



Genetik Algoritmaya Bindirmeli Tip Kaynaklı Bağlantılarda Optimum Kaynak Kalınlığı Seçimi

The Selection of Optimum Weld Thickness in Overlapped Types Of Welded Joints Using Genetic Algorithms

Tamer BAŞKAL¹, Aşır ÖZBEK²

¹Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale Meslek Yüksek Okulu, 71450 KIRIKKALE

²Kırıkkale Üniversitesi Kırıkkale Meslek Yüksek Okulu, 71450 KIRIKKALE

Başvuru/Received: 29/03/2016

Kabul/Accepted: 16/05/2016

Son Versiyon/Final Version: 15/06/2016

Öz

Bu çalışmada, genetik algoritma yoluyla bindirmeli tip kaynaklı bağlantıların, normal kesme ve momentli kesme gerilimleri için en uygun kaynak kalınlığı seçimi yapılmıştır. Belirlenen sınır aralıklarındaki değişkenlerin amaç fonksiyonunu minimum yapmak hedeflenmiştir. Kaynaklı bağlantının yükleme şekline göre, mukavemet hesapları dâhilinde en uygun değerler elde edilmiştir. Makine elemanları mukavemet hesapları bu tür algoritmalar kullanılarak boyutlandırma optimizasyonuna gidilmektedir. Bu şekilde geliştirilmiş olan algoritma, bir genetik süreç gibi en iyiyi bulma ilkesine dayanmaktadır. Değişkenlerin aldıkları değerler bağlantının boyutlarını sınır aralıklarında olmasını sağlamıştır. Genetik algoritmalar, amaç fonksiyonu değişkenlerini en aza indirmede kullanılmıştır

Anahtar Kelimeler

“Genetik Algoritma, Kaynak Kalınlığı, Bindirmeli Kaynak.”

Abstract

In this study, using genetic algorithm the selection of optimum welded joints for normal cutting and momentum shear strength was used. In order to find the minimization of the objective functions with respect to variables in a specified range, the optimization within the strength calculations of the overlapped types of welded joints for normal cutting and momentum shear strength was obtained. The algorithm developed in this way, as it is based on finding the best principle of obtaining the values with respect to variables in a specified range, would optimize the thickness of the overlapped types of welded joints.

Key Words

Genetic algorithm, thickness of the welded joint, overlapped types of welded joints

1.GİRİŞ

Mühendislik problemlerinin çözümünde birçok sayısal çözümleme teknikleri kullanılmaktadır. Bu çözüm tekniklerinde, fonksiyona bir değer atayarak çözüm süreci başlatılır ve duruma göre değerler değiştirilerek en iyiye doğru gidilir. Ancak çözüm uzayının büyüklüğü nedeniyle karmaşık problemlerin bu metotlar kullanılarak çözülmesi oldukça fazla zaman gerektirmektedir (Mendi vd., 2008). Kaynaklı bağlantı mukavemet hesaplarında, kaynak tipine bağlı olarak kaynağın maruz kaldığı yükleme tipi sonucunda, çekme, basma, kesme ve momentli kesme (burulma) gerilimleri bulunmaktadır (Akkurt, 2000). Böylece kaynak kalınlığı ve kaynaklama boyunun yeterli olduğu kanaatine varılmaktadır. Bu tür hesaplamalar için, bilgisayar yardımıyla çeşitli algoritma ve programların kullanılması günümüz teknolojisi ve rekabet koşullarında gereklilik olmaktadır. Bu çalışmada, kaynaklı bağlantıların hesaplanmasında, son zamanlarda çok sık başvurulan optimizasyon tekniği olan genetik algoritma (GA)

kullanılmıştır. Mukavemet şartlarını yerine getiren bir makine elemanın boyutunu bulmak, elemanın emniyetli sınırlar içerisinde olduğuna bakılarak karar verilmektedir. Bununla birlikte emniyetli çalışma koşulları birden fazla olduğunda tümü birlikte değerlendirilerek sonuca ulaşılmaktadır. Bu amaçla GA kısıtların çok olduğu tasarım problemlerine uygun çözümler üretmektedir. GA'lar biyolojik sistemlerin gelişim sürecini simüle eden bir stokastik arama yöntemidir (Goldberg, 1989). GA'ların diğer yöntemlerden farklı olan bir özelliği de arama işleminin, noktaların oluşturduğu bir başlangıç yığını içersinden gerçekleştirmesidir (Chambers, 1998). GA'lar en iyiyi seçerek sürekli iyileşen çözümler üretir. Bu çözümleri seçim, çaprazlama ve değişim gibi operatörleri kullanarak üretirken iyinin ne olduğunu belirleyen bir uygunluk fonksiyonu da kullanır. GA'lar bir grup çözümle tarama yaparlar. Bu sayede çok sayıda çözümün içinden iyilerin seçilmesine rağmen kötü çözümlerinde düşük olasılıkla geçişine müsaade edilmektedir. GA'ları diğer algoritmalarından ayıran en temel özelliklerden biri de seçmedir. GA'lar da çözümün uygunluğu onun seçilme şansını artırır ancak bunu garanti etmez (Zeyveli, 2007).

