

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK BİLİM DALI**

**EĞRİSEL FORMDAKİ ÇATILARIN KURT KOLONİSİ
ALGORİTMASI KULLANILARAK OPTİMUM
BOYUTLANDIRILMASI**

Canip ÖZYÜREK

**Danışman
Doç. Dr. Erkan DOĞAN**



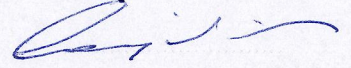
MANİSA-2020

TEZ ONAYI

Canip ÖZYÜREK tarafından hazırlanan "**Eğrisel Formdaki Çatıların Kurt Kolonisi Algoritması Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması**" adlı tez çalışması 24/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

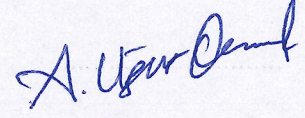
Danışman

Doç. Dr. Erkan DOĞAN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

Doç. Dr. Ali Uğur ÖZTÜRK
Manisa Celal Bayar Üniversitesi



Jüri Üyesi

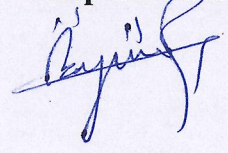
Dr. Öğr. Üyesi Mutlu SEÇER
İzmir Katip Çelebi Üniversitesi



TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Canip ÖZYÜREK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ	V
TEŞEKKÜR.....	VI
ÖZET.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. GİRİŞ	1
Literatür	1
Tezin Amacı	4
2. EĞRİSEL FORMDA ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER	5
2.1. Uzay Kafes Sistemler Tanımı.....	5
2.2. Uzay Kafes Sistemleri Tarihi	7
2.3. Uzay Kafes Sistemlerinin Şekilleri	11
2.3.1. Düz Çatı	11
2.3.2. Kırık Çatı	12
2.3.3. Tonoz Çatı.....	12
2.3.4. Kubbe Uzay Kafes Sistem	13
2.3.4.1. Radyal Nervürlü Kubbeler.....	13
2.3.4.2. Schwedler Kubbeler.....	15
2.3.4.3. Lamella Kubbeler	16
2.3.4.4. Jeodezik Kubbeler.....	17
2.3.4.5. Üç Doğrultuda Izgara Kubbeler.....	18
2.3.4.6. Schlink Kubbeler	18
2.3.4.7. Föppl (ağ, net-work) Kubbeler	19
2.3.5. Piramit Kafes Sistemler	20
2.4. Uzay Kafes Sistemleri Oluşturan Elemanlar	20
2.4.1. Düğüm Noktaları	20
2.4.2. Çubuk Elemanlar	21
2.4.3. Konikler	23
2.4.4. Civatalar.....	23
2.4.5. Somun ve Pimler.....	25
2.4.6. Aşıklar ve Aşık (Eğim) Dikmeleri.....	25
2.4.7. Mesnetler	26
2.5. Kafes Çubuk Elamanının Analizi.....	27
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	29
3.1. Materyal.....	29
3.2. Yöntemler	29
3.2.1. Optimizasyon	29
3.2.2. Sezgisel Optimizasyon.....	30
3.2.3. Sürü Zekası	33
3.2.3.1. Ateş Böceği Optimizasyonu	34
3.2.3.2. Karınca Koloni Optimizasyonu	35
3.2.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu.....	35
3.2.3.4. Yapay Balık Sürüsü Optimizasyonu	36
3.2.3.5. Kedi Sürüsü Optimizasyonu	36
3.2.3.6. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu	37

4. KURT KOLONİSİ ALGORİTMASI (Wolf Colony Algorİthm, WCA)	38
4.1. Davranışların Açıklanması	38
4.1.1. Arama Davranışı	38
4.1.2. Av Kuşatma	39
4.1.3. Kurt Kolonisinin Güncellenmesi	39
4.2. Kurt Koloni Algoritmasının Adımları	40
4.3. Kurt Kolonisi Algoritması Performans Analizi.....	42
4.3.1. Kurt Kolonisi Algoritmasının Değerlendirilmesi	44
5. UYGULAMALAR	45
5.1. Çelik Kubbe Çatı	47
5.2. Tonoz Çatı	51
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR	566
ÖZGEÇMİŞ	588



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KKO	Kurt Kolonisi Optimizasyonu
WCA	Kurt Kolonisi Algoritması
PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
KSO	Kedi Sürüsü Optimizasyonu
ABC	Yapay Arı Kolonisi Algoritması
BBO	Biyocoğrafya Tabanlı Optimizasyon
BSO	Beyin Fırtınası Algoritması
GA	Genetik Algoritma
AISC	American Institute Of Steel Construction
ASCE	American Society Of Civil Engineer
ASD 89	Allowable Stress Design 89
D	Arama Uzayının Boyutu
n	Kolonideki Birey Sayısı
Xi	Yapay Kurt Pozisyonu
rand	Rastgele Sayı
maxk	Maksimum İterasyon Sayısı
q	Arama Yapacak Yapay Kurt Sayısı
h	Arama Yönü
maxdh	Maksimum Arama Numarası
stepa	Arama Adımı
stepb	Kuşatma Adımı
m	Zayıf Yapay Kurt Sayısı
k	Koloni İterasyonu

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.2.2. 19.yy.da Napoli “de demirden yapılan erken iskelet kubbe örneği [17].	9
Şekil 2.2.3. a) Çok katlı olan ağ örgüsü tipi kubbe (Föppl kubbesi)	
b) Çok bölmeli örgü konstrüksiyonu (Schwedler kubbesi)	10
Şekil 2.2.4. Fuller’in Jeodezik Kubbesi [18].	11
Şekil 2.3.1.1. Düz Çatı [20].	12
Şekil 2.3.2.1. Kırık Çatı [20].	12
Şekil 2.3.3.1. Tonoç Çatı [20].	12
Şekil 2.3.4.1. Kubbe Çatı [21].	13
Şekil 2.3.4.1. Radyal nervürlü kubbe türleri [19].	14
Şekil 2.3.4.2. Schwedler kubbelerin plan ve görünüşleri [19].	15
Şekil 2.3.4.3. Lamella kubbelerin plan ve görünüşleri [19].	16
Şekil 2.3.4.4. Jeodezik kubbelerin plan ve görünüşleri [19].	17
Şekil 2.3.4.5. Üç doğrultulu ızgara kubbeler [19].	18
Şekil 2.3.4.6. Schlink kubbelerin plan ve görünüşleri [19].	19
Şekil 2.3.4.7. Föppl kubbelerin plan ve görünüşleri [19].	19
Şekil 2.4.1. Uzay kafes yapıları oluşturan elemanlar.	20
Şekil 2.4.1.1. Uzay Kafes Sistemlerde Düğüm Noktası (Küre Eleman) [20].	21
Şekil 2.4.2.1. Uzay Kafes Çubuk Uç Detayı [20].	22
Şekil 2.4.3.1. Konik tipleri [20].	23
Şekil 2.4.4.1. Civata tipleri [20].	24
Şekil 2.4.6.1. Düğüm Noktasında Aşık ve Aşık Dikmesi Detayları [20].	26
Şekil 2.4.7.1. Tipik mesnet noktası [20].	27
Şekil 2.5.1. Eksenel kuvvet alan kafes çubuk elemanı	27
Şekil 2.5.2. Kafes çubuk eleman matrisi.	28
Şekil 3.2.1.1. Tasarım Optimizasyonu [23].	30
Şekil 3.2.2.1. Sezgisel Yöntemler [26].	32
Şekil 3.2.3.1. Karınca Köprüsü [24].	34
Şekil 4.1.1. Arama Davranışı [27].	38
Şekil 4.1.4. Kurt Kolonisi Algoritma Şeması [27].	41
Şekil 4.3.1. Algoritmaların Yakınsama Eğrileri [27]. (a) Sphere Algoritması, (b) Schwefel Algoritması, (c) Rosenbroc Algoritması, (d) Rastigri Algoritması	44
Şekil 5.1.1. Çelik kubbe çatının üç boyutlu görünümü.	47
Şekil 5.1.2. Çelik kubbe çatının üstten görünümü	47
Şekil 5.1.3. Çelik kubbe çatının yandan görünüşü.	48
Şekil 5.1.4. Çelik kubbe yükleme durumu [25].	48
Şekil 5.1.5. Kubbe için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA).	51
Şekil 5.2.1. Tonoç çatının üç boyutlu görünümü	51
Şekil 5.2.2. Tonoç çatının üstten görünümü	52
Şekil 5.2.3. Tonoç çatının yandan görünüşü	52
Şekil 5.2.4. Tonoç için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA).	54

TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.4.2. Çubuklarda (Borularda) enkesit özellikleri [26]	22
Tablo 2.4.4. Kullanılan civataların teknik özellikleri	24
Tablo 4.3.1. Fonksiyon Sonuçları [27]	42
Tablo 4.3.2. Test Sonuçları [27]	44
Tablo 5.1. Tanımlanan boru profiller	50
Tablo 5.1.1. Kubbe modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA).....	50
Tablo 5.2.1. Uzak kafes tonoz modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA)	53



TEŞEKKÜR

Çalışmamın her aşamasında bana destek olan, bilgi ve tecrübesi ile lisansüstü öğrenim hayatımın tüm zorlu aşamalarında maddi manevi her yönden yardımcı olan, tecrübeleri ile beni aydınlatan ve desteğini hiç eksik etmeyen, kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum danışman hocam Sayın Doç. Dr. Erkan DOĞAN'a; lisans ve lisansüstü öğrenimim boyunca yardım, bilgi ve tecrübeleri ile bana sürekli destek olan kendisini tanımaktan büyük onur duyduğum Akdeniz Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. İbrahim AYDOĞDU'ya; inşaat mühendisliği dışında bana bir mesleği daha öğretten, tanımaktan büyük onur duyduğum, barista hocam Sayın Ercan TURAN'a; öğrenim hayatım boyunca beni maddi ve manevi olarak destekleyen ve hep yanımda olan aileme, dostlarıma yürekten teşekkür ederim.

Canip ÖZYÜREK
Manisa, 2020

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EĞRİSEL FORMDAKİ ÇATILARIN KURT KOLONİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

Canip ÖZYÜREK

Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Erkan DOĞAN

İnşaat Mühendisliği alanında teknolojiyle birlikte yepyeni tasarımlar meydana gelmiş, üretilen her malzeme üzerinde yeniden tasarlama, düzenleme ve optimizasyon teknikleri uygulama ihtiyaçları doğmuştur.

Yapım tekniklerinin hızlanması ve en az maliyet oluşturma amacı ile teknik şartnamelere bağlı olarak hazır yapım elemanları üretilmiştir. Her çeşit ve boyutta olan bu elemanlar belirli dayanım değerlerine göre gruplara ayrılmışlardır. Meydana gelen kuvvete ve ihtiyaç duyulan mukavemete göre uygun malzeme seçimi yapılmaktadır. Fakat bu malzemeler her zaman en ideal seçimi karşılayamamaktadırlar. Bu nedenle yeni tasarımlar meydana gelmiştir.

Doğadan izlenimlerle, var olan mevcut düzende canlı davranışları incelenmesi ve buna benzer araştırmalarla yeni optimizasyon teknikleri geliştirilmiştir. Parçacık Sürü, Yapay Arı Kolonisi, Karınca Kolonisi optimizasyon teknikleri bunlara örnektir.

Bu tez çalışmasında, eğrisel formdaki çelik çatı yapıları için hazır profiller kullanılarak Kurt Kolonisi optimizasyonu yöntemi ile boyut optimizasyonu yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Optimizasyon, Kurt Kolonisi Algoritması, Çatı Tasarımı

2020, 58 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

OPTIMUM DESIGN OF ROOFS WITH CURVILINEAR FORM USING WOLF COLONY ALGORITHM

Canip ÖZYÜREK

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Erkan DOĞAN

In the field of Civil Engineering, brand new designs have come to the for with technology and the necessity of redesigning, editing and optimizing techniques on every material has been born.

Depending on the speed of construction techniques and the minimum cost of production and technical specifications, ready-made elements have been produced. These elements of all kinds and sizes are divided into groups according to their specific strength values. Appropriate material selection is made according to the strength coming from the square and the required strength. But these materials do not always meet the ideal choice. For this reason, new designs have come to fruition.

New optimization techniques have been developed with the impression of nature, the existing living behavior of existing systems, and similar investigations. Particle Swarm, Artificial Bee Colony, Ant Colony optimization techniques are examples of these.

In this study, size optimization for curved-form steel roof structures is conducted using ready profiles, via Wolf Colony optimization method.

Keywords: Optimization, Wolf Colony Algorithm, Roof Design

2020, 58 pages

1.GİRİŞ

İnsanoğlu, ilerleyen teknoloji ile birlikte, mevcut kullanımda olan tasarımları yenileme, geliştirme gibi yeni süreçler oluşturma mecburiyeti içindedir. İnsanoğlu gelişen dünya ile birlikte tasarımların çözümü için yeni yöntemler ya da var olan yöntemlerin iyileştirilmesi adına sürekli bir mücadele içindedir. Var olan problemlerin çözümü için üretilen yöntemlerin, var olan problemi bazı kıyaslar ölçütünde daha performanslı kullanılmasını hedefler. Bu hedefler maliyet analizleri, zaman gibi birçok parametre için uygun bir çözüme işaret etmektedir.

Var olan problemlerin çözümünü matematiksel hesaplamalar yaparak kesin olarak bulabilen klasik yöntemlerin kabiliyetleri, uzun hesaplama sürelerinin oluşması ve maliyetlerin artmasından dolayı başka çözüm düşünülmüştür. Problemi etkileyen parametreler arttıkça zorluk seviyeleri de artmış ve problemin çözümü için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmuştur. Bu nedenler doğrultusunda yeni problemlerin çözümünde sezgisel en uygun şekle sokma yöntemlerinden yararlanılmaya başlanmıştır. Sezgisel en uygun şekle sokma yöntemleri sayesinde çok daha kısa hesaplama sürelerinde optimum ya da optimuma en yakın sonuçlar elde edilebilmektedir.

Öğrenilen ve geliştirilen tüm optimizasyon teknikleri mühendislik alanlarında rahatlıkla kullanılabilir. Örneğin, güçlü bir optimizasyon tekniği ve bir program yardımıyla eğrisel formda çelik çatıların üzerinde uygulanarak yeniden tasarlanıp, eğrisel formda çelik çatıların çözümünde pratik hale getirilebilir. Bu tezin temel amacı da bunu gerçekleştirmek olacaktır.

Literatür

Makowski (1984), tarafından yazılan “steel space structures” adlı kitap, çelik eğrisel formda çatılar hakkında yayınlanmış en geniş kapsamlı kitaptır. Bu eserde çelik uzay taşıyıcı sistemlerin tarihi gelişimi anlatılmıştır [1].

Aşkar (1985), çelik eğrisel formda taşıyıcı sistemleri, kabuk kavramından başlayarak incelemiş, küresel ve silindirik kabuk sistemler üzerinde durmuştur. Kafes örgülü kabuklar ve bunların hesap metotları ve analizleri anlatılmıştır. Son kısımda da kafes örgülü basık kabuklara ilişkin sorunlara değinilmiştir [2].

Odabaşı, Özgen (1987) tarafından yapılan çalışmada, eğrisel formda taşıyıcı sistemlere ilişkin genel bilgiler, yapı şekilleri, hesap yöntemleri, membran analojisi, plak analojisi ve plak teorisinin sınır durumları anlatılmaktadır. Uzay taşıyıcı sistemlerde boyutlandırma ve boyutlandırma ile ilgili genel bilgiler ile boyutlandırmada yapılması gereken tahkikler anlatılmış ve son olarak da uzay taşıyıcı sistemlerin ülkemizdeki uygulamalarına yer verilmiştir [3].

Saka (1988), optimumluk kriteri yöntemini kullanarak, çelik uzay kafes sistemlerin optimizasyonu problemini incelemiştir. Geometri değişimlerinin ve malzeme davranışının lineer olmayan etkilerinin göz önüne alındığı çalışmada yer değiştirmelerle ilgili kısıtlamalar da göz önüne alınmıştır [4].

Akın (1997) tarafından yapılan çalışmada, uzay kafes sistemler hakkında genel bilgi verilmiş, ayrıca kare tabanlı piramit modüller den oluşan düzlem uzay kafes örneğinde kafes yükseklikleri ve mesnetlime tipleri değiştirilerek ekonomiklik araştırması yapılmış ve araştırma sonunda uzay kafes sistemlerde açıklık arttıkça maliyetin arttığı ve kafes yüksekliğinin belli bir orana kadar artmasının ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır [5].

Öztorun (1997) tarafından yapılan çalışmada, uzay kafes sistemler hakkında genel bilgi verilmiş, yedi farklı tiplerdeki uzay kafes taşıyıcı sistemlerin birbirlerine göre üstünlükleri incelenmiştir. Sonuçta uzay kafes taşıyıcı sistemlerin iyileştirme çalışmaları anlatılmıştır [6].

Köksal (1998), sonlu elemanlar metodu kitabında, sonlu elemanlar tekniği açıklanmış, sonra genel olarak ototrof, izotrop, kompozit ve elastik özelliklere sahip çubuk, plak ve kabuk sistemlerin eğilme ve stabilite problemlerinin ayrı ayrı analizleri ve sonlu elemanlar yöntemi ile çok sayıda sayısal çözümleri orijinal örnekleri de içerecek şekilde incelemiştir [7].

Arat (1999) tarafından yapılan çalışmada, uzay kafes sistemlerin statik hesabı üzerine genel bir çalışma ve uzay kafes sistemlerde günümüzde kullanılan teknik detaylar ve bunların sonucunda düzlem kafes sistemlerle ekonomi ve zaman açısından bir karşılaştırma yapılmış ve bunun sonucunda da büyük açıklıkların asılmasında uzay sistemlerin daha ekonomik olduğu belirtilmiştir [8].

Turan (1999) tarafından yapılan çalışmada, mühendislikte kullanılan taşıyıcı sistemler arasında önemli yer tutan kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasında geometrik ve malzemenin doğrusal olmayan etkisi incelenmiştir [9].

Aydın (2000), genetik algoritma kullanılarak uzay kafes sistemlerin optimum tasarımı gerçekleştirilmektedir. Tasarımda gerilme, yer değiştirme ve stabilite sınırlayıcıları dikkate alınmış, FORTRAN programlama dilinde bir bilgisayar programı kodlanmış ve bu program yardımıyla çeşitli kafes sistemlerin optimum tasarımı yapılmıştır [10].

Gündüz (2002) tarafından yapılan çalışmada, mesnetleme şartları çubuk boyları ve yüklemeler özdeş tutulmaya çalışılarak iki doğrultulu dik (B1), iki doğrultulu eğik (B2) ve çapraz iki doğrultulu sistemler; otuz metre, kırk iki metre ve altmış metre açıklıklar için SAP2000 programı kullanılarak parametrik yaklaşımla analiz edilmiştir. Hangi sistemin hangi açıklıklarda daha ekonomik sonuçlar verdiği araştırılmıştır [11].

Keleşoğlu (2002), bulanık kümeler kullanılarak lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu yapılmıştır. Kafes sistemlerin analizinde ANSYS paket programı kullanılmıştır. Çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniğinin algoritması ANSYS parametrik boyutlandırma dili ile yazılmıştır. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, Rao'nun (1992) makalesindeki üç çubuklu düzlem kafes sistemin çözümü ile gösterilmiştir. Boyutlandırma probleminin formülasyonun da amaç fonksiyonu olarak minimum ağırlık ve minimum deplasmanlar göz önüne alınmıştır [12].

