

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU İLE ENİYİLEME  
ÇÖZÜCÜSÜ GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Samet TOPLU**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Programı**

**ŞUBAT 2017**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU İLE ENİYİLEME  
ÇÖZÜCÜSÜ GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Samet TOPLU**

**1403720001**

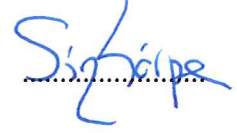
**Makine ve Uçak Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Makine ve Uçak Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Durmuş Sinan KÖRPE**

Türk Hava Kurumu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1403720001 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi "Mehmet Samet TOPLU" ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU İLE ENİYİLEME ÇÖZÜCÜSÜ GELİŞTİRİLMESİ" başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Durmuş Sinan KÖRPE**  
**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**



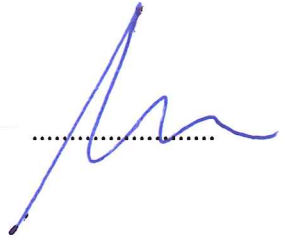
**Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Tahsin Çağrı ŞİŞMAN**  
**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**



**: Yrd. Doç. Dr. Durmuş Sinan KÖRPE**  
**Türk Hava Kurumu Üniversitesi**



**: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KAYA**  
**Yıldırım Beyazıt Üniversitesi**



**Tez Savunma Tarihi: 03 Şubat 2017**

**TÜRK HAVA KURUMU ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ'NE**

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum, “GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU İLE ENİYİLEME ÇÖZÜCÜSÜ GELİŞTİRİLMESİ” adlı çalışmamın, tarafımdan akademik etik ve kurallara aykırı düşecek bir yardıma başvurmaksızın yazıldığını ve yararlandığım kaynakların kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atıf yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve bunu onurumla doğrularım.



03.02.2017

Mehmet Samet TOPLU

## ÖNSÖZ

Tez çalışmamın tamamlanmasında emek ve yardımlarını esirgemeyen ve çalışmalarım süresince değerli fikir ve tecrübeleri ile bana büyük destek sağlayan saygıdeğer danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Durmuş Sinan KÖRPE'ye içtenlikle teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında birçok konuda yardımlarını gördüğüm arkadaşlarım Hakan DARAK, Sernil Buket Ada TUNÇ, Kadir AKKAYA ve Burak TÜRKOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince, bana maddi ve manevi yönden desteklerini hiç eksik etmeyen anneme, babama ve ablalarımın en içten dilekleriyle teşekkürlerimi sunarım.

Şubat 2017

Mehmet Samet TOPLU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ .....	iv
İÇİNDEKİLER .....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
ŞEKİL LİSTESİ .....	vii
KISALTMALAR .....	ix
SEMBOL LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xiii
ABSTRACT .....	xv
<b>BİRİNCİ BÖLÜM</b> .....	1
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1 Literatür Araştırması .....	4
<b>İKİNCİ BÖLÜM</b> .....	16
<b>2. GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU</b> .....	16
2.1 Giriş .....	16
2.1.1 Hedef Fonksiyonu .....	16
2.1.2 Tasarım Değişkenleri .....	16
2.1.3 Kısıtlamalar .....	17
2.2 Teori .....	18
2.2.1 Genel İndirgenmiş Gradyan Metodu .....	18
2.2.2 Adım Uzunluğu Üst Sınırının Seçimi .....	20
2.2.2.1 Altın Oran Arama Metodu .....	20
2.2.3 Temel ve Temel Olmayan Değişkenlerin Seçimi .....	22
2.2.4 Olurlu Bölgeye Geçiş .....	23
<b>ÜÇÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	26
<b>3. ENİYİLEME PROBLEM ÇÖZÜMÜ</b> .....	26
3.1 Yapısal Eniyileme Problemi .....	26
3.2 Problem Çözümü İçin Geliştirilen Eniyileme Çözücüsü .....	27
3.3 Çözücü Sonuçlarının Karşılaştırılması .....	28
3.3.1 Farklı $\varepsilon$ Büyüklük Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması .....	28
3.3.2 Farklı $\delta$ Sınır Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması .....	30
3.3.3 Farklı $\gamma$ Sınır Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması .....	32
3.3.4 Farklı $\zeta$ Büyüklük Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması .....	35
3.3.5 Farklı Tasarım Değişkeni Sayıları İçin Sonuçların Karşılaştırılması .....	37
<b>DÖRDÜNCÜ BÖLÜM</b> .....	42
<b>4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER</b> .....	42
<b>KAYNAKÇA</b> .....	43
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	46

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 1.1</b>	: İlk ve en uygun kesitlerin parametrelerinin karşılaştırılması.....	10
<b>Tablo 2.1</b>	: J.W. Chinneck ve W. Ibrahim'in temel kısıtlama konsensüsü.....	24
<b>Tablo 3.1</b>	: Farklı $\varepsilon$ büyüklük terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	30
<b>Tablo 3.2</b>	: Farklı $\delta$ sınır terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	32
<b>Tablo 3.3</b>	: Farklı $\gamma$ sınır terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	34
<b>Tablo 3.4</b>	: Farklı $\zeta$ büyüklük değerleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	36
<b>Tablo 3.5</b>	: N=250 için GİGM ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	38
<b>Tablo 3.6</b>	: N=250 için GİGM, GİGM1 ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	39
<b>Tablo 3.7</b>	: N=500 için GİGM1 ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması. ....	41

## ŞEKİL LİSTESİ

<b>Şekil 1.1</b>	: Bir kargo uçağında yapılan iş baz alınarak yapılmış bir eniyileme .....	3
<b>Şekil 1.2</b>	: Eniyileme sonucu ile elde edilen kanat iç yapısı.....	3
<b>Şekil 1.3</b>	: (a) Eniyileme sonucu elde edilen roket geometrisi ve (b) ulaşılan menzil.....	4
<b>Şekil 1.4</b>	: En uygun çelik kafes .....	5
<b>Şekil 1.5</b>	: (a) Tek katlı bir binanın en uygun topolojisi ve (b) En uygun çelik kesitleri.....	5
<b>Şekil 1.6</b>	: Üst kontrol kolunun görünümü ve sonlu elemanlar modeli .....	6
<b>Şekil 1.7</b>	: İlk tasarım için gerilim sınırı.....	7
<b>Şekil 1.8</b>	: Tasarım değişkenlerinin tanımı .....	7
<b>Şekil 1.9</b>	: Eniyileme için başlangıç tasarımının gerilim sınırları .....	8
<b>Şekil 1.10</b>	: Eniyileme Süreci .....	9
<b>Şekil 1.11</b>	: Kiriş Yüklemesi ve Kaynaklı Kiriş Kesiti.....	9
<b>Şekil 1.12</b>	: (a) T-kiriş kesit alanı, (b) gerilim ve (c) gerilim .....	11
<b>Şekil 1.13</b>	: Fanuc S900W robotunun görünümü ve Eşdeğer kinematik diyagramı.....	12
<b>Şekil 1.14</b>	: Hesaplanan tolerans sonuçlarının kullanılması .....	13
<b>Şekil 1.15</b>	: Temel kanat ve en uygun sabit kanat üst görünümü .....	14
<b>Şekil 1.16</b>	: Temel kanat, en uygun sabit kanat ve şekil değiştirebilen kanatların üst görünümleri .....	15
<b>Şekil 2.1</b>	: Unimodal fonksiyon grafiği .....	21
<b>Şekil 3.1</b>	: Destekli Kirişin (a) yandan görünüşü ve (b) önden görünüşü.....	26
<b>Şekil 3.2</b>	: Farklı $\varepsilon$ büyüklük terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.....	29
<b>Şekil 3.3</b>	: Farklı $\varepsilon$ büyüklük terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.....	29
<b>Şekil 3.4</b>	: Farklı $\delta$ sınır terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.....	31
<b>Şekil 3.5</b>	: Farklı $\delta$ sınır terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.....	31
<b>Şekil 3.6</b>	: Farklı $\gamma$ sınır terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.....	33
<b>Şekil 3.7</b>	: Farklı $\gamma$ sınır terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.....	33
<b>Şekil 3.8</b>	: Farklı $\zeta$ büyüklük değerleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.....	35
<b>Şekil 3.9</b>	: Farklı $\zeta$ büyüklük değerleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.....	36
<b>Şekil 3.10</b>	: N=250 iken GİGM ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği.....	38



<b>Şekil 3.11</b> : N=250 iken GİGM, GİGM1 ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği. ....	39
<b>Şekil 3.12</b> : N=500 iken GİGM1 ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği. ....	40



## KISALTMALAR

<b>AİDP</b>	: Ardışık İkinci Derece Programlama
<b>EDİ</b>	: En Dik İniş
<b>GİGM</b>	: Genel İndirgenmiş Gradyan Metodu
<b>Gf</b>	: Gram-kuvvet
<b>İHA</b>	: İnsansız Hava Aracı
<b>Kg</b>	: Kilogram
<b>MPa</b>	: Megapascal
<b>YAKM</b>	: Yapay Arı Kolonisi Metodu

## SEMBOL LİSTESİ

<b>a</b>	: Takviye parçalarının aralıkları
<b>A<sub>s</sub></b>	: Betonarme çeliğinin alanı
<b>B</b>	: Jakoben matrisi
<b>b</b>	: Sıkıştırma flanşının etkili genişliği
<b>b/2</b>	: Yarım kanat açıklığı
<b>b<sub>i</sub></b>	: Her bir parçanın genişliği
<b>b<sub>s</sub></b>	: Takviye parçalarının çıkıntıları
<b>b<sub>w</sub></b>	: Ağ genişliği
<b>C</b>	: Temel değişkenlere göre kısıtlamalar matrisi
<b>C<sub>k</sub>(X)</b>	: Eşitlik kısıtlamaları
<b>c<sub>r</sub></b>	: Kök veter
<b>c<sub>t</sub></b>	: Uç veter
<b>c<sub>1</sub></b>	: Unimodal fonksiyon alt limiti
<b>c<sub>2</sub></b>	: Unimodal fonksiyon üst limiti
<b>D</b>	: Temel olmayan değişkenlere göre kısıtlamalar matrisi
<b>d</b>	: Ağ yüksekliği
<b>d</b>	: Etkili derinlik
<b>d<sub>i</sub></b>	: Olurlu bölge vektörünü pozitif veya negatif yapan değer
<b>d<sub>s</sub></b>	: Takviyenin etkili kaplaması
<b>E</b>	: Young modülü
<b>F</b>	: Tasarım değişkenlerine göre hedef fonksiyonun türev dizisi
<b>f</b>	: Hedef fonksiyonu temsil eden sembolü
<b>f(X)</b>	: En düşüğe indirilecek olan hedef fonksiyon
<b>f<sub>v<sub>i</sub></sub></b>	: Olurlu bölge vektörü
<b>  f<sub>v<sub>i</sub></sub>  </b>	: Olurlu bölge vektör boyu
<b>g<sub>i</sub></b>	: Kısıtlamalar
<b>∇g<sub>i</sub>(X)</b>	: Kısıtlamanın gradyanı
<b>  ∇g<sub>i</sub>(X)  </b>	: Gradyan vektörünün boyu
<b>g<sub>j</sub>(X)</b>	: Toplam eşitlik kısıtlamaları
<b>G<sub>r</sub></b>	: Genel indirgenmiş gradyan vektörü
<b>h</b>	: Toplam derinlik
<b>h</b>	: Eşitsizlik kısıtlamalarını temsil eden sembol

$h_f$	: Flanş derinliği
$h_i$	: Her bir parçanın yüksekliği
$h_j(X)$	: Eşitsizlik kısıtlamaları
$I$	: Kısıtlama sayısı
$I$	: Eylemsizlik momenti
$J$	: Tasarım değişkeni sayısı
$L$	: Bağın nominal uzunluğu
$l$	: Eşitlik kısıtlamaları sayısı
$M$	: Eğilme momenti
$m$	: Eşitsizlik kısıtlamaları sayısı
$\max_j^+$	: İhlal edilen eşitsizlik kısıtlamaları içindeki J. değişken için en büyük pozitif olurlu bölge vektör bileşenleri
$\max_j^-$	: İhlal edilen eşitsizlik kısıtlamaları içindeki J. değişken için en büyük negatif olurlu bölge vektör bileşenleri
$N$	: Kirişteki toplam parça sayısı
$n$	: Üst limiti $x^u$ ve alt limiti $x^a$ olan tasarım değişkenlerinin sayısı
$n_e$	: Eleman sayısı
$NINF$	: Olurlu olmayan bölge sayısı
$n_j$	: J değişkenlerini içeren ihlal edilen kısıtlamaların sayısı
$n_j^+$	: J değişkenleri için pozitif hareket yönü için ihlal edilen kısıtlamaların sayısı
$n_j^-$	: J değişkenleri için negatif hareket yönü için ihlal edilen kısıtlamaların sayısı
$n_j^{=+}$	: İhlal edilmiş eşitlik kısıtlamaları tarafından kaydedilen J. değişkenin pozitif yönü için karar sayısı
$n_j^{=-}$	: İhlal edilmiş eşitlik kısıtlamaları tarafından kaydedilen J. değişkenin negatif yönü için karar sayısı
$P$	: Uygulanan yük
$S$	: Temel değişkenler için arama yönü
$s_j$	: J. boyuttaki olurlu bölge vektör bileşenlerinin toplamı
$s_j^+$	: J değişkenleri için pozitif arama yönündeki olurlu bölge vektör bileşenleri toplamı
$s_j^-$	: J değişkenleri için negatif arama yönündeki olurlu bölge vektör bileşenleri toplamı
$T$	: Temel olmayan değişkenler için arama yönü
$T$	: Profil başlıklarının kalınlığı
$t$	: Konsensüs vektörü
$t$	: Kalınlık
$t$	: Ağ kalınlığı
$t_A$	: Tasarım değişkenleri alt sınırı
$t_s$	: Takviye parçalarının kalınlığı
$t_U$	: Tasarım değişkenleri üst sınırı
$v_i$	: İhlal edilen kısıtlama
$w_b$	: Alt profil başlıklarının genişliği

$w_t$	: Üst profil başlıklarının genişliği
$X$	: Tasarım değişkenleri kümesi
$x^a$	: Alt limit
$x^ü$	: Üst limit
$X_{\text{yeni}}$	: Yeni tasarım değişkenleri
$x_1$	: Altın oran metodunda alt limite göre bulunan değer
$x_2$	: Altın oran metodunda üst limite göre bulunan değer
$Y$	: Temel değişkenler
$Y^{\text{alt}}$	: Temel değişkenlerin alt limiti
$y_s$	: Yineleme sayısı
$Y^{\text{üst}}$	: Temel değişkenlerin üst limiti
$Z$	: Temel olmayan değişkenler
$Z^{\text{alt}}$	: Temel olmayan değişkenlerin alt limiti
$Z^{\text{üst}}$	: Temel olmayan değişkenlerin üst limiti
$\alpha$	: Gradyan boyu toleransı
$\beta$	: Hareket yönü toleransı
$\gamma$	: Durma sınır terimi
$\delta$	: Hata sınır terimi
$\delta$	: Bağın izin verilebilir uzunluk sapması
$\epsilon$	: Büyüklük terimi
$\zeta$	: Vektör büyüklük değeri
$\lambda$	: Adım uzunluğu
$\mu$	: En yüksek yineleme sayısı
$\sigma$	: Eğilme gerilmesi
$\sigma_a$	: Akma dayanımı
$\sigma_i$	: Elemanların gerilimi
$\tau$	: Altın oran

## ÖZET

### GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU İLE ENİYİLEME ÇÖZÜCÜSÜ GELİŞTİRİLMESİ

TOPLU, Mehmet Samet

Yüksek lisans, Makine ve Uçak Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Durmuş Sinan KÖRPE

Şubat 2017, 46 sayfa

Bu çalışmada, literatürde bulunan bir denek taşı eniyileme probleminin çözümü için genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılarak eniyileme çözücüsü geliştirilir. Eniyileme çözücüsü geliştirilmesinde MATLAB programlama dili kullanılır. Denek taşı probleminde hedef fonksiyon, tasarım değişkenleri olarak tanımlanan farklı genişlik ve yükseklik değerlerine sahip  $N$  adet parçadan oluşan bir destekli kirişin hacmini en aza indirgenmesidir. Kirişin her bir parçasının sol ucundaki eğilme gerilmesi, fonksiyonel kısıtlama olarak tanımlanırken her parçadaki genişliğin yüksekliğe oranı ise geometrik kısıtlama olarak tanımlanır. Geliştirilen çözücü ve MATLAB içinde olan ardışık ikinci derece programlama metodu ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılır ve 25 parça için uygun parametreler elde edilir. Daha sonra geliştirilen çözücü 250 parça için test edilir ve bu sonuçlar ardışık ikinci derece programlama metoduna ek olarak aktif kümeler metodu ve iç nokta metodu ile karşılaştırılır. Sonuçlara göre, ardışık ikinci derece programlama, metotlar arasında en üstün olanıdır. Bundan sonra, geliştirilmiş eniyileme çözücüsündeki bazı parametreler yineleme sayısına bağlı değerler olarak tanımlanır ve geliştirilmiş eniyileme çözücüsünün başarısı ardışık ikinci derece programlama metodunun başarısına daha da yaklaştırılır. Parça sayısının 500'e eşit olduğu son testte,

geliştirilen eniyileme çözücüsünün sonuçları ardışık ikinci derece programlama metodu ile elde edilen sonuçlardan daha üstündür.

**Anahtar Kelimeler:** Eniyileme, Genel İndirgenmiş Gradyan Metodu, Ardışık İkinci Derece Programlama, Olurlu Bölgeye Geçiş.



## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF AN OPTIMIZATION SOLVER WITH GENERALIZED REDUCED GRADIENT METHOD**

TOPLU, Mehmet Samet

Master Thesis, Department of Mechanical and Aeronautical

Thesis Supervisor: Assist. Professor Durmuş Sinan KÖRPE

February 2017, 46 pages

In this study, an optimization solver was developed by using the generalized reduced gradient method in order to solve a benchmark optimization problem in the literature. The MATLAB programming language was used in the development of the optimization solver. In the benchmark optimization problem, the objective function is the minimization of volume a cantilever beam that consist of  $N$  segments that have different height and thickness values which are the design variables. The bending stress value at the left end of each segment of the cantilevered is the functional constraint whereas the ratio of the width to the height at each segment is defined as the geometric constraint. The results that are obtained by the developed solver and sequential quadratic programming method that is in the MATLAB are compared and the proper parameters are obtained for 25 segments. Then, the solver is tested for 250 segments case and the results are compared with the active set method and the interior point method in addition to the sequential quadratic programming method. According to the results the sequential quadratic is superior among the methods. After that, some of the parameters in the developed optimization solver are defined as iteration number dependent values and the developed optimization solver's success gets closer to the success of the sequential quadratic programming method.



In the final test at which number of segments is equal to 500, the results of the developed optimization solver are superior to the sequential quadratic programming method.

**Keywords:** Optimization, Generalized Reduced Gradient Method, Sequential Quadratic Programming Method, Moving Back to Feasible Region.