GA birçok farklı alanda başarı ile uygulanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Bonori vd. (2008) titreşim ve gürültü azaltma yönünde düz dişli çiftleri optimize etmek amacıyla; Mendi vd. (2010) düz dişlide modül, shaft çapı ve rulman optimizasyonunda; Dhafer vd. (2012) dişli modifiyesinde; Mendi vd. (2012) konik dişli için optimum modül, mil çapı ve rulmanın seçiminde; Başkal vd. (2013) perçin optimizasyonunda; Başkal (2014) vida sistemi elemanlarının optimizasyonunda; Zacharia vd. (2015) robot kolu yapım sürecini planlamada GA kullanmıştır. Literatürde özellikle dişli çarkları ve kutusu tasarımı optimizasyonunda GA ile yapılmış çok farklı çalışmalar mevcuttur (Pomrehn ve Papalamb, 1995; Ognjanovic, 1996; Chen, 1998; Deb ve Goyal, 1998; Duan vd., 1998; Yokota vd., 1998; Fan vd., 1999; Myint, 1999; Flodin, 2000; Marcelin, 2001; Dolen vd., 2005). GA, ayrıca dişli pompaların tasarımında (Ping vd., 1997); mekanik-dinamik optimizasyon problemlerinin tasarımında (Qiang ve Ji, 1999); kaymalı yataklarda yağlayıcı film tabakasının optimize edilmesinde (Saruhan ve Uygur, 2003); yuvarlanmalı yatakların optimizasyonunda (Kumar vd., 2003; Rao ve Tiwari, 2007) kullanılmıştır.

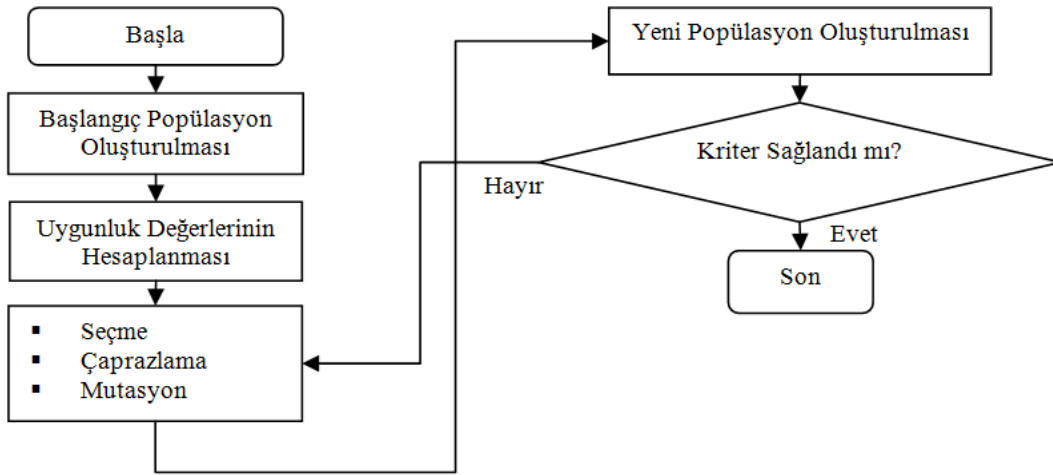
Mundo ve Yan (2007), dişli mekanizmasında, çıkış hareketlerinin kontrolü üzerine yapılmış bir iletim mekanizmasının kinematik optimizasyonunu; Aberšek ve Popov (2004), dişli ve dişli montajlarının optimizasyonu, boyutlandırması ve üretimlerine yönelik olarak bir çalışmayı GA ile yapmıştır. Samanta (2004), dişli çarklarda meydana gelen hataların belirlenmesi için GA ve yapay sinir ağlarını birlikte kullanmıştır. Myint ve Tabucanon (1998), müşteri ihtiyaçları temeline dayalı alternatif ürünlerin oluşturulması için GA temeline dayalı bir uzman sistem geliştirmiştir. Su vd. (2000), geliştirdikleri zeki karma sistem yaklaşımı ile tasarım sürecindeki birçok aşama ve üretimi birleştirmiştir.

Bu çalışmanın ikinci bölümünde kullanılan yöntem tanıtılmış, üçüncü bölümde çözülmesi gereken problem detaylı olarak ifade edilmiş ve dördüncü bölümde ise çözülen problemin sonuçları verilmiştir. Sonuç bölümünde konu tartışılmış ve sonuçlar verilmiştir.

2. YÖNTEM

Bir makine elemanın üzerine gelen kuvvetleri taşıyabilmesi üretildiği malzemenin emniyetli çalışma koşullarındaki verilerine uygun olarak yapılmasına bağlıdır. Bu anlamda en uygun boyuttaki makine elemanı, sistemin çalıştığı alanda en az yer kaplaması anlamına gelmektedir. Böylece hantal tasarımların oluşması engellenmektedir. GA bu tip tasarım boyutunu belirlemede bir benzetim tekniği olarak kullanılmıştır. Elemanın bir boyutu bir kromozom başka bir boyutu ise farklı bir kromozom olarak ifade edilerek çözüme gidilmiştir.

