

GENETİK ALGORİTMA YARDIMIYLA KARDAN MİL ÇAPI MİNİMİZASYONU

Muhammet Yaman¹, Hamit Saruhan², Faruk Mendi³

¹ Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Makina Eğitimi Bölümü-DÜZCE
E-Posta muhammet_y@ibu.edu.tr

² Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü-DÜZCE
saruhan_h@ibu.edu.tr

³ Gazi Üniversitesi, Makine Eğitimi Bölümü-ANKARA
fmendi@gazi.edu.tr

Özet

Bu makalede, sınır şartları verilen bir kardan milinin minimum çapını uygun bir şekilde hesaplayan ve geleneksel olmayan bir optimizasyon metodu, genetik algoritma, kullanılmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar geleneksel bir optimizasyon metodu olan kafes arama ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, genetik algoritmanın bir optimizasyon tekniği olarak makine parçalarının optimizasyonunda kullanışlı ve uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Anahtar Terimler: Genetik Algoritma, Kardan Milleri, Optimizasyon

Abstract

In this article, a non-traditional algorithm namely genetic algorithm is presented for minimization of a cardan shaft diameter with respect to specified set of constraints. The results for a cardan shaft are presented to provide a comparison with a traditional optimization method, lattice search. The results showed that the genetic algorithm is useful and applicable for optimization of mechanical components.

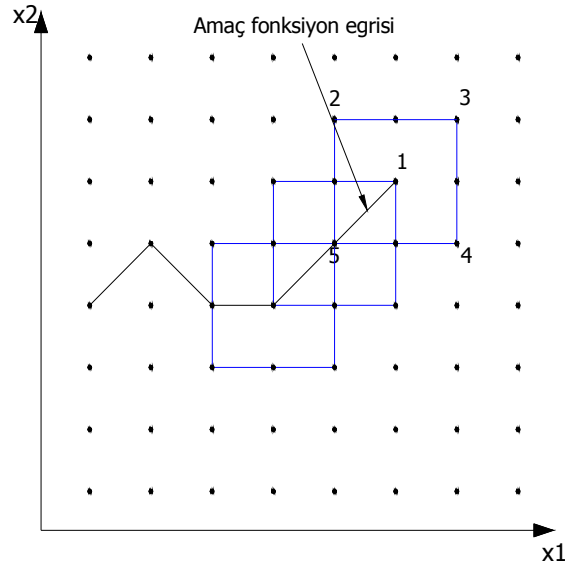
Key Words: Genetic Algorithm, Cardan Shafts, Optimization

1. GİRİŞ

Mühendislik problemlerinde optimum çözüm gerektiren birçok sayısal optimizasyon metodu geliştirilip kullanılmıştır. Bu optimizasyon metotlarının çoğu optimum (maksimum veya minimum) tasarım sonuçlarının bulunması için kullanılır. Bazı optimizasyon metotlarında, başlangıç noktasının iyi seçilmemesi sonucu, çözüm, fazla zaman gerektirebilir. Bu sebepten dolayı, hızlı çözüm üreten ve uygun sonuçlar veren bir optimizasyon metoduna ihtiyaç duyulmaktadır. Veriyi çok daha hızlı işleyen bilgisayarların gelişmesi sonucu daha hızlı ve uygun sonuçlar veren optimizasyon metotları geliştirilmiştir. Genetik algoritma bu metotlardan birisidir. Genetik algoritma, doğal (tabii) seleksiyon mantığı ile çalışan arama metodudur [1]. Bu çalışmada, genetik algoritma ile kardan mil çapının minimum değerini bulup, geleneksel optimizasyon metodu olan kafes arama ile bulunmuş çözümü karşılaştırılmıştır.

2. KAFES ARAMA METODU (LATTICE SEARCH)

Kafes arama çok değişkenli sayısal arama metodudur. Bu metotta, amaç fonksiyonunun belirlenen bir noktadaki değeri hesaplanır. Amaç fonksiyonunun değişkenlerine $\{x_1 = \text{kırılma açısı}, x_2 = \text{giriş mafsalinin açısal konumu}\}$ ait noktalar ilk belirlenen noktanın ve hesaplanan değerlerin etrafına bir kafes oluşturacak şekilde konumlandırılır, Şekil 1'de bu durum gösterilmiştir. Burada ilk belirlenen nokta 1 nolu noktadır. Diğer noktaların amaç fonksiyonuyla hesaplanan değerlerinden en küçük olanı, minimizasyon yapıldığı için bir sonraki aramanın merkezi durumuna gelecektir. Bu döngü istenilen adım kadar tekrarlanabilir. Bulunan en küçük değer minimum nokta ve amaç fonksiyonunun minimum değeridir[2].