F. Erdal, M.P. Saka ve E.Doğan (2011), Tasarım probleminin çözümünü elde etmek için uyum arama ve parçacık sürüsü optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır [13].

Karaboğa ve Baştürk (2008), Yapay arı koloni (ABC) algoritması bal arısı sürülerinin belirli bir akıllı davranışına dayanan bir optimizasyon algoritmasıdır. Çalışmasında çok boyutlu sayısal problemler için ABC algoritmasının performansını diferansiyel evrim (DE), parçacık yığın optimizasyonu (PSO) ve evrimsel algoritma (EA) ile karşılaştırmaktadır. Elde edilen sonuçlar ile ABC algoritmasının

performansının bahsedilen algoritmalarla karşılaştırılabilir olduğunu ve yüksek boyutluluktaki mühendislik problemlerini çözmek için etkin biçimde kullanılabileceğini göstermiştir[14].

İnaç (2014), BBO algoritmasının performans başarımını araştırmak amacıyla çalışma yapmış ve ABC, PSO, DE algoritmaları ile kıyaslamıştır. Sonuç olarak BBO algoritmasının genelleme yapabilme yeteneğinin rakiplerine göre daha güçlü olduğunu tespit etmiştir[15].

İ.Aydoğdu ve A. Akın (2014), tek katmanlı jeodezik kubbe yapıları probleminin optimum tasarımı için alüminyum malzemenin maliyet etkinliği araştırılmıştır. [16]

Tezin Amacı

Bu çalışma ile kullanılan optimizasyon yönteminin inşaat mühendisliği alanında kullanımı örneklendirilmiştir. Özellikle çelik yapılarda açıklıkları geçmek için sıkça kullanılan tonoz yapısını ya da diğer bir deyişle eğrisel formdaki yapılarda Kurt Kolonisi Yöntemi kullanılarak yeni bir tasarım yapılmıştır. Çeşitli optimizasyon yöntemleri arasındaki farklar karşılaştırılmıştır.

Bu çalışma ile günümüzde birçok yapıda kullanılan çelik eğrisel formdaki tonoz yapısının optimum tasarımı hedeflenmiştir. Eğrisel formdaki tonoz yapısının hazırlanan algoritma ile en uygun şekilde geometriye sahip formu ve kullanılması en uygun profiller belirlenir. Özellikle son yıllarda yapı malzemelerine gelen fiyat artışları ile birlikte kullanılacak profil ve en sonunda oluşacak projenin tonajına bağlı maliyeti büyük bir önem arz etmektedir. Bu sebeple mühendislik bilgi ve kapasitesinin daha iyi kullanılması ve kullanılacak her bir profilin istenilen optimum kapasitede çalıştırılması temel hedef olacaktır. Bu tez çalışması ile kullanılacak optimizasyon algoritması ile bu gaye doğrultusunda kullanılarak en uygun eğrisel formda çelik yapı tasarımı elde edilecektir. Kullanılması planlanan yöntem yapı analizinde kullanımı oldukça az olan bir yöntem olduğundan elde edilen sonuçlar bu alandaki çalışmalara öncülük edeceği düşünülmektedir.

2. EĞRİSEL FORMDA ÇELİK TAŞIYICI SİSTEMLER

Eğrisel formda çelik taşıyıcı sistemler; uzay kafes sistemler ve tonoz kirişler ile yapılan çatılardan oluşur.

2.1. Uzay Kafes Sistemler Tanımı

Uzay kafes sistemler; taşıyıcı elemanları, düğüm noktalarında, kafes sistem yüzeyindeki açılı birleşimlerde ve her yönde hareket eden yüklere karşı dayanıklı olan üç boyutlu taşıyıcı sistemlerdir. Düzlem makas sistemlerden farklı olarak, aynı düzlemde olmayan üç boyutlu çubukların bir noktada birleşmesinden oluşmaktadır [17].

Uzay kafes sistemler geniş açıklıkları örtmek için yapılan, bütün öğeleri birbirine bağlı olup her doğrultuda bir bütün halinde çalışan üç boyutlu kafes sistemler olarak tanımlamak mümkündür [17]. Üç ana grupta incelenir:

- İskelet sistemler,
- Yüzey sistemler,
- Asma (kablo veya membran) sistemler.

Uzay geometri bilgisi, polihedron paketlenmesi ve küresel trigonometri kanunları uzay kafes sistemlerde çeşitli uygulama olanakları ortaya çıkarmıştır.

Uygulamada karşılaşılan yapıların birçoğunda elemanların birbiriyle birleştiği bir ağ bulunmaktadır. Buna göre tekil bir yük sisteme etkidiğinde sadece üzerine etkidiği elemanı değil, uzak bir mesafedeki elemanları da etkilemektedir. Buna göre tasarımın verimliliği yapının yükleri yayma yeteneği ile ilgilidir. Doğrudan yüklenmiş elemanlardaki yüksek gerilmeler yükün uygulama noktasından uzaklaştıkça azalmakta ve giderek tüm sistemde iyi dağılan bir gerilme yayılımını mümkün kılmaktadır. İşte ızgara çerçeveler bu amaç için oldukça uygundur ve bu ızgara davranışı sayesinde geniş alanları kolon kullanmadan geçmek mümkün olmaktadır [17].

Son yılların en önemli gelişmelerinden biri, iki başlıklı (tabakalı) ızgaralı sistemler olmuştur. Bunlar dünyanın çeşitli yerlerinde geni açıklıklı sergi salonları, dini yapılar, spor salonları ve endüstri yapılarında uygulama alanı bulmuştur. Bu

sistemler hali hazırda 120 m civarında açıklığın aşılmasında başarı ile uygulanmışlardır. Bu tür sistemlerde hiperstatiklik derecesi yüksek olduğu için, sisteme etkiyen yükler, elemanlar tarafından süratle ve her yönde paylaşılır. Bu tip sistemin elemanlarının mümkün olduğu kadar birbirlerine yakın çap ve uzunlukta elemanlardan oluşmaları ve bağlantı elemanı olarak uçlarında bir adet civatanın bulunması modüler sistemlerin doğmasına yol açmış, güvenlik yanında tasarımda esneklik de elde edilebilmiştir. Ayrıca sistemlerin kolaylıkla ileriki genişlemelere imkân sağlamaları ve sökülebilmeleri ek bir avantaj sağlamaktadır [17].

Elemanların standartlaşması, atölye hassasiyetinde imalatın yapılmasına olanak vermektedir. Bu sayede hafif ve yüksek kalitede standart elemanlar ile modüler sistemlerin kolaylıkla montaj ve demontajı yapılmaktadır. Montaj hızı ve kolaylığı, montajın kuru ortamda ve istenildiği an yapılması sistemin diğer avantajlarıdır. Sistemler kendi kendini kapattığından düşey ve yatay uygulaması otomatik olarak yapılmaktadır. Alt ve üst başlıklar arasındaki mesafe, sistemin arasında boru, havalandırma ve elektrik tesisatının geçmesine olanak verir [17].

Elemanların düğüm noktalarında birleşme metotları çok çeşitli olmakla birlikte en uygun ve pratik birleştirme aracı dolu küreler üzerinde önceden açılmış olan deliklere çubuk elemanlarının uçlarındaki civatalar aracılığı ile bağlanmasıdır. Bu metot ile her bir küre elemanına 18inc'e kadar delik açılabilmektedir. Hafif yüklemelerde aradaki bazı modüller çıkarılarak ekonomi sağlanmakta ve çatıda şeffaf bölümler yolu ile doğal aydınlatma olanağı kazanılabilmektedir [17].

Uzay sistem üzerinde her türlü çatı kaplaması uygulanabilir ve iç mekânlarda rahatlıkla asma tavan düzenlenebilir. Uzay sistemler, ısı değişimi yönünden diğer sistemlere oranla daha esnek bir yapıya sahiptir; çubuk boyları birbirine yakın olduğu için düğüm deplasmanları çok küçük olmaktadır.

Uzay kafes sistemlerin :

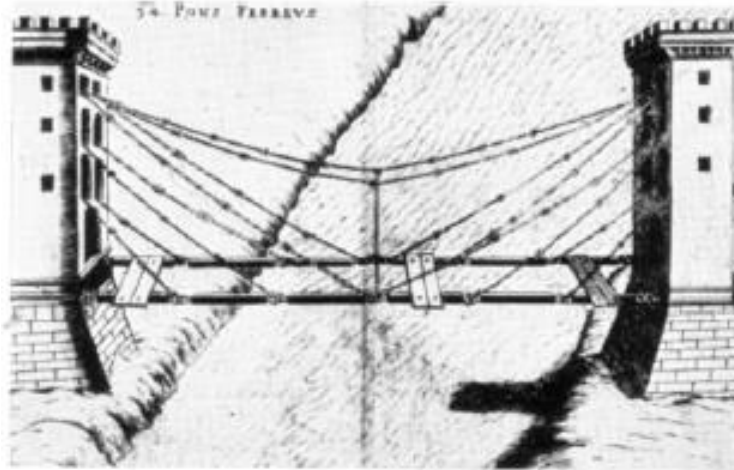
- Hiperstatik sistemler olması,
- Modüler üreyebilen bir yapısı,
- Hafifliği,
- Montajı ve demontajının kolaylığı,

- Standart elemanlardan oluşması,
- Geniş açıklıklar rahatlıkla geçilebilmesi,
- Stabil sistemler olması,
- Estetiklik özelliği,
- Nakliyesinin kolaylığı,
- Ekonomik olması,

gibi bilinen avantajları, sistemin hızla gelişmesini ve giderek çoğalan kullanımını sağlamıştır. Sistem bu üstünlüğünün günümüzde de sürdürmekte ve basitleşen yapım ve uygulama olanakları kullanımını daha da artırmaktadır.

2.2. Uzay Kafes Sistemleri Tarihi

Yapı sektöründe demir ve çelik kullanımı sonucu meydana gelen yapı biçimleri uzay kafes sistemin ilk örneklerini meydana getirmiştir. Dövülebilir özelliğe sahip olan demirin yüksek derecede çekme mukavemeti olduğunun keşfi zamanın büyük yapı ustalarının, demir veya ağaç çubukların bir birileri ile bağlanmaları konularında önerilerde ve deneme girişimlerinde bulunmalarına vesile olmuştur. (Şekil 2.2.1)



Şekil 2.2.1. Demir asma çubukları ile Verantius köprüsü [17].

On sekizinci yüzyılda odun kömürü yerine madeni kömürlerin kullanımına başlanması, daha ekonomik ve daha fazla olan dökme demir üretimi imkânlarını arttırmış ve bu durum dökme demirden oluşan yapı elemanlarının bina yapımlarında kullanılmasını sağlamıştır. Çoğu zaman süslemeler ile donatılmış olan dökme

demirden oluşan sütunlar ve tonoz eğrileri kullanılmıştır. Tabi ki taşıma ve imalat tekniği güçlüklerinden dolayı dökme demirden oluşan büyük yapı elemanları yerinde monte edilmek üzere parçalar şeklinde imal edilmiştir. Bu durum, monte edilebilir olan elemanlarla konstrüksiyonların biçimlendirme imkanlarını geliştirmiştir [17].

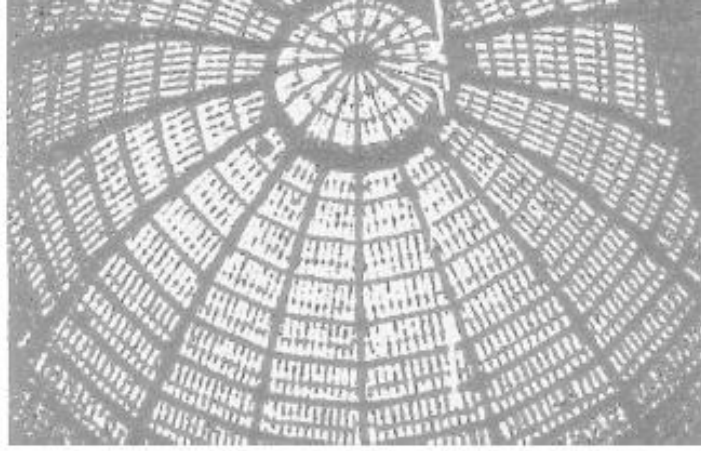
Çatılar için geliştirilen eğri dökme demir konstrüksiyonları 18. yüzyılın sonuna doğru devreye girmiştir ve şimdiye kadar doğal taştan yapılan tonoz sistemlerine göre, taşıyıcı konstrüksiyon tarafından taşıyıcı kiriş üzerine gelen yük dağılımı neticesinde yapıların ağırlıkları bakımından önemli derecede tasarruf sağlanmıştır. Burada konstrüksiyonun içine ahşap karkas yapı konstrüksiyonu uygulamıştır ve tamamen basınç etkisi üzerine tasarlanmıştır [17].

Puddel yönteminin geliştirilmesi ile birlikte daha az maliyet ile büyük miktarlarda dökme demir imalatı mümkün olmuştur. Dövülebilir nitelikte olan demir için geliştirilen hadde tekniği ve buhar makinesinin keşfi neticesinde, demir üretiminde kullanılan kas gücünün yerini makine gücüne bırakması ile, aynı çapta profil ve büyük miktarlarda değişik uzunluklarda ve ebatlarda dökme demirden oluşan yapı elemanlarının sanayi tesisleri tarafından hızlı bir biçimde üretilmeleri mümkün olmuştur. Bu gelişmeler demir yolu ve çelik yüksek binaların yapımını başlatmıştır ve bu türde yapıların döneminin temel taşıını oluşturmuştur.

“Kaynak demirinden” ve “Döküm demirinden” Thomas ve Bessemer yöntemleri ile döküm çeliği geliştirilmiştir. Döküm çeliğinin diğer demir türlerine göre en belirgin avantajlarından biri, çekme veya basınç yüklerine karşı aynı şekilde mukavemetli olmasıdır. Bu özellik sayesinde hadde sistemi ile elde edilmiş olan profiller istenildiği biçimde çekme, basınç veya burulma yüklerine maruz kalabilmektedir [17].

Dövülebilir-sıcak olarak şekli değiştirilebilir nitelikte olan demir veya çelikten oluşan profil üretiminin başlangıcı hadde teknolojisinin de yardımı ile ekonomik yapının üzerinde önemli değişikliklere neden olmuştur. Çelik profillerin veya hadde türlerinin üretiminde kullanılan tesis ve tesisatların çok pahalı oluşundan dolayı, bu sistemlerde ancak seri üretim biçimi ekonomik olmaktadır. Böylece yapı sektörü için çelik yapı elemanlarının üretimlerinin başlamaları ile birlikte yeni bir

ekonomi ve ticaret türü de doğmuştur, belirli yapı elemanlarının sanayi üretimi ve katalog aracılığı ile satışları sistemi başlamıştır [17].



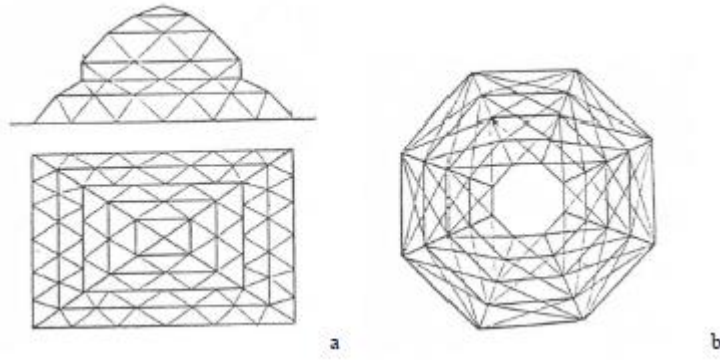
Şekil 2.2.2. 19.yy.da Napoli “de demirden yapılan erken iskelet kubbe örneği [17].

Kubbeler, çok eski zamanlardan beri mimaride kullanılan en eski yapısal formdur ve uzay sisteme tipik bir örnektir. Maksimum açıklıklı mekânı minimum yüzey ile örtebilen kubbe, çok büyük alanların ekonomik yolla örtülmesine olanak verir. Eski yapıların çoğu dairesel plan üzerine inşa edilmişlerdir; bu bakımdan kubbe, çatı konstrüksiyonu için kolay ve uygun bir form sağlar. Kubbelerin gelişimi, mevcut malzemelerin gelişimi ile ilişkilidir. Kubbeler ilk olarak taş ile inşa edilmiştir, tuğla ve ahşabın kullanılmasıyla bunu büyük bir değişiklik izlemiştir. Yeni bir malzeme olan demir ile tanışma, potansiyel özellikleri ve karşılatırılabilir nitelikte hafif malzeme inşa edilen binaların yüksek mukavemetli olmasının getirdiği avantajlar ile inşaat mühendisleri için yeni bir alan açmıştır. Kubbe yapımında demir ilk defa 1811 yılında Belanger ve Brunet tarafından kullanılmıştır. Aynı yıl Paris’te the Corn Market’in merkezi 38.7 m. çapındaki bir demir kubbe ile örtülmüştür. Dökme demir ve ahşap konstrüksiyon ile yapılan eski metotlara uyumun fazla olmasına rağmen, bu yapım sistemi mimarlar ve mühendisler arasında büyük ilgi uyandırmıştır [17].

İlk demir kubbelerin çoğu, genellikle aşağıda düz yukarıda eğik çubuklardan oluşan yarı kafes kirişlerden meydana gelir. Kubbeler, dairesel duvarlar üzerinde desteklenir ve çevresi boyunca altta çekme halkasına ve tepedeki basınç halkasına bağlanır. Küçük kubbeler için, merkezi halka ve fener ihmal edilirdi ve kirişler

birbirine doğrudan bağlanırlardı. Sonraları, bağlantı halkalarının kapasitesini sık sık yükselten yatay itme kuvvetinin ortaya çıkması ile açıklığı arttırma yoluna gidildi. İtkinin karşılanamadığı çeşitli durumlarda bunun inşaat esnasında yapısal çökmesine neden olduğu bilinir. Bu durum birçok mühendisi kuşaklanmış kubbelerle ilgili detaylı analizler yapmaya teşvik etmiştir [17].

Kubbeler için çok sayıda kuşaklama tipi kullanılır. En eski formlardan biri olan iskelet kubbeler, oldukça esnek olmalarına rağmen halen kullanılmaktadırlar. Kubbeler, erken bir örneği şekil 2.2.3’de görüldüğü gibi ya eğik prefabrike dairesel malzemeden ya da kafes çubukların tepede bağlanması ve sınırlarında dayanak ile desteklenmesi ile oluşur. Kuşaklanmış kubbenin en basit formu, Schwedler tipi olarak tasvir edilir. J.W. Schwedler’in ilk yapısını, Berlin’de bir gaz tankı olarak inşa ettiği 1863 yılından beri dünya üzerinde sayısız Schwedler kubbesi uygulamıştır. Föppl, Schwedler tarafından geliştirilen gevşek nitelikte olan çapraz elemanlar ile uygulanan “Örgü kafes” kubbelerine karşı, “Ağ örgü” tipi kubbeyi sadece üçgenler ile donatılmış ve katı çapraz elemanlar ile sağlamlaştırılmış olarak kafes kiriş konstrüksiyonunu ileri sürmüştür [17].