## BİRİNCİ BÖLÜM

### GİRİŞ

İnsanların yaşamları boyunca karşılaştıkları sorunlara çözüm arayışları, zamanla bu çözümlere modeller üzerinde arama yaklaşımını doğurmuştur. Matematik ve bilgisayardaki gelişmeler dış dünyanın problemlerini matematiksel olarak düzenler ve bu problemleri modelleyip çözerek bu çözümleri gerçek hayata yansıtma olanağı verir.

Matematiksel modelleme tekniği öncelikle doğrusal ve az sayıda değişkenlerin kullanılmasıyla başlamıştır. Bir süre sonra doğrusal varsayımı her problem için geçerli olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumda doğrusal olmayan modellemeye gidilmiştir. Ancak doğrusal olmayan modellerin kendine özgü çözümleri uygulamada birçok sorunu beraberinde getirmiştir. Zamanla geliştirilen bazı yöntemlerle doğrusal olmayan modellerin hızla çözümlenmesi sağlanmış ve bu eniyileme teorisini geliştirmiştir [1].

Eniyileme, verilen kısıtlamalar altında istenen faktörleri en üst düzeye çıkararak ve istenmeyen faktörleri en aza indirgeyerek en uygun maliyetli veya en yüksek erişilebilir performansa sahip bir alternatif bulmaktır. Eniyileme teknikleri; mühendislik, ekonomi, tıp, ilaç ve tarım vb. gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Bir işte en iyi yolun seçilerek başarılması fikri uygarlık tarihi kadar eskidir. Örneğin, Yunan tarihçisi Herodotus'a göre, Mısırlılar Nil nehrinin her yıl taşması sonucu arazi sınırlarının yeniden belirlenmesi ve yeni sınırlara göre vergilendirme işleminin en iyi yolla yapılabilmesi için çaba sarf etmişlerdir. Bu amaçla, Mısırlılar en iyi çekilme zamanını hesaplayabilmek için bir tür takvim geliştirilmiştir.

Newton ve Leibniz tarafından 17. yüzyılda geliştirilen Kalkülüs'ün eniyileme teorisinin gelişiminde önemli yeri vardır. Kalkülüs hem matematiksel bir fonksiyonun hem de fonksiyon oluşturabilen bağımsız değişkenlerin en yüksek veya en düşük cinsinden en uygun koşulların elde edilmesine olanak sağlamaktadır [2].

Modern eniyileme yöntemlerinin başlangıcı değişimler hesabına (calculus of variations) kadar dayanır. Değişimler hesabı ile ilgili genel çerçeveyi 18. yüzyılda ortaya koyan Lagrange'ın "Lagrange çarpanlar yöntemi" (Lagrangian Multiplier rule) olarak bilinen meşhur metodu da günümüzde eniyileme teorisinin ana konularından birini oluşturmaktadır [3].

En basit ve ilk eniyileme yöntemlerinden olan "En Dik İniş, (EDİ)" (steepest descent) metoduna ait uygulamanın Cauchy tarafından ilk kez gösterildiği 19.yüzyıl ortalarından 20. yüzyılın ortalarına kadar bu sahada maalesef çok az ilerleme kaydedilmiştir. Bu dönemden itibaren bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak çok hızlı işlemcilerin kullanılmaya başlanmasıyla eniyileme konusundaki çalışmaların ve yeni uygulamaların miktarı da hızla artmıştır [4].

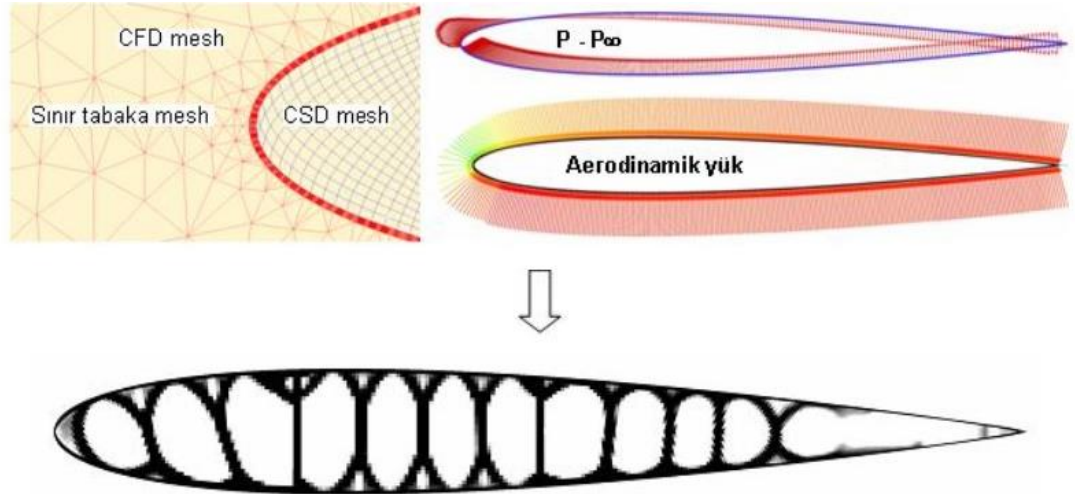
Mühendislikte eniyileme, bir sistemde var olan kaynakların (işgücü, zaman, kapital, süreçler, hammaddeler, kapasite, ekipman gibi) en verimli şekilde kullanılarak belirli amaçlara (maliyet en azaltılması, kâr en artırılması, kapasite kullanımının en yükseltilmesi ve verimliliğin en artırılması gibi) ulaşmayı sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Eniyilemede modelleme ve çözümlenme iki önemli bileşen olarak nitelendirilmektedir. Modelleme gerçek yaşamda karşılaşılan problemin matematiksel olarak ifade edilmesi; çözümlenme ise bu modeli sağlayan en iyi çözümün elde edilmesini kapsamaktadır.

Mühendisliğin yaygın tanımı, istenen işi en kısa sürede, istenen kalitede ve istenen süre boyunca yapabilecek sistemi en az maliyetle tasarlamaktır. Ancak tüm bu kısıtlamalar aynı anda tek bir sistem üzerine uygulanamayacağından eniyilemeye başvurulur. İş hassasiyeti düşük ve önemsizse maliyet birinci planda olurken bazı sistemlerde tüm bir iş akışını ve zamanı etkileyecek sistemlerde sistem kendini zamanla amorti edeceğinden kalite bazlı eniyileme yapılır. Kargo uçaklarının yüklenmesinde toplam ağırlık ve ağırlık merkezi dikkate alınır. Bunun için bilgisayar ile eniyileme çözümü yapılarak emniyetli ve ekonomik yükleme gerçekleştirilir. Şekil 1.1'de bir kargo uçağında yapılan eniyileme gösterilmiştir [5].



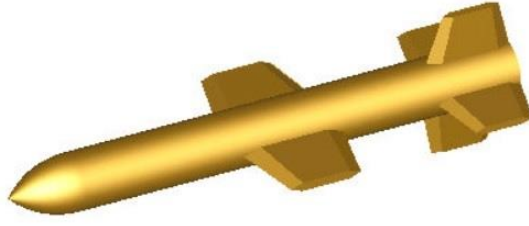
Şekil 1.1: Bir kargo uçağında yapılan iş baz alınarak yapılmış bir eniyileme [5].

Mühendislik eniyileme alanında yapılan çok sayıda çalışma vardır. Şekil 1.2’de aerodinamik yükler altındaki bir kanat geometrisinin veter uzunluğunun %25 ve %50’sinden ankastre olarak desteklenmesi halinde yapılan eniyileme sonucu ile elde edilen kanat iç yapısı gösterilmiştir [6].

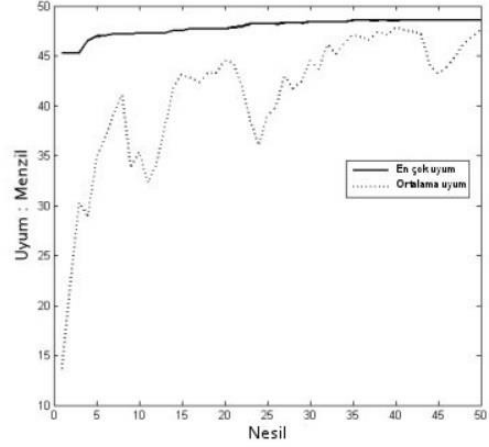


Şekil 1.2: Eniyileme sonucu ile elde edilen kanat iç yapısı [6].

Yapılan bir diğer çalışmada, bir roketin, burun ve gövdesi sabit olmak üzere mevcut bir motor için kanat-kuyruk eniyileme sonucu ile elde edilen dış geometrisi Şekil 1.3’te gösterilmiştir [6].



(a)



(b)

Şekil 1.3: (a) Eniyileme sonucu elde edilen roket geometrisi ve (b) ulaşılan menzil [6].

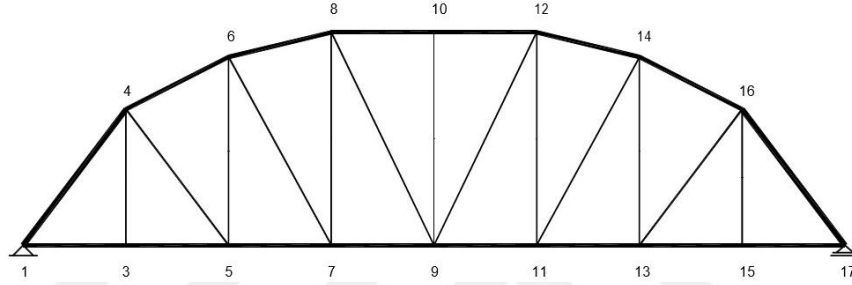
Eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılan çok sayıda metot vardır. Bu metotlardan biri olan genel indirgenmiş gradyan metodunun (GİGM) avantajı, doğrusal olmayan eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarına rağmen olurlu bölgede uygun bir çözüm sağlamasıdır. Bütün bu metotların dezavantajı ise tekrarlanmalı işlemlerin uzun ve karışık olması, numerik işlemlerde karışıklığın ortaya çıkması, kontrol zorluğu ve fazla zaman kaybına sebep olmasıdır. Bu dezavantajların ortadan kalkması bilgisayar icadı ile gerçekleşmiştir. Kullanılan bilgisayar programları arasında eniyileme problemlerini daha kolay çözen ve elde edilen sonuçlar bakımından en uygun olan programlardan birisi MATLAB'dır [7]. Bu programın numerik işlemlerdeki üstünlüğü bilinmektedir. Mühendislik hesap ve uygulamalarını kolaylıkla gerçekleştirebilen matematik tabanlı bir programdır [8]. Bu tezde çözücü olarak seçilen GİGM, MATLAB programı dili kullanılarak geliştirilmiştir.

## 1.1 Literatür Araştırması

Şilih v.d. [9] tarafından yapılan çalışmada, karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama yaklaşımı ile inşaat mühendisliğinde kullanılan yapılarda gerilim, gerinim, ağırlık vb. parametreleri en uygun hale getirmeyi amaçlanmıştır. Yapılan bu eniyilemedeki doğrusal olmayan problemlerin çözümü için genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılmıştır.

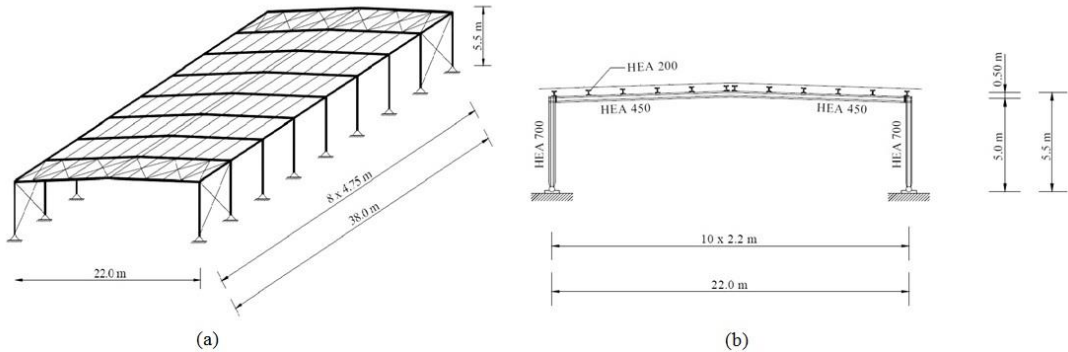
Karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama, eniyileme yaklaşımı iki örnekle açıklanmıştır. Birinci örnekte basitçe desteklenmiş bir çelik kirişin kesikli/standart boyutlama eniyilemesi ve ikinci örnekte tek katlı bir endüstriyel binanın standart boyutlama eniyilemesi gösterilmiştir.

İlk örnekte 40 metrelik basitçe desteklenmiş bir çelik kafesin kesikli/standart boyutlama eniyilemesi gösterilmiştir. Kafesin kesit çapı ve duvar kalınlığı tasarım değişkenleridir. Bu yapıda yük, direnç, gerilim, sehim vb. parametreler eniyilemedeki kısıtlamalardır. Kafesin her kesit çapı için duvar kalınlığının üst ve alt sınırları tanımlanmıştır. Çelik kafese yapılan eniyileme sonucu en uygun kafes Şekil 1.4'te gösterilmiştir. En uygun kütle 1925.549 kg olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1.4: En uygun çelik kafes [9].

İkinci örnekte tek katlı bir endüstriyel binanın topoloji ve standart boyut eniyilemesi sunulmuştur. Bina 22 metre genişliğinde, 38 metre uzunluğunda ve 5.5 metre yüksekliğindedir. Eniyileme modeli 120 eşitsizlik kısıtlaması, 173 sürekli ve 122 ikili değişken içermektedir. Tek katlı bir binanın en uygun topolojisi ve en uygun çelik kesitleri Şekil 1.5'te gösterilmiştir. En uygun kütle 65320 kg olarak tespit edilmiştir.



Şekil 1.5: (a) Tek katlı bir binanın en uygun topolojisi ve (b) En uygun çelik kesitleri [9].

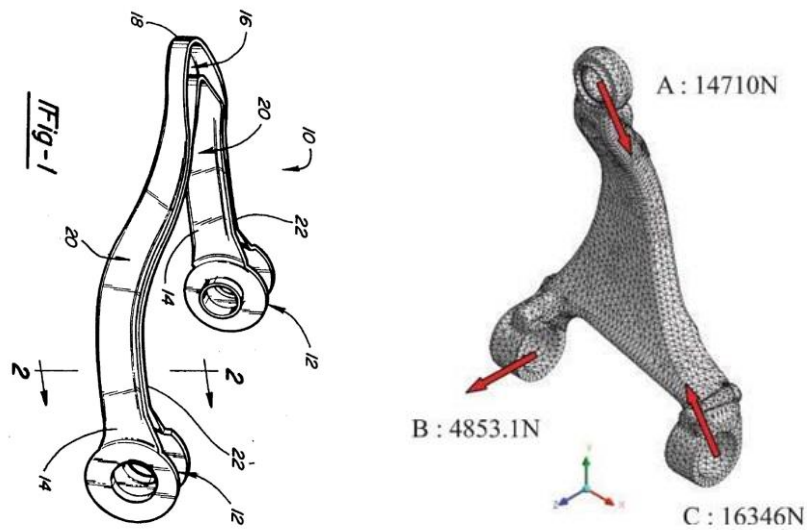
Bu çalışmadaki örnekler ile kullanılan karma tam sayılı doğrusal olmayan programlama ve doğrusal olmayan problemlerin çözümü için kullanılan genel indirgenmiş gradyan metodunun verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

Song v.d. [10] tarafından yapılan çalışmada, özel bir şirketin spor amaçlı taşıtının arka tarafına yerleştirilmiş olan kontrol kolunun hafif bir tasarımı sunulmuştur. Dayanım performansı göz önünde bulundurularak, tasarımda çelik yerine işlenmiş alüminyum kullanılmış ve bir eniyileme tekniği uygulanmıştır.

Üst kontrol kolu, iki noktadan dayanak alan bir yapısal bileşendir. Kontrol kolunun bir başı şasiye ve diğer başı da aks mafsalına bağlıdır. Üst kontrol kolu aracın süspansiyon sisteminin kritik bir parçasıdır çünkü sürüş konforu ve taşıma performansı arttırmada önemli bir rol oynar. Yapılan bu çalışmada bir alüminyum parçanın yapısal tasarımı incelenmiştir. Yeni geliştirilmiş alüminyum alaşımı Al6061M6 üst kontrol kolunun malzemesi olarak uygulanmıştır.

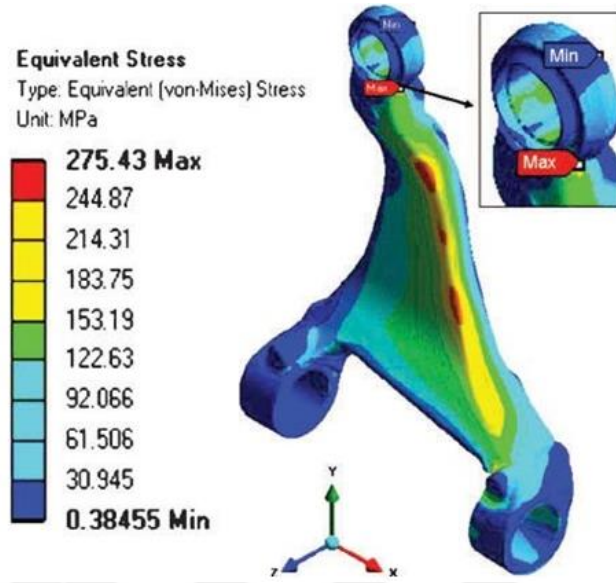
Üst kontrol kolunun dayanımını hesaplamak için ticari yazılım olan ANSYS workbench ve genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılmıştır. ANSYS workbench ile GİGM sonuçları karşılaştırılmıştır.

Aşağıdaki şekilde bir sonlu elemanlar modeli gösterilmiştir. Şekil 1.6'daki A, B ve C noktaları sabit noktalar olarak bilinirler ve başka bir parça ile birleşim için referans noktalarıdır. Şekilde x, araba koordinat sisteminin boyuna boyutu, y, enine boyutu ve z ise yükseklik boyutudur. Yük bu sabit noktalara uygulanmış ve analizi yapılmıştır.



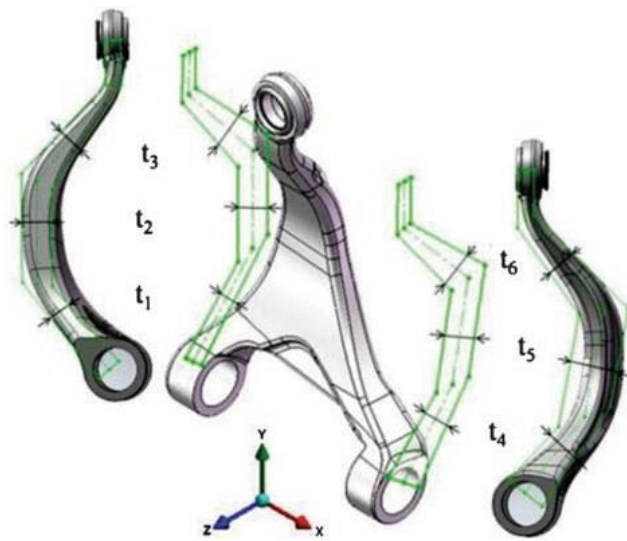
Şekil 1.6: Üst kontrol kolunun görünümü [11] ve sonlu elemanlar modeli [10].