Şekil 1. Kafes arama metodu

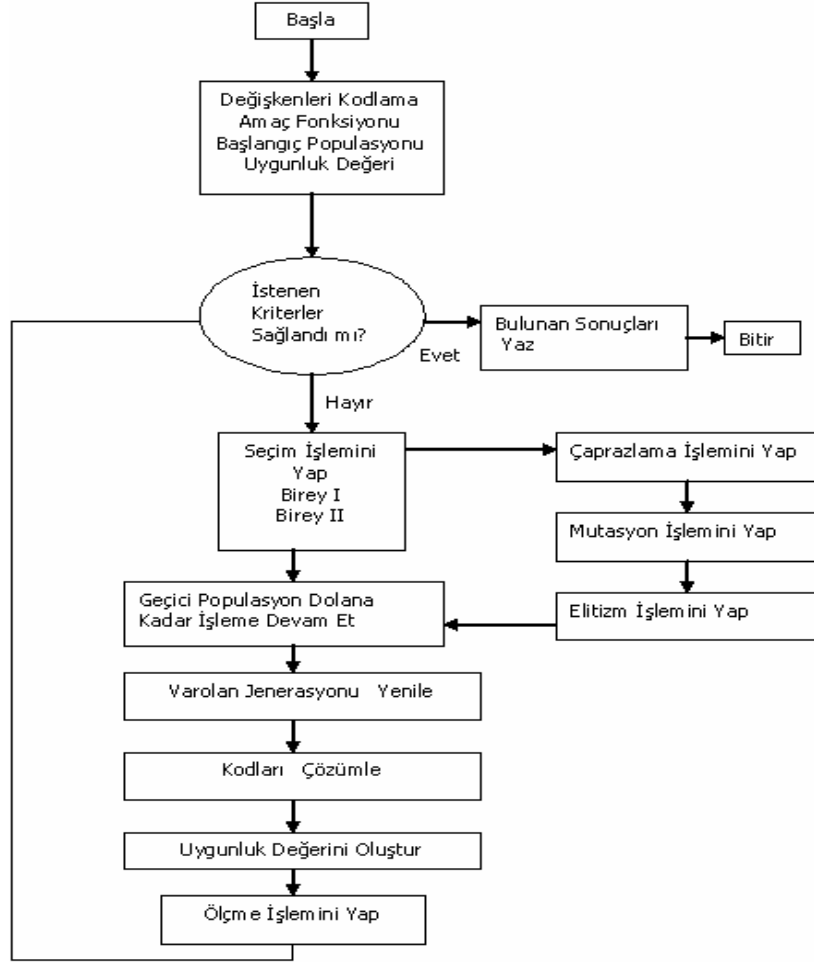
3. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma (GA), rasgele kodlanarak oluşturulan bir başlangıç popülasyonu ile çözümler oluşturur. GA çeşitli seçim mekanizmalarını ve genetik operatörleri kullanarak oluşturulan çözümleri optimum çözüme götürmeye çalışır [3]. Çözümlerin ne kadar iyi olduğunu gösteren fonksiyon uygunluk fonksiyonudur. Bundan dolayı, GA en iyi uygunluk değerine sahip dizini bulmaya çalışır. GA geleneksel optimizasyon yöntemlerinde olduğu gibi bir başlangıç noktasına ihtiyaç duymaz. GA rasgele oluşturularak kodlanan bir grup çözümle çalışmaya başlar. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyileri seçilip kötülerini eler.

GA, ilk olarak rasgele oluşturulan ve bit (binary) kodlarla gösterimi yapılan bir grup başlangıç çözümü (popülasyon) üretir Şekil 2. İterasyon başlangıç çözümleri 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 değeri taşıması gibi kriterler olabilir. Başlangıç popülasyonundaki her çözümün (birey) uygunluğu değerlendirilir ve en iyi birkaç 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 mutasyon operatörlerine tabi tutulup, daha iyi bireyler oluşturularak yeni jenerasyon için hazırlanırlar. Oluşan bu yeni bireyler eski bireylerle yer değiştirir ve genetik operatörler yeniden uygulanır. Uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirme işlemi yeniden yapılır. Bu döngü kabul edilebilir, mantıklı bir sonuç bulunana kadar devam eder [4].

GA birçok yönden geleneksel optimizasyon yöntemlerinden ayrılır [3,5]. Bunlar;

1. Genetik algoritma parametrelerin kendileriyle uğraşmaz. Parametreler kodlanabildiği sürece bu parametrelerin kodlarıyla çözüm uzayında çözüm arar.
2. Genetik algoritma çözüm uzayında tek yerden değil, bir grup çözüm içinden arama yaparak en iyiyi bulmaya çalışır.
3. Genetik algoritma sadece ana verileri kullanır, yardımcı veya bu yardımcı verilerin türevlerini kullanmazlar.
4. Genetik algoritma sebep sonuç ilişkileri yerine olasılıksal değişim metodları kullanır.