GA, popülasyon içerisindeki en iyi adayların özelliklerinin korunması, nitelikleri daha zayıf olan adayların atılması fikrine dayanmaktadır. GA, genetik operasyonlar ile benzer genlerin transfer edilmesi yoluyla yeni nesillerin çoğaltılması sürecidir. Her adayın fonksiyondaki değerlendirme uygunluğundan geçirilerek yeni nesillere aktarılması veya çıkarılması amaçlanmaktadır (Tuomaala, 2002; Bircan, 2000). GA'nın işlem adımları Şekil 1'de akış şeması formatında gösterilmiştir.



Şekil 1. Genetik Algoritma Akış Diyagramı.

2.1. Genetik Algoritmanın Seçme, Çaprazlama ve Mutasyon Operatörleri

GA'da seçme prosedürü, popülasyonun tüm adaylarının fonksiyon değeri hesaplanarak minimum iki adayın belirlenmesi ve diğer adaya çaprazlama ve mutasyon uygulanmasıdır. Böylece, eski popülasyonun en kötü adaylarının yerini alacak yeni popülasyon oluşturulmaktadır. Bu sayede kötü adaylar elimine edilerek en iyi adayların hayatta kalmasına olanak sağlanmaktadır. Çaprazlama yapılmasıyla yeni adayların popülasyona katılımı sağlanarak en uyguna gitme süreci başlatılır. Ayrıca çaprazlama sayesinde her adayın birbirleriyle genlerinin değiştirilmesiyle genetik bilgi çeşitliliği sağlanmaktadır.

Bir çaprazlama çeşidi olan çok noktalı çaprazlama işleminin yapılışı, ikili sayı formatında örnek iki aday üzerinde Tablo 1'de gösterilmiştir (Saruhan ve Uygur, 2003).

Tablo 1. Çaprazlama

Çaprazlanan Bireyler	
Birey 1	0101001 1001101001 101001101
Birey 2	1011001 1001110011 101001100
Çaprazlama Sonrası Yeni Bireyler	
Yeni birey 1	0101001 1001110011 101001101
Yeni birey 2	1011001 1001101001 101001100

GA'nın mutasyon operatörü, bir adayın kromozomlarının rastgele bir bölümünden bir geninin değiştirilmesi işlemidir. Yani değiştirilecek yerdeki geni, 0 ise 1 veya 1 ise 0 yapmaktır. Bu işlemin amacı popülasyondaki adayların içerisinde yeni özellikli adayların ortaya çıkartılmasını sağlamaktır. Mutasyon işlemi için, Tablo 2'de bir örneklendirme yapılmıştır (Saruhan ve Uygur, 2003).

Tablo 2. Mutasyon

Bireyin önceki kromozom yapısı	0101 00 1001101001101001101
Bireyin sonraki kromozom yapısı	0101 10 1001101001101001101

GA'da değişken aralıklarında ve kısıtlar dâhilinde ortaya çıkan kromozomların özelliklere aynı oluncaya kadar jenerasyona devam edilmekte ve bu özelliklerin değişmediği anlaşıldığında algoritma sonlandırılmaktadır.

3. PROBLEM

GA, bir çok farklı alanların dışında; arama uzayının geniş olduğu ve bir noktadan başlayarak çözüme gitmenin imkan olmadığı mühendislik hesaplamalarında da kullanılmaktadır. Bu problemin çözümünde de yükleme miktarına uygun kısıtlar dâhilinde boyutun bulunması için kullanılmıştır. Bindirmeli tip kaynaklı bağlantılarda kaynak kalınlığı, kaynaklama boyu elemana gelen kesme ve momentli kesme (burulma) gerilmelerinin bileşkesi hesaplanarak elde edilmektedir. Bu çalışmada kaynaklı bağlantıların mukavemet şartları düşünülerek kaynak kalınlığı seçimi ve kaynak dikiş uzunluğu GA yardımıyla, kaynak dikiş

alanı amaç fonksiyonu ile bulunmuştur. Bu prosedürün yapılmasında minimum kaynak dikiş alanı için algoritmada kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (Akkurt, 2000; Halowenken,1993).

