

GENETİK ALGORİTMA İLE KARDAN MİLİ TASARIMI

Muhammet YAMAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2007

ANKARA

Muhammet YAMAN tarafından hazırlanan GENETİK ALGORİTMA İLE KARDAN MİLİ TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Faruk MENDİ
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile MAKİNE EĞİTİMİ Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Mahmut GÜLESİN

Üye : Prof. Dr. Faruk MENDİ

Üye : Prof. Dr. Ahmet ÖZDEMİR

Üye : Doç. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Tarih : 17 / 01 / 2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Muhammet YAMAN

GENETİK ALGORİTMA İLE KARDAN MİLİ TASARIMI

(Yüksek Lisans Tezi)

Muhammet YAMAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ocak 2007

ÖZET

Kardan milleri, aynı düzlem ve doğrultuda olmayan millerin güç ve hız transmisyonunda yaygın olarak kullanılan makine elemanlarıdır. Kardan mili tasarlanırken belirli mukavemet ve çalışma şartları göz önünde bulundurulur. Bu durum, bir optimizasyon problemi çözümünü gerektirir. Geleneksel optimizasyon yöntemleriyle yapılan çözümler zaman almakta ve mantıklı sonuçlar veremeyebilmektedir. Bu çalışmada, yeni bir optimizasyon metodu olan ve günümüzde hemen hemen her alanda kullanılan genetik algoritma, kardan milinin tasarım optimizasyonunda kullanılmıştır. Optimizasyonu yapılan amaç fonksiyonları, mil çapı ve içi boş miller için et kalınlığı fonksiyonlarıdır. Kardan mili, ileteceği gücü ve hareketi, bir tahrik sistemi olan elektrik motorundan almakta ve belirli yükseklikte bulunan redüktöre taşımaktadır. Optimizasyon işleminde tasarım değişkeni olarak, mafsallı kırılma açısı, giriş mili dönme açısı ve içi boş miller için delik çapı alınmıştır. Kısıt fonksiyonu olarak titreşim, tutukluk, kritik devir sayısı ve en büyük burulma açısı dikkate alınmıştır. Genetik algoritma ile elde edilen sonuçlar, geleneksel optimizasyon metodlarından olan ardışık kuadratik programlama yöntemiyle karşılaştırılmış ve genetik algoritmanın makine elemanlarının tasarım optimizasyonunda kullanılabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

Çalışmada, tasarımı yapılan parametreler mil çapı ve et kalınlığı ile sınırlandırılmıştır.

Bilim Kodu : 708.3.028
Anahtar Kelimeler : Genetik algoritma, kardan milleri, optimizasyon
Sayfa Adedi : 96
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Faruk MENDİ

CARDAN SHAFT DESIGN USING THE GENETIC ALGORITHM**(M.Sc. Thesis)****Muhammet YAMAN****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****January 2007****ABSTRACT**

Cardan shafts are used widely in power and velocity transmission of the shafts that are not on the same plane and direction. In designing of a cardan shaft, specific endurance and working conditions are taken into consideration. This case needs the solution of optimization problem. The solution, concluded with the traditional optimization methods takes long time and do not have the logical results. In this study, genetic algorithm, a modern optimization method and used almost all scientific area, has been used for optimization of a cardan shaft design. The objective functions which were optimized, are shaft diameter and thickness of hollow shaft. Cardan shaft takes the power and motion from an electric motor and transports them to the reductor shaft which is in a certain height. Optimization procedure is made taking into account of rotation angle of input shaft, breakage angle of joint, and inner diameter of hollow shaft as design variables. Vibration and detention, critical spindle speed, and maximum torsion angle are used as constraint functions. The comparison of genetic algorithm and sequential quadratic programming method showed that genetic algorithm can be used in the design and optimization of machine elements.

In this study, the design parameters was limited to the diameter of cardan shaft and the thickness of hollow shaft.

Science Code : 708.3.028

Key Words : Genetic algorithm, cardan shaft, optimization

Page Number: 96

Adviser : Prof. Dr. Faruk MENDI

TEŞEKKÜR

Çalışma konusu belirlemede ve çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Faruk MENDİ'ye; Genetik Algoritma ve optimizasyon konusu hakkında kıymetli bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım Yrd. Doç. Dr. Hamit SARUHAN'a, ayrıca Yrd. Doç. Dr. Pakize ERDOĞMUŞ'a, Öğretim Görevlisi Yük. Müh. Ali ÖZTÜRK'e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xvii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI, MATERYAL, YÖNTEM VE LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Amaç.....	3
2.2. Materyal ve Yöntem.....	4
2.3. Literatür Taraması.....	4
3. GENETİK ALGORİTMA.....	7
3.1. Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihçesi.....	7
3.2. Genetik Algoritmanın Kuramsal Temelleri ve Çalışma Şekli.....	7
3.2.1. Başlangıç işlemleri.....	12
3.2.2. Genetik operatörler.....	14
3.2.3. Genetik algoritmaların performansını etkileyen parametreler	27
3.2.4. Şema teorisi.....	28
3.3.Genetik Algoritma İle Kısıtlı Optimizasyon Problemleri.....	29
3.3.1 Ceza (penaltı) fonksiyonunun genetik algortmada kullanımı.....	29

Sayfa

3.4.Genetik Algoritma Kullanılmasının Sebepleri.....	30
3.5.Genetik Algoritmanın Geleneksel Optimizasyon Yöntemlerinden Farkları.....	32
3.6.Genetik Algoritmanın Genel Uygulama Alanları.....	32
3.6.1. Genel uygulama alanları.....	33
3.6.2. İşletmelerdeki uygulama alanları.....	34
4. KARDAN MİLLERİ.....	35
4.1. Kardan Milleri ve Tarihçesi.....	35
4.2. Kardan Milinde Hız ve Tork Analizi.....	37
4.2.1. Kardan mafsalının ideal durumu için hız analizi.....	37
4.2.2. Kardan milinin ideal durumu için tork ve moment analizi.....	41
4.3. Kardan Mili Çapının Hesabı.....	42
4.4. Kardan Mili Tasarımındaki Sınırlayıcı Fonksiyonlar.....	43
4.4.1. Titreşim ve tutukluk kontrolü.....	43
4.4.2. Kritik devir sayısı kontrolü.....	45
4.4.3. Burulma gerilmesine göre dönme açısı kontrolü.....	46
4.5. Kardan Milinin Gereçleri.....	46
5. YAPILAN ÇALIŞMA.....	47
5.1. İçi Dolu Kardan Mili Çapının Minimizasyonu.....	47
5.1.1. Genetik algoritma ile çözüm.....	48
5.1.2. Ardışık kuadratik programlama ile çözüm.....	57
5.2 İçi Boş Kardan Milinin Kalınlığının Minimizasyonu.....	59
5.2.1. Genetik algoritma ile çözüm.....	59

Sayfa

5.2.2. Ardışık kuadratik programlama ile çözüm.....	67
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....	71
EKLER.....	75
EK-1 Geliştirilen GA'nın program ağacı.....	76
EK-2 Kardan mili çapı için başka bir uygulama.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	79

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Çaprazlama için üretilen rasgele değerler.....	21
Çizelge 3.2. Her gen için üretilen mutasyon oranı.....	25
Çizelge 4.1. Referans momentine göre transmisyon tipleri devirler.....	44
Çizelge 4.2. Transmisyon tipine göre maksimum devirler.....	45
Çizelge 5.1. Problem çözümüne ait parametreler ve katsayılar.....	49
Çizelge 5.2. Değişkenlerin oluşturulması.....	52
Çizelge 5.3. Değişkenlerin gösterimi ve değişkenlerin birleşimiyle bireyin oluşumu.....	52
Çizelge 5.4. Bir başlangıç popülasyonu.....	53
Çizelge 5.5. Tek noktadan çaprazlama yöntemi.....	53
Çizelge 5.6. Mutasyon	54
Çizelge 5.7. Genetik algoritma parametreleri.....	55
Çizelge 5.8. Ardışık kuadratik programlama yöntemi sonuçları.....	58
Çizelge 5.9. Problem çözümüne ait parametreler ve katsayılar.....	60
Çizelge 5.10. Değişkenlerin oluşturulması.....	63
Çizelge 5.11. Değişkenlerin gösterimi ve değişkenlerin birleşimiyle bireyin oluşumu.....	63
Çizelge 5.12. Bir başlangıç popülasyonu.....	63
Çizelge 5.13. Tek noktadan çaprazlama yöntemi.....	64
Çizelge 5.14. Genetik algoritma parametreleri.....	65
Çizelge 5.15. Ardışık kuadratik programlama yöntemi sonuçları.....	68
Çizelge 6.1. AKP ve GA sonuçlarının karşılaştırılması.....	69

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kardan mili sistem.....	3
Şekil 3.1. GA'nın program algoritması.....	9
Şekil 3.2. Genetik algoritmanın akış diyagramı.....	11
Şekil 3.3. Genetik algoritma operatörleri.....	14
Şekil 3.4. Bireylerin rulet tekerleğine yerleşimi.....	17
Şekil 3.5. Turnuva seçim mekanizması.....	19
Şekil 3.6. Tek noktalı çaprazlama.....	22
Şekil 3.7. Tek noktalı çaprazlama sonucu durum	22
Şekil 3.8. Çift noktalı çaprazlama	23
Şekil 3.9. Çift noktalı çaprazlama sonucu durum	23
Şekil 3.10. Düzgün çaprazlama	24
Şekil 3.11. Düzgün çaprazlama sonucu durum	24
Şekil 3.12. Tek ve çift noktalı çaprazlamada kullanılan düzenli kalıplar	24
Şekil 3.13. Mutasyon operatörünün uygulanışı.....	26
Şekil 3.14. Ters çevirme operatörü.....	27
Şekil 3.15. Optimizasyon modelleri.....	31
Şekil 4.1. Kardan mili ve mafsallı.....	35
Şekil 4.2. Kardan mili ve mafsallının şematik görünümü.....	36
Şekil 5.1. Kardan mili sistemi.....	47
Şekil 5.2. Rulet tekerleği seçimi.....	53
Şekil 5.3. Farklı çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi.....	54

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. Farklı mutasyon oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi.....	55
Şekil 5.5.Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler.....	56
Şekil 5.6.Uygunluk değeri - jenerasyon eğrisi.....	57
Şekil 5.7.İçi boş kardan mili.....	59
Şekil 5.8. Farklı çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi.....	64
Şekil 5.9. Farklı mutasyon oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi.....	65
Şekil 5.10. Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler.....	66
Şekil 5.11.Uygunluk değeri ve jenerasyon eğrisi.....	67

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
AF	Amaç fonksiyonu
C_{max}	Maksimum uygunluk değerinden büyük bir sayı
C_T	Titreşim ve tutukluk
d	Kardan mili çapı
d_i	Kardan milinin iç çapı
G	Jenerasyon ayrılığı
g_i	Kısıt değeri
k	İletme oranı
k_a	Yorulmada yüzey değişim faktörü
k_b	Yorulmada büyüklük faktörü
k_c	Yorulmada güvenilirlik faktörü
k_d	Yorulmada sıcaklık değişim faktörü
k_e	Yorulmada gerilme değişim faktörü
k_f	Yorulmada diğer etkenlerin değişim faktörü
KS	Kısıt sayısı
K_s	Şok faktörü
K_{ct}	Transmisyon düzeltme faktörü
L	Kardan milinin boyu
l	Değişken uzunluğu
M	Torktan kaynaklana eğilme momenti
M_o	Giriş milinin torku
M_t	Kardan milinin torku
M_{td}	Kardan mili tasarım torku
N	Kardan milinin ilettiği devir sayısı
N_{max}	Transmisyon tipine göre maksimum devir sayısı

Simgeler**Açıklama**

n_{kritik}	Kritik dönme sayısı
PF	Penaltı fonksiyonu
$P_{\text{ç}}$	Çaprazlama oranı
P_m	Mutasyon oranı
P	Elektrik motorunun gücü
q	Malzemenin çentiğe karşı hassasiyeti
t	Kardan milinin et kalınlığı
S_e	Yorulma dayanımı
S_u	Kopma dayanımı
T	Transmisyon tipi
UF	Uygunluk fonksiyonu
$X_{(i)} \text{ alt}$	Değişkenin alt sınırı
$X_{(i)} \text{ üst}$	Değişkenin üst sınırı
w_2	Giriş mili açısal hızı
w_5	Kardan mili açısal hızı
w_t	Giriş mili dönme açısı
β_1	Mafsal kırılma açısı
θ_{max}	Maksimum burulma açısı

Kısaltmalar**Açıklama**

GA	Genetik algoritma
AKP	Ardışık kuadratik programlama

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1.Kardan mili ve elemanları	36

1. GİRİŞ

Bir ürünün ortaya çıkarılması iki sürece bağlı olur. Bunlardan birincisi tasarım süreci, ikincisi ise imalat sürecidir. İmalatın hızlı ve kaliteli olabilmesinde tasarım süreci çok önemlidir. Tasarımın önemli olduğu diğer bir nokta da, ürünün ihtiyaçları karşılayabilecek optimum şarta göre tasarlanmasıdır. Optimum şarta göre tasarım, ürünün minimum maliyetinin hesaplanması ve işlevini yerine getirebilecek şekilde, minimum hacim ve ağırlığın hesaplanması yönünden önemlidir.

Tasarım sürecinde ilk olarak, bilgisayarların güncel hayatta kullanılmasıyla birlikte bilgisayar destekli çizim alanında gelişmeler olmuştur. Bilgisayar Destekli çizim programları ve parametrik tasarım yapan birçok katı model programları geliştirilmiştir. Bunları takiben, mekanik tasarıma uygun, mekanik hesapları ve analizleri yapabilecek programlar geliştirilmiştir.

Bilgisayar programlama dillerinin kullanımının mekanik tasarımda da yaygınlaşması, tasarımcıları farklı programlama tekniklerinin arayışına itmiştir. Yapay zeka ve Genetik Algoritma gibi arama teknikleri tasarım işlemlerinde kullanılmaya başlanmış ve tasarım işlemleri esneklik kazanmıştır.

Mekanik güç ve hareket ileten ve transmisyon milleri olarak da adlandırılan kardan millerinin çap ve et kalınlığının minimum emniyetli değerini bulmak, karmaşık bir hesaplama sürecidir [1].

Optimizasyon problemi olarak tasarlanan fonksiyonlar, amaç fonksiyonu formüllerini ve kısıtlayıcı fonksiyonları içermektedir. Yapılan optimizasyonun amacı, minimum amaç değerlerini kısıtları sağlayacak şekilde bulmaktır. Bu optimizasyonun yapılacağı teknik, rasgele (evrimsel) arama tekniklerinden olan Genetik Algoritma (GA) dır.

Optimizasyonu yapılacak amaç fonksiyonları tasarım değişkeni olarak belirli bir aralıkta değişen kırılma açısı, β , giriş mili dönme açısı, ω_i , ve delik çapı, d_i 'den oluşur. Bu fonksiyonlar, kardan milinde meydana gelen emniyetli gerilmeleri karşılayabilecek olan minimum mil çapı, d ve et kalınlığı, t 'dir.

Kardan mili, alıcı sisteme hareketi ve momenti ileten mil olarak düşünülmüş ve tahrik sistemi olarak da elektrik motoru öngörülmüştür. Sistem gereği olarak kardan mili, mafsallarının verdiği serbestlik derecesiyle düşey yönde manevra yapmaktadır. Bu manevra, kırılma açısından dolayı, mil üzerinde açısal hız, ω_i , düzensizliklerine yol açmaktadır. Açısal hızdaki bu düzensizliklerden dolayı, mile gelen moment ve tork (M, M_t, M_{td}) ve kuvvetlerde de düzensizlik görülmektedir [2]. Ayrıca; milin titreşim ve tutukluk, C_t , rezonansa girmemesi için kritik devir sayısı, n_{kritik} , ve maksimum burulma açısı, θ_{max} , kontrollerinin de yapılması gerekmektedir. Bu kontroller çözümün yapılması sürecinde kısıt fonksiyonu olarak adlandırılmıştır.

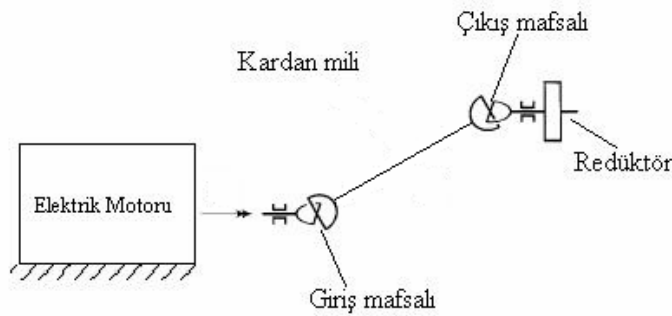
Görüldüğü üzere, kardan milinin tasarım hesabına birden fazla kısıt müdahale etmektedir. Bu da bir optimizasyon problemi çözümünü gerektirir. GA, diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiğiinden dolayı bir optimizasyon yöntemi olarak kullanılmak istenmiştir.

2. ÇALIŞMANIN AMACI, MATERYAL, YÖNTEM VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Amaç

Makine tasarımında, makine elemanlarının ve mekanizmaların daha az maliyette ve daha az malzemeden daha emniyetli olması istenmektedir. Bu sebepten dolayı; yapılan hesaplar çok hassas olmakta ve işlevi görebilecek en iyi emniyetli sistemler tasarlanmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, GA ile tasarım optimizasyonu yapılan kardan mili, redüktör miline hareketi veren bir mil olarak düşünülmüştür (Şekil 2.1). İletmiş olduğu hareket ve gücün kaynağı ise elektrik motoru milidir. Mil sistem gereği olarak kardan mili mafsallarından belirli açı aralığında yer değiştirebilme serbestliğine sahiptir. Problemin çözümü yapılarak optimum amaç fonksiyonu değerlerinde üretim yapıp bu şartlarda montaj yapılacaktır.



Şekil 2.1. Kardan mili sistemi

Bir transmisyon mekanizması olan kardan mili ve mafsalı, ağırlık bakımından hafif olmalıdır. Mekanizmanın ağır olması durumunda mile etki eden ağırlık kuvveti bir merkezkaç kuvveti oluşturacak, bu kuvvet mili eğilme gerilmesine zorlayacaktır.

Emniyetli gerilmelere dayanabilmesi şartıyla, milin ağırlığını en aza indirebilmek için kullanabileceğimiz iki parametre vardır. Bunlar, çap ve malzeme türüdür.

Malzeme türü ağırlığın azalmasında çok etkilidir. Kompozit malzemeler vb. gibi hafif ve gerilmelere dayanıklı malzemeler vardır. Fakat, çap ve et kalınlığı parametresi hem hafif malzemeler için hem de çelikler için yine optimizasyonu yapılması gereken bir parametredir. Çalışmada tasarımı yapılan parametreler, mil çapı ve et kalınlığı ile sınırlandırılmıştır.

2.2. Materyal ve Yöntem

Kardan milinin tasarım optimizasyonu için Matlab 7.0 programlama dilinde yazılmış GA kullanılmıştır. GA, doğal genetikteki kromozom oluşma şekline ve evrimsel prensiplerden esinlenerek oluşturulmuş bir arama ve optimizasyon yöntemidir [3]. GA ile bulunan sonuçları karşılaştırmak için Matlab 7.0 optimizasyon menüsünden olan ve ardışık kuadratik programlama tekniğini kullanan *fmincon* fonksiyonu kullanılmıştır. Ardışık kuadratik programlama tekniği, bir başlangıç noktasına ihtiyaç duyan geleneksel optimizasyon tekniklerindendir.

2.3. Literatür Taraması

Kardan milleri ile ilgili literatüre bakıldığında, yapılan çalışmalar genellikle bu millerin pratik uygulamaları, kullanım kısıtlamaları ve kinematik analizi üzerine olmuştur. Kardan milleri, birçok kaynakta farklı isimler altında literatüre geçmiştir. Bunlar U-mafsal ve mili, Hooke Mafsalı ve mili, universal mafsal ve mili şeklindedir. Bu çalışma da kullanacağımız isim kardan mili ve mafsalı olmasına rağmen, mafsalların açısal hız, ω_i , ve tork, M_i , üzerinde yaptığı değişiklikler göz önüne alınmış ve kardan milinin çapının, (d) , ve et kalınlığının (t) minimizasyonu üzerinde durulmuştur.

Mehmet Uçar doktora çalışmasında; kardan mili ve mafsalının hız ve tork aktarımında gösterdiği düzgünsüzlüğün (çıkış mili dönme açısı ve hızı ile giriş mili dönme açısı ve hızı arasındaki farklılık) giriş mili ile kardan mili arasındaki açı (kırılma açısı, β) ve birden fazla mafsal kullanılmış mekanizma trenlerinde montaj hatası, burulma, tasarım ve imalat hatası gibi nedenlerle ortaya çıkabilecek ara mil

çatalları arasındaki faz farkının mekanizmanın konum ve hız analizlerinde ortaya çıkardığı durumları incelemiştir [4].

Erkan Seçgin, yüksek lisans çalışmasında Q-Basic programlama dili kullanarak, U-mafsal mekanizmalarının kinematik analiz programını hazırlamıştır. Giriş milinin bir tam devrinde beşer derece aralıkla yapılan hesaplama ile çıkış milinin konumu ve açısal hızı bulunarak, sonuçları grafik şeklinde ifade etmiştir. Programda ayrıca kinematik analiz sonucu elde edilen formüller, trigonometrik birim çemberin dört bölgesi için düzenlenmiştir [2].

Hummel ve Chassapis, ideal universal bağlantılar için sistematik olarak tasarım ve optimizasyon yapan bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile universal bağlantıların belirli tork ve açıda çalışması esnasında, universal bağlantı parçalarının birbirinin hareketini engellemesi gibi durumlar ortadan kaldırılmıştır. Hummel ve Chassapis, geliştirdikleri bu yaklaşımın patentini almışlardır [5].

Cavacece, Stefanelli, Valentini ve Vita kardan milleri ve mafsallarının mekanik verimi ile ilgili bir model geliştirmişlerdir. Bu model üretim ve montaj hatalarının ve dönme hızı ile açısal düzenin kardan milinin verimine etkisini incelemektedir. Bulunan sonuçlara göre mekanik verimi, açısal hızdaki büyük artışlar % 1.4, kırılma açısındaki artışlar % 8.6 azaltmaktadır. Üretimden kaynaklanan küçük ölçü hataları ise verimde büyük kayıba yol açmamıştır (% 0.15) [6].