Şekil 1.7’de ilk tasarımın sonlu elemanlar analiz sonuçları gösterilmiştir. En yüksek gerilim 275.43 MPa olmuştur ve ilk tasarımın ağırlığı 1946.85 gf’dir.



Şekil 1.7: İlk tasarım için gerilim sınırı [10].

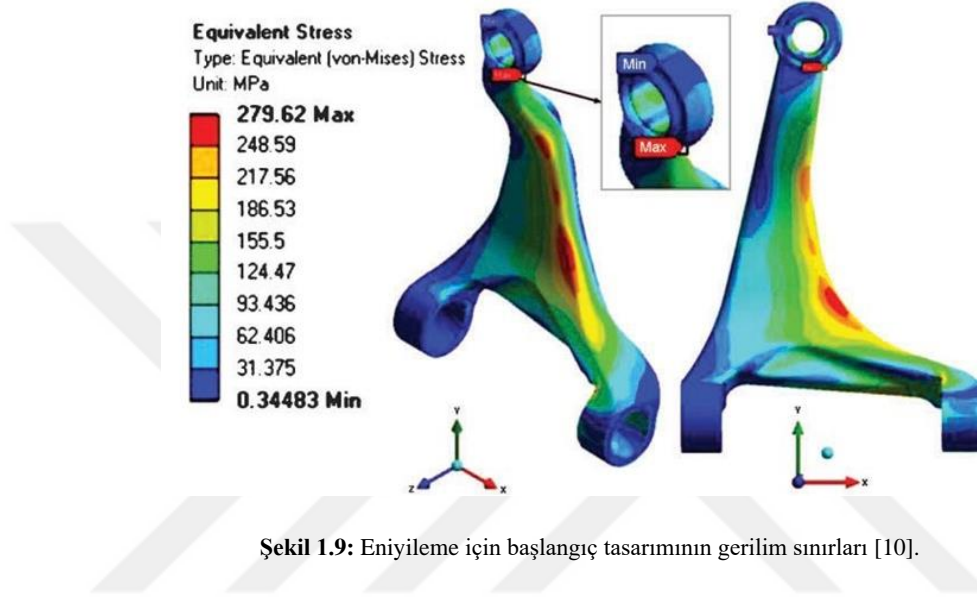
Şekil 1.8’de tasarım değişkenleri  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$ ,  $t_4$ ,  $t_5$  ve  $t_6$  olarak gösterilmiştir. Şekil 1.8’de gösterildiği gibi sol ve sağ taraflarda tanımlanan kalınlıklar birbirinden farklıdır. Bu nedenle, kalınlıkların doğru bir şekil ile ifade edilebilmesi için iki çizim yüzü kullanılmıştır. Tasarım değişkenlerini altı adet kalınlık olmak üzere her bir tarafı üç kısma bölerek tanımlamışlardır.



Şekil 1.8: Tasarım değişkenlerinin tanımı [10].



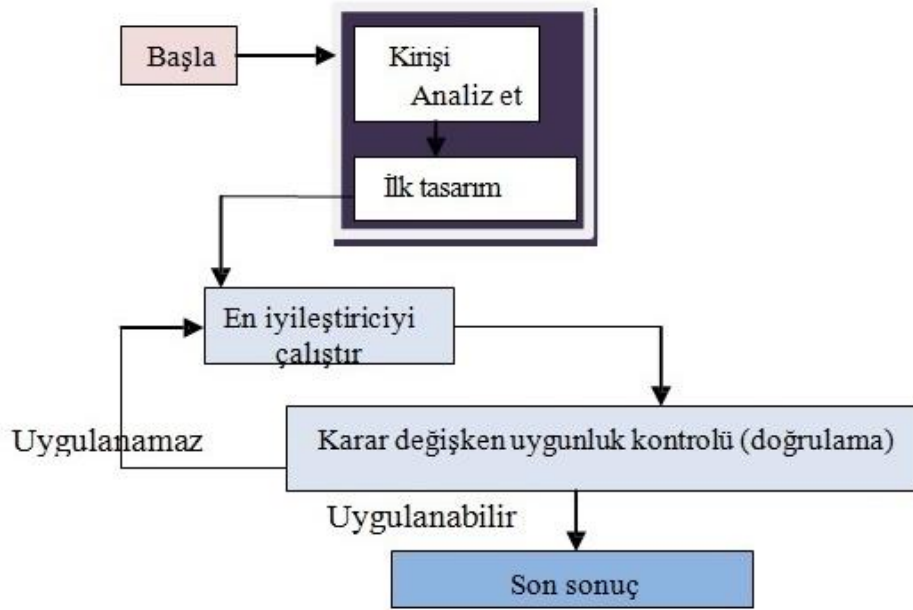
Üst kontrol kolunun yapısal eniyilemesinde  $\sigma_i$  elemanların gerilimi,  $\sigma_a$  akma dayanımı,  $n_e$  eleman sayısı,  $t_A$  ve  $t_Ü$  tasarım değişkenlerinin sırasıyla alt ve üst sınırlarıdır. Her bir tasarım değişkeninin alt ve üst sınırları ağ haline gelmiş sonlu elemanların bozulmasını engellemek için en yüksek ve en düşük değerler olarak belirlenmiştir. Bu tasarım değişkenleri eniyileme metodlarında tanımlanmıştır. Şekil 1.9'da eniyileme için başlangıç tasarımının gerilim sınırları gösterilmektedir.



Ticari alüminyum alaşımı Al6061 yüksek güçte alaşım Al6061M6 ile değiştirilerek üst kontrol kolunun gücünün artırılması istenmiştir. Al6061'inkilere kıyasla Al6061M6'nın gerilme dayanımı %10 ve akma dayanımı %17 daha yüksektir ve böylece hafif bir üst kontrol kolu tasarlanabilir.

ANSYS workbench ile eniyileme sonucu, kontrol kolunun ağırlığı ilk tasarıma kıyasla %16 azalmıştır. Genel indirgenmiş gradyan metodu kullanıldığında, üst kontrol kolunun ağırlığı yaklaşık ek %2 daha azalmıştır.

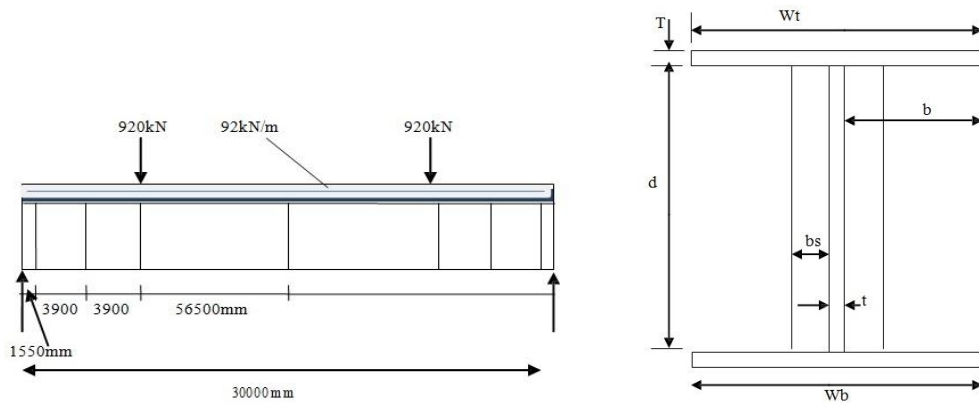
Faluyi ve Arum [12] tarafından yapılan bu çalışmada, genel indirgenmiş gradyan metodu (GİGM) ve Yapay Arı Kolonisi metodunu (YAKM) dolu gövdeli kirişin en düşük ağırlığı için tasarımı en uygun hale getirmek adına kullanılmış ve elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Yapılan bu çalışmadaki eniyileme süreci şekil 1.10'da gösterilmiştir.



Şekil 1.10: Eniyileme Süreci [12].

Yapay arı kolonisi metodunun temeli bazı kabullere dayalıdır. Bunlardan biri, görevli arı sayısı ile toplam nektar kaynağı sayısının eşit olması için her bir kaynaktaki nektarın sadece bir arı tarafından alınmasıdır. Eniyileme problemindeki olası çözümlerden birisi nektar kaynağının konumuna karşılık gelmektedir. Bu kaynaktaki nektar miktarı ise o kaynağın uygunluğu olur. Yapay arı kolonisi metodu en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak arama uzayındaki çözümlerden problem için en uygun çözümü bulmaya çalışmaktadır [13].

Bu çalışmadaki tasarım sabitleri kiriş boyu ve çelik akma dayanımıdır. Şekil 1.11'de kesit üzerinde gösterilen tasarım değişkenleri;  $w_t$ ,  $w_b$ ,  $T$ ,  $d$ ,  $t$ ,  $t_s$ ,  $b_s$ ,  $a$  sırasıyla üst profil başlıklarının genişliği, alt profil başlıklarının genişliği, profil başlıklarının kalınlığı, ağı yüksekliği, ağı kalınlığı, takviye parçalarının kalınlığı, çıkıntıları ve aralıklarıdır.



Şekil 1.11: Kiriş Yüklemesi ve Kaynaklı Kiriş Kesiti [12].

Tasarımın ana hedefi, tasarım kısıtlamaları dahilinde ağırlığı en düşüğe indirmektir. Bu kısıtlamalar; dolu gövdeli kiriş ögesinin boyutları, kesitsel sınıflandırma/oranlama sınırları, moment direnci, kesme dayanım ve takviye parçası kontrolüdür.

Yapılan bu çalışmada genel indirgenmiş gradyan metodu için doğrusal olmayan problem kullanılıp 200 döngüde toleransı 0,5'e, yakınsama değeri 0,0001'e ayarlanmıştır. Yapay arı kolonisi metodu için parametreler, popülasyon (sürü boyutu), döngü, öncü üretim süresi, karışıklık oranı ve koşu sayısıdır. Çeşitli ayarlar kullanılmış ancak en iyi sonuç popülasyon = 50, döngü = 2000, öncü üretim süresi = 400, karışıklık oranı = 1.0 ve koşu sayısı = 50 ile elde edilmiştir.

Çözümleyici ayarları 200 tekrar amacı ile yapılmış olsa da 10 tekrardan sonra çözümleyicinin yakınsamaya ulaşamadığı gözlemlenmiştir. İlk tasarımın parametreleri ile eniyileme sonuçlarını karşılaştırılması Tablo 1.1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.1:** İlk ve en uygun kesitlerin parametrelerinin karşılaştırılması [12].

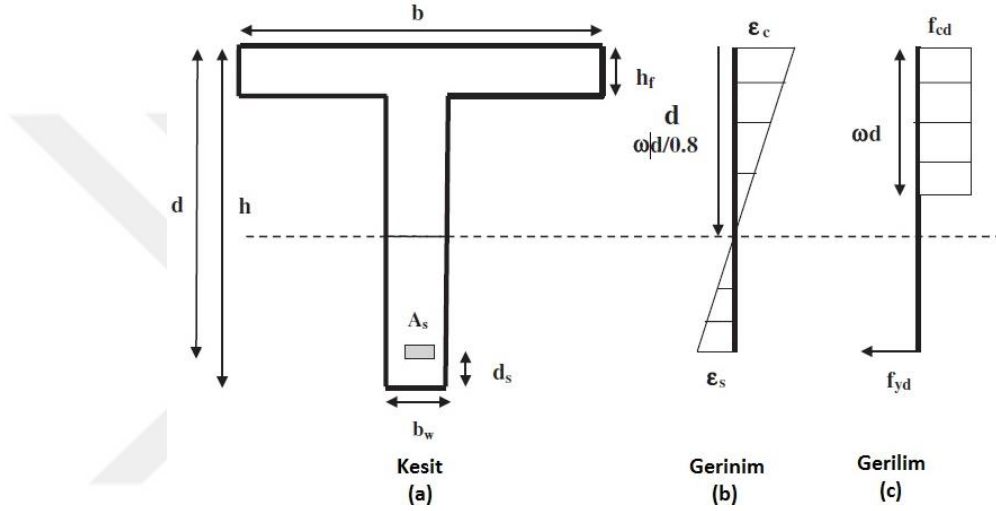
Değişken	İlk Kesit (mm)	En Uygun Kesit (mm)	
		GİGM	YAKM
<b>T</b> (profil başlığı kalınlığı)	50	39.16	39.48
<b>b</b> (başlık çıkıntısı)	367.5	359.06	357.68
<b>d</b> (ağ derinliği)	2000	2448	2438
<b>t</b> (ağ kalınlığı)	15	16.17	16.16
<b>b<sub>s</sub></b> (takviye çıkıntısı)	80	56.06	55.80
<b>t<sub>s</sub></b> (takviye kalınlığı)	15	9.80	9.78
<b>a</b> (takviye aralığı)	3750	3671.5	3656.4

Bu çalışmada eniyileme çapraz kesit alanında GİGM ve YAKM için sırasıyla %7.44 ve %7.25 indirgeme üretilmiştir. Eğer kabul edildiği gibi ögeler aynı homojen çelikten yapılmış ise bu ağırlık için de %7.44% ve %7.25 azalma anlamına gelir. GİGM sonucunun YAKM sonucundan daha iyi olduğundan kabul edilmiştir.

Fedghouche ve Tiliouine [14] tarafından yapılan çalışmada, nihai tasarım yüklerinde betonarme T-kirişlerinin en uygun maliyetli tasarımlarının doğrudan en aza indirilmesi hedeflenmiştir. Maliyet eniyileme prosesi, yalnızca azaltılmış bir

takım tasarım değişkenlerini genel indirgenmiş gradyan metodu tekniğinin kullanılmasıyla geliştirilmiştir.

Yapısal eniyileme modeli, genel olarak bir amaç fonksiyonu ve birtakım kısıtlamalar içermektedir. Tasarım kısıtlamaları; davranış kısıtlamaları, kesme mukavemeti kısıtlaması ve mevcut uygulamanın kurallarını içeren tasarım değişkenleri kısıtlamalarıdır. T-kirişinin kendi ağırlığı hem amaçta hem de kısıtlama fonksiyonlarında değişken olarak değerlendirilmiştir. Tipik bir betonarme T-kirişi çapraz kesitindeki (Şekil 1.12a) gerilme ve baskı dağılımı için kullanılan hipotezler, sırayla Şekil 1.12b ve 1.12c’de gösterilmiştir.



Şekil 1.12: (a) T-kiriş kesit alanı, (b) gerinim ve (c) gerilim [14].

Şekil.12a’da verilen T-kiriş kesit boyutları;  $b$ ,  $b_w$ ,  $h$ ,  $h_f$  sırasıyla sıkıştırma flanşının etkili genişliği, ağ genişliği, toplam derinlik ve flanş derinliği,  $d$ ,  $d_s$ ,  $A_s$  sırasıyla etkili derinlik, takviyenin etkili kaplaması ve betonarme çeliğinin alanını gösterir. T-kiriş kesit boyutları olan  $b$ ,  $b_w$ ,  $h$ ,  $h_f$ ,  $d$  ve  $A_s$  tasarım değişkenleridir.

Yapılan bu çalışmada problemin, en düşük maliyetli bir tasarım kriterinden temel alan beton ve çeliğin doğrusal olmayan davranışı dahil olmak üzere bir kısıtlamalar kümesini içeren analitik bir yaklaşımı denklem olarak verilmiştir.

Betonarme T-kirişlerinin en uygun maliyet tasarım probleminin nümerik çözümü genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılarak verimli şekilde belirlenen bir doğrusal olmayan programlamaya aktarılmıştır.

En uygun çözümlerin, kesme gerilimi kısıtlamalarındaki değişikliklere karşı hassas olmadığı bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada değerlendirilen amaç fonksiyonu

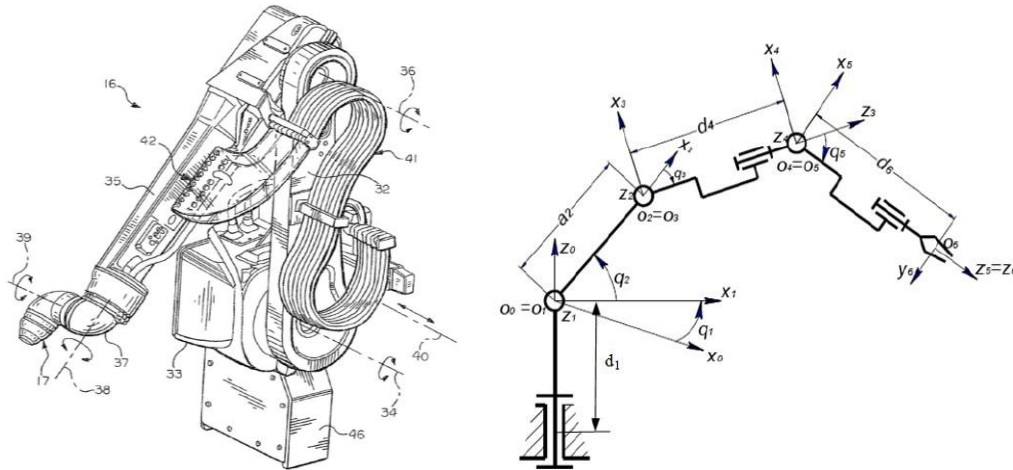
ve kısıtlamalar açıklayıcıdır. Bu çalışmada kullanılan yöntem diğer eniyileme yöntemlerinden pratik olarak kolay ve daha kapsamlı olduğu sonucu elde edilmiştir.

Trung v.d. [15] tarafından yapılan çalışmada, robot parçalarına toleransların tahsis edilmesi için çözümü genel indirgenmiş gradyan metodu kullanan bir yöntem ortaya koymuşlardır. Bu yöntem, üç adımdan oluşturulmuştur. Öncelikle, en iyi yöntem seçilmeden önce çeşitli yöntemler değerlendirilmiştir. Sonrasında, tolerans tahsisi için matematiksel bir model denklem haline getirilip doğrusal olmayan çok değişkenli eniyileme problemine aktarılmıştır. Son olarak, bu eniyileme problemi, genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılarak çözülmüştür.

Robotlar, sıklıkla endüstriyel ve tıbbi uygulamalarda bir nesneyi konumlandırmak ya da yönlendirmek için kullanılır. Robotların özellikle imalat ve montaj işlemlerinde saptanan boyutsal toleransların ortadan kaldırmanın bir yolu bulunmamaktadır. Dolayısıyla, mümkün olan en küçük toleransın seçilmesi gereksinimi ortaya çıkmıştır.