Şekil 2.2.3. a) Çok katlı olan ağ örgüsü tipi kubbe (Föppl kubbesi)
b) Çok bölmeli örgü konstrüksiyonu (Schwedler kubbesi)

Geniş açıklıklı kubbelerin gelişimi, uzun yıllardır araştırmalarında jeodezik yapısının avantajlarını vurgulayan Buckminster Fuller’in çalışmalarının sonucudur. Fuller’in 1967 yılında gerçekleştirdiği Montreal Dünya Fuarındaki Amerikan Pavyonu’nun açıklığı 80 metredir. Eşit uzunlukta çubuklarla oluşturulan üçgen ve beşgenlerden meydana gelen bu kubbenin yüksekliği 65 metredir. Bu örnekten sonra yüzlerce jeodezik kubbe inşa edilmiştir. (Şekil 2.2.4)



Şekil 2.2.4. Fuller'in Jeodezik Kubbesi [18].

II. Dünya savaşından önce, çoğunlukla dairesel kabukların kullanılmasına karşı savaştan sonraki gelişmeler pek çok değişik formda kabukların kullanılmasına olanak vermiştir. Çeşitli sınır şartlarına sahip kabuklara ait bilgisayar programlarının geliştirilmesi de daha önce çözilemeyen problemlerin ele alınmasını sağlamıştır. Sadece 40-50 yıl öncesine kadar hesapların diferansiyel denklemlerin kapalı çözümleriyle sınırlı kalması göz önüne alınırsa bu çok önemli bir gelişmedir. Ayrıca uygulamalı bilimlerdeki yeni yöntemlerde etkinlik göstermiştir [19].

Bilgisayarların kullanılması ve olanakları hesapların kapsamını önemli ölçüde genişletmiştir. Sayısal hesap yöntemlerinin sonucunda ortaya çıkan büyük sayıdaki lineer denklem takımlarının çözümü bu sayede gerçekleşmiştir.

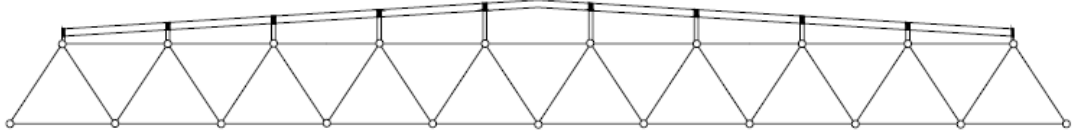
Sonuçta, bu tür yapılarda klasik mimari şekillerden tamamen uzaklaşılarak yeni biçimler sınırsız bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

2.3. Uzak Kafes Sistemlerinin Şekilleri

Uzak kafes sistemler düz çatı, kırık çatı, tonoz çatı, kubbe uzak kafes sistem gibi çeşitlere ayrılabilir.

2.3.1. Düz Çatı

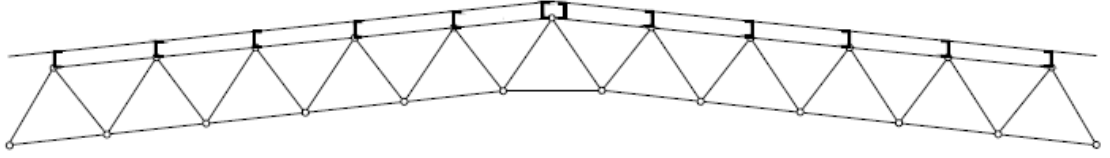
İki doğrultuda kesiti yatay olan uzak kafes sistemdir. Eğer kafes sistemde kaplama malzemesi eğimli kaplanacaksa, değişken boylardaki eğim dikmeleri düğüm noktalarına yerleştirilir ve bu dikmeler üzerine de aşıklar oturtularak çözüm sağlanır. Bu sistemler Şekil 2.3.1.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.1.1. Düz Çatı [20].

2.3.2. Kırık Çatı

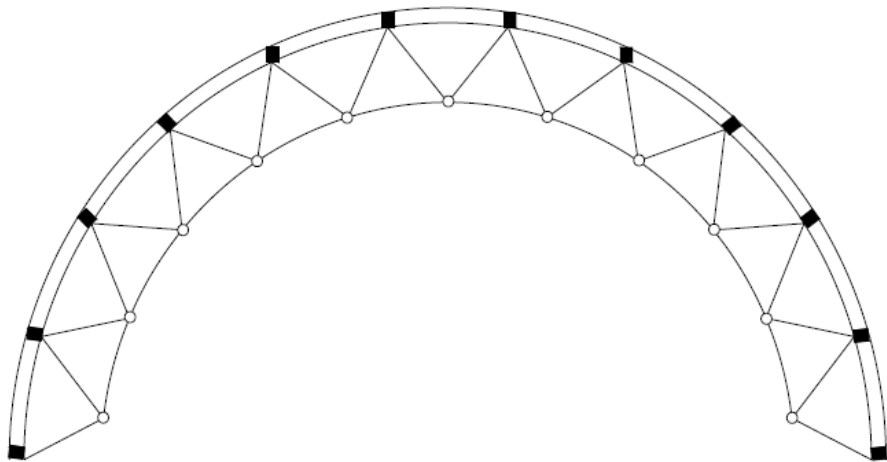
Bir doğrultuda kesiti kırık olan çatı sistemleridir. Çatı eğimi, uzay kafes sisteme verilen eğimle sağlanır. Kaplama malzemesi ya doğrudan uzay kafes üst başlık çubuklarına ya da eğim dikmesiz olarak aşıklara oturur. Bu sistemler Şekil 2.3.2.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.2.1. Kırık Çatı [20].

2.3.3. Tonoz Çatı

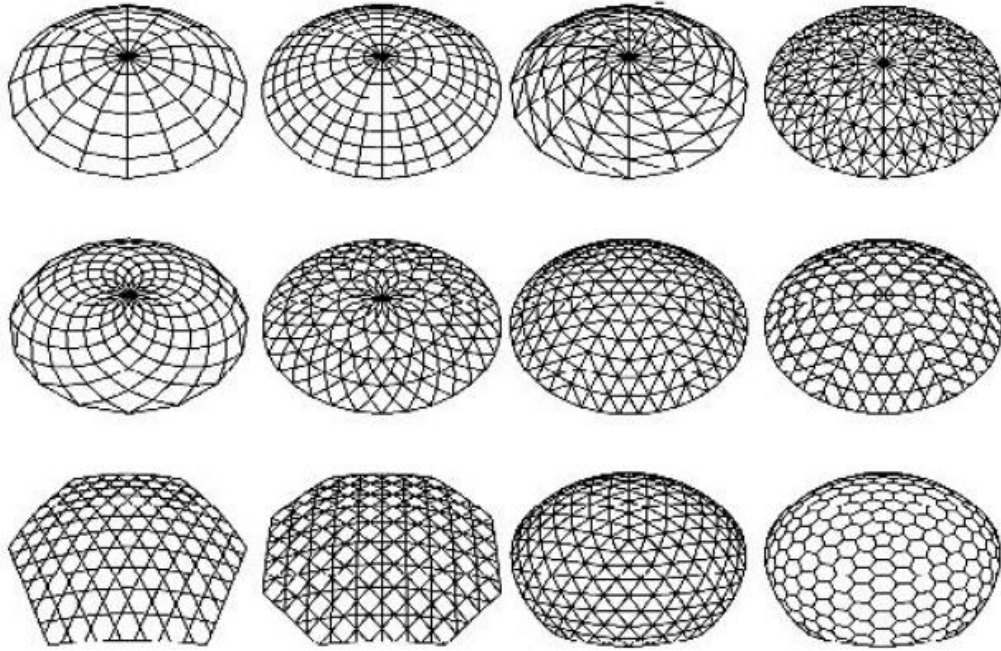
Kesiti yarım daire ya da daire parçası şeklinde olan kafes sistemlerdir. Kaplama malzemesi kırık çatılarda olduğu gibi yapıya monte edilir. Bu sistemler Şekil 2.3.3.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.3.1. Tonoz Çatı [20].

2.3.4. Kubbe Uzay Kafes Sistem

Kubbe sistemler, yarım küre ya da küre parçası şeklinde olan yapılardır. Kürenin geometrik yapısından dolayı tek katmanlı kubbe yapı teşkil edilir. Bu sistemler Şekil 2.3.4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.1. Kubbe Çatı [21].

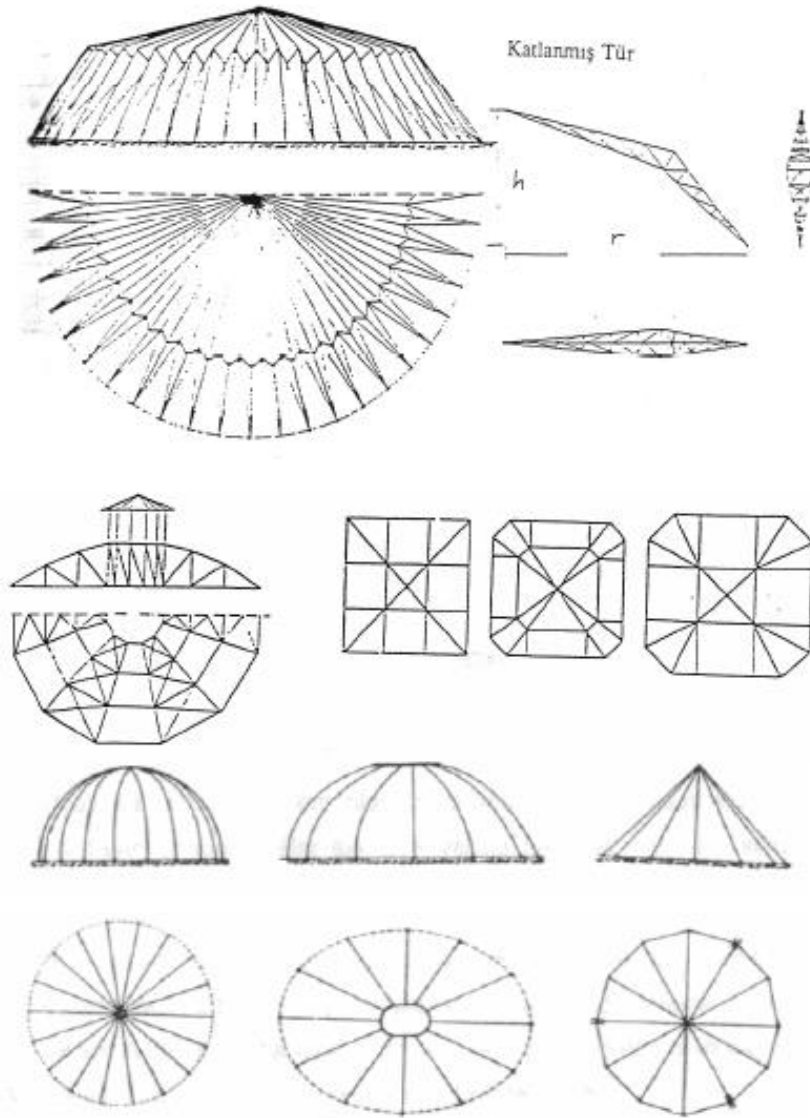
Kubbelerin sınıflandırılması:

- A-) Radyal nervürlü kubbeler,
- B-) Schwedler kubbeler,
- C-) Lamella kubbeler,
- D-) Jeodezik kubbeler,
- E-) Üç doğrultuda ızgara kubbeler,
- F-) Schlink kubbeler,
- G-) Föppl (ağ, net-work) kubbeler,

2.3.4.1. 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.

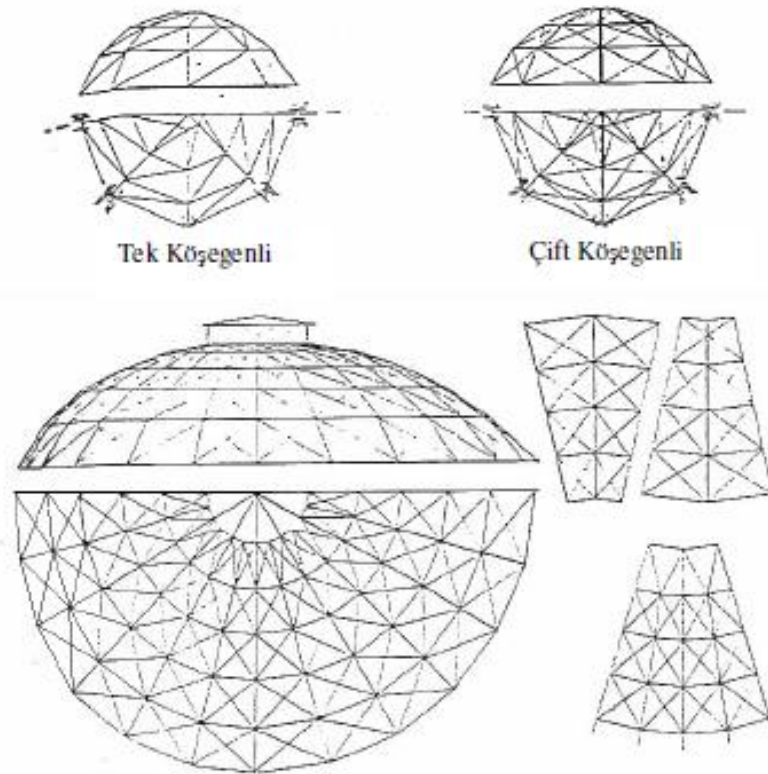
Küçük açıklıklarda nervürler tek bir profile yapılabiliırken, açıklık büyüdükçe eğrisel düzlem kafes sistemler kullanılmaktadır. Nervürler basınç çemberinden ııınsal olarak uzanmaktadır ve kayıcı mesnetlerle sistem izostatik hale getirilebilmektedir. Kayıcı mesnetler daima radyal doğruıtuda olmalıdır, böylece ısı genişlemesinden oluşacak iç gerilmelerin önüne geçilmiş olur. Mutlaka dairesel alan örtmesi gerekmez, değişik alanları da (elips, kare, dikdörtgen ve diğer çokgenler) örtmekte kullanılabilir. Koni, kesik koni, kesik piramit formları elde edilebilir [19]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.1. Radyal nervürlü kubbe türleri [19].

2.3.4.2. Schwedler Kubbeler

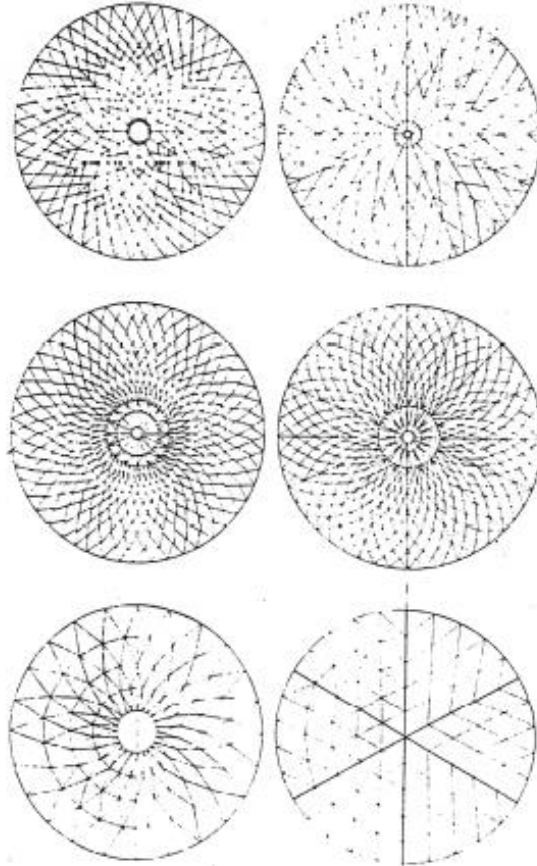
Schwedler kubbeler nervürlü kubbeler sınıfına girerler. Aralarındaki fark radyal nervürlerin radyal nervürlü kubbelerde her biri tek eleman olarak düşünülürken schwedler kubbelerde 3 hatta 4 radyal nervür, kendi aralarında öyle düzenlenir ki kubbenin imalatında bu elemanların yan yana getirilmesi ile kubbe inşaatı tamamlanmış olur. Radyal nervürler kubbenin tepesinde basınç çemberine rijit ya da mafsallı olarak, tabanda ise çekme çemberine genellikle mafsallı olarak bağlanırlar. Temele sadece düşey yükün gelmesi istenildiği durumlarda ise tabana konan çekme çemberine radyal nervürler rijit olarak bağlanır. Yapının stabilitesini artırmak için radyal nervürler birbirine yatay kararlılık bağları ile birleştirilir. Yatay kararlılık bağları arasına ise bazen tek bazen de çift köşegen elemanlar konulur. Köşegen elemanların tek veya çift olması durumuna göre de tek köşegenli veya çift köşegenli schwedler kubbeler olarak adlandırılırlar. Gerek yatay kararlılık bağları gerekse köşegen elemanlar schwedler kubbeleri radyal nervürlü kubbelerden ayıran en önemli farklardır [19]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.2. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.2. Schwedler kubbelerin plan ve görünüşleri [19].

2.3.4.3. Lamella Kubbeler

Lamella kubbeler, birbirine benzer çok sayıda birimlerden oluşur. Elmas ya da baklava dilimi şeklinde düzenlenmiş bu elemanlar lamella olarak adlandırılır. Her bir lamella birimi baklava dilimi ya da elmasın bir kenarının uzunluğunun iki katı bir Tek Köşegenli Çift Köşegenli uzunluğa sahiptir. Kubbenin yüzeyindeki stabiliteyi çatı örtüsü veya asıklar olarak kullanılan baklava dilimi şeklindeki bu elemanlar sağlar. Lamella kubbe tipinde inşa edilen Houston kubbesi 9 hektar alanı örtmektedir. Lamella kubbeler Dr. Kiewit tarafından geliştirilmiş ve büyük açıklıkları geçmek için daha uygun hale getirilmiştir (Şekil 2.3.4.3). Japonya’da pek çok firma bu tip kubbelerin prefabrikasyon üretimi ile ilgilenmekte ve ayrıca geliştirmeye çalışmaktadır. 240 km/h hıza sahip rüzgar tesirinde, Miami’deki böyle bir kubbenin hiç hasar görmediği bilinmektedir [19]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.3. de gösterilmiştir.



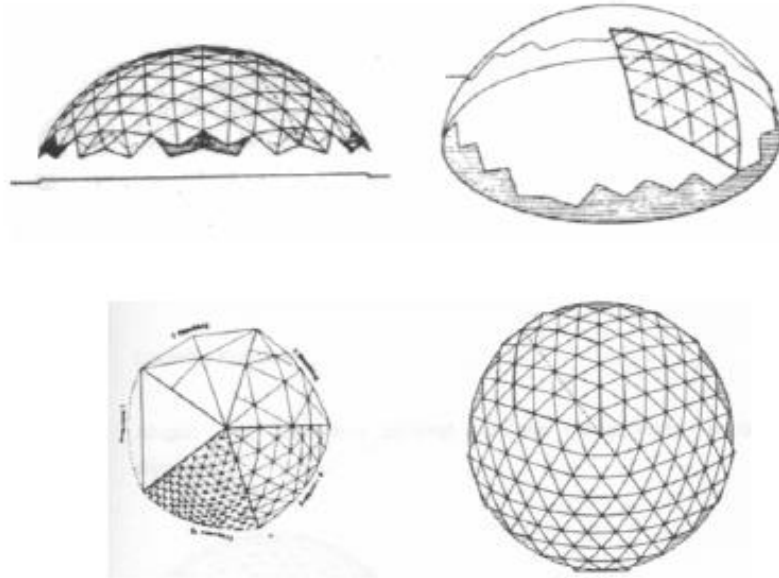
Şekil 2.3.4.3. Lamella kubbelerin plan ve görünüşleri [19].

2.3.4.4. 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 örten, yani belli bir hacim için en az malzeme gerektiren bir geometridir. Küresel yüzeylerin çift eğrilikleri nedeniyle kazandığı biçimsel direnç yüksektir [19].

