$$

Bu formülde bulunan K; etkili boy çarpanı, l ; eleman boyu ve r ; atalet yarıçapıdır.

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (5.24)$$

C_c , çarpılma sabiti Denklem 5.24 ile hesaplanmaktadır. Burada “E” kullanılan malzemenin elastisite modülü , F_y ; malzemenin akma gerilmesidir.

C_c değerine bağlı olarak kompakt ve kompakt-olmayan elemanlarda F_a değeri Denklem 5.25 ve 5.26 ile hesaplanır ve bunlardan küçük olan esas alınır.

$$\frac{K.l}{r} \leq C_c \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{\left\{ 1,0 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2} \right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \quad (5.25)$$

$$\frac{K.l}{r} \leq C_c \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (5.26)$$

Narin boru kesitlerde F_a değeri Denklem 5.27 ile hesaplanmaktadır.

$$F_a = \frac{662}{(D/t)} + 0,40.F_y \quad (5.27)$$

Tüm kompakt ve kompakt-olmayan kesitlerde azaltma çarpanı (Q), 1 alınır. Narin boru kesitlerde $Q = Q_s$ 'dir. Q_s boru profiller için 1 alınır. Bundan dolayı azaltma çarpanı boru kesitler için her koşulda 1'dir. Buna göre hesaplanan bu değerlerden en düşük değere sahip olan karşılaştırma için kullanılmaktadır.

Eğilmeli ve burulmalı burkulma

Müsaade edilebilir eksenel basınç gerilmesi F_a için eğilmeli-burulma burkulması sınır değerleri Denklem 5.28 ve 5.29 ile hesaplanmaktadır.

$$\left(\frac{K.l}{r} \right)_e \leq C_{C'} \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{\left\{ 1,0 - \frac{(Kl/r)_e^2}{2C_{C'}^2} \right\} F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)_e}{8C_{C'}} - \frac{(Kl/r)_e^3}{8C_{C'}^3}} \quad (5.28)$$

$$\left(\frac{K.l}{r} \right)_e \leq C_{C'} \quad \text{ise} \quad F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \quad (5.29)$$

Burada C_C' yine çarpılma sabitidir fakat burulma dahil olduğu için çarpılma sabitinin başka bir halidir. Bundan dolayı üstlü olarak isimlendirilmiştir. Eğilmeli burkulmanın sabitinden farklı olarak azaltma çarpanı Q ile çarpılmıştır. Boru profillerde $Q=1$ olarak alınmaktadır. Denklem 5.30'da görülmektedir.

$$C_C' = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{Q F_y}} \quad (5.30)$$

Narinlik oranı ise sadece burulma dahil olduğu için normal narinlik oranından farklı olarak e alt simgesi ile gösterilmiştir. Hesaplamasında ise F_y akma gerilmesi değeri yerine eğilmeli-burulma burkulması için hesaplanan F_e müsaade edilebilir akma gerilmesi kullanılmaktadır. Narinlik oranı Denklem 5.31 ile hesaplanmaktadır. F_e boru profiller için Denklem 5.32 ile göre hesaplanmaktadır.

$$\left(\frac{K.l}{r}\right)_e = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{F_e}} \quad (5.31)$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 . E . C_w}{K_z . I_z} + GJ \right) \frac{l}{l_{22} + l_{33}} \quad (5.32)$$

K_z burulma burkulması için kullanılan elemanın hesabında kullanılacak boyu belirlemek için kullanılan etkili boy çarpanıdır ve SAP 2000 programında I_{22} yönüne eşit olarak hesaplanır.

l_{22} ve l_{33} zayıf ve kuvvetli yönlerdeki etkili eleman boylarıdır. "l" elemanın kendi mevcut boyudur. Burada GJ ise elemanın I ve J olarak adlandırılan mafsallı uçlarından J ucuna göre alınan sınır değerini göstermektedir. Eleman tutulma ve dönme şartlarına göre değerler almaktadır. C_w değeri ise F_e gerilmesini bulmak için kullanılan özel bir çarpılma sabitidir.

F_e değeri bulunduktan sonra buna bağlı olarak narinlik oranı elde edilir ve bulunan narinlik oranına göre de eğilmeli-burulma burkulması için müsaade edilebilir eksenel

basınç gerilmesi F_a bulunur ve eğilmeli burkulmada bulmuş olduğumuz değerler ile mukayese edilerek en düşük değer F_a değeri olarak kullanılır ve sistemin kesit dizaynı yapılır.