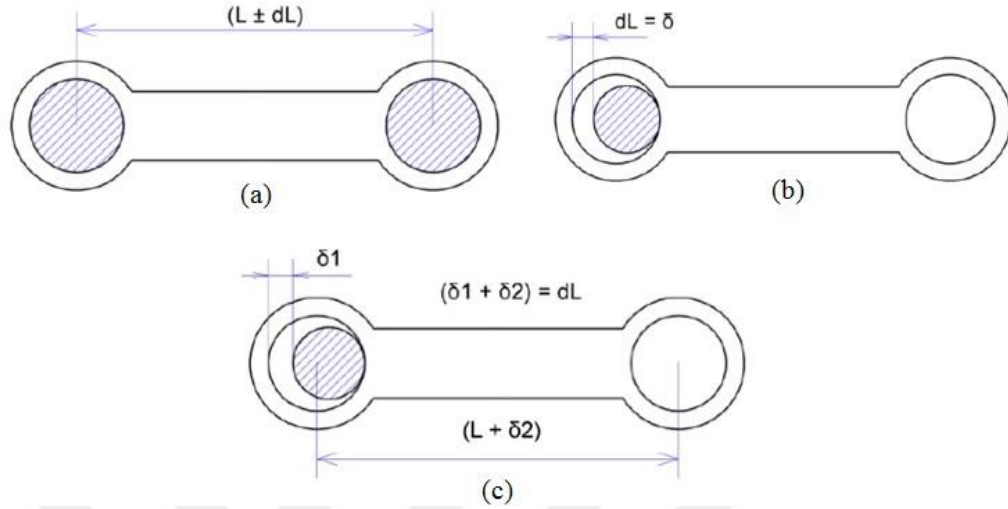
Tolerans küçüldükçe, ürün kalitesi artmakta, ancak imalat maliyeti artmaktadır. Ürün kalitesi ve imalat maliyeti arasında uygun bir denge bulunması, her zaman kolay bir eylem olmamaktadır. Yapılan bu çalışmada robot tasarımında tolerans sorununun çözülmesi için genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada örnek model olarak kullanılan Fanuc S900W robotunun görünümü ve kinematik diyagramı şekil 1.13'te gösterilmiştir.



Şekil 1.13: Fanuc S900W robotunun görünümü [16] ve Eşdeğer kinematik diyagramı [15].

Kurulan bağların hesaplanan tolerans değerlerinden ve tasarım gereksinimlerinden hem kurulan bağların hem de eklemlerin imalat toleransları, Şekil 1.14'teki gibi belirlenmiştir.



**Şekil 1.14:** Hesaplanan tolerans sonuçlarının kullanılması  
(a) Bağ boyutunun toleransı, (b) Eklem açıklığının toleransı ve (c) Bağ boyutlarına ve eklem açıklığına tahsis edilen tolerans [15].

Burada  $L$  bağın nominal uzunluğudur;  $\delta$  bağın izin verilebilir uzunluk sapması olarak ifade edilen bilinmeyen bir değerdir.

Robot tasarım tekniğinde, kurulan bağların imalat toleransları, imalat maliyeti ve benzerleri gibi ayrı tasarım gereksinimlerini karşılamak amacıyla hesaplama yapılır. Ölçülen toleranslar, ilk tasarımın gereksinimini karşılamalıdır.

Tolerans değerlerinin doğada küçük olması ve robot kinematik probleminin, rakamların yuvarlanmasını gerektiren çeşitli fonksiyonlar içermesi sebebiyle, nümerik yöntem, tahmini bir yaklaşımdır. Yapılan bu çalışmada öne sürülen yöntem, yüksek derecede tutarlı genel indirgenmiş gradyan metodu olduğu için hesaplanan tolerans sonuçlarının yüksek tutarlılık ve güvenilirliğe sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

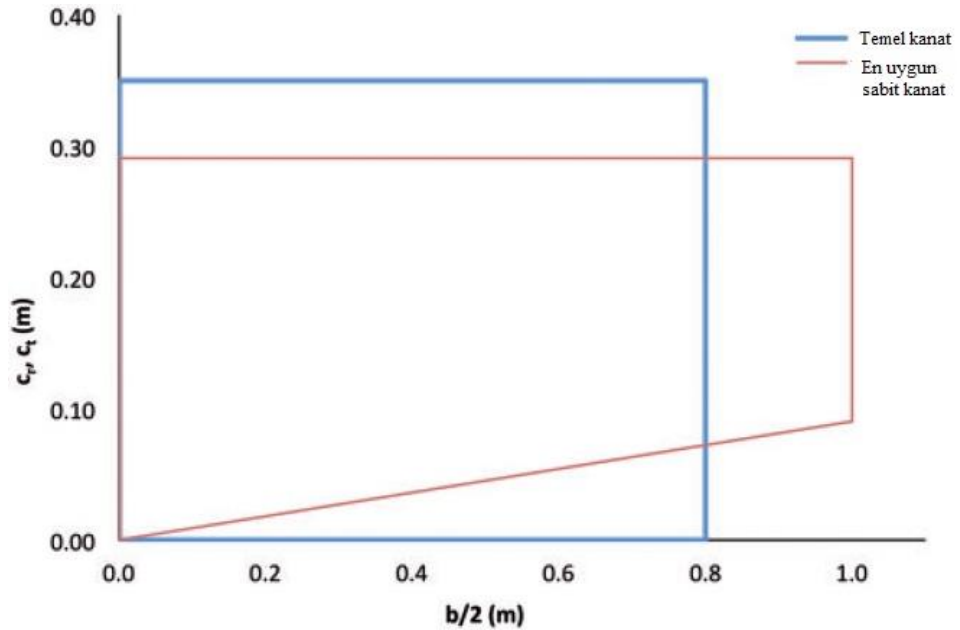
Körpe ve Özgen [17] tarafından yapılan çalışmada, bir insansız hava aracının (İHA) düz uçuşta en düşük sürüklenme için şekil değiştirebilen kanat eniyilemesinin temel sonuçları sunulmuştur. Yapılan bu çalışmada temel kanat, en uygun sabit kanat ve şekil değiştirebilen kanat arasında kanat sürüklenmesi ve uçak sürüklenmesi değerlerinin karşılaştırması, elde edilen kanat planformu ve kanat profilleri şekilleri çerçevesinde yapılmıştır.

Bu çalışmada, üç boyutlu panel yöntemi kullanılarak kaldırma, kanat indüklenmiş sürüklemesi ve kanat basınç sürüklemesi elde edilmiştir. Kanat sürtünme sürüklemesi, iki boyutlu laminar ve türbülanslı sınır tabakası modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Eniyileme çözücüsü için genel indirgenmiş gradyan yöntemi kullanılmıştır.

Genel indirgenmiş gradyan yöntemine dayalı yapılan eniyileme probleminde ucuna 50,000 N kuvvet uygulanan konsol kirişin yapısal tasarımında hacmin en aza indirilmesi hedeflenmiştir. GİGM eniyilemesi 12. yineleme sonucu  $65590 \text{ cm}^3$  ile diğer eniyileme yöntemlerine göre geçerliliğini doğrulayan bir yöntem olduğu ifade edilmiştir.

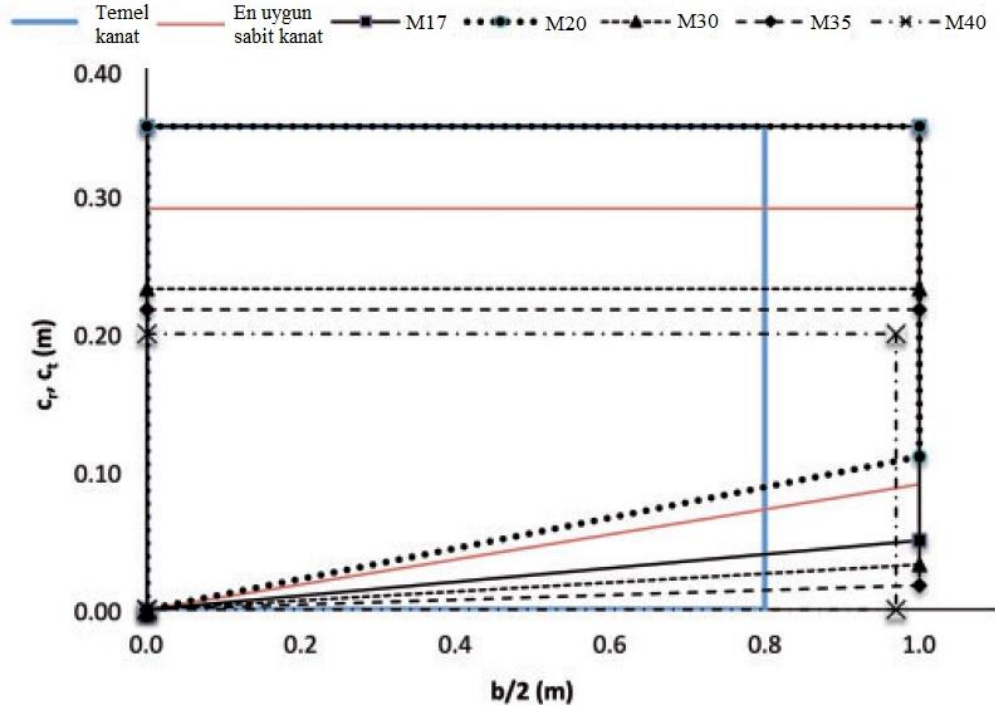
Eniyileme sürecinde, aerodinamik ve eniyileme çözücülerinin birleştirilmesiyle aerodinamik tasarım aracı elde edilir. Eniyileme problemindeki tasarım değişkenleri kök veter ( $c_r$ ), uç veter ( $c_t$ ) ve yarım kanat açıklığı ( $b/2$ ) olarak tanımlanmıştır. B-spline yöntemi kullanılarak kanat profil şekli oluşturulmuştur. Kullanılan GİGM sonucunda en uygun kanatlar elde edilir.

Sabit kanat eniyilemesi, temel kanadın en uygun şeklini bulmak için kullanılır. Şekil 1.15’de 0,8 m yarım kanat aralığı ve 0,35 m veter uzunluğuna sahip sivri olmayan düz kanat ile eniyileme sonucunda elde edilen en uygun sabit kanat gösterilmiştir. En uygun sabit kanat, kanadın şekil değiştirebilme yeteneğini sağlayacak mekanizmaların yerleştirildiği kanattır.



Şekil 1.15: Temel kanat ve en uygun sabit kanat üst görünümü [17].

Şekil değiştirebilen kanat eniyileme problemi için en uygun sabit kanat eniyilemesinde olduğu gibi bir eniyileme problemi tanımlanmıştır. Bu problem çözümü ile farklı hızlarda kanat üst alanları hesaplanmıştır. Şekil 1.16'da temel kanat, en uygun sabit kanat ve şekil değiştirebilen kanat üst görünüşleri gösterilmiştir.



Şekil 1.16: Temel kanat, en uygun sabit kanat ve şekil değiştirebilen kanatların üst görünüşleri [17].

Sonuçlara göre, şekil değiştirebilme kavramının uçağın en yüksek hızı ve perdövites hızı arasındaki bütün hız değerlerinde sürüklenme kuvvetinde azalma sağlayacak bir yenilik olduğu görülmektedir.



## İKİNCİ BÖLÜM

### GENEL İNDİRGENMİŞ GRADYAN METODU

#### 2.1 Giriş

Genel indirgenmiş gradyan metodu doğrusal olmayan eşitlik kısıtlamalı eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılır [18]. Metodun detaylı anlatımına geçmeden önce eniyileme problemini oluşturan temel öğelerin anlatılmasında fayda vardır.

##### 2.1.1 Hedef Fonksiyonu

Eniyileme problemi, tek bir hedef fonksiyon kullanılarak tanımlanır. Bu ifade biçimi genellikle bazı eniyileme fonksiyonlarını kullanarak hesaplanan bazı niceliği en aza indirmek veya en üst düzeye çıkarmaktır. Bu işlev, tasarım değişkenlerine açıkça veya dolaylı olarak bağlı olmalıdır. Literatürde bu problem, sadece genel bir kayıp olmaksızın asgari bir problem olarak ifade edilmektedir. En yüksek bir problem, hedef fonksiyon için kullanılan fonksiyonun negatifini kullanarak en düşük problem olarak yeniden düzenlenebilir. Günümüzde, uygulanan eniyileme çalışmalarının büyük bir kısmı, uygulamaları pratik problemlere genişletmeye yöneliktir. Çoğu durumda, bu, çözüm tekniklerinin yaratıcı biçimde kullanılmasını içermektedir. Soyut matematiksel modelde, hedef fonksiyonu  $f$  simgesi ile ifade edilmektedir [19].

##### 2.1.2 Tasarım Değişkenleri

Bir eniyileme problemi öncelikle eniyileme işlemi sırasında farklılaşan temel tasarım değişkenlerinin belirlenmesiyle başlar. Bir eniyileme problemi genellikle problemin düzgün çözümüne karşı oldukça hassas olan birçok tasarım parametresini içerir. Bu parametrelere eniyileme prosedürleri bağlamında tasarım değişkenleri

denir. Diğer tasarım parametreleri genellikle sabit kalır veya tasarım değişkenlerine göre değişir.

Tasarım değişkenleri, belirli bir problemi tanımlayan öğelerdir. En uygun çözüm arayışında, bu öğeler öngörülen aralıkta değişecektir. Bu değişkenlerin bütün değerler kümesi, belirli bir çözümü karakterize eder. Bu kümeye ait öğelerin sayısı ve türü, niceliksel eniyileme probleminin tanımlanması ve kurulmasında çok önemlidir. Uygulanan matematiksel terminolojide, tasarım değişkenleri çözülmekte olan problemin bilinmeyenleridir [19].

### 2.1.3 Kısıtlamalar

Kısıtlamalar, tasarım değişkenleri ve bazı kaynak limitlerini karşılayan diğer problem parametreleri arasındaki bazı işlevsel ilişkileri temsil eder. Denkleme dahil edilecek kısıtlamaların niteliği ve sayısı kullanıcıya bağlıdır. Kısıtlamalar kesin matematiksel ifadeler içerebilir. Kısıtlamalar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları diye iki gruba ayrılır. Eşitlik kısıtlaması, matematiksel açıdan düzgün ve ele alınması kolaydır. Sayısal olarak, kısıtlamaları sağlamak için daha fazla çaba gerektirir. Eniyileme probleminde birden fazla eşitlik kısıtlaması olabilir. Eşitsizlik kısıtlamaları problem denkleminde daha doğal görünür. Bu kısıtlamalar eniyileme problemi seçiminde daha fazla esneklik sağlar. Soyut modelde eşitsizlik kısıtlamasını temsil eden sembol  $h$ 'dir. Eniyileme probleminde birden fazla eşitsizlik kısıtlaması olabilir. Kısıtlamada  $h$ 'yi tanımlamak için küçük eşit ( $\leq$ ) ve büyük eşit ( $\geq$ ) kullanılır. Çözümün genellikle kısıtlama limitinde olması beklenir. Eşitsizlik kısıtlamaları durumunda, tasarım değişkenlerinin kısıtlanan bölgenin iç kısmında mı yoksa dış kısmında mı olduğuna dair bir ayırım yapılmaktadır [19]. Eniyileme problemlerindeki kısıtlamalar, fonksiyonel ve geometrik kısıtlama olarak tanımlanır. Fonksiyonel kısıtlama, bir eniyileme probleminde bağımsız parametreler tarafından karşılanması gereken ve bu parametreler arasındaki ilişkiyi yöneten matematiksel bir denklemdir. Geometrik kısıtlama ise eniyileme problemlerinde bulunan geometrilerin boyutlarını, konumlarını ve yönlerini tanımlamak için uygulanan kurallardır.

## 2.2 Teori

### 2.2.1 Genel İndirgenmiş Gradyan Metodu

Genel indirgenmiş gradyan metodunun ayrıntılarını anlamak için aşağıda doğrusal olmayan eniyileme probleminin genel biçimi verilmiştir [4] [20]:

$$\text{En düşük } f(X) \quad (\text{Denklem 2.1})$$

bağlı koşullar

$$h_j(X) \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, m \quad (\text{Denklem 2.2})$$

$$C_k(X) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, l \quad (\text{Denklem 2.3})$$

$$x_i^a \leq X_i \leq x_i^u \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\text{Denklem 2.4})$$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \end{pmatrix} \quad (\text{Denklem 2.5})$$

Denklem 2.1'de  $f(X)$ , en düşüğe indirilecek olan hedef fonksiyondur. Denklem 2.2'de  $m$ , eşitsizlik kısıtlamaları sayısıdır. Denklem 2.3'te  $l$ , eşitlik kısıtlamaları sayısıdır. Denklem 2.4'te  $n$ , üst limiti  $x_i^u$  ve alt limiti  $x_i^a$  olan tasarım değişkenlerinin sayısıdır. Denklem 2.5'te  $X$ , tasarım değişkenleri kümesidir. Genel indirgenmiş gradyan metodu teorisi en uygun olan tasarım değişkenlerini bulmaya dayandığı için tüm kısıtlamaların 0'a eşit olması amacıyla yukarıda tanımlanan doğrusal olmayan eniyileme probleminde eşitsizlik kısıtlamalarına negatif olmayan durgun (slack) değişkenleri ekleyerek yeniden yazılır.