Amaç fonksiyonu minimizasyonu $F_{min}(t_b, L)$, t_b kaynak kalınlığını, L ise kaynak uzunluğunu ifade etmektedir.

$$F_{amaç} = F_{min}(t_b, L) = (t_b \cos\left(\frac{45\pi}{180}\right)) \cdot L \quad (1)$$

$$t_b, \text{ kaynak kalınlığı} \quad : 1 \leq t_b \leq 20 \quad (2)$$

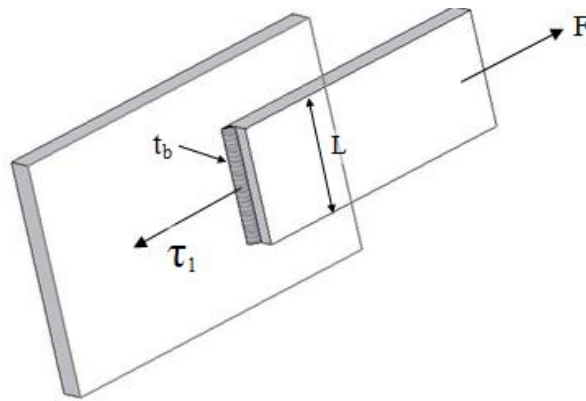
$$L, \text{ kaynaklı levha genişliği} \quad : 10 \leq L \leq 200 \quad (3)$$

Kaynaklı bağlantılar, levhaların bir araya getirilerek oluşturulduğu ve yük taşınması gereken yerlerde kullanılan tasarımlardır. Bu amaçla levhaların üst üste konularak kaynakla birleştirilmesine bindirmeli tip kaynak adı verilmektedir. Bindirmeli tip kaynaklarda yüklemeye, kaynağın dönmesine ya da yüzeysel kaymasına neden olabilmektedir.

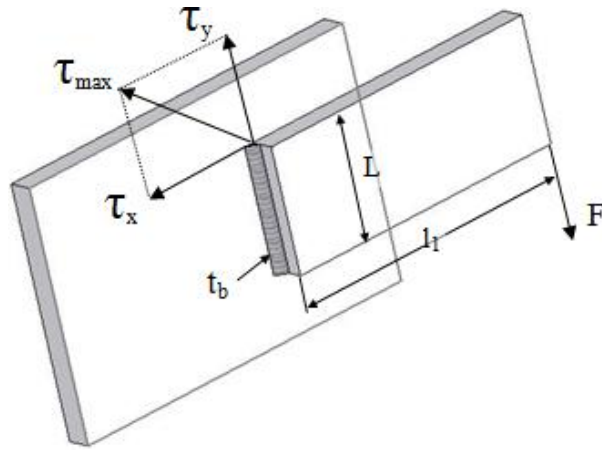
Tablo 3. Kaynaklı Bağlantı Kaynak Kalınlığı Seçimi Parametreleri

Parametre adı	Sembol	Birim	Değer
Uygulanan kuvvet	F	Newton	10.000
Levha malzemesi kopma gerilimi (C 60)	σ_k	N/mm ²	700
Levha malzemesi akma gerilimi (C 60)	σ_{akma}	N/mm ²	520
Kaynak güvenilirlik katsayısı	k	-	0,8
Çalışma emniyet katsayısı	S	-	2
Kuvvetin kaynaktan uzaklığı	l_1	mm	200
Kaynak kalınlığı	t_b	mm	Arama uzayında değişken olarak tanımlı
Kaynaklı bağlantı levha genişliği	L	mm	
Normal kesme gerilmesi	τ_1	N/mm ²	
Momentli kesme gerilmesi	$\tau_{max} (\tau_x, \tau_y)$	N/mm ²	

Kaynak kalınlığı seçimi yapılan bağlantının üç boyutlu görünüşü Şekil 2 ve Şekil 3’de görülmektedir. Normal yüklemeye Şekil 2, momentli yüklemeye tipini ise Şekil 3 ifade etmektedir.



Şekil 2. Bindirmeli Kaynaklı Bağlantı, Normal Yüklemeye Tipi



Şekil 3. Bindirmeli Kaynaklı Bağlantı, Momentli Yükleme Tipi

3.2. Tasarım Kısıtları

Bindirmeli kaynaklı bağlantıda, sisteme gelen yükü taşıyabilecek kaynak kalınlığı ve uzunluğunun hesaplanması öncelikli hedefdir. Bu amaçla kaynaklı bağlantının, kesme ve burulma gerilmelerine karşı dayanabilmesi için aşağıdaki kısıt fonksiyonları kullanılmıştır. Burada, emniyetli malzeme gerilimi (τ_{emn}), g_1 ve g_3 normal kesme gerilimi, g_2 ve g_3 momentli gerilim için kullanılmıştır (Halowenken, 1993).