BÖLÜM VI

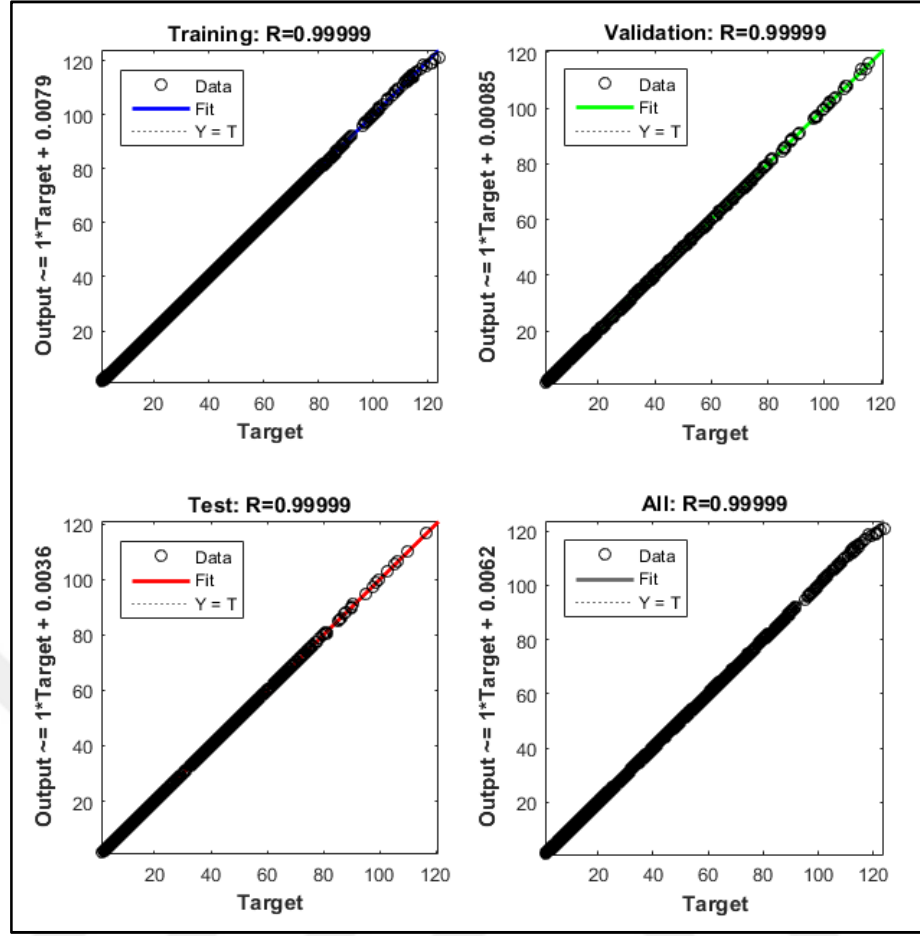
CTP PROFİLLERDEN OLUŞAN TEK EĞRİLİKLİ UZAY KAFES SİSTEMLERİN KESİT ALANLARININ YSA İLE BELİRLENMESİ

Uzay kafes sistemlerinin statik analizi ve boyutlandırılmasından elde edilen 17520 adet veri çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelindeki işlemlerde kullanılmıştır. Verilerin % 70'i modelin eğitilmesi, % 15'i modelin doğrulaması ve % 15'i modelin testi için kullanılmıştır. Çok tabakalı yapay sinir ağı modelinde 12 farklı girdi değişkeni olarak; kesit numarası, sistem genişliği, yüksekliği, uzunluğu, rüzgâr yükü, kar yükü, kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısı, 1.0 saniye periyot için tasarım spektral ivme katsayısı, kesitlerin uzunlukları, eksenel kuvvetler, kesit kapasite kullanım oranları ve kesit tam kapasite alanı, çıktı değişkeni olarak da analizler sonucunda elde edilen minimum kesit alanı değerleri kullanılmıştır.