Eşitsizlik kısıtlamaları ve durgun değişkenleri toplamak suretiyle Denklem 2.6 elde edilir. Bu denklem eşitlik kısıtlaması haline gelir. Denklem 2.7, Denklem 2.4'e durgun değişkenleri ekleyerek yeniden yazılan bir formdur. Durgun değişkenler için alt limit 0 iken üst limiti yoktur.

$$g_j(X) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, m + l \quad (\text{Denklem 2.6})$$

$$x_i^a \leq x_i \leq x_i^u \quad i = 1, 2, \dots, m + n \quad (\text{Denklem 2.7})$$

Denklem 2.6'yı kullanarak değişkenleri ortadan kaldırmak gerekir. Bu nedenle, tasarım değişkenleri 2 gruba ayrılır:

$$X = \begin{Bmatrix} Y \\ Z \end{Bmatrix} = \begin{matrix} \text{Temel değişkenler} \\ \text{Temel olmayan değişkenler} \end{matrix} \quad (\text{Denklem 2.8})$$

Aşağıdaki denklemlerde hedef fonksiyonunun ve kısıtlamaların ilk türevleri verilmiştir:

$$df(X) = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\partial f}{\partial y_i} dy_i + \sum_{i=1}^{m+1} \frac{\partial f}{\partial z_i} dz_i = \nabla_Y^T f dY + \nabla_Z^T f dZ \quad (\text{Denklem 2.9})$$

$$dg_i(X) = \sum_{j=1}^{n-1} \frac{\partial g_i}{\partial y_j} dy_j + \sum_{j=1}^{m+1} \frac{\partial g_i}{\partial z_j} dz_j = [C]dY + [D]dZ \quad (\text{Denklem 2.10})$$

Genel indirgenmiş gradyan metodu tüm kısıtlamaların sağlanmasına dayanır. Bir tasarım değişkenindeki herhangi bir değişiklik diğer tasarım değişkenleri tarafından telafi edilmelidir. Böylece kısıtlama veya kısıtlamalar sağlanır. Bu, Denklem 2.10'un sol tarafının sıfır olmasını ve Denklem 2.11'in elde edilmesini sağlar.

$$dZ = -[D]^{-1}[C]dY \quad (\text{Denklem 2.11})$$

Denklem 2.9, Denklem 2.10'da kullanılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\frac{df(X)}{dY} = G_r = \nabla_Y^T f - [D]^{-1}[C]\nabla_Z^T f \quad (\text{Denklem 2.12})$$

Denklem 2.12'deki  $G_r$ , genel indirgenmiş gradyan vektörüdür. Genel indirgenmiş gradyan, temel değişkenler tarafından  $(n-m)$  boyutlu olurlu bölge üzerine tanımlanan orijinal  $n$  boyutlu gradyanın geometrik izdüşümü olarak ifade edilebilir [21]. Genel indirgenmiş gradyan vektörü, hedef fonksiyonu en aza indirmek için uygun bir arama yönünü (S) bulmak amacıyla kullanılır. Dik iniş metodunda arama yönü aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$S = -G_r \quad (\text{Denklem 2.13})$$

$\|S\|$  belirli bir değerden az ise mevcut X değerleri problemin en uygun tasarım değişkenleri olarak alınır. Arama yönü analizi sırasında X'in üst ve alt sınırları dikkate alınmalıdır.  $G_r$  bulunduktan sonra eğer tasarım değişkenleri üst sınırlarına

yaklaşıyorsa ve  $G_r$  sıfırdan küçük ise  $G_r$  sıfıra çekilir. Eğer alt sınırına yaklaşıyorsa ve  $G_r$  sıfırdan büyük ise  $G_r$  yine sıfıra çekilir. Bunun için Denklem 2.13 aşağıdaki gibi değiştirilir:

$$S = \begin{cases} 0 & \text{Eğer } (Y_i - Y_i^{\ddot{u}}) < \gamma \text{ ve } G_{r_i} < 0 \\ 0 & \text{Eğer } (Y_i - Y_i^a) < \gamma \text{ ve } G_{r_i} > 0 \\ \text{aksi halde} & -G_{r_i} \end{cases} \quad (\text{Denklem 2.14})$$

Bu denklemde kullanılan  $\gamma$ , sınır değeridir. Bu tezde geliştirilen çözücü, genel indirgenmiş gradyan vektörünün normu, durma büyüklük değeri olan  $\zeta$ 'den küçükse duracaktır. Denklem 2.14'teki S, temel değişkenler için arama yönü vektörüdür. Temel olmayan değişkenler için T vektörü Denklem 2.15 kullanılarak tanımlanır:

$$T = -[D]^{-1}[C]S \quad (\text{Denklem 2.15})$$

## 2.2.2 Adım Uzunluğu Üst Sınırının Seçimi

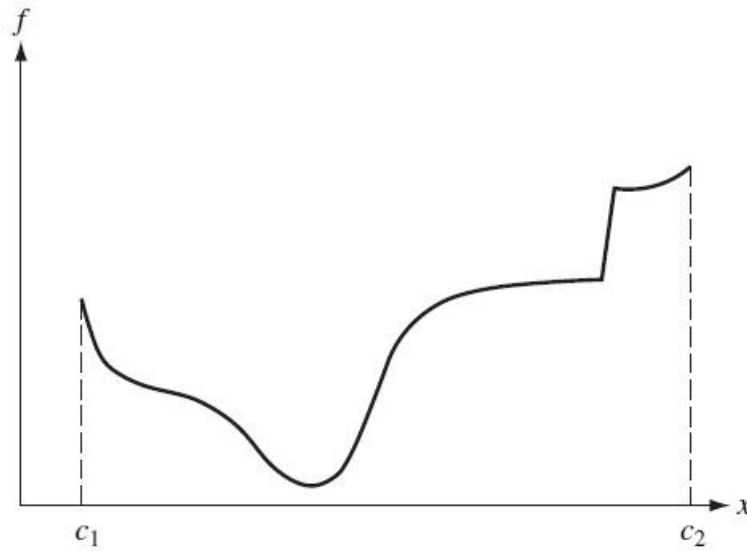
Arama yönü vektörünün ne kadar ilerleyeceğini bulmak amacıyla adım uzunluğunun ( $\lambda$ ) üst limitinin bulunması için temel ve temel olmayan tasarım değişkenlerinin üst ve alt sınırlarına bakılır. Denklem 2.16'da bulunan  $\lambda_i$  değerleri arasında en düşük olanı üst sınır olarak seçilir [20].

$$\lambda_i = \begin{cases} \frac{Y_i^{\ddot{u}} - Y_i}{S_i} & \text{Eğer } S_i > 0 \\ \frac{Y_i^a - Y_i}{S_i} & \text{Eğer } S_i < 0 \end{cases} \quad (\text{Denklem 2.16})$$

$$\lambda_i = \begin{cases} \frac{Z_i^{\ddot{u}} - Z_i}{T_i} & \text{Eğer } T_i > 0 \\ \frac{Z_i^a - Z_i}{T_i} & \text{Eğer } T_i < 0 \end{cases}$$

### 2.2.2.1 Altın Oran Arama Metodu

Altın oran arama metodu, unimodal bir fonksiyonda adım uzunluğu seçiminden elde edilen üst limit ile alt limit noktaları arasında en uygun noktayı bulmak için kullanılan tek boyutlu arama metodudur [22]. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi unimodal bir fonksiyon grafiği verilmiştir [23].



Şekil 2.1: Unimodal fonksiyon grafiği [23].

Atın oran arama metodu, fonksiyon alanı içinde bulunan  $x_1$  ve  $x_2$  noktalarında  $F(x)$ 'in incelenmesi ile başlar. En uygun noktayı bulmak için Denklem 2.17'de tanımlanan altın oran ( $\tau$ ) kullanılmıştır.

$$\tau = \frac{\sqrt{5} - 1}{2} \quad (\text{Denklem 2.17})$$

Şekil 2.1'deki fonksiyon grafiğinde  $c_1$  ile gösterilen alt limit,  $c_2$  ile gösterilen ise üst limittir. Bu alanda  $x_1$ 'i bulmak için  $c_1$ 'den,  $c_2$  ile  $c_1$  arasındaki farkın  $\tau$  çarpımı kadar sağa gelinir.  $x_2$ 'yi bulmak için  $c_2$ 'den,  $c_2$  ile  $c_1$  arasındaki farkın  $\tau$  çarpımı kadar sola gelinir. Altın oran arama metodunda iki yeni nokta bulunmuştur. Bu noktalar  $F(x)$ 'de yeniden incelenir.  $F(x)$ 'de yerine koyulan  $x_1$  ve  $x_2$  değerleri ile yapılan hesaplama sonucunda eğer  $F(x_1) < F(x_2)$  ise yeni noktalar  $x_2 = x_1$ ,  $c_1 = x_2$  ve  $c_2 = c_2$  olarak bulunur. Yeni  $x_1$  değeri ise  $c_1$ 'den,  $c_2$  ile  $c_1$  arasındaki farkın  $\tau$  çarpımı kadar sağa gelinir. Eğer  $F(x_1) > F(x_2)$  ise bulunan yeni noktalar  $x_1 = x_2$ ,  $c_2 = x_1$  ve  $c_1 = c_1$  olur. Yeni  $x_2$  değeri ise  $c_2$ 'den,  $c_2$  ile  $c_1$  arasındaki farkın  $\tau$  çarpımı kadar sola gelinir. Bu işlem en uygun noktanın bulunması için belirlenen sınır değerine kadar tekrarlanır. En uygun adım uzunluğunu bulduktan sonra, Denklem 2.18'e göre yeni tasarım değişkenleri bulunur [20].

$$X_{\text{yeni}} = \frac{Y + \lambda S}{Z + \lambda T} \quad (\text{Denklem 2.18})$$

### 2.2.3 Temel ve Temel Olmayan Değişkenlerin Seçimi

Eniyileme için kullanılan bu metotta en önemli faktörlerden birisi, temel ve temel olmayan değişkenlerin nasıl tanımlanacağına yöneliktir. Kısıtlamaların temel olmayan değişkenlere göre Jakoben matrisi olan D matrisinin kesinlikle tersi olmalıdır. Aynı zamanda temel olmayan değişkenlerin alt ve üst limitlerinden uzakta olan tasarım değişkenleri arasından seçilmesi, metodunun en uygun değere hızlı bir şekilde ulaşmasını sağlamaktadır. Her iki durumu da göz önünde bulundurarak temel olmayan değişkenlerin seçilmesi gerekmektedir.

D matrisini tersi olacak bir matris şekilde seçebilmek için Denklem 2.19'da tanımlanan ve kısıtlamaların tasarım değişkenlerine göre Jakoben matrisi olan B matrisinde Gauss eliminasyon yöntemi uygulanır.

$$B = \begin{bmatrix} \nabla g_1(X)^T \\ \nabla g_2(X)^T \\ \nabla g_3(X)^T \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \nabla g_{m+l}(X)^T \end{bmatrix}_{(m+l) \times (n+m)} \quad (\text{Denklem 2.19})$$

Yöntemi daha detaylı bir şekilde anlatmak gerekirse, B matrisinin birinci satırındaki elemanlar arasında mutlak değeri en büyük olan eleman seçilir. Bu eleman pivot elemandır. Seçilen bu eleman bulunduğu sütun numarası (r), r'inci tasarım değişkeninin temel olmayan tasarım değişkeni olduğu anlamına gelir. Aynı zamanda r. tasarım değişkenin alt ve üst limitine olan uzaklığının hata sınır terimi olan ve kullanıcı tarafından tanımlanan  $\delta$  değerinden küçük olup olmadığı kontrol edilir. Eğer küçük ise birinci satır üzerinde bu r'inci sütun atlanarak tekrar işlem başlar. Eğer bütün tasarım değişkenleri alt ve üst limitlerine  $\delta$  değerinden daha yakın ise,  $\delta$  değeri  $10^{-6}$  bölünür ve yeni  $\delta$  değeri  $0,1\delta$  olur. Bu bölme işlemi  $10^{-6}\delta$  olana kadar devam eder. Eğer hala bu kısıtlama için temel olmayan tasarım değişkeni bulunamamışsa bu kısıtlama o yineleme sürecinde devre dışı bırakılır.

Temel olmayan değişken yukarıda anlatıldığı gibi seçildikten sonra, bu satırdaki bütün elemanlar pivot elemanın mutlak değerine bölünür ve alttaki satırlardan çıkartılarak yeni matris elde edilir. Bu işlem temel olmayan değişkenlerinin hepsi seçilene kadar devam eder [22].

## 2.2.4 Olurlu Bölgeye Geçiş

Eniyileme problemlerinin çözümünde ortaya çıkan en büyük sorun ilk tasarım değişkenlerinin olurlu olmayan bölgede olmasıdır. En uygun  $\lambda$  değerini bulduktan sonra, yeni  $X$  değerleri bulunur ve olurlu bölge kontrolü uygulanır. Chinneck yaptığı araştırmada, tüm kısıtlamaları kullanmak yerine ihlal edilmiş kısıtlamalar arasında bir olurlu bölge vektörü bulup olurlu bölgeye geçiş yapılabileceğini ifade etmiştir [28]. Bu tezde olurlu bölgeye geçiş için kullanılan metot, Chinneck'in yöne ve kısıtlamaya dayalı temel kısıtlama konsensüsüdür. Bu konsensüste olurlu bölge vektörü Denklem 2.20'de gösterilir.

$$fv_i = v_i d_i \nabla g_i(X) / \|\nabla g_i(X)\|^2 \quad (\text{Denklem 2.20})$$

Burada  $\nabla g_i(X)$  kısıtlamanın gradyanı,  $\|\nabla g_i(X)\|$  gradyan vektörünün boyudur. Denklemdeki  $d_i$  için eğer  $g_i(X)$  kısıtlamasını sağlamak için  $g_i(X)$  değerini arttırmak gerekiyorsa  $+1$ ,  $g_i(X)$  kısıtlamasını sağlamak için  $g_i(X)$  değerini azaltmak gerekiyorsa  $-1$  değerini alır. Denklemdeki  $v_i$  ise ihlal edilen kısıtlamadır. Olurlu bölge vektör boyu  $\|fv_i\|$  ile gösterilir. Kısıtlama konsensüs yöntemleri, olurlu bölgeye uzak olan bir noktadan olurlu bölgeye çekilmesinde etkili metotlardır. Kısıtlama konsensüs yöntemindeki ilk adım, geçerli  $x$  noktasında ihlal edilen her kısıtlama için olurlu bölge vektörünü bulmaktır. İkinci adım ise güncelleme yapmak için kullanılan konsensüs vektörüne ulaşmak amacıyla ihlal edilen kısıtlamaların tümündeki olurlu bölge vektörlerini birleştirmektir. Temel kısıtlama konsensüsü aşağıda belirtilen metot ile tanımlanmaktadır [24] [25].





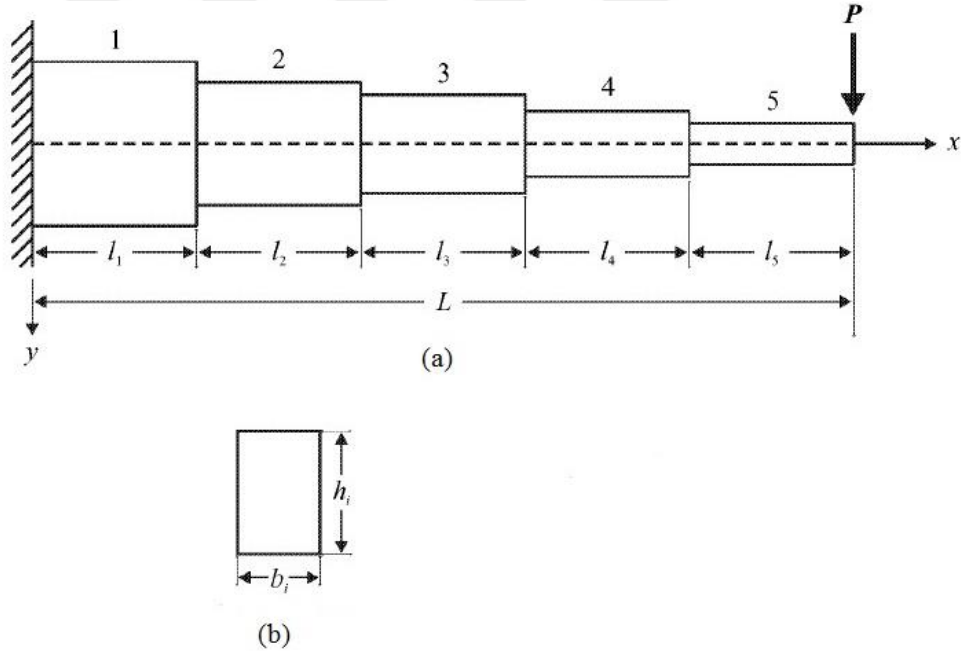
Metotta NINF (Number of Infeasibilities), geçerli noktadaki ihlal edilen kısıtlamaların sayısı,  $n_j$ ,  $j$  değişkenlerini içeren ihlal edilen kısıtlamaların sayısı,  $s_j$ ,  $j$ . boyuttaki olurlu bölge vektör bileşenlerinin toplamı,  $t$ , konsensüs vektörü,  $s_j^+$  ve  $s_j^-$ ,  $j$  değişkenleri için sırasıyla pozitif ve negatif arama yönlerindeki olurlu bölge vektör bileşenleri toplamı,  $n_j^+$  ve  $n_j^-$ ,  $j$  değişkenleri için sırasıyla pozitif ve negatif hareket yönü için ihlal edilen kısıtlamaların sayısı,  $n_j^{=+}$  ve  $n_j^{=-}$ , ihlal edilmiş eşitlik kısıtlamaları tarafından kaydedilen  $j$ . değişkenin sırasıyla pozitif ve negatif yönleri için karar (vote) sayısı,  $\max_j^+$  ve  $\max_j^-$ , ihlal edilen eşitsizlik kısıtlamaları içindeki  $j$ . değişken için sırasıyla en büyük pozitif ve negatif olurlu bölge vektör bileşenlerini temsil eder. Hareket yönü toleransı ( $\beta$ ), metodun çok yavaş ilerlediği durumları tespit etmek için kullanılır. Bütün kısıtlamalar ( $g_i$ ) büyüklük teriminden ( $\epsilon$ ) küçük ise işlem başarıyla son bulur. Eğer büyük ise olurlu bölge vektörünün boyu hesaplanır ve bu vektörün boyu gradyan boyu toleransından ( $\alpha$ ) daha az ise işlem başarıyla son bulur. Eğer gradyan boyu toleransından büyükse başarısız bir şekilde işlem sonlanır. Konsensüs vektörünün uzunluğu hareket yönü toleransından ( $\beta$ ) daha az ise işlem başarısız olur. İhlal edilen kısıtlamalar için olurlu bölge vektörleri gerektirmektedir. Tasarım değişkenleri bu kısıtlamalar içerisindedir. Olurlu bölge vektörünün bileşenleri toplanır ve her bir tasarım değişkeni için ihlal edilen kısıtlamalarda mevcut tasarım değişkeni sayısına bölünür. Tasarım değişkenleri, önceki tasarım değişkenleri değerlerine eklenmesi suretiyle güncellenir [24].

## ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

### ENİYİLEME PROBLEM ÇÖZÜMÜ

#### 3.1 Yapısal Eniyileme Problemi

Şekil 3.1’de P yükü altında eşit N adet parçaya ayrılmış destekli kiriş örneği gösterilmiştir. Destekli kirişin en düşük materyal hacmi için eniyileme problemi yapılacaktır [26].



Şekil 3.1: Destekli Kirişin (a) yandan görünüşü ve (b) önden görünüşü [26].

Destekli kirişin tasarım değişkenleri, her bir parça için önden görünüşte gösterilen genişlik ( $b$ ) ve yüksekliktir ( $h$ ). Şekil 3.1’deki görünüme göre her parçanın sol ucundaki eğilme gerilmesi ( $\sigma$ ) ( $14000 \text{ N/cm}^2$ ) ve her bir parçanın yüksekliğinin genişliğin yirmi katını geçmemesi geometrik koşulu altında sistemin en düşük ağırlığının bulunması hedeflenmiştir. Her bir parçanın uzunluğu  $100 \text{ cm}$ ’dir. Toplam parça sayısı  $N$  olarak tanımlanmıştır. Bütün parçalar için Young modülleri ( $E$ ) aynı

olup  $2 \times 10^7 \text{ N/cm}^2$ 'dir. Denklem 3.1'de  $i$  parça için eylemsizlik momenti ( $I$ ) değeri gösterilmiştir.

$$I_i = \frac{b_i h_i^3}{12} \quad (\text{Denklem 3.1})$$

Destekli kirişin sol ucuna uygulanan yükten dolayı oluşan eğilme momenti ( $M$ ) her  $i$  parça için Denklem 3.2 kullanılarak hesaplanır.

$$M_i = P \left[ L + l_i - \sum_{j=1}^i l_j \right] \quad (\text{Denklem 3.2})$$

Eğilme momentine karşılık gelen eğilme gerilmesi  $i$  parça için Denklem 3.3 kullanılarak hesaplanır.

$$\sigma = \frac{M_i h_i}{2I_i} \quad (\text{Denklem 3.3})$$

Eniyileme probleminde kullanılacak matematiksel denklemler Denklem 3.4'te gösterilmiştir.

$$\text{En düşük } f(X) = V = \sum_{i=1}^N b_i h_i l_i$$

$$\sigma_i - 14000 \leq 0 \quad i = 1, N$$

$$h_i - 20b_i \leq 0 \quad i = 1, N \quad (\text{Denklem 3.4})$$

$$b_i \geq 1 \quad i = 1, N$$

$$h_i \geq 5 \quad i = 1, N$$

### 3.2 Problem Çözümü İçin Geliştirilen Eniyileme Çözücüsü

Bu çalışmada, MATLAB programlama dili kullanılarak eniyileme uygulaması yapılmıştır. Bu programlama dilinin kullanılmasında, numerik hesaplama yapması, bilimsel hesaplamalar için yazılmış yüksek performansa sahip olması ve kısa sürede problemlerin çözümünü yapması etkili olmuştur [27].

