

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER OLMAYAN UZAY KAFES SİSTEMLERİN
BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

116682

Ömer KELEŞOĞLU

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

DOKTORA TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ

2002

116682

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

LİNEER OLMAYAN UZAY KAFES SİSTEMLERİN
BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU

Ömer KELEŞOĞLU

DOKTORA TEZİ

YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

Bu Tez, ~~03.07.2002~~ Tarihinde, Aşağıda Belirtilen Jüri Tarafından Oybirliği
/Oyçokluğu/ İle Başarılı / Başarısız Olarak Değerlendirilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Mehmet ÜLKER

Üye

Prof. Dr. Aydın TURGUT

Üye

Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih
ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

ÖZET**DOKTORA TEZİ****LİNEER OLMAYAN UZAY KAFES SİSTEMLERİN
BULANIK MANTIK YÖNTEMİ İLE OPTİMİZASYONU****Ömer KELEŞOĞLU****Fırat Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı****2002, Sayfa: 68**

Bu çalışmada, bulanık kümeler kullanılarak lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı optimizasyonu yapılmıştır. Bunun için λ formülasyonu uygulanmıştır. Kafes sistemlerin analizinde ANSYS paket programı kullanılmıştır. Çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniğinin algoritması ANSYS parametrik boyutlandırma dili ile yazılmıştır. Geliştirilen algoritmanın uygulanabilirliği, Rao'nun makalesindeki üç çubuklu düzlem kafes sistemin çözümü ile gösterilmiştir. Boyutlandırma probleminin formülasyonunda amaç fonksiyonu olarak minimum ağırlık ve minimum deplasmanlar gözönüne alınmıştır.

Anahtar Kelimeler : Bulanık mantık, Lineer olmayan analiz, Uzay kafes sistemleri, Optimizasyon.

ABSTRACT

PhD Thesis

OPTIMIZATION OF THE NONLINEAR SPACE TRUSS SYSTEMS BY FUZZY LOGIC METHOD

Ömer KELEŞOĞLU

Fırat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

2002, Page : 68

In this study nonlinear space trusses systems were design optimized by using fuzzy sets. For this aim λ formulation was applied. The analysis of the space truss system is made with ANSYS packet program. The algorithm of multiobjective fuzzy optimization techniques was formed with ANSYS parametric dimensioning language. The applicability of the algorithm developed was shown with the solution of 3-bar plane truss system in Rao's paper. In the formulation of the dimensioning problem, weight and minimum displacement were considered as the objective function.

Key Words: Fuzzy logic, Nonlinear analysis, Space truss systems, Optimization.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan danışman hocam Prof.Dr. Mehmet ÜLKER'e en içten teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca Prof. Dr. Aydın TURGUT, Prof. Dr. M. Sedat HAYALİOĞLU'na katkılarından dolayı teşekkür ederim. Tez çalışmamda zaman zaman yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör. Muhammet KARATON'a, Dr. İbrahim TÜRKOĞLU'na ve bölüm başkanım Yrd. Doç. Dr. Mehmet TUĞAL'a katkılarından dolayı teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
SİMGELER LİSTESİ	VIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. UZAY KAFES SİSTEMLERİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ	7
2.1. Sistem Rijitlik Matrisi.....	7
2.2. Geometrik Bakımdan Lineer Olmayan Yapılar.....	11
2.2.1. Geometrik Nonlineerlik	11
2.2.2. Büyük Geometri Değişimi	12
2.3. Düğüm Noktalarında Uygunluk ve Denge Koşulları	12
2.4. Nonlineer Denklemlerin Hesaplanması	13
2.5. Uzay Kafes Sistemlerin Geometrik Rijitlik Matrisi	14
2.6. Tanjant Rijitlik Matrisinin Elde Edilişi	15
3. YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI	17
3.1. Optimizasyon Problemleri	17
3.2. Boyutlandırma Değişkenleri	17
3.3. Amaç Fonksiyonu	18
3.4. Sınırlayıcılar	18
3.5 ANSYS Paket Programı ile Optimizasyon	18
3.6. Boyutlandırma Kümelerinde Uygun Çözüm	19
3.7. First Order Optimizasyon Yöntemi	20

4. BULANIK MANTIK VE OPTİMİZASYON TEKNİĞİ.....	22
4.1. Bulanık Mantık Nedir?.....	22
4.2. Üyelik Fonksiyonları (<i>Membership Functions</i>)	24
4.3. Küme İşlemleri	26
4.4. Bulanık Mantığın Teori ve Uygulamasında Başlıca Araştırma Alanları.....	28
4.5. Bulanık Teori Uygulamalarının Kısa Bir Tarihçesi	29
4.6. Bulanık Optimizasyon	30
4.7. Bulanık Lineer Programlama ile İlgili Çalışmalar	31
4.8. Bulanık Optimizasyonun Uygulama Alanları.....	31
4.9. Bulanık ile Klasik Optimizasyon Arasındaki Fark ve Benzerlikler	32
5. ANSYS PROGRAMI İLE GELİŞTİRİLEN ÇABO YÖNTEMİ.....	33
5.1. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Yöntemi	33
5.1.1. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyonu İçin Matematiksel Model.....	33
5.1.2. λ Formülasyonu	34
5.1.3. İşlem Sırası	35
6. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN SAYISAL UYGULAMALARI.....	39
6.1. Üç Çubuklu Düzlem Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	39
6.2. Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	42
6.3. Dokuz Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	48
6.3. Yirmibeş Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	51
6.3. Elliiki Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	55
6.4. Yüzyirmi Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	58
6.5. İkiyüzkırkdört Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi.....	61

7. SONUÇLAR.....	64
KAYNAKLAR.....	66



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1 : Uzay Kafes Çubuğu
- Şekil 2.2 : Uzay Kafes Çubuğun Şekil Değiştirmiş Konumu
- Şekil 2.3 : Uzay Kafes Çubuğun Şekil Değiştirmiş Durumu
- Şekil 2.4 : Ardışık Yaklaşım Yönteminin Diyagramı
- Şekil 4.1 : Keskin Kümeler
- Şekil 4.2 : Bulanık Kümeler
- Şekil 4.3 : Çeşitli Biçimde Üyelik Fonksiyonları
- Şekil 4.4 : Bulanık Birleşim Kümesi
- Şekil 4.5 : Bulanık Kesişim Kümesi
- Şekil 4.6 : Bulanık Ters Alma İşlemi
- Şekil 5.1 : Bulanık Üyelik Fonksiyon Biçimi
- Şekil 6.1 : Üç Çubuklu Kafes Sistem
- Şekil 6.2 : Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistem
- Şekil 6.3 : Minimum Yapı Hacmi
- Şekil 6.4 : Minimum Deplasman
- Şekil 6.5 : Dokuz Çubuklu Uzay Kafes Sistem
- Şekil 6.6 : Minimum Yapı Hacmi
- Şekil 6.7 : Minimum Deplasman
- Şekil 6.8 : Yirmibeş Çubuklu Uzay Kafes Sistem
- Şekil 6.9 : Minimum Yapı Hacmi
- Şekil 6.10 : Minimum Deplasman
- Şekil 6.11 : Elliiki Çubuklu Uzay Kafes Sistem
- Şekil 6.12 : Yüzyirmi Çubuklu Uzay Kafes Sistem
- Şekil 6.13 : İkiyüzkırkdört Çubuklu Uzay Kafes Sistem

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1	: Ardışık Yaklaşım Yöntemi
Tablo 4.1	: Bulanık Mantık Araştırma Alanları
Tablo 6.1	: Tek Amaçlı Bulanık Optimum Çözüm
Tablo 6.2	: ÇABO Algoritması ile Çözüm.
Tablo 6.3	: Düğüm Noktası Koordinatları
Tablo 6.4	: Yükleme (kN)
Tablo 6.5	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması
Tablo 6.6	: Geliştirilen ÇABO Algoritması
Tablo 6.7	: Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritmasının Sonucu
Tablo 6.8	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü
Tablo 6.9	: Düğüm Noktası Koordinatları
Tablo 6.10	: Yükleme (kN)
Tablo 6.11	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması
Tablo 6.12	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü
Tablo 6.13	: Düğüm Noktası Koordinatları
Tablo 6.14	: Yükleme ve Deplasman Sınırları
Tablo 6.15	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması
Tablo 6.16	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü
Tablo 6.17	: Düğüm Noktası Koordinatları
Tablo 6.18	: Yükleme ve Deplasman Sınırları
Tablo 6.19	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması
Tablo 6.20	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü
Tablo 6.21	: Düğüm Noktası Koordinatları
Tablo 6.22	: Yükleme ve Deplasman Sınırları
Tablo 6.23	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması
Tablo 6.24	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü
Tablo 6.25	: Yükleme ve Deplasman Sınırları
Tablo 6.26	: Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

SİMGELER LİSTESİ

A	: Bulanık küme
$A^{(l)}$	: Kesit alanın alt sınır değeri
$A^{(u)}$	: Kesit alanın üst sınır değeri
A_e	: e çubuğunun kesit alanı.
D	: Bulanık optimum karar
$f(x), f$	: Amaç fonksiyonu
$f^{\max}$	: Amaç fonksiyonun maksimum değeri
$f^{\min}$	: Amaç fonksiyonun minimum değeri
$g^{(l)}$	: Sınırlayıcı fonksiyonun alt değeri
$g^{(u)}$	: Sınırlayıcı fonksiyonun üst değeri
g_i, h_i, w_i	: Boyutlandırma durum değişkenleri
G_j	: Sınırlayıcı fonksiyonu
L	: Çubuk boyu
m_1, m_2, m_3	: Durum değişken sınırlayıcı sayısı
$\min \delta$	: Minimum deplasman
$\min W$	: Minimum yapı ağırlığı
n	: Toplam çubuk sayısı
P	: Dengelenmemiş yük vektörü
P^{nr}	: O adımıdaki iç direnç vektörü
P_x, P_g, P_h, P_w	: Penaltı fonksiyonunda durum değişkenleri ve sınırlayıcılar
$Q(x, q)$	: Sınırlayıcısız amaç fonksiyonu
S	: Bulanık amaç fonksiyonları ile bulanık sınırlayıcıların kesişim kümesi yani bulanık optimum karar kümesi.
u_i, u_j	: Çubuğun i ve j ucundaki şekil değiştirme miktarı
W	: Amaç fonksiyonu olarak alınan sistem hacmi
$W^{\max}$	: Yapı ağırlığının müsaade edilebilir en büyük değeri
$W^{\min}$	: Yapı ağırlığının müsaade edilebilir en küçük değeri
x	: Boyutlandırma değişkeni
x^*	: Boyutlandırma kümesi
x^l	: Boyutlandırma değişkenlerini alt sınır değeri

x^u	: Boyutlandırma değişkenlerinin üst sınır
$[B_u]$	: Uzay kafes çubuğun geometrik dönüşüm matrisi
E	: Elastisite modülü
$[F]$	: Çubuk kuvvetleri kolon matrisi
$[F_e]$	: e çubuğundaki kuvvet
$[k]$	: Eleman rijitlikler matrisi, adım sayısı
$[K]$	: Sistemin rijitlik matrisi
$[K_E]$	: Sistem lineer-elastik rijitlik matrisi
$[K_{Ee}]$	: Çubuğun lineer-elastik matrisi
$[K_G]$	: Sistem geometrik rijitlik matrisi
$[K_{Ge}]$	: Çubuğun geometrik matrisi
$[K_T]$	: Sistem tanjant rijitlik matrisi
$[K_{Te}]$	: Çubuğun tanjant rijitlik matrisi
L_e	: Elemanın boyu
$[P]$	: Sistemin düğüm noktalarına uygulanan dış kuvvetler matrisi
$[P_R]$	: Düğüm noktalarında dengesizlik yaratan yük matrisi
$[T]$	: Sistem deplasman dönüşüm matrisi
$[T^T]$	: Transpoz
$[T_e]$	: Eleman deplasman dönüşüm matrisi
$[U]$	: İç deplasmanlar kolon matrisi
$[U_e]$	: Çubuğun net şekil değiştirme miktarı
$[X]$	: Sistemin düğüm noktaları yerdeğiştirme matrisi
$[X_e]$	: Çubuğun düğüm noktaları yerdeğiştirme matrisi
$[X_R]$	: Sistemin düğüm noktaları deplasman artımı matrisi
λ	: Bulanık parametre
μ	: Üyelik derecesi
μ_A	: A' daki üyelik derecesi
$\mu_{A \cup B}$	: Birleşim kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{A \cap B}$	: Kesişim kümesinin üyelik fonksiyonu
$\mu_{A'}$	: Ters alma kümesinin üyelik fonksiyonu
μ_D	: Bulanık optimum kararın üyelik derecesi
μ_f	: Amaç fonksiyonun üyelik derecesi

μ_G	: Sınırlayıcı kümelerinin üyelik derecesi
μ_s	: Bulanık optimum kararın üyelik derecesi
$\Delta g^{(l)}$	: Alt sınır aralığı
$\Delta g^{(u)}$	: Üst sınır aralığı
ΔP	: Sisteme uygulanan o andaki yük vektörü
ΔX_R	: Deplasman artımı
δ^{max}	: Deplasmanın müsaade edilebilir en büyük değeri
δ^{min}	: Deplasmanın müsaade edilebilir en küçük değeri



KISALTMALAR LİSTESİ

ANSYS	: Mühendislik Sistemleri İçin Genel Amaçlı Paket Program
APDL	: ANSYS Parametrik Boyutlandırma Dili
ÇABO	: Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon
DV	: Boyutlandırma Değişkeni
OBJ	: Amaç Fonksiyonu
OPFIRST	: Optimizasyon Yöntemi
OPT	: Optimizasyon
OPTYP	: Optimizasyon Tipi
OPVAR	: Alt ve Üst Sınır Değerleri
SV	: Durum Değişkeni



1. GİRİŞ

Bulanık mantık (Fuzzy logic) ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur (Zadeh, 1965). Bulanık mantık haberleşme, kontrol, entegre devreleri üretimi, işletme, tıp, psikoloji ve mühendisliğin bir çok dalında uygulanmıştır.

Mühendislik ve diğer bilim dallarında sistemler, kesin matematiksel işlemleri kullanılmak suretiyle modellenir. Yapı boyutlandırma problemi belirli bir amacı başaracak ve belirli sınırlayıcıları sağlayacak bir karar verme işlemi olarak düşünülebilir. Mühendis önce yapının şekli üzerinde karar verir. Sonra yapı elemanlarının kesitleri yapıya etkiyen dış yükleri emniyetle taşıyacak şekilde boyutlandırır. Bu işlem ardışık yapı analizleri ile gerçekleştirilir. Seçilen kesitlerle yapı analiz edilerek, çubuklarda doğan gerilmelerle, düğüm noktalarının deplasmanları şartnamede belirlenen yapı davranışı sağlanıncaya kadar devam edilir.

Bu yolla elde edilen kesitler her ne kadar yukarıdaki şartı sağlarsa da, ilk seçilen kesitlere bağlı olacağından, en uygun kesitler değildir. İnşa bakımından ya pahalı veya gereğinden ağır yapı meydana getirirler. Ayrıca pratikte mühendisin en elverişli kesitleri bulmak için birçok yapı analizini yapacak kadar da vakti yoktur. Diğer bir deyişle optimum olmaya bilirlir.

Yapısal optimizasyonun amacı, yapı hacmi ya da ağırlığının; sistem üzerine getirilen sınırlayıcılar sağlanarak minimize edilir. Sistem üzerine getirilen sınırlayıcılar arasında gerilme, deplasman, stabilite, dinamik ve kesitlerin belirli boyutlar arasında bulunması gibi sınırlayıcılar yer alır.

Yapının deplasmanlarının gözönüne alınması boyutlandırma problemini elastik teoriyle formüle etmeyi gerektirir. Deplasman sınırlayıcı şartlarının boyutlandırma problemine girmesi lineer olmayan programlamanın kullanılmasını gerektirir.

Optimizasyon teknikleri mühendisliğin her alanında geniş uygulama alanı bulmuştur. Bu nedenle, son yıllarda çok sayıda çalışma yapılmış ve etkin algoritmalar geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaların genel olduğu ve yapılarla sürekli ortamların optimum boyutlandırılmasına başarıyla uygulanıldığı görülmüştür. Daha sonraları mühendislik sistemlerinde çok amaçlı optimizasyonlar görülmüştür. Boyutlandırma ve

karar vermede en önemli konulardan biri olmuştur. Çok amaçlı optimizasyon üzerine ilk notlar Pareto tarafından verilmiştir. Çok amaçlı problem kümesinin açıklaması Pareto optimizasyonu olarak adlandırılır. Yapısal optimizasyonun bu tekniğinin geniş açıklamaları Koski'nin açıklamasında bulunabilir (Koski, 1984).

Mühendis çoğunlukla, sistemin hassas bir matematiksel modelini geliştirirken bazı problemle karşılaşır. Yetersiz veri, sistemin sınırlayıcılar, boyutlandırma amaçlarının yetersiz formülasyonu ve amaçlar arası bağıl önemi değerlendirmemesi, hassasiyet eksikliğine sebep olur. Sistem karmaşıktıkça sistemin davranışı ve mühendisin sistemi hassas matematiksel terimlerle modellemesi güçleşir. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için bulanık kümeler teorisinin kullanılması gerekir (Zadeh, 1965).

Geleneksel küme teorisinde, bir elemanın üyelik elemanı ya 0 yada 1 ile gösterilir. Halbuki, bulanık küme teorisinde, bu değer 0 ile 1 arasında herhangi bir değer olabilir. Üyelik elemanı bulanık küme ait olma derecesini gösterir.

Bulanık sistemlerin optimizasyonundan bahseden çalışmalar Zimmermann ile Tanaka tarafından yapılmıştır (Zimmermann, 1974; Tanaka, 1974). O zamandan beri bulanık doğrusal programlama ile bulanık nonlinear programlama üzerinde birkaç makale görüldü (Jung, 1996; Zimmermann, 1978). Rao (1987) mekanik sistemlerin optimum boyutlandırma ve tanımını yaptı. Tek bir amaç fonksiyonu ile yapıların optimum tasarımı Yuan ve Quan (1985) tarafından ele alındı. Bulanık kümelerin inşaat mühendisliğinde birkaç uygulanması Braun ve Yao (1983) tarafından gerçekleştirildi. Mühendislik sistemlerin sonlu elamanlarla çözümden bulanık kümeleri kullanılmıştır (Chen, 1997). Rao (1992) mühendislik sistemlerinin çok amaçlı bulanık optimizasyonu için bir formülasyon vermiştir. Daha sonraları çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile birçok makale yayınlandı (Quanyong, 1999; Shih, 1995; Rao, 1987; Rao, 1984).

Bu tezde, geometrik bakımdan lineer olmayan davranışın bulanık optimizasyonun gözönüne alınması ile uzay kafes sistemlerin boyutlandırılması yapıldı. Boyutlandırma probleminde çok amaçlı bulanık optimal karar kullanıldı. Sayısal örneklerdeki amaç fonksiyonları yapı hacmi ve deplasmanlar göz önüne alındı. Sınırlayıcılar yapı hacmi, deplasman, kesit alanları ve gerilme elemanlarının alt ve üst sınır değerleri ile bulanık kümenin üyelik dereceleri kullanıldı. Bu yöntemin

uygulanabilirliği, Rao'nun (1992) makalesindeki üç çubuklu kafes sistemin çözülerek sonuçlar karşılaştırıldı.