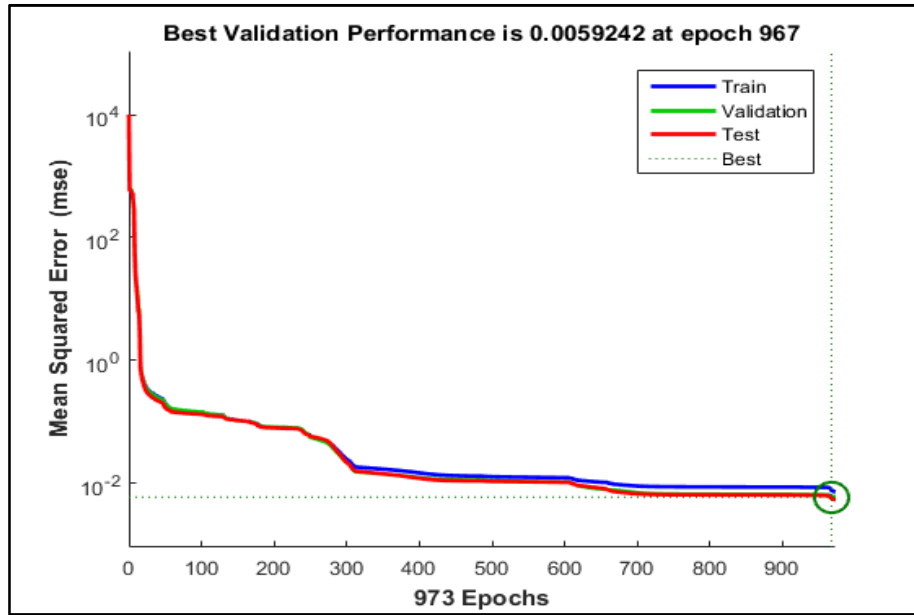
Çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelinde tek eğrilikli uzay kafes sistemine ait 20 farklı modelin 12 farklı yükleme altında analizi sonucu elde edilen toplam 1382400 adet çubuğa ait kesit alanı içerisinde aynı olanlar örtüştürülmüş ve içlerinden örtüşmeyen 17520 farklı çubuk kesiti kullanılmıştır. Belirlenmiş olan 17520 farklı çubuk kesitine ilişkin değerler, girdi ve çıktı verileri olarak modellerin eğitim, doğrulama ve test kümelerinde kullanılmıştır. Şekil 6.1.'de görülen ileri beslemeli geri yayımlı ağ ve Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılarak iterasyonlarla geliştirilen yapay sinir ağı modelinin eğitim, doğrulama ve test kümelerinden elde edilen sonuçlar, paket program yardımıyla yapılan analiz ve boyutlandırma sonucunda elde edilen minimum kesit alanı değerlerine çok yakındır. Şekil 6.2.'de Eğitim, doğrulama ve test sonuçlarının 973 adet döngü için hata grafiği verilmiştir. Bu çalışmada çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelinde kullanılan parametre değerleri Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Tek eğrilikli uzay kafes sistemler için model parametreleri

Parametreler	YSA
Girdi tabakası hücre sayısı	12
Çıktı tabakası hücre sayısı	1
Eğitim sonundaki hata	0.005924
Öğrenme döngüsü	973



Şekil 6.1. Eğitim, doğrulama ve test sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.2. Eğitim, doğrulama ve test sonuçlarının 973 adet döngü için hata grafiği

BÖLÜM VII

SONUÇLAR

Uzay kafes sistemler bilinen ve kullanılan diğer yapı sistemlerine göre üç boyutlu modüllere ve hafif bir yapıya sahip olmasından dolayı büyük açıklıkları kolonsuz geçebilmektedirler. Bu özelliğinden dolayı uzay kafes sistemler sergi, konferans, spor salonları, fuarlar gibi insanların kısa süreli fakat yoğun olarak bulunduğu mekânlarda tercih edilmektedir. Fakat bu yapılarda uzay kafes sistem imalatı düzgün yapılmazsa çatı göçmeleri meydana gelebilmektedir. Bu durum en dikkat edilmesi gereken unsur olarak karşımıza çıkmaktadır

Uzay kafes sistem elemanlarından yapı malzemesi olarak çelik kullanılmaktadır. Çelik kullanımı da yapıyı ağırlaştırmakta ve bahsetmiş olduğumuz göçme tehlikesini arttırmaktadır.