Eniyileme probleminde kullanılan eşit uzunlukta  $N$  adet parçadan oluşan kiriş için MATLAB programında bir altyordam geliştirilmiştir. Tasarım değişkeni sayısı

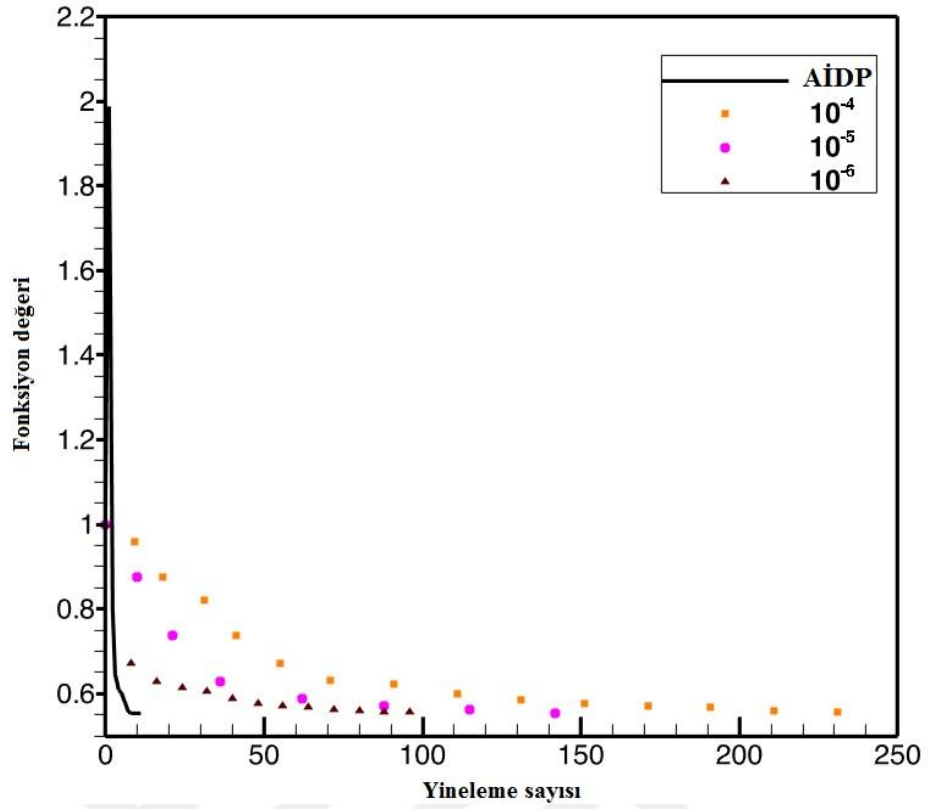
ve eşitsizlik kısıtlamaları sayısı  $2N$  ve kullanılan eniyileme probleminde eşitlik kısıtlaması olmadığı için bu parametre 0 olarak tanımlanmıştır. Başlangıç tasarım değişkenlerinin değerleri, genişlik ( $b$ ) ve yükseklik ( $h$ ) sırasıyla 5 cm ve 40 cm'dir. Bu tasarım değişkenleri için alt ve üst limitler belirtilmiştir. Genişlik için alt limit 1 iken üst limit 100, yükseklik için alt limit 5 iken üst limit 100'dür. Geliştirilen bu çözücüde tasarım değişkenleri, fonksiyon ve kısıtlamalar ölçeklendirilmiştir. Tasarım değişkenleri ve bunların alt ve üst limitleri başlangıç genişlik değeri 5 ve başlangıç yükseklik değeri olan 40 ile ölçeklendirilmiştir. Hedef fonksiyon ise başlangıç hedef fonksiyon değeri olan 100000 ile fonksiyonel kısıtlama olan eğilme gerilmesi 14000 ile ve son olarak geometrik kısıtlama olan genişlik yükseklik oranı ise 60 değeriyle ölçeklendirilmiştir. İkinci Bölümde detaylı bir şekilde anlatılan metotlar, kiriş probleminin çözümü için geliştirilen altyordam ile birleştirilerek eniyileme problemleri farklı sınır ve büyüklük değerlerine göre çözülmüştür.

### **3.3 Çözücü Sonuçlarının Karşılaştırılması**

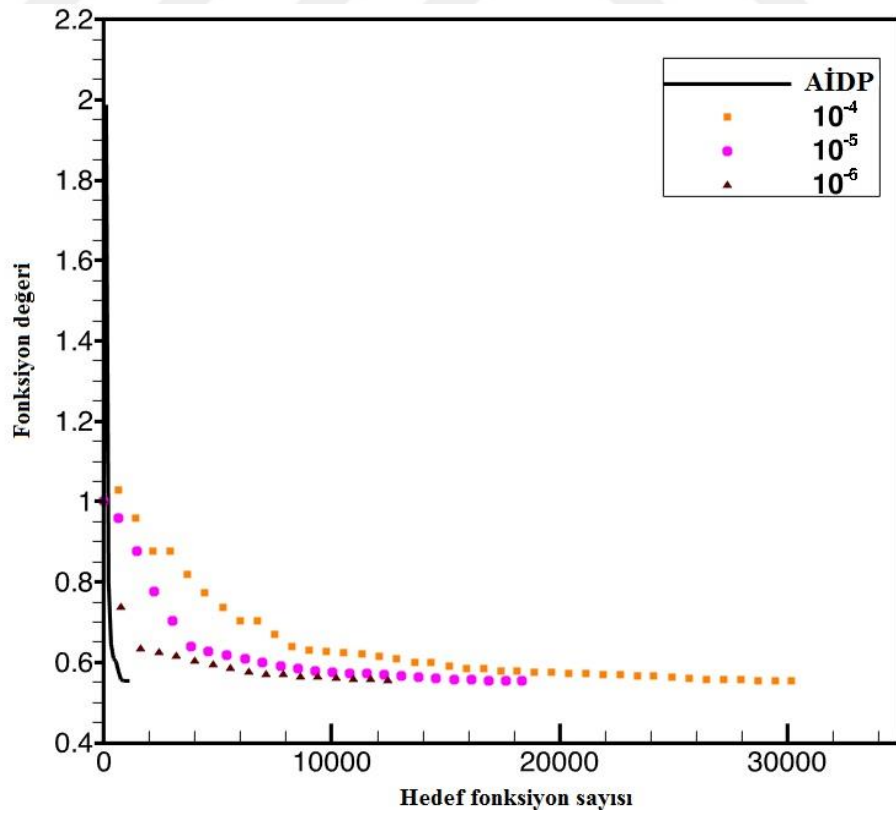
Eniyileme problemi çözümü için 3.5 GHz dört çekirdekli Intel Core i7 işlemcisi olan bir bilgisayar kullanılarak MATLAB R2016a sürümünde geliştirilen çözücü çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Grafiklerde, genel indirgenmiş gradyan metodunda  $\epsilon, \delta, \gamma$  ve  $\zeta$  terimlerine farklı sayısal değerler tanımlanarak yineleme sayısına göre en düşük hedef fonksiyon değeri ve fonksiyon sayıları alınmıştır. Bu terimlerin yanında MATLAB içinde tanımlı AİDP (Ardışık İkinci Derece Programlama), aktif kümeler metodu ve iç nokta metodu sonuçlarına göre karşılaştırma yapılmıştır. Kiriş probleminde parça sayısı 25 iken 50 tasarım değişkeni ve 50 kısıtlama vardır. Olurlu bölge dışında kalan kısıtlamaların sayısı 7 olduğu görülmektedir.

#### **3.3.1 Farklı $\epsilon$ Büyüklük Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması**

Bu bölümün grafikleri, kiriş 25 parçadan oluşuyorken  $\epsilon$  büyüklük değerlerine göre yapılan testler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 3.2: Farklı  $\varepsilon$  büyüklük terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.



Şekil 3.3: Farklı  $\varepsilon$  büyüklük terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.

**Tablo 3.1:** Farklı  $\varepsilon$  büyüklük terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

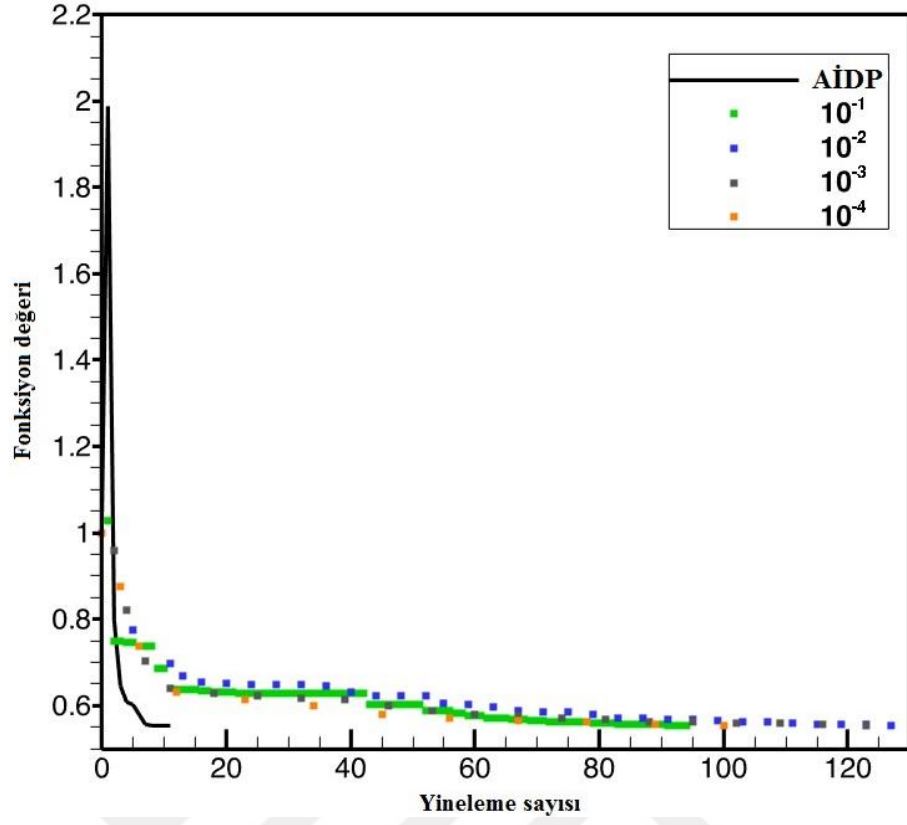
$\varepsilon$	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef fonksiyon sayısı
AİDP	10	0,5545	2,4362	1125
$10^{-4}$	241	0,5545	2,8883	30420
$10^{-5}$	145	0,5545	2,1005	18588
$10^{-6}$	101	0,5545	1,5656	13176

Şekil 3.2’de verilen grafikte, çözücü terimleri  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\zeta = 10^{-6}$  ve  $\delta = 10^{-4}$  iken üç farklı  $\varepsilon$  değeri test edilmiştir. Yineleme en fazla  $10^{-4}$ ’de çıkmıştır. Bu değerden daha büyük değerler için çözücü uzun süre çalışmakta ve çok fazla sayıda yineleme yapmaktadır. Bundan dolayı  $10^{-4}$ ’den büyük değerler test edilmemiştir. Bu sınır terimine  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon değeri 241 yinelemede 0,5545,  $10^{-5}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon değeri 145 yinelemede 0,5545,  $10^{-6}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon değeri 101 yinelemede 0,5545 olarak elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre  $\varepsilon$  değeri  $10^{-6}$  olduğu zaman AİDP ile elde edilen değere ulaşıldığı görülmektedir. Süre bakımından  $\varepsilon$  değeri  $10^{-6}$  değerinde iken elde edilen sürenin AİDP’den daha iyi olduğu gözlemlenmiştir.

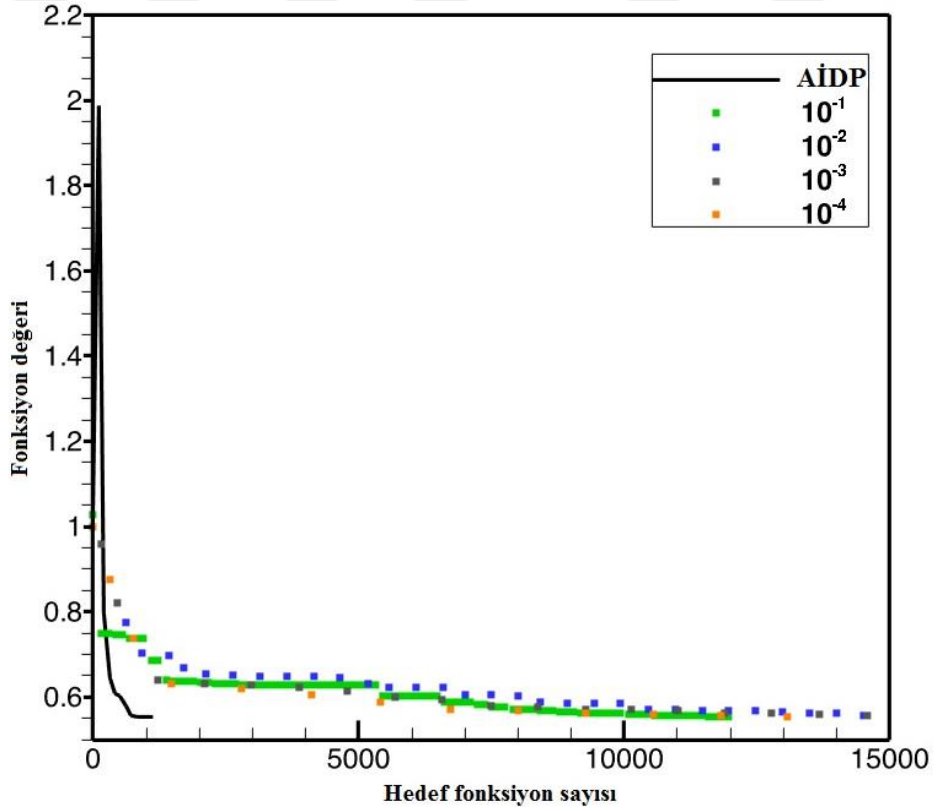
Şekil 3.3’te verilen grafikte ise sınır terimine  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte hedef fonksiyon sayısı 241 yinelemede 30420 defa,  $10^{-5}$  değeri verilerek yapılan testte hedef fonksiyon sayısı 145 yinelemede 18588 defa,  $10^{-6}$  değeri verilerek yapılan testte hedef fonksiyon sayısı 101 yinelemede 13176 defa çağrılmıştır. Hedef fonksiyon sayıları AİDP ile elde edilen değere göre yüksek çıkmaktadır. Fakat süre göz önüne alındığında  $10^{-6}$  değeri verilerek alınan sonucun AİDP’ye göre uygun olduğu görülmektedir.

### 3.3.2 Farklı $\delta$ Sınır Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümün grafikleri, giriş 25 parçadan oluşuyorken  $\delta$  sınır değerlerine göre yapılan testler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 3.4: Farklı  $\delta$  sınır terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.



Şekil 3.5: Farklı  $\delta$  sınır terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.



**Tablo 3.2:** Farklı  $\delta$  sınır terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

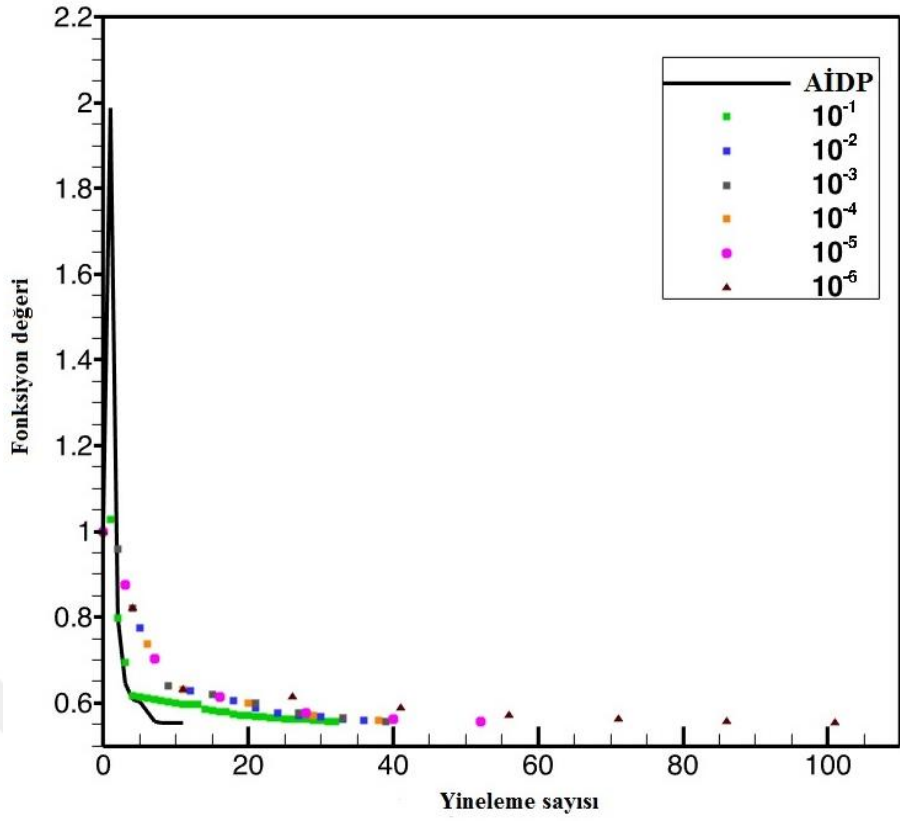
$\delta$	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef Fonksiyon sayısı
AİDP	10	0,5545	2,4362	1125
$10^{-1}$	94	0,5545	1,3783	12063
$10^{-2}$	128	0,5545	1,8289	16501
$10^{-3}$	123	0,5545	1,7193	15800
$10^{-4}$	101	0,5545	1,5120	13176

Şekil 3.4'te verilen grafikte, çözücü terimleri  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\zeta = 10^{-6}$  ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  iken  $\delta$  terimine  $10^{-1}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon değeri 94 yinelemede 0,5545,  $10^{-2}$  değeri verilerek yapılan testte 128 yinelemede 0,5545,  $10^{-3}$  değeri verilerek yapılan testte 123 yinelemede 0,5545,  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte 101 yinelemede 0,5545 olarak elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.2'de gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre  $\delta$ 'nın bütün değerinde AİDP ile elde edilen değere ulaşıldığı görülmektedir. Çözücüde en uygun süre  $10^{-1}$  değerinde elde edilir. Bu durum  $10^{-1}$  değerinden elde edilen sonuçların AİDP'den daha iyi olduğunu gösterir. Grafikte,  $10^{-1}$ 'in testi yapılırken 1. yinelemeden 2. yinelemeye geçişte fonksiyon değerinde diğer değerlere göre daha fazla bir düşüş yaşandığı görülmektedir.