Bu yöntem oldukça genel işleve sahiptir ve bir çok amaç ve sınırlayıcılar ile çeşitli bulanık programlama problemlerine uygulanabilir. Bu tezde, bu yöntemin çok amaçlı bulanık optimizasyonu (ÇABO) boyutlandırmaya olan uygulaması göz önüne alınmıştır. Genel optimizasyon algoritması bulanık optimizasyon probleminde optimal çözümü bulmak için en son optimizasyonu yapmakla tanımlandı. Boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonlarını minimize etmek için bulanık kararların maksimum hale getirilmesiyle bulunur. Bu formasyonda, problem amaçları ve sınırlayıcılar arasındaki asimetriklik kaybolmaktadır. Ayrıca bulanık amaçlar ve sınırlayıcılar maksimum hale getirilerek tek bir fonksiyon için toplanmaktadır. Bu yöntem keskin sınırlayıcılarla başa çıkmakla beraber, bulanık sınırlayıcılarla da başa çıkabilmektedir. Bu tezde işlevsel özelliği için ANSYS paket program ortamında hazır bulunan ceza fonksiyonun minimum hale getirilmesi ile oluşan optimizasyon algoritması kullanıldı.

Bulanık optimizasyonla ilgili birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalarda düzlem kafes sistemler ve lineer uzay kafes sistemlerin tek amaçlı veya çok amaçlı bulanık optimizasyonu yapılmıştır. Aşağıda bu çalışmaların bazıları irdelenmiştir.

o S.U. Mohandas, T.A. Phelps ve K.M. Ragsdell'in çalışması

Bir bulanık amaç programlama yaklaşımını kullanarak yapısal optimizasyon yapılmıştır. Bir optimizasyon probleminin tanımındaki belirsizlik, bulanık kümeler kullanılarak modellenmiştir. Boyutlandırma problemini skalar bir optimizasyon problemi cinsinden formüle etmek yerine, bir bulanık amaç programlama probleminin geliştirilmesi önerilmiştir. Yaklaşım tasarımcının çeşitli boyutlandırma amaçları için, hedefleri belirliye bileceği varsayımına dayanmaktadır. Burada, bir bulanık amaç programlama probleminin, formülasyonundaki çeşitli adımlar açıklanmıştır. Problem bulanık mantığın aritmetiğini kullanan bir bulanık kümenin karar fonksiyonunu oluşturacak şekilde çözülmüştür. Bulanık kümenin gradiyent bilgisini kullanan bir algoritma belirlenmiştir. Yaklaşım, düzlem kafes sistemlerin optimizasyonu üzerinde incelenmiştir.

o S.S. Rao, K. Sundararaju, B.G. Prakash ve C. Balakrishna'nın çalışması

Mühendislik boyutlandırmaları için çok amaçlı bulanık optimizasyon yaklaşımı incelemiştir. Mühendislik sistemlerinin verileri ve davranışları hassas bir şekilde bilinmez ve tasarımcı sistemin davranışlarının sınırlayıcıları ve safhalarını, amaçlardaki bulanıklıkla birlikte boyutlandırması gerekir. α -kesme yaklaşımı ve λ -formülasyonu olarak bilinen iki yaklaşım, bulanık mühendislik sistemlerin optimum boyutlandırılmasına uygulamıştır. Bu iki yaklaşım, bulanık mühendislik sistemlerinin çok amaçlı optimizasyonu içerisinde sunulmuştur. Yöntemlerin çözülebilirliği iki yapısal çok amaçlı problemler üzerinde karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. İlk problem, minimum ağırlıklı ve minimum deplasman için üç çubuklu boyutlandırma probleminden oluşmaktadır. İkinci problem 25 çubuklu lineer uzay kafes sistemin çok amaçlı optimizasyonu için minimum ağırlık, minimum deplasman ve minimum titreşim probleminden oluşmaktadır. Sonuç olarak α -kesme yaklaşımı parametrik formdaki sonuçları verdiği, λ -formülasyonun, boyutlandırma problemine uygun sonuç sağladığı görülmüştür.

o C.J. Shih'in çalışması

Yapısal sistemlerde çok amaçlı karışık-farklı optimizasyon için bulanık ve "ceza fonksiyonu" yaklaşımı ile ilgili çalışma yapılmıştır. Karışık-farklı optimizasyon problemindeki çok amaçlı bir nonlineer problemi "ceza fonksiyonu" ile birleştirmek için üç farklı yöntem kullanılmıştır. Çalışma maksimum boyutlandırma ile birlikte tek bir çözüm meydana getirebilir. Ceza fonksiyonun bütün parametrelerini değerlerini kapsayan sistematik çalışması verilmiştir. Düzlem kafes sistemler uygulanabilirliği örneklerle gösterilmiştir.

o C.J. Shih ve C.J. Chang çalışması

Çok kriterli keskin veya bulanık yapısal boyutlandırma problemlerinin sonuçlarını bulmak amacıyla alternatif genel kriter metodu olarak adlandırılan bulanık λ formülasyonun bir max-min yaklaşımının değişik bir biçimi sunulmuştur. Bu yaklaşım genel kriter metodunun max-min değişik biçimine denk bir Pareto optimal kümesi oluşturulmuştur. Bulanık mantıktan esinlenerek, alternatif bir genel kriter yaklaşımı önerilmiştir. Algoritma keskin ve bulanık çok amaçlı optimizasyon

üzerinde denenerek sunulmuştur. Çok amaçlı fonksiyon olarak sunulan bu yaklaşım üç çubuklu ve 11 çubuklu düzlem kafes sistemlere başarıyla uygulanmıştır.

o L. Quanyong, Z. Wei, Z. Ying çalışması

Bu çalışmada mühendislik yapılarının çok amaçlı bulanık optimizasyonun çözümü için bulanık sınırlayıcılar ile üyelik fonksiyonları kullanılmıştır. Tek amaçlı bulanık boyutlandırma programlamanın temel metodu max-min yaklaşımı kullanılmıştır. Çok amaçlı ve tek amaçlı bulanık optimizasyonun performansı gözlenmiştir. Optimum çözüm geometrik programlamadaki, kesme yaklaşımı yardımı ile elde edilmiştir.

o Mohandas ve Sandgren çalışması

Bir boyutlandırma optimizasyon problemindeki belirsizliği modellemek için bir bulanık küme olarak, tek bir optimum karar fonksiyonunu veren bir formülasyon teklif etmiştir. Ağırlıklar bulanık diliyle “yüksek”, “düşük” şeklinde ifade edilir ve bulanık amaç fonksiyonu, bulanık küme şeklinde bir karar fonksiyonu elde etmekte kullanmıştır. Daha sonra Box’un karmaşık algoritması ile iki bulanık küme birleştirilerek çok amaçlı optimizasyon algoritması elde edilmiştir.

Bölüm 1’de incelenen çalışmalarda genelde düzlem kafes sistemler incelenmiştir. Birkaç makalede lineer uzay kafes sistemlerin bulanık optimizasyonu yapılmıştır. Uzay kafes sistemler incelenirken genelde çubuk sayısı az olan sistemler incelenmiştir. Kafes sistemler tek ve çok amaçlı bulanık optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Genelde bulanık parametre olarak α kesme yaklaşımı ile λ formülasyonları kullanılmıştır.

Yapılan tezde ise kafes sistemlerin geometrik nonlinearlığı gözönüne alınarak, uzay kafes sistemlerin ÇABO yöntemiyle boyutlandırması yapıldı. Geliştirilen yöntemin uygulanabilirliği sayısal çözümler ile gösterildi. Tez, konu ile ilgilenenlerin anlayabileceği teori ve uygulama bölümleri, kolaylıkla kullanabilecekleri bir bilgisayar programı ile sunulmuştur.

Tez genel olarak yedi bölümden oluşmaktadır; Birinci bölümde problemin tanıtımı, konusu, önemi ve literatür taraması anlatılmıştır. İkinci bölümde, uzay kafes

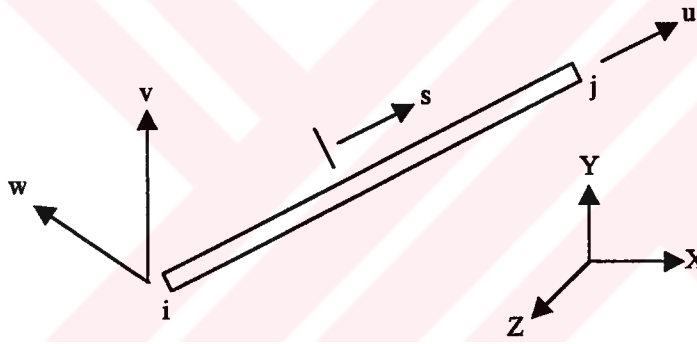
sistemlerin lineer olmayan analizi incelenmiştir. Üçüncü bölümde, yapıların optimum boyutlandırılması hakkında genel bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde, bulanık mantık ve optimizasyon hakkında genel bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde, ANSYS programı ile geliştirilen ÇABO yöntemi ile lineer olmayan uzay kafes sistemlerin analizi anlatıldı. Altıncı bölümde ise, geliştirilen yöntemin uygulanabilirliği ile ilgili sayısal örnekler çözülmüştür. Yedinci bölüm sonuç bölümü olarak sunulmuştur.



2. UZAY KAFES SİSTEMLERİN LİNEER OLMAYAN ANALİZİ

2.1. Sistem Rijitlik Matrisi

Kafes eleman rijitlik matrisi, sisteme etki eden dış yükler ve sistemin düğümündeki deplasmanlar arasında yazılacak olan denklemlerin çözümüne dayanmaktadır. Bu matris, elemanın geometrik ve malzeme özelliklerinden elde edilen denge denklemlerinin katsayılarından oluşmaktadır. Sisteme ait bu rijitlik matrisi oluşturulduktan sonra, düğüm noktaları deplasmanları ve çubuk kuvvetleri basitçe hesaplanabilmektedir. Her sistem dış yükler altında rijitliği oranında direnç gösterir. Aynı dış etki altında rijitliği yüksek olan taşıyıcı sistemde daha az miktarda deplasman yaparken, rijitliği az olan sistem daha fazla deplasman yapacaktır.

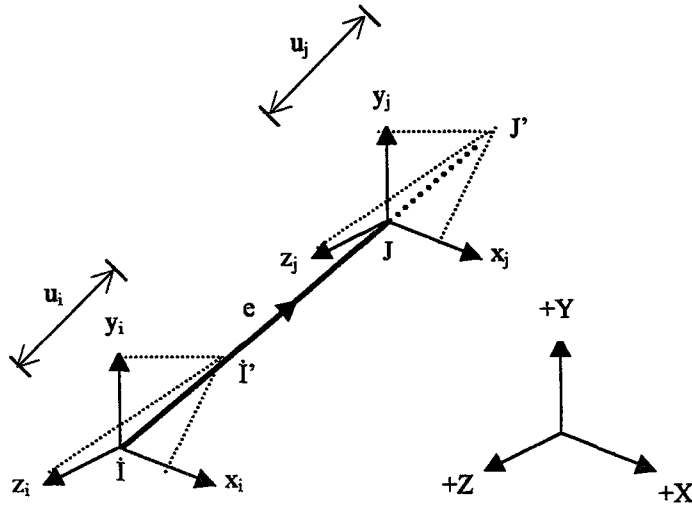


Şekil 2.1. Uzay Kafes Çubuğu

Lineer elastik yapıların matris-deplasman yöntemiyle analizinde, sistemin davranış denklemi

$$[K][X] = [P] \quad (2.1)$$

şeklinde yazılmaktadır. Burada; $[K]$ sistem rijitlik matrisini, $[X]$ düğüm noktaları yer değiştirme matrisini, $[P]$ ise düğüm noktalarına uygulanan dış kuvvetler matrisini göstermektedir.



Şekil 2.2. Uzak Kafes Çubuğun Şekil Değiştirmiş Konumu

Çubuğun doğrultu Kosinüsleri hesaplanarak çubuk boyu L bulunduğundan sonra şekil 2.2’de görülen e uzay çubuğu dış kuvvetlerin etkisi altında deforma olarak $i'j'$ yeni konumunu alsın. Birinci ucun ii' şekli değiştirme miktarı u_i ile, ikinci ucu jj' şekli değiştirme miktarı ise u_j ile gösterilmiştir. Çubuğun net şekil değiştirme miktarı

$$U_e = u_j - u_i \quad (2.2)$$

olur. Bu şekil değiştirme, çubuk eksenine paralele doğrultuda olup “iç deplasman” diye de adlandırılmaktadır.

Çubuk deforme olmuş yeni konumuna, düğüm noktalarının dış deplasmanlarıyla varmaktadır. Çubuğun i ve j düğüm noktalarının x , y ve z yönündeki deplasmanların bileşenleri toplanmasıyla u_i ve u_j şekil değiştirmeleri elde edilir. Böylece çubuğun net şekil değiştirme miktarı, (2.2) denklemi matrisel olarak

$$[U_e] = [T_e][X_e] \quad (2.3)$$

şeklinde yazılabilir.

n çubuklu bir kafes sistem için (2.3) denkleminin benzeri olarak

$$[U] = [T][X] \quad (2.4)$$

bağıntısı yazılabilmektedir. Burada iç deplasmanlar kolon matrisi $[U]$ uzay kafes sistemin deplasman dönüşüm matrisi $[T]$ ve $[X]$ sistemin düğüm noktaları deplasmanları kolon matrisidir.

Sistemin davranışını gösteren (2.1) denge denklemini elde etmek için dış kuvvetler tarafından yapılan iş, iç kuvvetler tarafından yapılan işe eşittir. Bu eşitlik

$$[P]^T [X] = [F]^T [U] \quad (2.5)$$

şeklinde yazılır. Burada T transpozunu göstermektedir. Denklem (2.4), denklem (2.5) yerine yazılarak ve her iki tarafın transpozu alınır

$$[P] = [T]^T [F] \quad (2.6)$$

şeklinde, dış yüklerle çubuk kuvvetleri arasındaki bağıntı kurulmuş olur. Çubuk kuvvetleriyle deplasmanlar arasındaki

$$[F] = [k][U] = [k][T][X] \quad (2.7)$$

bağıntısı (2.6) denkleminde yerine yazılırsa

$$[P] = [T]^T [k][T][X] \quad (2.8)$$

bulunur. Burada $[k]$, eleman rijitlikleri matrisidir. $[K] = [T]^T [k][T]$ tanımıyla

$$[P] = [K][X] \quad (2.9)$$

sistemin davranışını gösteren denge denklemi elde edilir. Burada $[K]$ sistemin rijitlik matrisi, $[X]$ düğüm noktaları yer değiştirme matrisi, $[P]$ ise düğüm noktalarına uygulanan dış kuvvetler matrisidir.

Sistemin rijitlik matrisinin doğrudan elde edilmesinde kesit alanı A_e , uzunluğu L_e , elastisite modülü E_e ve düğüm noktaları i ve j olan bir e uzay kafes sistemin çubuğunun

$$[k_e] = \frac{A_e E_e}{L_e} \quad (2.10)$$

eleman rijitliği ile (2.3) denklemindeki $[T_e]$ deplasman dönüşüm matrisinin çarpılarak, $[T_e]$ deplasman dönüşüm matrisinin transpozu alınarak, $[k_e][T_e]$ ile önden çarpılırsa, elemana ait

$$[K_e] = [T_e^T] [k_e] [T_e] \quad (2.11)$$

rijitlik matrisi elde edilir.

Uzay kafes sistemdeki her çubuğun (2.11) denklemindeki $[K_e]$ ile gösterilen rijitlik matrisi hesaplandıktan sonra bütün sisteme ait rijitlik matrisi direkt rijitlik yöntemiyle

$$[K] = \sum_{e=1}^n K_e \quad (2.12)$$

şekilde toplanarak elde edilir. Burada n , sistemdeki çubukların toplam sayısını gösterir.

Böylece, sistem rijitlik matrisi elde edildikten sonra, (2.9) denklem takımının çözümüyle düğüm noktaları deplasmanları elde edilir. Çubuk kuvvetleri ise, (2.3) denklemlerindeki $[U_e]$ şekil değiştirmesiyle (2.10) denklemlerindeki $[k_e]$ eleman rijitliğinin çarpımı yapılarak

$$[F_e] = \frac{A_e E_e}{L_e} [T_e] [X_e] \quad (2.13)$$

şeklinde, uç deplasmanları cinsinden elde edilir.

2.2. Geometrik Bakımdan Lineer Olmayan Yapılar

2.2.1. Geometrik Nonlineerlik

Geometrik nonlinearlik, yapı geometrisinde önemli miktarda şekil değiştirmeler olduğu zaman meydana gelir. Yapı sistemleri, sisteme uygulanan yükler altında, başlangıçta lineer bir gerilme-şekil değiştirme varsa da, artan yükler altında eksenel kuvvetlerin birbirlerinin rijitliklerini etkilemelerinden dolayı nonlinear davranış gösterirler.

Yapı yükleme yapıldıkça büyük deplasmanlar meydana geldiğinden, düğüm noktası denge denklemleri yapının deforma olmuş konumu için yazılmaktadır. Büyük deplasmanların varlığı nedeniyle aynı zamanda, elastisite teorisinden bilindiği gibi, şekil değiştirme deplasman bağıntılarında lineer olmayan terimler bulunmaktadır. Bu terimler sistem rijitlik matrisinin hesabında göz önüne alınarak, geometrik nonlinearlik için ikinci (ek) bir rijitlik matrisi doğmaktadır. Geometrik nonlinearlik için

$$[K_{Te}] = [K_{Ee}] + [K_{Ge}] \quad (2.14)$$

şeklinde, eleman rijitlik matrisi kurulur. Burada, $[K_{Ee}]$ lineer elastik rijitlik matrisi, $[K_{Ge}]$ eleman geometrik ve ardışık rijitlik matrisi, $[K_{Te}]$ ise eleman tanjant rijitlik matrisi olarak adlandırılır.

Elemanların, (2.14) denklemleriyle hesaplanan tanjant rijitlik matrisleri direkt rijitlik yöntemiyle toplanarak bütün sisteme ait

$$[K_T] = \sum_{e=1}^n [K_{Te}] \quad (2.15)$$

tanjant rijitlik matrisi elde edilir.

2.2.2. Büyük Geometri Değişimi

Geometrik nonlinearlikler yükleme sırasında yapının elemanlarında yer değiştirme ve şekil değiştirme meydana gelir.

Geometri değişiminin daha da büyük olması halinde bunun denge şartlarından başka geometrik uygunluk şartları üzerindeki etkisinin de hesaba katılması gerekir. Bu durumda yüklere küçük artımlar verilerek çözüme gidilebilir. Her yük adımında, sistem eksenini olarak bir önceki adımda bulunan deforme olmuş eksen takımı kullanılarak geometri değişiminin çözüme etkisi hesaba katılmış olur.

Yüklere küçük artımlar verildiğinden deplasmanlar da küçük olacak ve her adımda göz önünde tutulan sistem eksenini için lineer geometrik uygunluk şartları kullanılabilir. Ayrıca her adım içerisinde dengelenmemiş kuvvetler kontrol edilmektedir. Newton-Raphson metodu ile dengelenmemiş kuvvetleri düzeltme için yapılan bu işlemler neticesinde aynı zamanda deplasmanlar da düzeltilmiş olmaktadır.