$$g_1 = \tau_1 - \tau_{emn} \leq 0 \quad (4)$$

$$\tau_1 = \frac{F}{t_b L} \quad (5)$$

$$g_2 = (\tau_x^2 + \tau_y^2)^{1/2} - \tau_{emn} \leq 0 \quad (6)$$

$$\tau_x = \frac{F l_1}{\frac{t_b L^3}{12} + \frac{L t_b^3}{12}} \quad (7)$$

$$\tau_y = \frac{F}{t_b L} \quad (8)$$

$$g_3 = 10 t_b - L \leq 0 \quad (9)$$

GA çözüm uzayında en uygun adayı ararken g_1 , g_2 ve g_3 fonksiyonlarını kısıtlayıcı bölge olarak kullanmaktadır. Bu tip bir kısıtlayıcı, alan çözüm uzayı içerisinde fonksiyona, mukavemet kontrolüne bağlı algılanmasına ve GA'nın farklı arama bölgesine yönelmesine engel olmaktadır. Kullanılan popülasyon içerisindeki uygun adayın bulunması için amaç fonksiyonunun minimuma göre kısıt fonksiyonu aşağıda ki bağıntı ile kullanılmaktadır. Burada F , uygunluk fonksiyonunu negatiften uzaklaştırmak için $F_{amaç}(t_b, L) + P$ fonksiyonundan yeterince büyük seçilmiştir. P ceza fonksiyonunu, g her bir kısıt fonksiyonunu, r ise kısıtlar için kullanılan katsayıyı, N_{con} ise iterasyon sayısını ifade etmektedir (Saruhan ve Uygur, 2003).

$$F_{uygunluk} = F - (F_{amaç}(t_b, L) + P) \quad (10)$$

$$P = \sum_{j=1}^{N_{con}} r_j (\max[0, g_j])^2 \quad (11)$$

3.3. Genetik Algoritmanın Parametreleri ve Kaynak Kalınlığı Değişkenleri

Bir fonksiyondaki değişkenlerin alabilecekleri değerleri ve kromozomları kullanılan algoritma yazılımına göre 2'lik (0,1) sayı tabanında kodlanmıştır. Bu kodlama sayesinde GA operatörleri kullanılabilir. Bu kodlamanın yapılması için Eşitlik (12) ve (13)'de verilen bağıntı kullanılmaktadır. Burada l her değişken için kullanılan bit uzunluğunu, $x_{i,alt}$ limit değişkenin alt sınırı,

$x(i)_{üst\ limit}$ değişkenin üst sınırını, ε değişken arama değerini ifade etmektedir (boyutlandırma hassasiyetini yükseltmek için $\varepsilon=0,01$ alınmıştır.) (Saruhan ve Uygur, 2003).

$$2^l \geq \frac{x(i)_{üst\ limit} - x(i)_{alt\ limit}}{\varepsilon} + 1 \quad (12)$$

Bit uzunluğu hesaplandıktan sonra ikilik sayı tabanındaki bitler yan yana getirilerek değişken sayısı kadar kromozom uzunluğu oluşturulur. Bu kromozom boyutu ile genetik operatörler kullanılabilir. GA işlemleri sonrası kodların çözülmesi içinde Eşitlik (13) kullanılmaktadır. Burada $d(i)$ dizinin 10'luk tabandaki değerini göstermektedir (Goldberg, 1989).

$$x(i) = x(i)_{alt\ limit} + \frac{x(i)_{üst\ limit} - x(i)_{alt\ limit}}{2^l - 1} d(i) \quad (13)$$

Aşağıdaki Tablo 4'de Eşitlik (12) kullanılarak kaynak alanı seçiminde kullanılan değişkenlerin bit uzunlukları gösterilmiştir. Bu tabloda görüleceği gibi, kaynak kalınlığı için 11 bit, levha genişliği için 15 bit kullanılarak, bu bitlerin yan yana sıralanması sonucu 26 genli kromozom uzunluğu oluşturulmuştur.

Tablo 4. Kaynak Dikiş Alanı Değişkenleri

Kaynak Dikiş Alanı Değişkenleri	
Kaynak kalınlığı (t_b) $1 \leq t_b \leq 20$	Levha genişliği (L) $10 \leq L \leq 200$
01010010011	010011010011011
01010010011+010011010011011	
0101001001101001101001101	

Popülasyon sayısı, Goldberg tarafından aşağıdaki bağıntı ile bulunması tavsiye edilmektedir (Goldberg, 1987). Burada, l kromozom uzunluğunu ifade etmektedir ($l=26$).

$$Popülasyon\ Sayısı = 1.65 * 2^{0.21 * l} \quad (14)$$

Bu bağıntıya göre (14), kaynak alanı optimizasyonunda, popülasyondaki aday sayısı 73 olarak hesaplanmaktadır. Aşağıdaki tavsiye edilen bağıntı gereğince de P mutasyon oranı 0,02 olarak bulunmaktadır (Goldberg, 1987). Ancak mutasyon oranı ortalama eğrinin optimizasyon değişimlerini engellemek için algoritmada 0,0001, çaprazlama olasılığı ise bir çok çalışmada olduğu gibi 0,7 kullanılmıştır.

$$1/popülasyon\ sayısı < P_{mutasyon\ oranı} < 1/kromozom \quad (15)$$

Bu çalışmada GA için seçilmiş parametreler aşağıdaki Tablo 5'de gösterilmiştir.

