

**T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TASARIM OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇOK  
AMAÇLI ARAMA TABANLI BİR SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ**

**ALİ RIZA YILDIZ**

**DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI**

**BURSA-2006**

T.C.  
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TASARIM OPTİMİZASYON PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜ İÇİN ÇOK  
AMAÇLI ARAMA TABANLI BİR SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ

ALİ RIZA YILDIZ

DOKTORA TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 06./07./2006 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.Ferruh ÖZTÜRK Prof.Dr.İrfan KARAGÖZ Prof.Dr. Abdullah MİMAROĞLU  
(Danışman)

Prof.Dr.Recep EREN

Yrd. Doç. Dr. Necmettin KAYA

## ÖZET

Ürün maliyetlerin yüksek olması nedeniyle rekabet etmede zorluklarla karşılaşılması, endüstriyel işletmeleri kısa sürede, düşük maliyetli yüksek kaliteli ve güvenilir ürünler üretmeye yönlendirmiş ve bu amaca ulaşabilmek için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler başlangıçta gereksinimleri karşılamasına rağmen karmaşık yapıdaki problemlerle karşılaştığında bu tekniklerin yetersiz kalması yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunluluk haline getirmiştir.

1980’li yıllardan itibaren araştırmacılar optimum noktaya daha hızlı ve daha doğru bir şekilde ulaşmada doğada mevcut canlı yaşam, beslenme ve üreme felsefelerinden yararlanmaya başlamışlardır. Genetik algoritmalar son yıllarda yaygın olarak kullanılan doğadan esinlenen yöntemlerden birisidir.

Bu tez çalışmasının amacı mevcut yöntemler incelenerek bir yöntemin eksikliğini o yönü üstün olan diğer bir yöntemle giderme ve mevcut yöntemlerin üstün özelliklerini kullanmaya dayanan bütünleşik tasarım optimizasyon yöntemi geliştirmektir.

Bu tez kapsamında kısıt içeren problemlerin ve çok amaçlı test ve mühendislik problemlerinin çözülmesi ile taşıt elemanlarının optimum tasarlanması için evrim teorisine dayanan genetik algoritmalar ile Japon mühendis Genichi Taguchi’nin robust design yaklaşımı entegre edilerek yeni bir bütünleşik (hibrid) optimizasyon metodu geliştirilmiş ve geliştirilen yöntemi doğrulamak için literatürde bulunan tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik optimizasyon problemleri çözülmüş ve geliştirilen yöntem üç adet taşıt elemanının çok amaçlı optimum tasarımı çalışmasına uygulanmıştır.

Önerilen yöntem ile bulunan sonuçların şu ana kadar literatürde geliştirilen yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha iyi olması bu tez kapsamında geliştirilen yeni yöntemin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Optimizasyon, Çok amaçlı optimizasyon, Taşıt elemanlarının optimizasyonu, Genetic algoritmalar, Taguchi metodu, Emin tasarım, Hibrid yöntem

## ABSTRACT

The facing of the difficulties due to high product costs at competition forced industrial institutions to produce low-priced, high quality and reliable products in a short time and various methods are developed as a solution. Although these developed methods were not able to meet the needs at first, insufficiency of these techniques when it is met with complex structure problems, made it obligatory to develop new methods.

Since 1980 the researcher have been using living and eating and reproduction processes of living to reach to optimum results. The second stage in developing processes of optimization is methods which use natural process as genetic algorithms, to reach optimum results.

The last stage in optimization process is hybrid methods which are integrate two or more methods.

In this study, a new hybrid method is proposed to solve single and multi objective test problems and to design vehicle elements which have optimum properties. The proposed new hybrid method based on genetic algorithms and Taguchi's robust design approach.

According to the proposed method, It was thought that optimum results could be achieved by the use of levels and level intervals of the design parameters that were obtained as a result of developed single response taguchi approach while forming starting population in genetic algorithms.

Since the results which were found with proposed method are better than the results which were found in literature the proposed method can use to solve single and multi-objective optimization problems.

**Keywords** : Optimization, Multi-objective optimization, Optimization of vehicle elements, Genetic algorithms, Taguchi method, Robust Design, Hybrid method

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>iii</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ.....</b>	<b>vi</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>vii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Tezin Katkısı ve Yenilikleri.....	2
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI.....</b>	<b>3</b>
2.1 Genetik Algoritmalar İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	3
2.2 Emin Tasarım İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	5
2.3 Bütünleşik Yaklaşımlar İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....	7
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>10</b>
3.1 Optimizasyon.....	10
3.1.1 Tasarım Değişkenleri.....	11
3.1.2 Amaç Fonksiyonu .....	11
3.1.3 Tasarım Kısıtlayıcıları .....	12
3.2 Analitik Optimizasyon Yöntemleri.....	14
3.2.1 Kısıtlayıcı İçermeyen Optimum Tasarım Problemleri.....	16
3.2.2 Kısıtlayıcı İçeren Optimum Tasarım Problemleri.....	18
3.2.2.1 Eşitlik Kısıtlayıcısı İçeren Gerek Şartlar.....	18
3.2.2.2 Eşitsizlik Kısıtlayıcısı İçeren Gerek Şartlar.....	19
3.2.2.3. Kuhn-Tucker (K-T) Gerek Şartları.....	20

3.3	Çok Amaçlı Optimizasyon.....	21
3.4	Genetik Algoritmalar.....	24
3.4.1	Genetik Algoritmaların Çalışma Prensibi.....	25
3.4.2	Genetik Algoritmalarda Gerçekleştirilen İşlemler.....	26
3.4.2.1	Üreme İşlemi.....	27
3.4.2.2	Çaprazlama İşlemi.....	29
3.4.2.3	Mutasyon İşlemi.....	32
3.4.2	Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Parametreler.....	33
3.4.3	Genetik Algoritmaların Diğer Metotlardan Farkı.....	34
3.5	Emin Tasarım.....	35
3.5.1	Taguchi Metodunun Gelişimi.....	35
3.5.2	Taguchi felsefesi .....	36
3.5.3	Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi.....	37
3.5.3.1	Taguchi Ürün ve Proses Tasarımı Adımları.....	38
3.5.4	Taguchi'nin Kayıp Fonksiyonu.....	41
3.5.5	Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları.....	43
3.5.6	Ortogonal Dizinler.....	44
<b>4.</b>	<b>GELİŞTİRİLEN BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYON YÖNTEMİ VE UYGULAMALAR.....</b>	<b>45</b>
4.1.	Geliştirilen Yöntemin Literatürde Bulunan Problemlere Uygulanması.....	49
4.1.1	Tek Amaçlı Test ve Mühendislik Problemleri.....	49
4.1.1.1	g01 Tek Amaçlı Test Problemi .....	49
4.1.1.2	g06 Tek Amaçlı Test Problemi .....	50
4.1.1.3	g09 Tek Amaçlı Test Problemi .....	51
4.1.1.4	Minimum Ağırlığa Sahip Çeki-Basi Yayının Optimum Tasarımı Problemi.....	52
4.1.1.5	Tek Amaçlı Kaynaklı – Kiriş Problemi .....	54
4.1.1.6	Basınçlı Kap ( Pressure Vessel) Tasarım Problemi.....	57

4.1.2 Çok Amaçlı Mühendislik Problemleri.....	60
4.1.2.1 Çok Amaçlı Machine Tool Spindle Problemi.....	60
4.1.2.2 Çok Amaçlı I profile sahip (I-Kiriş) Tasarım Problemi.....	64
4.1.2.3 Çok Amaçlı Kaynaklı Kiriş Tasarım Problemi.....	67
4.1.2.4 Çok Amaçlı İki Çubuklu Kafes Sistemi Problemi .....	71
4.1.2.5 Çok Amaçlı Helisel Yay Problemi.....	74
4.1.2.6. Çok Amaçlı Disk Fren Problemi.....	77
4.1.3. Taşıt Elemanlarının Çok Amaçlı Optimizasyonu.....	79
4.1.3.1 Taşıt Salıncak Kolunun Çok Amaçlı Optimizasyonu.....	80
4.1.3.2 Taşıt Sürgü Kolunun Çok Amaçlı Optimizasyonu.....	87
4.1.3.3 Taşıt Debriyaj Çatalının Çok Amaçlı Optimizasyonu.....	93
<b>5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE İRDELEME.....</b>	<b>98</b>
5.1 Tek amaçlı Problemlerin Karşılaştırılması.....	98
5.2 Çok Amaçlı Mühendislik Problemlerinin Karşılaştırılması.....	99
5.3 Çok Amaçlı Taşıt Elemanları Problemlerinin Karşılaştırılması.....	101
<b>6. KAYNAKLAR.....</b>	<b>103</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>113</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>114</b>

## SİMGELER DİZİNİ

$C_i$	Kısmi türev
$d_{\min}$	Minimum tel çapı
$D_{\max}$	Maksimum dış çap
$E^{(k)}$	Düzeltilme matrisi
$E_f$	Sürtünme kaybı
$f()$	Amaç fonksiyonu
$F_p$	Önyüklemeye basma kuvveti
$F_{\max}$	Maksimum çalışma yükü
$G$	Kullanılan malzemenin kayma modülü,
$FDS$	Fonksiyon değerlendirme sayısı
$g_j$	Kısıt fonksiyonu (eşitsizlik)
$H$	Hessian matrisi
$h_j$	Kısıt fonksiyonu (eşitlik)
$i$	tasarım değişkenlerinin sayısı
$L()$	Lagrange fonksiyonu
$L_{\max}$	Maksimum serbest uzunluk
$m$	Eşitsizlik kısıtlayıcıları sayısı
$n$	Tasarım değişkenlerinin toplam sayısı
$n_{ij}$	$j$ . eşitlik kısıtlayıcısı fonksiyonunun türevi
$n^j$	$j$ . eşitlik kısıtlayıcısı gradienti
$p$	Eşitlik kısıtlayıcıları sayısı
$S$	Maksimum kayma gerilmesi
$s_i$	Slack variable
$x$	Tasarım değişkeni
$V_{\max}$	Maksimum hacim
$w$	yapay amaç fonksiyonu
$\delta_{pm}$	Önyüklemeye altında müsadde edilebilir maksimum eğilme
$\delta_w$	Önyüklemeye pozisyonundan max. yüklemeye pozisyonuna geçiş eğilmesi



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1	Geleneksel tasarım süreci
Şekil 3.2	Optimum tasarım süreci
Şekil 3.3	$x_1=x_2$ kısıtlayıcı için feasible bölge (A-B) çizgisi
Şekil 3.4	$x_1 \leq x_2$ kısıtlayıcı için feasible bölge (A-B) çizgisi ve üstü
Şekil 3.5	Optimizasyon yöntemlerinin sınıflandırılması
Şekil 3.6	Sınırsız alan ve fonksiyon
Şekil 3.7	Sınırlı alan ve fonksiyon
Şekil 3.8	$x^*$ noktasında $f(x_1, x_2, x_3)$ için gradient vektörü
Şekil 3.9	$f(x)=x^2-2x+2$ 'nin grafiği
Şekil 3.10	$f(x)$ fonksiyonuna sabit ilavesi
Şekil 3.11	Pareto optimal'in grafiksel gösterimi
Şekil 3.12	Genetik algoritmaların çalışma prensibi akış şeması
Şekil 3.13	Tek noktalı çaprazlama işlemi
Şekil 3.14	İki noktalı çaprazlama
Şekil 3.15	Uniform çaprazlama
Şekil 3.16	Mutasyon işlemi
Şekil 3.17	Taguchi'nin kalite kontrol sistemi
Şekil 3.18	Kim daha iyi nişancı ?
Şekil 3.19	Ford firmasının tedarikçilerinin kıyaslanması
Şekil 3.20	Taguchi'nin kayıp fonksiyonu
Şekil 4.1	Önerilen bütünleşik optimizasyon yönteminin algoritması
Şekil 4.2	Çeki-basi yayının tasarım parametreleri
Şekil 4.3	Kaynaklı-kiriş probleminin tasarım parametreleri
Şekil 4.4	Basınçlı kap probleminin tasarım parametreleri
Şekil 4.5	Çok amaçlı machine tool spindle probleminin tasarım parametreleri
Şekil 4.6	Çok amaçlı I-Kiriş tasarım probleminin tasarım parametreleri
Şekil 4.7	Çok amaçlı kaynaklı kiriş probleminin tasarım parametreleri
Şekil 4.8	Çok amaçlı iki çubuklu kafes sisteminin tasarım parametreleri
Şekil 4.9	Salıncak kolu başlangıç taslak modeli

Şekil 4.10	Salıncak kolu sınır şartları
Şekil 4.11	Topoloji optimizasyonu sonrası kalan malzeme
Şekil 4.12	Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model
Şekil 4.13	Salıncak kolu tasarım değişkenleri
Şekil 4.14	Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model
Şekil 4.15	Sürgü kolu başlangıç taslak modeli
Şekil 4.16	Topoloji optimizasyonu sonrası kalan malzeme
Şekil 4.17	Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model
Şekil 4.18	Sürgü kolu tasarım değişkenleri
Şekil 4.19	Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model
Şekil 4.20	Debriyaj çatalı başlangıç taslak modeli
Şekil 4.21	Topoloji optimizasyonu sonrası kalan malzeme
Şekil 4.22	Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model
Şekil 4.23	Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri
Şekil 4.24	Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model

## ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 4.1	g01 test problemi için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.2	g06 test problemi için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.3	g09 test problemi için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.4	Amaç fonksiyonu için S/G (Sinyal /Gürültü) oranları
Çizelge 4.5	Amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.6	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.7	Çeki-bası yayı için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.8	Amaç fonksiyonu için S/G oranları
Çizelge 4.9	Amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.10	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.11	Kaynaklı giriş problemi için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.12	Amaç fonksiyonu için S/G oranları
Çizelge 4.13	Amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.14	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.15	Basınçlı kap tasarım problemi için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.16	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.17	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.18	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.19	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.20	Machine- tool Spindle problemi için karşılaştırmalı sonuçlar
Çizelge 4.21	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.22	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.23	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.24	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.25	I-giriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar
Çizelge 4.26	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.27	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.28	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.29	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.30	Çok amaçlı kaynaklı giriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar-1

Çizelge 4.31	Çok amaçlı kaynaklı kiriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar-2
Çizelge 4.32	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.33	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.34	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.35	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.36	Çok amaçlı iki çubuklu kafes sistemi için karşılaştırılmalı sonuçlar1
Çizelge 4.37	Çok amaçlı iki çubuklu kafes sistemi için karşılaştırılmalı sonuçlar2
Çizelge 4.38	Standart tel çapları
Çizelge 4.39	Amaç fonksiyonları için S/ N oranları
Çizelge 4.40	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.41	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.42	Tasarım değişkenleri değişim aralıkları
Çizelge 4.43	Çok amaçlı helisel yay için en iyi sonuçlar
Çizelge 4.44	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.45	Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.46	İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu
Çizelge 4.47	Çok amaçlı disk fren problemi için karşılaştırmalı sonuçlar
Çizelge 4.48	Salıncak kolu tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limitleri değerleri
Çizelge 4.49	Amaç fonksiyonları ve kısıt fonksiyonu için S/G oranları
Çizelge 4.50	Minimum hacim için anova tablosu
Çizelge 4.51	Maksimum frekans için anova tablosu
Çizelge 4.52	Minimum gerilme için anova tablosu
Çizelge 4.53	Salıncak kolu tasarım değişkenleri aralıkları
Çizelge 4.54	Taşıt salıncak kolu için karşılaştırmalı sonuçlar
Çizelge 4.55	Sürgü kolu tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limit değerleri
Çizelge 4.56	Amaç fonksiyonları ve kısıt fonksiyonu için S/G oranları
Çizelge 4.57	Minimum hacim için anova tablosu
Çizelge 4.58	Maksimum frekans için anova tablosu
Çizelge 4.59	Minimum gerilme için anova tablosu
Çizelge 4.60	Sürgü kolu tasarım değişkenleri aralıkları
Çizelge 4.61	Taşıt sürgü kolu için karşılaştırmalı sonuçlar

Çizelge 4.62	Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limit değerleri
Çizelge 4.63	Amaç fonksiyonları için S/G oranları
Çizelge 4.64	Minimum hacim için anova tablosu
Çizelge 4.65	Maksimum frekans için anova tablosu
Çizelge 4.66	Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri aralıkları
Çizelge 4.67	Taşıt debriyaj çatalı için karşılaştırmalı sonuçlar

## 1. GİRİŞ

Ürün maliyetlerin yüksek olması nedeniyle rekabet etmede zorluklarla karşılaşılması, endüstriyel işletmeleri kısa sürede düşük maliyetli, yüksek kaliteli ve güvenilir ürünler üretmeye yönlendirmiş ve bu amaca ulaşabilmek için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemler başlangıçta gereksinimleri karşılamasına rağmen karmaşık yapıdaki problemlerle karşılaştığında bu tekniklerin yetersiz kalması yeni yöntemlerin geliştirilmesini zorunluluk haline getirmiştir.

1980'li yıllardan itibaren araştırmacılar optimum noktaya daha hızlı ve daha doğru bir şekilde ulaşmada doğada mevcut canlı yaşam, beslenme ve üreme felsefelerinden yararlanmaya başlamışlardır. Genetik algoritmalar son yıllarda yaygın olarak kullanılan doğadan esinlenen yöntemlerden birisidir.

Optimizasyon yöntemleri geliştirmede son yıllarda yaygın olarak kullanılan ve bu tez çalışması kapsamında da yapılan, mevcut yöntemler incelenerek bir yöntemin eksikliğini o yönü üstün olan diğer bir yöntemle giderme ve mevcut yöntemlerin üstün özelliklerini kullanmaya dayanan birden fazla yaklaşımı entegre ederek bütünleşik sistem/sistemler geliştirmektir.

Günümüz global ekonomisinde önem kazanan ve rekabetin önemli bir unsuru haline gelen diğer bir kavram da kalitedir. Kalite kavramı, Genichi Taguchi'nin önerdiği kalitenin ürünlerin kontrolü ile değil üretim öncesi tasarım aşamasında sağlanması gerektiği yönündeki yaklaşımı ile yeni bir boyut kazanmış ve ürünlerin maruz kaldığı ve kontrol edilemeyen faktörlere duyarlı olan tasarımlar ve prosesler geliştirilmesi esas hedef olmuştur (Phadke 1989). Bu aslında kaliteyi muayene ile sağlamanın ucuz olmadığını söylemektir. Kaliteyi tasarlamak, üretilmiş ürünü muayene ile iyi veya kötü diye ayırmaktan ve kötü diye ayrılmış ürünleri yeniden işleyip iyi ürün haline getirmekten çok daha ucuzdur. Bundan dolayı yeni felsefe, düşük maliyetli ancak yüksek kaliteli ürünleri üretebilmek için teknolojiyi ve istatistiksel metotları etkin bir şekilde kullanmak ve bunu tasarım aşamasında gerçekleştirmek olmalıdır.

Bu tez kapsamında kısıt içeren tek ve çok amaçlı test ve mühendislik problemlerinin çözülebilmesi ve taşıt elemanlarının optimum tasarlanabilmesi için Japon kalite felsefesinin mimarı ve birçok Amerikalı büyük firmanın üretim felsefesinde devrim yapan Japon Mühendis Genichi Taguchi'nin robust design

yaklaşımı ile genetik algoritmalar entegre edilerek yeni bir bütünleşik (hybrid) optimizasyon metodu geliştirilmiş ve geliştirilen metodu doğrulamak için literatürde bulunan tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik optimizasyon problemleri çözülmüş ve geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi üç adet taşıt elemanının çok amaçlı optimum tasarımı çalışmasına uygulanmıştır. Önerilen yöntem ile bulunan sonuçların şu ana kadar literatürde geliştirilen yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha iyi olması bu tez kapsamında geliştirilen yeni bütünleşik optimizasyon yönteminin doğruluğunu kanıtlamaktadır.

### **1.1 Tezin Amacı**

Mühendislik optimizasyon problemlerinin çok amaçlı yapıda olması durumunda klasik yöntemlerin yetersiz kaldığı ve doğadan esinlenen yöntemlerin çok iyi performans sergilemelerine karşın olumsuzluklarının mevcut olması bütünleşik yaklaşımları son on yılda güncel hale getirmiştir. Bu tezde tek amaçlı ve çok amaçlı mühendislik problemleri ile taşıt elemanlarının optimum tasarımı problemlerinde mevcut yöntemlere göre global optimuma daha hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılmasının sağlanması için yeni bir bütünleşik optimizasyon metodunun geliştirilmesi ve geliştirilen yöntemin otomotiv sektöründe örnek problemlere uygulanarak taşıt elemanlarının optimum tasarımında kullanılabilirliğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

### **1.2 Tezin Katkısı ve Yenilikleri**

Yapılan tez çalışması, literatürde mevcut yöntemlerin belirli üstün ve negatif yöntemlerinin iyi belirlendiği ve bir yöntemin olumsuz tarafının o yönü başarılı olan diğer bir yöntemle giderilebileceğini, bunun için mevcut yöntemlerin entegre edilerek kullanılmasının global optimuma daha çabuk ve daha doğru bir şekilde ulaşılmasının olanaklı olduğunu literatürde bulunan tek ve çok amaçlı test ve mühendislik problemlerine uygulanması sonucunda daha önce geliştirilen tüm yöntemlerden daha iyi sonuçlar bulunarak kanıtlamıştır.

Yapılan bu tez çalışması tek amaçlı ve çok amaçlı problemlerin çözümünde global optimuma hızlı ve doğru bir şekilde ulaşmak için literatüre yeni bir yöntem kazandırmış ve geliştirilen bu yöntemin hafif tasarımların çok önemli olduğu taşıt elemanlarının tasarımında etkin olarak kullanılabileceğini kanıtlamıştır.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, geliştirilen bütünleşik optimizasyon metodunun bileşenleri olan genetik algoritmalar ve Taguchi'nin robust design yaklaşımı ile bütünleşik optimizasyon yaklaşımları ile ilgili literatürde yapılan çalışmalar irdelenmiştir.

### 2.1 Genetik Algoritmalar ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Genetik algoritmalar 1975 yılında John Holland tarafından geliştirildi (Holland 1975). D.E. Goldberg (1989) genetik algoritmaları gaz boru hatlarının denetimine uygulayarak pratik olarak kullanılabilirliği göstermiştir. Genetik algoritmalar klasik metodlardan farklı olarak fonksiyonun türevini gerektirmemesi ve fonksiyonun kendisi ile değil uygunluk fonksiyonları ile çalıştığından hesaplama zamanını ve global optimuma ulaşmayı kolaylaştırmıştır.

Genetik algoritmalar 1980'li yıllardan itibaren literatürde çok geniş uygulama alanı bulmuş ve çok farklı alanlarda optimizasyon işlemlerinde kullanılmıştır.

Sandragen ve ark (1990), yapısal komponentlerin topoloji optimizasyonunda genetik algoritmaları kullandılar.

Uler ve ark (1995), elektromanyetik aygıtların optimum tasarımında genetik algoritmaları kullandılar.

Chung ve Hwang (1997), ekstrüzyon işleminde kullanılan kalıp şeklinin optimum tasarımında genetik algoritmaları kullandılar.

Baumal ve ark. (1998), bir araç süspansiyon sisteminin tasarım optimizasyonu için genetik algoritmaları kullandılar.

Sivakumara ve ark. (1998), genetik algoritmaları kompozit plakaların optimizasyonunda kullandılar .

Makinen ve ark. (1999), genetik algoritmaları airfoil'ların optimizasyonunda kullandılar.

Gupta ve ark. (1999), genetik algoritmaları su dağıtım ağlarının optimizasyonunda kullandılar.

Hasançebi ve Erbatur (2000), genetik algoritmalarda kullanılan çaprazlama yöntemlerini kafes yapıların optimum yapısal tasarımı üzerinde irdelediler.



Obayashi ve ark. (2000), genetik algoritmaları süpersonik kanat'ın şekil optimizasyonunda kullandılar.

Deb (2000), kısıt içeren problemlerin genetik algoritmalar ile çözümü için uygunluk fonksiyonunun hesaplanmasında yeni bir yaklaşım geliştirdi ve bu yaklaşımı test problemlerine uyguladı.

Rajendran ve Vijayarangan (2001), genetik algoritmaları kompozit yaprak yayların optimum tasarımında kullandılar.

Ng ve Leng (2002), küçük hava taşıtlarının tasarımında genetik algoritmaları kullandılar.

Lampinen (2003), kam profilinin şekil optimizasyonunda genetik algoritmaları kullandı.

Ali ve ark. (2003), kafes yapıların optimizasyonunda genetik algoritmaları kullandılar.

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin genellikle çok amaçlı olması ve bu problemlerin çözümünde karşılaşılan zorlukları gidermek amacıyla genetik algoritmaların çok amaçlı problemlerin çözümünde kullanılması için çalışmalar yapılmıştır. Genetik algoritmaların çok amaçlı problemlerin çözümüne uygulanması ile ilgili çalışmalar 1980 li yıllarda başlamış ve bu konudaki öncü çalışmalar Schaffer (Schaffer 1984, 1985) ve Fourman (1985) tarafından yapılmıştır.

Kursawe (1991), Hajela ve Lin (1992), Fonseca ve Fleming (1993), Horn ve ark. (1994), Srinivas ve Deb (1994) değişik çok amaçlı evrimsel algoritma yaklaşımları önerdiler. Daha sonra bu yaklaşımlar ve onların varyasyonları değişik uygulamalara başarı ile uygulandı (Deb 1999, Fonseca ve Fleming 1998, Ishibuchi ve Murata 1996, Parks ve Miller 1998, Valenzuela ve Charre 1997). Zitzler çok amaçlı evolutionary algoritma için yeni bir yaklaşım SPEA (Zitzler 1999) önerdi. Coello'nun geliştirdiği yaklaşım (Coello 1998, 2000) çok amaçlı problemlerin genetik algoritmalar kullanılarak çözümünde mevcut yaklaşımlara göre daha iyi sonuçlara ulaşılmasını sağlamıştır. Son olarak Narayan ve Azarm (1999), Fonseca ve Fleming'in önerdiği MOGA da bazı geliştirmeler yapmıştır.

Osyczka ve Kundu (1995) genetik algoritmaları çok amaçlı disk fren tasarım probleminin çözümünde kullandılar.

Genetik algoritmaların çok amaçlı mühendislik problemlerine uygulanması ile ilgili çalışmalar yapılmış ve klasik metodlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir (Coello 1996, 1998, 2000).

Coello ve Christianen (2000) kafes yapıların çok amaçlı optimizasyonu için genetik algoritmaları kullandılar.

Deb ve Gulati (2001) kafes yapıların ağırlık optimizasyonu için genetik algoritmaları kullandılar.

He ve McPhee (2005), aktif süspansiyona sahip mekatronik araçların çok amaçlı optimizasyonunda genetik algoritmaları kullandılar.

Deb ve Tiwari (2005), bir ayak mekanizmasının çok amaçlı optimizasyonu için genetik algoritmaları kullandılar.

## 2.2 Emin Tasarım ile İlgili Yapılan Çalışmalar

1950 li yıllarda Dr. Genichi Taguchi, Taguchi parametre tasarımı olarak bilinen off-line kalite kontrol tekniğini geliştirdi. Taguchi yaklaşımının felsefesi, ürün tasarım aşamasında kontrol edilemeyen faktörlerden etkilenmeyen tasarım parametrelerinin belirlenerek ürün ve proseslerin tasarlanması esasına dayanır. Taguchi yaklaşımında kullanılan iki önemli araç, ortogonal diziler ve S/N oranıdır (Phadke 1989).

Taguchi yöntemi üzerine geçmişte bir çok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmaların çoğunluğu taguchi yaklaşımını olumlu bulurken değişik sebeplerden dolayı eleştirel yaklaşımlarda olmuştur. Mevcut kalite mühendisliği yaklaşımlarının birden fazla amaç fonksiyonunu ve kısıtları sistematik ve uniform olarak kalite sistemine dahil etmede yetersiz olduğu (Forouraghi 2000), kısıtların sistematik davranışı ve çok amaçlı problemlerin formülasyonu olmak üzere ürün tasarımında iki konuda Taguchi metodu'nun yeterli olmadığı (Charnes ve Cooper 1961) ve Taguchi metodunun ürünlerin parametrik tasarımında tam olarak başarı sağlayamadığını belirten çalışmalar yapılmıştır (Kota ve Chiou 1993, Otto ve Antonson 1991).

Taguchi temeline dayanan metodlar ürün tasarımında, değerlendirilen fonksiyonların sayısını azaltmada veya diğer optimizasyon teknikleri için iyi bir başlangıç noktası oluşturmak için kullanılır (Kunjur ve Krishnamurty 1997).

Taguchi metodunun gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin çözümünde kullanılması ile ilgili değişik çalışmalar yapılmıştır.

Liou ve Jang (1997), Taguchi'nin robust design yaklaşımını dövme parametrelerinin optimizasyonunda kullandılar.

Kunjur ve Krishnamurty (1997), Taguchi metodunu kısıt içeren çok amaçlı problemleri çözmek için daha fazla geliştirdiler ve geliştirdikleri yöntemin uygulamasını I-beam ve dört çubuk mekanizması probleminde gösterdiler. Bu yöntem de, Anova tablosundan elde edilen sonuçları kullanarak, tasarım parametrelerinin amaç fonksiyonları ve kısıt fonksiyonunu etkileyen seviye ve seviye aralıklarını buldular. Bulunan seviye ve seviye aralıklarını kullanarak amaç fonksiyonlarının değerlerini hesapladılar ve pareto eğrisini oluşturdular.

Reddy ve ark. (1998), Taguchi metodunu bulaşık makinelerinin hareket mekanizmasının üretimi için enjeksiyon kalıp prosesine uyguladılar ve ürün boyutlarındaki varyasyonları azalttılar.

Genetik algoritmalar optimizasyon problemlerinde yaygın olarak kullanılan ancak kalite kontrol alanında tam bir araştırma yapılmayan bir konudur. Forouraghi (2000) bu eksikliği gidermek için genetic algoritmaların kalite kontrolünde kullanılmasını sağlayan bir yaklaşım önerdi. Bu yaklaşımda genetik algoritmalarda başlangıç bireyleri oluşturulduktan sonra üreme işlemine geçmeden önce taguchi'nin önerdiği S/N oranları ve ortogonal diziler kullanılarak her bir birey değerlendirilir ve bu değerlendirmeye göre üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemi yapılır.

Chie ve Tsai (2000), C.S. 17-4PH paslanmaz çelik makinalarında optimum kesme şartlarının tanımlanması ve takım aşınmasının önceden belirlenmesi ile ilgili yaptıkları çalışmada taguchi metodunu, genetik algoritma ve neural network parametrelerinin optimum değerlerinin bulunmasında kullandılar.

Rowlands ve ark. (2000), endüstriye taguchi metodunun uygulanması ile ilgili yaptıkları çalışmada fren sistemlerindeki plastik gövdede bulunan metal ring'in üretim prosesinin optimizasyonu yaptılar.

Yang ve Chen (2001) Taguchi metodunu frezeleme işleminde optimum yüzey pürüzlülüğü performansının tanımlanmasında kullandılar.

Wu ve ark. (2003) Taguchi metodunu kullanarak quartz kristal mikrobalsların robust tasarımında kullandılar.

Zang ve ark. (2005) dinamik uygulamalarda optimum robust tasarım ile ilgili yapılan çalışmaların biraraya getirildiği çalışma yaptılar.

Hwang ve ark.(2005) Taguchi metodunu cep telefonlarının akustik performansının robust tasarımında kullandılar.

Moghadam ve Amani (2005) Taguchi'nin robust design yaklaşımını kullanarak akım dönüştürücülerin tasarım optimizasyonunu gerçekleştirdiler.

Taguchi metodu üzerine yapılan çalışmaların çoğunluğu tek yanıtli problemler ile ilgili olmasına karşın son yıllarda çok yanıtli problemlerin çözümü için çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Myres ve Carter (1973) çift yanıt yaklaşımını önerdi. Vinning ve Myres (1990) RSM ve çift yanıt yaklaşımını kullanarak Taguchi metodunun yapısı içinde optimizasyon için bir yaklaşım geliştirdi.

Tsui (1999) çok karakteristikli problemlerin robust tasarımı için bir yaklaşım geliştirdi.

Del Castillo ve Montgomery (1993) çift yanıt yaklaşımından daha iyi çözümler elde edilen nonlinear programlama çözümünü geliştirdi.

Ames ve ark.(1997), Articles (1996) ve Tai ve ark. (1992) taguchi kayıp fonksiyonunu kullanarak çok yanıtli optimizasyon ile ilgili çalışma yaptılar.

Tong ve ark. (1997) taguchi metodunda çok yanıtli problemlerin çözümü için dört aşamalı bir yaklaşım önerdi.

### **2.3 Bütünleşik Yaklaşımlar İle İlgili Yapılan Çalışmalar**

Literatürdeki mevcut yaklaşımların birleştirilerek kullanıldığı yaklaşımlar bütünleşik yaklaşımlar olarak adlandırılır. Son yıllarda bütünleşik yaklaşımlar ile ilgili literatürde çalışmalar yapılmıştır.

Waagen ve ark. (1992), Hooke ve Jeeves' in direction set method ile evrimsel programlama yaklaşımını entegre ettiler.

Renders ve Bersini (1994), genetik algoritmalar ile hill-climbing (Tepe-Tırmanma) yöntemini entegre ederek yeni bir bütünleşik yaklaşım geliştirdiler geliştirdikleri yaklaşımın etkinliği iki test problemi üzerinde gösterdiler.

Yen ve ark. (1995), genetik algoritmalar ile simplex metodunu entegre ederek yeni bir bütünlük yaklaşım geliştirdiler. Geliştirdikleri yaklaşımın etkinliğini iki test problemi üzerinde daha önce yapılan yaklaşımlarla karşılaştırarak gösterdiler.

Tazawa ve ark. (1996), genetik algoritmalar ile bağışıklık sistemini entegre ederek yeni bir yaklaşım geliştirdiler.