He, Guo ve Chu GA ve sonlu elemanlar yöntemini kullanarak rotor yatak sistemindeki bir milin çentik boyutunu ve konumunun tayinini yapmışlardır. Klasik arama metodlarına göre, matematiksel zorlanmalara ve lokal optimum noktalarına takılmadıklarını ve isabetli sonuçlar elde ettiklerini görmüşlerdir [7].

Carlo Brutti ve arkadaşlarının 1999'da mafsallar hakkında dinamik bir model geliştirmek amacıyla yaptıkları bir çalışmada seri bağlanmış iki adet kardan mafsalı ele alınmış, kardan milinin elastikliğinin aktarım performansı üzerine etkisi incelenmiş ve ataletin etkisi de dikkate alınarak çift kardan mafsalında tork analizi

probleminin kapalı bir biçimde çözümü elde edilmiştir. Elastiklik, kütle ve atalet koşulları dikkate alınarak bir model üzerinde çalışılmış ve şaft rijitliğinin ve açısallığının hem torku hem de yatak reaksiyonlarını değiştirdiği sonucuna varılmıştır [8].

Sheu ve Chieng'in 1996'da ASME yayınlarında yer alan makalelerinde mafsal açılarının ve mafsal sürtünmelerinin, çift kardan mafsalı sistemlerinin durağan cevapları üzerine etkileri araştırılmıştır. Kütle matrisi, sönümleyici matrisi ve katılık matrisi sonlu elemanlar modeli ile analitik olarak hesap edilmiştir. Elde edilen formülasyon, çift kardan mafsalı içeren kompleks rotor yataklama sistemlerinin analizi için uygun elemental bir matris tanımlamaktadır. Ayrıca analiz esnasında istavroz ve çatalar arasındaki bağıl açısallık tüm geometrik detayı ile hesap edilmiştir [9].

Bayrakçıken, Taşgetiren ve Yavuz otomobillerde kullanılan bir kardan mili ve mafsal çatalının spektroskopik kırılma analizini, metalografik kırılma analizini ve sertlik analizlerini yapmışlardır. Gerilme analizinde ise sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Sonuç olarak kırılmanın yorulma sonucu olduğu, kırılmanın gerilmenin en fazla olduğu yerden başladığı ortaya çıkmıştır [10].

Pantozopoulos, Sampani ve Tsagaridis kırılan bir universal bağlantının hasar analizini yapmışlardır. Hasar yüzeyini incelemek için optik inceleme ve ışıklı mikroskop yöntemi kullanılmış ve anormal yağlamanın hasarın oluşmasında destekleyici olduğu sonucu ortaya çıkmıştır [11].

3. GENETİK ALGORİTMA

GA, doğal genetikteki seçim işlevlerinden esinlenerek, verilen çözüm uzayında optimum çözüm arayan ve etkin çözümler sunan bir araştırma tekniğidir [12,13].

3.1. Genetik Algoritmanın Tanımı ve Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Mekanik öğrenme konusunda çalışan Holland, genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşünmüş ve tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir çözüm topluluğunun (populasyon) seçim, çaprazlama (crossover), değişim (mutasyon) gibi genetik süreçlerden geçerek yeni bireyler oluşturabildiğini gördü. Çalışmalarının sonucunu açıkladığı kitabının 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritma ismini aldı [14].

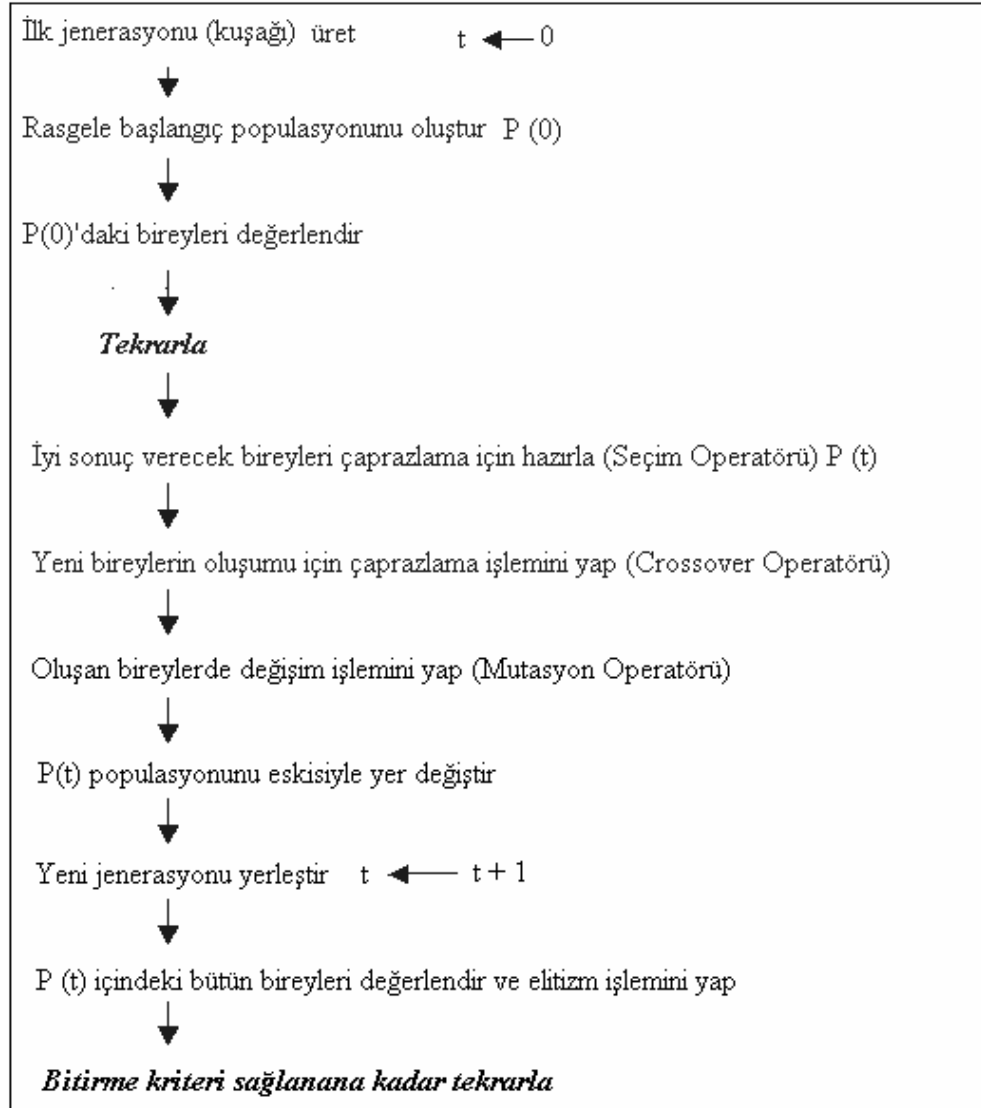
1985 yılında Holland'ın öğrencisi olarak doktora derecesini alan David E. Goldberg adlı inşaat mühendisi 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınladı. Genetik algoritmaların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşüncesini ortadan kaldıran Goldberg, gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ile 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü aldı.

Şimdiye kadar GA ile birçok alanda araştırma yapılmış ve birçok master ve doktora tezi sunulmuştur. Yapılan çalışmalar GA'yı da farklı yönlere sürüklemiş ve GA'nın operatörlerine ve işleyiş biçimine de yenilikler getirmiştir.

3.2. Genetik Algoritma Kuramı ve Çalışma Şekli

GA, doğada geçerli olan şartlara uygun en iyinin yaşaması prensibine dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretir. GA, rasgele kodlanarak oluşturulan bir başlangıç populasyonuyla çözümler oluşturur ve çeşitli seçim mekanizmaları ve genetik operatörleri kullanarak oluşturulan çözümleri optimum çözüme götürmeye çalışır

[15]. Çözümlerin ne kadar iyi olduğunu ölçen fonksiyon uygunluk fonksiyonu (fitness function) dur. GA geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bir başlangıç noktası ile değil bir çok nokta ile işe başlar. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçer, kötülerini eler. GA'nın program algoritması Şekil 3.1'de ve akış şeması Şekil 3.2'de gösterilmiştir. GA, ilk olarak rasgele oluşturulan ve ikilik tabandaki (binary) kodlarla gösterimi yapılan bir grup başlangıç çözümü (populasyon) üretir. İterasyon başlangıç çözümler kullanılarak başlar ve sonlandırma kriteri sağlanana kadar devam eder. Sonlandırma kriteri, jenerasyon sayısı, algoritmanın çalışma süresi, uygunluk fonksiyonunun en iyi değerinin belirli bir süre içinde aynı değerleri taşıması gibi kriterler olabilir. Bu tez çalışmasında sonlandırma kriteri jenerasyon sayısıdır. Başlangıç populasyonundaki her çözümün (birey) uygunluğu ölçülür ve en iyi birkaçı elitizm operatörü ile bir sonraki jenerasyona direkt olarak gönderilir. Kalan bireyler, belirli bir seçim mekanizmasıyla uygunluk değerinin iyilik derecesine göre seçilir. Seçilen iyi bireyler çaprazlama (crossover) ve değişim (mutasyon) operatörlerine tabi tutulup, daha iyi bireyler oluşturularak yeni jenerasyon için hazırlanırlar. Oluşan bu yeni bireyler eski bireylerle yer değiştirir ve yeni jenerasyonun bireyleri olurlar. Seçim operatörü ve genetik operatörler yeniden uygulanır. Uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirme işlemi yeniden yapılır. Bu döngü kabul edilebilir, mantıklı bir sonuç bulunana kadar devam eder [16,17].



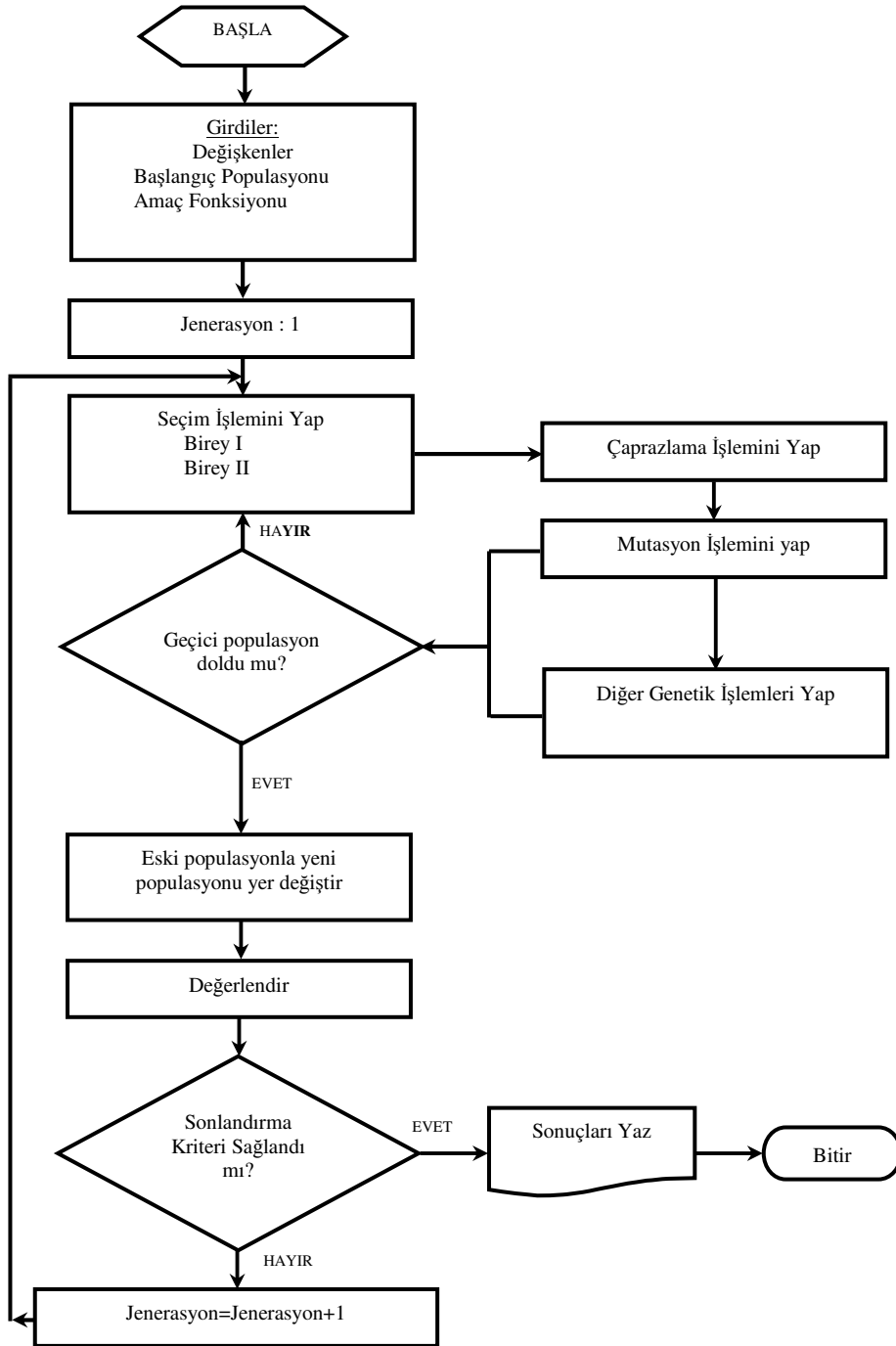
Şekil 3.1. GA'nın program algoritması

GA geleneksel algoritmalarından farklı olarak değişken kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanır. Olasılık kurallarına göre çalışan GA, yalnızca amaç fonksiyonuna tasarım değişkenlerine ve mevcut ise kısıtlara gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tarar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşır [15].

Popülasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren bireyler zamanın ilerlemesiyle üstel olarak çoğalır. Bu çoğalma, genetik operatörler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir ve sonucunda ana-babadan daha üstün özellikler taşıyan

bireyler ortaya çıkmaktadır. Bu çözüm kalitesinin kuşaktan kuşağa artması iki nedene bağlanmaktadır. Başarısız olan bireylerin üreme şansları azaltıldığı için kötüye gidiş zorlaşmaktadır. GA'nın yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, GA'nın temel teoremi uyarınca, zaman içinde hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir.

GA'nın işleme adımları incelendiğinde bu nedenler daha iyi anlaşılmaktadır. GA yapısı gereği, kötü bireyleri başka bir ifadeyle uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir [18].



Şekil 3.2. Genetik algoritmanın akış diyagramı [19]

3.2.1. Başlangıç işlemleri

Kodlama

Bir problemin çözümü için GA geliştirmenin ilk adımı, tüm çözümlerin aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde göstermektir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rastsal bir noktayı simgeler. Değişkenlerin kodlanması, probleme özgü bilgilerin GA'nın kullanacağı şekle çevrilmesine olanak tanır.

GA'da ilk adım problemin arama uzayını en iyi temsil edecek kodlama yapısının seçimidir. En yaygın kullanılan kodlama, ikili{1,0} düzendeki kodlamadır [20]. Dizilerin uzunluğu, değişkenlerin veya değişkenin alt ve üst sınırları tüm noktaları temsil edecek şekilde belirlenmelidir. Her tasarım değişkeni alt ve üst sınır olarak

$$x_{(i)alt} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)üst} \quad (3.1)$$

“Eş 3.1” kullanılarak belirli aralıkta genleri oluşturur. Kodlanan genlerin birleştirilmesi ile de tasarım problemine ait kromozom (birey) elde edilir. Bir kromozom bitlerden meydana gelir. Genetik algoritmanın başarısı, problemin uygun kodlanmasına bağlıdır. Binary düzenindeki bu bitlerin sayısı l , aşağıdaki bağıntı ile bulunur [21].

$$2^l \geq [(x_{(i)üst} - x_{(i)alt}) / \varepsilon] + 1 \quad (3.2)$$

Burada l tasarım değişkeninin ikilik sistemdeki uzunluğunu, ε , tasarım değişkeninin artım aralığını ifade etmektedir. Tasarım değişkenlerinin gerçek değerleri, $x_{(i)}$, Eş. 3.3 ile ikilik sistemden gerçek değerine dönüştürülür [22].

$$x_{(i)} = ((x_{(i)üst} - x_{(i)alt}) / (2^l - 1)) d_{(i)} + x_{(i)alt} \quad (3.3)$$

Burada, $d_{(i)}$, ikilik sistemdeki dizinin onluk tabana dönüştürülmesi sonucu elde edilen değerdir.

İlk populasyonun oluşturulması

GA'nın diğer yöntemlerden farklı olan bir özelliği de, arama işlemine belirli bir noktadan başlamayıp, çözüm noktalarının oluşturduğu bir grup başlangıç çözümü ile başlamasıdır. Bu sebeple ilk olarak, populasyon büyüklüğü kadar rasgele bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubu, populasyon; her bir çözümün kodları da kromozom olarak adlandırılır.

Başlangıç populasyonu; çözüme başlayabilmek için ilk olarak rasgele oluşturulan ve içerisinde problemin değişkenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzudur. Bu adıma popülasyonda bulunacak birey sayısı (populasyon büyüklüğü) belirlenerek başlanmaktadır (Bkz. 3.2.3). Populasyon bu işlemten sonra rasgele oluşturulur.

Uygunluk değerinin hesaplanması

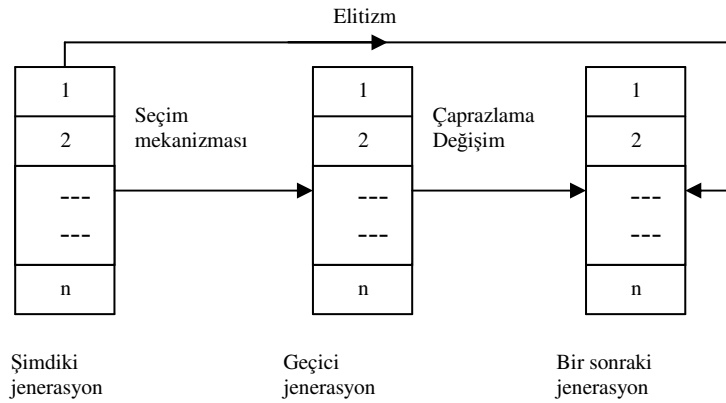
Bir jenerasyonun oluşturulmasından sonraki adım, popülasyondaki her bireyin uygunluk değerinin hesaplanmasıdır. Uygunluk değeri, mevcut popülasyondan hangi bireylerin bir sonraki popülasyonun oluşturulmasında kullanılacağını belirlemede kullanılır. Bir popülasyondaki en uygun birey uygunluk değeri en yüksek olan birey, en zayıf birey ise uygunluk değeri en düşük olan birey anlamına gelir. Örneğin, kısıtsız bir maksimizasyon problemi için i . bireyin uygunluk değeri $f(x)_i$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir. Fakat minimizasyon probleminde, $f_c(x)_i$, uygunluk fonksiyonunun (UF) negatif değeri için bir dönüşüm kullanılır [15].

$$f(x)_i = C_{max} - f_c(x)_i \quad (3.4)$$

Burada, $C_{\max}$ yeteri değerde büyük bir sayı olup uygunluk değerinin pozitif olmasını sağlar. Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma olasılığı o kadar fazladır ve bir sonraki jenerasyonda temsil edilme oranı da o kadar yüksektir. Çoğu zaman genetik algoritmanın başarısı bu uygunluk değerinin verimli ve hassas hesaplanmasına bağlı olmaktadır [3]. Bir kromozomun seçim operatörüyle seçilme olasılığı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan kromozomun uygunluk değerine bağlıdır [23,24].

3.2.2. Genetik operatörler

Populasyondaki bireyler, amaç fonksiyonu referans alınarak uygunluk değerine göre kopyalanır ve iyi sonuç verebilecek bireyler yeni jenerasyona aktarılmak için genetik operatörlere tabi tutulur [25]. Şekil 3.3'te genetik operatörlerin şematik gösterimi verilmiştir [7].



Şekil 3.3. Genetik algoritma operatörleri

Elitizm

En iyi uygunluk değerine sahip olan populasyon bireyi ya da bireylerinin bir sonraki populasyon içinde yer almasını sağlamak için bu operatör kullanılır. En iyi uygunluk değerlerine sahip bu bireyler hiçbir genetik operatörle işleme tabi tutulmadan yeni oluşturulacak jenerasyona gönderilir ve bu her jenerasyon oluşturulması sırasında tekrarlanır. Elitizm çok hızlı bir şekilde GA' nın performansını artırır çünkü en iyi bulunan çözüm yada çözümleri kaybetmeyi önler [26].

Seçim operatörü ve seçim mekanizmaları

Kromozomların eşlenmesi uygunluk değerlerine göre yapılır. Uygunluk değerine göre seçim operatörüyle seçilen kromozomlar eşleşme havuzuna gönderilir. Literatürde bulunan ve en çok kullanılan seçim mekanizmaları, Orantılı (proportionate) seçim mekanizması, sıralı (rank) seçim mekanizması, turnuva (tournament) seçim mekanizması, denge durumu (steady state) seçim mekanizması olacak şekilde dört ana başlık altında toplanmıştır [25].

Orantılı seçim mekanizmaları: Bu seçim mekanizmaları, rulet çemberi, stokastik artan ve stokastik üniversal seçim mekanizmaları olarak bilinen, bir seçim yığınındaki kromozomların uygunluk değerlerine göre seçiminin yapıldığı seçim mekanizması türleridir [3].