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 mekânların örtülmesinde uygulanan sistemlerin basında yer almıştır.

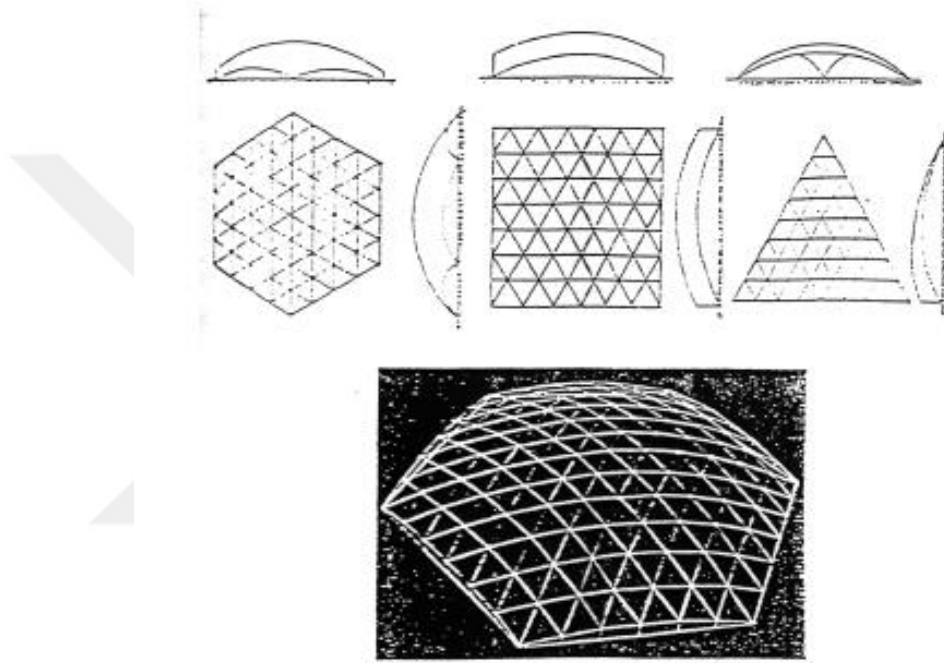
Buckminster Fuller'in geliştirdiği jeodezik kubbeler, küre yüzeyinin altıgenlere bölünmesi suretiyle kurulan tek katlı sistemlerde, mafsallı çubuk birleşmelerinin doğurduğu stabilite güçlüğüne karşı Fuller iki katlı sistemleri gerçekleştirmiştir [17]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.4. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.4. Jeodezik kubbelerin plan ve görünüşleri [19].

2.3.4.5. Üç Doğrultuda Izgara Kubbeler

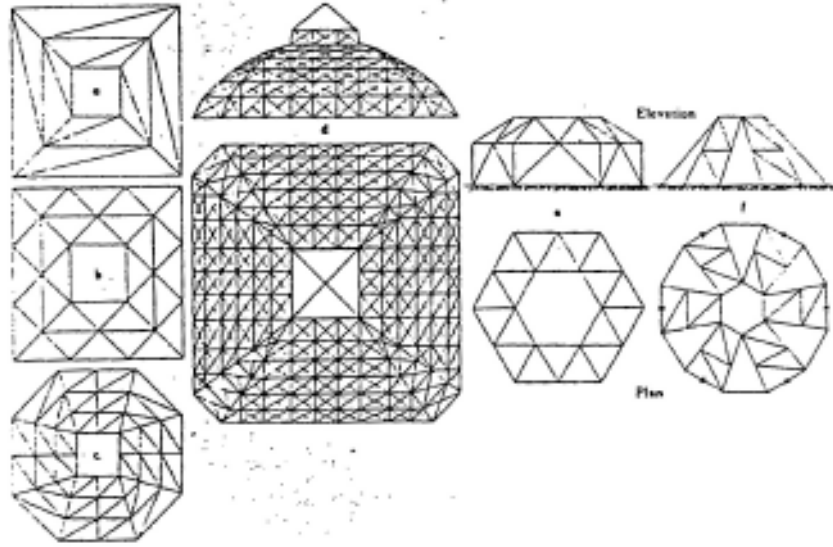
Bugün Avrupa'nın birçok ülkesinde kullanılmakta olan bu tip kubbeler, İngiltere'de 1951 de Britain festivali için yapılan kubbe örnek verilebilir. Üç doğrultuda kubbelerin teorik analizi, simetrik olmayan yüklemeler altında bile malzeme tüketiminde eşit bir dağılım olduğunu göstermiştir (Şekil 3.19). Ayrıca bu tip kubbeler, kare, dikdörtgen daire, üçgen ve altıgen plandaki yapıları örtmek için en uygun olanıdır [19]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.5. de gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.5. Üç doğrultulu ızgara kubbeler [19]

2.3.4.6. Schlink Kubbeler

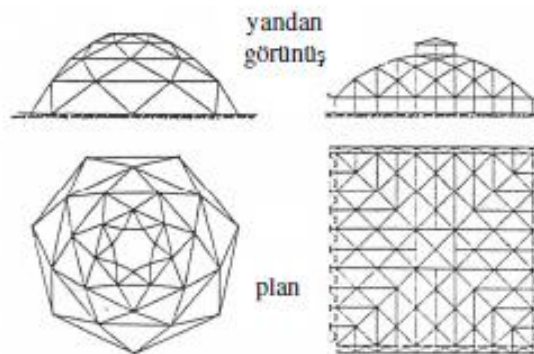
Schlink kubbelerin, özelliği kimi zaman trapez düzlem, kimi zaman ortogonal üçgen düzlemlerle oluşturulmasıdır. En büyük dezavantajı, bütün düğüm noktalarının farklı olmasıdır [19]. Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.6. da gösterilmiştir.



Şekil 2.3.4.6. Schlink kubbelerin plan ve görünüşleri [19].

2.3.4.7. Föppl (ağ, net-work) Kubbeler

Föppl kubbeler, çift diyagonal schwedler kubbelerde boylamların kaldırılmasıyla elde edilmiş sistemdir. Bu tip kubbeler, schwedler kubbeler için kullanılan şekilden çıkartılmıştır. Fakat ondakinin tam aksine, aynı düzlemde üç çubuğa sahiptir. Bu yüzden kubbenin ağ sistemi mafsallı birleşim kabulüne göre bile, aktif olmayan bir çubuğa sahip değildir. Herhangi bir düğüm noktasına gelen yük, sistemin geometrisinden dolayı, bütün elemanlarda gerilmelere sebep olur. Bu kubbelerin çoğu I. Dünya Savaşı'ndan önce Almanya'da inşa edilmiştir. Son zamanlarda Almanya'daki Mero firması, hazır boru elemanları ve özel düğüm (Mero düğümü) sistemi kullanarak ağ kubbelerin daha yaygın kullanımını sağlamıştır. [19] Bu tip kubbeler Şekil 2.3.4.7. de gösterilmiştir.



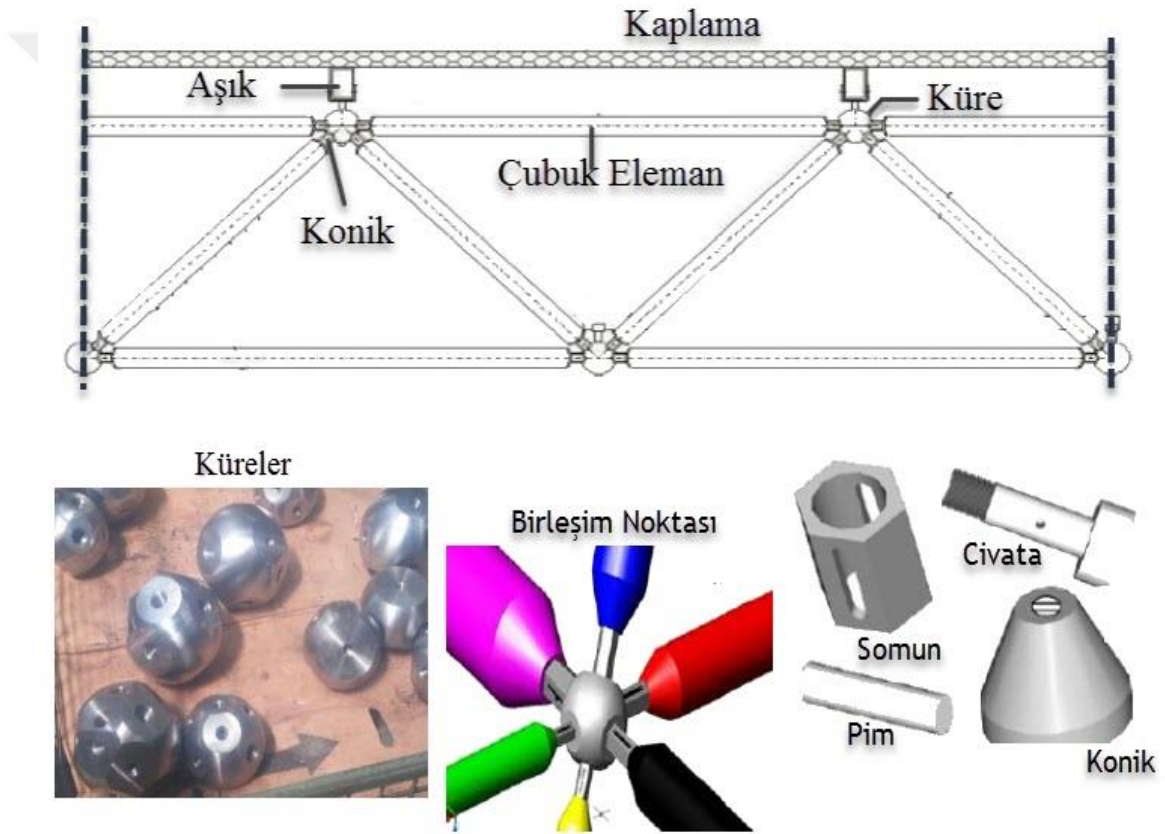
Şekil 2.3.4.7. Föppl kubbelerin plan ve görünüşleri [19].

2.3.5. Piramit Kafes Sistemler

Uzay kafes, planda her iki doğrultuda kırık olan piramit şeklinde bir sistemdir. Yukarıda verilen kafes sistemlerin çeşitli birleşimleri kullanılarak, ana yapının geometrik şekline uygun olan uzay kafes sistem şekilleri türetmek mümkündür.

2.4. Uzay Kafes Sistemleri Oluşturan Elemanlar

Uzay kafes sistemi oluşturan ana bileşenler düğüm noktaları (küre elemanlar) ve çelik çubuklar (boru elemanlar)'dır. Bu bileşenlerden başka konik, cıvata, somun, pim, aşık ve aşık dikmesi gibi yardımcı parçalar da kullanılmaktadır.



Şekil 2.4.1. Uzay kafes yapıları oluşturan elemanlar.

2.4.1. Düğüm Noktaları

Uzay kafes Sistemin ana bağlantı elemanlarından biri olan çelik küreler DIN 17200 normuna uygun C1040 kalitesindeki çelik malzemeden, küre formunda ve sıcak dövme tekniği ile dolu gövdeli olarak üretilir. Kürelere projenin gerektirdiği kadar cıvata deliği açılır ve dış çekilir. Çubuk uçlarındaki cıvataların kürelerde açılan

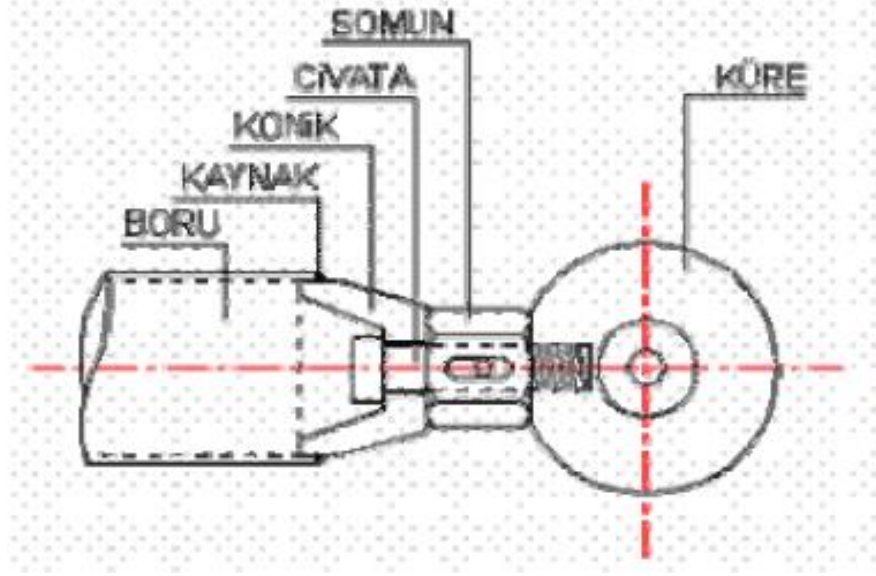
deliklere bağlanmasıyla uzay kafes sistem tamamlanmış olur. Uzay kafes sistemler teşkil edilirken projelerde statik ve geometrik ihtiyaçlara göre 60, 75, 90, 110, 130, 160, 190 mm çapında küreler kullanılırlar. Bir küre üzerine en fazla 18 adet delik açılabilir. Küre delikleri çubukların montajından başka, servis yüklerinin uygulanması ve aşıkların montajı için de kullanılabilir [20]



Şekil 2.4.1.1. Uzay Kafes Sistemlerde Düğüm Noktası (Küre Eleman) [20].

2.4.2. Çubuk Elemanlar

Uzay kafes sistemlerin ana bileşeni olan çubuklar, her iki ucuna konik elemanların gazaltı kaynak kullanılarak birleştirildiği borulardan oluşurlar. (Şekil2.4.2.1) Kullanım yüklerine göre çelik malzeme St37 veya St52 özelliklerinde olabilirler. Çekme ve basınç kuvvetleri, konik elemanlarla düğüm noktalarına aktarılır. Ayrıca birleşimde kullanılacak malzeme kalitesi en az boru kalitesinde olmalıdır [20].



Şekil 2.4.2.1. Uzay Kafes Çubuk Uç Detayı [20].

Uzay kafes sistem boruları, TS 301/3 ve DIN2440 normuna uygun olarak üretilirler. En çok kullanılan boruların çapları, et kalınlıkları ve kesit alanları Tablo 2.4.2 de verilmiştir. Projeye göre, borular 1" ile 10" arasında, çeşitli çap ve et kalınlıklarından meydana gelebilir.

Tablo 2.4.2. Çubuklarda (borularda) enkesit özellikleri [20].

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

2.4.3. Konikler

Yukarıda Şekil 2.4.2.1. de verilen kesitteki konik parçaların malzemesi boru malzemesiyle aynı kalitede olup, kaynak kabul etme özelliği yüksektir. Bu konik parçalar içi dolu silindirik malzeme olup, CNC tezgâhlarında, boru ve küre bağlantısını sağlamak için kullanılacak civataya uygun şekilde dış açılır ve çubukların her iki ucuna gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak tespit edilirler. Konikler üzerindeki dış çapı ve dış boyu çubuk kuvvetine göre hesaplanmaktadır. Aşağıda Şekil 2.4.3.1 te çeşitli konik tipleri verilmiştir [20].



Şekil 2.4.3.1. Konik tipleri [20].

2.4.4. Civatalar

Civatalar, konik elemanlar içinde döneabilen ve çekme kuvvetlerini karşılayan birleşim aracıdır. Bu elemanların dış kısmında delik açılmış olup dişli kısmıyla da küreye bağlantı yapılmaktadır. (Şekil 2.4.4.1) Titreşimden etkilenmemesi için dişlerin sık olması gerekmektedir.

Civatalarda, imalatı yapan ve ayrıca kalitesini bildiren yazı veya işaretler bulunur. Tamamen mukavemet hesap sonuçlarına uygun kalitede ve boyutlarda seçilirler. Yapılan hesaplara göre 8.8 veya 10.9 kalitesinde uygun civatalar

kullanılmaktadır. Kullanılan civataların teknik özellikleri aşağıda Tablo 2.4.4. de verilmiştir.



Şekil 2.4.4.1. Civata tipleri [20]

Tablo 2.4.4. Kullanılan civataların teknik özellikleri

Civata Çapı (mm)	Civata Kalitesi	Civata Uzama Gerilmesi	Çekme Dayanımı
M12	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M12	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M16	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M16	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M20	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M20	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M27	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M27	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M30	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M30	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M34	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M34	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M42	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M42	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²
M48	8.8	64 kg / mm ²	80 kg / mm ²
M48	10.9	90 kg / mm ²	100 kg / mm ²

Birinci rakam 10 ile çarpılınca, çıkan değer malzemenin çekme dayanımını verir.

8.8 için $8 \times 10 = 80 \text{ kg / mm}^2$

10.9'da $10 \times 10 = 100 \text{ kg / mm}^2$

İkinci rakam (8.8'in ikinci 8'i) $8 = 0.8$ 'dir. Yani ikinci rakam yukarıda bulunan çekme dayanımı ile çarpılarak çeliğin civata uzama gerilmesi bulunur.

$$80 \times 0.8 = 64 \text{ kg / mm}^2$$

$$100 \times 0.9 = 90 \text{ kg / mm}^2$$

2.4.5. Somun ve Pimler

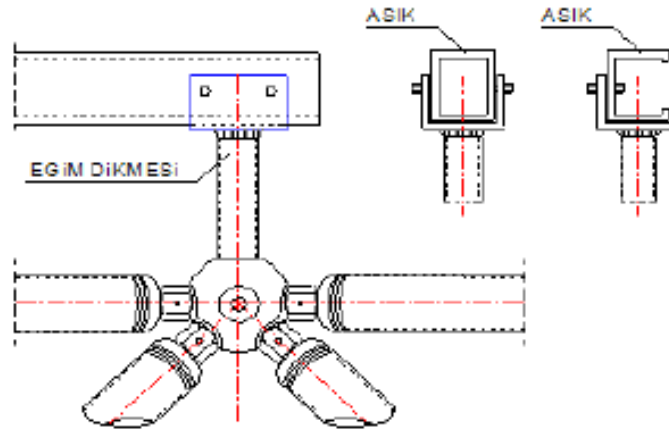
Somunlar uzay kafes sistemde, hem çubuklarla birlikte eksenel basınç kuvvetine karşı çalışan, hem de montaj esnasında anahtar kullanılarak civatanın küreye sıkılmasını sağlayan parçalardır. Malzeme kalitesi en az St37'dir. Statik sistemde oluşan basınç kuvvetlerine göre somunların çap ve et kalınlıkları değişir ve özel olarak imal edilirler. Hesaplanan kuvvetin büyüklüğüne göre malzeme kalitesi de artabilir [20].

Pimler, civatalarda ve somunlarda bulunan deliklere takılarak civataların dönmesini sağlayan parçalardır. Pimlerin kuvvet taşıyıcı hiçbir özelliği yoktur.

2.4.6. Aşıklar ve Aşık (Eğim) Dikmeleri

Çatı ve cephe kaplamaları ve derelerin uzay kafes sisteme bağlantısını sağlayan aşıklar, genellikle dikdörtgen kutu kesitli profillerden oluşur. Bazen I, Z ve U profilleri de kullanılabilir. Aşıklar uzay kafes sistemin üzerine eğim dikmeleriyle gerekli yükseklikte bağlanırlar. (Şekil 2.4.6.1.) Malzemesi St37 olan aşıklara, çubuklara (borulara) uygulanan temizlik, boya ve galvaniz işlemleri uygulanır.