Tablo 5. Genetik Algoritma Parametreleri

Genetik Algoritma Parametreleri	
Kromozom uzunluğu	26
Popülasyon sayısı	73
Jenerasyon sayısı	200
Çaprazlama olasılığı	0,7
Mutasyon oranı	0,0001

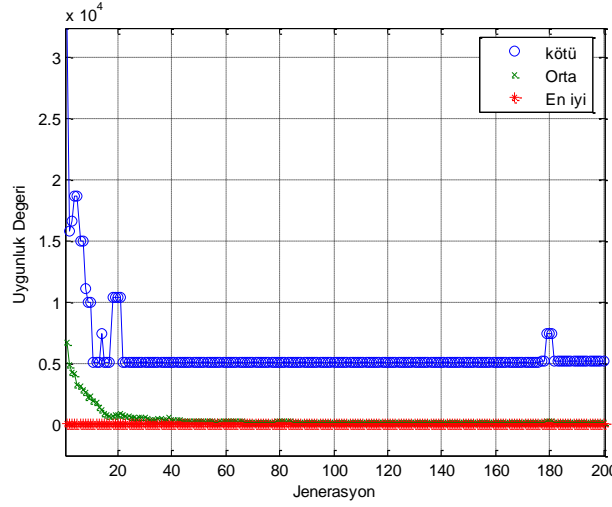
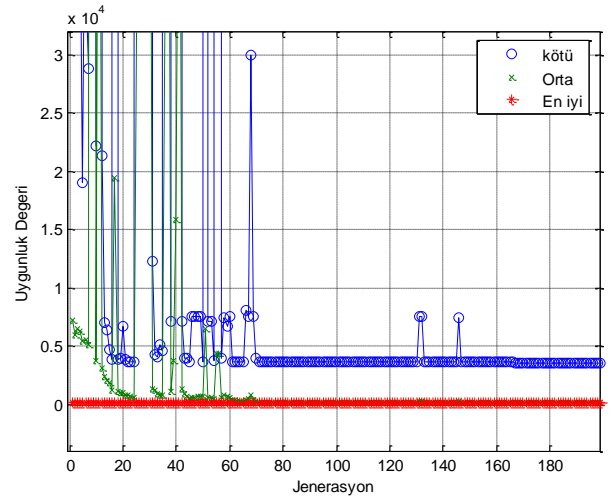
4. GENETİK ALGORİTMA SONUÇLARI

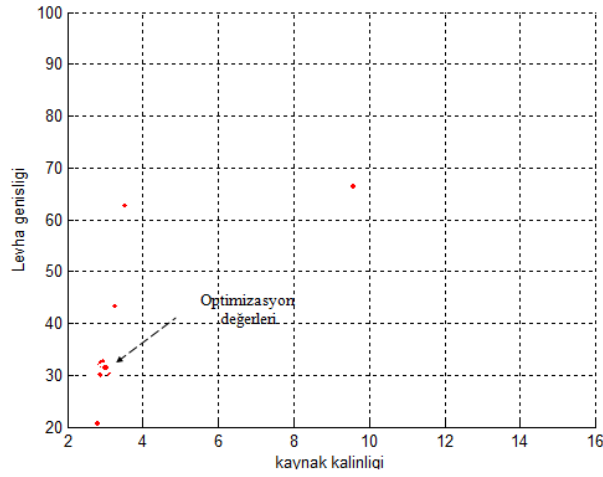
GA, popülasyondaki tüm kromozomların birbirine yakın sonuçlar vermeye başlaması ile sonlandırılmıştır. Bu parametrelerle GA kullanıldığında Tablo 6'daki sonuçlar elde edilmiştir.

Tablo 6. Kaynaklı Bağlantı Alanı ve Değişken Sonuçları

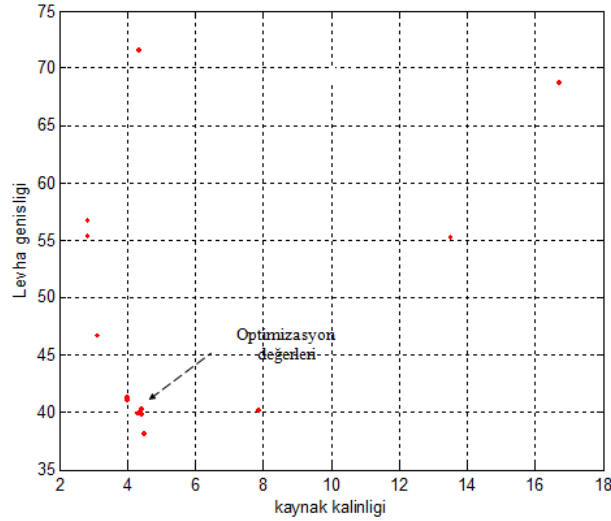
Genetik Algoritma Sonuçları		
Fonksiyon değişkenleri	Normal kesme gerilimi	Momentli kesme gerilimi
Kaynak kalınlığı, t_b (mm)	3,1230	4,0520
Levha genişliği, L (mm)	31,1070	40,9850
Amaç Fonksiyonu		
Kaynak dikiş alanı(mm ²)	68,6934	117,4301