Gelişen cam elyaf takviyeli polyester teknolojisi ile yeni bir yapı malzemesi üretilmiştir. Bu kompozit malzemeyi ön plana iten özelliklerinden en önemlisi hafif olması ve istenilen özelliklerde üretilbilmesidir. Bu tez çalışmasında tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin eleman ihtiyacını karşılayacak hafif, güvenilir, sağlam ve hızlı yapım olanağı bulunan malzemelerden biri olan pultrüzyon metodu ile üretilmiş cam elyaf takviyeli polyester profillerin alternatif bir yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Literatür araştırması ile cam elyaf takviyeli polyesterlerin yapısı, kimyasal, mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Literatür taramasından elde edilen veriler ışığında yapı malzemesi olarak çelik yerine cam elyaf takviyeli polyesterlerin kullanıldığı tek eğrilikli uzay kafes sistemler modellenmiştir.

Tek eğrilikli uzay kafes sistemler analiz edilirken çelik boru profillerin tablosundaki 26 adet kesit ölçüsü cam elyaf takviyeli polyester profiller için kullanılmıştır. 20 farklı modelin 12 farklı yükleme altında analizi ve AISC-ASD89 yönetmeliğine göre de boyutlandırılması yapılmıştır. Statik analiz ve boyutlandırma sonucunda çelik yapılarda kullanılan 26 adet boru profilin kesitinin cam elyaf takviyeli polyester tipi yapı malzemesi olarak kullanılabildiği görülmüştür.

Statik analiz sonucunda elemanlar eğilmeye değil sadece basınç ve çekmeye çalıştığı görülmüştür. Cam elyaf takviyeli polyester profillerin çekme ve basınç dayanımlarının yüksek olmasından dolayı tek eğrilikli uzay kafes sistemlerde kullanılabileceği görülmüştür.

Uzay kafes sistemlerinin statik analizi ve ardından kesitlerin tasarımından elde edilen 17520 adet veri çok tabakalı ileri beslemeli geri yayımlı yapay sinir ağı modelinin geliştirilmesinde kullanılmıştır. Geliştirilen yapay sinir ağı modelinden elde edilen minimum kesit alan değerlerinin, analiz sonucu elde edilen minimum kesit alan değerlerine çok yakın olduğu görülmüştür. Bu durumu istatistiksel parametre değerleri göstermektedir.



KAYNAKLAR

Abadoğlu, E., Efe, M. Ö., and Kaynak, O., “Novel analysis and desing of a neural network assisted nonlinear controller for a bioreactor”, *International Journal of Robust and Nonlinear Control* 9(11), 799-815, 1999.

AISC-ASD89, Allowable Stress Design, *American Institute of Steel Construction* Chicago, 1989.

Aktaş, M., Kompozit malzeme üretim yöntemleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Ders Notları*, İzmir, 2010.

Alçıçek, H. ve Vatansever, C., “Uzay kafes sistemlerin artan düşey yükler altında doğrusal olmayan davranışı”, *Uluslararası katılımlı 7. Çelik Yapılar Sempozyumu*, Gaziantep, s. 83-92, 26-27 Ekim, 2017.

Arı, A. ve Berberler, M.E., “Yapay sinir ağları ile tahmin ve sınıflandırma problemlerinin çözümü için ara yüz tasarımı”, *Acta Infologica* 1(2), 55-73, 2017.

Bayraktar, A., Yapay sinir ağları kullanılarak betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliklerinin tespiti, Yüksek Lisans Tezi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzincan, s. 1-12, 2016.

Bayram, A. ve Yazıcı, M., “Partikül takviyeli polyester kompozitlerin eğilme ve basma özellikleri”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 1(2-3), 153-159, 1995.

Bayzan, Ş., Çetin, M. ve Uğur, A., “İleri beslemeli yapay sinir ağlarında backpropagation (geriye yayılım) algoritmasının sezgisel yaklaşımı”, *Akademik Bilişim Kongresi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, s. 1-5, Şubat 2006.

Bradshaw, R., Campbell, D., Gargari, M., Mirmiran, A. and Tripeny, P., “Special structures: past, present, and future”, *Journal Of Structural Engineering* 128(6), 691-709, 2002.

Buijsen, M., Dynamic space frame structures,, *Princeton Architectural Press p. 35*, Delft, 2011.