Okamoto ve ark. (1998), genetik algoritmalar ile düzeltilmiş Powell metodunu entegre ederek yeni bir bütünlük yaklaşım geliştirdiler. Geliştirdikleri yöntemin etkinliğini test problemlerini, genetik algoritmalar, düzeltilmiş Powell metodu ve önerdikleri bütünlük yaklaşım ile çözerek karşılaştırmalı olarak gösterdiler.

Kim ve Myung (1998), lagrange çarpanlar yöntemi ile evrimsel algoritmaları birleştirerek yeni bir yaklaşım önerdi.

Papadrakakis ve ark. (1999), evrimsel strateji yaklaşımı ile SQP yaklaşımını entegre ederek şekil optimizasyonu problemlerine uyguladılar.

Hajela ve Yoo (1999), genetik algoritmalar ile bağışıklık sistemini entegre ederek tasarım optimizasyon problemlerinin çözümü için yeni bir yaklaşım geliştirdiler.

Yeh (1999), kafes yapıların optimizasyonu için bütünlük genetik algoritmaları kullandı.

Wah ve Chen (2001), benzetim tavlama (Simulated Annealing) yöntemi ile genetik algoritma yaklaşımını entegre ederek non-linear problemlerin çözümü için yeni bir yaklaşım önerdi.

Wang ve Zheng (2001), benzetim tavlama (Simulated Annealing ) yöntemi ile genetik algoritma yaklaşımını entegre ederek yeni bir bütünlük yaklaşım geliştirdiler ve bu yaklaşımı iş-atölye çizelgeleme problemlerinin optimizasyonu çalışmasına uyguladılar.

Sandgren ve Cameron (2002), Monte Carlo yaklaşımı ile genetik algoritmaları entegre ederek yeni bir yaklaşım önerdi.

Li ve ark. (2003), genetik algoritmalar ile tabu search yöntemini entegre ederek yeni bir bütünlük yaklaşım geliştirdiler. Geliştirdikleri bütünlük yaklaşımı montaj süreç planlama problemlerinin optimizasyonuna uyguladılar.

Tsai ve ark. (2004), Taguchi yöntemi ile genetik algoritmaları entegre ederek yeni bir bütünlük yaklaşım geliştirdiler.

Coello ve Cortes (2004), genetik algoritmalar ile yapay bağışıklık sistemini entegre ederek yeni bir yaklaşım geliştirdiler ve bu yaklaşımı test ve mühendislik problemlerinin optimizasyonuna uyguladılar.

Wang ve ark. (2004), benzetim tavlama (Simulated Annealing ) yöntemi ile genetik algoritma yaklaşımını entegre ederek yeni bir bütünleşik yaklaşım geliştirdiler ve bu yaklaşımı çok amaçlı frezeleme probleminin optimizasyonuna uyguladılar.

Liu ve ark. (2005), Taguchi'nin robust design yaklaşımı ile genetik algoritmaları entegre ederek yeni bir bütünleşik yaklaşım geliştirdiler ve bu yaklaşımı iş- atölye çizelgeleme problemlerinin optimizasyonu çalışmasına uyguladılar.

Zhang ve Deng (2005), benzetim tavlama (Simulated Annealing ) yöntemi ile tabu search yaklaşımını entegre ederek yeni bir yaklaşım geliştirdiler. Bu yaklaşımı paketleme problemlerinin çözümünde kullandılar.

Keedwell ve Khu (2005), hüresel otomatikleştirme algoritması (CA- Cellular Automata) ile genetik algoritmaları entegre ederek su dağıtım hatlarının optimizasyonu için yeni bir bütünleşik yaklaşım önerdiler.

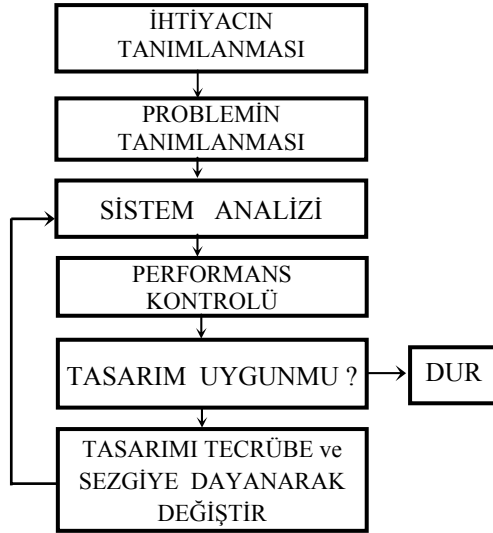
Tseng ve Liang (2005), QAP(Quadratic Assignment Problem) probleminin çözünü için yeni bir bütünleşik yaklaşım geliştirdiler. Geliştirdikleri yaklaşımda Ant Koloni optimizasyonu, Genetik algoritmalar ve lokal araştırma metodunu entegre ettiler.

Xia ve Wu (2005), parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization) yaklaşımı ile benzetim tavlama (Simulated Annealing) yaklaşımını entegre ederek yeni bir yaklaşım geliştirdiler. Bu yaklaşımı iş-atölye çizelgeleme problemlerinin optimizasyonu çalışmasına uyguladılar.

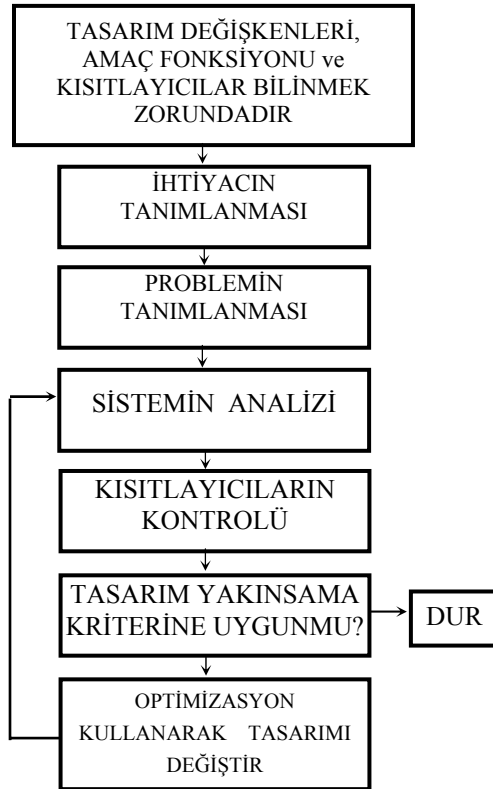
### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1 Optimizasyon

Optimizasyon, kısıtlar sağlanacak şekilde amaç fonksiyonunu/fonksiyonlarının minimum/maksimum değerlerini veren tasarım değişkenlerinin en ideal değerlerinin bulunmasıdır (Arora 1989).



Şekil 3.1 Geleneksel tasarım



Şekil 3.2 Optimum tasarım süreci

Şekil 3.1 de görülen geleneksel tasarım süreci tasarımcının sezgi, deneyim ve becerisine bağlıdır.

Geleneksel tasarım sürecinin temel avantajı, sistemde kavramsal değişiklikler yapmakla veya tasarım sürecine ilave şartlar koymakla ilgilenmesidir. Karmaşık tasarımlara gelindiğinde geleneksel tasarım sürecinin bazı dezavantajları ve zorlukları vardır. Bu zorluklar; titreşim frekansındaki sınırlamalar yada yükleme şartlarının değişken olması gibi durumlardır. Bu durumda tasarımcı kısıtlayıcıları sağlamada belirlibir yapısal elemanın büyüklüğü değiştirmeye karar vermede zorluklarla karşılaşır. Daha fazlası geleneksel tasarım süreci ekonomik olmayan tasarımlara ve aşırı zaman kaybına sebep olur.

Şekil 3.2 de optimum tasarım süreci görülmektedir. Optimum tasarım süreci, tasarımcıyı sistemin kısıtlayıcı fonksiyonlarını, minimize edilecek maliyet fonksiyonlarını ve tasarım

değişkenlerini açıkça tanımaya zorlar ve problemin daha iyi anlaşılmasında tasarımcıya yardımcı olur.

### 3.1.1 Tasarım Değişkenleri

Bir sistemin tasarımını tanımlamada seçilen parametreler *tasarım değişkeni* olarak adlandırılır. Problemin uygun formülasyonundaki önemli ilk adım sistem için tasarım değişkenlerini belirlemektir. Eğer uygun değişkenler seçilmezse tasarım gerçekleştirilemez.

Bir problemde tasarım değişkenlerini tanımlamada aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır :

1. Tüm tasarım değişkenleri diğerlerinden bağımsız olmalıdır.
2. Tasarım problemini formülleştirmede gerekli minimum tasarım değişkeni sayısı vardır.
3. Tasarım değişkenleri belirli bir aralıkta değişmelidir.

### 3.1.2 Amaç Fonksiyonu

Bir sistem için farklı uygun tasarımlar olabilir. Amacı gerçekleştirmede değişik tasarımlarla karşılaştırmak için bazı kriterlere sahip olmak zorundayız. Kriter, sayısal değeri olan bir fonksiyon olmalıdır. Ayrıca kriter, tasarım değişkenlerinin fonksiyonu olmak zorundadır. Böyle bir kriter optimum tasarım problemi için amaç fonksiyonu olarak adlandırılır.

Uygun amaç fonksiyonunun seçimi tasarım sürecinde önemli bir karardır. Literatürde, maliyet minimizasyonu, kâr maksimizasyonu, ağırlık minimizasyonu v.b. değişik amaç fonksiyonları kullanılır. Birçok durumda bir fonksiyon amaç olarak belirlenir. Genelde üretim maliyetinin minimum olması istenir. Diğer taraftan birden fazla amaç fonksiyonunun olduğu durumlarda söz konusudur. Örneğin bir yapının ağırlığının minimize edilmesi istenilebilir ve aynı zamanda eğilmenin veya belli bir noktadaki gerilmenin de minimize edilmesi istenilebilir. Bu durum *çok amaçlı* (multiobjective) tasarım optimizasyon problemi olarak adlandırılır.

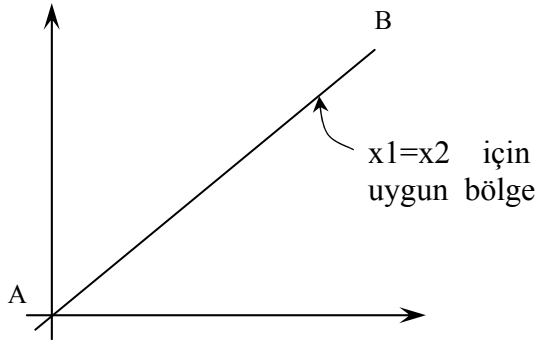


Bir çok tasarım probleminde amaç fonksiyonu ve onun tasarım değişkenleri ile bağlantısının nasıl olduğu tam olarak belli değildir. Uygun amaç fonksiyonunu belirlemede önemli bilgi ve tecrübeye gereksinim duyulmaktadır.

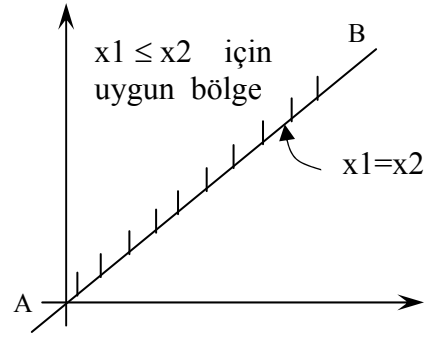
### 3.1.3 Tasarım Kısıtlayıcıları

Bir tasarımdaki tüm sınırlamalar genel anlamda kısıtlayıcı olarak adlandırılır (Arora 1989). Her bir kısıtlayıcı bir yada birden fazla tasarım değişkeni tarafından etkilenmek zorundadır. Ancak o zaman anlamlı ve optimum tasarım üzerinde etkili olur. Bazı kısıtlayıcılar oldukça basittir (tasarım değişkenlerinin minimum ve maksimum değerleri gibi). Örneğin büyük bir yapıda, bir noktadaki eğilme yapının tasarımına bağlıdır. Bununla birlikte çok basit yapılar için farklı tasarım değişkenlerinin belirli bir fonksiyonu olarak eğilmeyi açıklamak olanaksızdır. Bu durum kapalı kısıtlayıcılar (implicit constraints) olarak adlandırılır.

Tasarım problemleri eşitsizlik kısıtlayıcıları gibi eşitliğe sahip olabilir. Uygun (feasible) bir tasarım tüm eşitlik kısıtlayıcılarını tam olarak sağlamak zorundadır. Bir çok tasarım probleminde eşitsizlik kısıtlayıcıları da vardır. Örneğin hesaplanan gerilmeler malzemenin izin verilebilir (emniyetli) gerilmesini aşmamalıdır.



Şekil 3.3  $x_1=x_2$  kısıtlayıcı için uygun bölge (A-B) çizgisi



Şekil 3.4  $x_1 \leq x_2$  kısıtlayıcı için uygun bölge (A-B) çizgisi ve üstü

Şekil 3.3 de görüldüğü gibi eşitlik kısıtlayıcı ile uyumlu uygun bir tasarım, eşitlik kısıtlayıcısının üzerinde olmak zorundadır. Şekil 3.4 de görüldüğü gibi eşitsizlik kısıtlayıcısı için uygun olan bölge, eşitlik kısıtlayıcısı için uygun olan bölgeden daha fazladır. Bu, sadece eşitsizlik kısıtlayıcılarına sahip bir sistem için uygun tasarımları bulmanın daha kolay olduğunu gösterir.

Bir optimizasyon problemi için standart matematiksel tasarım optimizasyon modeli aşağıdaki gibi yazılabilir.

Amaç fonksiyonu :

$$f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

Kısıtlayıcı fonksiyonlar :

*Eşitlik kısıtlayıcıları ;*

$$h_j(x) \equiv h_j(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0; \quad j = 1 \dots p \quad (3.2)$$

*Eşitsizlik kısıtlayıcıları ;*

$$g_i(x) \equiv g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq 0; \quad i = 1 \dots m \quad (3.3)$$

$p$  eşitlik kısıtlayıcılarının toplam sayısını,  $m$  eşitsizlik kısıtlayıcılarının toplam sayısını,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  tasarım değişkenlerini ifade eder.

Standart tasarım optimizasyon modeli ile ilgili aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir :

1. Bağımsız eşitlik kısıtlarının sayısı tasarım değişkenlerinin sayısından daha az olmalıdır veya eşit olmalıdır ( $p \leq n$ ). Eğer  $p > n$  olursa gerektiğinden fazla denklem sistemine sahip olunur. Bu durumda ya gereksiz eşitlik kısıtlayıcıları vardır yada formülasyon çelişkilidir. Eğer gereksiz kısıtlayıcılar silinir ve  $p < n$  olursa problem için optimum çözüm olanaklı hale gelir.  $P = n$  olması durumunda sistemin optimizasyonu gereksizdir çünkü eşitlik kısıtlayıcılarının çözümü sadece optimum çözüme uygundur. Bu çözümler uygun bir eşitlik çözüm metodu kullanılarak elde edilebilir.

2. Bağımsız eşitlik kısıtlarının sayısında sınırlama olmasına karşın eşitsizlik kısıtlarının sayısında sınırlama yoktur.

3. Bazı optimizasyon problemleri herhangi bir kısıtlamaya sahip değildir. Bunlar kısıtlayıcı içermeyen (unconstrained) optimizasyon problemi olarak adlandırılır diğerleri ise kısıtlayıcı içeren (constraint) optimizasyon problemi olarak adlandırılır.

4. Eğer tüm fonksiyonlar  $f(x)$ ,  $h_j(x)$  ve  $g_i(x)$   $x$  tasarım değişkeninde lineer ise problem lineer programlama problemi olarak adlandırılır, lineer değilse lineer olmayan (nonlinear) programlama problemi olarak adlandırılır.

### 3.2 Analitik Optimizasyon Yöntemleri

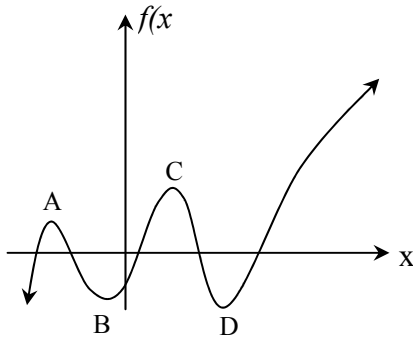
Tasarım optimizasyon probleminde hedef amaç fonksiyonun minimum değerini veren uygun (feasible) bölgede bir tasarım bulmaktır (Arora 1989).

Eğer  $n$  değişkenli bir  $f(x)$  fonksiyonu uygun bölgede tüm  $x$ 'ler için

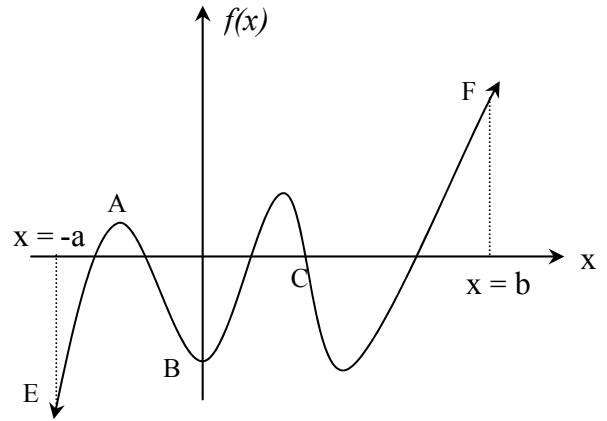
$$f(x^*) \leq f(x) \quad (3.4)$$

ise  $x^*$  noktasında global minimuma sahiptir.

$f(x)$  fonksiyonu yalnızca bir noktada tam global minimuma sahiptir. Buna karşın, eğer fonksiyon değeri bu noktaların herhangi birinde aynı değere sahipse birden fazla global minimuma sahiptir. Benzer şekilde  $f(x)$  fonksiyonu  $x^*$  'in çevresinde ( $N$ ) yalnız bir noktada tam lokal minimuma sahiptir. Eğer fonksiyon değeri bu noktaların herhangi birinde aynı değere sahipse  $N$  de birden fazla lokal minimuma sahiptir. Lokal ve global maksimumlarda aynı anlamda tanımlanabilir.



Şekil 3.6 Sınırsız alan ve fonksiyon



Şekil 3.7 Sınırlı alan ve fonksiyon

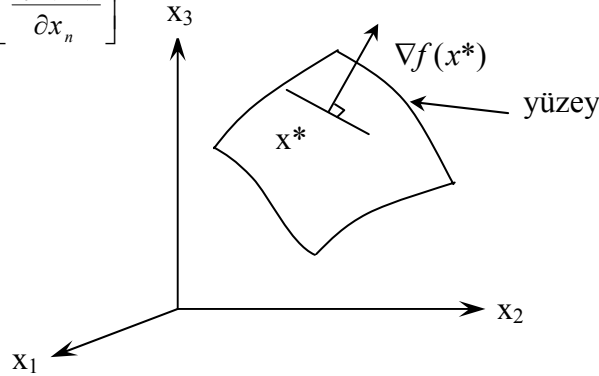
Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 de global ve lokal minimum ifadeleri grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 3.6 de  $x$ ,  $-\infty \leq x \leq \infty$  arasında değerler alır ve fonksiyon B ve D noktalarında en küçük değere sahip olduğundan bu noktalar lokal minimumlardır. Benzer şekilde A ve C noktaları da fonksiyon için lokal maksimum noktalarıdır. Buna karşın  $f(x)$  fonksiyonu ve alan sınırsız ( $x$  ve  $f(x)$   $-\infty$  ve  $\infty$  arasında herhangi bir değer

alabildiğinden) olduğundan fonksiyon için global minimum ve maksimum yoktur. Şekil 3.7 de  $x$ ,  $-a$  ve  $b$  arasında sınırlandırılmıştır. Bu durumda E noktası global minimum ve F noktası da global maksimum değerleridir.  $f(x)$  fonksiyonu için  $x^*$  noktasında  $x_1, x_2$  değerlerine göre kısmi türevler sırasıyla  $\partial f(x^*)/\partial x_1, \partial f(x^*)/\partial x_2$  dir.  $C_i$ ,  $f(x)$  fonksiyonunun  $x^*$  noktasında  $x_i$  ye göre kısmi türevlerini gösterir.

$$C_i = \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} \quad i = 1 \dots n \quad (3.5)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$  değişkenlerine sahip  $n$  değişkenli  $f(x)$  fonksiyonunun gradyant vektörü aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\nabla f(x^*) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_n} \end{bmatrix} = \left[ \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_1} \quad \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_2} \quad \dots \quad \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_n} \right]^T \quad (3.6)$$



Şekil 3.8  $x^*$  noktasında  $f(x_1, x_2, x_3)$  için gradyant vektörü (Arora 1989).

Gradyant vektörü;  $c, \nabla f, \partial f / \partial x, \text{grad } f$  sembolleri ile gösterilir. Şekil 3.8 de görüldüğü gibi gradyant vektörü üç değişkenli bir fonksiyon için geometrik olarak;  $x^*$  noktasında teğet yüzeye diktir. Aynı zamanda o fonksiyonun maksimum artış yönünü gösterir.

Gradyant vektörünün tekrar türevi alınarak elde edilen matris *Hessian matrisi* denir. Elde edilen matris formu aşağıdaki gibidir:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

Hessian matrisi n x n boyutlarındadır ve genellikle H yada  $\nabla^2 f$  ile gösterilir.

### 3.2.1 Kısıtlayıcı İçermeyen Optimum Tasarım Problemleri

$x$ , n elemanlı bir vektörü göstermek üzere çok değişkenli bir  $f(x)$  fonksiyonu için Taylor serisi açılımı aşağıdaki gibi yazılır.

$$f(x) = f(x^*) + \nabla f(x^*)^T d + \frac{1}{2} d^T H(x^*) d + R$$

Fonksiyondaki değişim 3.8 bağıntısı ile ifade edilir.

$$\Delta f = \nabla f(x^*)^T d + \frac{1}{2} d^T H(x^*) d + R \quad (3.8)$$

$R$ ;  $x$ ,  $x^*$  a yeterince yakınsa önceki terimden daha küçük değerdeki kalan terimi ifade eder. Eğer  $x^*$  noktasında lokal minimum olduğu kabul edilirse  $\nabla f$  negatif olmamak zorundadır ( $\nabla f \geq 0$ ). 3.8 bağıntısındaki sadece birinci dereceden terim dikkate alındığında

$$\nabla f(x^*) = 0 \quad (3.9)$$

3.9 ifadesini sağlayan tüm olanaklı  $d$ 'ler için  $\nabla f(x^*)$  negatif olmayabilir.  $x^*$  noktasında fonksiyonun değeri sıfır olmayabilir bu 3.10 bağıntısındaki gibi gerek şart olur.

$$\frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} = 0 \quad i=1 \dots n \quad (3.10)$$

3.10 eşitliğini sağlayan noktalar sabit noktalar (stationary points) olarak adlandırılır.

Eğer tüm  $d \neq 0$  için

$$d^T H(x^*) d > 0 \quad (3.11)$$

ise 3.8 ifadesindeki ikinci terimde sabit noktadaki değerlendirmede  $\nabla f$  değerinin pozitif olduğu kesinleştirilir.

### Lokal Minimum Nokta İçin Gerek Şart

Eğer  $f(x)$   $x^*$  da lokal minimuma sahipse bu durumda gerek şart (Arora 1989);

$$\frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} = 0; \quad i = 1 \dots n \quad (3.12)$$

### İkinci Dereceden Gerek Şart

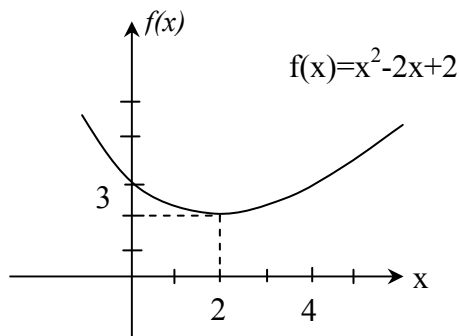
Eğer  $f(x)$   $x^*$  da lokal minimuma sahipse bu durumda (3.7) eşitliğindeki

$$\text{Hessian matrisi } H(x^*) = \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right]_{n \times n} \quad x^* \text{ noktasında pozitiftir (Arora 1989).}$$

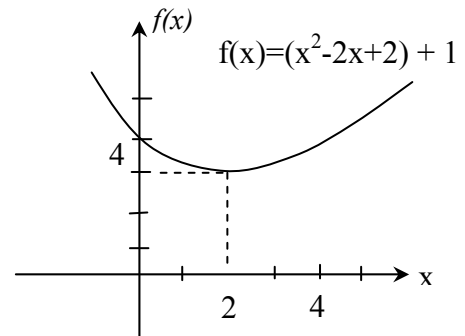
### İkinci Dereceden Yeter Şart

Eğer  $H(x^*)$  matrisi  $x^*$  sabit noktasında pozitif tanımlı ise bu durumda  $x^*$ ,  $f(x)$  fonksiyonu için lokal minimum noktadır (Arora 1989).

Bu şartlar  $f(x)$ ' in türevlerini içerir, fonksiyonun değeri ile ilgili değildir. Eğer  $f(x)$  fonksiyonuna kısıtlayıcı ilave edilirse amaç fonksiyonunun değerinin değişmesine karşın minimizasyon probleminin çözümü değişmez.



Şekil 3.9  $f(x)=x^2-2x+2$  'nin grafiği



Şekil 3.10  $f(x)$  fonksiyonuna sabit ilavesi

Şekil 3.9 ve şekil 3.10 da görüldüğü gibi  $f(x)$  fonksiyonuna bir sabit ilavesi koordinat sisteminin merkezini değiştirir ama eğrinin şekli değişmez.

### 3.2.2 Kısıtlayıcı İçeren Optimum Tasarım Problemleri

#### 3.2.2.1 Eşitlik Kısıtlayıcısı İçeren Gerek Şartlar

##### Lagrange Çarpanlar Teoremi

$f(x)$  amaç fonksiyonu ve  $h_i(x) = 0, i = 1 \dots p$  kısıtlayıcı fonksiyonundan oluşan optimizasyon probleminde  $x^*$  problem için lokal minimum olan gerçek nokta olsun. Lagrange çarpanı ( $v_j^*, j = 1 \dots p$ ) dikkate alınarak formülasyon aşağıdaki gibi yazılır (Arora 1989).

$$\begin{aligned} \frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} + \sum_{j=1}^p v_j^* \frac{\partial h_j(x^*)}{\partial x_i} &= 0 & i = 1 \dots n \\ h_j(x^*) &= 0 & j = 1 \dots p \end{aligned} \quad (3.13)$$

Bu şartları sağlayan lagrange fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L(x, v) = f(x) + \sum_{j=1}^p v_j h_j(x) = f(x) + v^T h(x) \quad (3.14)$$

$$L(x^*, v^*) = 0 \quad \text{yada} \quad \frac{\partial L(x^*, v^*)}{\partial x_i} = 0 \quad i = 1 \dots n \quad (3.15)$$

$L(x, v)$ 'nin  $v_j$  ye göre kısmi türevi;

$$\frac{\partial L(x^*, v^*)}{\partial v_j} \equiv h_j(x^*) = 0 \quad j = 1 \dots p \quad (3.16)$$

denklemlerin çözümü ile optimizasyon problemi çözülür.

### 3.2.2.2 Eşitsizlik Kısıtlayıcısı İçeren Gerek Şartlar

3.3 denklemindeki gibi verilen eşitsizlik kısıtlayıcıları ( $g_i(x) \leq 0$ ;  $i = 1, \dots, m$ ) slack variable olarak adlandırılan yeni bir değişken ilavesi ile eşitliğe dönüştürülebilir (Arora 1989).

' $\leq$ ' şeklindeki kısıtlayıcı sıfır veya negatif olmak zorundadır. Bundan dolayı slack variable, eşitsizliği eşitliğe dönüştürmek için pozitif yada sıfır olmak zorundadır.

$g_i(x) \leq 0$  eşitsizlik kısıtlayıcısı  $g_i(x) + s_i = 0$  eşitlik kısıtlayıcısına eşit olmak zorundadır (burada  $s_i \geq 0$  slack variable dır).  $s_i$  değişkenleri, orijinal değişkenler ile birlikte tasarım değişkenlerinin bilinmeyenleri olarak dikkate alınır. Onların değerleri çözümün parçası olarak tanımlanır.  $s_i$  değeri sıfıra eşit olduğu zaman uygun eşitsizlik kısıtlayıcısı eşitliği sağlar. Bu eşitsizlik aktif kısıtlayıcı olarak adlandırılır.  $s_i > 0$  durumunda uygun kısıtlayıcı tam olarak eşitsizliktir. Bu durumda  $s_i$  değeri ile verilen slack variable aktif olmayan kısıtlayıcı olarak adlandırılır.

Önceki prosedüre göre ilave bir tasarım değişkeni  $s_i$  ve eşitsizlik kısıtlayıcısı olarak ele alınan ilave bir kısıtlayıcı  $s_i \geq 0$  tanımlanması gerekir. Bu durum tasarım probleminin boyutlarını artırır. Eğer  $s_i$  yerine  $s_i^2$  slack variable olarak kullanılırsa  $s_i \geq 0$  kısıtlayıcısından kaçınılabilir. Böylelikle  $g_i \leq 0$  eşitsizliği

$$g_i(x) + s_i^2 = 0 \quad (3.17)$$

eşitliğine dönüştürülmüş olur. Burada  $s_i$  herhangi bir gerçekte sahiptir. Bu form uygun gerek şartları türetmede ve eşitsizlik kısıtlayıcılarını dikkate almada Lagrange çarpanlar teoremini kullanır. Slack değişkenleri tanımlamak için gerekli olan yeni eşitlikler lagrange fonksiyonunun slack değişkenlere göre türevinin sıfıra eşitlenmesiyle elde edilir ( $\partial L / \partial s = 0$ ).

3.17 eşitliği belirtilen bir noktadaki slack değişkenini ( $s_i^2$ ) hesaplamada kullanılabilir. Eğer bu noktada kısıtlayıcı sağlanıyorsa (örneğin;  $g_i \leq 0$ ) bu durumda

$s_i^2 \geq 0$  olur. Aksi durumda  $s_i^2$  negatif olur (bu istenmeyen bir durumdur) ve bu nokta minimum nokta olmaz.



### 3.2.2.3 Kuhn-Tucker (K-T) Gerek Şartları

Eşitlik ve eşitsizlik kısıtlayıcıları için gerek şartlar, yaygın olarak bilinen Kuhn-Tucker gerek şartları ile özetlenebilir (Arora 1989).

$f(x)$  amaç fonksiyonu ve  $h_i(x)=0 \quad i=1 \dots p$ ,  $g_i(x) \leq 0 \quad i=1 \dots m$  kısıtlayıcıları için lagrange fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\begin{aligned} L(x, v, u, s) &= f(x) + \sum_{i=1}^p v_i h_i(x) + \sum_{i=1}^m u_i (g_i(x) + s_i^2) \\ &= f(x) + v^T h(x) + u^T (g(x) + s^2) \end{aligned} \quad (3.18)$$

Burada mevcut olan lagrange çarpanları  $v^*$  (  $p$ -vektörü ) ile  $u^*$  (  $m$ -vektörü ) dir. Lagrange fonksiyonunun  $x_j, v_i, u_i, s_i$  ye göre türevleri sabittir. Örneğin;

$$\frac{\partial L}{\partial x_j} \equiv \frac{\partial f}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^p v_i * \frac{\partial h_i}{\partial x_j} + \sum_{i=1}^m u_i \frac{\partial g_i}{\partial x_j} = 0 \quad j = 1 \dots n \quad (3.19)$$

$$h_i(x^*) = 0 \quad i = 1 \dots p \quad (3.20)$$

$$g_i(x^*) + s_i^2 = 0 \quad i = 1 \dots m \quad (3.21)$$

$$u_i * s_i = 0 \quad i = 1 \dots m \quad (3.22)$$

$$u_i \geq 0 \quad i = 1 \dots m \quad (3.23)$$

### 3.3 Çok Amaçlı Optimizasyon

Birden fazla amaç fonksiyonuna sahip problemler çok amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlanır. Mühendislik uygulamalarında karşılaşılan tasarım problemlerinin birçoğu çok amaçlı (multi-objective) yapıda bulunmaktadır.

Çok amaçlı problemlerin matematiksel modeli aşağıdaki gibi tanımlanır (Deb 2001).

Amaç fonksiyonları:

Minimizasyon/maksimizasyon

$$\tilde{f}(\bar{x}) = [f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})]^T, \quad (3.24)$$

Kısıtlayıcı fonksiyonlar:

n eşitsizlik kısıtlayıcıları

$$g_j(x) \geq 0, \quad j=1,2,\dots,n; \quad (3.25)$$

m eşitlik kısıtlayıcıları

$$h_j(x) = 0, \quad j=1,2,\dots,m; \quad (3.26)$$

$\bar{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  tasarım değişkenleri vektörüdür.

Multiobjective optimizasyonda (3.25) ve (3.26) da verilen kısıtları sağlayan en uygun

$\bar{x}^* = [x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*]^T$  vektörü bulunur. (3.25) ve (3.26) ile tanımlanan kısıtlar uygun(feasible) bölge X yi tanımlar. Uygun bölgede X tanımlanan herhangi bir  $\bar{x}$  noktası uygun(feasible) çözümdür.  $\bar{x}^*$  vektörü, optimum çözüm vektörüdür.

Bu tür problemlerde bir veya daha fazla sayıdaki kısıt fonksiyonu sağlanacak şekilde amaç fonksiyonlarının eş zamanlı olarak optimum değerlerine ulaşılması için tasarım değişkenlerinin uygun değerleri bulunmaya çalışılır.

Mühendislik problemlerinde, tasarımcılar genellikle ürünlerin çok cevaplı (amaçlı) optimizasyonu ile karşı karşıya kalırlar. Manova gibi istatistiksel teknikler (Bilodeau ve Brenner 1999), taguchi'nin tek-cevap yaklaşımının genişletilmesi (Kunjur ve Krishnamurty, 1997), klasik vektör optimizasyonu (Chankong ve Haimes, 1983), pareto-optimal çözümler bulmak için çok amaçlı genetik algoritmalar (Fonseca ve

Fleming, 1993), çok cevaplı problemlerin çözümü için geliştirilen yaklaşımlardır (Forouraghi, 2000).