Amaç fonksiyonu en uygunu yaklaştığında oluşan GA fonksiyon grafiği Şekil 4 ve Şekil 5’de gösterilmektedir. Grafiklerin yatay eksenini, genetik operatörler sonucu elde edilen nesil miktarını, dikey eksenler ise uygunluk fonksiyon değerlerini oluşturan amaç fonksiyonunu ifade etmektedir. Bu grafiklerde arama uzayında elde edilen en iyi, ortalama ve en kötü eğrileri görülmektedir. Ortalama eğrisinin 50. ve 70. jenerasyondan sonra minimizasyonun sağlandığı görülmektedir. Optimizasyonda kullanılan değişkenlerin aldıkları değerler, kesme mukavemeti için Şekil 6’da, momentli kesme gerilimi için ise Şekil 7’de ifade edilmiştir. Şekil 6 ve Şekil 7’de kaynak kalınlığı ve levha genişliği değerlerinde, noktaların birbirine yaklaştığı yerler değişkenlerin minimumda bulunduğu koordinatları (optimizasyon değerleri) ifade etmektedir.

**Şekil 4.** Amaç Fonksiyonu Grafiği (Normal Kesme Gerilimi İçin)**Şekil 5.** Amaç Fonksiyonu Grafiği (Momentli Kesme Gerilimi İçin)



Şekil 6. Normal Kesme Gerilimi İçin Değişkenlerin Aldıkları Değerler



Şekil 7. Momentli Kesme Gerilimi İçin Değişkenlerin Aldıkları Değerler

5. SONUÇ

GA ile çözümlene tekniği, kaynaklı bağlantıyı etkileyen yükün minimum kaynaklama boyu ve kaynak kalınlığını elde etmek için kullanılmıştır. Böylece elde edilen sonuçlar Tablo 6'da, optimizasyon grafiği ise Şekil 4 ve Şekil 5'de gösterilmiştir. Bu sonuçlar, kaynaklı bağlantının verilen tasarım parametreleri için yükleme miktarına uygun kaynak kalınlığı ve kaynaklama boyunu ifade etmektedir. Tasarım parametre şartlarına göre 1 ile 20 mm arasındaki kaynak kalınlık aralığı, kesme gerilimi için 4,052 mm ve momentli kesme gerilimi için ise 3,123 mm bulunmuştur. Kaynaklama boyu, 10 ile 200 mm arasından kesme gerilimi için 31,107 mm ve momentli kesme gerilimi için ise 40,985 mm olduğu genetik süreçle elde edilmiştir. GA ile değişkenlerin alabilecekleri değerler sürekli saklanmaktadır. Bu sayede en uyguna yaklaşan sonuçlar kaynak alanını minimum yapmaktadır. Ayrıca sonuçlar çok kısa zamanda elde edildiğinden; GA'nın, fonksiyon optimizasyonu ve makine elemanlarının mukavemet hesaplamaları için pratik ve etkili çözümlene tekniği olduğu anlaşılmaktadır. Diğer makine elemanlarının tasarımında da bu yöntemin etkili bir şekilde kullanılabilceğinin mümkün olduğu görülmektedir.

REFERANSLAR

- Mendi, F., Külekçi, M.K., Başkal, T., & Bircan, D.A., "Genetik Algoritma (G.A.) Yardımıyla Helis Dişli Çarklarda Optimum Modül Seçimi", Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 23(1), 205-216, 2008.
- Akkurt, M., Makine Elemanları Cilt 1-2, Birsan yayınevi, İstanbul, 2000.

