

**GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK PATLAYICI YARDIMI İLE
FORM VERMEDE PARAMETRE OPTİMİZASYONU**

Orhan GÜLCAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

NİSAN 2010

ANKARA

Orhan GÜLCAN tarafından hazırlanan GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK PATLAYICI YARDIMI İLE FORM VERMEDE PARAMETRE OPTİMİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Bedri TUÇ

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

.....

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Faruk MENDİ

.....

Teknoloji Fakültesi Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 14/04/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Orhan GÜLCAN

GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK PATLAYICI YARDIMI İLE FORM VERMEDE PARAMETRE OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Orhan GÜLCAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nisan 2010

ÖZET

Bu çalışmada, yeni bir optimizasyon metodu olan ve günümüzde bir çok alanda kullanılan Genetik Algoritma (GA) yardımıyla patlayıcı yardımı ile form vermede parametre optimizasyonu yapılmıştır. Geleneksel hesaplama yöntemleriyle yapılan çözümler hem uzun zaman almakta ve hem de kimi zaman rasyonel olmayan sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Bu sebeplerle geleneksel metotlardan farklı yöntemler denenmesi kaçınılmaz bir zorunluluk olarak karşımıza çıkmaktadır. Metallerin patlama ile şekillendirilmesi günümüzde uzay endüstrisinde özellikle çok büyük parçaların şekillendirilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Bu operasyonlarda katı, sıvı ve gaz patlayıcılar kullanılmaktadır. Patlayıcı yardımı ile form verme konusunda Türkiye’de ciddi bir çalışma yapılmamıştır ve bu teknoloji şu an ülkemizde kullanılmamaktadır. Yapılan bu çalışmanın bu konudaki araştırmalara mütevazı bir katkı sağlayacağı umulmaktadır. Bu çalışmada, GA’ların çözümünde MATLAB 7.0 programı kullanılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge ve grafiklere dönüştürülmüştür.

Bilim Kodu : 914.1.012
Anahtar Kelimeler : Genetik algoritma, patlayıcı yardımı ile form verme
Sayfa Adedi : 176
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN

**PARAMETER OPTIMIZATION IN EXPLOSIVE FORMING BY USING
GENETIC ALGORITHM**

(M. Sc. Thesis)

Orhan GÜLCAN

GAZİ UNIVERSITY

INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

April 2010

ABSTRACT

In this study, by using Genetic Algorithm (GA) which is a new optimization method and used in many areas today, parameter optimization in explosive forming is done. Solutions made by traditional computational methods both lasts long time and reveals sometimes not rational results. For this reason, testing methods different than traditional methods appear to be an inevitable necessity. Forming metals with explosion is used frequently today in space industry for especially forming very large parts. In these operations, solid, liquid and gaseous explosives are used. There is no serious study done about explosive forming in Turkey and this technology is not used in our country now. It is hoped that this study provides a modest contribution to investigation about this topic. In this study, MATLAB 7.0 program is used for solving GA's and obtained results are shown with tables and charts.

Science Code	: 914.1.012
Key Words	: Genetic algorithm, explosive forming
Page Number	: 176
Adviser	: Ass. Prof. Dr. Nihat GEMALMAYAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Yrd. Doç. Dr. Nihat GEMALMAYAN'a, genetik algoritma konusunda yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç Dr. Hamit SARUHAN'a ve Sayın Taner YALÇIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

TAI'de Erciyes projesi kapsamında beraber çalışma fırsatı bulduğum değerli çalışma arkadaşlarım Sayın Hakan TAŞKAYA'ya, Sayın Atlıhan ATALAY'a, Sayın Aydemir KÜÇÜK'e, Sayın Görkem TÜRKÖZ'e, Sayın Zuhall GÖKBULUT'a ve Sayın Senem Özge SEYFİ'ye manevi desteklerinden dolayı teşekkür ediyorum.

Uzun ve yorucu bir çalışmanın emeği olan bu tezimi, tek bir satırının yazılmasının dahi kendisinin manevi desteği olmadan başaramayacağım sevgili eşim H.Betül Alkan GÜLCAN'a ithaf ediyorum.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xix
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMANIN AMACI, MATERYAL, YÖNTEM VE LİTERATÜR TARAMASI.....	3
2.1. Amaç.....	3
2.2. Materyal ve Yöntem.....	3
2.3. Literatür Taraması	3
3. DERİN ÇEKME	7
3.1. Derin Çekme Yöntemleri	8
4. PATLAYICI YARDIMI İLE FORM VERME	10
4.1. Giriş	10

Sayfa

4.2. Tarihçe	12
4.3. Patlayıcı Yardımı İle Form Verme İle Metal Plakaların Form Verilmesi.....	14
4.4. Patlayıcı	23
4.5. Patlama	27
4.6. Kalıp Malzemeleri	29
4.7. Maliyet ve Uygulanabilirlik	30
4.8. Enerji Transfer Edilen Ortam	33
4.8.1. Akışkanlardaki ses hızı	36
4.9. Patlayıcı Yardımı İle Form Verme Sonucunda Elde Edilen Toleranslar.....	37
4.10. Patlayıcı Yardımı İle Form Verme ve Diğer Metal Form Verme Teknolojilerinin Karşılaştırılması.....	40
4.11. Patlayıcı Kullanılarak Yapılan Diğer İşlemler	42
4.11.1. Patlayıcı yardımı ile kaynak	43
4.11.2. Patlayıcı yardımı ile sıkıştırma	43
4.11.3. Patlayıcı yardımı ile kesme	43
4.11.4. Patlayıcı yardımı ile sertleştirme	43
4.11.5. Patlayıcı yardımı ile gerilim giderme	44
4.11.6. Patlayıcı yardımı ile temizleme	44
4.11.7. Patlayıcı yardımı ile kaplama	44

Sayfa

4.12. Şok Dalgasının İncelenmesi	46
4.12.1. Rankine-Hugoinot denklemleri	46
4.14.2. Şok dalgasının yayılımı	50
5. OPTİMİZASYON.....	58
5.1. Giriş	58
5.2. Optimizasyonun Mühendislikteki Uygulama Alanları	59
5.3. Bir Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi	61
5.3.1. Tasarım vektörü	62
5.3.2. Tasarım kısıtları ve uygunluk fonksiyonu	62
5.3.3. Amaç fonksiyonu	63
5.4. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması	64
5.4.1. Kısıtlamaların olup olmamasına göre yapılan sınıflandırma	64
5.4.2. Tasarım değişkenlerinin türüne göre yapılan sınıflandırma	64
5.4.3. Problemin fiziksel yapısına göre yapılan sınıflandırma.....	65
5.4.4. Kullanılan denklemlere göre yapılan sınıflandırma	65
5.4.5. Tasarım değişkenlerinin izin verilen değerlerine göre yapılan sınıflandırma.....	66
5.4.6. Değişkenlerin belirleyici özelliklerine göre yapılan sınıflandırma	67
5.4.7. Fonksiyonların ayrılabilirliğine göre yapılan sınıflandırma	67

Sayfa

5.4.8. Amaç fonksiyonunun sayısına göre yapılan sınıflandırma	67
6. GENETİK ALGORİTMA	68
6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı	68
6.2. Genetik Algoritmanın Tarihsel Gelişimi	70
6.3. Biyolojik Altyapı	71
6.3.1. Gen	72
6.3.2. Kromozom (Birey).....	73
6.3.3. Popülasyon	73
6.3.4. Kodlama	74
6.3.5. Ebeveyn	74
6.3.6. Çocuk	74
6.3.7. Uyumluluk	75
6.3.8. Arama Uzayı	75
6.4. Genetik Algoritma Kuramı ve Çalışma Şekli	75
6.5. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	81
6.6. Uygunluk Değerinin Hesaplanması	82
6.7. Genetik Algoritmanın Kodlanması	83
6.7.1. İkili (Binary) kodlama	85

Sayfa

6.7.2. Üçlü kodlama	85
6.7.3. Karışık kodlama	86
6.7.4. Permütasyon (Sıralı) kodlama	86
6.7.5. Değer kodlama	87
6.7.6. Ağaç kodlama	87
6.8. Seçim Operatörü	89
6.8.1. Orantılı seçim mekanizmaları	89
6.8.2. Sıralı seçim mekanizması (rank selection).....	92
6.8.3. Turnuva (Tournament) seçim mekanizması	93
6.8.4. Denge durumu seçim mekanizması	94
6.9. Çaprazlama Operatörü	95
6.9.1. Tek noktalı çaprazlama yöntemi	97
6.9.2. Çok noktalı çaprazlama yöntemi	99
6.9.3. Düzenli (Uniform) çaprazlama yöntemi	100
6.10. Mutasyon Operatörü	101
6.10.1. Uniform mutasyon	103
6.10.2. Sınır mutasyon	104
6.10.3. Rastlantısal mutasyon	104

Sayfa

6.10.4. Yer değişim mutasyonu	104
6.11. Diğer operatörler	105
6.12. Elitizm (Seçkinlik, En iyinin saklanması)	106
6.13. Yeni Kuşanın Oluşması ve Döngünün Durdurulması	106
6.14. Genetik Algoritmelerde Parametre Seçimi	107
6.14.1. Popülasyon genişliği (N_p).....	107
6.14.2. Çaprazlama oranı (P_c).....	109
6.14.3. Mutasyon oranı (P_m).....	110
6.14.4. Nesil aralığı (G).....	110
6.14.5. Seçim stratejileri	111
6.14.6. Ölçeklendirme faktörü	111
6.14.7. Diğer faktörler	111
6.15. Genetik Algoritmalar Nasıl Çalışır?	112
6.15.1. Şema teoremi	112
6.15.2. Yapıtaşı hipotezi	113
6.16. Genetik Algoritmalar ve Kısıtlı Optimizasyon Problemleri	115
6.16.1. Ceza fonksiyonunun genetik algoritmada kullanımı.....	115
6.17. Genetik Algoritmanın Kullanılma Nedenleri	117

Sayfa

6.18. Genetik Algoritmaların Diğer Optimizasyon Tekniklerine Göre Farklılıkları.....	118
6.19. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları	120
6.19.1. Genel uygulama alanları	121
6.19.2. İşletmelerdeki uygulama alanları	122
6.20. GA İle Basit Bir Uygulama	123
6.20.1. Matlab programı ve GA toolbox	127
7. YAPILAN ÇALIŞMA	129
7.1. Patlayıcı Yardımı İle Form Vermede Patlayıcı Kütlesinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu	129
7.1.1. Amaç fonksiyonunun tanımlanması.....	129
7.1.2. Değişkenler, parametreler ve kısıtlar	132
7.1.3. Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması	134
7.1.4. Değişkenlerin kodlanması ve genetik algoritma parametreleri	135
7.1.5. Programın Matlab’da yazılması	140
7.2. Parametrelerin Patlayıcı Kütlesine Olan Etkisi.....	150
7.2.1. Dış çapın etkisi	150
7.2.2. Kalıp kenar yarıçapının etkisi	151
7.2.3. İç çapın (zımba çapı) etkisi	152
7.2.4. Parça yüksekliğinin etkisi	153

Sayfa

7.2.5. Zimba köşe yarıçapının etkisi	154
7.2.6. Parça kalınlığının etkisi	155
7.2.7. Sürtünme katsayısının etkisi	156
7.2.8. Stand-off mesafesinin etkisi	157
8. SONUÇ.....	159
KAYNAKLAR.....	161
EKLER	168
EK-1 Geliştirilen GA'nın program ağacı	169
EK-2 Matlab 7.0'da yazılan GA programı	170
ÖZGEÇMİŞ.....	176