Çok amaçlı optimizasyonun ilkeleri ilk olarak Fransız-İtalyan ekonomist Vilfredo Pareto tarafından geliştirilmiştir (Pareto, 1896).

Çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilen ve yaygın olarak bilinen klasik çözüm metodları Weighted sum metod (Charnes ve Cooper,1961) ve  $\epsilon$ -constraint metod olarak bilinen metodlardır. Weighted sum metodunda aşağıda verilen matematiksel modelde görüldüğü gibi amaç fonksiyonları katsayılar toplamı bir olacak şekilde sıfır ile bir arasında bir katsayı ile çarpılarak elde edilen amaç fonksiyonları toplanır ve tek bir fonksiyon haline dönüştürülür. Herhangi bir tek amaçlı metod kullanılarak bu tek fonksiyon kolaylıkla çözülür.

$$f(x) = \sum_{i=1}^k w_i f_i(x) \quad (3.27)$$

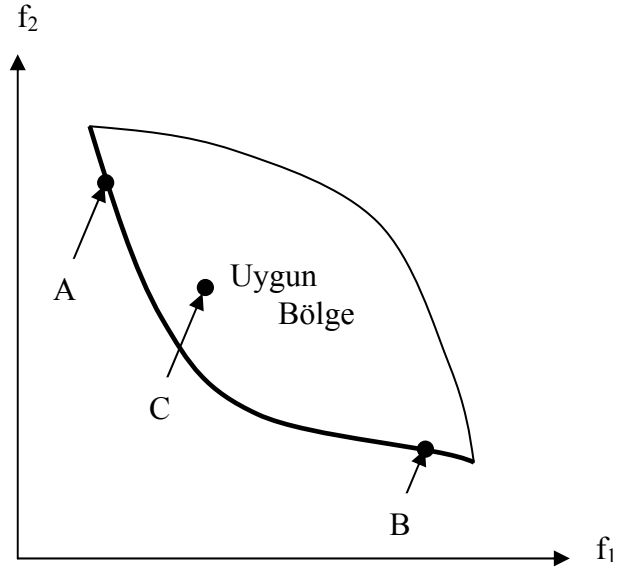
$$0 \leq w_i \leq 1, \text{ ve } \sum_{i=1}^k w_i = 1 \quad (3.28)$$

Weighted sum metod, convex problemlerin çözümünde pareto çözümlerin bulunmasında başarılıdır ancak non-convex durumlarda pareto çözümler garanti edilemez.  $\epsilon$ -constraint metod, Weighted sum metod'un non-convex problemleri çözmeye karşılaşılan zorlukları gidermek için Haimes ve ark. (1985) tarafından önerilmiştir.

Çok amaçlı optimizasyon problemlerini çözümünde kullanılan evolutionary metodlardan en yaygın bilinenleri Schaffer(1984)'in geliştirdiği VEGA, Fonseca ve Fleming (1993)'in geliştirdiği MOGA, Horn ve ark.(1994)'nın geliştirdiği Niched Pareto GA, Zitzler ve Theile (1999)'nin geliştirdiği SPEA, Srivinas ve Deb(1994)'in geliştirdiği NSGA ve Coello (1996, 1998)'nin geliştirdiği MOSES dir. Ayrıca Narayan ve Azarm(1999), Fonseca ve Fleming(1993)'in önerdiği MOGA da bazı geliştirmeler yapmıştır.

A noktasından B noktasına hareket edildiğinde amaç fonksiyonunun biri artarken diğeri azalıyorsa bu noktalar ve çözüm seti pareto optimaldir denir. Bu tanıma göre C noktası Pareto değildir. Pareto optimal set istenilen çözümün seçilebileceği

sonsuz bir çözüm setini kapsar. Genellikle pareto optimal set uygun (feasible) bölgenin sınırları üzerindedir.



Şekil 3.11 : Pareto optimal'in grafiksel gösterimi

### 3.4 Genetik Algoritmalar

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland genetik algoritmalar konusunda ilk çalışmaları yapan kişidir. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, evrim kuramından etkilenecek canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşündü. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir topluluğun çoğalma, çaprazlama (çiftleşme), mutasyon, vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı yeni bireyler oluşturabildiğini gördü. Çalışmalarının sonucunu açıkladığını kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı literatürde Genetik Algoritmalar adlandırıldı. Ancak 1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktorasını veren David E. Goldberg 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınladığı kadar genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. Halbuki Goldberg'in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmadı, genetik algoritmaların pratik kullanımının da olabirliğini kanıtladı. Ayrıca kitabında genetik algoritmalara dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösterdi (Goldberg 1989).

Genetik Algoritmalar, genetik bilimindeki evrim prensiplerini ve kromozomal prosesleri bilgisayar ortamında taklit ederek çalışan, bir çeşit arama ve optimizasyon metodudur. Genetik Algoritmalar ele alınan problem için global optimumu bulmayı garanti etmezler. Ancak, bilinen klasik metodlarla çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel artan problemlerde global optimuma çok yakın sonuçlar vermektedir.

Genetik Algoritmalar, optimize edilecek problem için geçerli olan mümkün çözümlerin kodlandığı dizilerin bir seti ile biyolojik özellikleri taklit eden bir takım operatörlerden oluşur.

Algoritma içerisinde kullanılan bireylerin (dizilerin) oluşturduğu gruba literatürde popülasyon veya nüfus adı verilmektedir. İlk aşamada tüm mümkün çözümlerin yer aldığı popülasyon rastgele oluşturulur. Popülasyonu oluşturan dizilerin sayısı popülasyon boyutu olarak tanımlanır ve " N " ifadesi ile gösterilir. Popülasyon boyutu işlem boyunca sabit kalır.

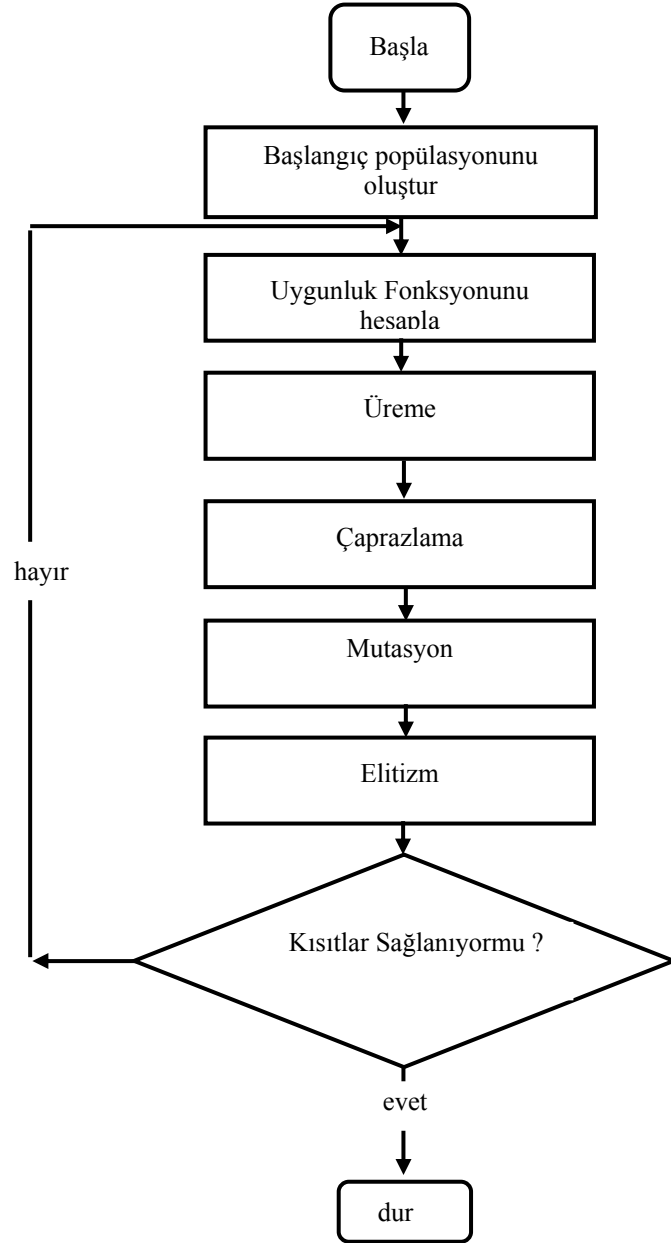
Popülasyon içerisinde yer alan her dizi biyolojik olarak bir kromozoma eşdeğerdir. Herbir dizinin kendine ait bir uygunluk değeri vardır. Bu değer algoritma içerisinde uygunluk fonksiyonu ile belirlenir. Genetik Algoritmanın ihtiyaç duyduğu tek değerde dizinin sahip olduğu uygunluk değeridir. İyi bir dizi/birey, problemin yapısına göre maksimizasyon problemi ise yüksek, minimizasyon problemi ise düşük uygunluk değerine sahiptir.

Algoritmada, amaç fonksiyonu ile optimize edilecek problem tanımlanır. Bir çok durumda uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonudur ki minimize veya maksimize edilir (Goldberg 1989).

### **3.4.1 Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri**

Genetik algoritmalar iteratif optimizasyon metodudur . Herbir iterasyonda tek bir çözüm ile çalışmak yerine, çeşitli çözümleri içeren bir çözüm kümesi ( popülasyon) ile çalışır. Çalışma prensibi basit olarak Şekil 3.12’ de gösterilmiştir.

Algoritma, tasarım değişkenlerinin verilen aralıklarında rasgele oluşturulan başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlar. Bir sonraki aşamada oluşturulan bu popülasyon içerisindeki her bir bireyin uygunluk değeri hesaplanır. Hesaplanan bu uygunluk değerlerine göre bireylerin üreme işlemi (seçim/selection) ile yeni nesile kopyaları aktarılır. Bu aşamada bireylerin bir kısmı birbirleri ile rastgele eşleşirler. Bu işleme çaprazlama (crossover) adı verilir. Çaprazlamadan sonra, belli bir orandaki birey mutasyona uğrar. Bu işlem algoritmanın son işlemidir. Uygun sonuç yakalanıncaya kadar aynı döngü devam eder.



Şekil 3.12 Genetik algoritmaların çalışma prensibi akış şeması

### 3.4.2 Genetik Algoritmalarda Gerçekleştirilen İşlemler

Genetik Algoritmalar 3 temel işlemden oluşmaktadırlar (Goldberg 1989).

Bunlar,

1. Üreme/Seçim (Reproduction/Selection)
2. Çaprazlama (Crossover)
3. Mutasyon (Mutation)

### 3.4.2.1 Üreme (Reproduction/Selection) İşlemi

Üreme işlemi, daha iyi uygunluk değerlerine sahip bireylerin daha yüksek olasılık ile yeni nesilde geniş sayıda kopyalarının üretilmesini sağlar. Uygunluk değerlerine göre bireyleri kopyalamak, bir sonraki nesilde daha fazla ürünün oluşma olasılığının yüksek olması demektir. Kopyası üretilen diziler eşleştirme havuzunun (mating pool) içinde toplanarak diğer operatörlerin uygulanması için hazırlanırlar.

Eski yapıları değiştirmeksizin üreme işlemi ile kopyalamaya devam edilirse, belli bir değerden sonra yeni sonuçlar elde edilemez. Bu durum, diğer genetik işlemi kullanma ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır.

Goldberg ve Deb, literatürde mevcut ve çok sık kullanılan seçim mekanizmalarını 4 ana sınıfta toplamıştır (Goldberg ve Deb 1991). Bunlar;

#### **Orantılı Seçim Mekanizmaları ( Proportionate Reproduction )**

Bu isim, mevcut yığından bireylerin uygunluk değerlerine göre seçildiği seçim mekanizmalarının bir grubunu tanımlamaktadır. Bu grup, rulet çemberi, stokastik artan ve stokastik üniversal seçim mekanizmalarından oluşmaktadır.

#### **Rulet tekerleği Seçim Mekanizması (Roulette wheel )**

Bu seçim mekanizmasında, popülasyondaki her dizi için uygunluk değerleri ile orantılı olarak tekerlek üzerinde hisse verilir. Uygunluk değerlerine bağlı olarak her dizi tekerlek üzerinde belli yüzdeye sahip olur. Dizilerin yeterli sayıda üreme işlemleri için rulet tekerleği çevrilir. Diziler, uygunluk değerlerine göre hesaplanan olasılıklarla kopyalanırlar.

#### **Stokastik artan Seçim Mekanizması ( Stochastic Remainder )**

Bu mekanizmada, öncelikle yığındaki dizilerin beklenen kopya sayısı ( $m_i$ ) hesaplanır. Her dizinin beklenendeğerinin tamsayı kısmı kadar kopyası yeni yığına alınır. Yığın genişliğine ulaşılmadıysa, yığını doldurmak amacıyla beklenen değerlerin



kesirli kısımları olasılıklı kullanılır. Kesirli kısımların kullanılmasında iki yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşım yerine koymadan seçimdir. Bu yaklaşımda, kesirli kısım olasılık değeri olarak dikkate alınır. Örneğin, bir dizinin koyasının beklenen değeri 1.5 ise, bu dizinin bir kopyası yeni yığına aktarılır. Diğer kopyasının yeni yığında olma olasılığı ise % 50' dir. Diğer yaklaşım ise yerine koyarak seçimdir. Bu yaklaşımda, rulet çemberi seçim mekanizması kullanılır. Kesirli kısımlar, çemberdeki aralıkların belirlenmesinde kullanılır.

### **Stokastik Üniversal Seçim Mekanizması( Stochastic Universal)**

Bu mekanizma rulet çemberi mekanizmasına benzemektedir. En önemli farkı, çemberin dış kısmında eşit parçalara bölünmesidir. Bu parçaların sayısı, yığının genişliğine eşittir. Seçim aşamasında çember bir kere döndürülür. Bir dizinin kopya sayısı, çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir. Bu durumda, bir dizinin çemberdeki ağırlıklandırılmış aralığına düşen parça sayısı o dizinin kopya sayısını vermektedir.

Elitist seçim mekanizması da bu seçim mekanizmaları ile birlikte Genetik Algoritma literatüründe çok sık kullanılmaktadır. Bu mekanizmada, öncelikle orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir ve mevcut yığındaki en iyi uygunluk değerine sahip bir dizi yeni yığına koyulur. Amaç, elde edilen eniyi uygunluk değerine sahip dizinin örnekleme hatası ve genetik operatörler kullanımı sonucunda kaybolmasını önlemek ve Genetik Algoritmaların çalışma sürecinde her iterasyonda yığının en iyisini ve iyilerini korumaktır.

### **Sıralı Seçim Mekanizması( Ranking)**

Bu seçim mekanizması Baker (1985) tarafından önerilmiştir (Goldberg 1989). Bu mekanizmada, öncelikle yığındaki diziler uygunluk değerlerine en iyiden en kötüye doğru sıralanır. En iyi diziden başlamak üzere bir azalan fonksiyon yardımıyla dizilere kopya sayısı atanır. Kullanılan en genel atama fonksiyonu ise doğrusaldır. Bir fonksiyon yardımıyla atanan kopya sayıları yeni yığının oluşturulmasında kullanılır. Bu aşamada, orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir. Literatürde,

bir yığında seçim baskısını kontrol edebilmek için eniyi dizinin kopya sayısının 1 ile 2 arasında olması gerektiği belirtilmektedir (Syswerda 1989). Sıralı seçim mekanizmasının iki büyük avantajı vardır. Birincisi, ölçeklendirme fonksiyonlarının bu seçim mekanizmasında kullanımına gerek olmayışıdır. İkincisi ise, minimizasyon problemlerinde de uygunluk değerlerinin amaç fonksiyonu değerlerine eşit olarak alınmasıdır.

### **Turnuva Seçim Mekanizması (Tournament Selection)**

Sıralı seçim mekanizmasının sahip olduğu avantajlara sahip olan bu mekanizma, yığından rassal olarak bir grup dizi seçilir. Bu grup içindeki eniyi uygunluk değerine sahip dizi yeni yığına kopyalanır. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir. Genellikle grup genişliği ikidir. Ancak bu sayının artmasında mümkündür.

### **Denge Durumu Seçim Mekanizması**

Bu mekanizmanın işleyişi diğerlerinden biraz farklıdır. Anlatılan mekanizmalarda öncelikle mevcut yığından dizilerin seçimi ile yeni yığın oluşturulur. Oluşturulan bu yeni yığına genetik operatörler uygulanarak yeni diziler elde edilir. Bu mekanizmada ise, öncelikle doğrusal sıralı seçim mekanizması kullanılarak seçilen bir yada iki bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen yeni diziler mevcut yığındaki uygunluk değeri en düşük diziler ile yer değiştirerek yeni yığın oluşturulur.

#### **3.4.2.2 Çaprazlama (Crossover) İşlemi**

Çaprazlama işlemi, bilgilerin karşılıklı olarak iki birey arasındaki değişiminden oluşmaktadır. Çaprazlama işleminde, üreme işleminden gelen iki yeni birey eşleştirme havuzundan seçilerek, rastgele seçilmiş çaprazlama pozisyonuna göre bireylerdeki bilgi değişimi gerçekleştirilmektedir. Bu işlem, tercih edilmiş iyi dizilerin arasında daha iyi özellikleri birleştirir.

Çaprazlama işlemini gerçekleştirmek için ilk olarak, üreme işlemi ile

oluşturulmuş eşleştirme havuzundaki yeni kopyalanmış bireyin elemanları rastgele eşlenir. İkinci olarak, seçilen bireylere ait dizilerin bitleri, rastgele seçilmiş çaprazlama noktasından itibaren karşılıklı olarak değiştirilirler.

Çaprazlama işleminin uygulanacağı dizinin  $l$  uzunluğunda olduğu kabul edilirse, çaprazlama pozisyonu, dizi boyunca 1 ile  $(l-1)$  arasında rastgele seçilir ve seçilen bu pozisyon  $k$  ile ifade edilirse, iki yeni dizi,  $(k+1)$  ve  $l$  pozisyonları arasındaki bütün bitlerin karşılıklı değişmesi ile oluşturulmaktadır (Goldberg 1989).

İkili düzen kodlama için literatürde bilinen ve çok sık kullanılan 3 adet çaprazlama işlemi bulunmaktadır. Bunlar, tek noktalı, 2 noktalı ve üniform çaprazlama operatörleridir.

### Tek Noktalı Çaprazlama İşlemi

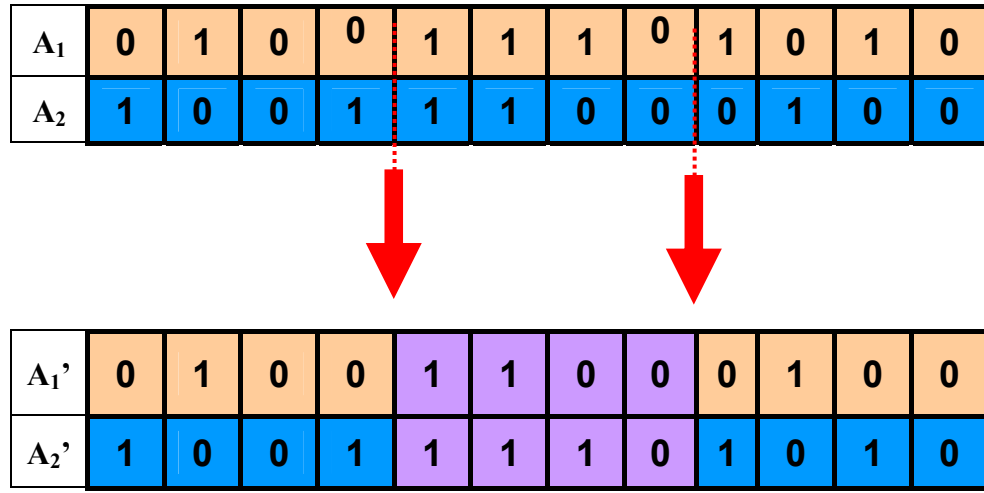
Bu işlemde, çaprazlama noktası, 1 ile  $(L-1)$  arasından rassal olarak seçilir. Eşleşen iki dizide, bu çaprazlama noktasından sonraki bölümler yer değiştirilerek yeni iki dizi elde edilir. Örneğin bir popülasyondan  $A_1$  ve  $A_2$  gibi iki dizi seçilsin ve dizi uzunlukları 12 ( $L=12$ ) olsun. 1 ile 11 arasından rassal olarak seçilen çaprazlama noktasının değeri 7 olsun. Bu çaprazlama noktasına göre  $A_1'$  ve  $A_2'$  yeni iki dizi Şekil 3.13 deki gibi elde edilir.

$A_1$	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
$A_2$	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
$A_1'$	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0
$A_2'$	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0

Şekil 3.13 Tek noktalı çaprazlama işlemi

### Çift Noktalı Çaprazlama İşlemi

Bu işlemi tek noktalı çaprazlama operatöründen ayıran tek fark 1 ile  $(L - 1)$  arasında rassal olarak 2 farklı çaprazlama noktasının seçilmesidir. Yeni diziler, eşleşen dizilerin bu noktalar arasındaki bölgelerinin yer değiştirmesi ile elde edilir. Tek noktalı çaprazlamada verilen örnek dikkate alındığında, bu kez 1 ile 11 arasında rassal olarak ele seçilen 2 kesme noktası 4 ile 8 olsun. Yeni iki dizi, Şekil 3.14 deki gibi elde edilir.



Şekil 3.14 İki noktalı çaprazlama

### Uniform Çaprazlama İşlemi

Uniform çaprazlama işlemi Syswerda tarafından önerilmiştir (Syswerda 1989). Bu işlemde öncelikle geçici olarak ikili düzende bir dizi oluşturulur. Uzunluğu yığındaki dizilerin uzunluğuna eşit olan bu dizide, 0 ve 1 değerleri önceden belirlenen bir olasılık değerine göre elde edilir. Bu dizideki 1 değerleri, birinci yeni dizide seçilen birinci dizinin elemanlarının, ikinci yeni dizide ise seçilen ikinci dizinin elemanlarının kullanılacağını gösterir. Aynı şekilde 0 değerleri, birinci yeni dizide seçilen ikinci dizinin elemanlarının, ikinci yeni dizide ise seçilen birinci dizinin elemanlarının

kullanılacağını gösterir. Daha önceki örneklerde verilen  $A_1$  ve  $A_2$  dizilerinden bu operatörle yeni iki dizi Şekil 3.15 deki gibi elde edilir.

$A_1$	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0
$A_2$	1	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0
Geçici dizi	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1
$A_1'$	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0
$A_2'$	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	0

Şekil 3.15 Uniform çaprazlama

### 3.4.2.3 Mutasyon İşlemi

Değişim, üreme ve çaprazlama işlemlerinin tamamlayıcı işlemidir. Değişim işlemi, bit değerlerini tersine çevirmektedir. Rastgele seçilen bit pozisyonundaki değer arasında değişikliği sayesinde optimum noktaya ulaşmayı kuvvetlendirmiş olup genetik algoritma için tesadüfi bir işlemdir. Mutasyon işleminin şematik gösterimi şekil 3.16 deki gibidir.

$A_1$	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0
$A_2$	0	1	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0

Şekil 3.16 Mutasyon işlemi

### 3.4.3 Genetik Algoritmaların Performansını Etkileyen Parametreler

**Populasyon Boyutu :** Algoritmada kullanılacak populasyon boyutu (N) seçimi çok dikkatli yapılmalıdır. Populasyonu oluşturan dizi sayısının çok olmasında az olmasında sakıncaları vardır. Şöyleki; populasyon boyutu küçük olduğunda, arama uzayı örneklenmesi yetersiz kalınmakta ve zamansız yakınsamaya sebep olunmaktadır. Populasyon boyutunun büyük seçilmesi durumunda ise, arama uzayı çok iyi örneklenerek arama etkinliği artarken zamansız yakınsama örneklenmiş olur. Fakat bu durumda çalışma zamanı artar ve yakınsama yavaş gerçekleşir.

**Çaprazlama Oranı ve Yöntemi :** Her populasyonda  $N * p_c$  adet diziye çaprazlama işlemi uygulanır. Yüksek çaprazlama oranı populasyon değişkenliğini hızlı bir şekilde gerçekleştirir. Düşük çaprazlama oranı ise aramanın çok yavaş gerçekleşmesine neden olur. Genelde tek noktalı çaprazlama işlemi kullanılmasına rağmen bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın yararlı olduğu gösterilmiştir.

**Mutasyon Oranı :** Diziler birbirine benzemeye başladığında mutasyon işlemi algoritmanın sıkıştığı yerden kurtulması için en iyi yoldur. Populasyon içerisinde  $p_m * N * L$  adet mutasyon işlemi gerçekleşir. Yüksek mutasyon oranı algoritmayı kararlı bir noktaya ulaşmaktan alıkoyacağı için mutasyon oranının düşük tutulması tavsiye edilir.

#### 3.4.4 Genetik Algoritmaların Diğer Metotlardan Farkı

Genetik algoritmalar, diğer normal optimizasyon metodlarından dört açıdan farklılık göstermektedirler:

Genetik algoritmalar, parametrelerin kendisi ile değil parametre dizilerinin kodlanması ile çalışırlar.

Genetik algoritmalar, tek noktadan değil noktaların popülasyonundan araştırılırlar.

Genetik algoritmalar, sınırlayıcı kuralları değil, olasılık kurallarını kullanırlar.

Birçok optimizasyon metodunda, tek bir noktadan bir sonrakine değişim kuralı ile hareket edilmektedir. Aksine genetik algoritmalar, eşzamanlı olarak geniş veri tabanlı noktalarla çalışmaktadırlar. Bu nedenle, diğer metotlara göre global optimuma daha kolay ulaşırlar.

Birçok araştırma teknikleri çalışmak için yardımcı bilgiye ihtiyaç duymaktadırlar. Örneğin, gradient teknikleri, türevlere (analitik veya nümerik olarak hesaplanır) ihtiyaç duyarlar. Genetik algoritma'ların bu yardımcı bilgilerin hiçbirine ihtiyacı yoktur. Daha iyi sonuçlar elde etmek amacıyla, etkili araştırma yapabilmek için diziler ile amaç fonksiyon değerlerine ihtiyaç duyarlar.

Genetik algoritmalarda, direk kodlama kullanılması, popülasyon araştırması, yardımcı bilgiye ihtiyaç duymama ve operatörlerin rastgele olması dolayısıyla oluşan bu dört farklılık, kararlılığa katkıda bulunmaktadır.

### 3.5 Emin Tasarım

Kalite, bir rekabet unsuru olması nedeni ile sürekli gelişim göstermek zorundadır. Kalite geliştirmede geniş bir kullanıma sahip olan iki istatistiksel yaklaşım istatistiksel süreç kontrolü ve ürün tasarımıdır.

İstatistiksel süreç kontrolü ile sadece ürün tasarımında ortaya konulan amaçların süreç esnasında korunması gerçekleştirilebilir. Oysa, ürünün kalite karakteristiklerinde oluşabilecek değişkenliklerin azaltılması ve süreç çevresindeki olumsuzluklara karşı minimum duyarlılığa sahip ürün üretilmesi deney tasarımı yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu yöntemler dikkate alınarak tasarlanan bir ürün nominal değerinde üretilebilir ve bu değer çevresindeki değişkenliğinin minimum olması sağlanabilir. Ürün ve süreç tasarımında kalitenin geliştirilmesi konusunda en önemli katkıyı yapan kişi Japon Mühendis Genichi Taguchi dir. Ağırlıklı olarak istatistiksel kavram ve araçlara, özellikle istatistiksel deney tasarımına dayalı kalite geliştirme için hem felsefe hem de metodoloji geliştirmiştir.

#### 3.5.1 Taguchi Metodunun Gelişimi

Taguchi metodunun temelini oluşturan deney tasarımı, 1920'lerde istatistik biliminin kurucusu sayılan İngiliz istatistikçi Sir Ronald Fisher tarafından, tarım alanında araştırmalar yaparken bulunmuş ve geliştirilmiştir. Fisher, ayrıca deney verilerinin analizi için bugün klasik sayılan "varyans analizi" (ANOVA) yöntemini de geliştirmiştir. Yöntem, kısa bir süre içinde, Amerika'da tarım sektöründe üretimin geliştirilmesi için yoğun olarak uygulanmış ve Amerika'nın bu alanda dünyada lider konuma gelmesine büyük katkıda bulunmuştur. Tarım alanında, çeşitli gübre ve dozları ile iklim koşullarının ve sulama yüzeylerinin çeşitli ürünlere olan etkilerini belirlemek üzere uygulanmıştır (Şirvancı, 1997).

İkinci dünya savaşının sonlarına doğru, Japonya'nın günümüze kadar ki, hızlı gelişmesinin temelleri atılmıştır. Bu dönemdeki en önemli projelerden biri Japon telefon sisteminin geliştirilmesiydi. Projenin amacı A.B.D'de Bell Laboratuvarlarında kullanılan telefon sisteminin aynısının Japonya'ya kurulmasıydı. Ancak japon nippon telefon ve telgraf araştırma merkezi, bell laboratuvarlanmm ancak %2'si kadardı. Bu nedenle



projenin bitirilmesinin 20 yıl süreceği tahmin ediliyordu. Genichi Taguchi, proje süresini kısaltmak amacıyla, tüm araştırma personeli için metodların standardize edilmesini ve faktöryel tasanımların kullanılmasını önerdi. Kabul edilen önerisi sayesinde proje 4 yılda bitirilmiş ve Taguchi çok ünlü olmuştur.

Genichi Taguchi Japonya'da endüstriyel ürün ve proses geliştirilmesinde 1940'lı yılların sonlarından beri aktif olan bir Japon mühendisidir. Deneysel tasarımla ilgili çalışmaları vardır (Sudhaker 1995). 1962'de kalite alanında en büyük ödüllerden biri sayılan Deming Odülü'ne layık görülmüştür. A.B.D.'de 1970'li yılların başından beri çalışmalar yapmasına rağmen ancak 1980'de Amerikan şirketleri tarafından fark edilerek fikirleri uygulanmaya başlanmıştır. Son zamanlarda Genichi Taguchi'de M. E. Deming, K. Ishikawa ve J.M. Juran gibi kalite uzmanları arasında sık sık sözü edilen biri olmuştur .

### 3.5.2 Taguchi Felsefesi

Çok basit ve temel üç kavram üzerine kurulmuş olan Taguchi felsefesi, kalite kontrol kavramının etki alanını genişletmiştir (Sudhakar 1995). Bu fikirler;

- Kalite, muayene ile değil, ürünün tasarımında gerçekleştirilecektir,
- Kalitenin en iyi şekilde elde edilmesi, kalite karakteristiklerinin hedef değerlerden sapmalarının minimize edilmesi ile gerçekleşir. Toleransları sağlamak başarı değildir. Ürün, kontrol edilemeyen çevresel faktörlerden etkilenmeyecek şekilde tasarlanmış olmalıdır,

- Kalitenin maliyeti, nominal değerlerden sapmaların bir fonksiyonu olarak ölçülmelidir. Kayıplar sistem içerisinde ölçülebilir olmalıdır.

Taguchi, çevre, makine, teçhizat ve diğer dış faktörlerin günlük ve mevsimsel değişkenlerine duyarsız üretim-kalite sistemini geliştirmiştir. Yukarıda belirtilen üç prensip, bu sistemlerin geliştirilmesi, üretim parametrelerinin belirlenmesi ve üretim kalitesine etki eden faktörlerin etkilerinin test edilmesine yardımcı olmuştur.

Kalite geliştirme faaliyetleri, bir ürünün ya da sürecin tasarım aşamasında başlayıp üretim aşamasında devam eder. Taguchi, üretim sistemindeki bir ürünün kalite muayenesi yerine, kalite gelişimi için off-line stratejisini önermiştir. Ayrıca, muayene ve ayıklama ile kötü kalitenin iyileştirilemeyeceğini belirtmiştir. Kalite kavramları, önleme felsefesi üzerinde kurulmalı ve onun çevresinde geliştirilmelidir.

Taguchi'nin ikinci kavramı, kalite karakteristiklerinin hedeflenen değeri etrafındaki değişkenlikleri ile ilgilidir. Kalite, bir tasarım parametresinin hedef değerden sapmaları ile doğrudan ilişkilidir. Bir ürün kabul sınırları civarında çarpık özelliklere sahip ve dolayısıyla daha kısa kullanım ömrüne sahip olarak üretilebilir. Bununla birlikte kritik özellikler için bir hedef değer belirlenecek ve küçük sapmalarla bu hedef değeri karşılayan üretim süreci geliştirilerek ürünün kullanım ömrü iyileştirilebilecektir.

Üçüncü kavram verilen bir tasarım parametresine dayanarak, ürünün yaşam döngüsündeki bütün kalite maliyetlerinin ölçülebileceğini ifade etmektedir. Bu maliyetler, tekrar işleme, muayene, geri dönüşler, garanti servisi harcamaları, ürünün değiştirilmesi ve hurda maliyetlerini içerir.

Taguchi, kalite geliştirme sürecinin süreklilik arz ettiğini, bunun için çaba sarf edilmesi gerektiğini ve bu çabaların hedef değer çevresindeki değişkenliği azaltacağını belirtmiştir. Üzerinde çalışılan ürün, hedef değerden farklı ortalama değere sahip bir dağılım gösterebilir. Kalite geliştirmede birinci adım, olabildiğince ortalaması hedef değere yakın ana kütle dağılımı elde etmektir. Taguchi, deney tasarımlarını, ortogonal dizinler olarak bilinen tablolarla çok daha basit ve kararlı hale getirmiştir.