Aşık dikmeleri, uzay kafes sistemde çatı eğimini oluşturmak için üst başlık kürelerine bağlanan yükseltme parçalarıdır.(eğim dikmeleri) Dikmeler, eğim yüksekliğine, bağlandığı küre çapına göre farklı boylarda olur. Çatı eğimi sistem tarafından oluşturuluyorsa, aşık dikmelerine gerek duyulmaz.



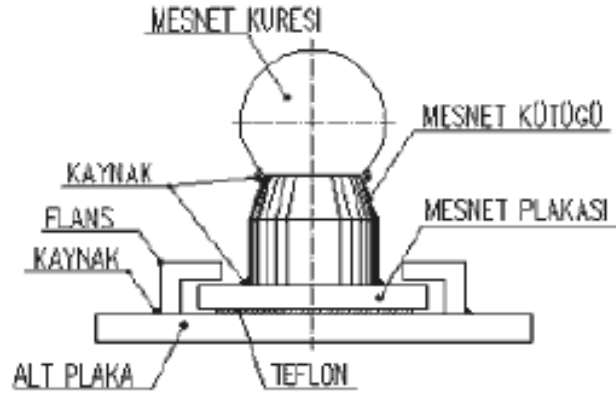
Şekil 2.4.6.1. Düğüm Noktasında Aşık ve Aşık Dikmesi Detayları [20].

2.4.7. Mesnetler

Uzay kafes sistemlerde sistem stabilitesini sağlamak üzere, sabit ve kayıcı mesnetler oluşturulur. Mesnetler, ısı değişimi ve diğer nedenlerden oluşacak hareketleri minimize edecek şekilde düzenlenirler. Mesnetlerin şekil ve boyutları sistem özelliklerine göre çok çeşitli olabilmektedir.

Mesnetler, kürelerin altlarına kaynakla birleştirilen yükseltme parçalarının kaynaklandığı plakalar ve bunların içerisinde hareket edebildiği flanşlardan oluşurlar. (Şekil 2.4.7.1.) Statik sistem çözümüne göre sabit, bir yöne kayıcı veya iki yöne kayıcı olarak göz önüne alınan mesnetlerde, kayıcılıklarını sağlamak için sürtünme katsayısı çok düşük teflon malzemeden plakalar kullanılır [20].

Mesnet elemanları, uzay kafes sistemin en önemli bağlantı noktasıdır. Bu mesnet noktasının en iyi şekilde yerleştirilmesi ve hesaplanması yapı güvenliği açısından son derece önemlidir.



Şekil 2.4.7.1. Tipik mesnet noktası [20]

2.5. Kafes Çubuk Elamanının Analizi

Kafes çubuk elemanları moment ve kesme almadıklarından aksel olarak çalışırlar. Sadece aksel yük aldıklarından matris denkleminde moment ve kesme sıfır alınır. Çubuğun aldığı kuvvetler Şekil 2.5.1. de gösterilmiştir.



Şekil 2.5.1. Aksel kuvvet alan kafes çubuk elemanı

P : Kuvvet

k : Eleman Matrisi

σ : Gerilme

A : Alan

L : Boy

ΔL : Yer Değiştirme

E : Elastisite modülü

u : Eleman Noktasal Yerdeğiştirme

ϵ : Şekil Değiştirme Tansörü

$$P = \sigma.A$$

$$(\sigma = E.\varepsilon)$$

$$P = E.\varepsilon.A$$

$$P / \varepsilon = E.A$$

$$\varepsilon = \Delta L / L$$

$$(P.L) / \Delta L = E.A$$

$$(E.A) / L = k$$

$$\Delta L = x$$

$$P = k.x$$

$$\begin{pmatrix} F_{1x} \\ F_{1y} \\ F_{1z} \\ F_{2x} \\ F_{2y} \\ F_{2z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{EA}{L} & 0 & 0 & -\frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{L} & 0 & 0 & \frac{EA}{L} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} u_{1x} \\ u_{1y} \\ u_{1z} \\ u_{2x} \\ u_{2y} \\ u_{2z} \end{pmatrix}$$

Şekil 2.5.2. Kafes çubuk elaman matrisi.

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

Proje materyali, bir çalışmanın en temel taşlarından birisini oluşturmaktadır. Elde edilecek tüm sonuçlar değerlendirmeler ve alınacak kararlar, kullanılacak materyal seçiminin kararlılığına ve doğruluğuna bağlıdır. Gerçekten çok uzak veya yanlış bir şekilde alınan çıktılar, yapılan çalışmanın gerçeğinden uzaklaştırılmasına ve yanlış bilgiler doğmasına neden olacaktır. Bu nedenle, alınacak sonuçların gerçeğe en yakın şekilde olabilmesi için sonlu elemanlar analizini temel alan bir ticari yazılım ele alınmış ve optimizasyon algoritmasıyla birleştirilerek optimum tasarım yazılımı geliştirilmiştir. Buradan alınan sonuçlara göre oluşturulacak yapı elemanın değişkenleri belirlenmiş ve en uygun tasarım modeli geliştirilmiştir.

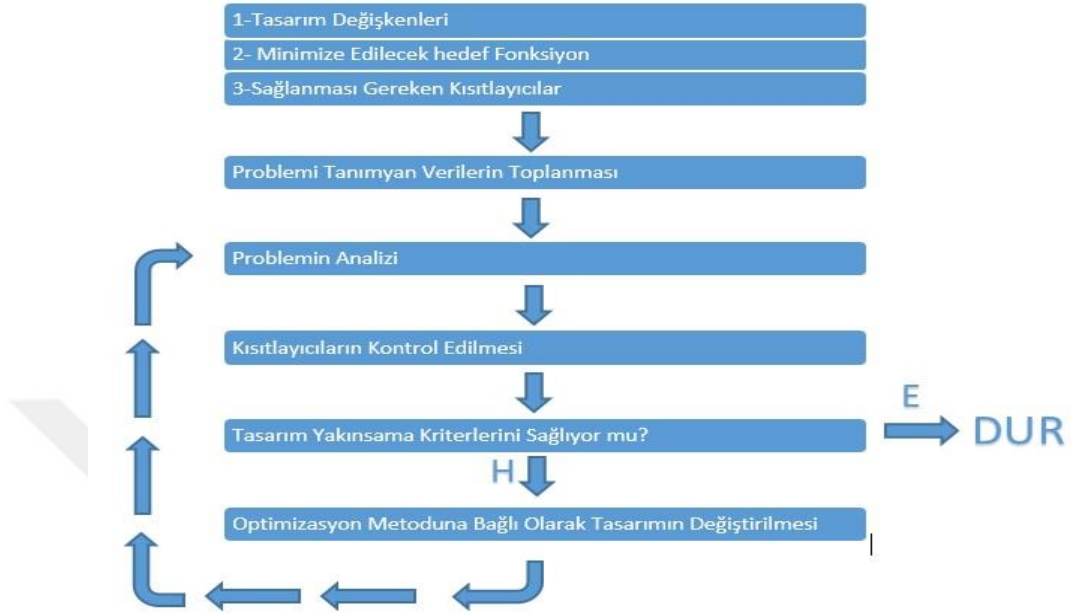
3.2. Yöntemler

Günümüzde sayısı giderek artan deneysel ve bilimsel araştırmalar sayesinde, birçok yöntem ve hayatı kolaylaştıracak formüller geliştirilmiştir. Meydana gelen tüm çalışmaların her alanda olduğu gibi mühendislik alanında da sayısız faydaları olmuştur. Bu yöntemlerden biri olan, sezgisel optimizasyon teknikleri, sayısı günden güne artan hayatın bütünüyle bağdaşmış bir araçtır. Kendi içerisinde de birçok çeşitlere ayrılmıştır. Oluşturulacak olan bu tez çalışmasında da sezgisel optimizasyon tekniklerinin daha önce az kullanılmış bir çeşidi olan, Kurt Kolonisi yöntemi tercih edilmiştir.

3.2.1. Optimizasyon

Optimizasyon, bir sistemin tasarlanmasında olası tüm çözümlerin arasından en iyisinin bulunması olarak ifade edilebilir. Belirli kısıtları olan, bir problemin sonucunu etkileyen parametre değerlerinin bulunarak en kârlı sonucun minimum maliyetlerle belirlenmesini hedeflemek, problemin optimize edilmesi anlamını taşır. Her bir gerçek dünya probleminde gerekli çaba, sermaye, malzeme ve işçiliğin minimum seviyede belirlenmesi ve kazancın maksimum düzeyde olması en gerçekçi amaç olmuştur. Optimizasyon işleminde problemin çözümünü belirleyen karar değişkenlerinin belirlenmesi, sonrasında ise bu karar verici parametreler ışığında minimize edilecek maliyet fonksiyonu ya da maksimize edilecek kâr fonksiyonları tanımlanmalıdır. Bunların tanımlanmasında problemi sınırlayan, karar değişkenlerinin alabileceği değer ya da değer aralıklarını ifade eden sınırlamaların

belirtilmesi gerekmektedir. Probleme göre bazı kısıtlamalar eşitsizlik, bazıları ise eşitlikler şeklinde olabilmektedir. Şekil 3.2.1.1. de bir sistem tasarlanırken optimizasyona ait yukarıda açıklanan adımlar şematize edilmiştir.



Şekil 3.2.1.1. Tasarım Optimizasyonu [23].

Genel bir ifade ile optimizasyon problemine örnek verilecek olursa;

$F(\vec{x})$ fonksiyonunu $g(\vec{x}) \leq 0 ; h(\vec{x}) = 0$ koşulları altında minimum veya maksimum yapan $\vec{x}$ değerlerinin belirlenmesi bir optimizasyon problemidir.

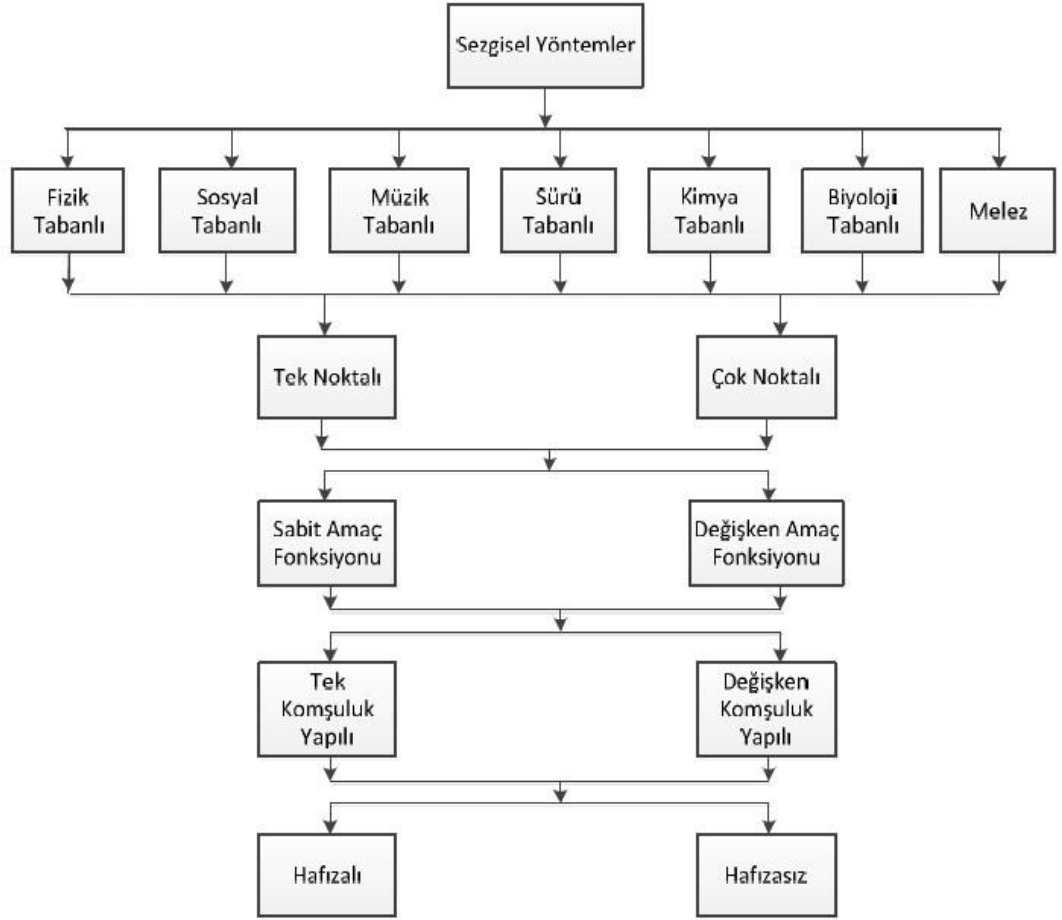
Sembol	Anlamı
$F(\vec{x})$	: Amaç Fonksiyonu
$\vec{x}$	: Tasarım değişkenleri
$g(\vec{x}) \leq 0$	: Sınırlayıcılar
$h(\vec{x}) = 0$	

3.2.2. Sezgisel Optimizasyon

Sezgisel algoritmalar, herhangi bir amacı gerçekleştirmek veya hedefe varmak için doğal fenomenlerden esinlenen algoritmalarlardır. Bu algoritmaların, çözüm uzayında optimum çözüme yakınsaması ispat edilememektedir. Yani sezgisel algoritmalar yakınsama özelliğine sahip olmaktadır, ama kesin çözümü garanti edilememektedir ve bu kesin çözümün yakınlarında bir çözüm garanti edilebilmektedir. Anlaşılabilirlik yönünden sezgisel algoritmaların karar verici açısından çok daha basit olabilmelerinden, optimizasyon problemlerinin kesin çözümü bulma işleminin

tanımlanamadığı bir yapıya sahip olmasından ve öğrenme amaçlı ve kesin çözümü bulma işleminin bir parçası olarak kullanılabilirliğinden sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır [26].

Genel amaçlı sezgisel yöntemler; biyoloji tabanlı, fizik tabanlı, sürü tabanlı, sosyal tabanlı, müzik tabanlı ve kimya tabanlı olmak üzere altı farklı grupta değerlendirilmektedir. Ayrıca bunların birleşimi olan melez yöntemler de vardır. Bahsedilen bu yöntemler Şekil 3.2.2.1’te sunulmaktadır. Genetik algoritma (GA), diferansiyel gelişim algoritması, karınca koloni algoritmaları, yapay sinir ağları, arı koloni algoritmaları ve yapay bağışıklık sistemleri biyolojik tabanlı; emperyalist yarışmacı algoritma, parlamenter optimizasyon algoritması ve tabu arama sosyal tabanlı; yapay kimyasal reaksiyon algoritması kimya tabanlı; armoni arama algoritması müzik tabanlı; ısıtma işlemi, büyük patlama büyük sıçrama, yerçekimsel arama algoritması, merkez kuvvet optimizasyonu, zeki su damlacıkları algoritması ve elektromanyetizma algoritması fizik tabanlı ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Kedi Sürüsü Optimizasyonu (KSO) sürü tabanlı algoritma ve modellerdir. Kültürel algoritma da hem biyoloji hem de sosyal tabanlı algoritma olarak sınıflandırılabilir [26].



Şekil 3.2.2.1. Sezgisel Yöntemler [26].

Bu tez kapsamında kurt kolonisi optimizasyon yöntemiyle karşılaştırma yapılacak optimizasyon yöntemleri ABC, BBO ve BSO algoritmalarıdır.

ABC, sürü tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. Ateş böceği, karınca kolonisi, parçacık sürü, yapay balık, bakteriyel besin arama, kurt kolonisi ve kedi sürüsü optimizasyon yöntemleri diğer sürü tabanlı optimizasyon yöntemlerine örnek verilebilir. Bu optimizasyon yöntemi genellikle topluluk halindeki bireylerin bir amaca ulaşmak için izledikleri yol ve yöntemler gözlemlenerek davranışlarındaki optimum hareketlerden elde edilen veriler ışığında oluşturulmuştur [25].

BBO, biyolojik çeşitlilik ve popülasyon tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. Biyoloji tabanlı diğer optimizasyon yöntemlerine akıllı su damlası, su akışı, yapay dış, su çevrim, su dalga algoritmaları, genetik algoritma, yapay sinir ağları

algoritması örnek olarak verilebilir. Bu algoritmalar biyolojik evrimi esas alarak geliştirilen sezgisel yöntemlerdir [25].

BSO, sosyal tabanlı optimizasyon yöntemlerinden biridir. Diğer sosyal tabanlı optimizasyon tekniklerine örnek olarak emperyalist yarışmacı algoritma, öğretim öğrenme tabanlı optimizasyon, sosyal duyuşal optimizasyon, grup liderleri optimizasyon algoritması, hiyerarşik sosyal algoritma, insan grup formasyon algoritması, kültürel algoritma gösterilebilir. İnsanlar arasındaki kişisel veya profesyonel ilişkilerin oluşturduğu yapıya sosyal ağ denilebilir. Sosyal ağ ilişkileri günümüzde oldukça önem kazanmış ve gelişmiştir bu sayede daha fazla veri ve bilgi paylaşımı yapabilir hale gelmiştir. Ağlardaki topluluklar ve topluluklardaki bireylerin ortak fikirleri, çalışmaları, benzerlikleri konusunu da inceleme konusu olmuştur [25].

3.2.3. Sürü Zekası

Sürü, birbirleriyle etkileşim halinde bulunan dağınık yapıya sahip, bireylerin oluşturduğu yapılara denir. Canlılar topluluğunu oluşturan arılar, karıncalar, koyunlar, kuşlar, kurtlar vb. canlılar bu sürülere örnek gösterilebilir [24].

Zekâ, insanların öğrenme, anlama, soyut düşünme, sebeplendirme, planlama, problem çözme ve kanıya varma gibi zihinsel yeteneklerine verilen genel bir ifadedir [24].

Sürü zekâsı ise deneyimsiz canlı kolonilerinin, kolektif davranışları sayesinde çevreleri ile etkileşim halinde gösterdikleri yem bulma, taşıma işinde yardımlaşma, kümelenme gibi davranışlarından esinlenerek bir zekâ geliştirmeleridir [24].

Karıncaların incelenmesinde sosyal bir yapı içerisinde kendi vücutlarından kurdukları köprülerle geniş aralıkları kolayca aşabildikleri gözlemlenmiştir. (Şekil 3.2.3.1.). Tek başlarına bir başarı gösterememelerine rağmen, sürü halinde hareket etmeleri sonucu zekice davranışlar sergileyebilmektedirler. Topluluktaki bireyler, en iyi bireyin ya da diğer bireylerin davranışından faydalanarak yorum yapmakta, gerektiğinde davranışını değiştirmekte, yuvadaki diğer bireylerle etkileşime devam etmekte ve bu edindikleri deneyimleri olası durumlarda çözüm yeteneği olarak ortaya koyabilmektedirler [24].

Sürülerde N adet temsilci bir amaca yönelik davranışı gerçekleştirmek ve hedefe ulaşmak için birlikte çalışmaktadır. Kolaylıkla gözlenebilen bu "kollektif zekâ" temsilciler arasında sık tekrarlanan davranışlardan doğmaktadır. Temsilciler faaliyetlerini idare etmek için basit bireysel kurallar kullanmakta ve grubun kalan kısmıyla etkileşim yolu ile sürü amaçlarına ulaşmaktadır. Grup faaliyetlerinin toplamından bir çeşit kendini örgütlenme doğmaktadır [24].



Şekil 3.2.3.1. Karınca Köprüsü [24].