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Bazı patlayıcıların patlama esnasında açığa çıkarttıkları ısı ve gaz miktarlar.....	24
Çizelge 4.2. Düşük ve yüksek patlayıcıların karşılaştırılması.....	26
Çizelge 4.3. Bazı patlayıcıların özellikleri.....	27
Çizelge 4.4. Genel kalıp malzemeleri.....	30
Çizelge 4.5. Bazı akışkanların ses hızı.....	37
Çizelge 4.6. Farklı metal form verme tekniklerinin, malzeme açısından üretim olanakları karşılaştırılmıştır.....	40
Çizelge 4.7. Farklı metal form verme tekniklerinin maliyetleri ve ürün özelliklerinin karşılaştırılması.....	41
Çizelge 4.8. Farklı metal form verme tekniklerinin deformasyon hızlarının karşılaştırılması	42
Çizelge 4.9. Farklı patlayıcı türleri için K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 değerleri gösterilmiştir....	55
Çizelge 5.1. Farklı yöneylem araştırma yöntemleri.....	59
Çizelge 6.1. Doğal ve Genetik Algoritma terimlerinin karşılaştırması.....	72
Çizelge 6.2. Çaprazlama için üretilen rastgele değerler.....	96
Çizelge 6.3. GA ilk toplumu	124
Çizelge 6.4. GA hedef ve uygunluk değerleri	124
Çizelge 6.5. Kromozom Seçimi	125
Çizelge 6.6. Çaprazlama işlemi.....	126

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.7. Çaprazlama işlemi sonucunda oluşan GA toplumu	126
Çizelge 6.8. Mutasyona uğramış GA toplumu	127
Çizelge 7.1. Problem çözümünde kullanılacak parametreler.....	133
Çizelge 7.2. Değişkenlerin oluşturulması	136
Çizelge 7.3. Değişkenlerin ikilik sistemde gösterimi ve birleşimi	136
Çizelge 7.4. Rastgele oluşan başlangıç popülasyonu	137
Çizelge 7.5. Tek noktadan yapılan çaprazlama işlemi.....	138
Çizelge 7.6. Mutasyon işlemi	139
Çizelge 7.7. Genetik algoritma parametreleri	139

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Çekme işleminin oluşumu.....	7
Şekil 4.1. Patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği.....	11
Şekil 4.2. Yıllara göre, patlayıcı yardımı ile form verme ile alakalı yapılan yayınların istatistiksel oranları	14
Şekil 4.3. Klasik bir patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği	15
Şekil 4.4. Erkek kalıp kullanılarak yapılan patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği	16
Şekil 4.5. Dişi kalıp kullanılarak yapılan patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği.....	16
Şekil 4.6. İlişki Operasyonu – Standoff Operasyonu arasındaki fark	17
Şekil 4.7. Farklı patlayıcı miktarına göre basınç-mesafe ilişkisi	19
Şekil 4.8. Kep profiline standoff mesafesinin etkisi	19
Şekil 4.9. Kep profiline ara ortamın etkisi , Standoff mesafesi = 1/2"	20
Şekil 4.10. Tüplerin patlayıcı yardımı ile form verilmesi.....	30
Şekil 4.11. Farklı patlayıcı türleri için patlayıcı kalınlığının ve patlama hızının değişimi.....	26
Şekil 4.12. Genel maliyet karşılaştırma eğrisi	32
Şekil 4.13. Farklı malzemelerin patlayıcı yardımı ile form verilebilirliği	32
Şekil 4.14. Basınç-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: hava)	34
Şekil 4.15. Basınç-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: su)	35

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. Transfer hızı-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: kuru kum).....	35
Şekil 4.17. Transfer hızı-patlayıcı uzaklığı grafiği (farklı ara ortamlarda 50 gr patlayıcı).....	36
Şekil 4.18. Çarpışma yüzeyinden uzaklaştıkça, sertlik ve basınçta meydana gelen değişim	38
Şekil 4.19. Patlayıcının malzemenin yüzeyine konulmasıyla yapılan patlama işlemi sonucunda malzemedeki sertlik değişimi. Kullanılan patlayıcı: Datasheet C; $\rho=1.45 \text{ gr/cm}^3$, $V_D=7200 \text{ m/s}$	39
Şekil 4.20. Şok dalgasının bir malzemedeki ilerleyişi	46
Şekil 4.21. Metal ve alaşımları için Hugoniot eğrileri.....	48
Şekil 4.22. Polimer ve seramikler için Hugoniot eğrileri.....	49
Şekil 4.23. 304 paslanmaz çelik için şok dalgası ilerleyişi sonucu meydana gelen basınç- şok hızı ve parça hızı eğrileri.....	49
Şekil 5.1. İki nokta arasındaki olası güzergahlar	63
Şekil 6.1. Genetik Algoritmanın program algoritması.....	76
Şekil 6.2. Genetik Algoritmanın akış diyagramı.....	77
Şekil 6.3. İkili kodlama için kromozom örneği.....	85
Şekil 6.4. Permütasyon kodlama için kromozom örneği	86
Şekil 6.5. Değer kodlaması için kromozom örneği.....	87
Şekil 6.6. Ağaç kodlama için kromozom örneği.....	88
Şekil 6.7. Bireylerin rulet tekerleğine yerleşimi	91
Şekil 6.8. Turnuva seçim mekanizması.....	94

Şekil	Sayfa
Şekil 6.9. Tek noktalı çaprazlama	98
Şekil 6.10. Permütasyon kodlamada tek noktalı çaprazlama	98
Şekil 6.11. Ağaç kodlamada tek noktalı çaprazlama	99
Şekil 6.12. Değer kodlamada tek noktalı çaprazlama	99
Şekil 6.13. Çift noktalı çaprazlama	100
Şekil 6.14. Düzgün çaprazlama	101
Şekil 6.15. Değer kodlamaya uniform mutasyon uygulanişı	103
Şekil 6.16. Değer kodlamaya (reel olarak) uniform mutasyon uygulanişı	103
Şekil 6.17. İkili kodlamaya uniform mutasyon uygulanişı	103
Şekil 6.18. Değer kodlamaya (reel olarak) sınır mutasyon uygulanişı	104
Şekil 6.19. Permütasyon kodlamaya sınır mutasyon uygulanişı	104
Şekil 6.20. Permütasyon kodlamaya yer değişim mutasyonu uygulanişı	105
Şekil 6.21. Değer kodlamaya yer değişim mutasyonu uygulanişı	105
Şekil 6.22. Terslendirme operatörüne bir örnek	106
Şekil 6.23. Popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak birey dağılımının değişimi	108
Şekil 6.24. Optimizasyon modelleri	118
Şekil 7.1. Form verilecek parça	132
Şekil 7.2. Rulet tekerleği seçim mekanizması	138

Şekil	Sayfa
Şekil 7.3. Tasarım değişkenlerinin amaç fonksiyonuna etkisi.....	140
Şekil 7.4. Farklı jenerasyon sayıları için Jenerasyon-uygunluk grafikleri.....	142
Şekil 7.5. Farklı mutasyon oranları için Jenerasyon-uygunluk grafikleri.....	144
Şekil 7.6. Farklı çaprazlama oranları için Jenerasyon-uygunluk grafikleri	146
Şekil 7.7. Dış çap-jenerasyon sayısı grafiği.....	147
Şekil 7.8. Kalıp yarıçapı-jenerasyon sayısı grafiği	148
Şekil 7.9. Dış çap-patlayıcı kütlesi grafiği	151
Şekil 7.10. Kalıp kenar yarıçapı-patlayıcı kütlesi grafiği	152
Şekil 7.11. Zimba çapı-patlayıcı kütlesi grafiği.....	153
Şekil 7.12. Parça yüksekliği-patlayıcı kütlesi grafiği.....	154
Şekil 7.13. Zimba köşe yarıçapı-patlayıcı kütlesi grafiği	155
Şekil 7.14. Parça kalınlığı-patlayıcı kütlesi grafiği.....	156
Şekil 7.15. Sürtünme katsayısı-patlayıcı kütlesi grafiği.....	157
Şekil 7.16. Stand off mesafesi-patlayıcı kütlesi grafiği	158

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1. Charles Monroe'nun 1888 yılında patlayıcı yardımı ile form verme tekniğini ilk kez açıkladığı Scribner's Magazine dergisinin haziran 1887 tarihli ön kapağı.	13
Resim 4.2. Büyük patlayıcı yardımı ile form verme tankı.....	21
Resim 4.3. Patlayıcı yardımı ile form verme ile üretilmiş küresel tank.....	22
Resim 4.4. Saturn V Roket'inin Waffle Panel'i.....	22
Resim 4.5. Soldaki normal yollarla, sağdaki patlayıcı yardımı ile üretilmiş parçalar.	31
Resim 4.6. Alüminyum plaka üzerine madeni paraların patlayıcı yardımı ile engrave edilmesi	44
Resim 4.7. Alüminyum plaka üzerine madeni paraların patlayıcı yardımı ile engrave edilmesi	45
Resim 4.8. Patlayıcı yardımı ile detonografi (metal fosillerin kopyalanması için kullanılan bir metod).....	45
Resim 4.9. 15 GPa tepe basınçlı bir şok dalgasının, 304 paslanmaz çelik bir malzemede ilerlerken, şok dalgasının önünde ve arkasında kalan bölgelerin elektron mikroskobundaki görüntüsü.	47

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
c_0	Sudaki ses hızıdır (m/s)
D	İlkel çap
d	Punç çapı
E	Yang modülüsü
E_d	Enerji yoğunluğu
F	Popülasyondaki uygunluk değerlerinin toplamı
G	Nesil aralığı
h	Çekme derinliği
K_1	Patlayıcı türüne göre değişen sabitler
K_2	Patlayıcı türüne göre değişen sabitler
M	Maksimum jenerasyon sayısı
m	Birim plaka alanının kütlesi
N	Popülasyon adımı sayısı
n	Doğrultma oranı
P	Basınç (psi)
P_{ϕ}	Çaprazlama oranı
P_m	Mutasyon oranı
P_m	Tepe basıncı
p_i	Ceza fonksiyonu
R	Yarıçap (feet)

Simgeler**Açıklama**

R	Stand-off mesafesi (feet)
R_m	Çekme mukavemeti
r_k	Kalıp kavis yarıçapı
r_z	Zimba kavis yarıçapı
s	Parça kalınlığı
t	Plakanın kalınlığı
t	Zaman (ms)
U_p	Malzeme hızı
U_s	Şok dalgası hızı
W	Patlayıcı kütlesi (lb)
w	Çekme boşluğu
x	Ters ağırlık numarası
V	Özgül hacim
z	Karakteristik kütle oranıdır
α₁	Patlayıcı türüne göre değişen sabitler
α₂	Patlayıcı türüne göre değişen sabitler
β	Çekme oranı
ε_a	Temel gerinimin tepe değeri
ρ	Yoğunluk
ρ_p	Plakanın kütle yoğunluğu
θ	Zaman sabiti (ms)
ν	Poisson oranı

Kısaltmalar**Açıklama****GA**

Genetik Algoritma

HERF

High Energy Rate Forming

ODTÜ

Orta Doğu Teknik Üniversitesi

OK

Optimal Kontrol

PETN

Pentaerythritol Tetranitrate

RDX

Cyclotrinethylene-Trinitramine

Tetryl

Trinitrophenylmethylnitramine

TNT

Trinitrotoluene

UF

Uyum Fonksiyonu

1. GİRİŞ

Günümüzde özellikle uçak ve uzay sanayinde kullanılan büyük parçaların üretimi için farklı üretim yöntemleri geliştirilmektedir. Çünkü geleneksel yöntemlerle üretimde dişi ve erkek kalıp olmak üzere iki kalıplı bir sistemin tasarımı, üretimi ve metal plakanın bu iki kalıp arasına sıkıştırılarak form verilmesi gerekmektedir. Bu yöntem hem üretim maliyeti açısından hem de süre açısından dezavantajlıdır.

Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği, sınırlı sayıda ve büyük parçaların üretiminde sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde sadece dişi kalıp üretilip, daha önceden açılan bir çukurun dibine yerleştirilir. Çukur su, kum, yağ vs. gibi bir ara ortamla doldurulur. Bu ara ortamın üzerine bir patlayıcı yerleştirilip patlatılır. Patlama esnasında oluşan yüksek basınç ara ortam tarafından iletilerek dişi kalıp üzerine yerleştirilen metal plakaya iletilir. Bu şekilde metal plaka dişi kalıbın formunu almış olur. Yani patlayıcı ve ara ortamdan oluşan sistem erkek kalıp işlevini görmektedir.

Patlayıcı yardımı ile form vermede patlayıcı kütlesi bu operasyonun asıl maliyetini belirleyen değişkendir. Dolayısıyla bu değişkenin optimum hale getirilmesi günümüzün rekabet merkezli ortamında daha çok önem kazanmıştır.

Genetik algoritma ile optimizasyon son yirmi yıldır bir çok bilim dalında başarıyla uygulanmakta olan bir yapay zekâ optimizasyon yöntemidir. Bu yöntemde doğada meydana gelen seçim, çaprazlama, mutasyon vs. gibi genetik operatörlerin bilgisayar ortamına uyarlanmış kodlamaları kullanılır.

Bu çalışmada genetik algoritma kullanılarak patlayıcı yardımı ile form vermede patlayıcı kütlesi optimize edilmeye çalışılacaktır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, amaç, materyal ve yöntem ve literatür çalışmaları hakkında bilgiler vermektedir. Üçüncü kısımda derin çekme işleminden ve derin çekme işlemindeki parametrelerden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde patlayıcı yardımı ile form vermenin tanımı, tarihçesi, türleri, diğer form verme tekniklerinden farkları, patlayıcı ve patlama türleri, patlama esnasında oluşan basıncın metal plaka

üzerine etkisi hakkında bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde optimizasyon ve optimizasyon teknikleri hakkında genel bilgiler verilmiştir. Altıncı bölümde genetik algoritmanın tanımı, tarihçesi, kullanılan genetik operatörler, işlemler vs. hakkında kapsamlı bilgiler sunulmaktadır. Yedinci bölümde yapılan çalışma detaylı bir şekilde açıklanmıştır. Sonuç ve öneriler kısmında elde edilen verilerin tahlili yapılmış ve ileriki çalışmalar için yöntemler sunulmuştur. Kaynakça bölümünde çalışmanın yapım aşamasında kullanılan kaynak kitap ve makalelerin listesi sunulmuştur.

2. ÇALIŞMANIN AMACI, MATERYAL, YÖNTEM VE LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Amaç

Metallerin patlama ile şekillendirilmesi günümüzde uzay endüstrisinde özellikle çok büyük parçaların şekillendirilmesinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Patlayıcı yardımı ile form verme operasyonlarında özellikle patlayıcı miktarının en az olması maliyet açısından büyük önem arz etmektedir. Dolayısıyla bu parametrenin farklı optimizasyon teknikleri kullanılarak optimize edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada amaç bir yapay zekâ yöntemi olan genetik algoritma tekniğini kullanarak patlayıcı yardımı ile form vermede patlayıcı kütlesini optimize etmektir. Bu sayede maliyetin ciddi oranda düşürüleceği düşünülmektedir.

2.2. Materyal ve Yöntem

Patlayıcı yardımı ile form vermede parametre optimizasyonunda Matlab 7.0 programlama dilinden faydalanılmıştır. Optimizasyon tekniği olarak ise genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik Algoritma, doğal seleksiyon ve genetik bilimine dayanan bir optimizasyon tekniğidir. Algoritma, doğadan farklı olarak kuralları tanımlanmış olan seleksiyon ile evrilen sayılar popülasyonunu kullanarak optimizasyon yapar. Seleksiyon ve popülasyon ile optimizasyonda kullanılacak fonksiyonu minimum kılmaya çalışır.

2.3. Literatür Taraması

Patlayıcı yardımı ile form verme konusunda yurtdışında ciddi miktarda çalışma yapılmıştır. Aynı şeyi yurt içi için söylemek ise zordur. Birkaç konferans sunumu haricinde bu konuda çalışma yapılmamıştır. Genetik algoritmanın patlayıcı yardımı ile form verilmesine ise hiçbir kaynakta rastlanmamıştır. Aşağıda literatür araştırması sırasında bulunan ve tez yazımının farklı aşamalarında kullanılan kaynaklardan bahsedilmiştir.

Mynors ve Zhang (2002) “*application and capabilities of explosive forming*” isimli makalelerinde patlayıcı yardımı ile form vermenin tarihçesinden, diğer form verme tekniklerinden farklarından, operasyonda kullanılan kalıplar, patlayıcılar ve ara ortamlardan, farklı patlayıcı yardımı ile form verme tekniklerinden, patlayıcı yardımı ile form verme işlemi sonucunda elde edilen toleranslardan ve malzemenin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimlerden bahsetmişlerdir. Yazarlar patlayıcı yardımı ile form verme işleminin çok az bir maliyetle ve özellikle büyük parçaların üretimi için ideal olacağı sonucuna varmışlardır [1].

Fengman ve ark. (2000) “*explosive forming of thin-wall semi spherical parts*” isimli makalelerinde yarı küresel parçaların patlayıcı yardımı ile form verilmesinin temel prensiplerinden, iskelet yapının tasarımında dikkat edilmesi gereken noktalardan ve ilgili teknolojik parametrelerden bahsetmişlerdir. Yaptıkları deneysel araştırma sonucunda, bu şekildeki parçaların üretiminde en verimli yöntemin kalıp kullanılmadan yapılan patlayıcı yardımı ile form verme tekniği olduğunu açıklamışlardır. Bu yöntemle yarı küresel parçalar hem yüksek hassasiyetle elde edilmektedir, hem de kalıp sistemi olmadığından maliyet ciddi oranda düşmektedir. Ayrıca istenilen ebatta ve şekilde de parçalar üretilebilmektedir [2].

Iyama ve ark. (1999) “*optimum structure design method for non-die explosive forming of spherical vessel technology*” isimli makalelerinde, küresel bir kap elde edebilmek için, dört, beş ve altı konik yapıdan oluşan küresel tankları optimum tasarım kriterleri açısından incelemişlerdir. Normal üretim metotları ile benzer bir küresel kabı üretmek hem pahalı hem de uzun süre gerektirmektedir. Patlayıcı yardımı ile form verme yönteminde ise farklı konik yapıda parçalar üretilmektedir ve bu parçalar birleştirilerek küresel yapı elde edilmektedir. Yapılan çalışma sonucunda beş tane konik yapıdan oluşan küresel yapının diğerlerine göre daha uygun olduğu gösterilmiştir [3].

Ramajeyathilagam ve Vendhan (2004) “*deformation and rupture of thin rectangular plates subjected to underwater shock*” isimli makalelerinde, 0.002x0.45x0.55 m boyutlarında dikdörtgen bir plaka üzerinde meydana gelen basınç değişimlerine patlayıcı kütlesi ve stand off mesafesinin etkisini incelemişlerdir. Kütle ve stand off

mesafesine bağılı olarak bazı patlayıcıların metal plaka üzerinde ciddi miktarda deformasyona sebep olduğu, bazılarının kısmi çekme yırtılmasına sebep olduğu, bazılarının ise plakanın merkezinden itibaren kopmasına sebep olduğu görülmüştür [4].

Hung ve ark. (2005) “*elastic shock response of an air-bucket plate to underwater explosion*” isimli makalelerinde 4x4x4 m boyutlarında bir tankın içinde meydana gelen patlamanın dikdörtgen bir plaka üzerine etkisini incelemişlerdir. Plakada meydana gelen tepe basınçları deneysel ve matematiksel olarak hesaplanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Farklı stand off mesafesinin tepe basıncı üzerine etkisi de patlayıcı maddenin (TNT ve patlayıcı karışımı) metal plakadan farklı uzaklıklara yerleştirilmesi ile ölçülmüştür [5].

Rajendran ve Narasimhan (2001) “*damage prediction of clamped circular plates subjected to contact underwater explosion*” isimli makalelerinde, çelik plakalar üzerinde patlayıcı yardımı ile form vermenin etkisini incelemişlerdir. Dairesel çelik plakalar üzerinde meydana gelen patlamaların, plakaya olan etkisi savaş gemisi mimarları ve tasarımcıları için önem arz etmektedir. Patlama sonucunda açığa çıkan enerjinin bir miktarı, plakanın plastik deformasyonuna ve kırılmasına harcanmaktadır. Deneyler sonucunda patlama neticesinde meydana gelen plastik deformasyonun en çok dairesel plakanın merkezinde olduğu görülmüştür [6].

Narasimhan ve Rajendran (2001) “*linear elastic shock response of plane plates subjected to underwater explosion*” isimli makalelerinde, bir dairesel bir de dikdörtgen iki farklı çelik plaka üzerinde, patlayıcı yardımı ile form vermenin etkisini incelemişlerdir. Dinamik ve teğetsel gerinimler ölçülmüş ve bu değerler yarı analitik modellerden elde edilen verilerle karşılaştırılmıştır. Bu yarı analitik modeller kinetik enerjinin, plakanın gerinim enerjisine eşitlenmesi ile bulunmuştur. Bu modelin avantajı, şok dalgası parametrelerini, plakanın elastik özelliklerini, malzeme yoğunluğunu ve kalınlığını ve suyun akustik özelliklerini ihtiva etmesidir. Deneysel bulgular ile yarı analitik modellerden elde edilen bilgilerin uyumlu olduğu gösterilmiştir [7].