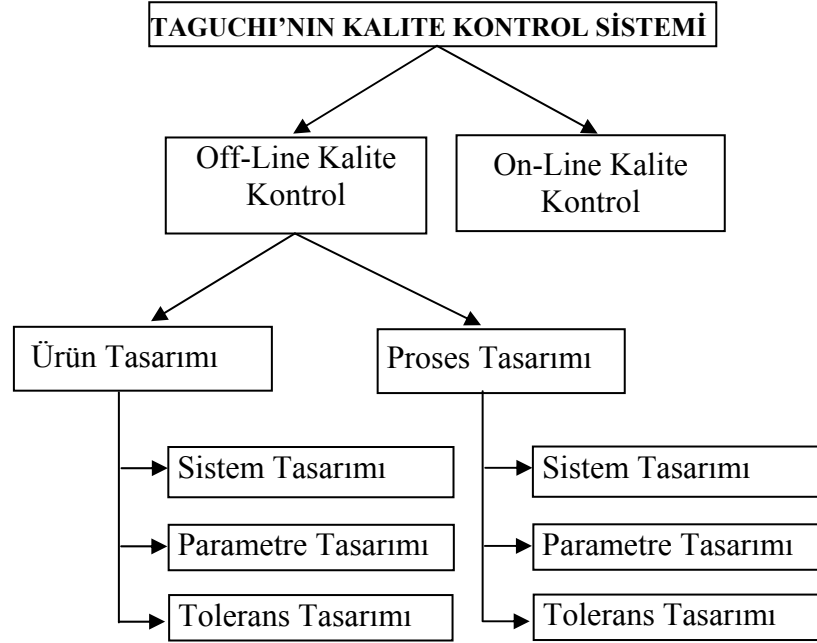
Hedef çevresindeki değişkenliğin azaltılmasına yönelik olarak Taguchi, gürültü faktörlerini ele almıştır. Gürültü faktörleri süreç çıktılarına etkileyen fakat ekonomik olarak kontrol altına alınamayan faktörlerdir. Hava şartları, makine donanımı gibi gürültü faktörleri genellikle değişkenliğe yol açan unsurlardır. Sonuç olarak gürültüden en az etkilenen ve yüksek bir sinyal-gürültü (S/G) (signal to noise-S/N) oranına sahip güçlü bir tasarım elde edilebilir.

Duyarsızlığı elde edebilmek için kalite kontrol çabalarının ürün tasarım aşamasında başlaması, süreç tasarımı ve üretim operasyonları aşamalarında devam etmesi gerekmektedir. Taguchi, süreç ve ürün tasarımı safhaları süresince aşağıda verilen üç adımın takip edilmesini tavsiye etmektedir (Şirvancı 1997).

### **3.5.3. Taguchi'nin Kalite Kontrol Sistemi**

Kaliteyi sağlamak için yapılan faaliyetler Taguchi tarafından On-line ve Off-line kalite kontrol olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (Şirvancı 1997). Deney

tasarımı, Taguchi'nin kalite sisteminde, off-line kalite kontrol içinde, ürün ve proses tasarımı aşamalarında kullanılmaktadır. Bu durum Şekil 3.17'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Taguchi'nin kalite kontrol sistemi

On-line kalite kontrol ürün imalatı sırasındaki ve imalat sonrası, örneğin servis sırasındaki, kalite faaliyetlerini kapsar.

Off-line kalite kontrol, pazar araştırması ile ürün ve üretim prosesinin geliştirilmesi sırasında gerçekleştirilen kalite faaliyetlerini içermektedir. Bu faaliyetler ürüne doğrudan müdahale yerine, üretimin başlamasından önce gerçekleştirilen tasarım çalışmalarıdır (Şirvancı 1997).

Off-line kalite kontrol metotları ürünlerin kullanım ömrü, üretim ve geliştirme maliyetlerini azaltarak, üretilebilirlik ve ürün kalitesini iyileştirmek için kullanılır.

### 3.5.3.1 Taguchi'nin Ürün ve Proses Tasarımı Adımları

Taguchi Off-line kalite kontrolün her iki aşamasında da kalite güvenilirliğini sağlamaya yönelik 3 aşamalı bir yaklaşım getirmiştir. Kalite sağlama aşaması olarak ürün ve proses tasarım için tanımlanan kalite aşamaları;

- Sistem tasarımı,
- Parametre tasarımı
- Tolerans tasarımı aşamalarıdır.

#### **a. Sistem Tasarımı**

Sistem Tasarımı, kalite karakteristiğinin hedef değerinden sapmasız ve minimum değişkenliğe sahip olarak, ürünün istenilen ve gerekli olan fonksiyonlarını gerçekleştiren bir temel prototip tasarımın geliştirilmesini ifade etmektedir. Bu adım hammadde, parça eleman ve montaj sisteminin seçimini içerir.

#### **b. Parametre Tasarımı**

Sistem tasarımı oluşturulduktan sonra geçilecek adım, ürünün fonksiyonel sapmalarını minimize edecek olan, sistemdeki her bir elemanın parametreleri için optimal seviyelerinin araştırılmasıdır. Taguchi'ye göre maliyetin indirgenmesinde ve kalitenin geliştirilmesinde en etkin aşama parametre tasarımıdır.

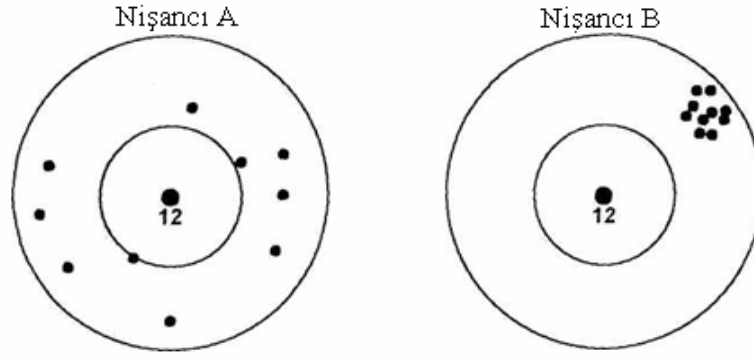
Her iki parametre tasarımında da amaç, üründe ve süreçte varyansın (hedef değerden sapmanın, yani kalitesizliğin) minimize edilmesidir. Varyansa neden olan iki tür faktör bulunmaktadır. Bunlar kontrol edilebilen faktörler ve gürültü faktörleridir (kontrol edilemeyen faktörler). Bu gürültü faktörleri kontrol edilmesi çok zor ve çok pahalı olan, ya da kontrolü imkânsız olan faktörlerdir. Ürünün fonksiyonel karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına neden olan, bir başka deyişle kalitesizliğe yol açan gürültü faktörleri, iç gürültü faktörleri, dış gürültü faktörleri ve ürünler arası gürültü faktörleri olmak üzere üç bölüme ayrılmaktadır. İç gürültü faktörleri, üretilecek ürünün belirlenen karakteristik değerlerinden sapmasına neden olan faktörlerdir. Bunlar imalât hataları, ürün aşınması vb. dir. Dış gürültü faktörleri ise, ısı, nem oranı, toz, voltaj düzeyi, üretimdeki insan değişkenliği gibi çevresel faktörlerdir. Bunlar ürünün belirlenen karakteristik değerinden ortaya çıkan sapmayı artırıcı yönde etki yaparlar. Ürünler arası gürültü faktörleri aynı spesifikasyona göre imal edilmiş olmalarına karşın parçalar arasında görülen farklılıklardır. Parametre tasarımı aşamasında gürültü faktörlerine karşı kontrol edilebilen faktörlerin değerlerini optimal olacak şekilde

belirlenmesi, ürün ve süreçteki varyansı minimuma indirebilir. Taguchi bu amaçla yapılan ürün ve süreç tasarımına *robust tasarım* demektedir. Burada robust, kontrol edilemeyen faktörlere, örneğin, nem, toz, ısı, yol durumu gibi çevre koşullarına, müşterilerin bu ürünü kullanımındaki farklı uygulamalara ve malzemelerdeki farklılıklara karşı duyarsız, yani onlardan etkilenmeyen, ürün ve süreç anlamında kullanılmaktadır. Bir ürün veya sürecin robustluğu, bu ürün veya sürecin performansı ve kontrol edilemeyen faktörlerin bu performansı etkilemesi açısından tanımlanmaktadır. Taguchi gürültü faktörlerinin kalite üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak ya da ortadan kaldırmak, bir başka deyişle robust tasarıma ulaşmak için deney tasarımı uygulamasını önermiştir (Şirvancı 1997).

### c. Tolerans Tasarımı

Sistem tasarımını tamamlayıp, sistemi oluşturan elemanların parametrelerinin optimal değerleri belirlendikten sonra oluşacak kalite kaybı sonucunda katlanılacak kalite maliyeti oluşan bu kayıp ile birlikte değerlendirilerek, her bir parametre (faktör) için tolerans elde edilir. Tolerans sınırları daraldıkça ürün daha maliyetli olarak üretilir, çünkü üretim maliyetleri artacaktır. Üretim maliyetlerindeki artışın nedeni üretim hattının daha sıkı kontrol edilmesi ve bozuk ürünlerin ayıklanmasıdır. Diğer taraftan tolerans sınırları genişledikçe, ürünün ilgilenilen fonksiyonunun hedef değerden sapmaları da büyüyecektir. Bunun sonucu olarak kalite kayıpları da artacaktır. Tolerans tasarım adımı en ekonomik tolerans belirlenir. Belirlenen bu toleranslar, hedef değerden kabul edilebilir sapmalara göre ürün maliyetini minimize eder (Güngördü 1999).

Üretim sürecindeki varyasyonu gidermenin zor bir sorun olduğunu belirtmek için, Taguchi Şekil 3.18 de görüldüğü gibi "Kim Daha İyi Nişancı" başlığı altında çok güzel bir örnek vermiştir (Şirvancı 1997).



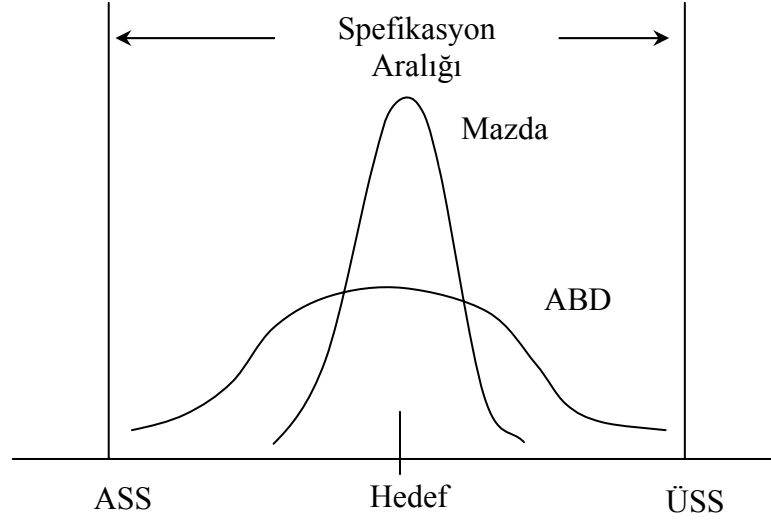
Şekil 3.18 Kim daha iyi nişancı ?

Bu örnekte her iki nişancı da onar atış yaparlar. Nişancı A'nın ortalama pozisyonu hesaplanırsa, ortalamanın hedefte veya hedefe çok yakın olduğu görülecektir. Diğer yandan nişancı B'nin ortalaması, hedeften çok uzaktadır; ancak, atışları çok tutarlıdır. Her iki nişancı için varyasyon hesaplandığında, nişancı A'nın varyasyonunun çok daha fazla olduğu görülecektir. B'nin atışlarını bir ayarla düzeltebilirken, A'yi iyi bir nişancı yapmak için çok uğraşmak gerekecek; belki de A hiç bir zaman iyi bir nişancı olamayacaktır. Üretim süreçleri de, bu bakımdan atıcılara benzetilebilir. Varyasyonu az olan süreç kolaylıkla ayarlanabilirken, varyasyonu çok geniş olan diğer bir süreci istenilen sınırlar içerisine sokmak, çok zaman alacak; belki de büyük yatırım gerektirecektir.

#### 3.5.4. Taguch'nin Kayıp Fonksiyonu

Ford firmasının 1980'lerdeki bir deneyimi, parça üretiminde hedeften sapma sonucu oluşan varyasyonun, firmaya parasal kayıp olarak döndüğünü göstermektedir. Ford, imal etmekte olduğu otolara şanzıman üretmek üzere iki ayrı firmaya sipariş verir. Tedarikçi firmalardan biri bir Amerikan firması, diğeri Japon Mazda firmasıdır. Her iki firma da, şanzımanları, Ford'un spesifikasyonlarına göre üretilip teslim ederler. Garanti süresi içinde şanzıman sorunlarından kaynaklanan garanti talepleri oluşur. Ford yetkilileri, sorunlu şanzımanları üretici firmaya göre sınıflandırdıklarında, Amerikan firmasının ürettiği gurubun, sayısal olarak diğerinden birkaç kat daha fazla olduğunu

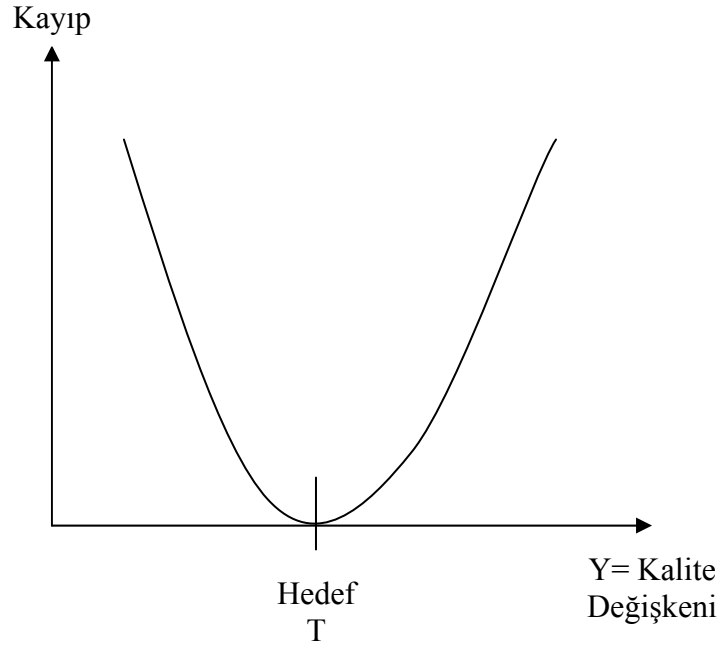
görürler. Bunun üzerine, şanzımanların bazı kritik performans değişkenlerinin olasılık dağılımını hesaplarlar.



Şekil 3.19 Ford firmasının tedarikçilerinin kıyaslanması (Şirvancı 1997)

Durum Şekil 3. 19 daki gibidir. Her iki firmanında ürettiği şanzımanlar, istenilen spesifikasyon sınırları içerisindedir. Ancak, Amerikan firmasının ürettiği şanzımanlarda değişkenlik daha fazladır. Bu şanzımanlar, daha sık ve daha erken arıza yaparak firmanın maliyetini artırmaktadır (Şirvancı 1997).

Geleneksel kalite kontrolde, parçalar, hedef değerden sapmalarına bakılmaksızın, spesifikasyon sınırları içinde olup olmadıklarına göre değerlendirilir. Parçanın değeri sınırların dışındaysa, parça yeniden işleme veya hurdaya sevk edilir. Firma açısından, ya kayıp tamdır, ya sıfırdır. Taguchi bu geleneksel görüşün gerçeği aksettirmediğini düşünerek karesel kayıp fonksiyonu denilen ve Şekil 3.20'de gösterilen kayıp fonksiyonunu geliştirmiştir.



Şekil 3.20 Taguchi'nin kayıp fonksiyonu

Bu şekilde, yatay eksen hedeften sapmanın miktarını, dikey eksen parasal kaybı temsil eder. Kayıp, ürünün fabrika çıkışından sonra oluşan tüm kaybın toplamıdır. Buna, iadeler, garanti talepleri, müşterinin tamir masrafları gibi maliyetler dahildir. Hedef değerden sapma arttıkça, sapmanın karesi oranında kayıp artmaktadır (Şirvancı, 1997). Kayıp fonksiyonun denklemini aşağıda verilmiştir.

$$\text{Kayıp} = k(Y-T)^2 \quad (3.29)$$

Denkleminde, T = Hedef Değer Y = Değişkenin ölçülen değeri k = Sapmayı para birimine çeviren bir katsayıdır. (Şirvancı, 1997).

### 3.5.5 Taguchi'nin Sinyal/Gürültü Oranları

Taguchi, varyasyonu azaltmak amacıyla deney tasarımında performans kriteri olarak kullanılmak üzere, sinyal/gürültü oranı olarak adlandırılan bir dizi istatistik geliştirmiştir. Taguchi, uygulamadaki problemleri hedefin türüne göre üçe ayırmış ve her biri için farklı bir sinyal/gürültü (S/G) oranı tanımlamıştır.



**a. En Küçük-En İyi**

Bu tür problemlerde, kalite değişkeni  $y$ 'nin hedef değeri sıfırdır. Bu durumda sinyal/gürültü oranı şöyle tanımlanabilir.

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \log(\sum y_i^2 / n) \quad (3.30)$$

**b. En Büyük-En İyi**

Bu durumda  $y$ 'nin hedef değeri sonsuzdur ve sinyal/gürültü oranı aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$S/G \text{ Oranı} = -10 \log[\sum (1/y_i^2) / n] \quad (3.31)$$

**c. Hedef Değer-En İyi**

Bu tür problemlerde,  $y$  için belli bir hedef değer (örneğin, ürün boyutları gibi) verilmiştir. Bu durumda,

$$S/G \text{ Oranı} = 10 \log(y^2 / s^2) \quad (3.32)$$

Her üç tip problemde de, amaç S/G oranını maksimize etmektir. Taguchi'ye göre, S/G oranlarının maksimize edilmesi, bir yandan sinyali artırırken, diğer yandan da değişkenliği azaltmaktadır (Şirvancı 1997).

### 3.5.6 Ortogonal Dizinler

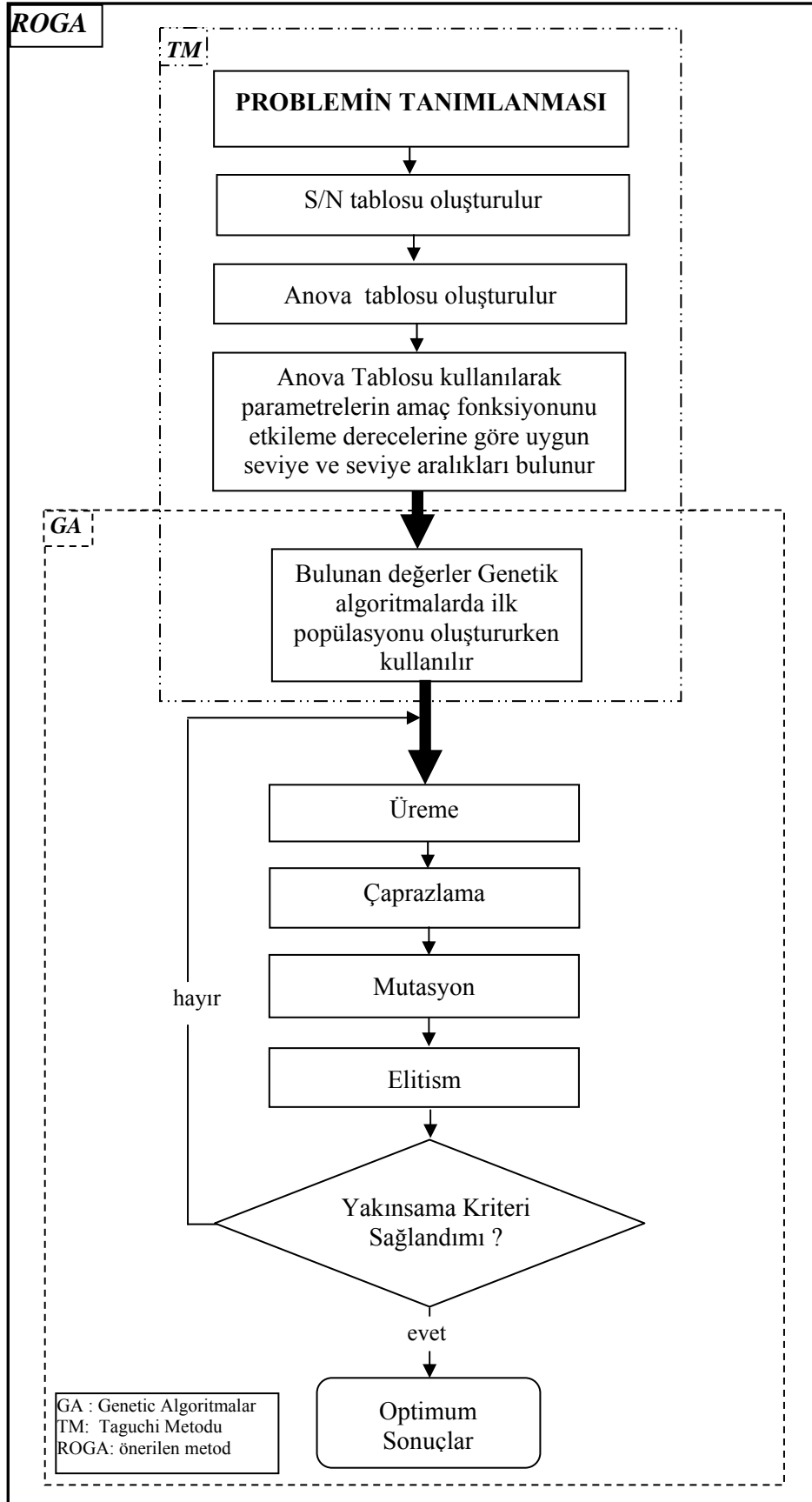
Bir tasarım parametresinin her seviyesi diğer tasarım parametrelerinin her seviyesi ile aynı sayıda tekrarlanıyorsa bu dizinlere ortogonal dizin denir. Taguchi, tasarım ve gürültü matrislerinin oluşturulmasında ortogonal dizinlerin kullanılmasını tavsiye etmiştir. Ortogonal dizinler, tasarım parametrelerinin, değişik sayıda test seviyelerine sahip olmasına imkân verir. Taguchi, her bir tasarım parametresi için üç veya daha fazla test seviyesinin araştırılması, tasarım parametrelerinin ana etkileri açısından doğrusal olup olmadığını ortaya çıkarabileceğini belirtmiştir (Phadke 1989).

#### 4. GELİŞTİRİLEN BÜTÜNLEŞİK OPTİMİZASYON YÖNTEMİ VE UYGULAMALAR

Bu tezde, tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik problemleri ile taşıt elemanlarının optimum tasarlanabilmesi için Taguchi'nin robust design yaklaşımı ile genetik algoritmalar entegre edilerek yeni bir bütünleşik (hybrid) optimizasyon yöntemi (ROGA- Robust genetik algoritmalar) geliştirilmiştir.

Önerilen bütünleşik optimizasyon yönteminde ilk olarak Taguchinin robust design yaklaşımı kullanılarak tasarım parametrelerinin amaç fonksiyonu/larını minimum/maksimum yapan aralıkları belirlenmiştir. Belirlenen bu aralıklar genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonunun oluşturulmasında kullanılmıştır. Böylelikle genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonu amaç fonksiyonunu/larını minimum/maksimum yapan aralıklarda oluşturularak lokal optimumlara yakalanma olasılığı azaltılmış ve böylelikle global optimuma daha hızlı ve doğru bir şekilde ulaşılması sağlanmıştır. Önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemine ait akış diyagramı şekil 4.1 de verilmiştir.

Bu tez kapsamında önerilen ve Taguchi'nin robust design yaklaşımı ile genetik algoritmalar entegrasyonundan oluşan yeni bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülen tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik problemlerinde literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiş olması geliştirilen optimizasyon yönteminin doğruluğunu, tek ve çok amaçlı test ve mühendislik optimizasyon problemlerine uygulanabileceğini ve optimum sonuçlara ulaşabileceğini göstermiştir.



**Şekil 4.1 : Önerilen bütünlük optimizasyon yönteminin algoritması**

**Pseudo Code:****Adım 1: Problemi Tanımla****Adım 2: Taguchi Metodunun Kullanılması**

2.a Ortogonal Array'i seç

2.b Tasarım değişkenleri aralıklarını belirle

2.c

**For I:=1 to DES (Deney sayısı) do begin**

Amaç fonksiyonu değerlerini hesapla

**end;**

2.d Amaç fonksiyonunun maksimizasyonu veya minimizasyonu olmasına göre uygun olan S/N oranı türünü seç

2.e

**For I:=1 to DES do begin**

S/N oranlarını hesapla

**end;**

2.f S/N değerlerini kullanarak amaç fonksiyonu/ları için anova tablolarını oluştur

2.g Anova tablolarındaki % etki değerlerini kullanarak optimum seviye ve seviye aralıklarını belirle

Genetik algoritmalarda başlangıç popülasyonunu oluşturmak için bu seviye ve seviye aralıklarını kullan

**Adım 3: Genetic Algoritmalar****Başla**

3.a Genetik algoritmalar için ilk popülasyonu oluştur

**For i:=1 to NES (Nesil Sayısı) do begin**

3.b

**For i:=1 to (POS/2) (POS-Popülasyon sayısı) do begin**

Stokastik artan seçim yöntemine göre seçim yap

**end;**

3.c

**For i:=1 to (çaprazlama oranı \* Popülasyon sayısı \*0.5) do begin**

Çaprazlama oranına gören seçilen bireylere çift noktalı çaprazlama uygula

**end;**

3.d

**For i:=1 to (mutation ratio\* Popülasyon sayısı ) do begin**

Mutasyon oranına göre seçilen bireylere mutasyon uygula

**end;**

3.e

**For i:=1 to (0.06\* Popülasyon sayısı) do begin**

Elitizm oranına göre en iyi bireyi kötü bireylerle yer değiştir.

**end;**

**End;**

**End.**

## 4.1. Geliştirilen Yöntemin Literatürde Bulunan Problemlere Uygulanması

### 4.1.1 Tek Amaçlı Test ve Mühendislik Problemleri

#### 4.1.1.1 g01 Tek Amaçlı Test Problemi

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f(x) = 5 \sum_{i=1}^4 x_i - 5 \sum_{i=1}^4 x_i^2 - 5 \sum_{i=5}^{13} x_i \quad (4.1)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(x) = 2x_1 + 2x_2 + x_{10} + x_{11} - 10 \leq 0 \quad (4.2)$$

$$g_2(x) = 2x_1 + 2x_3 + x_{10} + x_{12} - 10 \leq 0 \quad (4.3)$$

$$g_3(x) = 2x_2 + 2x_3 + x_{11} + x_{12} - 10 \leq 0 \quad (4.4)$$

$$g_4(x) = -8x_1 + x_{10} \leq 0 \quad (4.5)$$

$$g_5(x) = -8x_2 + x_{11} \leq 0 \quad (4.6)$$

$$g_6(x) = -8x_3 + x_{12} \leq 0 \quad (4.7)$$

$$g_7(x) = -2x_4 - x_5 + x_{10} \leq 0 \quad (4.8)$$

$$g_8(x) = -2x_6 - x_7 + x_{11} \leq 0 \quad (4.9)$$

$$g_9(x) = -2x_8 - x_9 + x_{12} \leq 0 \quad (4.10)$$

Tasarım değişkenleri:

$0 \leq x_i \leq 1$  ( $i=1, \dots, 9$ ),  $0 \leq x_i \leq 100$  ( $i=10, 11, 12$ ) ve  $0 \leq x_{13} \leq 1$  (Koziel ve Michalewicz 1999).

Çizelge 4.1 g01 test problemi için en iyi sonuçlar

YÖNTEM	En iyi	Ort.	Kötü	Std. Sapma	FDS
<b>Önerilen Yöntem</b>	-15	-15	-15	0	120,000
(Montes ve Coello 2005 )	-15	-15	-15	0	240,000
(Montes ve ark. 2003)	-15	-15	-15	0	225,000
(Montes ve Coello 2005 )	-14.440	-14.236	-14.015	NA	240,000
(Montes ve Coello 2004-a )	-14.7841	-14.526	-13.8417	0.2335	150,000
(Montes ve Coello 2004 -b)	-3.89599	-3.1243	-2.32008	0.4390	240,000
(Venkatraman ve Yen 2005)	-14.9999		-11.9999	0.8514	50.000
(Farmani ve Wright 2003)	-15	-15	-15	0	1,400,000
(Runarsson ve Yao 2000)	-15	-15	-15	0	350.000
(Hamida ve Schoenauer 2002)	-15	-14.84	NA	NA	1,500,000
(Koziel ve Michalewicz 1999)	-14.7864	-14.7082	-14.6154	NA	1,000,000

FDS: Birey sayısı ile nesil sayısının çarpılması ile elde edilen değeri ifade eder ve optimum değer elde edildiği değeri gösterir. Fonksiyon değerlendirme sayısı olarak tanımlanır (function evolution number)

#### 4.1.1.2 g06 Tek Amaçlı Test Problemi

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f(x) = (x_1-10)^3+(x_2-20)^3 \quad (4.11)$$

$$\text{Kısıt fonksiyonları : } g1(x) = (x_1-5)^2+(x_2-5)^2-100 \geq 0 \quad (4.12)$$

$$g2(x) = -(x_1-6)^2 -(x_2-5)^2 +82.81 \geq 0 \quad (4.13)$$

$$13 \leq x_1 \leq 100, 0 \leq x_2 \leq 100 \text{ (Koziel ve Michalewicz 1999).}$$

Çizelge 4.2 g06 test problemi için en iyi sonuçlar

YÖNTEM	En iyi	Ort.	Kötü	Std. Sapma	FDS <sup>1</sup>
<b>Önerilen Yöntem</b>	-6961.814	-6961,479	-6960,857	0,259	182,000
(Montes ve Coello 2005)	-6961.814	-6961.284	-6952.482	1.85	240,000
(Montes ve Coello 2005)	-6952.472	-6872.204	-6784.255		240,000
(Coello ve Cortes 2004)	-6961,7608	-6961.273	-6960.607	0.3598	150,000
(Venkatraman ve Yen 2005)	-6961.1785		-6954.318	1.2691	50,000
(Farmani ve Wright 2003)	-6961.800	-6961.800	-6961.800	0	1,400,000
(Runarsson ve Yao 2000)	-6961.814		-6350.262		350,000
(Hamida ve Schoenauer,2002)	-6961.81	-6961.81	NA		1,500,000
(Akhtar ve ark. 2002)	-6938.9396	-6726.15	-6405.180		15,656
(Ray ve ark. 2000)	-6819.0391	-6773.00	-6525.837		39,164
(Koziel ve Michalewicz 1999)	-6952.100	-6342.6	-5473.9		1,400,000

#### 4.1.1.3 g09 Tek Amaçlı Test Problemi

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f(x) = (x_1 - 10)^2 + 5(x_2 - 12)^2 + x_3^4 + 3(x_4 - 11)^2 + 10x_5^6 + 7x_6^2 + x_7^4 - 4x_6x_7 - 10x_6 - 8x_7 \quad (4.14)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(x) = -127 - 2x_1^2 + 3x_2^4 + x_3 + 4x_4^2 + 5x_5 \leq 0 \quad (4.15)$$

$$g_2(x) = -282 + 7x_1 + 3x_2 + 10x_3^2 + x_4 - x_5 \leq 0 \quad (4.16)$$

$$g_3(x) = -196 + 23x_1 + x_2^2 + 6x_6^2 - 8x_7 \leq 0 \quad (4.17)$$

$$g_4(x) = 4x_1^2 + x_2^2 - 3x_1x_2 + 2x_3^2 + 5x_6 - 11x_7 \leq 0 \quad (4.18)$$

$-10 \leq x_i \leq 10$  ( $i=1, \dots, 7$ ) (Koziel ve Michalewicz 1999).

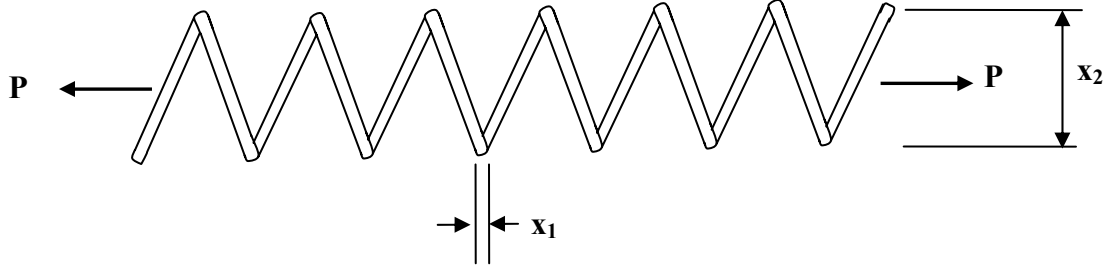
Çizelge 4.3 g09 test problemi için en iyi sonuçlar

YÖNTEM	En iyi	Ort.	Kötü	Std. Sapma	FDS
<b>Önerilen Yöntem</b>	680.630	680.867	681,104	0.11931	198,000
(Montes ve Coello 2005 )	680.632	680.643	680.719	1.55 E-2	240,000
(Montes ve Coello 2005 )	685.994	692.064	698.297		240,000
(Coello ve Cortes 2004)	680.959	681.619	683.7651	0.7733	150,000
(Coello ve Cortes 2004)	815.023	1393.87	2970.694	480.7348	
(Venkatraman ve Yen 2005)	680.762	NA	684.1314	0.7443	50,000
(Farmani ve Wright 2003)	680.64	680.72	680.87	5.92e-2	
(Runarsson ve Yao 2000)	680.630	680.656	680.763		350,000
(Hamida ve Schoenauer 2002)	680.630	680.641	NA		1,500,000
(Koziel ve Michalewicz 1999)	680.91	681.16	683.13	N.A.	1,500,000



#### 4.1.1.4 Minimum Ağırlığa Sahip Çeki-Basi Yayının Optimum Tasarımı Problemi

Bu problem ilk olarak Arora tarafından sayısal optimizasyon tekniği olan sequential quadratic programming yöntemi ile çözüldü (Arora, 1989) .



Şekil 4.2 Çeki-basi yayının tasarım parametreleri (Coello ve Montes 2002)

Problemde tasarım değişkenleri  $x_1$  tel çapını,  $x_2$  ortalama yay çapını,  $x_3$  sarım sayısını ifade etmektedir. Problemde yay ağırlığının minimum olması istenmektedir.