Rulet tekerleği seçim mekanizması: Her bir populasyon bireyi için hesaplanan uygunluk değerleri bir çarkın dilimlerini oluştururlar. Uygunluk değeri büyük olan çarkta daha büyük bir alana sahip olacaktır. Bu durumda populasyondaki bu bireylerin seçilme olasılığı daha yüksek olacaktır. Populasyondaki her bir birey için hesaplanan seçilme olasılıklarına göre rulet çarkının içi dilimlenerek doldurulur. Çark populasyondaki toplam birey sayısı kadar çevrilir. Her çevrimde diğer operatörlerde kullanılacak yeni bireyler için seçim işlemi yapılır [15].

$$F = \sum_1^N UF(x_i) \quad (3.4)$$

$$P_r(x_i) = UF(x_i) / F \quad (3.5)$$

F : Populasyondaki bütün uygunluk değerlerinin toplamı

$P_r(x_i)$: Populasyonun i.nci adımıdaki kromozomlarının seçilme olasılığı

N : Populasyon adımı sayısı

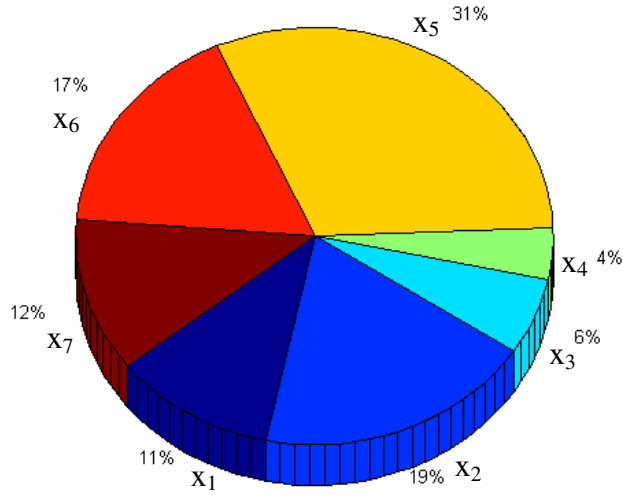
UF : Uygunluk fonksiyonu

Bu yöntemi bir örnek ile açıklayacak olursak; başlangıç populasyonu adım sayısı 7 olan ve bir sonraki kuşak için rulet seçim mekanizmasını kullanan bir GA programı için yeniden üretim operatörleri için kullanılacak sağlıklı bireylerin seçimi aşağıdaki gibi olacaktır.

$P_r(x_1)$	= 0.11	çarkın 0.00 ile 0.11 arası dilimi
$P_r(x_2)$	= 0.19	çarkın 0.11 ile 0.30 arası dilimi
$P_r(x_3)$	= 0.06	çarkın 0.30 ile 0.36 arası dilimi
$P_r(x_4)$	= 0.04	çarkın 0.36 ile 0.40 arası dilimi
$P_r(x_5)$	= 0.31	çarkın 0.40 ile 0.71 arası dilimi
$P_r(x_6)$	= 0.17	çarkın 0.71 ile 0.88 arası dilimi
$P_r(x_7)$	= 0.12	çarkın 0.88 ile 1.00 arası dilimini oluşturur.

.

Hesaplanan uygunluk değerlerinin rulet çemberine yerleştirilmesi Şekil 3.4' teki gibi olacaktır.



Şekil 3.4. Bireylerin rulet tekerleğine yerleşimi

Şekil 3.4'te görüldüğü gibi uygunluk değerine göre en yüksek seçilme olasılığına sahip populasyon bireyi x_5 en düşük seçilme ihtimali olanı ise x_4 olarak görülmektedir. Rulet çarkının tamamını %100 yani 1 olarak alındığı varsayılırsa çark her dönüşünde 0 ile 1 arasında bir dilimin olduğu herhangi bir noktada duracaktır. Bilgisayar programı yardımı ile populasyondaki birey sayısı kadar sayı, 0 ile 1 arasında rastgele üretilir. Bu sayılara karşılık gelen çarkın bölmelerine ait bireyler çiftleşme havuzuna gönderilir [15].

0 ile 1 arasında rasgele 7 sayı bilgisayar programında belirlenir. Böylece çark 7 defa çevrildiği varsayılır. Bunlar ;

0,1897 0,3734 0,6822 0,9134 0,5417 0,1029 0,7579

bu durumda yeni bir populasyon oluşturmak için seçilen populasyon bireyleri

$x_2, x_4, x_5, x_7, x_5, x_1, x_6$ şeklinde olacaktır.

Görüldüğü üzere üçüncü populasyon bireyinin seçilme ihtimali çok düşük olduğundan seçilmemiş ve bu durumda genleri yok olduğundan bir sonraki jenerasyonda kendini temsil edememiştir. Seçilen bu bireyler GA'nın diğer operatörü

olan çaprazlama (Crossover) ve mutasyon (değişim) gibi operatörlerin yaptığı işlemlerin ardından gelecek jenerasyonun bir bireyi olacaktır.

Bu seçim mekanizmasının uygulanabilirliği şu durumda azalır. Örnek olarak, 1. populasyon bireyinin uyumluluğu en iyi ve değeri %95 olsun. Neticede çarkın %95' ini bir birey oluşturacaktır. Bu durumda diğer populasyon bireylerinin seçilme olasılığı çok azalacaktır.

Stokastik artan seçim mekanizması: Bu mekanizma türünde popülasyondaki bireylerin gerekli olan kopya sayısı belirlenir. Sonra her bireyin beklenen kopya sayısının tamsayı kısmı kadar kopyası çiftleşme havuzuna kopyalanır.

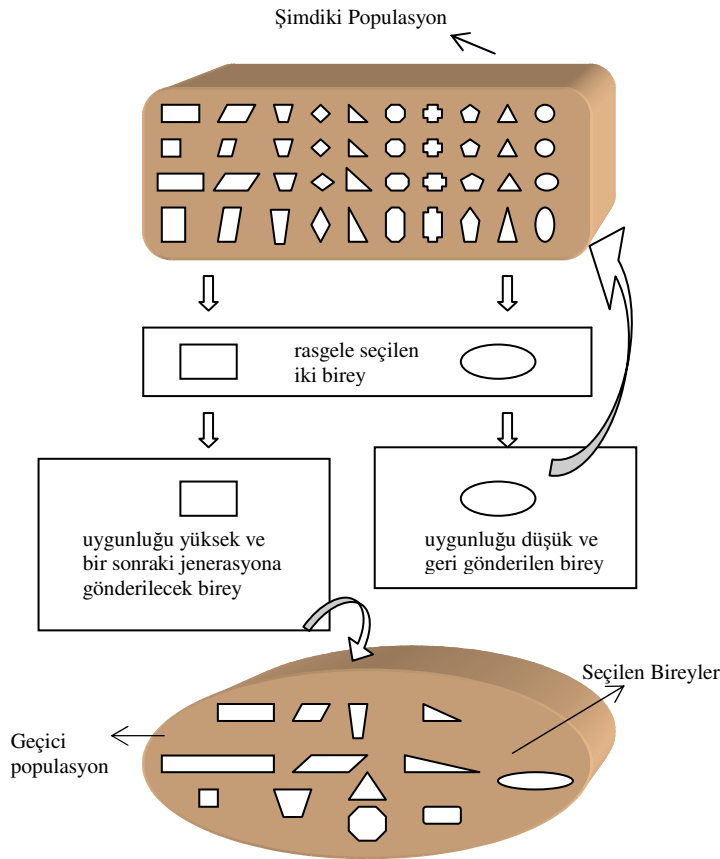
Stokastik universal seçim mekanizması: Rulet çemberi seçim mekanizmasına benzeyen bu seçim mekanizması ile rulet çemberi arasındaki fark; rulet çemberinin dış kısmında yığın genişliğinin sayısı kadar eşit parçaya bölünmüş olmasıdır. Seçim aşamasında, dizinin kopya sayısı çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir ve rulet bir defa döndürülür ve yığının kopya sayısı çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir [3].

Sıralı seçim mekanizması (rank selection): Baker tarafından öne sürülen bu mekanizmada, ilk olarak yığındaki bireyler en iyiden en kötüye yani seçilme olasılıkları en yüksekten en düşüğe doğru sıralanırlar. En iyi bireyden başlamak üzere azalan bir fonksiyon yardımıyla dizilere bir kopya sayısı atanır ve bundan sonra orantılı seçim mekanizmalarından biri kullanılarak kopyalar elde edilir ve yeni populasyon oluşturulur.

Sıralı seçim mekanizmasının diğer mekanizmalara göre avantajları vardır. Bu mekanizmada ölçeklendirme fonksiyonlarının kullanımına gerek duyulmaz. En iyi uygunluk değerine sahip olan yığın bireyi % 85 gibi büyük bir orana sahip ise bir sonraki yığını oluşturmak için seçim yapmak çok zor olacaktır. Diğer bireyler örneğin %5 , %3 , %2, %4, %1 gibi değerlerde olacaklardır. Bu durumda çözüm için en iyi mekanizma sıralı seçim mekanizmasıdır. Bu mekanizmanın en büyük avantajı

zayıf bireylere de seçilme şansı tanınmasıdır. Böylece güçlü bireylerin yüksek olan seçilme olasılığı biraz daha düşürülmüş olmaktadır.

Turnuva (Tournament) seçim mekanizması: Bu mekanizma da yığından rasgele bir grup birey seçilir ve bu grup içerisinde uygunluk değeri en büyük olan birey alınır ve kromozom eşleme havuzuna gönderilir. Diğerleri yine yığının içine bırakılır ve hala seçilme şansları devam eder [19]. Şekil 3.5'te turnuva seçimi şekilsel olarak ifade edilmiştir. Bu işlem havuz dolana kadar yani yeni popülasyondaki istenilen birey sayısına ulaşılan kadar devam eder. Bu yöntemin rulet çemberine göre avantajı, herhangi bir kromozomun süreç sırasında kaybedilme olasılığı daha azdır. Rulet seçim mekanizmasındaki örnekte, uygunluk değerleri ve seçilme ihtimalleri göz önüne alınarak turnuva seçim mekanizması kullanıldığında ilk önce x_5 ve x_2 seçilerek kaydedilir. Bunlar çiftleşme havuzunda kesinlikle yer alırlar.



Şekil 3.5. Turnuva seçim mekanizması

Denge durumu seçim mekanizması: Bu seçim mekanizmasında, önce sıralı seçim mekanizmasında olduğu gibi seçilen bir veya iki bireye genetik operatörler uygulanır. Bu işlem sonucunda elde edilen yeni bireyler yığın içerisinde bulunan ve uygunluk değerleri düşük olan bireyler ile yer değiştirilerek yeni populasyon oluşturulur.

Çaprazlama operatörü

Mevcut gen havuzunun potansiyelini artırmak üzere, bir önceki jenerasyondan gelen kromozomlardan daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomlar oluşturmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama (gen takası), verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen anne-baba çiftlerine uygulanmaktadır [27].

Çaprazlama işlemine bütün populasyon bireylerinin girmesi zorunluluğu yoktur. Bazı populasyon bireylerinin çaprazlama işlemine uğramadan bir sonraki populasyona geçmesi isteniyorsa bu durumda çaprazlama oranı belirlenir. Daha sonra populasyondaki her birey için 0 ile 1 aralığında bir gerçek sayı üretilir. Bu gerçek sayı çaprazlama oranından küçük ise birey çaprazlama işlemine tabi tutulur, büyük ise çaprazlama işlemine tabi tutulmaz. Crossover olasılığı 0.5-1.0 aralığında tavsiye edilir.

Çaprazlama oranı $P_c = 0.8$ belirlendiğini varsayarsak, 10 adet bireyden 8 tanesi çaprazlamaya tabi tutulacaktır. Çaprazlamaya uğrayacak bu kromozomların belirlenebilmesi için her birey için bir p sayısı üretilir.

$$p \in R \quad 0 < p < 1$$

Çizelge 3.1. Çaprazlama için üretilen rasgele değerler

p_1	0,95
p_2	0,24
p_3	0,81
p_4	0,07
p_5	0,62
p_6	0,74
p_7	0,32
p_8	0,19
p_9	0,46
p_{10}	0,73

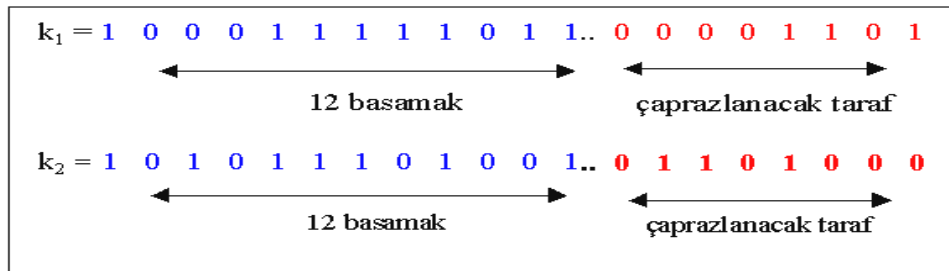
- $p_1 > P_\zeta$ 0,95 > 0,8 olduğundan 1 numaralı birey çaprazlama işlemi görmez.
- $p_2 < P_\zeta$ 0,24 < 0,8 olduğundan 2 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_3 > P_\zeta$ 0,81 > 0,8 olduğundan 3 numaralı birey çaprazlama işlemi görmez.
- $p_4 < P_\zeta$ 0,07 < 0,8 olduğundan 4 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_5 < P_\zeta$ 0,62 < 0,8 olduğundan 5 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_6 < P_\zeta$ 0,74 < 0,8 olduğundan 6 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_7 < P_\zeta$ 0,32 < 0,8 olduğundan 7 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_8 < P_\zeta$ 0,19 < 0,8 olduğundan 8 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_9 < P_\zeta$ 0,46 < 0,8 olduğundan 9 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_{10} < P_\zeta$ 0,73 < 0,8 olduğundan 10 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.

Çaprazlama işlemi tek noktalı, çift noktalı, çok noktalı ve düzgün (uniform) çaprazlama medotları ile yapılmaktadır. Burada bunların en çok kullanılanları açıklanacaktır.

Tek noktalı çaprazlama yöntemi: Bu tip çaprazlama işleminde ikiyeşerli olarak eşleştirilen bireylerin çaprazlanması için rasgele olarak bireyin genleri üzerinde bir nokta seçilir. Bu nokta sıfır ile bireyin gen sayıları arasında bir sayının üretilmesi ile belirlenir. Kromozomlar belirlenen bu noktadan ikiye ayrılır. Başlangıç kısımları aynı kalır, ikinci kısımları yer değiştirir. Örneğin 20 genden oluşan bir birey için 1

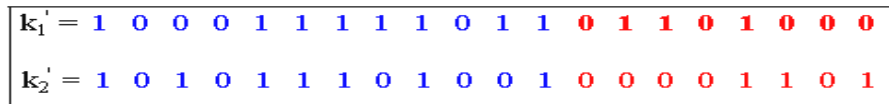
ile 19 arasında bir sayı üretilir ve üretilen sayının sağındaki rakamlar çaprazlamaya tabi tutulur.

$a \in \{1,19\}$, $a=12$ ve çaprazlamaya tabi tutulacak kromozomlar, Şekil 3.6'da k_1 ve k_2 ise



Şekil 3.6. Tek noktalı çaprazlama

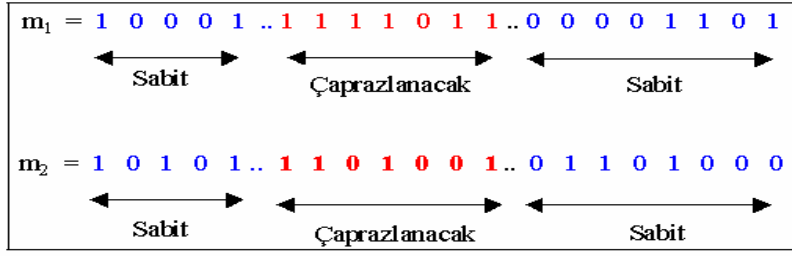
Çaprazlamadan sonra k_1' ve k_2' kromozomlarının durumları Şekil 3.7' deki gibidir.



Şekil 3.7. Tek noktalı çaprazlama sonucu durum

Çift noktalı çaprazlama yöntemi: Bu çaprazlama işleminde çaprazlama noktası iki tanedir. Bu noktaların arası çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır. Noktalar tek noktalı çaprazlama da olduğu gibi 0 ile bireydeki gen sayısı arasında rasgele üretilir. Kromozomlar belirlenen noktalardan üç kısma ayrılır. Kromozomun baş kısmı ile son kısmı aynı kalır ve aradaki kısım çaprazlama işlemine tabi tutulur.

$a \in [1,19]$ $a=5$, $b=12$ ve çaprazlamaya uğrıtılacak kromozomlar m_1 ve m_2 ise Şekil 3.8'dedir.



Şekil 3.8. Çift noktalı çaprazlama

Çaprazlamadan sonra m_1 ve m_2 kromozomları aşağıdaki Şekil 3.9'daki gibi bir oluşuma gider.



Şekil 3.9. Çift noktalı çaprazlama sonucu durum

Düzenli (Uniform) çaprazlama yöntemi: Düzgün çaprazlama metodunda tek ve iki noktalı çaprazlama da olduğu gibi belli noktalardan kesilerek çaprazlama işlemi yapılmaz. Bu metodta hangi genlerin çaprazlamaya tabi tutulacağını belirleyen bir çaprazlama kalıbı (maske) rasgele olarak üretilir ve bu kalıba göre çaprazlama yapılır.

Bu yöntemin, tek noktalı ve çift noktalı yöntemlere göre avantajı, çaprazlamanın çok noktadan yapılmasıdır. Diğer yöntemlerde, sabit kısımlar hariç, diğer kısımlar tamamen değiştirilmektedir. Bu değişim, üretilen kromozomun eskisinden daha kötü uygunlukta olmasına sebep olabilir. Uniform çaprazlama ile bu durumun oluşması daha düşük olasılıktadır [27].

$$a = 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1$$

a çaprazlama kalıbı ve kromozomlar m_1 ve m_2 şeklinde olursa (Şekil-3.10)

$m_1 =$	[1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0]
$m_2 =$	[1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1]
	↑			↑		↑		↑	↑	↑		↑		↑		↑	↑		↑	
$a =$	[1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1]

Şekil 3.10. Düzgün çaprazlama

Çaprazlama işlemi sonucunda m_1 ve m_2 genleri Şekil 3.10'daki gibi oluşur.

$m_1 =$	[1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0]
$m_2 =$	[1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1]

Şekil 3.11. Düzgün çaprazlama sonucu durum

Çaprazlama kalıbı tek ve iki noktalı çaprazlama işlemlerinde de kullanılabilir. Bu durumda oluşacak kalıplar Şekil 3.11'de görülen durumda olup kalıpta 0 alan değerler çaprazlamaya uğramadan, 1 alan değerler ise çaprazlamaya tabi tutulur.

$a =$	[0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1]
$a =$	[0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0]

Şekil 3.12. Tek ve çift noktalı çaprazlamada kullanılan düzenli kalıplar

Çaprazlama işlemi için mevcut bireylerden uygunluk değerleri en iyi olanlar seçilmiş olmasına rağmen bu işlem sonucunda oluşacak yeni jenerasyon bireylerinin eskisinden daha iyi olacağının garantisi yoktur.

Değişim (mutasyon) operatörü

Mutasyon operatörü, arama uzayını genişletmek ve çeşitliliğini artırmak için, rasgele bir şekilde bireylerin genlerinde küçük değişiklikler yapmak için kullanılır.

Mutasyon işlemi çaprazlama işleminden sonra gerçekleşir. Mutasyon işlemi yeni üretilmiş bir kromozomun genlerinde rasgele 0 'dan 1 ' e, 1 'den 0 'a değişiklik yapmak için kullanılır [11]. Mutasyon işlemi için genlerin hangi oranda seçileceği mutasyon oranı ile belirlenir. Bu oran $p_m = 0,05$ ise bireylerin genlerinin %5'inin değişmesi öngörülüyor demektir. Hangi genlerin mutasyona uğratılacağını tesbiti için bireylerin genlerinin sayısı kadar rasgele η sayısı üretilir. Örneğin 20 genden oluşan 20 kromozom için;

$N = 20 \times 20 = 400$ adet η değeri üretilir. $\eta \in R, 0 < \eta < 1$ oluşturulan bu değerler belirlenen $p_m = 0,05$ değeri ile karşılaştırılır ve $\eta < p_m$ durumunu sağlayan genler mutasyon işlemine tabi tutulur. Çizelge 3.2'de de görülen η değerlerine göre

- $\eta_8 < p_m$ (0,03 < 0,05) 1. Bireyin 8 numaralı geni mutasyona tabi tutulur.
 $\eta_{397} < p_m$ (0,04 < 0,05) 20. Bireyin 17 numaralı geni mutasyona tabi tutulur.

Mutasyon operatörüne tabi tutulacak genler bu şekilde belirlenir. Diğer genler ise oldukları gibi yoluna devam ederler. İkili kodlama (Binary) sistemde mutasyon işlemi değeri '0' olan genlerin '1', '1' olan değerlerin '0' olarak değiştirilmesi şeklinde olur.

Çizelge 3.2. Her gen için üretilen mutasyon oranı

η_1	0,06
η_2	0,24
η_3	0,60
η_4	0,49
η_5	0,87
η_6	0,77
η_7	0,48
η_8	0,03
...	...
η_{397}	0,04
η_{398}	0,96
η_{399}	0,43
η_{400}	0,87

$m'_2 = 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0$	$\longleftrightarrow$ Önce
$m''_2 = 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0$	$\longleftrightarrow$ Sonra

Şekil 3.13. Mutasyon operatörünün uygulması

8. geni mutasyon için seçilen m'_2 kromozomu mutasyon işleminden sonra m''_2 şeklinde yeni bir kromozom oluşturur.

Değiştirme (mutasyon) olasılığı 0,1-0,01 aralığında olması tavsiye edilir. Aşağıdaki eşitlik Bäck tarafından önerilmiştir [28].

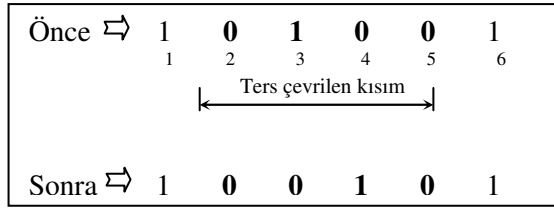
$$1/(PopulasyonBüyükülüğü) \leq P_{MutasyonOranı} \leq 1/(KromozomUzunluğu) \quad (3.6)$$

Diğer operatörler

Seçim operatörü, crossover ve mutasyon operatörleri genetik algoritma uygulamalarında en fazla kullanılan operatörler olmasına rağmen, birçok operatör araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır. Bunlar *uygunluk değeri paylaşımı* ve *ters çevirme* (inversion) vb. operatörlerdir.

Uygunluk paylaşımının asıl amacı, arama uzayındaki farklı üst noktalara popülasyonu yaymaktır. Uygunluk paylaşımı, bir bireyin uygunluğunu, popülasyondaki bu bireye benzer diğer bireylere bağlı olarak paylaştırıldığı mantığına dayanan bir yaklaşımdır [29].

Ters çevirme (inversion) operatörü, anne kromozomun genlerinde rastgele seçilmiş iki nokta arasında bulunan gen sırasını ters çevirerek görevini yerine getirir. Ters Çevirme operatörünün mekanizması aşağıda Şekil 3.14'de görülmektedir [29].