Kuvvetler ve deplasmanlar arasındaki temel ilişki birinci mertebe rijitlik matrisinde olduğu gibi kapalı formunda gösterilebilir. Ancak ve ifadelerinde aksenel kuvvetin neden olduğu değişiklikler yapılmalıdır. Değişikliklerle bu ilişki ikinci mertebe analizinde de kullanılabilir.

2.3. Düğüm Noktalarında Uygunluk ve Denge Koşulları

Hesaplamalarda, her deformasyon durumunda uygunluk ve denge koşulunun sağlanması gerekir. Eleman rijitlik matrislerinden sistem rijitlik matrisinin elde edilmesinde, bir düğüm noktasında birleşen çubuk uçlarının aynı deplasmanı yapacakları kabulü kullanılmıştır. Böylece düğüm noktalarında sağlanması gereken uygunluk şartları yerine gelmiş olmaktadır.

Düğüm noktalarının dengesi için ise düğüm noktalarına etkiyen dış kuvvetlerle çubuk uçlarında meydana gelen uç kuvvetleri için denge denklemleri

$$[P_R] = [K_T] [X_R] \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $[P_R]$ şekil değiştirmiş konumda, düğüm noktasında dengesizlik yaratan yük matrisi (artık yük matrisi veya telafi yükü matrisi olarak da adlandırılır), $[K_T]$ sistem tanjant rijitlik matrisi, $[X_R]$ ise sistem düğüm noktalarındaki deplasman artırımını gösteren matristir.

Nonlinear analizde yükler adım adım orantılı olarak yüklenmekte ve bu yükleme sırasında dengelenmemiş kuvvetler oluşmaktadır. Düğümlerde dengeyi sağlayabilmek için her bir yük adımında dengelenmemiş kuvvetleri küçültmek amacıyla iterasyonlar yapılmaktadır. Her iterasyonda düğümlerin deplasmanları kullanılarak düğüm koordinatları yenilenmekte ve bu son duruma göre kafes sistem yeniden çözülmektedir. Denge belirli bir doğrulukla sağlandığında yeni yük adımına geçilmektedir.

2.4. Nonlinear Denklemlerin Hesaplanması

Bu tezde, toplam yükleri yük adım sayısına bölerek orantılı olarak uygulayan ve böylece nonlinear analizi lineerleştiren, ayrıca her yük adımında da düğüm denge denklemlerini sağlamak için Newton-Raphson yöntemi adım adım yükleme ile iterasyon biçiminde uygulanmaktadır.

$$(P)_j^i = (\Delta P)^{i+1} - (P^{nr})_j^i \quad (2.17)$$

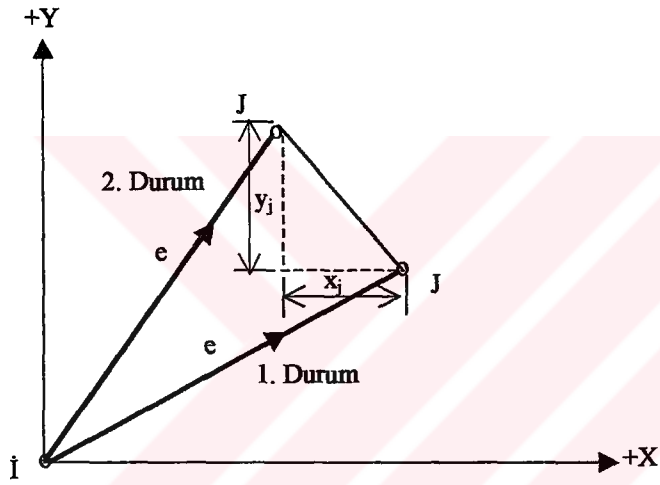
Burada i indisi yük adım sayısını, j indisi ise bir yük adımındaki iterasyon devresini göstermek için kullanılmaktadır. $(\Delta P)^{i+1}$ sisteme uygulanan o andaki yük vektörünü, $(P^{nr})_j^i$ o adımdaki toplam iç direnç vektörünü, $(P)_j^i$ ise dengelenmemiş yük vektörünü göstermektedir.

$$\frac{(P)_{j+1}^i{}^T (P)_{j+1}^i}{(P)^{i+1}{}^T (P)^{i+1}} \leq TOL \quad (2.18)$$

Bu yöntem değerlerinin o adımdaki (iterasyondaki) toplam yük değerleriyle karşılaştırılmasına dayanmakta olup aşağıdaki şekilde verilir. Burada *TOL* belirlenen toleransı göstermektedir.

2.5. Uzak Kafes Sistemlerin Geometrik Rijitlik Matrisi

Şekil 2.3’de uzak kafes sisteme ait *e* çubuğu görülmektedir. Çubuğun kesit alanı A_e , boyu L_e ve elastisite modülü de E_e dir. Uygulanan dış yükler altında çubuk, 1’de gösterilen orijinal durumundan, 2 ile gösterilen şekil değiştirmiş konuma geçsin.



Şekil 2.3. Uzak Kafes Çubuğun Şekil Değiştirmiş Durumu

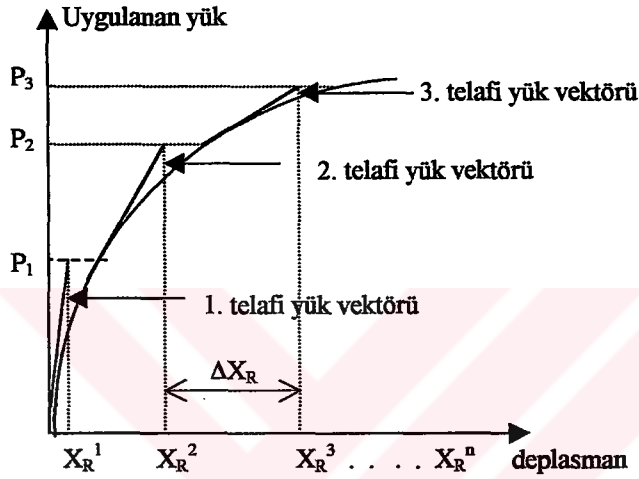
Sistem rijitlik matrisine katkıda bulunan uzak kafes çubuğuna ait geometrik rijitlik matrisi

$$[K_{Ge}] = \frac{F_e}{L_e} [B_u] \quad (2.19)$$

olarak elde edilir.

2.6. Tanjant Rijitlik Matrisinin Elde Edilişı

Uzay kafes sistemlerin lineer olmayan analizi, bölüm 2.2.1 açıklandığı gibi, lineer elastik matris deplasman yönteminin ardışık kullanımıyla, yani “ardışık yaklaşım yöntemiyle” yapılır. Tanjant rijitlik yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem, uzay kafes sistemlerin lineer analizine çok uygun düşmektedir (Ülker, 1988; Harold, 1973; Przemienicki, 1968;)



Şekil 2.4. Ardışık Yaklaşım Yönteminin Diyagramı

Tablo 2.1. Ardışık Yaklaşım Yöntemi

Adım No	Tanjant Rijitlik Matrisi	Ardışık Deplasmanlar	Çubuk Kuvvetleri
1	$K_E(0) + K_G(0)$	ΔX_R^1	F_1
2	$K_E(X_R^1) + K_G(X_R^1)$	ΔX_R^2	F_2
3	$K_E(X_R^2) + K_G(X_R^2)$	ΔX_R^3	F_3
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	$K_E(X_R^{n-1}) + K_G(X_R^{n-1})$	ΔX_R^n	F_n

Toplam deplasman:

$$X_R^n = \sum_{i=1}^n \Delta X_R^i \quad (2.20)$$

(2.14) denkleminde görüleceği gibi, geometrik rijitlik matrisi çubuk kuvvetleri ile orantılıdır. Bu nedenle iterasyonun birinci adımında lineer analiz yapılmaktadır ve bu, lineer olmayan analiz için ilk yaklaşım olmaktadır.

$$[P_R^{(i-1)}] = [K_R^{(i-1)}] [X_R^i] \quad (2.21)$$

şeklinde olmaktadır. Burada

$[P_R^{(i)}]$ = İterasyonun i. adımındaki kalan yük matrisi (telafi yük vektörü)

$[X_R^{(i)}]$ = İterasyonun i. adımında hesaplanan düğüm noktası deplasmanları matrisi

$[K_T^i] = [K_E^i] + [K_G^i]$ olup, iterasyonun i. adımı sonundaki çubuk kuvvetleri ve düğüm noktası koordinatları kullanılarak elde edilen tanjant rijitlik matrisidir. Dikkat edilirse her adımda yeni bir tanjant rijitlik matrisi kurulmalıdır.

3. YAPILARIN OPTİMUM BOYUTLANDIRILMASI

3.1. Optimizasyon Problemleri

Optimizasyon genel anlamda optimum çözümü bulma tekniği olarak tanımlanabilir. Optimizasyonda optimumun tanımı problemin niteliğine göre değişir.

Mesela, yapılar için, optimum çözüm, ağırlığın minimum olmasıdır. Netice itibarıyla her optimizasyon probleminde önce amaç belirlenir. Daha sonra söz konusu amaç, uygun seçilmiş değişkenlere bağlı olarak matematiksel bir ifade ile tanımlanır. Bu yolla elde edilen matematiksel ifadeye, genellikle, amaç fonksiyonu denir. Özel durumlar dışında, optimizasyon işleminin yer alabileceği bölgeyi sınırlayan sınırlayıcılar vardır. Bu sınırlayıcılar yapısal boyutlandırma ile ilgili pratik ve teorik şartları yansıtır. Sınırlayıcılar ile sınırlanan bölge ise “*uygun bölge*” diye adlandırılır. Böylece bu bölge içinden seçilecek her yapısal boyutlandırma optimum olmayabilirse de, geçerli olacaktır.

3.2. Boyutlandırma Değişkenleri

Yapısal optimizasyonda değişkenler, optimizasyon teknikleri tarafından değerleri değiştirilen, yapı sistemini tanımlayan büyüklüklerdir. Bunlar çubuk kesit özellikleri, düğüm noktaları deplasmanları ve koordinatları olabilirler.

Örneğin; düğüm noktaları mafsallı bir yapıda, düğüm noktalarının yeri de belirlenmiş ise çubuk kesit alanları değişken olarak alınabilir.

Eğer çubukların normal kuvvet altındaki burkulması gözönüne alınacaksa o zaman sadece çubuk alanları değişken olarak yeterli olmaz. Belki kesit atalet momentinin alana yaklaşık formülle bağlanması gerekebilir.

Çubukların boru kesit olması durumunda çap ve “*t*” kalınlığı değişken alınabilir.

Optimizasyon problemlerinde değişkenlerin daima pozitif değer almaları istenir. Bu, çözülen problemlerdeki değişkenlerin karakterlerinden dolayıdır.

Diğer bir özellik ise değişkenlerin sürekli değer alabilecekleri kabul edilir.

3.3. Amaç Fonksiyonu

Optimizasyon işleminde amaç fonksiyonu, kabul edilen alternatif tasarımların bir tanesinin seçimi için temel teşkil eden, en büyük veya en küçük değeri veren fonksiyondur.

Yapısal optimizasyon problemlerinde $x_1, x_2, \dots, x_n$ boyutlandırma değişkenlerinin fonksiyonu olan W , amaç fonksiyonu olarak adlandırılır. Yapısal optimizasyonun amacı bu fonksiyonu, sırlanan bölgede minimum yapan x_i vektörünü bulmaktır. Yapısal optimizasyonda genellikle yapı ağırlığı amaç fonksiyonu olarak alınır.

3.4. Sınırlayıcılar

Bazı optimizasyon problemlerinde optimum tasarımın çeşitli sınırlayıcıları sağlayacak şekilde belirlenmesi gerekebilir. Bu sınırlamalara sınırlayıcılar adı verilir.

Yapısal optimizasyon yönteminin genelliği, gözönüne alındığı sınırlayıcıların çeşitliliği ile orantılıdır. Yapının davranışı, boyutlandırmadaki şartnamelerde belirtilen sınırlar içinde kalmalıdır.

Yapı boyutlandırmasında sınırlayıcılar olarak kesit alanları, gerilmeler, deplasmanlar ve titreşim frekansları gibi özellikler üzerinde yapılan sınırlamalardır.

3.5 ANSYS Paket Programı ile Optimizasyon

Optimizasyon modeli (/OPT) optimum boyutlandırmayı sağlayan önemli bir bölümdür. ANSYS optimum boyutlandırma yönteminin karakteristik değişkenleri, üç tiptir. Bunlar boyutlandırma değişkenleri (DV), durum değişkenleri (SV) ve amaç fonksiyonu (OBJ) olarak ifade edilir. Bu değişkenler ANSYS'de parametrik boyutlandırma dilindeki (APDL) skalar parametreler tarafından temsil edilir.

Bir optimizasyon analizindeki bağımsız değişkenler boyutlandırma değişkenleridir. Boyutlandırma değişkenlerindeki vektör, aşağıdaki gibidir.

$$x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \quad (3.1)$$

Boyutlandırma değişkenlerinin alt ve üst sınır değerleri:

$$x_i^l \leq x_i \leq x_i^u \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.2)$$

Burada:

l = alt sınır değeri.

u = üst sınır değeri.

n = boyutlandırma değişken sayısı

Boyutlandırma değişken sınırlarcıların alt ve üst sınır değerleri arasında tanımlanan bu bölge, uygun boyutlandırma alanı olarak adlandırılır.

$$\min f = f(x) \quad (3.3)$$

$$g_i(x) \leq g_i^u \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_1) \quad (3.4)$$

$$h_i^l \leq h_i(x) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_2) \quad (3.5)$$

$$w_i^l \leq w_i(x) \leq w_i^u \quad (i = 1, 2, 3, \dots, m_3) \quad (3.6)$$

f = amaç fonksiyonu

g_i, h_i, w_i = boyutlandırma durum değişkenler olup, sırasıyla alt ve üst sınır değerleridir.

OPVAR komutuyla *min* ve *max* değerler olarak yazılır.

m_1, m_2, m_3 = durum değişken sınırlayıcılarının sayısı

3.6. Boyutlandırma Kümelerinde Uygun Çözüm

Boyutlandırmada bütün sınırlayıcı şartlarını sağlayan küme çözüm kümesidir. Sınırlayıcı şartlarını ihlal eden durum ise uygun olmayan çözümdür. Uygun olan x^* boyutlandırma çözüm kümesi için:

$$x^* = [x_1^*, x_2^*, x_3^*, \dots, x_n^*] \quad (3.7)$$

$$g_i^* = g_i(x^*) \leq g_i^u + \alpha_i \quad (i=1,2,3,\dots,m_1) \quad (3.8)$$

$$h_i^l - \beta_i \leq h_i^* = h_i(x^*) \quad (i=1,2,3,\dots,m_2) \quad (3.9)$$

$$w_i^l - \gamma_i \leq w_i^* = w_i(x^*) \leq w_i^u + \gamma_i \quad (i=1,2,3,\dots,m_3) \quad (3.10)$$

Burada:

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i$ = tolerans (*OPVAR* komutu üzerinden girilir)

$$\text{ve } x_i^l \leq x_i^* \leq x_i^u \quad (i=1,2,3,\dots,n) \quad (3.11)$$

Boyutlandırmadaki değişken sınırları eklendikten sonra program otomatik olarak toleransı atar.

3.7. First Order Optimizasyon Yöntemi

Bu optimizasyon metodunda sınırlayıcı optimizasyon problemlerini sınırlayıcısız optimizasyon problemler dizisine dönüştürülerek çözüm elde edilir. Bölüm (3.5)'deki sınırlayıcı problem *ceza fonksiyonu* aracılığı ile, sınırlayıcısız probleme dönüştürülür. Bu metot ANSYS paket programında *OPTYP*, *FIRST* komutu ile belirlenir.

Bölüm (3.5)'deki sınırlayıcı optimizasyon probleminin *ceza fonksiyonu* aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$Q(x, q) = \frac{f}{f_0} + \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left(\sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right) \quad (3.12)$$

Q = sınırlayıcısız amaç fonksiyonu

P_x, P_g, P_h, P_w = ceza fonksiyonundaki durum değişkenleri ve boyutlandırma sınırlayıcıları.

f_0 = amaç fonksiyonunun referans değeri.

P_x , ceza fonksiyonu dışında kalan boyutlandırma değişkeni. Durum değişken sınırlayıcıları, P_g, P_h, P_w ceza fonksiyonunun içindedir.

İki fonksiyonun toplamı şeklinde düzenlenirse:

$$Q_f(x) = \frac{f}{f_0} \quad (3.13)$$

$$Q_p(x, q) = \sum_{i=1}^n P_x(x_i) + q \left(\sum_{i=1}^{m_1} P_g(g_i) + \sum_{i=1}^{m_2} P_h(h_i) + \sum_{i=1}^{m_3} P_w(w_i) \right) \quad (3.14)$$

Bu durumda denklem (3.12)'nin yeni şekli:

$$Q(x, q) = Q_f(x) + Q_p(x, q) \quad (3.15)$$

olur.

OPFRST komutuyla maksimum iterasyon sayısı yazılır. Bu iterasyona başlamadan seçilmiş olan x_1 başlangıç noktasına uygun q değeri atanarak $k=1$ alınır. Minimizasyonu yapılacak olan (3.15) denklemini için x_k^* bulunur. Bulunan bu değer sınırları sağlarsa, optimum nokta alınır. Aksi halde sonraki adıma geçilir.

$$q_{k+1} > q_k \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3.16)$$

olmak üzere yani *ceza parametresi* seçilir. Burada $\frac{q_{k+1}}{q_k} = c$ ve $c > 1$, $k=k+1$ alınarak,

denklem (3.15)'e dönülür.

4. BULANIK MANTIK VE OPTİMİZASYON TEKNİĞİ

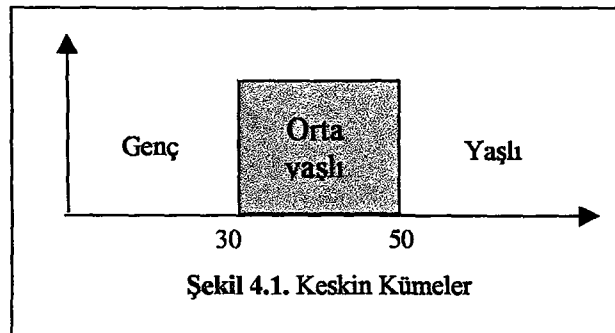
4.1. Bulanık Mantık Nedir?

İngilizce *Fuzzy Logic* kelimesinin sözlük anlamı “bulanık mantık, belirsiz “dir. Bulanık mantık ve bulanık küme teorisi, ilk kez 1965 yılında aslen Azerbaycanlı Prof. Lotfi A. Zadeh (*California University, Berkeley*) tarafından ortaya atılmış ve hızla gelişerek bir çok bilim adamının ilgisini çeken araştırmaya açık yeni bir konu olmuştur. Bulanık mantık temelde çok değerli (*multivalued*) mantık, olasılık kuramı, yapay zeka (*Artificial Intelligence AI*) ve yapay sinir ağları (*neural networks*) alanları üzerine oturtulmuş; olayların oluşum olasılığından çok oluşum derecesiyle ilgilenen bir kavramı tanımlar. Olasılık ve bulanıklık kavramları arasındaki en önemli farklılık bulanıklılığın bir deterministlik belirsizlik olmasıdır.