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f(x) = (x_3 + 2)x_2x_1^2 \quad (4.19)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(\vec{x}) = 1 - \frac{x_2^3x_3}{71785x_1^4} \leq 0, \quad (4.20)$$

$$g_2(\vec{x}) = \frac{4x_2^2 - x_1x_2}{12566(x_2x_1^3 - x_1^4)} + \frac{1}{5108x_1^2} - 1 \leq 0 \quad (4.21)$$

$$g_3(\vec{x}) = 1 - \frac{140.45x_1}{x_2^2x_3} \leq 0, \quad (4.22)$$

$$g_4(\vec{x}) = \frac{x_2 + x_1}{1.5} - 1 \leq 0 \quad (4.23)$$

Tasarım değişkenleri:

$$0.05 < X_1 < 2, \quad 0.25 < X_2 < 1.3, \quad 2 < X_3 < 15$$

Çizelge 4.4 Amaç fonksiyonu için S/G (Sinyal /Gürültü) oranları

Deneye No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	S/N
1	0,05	0,25	2	52,0412
2	0,05	0,775	8,5	33,8314
3	0,05	1,3	15	25,1534
4	1,025	0,25	8,5	-8,8115
5	1,025	0,775	15	-9,0963
6	1,025	1,3	2	-14,749
7	2,000	0,25	15	-24,609
8	2,000	0,775	2	-21,868
9	2,000	1,3	8,5	-34,743

Çizelge 4.5 Amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	37,00	-10,88	-27,07	6662,5	3	3331,2	159,10	<b>93.13</b>
<b>X2</b>	6,20	0,95	-8,11	314,9	3	157,4	7,52	4.40
<b>X3</b>	5,14	-3,24	-2,850	134,3	3	67,1	3,21	1.87
<b>Hata</b>				41,9	6	20,9		0.58
<b>Toplam</b>				7153.6	15			100

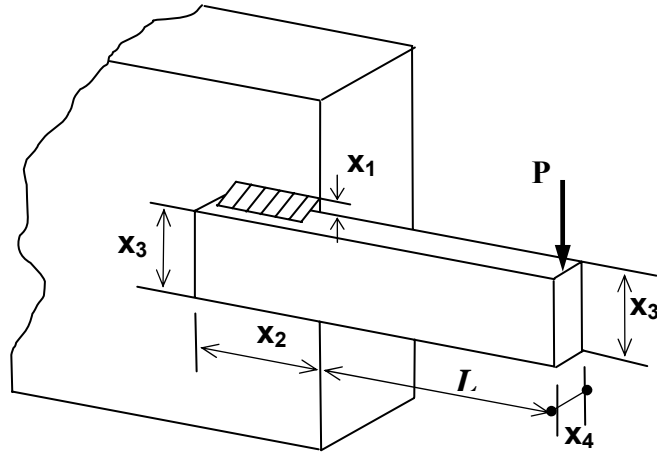
Çizelge 4.6 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$x_1$	$0.05 < X_1 < 2$	$0.05 < X_1 < 1.025$
$x_2$	$0.25 < X_2 < 1.3$	$0,25 < X_2 < 0.775$
$x_3$	$2 < X_3 < 15$	$2 < X_3 < 15$

Çizelge 4.7 Çeki-bası yayı için karşılaştırmalı sonuçlar

YÖNTEM	En iyi	Ort.	Kötü	Std. Sapma	FDS
<b>Önerilen Yöntem</b>	<b>0.01266712</b>	0,012677	0,012695	7,26E-6	24,984
(Coello ve Becerra 2004)	0.0127210	0.0135681	0.0151156	8.41 e-4	50,000
(Montes ve ark. 2003)	0,012688	0.013014	0.017037	8.01 e-4	36,000
(Montes ve ark. 2003)	0.012732	0.014527	0.017723	14.57 e-4	36,000
(Montes ve ark. 2003)	0.012729	0.013774	0.016407	10.45 e-4	36,000
(Montes ve ark. 2003)	0.012689	0.013681	0.016597	9.34 e-4	36,000
(Montes ve ark. 2003)	0.012729	0.013675	0.015933	7,2 e-4	36,000
(Ray ve Liew 2003)	0.0126692	0.0129226	0.0167172	5.92e-4	25,167
(Coello ve Montes 2002)	0.0127047	0.0127692	0.0128220	-----	900.000
(Arora 1989)	0.01273027	-	-	-	

#### 4.1.1.5 Tek Amaçlı Kaynaklı –Kiriş (Welded- Beam) Problemi



Şekil 4.3 Kaynaklı–kiriş probleminin tasarım parametreleri (Coello ve Montes 2002)

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f_1(x) = 1.10471x_1^2x_2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \quad (4.24)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(x) = \tau_{\max} - \tau(x) \geq 0; \quad (4.25)$$

$$g_2(x) = \sigma_{\max} - \sigma(x) \geq 0 \quad (4.26)$$

$$g_3(x) = x_4 - x_1 \geq 0 \quad (4.27)$$

$$g_4(x) = 5 - 1.10471x_1^2x_2 - 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \geq 0 \quad (4.28)$$

$$g_5(x) = x_1 - 0.125 \geq 0 \quad (4.29)$$

$$g_6(x) = \delta_{\max} - \delta(x) \geq 0 \quad (4.30)$$

$$g_7(x) = P_c(x) - P \geq 0 \quad (4.31)$$

$$\tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2}, \quad (4.32)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J}, \quad (4.33)$$

$$M = P\left(L + \frac{x_2}{2}\right), \quad (4.34)$$

$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2}, \quad (4.35)$$

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau'' \frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2}, \quad (4.36)$$

$$\sigma(x) = \frac{6PL}{x_4 x_3^2}, \quad (4.37)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013E \sqrt{\frac{x_3^2 x_4^6}{36}}}{L^2} \left( 1 - \frac{x^3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}} \right) \quad (4.38)$$

$$\delta(x) = \frac{4PL^3}{Ex_3^3 x_4}, \quad (4.39)$$

$G=12 \times 10^6$ ,  $E=30 \times 10^6$  psi,  $L=14$  in  $P=6000$  lb,  $\tau_{\max}=13,600$  psi,  $\sigma_{\max}=30,000$  psi,  $\delta_{\max}=0.25$  in. Tasarım değişkenleri ve değişim aralıkları:  $0.1 < X_1 < 2$ ,  $0.1 < X_2 < 10$ ,  $0.1 < X_3 < 10$ ,  $0.1 < X_4 < 2$

Çizelge 4.8 Amaç fonksiyonu için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	S/G
1	0,1	0,1	0,1	0,1	42,0604
2	0,1	3,5	3,5	0,75	-7,0387
3	0,1	6,8	6,8	1,4	-19,6469
4	0,1	10	10	2	-27,3110
5	0,75	0,1	3,5	1,4	-10,5939
6	0,75	3,5	0,1	2	-7,3965
7	0,75	6,8	6,8	0,1	-13,8145
8	0,75	10	10	0,75	-23,4484
9	1,4	0,1	6,8	2	-19,5014
10	1,4	3,5	10	1,4	-25,7405
11	1,4	6,8	0,1	0,75	-23,4044
12	1,4	10	3,5	0,1	-26,8707
13	2	0,1	10	0,75	-14,8537
14	2	3,5	6,8	0,1	-24,1032
15	2	6,8	3,5	2	-31,3765
16	2	10	0,1	1,4	-32,9379

Çizelge 4.9 Amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	<b>-2,984</b>	<b>-13,813</b>	-23,879	-25,817	1324,45	3	441,48	6,54	27.57
<b>X2</b>	<b>-0,722</b>	<b>-16,069</b>	-22,060	-27,642	1702,68	3	567,56	8,41	35.44
<b>X3</b>	-5,419	-18,969	-19,266	-22,838	779,90	3	259,97	3,85	16.23
<b>X4</b>	<b>-5,682</b>	<b>-17,186</b>	-22,229	-21,396	794,19	3	264,73	3,92	16.53
<b>Hata</b>					202,43	3	67,48		4.20
<b>Toplam</b>					4803.2	15			100

Çizelge 4.10 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

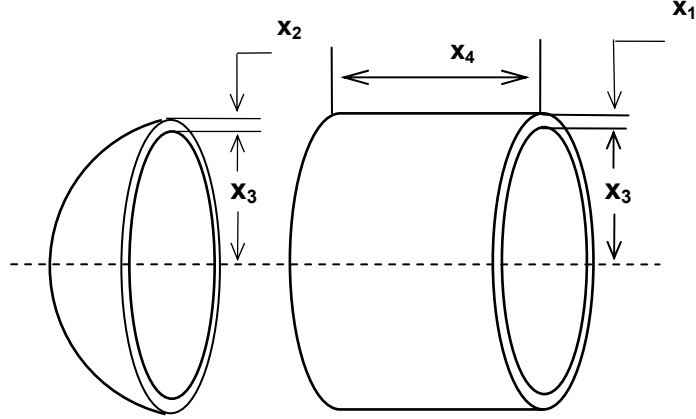
Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$x_1$	$0.1 < X_1 < 2$	$0.1 < X_1 < 0.75$
$x_2$	$0.1 < X_2 < 10$	$0.1 < X_2 < 3.5$
$x_3$	$0.1 < X_3 < 10$	$6.8 < X_3 < 10$
$X_4$	$0.1 < X_4 < 2$	$0.1 < X_4 < 0.75$

Çizelge 4.11 Kaynaklı kiriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar

YÖNTEM	En iyi	Ort.	Kötü	Std. Sapma	FDS
Önerilen Yöntem-1	1.7259775	1,7553	1,77624	0,01085	30,000
Önerilen Yöntem -2	2.091258	2,125	2,1812	0,007	100
(Parsopoulos ve Vrahatis, 2005)	1.92199	2.8372	4.88360	0.68298	-
(He ve ark. 2004)	2.380956			0.00523	30.000
(Coello ve Montes 2002)	1.728226	1.7926	1.99340	0.07471	80.000
(Coello 2000)	1.748309	1.7719	1.7858	0.01122	900.000
(Montes ve ark. 2003)	1.748594	1.8708	2.2328	0.10637	36.000
(Ray ve Liew 2003)	2.38543	3.25513	6.3996	0.95907	33.095
(Ray ve ark 2002)	1.9				38.774
(Deb 2000)	2.38119		2.6458	N.A	40.080
(Deb 1991)	2.38119		2.6458	N.A	320.080

Çizelge 4. 11 deki kaynaklı kiriş problemi için Önerilen Yöntem 2 ile verilen sonuçlar, (deb 2000) 'de elde 40.080 FDS elde edilen değerden ve (He ve ark. 2004) de 30.000 FDS de elde edilen değerden daha iyi bir amaç fonksiyonu değerine önerilen yöntemle sadece 100 FDS elde edildiğini göstermek için konulmuştur.

#### 4.1.1.6 . Basınçlı Kap ( Pressure Vessel) Tasarım Problemi



Şekil 4.4 Basınçlı kap probleminin tasarım parametreleri (Coello ve Montes 2002)

Problemde, malzeme maliyeti kaynak ve şekillendirme maliyetlerini kapsayan toplam maliyetin minimum olması istenmektedir. Problemde  $x_1$  basınçlı kap malzeme kalınlığını,  $x_2$  kapak kalınlığı,  $x_3$  iç radyus ve  $x_4$  kabın silindirik kısmının uzunluğunu göstermektedir.

Minimize edilecek amaç fonksiyonu :

$$f(x) = 0.6224x_1x_3x_4 + 1.7781x_2x_3^2 + 3.1661x_1^2x_4 + 19.84x_1^2x_3 \quad (4.40)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(x) = -x_1 + 0.0193x_3 \leq 0 \quad (4.41)$$

$$g_2(x) = -x_2 + 0.00954x_3 \leq 0 \quad (4.42)$$

$$g_3(x) = -\pi x_3^2 x_4 - \frac{4}{3}\pi x_3^3 + 1,296,000 \leq 0 \quad (4.43)$$

$$g_4(x) = x_4 - 240 \leq 0 \quad (4.44)$$

Tasarım değişkenleri:  $0.0625 < X_1 < 5$ ,  $0.0625 < X_2 < 5$ ,  $10 < X_3 < 200$ ,  $10 < X_4 < 200$

Çizelge 4.12 Amaç fonksiyonu için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	S/G
1	0.0625	0.0625	10	10	-24,029
2	0.0625	1.25	57.5	57.5	-93,883
3	0.0625	2.5	105	105	-93,883
4	0.0625	3.75	152.5	152.5	-77,345
5	0.0625	5	200	200	-77,345
6	1.25	0.0625	57.5	105	-77,345
7	1.25	1.25	105	152.5	-92,250
8	1.25	2.5	152.5	200	-102,46
9	1.25	3.75	200	10	-108,77
10	1.25	5	10	57.5	-65,71
11	2.5	0.0625	105	200	-94,131
12	2.5	1.25	152.5	10	-97,287
13	2.5	2.5	200	57.5	-106,91
14	2.5	3.75	10	105	-94,516
15	2.5	5	57.5	152.5	-94,516
16	3.75	0.0625	152.5	57.5	-105,95
17	3.75	1.25	200	105	-105,95
18	3.75	2.5	10	152.5	-82,660
19	3.75	3.75	57.5	200	-97,365
20	3.75	5	105	10	-102,29
21	5	0.0625	200	152.5	-106,47
22	5	1.25	10	200	-88,703
23	5	2.5	57.5	10	-93,217
24	5	3.75	105	57.5	-103,46
25	5	5	152.5	105	-110,64

Çizelge 4.13 Amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Level5	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-82,06	-89,30	-93,56	-96,98	-100,49	1021,9	4	255,4	3,48	12.28
<b>X2</b>	-79,72	-92,33	-95,82	-97,69	-96,84	1100,0	4	275,0	3,75	13.22
<b>X3</b>	-67,22	-87,98	-97,20	-102,1	-107,83	5052,4	4	1263,1	17,2	<b>60.73</b>
<b>X4</b>	-85,11	-90,04	-92,56	-95,95	-98,74	556,9	4	139,2	1,90	6.69
<b>Hata</b>						587,0	8	73,3		7.06
<b>Toplam</b>						8318,5	24			100

Çizelge 4.14 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

<b>Tasarım Değişkenleri</b>	<b>Literatür</b>	<b>Önerilen Yöntem</b>
$x_1$	$0,0625 < X_1 < 5$	$0.0625 < X_1 < 1.25$
$x_2$	$0,0625 < X_2 < 5$	$0.0625 < X_2 < 1.5$
$x_3$	$10 < X_3 < 200$	$10 < X_3 < 57.5$
$X_4$	$10 < X_4 < 200$	$10 < X_4 < 200$

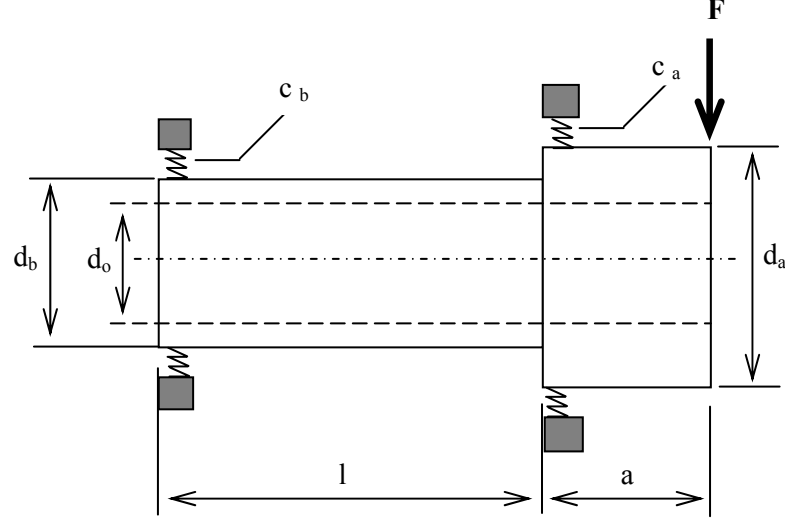
Çizelge 4.15 Basınçlı kap tasarım problemi için en iyi sonuçlar

<b>YÖNTEM</b>	<b>En iyi</b>	<b>Ort.</b>	<b>Kötü</b>	<b>Std. Sapma</b>	<b>FDS</b>
Önerilen Yöntem	6059.71565	6098,221	6199,527	7.883	30,000
(Coello ve Cortes 2004)	6061.1229	6734.084	7368.0602	457.995	150,000
(Montes ve ark. 2003)	6059.7143	6355.343	6846.6284	256.043	36,000
(Coello ve Cortes 2002)	6059.9463	6177:253	6469:3220	30.9297	80,000
(Coello 2000)	6288.7445	6293.843	6308.1496	7.41328	900,000
(He ve ark. 2004)	6059.7143	6289.928		305.78	30,000
(Parsopoulos ve Vrahatis 2005)	6154.70	8016.37	9387.77	745.869	-



## 4.1.2 Çok Amaçlı Mühendislik Problemleri

### 4.1.2.1 Çok Amaçlı Machine Tool Spindle Problemi



Şekil 4.5 Çok amaçlı machine tool spindle probleminin tasarım parametreleri

Bu problem ilk olarak Eschenauer ve ark. (1990) tarafından çözüldü. Daha sonra genetik algoritmalar ve değişik optimizasyon yöntemleri ile çözüldü (Coello, 1996) ve (Coello ve Christianen 1998).

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

$$\text{Spindle Hacmi} \quad : \quad f_1(x) = \frac{\pi}{4} [a(d_a^2 - d_o^2) + l(d_b^2 - d_o^2)] \quad (4.53)$$

$$\text{Statik yerdeğiştirme} \quad : \quad f_2(x) = \frac{Fa^3}{3EI_a} \left(1 + \frac{l}{a} \frac{I_a}{I_b}\right) + \frac{F}{c_a} \left[ \left(1 + \frac{a}{l}\right)^2 + \frac{c_a a^2}{c_b l^2} \right] \quad (4.54)$$

$$I_a = 0.049(d_a^4 - d_o^4) \quad (4.55)$$

$$I_b = 0.049(d_b^4 - d_o^4) \quad (4.56)$$

$$c_a = 35400 |\delta_{ra}|^{\frac{1}{9}} d_a^{\frac{10}{9}}, \quad (4.57)$$

$$c_b = 35400 |\delta_{rb}|^{\frac{1}{9}} d_b^{\frac{10}{9}}, \quad (4.58)$$

Kısıt fonksiyonları :

$$g_1(x) = l - l_g \leq 0 \quad (4.59)$$

$$g_2(x) = l_k - l \leq 0 \quad (4.60)$$

$$g_3(x) = d_{a1} - d_a \leq 0 \quad (4.61)$$

$$g_4(x) = d_a - d_{a2} \leq 0 \quad (4.62)$$

$$g_5(x) = d_{b1} - d_b \leq 0 \quad (4.63)$$

$$g_6(x) = d_b - d_{b2} \leq 0 \quad (4.64)$$

$$g_7(x) = d_{om} - d_o \leq 0 \quad (4.65)$$

$$g_8(x) = p_1 d_o - d_b \leq 0 \quad (4.66)$$

$$g_9(x) = p_2 d_b - d_a \leq 0 \quad g_{10}(x) = \left| \Delta_a + (\Delta_a - \Delta_b) \frac{a}{l} \right| - \Delta \leq 0 \quad (4.67)$$

Bu problemde da (80; 85; 90; 95) ve db (75; 80; 85; 90) değerlerinden biri olmak zorundadır.

$$d_{om} = 25.00 \text{ mm}$$

$$d_{a1} = 80.00 \text{ mm}$$

$$d_{a2} = 95.00 \text{ mm}$$

$$d_{b1} = 75.00 \text{ mm}$$

$$d_{b2} = 90.00 \text{ mm}$$

$$p_1 = 1.25$$

$$p_2 = 1.05$$

$$l_k = 150.00 \text{ mm}$$

$$l_g = 200.00 \text{ mm}$$

$$a = 80.00 \text{ mm}$$

$$E = 210,000,0 \text{ N/mm}^2$$

$$F = 10,000 \text{ N}$$

$$\Delta_a = 0.00540000 \text{ mm}$$

$$\Delta_b = -0.00540000 \text{ mm}$$

$$\Delta = 0.01000000 \text{ mm}$$

$$\delta_{ra} = 0.00100000 \text{ mm}$$

$$\delta_{rb} = -0.00100000 \text{ mm}$$

Tasarım değişkenleri :  $25 \leq d_o \leq 75$ ,  $150 \leq l \leq 200$ ,  $80 \leq d_a \leq 95$ ,  $75 \leq d_b \leq 90$

Çizelge 4.16 Amaç fonksiyonları için S /G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	S/G-1	S/G-2
1	25	150	80	75	-119,572	31,5483
2	25	166	85	80	-121,346	33,0074
3	25	183	90	85	-123,035	34,3464
4	25	200	95	90	-124,619	35,5820
5	41	150	85	85	-120,013	33,4830
6	41	166	80	90	-121,088	33,5348
7	41	183	95	75	-120,242	32,3188
8	41	200	90	80	-121,173	33,0331
9	58	150	90	90	-118,645	34,1582
10	58	166	95	85	-118,681	33,8586
11	58	183	80	80	-115,947	30,7691
12	58	200	85	75	-115,530	29,4145
13	75	150	95	80	-109,684	26,5378
14	75	166	90	75	-103,995	-6,2712
15	75	183	85	90	-113,184	30,7381
16	75	200	80	85	-109,543	26,4066

Çizelge 4.17 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	33,62	33,09	<b>32,05</b>	<b>19,35</b>	557,41	3	185,80	2,72	<b>37.88</b>
<b>X2</b>	31,431	23,53	32,04	31,10	193,59	3	64,53	0,95	<b>13.15</b>
<b>X3</b>	30,56	31,66	23,81	32,07	178,91	3	59,64	0,87	12.15
<b>X4</b>	21,75	30,83	32,02	33,50	336,80	3	112,27	1,65	22.89
<b>Hata</b>					204,59	3	68,20		13.90
<b>Toplam</b>					1471,30	15			100

Çizelge 4.18 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-122,14	-120,62	<b>-117,20</b>	<b>-109,10</b>	407,0	3	135,6	48,87	<b>85.84</b>
<b>X2</b>	-116,97	-116,27	-118,10	-117,71	7,84	3	2,61	0,94	1.655
<b>X3</b>	-116,53	-117,51	-116,71	-118,30	7,93	3	2,64	0,95	1.673
<b>X4</b>	-114,83	-117,03	-117,81	-119,38	43,0	3	14,33	5,16	9.070
<b>Hata</b>					8,32	3	2,77		1.758
<b>Toplam</b>					474,1	15			100

Çizelge 4.16 da S/G-1 ve S/G-2 her bir amaç fonksiyonu için ayrı ayrı bulunan sinyal/gürültü oranlarını gösterir

Çizelge 4.19 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

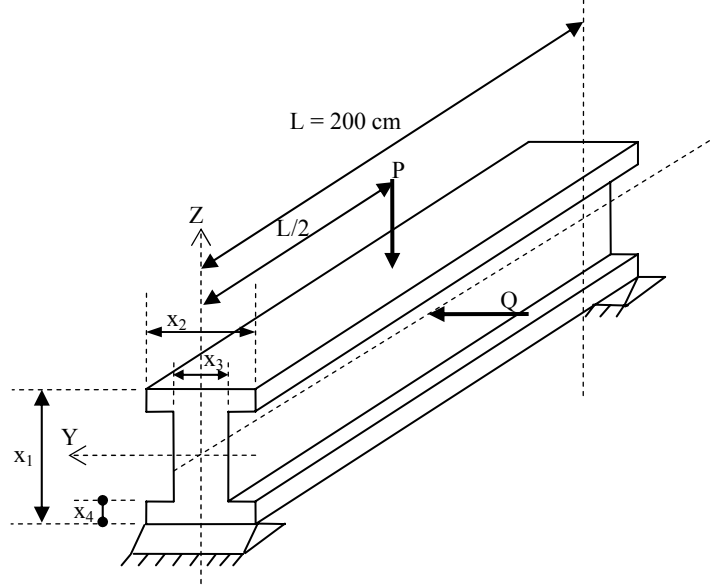
Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$d_0 -x_1$	$25 \leq d_0 \leq 75$	$58 \leq d_0 \leq 75,$
$l -x_2$	$150 \leq l \leq 200$	$150 \leq l \leq 200$
$d_a -x_3$	$80 \leq d_a \leq 95$	$80 \leq d_a \leq 90$
$d_b -x_4$	$75 \leq d_b \leq 90$	$75 \leq d_b \leq 90$

Çizelge 4.20 Machine- tool spindle problemi için karşılaştırmalı sonuçlar

YÖNTEMLER	$F_1(X)$	$F_2(X)$
Monte Carlo 1	728581.78	0.026474
Monte Carlo 2	1457744.67	0.019242
GALC (B)	1386131.13	0.016955
GALC (FP)	1377893.38	0.016975
Lexicographic (B)	856072.60	0.021843
Lexicographic (FP)	709307.00	0.026191
VEGA (B)	987526.38	0.021241
VEGA (FP)	1151553.50	0.017747
NSGA (B)	708412.19	0.024386
NSGA (FP)	985238.13	0.018839
MOGA (B)	699786.88	0.024531
MOGA (FP)	800608.63	0.020108
NPGA (B)	654768.06	0.032233
NPGA (FP)	1363536.50	0.017006
Hajela (B)	757841.81	0.024983
Hajela (FP)	975296.19	0.018607
Gaminmax1 (Coello, 1996, 1999)	656950.38	0.025319
<b>Önerilen Yöntem -1</b>	<b>633622.13</b>	<b>0.02403</b>
Gaminmax2 (Coello, 1996, 1999)	926272.00	0.020756
<b>Önerilen Yöntem -2</b>	<b>837659.60</b>	<b>0.019501</b>
(Eschenauer ve ark. 1990)	694101.00	0.023077
<b>Önerilen Yöntem -3</b>	<b>648250.77</b>	<b>0.022729</b>

#### 4.1.2.2 Çok Amaçlı I Profile Sahip Kiriş (I-Kiriş) Tasarım Problemi

I-Kiriş Tasarım problemi literatürde geliştirilen çok amaçlı optimizasyon yöntemlerinin doğruluğunu kanıtlamak için kullanılan problemlerden birisidir (Coello, 1996, 1998).



Şekil 4.6 Çok amaçlı I-kiriş tasarım probleminin tasarım parametreleri

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

1. Kiriş Kesit alanı

$$f_1(x) = 2x_2x_4 + x_3(x_1 - 2x_4) \text{ cm}^2 \quad (4.68)$$

2. Statik Yerdeğiştirme

$$f_2(x) = \frac{60000}{x_3(x_1 - 2x_4)^3 + 2x_2x_4[4x_4^2 + 3x_1(x_1 - 2x_4)]} \quad (4.69)$$

Kısıt Fonksiyonu:

$$g(x) = 16 - \frac{18000x_1}{x_3(x_1 - 2x_4)^3 + 2x_2x_4[4x_4^2 + 3x_1(x_1 - 2x_4)]} - \frac{15000x_2}{(x_1 - 2x_4)^3 x_3^3 + 2x_4x_2^3} \geq 0 \quad (4.70)$$

Tasarım değişkenleri :  $10 \leq x_1 \leq 80$ ,  $10 \leq x_2 \leq 50$ ,  $0.9 \leq x_3 \leq 5$ ,  $0.9 \leq x_4 \leq 5$

Çizelge 4.21 Amaç fonsiyonları için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	S/G-1	S/G-2
1	10	10	0.9	0.9	-28,0898	-21,6140
2	10	23.3	2.26	2.26	-41,4156	-9,6145
3	10	36.6	3.62	3.62	-48,7859	-4,4595
4	10	50	5	5	-53,9794	-1,5836
5	33.3	10	2.26	3.62	-42,3650	11,7676
6	33.3	23.3	0.9	5	-48,0956	19,6593
7	33.3	36.6	5	0.9	-46,9809	15,6503
8	33.3	50	3.62	2.26	-50,3751	21,8303
9	56.6	10	3.62	5	-48,5851	25,8486
10	56.6	23.3	5	3.62	-52,3713	30,4576
11	56.6	36.6	0.9	2.26	-46,5392	28,4043
12	56.6	50	2.26	0.9	-46,6021	26,0206
13	80	10	5	2.26	-52,5186	33,9794
14	80	23.3	3.62	0.9	-50,2383	32,3958
15	80	36.6	2.26	5	-54,3899	40,9151
16	80	50	0.9	3.62	-52,6184	40,9151

Çizelge 4.22 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	level 1	level 2	level 3	level4	SS	DOF	MS	F	% Etki
x1	-43,06	-46,95	-48,52	-52,44	180,66	3	60,22	11,15	28.92
x2	-42,88	-48,03	-49,17	-50,89	142,45	3	47,48	8,79	22.80
x3	-43,83	-46,19	-49,49	-51,46	138,30	3	46,10	8,53	22.14
x4	-42,97	-47,71	-49,03	-51,26	147,05	3	49,02	9,07	23.54
Hata					16,205	3	5,40		2.596
Toplam					624,68	15			

Çizelge 4.23 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	level 1	level 2	level 3	level4	SS	DOF	MS	F	% Etki
x1	-9,31	17,22	27,68	<b>37,05</b>	4813,8	3	1604,6	1847,	<b>92.8</b>
x2	12,49	18,22	<b>20,12</b>	<b>21,79</b>	196,7	3	65,57	75,48	3.79
x3	16,84	17,27	<b>18,90</b>	<b>19,62</b>	20,92	3	6,97	8,03	0.40
x4	13,11	18,64	<b>19,67</b>	<b>21,20</b>	149,17	3	49,72	57,24	2.87
Hata					2,61	3	0,87		0.053
Toplam					5183,3	15			<b>100</b>

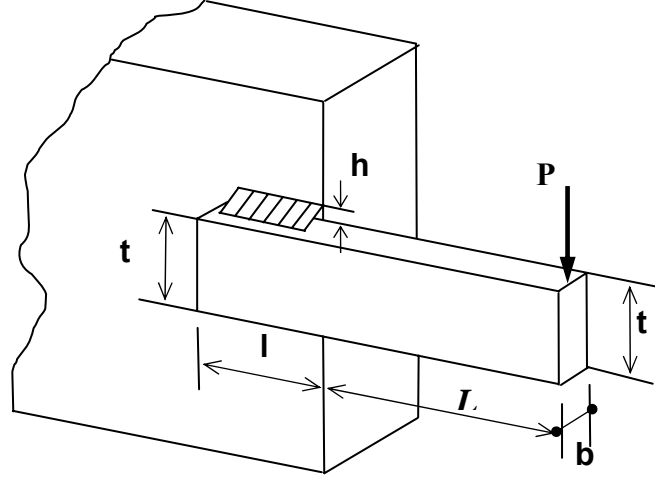
Çizelge 4.24 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$x_1$	$10 \leq x_1 \leq 80$	$x_1 = 80$
$x_2$	$10 \leq x_2 \leq 50$	$10 \leq x_2 \leq 50$
$x_3$	$0.9 \leq x_3 \leq 5$	$0.9 \leq x_3 \leq 2.26$
$x_4$	$0.9 \leq x_4 \leq 5$	$0.9 \leq x_3 \leq 5$

Çizelge 4.25 I-kiriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar

YÖNTEM	F1	F2
Monte Carlo 1	401.77	0.0159
Monte Carlo 2	277.09	0.0198
Min-max (Osyczka)	320.55	0.0167
Global Criterion Yöntem (Osyczka)	320.55	0.0167
Weighting Min-max (Osyczka)	320.55	0.0167
Pure Weighting Yöntem (Osyczka)	316.85	0.0170
Normalized Weighting Yöntem	326.49	0.0164
Lexicographic	319.95	0.0124
VEGA	295.59	0.0134
NSGA	555.19	0.0080
MOGA	347.27	0.0119
NPGA	372.17	0.0117
Hajela	535.48	0.0072
GAminmax1-(Coello, 1996, 1999)	312.77	0.0127
Gaminmax2- (Coello, 1996, 1999)	315.36	0.0129
<b>Önerilen Yöntem</b>	<b>309.791</b>	<b>0.0126884</b>

### 4.1.2.3 Çok Amaçlı Kaynaklı Kiriş (Welded Beam) Tasarım Problemi



Şekil 4.7 Çok amaçlı kaynaklı kiriş probleminin tasarım parametreleri

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

$$f_1(x) = 1.10471x_1^2x_2 + 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \quad (4.71)$$

$$f_2(x) = \frac{2.1952}{x_3^3x_4} \quad (4.72)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$g_1(x) = \tau_{\max} - \tau(x) \geq 0$$

$$g_2(x) = \sigma_{\max} - \sigma(x) \geq 0 \quad (4.73)$$

$$g_3(x) = x_4 - x_1 \geq 0 \quad (4.74)$$

$$g_4(x) = 5 - 1.10471x_1^2x_2 - 0.04811x_3x_4(14.0 + x_2) \geq 0 \quad (4.75)$$

$$g_5(x) = x_1 - 0.125 \geq 0 \quad (4.76)$$

$$g_6(x) = \delta_{\max} - \delta(x) \geq 0 \quad (4.77)$$

$$g_7(x) = P_c(x) - P \geq 0 \quad (4.78)$$

$$\tau' = \frac{P}{\sqrt{2}x_1x_2}, \quad (4.79)$$

$$\tau'' = \frac{MR}{J} \quad (4.80)$$

$$M = P\left(L + \frac{x_2}{2}\right), \quad (4.81)$$



$$R = \sqrt{\frac{x_2^2}{4} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2}, \quad (4.82)$$

$$J = 2 \left\{ \sqrt{2x_1x_2 \left[ \frac{x_2^2}{12} + \left(\frac{x_1 + x_3}{2}\right)^2 \right]} \right\} \quad (4.83)$$

$$\tau(x) = \sqrt{(\tau')^2 + 2\tau'\tau'' \frac{x_2}{2R} + (\tau'')^2} \quad (4.84)$$

$$\sigma(x) = \frac{6PL}{x_4x_3^2}, \quad (4.85)$$

$$P_c(x) = \frac{4.013E \sqrt{\frac{x_3^2x_4^6}{36}}}{L^2} \left( 1 - \frac{x^3}{2L} \sqrt{\frac{E}{4G}} \right) \quad (4.86)$$

$$\delta(x) = \frac{4PL^3}{Ex_3^3x_4}, \quad (4.87)$$

$G=12 \times 10^6$ ,  $E=30 \times 10^6$  psi,  $L=14$  in  $P=6000$  lb,  $\tau_{\max}=13,600$  psi,  $\sigma_{\max}=30,000$  psi,  $\delta_{\max}=0.25$  in.