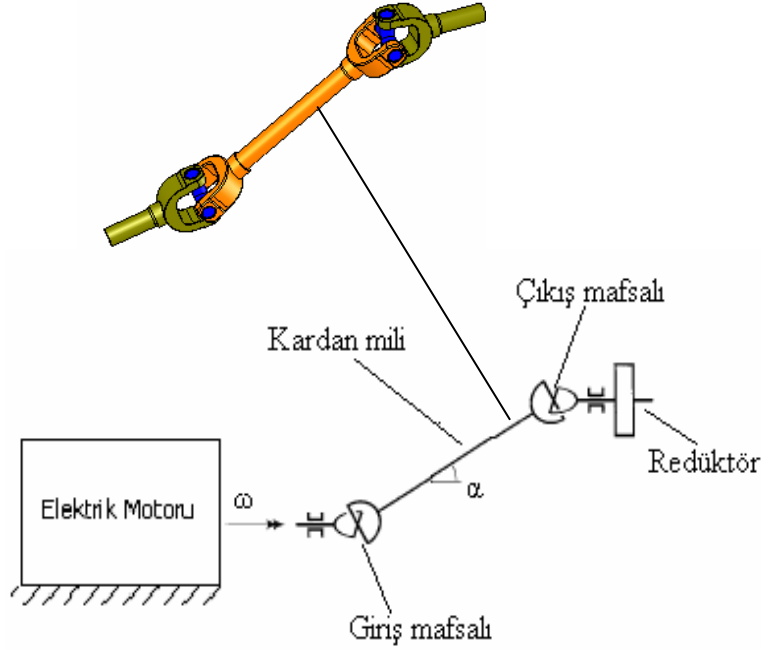


Şekil 2. GA'nın Akış Şeması

4. PROBLEM TANIMI

Bir veya iki mafsallı bağlantısının bir mil ile bağlanmasıyla oluşan kardan mili, aynı düzlemde olmayan ve hareketini ilettiği millerle α gibi bir açıyla kesişen ve bu konumda hareket ve güç iletmek zorunda olan millerdir [6]. Kardan mafsallı, eş eksenli olmayan millerde hareket veya tork iletiminde sıkça kullanılmaktadır. Kardan mafsallı ve mil mekanizmaları hareketi düzgün iletmeyen, bir başka ifade ile, çıkış mili açısal hızının giriş mili açısal hızına oranı daima 1 değildir. Kardan mekanizmalarında düzgün hareket iletimini sağlamak için, belirli şartları sağlayan, bir ara mil içeren iki kardan mafsallı mekanizmalar kullanılır Şekil 3 [7].

Kardan mekanizmalarının mukavemet davranışlarını etkileyen etmenler, giriş-çıkış mil eksenleri arasındaki açı (α), ara mil çatallarının bulunduğu düzlemler arasındaki açı (ω_t), imalat ve montaj hataları, kullanım sırasında meydana gelebilen burulma, çarpılma gibi durumlardır.



Şekil 3. Hareket ve Güç ileten Z tipi Kardan Mili Sistemi

Kardan milinde mafsallardan dolayı meydana gelen eksen değişikliği, açısal hızda ve burulma momentinde düzensizliğe ve değişikliğe sebep olur [8,9].

Kardan mili açısal hızı;

$$w' = [\cos(\alpha) / (1 - \sin^2(\alpha) \cos^2(w_t))] w \quad (1)$$

Burulma momenti;

$$M_t = [1 - \sin^2(\alpha) \cos^2(w_t) / \cos(\alpha)] M_o \quad (2)$$

$$M_o = 955000 [P / N] \quad (\text{daN.mm}) \quad (3)$$

Burada;

ω = Elektrik motorunun açısal hızı (rad/sn)

ω' = Kardan milinin açısal hızı (rad/sn)

M_o = Elektrik motorunun verdiği Tahrik Momenti (daN.mm)

α = Kırılma Açısı (radyan)

ω_t = Giriş mafsalinin açısal konumu (radyan)

P = Elektrik motorunun gücü (KW)

Açısal hızda ve burulma momentindeki bu düzensizliklere titreşim ve tutukluk kontrolü kısıtı da eklenir. Çizelge 1'de verilen maksimum devir sayısı aşıldığı takdirde titreşim meydana gelir. Bu kontrol (4) nolu bağıntı ile yapılır [10].

$$C_T = \alpha \text{ kN} \quad (4)$$

$$C_T < N_{\max} \quad \text{şartı sağlanmalıdır.}$$

- k = İletme oranı (bu katsayı millerde 1'dir)
 N = Giriş milinin devir sayısı (dev/dak)
 N_{max} = Transmisyon tipine göre maksimum devir sayısı (dev/dak)
 C_T = Kardan mili devir sayısı (dev/dak)

Çizelge 1. Titreşim ve Tutukluk Kontrolü için Transmisyon Tipleri ve Maksimum Devirler

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

Sistemdeki kardan mili çapı, minimizasyonu yapılması için uygun bir problem haline dönüştürülmüştür. Kardan milinin boyu kısa olduğundan eğilme gerilmesi ihmal edilmiş, formüldeki bileşik gerilme burulma gerilmesi halini almıştır.