Bulanık mantık haberleşme, kontrol, entegre devreleri üretimi, işletme, tıp, psikoloji ve mühendisliğin bir çok dalında uygulanmıştır. Bulanık denetim kuramı temelde insan düşünüş tarzını örnek alır. Bulanık mantığın oldukça kapsamlı ve ayrıntılı matematiksel temeli olmasına rağmen, uygulaması oldukça kolaydır.

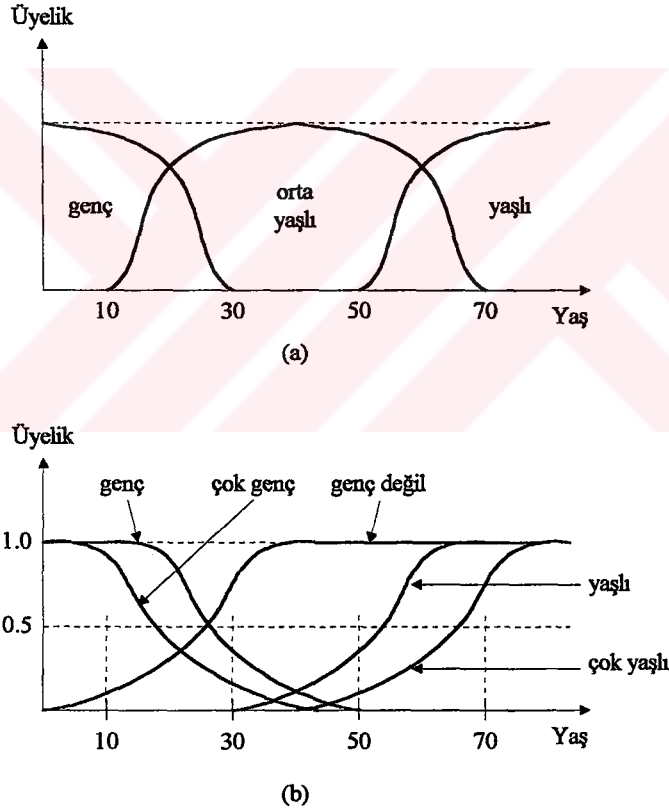
Geleneksel mantıkta (*Boolean mantığı*) bir kümeyi oluşturan elemanlar keskin (*crisp*) elemanlar olup bir eleman bir kümenin ya elemanıdır ya da değildir (var veya yok, 0 veya 1). Bu tür kümelere keskin kümeler (*crisp sets*) denilir.

Bir örnek olarak orta yaşlı kavramını alalım. Eğer 40 yaşı orta yaş olarak kabul edecek olursak, geleneksel kümelendirmede 30 yaşın altındaki kişiler Şekil 4.1’de gösterildiği üzere “genç”, 30-50 arası “orta yaşlı”, 50 yaşın üstü de “yaşlı” kümelerine okunabilir. Dolayısıyla 29,5 yaşındaki birisi “genç” iken 30,5 yaşındaki diğer bir kişi “orta yaşlı” olarak anılacaktır!



Bir endüstriyel denetleyici için bu durumu ele alalım. Eğer bu denetleyicide fiziksel büyüklüklerin dahil olduğu kümeler birbirlerinden böyle keskin çizgilerle ayrılmışlarsa denetim çıktısının ani değişiklikler göstermesi kaçınılmaz olacaktır. Örneğin soğuk/sıcak sınırının 25° olduğu bir sayısal açık/kapalı denetleyicide $24,5^{\circ}$ soğuk olarak algılanacak, buna karşın $25,5^{\circ}$ sıcak olarak ele alınarak denetim çıktısı ani olarak değiştirilebilecek, örneğin buhar vanası ani olarak kapatılabilecektir.

Yukarıda açıklananlara karşıt olarak bulanık mantık, keskin mantığı açık/kapalı, soğuk/sıcak, hızlı/yavaş, gibi ikili (*binary*) denetim değişikliklerinden oluşan keskin dünyayı, az açık/az kapalı, serin/ılık, biraz hızlı/biraz yavaş gibi gevşek (*soft*) niteleyicilerle yumuşatarak gerçek dünyamıza benzetir.



(a). Yaşın üç grub ayrıldığı kümelendirme

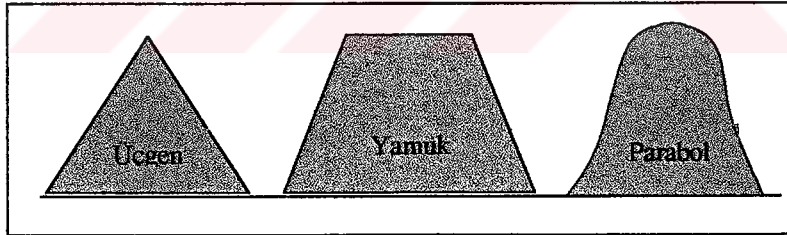
(b). Diğer bir kümelendirme

Şekil 4.2. Bulanık Kümeler

Bunu yine yaş konusunun (!) ele alarak biraz daha açalım. 35 yaşındaki bir insana pek orta yaşlı denemeyeceği gibi o kişi pek genç de sayılmaz, duruma göre belki genç tanımı, belki de orta yaşlı tanımı daha uygun düşer. İşte bulanık kümeler, Şekil 4.2’de gösterildiği üzere, böyle esnek bir düşünüşe olanak tanır. Kümelerin birbirlerinden keskin çizgilerle ayrılmamış olması, aralarında belirli bir örtüşüm (*overlap*) olması, 35 yaşın bir oranda hem orta yaşlı, hem genç; ısı denetleyicisi örneğinde ise 20° sıcaklığın hem biraz serin hem de biraz sıcak olarak düşünülmesine olanak tanır.

4.2. Üyelik Fonksiyonları (*Membership Functions*)

Yukarıda şekilde yaş kavramını belirtmek için şekil 4.2’de kullanılan eğriler, üyelik fonksiyonları (*membership functions*) olarak bilinirler ve 0 ile 1 arasında bir üyelik ağırlığına (*greed of membership*) sahiptirler. Üyelik ağırlığı belirli bir değerin bir bulanık küme içerisinde yer almasının güvenilirliğinin ve eminliğinin bir işaretidir. Üyelik fonksiyonları biçimsel olarak, denetlenen sürecin özelliklerine göre değişik şekillerde olabilir. Genelde Şekil 4.3’de gösterildiği üzere üçgen, yamuk veya parabol şeklindedir.



Şekil 4.3. Çeşitli Biçimde Üyelik Fonksiyonları

Üyelik fonksiyonlarında kullanılacak etiket sayısı kullanıcıya bağlıdır. Örneğin yukarıdaki yaş örneğinde Genç, Orta Yaşlı ve Yaşlı olmak üzere üç etiket kullanılmıştır.

Şimdiye kadar yapılan açıklamaları daha matematiksel olarak yapmaya çalışalım. Eğer değerlendirme kümesinin $[0,1]$ geçek aralığı olmasına izin verilirse, o zaman A bir bulanık küme olarak tanımlanır. Burada $\mu_A(x)$ x 'in A 'daki üyelik

derecesini verir. $\mu_A(x)$ 'in değeri 1'e yaklaştıkça x 'in A alt kümesindeki üyeliği artar. Başka bir deyişle, A , X 'in sınırları kesinlikle belirli olamayan bir alt kümesidir.

Bulanık küme teorisi, soyut küme teorisinin bir genelleştirmesidir. Başka bir deyişle bulanık küme teorisindeki tanımlar, teoremler ve ispatlar bulanık olmayan kümeler için de daima doğrudur.

Bir bulanık küme, olası kısmi üyelere izin veren bir sınıftır. O takdirde X 'deki bir A bulanık kümesi

$$A = \{(x, \mu_A(x)), x \in X\} \quad (4.1)$$

sıralı ikililerinin bir kümesidir. $\mu_A(x)$ $[0,1]$ aralığında bir sayıdır.

X evrensel kümesindeki bir A kümesinin supportu (desteği) klasik kümesi olup X 'in A bulanık kümesindeki 0'dan büyük üyelik derecesi olan elemanlarını kapsar.

$$\text{sup } A = \{x \in X \mid \mu_A(x) > 0\} \quad (4.2)$$

Eğer X sonlu ve sayılabilir bir küme ve A bulanık kümesi X 'de sonlu support varsa A aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$A = \frac{\mu_1}{x_1} + \dots + \frac{\mu_n}{x_n} = \sum_{i=1}^n \frac{\mu_i}{x_i} \quad (4.3)$$

Eğer yukarıda tanımlanan X kümesi sonlu değilse, buna ait bir bulanık küme de şöyle ifade edilir.

$$A = \int_x \frac{\mu_A}{x} \quad (4.4)$$

Bir A bulanık kümesinin α -cut'i; belirli bir α değerine eşit ya da daha büyük üyelik derecelerine içeren A kümesi support'unun elemanlarını taşıyan keskin kümedir.

Eğer eşitlik yoksa yani bütün üyelik dereceleri X 'den daha büyük ise ona strong α -cut formülü denir.

Özet olarak, klasik Boolean mantığından bir değer bir kümenin ya elemanıdır (*logic 1*) yada değildir (*logic 0*). Buna karşın bulanık mantıkta her değer her küme için bir üyelik derecesi vardır. Bu üyelik derecesi $[0,1]$ kapalı aralığındadır. Başka bir deyişle bir değer bir kümenin kısmi üyesi olabilir. Bu özellik sayesinde bulanık mantık insan düşünce sistemini klasik var/yok mantığına göre daha iyi modelliyebilir ve insanın tecrübelerini matematiksel ifadelerle çok daha doğru şekilde dönüştürebilir.

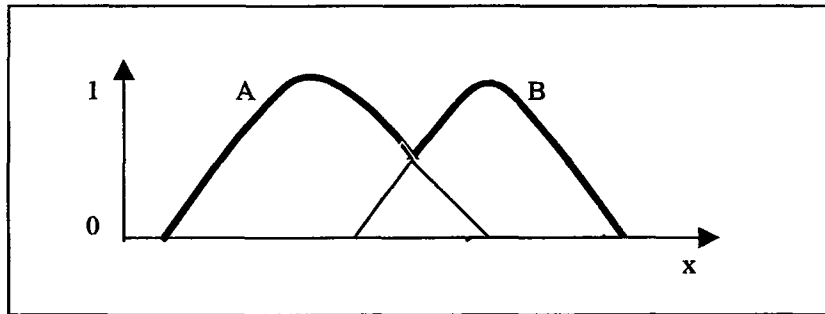
4.3. Küme İşlemleri

Klasik küme teorisinde karakteristik fonksiyonun aldığı değer ya 0 ya da 1 dir. Bulanık küme anlayışında fonksiyonun değer kümesi $[0,1]$ kapalı aralığıdır.

X uzayında tanımlı iki A ve B kümesi düşünelim. Bu kümelerin üyelik fonksiyonları $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ olsun. Burada $x \in X$ dir. Temel küme işlemleri aşağıda tanımlanmıştır.

Birleşim işlemi: $A \cup B$ kümesini üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cup B}(x)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

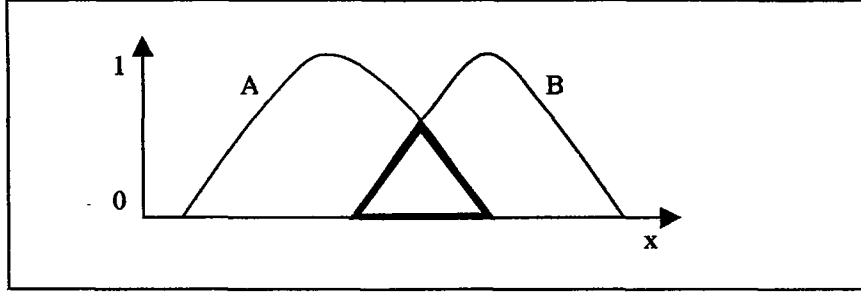
$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4.5)$$



Şekil 4.4. Bulanık Birleşim Kümesi

Kesişim işlemi: $A \cap B$ kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{A \cap B}(x)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

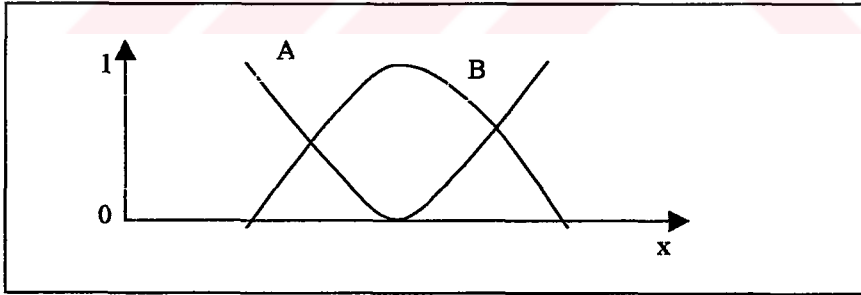
$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4.6)$$



Şekil 4.5. Bulanık Kesişim Kümesi

Ters alma işlemi: A' kümesinin üyelik fonksiyonu $\mu_{A'}(x)$ aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mu_{A'}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (4.7)$$

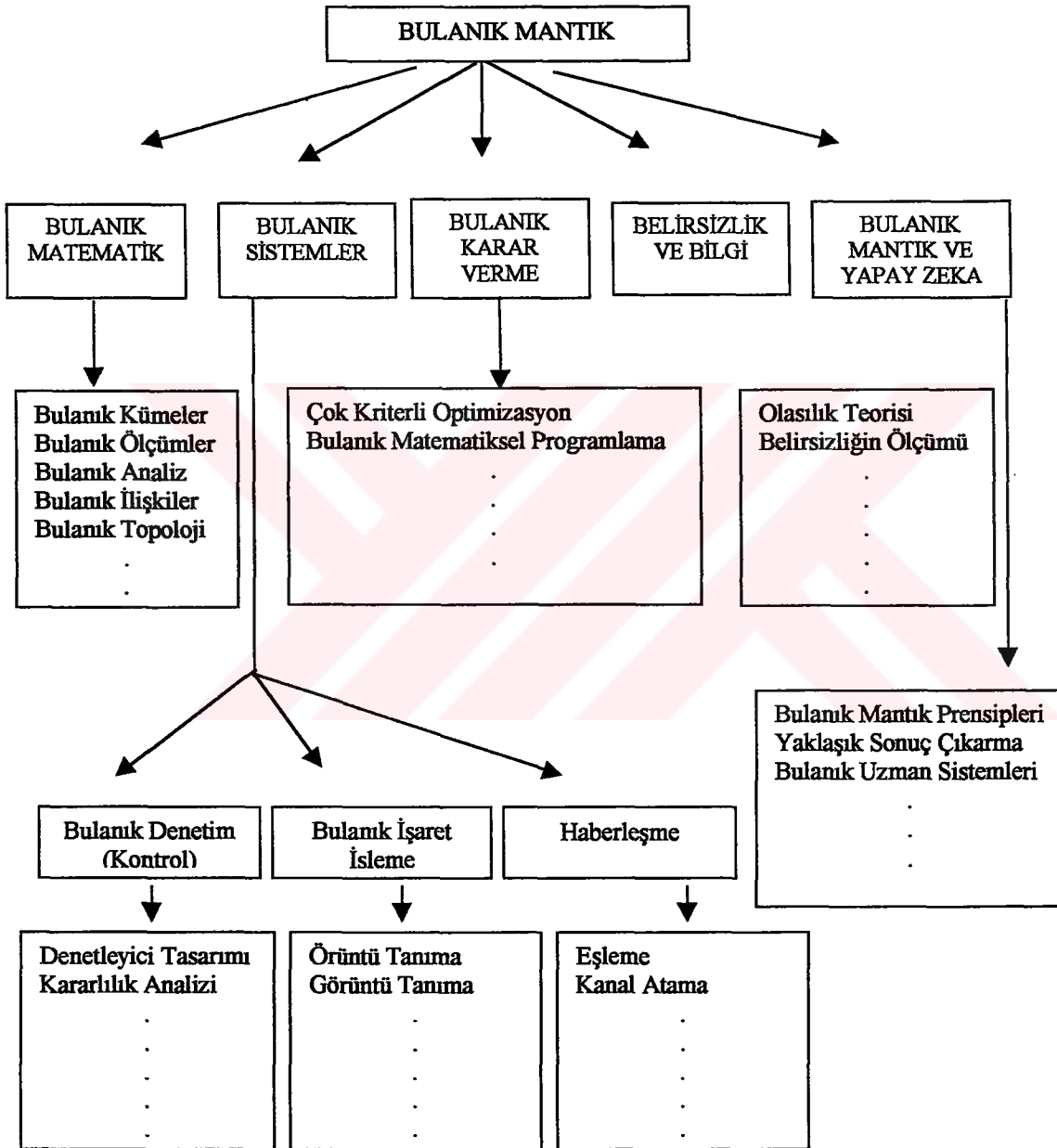


Şekil 4.6. Bulanık Ters Alma İşlemi

4.4. Bulanık Mantığın Teori ve Uygulamasında Başlıca Araştırma Alanları

Bulanık mantık konusunda başlıca araştırma alanları tablo 4.1.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. Bulanık Mantık Araştırma Alanları



Şüphesiz bu beş ana dal birbirinde bağımsız değildir ve aralarında kuvvetli bir ilişki vardır. Örneğin; bulanık denetim, bulanık matematik ve bulanık mantık kavramları üzerine kurulmuş bir denetim yaklaşımıdır.

4.5. Bulanık Teori Uygulamalarının Kısa Bir Tarihçesi

1960'lar: Bulanık Teorinin Başlangıcı.

Bulanık teori Lotfi A. Zadeh'in 1965 yılındaki "Fuzzy Sets" isimli makalesi ile doğmuştur. Bazı bilim adamları konuya olumlu yaklaşıp da bazıları da "bulanıklaştırmanın" bilimin temel prensiplerine aykırı olduğunu savundular. Özellikle istatistik ve olasılık ile uğraşan matematikçiler, olasılık teorisinin belirsizlikleri karakterize etmede yeterli olduğunu ve bulanık teorinin çözebileceği bir problemin eşdeğer veya daha iyi bir şekilde olasılık teorisi ile çözülebileceğini iddia etmişlerdir. Başlangıçta hiçbir pratik uygulama olmadığından, bulanık teoriyi savunmak gerçekten güçtü. Bu nedenle dünyadaki hemen hemen tüm ciddi bilimsel enstitüler bulanık teoriyi pek fazla ciddiye almadılar.

1970'ler: Teori büyümeye devam etti ve çeşitli uygulamalar gerçekleştirildi.

1973 yılında, Zadeh bulanık kontrolün temelini oluşturan başka bir makale yayınladı. 1970'lerdeki büyük olay bulanık denetleyicilerin gerçek sistemde kullanılmasıydı. 1975 yılında Mamdani ve Assilian, buhar kazanının denetimi için bir bulanık denetleyici tasarlayıp gerçekleştirdiler. Bu çalışmanın sonuçları başka önemli bir bilimsel makale olarak yayınladı. 1978'de Holmblad ve Ostergaard, çimento üretiminde kullanılan değirmenin kontrolü için bir bulanık denetleyici tasarlayıp gerçekleştirdiler. Bu uygulamalar matematiksel modeli bilinmeyen endüstriyel süreçlerin denetiminde, bulanık mantığın çok faydalı olabileceği seçeneğini ortaya çıkarmıştır.