Tasarım değişkenleri ve değişim aralıkları:  $0.125 < X_1 < 5$ ,  $0.1 < X_2 < 10$ ,  $0.1 < X_3 < 10$ ,  $0.125 < X_4 < 5$

Çizelge 4.26 Amaç fonksiyonları için S/G oranları

Deney No	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	S/G-1	S/G-2
1	0.125	0.1	0.1	0.125	39.82	-84.89
2	0.125	3.4	3.4	1.75	-14.04	29.92
3	0.125	6.7	6.7	3.375	-27.09	53.29
4	0.125	10	10	5	-35.25	67.15
5	1.75	0.1	3.4	3.375	-18.19	35.62
6	1.75	3.4	0.1	5	-21.52	-52.85
7	1.75	6.7	10	0.125	-27.57	35.10
8	1.75	10	6.7	1.75	-33.51	47.59
9	3.375	0.1	6.7	5	-27.59	56.71
10	3.375	3.4	10	3.375	-37.02	63.74
11	3.375	6.7	0.1	1.75	-38.53	-61.96
12	3.375	10	3.4	0.125	-42.02	6.99
13	5	0.1	10	1.75	-23.30	58.03
14	5	3.4	6.7	0.125	-39.51	24.67
15	5	6.7	3.4	5	-46.10	39.03
16	5	10	0.1	3.375	-48.83	-56.26

Çizelge 4.28 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-9,14	-25,20	-36,29	-39,44	2249,0	3	749,7	5,47	<b>35.58</b>
<b>X2</b>	-7,31	-28,03	-34,82	-39,90	2460,8	3	820,3	5,99	<b>38.94</b>
<b>X3</b>	-17,26	-30,09	-31,93	-30,79	567,5	3	189,2	1,38	8.98
<b>X4</b>	-17,32	-27,34	-32,78	-32,62	631,1	3	210,4	1,54	9.98
<b>Hata</b>					410,9	3			6.50
<b>Toplam</b>					6319,2	15			100

Çizelge 4.29 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	16,36	16,36	16,36	16,36	0,0	3	0,0	0,77	0
<b>X2</b>	16,36	16,36	16,36	16,36	0,0	3	0,0	0,95	0
<b>X3</b>	-63,9	27,89	<b>45,57</b>	<b>56,00</b>	36059,5	3	12019,8	2,2E+14	<b>93.51</b>
<b>X4</b>	-4,52	18,39	24,09	27,51	2499,0	3	833,0	1,5E+13	6.481
<b>Hata</b>					0,0	3	0,0		0
<b>Toplam</b>					38558,4	15			100

Çizelge 4.27 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$X_1$	$0.125 < X_1 < 5$	$0.125 < X_1 < 1.75$
$X_2$	$0.1 < X_2 < 10$	$0.1 < X_2 < 3.4$
$X_3$	$0.1 < X_3 < 10$	$X_3 = 10$
$X_4$	$0.125 < X_4 < 5$	$0.125 < X_4 < 5$

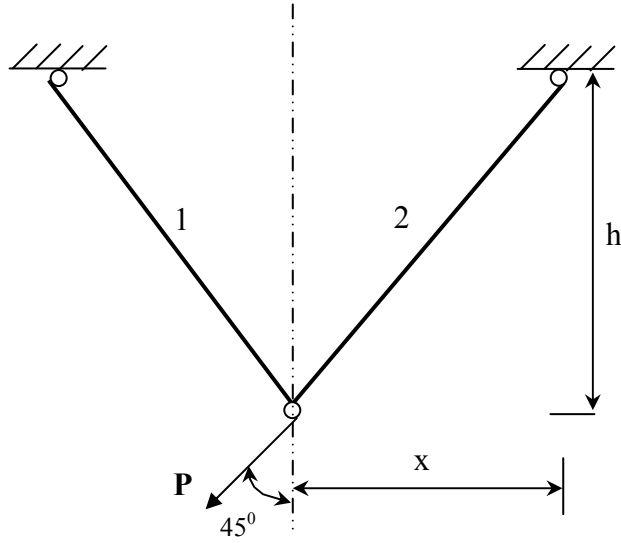
Çizelge 4.30 Çok amaçlı kaynaklı giriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar-1

<b>YÖNTEM</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Önerilen Yöntem</b>	2.089	0.00915
Genetic Algorithms – (Deb 2001)	2.431	0.0157
<b>Önerilen Yöntem</b>	3.7292	0.00468
Genetic Algorithms – (Deb 1999)	3.944	0.005

Çizelge 4.31 Çok amaçlı kaynaklı giriş problemi için karşılaştırmalı sonuçlar-2

<b>YÖNTEM</b>	<b>F1</b>	<b>F2</b>
<b>Constraint matching-</b> (Ray ve ark. 2002)	(3.151, 0.008292)	(112.733,0.000440)
<b>Önerilen Yöntem</b>	( 2.472 ;0.007621 )	(35.672; 0.000439)
<b>Local Search-</b> (Ray ve ark. 2002)	(2.057, 0.010397)	(158.030,0.000439)
<b>Önerilen Yöntem</b>	( 1.949, 0.001009)	(35.672; 0.000439)
<b>Migrating leaders-</b> (Ray ve ark. 2002)	(2.200,0.010477)	(44.607, 0.000439)
<b>Önerilen Yöntem</b>	(1.885; 0.01044)	(35.672; 0.000439)
<b>Foundational strategy-</b> (Ray ve ark. 2002)	(2.169 ; 0.011634)	(39.22,0.000439)
<b>Önerilen Yöntem</b>	(1.840 ; 0.010821)	(35.672; 0.000439)

#### 4.1.2.4 Çok Amaçlı İki Çubuklu Kafes Sistemi Problemi



Şekil 4.8 Çok amaçlı iki çubuklu kafes sisteminin tasarım parametreleri

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

$$f_1(x) = 2\rho h x_2 \sqrt{1 + x_1^2} \quad (4.88)$$

$$f_2(x) = \frac{Ph(1 + x_1^2)^{1.5} (1 + x_1^4)^{0.5}}{2\sqrt{2}Ex_1^2 x_2} \quad (4.89)$$

Kısıt fonksiyonları:

$$\frac{P(1 + x_1)(1 + x_1^2)^{0.5}}{2\sqrt{2}x_1 x_2} - \sigma_0 \leq 0.0 \quad (4.90)$$

$$\frac{P(1 - x_1)(1 + x_1^2)^{0.5}}{2\sqrt{2}x_1 x_2} - \sigma_0 \leq 0.0 \quad (4.91)$$

$$\rho = 0.283 \text{ lb/in}^3, h = 100 \text{ in}, P = 10^4 \text{ lb}, E = 3.0E07 \text{ lb/in}^2, \sigma_0 = 2.0E04 \text{ lb/in}^2, A_{\min} = 1.0 \text{ in}^2$$

$$x_1 = x/h, \quad (4.92)$$

$$x_2 = A/A_{\min} \quad (4.93)$$

Tasarım değişkenleri:  $0.1 < X_1 < 2.25$ ,  $0.5 < X_2 < 2.5$

Çizelge 4.32 Amaç fonksiyonları için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	S/G-1	S/G-2
1	0.1	0.5	-29,0789	-7,5770
2	0.1	1.17	-36,4632	-0,1930
3	0.1	1.84	-40,3959	3,7404
4	0.1	2.5	-43,0583	6,4022
5	0.81	0.5	-31,2266	20,7649
6	0.81	1.17	-38,6109	28,1498
7	0.81	1.84	-42,5435	32,0819
8	0.81	2.5	-45,2060	34,7462
9	1.52	0.5	-34,2345	16,2108
10	1.52	1.17	-41,6188	23,5949
11	1.52	1.84	-45,5515	27,5276
12	1.52	2.5	-48,2139	30,1924
13	2.25	0.5	-36,8622	8,9071
14	2.25	1.17	-44,2466	16,2914
15	2.25	1.84	-48,1792	20,2244
16	2.25	2.5	-50,8416	22,8872

Çizelge 4.33 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	<b>-37,24</b>	-39,39	-42,40	-45,03	139,48	3	46,49	4,0E+12	23.902
<b>X2</b>	<b>-32,85</b>	-40,23	-44,16	-46,83	444,07	3	148,02	1,3E+13	<b>76.098</b>
<b>Hata</b>					0,000	3	0,000		0
<b>Toplam</b>					583.56	15			100

Çizelge 4.34 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	0,59	<b>28,93</b>	24,38	17,07	1855,63	3	618,54	1,6E+09	<b>80.687</b>
<b>X2</b>	9,57	16,96	20,89	<b>23,55</b>	444,13	3	148,04	3,8E+08	19.313
<b>Hata</b>					0,00	3	0,00		0
<b>Toplam</b>					2299.76	15			100

Çizelge 4.35 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

Tasarım Değişkenleri	Literatür	Önerilen Yöntem
$x_1$	$0.1 < X_1 < 2.25$	$0.1 < X_1 < 0.81$
$x_2$	$0.5 < X_2 < 2.5$	$0.5 < X_2 < 2.5$

Çizelge 4.36 Çok amaçlı iki çubuklu kafes sistemi için karşılaştırılmalı sonuçlar-1

YÖNTEM	F1	F2
Önerilen Yöntem -1	81.340	0.0407
(Rao 1987)	81.4137	0.0408
Önerilen Yöntem -2	83.872	0.0395
(Cheng 1998)	83.9268	0.0395

Çizelge 4.37 Çok amaçlı iki çubuklu kafes sistemi için karşılaştırılmalı sonuçlar-2

YÖNTEM	F1	F2
Constraint Matching -(Ray ve ark. 2002)	(186.38, 0.0182)	(36.48, 0.0913)
Önerilen Yöntem	(185.501; 0.0182)	(36.43; 0.0912)
Local search-(Ray ve ark. 2002)	(189.07, 0.0182)	(36.95, 0.0898)
Önerilen Yöntem	(185.50; 0.0182)	(36.94; 0.0898)
Migrating leaders -(Ray ve ark. 2002)	(184.52, 0.0183)	(36.22; 0.0973)
Önerilen Yöntem	(184.15; 0.0182)	(36.13; 0.0944)
Foundational Strategy -(Ray ve ark. 2002)	(184.82, 0.0182)	(37.50, 0.0909)
Önerilen Yöntem	(184.75; 0.0182)	(36.57; 0.0908)
(Ray ve Tai 2001)	(188.33, 0.0183)	(36.77, 0.0919)
Önerilen Yöntem	(184.75 ; 0.0182)	(36.36; 0.0917)

#### 4.1.2.5 Çok Amaçlı Helisel Yay Problemi

Çok amaçlı helisel yay optimizasyonu probleminde amaç fonksiyonları hacmin ve gerilmenin minimize edilmesidir (Deb 2000).  $x_1$ , sarım sayısı,  $x_2$  tel çapı,  $x_3$  ortalama yay çapını göstermektedir. Probleme  $x_1$  değerinin tam sayı olması ve  $x_2$  değerinin standartlarda bulunan çizelge 4.38 deki değerlerden seçilmesi istenmektedir.

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

$$F_1(x) = 0.25\pi^2 x_2^2 x_3 (x_1 + 2) \quad (4.94)$$

$$F_2(x) = \frac{8KF_{\max} x_3}{x_2^3} \quad (4.95)$$

Kısıt fonksiyonları;

$$g_1(x) = S - \frac{8KF_{\max} x_3}{x_2^3} \geq 0 \quad (4.96)$$

$$g_2(x) = L_{\max} - L_f \geq 0 \quad (4.97)$$

$$g_3(x) = x_2 - d_{\min} \geq 0 \quad (4.98)$$

$$g_4(x) = D_{\max} - (x_3 + x_2) \geq 0 \quad (4.99)$$

$$g_5(x) = C_r - 3 \geq 0 \quad (4.100)$$

$$g_6(x) = \delta_{pm} - \delta_p \geq 0 \quad (4.101)$$

$$g_7(x) = \frac{F_{\max} - F_p}{k} - \delta_w \geq 0 \quad (4.102)$$

$$g_8(x) = V_{\max} - 0.25\pi^2 x_2^2 x_3 (x_1 + 2) \quad (4.103)$$

$$C = D / d, \quad (4.104)$$

$$C_f = \frac{4C-1}{4C-4} + \frac{0.615}{C} \quad (4.105)$$

$$K = \frac{Gd^4}{8ND^3}, \quad (4.106)$$

$$\delta_p = \frac{F_p}{K}, \quad (4.107)$$

$$L_f = \frac{F_{\max}}{K} + 1.05 (N+2) d \quad (4.108)$$

Tasarım değişkenleri:  $0.1 < X_1 < 30$ ,  $0.009 < X_2 < 0.5$ ,  $1 < X_3 < 3$

Çizelge 4.38 Standart tel çapları (Kannan ve Kramer 1993)

0.0090	0.0095	0.0104	0.0118	0.0128	0.0132
0.0140	0.0150	0.0162	0.0173	0.0180	0.0200
0.0230	0.0250	0.0280	0.0320	0.0350	0.0410
0.0470	0.0540	0.0630	0.0720	0.0800	0.0920
0.1050	0.1200	0.1350	0.1480	0.1620	0.1770
0.1920	0.2070	0.2250	0.2440	0.2630	0.2830
0.3070	0.3310	0.3620	0.3940	0.4375	0.5000

Çizelge 4.39 Amaç fonksiyonları için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	S/G-1	S/G-2
1	1	0.009	1	64,4431	-190,971
2	1	0.172	1.7	8,5891	-119,785
3	1	0.335	2.4	-5,9901	-105,858
4	1	0.5	3	-14,8874	-97,679
5	10	0.009	1.7	47,7929	-195,536
6	10	0.172	1	1,1598	-116,005
7	10	0.335	3	-19,9722	-107,470
8	10	0.5	2.4	-24,9913	-96,232
9	20	0.009	2.4	39,5328	-198,513
10	20	0.172	3	-13,6555	-124,205
11	20	0.335	1	-15,6938	-100,610
12	20	0.5	1.7	-27,2610	-94,273
13	30	0.009	3	34,3401	-200,442
14	30	0.172	2.4	-14,9731	-122,435
15	30	0.335	1.7	-23,5582	-103,539
16	30	0.5	1	-25,9065	-92,447

Çizelge 4.40 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	13,03	0,99	-4,269	-7,52	978,4	3	326,1	5,9E+0	7.43
<b>X2</b>	<b>46,52</b>	<b>-4,71</b>	<b>-16,30</b>	-23,26	11970,8	3	3990,3	7,2E+0	<b>90.98</b>
<b>X3</b>	6,00	1,39	-1,605	-3,543	207,3	3	69,1	1,3E+0	1.57
<b>Hata</b>					0,0	6	0,0		0
<b>Toplam</b>					13156.5	15			100

Çizelge 4.41 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-128,57	-128,81	-129,40	-129,71	3,3	3	1,1	2,51	0.012
<b>X2</b>	-196,36	<b>-120,60</b>	<b>-104,36</b>	<b>-95,15</b>	25441,8	3	8480,6	19E+0.4	<b>99.48</b>
<b>X3</b>	-125,00	-128,28	-130,76	-132,44	125,5	3	41,8	95.23	0.49
<b>Hata</b>					2,6	6	0,4		0.011
<b>Toplam</b>					25573,2	15			100



Çizelge 4.42 Tasarım değişkenleri değişim aralıkları

	$X_1$	$X_2$	$X_3$
Literatür	$1 < X_1 < 30$	$0.009 < X_2 < 0.5$	$1 < X_3 < 3$
Önerilen yöntem -F1	$1 < X_1 < 20$	$0.009 < X_2 < 0.335$	$1 < X_3 < 2.4$
Önerilen yöntem -F2	$10 < X_1 < 30$	$0.172 < X_2 < 0.5$	$1 < X_3 < 2.4$

Çizelge 4.43 Çok amaçlı helisel yay için en iyi sonuçlar

YÖNTEM	FONKSİYON	$F_1$	$F_2$
(Deb 2000)	Min Volume-F1*	2.690	187053
	Min Stress-F2*	24.189	61949
Önerilen Yöntem	Min Volume -F1	2.659	188054.371
	Min Stress -F2	23.943	60139.684

#### 4.1.2.6. Çok Amaçlı Disk Fren Problemi

Minimize edilecek amaç fonksiyonları :

$$f_1(x) = 4.9x10^{-5}(x_2^2 - x_1^2)(x_4 - 1) \quad (4.109)$$

$$f_2(x) = \frac{9.82x10^6(x_2^2 - x_1^2)}{x_3x_4(x_2^3 - x_1^3)} \quad (4.110)$$

Kısıt Fonksiyonları:

$$g_1(x) = (x_2 - x_1) - 20 \geq 0 \quad (4.111)$$

$$g_2(x) = 30 - 2.5(x_4 + 1) \geq 0 \quad (4.112)$$

$$g_3(x) = 0.4 - \frac{x_3}{3.14(x_2^2 - x_1^2)} \geq 0 \quad (4.113)$$

$$g_4(x) = 1 - \frac{2.66x10^{-3}x_3(x_2^3 - x_1^3)}{(x_2^2 - x_1^2)^2} \geq 0 \quad (4.114)$$

$$g_5(x) = \frac{2.66x10^{-2}x_3x_4(x_2^3 - x_1^3)}{(x_2^2 - x_1^2)} - 900 \geq 0 \quad (4.115)$$

Çizelge 4.44 Amaç fonksiyonları için S/G oranları

Deney No	X1	X2	X3	X4	S/G-1	S/G-2
1	10	10	0.9	0.9	17,9239	-33,9731
2	10	23.3	2.26	2.26	-3,7165	-16,6782
3	10	36.6	3.62	3.62	-12,5473	-8,1103
4	10	50	5	5	-18,5351	-2,1102
5	33.3	10	2.26	3.62	-0,2567	-12,1446
6	33.3	23.3	0.9	5	-10,2403	-12,7338
7	33.3	36.6	5	0.9	11,1191	-22,4679
8	33.3	50	3.62	2.26	-8,8684	-11,9341
9	56.6	10	3.62	5	6,9222	-5,6298
10	56.6	23.3	5	3.62	-3,5357	-5,8584
11	56.6	36.6	0.9	2.26	-3,8458	-19,5937
12	56.6	50	2.26	0.9	9,3449	-26,5688
13	80	10	5	2.26	11,5351	-10,9259
14	80	23.3	3.62	0.9	25,3844	-24,5222
15	80	36.6	2.26	5	-9,7031	-6,8247
16	80	50	0.9	3.62	-11,2005	-13,7702

Çizelge 4.45 Birinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-4,21	-2,06	<b>2,22</b>	<b>4,00</b>	172,05	3	57,35	17,91	7,471
<b>X2</b>	9,03	1,97	-3,74	-7,31	611,91	3	203,9	63,69	26,57
<b>X3</b>	-1,84	-1,08	<b>2,72</b>	<b>0,14</b>	47,98	3	15,99	4,99	2,083
<b>X4</b>	<b>15,94</b>	<b>-1,22</b>	-6,88	-7,88	1461,2	3	487,0	152,0	<b>63,45</b>
<b>Hata</b>					9,61	3	3,20		0,42
<b>Toplam</b>					2302,8	15			100

Çizelge 4.46 İkinci amaç fonksiyonu için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-15,21	-14,82	<b>-14,41</b>	<b>-14,01</b>	3,24	3	1,082	275,9	0,281
<b>X2</b>	-15,66	-14,94	-14,24	-13,59	9,57	3	3,191	813,6	0,829
<b>X3</b>	-20,01	-15,55	<b>-12,54</b>	<b>-10,34</b>	210,4	3	70,1	1,8E+04	18,228
<b>X4</b>	-26,88	-14,78	<b>-9,97</b>	<b>-6,82</b>	931,1	3	310,3	7,9E+04	<b>80,659</b>
<b>Hata</b>					0,012		0,004		0,003
<b>Toplam</b>					1154,4	15			100

Çizelge 4.47 Çok amaçlı disk fren problemi için karşılaştırmalı sonuçlar

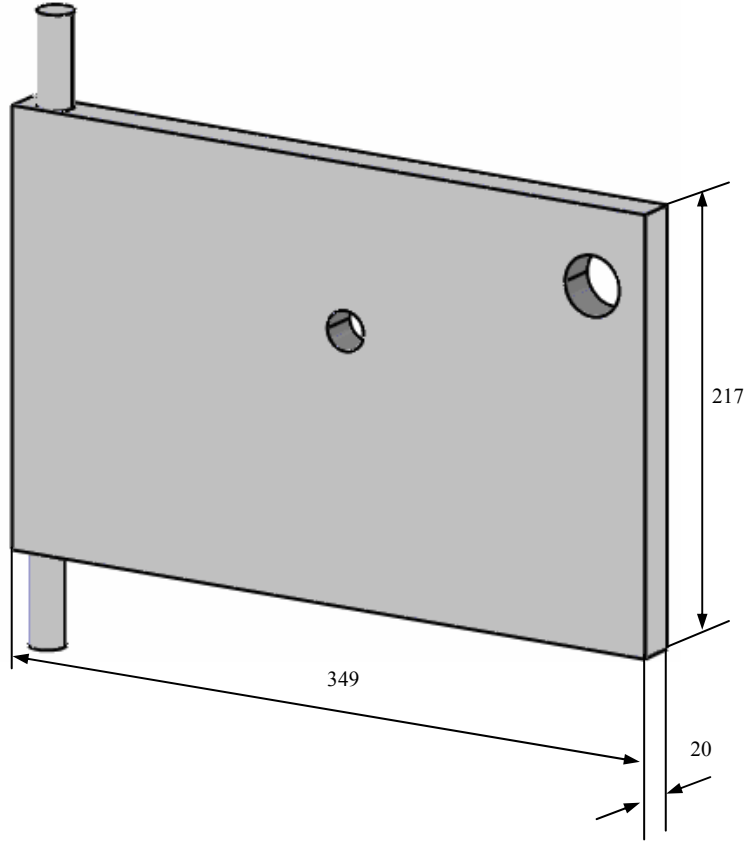
YÖNTEM	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
Önerilen Yöntem <b>Minimum F1</b>	1.38	2.74
Önerilen Yöntem <b>Minimum F2</b>	2.78	2.07
(Osyczka ve Kundu 1997) <b>Minimum F1</b>	1.7	2.9
(Osyczka ve Kundu 1997) <b>Minimum F2</b>	3.4	2.1
Önerilen Yöntem <b>Minimum F1</b>	0.1617	13.3
Önerilen Yöntem <b>Minimum F2</b>	2.66	2.08
(Ray ve Liew 2002) <b>Minimum F1</b>	0.2	32
(Ray ve Liew 2002) <b>Minimum F2</b>	2.7	2

#### 4.1.3. Taşıt Elemanlarının Çok Amaçlı Optimizasyonu

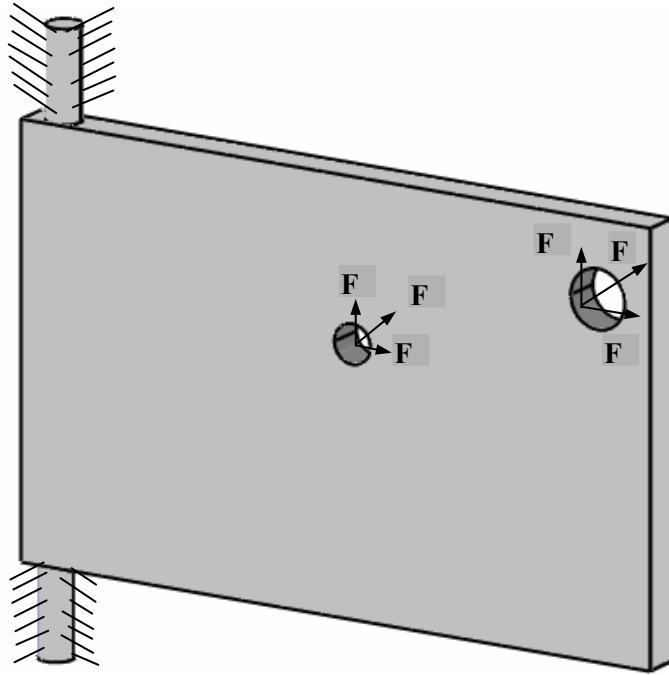
Taşıt elemanlarının kendisinden beklenen özelliklerden taviz verilmeksizin daha hafif tasarlanması maliyet, araç performansı gerekse hafif tasarımların sonucu olarak yakıt emisyonlarının azalmasına etkisi olduğundan istenen bir durumdur. Bu tez kapsamında geliştirilen bütünlük optimizasyon metodu tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik problemlerinde doğrulandıktan ve etkinliği literatürde geliştirilen yöntemlerden daha iyi sonuçlar elde edildiği kanıtlandıktan sonra taşıt elemanlarının çok amaçlı optimizasyonuna uygulanmıştır.

Bu tez kapsamında çok amaçlı optimizasyonu yapılan üç adet taşıt elemanının sınır şartları bir otomobil fabrikasından alınmıştır. Uygulama parçaları, bağlantı yerleri sabit tutularak ve otomobil fabrikasından alınan sınır şartları uygulanarak topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonunun temel mantığı, optimizasyonu yapılacak parçanın dış boyutlarında herhangi bir değişiklik olmaksızın, parçanın rijitliğini bozmayacak şekilde belirli bölgelerden boşaltılması esasına dayanır. Bu ifadeden de anlaşılacağı gibi topoloji optimizasyonunun şekil optimizasyonundan temel farklılığı, parçanın dış boyutlarında küçülme olmaksızın hacmin azalmasına olanak sağlamasıdır (Yıldız 2001, Yıldız ve ark. 2003). Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen malzeme dağılımı ve üretilebilirlik dikkate alınarak topoloji optimizasyonu sonrası uygulama parçalarının modelleri oluşturulmuştur (Yıldız ve ark. 2002, 2004). Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan modellerde uygun tasarım parametreleri ve bunların alt ve üst limitleri belirlenerek şekil optimizasyonu yapılmıştır. Her üç uygulama parçasında şekil optimizasyonunda amaç fonksiyonları olarak hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu istenmiş ve gerilmenin uygulama parçalarının malzemenin emniyetli gerilme değerini aşmaması istenmiştir. Şekil optimizasyonu, Ansys paket programının optimizasyon modülü, genetik algoritmalar ve önerilen bütünlük optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmıştır.

#### 4.1.3.1 Taşıt Salıncak Kolunun Çok Amaçlı Optimizasyonu

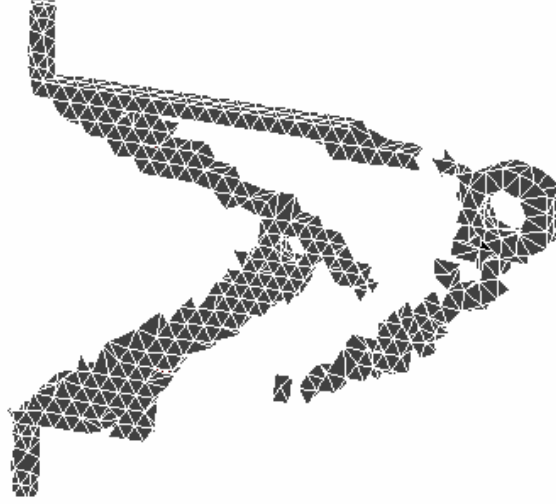


Şekil 4.9 Salıncak kolu başlangıç taslak modeli



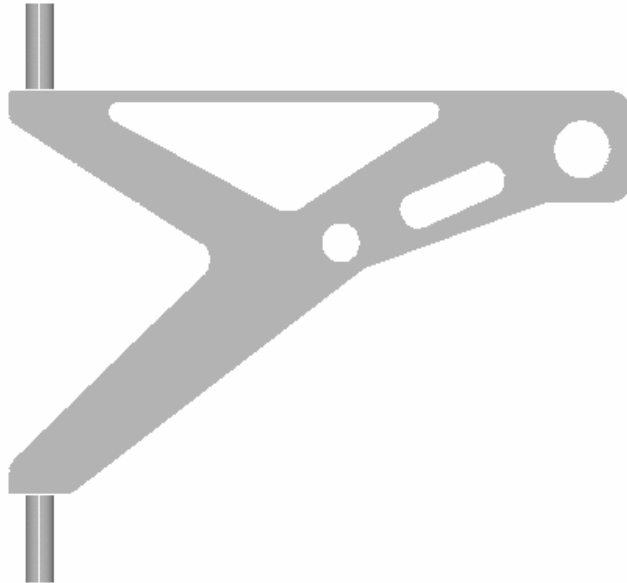
Şekil 4.10 Salıncak kolu sınır şartları

Otomobillerin süspansiyon sistemlerinde kullanılan Şekil 4.9 da görülen salıncak kolunun başlangıç modeline şekil 4.10 daki sınır şartları uygulanarak topoloji optimizasyonu yapılmıştır.

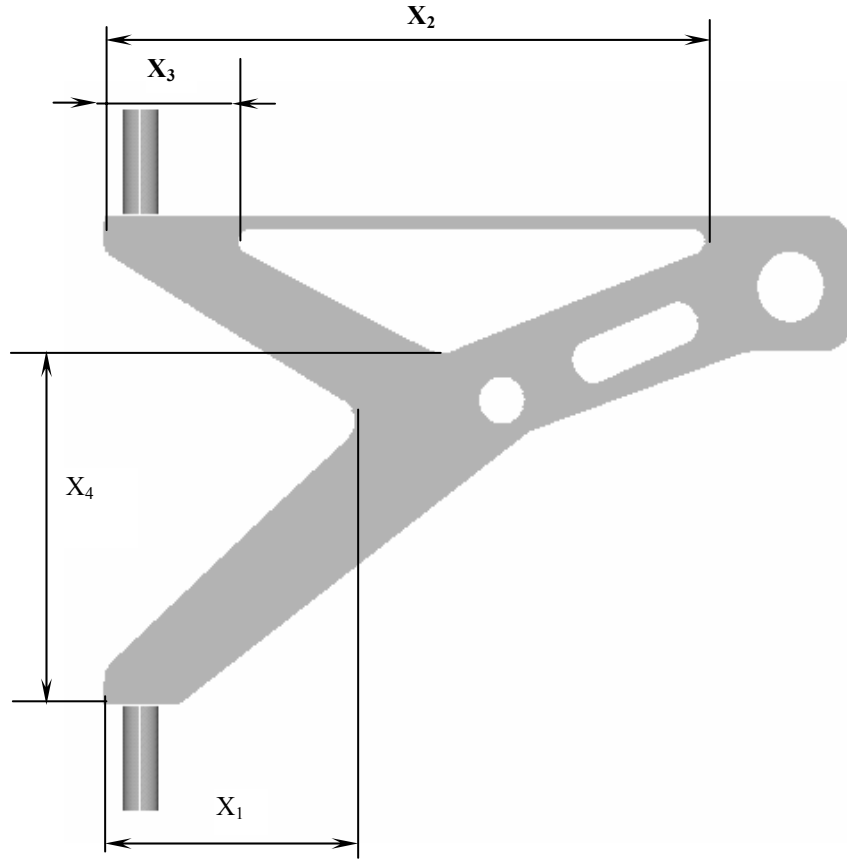


Şekil 4.11 Topoloji optimizasyonu sonrası kalan malzeme

Topoloji optimizasyonu sonrası şekil 4.11 de görülen malzeme dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen bu dağılım ve parçanın üretilebilirliği düşünülerek şekil 4.12 de görülen model oluşturulmuştur.



Şekil 4.12 Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model



Şekil 4.13 Salıncak kolu tasarım değişkenleri

Şekil 4.13 de verilen tasarım değişkenleri tanımlandıktan sonra bu değişkenlerin alt ve üst limitleri çizelge 4.48 deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.48 Salıncak kolu tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limit değerleri

Tasarım değişkenleri	Başlangıç değerleri	Alt limit	Üst limit
$X_1$ (mm)	120	100	136
$X_2$ (mm)	255	200	335
$X_3$ (mm)	42	16	115
$X_4$ (mm)	150	140	170

Şekil 4.12 de topoloji optimizasyonu sonrası modeli verilen salıncak kolunun çok amaçlı şekil optimizasyonu için amaç fonksiyonları olarak hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu olmak üzere iki amaç fonksiyonunun eş zamanlı olarak optimizasyonu istenmiş ve kısıt fonksiyonu olarak gerilmenin salıncak kolu malzemenin emniyetli gerilme değerini aşmaması istenmiştir.

Salıncak kolunun bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile şekil optimizasyonu için ilk olarak Taguchi'nin  $L_{16}$  ortogonal dizileri kullanarak 16 deney için amaç fonksiyonu değerleri olan hacim ve frekans değerleri bulunmuştur. Salıncak kolunun çok amaçlı optimizasyonunda hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu istendiğinden, minimum hacim için Taguchi'nin "en küçük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü, maksimum frekans için Taguchi'nin "en büyük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü kullanılarak iki amaç fonksiyonu için sırasıyla çizelge 4.49 da verilen S/G-1 ve S/G-2 ile gösterilen S/G oranları elde edilmiştir.