Şekil 3.14. Ters çevirme operatörü

3.2.3. Genetik algoritmaların performansını etkileyen parametreler

Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Optimal kontrol parametreleri bulmak için bir çok çalışma yapılmıştır. Fakat tüm problemler için genel olarak kullanılabilen parametreler bulunamamıştır. Bu parametreler, kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır ve çok iyi bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Kontrol parametreleri popülasyon büyüklüğü(N), Çaprazlama oranı(P_c), Mutasyon oranı (P_m), Seçim stratejileri ve Ölçeklendirme faktörü olarak sayılabilir [27].

Popülasyon büyüklüğü (N): GA'ların araştırma ve optimizasyon problemlerine uygulanmasında kullanıcının yapması gerekenlerden biriside popülasyon genişliğinin belirlenmesidir. Popülasyon genişliği küçük ise performans düşük olur. Eleman sayısının az olması durumunda çözümün lokal optimuma yönelmesi riski oluşur. Eleman sayısının fazla olması durumunda işlem hızının yavaşlaması ve sonuçların çok uzun zamanda alınması söz konusu olur. Genel olarak topluluk büyüklüğü problemin büyüklüğüne bağlıdır. Değişken sayısı fazla olan problemlerin çözümünde kullanılan topluluk büyüklüğüde fazla olması gerekir. Dizi uzunluğuna bağlı olarak yığın genişliğini bulmak için $N = 1,65 \cdot 2^{0,21 \cdot l}$ eşitliği önerilmiştir [30].

Çaprazlama oranı (P_c): Çaprazlama oranı da sonuçları etkileyen önemli parametrelerdendir. Çaprazlamanın amacı mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomları meydana getirmektir. Çaprazlama oranı çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. GA'da her yeni yığında $P_c \cdot N$ adet diziye çaprazlama işlemi uygulanır. Büyük çaprazlama oranı

kromozomların gen değişikliğini hızlandırırken düşük oran aramanın yavaşlamasına neden olacaktır[27].

Mutasyon oranı (P_m): Bu oran mutasyona uğrayan genlerin topluluktaki toplam gen sayısına bölümüyle elde edilen bir orandır. Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliği korumaktır. Bu oranın düşük alınması durumunda iyi duruma gelebilecek pek çok bireye hiç ulaşamayacaktır. Yüksek alınması durumunda ise rasgele bir karışıklık oluşur ve yeni jenerasyon bireylerinin eski jenerasyon bireylerine nazaran uygunlukları azalabilir.

Seçim stratejileri: GA'da kullanılan seçim stratejileri, rulet çemberi, orantılı seçim, sıralı seçim, turnuva seçim ve denge durumu seçim mekanizmaları literatürde en çok kullanılan ve anlatılan mekanizmalardır. Probleme göre en uygun seçim mekanizmasının seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır.

Ölçeklendirme faktörü: Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır.

3.2.4. Şema teorisi

Genetik algorithmada oluşan başarılı bireyler incelendiğinde, bu bireyler arasında benzerlikler olduğu görülür. Bu benzerliklerden yola çıkarak şemalar oluşturulabilir. İkilik tabandaki kodlama için şu yöntem önerilebilir. 0,1 ve # bit olarak alınır. '#' kromozomun o genindeki bitin 0 veya 1 olmasının önemsiz olduğunu gösterir [29].

Örnek olarak ikinci ve dördüncü bitleri 1, altıncı biti 0 olan çözümlerin başarılı olduğu bir popülasyonda #1#1#0 şeması oluşturulabilir. Bu şemaya uygun 010100, 010110, 011100, 011110, 110100, 110110, 111100, 111110 dizileri yazılabilir. Görüldüğü gibi şemaların katılması ikilik dizilerle gösterilen arama aralığını büyütmektedir. Arama aralığının büyümesi sonucun bulunmasını zorlaştırması

beklenir ancak durum böyle değildir. Genetik operatörler ile iyi özellikler daha çok bir araya gelerek daha iyi değerlere sahip şemalara uygun çözümler elde edilir. Genetik algoritma kendi içinde sanal olarak şemaları oluşturur. Bireyler incelenerek bu şemalar ortaya çıkarılabilir. Genetik algoritma şemaları oluşturmak için popülasyon bireylerinin kodları dışında bir bilgi tutmaz. Her jenerasyonda, iyiyi belirleyen şemalardaki belirsiz yada önemsiz elemanlar azalır. Böylece genetik algoritmalar sonuca doğru belli kalıplar içinde ilerler.

3.3. Genetik Algoritma İle Kısıtlı Optimizasyon Problemleri

GA'nın optimizasyon problemlerine uygulanmasında en büyük zorluk, klasik genetik operatörlerle kısıtları sağlamayan çözümlerin elde edilmesidir. Bu tür problemlerde uygun çözümlerin bulunduğu başlangıç popülasyonu elde edilse bile, çaprazlama ve mutasyon operatörleri sonucu uygun yeni çözümlerin elde edilmesi çok kolay değildir. Bu sorunun ortadan kaldırılması için çeşitli yaklaşımlar vardır. Bunlardan en çok kullanılanı ceza fonksiyonudur [25].

3.3.1. Ceza (Penalty) fonksiyonunun genetik algoritmada kullanımı

Makine tasarımında, optimizasyon problemlerinin bir çoğu kısıtlı optimizasyon problemidir. Kısıtların dışına çıkmadan uygun ve en iyi sonucu bulmak zordur. Ceza fonksiyonu metoduyla, makul olmayan sonuçların uygunluğu kısıtın aşılma derecesine bağlı olarak düşürülür ve bu şekilde kısıtları sağlayan en iyi uygunluk değerine sahip çözüm en uygun çözüm olarak alınır [15].

Ceza fonksiyonu, kısıtlı optimizasyon problemlerinin çözümü için GA'da kullanılan en genel tekniklerden biridir. Bu teknik, uygun olmayan çözümü cezalandırarak kısıtlı problemi kısıtsız duruma dönüştürür.

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile penaltı fonksiyonunun toplamıdır ve

$$f(x) = f_{amaç}(x) + \sum_{i=1}^{KS} r_i p_i(x) \quad (3.7)$$

Ceza fonksiyonu, p_i , genellikle kuadratik formda olur [29].

$$p_i(x) = (\text{maksimum}[0, g_i(x)])^2 \quad (3.8)$$

Burada, r_i , i . penaltı katsayısı ve g_i , i . kısıt fonksiyonudur. Sınırlı maksimizasyon problemi için uygunluk fonksiyonu $f(x)$:

$$f(x) = f_{amaç}(x) - \sum_{i=1}^{KS} r_i p_i(x) \quad (3.9)$$

Sınırlı minimizasyon problemi için uygunluk fonksiyonu $f(x)$:

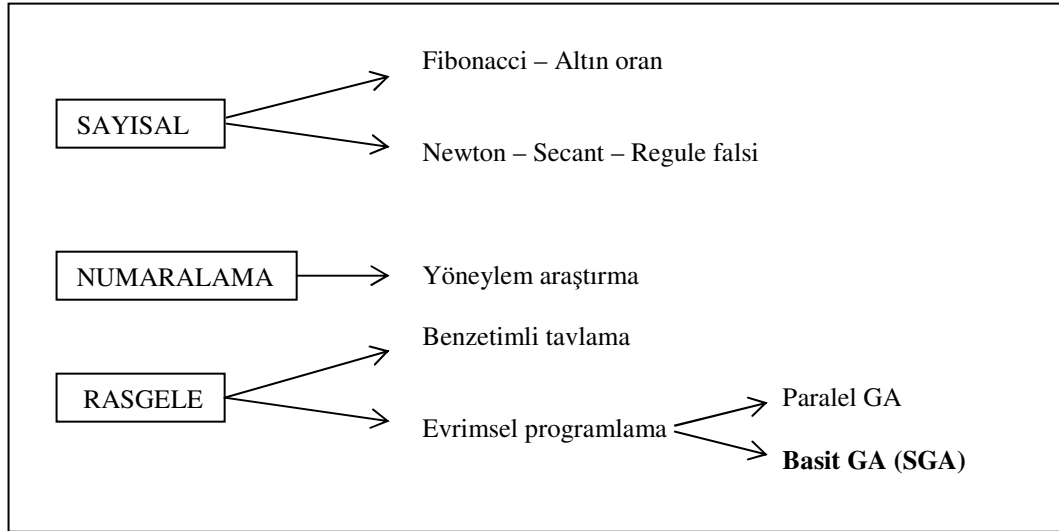
$$f(x) = C_{maksimum} - \left(f_{amaç}(x) + \sum_{i=1}^{KS} r_i p_i(x) \right) \quad (3.10)$$

Burada, KS problemde bulunan kısıt sayısı ve $C_{maksimum}$ uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için kullanılan yeterince büyük pozitif bir sayıdır [29].

3.4. Genetik Algoritmanın Kullanılma Sebepleri

Literatürde fonksiyon optimizasyonu için sınıflandırılmış üç ana modelden bahsedilir. Bunlar; *türev-integral* gibi *sayısal hesaba (calculus) dayananlar*,

numaralama tekniğine (enumeration) dayananlar ve rasgele aramalar (random searches) dır. GA rasgele aramalar sınıfına girmekte ve Şekil 3.15’ de görülmektedir.



Şekil 3.15. Optimizasyon modelleri

Optimizasyonun; bir işlemin daha iyi yapılması ve en doğru sonucun alınması olmak üzere iki amacı vardır.

Türev-İntegral gibi sayısal hesaba (calculus) dayananlar; Bu yöntemler fonksiyonun türevinin köklerinin fonksiyonun en küçük ve en büyük değer veren noktaları olmasından yararlanır.

Numaralama tekniğine dayananlar; Sürekli olan gerçel sayı aralıkları belli sayıda parçaya ayrılarak parçalar denenir. Ancak bazı problemler böyle bir çözüm için büyük ve zaman alıcı olabilir. Bu yöntemin biraz daha geliştirilmiş şekli dinamik programlamayla (dynamic programming) oluşturulur. Parçalar arasında iyi görünenler seçilir. Bu parçalar parçalara ayrılarak işlem tekrarlanır. Bu yöntem de tepe tırmanma yöntemi gibi yanlış tepeleri araştırabilir. Dinamik Programlama tepelerin olmadığı aralıklarda başarılı ve hızlıdır. Fibonacci – Altın Aralık ise alınan bir noktadan sadece yukarı ilerleyerek en iyi sonucu bulmayı hedefler. Tepe tırmanma (hill climbing) denen bu yöntem fonksiyon grafiğinin tepelerini tırmanır.

Ancak çok sayıda dönme noktası içeren bir fonksiyonda çok sayıda tepe oluşur. Hangi tepenin en iyi çözüm olduğu bilinemez.

Rasgele Aramalar; Günümüzde rasgele aramaların kullanımı artmaktadır. Bu tip aramalar optimizasyonun “daha iyiyi yapma” amacını sağlamakta daha başarılıdır. Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilen bir araştırma tekniğidir [16].

3.5. Genetik Algoritmaların Geleneksel Optimizasyon Yöntemlerinden

Farkları

Genetik algoritma değişkenlerin kendileriyle uğraşmaz. Değişkenler kodlanabildiği sürece bu değişkenlerin kodlarıyla çözüm uzayında çözüm arar.

Genetik algoritma çözüm uzayında bir noktadan değil, bir grup çözüm içinden arama yaparak en iyiyi bulmaya çalışır.

Genetik algoritma sadece değişken, amaç fonksiyonu ve kısıtlar gibi ana verileri kullanır, yardımcı veya bu yardımcı verilerin türevlerine gereksinim duymaz.

Genetik algoritmalar sebep sonuç ilişkileri yerine olasılıksal değişim metodlarını kullanır.

3.6. Genetik Algoritmanın Genel Uygulama Alanları

Karmaşık problemleri hızlı ve optimuma yakın olarak çözebilen GA, çeşitli problem tiplerine uygulanabilmektedir. Büyük çözüm uzaylarının geleneksel yöntemlerle taranması hesaplama zamanını arttırmaktadır. Bu tip problemlere, GA ile kısa sürede

kabul edilebilir, mantıklı çözümler bulunabilmektedir. GA özellikle çözüm uzayının geniş, süreksiz ve karmaşık olduğu problem tiplerinde başarılı sonuçlar vermektedir.

GA'nın en uygun olduğu problemler geleneksel yöntemler ile çözümü mümkün olmayan ya da çözüm süresi problemin büyüklüğü ile üstel olarak artanlardır. GA'nın genel uygulama alanları ve işletmelerdeki yaygın uygulama alanları olmak üzere iki sınıfa ayrılarak incelenmiştir.

3.6.1. Genel uygulama alanları

GA'nın genel uygulama alanları optimizasyon, otomatik programlama, makine öğrenmesi, immün sistemler, populasyon genetiği, evrimsel öğrenme ve sosyal sistemler gibi başlıklar altında toplanabilir.

Optimizasyon; Bir arama yöntemi olan GA, farklı bilim dallarındaki optimizasyon problemlerini çözmeye kullanılmaktadır. GA uygulandığı optimizasyon problemleri, fonksiyon optimizasyonu ve birleş (combinatorial) optimizasyonu altında toplanabilir. GA araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon optimizasyonu ile ilgilidir. Genetik algoritma, geleneksel optimizasyon tekniklerine göre zor, süreksiz ve karmaşıklık içeren fonksiyonları çözmeye daha etkindirler. Optimize edilecek amaç fonksiyonunun süreksiz olması halinde, süreksizlik noktalarında fonksiyonun türevi alınamayacağından, türev almaya dayalı optimizasyon yöntemleri kullanılamamaktadır. Fakat GA, problemlerin çözümü için türev veya diğer yardımcı bilgilere gereksinim duymadığından özellikle bu tip problemlerin çözümünde geleneksel yöntemlere göre önemli bir üstünlük sağlamaktadır.

GA'nın uygulandığı diğer bir optimizasyon problemi sınıfı olan birleş optimizasyon problemleri ise, istenen amaçlara ulaşmak üzere sınırlı kaynakların etkin tahsis edilmesiyle ilgilidir. Bu sınırlar genel olarak, işgücü, tedarik veya bütçe ile ilgilidir. Sözü geçen “birleş” kelimesi, yalnızca sonlu sayıda alternatif uygun çözümün mevcut olması ile ilgilidir. Birleşik optimizasyon, iyi tanımlanmış bir problem uzayında bir veya daha fazla optimal çözüm bulma sürecidir. Gezgin satıcı problemi,

araç rotalama problemi, Çinli postacı problemi, iş atölyesi çizelgeleme problemi, atama problemi, yerleşim tasarımı problemi ve sırt çantası problemi birleşti optimizasyon problemlerine örnektir. Birleşti optimizasyon problemlerinde, incelenen değişken sayısı arttıkça çözüme ulaşma zamanı üstel olarak artmaktadır. Çözüm uzayının tamamının taranmasını gerektiren geleneksel çözüm yöntemlerinde problem çözümü değişken sayısının artmasıyla imkansız hale gelebilmektedir. GA ise çözüm uzayının yalnızca belirli bir kısmını taradığı ve eş zamanlı arama yaptığı için, bu tip problemlerde çözüme daha kısa sürede ulaşabilmektedir.

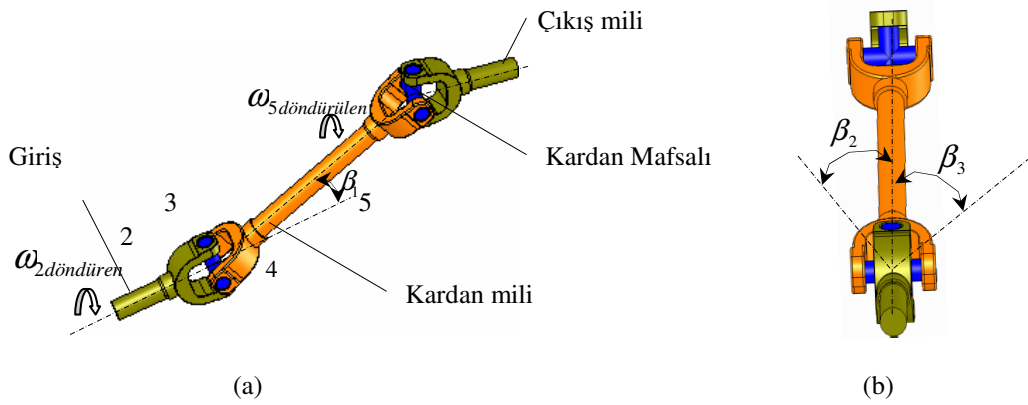
3.6.2. İşletmelerdeki uygulama alanları

GA, başta üretim/işlemler olmak üzere finans ve pazarlama gibi işletmelerin fonksiyonel alanlardaki bir çok farklı iş probleminin çözümü için kullanılmaktadır. GA'nın özellikle, kaynak tahsisi, iş atölyesi çizelgelemesi, makine parça gruplaması ve bilgisayar ağı tasarımı gibi çeşitli alanlarda uygulamaları mevcuttur. İşletmelerdeki en yaygın kullanım alanları finans, pazarlama, üretim, montaj hattı dengeleme programı, çizelgeleme problemi, tesis yerleşim problemi, atama problemi, hücresel üretim problemi, sistem güvenilirliği problemi, taşıma problemi, gezgin satıcı problemi, araç rotalama problemi olarak verilebilir.

4. KARDAN MİLLERİ

4.1. Kardan Milleri Tanımı ve Tarihçesi

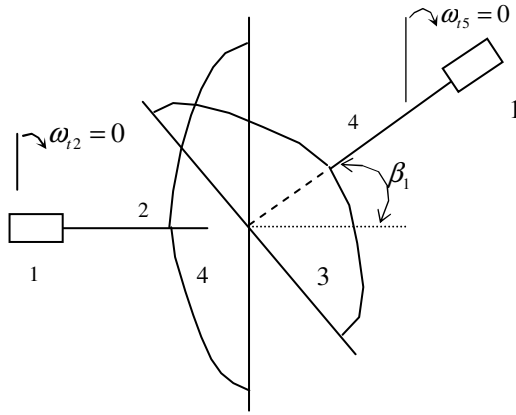
Kardan mili, bir veya iki kardan mafsallının içi dolu veya boş bir mile bağlanmasıyla oluşan ve Şekil 4.1’de gösterilen makine elemanıdır [31]. Kullanım alanı olarak birçok sistemde kullanılan kardan mili dört tekerlekli ve içten yanmalı motorlarda vites kutusundan alınan devri ve torku diferansiyel girişine ileten aktarma organıdır [32].



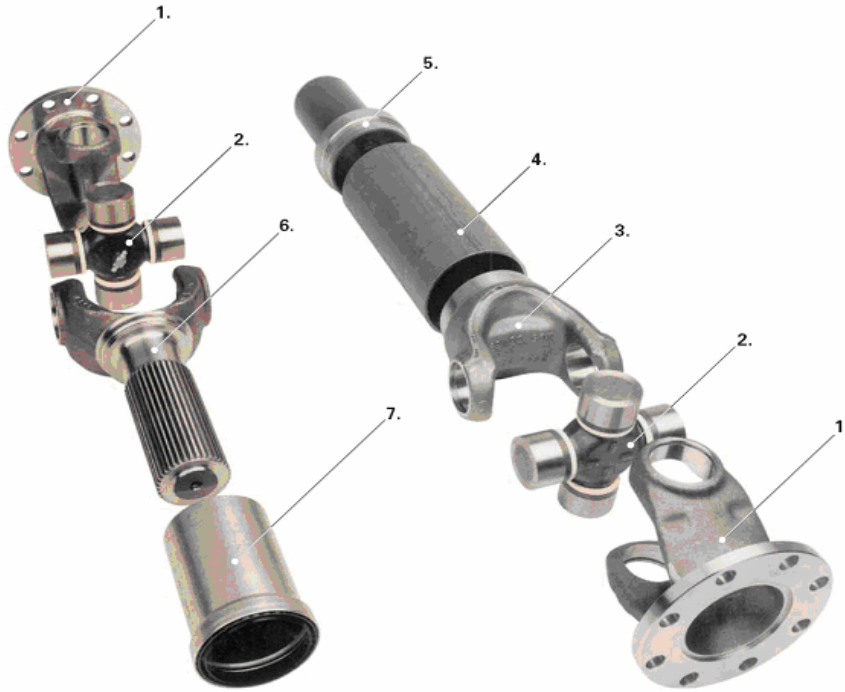
Şekil 4.1. Kardan mili ve mafsalı a) Ön görünüş b) Sol görünüş

Kardan mafsalları, karşılıklı iki U çatalından ve bunları 90° açı ile birleştiren eksenleri birbirine dik dört çubuktan (istavroz) meydana gelmektedir. Çalışma prensibi bakımından eksenleri arasında açı bulunan ve eksenleri birbirinden kaçık konumdaki millerde devir ve tork aktarımını sağlamak amacıyla konstrüksiyonu yapılmış küresel dört çubuk mekanizmasıdır [33]. Kardan mafsallının Şekil 4.2’de Referans [2]’den alınan gösterimi verilmiş ve Resim 4.1’de ise Referans [34]’den alınmış fotoğrafı verilmiştir.

Bu çalışmada, kardan mili sadece β_1 açısıyla çalışmaktadır. Diğer bir ifade ile β_2 ve β_3 açıları sabit yani 0° kabul edilmiş, optimizasyon işlevi bu parametreler dikkate alınarak yapılmıştır.



Şekil 4.2. Kardan mili ve mafsallının şematik görünümü [2]



Resim 4.1. Kardan mili ve elemanları [34]

- 1) Flanşlı çatal 2) İstavroz 3) Kardan mili çatalı 4) Kardan mili
5) Kayma boynu 6) Çatal mili 7) Mil montaj kılıfı

Avrupa'da 1550 yıllarında bu tip mafsalları ilk kez kullanan ve bir matematikçi, doktor ve filozof olan Geronimo Cardano'dur. 1901/1902 yıllarında Arthur Hardt ve Robert Schwenke otomotiv mafsalları için patent almışlar ve 1904'te kardan mafsallarının seri üretimine geçilmiştir [9].

4.2. Kardan Milinde Hız ve Tork Analizi

4.2.1. Kardan mafsalsının ideal durumu için hız analizi

Bu kısımda, kardan mafsalsında ve milinde imalat, montaj, çarpılma ve burulma gibi hataların olmadığı ve sürtünme kaybının olmadığı ideal durum için kinematik analiz yapılacak ve açısal hız formülleri elde edilecektir [2].