- Goldberg, D., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison Wesley, New York, 1989.
- Chambers, L. D. (Ed.), *Practical handbook of genetic algorithms: complex coding systems 3*, CRC press., 1998.
- Zeyveli, M., "Genetik Algoritmalar ve Mekanik Tasarım Problemleri Uygulamaları", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2, 1-13. 2007.
- Bonori, G., Barbieri, M., & Pellicano, F., "Optimum profile modifications of spur gears by means of genetic algorithms", *Journal of Sound and Vibration*, 313, 603–616, 2008.
- Mendi, F., Başkal, T., Boran, K., & Boran, F. E., "Optimization of module, shaft diameter and rolling bearing for spur gear through genetic algorithm", *Expert Systems with Applications*. 37(12), 8058-8064, 2010.
- Dhafer, G., Jérôme, B., Philippe, V., Michel, O., & Haddar, M., Robust optimization of gear tooth modifications using a genetic algorithm. In *Condition Monitoring of Machinery in Non-Stationary Operations*. Springer Berlin Heidelberg, 589-597, 2012.
- Mendi, F., Başkal, T., & Külekci, M.K., "Application of Genetic Algorithm (GA) for Optimum Design of Module. Shaft Diameter and Bearing for Bevel Gearbox", *Materials Testing*. 54(6), 431-436, 2012.
- Başkal, T., Nursoy, M., Esmé, U., & Kulekci, M. K., "Application of Genetic Algorithms (GA) for the Optimization of Riveted Joints", *Materials Testing*, 55(9), 701-705, 2013.
- Başkal, T., "Optimization of Screw Elements by Genetic Algorithm", *Materials Testing*, 56(11-12), 1049-1053, 2014.
- Zacharia, P. T., Tsirkas, S. A., Kabouridis, G., & Giannopoulos, G. I., "Planning the construction process of a robotic arm using a genetic algorithm", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 79(5-8), 1293-1302, 2015.
- Pomrehn, L. P., & Papalambros, P. Y., "Discrete Optimal Formulation with Application to Gear Train Design", *ASME J. of Mech. Design*, 117(3), 419-424, 1995.
- Ognjanovic, M., "Decisions in gear train transmission design", *Research in Engineering Design*, 8(3), 178-187, 1996.
- Chen, M., "Expert system of designing cylindrical gear transmission", *Journal of Nanjing University of Science and Technology*, 22(5), 402-406, 1998.
- Deb, K., & Goyal, M., "A flexible optimization procedure for mechanical component design based on genetic adaptive search", *Journal of Mechanical Design Transactions of the ASME*, 120, 162-164, 1998.
- Duan, G., Zha, J., Lin, J., & Weng, Q., "Use of genetic algorithms in designing movements of clocks and watches", *Journal of Software*, 9(7), 515-519, 1998.
- Yokota, T., Taguchi, T. & Gen, M., "A solution method for optimal weight design problem of the gear using genetic algorithms", *Computers and Industrial Engineering*, 35(3-4), 523-526, 1998.
- Fan, X., Ma, D., Yan, J., & Chen, M., "Hierarchical optimization for geometrical dimension tolerances", *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 33(7), 829-832, 1999.
- Myint, S., "Concurrent engineering (CE) in product design: a multicriteria decision-making approach", *Concurrent Engineering Research and Applications*, 7(1), 2-9, 1999.
- Flodin, A., "Wear investigation of spur gear teeth", *TriboTest*, 7 (1), 45-60, 2000.
- Marcelin, J. L., "Genetic optimization of gear", *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 910-915, 2001.
- Dolen, M., Kaplan, H., & Seireg, A., "Discrete parameter-nonlinear constrained optimisation of a gear train using genetic algorithms", *International journal of computer applications in technology*, 24(2), 110-121, 2005.
- Ping, L., Yongtong, H., Yuhong, Y., Danian, Z., & Shiyuan, Y., "Using counter-proposal to optimize genetic algorithm based cooperative negotiation", In *Intelligent Processing Systems, 1997 IEEE International Conference on*, 1, 891-895, 1997.
- Qiang, L., & Ji, Z., "Complex Genetic Algorithm for Mechanical Dynamic Optimization Design", *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35(5), 27-30, 1999.
- Saruhan, H., & Uygur, I., "Design Optimisation of Mechanical Systems Using Genetic Algorithms", *SAÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 7 (2), 2003.
- Kumar, V., Nair, S., Tiwari, R., & Chakraborty, I., "Rolling element bearing design through genetic algorithms", *Engineering Optimization*, 35(6), 649-659, 2003.
- Gupta, S., Tiwari, R., & Nair, S. B., "Multi-objective design optimisation of rolling bearings using genetic algorithms", *Mechanism and Machine Theory*, 42(10), 1418-1443, 2007, doi:10.1016/j.mechmachtheory. 2006.10.002.
- Rao, B. R., & Tiwari, R., "Optimum design of rolling element bearings using genetic algorithms", *Mechanism and Machine*

Theory, 42(2), 233-250, 2007.

Mundo, D., & Yan, H. S., "Kinematic optimization of ball-screw transmission mechanisms", *Mechanism and machine theory*, 42(1), 34-47, 2007.

Aberšek, B., & Popov, V., "Intelligent tutoring system for training in design and manufacturing", *Advances in Engineering Software*, 35(7), 461-471, 2004.

Samanta, B., "Gear fault detection using artificial neural networks and support vector machines with genetic algorithms", *Mechanical Systems and Signal Processing*, 18(3), 625-644, 2004.

Myint, S., & Tabucanon, M. T., "The framework for an expert system to generate alternative products in concurrent engineering design", *Computers in Industry*, 37(2), 125-134, 1998.

Su, D., Wakelam, M., & Jambunathan, K., "Integration of a knowledge-based system, artificial neural networks and multimedia for gear design", *Journal of Materials Processing Technology*, 107(1), 53-59, 2000.

Tuomaala, E., "Independent research projects in applied mathematics Applying a Genetic Algorithm in Cellular", *Radio Network Optimization*, 2002.

Bircan, D.A., *Automated Process Planning System for Rotational Parts*. Ms Thesis, Institute of Natural and Applied Sciences, 2000.

Halowenken, A., *Makine Dizaynı*. McGraw-Hill, 1993.

Heinzler, M., *Tabellenbuch Metal*. Verlag Europa Lehrmittel, Haan-Gruiten, 87-89, 1994.

Goldberg, D. E., "Computer-aided pipeline operation using genetic algorithms and rule learning. Part I: Genetic algorithms in pipeline optimization", *Engineering with Computers*, 3(1), 35-45, 1987.