4.1 Amaç Fonksiyonu Tanımı

Bu çalışmada kardan mili çapı, d , [11] minimize edilecektir.

$$d = [32 / \pi(\delta_{ak}/s)[0,75[(1-\sin^2 \alpha \cos^2(\omega_t) / \cos^2(\alpha))955000P/N]^{1/2}]^{1/3} \quad (5)$$

Amaç fonksiyonu iki değişkene bağlı olup, değişkenlerin aralıkları;

$$10^\circ \leq \alpha \leq 45^\circ \quad (6)$$

$$0^\circ \leq \omega_t \leq 360^\circ \quad (7)$$

Diğer parametreler sayısal değer olarak sabit alınıp, bu değerler aşağıdaki gibidir.

$\delta_{ak} = 60$	Mil malzemesinin akma dayanımı (daN/mm ²)
$s = 2$	Toplam emniyet faktörü
$P = 30$	KW
$N = 950$	dev/dak
$\pi = 3.145$	katsayı

4.2 Kısıtlar

Kısıt olarak, titreşim ve tutukluk bağıntısı kullanılmıştır. Bunun için transmisyon tipi 506 alınmış, kısıt denklemi (8) nolu denklemle ifade edilmiştir. Bu durumda;

$$g(1) = C_T = \alpha \text{ kN} \leq 25000 \quad (8)$$

eşitsizliği sağlanmak zorundadır.

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 olduğu zaman, ilgili çözümün uygunluk değeri penaltı (ceza) fonksiyonu ile cezalandırılır. Böylece, çözüm uzayı kısıtları bozan bir durum olduğunda, amaç fonksiyonu değerleri sınırlar içinde tutulur. Uygunluk fonksiyonu (Fitness Function) bir bireyin, gelecek jenerasyon için seçim işleminde kullanılan performans ölçüsünü verir.

$$\text{Uygunluk Fonksiyonu} = F - (AF + P) \quad (9)$$

Burada ceza fonksiyonu P ile gösterilmiş ve (10) bağıntısı ile ifade edilmiştir.

$$P = \sum_{i=1}^{KS} r_i * [0, g_i]^2 \quad (10)$$

- g_i = kısıt değeri
 r_i = katsayı
 AF = amaç fonksiyonu, d
 F = (AF + P)'den büyük bir sayı
 KS = kısıt sayısı

Ceza fonksiyonunun negatif bir değer çıkma olasılığına karşı g_i 'nin karesi alınır. Cezalandırma işlemini kontrol etmek amacıyla r_i katsayısı her kısıt için öngörü ile uygun ve anlamlı bir şekilde seçilmelidir. Çünkü bulunan sonuçlar bu katsayılara bağlı olacaktır. F sayısı, uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için gerekli, pozitif ve yeterli değerde büyük seçilmesi gereken bir sayıdır. Uygunluk fonksiyonu, daima pozitif değer almalıdır.

4.3 Değişkenlerin Oluşturulması ve Genetik Algoritma Parametreleri

Genetik algoritma, değişkenlerin kodlanmasına gerek duyar. Değişik kodlama çeşitleri olmasına rağmen, en çok kullanılan binary {0,1} sistem kodlama türüdür. Tüm çözümler aynı boyutlara sahip bitler dizisi biçiminde gösterilir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rastsal bir noktayı simgeler.

Tasarım değişkenleri vektörü;

$$x_i = \{ \alpha, \omega_t \}^T \quad (11)$$

$$x_{(i)üst} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)alt} \quad (12)$$

$x_{(i)üst}$ i. değişken için en büyük sınır, $x_{(i)alt}$ i. değişken için en alt sınırdır. Değişkenlerin bit sayısı L (13) eşitliği ile elde edilir [12].

$$2^L \geq [(x_{(i)üst} - x_{(i)alt})/\epsilon] + 1 \quad (13)$$

Burada;

L = değişken bit sayısı

ϵ = değişken artım aralığı

Çizelge 2. Değişkenlerin Oluşturulması

Değişkenler	Alt sınır	Üst Sınır	Aralık	Bit Sayısı
Kırılma Açısı (α)	10°	45°	0.1°	10
Milin İlk Açılma Konumu (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 – 3' de değişkenlerin binary (ikilik) koda oluşturulmuş bir çözümü verilmiştir.