1980'ler: Büyük sistemlerin kontrolü çok etkili oldu

80'li yılların başında teorik açıdan ilerleme çok yavaştı. Bunun sebebi çok az sayıda bilim adamının bu konu üzerine eğilmesi idi. Japon mühendislerin yeni teknolojilere hassaslıkları sayesinde bulanık mantığın süreç denetimindeki uygulamaları iyice hızlandı. 1980'de Şuğeno Japonya'nın ilk bulanık mantık denetim uygulamasını gerçekleştirdi. Daha sonra 1983'de bulanık mantıkla kendi kendine park eden bir robot arabanın kontrolünü yaptı. 1980'lerin başında Hitachi firmasından Yasunobu ve Miyamoto, Sandai metrosunda otomatik tren denetim konusunda çalışmalara başladılar.

Projeyi 1987 yılında bitirdiler ve dünyadaki en gelişmiş metro kontrol sistemini gerçekleştirdiler. Bulanık denetimin bu çok etkileyici uygulaması, bulanık teorisinin gelişimine çok olumlu katkıda bulunmuştur.

1990'lar: Tüketici marketlerinde Bulanık Denetimli bir çok ürün piyasaya çıktı

Otomatik çamaşır makinelerinde, kameralarda, araba motor ve fren sistemlerinde bulanık mantık başarıyla uygulandı. Japonya'daki bulanık sistemlerin başarısı A.B.D.'deki ve Avrupa'daki araştırmacıları şaşırttı ve çoğunun bulanık denetim hakkındaki fikrini olumlu yönde değiştirdi. Şubat 1992'de, bulanık sistemler üzerine ilk uluslararası IEEE (International Electrical Electronic Engineering) konferansı San Diego'da düzenlendi. Bu olay, bulanık teorisinin dünyadaki en büyük mühendislik organizasyonu olan IEEE tarafından kabul gördüğünün bir delili oldu. 1993'de "IEEE Transactions on Fuzzy Systems" adlı dergi yayına başladı.

1980'lerin sonu ve 1990'ların başında bulanık sistemler ve denetim teorik açıdan büyük ilerlemeler kaydetti. Fakat halen çalışılması gereken bir çok konu mevcuttur.

4.6. Bulanık Optimizasyon

Bulanık matematiksel programlama yöntemlerinden biri olan bulanık optimizasyon, bulanık ortamda karar vermeyi sağlayan bir tekniktir. Bulanık çevrede karar verme deyimi ile, sınırlayıcıların ya da amaçların ya da her ikisinin yapı olarak bulanık olduğu bir karar süreci kastedilmektedir. Bu amaçların ya da sınırlayıcıların sınırları kesin olarak tanımlanmamış alternatif gruplar içerdiği anlamına gelir.

Amaç fonksiyonu ile sınırlayıcıların kesişimi sonucu elde edilen çözümlere ise bulanık karar denir. Bulanık alternatifler olarakta adlandırılırlar. Alternatifler uzayındaki en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karar ya da kararlar ise, optimum karar olarak adlandırılır. Bulanık programlamada amaç optimum karara ulaşmaktır (Bellman, 1970).

Bir problem bulanık optimizasyon yöntemi ile çözülürken dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri kullanılacak üyelik fonksiyonun biçiminin seçimidir. Çünkü seçilen üyelik fonksiyonu biçiminin doğruluğu ve problemin yapısına uygunluğu, problemin çözümünü doğrudan etkilemektedir.

4.7. Bulanık Lineer Programlama ile İlgili Çalışmalar

Bulanık küme kuramı ilk olarak 1965 yılında Prof.Dr. Lotfi A. Zadeh tarafından ortaya atılmış ve büyük ilgi ile karşılanmış.

Bulanık mantık yöneylem araştırması, istatistik, haberleşme, kontrol, entegre devreleri üretimi, işletme, tıp, psikoloji ve mühendisliğin bir çok dalında uygulanmıştır.

Optimizasyon problemlerinde bulanık küme kuramının kullanımına ilişkin ilk çalışmanın Bellman ve Zedah'ın 1970 yılında yayınlanan "decision making in a fuzzy enviroment" dır. Bu çalışmayı takip eden optimizasyon çalışmaları Tanaka ve Zimmermann (1974) tarafından yapılmıştır.

1978 yılında Zimmerman bulanık optimizasyonun temellerini oluşturarak, çok amaçlı ve lineer üyelik fonksiyonlu bir bulanık optimizasyonu geleneksel bir optimizasyon problemine indirgenebileceğini kanıtlamıştır.

Rao mekanik sistemlerin optimum boyutlandırma ve tanımını yaptı (Rao, 1987). Tek bir amaç fonksiyonu ile yapılan optimum boyutlandırma Yuan ve Quan (1985) tarafından ele alındı. Bulanık kümelerin birkaç mühendislik sistemine uygulanması Brown ve Yao (1983) tarafından gerçekleştirildi. Rao (1992) mühendislik sistemlerinin çok amaçlı optimizasyonu için bir formülasyon verdi. İnşaat mühendisliği ile ilgili bulanık optimizasyonla yapılan bir çok çalışma vardır (Quanyong, 1999; Chen and Rao, 1997; Shih, 1993-1995; Mohandas ve diğ., 1990).

Bulanık optimizasyon konusunda burada belirtilmeyen bir çok çalışma yapılmıştır ve yapılmaya devam edilecektir.

4.8. Bulanık Optimizasyonun Uygulama Alanları

Bulanık optimizasyon 1978 yılında Zimmermann tarafından ortaya atıldıktan sonra, problemlerin modellenmesi ve çözümünde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bulanık optimizasyonu klasik optimizasyonun kullanıldığı bütün alanlarda kullanılabilmektedir. Gerçek problemlerin parametre değerlerinin çoğunlukla önceden bilinmemesi nedeniyle bulanık optimizasyon, klasik optimizasyonun önüne geçmeye

başlamış ve bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sonucunda büyük ölçekli gerçek yaşam problemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır.

Sonuç olarak bulanık optimizasyon, en çok yararın sağlanması amacıyla kaynakların akılcı değerlendirilmesi gerektiği ve parametre değerlerinin bir kısmı ya da hepsinin bilinmediği fakat olası değerlerin üyelik derecelerinin bilindiği problemler için etkin çözümleri kolaylıkla üreten bir yöntemdir.

4.9. Bulanık ile Klasik Optimizasyon Arasındaki Fark ve Benzerlikler

Klasik optimizasyon ile bulanık optimizasyon, amaçları yönünden bir birinden farklı iki yöntemdir. Klasik optimizasyonda amaç problemin optimum çözümüne ulaşmaktır. Bulanık optimizasyon amaç ise, en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karar olarak tanımlanan optimal karara ulaşmaktır.

Klasik optimizasyon ve bulanık optimizasyon yapı olarak ta birbirinden farklı iki yöntemdir. Klasik optimizasyonda amaç fonksiyonu, problemin formülasyon ve çözüm aşamasında gereklidir. Oysa bulanık optimizasyonda herhangi bir amaç fonksiyonunun olması gerekli değildir. Problemin formülasyon aşamasında herhangi bir amaç fonksiyonu mevcut olsa bile, çözüm sırasında bu fonksiyon sınırlayıcıya dönüştürülür.

Bulanık optimizasyondaki tek amaç, en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık karara ulaşmaktır. En yüksek üyelik derecesine ulaşan parametre değeri bizim optimize edeceğimiz amaç fonksiyonun minimum değerini verir.

5. ANSYS PROGRAMI İLE GELİŞTİRİLEN ÇOK AMAÇLI BULANIK OPTİMİZASYON YÖNTEMİ

5.1. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyon Yöntemi

Bu yöntem çok amaçlı optimizasyon tekniğine uygulanan, ÇABO yöntemidir. Boyutlandırma probleminin amaç fonksiyonları, sınırlayıcılarındaki belirsizlik ve karmaşık yapısını çözmek için bulanık kümeler kullanılarak modellendi.

Başlangıçta bulanık küme bilgileri, her bir sınırlayıcı fonksiyonunun yerini tutan üyelik elemanları bulunmaktadır. Üyelik fonksiyonlarının biçimi seçilerek, bulanık geçiş bölgesi en uygun şekilde tanımlanır.

Geliştirilen ÇABO yönteminin formülasyonu aşağıdaki alt bölümlerde tanımlanmaktadır.

5.1.1. Çok Amaçlı Bulanık Optimizasyonu için Matematiksel Model

Klasik çok amaçlı optimizasyon probleminin durumu:

$$\min f(x)$$

$$g_j^{(l)} \leq g_j(x) \leq g_j^{(u)} \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (5.1)$$

Burada, x boyutlandırma değişkeni, $f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)\}^T$ amaç fonksiyonunun vektörü, $g_j(x)$ j . sınırlayıcı fonksiyonu, l ve u alt ve üst sınır değerleri olarak tanımlanır. Bu fonksiyon:

$$\min f(x)$$

$$g_j(x) \in G_j; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (5.2)$$

G_j sınırlayıcı fonksiyonları için $g_j; G_j = [g_j^l, g_j^u]$ aralıkları ile belirtilir. Sınırlayıcılar bulanık küme bilgilerini içerdiği için problem, denklem (5.2)'dekine benzer olarak:

$$\min f(x)$$

$$g_j(x) \in G_j; \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (5.3)$$

tanımlanır.

Belirtilen bu operatörler, bulanık küme değişken bilgilerinin sınırlayıcı değerlerine kadar kullanılır. Bundan dolayı $g_j(x) \in G_j$ sınırlayıcısı, $\mu_{G_j}(g_j) > 0$ 'ın yönündeki G_j bulanık kümesinin bir elemanıdır. Bulanık optimum karar $\underline{D}$, bütün sınırlayıcıları göz önünde tutarak tanımlanır.

$$\underline{D} = \bigcap_{j=1}^m \underline{G}_j \quad (5.4)$$

ve üyelik derecesi bir x boyutlandırma değişkeninin bulanık optimum karar $\underline{D}$, tarafından elde edilir.

$$\mu_{\underline{D}}(x) = \min_{j=1,2,\dots,m} \{\mu_{G_j}[g_j(x)]\}, \quad (5.5)$$

Bütün sınırlayıcılar, x boyutlandırma değişkeninin minimum değeri hesaba katılarak $\mu_{\underline{D}}(x) > 0$ ifadesini sağlamalıdır.

5.1.2. λ Formülasyonu

Denklem (5.5) de belirtildiği gibi bulanık optimum kararın üyelik fonksiyonu $\mu_{\underline{D}}(x) > 0$ dır. Tek amaçlı fonksiyon, $f(x)$ 'in bulanık karar. $S(\underline{D})$, bulanık amaç ve bulanık sınırlayıcıların kesişimidir:

$$S = \{\mu_f(x)\} \cap \left\{ \bigcap_{j=1}^m \mu_{G_j}[g_j(x)] \right\} \quad (5.6)$$

Bulanık optimum karar S , optimum çözümü elde edilen bulanık optimum kararlar arasındaki en büyük üyelik derecesine sahip olan değerdir.

$$\mu_S(x) = \max \mu_S(x) \quad (5.7)$$

$$\mu_S(x) = \min\{\mu_f(x), \mu_{G_1}[g_1(x)], \mu_{G_2}[g_2(x)], \dots, \mu_{G_m}[g_m(x)]\} \quad (5.8)$$

Yukarıdaki yaklaşım göz önüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon probleminin formülasyonu, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların kesişiminden oluşan bulanık karar aşağıdaki gibi yazılır.

$$S = \left(\bigcap_{i=1}^k \mu_{f_i}(x) \right) \cap \left(\bigcap_{j=1}^m \mu_{G_j}[g_j(x)] \right) \quad (5.9)$$

$$\mu_S(x) = \min_{i,j} \{\mu_{f_i}(x), \mu_{G_j}[g_j(x)]\} \quad (5.10)$$

Burada i . amaç ve j . sınırlayıcı fonksiyonun üyelik elemanları sırayla $\mu_{f_i}(x)$ ve $\mu_{G_j}[g_j(x)]$ olarak tanımlanır. Optimum çözüm (x^*) değeri:

$$\mu_S(x^*) = \max \mu_S(x) \quad (5.11)$$

5.1.3. İşlem Sırası

1- Başlangıçta herhangi bir boyutlandırma değişkeni x_s , $f_i(x)$ amaç fonksiyonunun minimizasyonundaki sınırlar $g_j^{(l)} \leq g_j(x) \leq g_j^{(u)}$; $j=1,2,\dots,m$ klasik optimizasyon yöntemini kullanır. Çözüm için $x_i^*, i=1,2,\dots,k$ dir.

2- Amaç fonksiyonunun minimum ve maksimum değerleri:

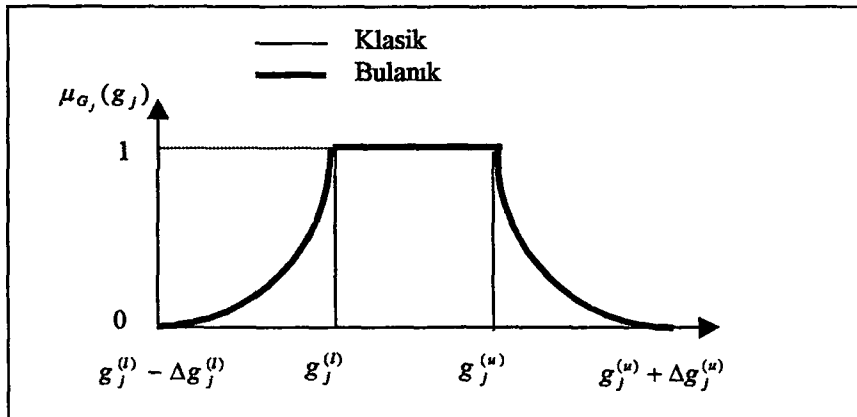
$$\left. \begin{aligned} f_i^{\min} &= \min_j f_i(x_j^*) = f_i(x_i^*) \\ f_i^{\max} &= \max_j f_i(x_j^*), \end{aligned} \right\} i=1,2,\dots,k, \quad (5.12)$$

3- Denklem (5.12) de belirtilen f_i 'nin sınır değerlerindeki, bulanık amaç fonksiyonlarının, üyelik fonksiyonları:

$$\mu_{f_i}(x) = \begin{cases} f_i(x) > f_i^{\max} & \text{ise } 0. \\ f_i^{\min} < f_i(x) \leq f_i^{\max} & \text{ise } \left(\frac{f_i^{\max} - f_i(x)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \right), i=1,2,\dots,k. \\ f_i(x) \leq f_i^{\min} & \text{ise } 1. \end{cases} \quad (5.13)$$

4- λ parametresinin maksimum olması durumu, bulanık kararın en büyük değere ulaşmasını sağlar.

$$\lambda = [f_i^{\max} - f_i(x)] / [f_i^{\max} - f_i^{\min}] \quad (5.14)$$



Şekil 5.1. Bulanık Üyelik Fonksiyon Biçimi

5- Bulanık sınırlayıcıların durumu:

$$g_j^{(l)} - \Delta g_j^{(l)} \leq g_j(x) \leq g_j^{(u)} + \Delta g_j^{(u)}, j=1,2,\dots,m, \quad (5.15)$$

Burada $\Delta g_j^{(l)}$ ve $\Delta g_j^{(u)}$ sınır aralığı. j . sınırlayıcının üyelik fonksiyonları:

$$\mu_{g_j^{(l)}}(x) = \begin{cases} g_j(x) \geq g_j^{(l)} & \text{ise} & 1 \\ g_j^{(l)} - \Delta g_j^{(l)} < g_j(x) < g_j^{(l)} & \text{ise} & \left(\frac{g_j(x) - g_j^{(l)} + \Delta g_j^{(l)}}{\Delta g_j^{(l)}} \right) \\ g_j(x) \leq g_j^{(l)} - \Delta g_j^{(l)} & \text{ise} & 0 \end{cases} \quad (5.16)$$

$$\mu_{g_j^{(u)}}(x) = \begin{cases} g_j(x^*) \leq g_j^{(u)} & \text{ise} & 1 \\ g_j^{(u)} < g_j(x) < g_j^{(u)} + \Delta g_j^{(u)} & \text{ise} & \left(\frac{-g_j(x) - g_j^{(u)} + \Delta g_j^{(u)}}{\Delta g_j^{(u)}} \right) \\ g_j(x) \geq g_j^{(u)} + \Delta g_j^{(u)}, & \text{ise} & 0 \end{cases} \quad (5.17)$$

6- λ parametresinin maksimum değeri, çok amaçlı bulanık optimizasyon problemlerinde amaç ve sınırlayıcı fonksiyonlarının optimum çözümünü verir.

$$\max \lambda$$

$$\lambda \leq \mu_{f_i}(x), i=1,2,\dots,k$$

$$\lambda \leq \mu_{g_{\beta}}(x), j=1,2,\dots,m \quad (5.18)$$

$$\lambda \leq \mu_{g_{\mu}}(x), j=1,2,\dots,m.$$

Tablo 6.6'da verilen algoritmanın ANSYS tabanlı olarak geliştirilen ÇABO uygulaması aşağıda adımlar halinde sunulmuştur.

1. **Adım:** Başlangıç kesit alanı yazılarak, geometrik bakımdan lineer olmayan analiz seçilir. Daha sonra üç boyutlu çubuk sistemler üzerinde, seçilen çubuk elemanları gruplandırılır. Gruplandırılan elemanların elastisite modülleri ile çubukların düğüm noktası koordinatları yazılır.
2. **Adım:** Analiz tipi, statik olarak belirlenip, düğüm noktaları serbestlik dereceleri ile düğüm noktalarına etki eden dış yük vektörleri yazılır.
3. **Adım:** Klasik optimizasyon ile kesit alanlarının üst sınır değerlerine göre elde edilen yapı hacmi ve deplasmanların minimum ve maksimum değerleri denklem (5.12) göre yazılır. Daha sonra sistemin serbest olan düğüm noktalarındaki eksenel deplasmanları düzenlenir. Yapı hacmi ve deplasmanların minimum ve maksimum değerleri denklem (5.13)'de yerleştirilerek, λ_1 ve λ_2 üyelik fonksiyonlarının denklemleri kurulur. Daha sonra bu denklemlerin birbirine eşitliği sağlayan, λ değeri şartı yazılır.
4. **Adım:** Bulanık boyutlandırma değişkenleri ile durum değişkenlerinin, alt ve üst sınır değerleri yazılır. Durum değişkenleri olarak amaç fonksiyonların üyelik dereceleri olan λ_1 ve λ_2 parametreleri de birer sınırlayıcı olarak tanımlanır. Bu parametrelerin birbirine eşitliği sağlanarak, birçok λ parametreleri bulunarak en büyük λ değeri, bulanık optimum karara ulaşmamızı sağlayacaktır.

Altıncı bölümde geliştirilen bu algoritmanın uygulaması sunulmuştur.