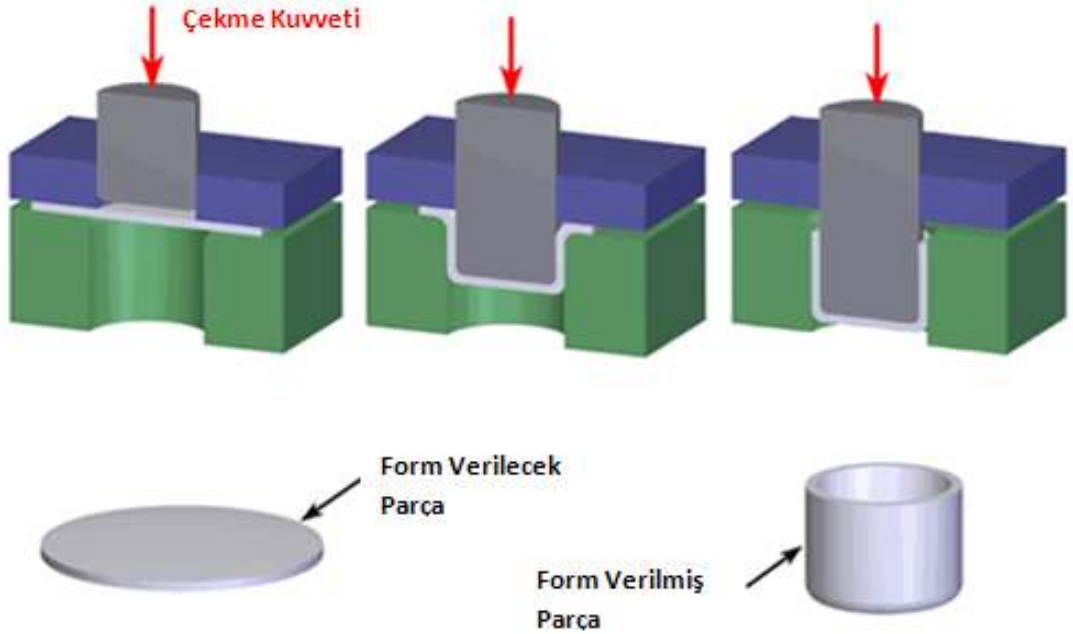
Lam ve ark. (2003) “*dynamic response of a laminated pipeline on the seabed subjected to underwater shock*” isimli makalelerinde deniz yatağına konulan kompozit bir boru hattına patlamanın etkisini incelemişlerdir. Patlamanın etkisi ile oluşan şok yükünün incelenmesi için yaklaşık bir yöntem öne sürülmüştür. Kompozit boru hattının patlamaya verdiği tepkiyi incelemek için ise modal analiz tekniği kullanılmıştır. Araştırma sonucunda elde edilen bulgulara göre, kompozit boru hattının patlamaya verdiği tepki lokal deformasyondur. Çevresel ve boylamasına mukavemet karşılaştırıldığında, radyal yöndeki mukavemetin daha az olduğu görülmüştür. Dolayısıyla radyal yöndeki tepki diğer yönlerdeki tepkilere göre daha fazladır [8].

Kira ve ark. (1999) “*underwater explosion of spherical explosives*” isimli makalelerinde küresel yüksel patlayıcıların patlaması sonucunda elde edilen basınç dalgalarının karakteristiklerini incelemişleridir. Patlama sonucu oluşan şok dalgasının yayılımı optik fotoğraf makineleri ile görüntülenmiştir. Bu şok dalgalarının basınç dağılımları ise, lineer olmayan eğri uydurma (curve fitting) metodu ile gösterilmiştir [9].

3. DERİN ÇEKME

Düz plakaların çekme kalıbı denilen donanımlarla pres altında çökertilerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine “çekme” ismi verilmektedir [10]. Madeni düz pulların veya plakaların çekme kalıbı denilen düzeneklerle pres altında çökertilerek belirli derinlik ve profillerde kap şekline sokulması işlemine derin çekme denir [11]. Derin çekme işlemi basma, eğme, bükme gibi farklı biçimlendirme işlemlerinin bir araya gelmesiyle oluşur. Basit bir konvansiyonel derin çekme ünitesi uç köşeleri radyüslü bir zımba, kenarları geniş radyüslü bir kalıp ve sac malzemeyi sıkıştırmaya yarayan baskı plakasından oluşur. Zımbanın hareketi ile sac malzeme radyal olarak kalıp içine doğru itilerek şekillenme sağlanır [12, 13, 14, 15, 16].

Çekme işleminin oluşumu Şekil 3.1’de gösterilmiştir:



Şekil 3.1. Çekme işleminin oluşumu

Bazı durumlarda tek seferde çekme işlemi yapılamaz. Özellikle derin parçalarda karşılaşılan bu gibi durumlarda çekme işlemi birkaç aşamada yapılır. İlk çekme

işleminde, çekilecek olan ürünün şekline uygun olarak düz sac levha hazırlanarak çekme kalıbı içerisine yerleştirilmektedir. Çekmede ürüne silindirik, konik, küresel, açılı ve benzeri çeşitli formlar verilebilmektedir. Malzemenin plastik şekil almasına dişi kalıp ve zımba kavisleri, dişi kalıp ile çekilen malzeme ve zımba arasındaki sürtünme, baskı plakası kuvvetinin bütün yüzeylerde eşit olmaması, parçanın kalıp içerisine uygun yerleştirilmemesi, kalıplanacak parçanın hadde yönü ve çekme boyunun uygunsuzluğu gibi noktalar etki etmektedir [10].

3.1. Derin Çekme Yöntemleri

Derin çekme işlemi ilk başlarda el çekiçleri ile manüel olarak yapılmakta idi. Buhar enerjisinin bulunması ile çekme işlemi buhar güçlü çekiçlerle yapılmaya başlanmıştır. Elektrik enerjisinin bulunması ile de mekanik ve hidrolik presler kullanılarak metallere form verme işlemleri gerçekleştirilmiştir. 1898 yılından sonra ise patlama ile şekillendirme, elektromanyetik şekillendirme, elektro-hidrolik şekillendirme ve gaz detonasyonu ile şekillendirme yöntemleri gibi yüksek hızda şekillendirme yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır [12].

Derin çekme işleminin çeşitleri DIN 8584'e göre aşağıdaki şekilde sıralanabilir [11]:

Derin Çekme:

- Takım ile derin çekme
 - Kalıp ile derin çekme
 - Elastik kalıp ile derin çekme
 - Elastik zımba ile derin çekme
 - Elastik ped ile derin çekme
- Basınç ortamında derin çekme
 - Kuvvet etkisi ile derin çekme
 - Sıvı ortamda derin çekme
 - Katı granül ortamda derin çekme
 - Gaz ortamda derin çekme
 - Enerji etkisi ile derin çekme

- Sıvı ortamda derin çekme
- Katı granül ortamda derin çekme
- Gaz ortamda derin çekme
- Enerji yardımı ile derin çekme

İşin şekline, ölçülerine ve malzemeye bağlı olarak çeşitli çekme yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemleri üç bölümde inceleyebiliriz [10, 11].

Baskı Plakalı Çekme:

- a) Silindirik Çekme Kalıpları
- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları
- c) Konik, Yarım Küre veya Karmaşık Çekme Kalıpları

Baskı Plakasız Çekme:

- a) Silindirik Çekme Kalıpları
- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları
- c) Konik, Yarım Küre veya Karmaşık Çekme Kalıpları

Çevirme Çekme:

- a) Silindirik Çekme Kalıpları
- b) Dikdörtgen veya Kare Çekme Kalıpları

4. PATLAYICI YARDIMI İLE FORM VERME

4.1. Giriş

Patlayıcı yardımı ile form verme, ya da diğer adı ile HERF (High Energy Rate Forming), hızı 50 ft/saniye'den yüksek olan form verme proseslerine verilen ad, patlayıcılar kullanarak bir metali bir kalıbın şeklini almaya zorlama tekniğidir. Patlayıcılar, ya su altında patlatılır yada malzeme ile direk ilişkisi sağlanır. Bu teknik normal şartlarda üretimi çok zor olan parçaların az sayıda üretimi için elverişlidir [17].

Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği günümüzde özellikle uzay ve uçak sanayinde seri üretim için uygun olmayan ve geleneksel üretim metotları ile üretilmeleri zor olan büyük parçaların üretiminde sıklıkla kullanılmaktadır.

Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği bir kaç inçten 15 feet'e kadar olan parçaların üretiminde kullanılabilir. Bu yapısından dolayı tarih boyunca patlayıcı yardımı ile form verme tekniği daha çok uçak sanayinde, kompleks parçaların üretiminde kullanılmıştır [18].

Patlayıcı yardımı ile form vermede metal bir plaka bir kalıbın üzerine yerleştirilir ve kalıp boşluğundaki hava alınarak kalıp ve metal asemblisi su veya başka bir ara ortam altına yerleştirilir. Su yüzeyinde veya metal plaka üzerinde patlayıcı patlatılarak plakanın kalıbın şeklini alması sağlanır. Ve bu işlem yaklaşık 2 milisaniye sürer.

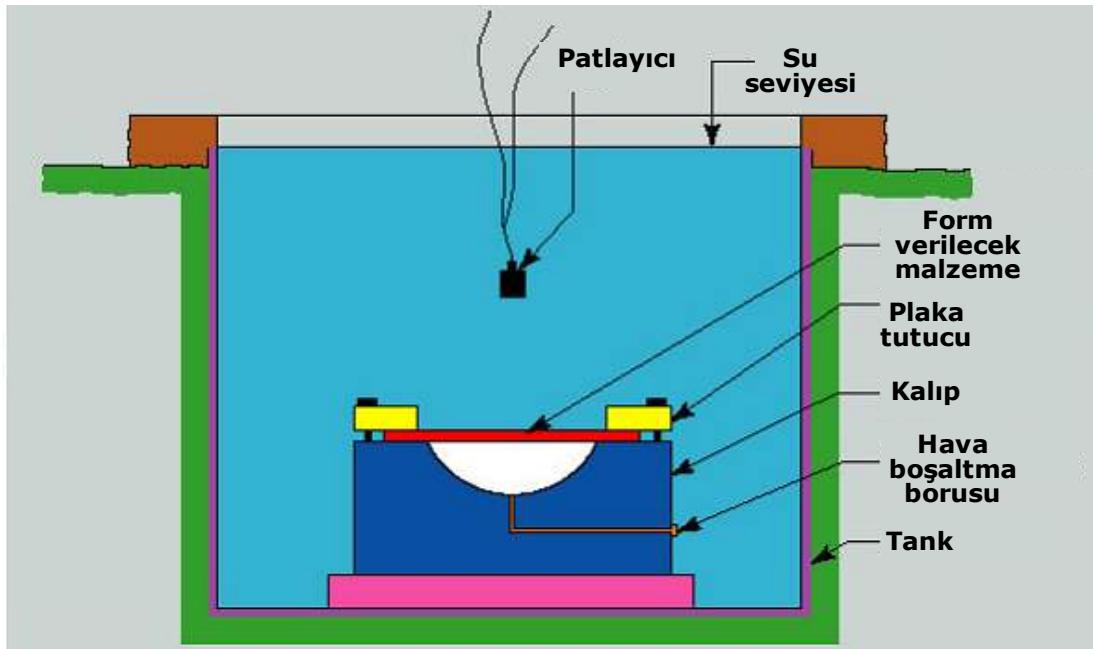
Patlayıcı yardımı ile form vermenin en önemli avantajı istediğimiz miktarda ve şekilde patlayıcı patlatabilmemizdir. Bu sayede boyut, şekil, malzeme ve kalınlık sınırlamalarımız ortadan kalkar. Kalınlık 0.3 mm alüminyumdan 60 mm çeliğe kadar değişir. Malzeme olarak ta alüminyum, titanyum, paslanmaz çelik ve nikel en çok kullanılanlardır. Birçok uygulamada patlayıcı yardımı ile form verme işlemi kaynak uygulamasını ortadan kaldırır.

İstenilen miktarda ve şekilde patlayıcı kullanılabilmesi, patlayıcı yardımı ile form verme tekniğini diğer form verme tekniklerinden ayırır. Dolayısı ile bu yöntemde ürün boyutu, şekli, malzemesi ve kalınlığı ile ilgili sınırlamalar yoktur.