Çizelge 3. Değişkenlerin binary (ikilik) sistemde gösterimi ve birleştirilmesi

Değişkenler	
Kırılma Açısı (α)	Milin İlk Açılma Konumu (ω_t)
0 1 1 1 0 1 0 1 0 1	1 0 0 0 0 1 1 0 1
Değişkenlerin Birleşimi	
0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 1 0 1	

19 bit uzunluğundaki bir dizinin (birey) çözüm uzayında 2^{19} adet alternatif çözümü vardır. Populasyon büyüklüğü her jenerasyondaki arama noktalarının sayısını belirler. Goldberg'ın önerdiği optimum bir populasyon büyüklüğü vardır. Bu (14) bağıntısı ile hesaplanabilir. [13]

$$\text{Populasyon büyüklüğü} = 1.65 * 2^{0.21*L} \quad (14)$$

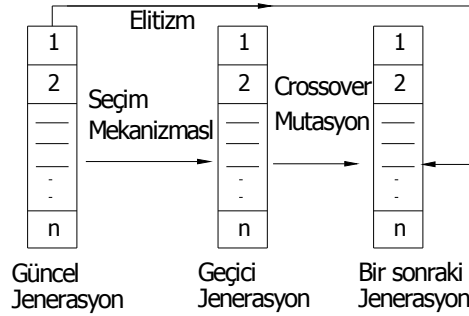
19 bit uzunluğundaki bir dizi için ortalama populasyon büyüklüğü 26 alınabilir. Rasgele oluşan başlangıç populasyonu için çizelge 4'e bakınız.

Çizelge 4. Bir başlangıç populasyonu

Birey Numarası	Rasgele oluşan dizinler
1	1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1 0
2	0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1
.	.
.	.
26	1 0 0 0 0 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0

4.4 Genetik Algoritma Operatörleri

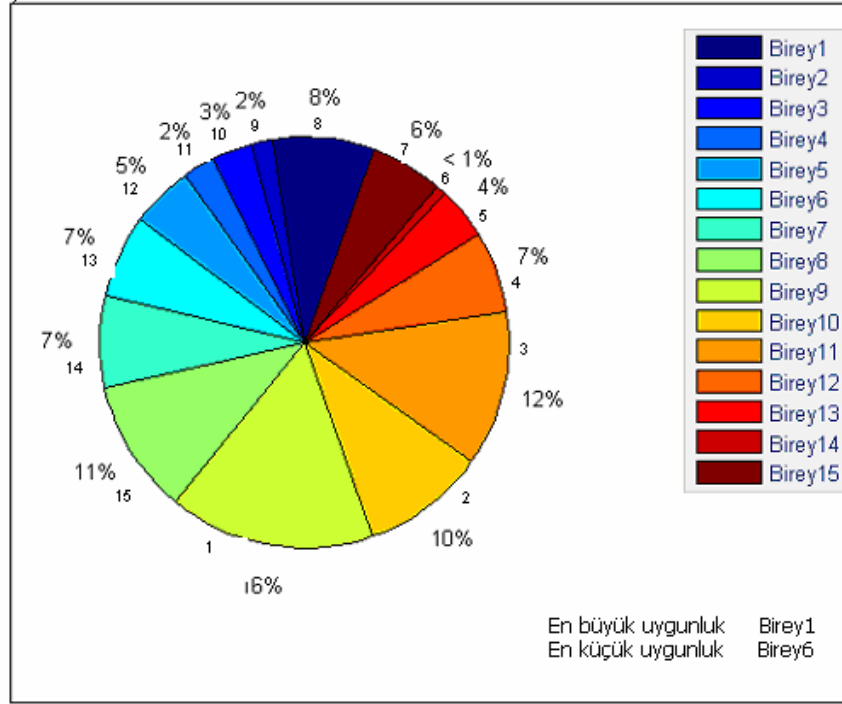
Genetik algoritmada, bir sonraki jenerasyonu oluşturmak için dört temel operatör vardır. Bu operatörlerin her biri Şekil 4'te gösterilip, kısaca tanıtılmıştır [14].



Şekil 4. Genetik algoritma operatörleri

Bu çalışmada elitizm operatörü kullanılmıştır. Elitizm, en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip olan bir veya birden fazla bireyin bir sonraki jenerasyon içinde yer almasını sağlamak için kullanılır ve bu durum diğer jenerasyonlar içinde aynen devam eder. [4,15].