6. GELİŞTİRİLEN YÖNTEMİN SAYISAL UYGULAMALARI

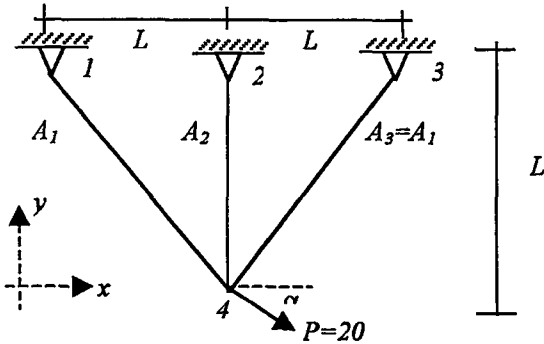
ANSYS paket programıyla lineer olmayan uzay kafes sistemlerin optimum boyutlandırılmasını yapan bir algoritma yazılmıştır. Ülker (1988) tez çalışmasındaki sayısal örnekler çözülerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Geliştirilen boyutlandırma algoritmasına bulanık kümeler katılarak, lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı bulanık optimizasyon algoritması oluşturulmuştur.

Algoritmanın geçerliliğini kanıtlamak için Rao'nun (1992) üç çubuklu düzlem kafes sistemin, verilen datalarla çözümü yapılmış ve aynı sonuçlar elde edilmiştir. Çok amaçlı bulanık optimizasyonunun çalışma şekli, dört çubuklu basit bir uzay kafes sistem üzerinde açıklanmıştır. Çözülen örneklerde uzunluklar ve deplasmanlar cm , kuvvet kN , alanlar cm^2 , hacimler cm^3 , elastisite modülü kN/cm^2 olarak alınmıştır. Yalnız karşılaştırılma yapıldığından, Rao'nun (1992) çalışmasındaki düzlem kafes sistemin data birimleri olduğu gibi alınmıştır.

Üç çubuklu düzlem kafes ile ilgili bir çok bulanık optimizasyon çalışması mevcuttur. (Quanyong ve diğ., 1999; Shih and Chang, 1995; Rao ve diğ., 1992).

6.1. Üç Çubuklu Düzlem Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

Şekil 6.1'de görülen düzlem kafes sistemin 4 noktasına yatayla α açısı yapacak şekilde P yükü etki etmektedir. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlık ve 4 noktasındaki düşey deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir. $L=1, E=1, \rho=1, \alpha=45^\circ$



Şekil 6.1. Üç Çubuklu Kafes Sistem

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^3 \rho A_i \ell_i \\ \delta_4(x) = \delta_{4y} \end{cases} \quad (6.1)$$

Sınırlayıcılar;

$$\sigma_1 \leq \sigma^{(u)}, \sigma_2 \leq \sigma^{(u)}, \sigma_3 \geq \sigma^{(l)} \quad (6.2)$$

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}; i = 1, 2$, değerleri $A_i^{(l)} = 0.1, (i = 1, 2), A_i^{(u)} = 5, (i = 1, 2)$.

Gerilme sınırlayıcılarının sınırları $\sigma_i^{(l)} \leq \sigma_i \leq \sigma_i^{(u)}; i = 1, 2, 3$, değerleri $\sigma^{(l)} = -15; (i = 1, 2, 3), \sigma^{(u)} = 20; (i = 1, 2, 3)$.

Çubuk kesit alanlarının değişkenleri

$$x = \begin{Bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{Bmatrix} \quad (6.3)$$

Amaç fonksiyonlarının denklemleri aşağıdaki gibi yazılır.

$$W(x) = 2\sqrt{2A_1} + A_2 \quad (6.4)$$

$$\delta(x) = \frac{PH}{E} \left[\frac{1}{A_1 + \sqrt{2A_2}} \right] \quad (6.5)$$

Klasik optimizasyondan elde edilen kesit alanları yapı hacmi ve deplasman denklemlerinde yerine yazılır. Ayrıca kesit alanlarında müsaade edilebilir üst sınır değerleri denklem (5.13) ve (5.14)'de yerine yazılarak, $W^{\max}, W^{\min}, \delta^{\max}$ ve $\delta^{\min}$ değerleri bulunur.

Klasik optimizasyondan elde edilen kesit alanları; $x_1^* = [0.78866, 0.40826]$

$$W^{\min} = W(x_1^*) = 2.6389, \quad \delta^{\max} = \delta(x_1^*) = 14.6409$$

Kesit alanlarının üst değerleri; $x_2 = [5.0, 5.0]$

$$W^{\max} = W(x_2^*) = 19.1421, \quad \delta^{\min} = \delta(x_2^*) = 1.6569$$

değerleri bulunur.

Bulunan bu değerler denklem (5.14)'de yerine yazılarak λ_1, λ_2 denklemleri kurulur.

$$\lambda_1 = [19.1421 - W(x)] / [19.1421 - 2.6389] \quad (6.6)$$

$$\lambda_2 = [14.6409 - \delta(x)] / [14.6409 - 1.6569] \quad (6.7)$$

(6.6) ile (6.7) denklemlerini birbirine eşitleyerek, $[0,1]$ aralığında birçok λ değerleri bulunur. Bulunan bu λ değerlerinden en büyüğü ($\max \lambda$) bulanık optimum kararı verir.

Tek amaçlı bulanık optimizasyonun çözümdeki sınırlar $\lambda=1$ ve $\lambda=0$ olarak belirtilirse Rao ve bu tezdeki sonuçların durumları tablo 6.1'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1. Tek Amaçlı Bulanık Optimum Çözüm

	$\lambda=1$				$\lambda=0$	
	Min. Ağırlık		Min. Deplasman		Min. Ağırlık	Min. Dep.
	Bu tezde	Rao (1992)	Bu tezde	Rao (1992)	Bu tezde	
A_1	0.78866	0.78706	5	5	0.78961	5
A_2	0.40826	0.40735	5	5	0.40561	5
W	2.63894	2.63350	19.1421	19.1421	2.63896	19.1421
δ_4	14.64085	14.67190	1.6569	1.6569	14.67111	1.6569

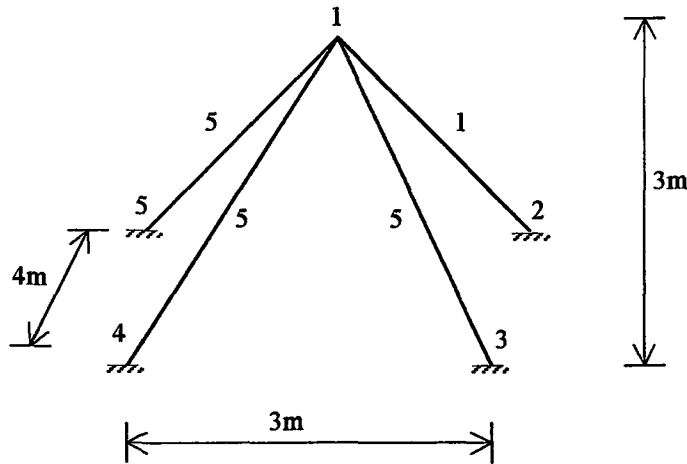
Çok amaçlı bulanık optimizasyon ile üç çubuklu kafes sistemin çözümünden elde edilen sonuçlar Rao'nun, Shih'in ve Quanyong'un sonuçları tablo 6.2'de karşılaştırılmıştır (Quanyong, 1999; Shih, 1993; Rao, 1990).

Tablo 6.2. ÇABO Algoritması ile Çözümü

	λ^*	A_1^*	A_2^*	W^*	δ_4^*
Bu tezde	0.8477	0.59455	3.46593	5.14757	3.63894
Rao (1992)	0.8484	0.57956	3.48710	5.12636	3.62905
Shih (1995)	0.8485	0.59421	3.44573	5.12640	3.62910
Quanyong (1999)	0.8400	0.58061	3.64540	5.28761	3.48677

6.2. Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

Şekil 6.2'de görülen 4 çubuklu basit uzay kafes sistemin mesnet olmayan düğüm sayısı 1, elastisite modülü $2.1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ olup çubukların hepsi bir grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 4 cm^2 olarak seçilmiştir. Minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. 1 düğüm noktasının x , y ve z deplasmanları 1 cm ile sınırlandırılmıştır. 1 düğüm noktasına sadece y eksen yönünde 150 kN yük etki etmektedir. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlı ve 1 noktasındaki deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir.



Şekil 6.2. Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^4 \rho A_i \ell_i \\ \delta(x) = \sqrt{\delta_{1x}^2 + \delta_{1y}^2 + \delta_{1z}^2} \end{cases} \quad (6.8)$$

Sınırlayıcılar;

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}; i = 1$ değerleri
 $A_i^{(l)} = 2\text{cm}^2, A_i^{(u)} = 6\text{cm}^2, i = 1$

Tablo 6.3. Düğüm Noktası Koordinatları

Düğüm no	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	200.0	200.0	300.0
2	400.0	0.0	0.0
3	400.0	400.0	0.0
4	0.0	400.0	0.0
5	0.0	0.0	0.0

Tablo 6.4. Yükleme (kN)

Düğüm no	X	Y	Z
1	0	150	0

Tablo 6.5. Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması

	A (cm ²)	δ (cm)	minW (cm ³)
Başlangıç değerleri	4.00	0.782	6597
Bu tezde	3.10	1.000	5125
Ülker (1988)	3.13	1.000	5161

Klasik optimizasyondan elde edilen kesit alanı; $x_1^* = [3.10]$. Klasik optimizasyondan elde edilen yapı hacmi ve deplasman değerleri bulunur.

$$W^{\min} = W(x_1^*) = 5125 \text{ cm}^3, \quad \delta^{\max} = \delta(x_1^*) = 1.0 \text{ cm}$$

Kesit alanlarının üst değeri; $x_2 = [6.0]$. Elde edilen yapı hacmi ve deplasman değerleri bulunur.

$$W^{\max} = W(x_2^*) = 9895.2 \text{ cm}^3, \quad \delta^{\min} = \delta(x_2^*) = 0.52152 \text{ cm}$$

Bulunan bu değerler denklem (5.13) ile (5.14)' de yerine yazarsak.

$$\mu_w(x) = \begin{cases} 0. & W(x) > 9895.2 \\ \left(\frac{9895.2 - W(x)}{9895.2 - 5125} \right) & 6597 < W(x) \leq 9895.2 \\ 1. & W(x) \leq 5125 \end{cases} \quad (6.9)$$

$$\lambda_1 = [9895.2 - W(x)] / [9895.2 - 5125] \quad (6.10)$$

$$\mu_\delta(x) = \begin{cases} 0. & \delta(x) > 1.0 \\ \left(\frac{1.0 - \delta(x)}{1.0 - 0.52152} \right) & 0.52152 < \delta(x) \leq 1.0 \\ 1. & \delta(x) \leq 0.52152 \end{cases} \quad (6.11)$$

$$\lambda_2 = [1.0 - \delta(x)] / [1.0 - 0.52152] \quad (6.12)$$

λ_1, λ_2 parametrelerinden oluşan denklem (6.10), (6.12) kurulur. Kurulan bu denklemler eşitlik sağlanacak şekilde $[0,1]$ aralığında birçok λ değerleri bulunur. Bulunan bu λ değerlerinden en büyüğü ($\max \lambda$) bulanık optimum kararı verir. Yani sistemin yapı hacmi ve deplasmanı minimize eder.

Tablo 6.6. Geliştirilen ÇABO Algoritması

```

/FILNAM,NLUK4
A=2
/PREP7
NLGEOM,ON          ! lineer olmayan analiz
/TITLE,COK AMACLI BULANIK OPTIMIZASYON
ET,1,LINK8          ! üç boyutlu eleman
R,1,A               ! grup no
MP,EX,1,21000       ! elastisite modülü
N,1,200,200,300     ! düğüm nok. koordinatları
N,2,400,0,0
N,3,400,400,0
N,4,0,400,0
N,5,0,0,0

E,1,2,1             ! çubuk elemanları doğ. ve grup no
E,1,3,1
E,1,4,1
E,1,5,1
FINISH

/SOLU
ANTYPE,STAT         ! analiz tipi
D,2,ALL,,,5,1       ! serbestlik dereceleri
F,1,FY,150          ! 1 düğüm nok y yönündeki kuvvet
SOLVE
FINISH

/POST1

SET, LAST
ETABLE,EVOL,VOLU
SSUM
*GET,VTOT,SSUM,,ITEM,EVOL

WT=VTOT              ! toplam yapı hacmi
WTMAX=9895.2         ! müsaade edilebilir max. Yapı hacmi
WTMIN=5125           ! min. Yapı hacmi
UMAX=1.0             ! 1 nok. müsaade edilebilir max. depls.
UMIN=0.52152         ! 1 nok. min. depls.

ETABLE,U,LS,1        ! eksenel deplasman

*GET,UX1,NODE,1,U,X
*GET,UY1,NODE,1,U,Y
*GET,UZ1,NODE,1,U,Z

UX1=ABS(UX1)
UY1=ABS(UY1)
UZ1=ABS(UZ1)

```

```

UXFZ=(UX1*UX1+UY1*UY1+UZ1*UZ1)**(1/2) ! 1 nok. top. deplasman
LAMDA1=(WTMAX-WT)/(WTMAX-WTMIN)      !  $\lambda_1$  üyelik fonksiyonu
LAMDA2=(UMAX-UXFZ)/(UMAX-UMIN)      !  $\lambda_2$  üyelik fonksiyonu
L=LAMDA1-LAMDA2

/ESHAPE,2
/VIEW,1,1,1,1
EPILOT
LGWRITE,NLUK4,LGW
FINISH

OPFILE,NLUK4,LGW
OPSAVE,NLUK4,LGW

/OPT                                ! bulanık optimizasyon
OPANL,NLUK4,LGW
OPVAR,A,DV,0,6                     ! bulanık opt. Boyutlandırma değış.
OPVAR,UX1,SV,0,1                    ! bulanık opt. Durum değış.
OPVAR,UY1,SV,0,1
OPVAR,UZ1,SV,0,1
OPVAR,LAMDA1,SV,0,1                 ! üyelik fonk. [0,1]
OPVAR,LAMDA2,SV,0,1                 ! üyelik fonk. [0,1]
OPVAR,L,SV,0,0.00001
OPSAVE,NLUK4,OPT
OPVAR,WT,OBJ,,,0.0001
OPTYPE,FIRST
OPFRST,30
OPEXE
OPLIST,ALL

/VIEW,1,,,1
/AXLAB,X,ITERASYON SAYISI
/AXLAB,Y,YAPI HACMI
PLVAROPT,WT
/AXLAB,Y,UYELIK FONKSIYONLARI
PLVAROPT,LAMDA1,LAMDA2
/AXLAB,Y,KESIT ALANI
PLVAROPT,A
FINISH

```

Tablo 6.7. Dört Çubuklu Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritmasının Sonucu

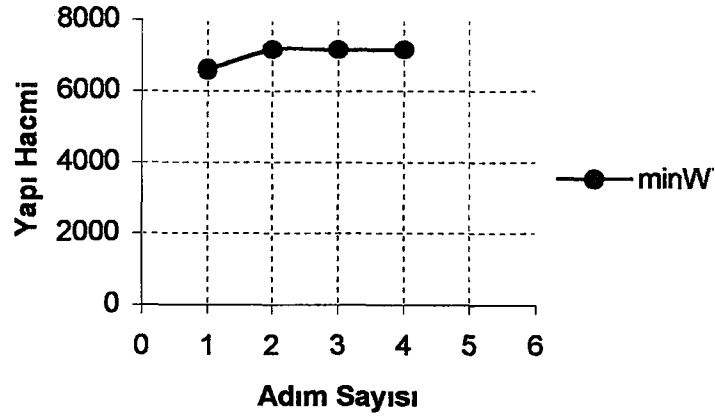
```

/NOPR
*SET,A      , 4.326390824615 ! bul. Opt göre kesit alanı
*SET,L      , .2415110207397E-03
*SET,LAMDA1 , .5785873760026
*SET,LAMDA2 , .5783458649819
*SET,UMAX   , 1.000000000000
*SET,UMIN   , .5215200000000
*SET,UX1    , .0000000000000
*SET,UXFZ   , .7232730705235 ! bulanık opt. karar (minδ)
*SET,UY1    , .7232730705235
*SET,UZ1    , .0000000000000
*SET,VTOT   , 7135.222498992
*SET,WT     , 7135.222498992 ! bulanık opt. karar (minW)
*SET,WTMAX  , 9895.200000000
*SET,WTMIN  , 5125.000000000
*SET,_RETURN, .0000000000000
*SET,_STATUS, 1.0000000000000
/END

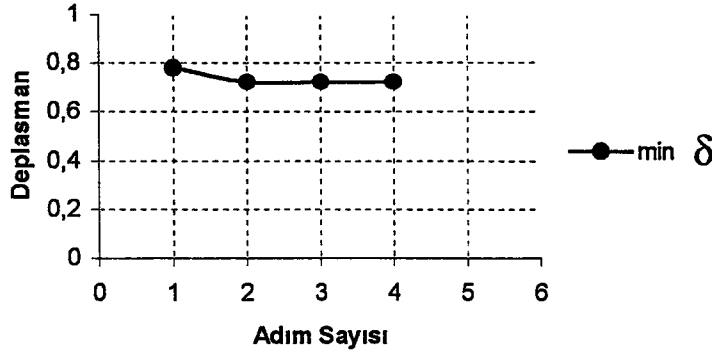
```

Tablo 6.8. Linear Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Bu tezde	λ^*	A (cm ²)	minδ (cm)	minW (cm ³)
	0.5785	4.3267	0.7233	7136



Şekil 6.3. Minimum Yapı Hacmi



Şekil 6.4. Minimum Deplasman

6.3. Dokuz Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

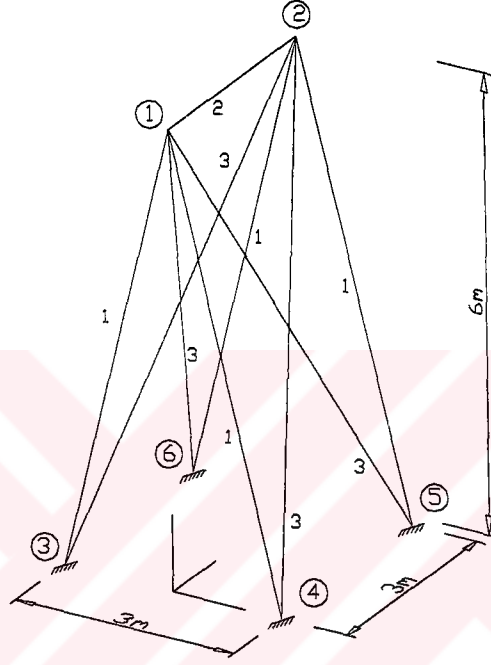
Lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı bulanık optimizasyonuna ikinci örnek olarak şekil 6.3’de görülen 9 çubuklu uzay kafes sistem alınmıştır. Sistemin mesnet olmayan düğüm sayısı 2, elastisite modülü $2.06 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ olup çubuklar üç grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 6 cm^2 olarak seçilmiştir. Minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. 1 ve 2 düğüm noktalarının yalnız x, y yönündeki deplasmanları 2 cm ile sınırlandırılmıştır. 1 ve 2 düğüm noktalarında x,y, ve z yönünde yüklemeler mevcuttur. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlı ve 1 ve 2 noktasındaki deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir.