Sürü zekâsı optimizasyon algoritmalarının bazı örnekleri alt başlıklar halinde aşağıda açıklanmıştır.

3.2.3.1. Ateş Böceği Optimizasyonu

Ateş böceği algoritması, Dr. Xin-She Yang tarafından geliştirilen ve tropikal iklim bölgelerindeki ateşböceklerinin sosyal davranışlarını baz alan bir metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bu algoritma diğer sürü zekâsı tabanlı algoritmalarla birçok benzerliği bulunmasına rağmen kavram ve uygulamada daha basittir. Bir ateş böceğinin ışıklarını yakıp söndürmesinin birincil amacı, diğer ateş böceklerini çekmek için bir sinyal sistemi olarak hareket etmektir. Yanıp sönen ışıkların üretimindeki karmaşık biyokimyasal sürecin detayları ve gerçek amacı bilim dünyasında hâlâ bir tartışma konusu olmasına rağmen, birçok araştırmacı yanıp sönen ışıkların ateşböceğine, arkadaşlarını bulmada, olası avlarını çekmede ve avcılarından kendilerini korumada yardımcı olduğuna inanmaktadır [26].

Ateşböceği algoritmasında, verimli optimal çözümler elde etmek için, verilen bir optimizasyon probleminin amaç fonksiyonu, ateşböceği sürüsüne parlak ve daha çekici yerlere gitmede yardım eden yanıp sönen ışık ya da ışık şiddeti ile ilişkili olmaktadır. Bütün ateş böcekleri tek cins olarak kabul edilmektedir ve birbirilerini çekmeleri bu algoritmanın temelini oluşturmaktadır. Bir ateş böceği ne kadar parlak olursa diğer ateş böcekleri için o kadar çekici hale gelmektedir. Kendisinden daha parlak bir ateşböceği gördüğünde ona doğru gidecektir [26].

3.2.3.2. Karınca Koloni Optimizasyonu

Gerçek karınca koloni davranışlarının matematiksel modelleri üzerine dayalı bir algoritmadır. İlk çalışma Dorigo ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yaptıkları çalışmada kendi sistemlerine “karınca sistemi”, elde ettikleri algoritmaya ise “karınca algoritması” adını vermişlerdir. Karınca çevre şartlarına göre besin kaynağı ile evi arasında gidebileceği yolları belirlemektedir. Belirlenen yollardan birinden ilk geçen karınca yola feromon adında bir koku bırakmaktadır. Eğer yol kısa ise bu koku daha yoğun olmaktadır ve diğer karıncalar da aynı şekilde yolda devam etmektedirler. İki yolun kesiştiği noktada karınca hangi yola gideceğini belirlemektedir. Hangi yolu seçeceğine ilk önce koku miktarının yoğunluğuna göre ikinci olarak ise gelişigüzel bir ölçüte göre karar vermektedir. Bu gelişigüzel seçimin nedeni ise bütün karıncaların aynı yolda gitmesini engelleyerek yeni ve daha kısa yolları keşfetmektir [26].

3.2.3.3. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Sezgisel yöntemlerden biri olan PSO tekniği ilk olarak kuş ve balık sürülerinin hareketlerinden esinlenerek doğrusal olmayan nümerik problemlere optimal sonuçlar bulmak için 1995–1996 yıllarında sosyolog-psikolog James Kennedy ve elektrik mühendisi Russel Eberhart tarafından ortaya atılmıştır. PSO popülasyon tabanlı olasılıksal bir optimizasyon yöntemi olup çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerine çözümler üretmek için kullanılmaktadır [26].

Parçacık sürü kavramı basitleştirilmiş sosyal sistemin bir simülasyonu olarak ortaya çıkmıştır. Başlangıçtaki amaç, kuş ya da balık sürü koreografisinin grafiksel

olarak simülasyonlarını yapmaktı. Ancak grafiksel simülasyondan sonra, parçacık sürü modelinin bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılabileceği keşfedilmiştir[26].

Kuş toplulukları gerçek yiyecek kaynağını bilmemelerine rağmen, yiyecek kaynağından ne kadar uzakta olduklarını öğrenmeye çalışırlar. Öğrenmek için izlenen yöntem yiyecek kaynağına en yakın olan kuşu izlemektir. PSO'da her bir kuş parçacık olarak, kuş topluluğu da sürü olarak temsil edilir. Parçacık hareket ettiğinde, kendi koordinatlarının uygunluk değeri yani yiyeceğe ne kadar uzaklıkta olduğu hesaplanır. Bir parçacık, koordinatlarını, hızını yani çözüm uzayındaki her boyutta ne kadar hızla ilerlediği bilgisini, şimdiye kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini ve bu değeri elde ettiği koordinatları hatırlamalıdır. Çözüm uzayında her boyuttaki hızının ve yönünün her seferinde nasıl değişeceği, komşularının en iyi koordinatları ve kendi kişisel en iyi koordinatlarının birleşiminden elde edilecektir [26].

3.2.3.4. Yapay Balık Sürüsü Optimizasyonu

Yapay balık sürüsü optimizasyonu, yiyecek aramada balık sürüsünün sosyal davranışlarının benzetimi tabanlı bir zeki optimizasyon algoritmasıdır. Doğada balık, yiyeceğini besin değeri yüksek alanları tek tek arayarak ya da diğer balıkları izleyerek bulabilmektedir. Çok balıklı bölgenin besin değeri genellikle daha yüksek olmaktadır. Bu optimizasyonun temel fikri, küresel optimuma ulaşmak için balık bireyinin yerel aramasıyla toplanma ve izleme gibi balık davranışlarını taklit etmektir. Bir yapay balığın yaşadığı ortam başlıca çözüm uzayıdır ve diğer yapay balıkların konumudur. Bir sonraki davranışı mevcut durumuna ve yerel çevresel durumuna bağlı olmaktadır. Bir yapay balık kendi faaliyetleri ve arkadaşlarının faaliyetleri yolu ile çevresini etkileyecektir [26]

3.2.3.5. Kedi Sürüsü Optimizasyonu

KSO, kedigillerin hareketlerinin incelenmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Kedilerin davranışlarına benzetim yapılarak iki alt model oluşturulmuştur. Bu optimizasyondaki matematiksel modeller kedilerin hareketlerinin çözümlenmesiyle meydana gelmiştir. KSO kullanılarak yapılan bazı çalışmalar şunlardır: Santaso ve arkadaşları kümeleme problemi için KSO'yu kullanmışlardır. Wang ve arkadaşları en az önemli bitin yerine en iyisini getirmek için KSO stratejisi kullanmışlardır. Hwang ve arkadaşları müşterilere göre en uygun sözleşme kapasitesi problemini çözmek için

KSO ve PSO'yu birlikte kullanmışlardır. Destek vektör makinesi için özellik seçimi ve parametre optimizasyonu probleminde KSO, Lin ve Chen tarafından önerilmiştir. Kalaiselvan ve arkadaşları filigran performansının artırılması amacıyla KSO uygulamışlardır. Wang ve Wu e-öğrenmede duygu tanıma problemi için KSO'yu destek vektör makinesiyle birlikte kullanmışlardır. KSO algoritmasının paralel versiyonu da Tsai ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [26].

3.2.3.6. Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu

Arıların yiyecek arama davranışı, öğrenme, bilgi paylaşımı ve ezberleme özellikleri, son zamanlarda sürü zekâsında en ilginç araştırma alanlarından biri olmuştur. Bal arıları üzerinde çalışmalar son yıllarda literatürde bir artış trendi içindedir. Ayrıntılı literatür taraması için "A survey: algorithms simulating bee swarm intelligence" makalesi incelenebilir [26].

Doğal bir arı kolonisinde arılar arasında yapılacak işlere göre bir görev paylaşımı vardır. Arılar bu iş paylaşımını merkezi bir birim olmadan, kendi kendilerine gerçekleştirmektedirler. Bu iş paylaşımı ve kendi kendine organize olabilme sürü zekâsının iki önemli özelliğidir. Tereshko'nun reaktif difüzyon denklemine dayalı olarak ortaklaşa zekânın ortaya çıkmasını sağlayan minimal yiyecek arama modelinde üç temel bileşen vardır. Bunlar yiyecek kaynakları, görevli işçi arılar ve görevsiz işçi arılardır. Ayrıca bu minimal model bir yiyecek kaynağına yönelme ve yiyecek kaynağını bırakma olmak üzere iki modda çalışmaktadır [26].

4. KURT KOLONİSİ ALGORİTMASI (WOLF COLONY ALGORITHM, WCA)

Bu algoritma, kurt kolonisinin sıkı bir organize sisteme sahip olmasından esinlenilerek geliştirilmiştir. Kurtlar görevleri diğerleriyle bölüşmektedirler ve avlandıkları zaman tutarlı adımlar atmaktadırlar. Az miktarda yapay kurt aktif olduğu av aralığında aramaya atanmaktadır. Arama kurtları avı keşfettiği zaman, avın konumunu diğer kurtlara ulumayla bildirmektedir. Diğer yapay kurtlar ava yaklaşmakta ve avı kuşatmaktadırlar. Kurt kolonisinin atanma kuralı, yiyeceğin ilk olarak güçlü kurda atanması ve daha sonra zayıf olana atanmasıdır. Kurt koloni algoritması bu davranışların taklit edilmesiyle geliştirilmiştir [24].

4.1. Davranışların Açıklanması

Arama uzayının boyutunun D olduğunu ve kolonideki birey sayısının n olduğunu varsayalım. (i).yapay kurt pozisyonu X_i olursa;

$$X_i = (X_{i1}, \dots, X_{id}, \dots, X_{iD}) \quad 1 \leq i \leq n, 1 \leq d \leq D \quad (1)$$

4.1.1. Arama Davranışı

Kurtların av bulma şansını arttırmak için, q yapay kurtları av aralığında aramaya atanır.



Şekil 4.1.1. Arama Davranışı [27].

Yapay kurt P_0 üzerindeyken, P_0 çevresinde h yönde h arama pozisyonları hesaplanmıştır ve optimal arama pozisyonu P_1 seçilmiştir. Eğer P_1 konumu P_0 konumundan daha iyiye P_1 yeni konum olarak atanır ve yapay kurtlar P_1 konumuna doğru hareket eder [24].

Q arama kurtlarını ava en yakın kurtlar olduğunu varsayarsak, maksimum arama sayısı $maxdh$ ve (i).arama yapay kurdunun pozisyonu XXi . H pozisyonları XXi çevresinde oluşturulmuş ve (j).arama pozisyonu Yj olursa ($1 \leq j \leq h$)

$$Yj = XXi + rand(n) * stepa \quad (2)$$

Burada $rand(n)$ $[-1,1]$ aralığında rastgele eşit bir aralıkta dağıtılmış ve ($stepa$) ise adım sayısıdır. Eğer arama numarası $maxdh$ 'dan daha büyükse veya geçerli konum optimal arama pozisyonundan daha iyiye arama davranışı biter [24].

4.1.2. Av Kuşatma

Arama kurtları avlarını buldukları zaman avın konumu diğer kurtlara uluyarak bildirirler. Burada diğer yapay kurtlar da ava yakın olsun ve onu kuşatsınlar. Varsayalım ki avın pozisyonu diğer arama yapay kurtlarından daha yakın olsun. (d). arama uzayında avın konumu (k).koloni iterasyonu G_d^k ve (i).yapay kurt pozisyonu X_{id}^{k+1} olursa;

$$X_{id}^{k+1} = X_{id}^k + rand * stepb * (G_d^k - X_{id}^k) \quad (3)$$

($rand$) $[0,1]$ aralığında rastgele bir sayı, ($stepb$) kuşatma adımdır ve (k) iterasyon sayısıdır.

(d). Pozisyon $[Xmind, Xmaxd]$ 'dir. Eğer (3). Formülde hesaplanan değer aralığı aşarsa sınır değer olarak belirlenir.

(3). denklem iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm yapay kurtların mevcut pozisyonu ve ikincisi ise Kurt kolonisinin optimal yapay kurda doğru yönelmesidir. Koloni arasında çalışma ve bilgi paylaşımı eğilim gösterir. Kurt kolonisinin avı kuşattığı gibi WCA ile global optimumu arayabilirsiniz [27].

4.1.3. Kurt Kolonisinin Güncellenmesi

Kurt sürüsünün atanma kuralı yiyecek önce güçlü olan kurda daha sonra ise zayıf kurtlara atanır. Burada güçlü olan kurda en fazla yiyecek atanır ve zayıf olan kurtlarda bir süre sonra açlıktan ölürlere. Bir süre sonra güçlü olan kurtlarda zayıf olacağından kurt kolonisinin adaptasyonu da arttırılmış olur. WCA algoritmasında

koloni içindeki zayıf kurtlar kaldırılır ve yerine yeni kurtlar ürettirilirse bu durum bize çeşitlilik sağlar ve lokal optimumu önlemiş oluruz [27].

4.2. Kurt Koloni Algoritmasının Adımları

1.Adım

- Rastgele “ n ” sayısı
- Maksimum iterasyon sayısı “ $maxk$ ”
- Arama yapacak yapay kurt sayısı “ q ”
- Arama yönü “ h ”
- Maksimum arama numarası “ $maxdh$ ”
- Arama adımı “ $stepa$ ”
- Kuşatma Adımı “ $stepb$ ”
- Zayıf yapay kurt sayısı “ m ”
- (i). Yapay kurt için X_i değerleri belirlenir.

2.Adım

- Yapay kurtlar içinden optimal yapay kurtları seçin ve her arama yapan yapay kurtları formül (2) göre hareket ettirin.

3.Adım

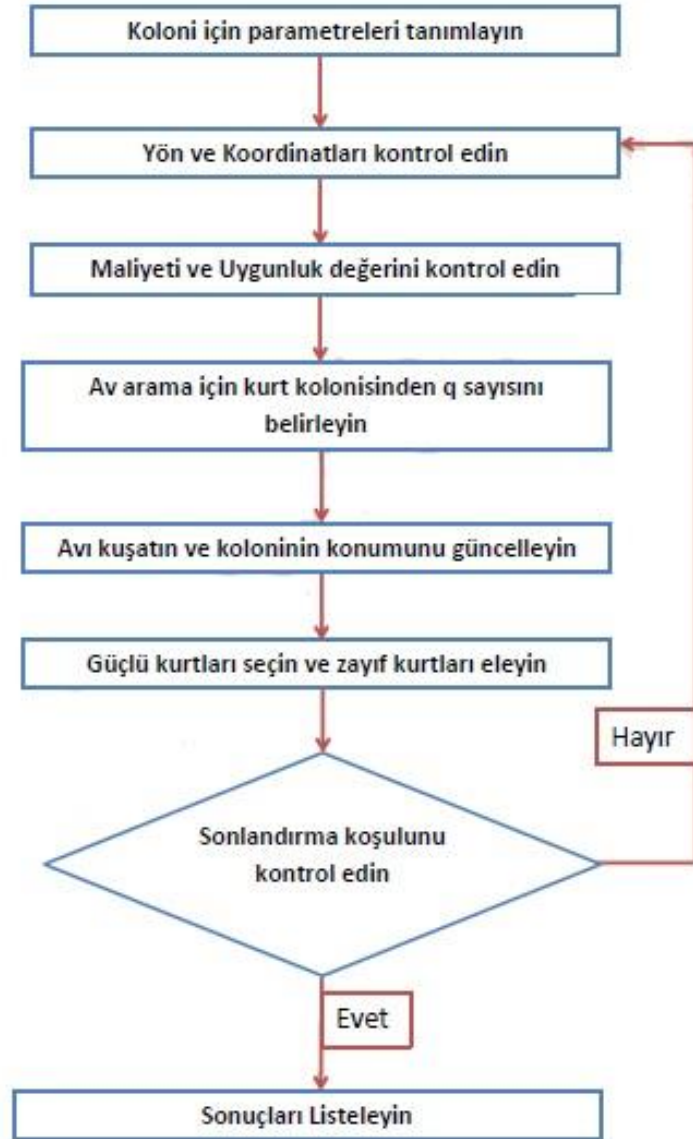
- Arama yapan yapay kurtlar içerisinde ava pozisyonuna göre en iyi pozisyonu seçin
- Tüm yapay kurtların pozisyonunu formül (3)’ e göre yeniden belirleyin.
- Eğer “ X_{id} ” değeri “ X_{mind} ” değerinden küçükse “ X_{id} ” eşittir “ X_{mind} ” olarak atanır.
- Eğer “ X_{id} ” değeri “ X_{maxd} ” değerinden büyükse “ X_{id} ” eşittir “ X_{maxd} ” olarak atanır.

4.Adım

- Kurt kolonisini atanma kuralına göre güncelleyin. Zayıf kurtları koloniden çıkarın ve yeni kurtlar üretin.

5.Adım

- Sonlandırma koşulunun son duruma ulaşp ulaşmadığı kontrol edilir. WCA yineleme adım sayısı maksimum yineleme sayısına ulaşırca, optimal çözüm yapay kurtların içinden probleme en iyi sonucu veren kurdun pozisyonudur. Eğer yineleme sayısı maksimum sayı değerine ulaşmadıysa 2. Adım'a dönölür ve döngü devam eder.



Şekil 4.1.4. Kurt Kolonisi Algoritma Şeması [27].

4.3. Kurt Kolonisi Algoritması Performans Analizi

Parametrelerin seçimi optimizasyon algoritmalarının performansı için çok önemlidir [27]. Wolf Colony Algorithm için önemli olan parametreler aşağıdaki gibidir:

-Kuşatma adımı “stepb”

-Zayıf kurt sayısı “m”

WCA için önemli parametreleri seçmek için aşağıdaki sürekli fonksiyon kullanılır.

$$f1(x) = -20 \exp \left(-0.2 \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2} \right) \quad (4)$$
$$- \exp \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i) \right) + 20 + e,$$
$$S = [-32, 32]^2,$$
$$fmin = 0$$

Fonksiyonun boyutu 30 olduğunda WCA için önemli parametreler farklıdır. Diğer parametreler ise n=200, q=5, h=4, maxdh=15, stepa=1.5, WCA için ortalama optimal değerler aşağıdaki (Tablo 4.3.1.)’de gösterilmiştir [27].

Tablo 4.3.1. Fonksiyon sonuçları [27].

stepb	m	Ortalama Değer	Optimal Değer
0.1	5	0.9702	5.8271e-005
5	5	0.0606	0.0086
0.9	50	0.1090	2.5731e-005
0.9	5	0.0373	9.5163e-007

Tablo4.3.1’de en uygun değer birinci satırda bulunmaktadır. Çünkü “stepb” değer en küçük ve global optimal değeri buradan elde edilebilir. Burada stepb değeri çok büyük olsaydı yapay kurtlar tarafından tespit edilecek olan pozisyonlar sınır değerini aşacak ve global optimal değeri arama yeteneği azalır. “m” için uygun değerler küçük olmalıdır. Aksi takdirde koloni içindeki değerler rastgele olarak değiştirilecek ve bundan dolayı yakınsama hızı ve arama hızı etkilenecektir [27].

Arama yapay kurt sayısı “q” ve arama yönü “h” çok büyük değerler seçilemez. Eğer bu değerler çok büyük seçilirse arama alanı çakışması ve hesaplama

maliyeti artar. Arama yapay kurt sayısı koloni sayısından küçüktür. “h*maxdh” değeri “n” değerinden küçük olduğu varsayılırsa WCA algoritmasını zaman karmaşıklığı $O(n*maxk)$ [27].

Yakınsama ve global arama yeteneğini test etmek için aşağıdaki fonksiyonları kullanılmıştır [27].