Seçim, kromozomların eşlenmesi için kromozomların uygunluk değerlerine göre seçilmesi işlemidir. Bu seçim işemini yapmak için birçok seçim operatörü vardır. Bunlardan en yaygın olanları; rulet tekerleği seçim (roulette wheel selection) ve turnuva seçim (Tournament Selection) operatörleridir. Bu çalışmada rulet tekerleği seçim mekanizması kullanılmıştır. Rulet tekerleği her bir populasyon bireyi için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri bir çarkın dilimlerini oluştururlar. Uygunluk fonksiyonu değeri istenilen şarta daha yakın olanlar çarkta daha büyük bir alana sahip olacaklardır. Bu durumda populasyondaki bu bireylerin (çözümlerin) seçilme olasılığı daha yüksek olacaktır. Şekil 5'te seçilme olasılığı en yüksek olan birey, tekerlekte %16'lık dilime sahip olan 1 nolu bireydir.



Şekil 5. Bireylerin Uygunluk Değerine ve Seçilme İhtimaline Göre Rulet Tekerleğine Yerleşimi

Çaprazlama, seçim operatörleri ile geçici popülasyona gönderilen bireyler burada çaprazlama işlemine tabi tutulurlar. Tek noktadan, çift noktadan, çok noktadan ve uniform olmak üzere işlev gören seçim operatörleri vardır. Bu çalışmada tek noktadan çaprazlama yöntemi kullanılmıştır. Bu tip çaprazlama işleminde ikiye bölünmüş olarak eşleştirilen bireylerin çaprazlanması için rasgele olarak bireyin genleri üzerinde bir nokta seçilir. Bu nokta bireyin genleri arasında rasgele bir noktadır. Kromozomlar belirlenen bu noktadan ikiye ayrılır. Başlangıç kısımları aynı kalır, ikinci kısımları yer değiştirir. 11. noktadan çaprazlamaya uğramış iki birey çizelge-5'te verilmiştir.

Bazı popülasyon bireylerinin çaprazlama işlemine uğramadan bir sonraki popülasyona geçmesi isteniyorsa bu durumda çaprazlama oranı belirlenir. Daha sonra popülasyondaki 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. Literatürde, gen takası (cross-over) olasılığı 0.5-1.0 aralığında tavsiye edilmektedir. Bu çalışma için, denemeler sonucu 0.7'nin en uygun oran olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5. Tek noktadan çaprazlama yöntemi

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	1	0	1	0	0	0	1	0	1
Çocuk II	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0

Mutasyon, arama uzayını genişletmek ve çeşitliliğini artırmak için, rasgele bir şekilde bireylerin genlerinde küçük değişiklikler yapmak için kullanılır. Çizelge-6'da mutasyona uğramış bir birey gösterilmiştir. Mutasyon işlemi çaprazlama işleminden sonra gerçekleşir. Değiştirme (mutasyon) olasılığı 0.01-0.001 aralığında birkaç farklı değer için denenmiş ve en uygun

olasılığın 0.001 olduğu görülmüştür. Daha büyük bir olasılıkta, iyi uygunluk değerine sahip bireylerin kötü duruma gelmesi hali görülmektedir. (15) nolu eşitlikte mutasyon oranı için tavsiye niteliğinde bir bağıntı verilmiştir[16].

$$1 / \text{Populasyon büyüklüğü} < P_{\text{mutasyon Oranı}} < 1 / \text{Kromozom Uzunluğu} \quad (15)$$

Çizelge 6. Mutasyon İşlemi

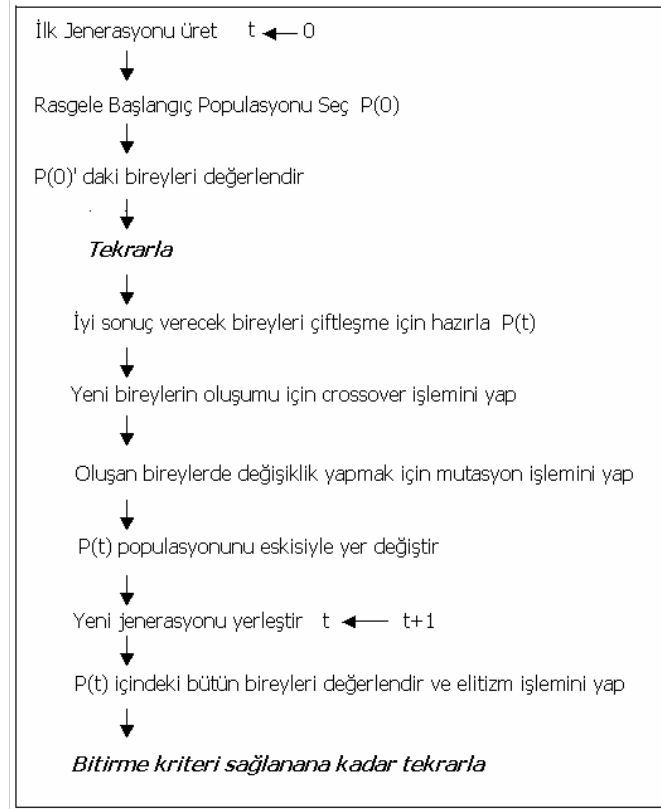
Mutasyon Öncesi	0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0
Mutasyon Sonrası	0 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0