Şekil 4.2'deki kardan mafsalı ve milinin ilk andaki konumu referans alınarak kardan mafsalsının Denavit - Hartenberg parametreleri yazılır [35].

$$\begin{array}{llll}
 a_{23} = 0 & a_{34} = 0 & a_{45} = 0 & a_{52} = 0 \\
 \alpha_{23} = 90^\circ & \alpha_{34} = 90^\circ & \alpha_{45} = 90^\circ & \alpha_{52} = \beta_1 \\
 \omega_{t23} = \phi_2 & \omega_{t34} = \phi_3 + \frac{\pi}{2} & \omega_{t45} = \phi_4 + \beta_1 & \omega_{t52} = \phi_5 + \frac{\pi}{2} \\
 s_{23} = 0 & s_{34} = 0 & s_{45} = 0 & s_{52} = 0
 \end{array} \quad (4.1)$$

Eş. 4.1 e dayanarak her bir bağlantı için koordinat dönüşüm matrisleri yazılır. ω_{t23} başlangıç konumunda 0 olmasından dolayı giriş mili dönme açısı ϕ_2 olması gerekmektedir.

$$T_{23} = \begin{bmatrix} \cos \phi_2 & 0 & \sin \phi_2 & 0 \\ \sin \phi_2 & 0 & -\cos \phi_2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

ω_{t34} 'ün başlangıç konumunda $-\frac{\pi}{2}$ olmasından dolayı kardan mili dönme açısının

$\phi_3 + \frac{\pi}{2}$ olması gerekir.

$$T_{34} = \begin{bmatrix} \cos\left(\phi_3 + \frac{\pi}{2}\right) & 0 & \sin\left(\phi_3 + \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ \sin\left(\phi_3 + \frac{\pi}{2}\right) & 0 & -\cos\left(\phi_3 + \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$T_{34} = \begin{bmatrix} -\sin \phi_3 & 0 & \cos \phi_3 & 0 \\ \cos \phi_3 & 0 & \sin \phi_3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.4)$$

ω_{t45} 'in başlangıç konumunda $\frac{\pi}{2} - \beta_1$ olmasından dolayı kardan mili dönme açısının

$\phi_4 + \beta - \frac{\pi}{2}$ olması gerekir.

$$T_{45} = \begin{bmatrix} \cos\left(\phi_4 + \beta_1 - \frac{\pi}{2}\right) & 0 & \sin\left(\phi_4 + \beta_1 - \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ \sin\left(\phi_4 + \beta_1 - \frac{\pi}{2}\right) & 0 & -\cos\left(\phi_4 + \beta_1 - \frac{\pi}{2}\right) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

$$T_{45} = \begin{bmatrix} \sin(\phi_4 + \beta_1) & 0 & -\cos(\phi_4 + \beta_1) & 0 \\ -\cos(\phi_4 + \beta_1) & 0 & -\sin(\phi_4 + \beta_1) & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.6)$$

$\omega_{t52} = -\frac{\pi}{2}$ olmasından dolayı kardan mili dönme açısının $\phi_5 + \frac{\pi}{2}$ olması gerekir.

$$T_{52} = \begin{bmatrix} -\sin \phi_5 & -\cos \beta_1 \cos \phi_5 & -\sin \beta_1 \cos \phi_5 & 0 \\ \sin\left(\phi_5 + \frac{\pi}{2}\right) & \cos \beta_1 \sin \phi_5 & -\sin \beta_1 \sin \phi_5 & 0 \\ 0 & -\sin \beta_1 & \cos \beta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.7)$$

$$T_{25} = \begin{bmatrix} -\sin \phi_5 & \cos \phi_5 & 0 & 0 \\ -\cos \beta_1 \cos \phi_5 & -\cos \beta_1 \sin \phi_5 & -\sin \beta_1 & 0 \\ -\sin \beta_1 \cos \phi_5 & -\sin \beta_1 \sin \phi_5 & \cos \beta_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.8)$$

$$T_{23}T_{34}T_{45} = \begin{bmatrix} -\cos\phi_2 \sin\phi_3 \sin(\phi_4 + \beta_1) - \sin(\phi_2) \cos(\phi_4 + \beta_1) & \cos\phi_2 \cos\phi_3 & \cos\phi_2 \sin\phi_3 \cos(\phi_4 + \beta_1) - \sin\phi_2 \sin(\phi_4 + \beta_1) & 0 \\ -\sin\phi_2 \sin\phi_3 \sin(\phi_4 + \beta_1) + \cos(\phi_2) \cos(\phi_4 + \beta_1) & \sin\phi_3 \cos\phi_3 & \sin\phi_2 \sin\phi_3 \cos(\phi_4 + \beta_1) + \cos\phi_2 \sin(\phi_4 + \beta_1) & 0 \\ \cos\phi_3 \sin(\phi_4 + \beta_1) & \sin\phi_3 & -\cos\phi_3 \cos(\phi_4 + \beta_1) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4.9)$$

ϕ_2 , giriş mili dönme açısı ve miller arasındaki açı, β_1 parametre olarak alındığı takdirde,

$$T_{23}T_{34}T_{45} = T_{25} \quad (4.10)$$

Eş. 4.10 un solundaki matrislerin çarpımı ile elde edilen matrisle sağındaki matrisin karşılıklı satır ve sütunları eşitlenebilir [2,35]. Bu durumda, ikinci satır ikinci sütun elemanlarının birinci satır ikinci sütun elemanına oranları eşitlenir;

$$\frac{\sin\phi_2 \cos\phi_3}{\cos\phi_2 \cos\phi_3} = \frac{-\cos\beta_1 \sin\phi_5}{\cos\phi_5} \quad (4.11)$$

$$\tan\phi_2 = -\cos\beta_1 \tan\phi_5 \quad (4.12)$$

ve Eş. 4.11 in mutlak değeri alınıp [36] tekrar düzenlenirse,

$$\tan\phi_5 = \frac{\tan\phi_2}{\cos\beta_1} \quad (4.13)$$

$$\phi_5 = a \tan\left(\frac{\tan\phi_2}{\cos\beta_1}\right) \quad (4.14)$$

olur.

Eş. 4.10 da 3. satır 3. sütun elemanlarının 3. satır, 1. sütun elemanlarına oranları eşitlenirse;

$$\frac{-\cos \phi_3 \cos(\phi_4 + \beta_1)}{\cos \phi_3 \sin(\phi_4 + \beta_1)} = \frac{\cos \beta_1}{-\sin \beta_1 \cos \phi_5} \quad (4.15)$$

$$\tan(\phi_4 + \beta_1) = \cos \phi_5 \tan \beta_1 \quad (4.16)$$

olur ve son olarak 3. satır 2. sütun elemanları eşitlenirse

$$\sin \phi_5 = -\sin \beta_1 \sin \phi_3 \quad (4.17)$$

sonuçları elde edilir. Hız analizinde Eş. 4.13 ün $\dot{\phi}_5 = \omega_5, \dot{\phi}_2 = \omega_2$ ve $\frac{\dot{\phi}_5}{\dot{\phi}_2} = \frac{\omega_5}{\omega_2}$

eşitliklerini sağlamak için türevi alınırsa;

$$\omega_5 \cdot \sec(\phi_5)^2 = \frac{\omega_2 \sec(\phi_2)^2 \cos \beta_1}{\cos(\beta_1)^2} \quad (4.18)$$

$$\frac{\omega_5}{\omega_2} = \frac{\sec(\phi_2)^2}{\cos \beta \sec(\phi_5)^2} \quad (4.19)$$

olur ve Eş. 4.12 den

$$\cos \phi_5 = \frac{\cos \beta_1}{\sqrt{\tan(\phi_2)^2 + \cos(\beta_1)^2}} \quad (4.20)$$

bulunur ve Eş. 4.19 da yerine yazılırsa,

$$\frac{\omega_5}{\omega_2} = \frac{\cos \beta_1}{1 - (\sin(\beta_1)^2 \cos(\phi_2)^2)} \quad (4.21)$$

olur, $\omega_{t2} = \phi_2$ eşitliği Eş. 4.21 de yerine yazılırsa

$$\omega_5 = \frac{\cos \beta_1}{1 - (\sin(\beta_1)^2 \cos(\omega_{t2})^2)} \omega_2 \quad (4.22)$$

elde edilir. Eş. 4.21 hız oranı elde edilir. Bu denklemde kardan mili açısal hızı ω_5 'in giriş mili açısal hızının sabit olması halinde, giriş mili dönme açısı ϕ_2 'ye bağlı olarak değişir. Bu değişim $1/\cos \beta_1$ ile $\cos \beta_1$ arasında olur [2].

4.2.2. Kardan milinin ideal durumu için tork ve moment analizi

Bu kısımda, açısal hız-tork eşitliği kullanılarak tork denkleminde M_t , kardan mili tasarım torku, M_{td} , ve torktan kaynaklanan eğilme momenti, M ifade edilecektir.

Giriş mili açısal hızı, ω_2 , sabit iken kardan milinin açısal hızında, ω_5 , giriş mili dönme açısı, ω_{t2} , $0-360^\circ$ aralığında sinüsoidal bir değişim meydana gelir. Bu değişim mil üstünde tork değişikliğine de sebep olur [4,30]. Tork - hız eşitliği Eş. 4.23 ile ifade edilecek olursa [33]

$$M_o \omega_2 = M_t \omega_5 \quad (4.23)$$

şeklinde olur. Eş. 4.22 yi Eş. 4.23 te yerine yazdığımızda ve M_t 'yi yalnız bıraktığımızda,

$$M_t = \frac{1 - \sin^2 \beta_1 \cos^2 \phi_2}{\cos \beta_1} M_o \quad (4.24)$$

Eş. 4.24 tork bağıntısı elde edilir. Burada, M_o , giriş milinin torkudur. Kardan milinin tasarım torku, M_{td} ,

$$M_{td} = M_t K_s K_{ct} \quad (4.25)$$

şeklindedir [37]. Burada; K_s , şok faktörü, K_{ct} ise transmisyon düzeltme faktörüdür. Kardan milinde giriş torku, M_o , nun neden olduğu eğilme momenti Eş. 4.26 ile ifade edilmiştir [38].

$$M = \tan \beta_1 \cos \phi_2 (1 - \sin \beta_1^2 \cos \phi_2^2)^{1/2} M_o \quad (4.26)$$

4.3. Kardan Mili Çapının Hesabı

Kardan millerinin içi dolu miller ve içi boş miller olmak üzere iki türlü tasarım şekli vardır. Bu çalışmada, hem dolu hem de içi boş kardan millerinin tasarım optimizasyonu yapılacaktır.

Millerde burulma momenti zamana bağlı olarak uzun bir süre büyüklüğünü ve yönünü değiştirmezse, buna *statik zorlanma* denir. Mil sık sık durur ve aynı yönde tekrar çalıştırılırsa veya vites kutularında olduğu gibi hızda sürekli değişiklik meydana gelirse, buna *genel değişken zorlama*, sık sık hız yön değiştirirse, buna *tam değişken zorlama* denir [39]. Bu tez çalışmasında kullanılan kardan mili, sistem gereği olarak genel değişken zorlanan miller sınıfına girmektedir.

Bu durumda içi dolu kardan mili çapının fonksiyonu, d , Eş. 4.27 ile içi boş kardan mili çapının fonksiyonu, d , ise Eş. 4.28 ile ifade edilmiştir [40].

$$d = \left[\frac{32n}{\pi} \left(\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{M_{td}}{S_u} \right) \right]^{1/3} \quad (4.27)$$

$$d = \left[\frac{32n}{\pi} \left(\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{M_{td}}{S_u} \right) \right]^{1/3} \bigg/ \left[1 - (d_i/d)^4 \right]^{1/3} \quad (4.28)$$

Burada, S_e , yorulma dayanımını simgeler ve Eş. 4.29 ile ifade edilmiştir, d_i , delik millerde iç çapı ve S_u ise malzemenin kopma dayanımını simgeler.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e \quad (4.29)$$

Burada, k_a yorulmada yüzey değişim faktörünü, k_b yorulmada büyüklük faktörünü, k_c yorulmada güvenilirlik faktörünü, k_d yorulmada sıcaklık değişim faktörünü, k_e yorulmada gerilme değişim faktörünü, k_f yorulmada diğer etkenlerin değişim faktörünü, S'_e kardan mili yapımında kullanılacak olan malzemenin yapılmış numunenin akma dayanımını ifade eder.

Eş. 4.30 ile ifade edilen çentik faktörü, K_f , çentiğin geometrik faktörüne ve malzemenin çentiğe karşı hassasiyetine bağlıdır. Çentik malzemenin sürekli mukavemet sınırını azaltan bir etkendir. Çentiğin geometrik şeklinin etkisi veya teorik çentik faktörü, K_t ile malzemenin çentiğe karşı hassasiyeti, q ile ifade edilecektir.

$$K_f = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.30)$$

Gerilme değişim faktörü Eş. 4.31 ile sağlanır.

$$k_e = \frac{1}{k_f} \quad (4.31)$$

4.4. Kardan Mili Tasarımındaki Sınırlayıcı Fonksiyonlar

4.4.1. Titreşim ve tutukluk kontrolü

Titreşim ve tutukluk için kardan milinin maksimum devir sayısı, C_T , kardan millerinde kontrol altında tutulması gereken ve geçilmesi istenmeyen sınırlardandır. Bu sınır belirli açı, β_1 , altında çalışan kardan milinin maksimum devir sayısı,

$N_{maksimum}$, değerini geçmemelidir, Eş. 4.32. Bu sınırlama geçildiği takdirde titreşim ve tutukluk meydana gelme riski oluşur [41].

$$C_T \leq N_{\max} \quad (4.32)$$

Burada, C_T , kardan milinin maksimum devir sayısı Eş. 4.33 ile ifade edilmiştir.

$$C_T = \beta_1 k N \quad (4.33)$$

Burada, β_1 kırılma açısını, k iletme oranını (*millerde bu oran 1'dir*) ve N ise kardan milinin ilettiği devir sayısını simgeler. $N_{\max}$ değeri, referans momenti C_o 'la belirlenen transmisyon tipine göre Çizelge 4.2'den alınır. C_o , Eş. 4.34 ile ifade edilmiştir.

$$C_o = \frac{P}{\omega_2} \quad (4.34)$$

Burada, P , iletilen maksimum gücü simgelemektedir. Eş. 4.34 te de görüldüğü üzere $C_o = M_{td}$ 'dir. Bu durumda M_{td} 'ye göre Çizelge 4.1'den transmisyon tipi belirlenir ve transmisyon tipine göre Çizelge 4.2'den $N_{\max}$ değeri alınır [41].

Çizelge 4.1. Referans momentine göre transmisyon tipleri [41]

Transmisyon tipi, T	1120	1315	1410	506	606	706	806	906
Referans momenti, $C_o(Nm)$	1380	2850	4000	6000	8740	14000	18000	24000

Çizelge 4.2. Transmisyon tipine göre maksimum devirler [41]

Transmisyon tipi, T	Titreşim için $N_{\max}$	Tutukluk-Zorlama için $N_{\max}$
1120 – 1315	30 000	37 500
1410 – 506 – 606	25 000	31 000
706 – 806	20 000	25 000
906	18 000	22 500

4.4.2. Kritik devir sayısı kontrolü

Bir mil kendi özgül frekansında döndüğü takdirde rezonans salınımları ile zorlanarak zarar görmesi mümkündür. Oynak millerin boyutlandırılmasında ve işletilmeleri esnasında özgül frekanslarının erişemeyecekleri yüksek değerlerde olmasına dikkat edilmelidir. İç çapı d_i , dışçapı d ve boy olarak mafsalları arasındaki mesafesi L olan bir kardan milinde devir sayısı, N , Eş. 4.35 ile ifade edilir.

$$N = (0,8 - 0,85)n_{kritik} \quad (4.35)$$

Burada, n_{kritik} kardan milinin rezonansa girdiği kritik devir sayısı olup Eş. 4.36 ile ifade edilmiştir.

$$n_{kritik} = b \sqrt{\frac{d^2 + d_i^2}{L^2}} \quad (4.36)$$

Burada, d kardan mili dış çapı, d_i kardan mili iç çapı, L kardan mili uzunluğu ve $b = 91500$ olan sabit katsayısıdır [41].

Eş. 4.35, Eş. 4.36 da yerine yazıldığında ve d buradan çekilip düzenlendiğinde Eş. 4.37 ifadesi oluşur.

$$d \geq \sqrt{\left(\frac{L^2 \left(\frac{N(30/\pi)}{0,85} \right)}{b} \right)^2 - d_i^2} \quad (4.37)$$

Burada, kardan mili çapı, d , amaç fonksiyonu olan mil çapıdır ve eşitsizliğin sağ tarafından büyük olmalıdır. Başka bir ifade ile Eş. 4.28 ifadesindeki d , Eş. 4.37 ifadesini sağlamalıdır [41].

4.4.3. Burulma gerilmesine göre dönme açısı kontrolü

Burulma gerilmesi millerde dönme açısı sapmasına sebebiyet verir ve mil tasarımı yapılırken bu sapmanın, θ ,nın Eş. 4.39 ile ifade edilen değeri geçmemesi gerekmektedir [42].

$$\theta = (584 M_t L) / (G (d^4 - d_i^4)) \quad (4.38)$$

$$\theta \leq 3^\circ \quad (4.39)$$

4.5. Kardan Millerinin Gereçleri

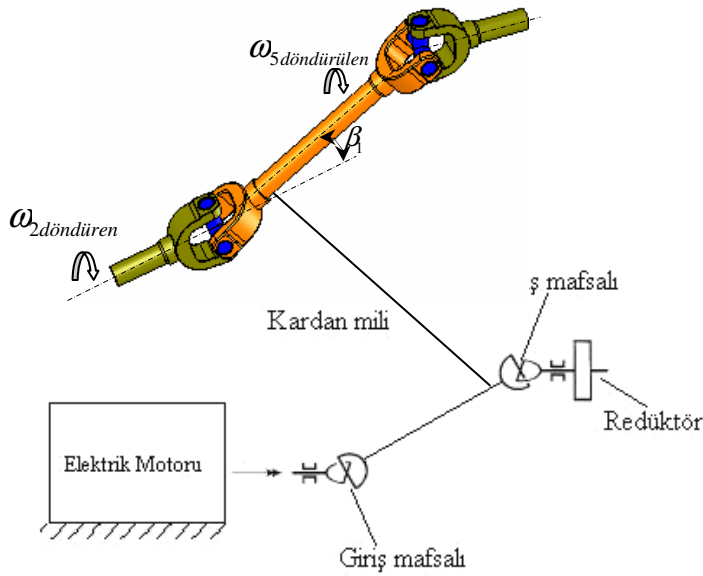
Kardan mili ve çatalları, sementasyon çeliğiden, $16MnCr5$, istavroz ise alaşımlı çelikten veya sementasyon çeliğinden yapılır. İstavroz muyluları 60–65 HRC'ye kadar sertleştirilir ve taşlanır.

Mafsal yatakları kaymalı veya rulmanlı tasarlanır. Kaymalı yatak gereçleri genel olarak alüminyum bronz ve sinter bronzlu burçlardan oluşur [39]. Gelişen teknolojiye paralel olarak, kardan milleri gereçlerinde önemli değişimler yaşanmaktadır. Bu gün birçok transmisyon milinde ve kardan milinde kompozit malzemeler de kullanılmaktadır.

5. YAPILAN ÇALIŞMA

5.1. İçi Dolu Kardan Mili Çapının Minimizasyonu

Bu bölümde, elektrik motorundan aldığı hareketi belirli bir yükseklikteki redüktöre iletmek durumunda olan ve Şekil 5.1’de görülen kardan mili çapının minimizasyonu yapılacaktır. Bu çalışmada, birbirinden farklı iki yöntem uygulanacaktır. Birinci yöntemde, önce amaç fonksiyonu belirlenip tasarım değişkenleri ve aralıkları kısıtlayıcı fonksiyonlarla tanımlanacak ve GA yardımıyla problemin çözümü gerçekleştirilecektir. Farklı olan ikinci yöntemde ise MATLAB 7.0 optimizasyon menüsü fonksiyonlarından olan ve çok değişkenli, kısıtlı ve nonlinear minimizasyon yapan *fmincon* (ardışık kuadratik programlama) fonksiyonu kullanılacak ve sonuçlar irdelenecektir.



Şekil 5.1. Kardan mili sistemi

5.1.1. Genetik algoritma ile çözüm

Amaç fonksiyonunun tanımlanması

Optimizasyon problemlerinde önce amaç fonksiyonu tanımlanır. Amaç fonksiyonu kardan milinin çapı, d , dır ve Eş. 5.1 ile ifade edilmiştir [40].

$$F_{Amaç} = F_{\min}(\beta_1, \omega_1) = d(x_i) = \left(\frac{32n}{\pi} \left(\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{M_{td}}{S_u} \right) \right)^{1/3} \quad (5.1)$$

Değişkenler ve parametreler

Kardan milinin minimum çapı optimize edilirken iki değişkenle sonuca gidilmiş ve bu değişken ve aralıkları sırası ile Eş. 5.2 ve Eş. 5.3 ile ifade edilmiştir.

$$\text{Kırılma açısı} \quad 10^\circ \leq \beta_1 \leq 45^\circ \quad (5.2)$$

$$\text{Giriş mili dönme açısı} \quad 0^\circ \leq \omega_1 \leq 360^\circ \quad (5.3)$$

Problem çözümüne ait parametreler Çizelge 5.1’de görülmektedir. Sistemin çalışma ortamı sıcaklığı $50C^\circ$, kullanılan kardan milinin malzemesi sementasyon çeliği, $16MnCr5$, tasarım faktörü, $n = 1,5$, kardan milinin tahrik sistemi elektrik motorudur. Çizelge 5.1’deki veriler kullanılarak çentik faktörü, $K_f = 1,12$; gerilme değişim faktörü, $k_e = 0,89$ olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1. Problem çözümüne ait parametreler ve katsayılar [37, 39, 40]

Tanımlama	Sembol	Birim	Değeri
Giriş gücü	P	Watt	30000
Giriş devri	N	rad/s	99,5
Mil uzunluğu	L	m	0,5
Burulma modülü	G	N / m^2	800.10^8
Kopma dayanımı	S_u	N / m^2	11.10^8
Akma Dayanımı	S'_e	N / m^2	$5,52.10^8$
Transmisyon düzeltme faktörü	K_{ct}	-	2,2
Şok faktörü	K_s	-	1,5
Yüzey faktörü	k_a	-	0,9
Büyüklik faktörü	k_b	-	0,75
Yorulmada güvenilirlik faktörü	k_c	-	0,85
Sıcaklık değişim faktörü	k_d	-	1,01
Diğer etkenlerin faktörü	k_f	-	0,95
Teorik çentik faktörü	k_t	-	1,2
Malzemenin çentik hassasiyeti	q	-	0,6

Kısıtların tanımlanması

Problem çözümünde kısıt fonksiyonu, $g_{(i)}$, olarak, Eş. 5.4 ile ifade edilen tireşim ve tutukluk bağıntısı, Eş. 5.5 ile ifade edilen kritik devir sayısı bağıntısı ve Eş. 5.6 ile ifade edilen maksimum burulma açısı bağıntısı kullanılacaktır.

$$g_1 = \beta_1 k(N(30/\pi)) \leq N_{\max} \quad (5.4)$$

Bu sistem için hesaplanan referans momenti, $C_o = 301Nm$ bulunmuş ve Çizelge 4.1'den tranmisyon tipi 1120 alınmıştır. Transmisyon tipi 1120'ye göre Çizelge 4.2'den $N_{max} = 30000$ olarak alınmıştır.

$$g_2 = \sqrt{\left(\frac{L^2 \left(\frac{N(30/\pi)}{0,85} \right)}{b} \right)^2} \leq d \quad (5.5)$$

Eş. 5.5 de amaç fonksiyonu olan mil çapı, rezonansın oluşmaması için eşitsizliğin sol tarafından büyük olmalıdır.

$$g_3 = (584 M, L) / (Gd^4) \leq 3 \quad (5.6)$$

Eş. 5.6 burulma gerilmesinden kaynaklanan dönme açısının kısıt fonksiyonunu ifade eder. Genetik algoritma, kısıtsız bir optimizasyon metodu gibi işlev yapar. Bunun için kısıtlı optimizasyon problemi, penaltı fonksiyonuyla cezalandırılıp, kısıtsız optimizasyon durumuna getirilir. Kısıtın sınırları dışında bir durum olduğunda, ilgili çözümün uygunluk değeri penaltı fonksiyonu ile cezalandırılır. Böylece, çözüm uzayı kısıtlarını aşan bir durum gerçekleştiğinde amaç fonksiyonu değerleri sınırlar içinde tutulur [17].

Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması

Uygunluk fonksiyonu bir bireyin, gelecek jenerasyon için seçim işleminde kullanılan performans ölçüsünü verir ve Eş. 5.7 ile ifade edilmiştir.

$$UygunlukFonksiyonu = C_{max} - (F(\beta_1, \omega_t) + PF) \quad (5.7)$$

Burada ceza fonksiyonu PF ile gösterilmiş ve Eş. 5.8 ile ifade edilmiştir.

$$PF = \sum_{i=1}^{KS} r_i [\text{maksimum}(0, g_i)]^2 \quad (5.8)$$

Burada, KS kısıt sayısı, r_i ceza katsayısıdır. $C_{\max}$ ise, uygunluk fonksiyonunun negatif bir değer almaması için pozitif ve yeteri değerde büyük alınması gerekir. Cezalandırma işlemini kontrol etmek amacıyla r_i katsayısı her kısıt için öngörü ile uygun bir şekilde seçilmelidir [43]. Çünkü bulunan sonuçlar büyük ölçekte bu katsayılarla bağlı olacaktır.

Değişkenlerin kodlanması ve genetik algoritma parametreleri

Genetik algoritma, değişkenlerin kodlanmasına gerek duyar. Tüm çözümler aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde gösterilir. Tasarım değişkenleri vektörü;

$$x_i = \{\beta_1, \omega_i\}^T \quad (5.9)$$

$$x_{(i)alt} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)üst} \quad (5.10)$$

Burada,

$x_{(i)üst}$: i .değişken için en üst sınır

$x_{(i)alt}$: i .değişken için en alt sınır

Değişkenlerin bit sayısı l Eş.5.11 ifadesi ile hesaplanıp Çizelge - 5.2 gösterilmiştir.

$$2^l \geq [(x_{(i)üst} - x_{(i)alt}) / \varepsilon] + 1 \quad (5.11)$$

Burada,

l : değişkenin bit sayısı

ε : değişkenin artım aralığı

Çizelge 5.2. Değişkenlerin oluşturulması

Değişkenler $x_{(i)}$	Alt sınır	Üst Sınır	Arahlık $\mathcal{E}$	Bit Sayısı l
Kırılma Açısı β_1	10°	45°	0,1°	9
Giriş mili dönme açısı ω_t	0°	360°	1°	9

Genetik algoritmayı başlatmak için, rasgele bir başlangıç popülasyonunun üretilmesine ihtiyaç duyulur. Üretilen bu popülasyon problemin potansiyel bir çözümüdür. Çizelge 5.3' de değişkenlerin binary kod ile oluşturulmuş bir çözümü verilmiştir.

Çizelge 5.3. Değişkenlerin gösterimi ve değişkenlerin birleşimiyle bireyin oluşumu

Değişkenler	
Kırılma Açısı, β_1	Giriş mili dönme açısı, ω_t
1 1 1 0 1 0 1 0 1	1 0 0 0 0 1 1 0 1
Değişkenlerin birleşimi	
1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1	

18 bit uzunluğundaki bir bireyin çözüm uzayında 2^{18} adet alternatif çözümü vardır. Popülasyon büyüklüğü her jenerasyondaki arama noktalarının sayısını belirler. Goldberg'ın önerdiği optimum bir popülasyon büyüklüğü vardır. Bu Eş.5.12 bağıntısı ile hesaplanabilir.

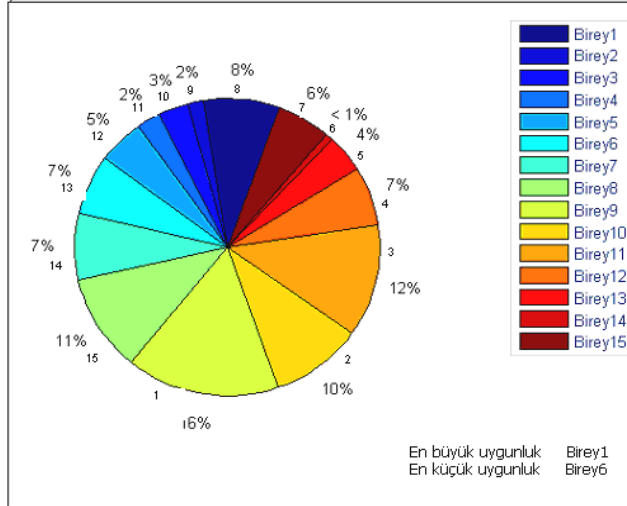
$$PopulasyonBüyüklüğü = 1,65.2^{0,21/l} \quad (5.12)$$

18 bit uzunluğundaki bir birey için ortalama popülasyon büyüklüğü 23 alınabilir. Burada 15 alınmıştır. Rasgele oluşan başlangıç popülasyonu Çizelge 5.4'te görülmektedir.

Çizelge 5.4. Bir başlangıç popülasyonu

Birey Numarası	Rasgele oluşan bireyler
1	0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0
2	0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1
.	
15	0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0

Yapılan bu optimizasyon işleminde GA operatörü olarak şunlar kullanılmıştır; *elitizm*, *rulet tekerleği seçim mekanizması* (Şekil 5.2) , *tek noktadan çaprazlama* (Çizelge 5.5) ve *mutasyon* (Çizelge 5.6).

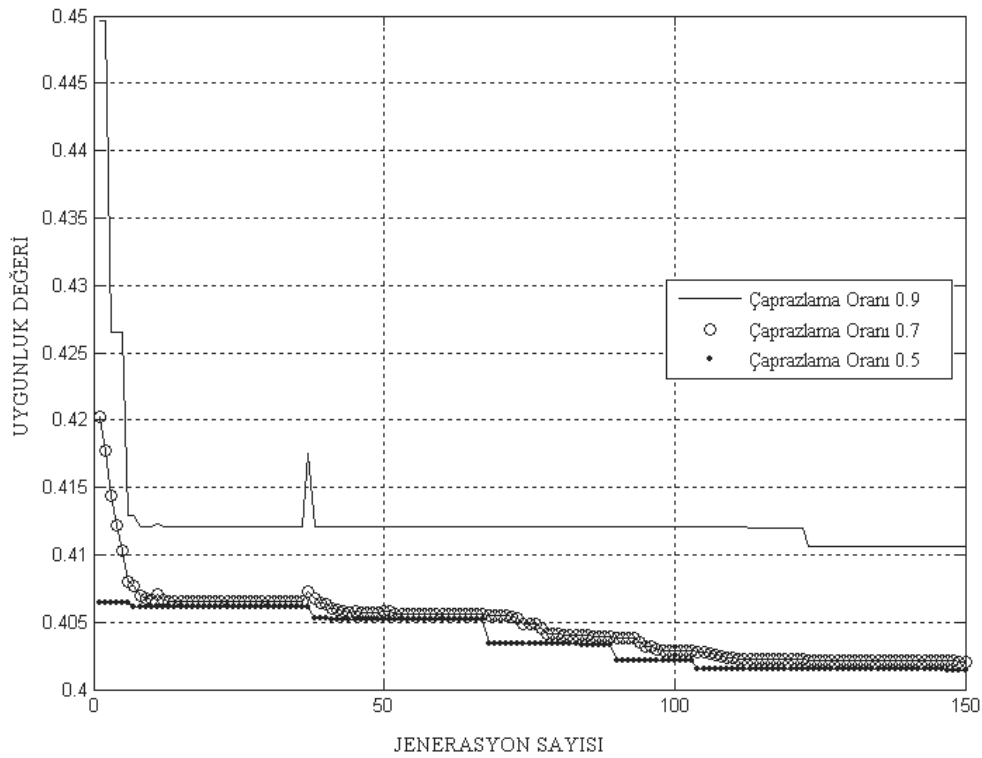


Şekil 5.2. Rulet tekerleği seçimi

Çizelge 5.5. Tek noktadan çaprazlama

11. noktadan çaprazlanmış bireyler	
Birey I	1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 0
Birey II	0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1
Çaprazlama sonucu oluşan bireyler	
Çocuk I	1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 1
Çocuk II	0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0

Çaprazlama oranı literatürde 0,5-1,0 arasında olması önerilir. Burada birkaç farklı çaprazlama oranı ile GA çalıştırılmış ve en uygun oranın 0,5 olduğu görülmüştür. Şekil 5.3'te değişik değerlerdeki çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkileri görülmektedir. 0,5 çaprazlama oranının en uygun çözümleri bulmada etkin olduğu görülmektedir.



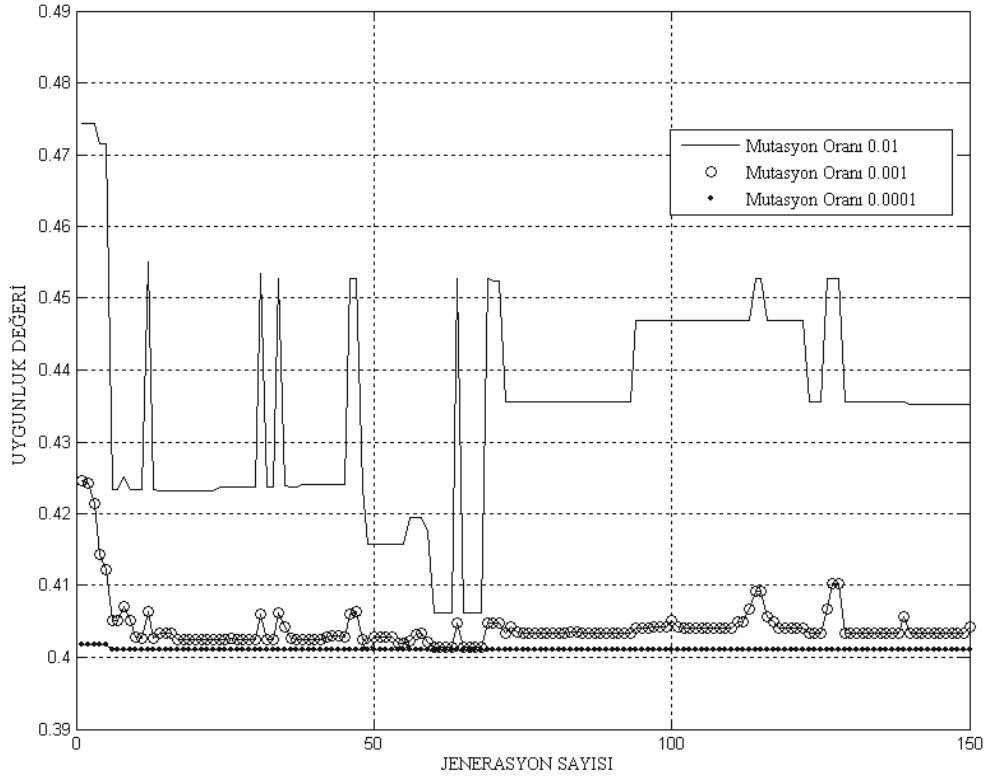
Şekil 5.3. Farklı çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi

Çizelge 5.6. Mutasyon

Mutasyon Öncesi	0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0
Mutasyon Sonrası	0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0

Mutasyon (değişim) oranı 0,01-0,0001 aralığındaki birkaç farklı değer için denenmiş ve en uygun oranın 0,0001 olduğu görülmüştür. Daha büyük mutasyon oranı değerlerinde, iyi uygunluk değerine sahip bireylerin kötü duruma gelmesi hali görülmektedir. Şekil 5.4'te 0,01-0,001-0,0001 mutasyon oranlarının uygunluk değeri

üzerine etkileri görülmektedir. 0,0001 değerinin en uygun çözümleri bulmada etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.4. Farklı mutasyon oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi

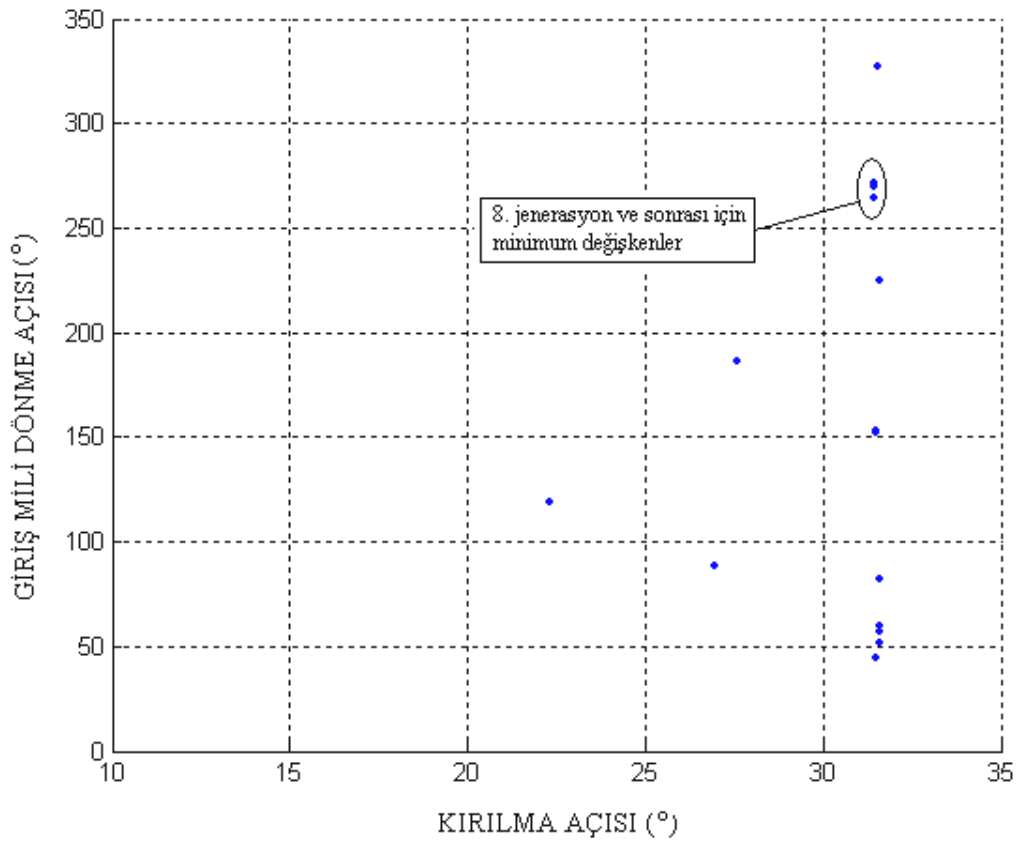
Bu çalışmada kullanılan genetik algoritma parametreleri Çizelge 5.7'de görülmektedir.

Çizelge 5.7. Genetik algoritma parametreleri

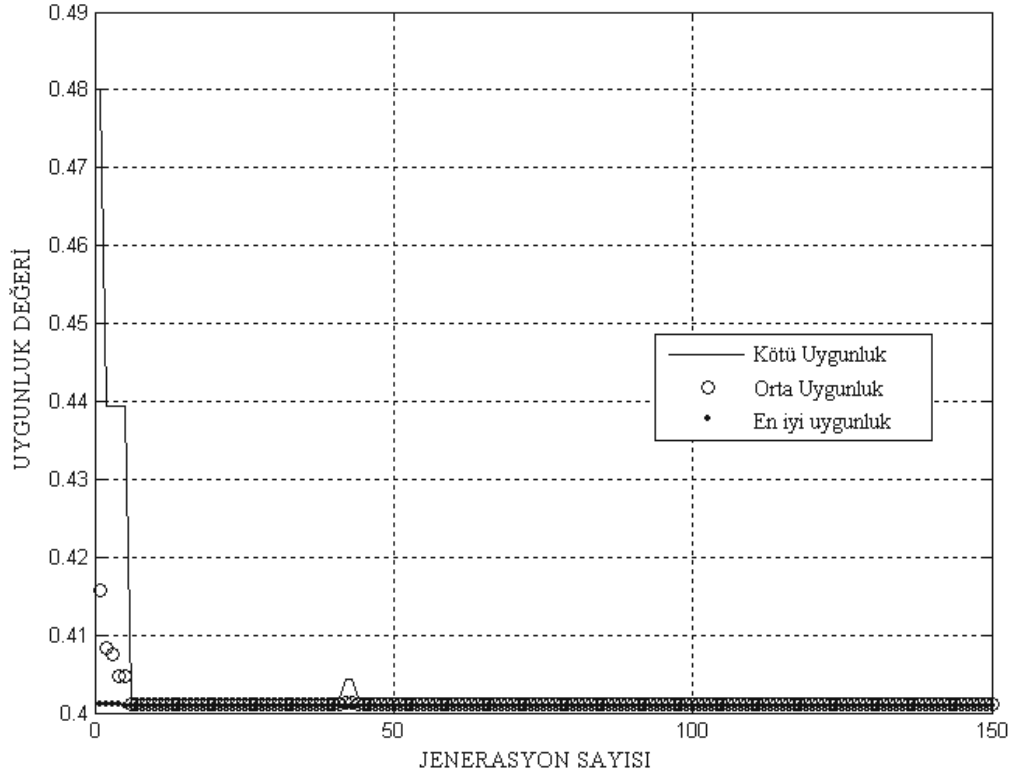
Genetik algoritma parametreleri	
Bireyin (çözümün) bit sayısı	18
Populasyon büyüklüğü	15
Jenerasyon sayısı	150
Çaprazlama oranı	0,5
Mutasyon Oranı	0,0001

GA ile elde edilen sonuçların irdelenmesi

Şekil 5.5'de tasarım değişkenlerinin, GA'nın çalışması süresince aldığı değerler görülmektedir. Burada görünen noktaların sıklaştığı bölge değişkenlerin o bölgede minimuma doğru gittiğini gösterir. Kırılma açısı, β_1 'nin $31,588^\circ$ ve giriş mili dönme açısı ω_i 'nin $269,9^\circ$ etrafında dolaştığı ve bu noktayı yakaladığı görülmektedir. Bu değerler mil çapı için minimum değerlerdir. Şekil 5.6'da GA ile minimizasyonu yapılmış kardan mili çapının, uygunluk değerleri – jenerasyon eğrisi verilmiştir ve GA görüldüğü gibi optimum sonuca 8. jenerasyonda ulaşmıştır. Tasarım değişkenleri amaç fonksiyonunda yerine koyulup mil çapı, d , hesaplandığında sonucun 0,02414 m değerini aldığı görülmüştür.



Şekil 5.5. Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler



Şekil 5.6. Uygunluk değeri - jenerasyon eğrisi

5.1.2. Ardışık kuadratik programlama ile çözüm

Fmincon Matlab 7.0'da optimizasyon menüsünün bir fonksiyonudur. *Fmincon*; çok değişkenli, kısıtlı ve nonlinear fonksiyonların minimum noktasını bulmada kullanılmaktadır. *Fmincon*, *ardışık kuadratik programlama (sequential quadratic programming)* metodunu kullanır [44]. Ardışık kuadratik programlama (AKP) çözümü iki aşamadan oluşur: İlk aşama; uygun bir başlangıç noktasının seçilmesidir. Başlangıç noktasının uygun seçilmesi, programın lokal minimum noktalarına takılmamasını engellemek için önemlidir. İkinci aşama; çözüme yakınsayabilmek için uygun iterasyon basamaklarının oluşmasıdır [45].

Amaç fonksiyonu tanımlanması

Amaç fonksiyonu; mil çapı, d , Eş. 5.1 de ifade edilmiştir.

Değişkenler ve parametreler

Amaç fonksiyonu için değişkenler Eş. 5.2 ve Eş. 5.3 de ifade edilmiştir. Çözümde kullanılan parametreler Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Kısıtların tanımlanması

Kısıtlar, Eş. 5.4, Eş. 5.5 ve Eş. 5.6 ile ifade edilmiştir.

Ardışık kuadratik programlama parametreleri

Bütün geleneksel optimizasyon tekniklerinde olduğu gibi AKP yöntemi de çözüm için bir başlangıç noktasına ihtiyaç duyar. Bu noktanın seçiminin uygun yapılması, AKP’nin lokal minimumlara takılmamasını önlemek ve çözüme çabuk ulaşılması açısından önemlidir. Bu problemin çözümü için başlangıç noktası $\beta_1 = 8^\circ, \omega_1 = 9^\circ$ olarak alınmıştır.