Chen, W.F. and Lui, E.M., Handbook of Structural Engineering, 2nd ed., *CRC Press*, Beijing, 2005.

Computer & Structures, Yapıları Sonlu Elemanlarla Çözümleme ve Boyutlandırma için Yazılımlar Serisi Çelik Yapı Boyutlama Kılavuzu, **Lollar**, Almanya, 2002.

Cumhur, A., Pultrüzyon metodu ile üretilmiş CTP profillerle sera modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya s. 1-3, 2007.

ÇYTHYE, Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı*, Ankara, 2016.

Dağ, K., Cam elyaf takviyeli polyester (CTP) ile üçgen piramit modülünde uzay çatı sistemi, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, s. 1-4, 2012.

Değertekin, S. Ö., Hayalioğlu M. S. ve Ülker, M., “Geometrik olarak lineer olmayan uzay çelik çerçevelerin tabu arama yöntemi ile optimum boyutlandırılması”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* 1, 117-128, 2006.

Demetgül, M., ve Yazıcıoğlu,O., “Geri yayılım algoritması kullanılarak yapay sinir ağı ile pnömatik sistemde arıza sınıflandırılması”, *Teknoloji* 9(2), 101-109, 2006.

Eekhout, M., Architecture in space structures, *Oitgeverij 010 Publishers*, Rotterdam, 1989.

Eşsizoglu, B., Uzay kafes sistemlerinin sayisal yöntemle analizi, Yüksek Lisans Tezi, **Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Şanlıurfa, s. 13-36, 2008.

Gerçek, C., Yapıda Taşıyıcı Sistemler, **Doğuş matbaacılık** , Ankara, 1979.

Güldü, İ., Dağhan, B. ve Kaya, S., “Faturalı CTP levhalarda gerilme konsantrasyonun araştırılması”, **Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi** 5(2), 27-35, 2003.

Gümölcine, T., Bekem, A. ve Gemici, Z., “İzoftalik polyester matrisli sürekli e-camı ve bazalt fiber takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerine deneysel bir çalışma” , **Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi** 5, 104-115, 2013.

Hayalioğlu, M.S. ve Ülker, M. “Uzay kafes sistemlerin burkulma sınırlayıcıları altında çalışma tablolarıyla optimum boyutlandırılması”, **Turk J Engin Environ Sci** 25, 355-367, 2001.

İnci, S., Elyaf takviyeli polipropilen / elastomer özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 22-42, 2006.

Keskenler, M.F. ve Keskenler, E.F., “ Geçmişten günümüze yapay sinir ağları ve tarihçesi”, **Takvim-i Vekayi Dergisi** 5(2), 8-18, 2017.

Koçer, M., Fretli kolonların kesme, eğilme ve süneklik kapasitelerinin yapay sinir ağları belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, s. 1-4, 2016.

Kut, A., CTP teknolojisi, **Cam Elyaf Sanayi A.Ş.**, Gebze, 2005.

Mallick, P.K., Composite Engineering Handbook”, **Marcel Dekker**, New York, 1997.

Neşer, G., ve Altunsaray, A., “Kıvrımsız cam elyafı / polyester kompozit sistemle üretilmiş, yapıştırılmalı ve cıvatalı bağlantıların denizel ortamdaki yorulma performanslarının deneysel verilerle karşılaştırması”, **I. Polimerik Kompozitler Sempozyumu ve Sergisi**, İzmir, s. 297-370, 17-19 Kasım, 2006.

Orbay, A. ve Savaşır, K., “Tonoz biçimli çift katlı uzay kafes sistemlerin çeşitli kriterler açısından etkinliğinin karşılaştırılması”, *Deü Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi* 6(1), 39-49, 2004.

Orhan, O., Statik yayılı yük altındaki katmanlı kompozit plakların deneysel ve sayısal incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 1-6, 2007.

Özbahar, E., Tek eğrilikli uzay kafes sistemlerin optimum dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, s. 27-69, 2007.

Özben, T., Termoplastik elasto ve elasto-plastik davranışlarına mesnet tipi malzeme parametrelerinin etkisi , Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, s.14-25, 2005.

Özcan, M., Tek katmanlı uzay kafes kubbelerde çapraz eleman kullanımının tasarıma etkisinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antalya, s. 1-4, 2019.