Bu çalışmada kullanılan genetik algoritma parametreleri özet olarak çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 7. Genetik algoritma parametreleri

Genetik Algoritma Parametreleri	
Populasyondaki her bireyin toplam bit uzunluğu	19
Populasyon büyüklüğü	15
Jenerasyon sayısı	100
Çaprazlama oranı	0.7
Mutasyon Oranı	0.001

Çalışmadaki problemin çözümü için geliştirilen programın pseudocode'ları Şekil 6'da verilmiştir.



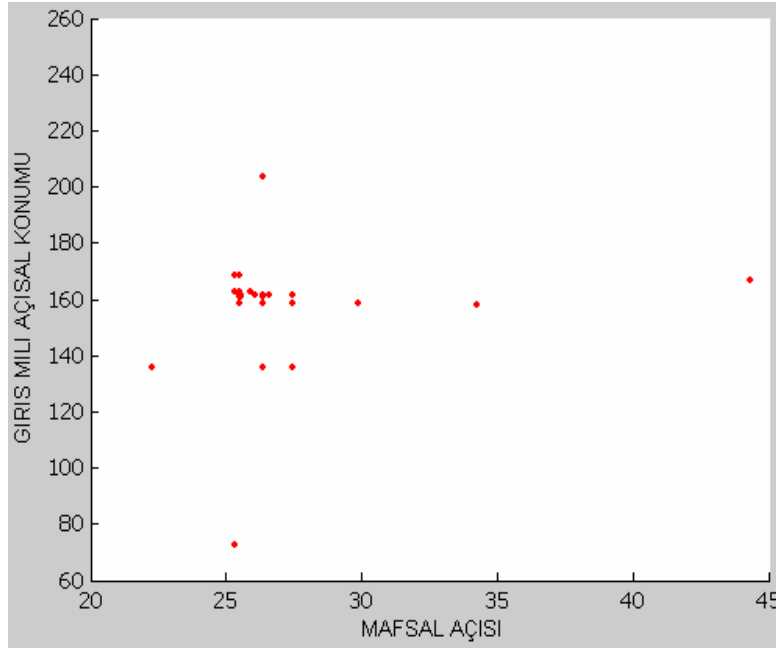
Şekil 6. Geliştirilen programın pseudocode'ları

5. SONUÇLAR

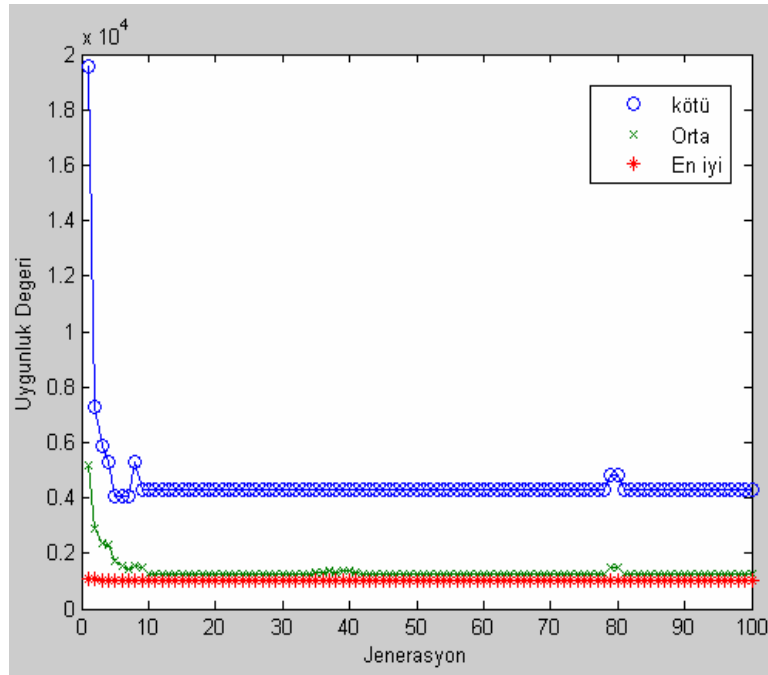
Şekil 7'de tasarım değişkenlerinin, algoritmanın çalışması süresince aldığı değerler görülmektedir. Burada görünen noktaların sıklaştığı bölge değişkenlerin o bölgede minimuma doğru gittiğini gösterir. Mafsal kırılma açısının 25° ve giriş mili açıl konumunun 170° etrafında dolandığı ve bu noktayı yakaladığı görülmektedir. Şekil 8'de GA ile minimizasyonu yapılmış kardan mili çapının, uygunluk değerleri – jenerasyon eğrisi verilmiştir. Şekil 8 de görüldüğü gibi GA minimum sonuca 11. jenerasyonda ulaşmıştır. GA ile bulunan sonuçlar, geleneksel ve sayısal optimizasyon yöntemlerinden olan kafes arama (lattice search) sonuçları ile karşılaştırılmış ve Çizelge 8'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar, GA'nın geleneksel optimizasyon yöntemine göre daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermektedir. Sonuçlar, her iki metod için geliştirilen programlarla elde edilmiştir.