❖ Sphere(Küre) Fonksiyonu:

$$f2(x) = \sum_{i=1}^n |x_i|^2 \quad S = [-100,100]^n, fmin = 0 \quad (5)$$

❖ Schwefel Fonksiyonu:

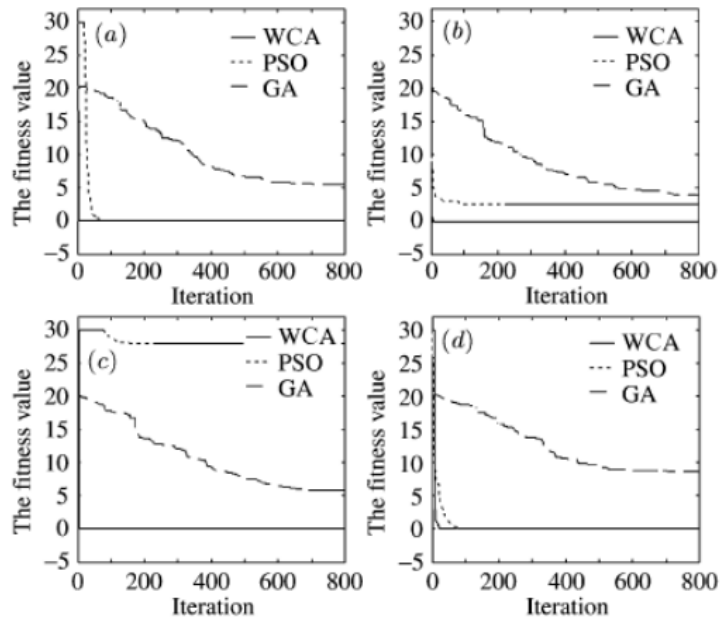
$$f3(x) = \max(|x_i|, 1 \leq i \leq n), S = [-100,100]^n, fmin = 0 \quad (6)$$

❖ Rosenbroc Fonksiyonu:

$$f4(x) = \sum_{i=1}^n [x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10] \quad S = [-5.12,5.12]^n, fmin = 0 \quad (7)$$

❖ Rastigri Fonksiyonu:

$$f5(x) = \frac{1}{4000} \sum_{i=1}^n |x_i|^2 - \prod_{i=1}^n \cos\left(\frac{x_i}{\sqrt{i}}\right) + 1, \quad S = [-600,600]^n, fmin = 0 \quad (8)$$



Şekil 4.3.1. Algoritmaların Yakınsama Eğrileri [27]. (a) Sphere Algoritması, (b) Schwefel Algoritması, (c) Rosenbroc Algoritması, (d) Rastigri Algoritması

İlk iki fonksiyonda tek bir yerel optimum varken diğerlerinde iki veya daha fazladır. Üç algoritma karşılaştırılırsa, hepsinin yineleme sayısı 800. WCA için parametre değerleri $n=200$, $q=5$, $h=4$, $\max dh=15$, $\text{stepa}=1.5$, $\text{stepb}=0.9$, $m=5$. Pso için parçacık sayısı 200 ve etkileşim olmayan ağırlıklı değer ise 0.729 öğrenme katsayılarıysa 1.496. Çaprazlama ve mutasyon değerleri sırasıyla 0.9 ve 0.1'dir. Popülasyon nüfusu 600 ve bir bireyin yaşam uzunluğu 900. Tüm algoritmalar için aşağıda Tablo 4.3.2. de değerleri gösterilmiştir [27].

Tablo 4.3.2. Test Sonuçları [27]

Fonksiyon		Sphere	Schwefel	Rosenbroc	Rastigri
Ortalama Değer	WCA	3.0815e-009	7.8201e-006	2.4866e-006	1.7545e-012
	PSO	0.0628	6.2732	51.6593	0.1408
	GA	0.4125	0.3632	0.0011	14.3940
Optimal Değer	WCA	2.7055e-011	1.8378e-007	5.7362e-008	1.1102e-016
	PSO	0.0024	3.7711	17.9819	0.0022
	GA	0.2443	0.1673	4.2302e-004	6.1172

- ❖ Tablo 4.3.2. de görüldüğü gibi PSO ve GA yerel optimumda sıkışıp kalmıştır [27].

4.3.1. Kurt Kolonisi Algoritmasının Değerlendirilmesi

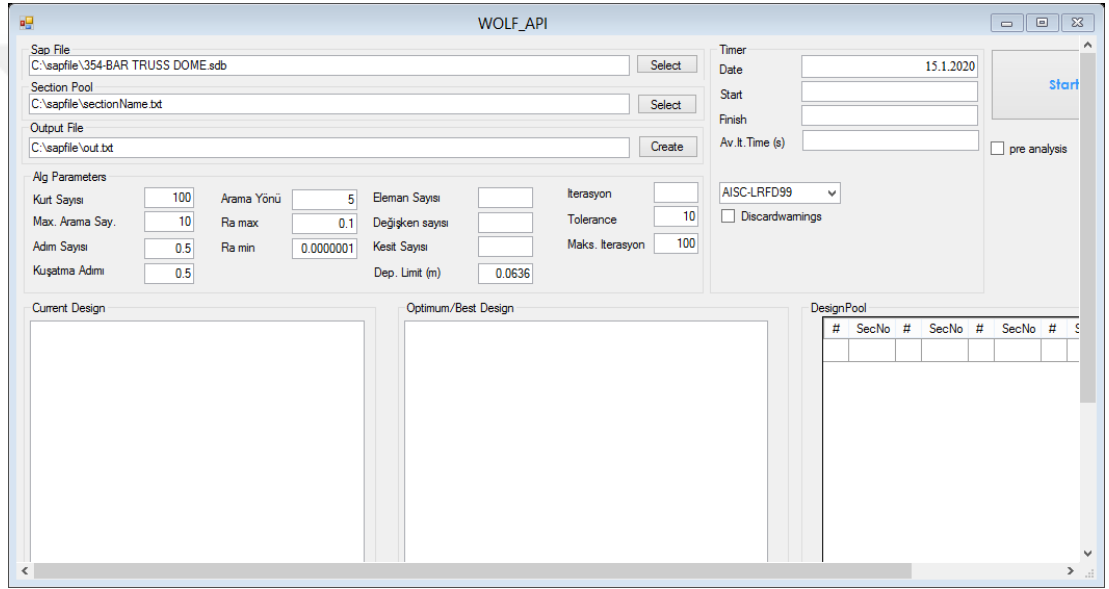
WCA kurt davranışlarına dayalı bir algoritmadır. Kurt kolonisi birlikte yaşama ve işbirliği yoluyla global optimumu arar. WCA performansı optimizasyon problemlerine göre tartışılmıştır. WCA robotlar için yol planlamasında kullanılan bir algoritmadır [27]. Genel olarak üç özelliği aşağıda verilmiştir.

1. Global arama yeteneği. Arama yapay kurtları ava en yakın konumu arar bu yüzden algoritmanın global arama yeteneği çok güçlüdür.
2. Basitlik. Algoritma basit fonksiyonlar kullanır ve uygulaması çok kolaydır.
3. Genelleme. Algoritmada birkaç değişiklik yapılarak istenilen problemlerde kullanılabilir.

- ❖ Bu üç değerlendirmeden dolayı WCA algoritması optimizasyon problemlerinde kullanmak için uygundur.

5. UYGULAMALAR

İki adet eğrisel formda çelik konstruksiyon yapısı, kurt kolonisi optimizasyonuna göre boyutlandırılmıştır. Programlaması yapılan kurt kolonisi API yazılımı ile istenilen deplasman değerleri ve istenilen çelik yönetmeliği seçilmiştir. Ardından kurt kolonisinde gerekli parametrelerden olan; kurt sayısı, maksimum arama sayısı, adım sayısı, kuşatma sayısı ve arama yönü programa girilmiş ve gruplama işleminde oluşturulan grup sayısı sistemde değişken sayısı olarak kabul edilmiştir. Ve son olarak tüm çubuk elemanların sayısı ve modelleme için oluşturulan kesitlerin sayısı girilmiştir. Yazılım görseli Şekil 5.1. de ki gibidir.



Şekil 5.1. Kurt Kolonisi Algoritması Optimizasyon yazılımı.

Kullanılan modeller API (Application Programming Interface: Program arayüz uygulaması) özelliği ve Sap 2000 programı ile entegre çalışan Visual Basic programla dili kullanılarak oluşturulan yazılım kullanılarak analiz edilmiştir. Oluşturulan yazılım Şekil 5.1. de gösterilmiştir.

Wolf API programlaması ile analizler diğer optimizasyon programlarında da olduğu gibi seri şekilde analizleri gerçekleştirerek en uygun boyutlandırmayı yapmıştır ve Kurt kolonisi algoritması yapı elemanlarına en uygun boyutları vermek suretiyle boyutlandırmayı yapmıştır.

Bu çalışmalar doğrultusunda ele alınan iki örnekte daha önce farklı optimizasyon yöntemleri ile çözülmüş yapıyı kurt kolonisi yöntemi ile boyutlandırıp karşılaştırılması yapılmıştır. Birinci örnek olan çelik kubbe 354 çubuk eleman, ikinci örnek tonoz çatı ise 693 çubuk elemandan oluşmaktadır ve 37 kesit kullanılarak kurt kolonisi yöntemi doğrultusunda farklı kombinasyonlar denenmiş, yapılan gruplamalar için optimum boyutlandırma gerçekleştirilmiştir. Tanımlanan boru kesitleri Tablo 5.1’de verilmiştir.

Tablo 5.1. Tanımlanan Boru Profiller

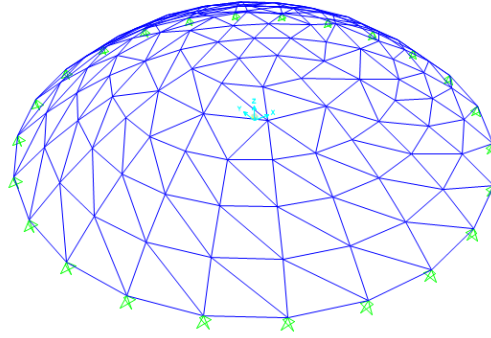
Kesit İsmi	t3 (cm)	tw(cm)	Alan(cm²)	Kg/m
P.5	2,13	0,28	1,61	1,27
PX.5	2,13	0,37	2,06	1,62
P.75	2,67	0,29	2,15	1,69
PX.75	2,67	0,39	2,79	2,20
P1	3,34	0,34	3,19	2,51
PX1	3,34	0,45	4,12	3,25
P1.25	4,22	0,36	4,32	3,40
P1.5	4,83	0,37	5,15	4,06
PX1.25	4,22	0,49	5,68	4,48
P2	6,03	0,39	6,9	5,44
PX1.5	4,83	0,51	6,9	5,44
PX2	6,03	0,55	9,55	7,53
P2.5	7,3	0,52	10,97	8,64
P3	8,89	0,55	14,39	11,34
PX2.5	7,3	0,7	14,52	11,44
PXX2	6,03	1,11	17,16	13,52
P3.5	10,16	0,57	17,29	13,62
PX3	8,89	0,76	19,48	15,35
P4	11,43	0,6	20,45	16,11
PX3.5	10,16	0,81	23,74	18,71
PXX2.5	7,3	1,4	26	20,49
P5	14,13	0,66	27,74	21,86
PX4	11,43	0,86	28,45	22,42
PXX3	8,89	1,52	35,29	27,81
P6	16,83	0,71	36	28,37
PX5	14,13	0,95	39,42	31,06
PXX4	11,43	1,71	52,26	41,18
P8	21,91	0,82	54,19	42,70
PX6	16,83	1,1	54,19	42,70
PXX5	14,13	1,91	72,9	57,45
P10	27,31	0,93	76,77	60,49

Tablo 5.1.'in devamı

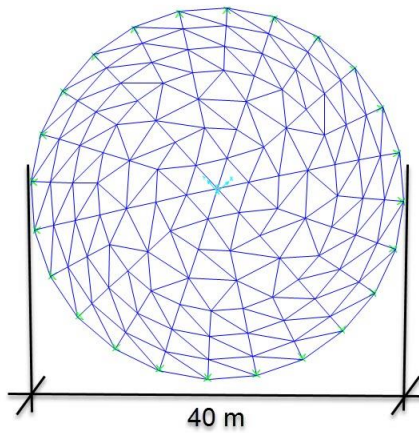
PX8	21,91	1,27	82,58	65,07
P12	32,39	0,95	94,19	74,22
PXX6	16,83	2,19	100,64	79,30
PX10	27,31	1,27	103,87	81,85
PX12	32,39	1,27	123,87	97,61
PXX8	21,91	2,22	137,42	108,29

5.1. Çelik Kubbe Çatı

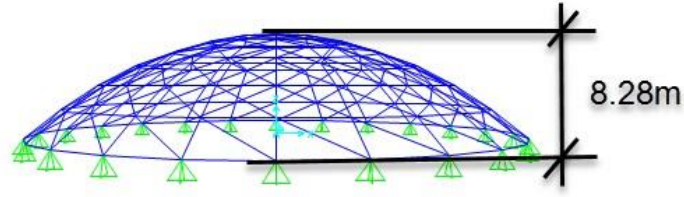
Üç boyutlu görünümü Şekil 6.1.1.'de verilmiş olan uzay kafes kubbe modeli 40m çapında, 8.28m yüksekliğinde tasarlanmıştır [25]. Modelde 354 çubuk eleman 127 düğüm noktasına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Şekil 5.1.2.'deki plan görünümünde belirtildiği şekilde yapı elemanların benzerlik ve konumlarına göre 22 farklı grupta toplanmıştır.



Şekil 5.1.1. Çelik kubbe çatının üç boyutlu görünümü



Şekil 5.1.2. Çelik kubbe çatının üstten görünümü



Şekil 5.1.3. Çelik kubbe çatının yandan görünüşü

Tasarım amacına uygun olarak üç yük kombinasyonu oluşturulmuştur.

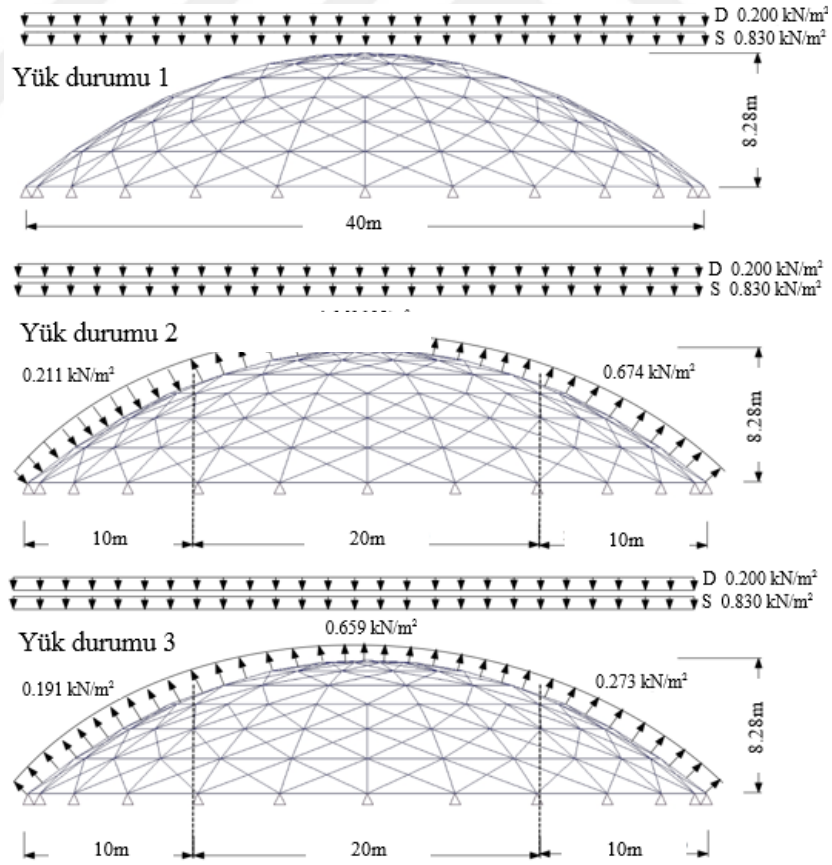
Kombinasyondaki ölü (D), rüzgar (W) ve kar (S) yükleri ASCE 7-98' de verilen hükümlere göre hesaplanmıştır.

Kombinasyonlar;

Yük durumu 1 : D+S

Yük durumu 2 : D+S-W

Yük durumu 3 : D+S+W



Şekil 5.1.4. Çelik kubbe yükleme durumu [25].

Fazla hesap yükünden kaçınmak için birikme kar yükü ihmal edilmiştir. Bu kombinasyonların açıklaması şekil 5.1.4.' de gösterilmiştir. Kubbe yüzey alanında ölü yük ve kar yükü varken rüzgar yükünün etkidiği düşünülerek kombinasyonlar oluşturulmuştur. Alüminyum sandviç panel kaplama malzemesi kullanıldığı düşünülerek hesaplanan ölü yük değeri 200 N/m²'dir. ASCE 7-98'de verilen formüle göre hesaplanan tasarım kar yükü değeri denklem (5.1.1.) de verilmiştir [25].

$$p_s = 0.7C_sC_eC_tI_Bp_g \quad (5.1.1.)$$

Formülde kullanılan simgelerden C_s çatı eğim faktörünü, C_e cephe katsayısını, C_t ısı faktör katsayısını, I_B yapı önem katsayısını, p_g zemin kar yükü değerini ifade eder. Tasarım kar yükü hesaplanırken C_s=1, C_e=0.9, C_t=1, I_B=1.1, p_g=1,1975 kN/m² alınmış ve sonuçta p_s değeri 830 N/m² olarak bulunmuştur.

Rüzgar yükü ASCE 7-98'e göre denklem (5.1.2.) de verilen formül ile hesaplanır.

$$q_h = 0.613K_zK_{zt}K_dV^2I_B \quad (5.1.2.)$$

Çatı yüksekliğine bağlı olarak hesaplanan rüzgar yükü değeri q_h, cephe katsayısı K_z, topoğrafi faktörü K_{zt}, rüzgar yön faktörü K_d, temel rüzgar hızı V, önem faktörü I_B ile ifade edilmiştir. Bu faktörler kubbe yapı için K_z=1.07, K_{zt}=1.087, K_d=0.85, V=40 m/s, I_B=1.15 olarak alınmış ve q_h=1115 N/m² olarak bulunmuştur. Daha sonra rüzgar basıncı çatının içi ve dış basınçlarının bileşkesi dikkate alınarak denklem (5.1.3.)' e göre hesaplanmıştır [25].

$$q_h = q_hGC_p - q_h(GC_{pi}) \quad (5.1.3.)$$

Tasarım rüzgar basıncı q_h ile ifade edilirken, G ani rüzgar etki faktörünü (0,85 olarak alındı), C_p dış basınç katsayısını ve GC_{pi} iç basınç katsayısını ifade eder. Denklemin birinci kısmı dış basıncı göz önüne alırken ikinci kısmı iç basınç etkisini dikkate alır. Dış rüzgar basıncını hesaplamak için kubbe şekil 5.1.4.'deki gibi rüzgarın geliş yönü çeyreği, merkezi yarım ve rüzgar gidiş yönü çeyreği olmak üzere üç bölüme ayrılmıştır. Dış basınç kat sayısı C_p ayrılan bölümlerin açıklık oranlarına göre hesaplanmış ve rüzgar yönü çeyreği için 0.0105, merkezi yarım için -0.907, rüzgar çıkış yönü çeyreği için de -0.5 alınmıştır. Ayrıca iç basınç değeri GC_{pi} yük durumu iki ve üç için emme ve kaldırma etkilerini dikkate almak için tüm iç yüzeyde +0.18 ve -0.18 olarak alınmıştır. Kubbenin farklı bölümlerindeki iç ve dış basıncın birleşimi sonucunda net basınç şekil 5.1.4'de gösterilmektedir [25].