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^9 \rho A_i \ell_i \\ \delta(x) = \sum_{i=1}^2 \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2 + \delta_{iz}^2} \end{cases} \quad (6.13)$$

Sınırlayıcılar;

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}$; $i = 1, 2, 3$ değerleri $A_i^{(l)} = 2.0 \text{ cm}^2$, ($i = 1, 2, 3$), $A_i^{(u)} = 10 \text{ cm}^2$, ($i = 1, 2, 3$).



Şekil 6.5. Dokuz Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Tablo 6.9. Düğüm Noktası Koordinatları

Düğüm no	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0.0	0.0	600
2	0.0	300	600
3	-150	0.0	0.0
4	150	0.0	0.0
5	150	300	0.0
6	-150	300	0.0

Tablo 6.10. Yükleme (kN)

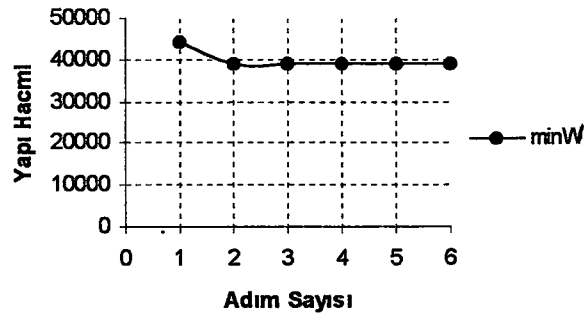
Düğüm no	X	Y	Z
1	80.0	0.0	-32.0
2	-80.0	48.0	-32.0

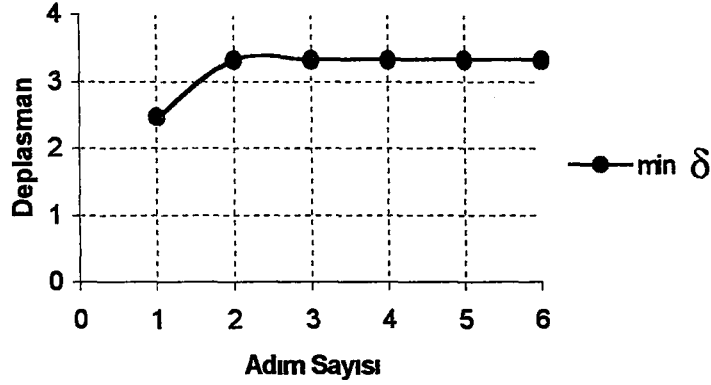
Tablo 6.11. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması

	Alanlar (cm ²)			Yapı Hacmi (cm ³)
	A ₁	A ₂	A ₃	minW
Başlangıç değerleri	10.00	10.00	10.00	55234
Bu tezde	8.72	2.09	2.00	27709
Ülker (1988)	9.21	2.00	2.00	28885

Tablo 6.12. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Bu tezde	λ^*	Alanlar (cm ²)			Deplasmanlar (cm)					Y.Hacmi (cm ³)
		A ₁	A ₂	A ₃	δ_{x1}	δ_{y1}	δ_{x2}	δ_{y2}	min δ	minW
	0.5970	7.95	2.05	6.74	1.58	0.42	1.58	0.59	3.37	38808

**Şekil 6.6. Minimum Yapı Hacmi**



Şekil 6.7. Minimum Deplasman

6.4. Yirmibeş Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

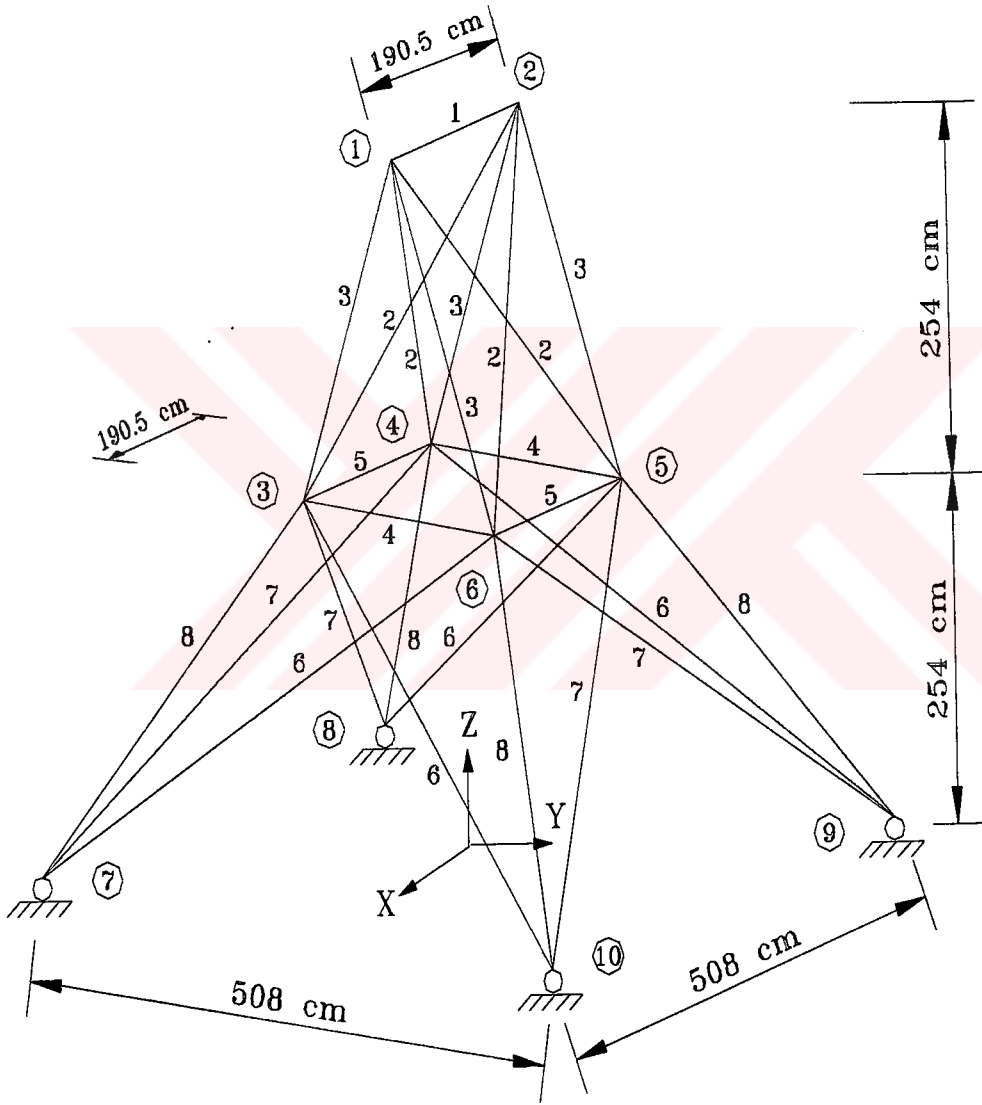
Lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı bulanık optimizasyonuna üçüncü örnek olarak şekil 6.4’de görülen 25 çubuklu uzay kafes sistem alınmıştır. Sistemin mesnet olmayan düğüm sayısı 2, elastisite modülü 20700 kN/cm^2 olup çubuklar 8 grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 10 cm^2 olarak seçilmiştir. Minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. 1 ve 2 düğüm noktalarının yalnız x, y yönündeki deplasmanları 1cm ile sınırlandırılmıştır. 1, 2, 3 ve 6 düğüm noktalarında x,y, ve z yönünde yüklemeler mevcuttur. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlık ve 1 ve 2 noktasındaki toplam deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir.

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^{25} \rho A_i \ell_i \\ \delta(x) = \sum_{i=1}^2 \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2 + \delta_{iz}^2} \end{cases} \quad (6.14)$$

Sınırlayıcılar;

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}; i=1, \dots, 8$ değerleri $A_i^{(l)} = 2.0 \text{ cm}^2, (i=1, \dots, 8), A_i^{(u)} = 20 \text{ cm}^2, (i=1, \dots, 8)$.



Şekil 6.8. Yirmibeş Çubuklu Uzay Kafes

Tablo 6.13. Düğüm Noktası Koordinatları

Düğüm no	X (cm)	Y(cm)	Z(cm)
1	-95.25	0.00	508.00
2	95.25	0.00	508.00
3	-95.25	95.25	254.00
4	95.25	95.25	254.00
5	95.25	-95.25	254.00
6	-95.25	-95.25	254.00
7	-254.00	254.00	0.00
8	254.00	254.00	0.00
9	254.00	-254.00	0.00
10	-254.00	-254.00	0.00

Tablo 6.14. Yükleme ve Deplasman Sınırları

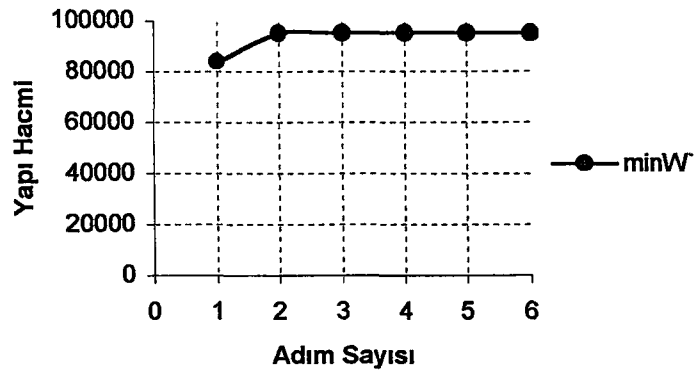
Düğüm no	Yükleme (kN)			Deplasman üst sınırları (cm)	
	X	Y	Z	X	Y
1	80.0	120.0	-30.0	1	1
2	60.0	100.0	-30.0	1	1
3	30.0	0.0	0.0	-	-
6	30.0	0.0	0.0	-	-

Tablo 6.15. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması

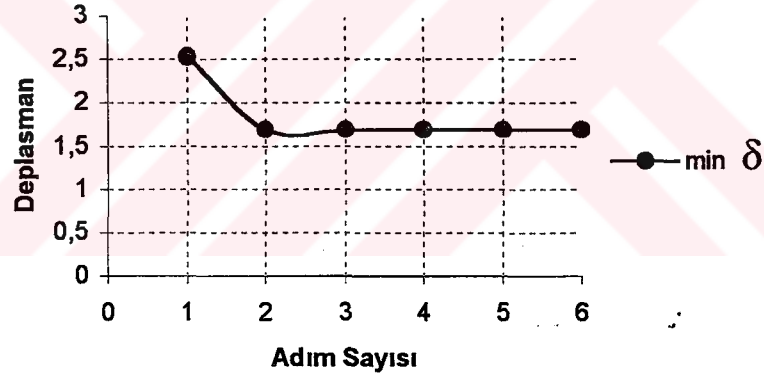
	Alanlar (cm ²)								Y.Hacmi (cm ³)
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	minW
Başlangıç değerleri	10	10	10	10	10	10	10	10	84003
Bu tezde	2.00	3.23	16.6	2.00	6.35	3.88	3.22	18.2	63613
Ülker (1988)	2.00	7.50	13.1	2.00	3.27	3.80	4.22	17.2	64587

Tablo 6.16. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Bu tezde		Alanlar (cm ²)							
	λ^*	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
	0.6970	2.17	12.82	14.10	2.48	2.78	8.73	9.42	20
	Deplasmanlar (cm)						Yapı Hacmi (cm ³)		
	δ_{x1}	δ_{y1}	δ_{x2}	δ_{y2}	min δ	minW			
	0.47	0.74	0.47	0.66	1.6829	95245			



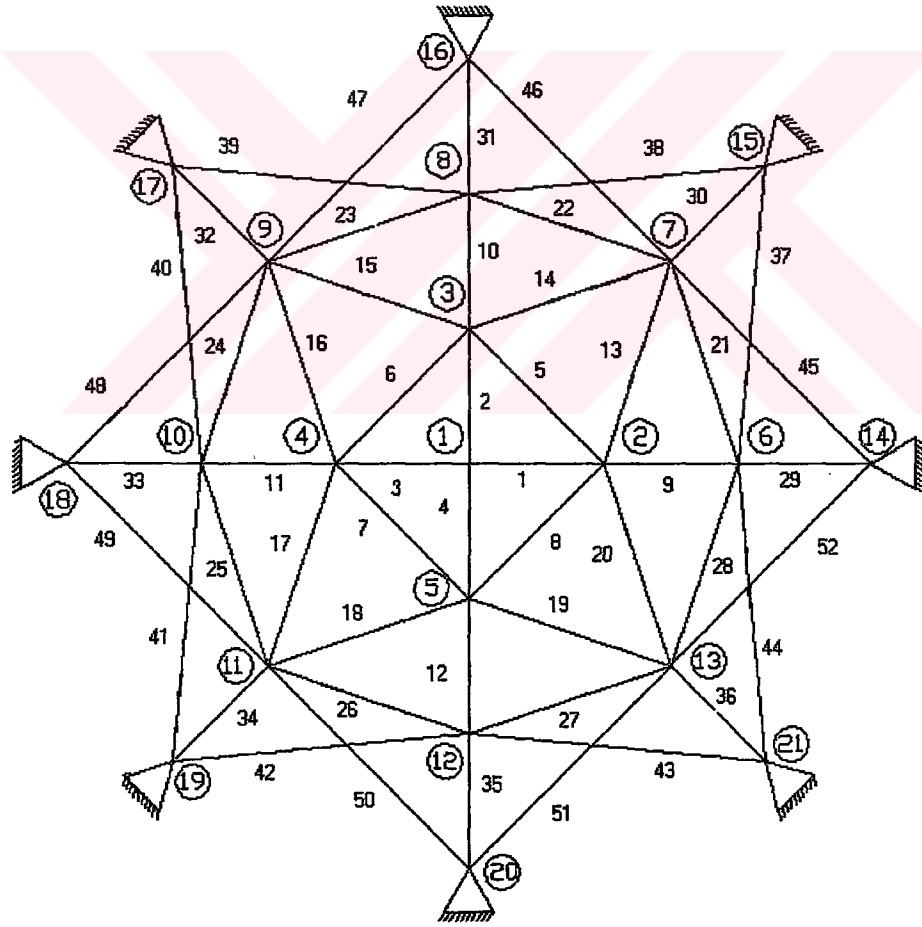
Şekil 6.9. Minimum Yapı Hacmi



Şekil 6.10. Minimum Deplasman

6.5. Elliiki Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

Lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı bulanık optimizasyonuna dördüncü örnek olarak şekil 6.5’de görülen 52 çubuklu uzay kafes sistem alınmıştır. Çubukların elastisite modülü $2.1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ olup çubuklar 8 grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 20 cm^2 olarak seçilmiştir. Minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. Mesnet olmayan düğüm noktalarının yalnız z eksen yönündeki deplasmanı 1 cm ile sınırlandırılmıştır. Yükleme durumu aşağıdaki tabloda verilmiştir. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlık ve 1 noktasındaki deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir.



Şekil 6.11. Elliiki Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^{52} \rho A_i \ell_i \\ \delta(x) = \sqrt{\delta_{1x}^2 + \delta_{1y}^2 + \delta_{1z}^2} \end{cases} \quad (6.15)$$

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}; i = 1, 2, \dots, 8$ değerleri $A_i^{(l)} = 2.0 \text{ cm}^2, (i = 1, 2, \dots, 8), A_i^{(u)} = 100 \text{ cm}^2, (i = 1, 2, \dots, 8).$

Tablo 6.17. Düğüm Noktası Koordinatları

Düğüm no	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0	0	925
2	500	0	822
3	0	-500	822
4	-500	0	822
5	0	500	822
6	1000	0	514
7	750	-750	514
8	0	-1000	514
9	-750	-750	514
10	-1000	0	514
11	-750	750	514
12	0	1000	514
13	750	750	514
14	1500	0	0
15	1104	-1104	0
16	0	-1500	0
17	-1104	-1104	0
18	-1500	0	0
19	-1104	1104	0
20	0	1500	0
21	1104	1104	0

Tablo 6.18. Yükleme ve Deplasman Sınırları

Düğüm no	Yükleme (kN)			Deplasman üst sınırları (cm)
	X	Y	Z	Z
1	0	0	150	1
2	0	0	70	1
3	0	0	70	1
4	0	0	70	1
5	0	0	70	1
6	0	0	30	1
7	0	0	30	1
8	0	0	30	1
9	0	0	30	1
10	0	0	30	1
11	0	0	30	1
12	0	0	30	1
13	0	0	30	1

Tablo 6.19. Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması

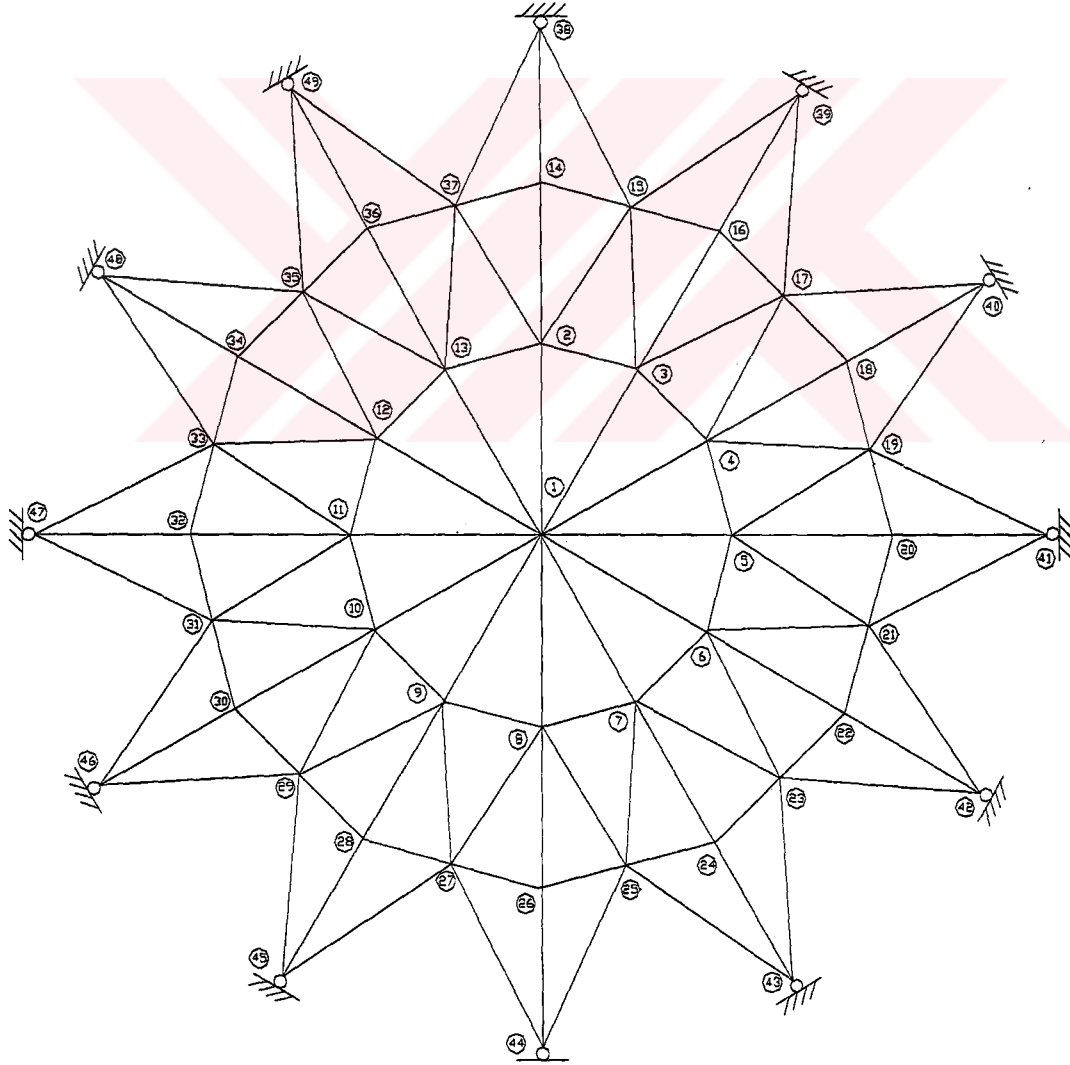
	Alanlar (cm ²)								Y. Hacmi(cm ³)
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	minW
Başlangıç değerleri	20	20	20	20	20	20	20	20	905536
Bu tezde	85.51	21.71	30.89	14.82	10.90	24.23	2.00	2.01	655726
Ülker (1988)	81.82	22.41	33.58	14.46	10.64	25.16	2.00	2.00	657473

Tablo 6.20. Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Bu tezde		Alanlar (cm ²)								Depls. (cm)	Y.Hacmi (cm ³)
	λ^*	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈	min δ	minW
	0.7582	100	100	47.87	41.68	34.03	54.75	5.78	$\frac{13.0}{9}$	0.5296	1591801

6.6. Yüzüymü Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen ÇABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

Lineer olmayan uzay kafes sistemlerin çok amaçlı bulanık optimizasyonuna dördüncü örnek olarak daha büyük boyutlu 120 çubuklu kafes sistem incelenmiştir. Çubukların elastisite modülü $2.1 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ olup çubuklar 7 grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 10 cm^2 olarak seçilmiştir, minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. Mesnet olmayan bütün düğüm noktalarına dış yük uygulanmıştır. Düğüm noktalarının yalnız z eksenı yönündeki deplasmanı 1 cm ile sınırlandırılmıştır. Yükleme durumu aşğıdaki tabloda verilmiştir. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlık ve I noktasındaki deplasman gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniğı ile boyutlandırılması istenmektedir.