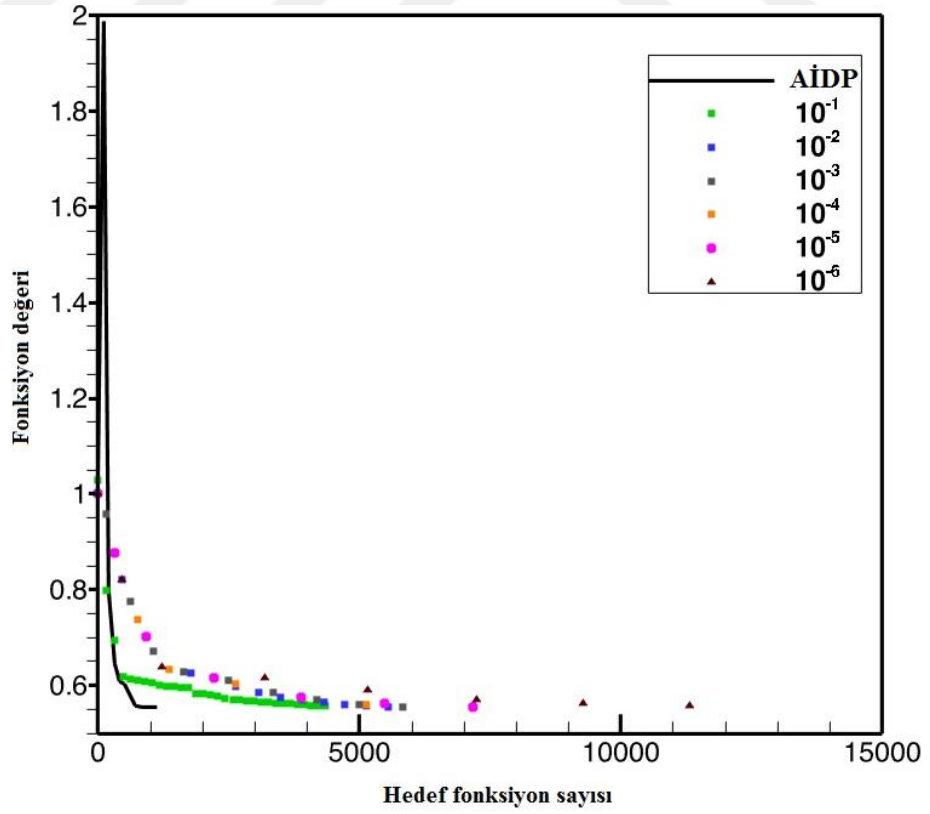
Şekil 3.5'te verilen grafikte, çözücüye  $10^{-1}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon 94 yinelemede 12063 defa,  $10^{-2}$  değeri verilerek yapılan testte 128 yinelemede 16501 defa,  $10^{-3}$  değeri verilerek yapılan testte 123 yinelemede 15800 defa,  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte 101 yinelemede 13176 defa çağrılmıştır. Hedef fonksiyon sayıları AİDP ile elde edilen değere göre yüksek çıkmaktadır. Fakat süre göz önüne alındığında  $10^{-1}$  değeri verilerek alınan sonucun AİDP'ye göre uygun olduğu görülmektedir.

### 3.3.3 Farklı $\gamma$ Sınır Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümün grafikleri, kiriş 25 parçadan oluşuyorken  $\gamma$  sınır değerlerine göre yapılan testler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 3.6: Farklı  $\gamma$  sınır terimleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.



Şekil 3.7: Farklı  $\gamma$  sınır terimleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.

**Tablo 3.3:** Farklı  $\gamma$  sınır terimleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

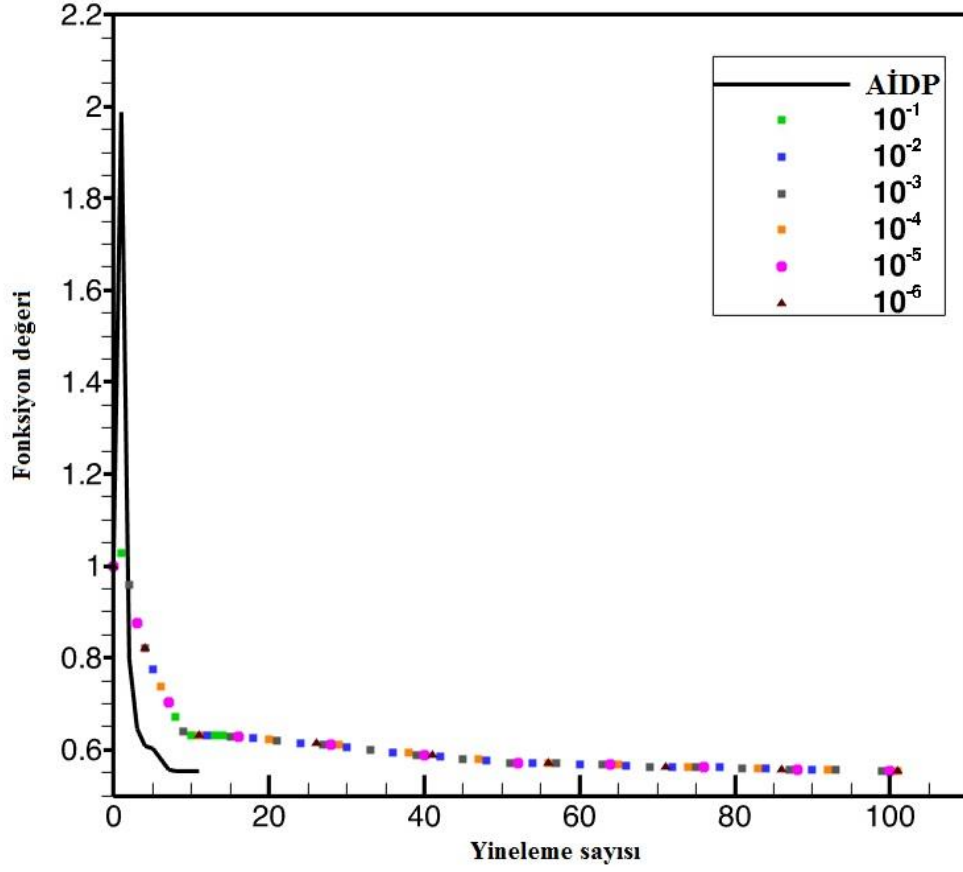
$\gamma$	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef fonksiyon sayısı
AİDP	10	0,5545	2,4362	1125
$10^{-1}$	32	0,5575	0,7319	4435
$10^{-2}$	41	0,5545	0,8813	5770
$10^{-3}$	43	0,5545	0,9660	6042
$10^{-4}$	43	0,5545	0,9272	6042
$10^{-5}$	55	0,5545	1,0818	7518
$10^{-6}$	101	0,5545	1,4974	13176

Şekil 3.6'da verilen grafikte, çözücü terimleri  $\zeta = 10^{-6}$ ,  $\delta = 10^{-4}$  ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  iken  $\gamma$  terimine  $10^{-1}$  değeri verilerek yapılan testte fonksiyon sonucu 32 yinelemede 0,5575,  $10^{-2}$  değeri verilerek yapılan testte 41 yinelemede 0,5545,  $10^{-3}$  değeri verilerek yapılan testte 43 yinelemede 0,5545,  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte 43 yinelemede 0,5545,  $10^{-5}$  değeri verilerek yapılan testte 55 yinelemede 0,5545 ve  $10^{-6}$  değeri verilerek yapılan testte 101 yinelemede 0,5545 olarak elde edilmiştir. Grafiklerden elde edilen sonuçlar Tablo 3.3'te gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre  $\gamma$  değeri  $10^{-1}$  değeri haricinde bütün değerlerde AİDP ile elde edilen değere ulaşıldığı görülmektedir. Süre bakımından diğer 5 değere göre en uygun olanı  $10^{-2}$  değeridir.

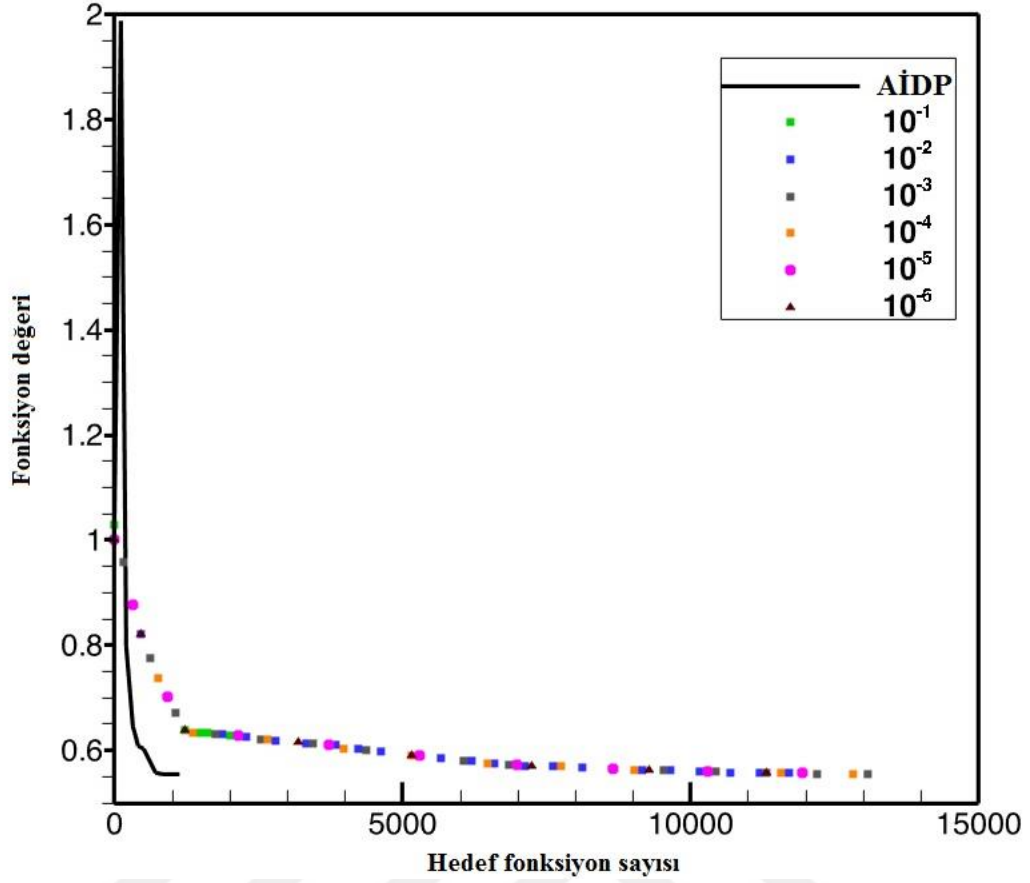
Şekil 3.7'de verilen grafikte,  $\gamma$  değerleri için ilk olarak  $10^{-1}$  değeri verilerek yapılan testte 32 yinelemede 4435 defa,  $10^{-2}$  değeri verilerek yapılan testte 41 yinelemede 5770 defa,  $10^{-3}$  değeri verilerek yapılan testte 43 yinelemede 6042 defa,  $10^{-4}$  değeri verilerek yapılan testte 43 yinelemede 6042 defa,  $10^{-5}$  değeri verilerek yapılan testte 55 yinelemede 7518 defa,  $10^{-6}$  değeri verilerek yapılan testte 101 yinelemede 13176 defa fonksiyon çağrılır. Hedef fonksiyon sayıları AİDP ile elde edilen değere göre yüksek çıkmaktadır. Fakat süre göz önüne alındığında  $10^{-2}$  değeri verilerek alınan sonucun AİDP'ye göre uygun olduğu görülmektedir.

### 3.3.4 Farklı $\zeta$ Büyüklük Terimleri İçin Sonuçların Karşılaştırılması

Bu bölümün grafikleri, kiriş 25 parçadan oluşuyorken ( $\zeta$ ) büyüklük değerlerine göre yapılan testler sonucu elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 3.8: Farklı  $\zeta$  büyüklük değerleri için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri grafiği.



Şekil 3.9: Farklı  $\zeta$  büyüklük değerleri için fonksiyon değeri ile hedef fonksiyon sayısı grafiği.

Tablo 3.4: Farklı  $\zeta$  büyüklük değerleri için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

$\zeta$	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef fonksiyon sayısı
AİDP	10	0,5545	2,4362	1125
$10^{-1}$	16	0,6269	0,4503	2235
$10^{-2}$	92	0,5559	1,4049	12043
$10^{-3}$	101	0,5545	1,5550	13176
$10^{-4}$	101	0,5545	1,4958	13176
$10^{-5}$	101	0,5545	1,5371	13176
$10^{-6}$	101	0,5545	1,5035	13176

Şekil 3.8’de verilen grafikte, çözücü terimleri  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\delta = 10^{-4}$  ve  $\varepsilon = 10^{-6}$  iken farklı  $\zeta$  değerleri verilerek yapılan testlerde aynı sonuçlar çıktığı gözlemlenmiştir. Fonksiyon değeri  $10^{-1}$  değerinde 16 yinelemede 0,6269,  $10^{-2}$  değerinde 92 yinelemede 0,5559 ve  $10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}$  değerlerinde 101 yinelemede 0,5545 değerini vermektedir. Grafikten gözlemlendiği gibi bütün

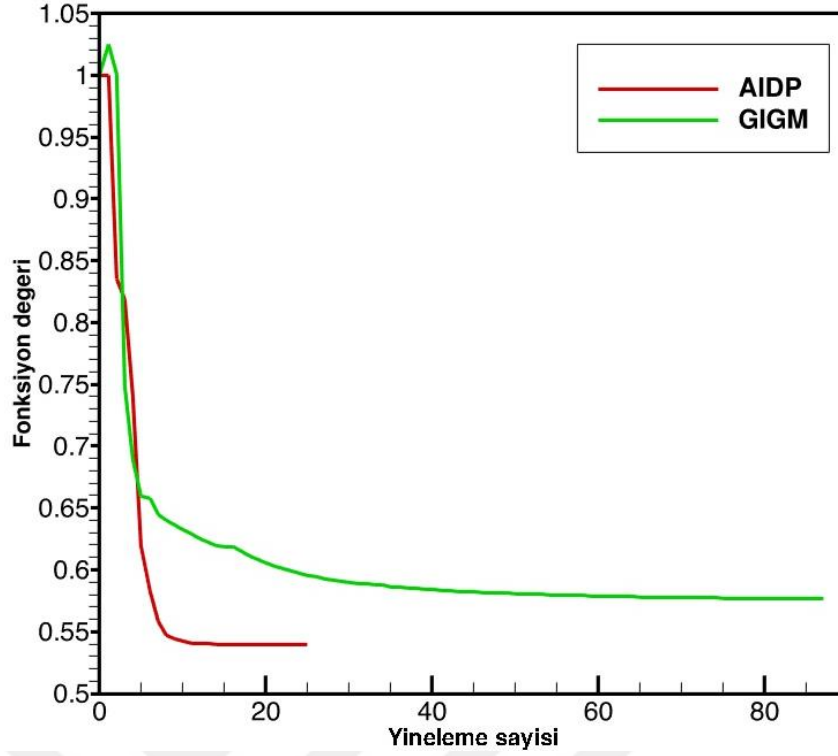
değerler çakışmaktadır.  $10^{-1}$  ve  $10^{-2}$  değerleri, diğer büyüklük değerlerindeki yineleme sayısına karşılık gelen değerle aynıdır. Örneğin, 101 yinelemede tamamlanan  $10^{-4}$  değerindeki ilk 16 yineleme değeri ile  $10^{-1}$  değerindeki 16 yinelemenin bütün değerleri eşittir. Bu ilk iki değer diğer değerlerden farklı yineleme sayısında olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre  $\zeta$  değeri  $10^{-4}$  olduğu zaman AİDP ile elde edilen değere göre daha kısa sürede ulaşıldığı görülmektedir. Burada  $10^{-4}$  değeri fonksiyon değerleri arasından süre bakımından en uygun olan değerdir.

Şekil 3.9’da verilen grafikte,  $\zeta$  değerleri verilerek yapılan testlerde aynı sayıda hedef fonksiyon olduğu gözlemlenmektedir. Sadece  $10^{-1}$  ve  $10^{-2}$  değerlerindeki yineleme sayısı ve hedef fonksiyon sayısı diğer değerlerden farklıdır. Fonksiyon,  $10^{-1}$  değerinde 16 yinelemede 2235 defa,  $10^{-2}$  değerinde 92 yinelemede 12043 ve  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$ ,  $10^{-6}$  değerlerinde 101 yinelemede 13176 defa çağrılmaktadır.

Bütün grafiklere AİDP ile elde edilmiş fonksiyon sonuçları eklenmiştir. Bu programda fonksiyon değeri 10 yinelemede 0,5545 olarak alınmıştır. Bu elde edilen sonuçların AİDP sonuçları ile arasında çok az fark bulunmaktadır. Fonksiyon değerleri aynıdır fakat yineleme sayıları bakımından AİDP daha az yineleme sayısında işlem yapmaktadır. Terimlerin programda yapılma süresi AİDP’den daha az olması avantajlı bir durumdur. Bütün terimlerin ve AİDP’nin fonksiyon değeri 0. yinelemede 1’dir. Sonraki yinelemede bu değer, terimler için 1,0288 ve AİDP için 1,9882’dir. Olurlu bölgeye geçiş için bu değerler 2. yinelemede 1’in altına düşer. Bütün grafiklerde bu duruma bakılırsa terimlerin 1’in üzerine çok az çıktığı fakat AİDP’de elde edilen sonucun bunun çok üzerine çıktığı görülür. Bu durum olurlu bölgeye geçişte terimlerin AİDP’den daha iyi olduğunu gösterir.