Çizelge 8. Kardan mili tasarım değişkenleri ve optimizasyon sonuçları

Kardan Mili Çapı	Optimizasyon Yöntemi	
	Sayısal Optimizasyon (Kafes Arama)	Genetik Algoritma
Tasarım Değişkenleri		
Giriş mili açıl konumu (ω_t)	26°	25.3°
Mafsal kırılma açısı (α)	190°	170°
Amaç fonksiyonu değerleri		
Minimum mil çapı	20.840 mm	20.006 mm



Şekil 7. Tasarım değişkenlerinin aldığı değerler



Şekil 8. Uygunluk değeri ve jenerasyon eğrisi

6. YORUM ve ÖNERİLER

Genetik algoritma ile elde edilen sonuçların, kafes arama metodunun elde ettiği sonuçtan daha iyi olduğu görülmüştür. Bu çalışma göstermiştir ki; GA, çözümü istenen amaç fonksiyonunun uygun seçilmesi, sınırların iyi belirlenmesi, kısıt fonksiyonlarının iyi belirlenmesi ile mühendislikteki optimizasyon problemlerine başarılı çözümler getirebilir ve tasarım optimizasyonunda kullanılabilir.

Bu çalışma, içi boş kardan milleri için, yeni kısıtlar eklenerek geliştirilebilir. Yapılan optimizasyonun amaç fonksiyonu değiştirilip, milin farklı parametreleri üzerinde genetik algoritma uygulanabilir.

7. KAYNAKÇA

- [1] GOLDBERG, D.E., "The Design of Innovation: Lessons from Genetic Algorithms, Lessons for the real world", University of Illinois at Urbana-Champaign, *IlligAL Report*: 98004, Urbana, IL,1998.
- [2] DIETER, G.E., "A Materials and Processing Approach", 2nd Edition, University of Maryland (1991)
- [3] GOLDBERG, D. E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, Reading, 1989.
- [4] SARUHAN H., UYGUR İ., "Design Optimization of Mechanical System Using Genetic Algorithms",*Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*,: 7.Cilt, 2.Sayı (2002)
- [5] SARUHAN H., " Genetic Algorithms: An Optimization Technique",*Technology*,: Volume 7, Issue 1, 105-114 (2004)
- [6] TS 11771, "Kara Yolu Taşıtları – Kardan Milleri", TSE (1995).
- [7] UÇAR, M., "Kardan Kaplinlerinde Hasara Etki Eden Faktörler Ve Alınması Gereken Tedbirler", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt-5, 1033-1039,(1999)

- [8] 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)
- [9] WILSON, C.E., SADLER J. P., "Kinematics and Dynamics of Machinery", ISBN 0-06-044474-6, Newyork, (1991)
- [10] ESNAULT,F., AGATÌ,P., "Construction Mécanique", ISBN 1-10-004703-5, Dunod, Paris,(1999)
- [11] AKKURT, M., "Makine Elemanları Cilt I-II", Birsen Yayınevi, İstanbul, 243, (2000)
- [12] LIN, C.Y. AND HAJELA, P., "Genetic Algorithms in Optimization Problems with Discrete and Integer Design Variables, *Engineering Optimization*", 19, 309-327, 1992
- [13] GOLDBERG, D.E., "Optimal Initial Population Size for Binary Coded Genetic Algorithms", The Clearinghouse for Genetic Algorithms, University of Alabama, *TCGA Rept. 85001*, Tuscaloosa, 1985
- [14] HE,Y, GUO, D., CHU, F. "Using Genetic Algorithms and Finite Element Methods to Detect Shaft Crack for Rotor-Bearing System", Department of Precision Instruments, Tsinghua University,Beijing 100084
- [15] MITCHELL, M., An Introduction to Genetic Algorithms, *The MIT Press*, Massachusetts, 1997
- [16] BÄCK, T., "Optimal Rates Mutataion Rates in Genetic Search", *Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann, Los Angeles, 2-8, 1993