Çizelge 4.49 Amaç fonksiyonları ve kısıt fonksiyonu için S/G oranları

Deney No	$X_1$ (mm)	$X_2$ (mm)	$X_3$ (mm)	$X_4$ (mm)	S/G-1	S/G-2	S/G-3
1	100	200	16	140	-114,10	11,93	-49,61
2	100	245	49	150	-114,27	12,66	-49,09
3	100	290	82	160	-114,48	13,11	-48,47
4	100	335	115	170	-114,74	13,42	-48,56
5	112	200	49	160	-114,57	12,51	-48,37
6	112	245	16	170	-114,36	12,48	-48,84
7	112	290	82	140	-113,48	12,85	-48,30
8	112	335	115	150	-113,71	13,52	-48,31
9	124	200	82	170	-114,66	12,56	-47,98
10	124	245	115	160	-114,40	12,68	-48,19
11	124	290	16	150	-112,80	12,22	-48,88
12	124	335	49	140	-112,12	13,09	-48,57
13	136	200	115	150	-114,29	12,37	-48,30
14	136	245	82	140	-113,274	12,23	-48,51
15	136	290	49	170	-113,61	12,55	-48,39
16	136	335	16	160	-112,52	12,57	-49,17



Bu oranlar kullanılarak çizelge 4.50 ve çizelge 4.51 deki her bir amaç fonksiyonu için Anova tablosu oluşturulmuştur. Ayrıca mevcut sınır şartları altında parçada oluşan gerilme değeri, kısıt fonksiyonu olarak seçildiğinden ve gerilmenin minimum olması istendiğinden minimum gerilme için Taguchi'nin "en küçük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü kullanılarak çizelge 4.49 da verilen S/G-3 ile gösterilen değerler elde edilmiştir. Bu oranlar kullanılarak gerilme için çizelge 4.52 deki anova tablosu elde edilmiştir.

Çizelge 4.50 Minimum hacim için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-114,4	-114,0	-113,5	<b>-113,4</b>	2,574	3	0,8581	691,81	26.994
<b>X2</b>	-114,4	-114,1	-113,6	<b>-113,3</b>	3,204	3	1,0682	861,20	<b>33.604</b>
<b>X3</b>	<b>-113,4</b>	-113,6	-114,0	-114,3	1,621	3	0,5406	435,80	17.005
<b>X4</b>	<b>-113,2</b>	-113,8	-114,0	-114,3	2,132	3	0,7107	572,93	22.356
<b>Hata</b>					0,003	3	0,0012		0.041
<b>Toplam</b>					9.536	15			<b>100</b>

Çizelge 4.51 Maksimum frekans için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	12,79	<b>12,85</b>	12,64	12,44	0,396	3	0,132	7,07	14.970
<b>X2</b>	12,35	12,52	12,69	<b>13,15</b>	1,307	3	0,435	23,30	<b>49.338</b>
<b>X3</b>	12,31	12,71	12,69	<b>13,00</b>	0,784	3	0,261	13,98	29.601
<b>X4</b>	12,53	12,70	12,72	<b>12,76</b>	0,105	3	0,035	1,88	3.971
<b>Hata</b>					0,056	3	0,018		2.12
<b>Toplam</b>					2.650	15			<b>100</b>

Çizelge 4.52 Minimum gerilme için anova tablosu

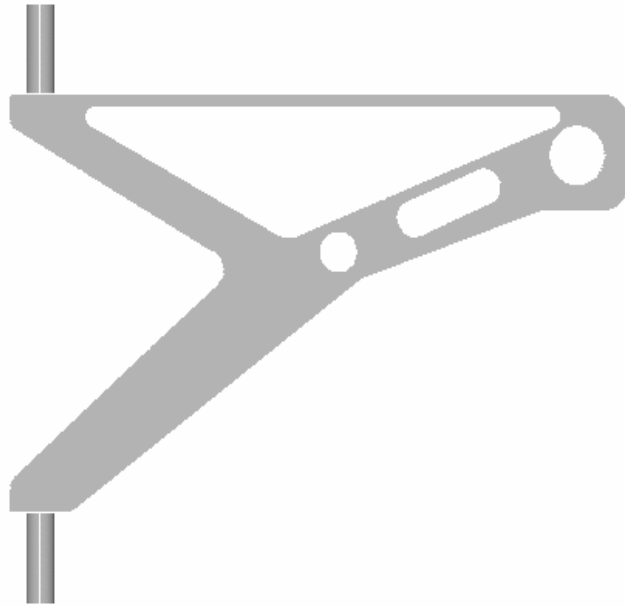
	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-48,94	-48,46	<b>-48,41</b>	-48,60	0,686	3	0,228	30,96	<b>25.899</b>
<b>X2</b>	-48,57	-48,66	<b>-48,52</b>	-48,66	0,045	3	0,015	2,07	1.733
<b>X3</b>	-49,13	-48,61	<b>-48,32</b>	-48,34	1,698	3	0,566	76,63	<b>64.103</b>
<b>X4</b>	-48,75	-48,65	-48,56	<b>-48,45</b>	0,196	3	0,065	8,88	7.427
<b>Hata</b>					0,022	3	0,007		0.838
<b>Toplam</b>					2.649	15			<b>100</b>

Çizelge 4.50 ve çizelge 4.51 deki amaç fonksiyonları için elde edilen anova tabloları ile çizelge 4.52 deki kısıt fonksiyonu olan gerilme için elde edilen anova tablosu kullanılarak tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri çizelge 4.53 deki gibi tekrar belirlenmiştir.

Çizelge 4.53 Salıncak kolu tasarım değişkenleri aralıkları

Tasarım değişkenleri	Başlangıç aralıkları	Yeni aralıklar
$X_1$ (mm)	$100 < X_1 < 136$	$112 < X_1 < 136$
$X_2$ (mm)	$200 < X_2 < 335$	$X_2 = 335$
$X_3$ (mm)	$16 < X_3 < 115$	$16 < X_3 < 115$
$X_4$ (mm)	$140 < X_4 < 170$	$140 < X_4 < 170$

Salıncak kolunun çok amaçlı şekil optimizasyonu, Ansys paket programının optimizasyon modülü, genetik algoritmalar ve önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak çizelge 4.54 de verilmiştir. Şekil 4.14 de önerilen yöntem ile elde edilen salıncak kolunun optimum modeli görülmektedir.

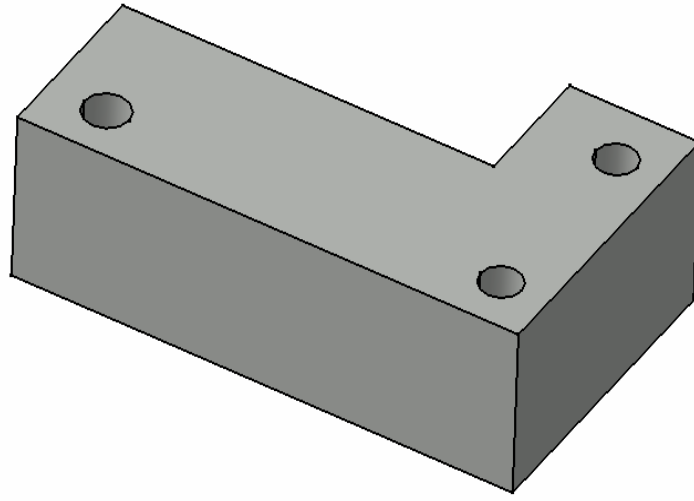


Şekil 4.14 Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model

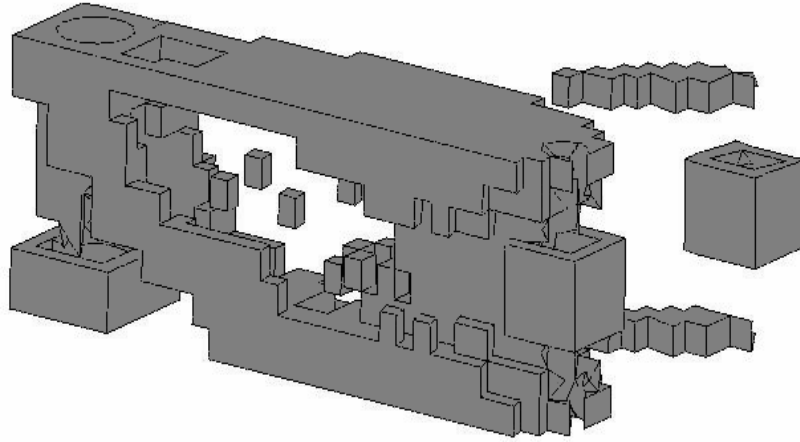
Çizelge 4.54 Taşıt salıncak kolu için karşılaştırmalı sonuçlar

	<b>Birinci Amaç Fonksiyonu</b>	<b>İkinci Amaç Fonksiyonu</b>	<b>Kısıt Fonksiyonu</b>
	<b>Hacim (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Frekans (Hertz)</b>	<b>Gerilme (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Başlangıç koşulları</b>	475372.79	273. 995	4.163
<b>ANSYS ile şekil optimizasyonu (hacim azalması için)</b>	435094.48	274. 526	4.113
<b>GA ile şekil optimizasyonu</b>	407251.12	299. 120	4.232
<b>Önerilen bütünleşik yöntem ile şekil optimizasyonu</b>	387241.97	279. 164	4.368

#### 4.1.3.2 Taşıt Sürgü Kolu'nun Çok Amaçlı Optimizasyonu

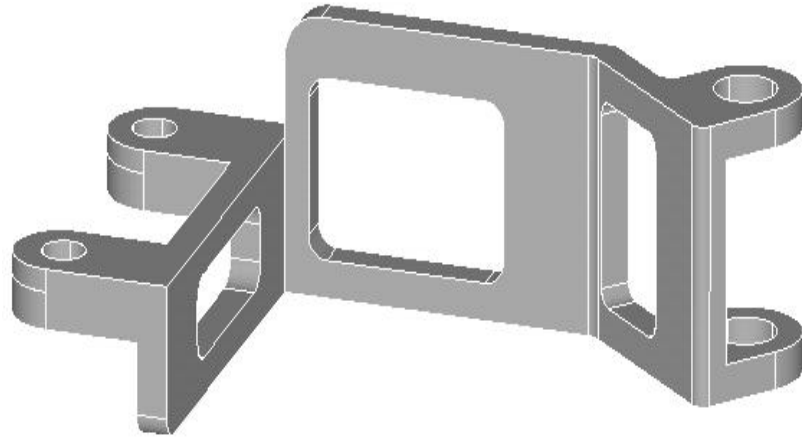


Şekil 4.15 Sürgü kolu başlangıç taslak modeli



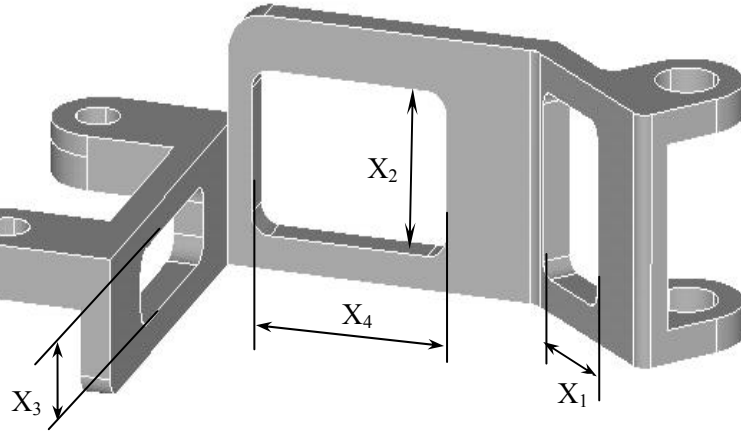
Şekil 4.16 Topoloji optimizasyonu sonrası kalan malzeme

Ticari araçların sürgülü kapılarının açma-kapama sırasında kızak üzerinde belirlenen bir eksende kaymasını sağlayan Şekil 4.15 de görülen taşıt sürgü kolu başlangıç modelinin topoloji optimizasyonu sonrası Şekil 4.16 daki malzeme dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen bu dağılım ve parçanın üretilebilirliği düşünülerek Şekil 4.17 de görülen model oluşturulmuştur.



Şekil 4.17 Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model

Şekil 4.17 deki topoloji optimizasyonu sonrası elde edilen model de şekil 4.18 de verilen tasarım değişkenleri tanımlandıktan sonra bu değişkenlerin alt ve üst limitleri çizelge 4.55 deki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.18 Sürgü kolu tasarım değişkenleri

Çizelge 4.55 Sürgü kolu tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limit değerleri

Tasarım değişkenleri	Başlangıç değerleri	Alt limit	Üst limit
$X_1$ (mm)	18	6	30
$X_2$ (mm)	24	21	27
$X_3$ (mm)	11	8	14
$X_4$ (mm)	32	28	46

Şekil 4.16 da topoloji optimizasyonu sonrası model verilen sürgü kolunun çok amaçlı şekil optimizasyonu için amaç fonksiyonları olarak hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu olmak üzere iki amaç fonksiyonunun eş zamanlı olarak optimizasyonu istenmiş ve kısıt fonksiyonu olarak gerilmenin sürgü kolu malzemenin emniyetli gerilme değerini aşmaması istenmiştir.

Sürgü kolunun bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile şekil optimizasyonu için ilk olarak Taguchi'nin  $L_{16}$  ortogonal dizileri kullanarak 16 deney için amaç fonksiyonu değerleri olan hacim ve frekans değerleri bulunmuştur. Sürgü kolunun çok amaçlı optimizasyonunda hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu istendiğinden, minimum hacim için Taguchi'nin "en küçük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü, maksimum frekans için Taguchi'nin "en büyük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü kullanılarak iki amaç fonksiyonu için sırasıyla çizelge 4.56 de verilen S/G-1 ve S/G-2 ile gösterilen Sinyal/ gürültü oranları elde edilmiştir.

Çizelge 4.56 Amaç fonksiyonları ve kısıt fonksiyonu için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	S/G 1	S/G-2	S/G-3
1	6	21	8	28	-87,4994	18,1768	-45,9201
2	6	23	10	34	-87,0174	17,8102	-47,5330
3	6	25	12	40	-86,4576	17,5015	-48,7162
4	6	27	14	46	-85,8060	17,2520	-49,4962
5	14	21	10	40	-86,4700	18,5626	-47,1636
6	14	23	8	46	-86,1422	18,3367	-49,1156
7	14	25	12	28	-86,6294	17,9090	-47,6109
8	14	27	14	34	-86,0432	17,5266	-49,1908
9	22	21	12	46	-85,5943	19,2728	-49,7897
10	22	23	14	40	-85,5577	18,8494	-48,1298
11	22	25	8	34	-86,1251	18,4956	-48,0728
12	22	27	10	28	-86,1935	18,1982	-48,5738
13	30	21	14	34	-85,5347	20,0709	-46,2297
14	30	23	12	28	-85,8327	19,7636	-47,0242
15	30	25	10	46	-84,7870	19,7218	-52,5757
16	30	27	8	40	-85,1112	19,2191	-49,0928

Bu oranlar kullanılarak çizelge 4.57 ve çizelge 4.58 deki her bir amaç fonksiyonu için Anova tablosu oluşturulmuştur. Ayrıca mevcut sınır şartları altında parçada oluşan gerilme değeri kısıt fonksiyonu olarak seçildiğinden ve gerilmenin minimum olması istendiğinden minimum gerilme için Taguchi'nin "en küçük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü kullanılarak çizelge 4.56 da verilen S/G-3 ile gösterilen S/G değerleri elde edilmiştir. Bu oranlar kullanılarak gerilme için çizelge 4.59 daki anova tablosu elde edilmiştir.

Çizelge 4.57 Minimum hacim için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-86,70	-86,32	-85,87	<b>-85,32</b>	4,24	3	1,41	539,9	<b>62.43</b>
<b>X2</b>	-86,27	-86,14	-86,00	<b>-85,79</b>	0,44	3	0,14	56,09	6.473
<b>X3</b>	-86,22	-86,12	-86,13	<b>-85,74</b>	0,29	3	0,09	37,03	4.281
<b>X4</b>	-86,54	-86,18	-85,90	<b>-85,58</b>	1,81	3	0,60	230,9	<b>26.70</b>
<b>Hata</b>					0,007	3	0,00		
<b>Toplam</b>					6.79	15			

Çizelge 4.58 Maksimum frekans için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	17.69	18.08	18.70	<b>19.69</b>	9,18	3	3,06	1512,4	<b>81.745</b>
<b>X2</b>	<b>19.02</b>	18.69	18.41	18.05	1,97	3	0,65	324,91	17.55
<b>X3</b>	18.56	18.57	<b>18.61</b>	18.42	0,009	3	0,003	1,60	0.008
<b>X4</b>	18.51	18.48	18.53	<b>18.65</b>	0,06	3	0,021	10,67	0.569
<b>Hata</b>					0,006	3	0,002		
<b>Toplam</b>					11.24	15			

Çizelge 4.59 Minimum gerilme için anova tablosu

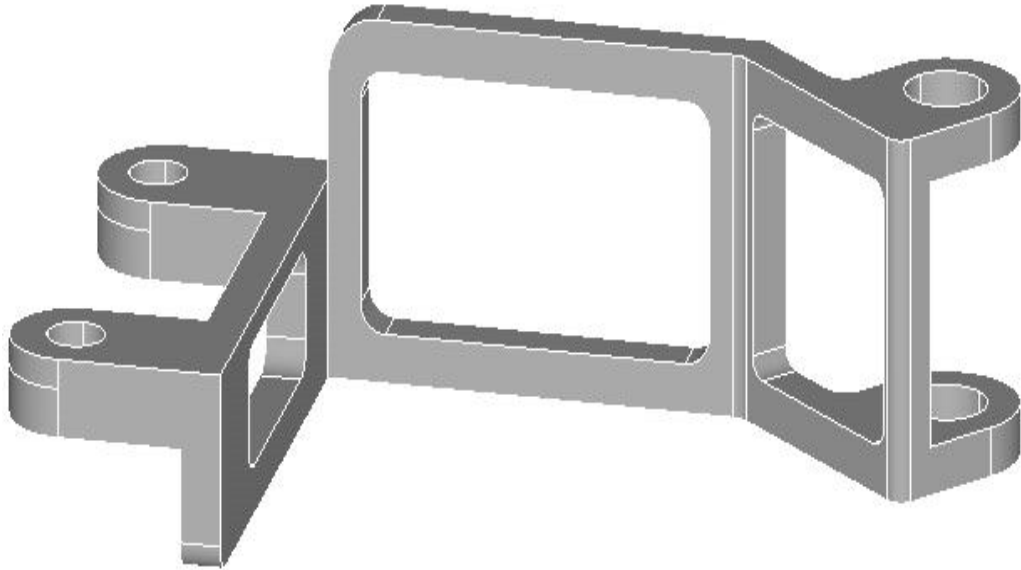
	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	<b>-47,92</b>	-48,27	-48,64	-48,73	1,672	3	0,557	0,47	4.373
<b>X2</b>	<b>-47,28</b>	-47,95	-49,24	-49,09	10,55	3	3,519	2,98	27.616
<b>X3</b>	<b>-48,05</b>	-48,96	-48,29	-48,26	2,011	3	0,670	0,57	5.260
<b>X4</b>	<b>-47,28</b>	-47,76	-48,28	-50,24	20,44	3	6,815	5,77	<b>53.480</b>
<b>Hata</b>					3,544	3	1,181		
<b>Toplam</b>					38.231	15			

Çizelge 4.57 ve çizelge 4.58 deki amaç fonksiyonları için elde edilen anova tabloları ile çizelge 4.59 daki kısıt fonksiyonu olan gerilme için elde edilen anova tablosu kullanılarak tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri çizelge 4.60 daki gibi tekrar belirlenmiştir.

Çizelge 4.60 Sürgü kolu tasarım değişkenleri aralıkları

Tasarım değişkenleri	Başlangıç aralıkları	Yeni aralıklar
$X_1$ (mm)	$6 < X_1 < 30$	$X_1 = 30$
$X_2$ (mm)	$21 < X_2 < 27$	$21 < X_2 < 27$
$X_3$ (mm)	$8 < X_3 < 14$	$8 < X_3 < 14$
$X_4$ (mm)	$28 < X_4 < 46$	$28 < X_4 < 46$

Sürgü kolunun çok amaçlı şekil optimizasyonu, Ansys paket programının optimizasyon modülü, Taguchi'nin yaklaşımı, genetik algoritmalar ve önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak çizelge 4.61 de verilmiştir. Şekil 4.19 da, önerilen yöntem ile elde edilen sürgü kolunun optimum modeli görülmektedir.



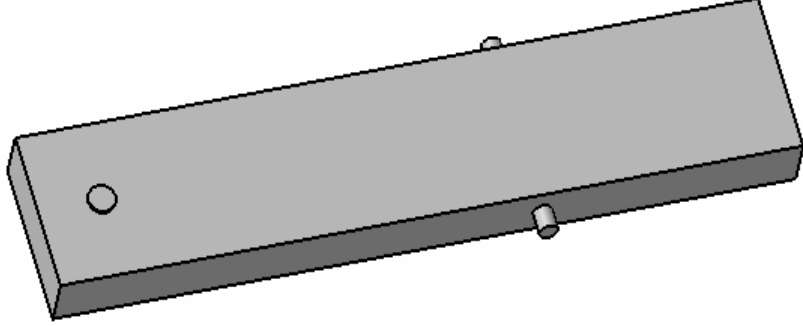
Şekil 4.19 Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model



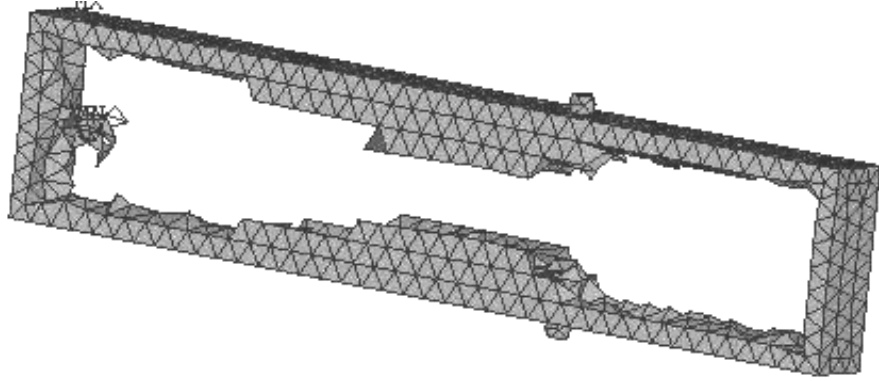
Çizelge 4.61 Taşıt sürgü kolu için karşılaştırmalı sonuçlar

	Birinci Amaç Fonksiyonu	İkinci Amaç Fonksiyonu	Kısıt Fonksiyonu
	Hacim (mm <sup>3</sup> )	Frekans (Hertz)	Gerilme (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Başlangıç koşulları</b>	20727.2216	8.24924	256.53106
<b>ANSYS ile şekil optimizasyonu (hacim azalması için)</b>	18763.9437	8.08765	277.04791
<b>GA ile şekil optimizasyonu</b>	17663.682	8.793	293.246
<b>Robust design</b>	17962.221	10.332	<b>404.682</b> G <sub>max</sub> <300
<b>Önerilen Bütünleşik Yöntem ile şekil optimizasyonu</b>	16754.280	9.307	290.961

#### 4.1.3.3 Taşıt Debriyaj Çatalı'nın Çok Amaçlı Optimizasyonu

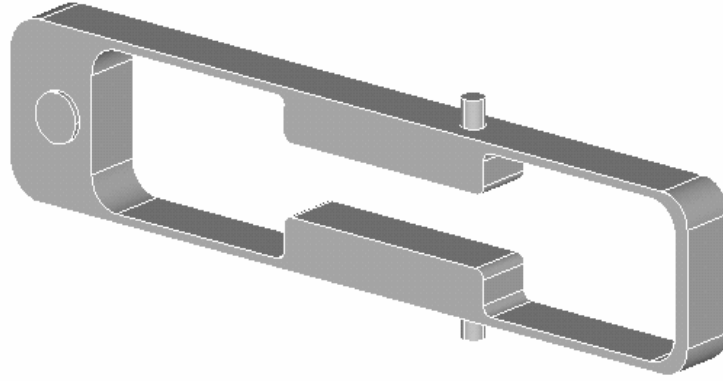


Şekil 4.20 Debriyaj çatalı başlangıç taslak modeli

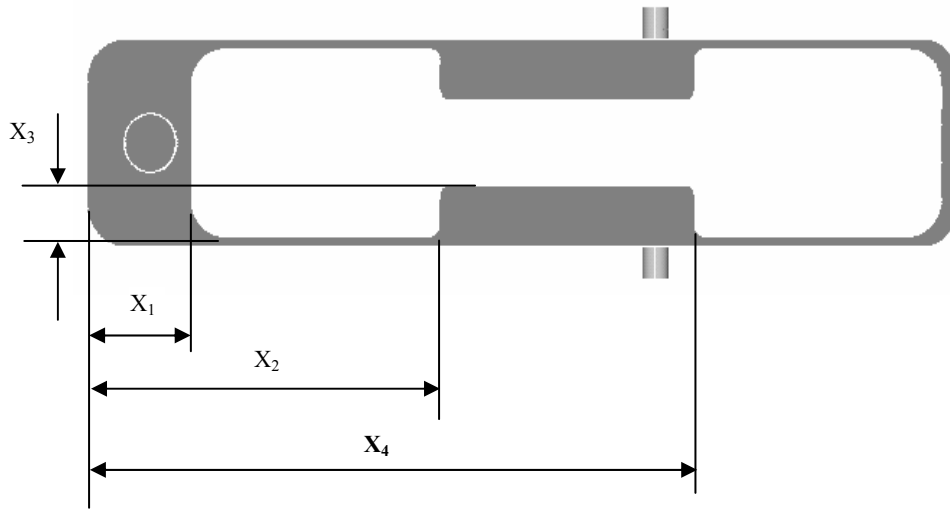


Şekil 4.21 Topoloji optimizasyonu sonrası yapı

Şekil 4.21 da görülen debriyaj çatalı başlangıç modelinin topoloji optimizasyonu sonrasında şekil 4.21 de görülen malzeme dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen bu dağılım ve parçanın üretilebilirliği düşünülerek şekil 4.22 de görülen model oluşturulmuştur.



Şekil 4.22 Topoloji optimizasyonu sonrası oluşturulan model



Şekil 4.23 Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri

Şekil 4.13 de verilen tasarım değişkenleri tanımlandıktan sonra bu değişkenlerin alt ve üst limitleri çizelge 4.62 deki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 4.62 Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri başlangıç alt ve üst limit değerleri

Tasarım değişkenleri	Başlangıç değerleri	Alt limit	Üst limit
$X_1$ (mm)	110	90	150
$X_2$ (mm)	190	185	230
$X_3$ (mm)	17	10	25
$X_4$ (mm)	32	30	45

Şekil 4.21 de topoloji optimizasyonu sonrası modeli verilen debriyaj çatalı kolunun çok amaçlı şekil optimizasyonu için amaç fonksiyonları olarak hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu olmak üzere iki amaç fonksiyonunun eş zamanlı olarak optimizasyonu istenmiş ve kısıt fonksiyonu olarak gerilmenin debriyaj çatalı kolu malzemenin emniyetli gerilme değerini aşmaması istenmiştir.

Debriyaj çatalı kolunun bu tez kapsamında geliştirilen bütünlük optimizasyon yöntemi ile şekil optimizasyonu için ilk olarak Taguchi'nin  $L_{16}$  ortogonal dizileri kullanarak 16 deney için amaç fonksiyonu değerleri olan hacim ve frekans değerleri bulunmuştur. Debriyaj çatalı kolunun çok amaçlı optimizasyonunda hacmin minimizasyonu ve frekansın maksimizasyonu istendiğinden, minimum hacim için Taguchi'nin "en küçük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü, maksimum frekans için Taguchi'nin "en büyük en iyidir" şeklindeki S/G oranı formülü kullanılarak iki amaç fonksiyonu için sırasıyla çizelge 4.63 da verilen S/G-1 ve S/G-2 ile gösterilen S/G değerleri elde edilmiştir.

Çizelge 4.63 Amaç fonksiyonları için S/G oranları

Deney No	X <sub>1</sub> (mm)	X <sub>2</sub> (mm)	X <sub>3</sub> (mm)	X <sub>4</sub> (mm)	S/G1	S/G2
1	90	185	10	30	-99,897	16,7775
2	90	200	15	35	-101,938	18,5130
3	90	215	20	40	-103,929	19,4133
4	90	230	25	45	-105,819	19,3468
5	110	185	15	40	-100,685	16,3047
6	110	200	10	45	-99,773	15,6962
7	110	215	20	30	-103,143	16,0546
8	110	230	25	35	-104,999	16,3345
9	130	185	20	45	-100,796	13,8814
10	130	200	25	40	-102,529	13,6240
11	130	215	10	35	-99,647	12,9966
12	130	230	15	30	-101,599	13,2041
13	150	185	25	35	-100,257	10,8475
14	150	200	20	30	-100,523	10,8369
15	150	215	15	45	-100,290	11,1163
16	150	230	10	40	-99,519	10,8341

Bu oranlar kullanılarak çizelge 4.64 ve çizelge 4.65 deki her bir amaç fonksiyonu için anova tablosu oluşturulmuştur.

Çizelge 4.64 Minimum hacim için anova tablosu

	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	-102,89	-102,15	<b>-101,14</b>	-100,14	17,19	3	5,73	69,98	30.68
<b>X2</b>	<b>-100,40</b>	-101,19	-101,75	-102,98	11,82	3	3,94	48,10	21.09
<b>X3</b>	<b>-99,70</b>	-101,12	-102,09	-103,40	26,66	3	8,88	108,5	<b>47.57</b>
<b>X4</b>	<b>-101,29</b>	-101,71	-101,66	-101,67	0,11	3	0,03	0,47	0.207
<b>Hata</b>					0,24	3	0,08		2.439
<b>Toplam</b>					56.05	15			100

Çizelge 4.65 Maksimum frekans için anova tablosu

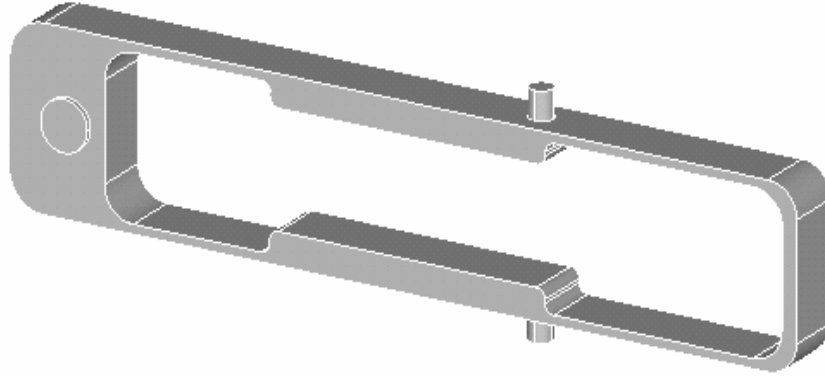
	Level1	Level2	Level3	Level4	Ss	Dof	Ms	F	% Etki
<b>X1</b>	<b>18,51</b>	16,09	13,42	10,90	129,9	3	43,30	650,8	<b>95.81</b>
<b>X2</b>	14,45	14,66	14,89	<b>14,92</b>	0,699	3	0,23	3,50	0.515
<b>X3</b>	14,07	14,78	<b>15,04</b>	15,03	2,758	3	0,91	13,82	2.033
<b>X4</b>	<b>14,21</b>	14,67	15,04	15,01	2,023	3	0,67	10,13	1.491
<b>Hata</b>					0,200	3	0,06		0.151
<b>Toplam</b>					135.5	15			100

Çizelge 4.64 ve çizelge 4.65 deki amaç fonksiyonları için elde edilen anova tabloları kullanılarak tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitleri çizelge 4.66 deki gibi tekrar belirlenmiştir.

Çizelge 4.66 Debriyaj çatalı tasarım değişkenleri aralıkları

Tasarım değişkenleri	Başlangıç aralıkları	Yeni aralıklar
<b>X<sub>1</sub> (mm)</b>	90<X <sub>1</sub> <150	X <sub>1</sub> =90
<b>X<sub>2</sub>(mm)</b>	185<X <sub>2</sub> <230	185<X <sub>2</sub> <230
<b>X<sub>3</sub>(mm)</b>	10<X <sub>3</sub> <25	10<X <sub>3</sub> <20
<b>X<sub>4</sub>(mm)</b>	30<X <sub>4</sub> <45	X <sub>4</sub> =30

Debriyaj çatalının çok amaçlı şekil optimizasyonu, Ansys paket programının optimizasyon modülü, genetik algoritmalar ve önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile ayrı ayrı yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak çizelge 4.67 de verilmiştir. Şekil 4.24 de önerilen yöntem ile elde edilen debriyaj çatalı kolunun optimum modeli görülmektedir.



Şekil 4.24 Önerilen yöntem ile şekil optimizasyonu sonrası elde edilen model

Çizelge 4.67 Taşıt debriyaj çatalı için karşılaştırmalı sonuçlar

	<b>Birinci Amaç Fonksiyonu</b>	<b>İkinci Amaç Fonksiyonu</b>	<b>Kısıt Fonksiyonu</b>
	<b>Hacim (mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Frekans (Hertz)</b>	<b>Gerilme (N/mm<sup>2</sup>)</b>
<b>Başlangıç koşulları</b>	117001.1937	6.315	280.839
<b>ANSYS ile şekil optimizasyonu (hacim azalması için)</b>	107973.656	4.69702	286.69924
<b>GA ile şekil optimizasyonu</b>	101223.0243	6.833	271.2414
<b>Önerilen Bütünleşik Yöntem ile şekil optimizasyonu</b>	99535.0311	6.972	298.1229

## 5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE İRDELEME

Bu tez kapsamında tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik problemleri ile taşıt elemanlarının çok amaçlı optimum tasarımı için Japon kalite felsefesinin mimarı ve birçok amerikalı büyük firmanın üretim felsefesinde devrim yapan Japon mühendis Genichi Taguchi'nin robust design yaklaşımı ile genetik algoritmalar entegre ederek yeni bir bütünleşik optimizasyon yöntemi geliştirilmiş ve geliştirilen yöntemi doğrulamak için literatürde bulunan değişik alanlardaki tek amaçlı ve çok amaçlı test ve mühendislik optimizasyon problemleri çözülmüş ve önerilen yöntem taşıt elemanlarının optimum tasarımına uygulanmıştır.

### 5.1 Tek Amaçlı Problemlerin Karşılaştırılması

Literatürde, geliştirilen yöntemlerin doğruluğunu test etmek ve daha önce geliştirilen yöntemlerle karşılaştırmak için standartlaşmış test ve mühendislik problemleri bulunmaktadır. Bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi literatürde bulunan üç tek amaçlı test problemi ve dört adet tek amaçlı mühendislik problemine uygulanmıştır.