Patlayıcı yardımı ile form vermede, patlayıcıdan elde edilen kimyasal enerji, şok dalgası oluşturmada kullanılır ve bu şok dalgası ara ortamda ilerleyerek malzemeyi deforme eder. Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği için gerekli olan en asgari şeyler bir kalıp, bir metal levha ve bir de patlayıcıdır. Her ne kadar ara ortam olarak hava kullanılarak patlayıcı yardımı ile form verme işlemi gerçekleşirse de, yağ, su, erimiş tuz, kum vs. gibi ara ortamların kullanılmasının birçok avantajı vardır [19].

Patlayıcı yardımı ile form vermede çok yüksek ve ani basınç uygulaması ile parçaların form verilmesi sağlanır. 13600MPa'a kadar basınç ve 914 m/s'ye kadar hız elde edilebilir [20].

Şekil 4.1'de patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği görülmektedir.



Şekil 4.1. Patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği

4.2. Tarihçe

Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği ilk kez 1888 yılında Charles Munroe tarafından Scribner's Magazine dergisinin Mayıs 1888 sayısında "Modern Explosives" adlı makalesinde açıklayarak kullanılmıştır. İlk kez demir plakaların işlenmesinde kullanılmıştır. Bu işlemde patlayıcı, malzeme ile direk ilişkide bulunmuştur ve plaka üzerindeki patlayıcı tabakasının kalınlığı, patlamadan sonra yüzeyde oluşan izlerin derinliğini belirlemiştir [17, 18, 21, 22].

1930'larda askeri amaçlı olarak kalın çelik plakaların form verilmesinde patlayıcı yardımı ile form verme tekniğinden faydalanılmıştır [21].

Zamanla patlayıcı yardımı ile daha birçok uygulama bulunmuştur. Patlayıcılar ve şok dalgaları üzerinde yapılan araştırmalar daha çok askeri amaçlı olmuştur. Özellikle Birinci ve İkinci Dünya Savaşlarında, zırhlı araçlara saldırmak için kullanılan torpillerin ve diğer silahların geliştirilmesi için birçok araştırma yapılmıştır [18].

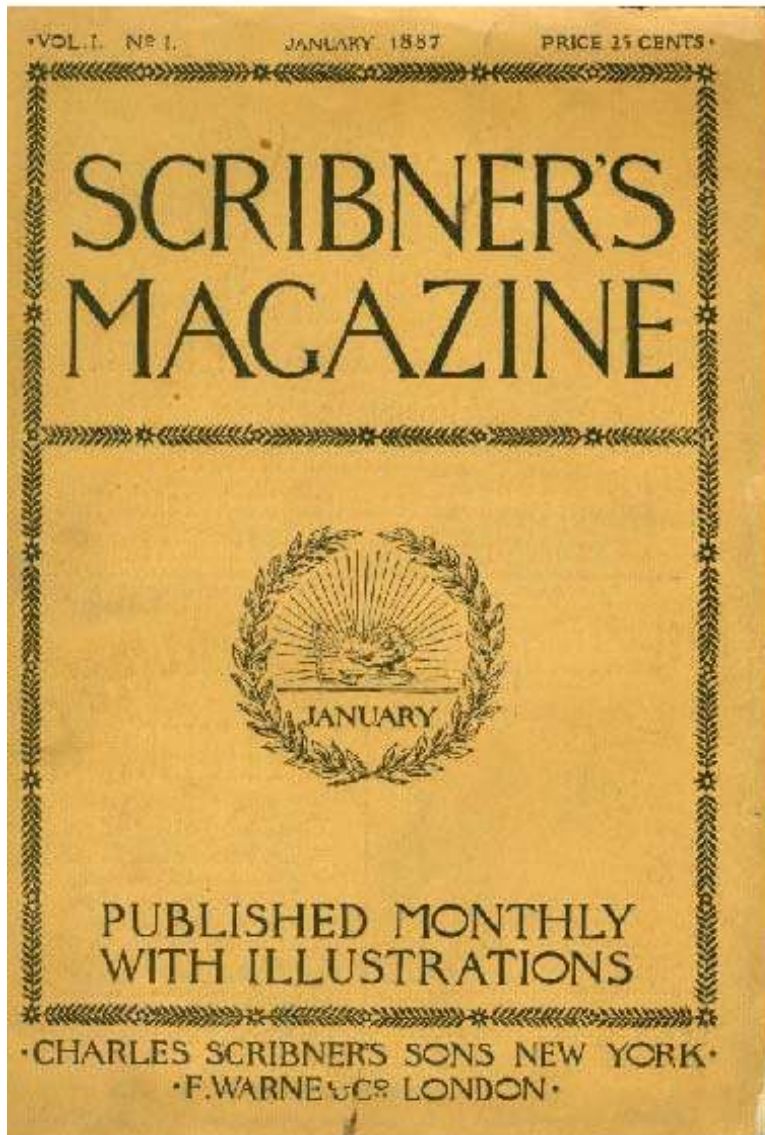
Patlayıcıların ve diğer ısı açığa çıkaran kimyasalların gelişmesi en çok askeri sanayinin işine yaramıştır. Daha güçlü silahlara olan ihtiyaç zamanla patlayıcıların mekanizması ve diğer kimyasalların araştırılmasını tetiklemiştir.

1949 yılında E.I. du Pont de Nemours and Company ticari amaçlı olarak patlayıcı perçinler üretmişlerdir [17].

Muhtemelen patlayıcıların seri üretimde ilk kez kullanılması 1950 yılında Moore Company tarafından olmuştur [17]. 1950 lerde Amerika'daki uçak firmaları (Rocketdyne, Aerojet General Corporation, Ryan Aeronautical) patlayıcı yardımı ile form verme tekniğini kullanarak karmaşık uçak parçalarının üretimini sağlamışlardır. Uçay çağına başlaması ile önem kazanan patlayıcı yardımı ile form verme tekniği, miktar olarak az fakat hacim olarak büyük ve karmaşık parçaların üretiminde kullanılmıştır [22]. Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği özellikle roketlerin uç kısımlarının üretiminde çok önemli bir yere sahiptir [18].

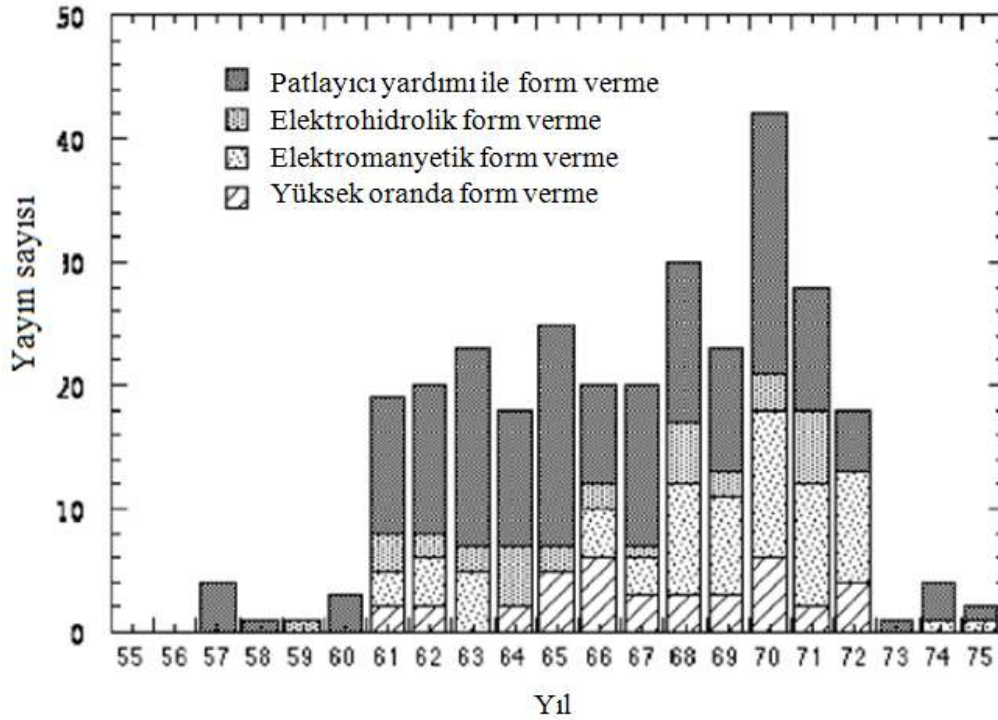
Bu sıralarda Sovyet Rusya da patlayıcı yardımı ile form verme tekniğini kullanarak çeşitli uçak parçalarını üretmeye başlamıştır.

1980’lerde patlayıcı yardımı ile form verme tekniği, diğer form verme tekniklerinin bulunması ile gözden düşmüştür, fakat 1990’larda tekrar yoğun bir şekilde sanayiide kullanılmaya başlanmıştır, çünkü bu tarihten itibaren daha karmaşık parçaların az miktarda üretimlerine olan ihtiyaç artmıştır [1].



Resim 4.1. Charles Monroe’nun 1888 yılında patlayıcı yardımı ile form verme tekniğini ilk kez açıkladığı Scribner’s Magazine dergisinin haziran 1887 tarihli ön kapağı.

Şekil 4.2’de yıllara göre, patlayıcı yardımı ile form verme ile alakalı yapılan yayınların istatistiksel oranları görülmektedir [1].

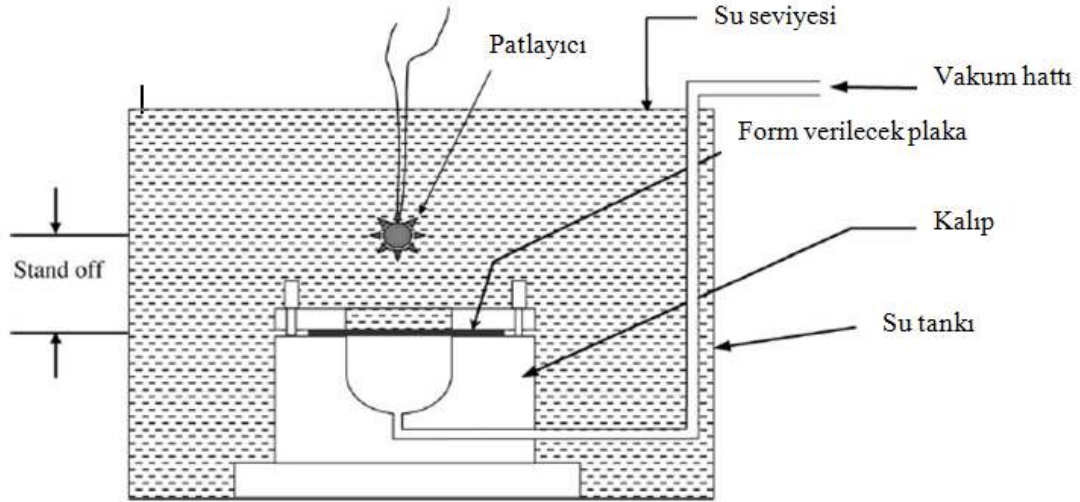


Şekil 4.2. Yıllara göre, patlayıcı yardımı ile form verme ile alakalı yapılan yayınların istatistiksel oranları [1].