Ramaswamy, G.S., Eekhout, G.S. and Suresh, G.R., Analysis, design and contruction of steel space frames”, *Thomas Telford Publishing*, London, 2002.

Sain, M.M. and Li, H., “High stiffness natural fiber-reinforced hybrid polypropylene composites” *Journal Polymer-Plastics Technology and Engineering* 42(5), 853-862, 2003.

Sarıbıyık, M., “Hafif yapı tasarımında pultrüzyon metodu ile üretilen cam elyaf takviyeli plastiklerin kullanılması”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 22(1), 199-205, 2007.

Sarıbıyık, M., Turhan, M., ve Sarıbıyık, A., “Cam elyaf takviyeli plastiklerin mekanik özelliklerine elyaf hacim oranlarının etkileri”, *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, s. 1-4, 13-15 Mayıs, 2009.

Sarıdemir, M., Farklı agregalarla üretilmiş beton özelliklerinin yapay sinir ağları ve bulanık mantık ile tahmin edilmesi, Doktora Tezi, **Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, s.6-20, 2008.

Sayman, O., Aksoy, A. and Aykul, H., “An elastic/plastic solution for a thermoplastic composite cantilever beam loading by bending moment”, **Composite Science and Technology** 60, 2739-2745, 2000.

Shen, Z., Li, Y. and Lou, Y., “Stability of single-layer reticulated shells”, **Steel Structures** 4, 289-300, 2004.

Solmaz, M.Y., Gür, M., “tabakalı kompozit plakalarda takviye malzemesi ve oryantasyon açısının gerilme analizine etkisi” , **Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları** 6(1), 16-25, 2007.

Soycan, T.Y., Yapay sinir ağları yaklaşımı ile kompaksiyon parametreleri tahmini, Yüksek Lisans Tezi, **Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Niğde, s. 23-36, 2008.

Soykan, K., Çelik uzay kubbe sistemlerin ağırlıkça optimum dizaynı, Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, s. 27-69, 2007.

Şahin, Y., Kompozit Malzemelere Giriş, **Gazi Yayın Evi**, Ankara, 2000.

Şen, Z., Yapay sinir ağları ilkeleri, **Su Vakfı Yayınları**, İstanbul, 2004a

Şen, Z., Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri, **Su Vakfı Yayınları**, İstanbul, 2004b

Tavlı, A., Mineral dolguların polipropilen/elastomer kompozitlerine etkileri, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 15-45, 2004.

TBDY, Türkiye bina deprem yönetmeliği, **Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı**, Ankara, 2018.

Tekgüvercin, Z.D., Uzay kafesler sistemler tarihi gelişim, güncel durum, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, s. 2-84, 2002.

Toğan, V. ve Daloğlu, A., “Genetik algoritma ile üç boyutlu kafes sistemlerin şekil ve boyut optimizasyonu”, **İMO Teknik Dergi** 251, 3809-3825, 2006.

TS-498, Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1997.

TS-648, Çelik yapıların hesap ve yapım kuralları, **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, 1980.

Ülker, F., Çift katmanlı uzay kafes sistemlerin statik ve dinamik analizi, Yüksek Lisans Tezi, **Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Elazığ, s. 17-31, 2007.

Vural N., "Uzay Kafes Sistemlerinde Örtü Malzemesi Seçimi", **2. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi**, İstanbul, ss.40-51, 6-8 Ekim 2004.

Yaşar, İ. ve Arslan, F., “Sürekli cam elyaf takviyeli polyester matrisli kompozitlerde elyaf hacim oranı ve elyaf doğrultusunun tribolojik özelliklere etkisi”, **Türk J Engin Environ Sci Tübitak** 24, 181-191, 2000.

Yazıcı, M. ve Ülkü, S., “ iki boyutlu rasgele dağılı e-cam lifi/polyester matris kompozitlerde yükleme hızının mukavemet üzerine etkisinin incelenmesi”, **Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi** 8(1), 53-57,2003.

Zor, M., Kompozit malzeme mekaniği, **Dokuz Eylül Üniversitesi Malzeme Mekaniği Ders Notları**, İzmir, 2018

ÖZ GEÇMİŞ

Ahmet Arslan 05.12.1986 tarihinde Kayseri'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Kayseri'de tamamladı. 2005 yılında kazandığı Akdeniz Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2010 yılında mezun oldu. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğretimine başladı.