### **3.3.5 Farklı Tasarım Değişkeni Sayıları İçin Sonuçların Karşılaştırılması**

Farklı parça sayılarında yapılan testler sonucunda elde edilen değerler AİDP, aktif kümeler metodu ve iç nokta metodu sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Parça sayısı 25 iken alınan sonuçlar arasında en uygun olan değerler seçilip, parça sayısı 250’ye yükselttilerek test yapılmıştır. Kiriş probleminde parça sayısı 250 iken 500 tasarım değişkeni ve 500 kısıtlama vardır. Olurlu bölge dışında kalan kısıtlamaların sayısı 64 olduğu görülmektedir. Bu bölümün grafikleri, kiriş 250 parçadan oluşuyorken yapılan testler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



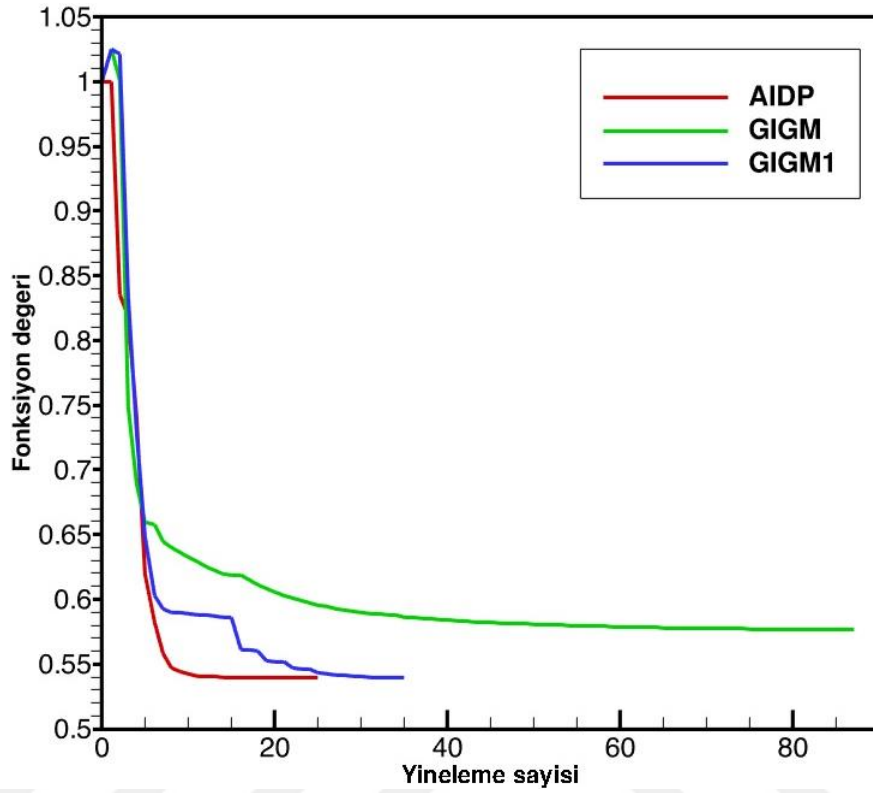
Şekil 3.10: N=250 iken GİGM ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği.

Tablo 3.5: N=250 için GİGM ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef fonksiyon sayısı
AİDP	25	0,5391	55,0710	25050
GİGM	87	0,5768	91,4865	88857

Şekil 3.10' da verilen grafikte, parça sayısı 250 iken çözücü terimlerine parça sayısı 25'de iken en uygun olan  $\gamma = 10^{-2}$ ,  $\delta = 10^{-1}$ ,  $\varepsilon = 10^{-6}$  ve  $\zeta = 10^{-4}$  değerleri verilerek yapılan testler sonucu fonksiyon değeri, GİGM için 87 yinelemede 0,5768, AİDP için 25 yinelemede 0,5391 sonucu elde edilmiştir. Değerler Tablo 3.5'te gösterilmiştir. Elde edilen fonksiyon değeri AİDP sonucundan uzakta çıkmıştır. Bundan dolayı çözücüde bazı değişiklikler yapılmıştır. Çözücünün başlangıcında olurlu bölgeye geçiş için  $\varepsilon$  terimi  $10^{-6}$  değeri ile başlar. Daha sonra  $\varepsilon$  terimi yineleme sayısına ( $y_s$ ) göre  $10^{-1}/y_s^2$  olarak belirlenir ve eğer  $10^{-6}$ 'dan küçük olursa çözücü bu terimi  $10^{-6}$  olarak alır. Çözücüde yapılan bir diğer değişiklik ise fonksiyon değeri ile bir önceki yinelemeden gelen fonksiyon değerinin farkı alır. Eğer bu farkın, fonksiyon değerine oranı  $10^{-3}$ 'den küçük ise  $\gamma$  değeri ikiye bölünerek işleme devam eder. Son olarak yapılan değişiklikte  $\gamma$  değeri  $10^{-6}$ 'dan

küçük ise bu değer  $10^{-6}$  olarak işleme devam eder. Yapılan bu değişiklik ile elde edilen sonuçlar Şekil 3.11’de GİGM1 olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.11: N=250 iken GİGM, GİGM1 ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği.

Tablo 3.6: N=250 için GİGM, GİGM1 ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	Yineleme sayısı	Fonksiyon değeri	Süre	Hedef fonksiyon sayısı
<b>AİDP</b>	25	0,5391	55,071	25050
<b>GİGM</b>	87	0,5768	91,4865	88857
<b>GİGM1</b>	35	0,5394	49,7671	35259

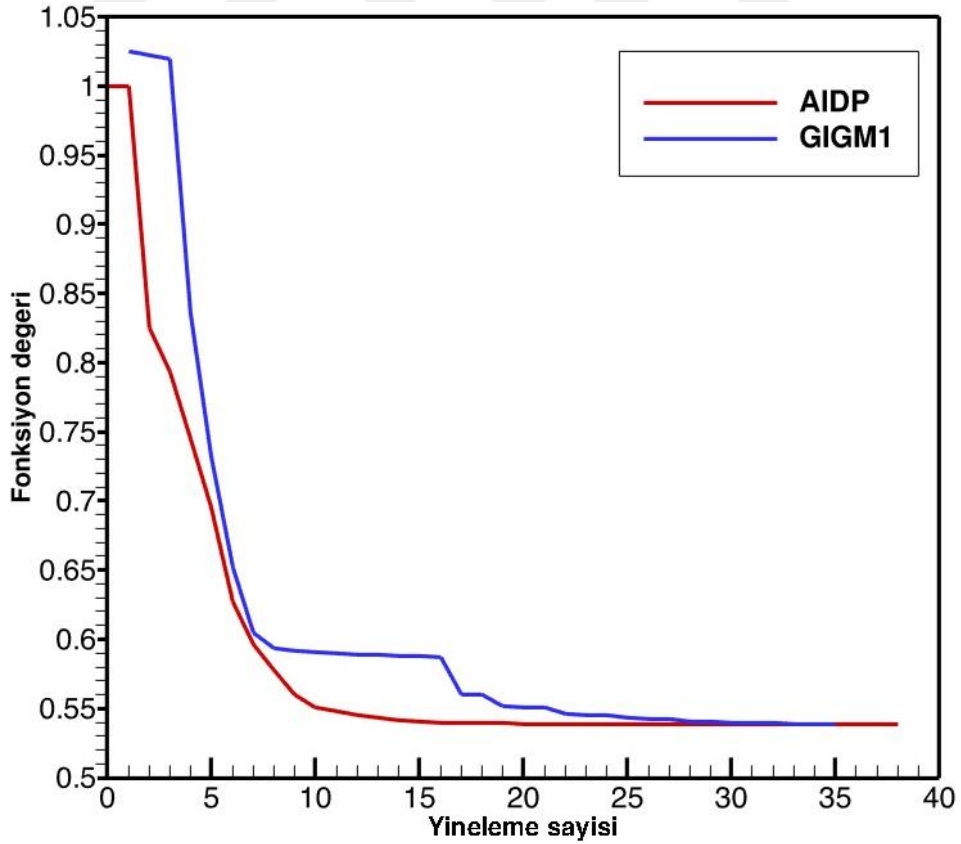
Şekil 3.11’de verilen grafikte, parça sayısı 250 iken çözücünde yapılan değişiklikler ile terimlere  $\gamma = 10^{-1}$ ,  $\delta = 10^{-2}$ ,  $\varepsilon = 10^{-6}$  ve  $\zeta = 10^{-5}$  başlangıç değerleri olarak tanımlanarak yapılan testler sonucu GİGM1 sonuçları elde edilmiştir. Fonksiyon değeri, GİGM1 için 35 yinelemede 0,5394 sonucu elde edilmiştir. Süre olarak 49,7671 saniye çıkmıştır. Değerler Tablo 3.6’da gösterilmiştir.

Parça sayısı 250 iken MATLAB içinde tanımlı aktif kümeler metodu ve iç nokta metodu ile testler yapılmıştır. Aktif kümeler metodunda 1000 yineleme



sonucunda fonksiyon değeri 0,414 olsa da olurlu bölge dışında kalan kısıtlamaların sayısı 180 olduğu görülmektedir. İç nokta metodunda ise olurlu bölge dışında kalan kısıtlama olmamasına rağmen elde edilen fonksiyon değerinin 2,507 çıktığı görülmektedir. Sonuçlara göre, 250 parça için genel indirgenmiş gradyan metodu, aktif kümeler metodu ve iç nokta metodundan daha iyidir ancak ardışık ikinci derece programlama bu metotlar arasında daha üstündür. Yineleme sayısına bağlı olarak yapılan değişiklikler ile elde edilen GİGM1 sonuçlarının ardışık ikinci derece programlama metodu sonuçlarına daha da çok yaklaştığı gözlemlenmiştir. Süre bakımından GİGM1'in AİDP'den daha iyi olduğu görülmektedir.

Yapılan değişiklikler ile son halini alan çözücüye 500 parça sayısı ile test yapılmıştır. Buradan elde edilen sonuçlar AİDP'den elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Parça sayısı 500'de iken 1000 tasarım değişkeni ve 1000 kısıtlama vardır. Olurlu bölge dışında kalan kısıtlamaların sayısı 127 olduğu görülmektedir. Aşağıda gösterilen grafik, çözücüde parça sayısı 500 iken yapılan testler ile elde edilen sonuçlar doğrultusunda çizilmiştir.



Şekil 3.12: N=500 iken GİGM1 ve AİDP için yineleme sayısına göre fonksiyon değerleri karşılaştırılması grafiği.

**Tablo 3.7:** N=500 için GİGM1 ve AİDP için elde edilen sonuçların karşılaştırılması.

	<b>Yineleme sayısı</b>	<b>Fonksiyon değeri</b>	<b>Süre</b>	<b>Hedef fonksiyon sayısı</b>
<b>AİDP</b>	38	0,5383	1099,24	76121
<b>GİGM1</b>	35	0,5388	303,01	69271

Şekil 3.12’de verilen grafikte, parça sayısı 500 iken çözücüde yapılan değişiklikler ile terimlere  $\gamma = 10^{-1}$ ,  $\delta = 10^{-2}$ ,  $\varepsilon = 10^{-6}$  ve  $\zeta = 10^{-5}$  değerleri verilerek yapılan testler sonucu GİGM1 sonuçları elde edilmiştir. Fonksiyon değeri, GİGM1 için 35 yinelemede 0,5388 sonucu elde edilmiştir. Çözüm süreleri GİGM1’de 303,01 saniye, AİDP ise 1099,24 saniye çıkmıştır. AİDP’ye göre süre bakımında çok iyi bir sonuç çıkmıştır. Değerler Tablo 3.7’de gösterilmiştir. Hedef fonksiyon sayısı GİGM1’de 69271, AİDP ise 76121 olarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak, geliştirilen GİGM1 çözücüsünün sonuçları AİDP ile elde edilen sonuçlardan çok daha iyi olduğu görülmüştür. Geliştirilen bu çözücü, eniyileme problemlerinin çözümünde etkili ve verimli bir çözücüdür.

## DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında eniyileme problemi çözümü için genel indirgenmiş gradyan metodu kullanılarak eniyileme çözücüsü geliştirilmiştir. Bu çözücünün geliştirilmesinde MATLAB programlama dili kullanılmıştır. Çalışmada anlatılan eniyileme çözücüsüne farklı N sayıları ile testler yapılarak sonuçlar alınmıştır. N değeri 25'e eşit olduğunda farklı parametreler ile yapılan testler sonucu elde edilen değerler göre çözücü  $\gamma = 10^{-2}$ ,  $\delta = 10^{-1}$ ,  $\varepsilon = 10^{-6}$  ve  $\zeta = 10^{-4}$  iken en uygun olduğu görülmüştür. MATLAB içinde tanımlı olan ardışık ikinci derece programlama metodundan elde edilen sonuçların GİGM metoduna göre üstün olduğu tespit edilmiştir. N değeri 250'ye eşit olduğunda en uygun parametreler kullanılarak yapılan testler ile elde edilen sonuçların MATLAB içinde tanımlı aktif kümeler metodu ve iç nokta metoduna göre daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat AİDP sonuçlarının bu metotlara göre üstünlüğü devam etmektedir. Geliştirilen eniyileme çözücüsündeki bazı parametrelerin yineleme sayısına bağlı olarak tanımlanması ile yapılan test sonuçlarının, AİDP ile elde edilen sonuçlara daha da yaklaştığı gözlemlenmiştir. Yapılan değişikliklerle çözücü N değeri 500 için test edilmiştir. Elde edilen sonuçların yineleme sayısı ve fonksiyon sayısı bakımından AİDP'ye göre üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuç olarak, Genel indirgenmiş gradyan metodu ile geliştirilen çözücünün eniyileme problemlerinin çözümünde kullanılabilecek uygun bir çözücü olduğu testlerle gösterilmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] [http://serhatyilmaz.org/dersler/sc/SayCoz\\_dosyalar/DersNotlari.htm](http://serhatyilmaz.org/dersler/sc/SayCoz_dosyalar/DersNotlari.htm)  
Eriřim tarihi 26.12.2016
- [2] [https://prezi.com/9b5\\_14gxirqr/optimizasyona-giris](https://prezi.com/9b5_14gxirqr/optimizasyona-giris) Eriřim tarihi:  
26.12.2016
- [3] Dutta, J. (2004). *Optimization Theory - A Modern Face of Applied Mathematics*. Indian Institute of Technology Kanpur. no. 3. vol. 6.
- [4] Rao, S.S. (2009). *Engineering Optimization: Theory and Practice, Fourth Edition*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- [5] <http://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/muhendislikte-optimizasyon/18764# ad-image-0> Eriřim tarihi: 26.12.2016
- [6] <http://www.eda-ltd.com.tr/index.php/tr/hizmetler?id=95> Eriřim tarihi:  
03.01.2017
- [7] Bozkurt, N., Yazıcıoğlu, S. (2015). Yapı Sistemlerinin MATLAB Optimizasyon Araç Kutusu ile Optimum Boyutlandırılması. *BEÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 4 (2), 189-197.
- [8] Yüksel, İ. (2014). *MATLAB İle Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü*. Bursa: Dora Yayıncılık.
- [9] Šilih, S., Žula, T., Kravanja, S. (2007). The MINLP Optimization in Civil Engineering. *World Scientific and Engineering Academy and Society*, 299-304.
- [10] Song, B.C., Park, Y.C., Kang, S.W., Lee, K.H. (2009). Structural Optimization of An Upper Control Arm, Considering The Strength. *Institution of Mechanical Engineers*, 223, 727-735.

- [11] Peterson, R.V., McCloskey, W. J. (1992). Process of Manufacturing Hollow Upper Control Arm For Vehicle Suspension System. Masco Industries. Patent numarası: US5169055A.
- [12] Faluyi, F., Arum, C. (2012). Design Optimization of Plate Girder Using Generalized Reduced Gradient and Constrained Artificial Bee Colony Algorithms. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, 2 (7), 304-312.
- [13] Öztürk, H.T. (2013). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Betonarme Sığ Tünellerin Yapay Arı Koloni Algoritması ve Genetik Algoritmayla Optimum Tasarımı. Doktora Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi/Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [14] Fedghouche, F., Tiliouine, B. (2012). Minimum Cost Design of Reinforced Concrete T-Beams At Ultimate Loads Using Eurocode2. *Sciencedirect*, 42, 43-50.
- [15] Trung, T.T., Guang, L.W., Long, P.T. (2016). Tolerance Design of Robot Parameters Using Generalized Reduced Gradient Algorithm. *International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing*, 5 (2), 96-105.
- [16] Clifford, S. J., Copioli, P. D., Beem, M. G., Foti, R. C., McClosky, S. H., Zimmerer, M., Niederquell, B. O., Mantz, W. D. (2009). Robotic Apparatus With Non-Conductive Wrist For Painting. Fanuc Robotics America. Patent numarası: US7638000B2.
- [17] Körpe, D.S., Özgen S. (2016). Morphing Wing Optimization For Steady Level Flight. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 0 (0), 1-14.
- [18] Klerk, E.D., Roos, C., Terlaky, T. (2006). *Nonlinear Optimization (CO 367)*. Waterloo.
- [19] Venkataraman, P. (2002). *Applied Optimization with MATLAB Programming*. New York: John Wiley & Sons.
- [20] Körpe, D.S. (2014). Aerodynamic Modelling and Optimization of Morphing Wings. Doktora Tezi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

- [21] Ravindran, A., Ragsdell, K.M., Reklaitis, G.V. (2006). *Engineering Optimization: Methods and Applications*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- [22] Vanderplaats, G.N. (2007). *Multidiscipline Design Optimization*. Monterey, Kaliforniya: Vanderplaats Research and Development.
- [23] Luenberger, D.G., Ye, Y. (2008). *Linear and Nonlinear Programming*. New York: Springer.
- [24] Ibrahim, W., Chinneck, J.W. (2008). Improving Solver Success in Reaching Feasibility for Sets of Nonlinear Constraints. *Computers and Operations Research*, 35 (5), 1394-1411.
- [25] Chinneck, J.W. (2008). *Feasibility and Infeasibility in Optimization: Algorithms and Computational Methods*. New York: Springer.
- [26] Vanderplaats, G.N. (2002). Very Large Scale Optimization. NASA/CR-2002-211768.
- [27] Parlar, T. (2010). Bloklara Ayrılmış Matrislerin Khatri-Rao ve Tracy-Singh Çarpımları için Algoritmalar. Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Samet TOPLU  
Uyruđu : T.C.  
Dođum Yeri ve Tarihi : Muş / 1989  
Medeni Hali : Bekar  
Adres : Etlik Mahallesi Etlik Caddesi No:215 D:9  
: Keçiören / ANKARA  
E-Posta Adresi : msamettoflu@gmail.com  
İletişim (Telefon) : 0534 6457874

### EĞİTİM

Lise : 2006 Küçükçekmece Lisesi  
Lisans : 2012 Bülent Ecevit Üniversitesi Müh. Fak. Makine  
Mühendisliği Bölümü

### MESLEKİ DENEYİM

2012-2013 Alize Ist. Sođ. Ve Oto. Kont. Sis. San. Tic. Ltd. Şti.– Makine Mühendisi  
2014-2015 Ehil Gaz Enerji Proje Müh. İnş. Oto. Ltd. Şti. – Proje Şefi  
2015-2016 Hidro-dam Damper İmal. Metal. Ltd. Şti. – Üretim Mühendisi

### YABANCI DİL

İngilizce