4.3. Patlayıcı Yardımı İle Form Verme İle Metal Plakaların Form Verilmesi

Metal plakalara patlayıcı yardımı ile form verileceği zaman, metal plaka kalıbın üzerine sabitlenir. Metal plakanın altında kalan hava (yaklaşık 3mmHg) kalıbın en alt kısmından açılan bir delik yardımı ile boşaltılır. Sonra kalıp-metal plaka asemblisi bir ara ortam (genellikle su) içine yerleştirilir. Patlayıcı, bu kalıp-metal plaka asemblisinden belli bir mesafe uzaklığa yerleştirilir. Bu uzaklık stand-off mesafesidir ve metal plakanın istenilen formu alabilmesi için çok önemlidir. Patlayıcı patladığı zaman ortaya çıkan enerjinin sadece belli bir kısmı metal plaka yönündedir ve sadece bu enerji metal plakanın form verilmesinde kullanılır. Çoğu zaman patlayıcı ile su yüzeyi arasındaki mesafe, patlayıcı ile metal plaka arasındaki mesafenin iki katı olduğunda, metal plakaya istenilen formu verebilmek için gerekli

olan enerji elde edilmiş olur. Şekil 4.3'te klasik bir patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği gösterilmiştir [1].



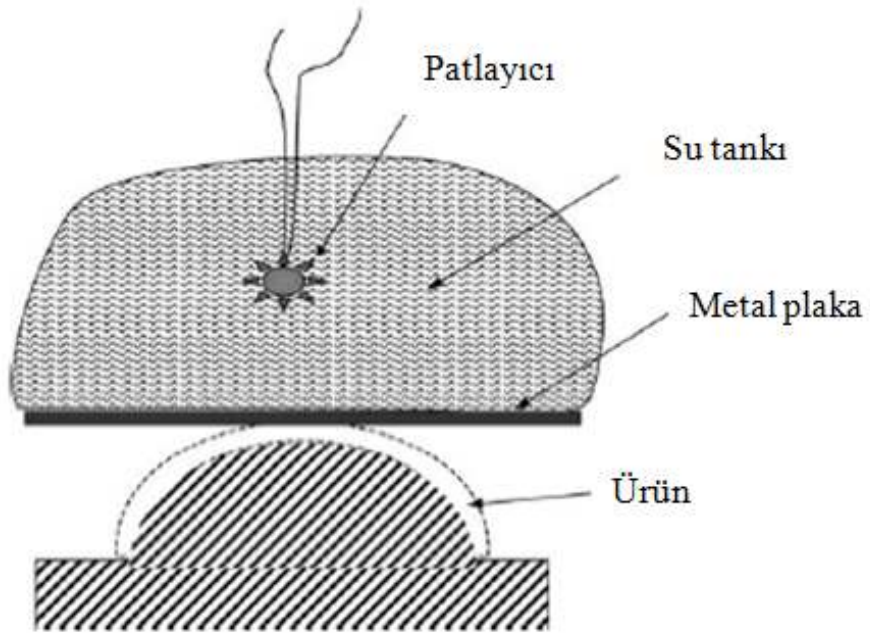
Şekil 4.3. Klasik bir patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği [1].

Görüldüğü gibi kalıp dişi kalıptır. Şekil 4.4'te olduğu gibi kalıp erkek te olabilir. Fakat bu durumda kalıp-metal plaka asemblesini su altına yerleştiremeyiz. Çünkü bu durumda metal plakanın altında kalan su, patlama sebebiyle oluşan basıncın metal plakaya baskısına tepki olarak ciddi oranda basınç oluşturur.

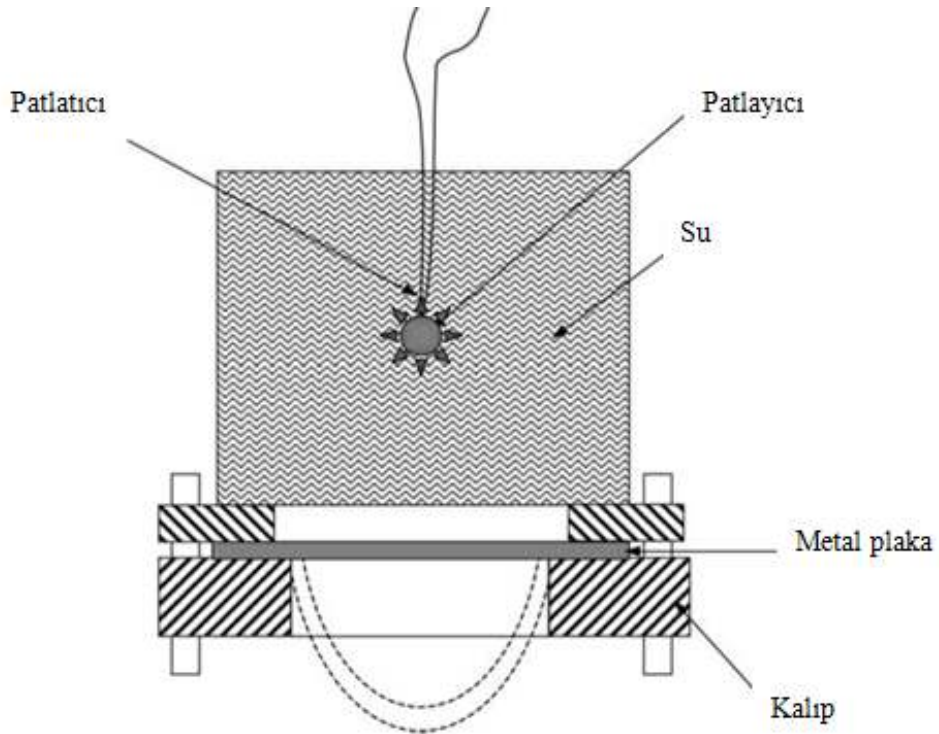
Şekil 4.5'de olduğu gibi dişi kalıbın kullanıldığı fakat suyun metal plaka-kalıp asemblesinin üzerine yerleştirildiği konfigürasyonlar da olabilir. Bu durumda metal plaka kalıbın içindeki boşlukta form alır.

Patlayıcı yardımı ile form verme en genel hali ile iki kısma ayrılır. Bunlar; ilişki (contact) operasyonu ve stand-off operasyonudur. İlişki operasyonunda patlayıcı ile form verilecek metal plakanın teması sağlanır, stand off operasyonunda ise belli bir mesafe bulunur. Bu mesafeye stand off mesafesi denir [18].

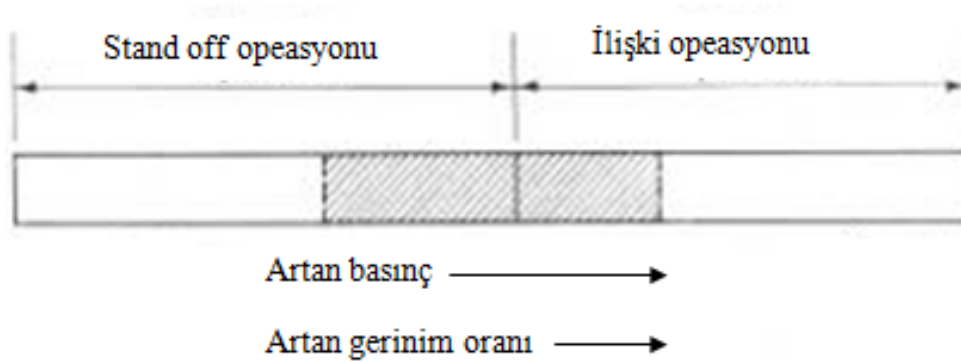
Kontakt operasyonu; metal, patlayıcı ve atık malzemenin ilişkisi konusunda özel araştırma gerektirir. Standoff operasyonunda hava, yağ veya su gibi çeşitli ara akışkanlar kullanır. Bu iki metot arasında basınç, yükler, form verme hızı noktalarında farklılıklar vardır [21].



Şekil 4.4. Erkek kalıp kullanılarak yapılan patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği [1].



Şekil 4.5. Dişi kalıp kullanılarak yapılan patlayıcı yardımı ile form verme düzeneği [1].



Şekil 4.6. İlişki Operasyonu – Standoff Operasyonu arasındaki fark [18].

Şekil 4.6’da görüldüğü gibi her bir patlayıcı yardımı ile form verme operasyonu malzeme üzerindeki basınç veya gerinim oranının fonksiyonu olarak bir operasyon skalasına yerleştirilebilir. Görüldüğü gibi ölçek standoff ve kontakt operasyonu olarak iki temel alana bölünmüştür. Ölçek üzerindeki basınç aralığı binlerce psi’den milyonlarca psi’ye kadar değişiklik gösterir. Operasyonların büyük bir çoğunluğu mikro saniye ile mikro dakika arasında meydana gelir. Açıktır ki kontakt operasyonundaki operasyon süresi standoff opeasyonuna göre çok daha kısadır. Bu ölçek üzerinde meydana gelen operasyonlara bağlı olarak çok farklı malzeme davranışı ile karşılaşılabilir [21].

İlişki operasyonundaki hata riskinin yüksekliğinden dolayı standoff operasyonu daha fazla tercih edilmektedir. Standoff operasyonun daha başka avantajları da vardır. Patlayıcı ve işlenecek malzeme arasındaki mesafe fazla olduğu için, metale transfer edilen enerji miktarı kontakt operasyonuna göre daha azdır. Daha büyük boyutlardaki parçalar daha az patlayıcı miktarlarıyla üretilebilir. Diğer patlayıcı yardımı ile yapılan üretim teknikleri kontakt operasyonunu kullanır.

İlişki operasyonunda patlama sonucu oluşan gerilimler çok kısa sürelidir fakat statik yüklenmelerden çok fazladır. Bu gerilimler normal imalat yöntemlerindeki gerilimlere benzerdir fakat gerilimlerin yayılması noktasında farklılıklar vardır [18].

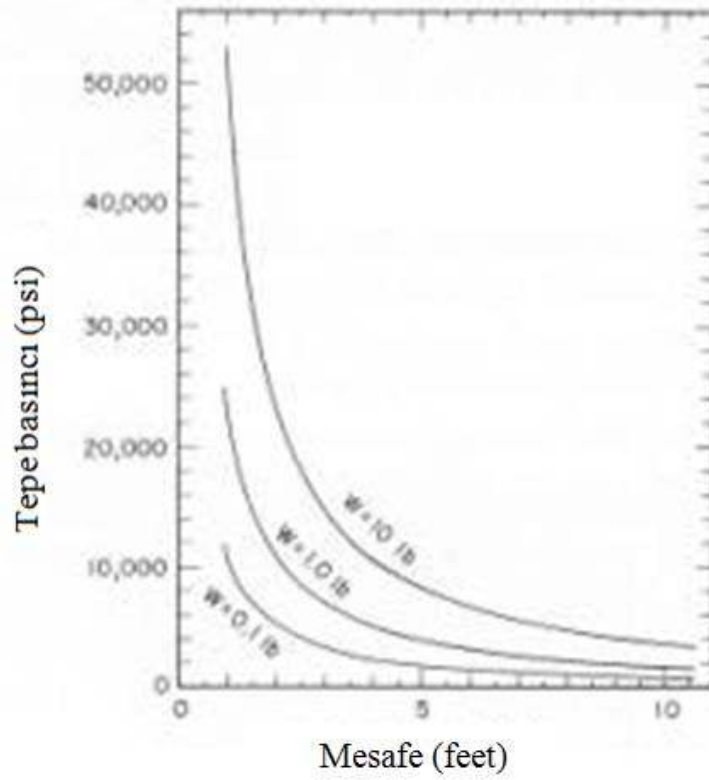
Standoff operasyonunda ve ilişki operasyonunda, hem patlayıcının yeri hem de form verilmemiş malzemeye uygulanan basınç kuvvetlerini uygulama metodu farklıdır.