Şekil 6.12. Yüzüymü Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Tablo 6.21. Düzüm Noktası Koordinatları

Düzüm no	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
1	0.00	0.00	700.00
2	0.00	94.10	500.00
3	347.05	-601.10	500.00
4	601.10	-347.05	500.00
5	694.10	0.00	500.00
6	601.10	347.05	500.00
7	347.05	601.10	500.00
8	0.00	694.10	500.00
9	-347.05	601.10	500.00
10	-601.10	347.05	500.00
11	-694.10	0.00	500.00
12	-601.10	-347.05	500.00
13	-347.05	-601.10	500.00
14	0.00	-1250.00	300.00
15	312.50	-1166.25	300.00
16	625.00	-1082.50	300.00
17	853.75	-853.75	300.00
18	1082.50	-625.00	300.00
19	1166.25	-312.50	300.00
20	1250.00	0.00	300.00
21	1166.25	312.50	300.00
22	1082.50	625.00	300.00
23	853.75	853.75	300.00
24	625.00	1082.50	300.00
25	312.50	1166.25	300.00
26	0.00	1250.00	300.00
27	-312.50	1166.25	300.00
28	-625.00	1082.50	300.00
29	-853.75	853.75	300.00
30	-1082.50	625.00	300.00
31	-1166.25	312.50	300.00
32	-1250.00	0.00	300.00
33	-1166.25	-312.50	300.00
34	-1082.50	-625.00	300.00
35	-853.75	-853.75	300.00
36	-625.00	-1082.50	300.00
37	-312.50	-1166.25	300.00
38	0.00	-1589.00	0.00
39	794.50	-1376.10	0.00
40	1376.10	-794.50	0.00
41	1589.00	0.00	0.00
42	1376.10	794.50	0.00
43	794.50	1376.10	0.00
44	0.00	1589.00	0.00
45	-794.50	1376.10	0.00
46	-1376.10	794.50	0.00
47	-1589.00	0.00	0.00
48	-1376.10	-794.50	0.00
49	-794.50	-1376.10	0.00

Tablo 6.22. Yükleme ve Deplasman Sınırları

Düğüm no	Yükleme (kN)			Deplasman üst sınırları (cm)
	X	Y	Z	Z
1	0	0	60	1
2	0	0	30	1
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
14	0	0	30	1
15	0	0	10	1
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
37	0	0	10	1

Tablo 6.23. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin Optimum Boyutlandırılması

	Alanlar (cm ²)							Y. Hacmi (cm ³)
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	minW
Başlangıç değ.	10	10	10	10	10	10	10	622039
Bu tezde	6.33	41.70	24.34	5.83	21.22	15.55	5.95	964389
Ülker (1988)	17.50	45.56	25.45	8.44	22.30	15.96	3.90	966534

Tablo 6.24. Lineer Olmayan Uzak Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Bu tezde	Alanlar (cm ²)								Depls. (cm)	Y.Hacmi (cm ³)
	λ^*	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	min δ	minW
	0.7244	34.44	26.68	40.11	32.70	39.73	33.44	32.73	0.3322	2134888

6.7. İkivüzkırkdört Çubuklu Uzay Kafes Sistem İçin Geliştirilen CABO Algoritmasının Sayısal Çözümlemesi

Son olarak şekil 6.7’de verilen 244 çubuklu yüksek gerilim kulesinin optimum boyutlandırması yapılmıştır. Çubukların elastisite modülü $2.06 \times 10^4 \text{ kN/cm}^2$ olup çubuklar 32 grupta toplanmıştır. Başlangıç kesit alanı 10 cm^2 olarak seçilmiştir, minimum kesit alanı 2 cm^2 alınmıştır. Mesnet olmayan düğüm noktalarından yalnız 1, 2, 17, 24 ve 25 nolu noktaların x ve z deplasmanlarına sınırlama getirilmiştir. Yükleme durumu deplasman üst sınırları tablo 6.23 verilmiştir. Amaç fonksiyonları olarak sistemin minimum ağırlık, 1 ve 2 noktasındaki deplasmanlar gözönüne alınarak, çok amaçlı bulanık optimizasyon tekniği ile boyutlandırılması istenmektedir.

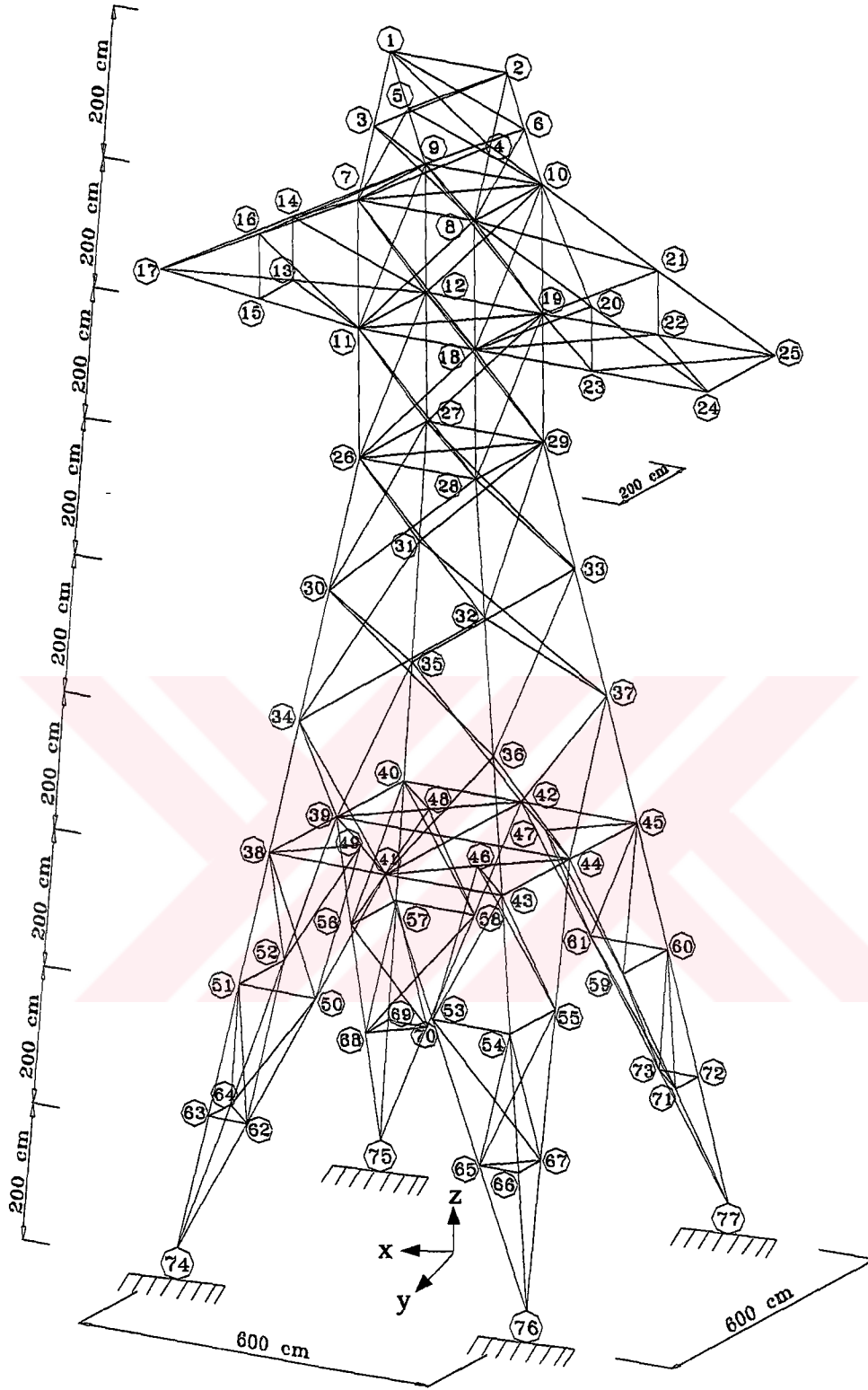
Amaç fonksiyonları;

$$\min \begin{cases} W(x) = \sum_{i=1}^{32} \rho A_i \ell_i \\ \delta(x) = \sum_{i=1}^2 \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2 + \delta_{iz}^2} \end{cases} \quad (6.17)$$

Boyutlandırma değişkenlerinin sınırları $A_i^{(l)} \leq A_i \leq A_i^{(u)}; i = 1, 2, \dots, 32$ değerleri $A_i^{(l)} = 2.0 \text{ cm}^2, (i = 1, 2, \dots, 32), A_i^{(u)} = 100 \text{ cm}^2, (i = 1, 2, \dots, 32)$.

Tablo 6.25. Yükleme ve Deplasman Sınırları

Düğüm no	Yükleme (kN)		Deplasman üst sınırları (cm)	
	X	Z	X	Z
1	-10.0	-30.0	4.5	1.5
2	10.0	-30.0	4.5	1.5
17	35.0	-90.0	3.0	1.5
24	175.0	-45.0	3.0	1.5
25	175.0	-45.0	3.0	1.5



Şekil 6.13. İkiyüzkırkdört Çubuklu Uzay Kafes Sistem

Tablo 6.26. Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemin ÇABO Algoritması ile Çözümü

Alanlar (cm ²)		A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
maxλ = 0.79425		2.04	3.07	2.40	2.04	7.55	5.83	4.17	36.44
A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	A ₁₆	A ₁₇	A ₁₈
66.70	2.06	45.60	2.13	2.01	9.95	2.07	2.12	2.01	62.57
A ₁₉	A ₂₀	A ₂₁	A ₂₂	A ₂₃	A ₂₄	A ₂₅	A ₂₆	A ₂₇	A ₂₈
2.04	100	19.83	4.43	2.28	2.03	2.65	2.05	2.07	2.11
A ₂₉	A ₃₀	A ₃₁	A ₃₂	$\min \delta(x) = \sum_{i=1}^2 \sqrt{\delta_{ix}^2 + \delta_{iy}^2 + \delta_{iz}^2}$			$\min W(x) = \sum_{i=1}^{32} \rho A_i \ell_i$		
3.05	2.12	4.47	2.05	2.8615			1679200		

7. SONUÇLAR

Lineer olamayan uzay kafes sistemlerin belirsiz ve karmaşık yapısını optimum boyutlandırmak için, bulanık kümeler kullanılarak bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yöntem Rao'nun (1992) mühendislik sistemlerin çözümü için vermiş olduğu, çok amaçlı bulanık optimizasyon parametresi olan λ formülasyonu kullanılmıştır.

Tezdeki orijinal katkılar:

1. Lineer olamayan uzay kafes sistemlerin bulanık optimizasyonu ile çözümü için ANSYS paket programı kullanarak bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritma genel amaçlı olup, çerçeve sistemlerine de uygulanabilir.
2. Ayrıca bulanık optimizasyonundaki amaç fonksiyonları da, birer sınırlayıcı olarak işleme katılmıştır.
3. Bu tezde yalnız geometrik bakımdan lineer olmama gözönüne alınmışsa da, yöntem geometrinin yanında malzeme bakımdan da lineer olmamayı içerecek biçimde geliştirilebilir.
4. Tek amaçlı optimizasyon yapan bir boyutlandırma problemi, bulanık kümeler kullanılarak çok amaçlı bir optimizasyon işlemine dönüştürülmüştür.

Bu orijinal katkılar çerçevesinde elde edilen sonuçlar:

1. Bulanık optimizasyonundaki amaç en yüksek üyelik derecesine sahip bulanık optimum karara ulaşmaktır. Ulaşılan bu optimal karar amaç fonksiyonlarını minimize eder.
2. Bulanık küme kullanılarak optimizasyon yapma işleminin, küçük bir yazılımla sonuca daha hızlı ulaştığı görülmüştür.
3. Bulanık mantıkla optimizasyonun diğer bir avantajı ise mühendisin deneyimlerinden yararlanabilmesine imkan sağlamaktadır.
4. Klasik optimizasyon ile çözülebilen problem için kesinlik varsayımının sağlanması gerekirken, bulanık optimizasyonla çözülmesi için kesin olmama varsayımının sağlandığı görülmüştür.

5. Boyutlandırma probleminin belirsiz ve karmaşık yapısını modellemek için, bulanık küme teorisi kullanımının uygun olduğu görülmüştür.
6. Sayısal örneklerde, çok amaçlı bulanık optimizasyon yapıldığından, tek amaçlı klasik optimizasyona göre yapı hacmi büyük çıkmaktadır. Bunun sebebi çok amaçlı bulanık optimizasyonda amaç fonksiyonlarından biri olan deplasmanların minimize edilmesidir.



KAYNAKLAR

- Bellman, R.E., Zadeh, L.A., 1970, Decision-making in a fuzzy environment. Management Science, Vol. 17, 141-164.
- Brown, C.B. and Yao J.T.O., 1983, Fuzzy sets and structures engineering. ASCE J. Struct.Engng., 109, 1211-1225.
- Chen, L., Rao, S.S., 1997, Fuzzy finite-element approach for the vibration analysis of imprecisely-defined systems. Finite Elements in Analysis and Design, 27, 69-83.
- Demir, Ö., 1983, Uzay kafes sistemlerin optimum boyutlandırılması ve şekillendirilmesi. Doktora Tezi Fırat Üniversitesi, 164s
- Erdem, H., 1999, Yarı rijit düzlemsel çerçevelerin nonlinear analizi. D.E.Ü. Müh. Fak. Dergisi, cilt 1, sayı 3, 1-12 .
- Harold, C.M., Graham, F.C., 1973, Introduction to finite element analysis, teory and application, Mc Graw Hill.
- Jung, C.Y., Pulmano, V.A., 1996, İmproved fuzzy linear programming model for structure designs. . Computers & Structures Vol. 58, No. 3, 471-477.
- Koski, J., 1984, Multicriterion optimization in structural design. In New Directions in Optimum Structural Design, pp 483-503, John Wiley, New York.
- Majid, K.I., 1974, Optimum design of structures, London.
- Majid, K.I., 1980, Introduction to matrix and numarical methods for civil engineers, London, Sayı 1.
- Mohandas, S.U., Phelps, T.A., Ragsdell, K.M., 1990, Structural optimization using a fuzzy goal programming approach. Computers & Structures, Vol. 37, No. 1, 1-8.

Mohandas, S.U., S andgren E., 1989, Multiobjective optimization dealing with uncertainty. Proceedings of the 1989 ASME Design Automation Conference, Montreal Canada, 17-21.

Przemienicki, J.S., 1968, Teory of matrix structural analysis, Mc Graw Hill.

Quanyong, L., Wei, Z., Ying,, Z., 1999,A nonlinear progranning for multi-objective fuzzy optimal design. J. of Guilin Inst. Of Elec. Technology, Vol 19 No.1.

Rao, S.S., 1984, Multiobjective optimization in structural design with uncertain parameters and stochastic processes. AIAA JI 22, 1670-1678.

Rao, S.S., 1987, Description and optimum design of fuzzy mechanical systems. J. Mech. Trans. Automation Design 109,126-132.

Rao, S.S., 1987, Multiobjective optimization of fuzzy structural systems. Int. J. Numer. Meth. Engng 24, 1157-1171.

Rao, S.S.,1992 Sundararaju, K., Prakash, B.G., Balakrishna, C., 1992, Multiobjective fuzzy optimization techniques for engineering design. Computers &Structures, Vol. 42, No. 1, 37-44.

Seung, J.K., Wie, D.K., Nam, S.G., 1994, Indentification of nonlinear membership function for failure of structural material and its application to structural optimization. Fuzzy Sets and Systems 66, 15-23.

Shih, C. J.,1997, Fuzzy and improved penalty approaches for multiobjective mixed-discrete optimization in structural systems. Computers and Structures Vol. 63, No.3, 559-567.

Shih, C.J., Chang, C.J.,1995, Pareto optimization of alternative global criterion method for fuzzy structural design. . Computers &Structures Vol. 54, No. 3, 455-460.

Shih, C.J., Tseng, T.J.,1993, Robus feasible engineering optimization using fuzzy nonlinear programming. Derp. of Mech. Engng. Tamaka Universty, Tamsui, Taiwan 25137, R.O.C.

Tanaka, H., Okuda, T. and Asia, K.,1974, On fuzzy mathematical programming. J. Cybernetics 3, 37-46.

Ülker, M., 1988, Lineer olmayan kafes sistemlerin optimum boyutlandırılması. Doktora Tezi Fırat Üniversitesi.

Ülker, M., 1996, Uzak kafes sistemlerin çalışma tablolarıyla optimum boyutlandırması, Fırat Üniv. İnş. Müh. Fak. Elazığ, 125s

Ülker,M., M.S. Hayalioğlu, Optimum design of space trusses with buckling constraints by means of spreadsheets. Turk J Engin. Environ Sci, TÜBİTAK, 25, 355-367, 2001.

Yuan, W.G and Quan, W.W., 1985, Fuzzy optimum design of structures. Engng Optimiz. 8, 291-300.

Yuan, W.G, Quan, W.W., 1985, Fuzzy optimum design of aseismic structures. Earthquake Engng. Struct. Dyn. 13, 827-837.

Zedah, L., 1965 Fuzzy sets. Information and Control 8, 338-353.

Zimmermann, H.J., 1974, Optimization in fuzzy environment. XXI International TIMS and 46th Conference, San Juan, Perto Rico.

Zimmermann, H.-J., 1978, Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. Fuzzy Sets and Systems, 1,45-55.