5.1.2.5. Ardışık kuadratik programlama ile elde edilen sonuçların irdelenmesi

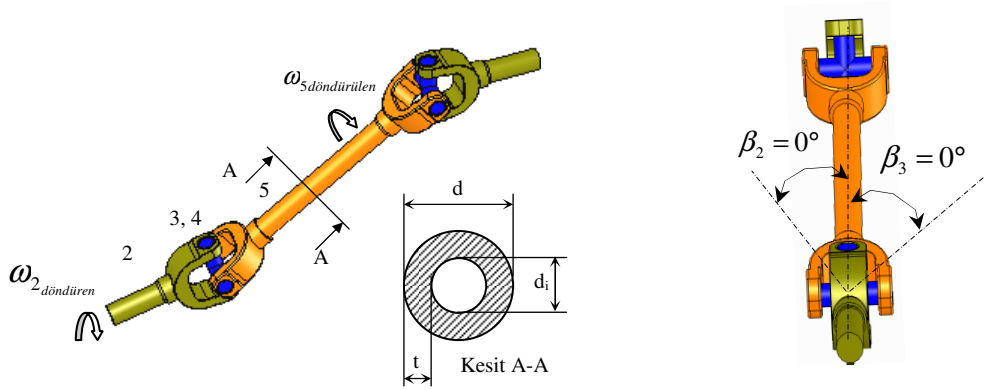
Elde edilen çözümler Çizelge 5.8’de görülmektedir. 15. iterasyonda $F_{amaç}$ değerinin minimuma yakınsadığı ve 0,0248411 m değerini aldığı görülmektedir. Bu iterasyon sonucuyla tasarım değişkenlerinin $\beta_1 = 12,32^\circ$ ve $\omega_1 = 360^\circ$ olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.8. Ardışık kuadratik programlama yöntemi sonuçları

İterasyon Sayısı	$F_{amaç}, d$
1	0,00327889
..	..
15	0,0248411 m

5.2. İçi Boş Kardan Milinin Kalınlığının Minimizasyonu

Bu kısımda, elektrik motorundan aldığı hareketi belirli bir yükseklikteki redüktöre iletmek durumunda olan ve Şekil 5.7’de görülen kardan milinin kalınlığı, t , nın minimizasyonu yapılacaktır. Bölüm 5.1’de izlenen yol ile bu bölümde izlenen yol aynıdır. Çalışmanın bu kısmında GA ve ardışık kuadratik programlama yöntemi ile çözüm yapılacak ve sonuçlar irdelenecektir.



Şekil 5.7. İçi boş kardan mili

5.2.1. Genetik algoritma ile çözüm

Amaç fonksiyonunun tanımlanması

Amaç fonksiyonu kardan milinin et kalınlığı, t , olup Eş. 5.13 ve Eş. 5.14 ile ifade edilmiştir [37,40].

$$t = \frac{d - d_i}{2} \quad (5.13)$$

$$F_{Amaç} = F_{\min}(\beta_1, \omega_1, d_i) = t(x_i) = 0.5 \left\{ \left[\frac{32n}{\pi} \left(\frac{M}{S_e} + \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{M_{td}}{S_u} \right) \right]^{1/3} \left/ \left[1 - \left(\frac{d_i}{d} \right)^4 \right]^{1/3} \right\} - d_i \right\} \quad (5.14)$$

Değişkenler ve parametreler

İçi delik kardan milinin minimum kalınlığı optimize edilirken üç değişkenle sonuca gidilmiş ve bu değişken ve aralıkları sırası ile Eş. 5.15, Eş. 5.16 ve Eş. 5.17 ile ifade edilmiştir.

$$\text{Kırılma açısı} \quad 10^\circ \leq \beta_1 \leq 45^\circ \quad (5.15)$$

$$\text{Giriş mili dönme açısı} \quad 0 \leq \omega_i \leq 360^\circ \quad (5.16)$$

$$\text{Kardan mili delik çapı} \quad 0,010 \leq d_i \leq 0,040 \text{ m} \quad (5.17)$$

Problem çözümüne ait parametreler ve katsayılar Çizelge 5.9’da görülmektedir.

Çizelge 5.9. Problem çözümüne ait parametreler ve katsayılar [37, 39, 40]

Tanımlama	Sembol	Birim	Değeri
Giriş gücü	P	$Watt$	75000
Giriş devri	N	rad / sn	104,72
Mil uzunluğu	L	m	1
Burulma modülü	G	N / m^2	800.10^8
Kopma dayanımı	S_u	N / m^2	11.10^8
Akma Dayanımı	S'_e	N / m^2	$5,52.10^8$
Transmisyon düzeltme faktörü	K_{ct}	-	2,2
Şok faktörü	K_s	-	1,5
Yüzey faktörü	k_a	-	0,9
Büyüklik faktörü	k_b	-	0,75
Yorulmada güvenilirlik faktörü	k_c	-	0,85
Sıcaklık değişim faktörü	k_d	-	1,01
Diğer etkenlerin faktörü	k_f	-	0,95
Teorik çentik faktörü	k_t	-	1,2
Malzemenin çentik hassasiyeti	q	-	0,6

Sistemin çalışma ortamı sıcaklığı $50C^{\circ}$, kullanılan kardan milinin malzemesi sementasyon çeliği, $16MnCr5$, kardan milinin tahrik sistemi elektrik motorudur. Çizelge 5.9'daki veriler kullanılarak çentik faktörü $K_f=1,12$, gerilme değişim faktörü, $k_e = 0,89$ olarak hesaplanmıştır. Tasarım faktörü, $n = 1.4$, kardan mili içi delik mil olduğu için, amaç fonksiyonunda $\left(\frac{d_i}{d}\right) = 0,452^{+0.1}_{-0.1}$ kabulü yapılmıştır.

Kısıtların tanımlanması

Problem çözümünde kısıt fonksiyonu, $g_{(i)}$, olarak, Eş. 5.18 ile ifade edilen tireşim ve tutukluk bağıntısı, Eş. 5.19 ile ifade edilen kritik devir sayısı bağıntısı ve Eş. 5.20 ile ifade edilen maksimum burulma açısı bağıntısı kullanılacaktır.

$$g_{(1)} = \beta_1 k(N(30/\pi)) \leq N_{\max} \quad (5.18)$$

Hesaplanan referans momenti, $C_o = 716,2Nm$ bulunmuş ve Çizelge 4.1'den tranmisyon tipi 1120 alınmıştır. Transmisyon tipi 1120 'ye göre Çizelge 4.2'den $N_{\max} = 30000 \text{ dev/dak}$ bulunmuştur.

$$g_2 = \sqrt{\left(\frac{L^2 \left(\frac{N(30/\pi)}{0.85} \right)^2}{b} \right) - (d_i)^2} \leq d \quad (5.19)$$

Eş. 5.19 milin rezonansa girmemesi için eşitsizliğin sol tarafı daima sağ tarafından küçük olmalıdır.

$$g_3 = (584 M_t L) / (G(d^4 - d_i^4)) \leq 3 \quad (5.20)$$

Eş. 5.20 burulma gerilmesinden kaynaklanan dönme açısının kısıt fonksiyonunu ifade eder.

Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması

Uygunluk fonksiyonu bir bireyin, gelecek jenerasyon için seçim işleminde kullanılan performans ölçüsünü verir ve Eş. 5.21 ile ifade edilmiştir.

$$UygunlukFonksiyonu = C_{\max} - (F(\beta_1, \omega_i, d_i) + PF) \quad (5.21)$$

Burada ceza fonksiyonu PF ile gösterilmiş ve Eş. 5.22 ile ifade edilmiştir.

$$PF = \sum_{i=1}^{KS} r_i [maksimum(0, g_i)]^2 \quad (5.22)$$

Değişkenlerin kodlanması ve genetik algoritma parametreleri

Genetik algoritma, değişkenlerin kodlanmasına gerek duyar. Tasarım değişkenleri vektörü;

$$x_i = \{\beta_1, d_i, n\}^T \quad (5.23)$$

$$x_{(i)alt} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)üst} \quad (5.24)$$

Değişkenlerin bit sayısı l Eş.5.25 ifadesi ile hesaplanır.

$$2^l \geq [(x_{(i)üst} - x_{(i)alt}) / \varepsilon] + 1 \quad (5.25)$$

Hesaplanan değerler Çizelge 5.10'da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Değişkenlerin oluşturulması

Değişkenler $x_{(i)}$	Alt sınır	Üst Sınır	Aralık $\mathcal{E}$	Bit Sayısı l
Kırılma açısı, β_1	10°	45°	0,01	≤ 12
Delik çapı, d_i	0,01	0,035	0,0001	≤ 8
Dönme açısı, ω_i	0	360	0,01	≤ 16

Genetik Algoritmayı başlatmak için, rasgele bir başlangıç popülasyonunun üretilmesine ihtiyaç duyulur. Üretilen bu popülasyon problemin potansiyel bir çözümüdür. Çizelge – 5.11' de değişkenlerin binary kod ile oluşturulmuş bir çözümü verilmiştir.

Çizelge 5.11. Değişkenlerin gösterimi ve değişkenlerin birleşimiyle bireyin oluşumu

Değişkenler		
Kırılma Açısı, β_1	Delik çapı, d_i	Tasarım faktörü, n
1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0	1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0	1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1
Değişkenlerin birleşimi 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 1		

48 bit uzunluğundaki bir bireyin çözüm uzayında 2^{48} adet alternatif çözümü vardır. Rasgele oluşan bir başlangıç popülasyonu Çizelge 5.12’de görülmektedir.

Çizelge 5.12. Bir başlangıç popülasyonu

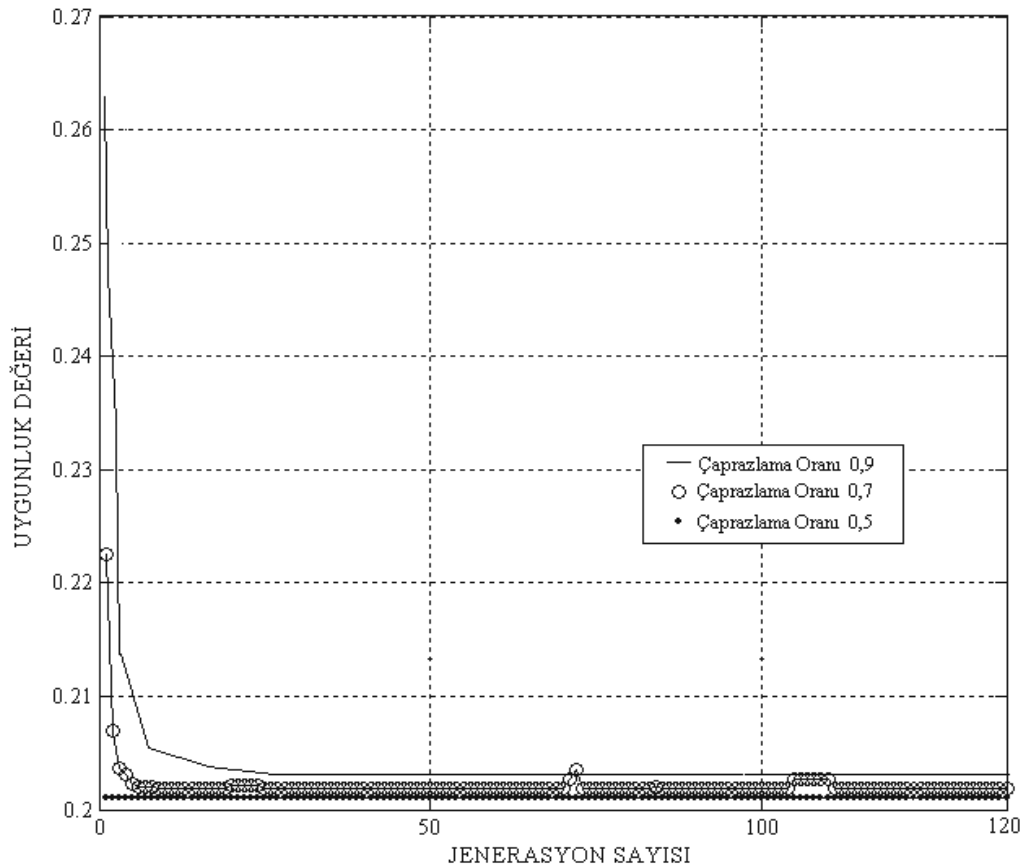
Birey Numarası	Rasgele oluşan bireyler
1	0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1
2	1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 1
.	
500	1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1

Yapılan bu optimizasyon işleminde GA operatörü olarak şunlar kullanılmıştır; *elitizm, turnuva seçim mekanizması, tek noktadan çaprazlama* (Çizelge 5.13) ve *mutasyon*.

Çizelge 5.13. Tek noktadan çaprazlama

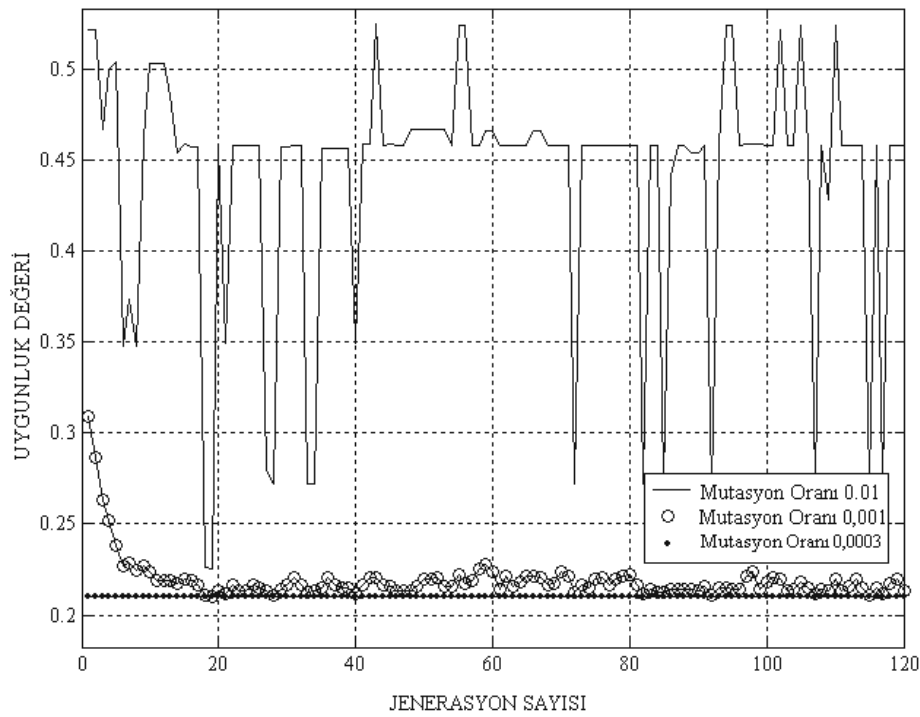
22. noktadan çaprazlanmış bireyler	
Birey I	1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1
Birey II	0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1
Çaprazlama sonucu oluşan bireyler	
Çocuk I	1 0 0 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 0 1 1 0 1
Çocuk II	0 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1 1 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1 0 0 1 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1

Birkaç farklı çaprazlama oranı ile GA çalıştırılmış ve en uygun oranın 0,5 olduğu görülmüştür. Şekil 5.8’de farklı değerlerdeki çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi görülmektedir. 0,5 çaprazlama oranının en uygun çözümleri bulmada etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.8. Farklı çaprazlama oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi

Mutasyon (değişim) oranı 0,01-0,0001 aralığındaki birkaç farklı değer için denenmiş ve en uygun oranın 0,00003 olduğu görülmüştür. Daha büyük mutasyon oranı değerlerinde, iyi uygunluk değerine sahip bireylerin kötü duruma gelmesi hali görülmekte ve yakınsamanın oluşması zorlaşmaktadır. Şekil 5.9'te 0,01-0,001-0,00003 mutasyon oranlarının uygunluk değeri üzerine etkileri görülmektedir. 0,00003 değerinin en uygun çözümleri bulmada etkin olduğu görülmektedir.



Şekil 5.9. Farklı mutasyon oranlarının uygunluk fonksiyonuna etkisi

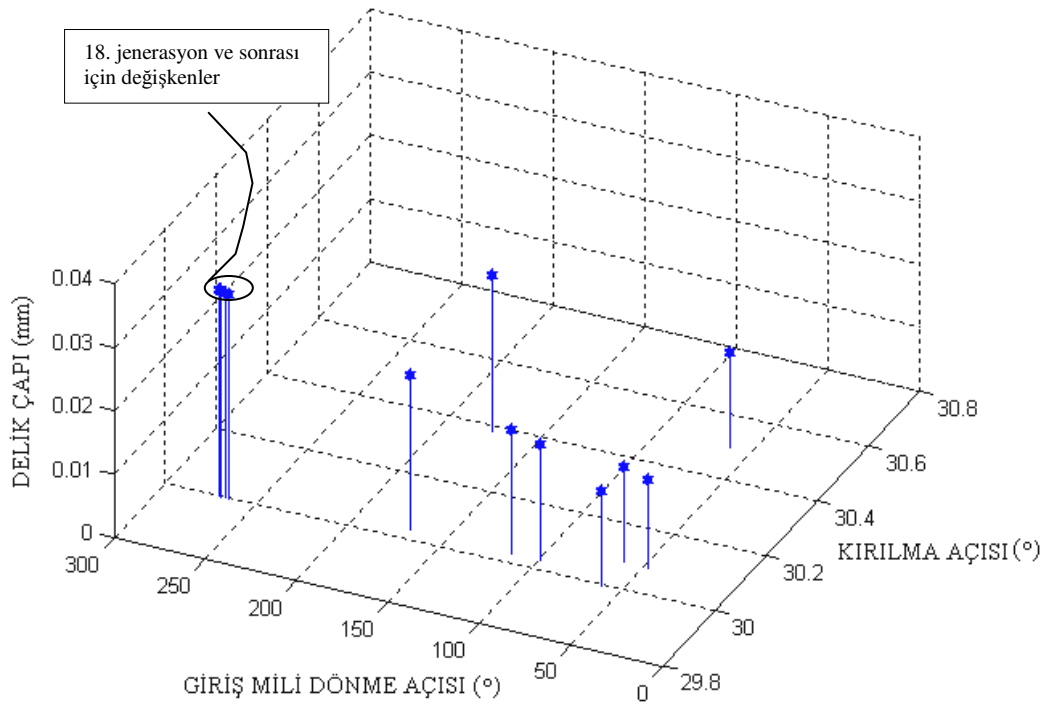
Bu çalışmada kullanılan genetik algoritma parametreleri Çizelge 5.14'te görülmektedir.

Çizelge 5.14. Genetik algoritma parametreleri

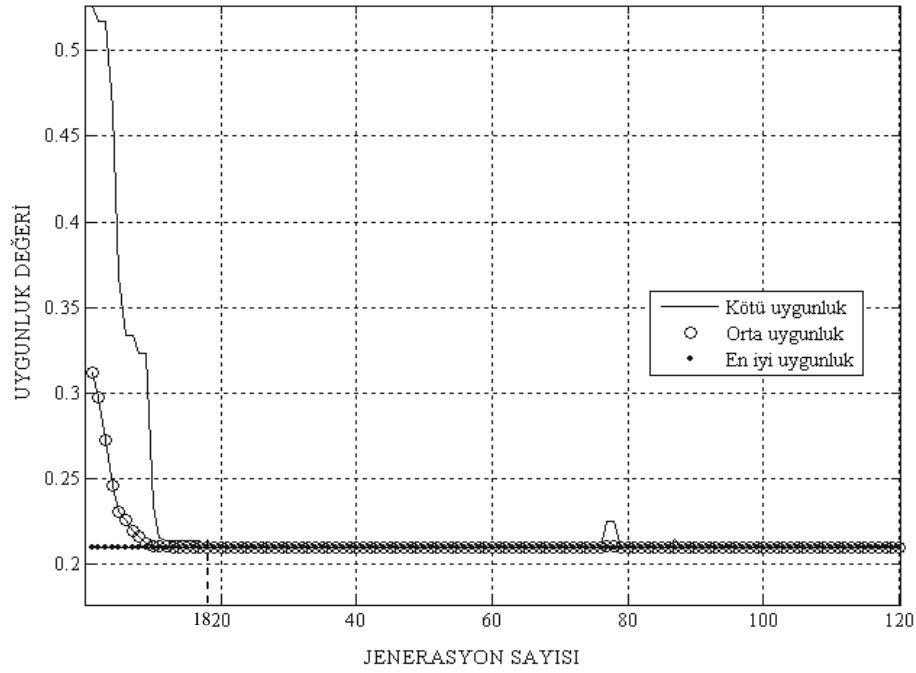
Genetik Algoritma Parametreleri	
Bireyin (çözümün) bit sayısı	48
Populasyon büyüklüğü	90
Jenerasyon sayısı	120
Çaprazlama oranı	0.5
Mutasyon Oranı	0,0003

GA ile elde edilen sonuçların irdelenmesi

Şekil 5.10'da tasarım değişkenlerinin, GA'nın çalışma süresince aldığı değerler görülmektedir. Burada görünen noktaların sıklaştığı bölge değişkenlerin o bölgede amaç fonksiyonu için minimuma doğru gittiğini gösterir. Kırılma açısı, β_1 'nin $29,96^\circ$, giriş mili dönme açısı, ω_i 'nin $269,998^\circ$ ve delik çapı, d_i 'nin $0,03250$ m etrafında dolaştığı ve bu noktayı yakaladığı görülmektedir. Şekil 5.11'de GA ile yapılan minimizasyonun, uygunluk değeri – jenerasyon eğrisi verilmiştir ve görüldüğü gibi GA optimum sonuca 18. jenerasyonda ulaşmıştır. Tasarım değişkenleri amaç fonksiyonunda yerine koyulup et kalınlığı, t , hesaplandığında sonucun $0,01945$ m değerini aldığı görülmüştür.



Şekil 5.10. Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler



Şekil 5.11. Uygunluk değeri - jenerasyon eğrisi

5.2.2. Ardışık kuadratik programlama ile çözüm

Ardışık kuadratik programlama çözümü iki aşamadan oluşmakta olup ilk aşama; uygun bir başlangıç noktasının seçilmesi, ikinci aşama ise çözüme yakınsayabilmek için uygun iterasyon basamaklarının oluşmasıdır.

Amaç fonksiyonu tanımlanması

Amaç fonksiyonu; kardan milinin et kalınlığı, t , Eş. 5.13 ve Eş. 5.14 ile ifade edilmiştir.

Değişkenler ve parametreler

Amaç fonksiyonu için değişkenler Eş. 5.15 , Eş. 5.16 ve Eş. 5.17 de ifade edilmiştir. Çözümde kullanılan parametreler Çizelge 5.9'da görülmektedir.

Kısıtların tanımlanması

Kısıtlar, Eş. 5.18, Eş. 5.19 ve Eş. 5.20 ile ifade edilmiştir.