Standoff operasyonunu anlamakta, farklı çevrelerdeki şok ve dalga yayılması önem arz eder. Bir patlayıcı patladığı zaman ortaya çıkan şok dalgası aynen bir piston gibi işlev görür ve çevredeki ara ortamı (hava, su vs) sıkıştırarak patlama esnasında oluşan yüksek basıncın ilerlemesini sağlar. Patlama sonucu oluşan yüksek basınçtaki gaz normal haldeki sıvıyı çok kısa bir zamanda yüksek yoğunlukta yüksek sıcaklıkta ve yüksek basınçta sıvıya dönüştürür [21].

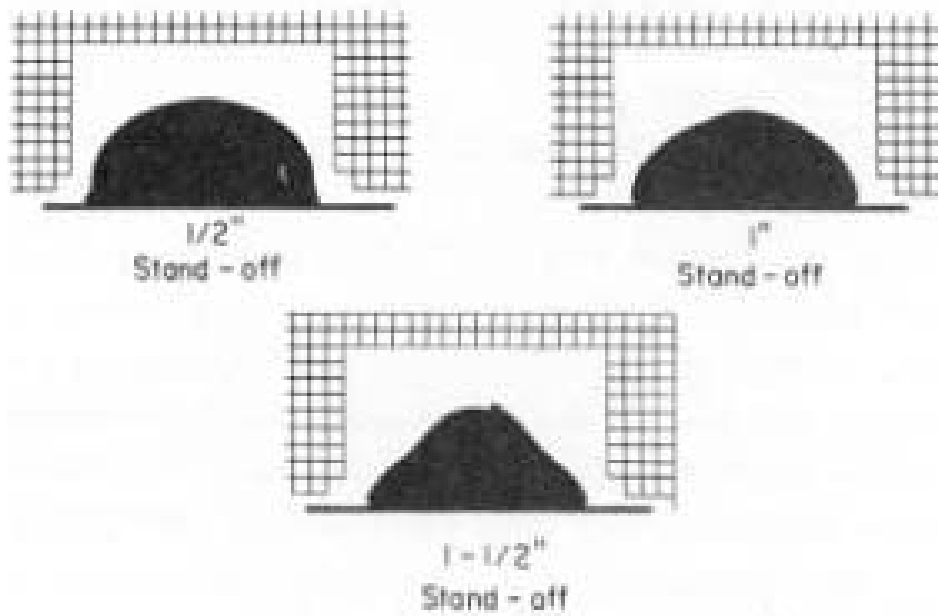
Patlayıcı ile form verilecek metal arasındaki mesafe standoff mesafesi olarak adlandırılır. Standoff mesafesi ve patlayıcı miktarı metal üzerine uygulanan basıncı etkiler. Diğer faktörler, örneğin patlayıcı tipi, patlayıcı şekli, ve çevre etkisi, aynı zamanda basıncı etkiler. Şekil 4.7’de patlayıcı miktarı (TNT bu durumda), standoff mesafesi ve basınç arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Dikkat edilirse, stand off mesafesi arttıkça tepe basıncı azalmakta, patlayıcı miktarı arttıkça ise, bekleneneği gibi, tepe basıncı artmaktadır.

Şekil 4.8 ve 4.9 2024-T0 malzemesinin işlenmesinde standoff mesafesinin ve çevre etkisinin farkını göstermektedir. Şekillerden görüleceği gibi stand off mesafesi arttıkça malzemenin form verilebilmesi için gereken yeterli miktarda basınç, metal plaka yüzeyine ulaşmamaktadır. Dolayısıyla artan stand off mesafesi ile birlikte, malzeme daha az form almıştır. Ayrıca enerji transfer edilen ortam incelendiğinde suyun diğer ara ortamlara göre daha iyi enerji ilettiği ve bu sayede malzemenin daha iyi form aldığı anlaşılabılır [17, 18, 21, 22].

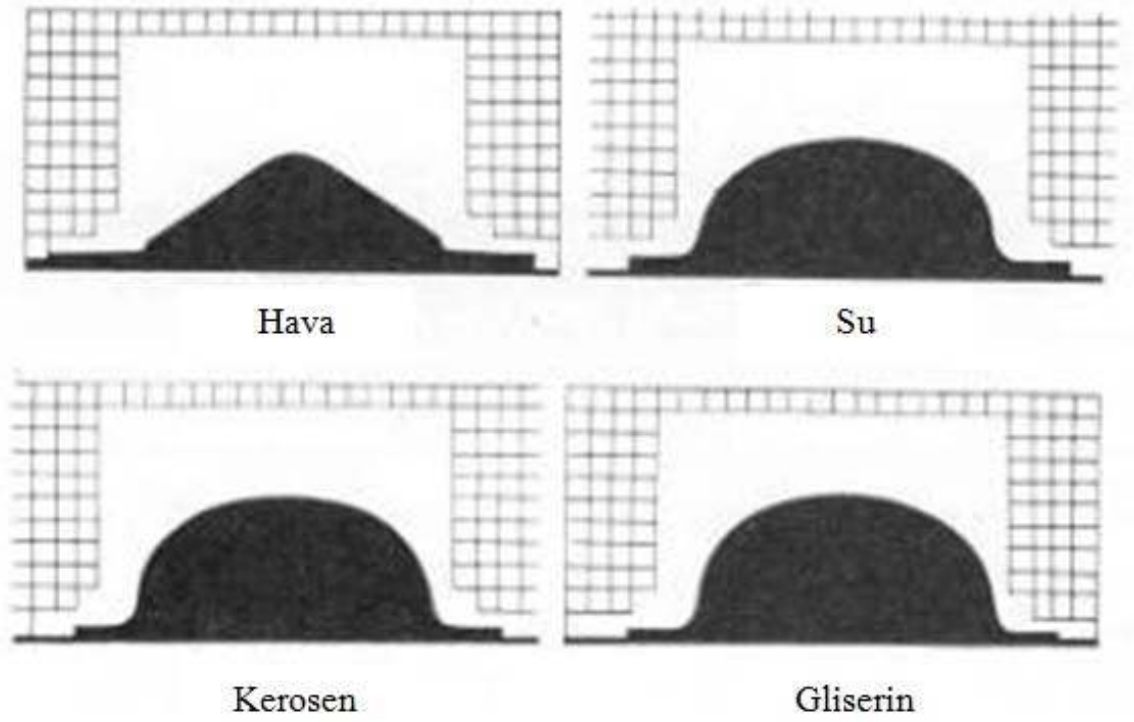
Şekil 4.8 ve 4.9’a bakarak şunu söyleyebiliriz ki bu parçanın patlayıcı yardımı ile form verilmesinde, ½” stand off mesafesinde su kullanımı en idealdir.



Şekil 4.7. Farklı patlayıcı miktarına göre basınç-mesafe ilişkisi [21].

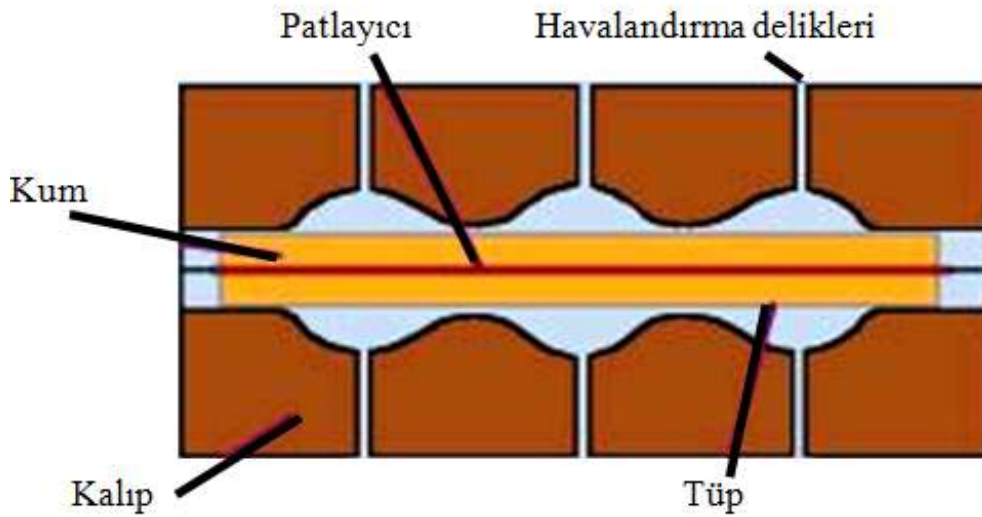


Şekil 4.8. Kep profiline standoff mesafesinin etkisi [21].



Şekil 4.9. Kep profiline ara ortamın etkisi, Standoff mesafesi = 1/2" [21].

Şekil 4.10'da diğer bir tip standoff operasyonu gösterilmiştir. Bu metot tüp şeklindeki parçaların yapımında kullanılabilir [18, 21].

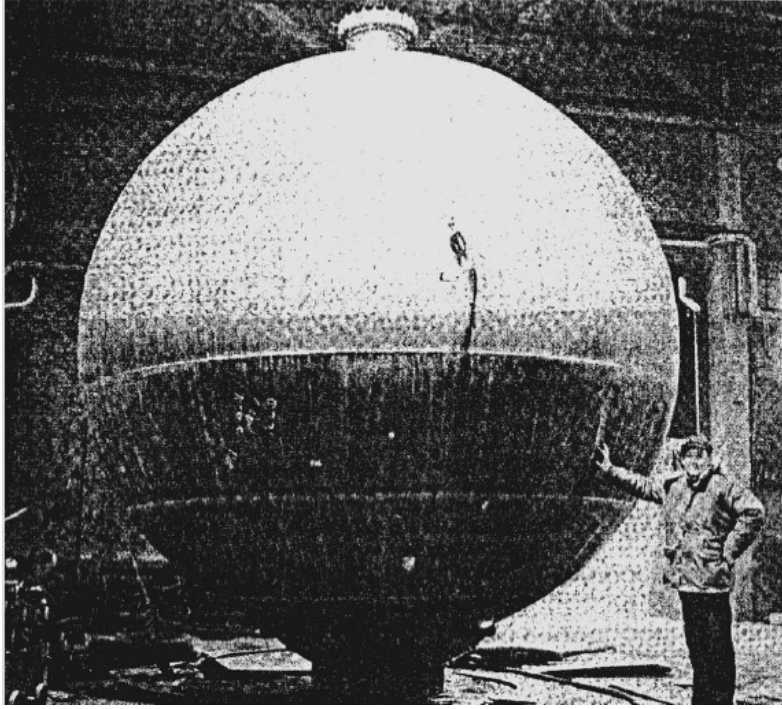


Şekil 4.10. Tüplerin patlayıcı yardımı ile form verilmesi [18, 21].