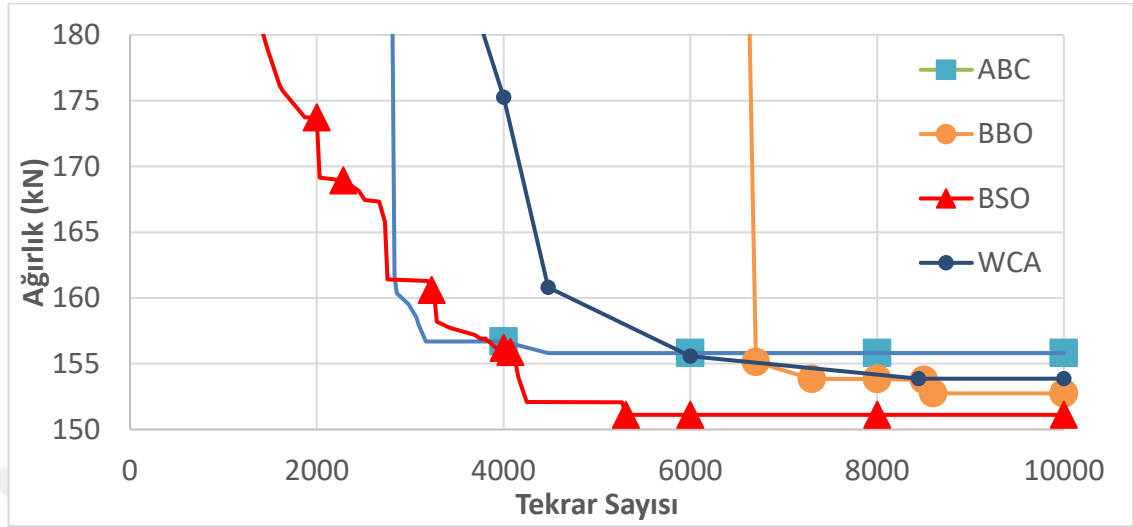
Elemanların gerilme ve stabilite değerleri ASD-AISC'ye göre hesap edilmiştir. Bütün düğüm noktaları için izin verilebilir maksimum deplasman her yönde 11.1cm olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.1.1. Kubbe modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA)

Grup No	Çelik			
	ABC	BBO	BSO	WCA
	Kesit. No	Kesit. No	Kesit. No	Kesit. No
1	P2	P2	P2	P2
2	P3	P3	P3	P3
3	P3.5	P3.5	P3.5	P3,5
4	P3.5	P3.5	P3.5	P3,5
5	P3	P3	P3	P3
6	P3.5	P3	P3	P3,5
7	P3.5	P3.5	P3.5	P3,5
8	P3	P3	P3	P3
9	P3	P3	P3	P3
10	P3	P3.5	P3	P3
11	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
12	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
13	P3	P3	P3	P3
14	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
15	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
16	P3	P3	P3	P3
17	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
18	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
19	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
20	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
21	P2.5	P2.5	P2.5	P2.5
22	P4	P2	P2	P3
Ağırlık (kN)	155,808	152,749	151,115	153,862
Maks. Muk. Oranı	0,960	0,964	0,965	0,962
Maksimum Depl.(cm)	0,279	0,319	0,314	0,308

Analizi yapılan tasarım örneği daha önce farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Tez çalışmasında bu örnek için referans olarak İ. Aydoğdu (2017) alınmıştır [28]. Kubbe modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller (Aydoğdu 2017) ve Kurt Kolonisi algoritması (WCA) için bulunan sonuçlar Tablo 5.1.1. de verilmiştir. Kubbe için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak

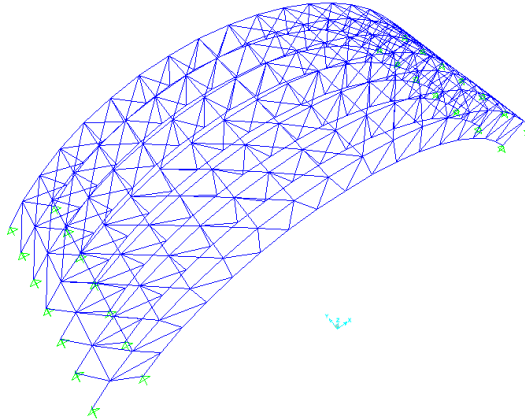
elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi ve kurt kolonisi algoritmasının (WCA) grafiği Şekil 5.1.5. de verilmiştir.



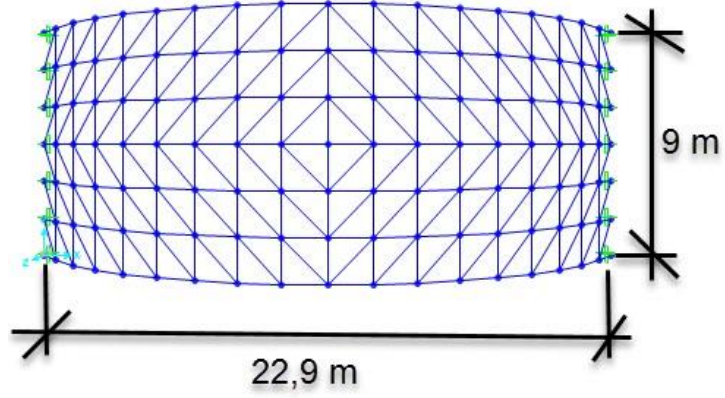
Şekil 5.1.5. Kubbe için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi(Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA)

5.2. Tonoz Çatı

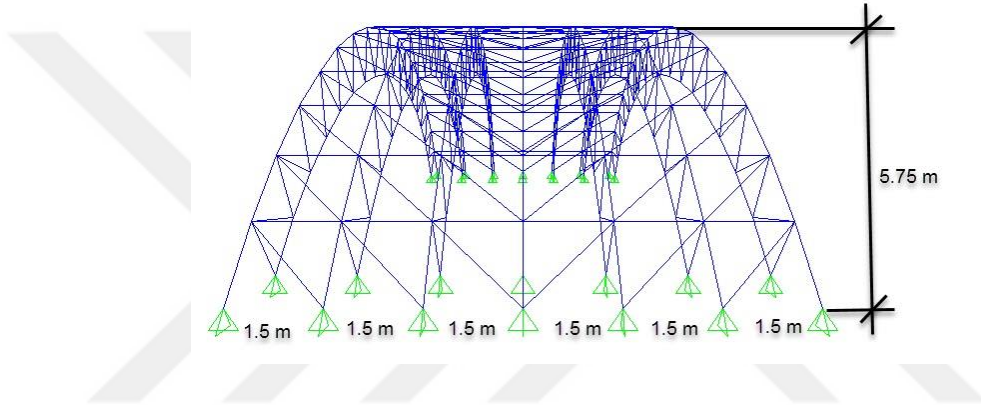
Üç boyutlu görünümü Şekil 5.2.1.'de verilmiş olan uzay kafes kubbe modeli 22.9m açıklığında, 9 m genişliğinde ve 5.75 m yüksekliğinde tasarlanmıştır [25]. Modelde 693 çubuk eleman 133 düğüm noktasına mafsallı olarak bağlanmaktadır. Şekil 5.2.1.'deki plan görünümünde belirtildiği şekilde yapı elemanların benzerlik ve konumlarına göre 23 farklı grupta toplanmıştır.



Şekil 5.2.1. Tonoz çatının üç boyutlu görünümü



Şekil 5.2.2. Tonoz çatının üstten görünümü



Şekil 5.2.3. Tonoz çatının yandan görünüşü

Yükler;

$$\text{Ölü yük (DL)} = 35 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Negatif rüzgar yükü (-WL)} = 240 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Pozitif rüzgar yükü (+WL)} = 160 \text{ kg/m}^2$$

Kombinasyonlar;

$$\text{Load 1 : } 1.5(\text{DL} + \text{WL}) = 1.5(35 + 160) = +292.5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Load 2 : } 1.5(\text{DL} - \text{WL}) = 1.5(35 - 240) = -307.5 \text{ kg/m}^2$$

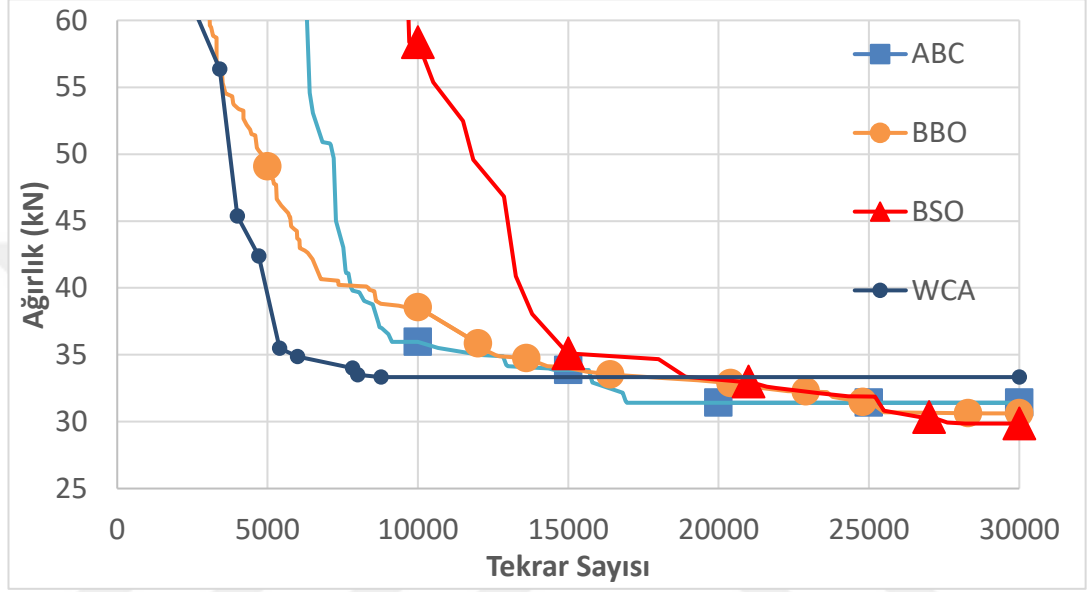
Tüm düğüm noktalarında izin verilebilir maksimum deplasman 6.36 cm'dir.

Tablo 5.2.1. Uzak kafes tonoz modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller
(Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA)

Grup No	Çelik			
	ABC	BBO	BSO	WCA
	Kesit İsmi	Kesit İsmi	Kesit İsmi	Kesit İsmi
1	P2.5	PX1.25	PX1.25	P2.5
2	P.1	P1	P1	P1
3	P.75	P1	P1	P1
4	P1	P1	P1	P1
5	P.75	P.75	P.75	P.75
6	PX1.25	P1.25	P1.25	P1.5
7	P1	P1	P1	P1
8	P1	PX1	PX1	P1
9	P1	P1	P1	P1
10	P.75	P1	P.75	P.75
11	PX1	P1	P1	P1
12	P1	P1	P1	P1
13	P1	P2.5	P2.5	P2
14	P1	P1.25	P1.25	P1
15	P3.5	P.75	P.75	P2
16	PX1	P1	P1	P1,25
17	P1	P.75	P.75	P1
18	P1	P1.25	P1.25	P1.25
19	P1	P1.5	P1.25	P1.5
20	P.75	P1.25	P1.25	P1
21	P1	PX.75	PX.75	PX.75
22	P.75	P.75	P.75	P75
23	P2	P3	P.75	P2
Ağırlık (kN)	33.150	32.110	30.660	33,330
Maks. Muk. Oranı	0.995	0.937	0.934	0,997
Maksimum Depl.(cm)	0.753	0.833	0.839	0,697

Analizi yapılan tasarım örneği daha önce farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. İ. Aydoğdu (2017), ABC, BSO ve BBO algoritmalarının klasik ve levy uçuşu ile güçlendirilmiş versiyonlarını kullanarak aynı örneği çözmüştür. Çalışmada, ABC, BBO ve BSO algoritmalarının klasik versiyonları için sırasıyla 33.15 kN (3380.36 kg), 32.11 kN (3274.31 kg), 30.66 kN (3126.45 kg); levy uçuşu ile güçlendirilmiş versiyonları için sırasıyla 31.28 kN, 29.86 kN ve 28.85 kN değerleri elde edilmiştir. Çalışmada deplasman sınır değeri 6.36cm alındığı için literatürdeki diğer sonuçlara göre daha düşük ağırlıkta sonuçlar elde edilmiştir [28].

Tez çalışmasında bu örnek için referans olarak İ. Aydoğdu (2017) alınmıştır. Uzay kafes tonoz modeli için optimum sonuçları veren çelik profiller (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA) için bulunan sonuçlar Tablo 5.2.1. de verilmiştir. Tonoz için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritmasının (WCA) grafiği Şekil 5.2.4. de verilmiştir.



Şekil 5.2.4. Tonoz için ABC, BBO, BSO algoritmaları kullanılarak elde edilen en iyi çelik tasarımlara ait arama geçmişi (Aydoğdu 2017) ve kurt kolonisi algoritması (WCA)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışma ile eğrisel formda olan 354 elemanlı kubbe modelinin ve 693 elemanlı tonoz modelinin kurt kolonisi algoritmasıyla(WCA) optimum boyutlandırılması yapılmıştır. Kurt kolonisi algoritması(WCA) optimum boyutlandırma sonuçları ile farklı optimizasyon algoritması ile yapılan sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Kurt kolonisi optimizasyonu ile elde edilen sonuçlar daha önce yapılan farklı optimizasyon sonuçlarına yakın çıkmıştır. 354 elemanlı kubbe modeli ve 693 elemanlı tonoz modelinin hem yapısal olarak hem de mimari olarak simetrik olması ve karşılaştırma yapılabilmesi için daha önce yapılan gruplandırılmanın aynısının kullanılması dolayısıyla, çıkan sonuçların yakın olduğu düşünülmektedir.

Her optimizasyon yönteminin kendine göre algoritması olması nedeniyle yapılan gruplandırma da önemlidir. Çünkü modeldeki elemanlar farklı gruplandırmalar yapılarak farklı sonuçların bulunduğu, yapılan çalışmalarda görülmüştür. Uygulamalar bölümündeki 354 elemanlı kubbe modeli ve 693 elemanlı kubbe modeli daha farklı gruplamalar yapılarak daha farklı daha optimum sonuçlar bulunabilir.

Kubbe yapısı ve Tonoza yapısı için daha önce yapılan optimizasyon sonuçları da ele alınarak daha hızlı olan süper bilgisayarlarda farklı grupta ya da gruptasız alınacak sonuçlar bu tür simetrik ya da simetrik olmayan yapılar için daha net sonuçlar verecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Makowski, Z.S., Analysis, Design And Construction Of Braced Domes, Nichols Publishing Company, New York, 1984, 704 s.
- [2] Aşkar, G., Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemler. II. Çelik Yapılar Semineri, Cilt II., 16-21 Eylül, 1985, İstanbul (Bildiri Kitabı, 239-249.)
- [3] Odabaşı, Y., Özgen, A., Uzay Kafes Kirişlerin Yaklaşık Statik Hesabı, Boyutlandırma Esasları ve Ekonomi Etüdü. III. Çelik Yapılar Semineri, Cilt II., 30 Kasım-5 Aralık, 1987, İstanbul (Bildiri Kitabı, 119-162.)
- [4] Saka, M.P., Optimum Design of Nonlinear Space Trusses, Computers and Structures Vol. 30, No. 3, 1988, 545-551.
- [5] Akın, S., Uzay Kafes Sistemlerin Yapısal Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1997, 157 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [6] Öztörün, N., Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1997. 103 s. (Yüksek Lisans Tezi),
- [7] Köksal, T., Sonlu Elemanlar Metodu, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1995, 162 s.
- [8] Arat, A., Uzay Kafes Sistemlerin Statik Hesabı ve Maliyet Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 1999, 83 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [9] Turan, M., Uzay Kafes Sistemlerin Lineer Olmayan Davranışının Optimum Boyutlandırılmasına Etkisi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1999, 64 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [10] Aydın, Z., Uzay Kafes Sistemlerin Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 2000, 70 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Gündüz, M.S., Çelik Uzay Kafeslerin Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi Ve Maliyet Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2002, 161 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [12] Keleşoğlu, Ö., Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Bulanık Mantık Yöntemi ile Optimizasyonu, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elâzığ, 2002, 68 s. (Doktora Tezi).
- [13] Erdal, F., Saka, M.P. and Doğan, E., Optimum design of castellated beams using harmony search algorithm, Journal of Constructional Steel Research, Volume 67, Issue 2, 2011, 237-247.
- [14] Karaboğa, D. and Baştürk, B., On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm. Applied Soft Computing, 8(1), 2008, 687-697.
- [15] İnaç, T., ve Karakuzu, T., Bbo Algoritmasının Optimizasyon Başarımının İncelenmesi, Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım, 2014, Bursa (Bildiri Kitabı, 780-784.)
- [16] Aydoğdu, İ., and Akın, A., Optimum design of geodesic aluminum domes using firefly algorithm, ACE 2014 11th International Congress On Advances In Civil Engineering, 2014, 1-6.
- [17] Tekgüvercin, Z. D., 2002, Uzay Kafes Sistemler Tarihi Gelişim, Güncel Durum, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 2002, 133 s. (Yüksek Lisans Tezi).

- [18] Vardar Öz, Ö. M., Tek tabakalı uzay kafes sistemlerin tasarımı, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 179 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [19] Soykan, K., 2007, Çelik Uzay Kubbe Sistemlerin Optimum Dizaynı, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2007, 109 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [20] Ülker, F., Çift Katmanlı Uzay Kafes Sistemlerinin Statik ve Dinamik Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2007, 71 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [21] Saraç, Y., Optimum Design Of Pin-Jointed 3-D Dome Structures Using Global Optimization, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2005, 227 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [22] Alataş, B., Kaotik Haritalı Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmaları Geliştirme, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2007, 141 s. (Doktora Tezi).
- [23] Öztürk A., Alkan S., İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi Cilt 2, Sayı 3, 2013, 110-120.
- [24] Kaygısız, İ., Dairesel Boşuklu Kirişlerin Kurt Kolonisi Algoritması Kullanılarak Optimum Boyutlandırılması, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Manisa, 2019, 51 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [25] Kılıç, V., Alüminyum Kafes Sistemlerin Meta Sezgisel Optimizasyon Tekniklerine Göre Optimum Tasarımı, Akdeniz Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Antalya, 2018, 125 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [26] Akyol, S. ve Alataş, B., Güncel Sürü Zekası Optimizasyon Algoritmaları, Nevşehir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitü Dergisi 1, 2012, 36-50.
- [27] Telef, Ç., A Wolf Colony Algorithm, 2015.
- [28] Aydoğdu, İ., Cost optimization of reinforced concrete cantilever retaining walls under seismic loading using a biogeography-based optimization algorithm with levy flights. Engineering Optimization, 49(3), 2017, 381-400.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Canip ÖZYÜREK
Doğum Yeri ve Yılı : Konak, 1992
Medeni Hali : Bekar
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : canip_1991@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Güzelcan Kardeşler Lisesi, 2011
Lisans : Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2015
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği
Anabilim Dalı, 2020

Mesleki Deneyim

(1) İnada Çelik, 2015-2016
(2) DNC Çelik 2018