Çizelge 4.1 de karşılaştırmalı sonuçları verilen g01 tek amaçlı test problemine önerilen yöntemin uygulanması sonucunda optimum sonuca (-15.0) 120.000 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede en iyi değer, ortalama değer, standart sapma açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.2 de karşılaştırmalı sonuçları verilen g06 tek amaçlı test problemine önerilen yöntemin uygulanması sonucunda optimum sonuca (-6961.814) 182.000 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede en iyi değer, ortalama değer, kötü değer, standart sapma açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.3 de karşılaştırmalı sonuçları verilen g09 test problemine önerilen yöntemin uygulanması sonucunda optimum sonuca (680.630) 198,000 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede fonksiyon değerlendirme sayısı açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.7 de karşılaştırmalı sonuçları verilen tek amaçlı *Minimum Ağırlığa Sahip Çeki-Basi Yayının optimum tasarımı* problemine önerilen bütünleşik optimizasyon yönteminin uygulanması sonucunda optimum sonuca (0.01266712) 24,984 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede, standart sapma, en iyi sonuç, en kötü sonuç ve fonksiyon değerlendirme sayısı açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.11 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *Tek amaçlı kaynaklı giriş (Welded- Beam)*'in optimum tasarımı problemine önerilen bütünleşik optimizasyon yönteminin uygulanması sonucunda optimum sonuca (1.7259775) 30,000 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede en iyi sonuç, ortalama değer, en kötü sonuç açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 4.15 de karşılaştırmalı sonuçları verilen tek amaçlı *Basınçlı Kap (Pressure Vessel)* tasarım problemine önerilen bütünleşik optimizasyon yönteminin uygulanması sonucunda optimum sonuca (6059.715654) 30,000 fonksiyon değerlendirmede ulaşılmıştır. Yapılan 30 değerlendirmede en iyi sonuç, standart sapma, en kötü sonuç fonksiyon değerlendirme açısından literatüre göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

## 5.2 Çok Amaçlı Mühendislik Problemlerinin Karşılaştırılması

Bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi literatürde bulunan beş adet çok amaçlı mühendislik problemine uygulanmıştır.

Çizelge 4.20 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *çok amaçlı machine tool spindle problemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen yöntem ile bulunan değerler (633622.13; 0.02403), (837659.60; 0.019501), (648250.77; 0.022729), (648250.77; 0.022729) Coello (1996,1998)'nun geliştirdiği genetik algoritmalar temeline dayanan yöntem ile bulduğu ve NSGA, VEGA, MOGA, NPGA gibi çok amaçlı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden daha iyi olan sonuçlarından (656950.38; 0.025319) (926272.00; 0.020756) ve Eschenauer ve ark.(1990)'nın Min-Max yöntemi ile bulduğu (694101.00; 0.023077) sonuçlardan daha iyidir.

Çizelge 4.25 de karşılaştırmalı sonuçları verilen çok amaçlı *I-kiriş tasarım problemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç



fonksiyonları için önerilen yöntem ile bulunan değerler (309.791; 0.0126884), Coello(1996,1998)'nun geliştirdiği genetik algoritmalar temeline dayanan yöntem ile bulunduğu ve NSGA, VEGA, MOGA, NPGA gibi çok amaçlı problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılan yöntemlerden daha iyi olan sonuçlarından (315.36; 0.0129) daha iyidir.

Çizelge 4.30 da karşılaştırmalı sonuçları verilen *çok amaçlı kaynaklı giriş tasarım problemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen yöntem ile bulunan değerler (2.0895; 0.009151), (3.7292; 0.00468), Deb(1999, 2000)'in geliştirdiği genetik algoritmalar temeline dayanan yöntem ile bulunduğu sonuçlarından (2.431; 0.0157), (3.944; 0.005) daha iyidir. Ayrıca F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen yöntem ile bulunan ve Çizelge 4.31 de karşılaştırmalı sonuçları verilen değerler Ray ve ark. (2002)'nin geliştirdiği ve genetik algoirtmalardan daha iyi sonuçlar verdiği literatürde kanıtlanan parçacık sürüsü metodu ile bulunan sonuçlardan daha iyidir.

Çizelge 4.36 da karşılaştırmalı sonuçları verilen *çok amaçlı iki çubuklu kafes sistemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen yöntem ile bulunan değerler (81.34083438; 0.04079856), (83.87262727; 0.03956907), Rao (1987)'nin Game teori temeline dayanan yöntem ile bulunduğu sonuçlarından (81.4137; 0.0408) ve Cheng (1999)'in Çok amaçlı problemlerin çözümü için geliştirdiği yöntem ile bulunduğu sonuçlarından (83.9268; 0.0395) daha iyidir. Ayrıca F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile bulunan ve Çizelge 4.37 de karşılaştırmalı sonuçları verilen değerler Ray ve ark. (2002)'nin geliştirdiği ve genetik algoirtmalardan daha iyi sonuçlar verdiği literatürde kanıtlanan parçacık sürüsü metodu ile bulunan sonuçlardan daha iyidir.

Çizelge 4.43 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *çok amaçlı helisel yay problemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç fonksiyonları için önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile bulunan değerler (2.659; 188054.371), (23.943; 60139.684), Deb (2000)'in geliştirdiği genetik algoritmalar temeline dayanan yöntem ile bulunduğu sonuçlarından (2.690; 187053), (24.189; 61949) daha iyidir.

Çizelge 4.47 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *çok amaçlı disk fren problemi* önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. F1 ve f2 amaç fonksiyonları

için önerilen yöntem ile bulunan değerler (1.38; 2.74), (2.78; 2.07), Osyczka ve Kundu (1997)'nin geliştirdiği genetik algoritmalar temeline dayanan yöntem ile bulunduğu sonuçlarından (1.7; 2.4), (3.7; 2.1) daha iyidir.

### 5.3 Çok Amaçlı Taşıt Elemanları Problemlerinin Karşılaştırılması

Bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yöntemi üç adet taşıt elemanının çok amaçlı optimizasyonuna uygulanmıştır.

Çizelge 4.54 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *taşıt salıncak kolu*'nun çok amaçlı optimizasyonu problemi bu tez kapsamında önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi, Ansys paket programının optimizasyon modülü ve genetik algoritmalar ile çözülmüştür. Önerilen yöntem ile Ansys paket programı (435094.48 mm<sup>3</sup>; 4.113 hertz) ve genetik algoritmalarla (407251.12 mm<sup>3</sup>; 4.232hertz) göre daha az hacime sahip 99535.0311 mm<sup>3</sup> ancak frekans değeri daha fazla olan 6.972 hertz taşıt Salıncak Kolu'nun tasarlanması mümkün olmuştur.

Çizelge 4.61 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *taşıt sürgü kolu*'nun çok amaçlı optimizasyonu problemi bu tez kapsamında önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi, Ansys paket programının optimizasyon modülü ve genetik algoritmalar ile çözülmüştür. Önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile Ansys paket programı (18763.9437 mm<sup>3</sup>; 8.08765 hertz) ve genetik algoritmalarla (17663.682 mm<sup>3</sup>; 8.793 hertz) göre daha az hacime sahip (16754.280 mm<sup>3</sup>) ve frekans değeri daha fazla olan (9.307 hertz) taşıt sürgü kolu'nun tasarlanması mümkün olmuştur.

Çizelge 4.67 de karşılaştırmalı sonuçları verilen *taşıt debriyaj çatalı*'nın çok amaçlı optimizasyonu problemi önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi, Ansys paket programının optimizasyon modülü ve genetik algoritmalar ile çözülmüştür. Önerilen bütünleşik optimizasyon yöntemi ile, Ansys paket programı (107973.656 mm<sup>3</sup>; 4.69702 hertz) ve genetik algoritmalarla (101223.0243 mm<sup>3</sup>; 6.833 hertz) göre daha az hacime sahip (99535.0311 mm<sup>3</sup>) ve frekans değeri daha fazla olan (6.972 hertz) taşıt debriyaj çatalının tasarlanması mümkün olmuştur.

Bu tez kapsamında geliştirilen bütünleşik optimizasyon yönteminin tek ve çok amaçlı test ve mühendislik problemleri ve taşıt elemanlarının çok amaçlı optimizasyonuna uygulanması sonucunda bulunan sonuçların şu ana kadar literatürde

geliştirilen yöntemler ile bulunan sonuçlardan daha iyi olması bu tez kapsamında geliştirilen yaklaşımın doğruluğunu kanıtlamaktadır.

## 6. KAYNAKLAR

ALÍ, N., K. BEHDINAN and Z. FAWAZ. 2003. Applicability and viability of a GA based finite element analysis architecture for structural design optimization. *Computers and Structures*, 81(22-23): 2259–2271.

AKHTAR S., K. TAI and T. RAY. 2002. A Socio-Behavioural Simulation Model for Engineering Design Optimization. *Engineering Optimization*, 34(4):341–354.

AMES, A.E., N. MATTUCCI, G. MACDONALD and D.M. HAWKINS. 1997. Quality loss functions for the optimization across multiple response surfaces. *Journal of Quality Technology*, Vol. 29(3): 339-346.

ARORA, J.S. 1989. *Introduction to optimum design*. McGraw-Hill, New York.

ARTILES, N. 1996. A pragmatic approach to multi-response problems using loss functions. *Quality Engineering*, 9(2): 213-220.

BILODEAU, M., D. BRENNER. 1999. *Theory of Multivariate Statistics*, Springer-Verlag, New York.

BAUMA, L E., J.J. MCPHEE and P.H. CALAMAI. 1998. Application of genetic algorithms to the design optimization of an active vehicle suspension system. *Computer Methods In Applied Mechanics and Engineering*, (1-4): 87-94.

BELEGUNDU, A.D. 1982. *A Study of Mathematical Programming Methods for Structural Optimization*. PhD Thesis. Department of Civil and Environmental Engineering, University of Iowa, Iowa.

CHIE, W.T. and C.S. TSAI. 2003. The investigation on The Prediction of Tool Wear and The Determination of Optimum Cutting Conditions in Machining 17-4PH Stainless Steel. *Journal of Materials Processing Technology*, 140, 340-345.

CHARNES, A. and W. COOPER. 1961. *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, John Wiley & Sons Inc.

CHANKONG, V. and Y.Y. HAIMES. 1983. Optimization-based Methods for multiobjective decision making: An overview. *Large Scale Systems In Information And Decision Technologies*, 5(1): 1–33.

CHENG, F.Y. and X.S. LI. 1999. Generalized Method for multiobjective engineering optimization. *Engineering Optimization*, 31(5): 641-661.

CHUNG, J.S. and S.M. HWANG. 1997. Application of a genetic algorithm to the optimal design of the die shape in extrusion. *Journal of Materials Processing Technology* 72(1), 69–77.

COELLO, C.A.C. and R.L. BECERRA. 2004. Efficient evolutionary optimization through the use of a cultural algorithm. *Engineering Optimization*, 36(2): 219–236.

COELLO, C.A.C. and N.C. CORTES. 2004. Hybridizing A Genetic Algorithm With An Artificial Immune System for Global Optimization. *Engineering Optimization*, Vol. 36(5): 607–634.

COELLO, C.A.C. and E.M. MONTES. 2002. Constraint-handling in genetic algorithms through the use of dominance-based tournament selection. *Advanced Engineering Informatics*, 16(3): 193–203.

COELLO, C.A.C. 2000. Use of a self-adaptive penalty approach for engineering optimization problems. *Computers in Industry*, 41(2): 113–127.

COELLO, C.A.C. and A.D. CHRISTIANSEN. 1998. Two New GA-Based methods for Multiobjective Optimization, *Civil Engineering Systems*, Gordon and Breach Science Publishers, 15(3) : 207-243.

COELLO, C.A.C. 1996. An empirical study of evolutionary techniques for multiobjective optimization in engineering design. PhD thesis, Department of Computer Science, Tulane University, New Orleans.

COELLO, C.A.C. and A.D. CHRISTIANSEN. 1999. MOSES: a multiple objective optimization tool for engineering design. *Engineering Optimization*, 31 (3): 337–368.

COELLO, C.A.C. and A.D. CHRISTIANSEN. 2000. Multiobjective optimization of trusses using genetic Algorithms. *Computers and Structures* 75(6): 647-660.

COELLO, C.A.C. 2000. Treating Constraints As Objectives For Single- Objective Evolutionary Optimization. *Engineering Optimization* 32(3): 275-308.

DEB, K. 1991. Optimal design of a welded beam via genetic algorithms. *AIAA Journal*, 29(11): 2013–2015.

DEB, K. 1999. Evolutionary Algorithms for Multi-Criterion Optimization in Engineering Design. In K. Miettinen, M. Mäkelä, P. Neittaanmäki, and J. Périaux (Editors) *Proceedings of Evolutionary Algorithms in Engineering and Computer Science (EUROGEN-99)*, Jyväskylä, Finland, p.135-161.

DEB, K. 2001. Genetic Algorithms for Optimization. KanGAL Report Number 2001002.

DEB, K. and S. GULATI. 2001. Design of truss-structures for minimum weight using genetic algorithms, *Finite Elements in Analysis and Design* 37(5): 447-465.

DEB, K. 2001. Nonlinear goal programming using multi-objective genetic algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, 52(3): 291-302.

- DEB, K. 2000. Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. Wiley, Chichester, UK.
- DEB, K. 2000. An efficient constraint handling Method for genetic algorithms. *Computational Methods Applied Mechanical Engineering*. 186(2-4): 311-338.
- DEB, K. 1997. GeneAS: a robust optimal design technique for mechanical component design. In: D. Dasgupta, Z. Michalewicz (Editors). *Evolutionary algorithms in engineering applications*, Springer, Berlin, p. 497–514.
- DEB, K., and S. TIWARI. 2005. Multi-objective optimization of a leg mechanism using genetic algorithms. *Engineering Optimization*, 37(4): 325–350.
- ESCHENAUER, H., J. KOSKI and A. OSYCZKA. 1990. *Multicriteria Design Optimization*. Springer-Verlag, Berlin.
- FARMANI R. and J. WRIGHT. 2003. Self-adaptive fitness formulation for con-strained optimization. *IEEE Trans. Evolutionary Computation*, 7(5): 445–455.
- FONSECA, C.M. and P. J. FLEMING. 1998. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms—part II: Application example. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics* 28(1): 38–47.
- FONSECA, C.M. and P.J. FLEMING. 1993. Genetic algorithms for multiobjective optimization: Formulation, discussion and generalization. In S. Forest (Editors), *Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms*, San Mateo, California, p. 416–423.
- FOROURAGHI, B.A. 2000. Genetic Algorithm For Multiobjective Robust Design. *Applied Intelligence*, 12(3): 151–161.
- FOURMAN, M. P. 1985. Compaction of symbolic layout using genetic algorithms. In J. J. Grefenstette (Editor), *Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications*, Pittsburgh, PA, p.141–153.
- GOLDBERG, D.E. 1989. *Genetic Algorithms in Search and Machine Learning*. Addison-Wesley Longman Publishing Co. Inc., Boston, MA, USA
- GOLDBERG, D.E. and K. DEB. 1991. A comparison of selection schemes used in genetic algorithms. In G.J.E. Rawlings (Editor) *Foundations of Genetic Algorithms*, Addison-Wesley, Redwood City, CA, p. 69-93.
- GUPTA, I., A. GUPTA and P. KHANNA. 1999. Genetic algorithm for optimization of water distribution systems. *Environmental Modelling & Software*, 14(5): 437–446.
- GUNGORDU, H.M., Kalite tasarımını geliştirmede taguchi yöntemi, Y. Lisans Tezi, 1999.

HAMIDA, S.B. and M. SCHOENAUER. 2002. ASCHEA: New results using adaptive segregational constraint handling. Congress on Evolutionary Computation, Hawaii, USA, 884–889.

HASANCEBI, O. and F. ERBATUR. 2000. Evaluation of crossover techniques in genetic algorithm based optimum structural design. *Computers and Structures*, 7(8): 435-448.

HOLLAND H. J. 1975. *Adaptation in Natural and Artificial Systems, an introductory analysis with application to biology, control and artificial intelligence*. The university of Michigan Press, Ann Arbor, USA.

HAIMES, Y.Y., L.S. LASDON and D.A. WISMER. 1971. On a bicriterion formulation of the problems of integrated system identification and system optimization. *IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics*, 1(3) 296-297.

HAJELA, P. and C.Y. LIN. 1992. Genetic search strategies in multicriterion optimal design. *Structural Optimization*, 4(2): 99–107.

HORN, J., N. NAFPLIOTIS, and D.E. GOLDBERG. 1994. A niched pareto genetic algorithm for multiobjective optimization. In *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Computation, Volume 1, Piscataway, p.82–87*.

HE, S., E. PREMPAINAND and Q.H. WU. 2004. An Improved Particle Swarm Optimizer For Mechanical Design Optimization Problems. *Engineering Optimization*, 36(5): 585–605.

HWANG, G.-Y., S.-M. HWANG, H.-J. LEE, J.-H. KIM, K.-S. HONG and W.-Y. LEE. 2005. Application of Taguchi Method to Robust Design of Acoustic Performance in IMT-2000 Mobile Phones. *IEEE Transactions On Magnetics*, 41(5): 1900-1903.

ISHIBUCHI, H. and T. MURATA. 1996. Multi-objective genetic local search algorithm. In *Proceedings of 1996 IEEE International Conference on Evolutionary Computation (ICEC'96)*, Piscataway, NJ, pp. 119–124.

KACKAR, R. N. 1986. Taguchi's Quality Philosophy: Analysis and Commentary. *Quality Progress*, 19(12): 21-29.

KANNAN, B.K. and KRAMER, S.N. 1995. An augmented Lagrange multiplier based method for mixed integer discrete continuous optimization and its applications to mechanical design. *Journal of Mechanical Design*, 116, 405-411.

KEEDWELL, E. and S.-T. KHU. 2005 A hybrid genetic algorithm for the design of water distribution networks. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18(4): 461–472.

- KOTA, S. and S.J. CHIOU. 1993. Use of Orthogonal Arrays in Mechanism Synthesis. *Mechanism and Machine Theory*, 28(6): 777-794.
- KOZIEL, S. and Z. MICHALEWICZ. 1999. Evolutionary algorithms, homomorphous mappings and constrained parameter optimization. *Evolutionary Computation*, 7(1): 19-44.
- KURSAWE, F. 1991. A variant of evolution strategies for vector optimization. In H.-P. Schwefel and R. M. Anner (Editors.), *Parallel Problem Solving from Nature. 1st Workshop, PPSN I*, Springer, Berlin, p. 193-197.
- KUNJUR, A., and S. KRISHNAMURTY. 1997. A Robust Multi-Criteria Optimization Approach, *Mechanism and Machine Theory*, 32(7): 797-810.
- MYRES, R.H. and W.H. CARTER. 1973. Response surface techniques for dual response systems. *Technometrics*, 15, 301-317.
- HE, Y., J. MCPHEE. 2005. Multidisciplinary design optimization of mechatronic vehicles with active suspensions. *Journal of Sound and Vibration*, 283(1-2): 217-241.
- LAMPINEN, J. 2003. Cam shape optimisation by genetic algorithm. *Computer-Aided Design*, 35(8): 727-737.
- LI, J.R., L.P. KHOO and S.B. TOR. 2003. A tabu- Enhanced genetic algorithm approach for assembly process planning. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 14(2): 197-208.
- LIEW, K.M., P.K. TAN and T. RAY. 2004. Leader identification and leader selection: its effect on a swarm's performance for multi-objective design optimization problems. *Structural and Multi disciplinary Optimization*, 28(2-3): 156-169.
- LIOU, J.H. and D.Y. JANG. 1997. Forging Parameter Optimization Considering Stress Distributions in Products Through Fem Analyss and Robust Design Methodology. *International Journal of Machine Tools Manufacturing*, 37(6): 775-782.
- LIU, T.-K., J.-T. TSAI and J.-H. CHOU. 2005. Improved genetic algorithm for the job-shop scheduling problem, *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 27(9-10): 1021 - 1029.
- TSENG, L.Y, S.C. LIANG. 2005. A Hybrid Metaheuristic For The Quadratic Assignment Problem. *Computational Optimization And Applications*, Published online: 18 October 2005.
- LUH, G-C, C.-H. CHUEH. 2004. Multi-objective optimal design of truss structure with immune algorithm. *Computers and Structures*, 82(11-12): 829-844.



- MAKINEN, R.E., J. PERIAUX and J. TOIVANEN. 1999. Multidisciplinary Shape Optimization in Aerodynamics and Electromagnetics Using Genetic Algorithms. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 30(2):149–159.
- MOGHADAM, M.B. and M. AMANI. 2005. Design Optimization of Current Transformers Using Robust Design Methodology. *Quality&Quantity*, 39(5): 671–685.
- MONTES, E.M. and C.A.C. COELLO. 2005. A Simple Multimembered Evolution Strategy to Solve Constrained Optimization Problems. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 9(1): 1-17.
- MONTES, E.M., C.A.C. COELLO and L. BECERRA. 2003. Engineering Optimization using a Simple Evolutionary Algorithm. *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI 03)*, IEEE Computer Society, Sacramento, California, p. 149-156.
- NG, T.T.H., G.S.B. LENG. 2002. Application of genetic algorithms to conceptual design of a micro-air vehicle. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 15(5): 439–445.
- NAIR, V.N. 1992. Taguchi's parameter design: a panel discussion. *Technometrics*, 34(2): 127-161.
- NARAYANAN, S., S. AZARM. 1999. On improving multiobjective genetic algorithms for design optimization. *Structural Optimization*, 18(2-3): 146–155.
- OBAYASHI S., D. SASAKI, Y. TAKEGUCHI and N. HIROSE. 2000. Multiobjective Evolutionary Computation for Supersonic Wing-Shape Optimization. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 4(2): 182-187.
- OKAMOTO, M., T. NONAKA, S. OCHIAI and D. TOMINAGA. 1998. Nonlinear numerical optimization with use of a hybrid Genetic Algorithm incorporating the Modified Powell Method. *Applied Mathematics and Computation*, 91(1): 63-72.
- OTTO, K.N. and E.K. ANTONSON. 1991. Extensions to the Taguchi Method of Product Design. *Journal of Mechanical Design*, 115 (1): 5-13.
- OSYCZKA, A. and S. KUNDU. 1999. A Genetic Algorithm Based Multicriteria Optimization Method. *Proceedings of First World Congress of Structural and Multidisciplinary Optimization*, Elsevier Science, p. 909-914.
- PARETO, V. *Cours D'Economie Politique*, volume I and II. F. Rouge, Lausanne, 1896.
- PARKS, G. T., I. MILLER. 1998. Selective breeding in a multiobjective genetic algorithm. In A. E. Eiben, T. Back, M. Schoenauer, and H.-P. Schwefel (Editors), *Fifth International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (PPSN-V)*, Springer Berlin, Germany, p.250-259.

PARSOPOULOS, K.E., M.N. VRAHATIS. 2005. Unified Particle Swarm Optimization for Solving Constrained Engineering Optimization Problems. In L. Wang, K. Chen and Y.S. Ong (Editors) *Advances in Natural Computation: First International Conference, ICNC 2005, Changsha, China, 3612*, p.582-591.

PHADKE, S.M. 1989. *Quality Engineering Using Robust Design*. Asian Productivity Organization, Prentice Hall, Englewood Cliffs.

RAO, S.S. 1987. Game Theory approach for multiobjective structural optimization. *Computers and Structures*, 26(1): 119-127.

RAJENDRAN, I., S. VIJAYARANGAN. 2001. Optimal design of a composite leaf spring using genetic algorithms. *Computers and Structures*, 79(11): 1121-1129.

RAY, T., K. TAI. 2001. An Evolutionary Algorithm with a Multilevel Pairing Strategy for Single and Multiobjective Optimization. *Foundations of Computing and Decision Sciences*, 26, 75-98.

RAY, T., K. TAI and K.C. SEOW. 2000. An evolutionary algorithm for constrained optimization. In: Whitley, D., Goldberg, D. E., Cantu'-Paz, E., Spector, L., Parmee, I. C. and Beyer, H.G. (Editors.), *Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO-2000)*. Morgan Kaufmann, San Francisco, p.771-777.

RAY, T. and K.M. LIEW. 2003. Society and Civilization: An Optimization Algorithm Based on the Simulation of Social Behavior. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 7(4): 386-396.

RAY, T. and K.M. LIEW. 2002. A Swarm Metaphor For Multiobjective Design Optimization. *Engineering Optimization*, 34(2): 141-153.

RAY, T., K.M. LIEW and P. SAINI. 2002. An Intelligent Information Sharing Strategy within a Swarm unconstrained and constrained optimization Problems. *Soft Computing - A Fusion of Foundations, Methodologies and Applications*, 6(1): 38-44.

RENDERS, J. and H. BERSINI. 1994. Hybridizing genetic algorithms with hill-climbing Methods for global optimization: Two possible ways. In *Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, Orlando, FL*, p.312- 317.

ROWLANDS, H., F. ANTONY and G. KNOWLES. 2000. An application of experimental design for process optimisation. *The TQM Magazine*, 12(2): 78-83.

RUNARSSON, T.P., and X. YAO. 2000. Stochastic ranking for constrained evolutionary optimization. *IEEE Transactions On Evolutionary Computation*, 4(3): 284-294.

SANDGREN, E., E. JENSEN and J. WELTON. 1990. Topological design of structural components using genetic optimization Methods. In: *Sensitivity Analysis and*

Optimization with Numerical Methods, Proceedings of the Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers, Dallas, TX, p.31-43.

SCHAFFER, J.D. 1984. Multiple Objective Optimization with Vector Evaluated Genetic Algorithms. Ph. D. thesis, Vanderbilt University. Unpublished.

SCHAFFER, J.D. 1985. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms. In J. J. Grefenstette (Editors), Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications, Pittsburgh, PA, p.93-100.

SEN, S., S. NARASIMHAN and K. DEB. 1998. Sensor network design of linear processes using genetic algorithms. Computers Chemical Engineering, 22(3): 385-390.

SIDDALL, J.N. 1982. Optimal Engineering Design. Marcel Dekker.

SIVAKUMARA, K., N.G.R. IYENGARA and K. DEB. 1998. Optimum design of laminated composite plates with cutouts using a genetic algorithm. Composite Structures, 42(3): 265-279.

SRINIVAS, N., K. DEB. 1994. Multiobjective optimization using non-dominated sorting in genetic algorithms. Evolutionary Computation, 2(3): 221-248.

SUDHAKAR, P. R. 1995. An introduction to quality improvement through Taguchi method, Industrial Engineering, January, 53-55.

SYSWERDA, G. 1989. Uniform crossover in genetic algorithms. In H. Schaffer (Editor), Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann Publishers, Los Altos, CA, 2-9

TAI, C.Y., T.S. CHEN and M.C. WU. 1992. An enhanced Taguchi Method for optimizing SMT processes. Journal of Electronics Manufacturing, 2, 253-75.

TONG, L.-I., C.-T. SU and C.H. WANG. 1997. The optimization of multi-response problems in the Taguchi Method. International Journal of Quality & Reliability Management, 14(4): 367-380.

TSUI, K.-L. 1999. Robust design optimization for multiple characteristic problems. Introduction journal of Production Research, 37(2): 433-445.

ULER, G.F., O.A. MOHAMMED AND C.-S. KOH. 1995. Design Optimization of Electrical Machines using Genetic Algorithms. IEEE Transactions On Magnetics, 31(3): 2008-2011.

XIA, W.-J. and Z.M. WU. 2005. A hybrid particle swarm optimization approach for the job-shop scheduling Problem. International Journal Advanced Manufacturing Technology, Published online: 23 November 2005

VENKATRAMAN, S. and G.G. YEN. 2005. IEEE A Generic Framework for Constrained Optimization Using Genetic Algorithms. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 9(4): 424-435.

VINNING, C.G. and R.H. MYERS. 1990. Combing Taguchi and response surface philosophies: a dual response approach. *Journal of Quality Technology*, 22(1): 8-45.

VALENZUELA-RENDÓN, M., E. URESTI-CHARRE. 1997. A non-generational genetic algorithm for multiobjective optimization. In T. Bäck (Editors), *Proceedings of the Seventh International Conference on Genetic Algorithms*, San Francisco, California, p. 658–665.

WANG, L., D.-Z. ZHENG. 2001. An effective hybrid optimization strategy for job-shop scheduling problems. *Computers & Operations Research*, 28 (6): 585-596.

WANG, Z.G., Y.S. WONG and M. RAHMAN. 2004. Optimisation of multi-pass milling using genetic algorithm and genetic simulated Annealing. *International Journal of Advance Manufacturing Technology*, 24: 727–732.

WU, D.H., Y.J. TSAI and Y.T. YEN. 2003. Robust design of quartz crystal microbalance using finite element and Taguchi Method. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 92(3): 337–344.

YANG, J.L., J.C. CHEN. 2001. A Systematic Approach for Identifying Optimum Surface Roughness Performance in End-Milling Operations. *Journal of Industrial Technology*, 17(2).

YEN, J., J.C. LIAO, D. RANDOLPH AND B. LEE. 1995. A hybrid approach to modeling metabolic systems using genetic algorithm and simplex Method. *Proceedings of the 11th IEEE Conference on Artificial Intelligence for Applications (CAIA95)*, Los Angeles, CA, p.277-283.

YILDIZ, A.R., 2001. Şekil Parametrelerinin Optimizasyonu. Y. Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.

YILDIZ, A.R, ÖZTÜRK N, KAYA N and ÖZTÜRK F. 2003. Integrated Optimal Topology Design and Shape Optimization Using Neural Networks, *Journal of Computers and Structures – Structural and Multidisciplinary Optimization*, 25(4): 251–260.

YILDIZ, A.R, ÖZTÜRK N, KAYA N. , ALANKUŞ O. B. and ÖZTÜRK F. 2004. Optimal design of vehicle components using topology design and optimization. *International Journal of Vehicle Design*, 34(4): 387-398.

YILDIZ, A.R, ÖZTÜRK N, KAYA N. , ALANKUŞ O. B. and ÖZTÜRK F. 2002. Optimal layout design of vehicle structural components using topology optimization. *ESDA 2002, 6th Biennial Conference on Engineering Systems Design and Analysis*, July 8-11, İstanbul.

ZANG, C., M.I. FRISWELL and J.E. MOTTERSHEAD. 2005. A review of robust optimal design and its application in dynamics. *Computers and Structures*, 83(4-5): 315–326.

ZHANG, D.F., A.-S. DENG. 2005. An effective hybrid algorithm for the problem of packing circles into a larger containing circle. *Computers & Operations Research*, 32,1941–1951.

ZITZLER, E. 1999. *Evolutionary Algorithms for Multiobjective Optimization: Methods and Applications*, Phd. Thesis.

ZITZLER, E., L. THIELE. 1999. Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Comparative Case Study and the Strength Pareto Approach. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 3(4), 257-271.

## TEŞEKKÜR

Doktora tezim ile ilgili çalışmalarım sırasında hiçbir yardımı esirgemeyen, yaptığı aydınlatıcı bilgilendirmeler ile tezin literatüre katkı yapacak yönde sonuçlandırılmasını sağlayan ve yetişmemde büyük katkısı olan tez danışmanım çok kıymetli Hocam Sayın **Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK** 'e en derin saygı, teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımın sırasında bilgilerini ve yardımlarını esirgemeyen Değerli Hocam Sayın **Yrd. Doç.Dr Necmettin KAYA** ya teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük emek ve çabaları olan çok değerli **Aileme** en derin teşekkür ve şükranlarımı sunarım.

İlkokuldan bugünlere kadar eğitim hayatım boyunca yetişmeme katkısı olan bilgilerinden yaralandığım tüm öğretmenlerime ve üniversite hocalarıma şükranlarımı sunarım.

## ÖZGEÇMİŞ

Ali Rıza Yıldız, 1978 yılında Bursa’da doğdu. 25 Haziran 1999’ da Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden bölüm ve fakülte ikincisi olarak mezun oldu. 27 Temmuz 2001’de Topoloji optimizasyon yaklaşımının otomobil parçalarının optimum tasarımına uygulanması konusunda Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. 17 Eylül 2001’ de Uludağ Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalında doktora eğitimine başladı.

Bilgisayar Destekli Tasarım, Şekil ve Topoloji Optimizasyonu, Genetik Algoritmalar ve Bütünleşik Optimizasyon Yöntemlerinin otomobil parçalarının optimum tasarımına uygulanması konularında SCI - SCI Expanded dergilerinde yayınlanmış 3 adet makalesi, yayınlanmaya kabul edilmiş 1 adet SCI - SCI Expanded makalesi olmak üzere toplam 4 adet SCI - SCI Expanded makalesi, Uluslararası kongrelerde yayınlanmış ve sunulmuş 5 adet bildirisi, Ulusal dergi ve kongrelerde yayınlanmış ve sunulmuş 10 çalışması olmak üzere toplam 19 akademik yayın çalışması bulunmaktadır.

Ali Rıza YILDIZ, TÜBİTAK- Bilim Adamı Yetiştirme Grubu (BAYG) tarafından 5 ay süreli ‘‘NATO-A2 Yurt Dışı Doktora Araştırma Bursu’’ ile ödüllendirildi. Doktora eğitimi süresince TÜBİTAK- Bilim Adamı Yetiştirme Grubu tarafından ‘‘Yurtiçi Doktora Bursu’’ ile ödüllendirildi. TÜBİTAK- Bilim Adamı Yetiştirme Grubu tarafından 2 adet yurt dışı yayın teşvik desteği ile ödüllendirildi. Lisans eğitimi sırasında Tofaş Fiat - Vehbi Koç vakfı tarafından Başarı Bursu ile ödüllendirildi.

Askerlik görevini, Kara Kuvvetleri Komutanlığı, Lojistik ve Malzeme Komutanlığına bağlı 1010’uncu Ordu Donatım Fabrikasında Proje Subayı-Asteğmen olarak tamamladı. Askerlik Görevi sırasında savunma sistemleri ile ilgili değişik parçalarının Bilgisayar Destekli Tasarımı ve Analizi projesinde görev aldı.

30 Aralık 1999 tarihinden itibaren Uludağ üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.