Ardışık kuadratik programlama parametreleri

Genel olarak geleneksel optimizasyon tekniklerinde olduğu gibi AKP yöntemi de çözüm için bir başlangıç noktasına ihtiyaç duyar. Bu noktanın seçiminin uygun yapılması, AKP'nin lokal minimumlara takılmamasını önlemek ve çözüme çabuk ulaşmasını sağlamak açısından önemlidir. Bu problemin çözümü için başlangıç noktası $x_o; \beta_1 = 16^\circ, \omega_i = 155^\circ, d_i = 0,013$ olarak alınmıştır.

Ardışık kuadratik programlama ile elde edilen sonuçların irdelenmesi

Elde edilen çözümler Çizelge 5.15'te görülmektedir. 3. iterasyonda $F_{amaç}$ fonksiyonunun minimuma yakınsadığı ve 0,02696 değerini aldığı görülmektedir. Bu iterasyon sonucuyla tasarım değişkenlerinin $\beta_1 = 26^\circ, \omega_i = 300^\circ$ ve $d_i = 0,02215$ m olduğu sonucu ortaya çıkmıştır.

Çizelge 5.15. Ardışık kuadratik programlama yöntemi sonuçları

İterasyon Sayısı	$F_{amaç, t}$
0	0,030604
1	0,04153
2	0,02696

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu çalışma ile GA'nın, çözümü istenen optimizasyon probleminin iyi tanımlanması, tasarım değişkenlerinin sınırlarının ve kısıt fonksiyonlarının uygun belirlenmesi şartıyla, makine parçalarının mukavemet hesaplarında ve tasarım optimizasyonunda kullanılabileceği, mantıklı ve uygun sonuçların alınabileceği sonucunu ortaya koymuştur. GA ile bulunan sonuçlar, farklı bir optimizasyon tekniği olan AKP tekniği sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.1). Her iki tekniğinde birbirine yakın sonuçlar elde ettiği görülmüş ve bu durum GA'nın makine tasarımında kullanılabilir olduğu sonucunu ortaya koymuştur.

Çizelge 6.1. AKP ve GA sonuçlarının karşılaştırılması

Çözülen problem	Tasarım değişkenleri	Ardışık Kuadratik Programlama (AKP)	Genetik Algoritma (GA)
Kardan mili çapının minimizasyonu, d	Kırılma açısı, β_1	12,32°	31,588°
	Giriş mili dönme açısı, ω_i	360°	269,9°
	Minimum mil çapı, d	0,02484 m	0,02414 m
Kardan mili et kalınlığının minimizasyonu, t	Kırılma açısı, β_1	26°	29,96°
	Giriş mili dönme açısı, ω_i	300°	269,998°
	Delik çapı, d_i	0,02215m	0,03250m
	Minimum et kalınlığı, t	0,02696 m	0,01945 m

GA, kısıtsız bir optimizasyon metodu gibi işlev görmektedir iken, penaltı fonksiyonuyla kısıtlı optimizasyon yapacak duruma getirilir. GA'nın bu özelliği bir çok tasarım optimizasyon probleminin çözümü için kullanılabilir ve etkin sonuçlar elde edilebilir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar GA'nın bu özelliklerini destekler niteliktedir.

Kullanılan GA programı Matlab 7.0 programlama dilinde yazılmıştır. Bu program, zaten var olan GA programının çözümü istenen optimizasyon problemine uyarlanmasından ve bu çerçevede geliştirilmesinden oluşmaktadır. GA programına Matlab'ın diğer fonksiyonlarından olan grafik fonksiyonları eklenmiş ve elde edilen sonuçlara göre hemen grafik çizilebilme olanağı sunulmuştur. Ardışık kuadratik programlama tekniği; Matlab'ın optimizasyon fonksiyonlarından olan *fmincon* ile probleme uyarlanmış ve çözüm elde edilmiştir.

Bu çalışmada kardan milinin çapının ve et kalınlığının minimizasyonu yapılmıştır. Kardan miline ait diğer tasarım parametreleri, bir başka çalışmanın konusu olabilir. Bu çalışma milin mafsallarına doğru kaydırılıp burada bulunan istavrozun kol çapı ve mafsallarda kullanılan iğneli rulmanların seçimi için gerekli parametrelerin optimizasyonu şeklinde geliştirilebilir. Yine bu çalışma da Z-tipi kardan mili üzerinde durulmuştur. Mafsalların artırılması durumunda W-tipi vb. gibi çok mafsallı mil sistemleri üzerine çalışma, daha da genişletilebilir.

KAYNAKLAR

1. Çetinkaya, S., “Taşıt Mekaniği, 2. Baskı”, *Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şrkt.*, Ankara, (69-77), (1998).
2. Seçgin, E., "Eş Eksenli Olmayan U – Mafsallı Millerde Faz Farklarından Kaynaklanan Konum Değişikliği", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 15 - 80 (2002).
3. Zeyveli, M. “Genetik Algoritma ile Hız Kutusu Dişli Tasarımı”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-30 (2005).
4. Uçar, M. “İmalat Toleransları Dahilinde Kardan Kavramalarının Kinematik Analizi”, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-10(1995).
5. Hummel, S. R., Chassapis, C., “Configuration Design and Optimization of Universal Joints”, *Mechanism and Machine Theory*, 33(5): 479-490, (1998).
6. Cavacece, M., Stefanelli, R., Valentini , P.P., Vita, L., “A Multibody Dynamic Model Of A Cardan Joint With Experimental Validation”, *Multibody Dynamics 2005-Eccomas Thematic Conference*, Madrid, Spain, 3-8 (2005).
7. He,Y, Guo, D., Chu, F. “Using Genetic Algorithms and Finite Element Methods to Detect Shaft Crack for Rotor-Bearing System”, *Mathematics and Computers in Simulation 57*, Tsinghua University,Beijing 100084, CHINA, 95-108 (2001).
8. Brutti, C., Pennestri, E., Biancolini, M.E., “The Dynamics Of The Transmission With A Double Cardan Joint”, *10th World Congress On The Theory Of Machine And Mechanisms*,1-3 (1999).
9. Sheu, P.P., Chieng, W.H., Lee, A.C., "Modeling and analysis of the intermediate shaft between two universal joints", *Transaction of the ASME*, 118, 88, (1996).
10. Bayrakçeken, H., Taşgetiren, S., Yavuz, İ., “Two Cases of Failure in The Power Tansmission System On Vehicles: A Universal Joint Yoke And A Drive Shaft”,*Elsevier, Engineering Failure Analysis*, 1-6 (2006).
11. Pantazopoulos, G., Sampani, A., Tsagaridis, E., “Torsional Failure Of A Universal Steel Coupling System During Operation – A Case Study”, *Elsevier, Engineering Failure Analysis*,1-5 (2006).
12. Chambers, L., “Practical Hanbook of Genetic Algorithms, *Crc Press*, 30-95 (1995).

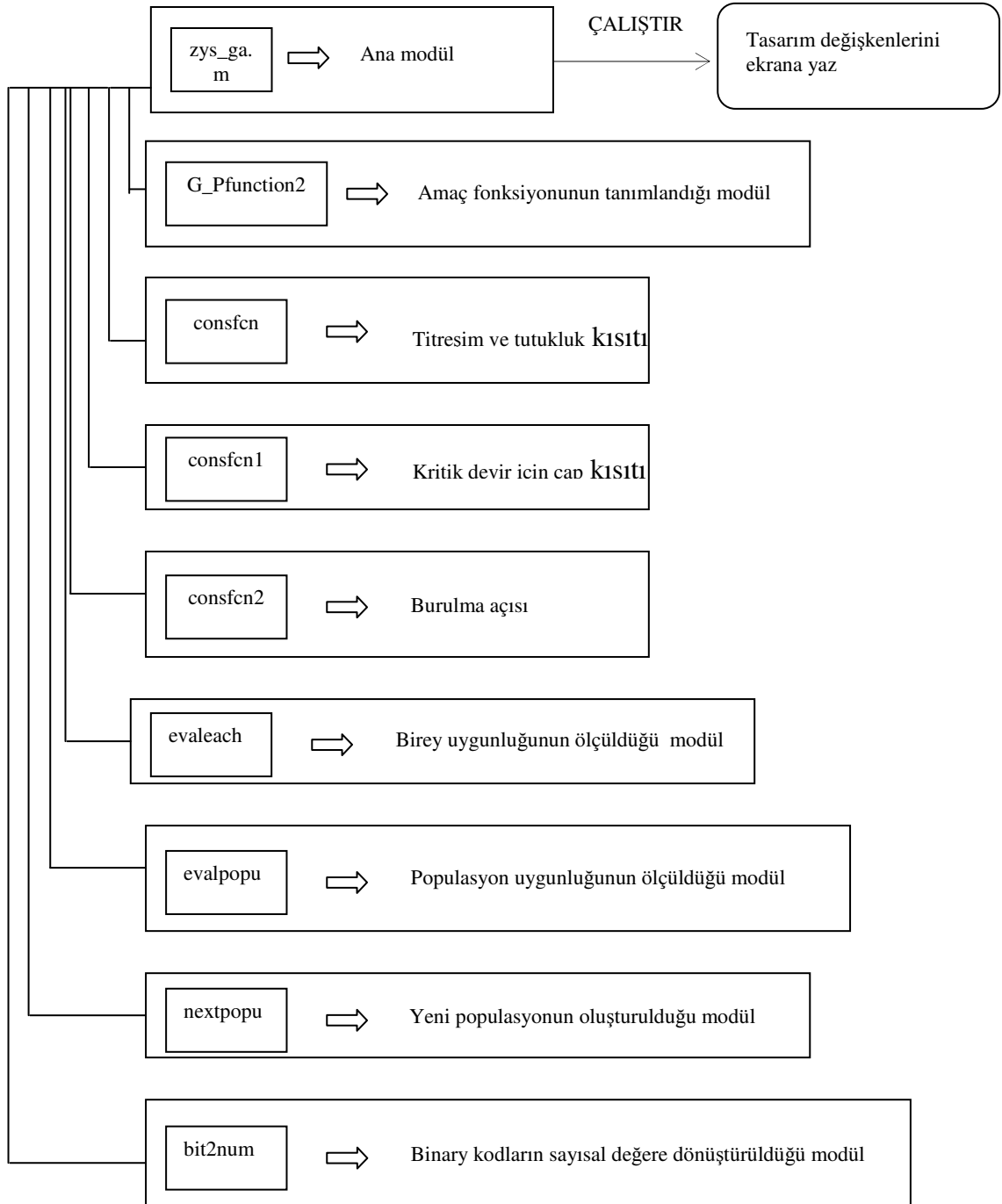
13. Ded, K., "Genetic Algorithms for Optimization", *KanGAL Report 2001-002*, Kanpur, 1-9 (2001).
14. Holland, J. H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", *University of Michigan Press*, Ann Arbor, 1-30 (1975).
15. Goldberg, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", *Addison Wesley*, New York, 1-50 (1989).
16. Ded, K., "Genetic Algorithm in Search and Optimization : The Tecnique and Applications", *Proceeding of International Workshop on Soft Computing and Intelligent Systems*, Calcutta India, 58-87 (1998).
17. Yaman, M., Saruhan, H., Mendi, F., "Genetik Algoritma Yardımıyla Kardan Mil Çapı Minimizasyonu", *Tasarım-İmalat-Analiz Kongresi*, Balıkesir Üniversitesi, 26-28 Nisan, 77-88 (2006).
18. Chen, Y., P., "Extending the Scalability of Linkage Learning Genetic Algorithms: Theory and Practice", The Degree of Doctor of Philosophy, *College of the University of Illinois*, Urbana-Champaign, 6-30 (2004).
19. Saruhan H., "An Evolutionary Algorithm in Mechanical Design Problems", *4th International Advanced Technologies Symposium*, September 28-30, Konya, Türkiye, 1-10 (2005).
20. Lin, C.Y. and Hajela, P., "Genetic Algorithms in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variables" *Engineering Optimization*, 19, 309-327 (1992).
21. Saruhan, H., "Genetic Algorithms: An Optimization Technique", *Technology*, 7 (1): 105-114 (2004).
22. Michalewicz, Z., "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", *Springer-Verlag*, Berlin, 1-54 (1996).
23. Jang J. S. R., "Neuro-Fuzzy and Soft Computing: A Computational Approach To Learning and Machine: Intelligence Derivative-Free Optimization", *Prentice-Hall*, USA, 173-196, (1997).
24. Figlali A., Engin O., "Genetik Algoritmalarla Akış Tipi Çizelgelemede Üreme Yöntemi Optimizasyonu", *İTÜ Dergisi*, 1-6 (2002).
25. Altıparmak F., "Genetik Algoritmalar", *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11 (3): 523-541 (1998).
26. Mitchell, M., "An Introduction to Genetic Algorithms", *The MIT Press*, Massachusetts, 1-50 (1997).

27. Emel G. G., Taşkın Ç., "Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları", *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 11(1): 129-152 (2002).
28. Bäck, T., "Optimal Rates Mutation Rates in Genetic Search", *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, Los Angeles, 2-8 (1993).
29. Saruhan, H., "Design Optimization of Rotor Bearing System Using Genetic Algorithms", the degree of Doctor of Philosophy, *University of Kentucky*, Lexington- Kentucky, 30-33, (2001).
30. Goldberg, D. E., "Optimal Initial Population Size for Binary-Coded Genetic Algorithms", *TCGA Report No 850001*, The Clearinghouse for Genetic Algorithms, Tuscalasso, 25-33 (1985).
31. TS 11771, "Kara Yolu Taşıtları – Kardan Milleri", *TSE* (1995).
32. Çetinkaya, S., " Taşıt Mekaniği", *Nobel Yayın Dağıtım Ltd Şti*, Ankara, 69-77 (1999).
33. Uçar, M., "Kardan Kaplinlerinde Hasara Etki Eden Faktörler Ve Alınması Gereken Tedbirler", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt-5, 1033-1039 (1999).
34. Demirsoy, M., "Motorlu Araçlar", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 278, (2006).
35. Shigley, J. E., Uicker, J.J., "Theory of Machines and Mechanism", *McGraw-Hill*, North America (1995).
36. Waldron, K. J., Kinzel, G.L., "Kinematics, Dynamics and Design of Machinery", *John Wiley&Sons, Inc.*, 312-414 (1999).
37. Lingaiah, K., "Machine Design Data Handbook", *McGraw-Hill*, New York (2003).
38. Schwab, A.L., Meijaard, J. P. "Small Vibrations Superimposed on a Prescribed Rigid Body Motion", *Laboratory for Engineering Mechanics, Delft University of Technology*, 2628 CD Delft, The Netherlands (2002).
39. Akkurt, M., "Makine Elemanları Cilt I-II", *Birsan Yayınevi*, İstanbul, 243, (2000).
40. Shigley, J. E., Mischke, C.R., "Standart Handbook of Machine Design:Shafting", *McGraw-Hill*, New York (1986).
41. Esnault, F., Agati, P., "Construction Mécanique", ISBN 1-10-004703-5, *Dunod*, Paris, 35-60 (1999).

42. Allen, S.H., Alfred, R.H, Herman, G.L., “Machine Design”, **McGraw-Hill**, Schaum’s Outline Series, U.S.A (1975).
43. Yaman, M., Saruhan, H., Mendi, F., “Power Loss Optimization of a Worm Gear By Using Genetic Algorithm”, **11th International FIGES User Conference for Computer Aided Engineering and System Modeling**, ISBN 975-98408-2-0, Bolu, Turkey, 13-15 September, 1-7 (2006).
44. “Optimization Toolbox: Minimization, Quadratic Programming”, **Matlab 7.0 Help**, (2004).
45. Gill, P.E., W. Murray, M.A. Saunders, and M.H. Wright, "Procedures for Optimization Problems with a Mixture of Bounds and General Linear Constraints", **ACM Trans. Math. Software**, 10, 282-298, (1984).

EKLER

EK-1 Geliştirilen GA'nın program ağacı



Şekil 1.1. GA program ağacı

EK-2 Kardan mili çapı için başka bir uygulama

Çalışma şartları, tasarım değişkenleri ve parametreler “Bölüm 5.1” deki kardan milinin çalışma şartları ile aynı olan, iletilen gücün, P , 65 KW ve iletilen devir sayısının, N , 150,8 rad/sn olduğu sistem için GA çalıştırılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Genetik algoritma operatörü olarak elitizm, rulet tekerleği seçimi, tek noktadan çaprazlama ve mutasyon kullanılmıştır. Genetik algoritma parametreleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. GA ile elde edilen sonuçlar

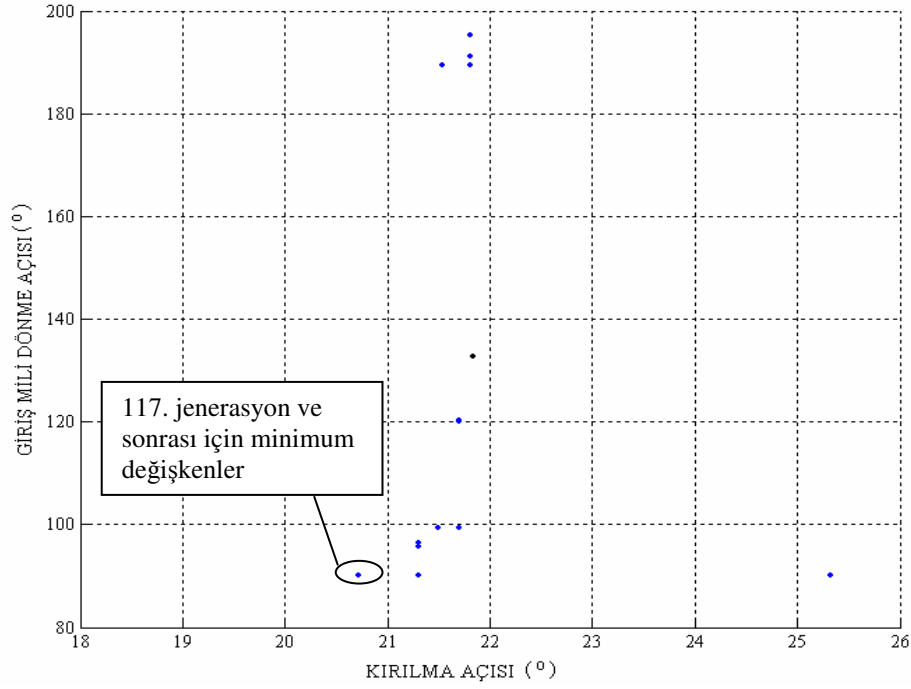
Tasarım değişkenleri	Sonuçlar
Mafsal kırılma açısı, β_1	20,77°
Giriş mili dönme açısı, ω_i	90,79°
Minimum mil çapı, d	0,02641 m

Çizelge 2.2. Genetik algoritma parametreleri

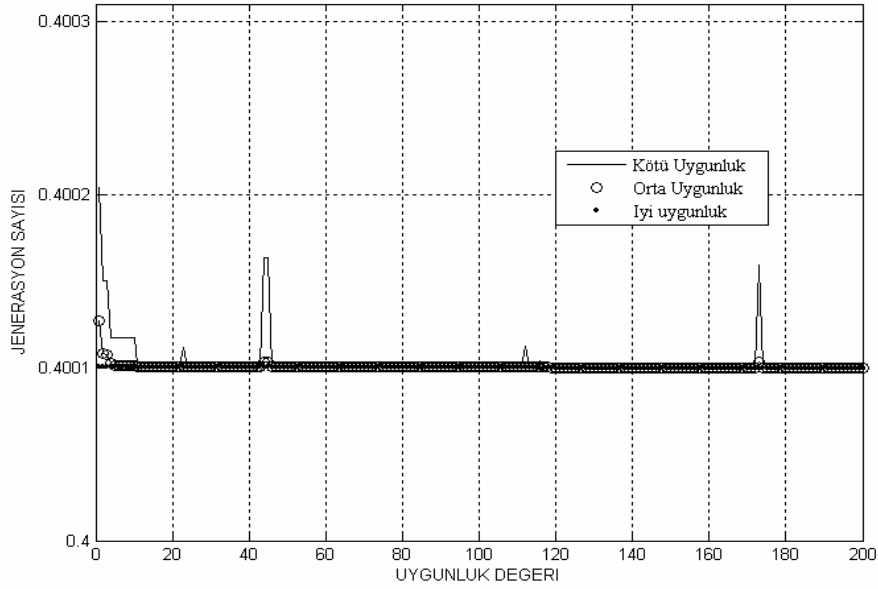
Genetik algoritma parametreleri	
Bireyin (çözümün) bit sayısı	18
Populasyon büyüklüğü	15
Jenerasyon sayısı	200
Çaprazlama oranı	0.5
Mutasyon Oranı	0.0001

Tasarım değişkenleri grafiği Şekil 2.1’de, uygunluk fonksiyonu - jenerasyon sayısı eğrisi Şekil 2.2. de görülmektedir. Optimum sonuca 117. jenerasyonda ulaşıldığı görülmektedir.

EK-2 (Devam) Kardan mili çapı için başka bir uygulama



Şekil 2.1. Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler



Şekil 2.2. Uygunluk değeri – jenerasyon eğrisi

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : YAMAN, Muhammet
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 15.09.1981 Yığılca-Düzce
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : (0 380) 5413344 / 1072
 Faks : (0 380) 5413184
 e-mail : muhammet-yaman@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi/Makine Eğitimi	2004
Lise	Bolu İzzet Baysal Anadolu Teknik Lisesi	1999

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar-Bildiriler

- 1) **Yaman, M.**, Saruhan, H., Mendi, F., “Thickness Optimization of Hollow Cardan Shaft Using Genetic Algorithm”, *International Conference on Science and Technology Applications In Industry and Education (ICSTIE 2006)*, Universiti Teknologi Mara, Penang, Malaysia, 8-9 December (2006).
- 2) **Yaman, M.**, Saruhan, H., Mendi, F., “Power Loss Optimization of a Worm Gear By Using Genetic Algorithm”, *11th International FIGES User Conference for Computer Aided Engineering and System Modeling*, ISBN 975-98408-2-0, 13-15 September, Bolu, Turkey, 1-11 (2006).
- 3) **Yaman, M.**, Saruhan, H., Mendi, F., “Genetik Algoritma Yardımıyla Kardan Mil Çapı Minimizasyonu”, *Tasarım-İmalat-Analiz Kongresi*, Balıkesir Üniversitesi, 26-28 Nisan 77-88 (2006).