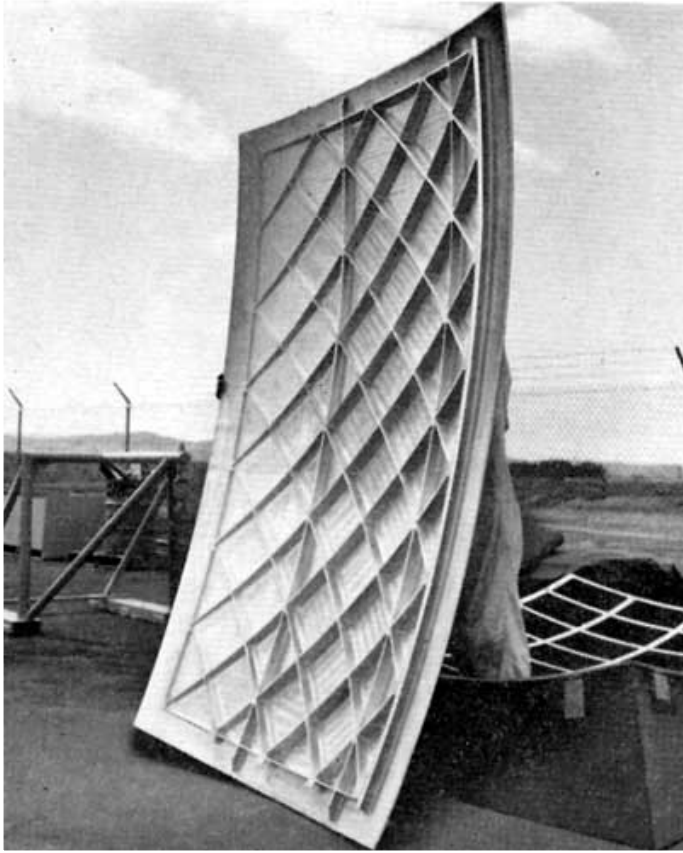
Stand off operasyonu ile normal üretim yöntemleri ile üretilmeleri çok zor olan, büyük ve karmaşık yapıdaki parçalar herhangi bir kaynak işlemi gerektirmeksizin tek seferde üretilebilmektedir. Bu parçaların üretilebilmesi için gerekli olan en önemli ekipmanlardan birisi de form verme tankıdır. Bu tankların büyüklüğü form verilecek parçanın büyüklüğüne göre küçük parçalar için 2-3 feet çapında, büyük parçalar için ise 30 feet çapına kadar olmaktadır. Bu tankların derinlikleri ise 3-15 feet arasında değişmektedir. Tankın duvarları ise çelik plakadan üretilmektedir ve et kalınlıkları 0.25-1 in. arasında değişmektedir. 10-20 feet çapındaki tankların çoğunun duvarlarının et kalınlığı 0.5 in.'dir. Bazı tank duvarları dıştan desteklenmelidir, bazıları ise desteksizdir [21]. Resim 4.2'de patlayıcı yardımı ile form verme işleminde kullanılacak büyük bir su tankı görülmektedir. Resim 4.3 ve 4.4'te patlayıcı yardımı ile form verme tekniği ile üretilmiş iki farklı parça gösterilmiştir [1]. Yine küresel boruların üretiminde de patlayıcı yardımı ile form verme tekniği kullanılmaktadır [3].



Resim 4.2. Büyük patlayıcı yardımı ile form verme tankı [1].



Resim 4.3. Patlayıcı yardımı ile form verme ile üretilmiş küresel tank [1].



Resim 4.4. Saturn V Roket'inin Waffle Panel'i [1].

4.4. Patlayıcı

Patlayıcı yardımı ile form verme, deformasyon için gerekli olan enerjiyi patlayıcının patlamasından elde eden bir metal form verme işlemidir ve patlama sonucu açığa çıkan enerjiyi form verilecek malzemeye iletmek için enerji transfer edebilen bir ara ortama ihtiyacı vardır [23].

Patlayıcılar hızlı kimyasal reaksiyonlar sonucunda büyük miktarda gaz ve ısı açığa çıkaran maddelerdir. Patlayıcılar gaz (oksijen ve asetilen karışımları), sıvı (nitrogliserin) veya katı (TNT) halde olabilir. Patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılan patlayıcılar kimyasal patlayıcılardır [1, 21].

Patlayıcılar iki ana kısma ayrılır; saf patlayıcılar (veya birincil patlayıcılar) ve karışım patlayıcıları (veya yüksek patlayıcılar). Saf bir patlayıcı kimyasal olarak kararsız bir maddedir ve uygulanan bir etki ile hemen ayrışır. Dolayısıyla ayrışma moleküller arası bağların tamamen kopmasını ihtiva eder. Patlayıcı karışımları farklı kimyasal maddeleri ihtiva eder. Dış bir kuvvetin uygulanması bu farklı maddeler arasında kimyasal bir reaksiyon oluşmasına neden olur. Genellikle bir madde oksijen yönünden zengindir, ama bu durum genelleştirilemez. Patlayıcı karışımları gaz, sıvı veya her ikisi de olabilir. Saf patlayıcılar çok hassastır, yüksek patlayıcılara göre çok daha düşük patlama hızları vardır ve çok daha az enerji açığa çıkarırlar. Patlayıcının yakınında, şok dalgasının ilerleme hızı, sudaki akustik hızın, 5000 ft/s, 3-5 katı daha fazladır. Şok dalgasının ilerleme hızı mesafe ile ters orantılıdır. Patlayıcı yarıçapının yaklaşık onda biri kadar bir mesafede şok dalgasının ilerleme hızı, hızla akustik dalga hızına düşer [24, 25].

Patlayıcı yardımı ile form verme işleminde form verilecek plakanın büyüklüğüne göre bir veya bir kaç patlayıcı istenilen miktarda, plakadan belli bir mesafe uzaklığa yerleştirilir. Burada amaç plakanın istenilen formu en az operasyonla alabilmesini sağlamaktır. Bunun için ne kadar patlayıcı gerekiyorsa kullanılır [1].

Patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılan patlayıcıların çoğu nitrojen bileşiklerinden oluşur. Patlama esnasında oksijen nitrojenden ayrılır ve karbon veya hidrojenle birleşir. Dolayısıyla açığa karbon monoksit, karbon dioksit ve su çıkar. Bu

işlem esnasında ise ortaya büyük miktarda ısı açığa çıkar. Çizelge 4.1’de bazı patlayıcıların patlama esnasında açığa çıkarttıkları ısı ve gaz miktarları görülmektedir [26, 21].

Çizelge 4.1. Bazı patlayıcıların patlama esnasında açığa çıkarttıkları ısı ve gaz miktarları [26, 21].

Patlayıcı	Isı (cal/g)	Gaz (cm ³ /g)
Amonyum Nitrat	346	980
Haleite	1276	908
Nitrogliserin	1486	715
PETN	1385	790
Pikrik asit	1000	675
RDX	1300	908
Tetritl	1120	760
TNT	925	730

Yüksek patlayıcılar iki türdür: birincil ve ikincil. Yüksek patlayıcıların çok düşük bir miktarı ki çok çabuk patlar, keplerin (caps) patlatılmasında kullanılır. İkincil patlayıcılar birincil patlayıcılardan daha fazla enerji üretir, fakat daha az hassastır ve sadece ani ve şiddetli bir şokla patlatılabilir. İkincil bir patlayıcının patlaması sonucunda, patlamadan hemen sonra oluşan şok dalgası, patlayıcıyı merkez kabul ederek yayılır. Bu şok dalgasının basıncı $2-3 \times 10^4$ MPa’dır. Bu patlama sonucunda aynı zamanda yüksek ısı da açığa çıkar. Ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve basınçtaki gazın yayılması, patlayıcı yardımı ile form verme operasyonu için gerekli olan enerjiyi sağlar. Açığa çıkan bu gazın hacmi yaklaşık olarak 1000cm³/gr (patlayıcı) ‘dır [1].

Patlayıcı yardımı ile form vermede daha çok ikincil patlayıcılar kullanılır: örneğin PETN (pentaerythritol tetranitrate, C₅H₈N₁₂O₄), TNT (trinitrotoluene, C₇H₅N₃O₆), ve RDX (cyclotrinethylene-trinitramine, C₃H₆N₆O₆). Bunlar çok küçük bir atışta 13.8-22.7 GN/m² basınç oluşturur. Primacord ve plaka patlayıcıları form vermede daha çok kullanılır çünkü bunlar çok kolay kesilebilir. Fakat 10 kg

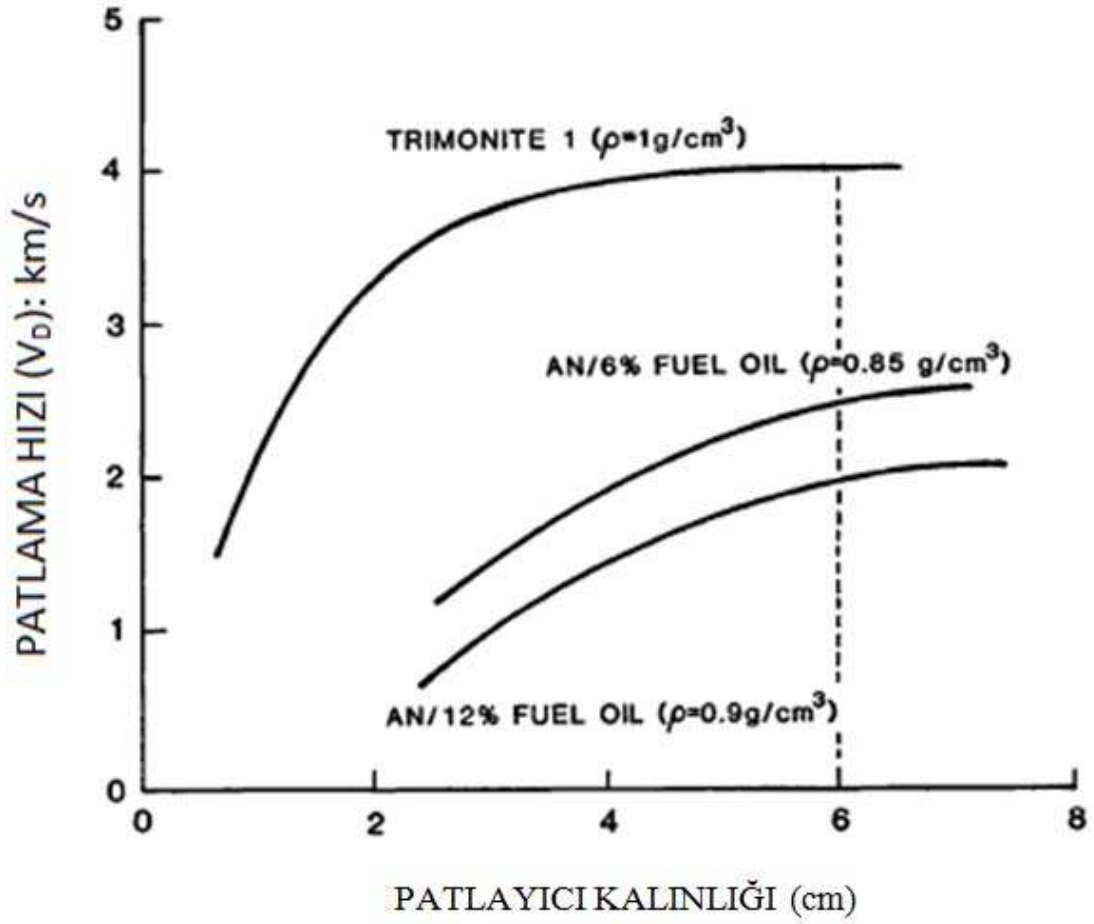
veya daha fazla patlayıcıya ihtiyaç duyulan işlemlerde, bastırılmış veya döküm patlayıcıları daha çok kullanılır çünkü bunlar daha hassas şekilde üretilebilir. İkincil patlayıcılar, birincil patlayıcılara göre daha çok enerjiye sahiptir. Düşük patlayıcı yüksek patlayıcı ve tipik bir form presinin karşılaştırması şu şekilde yapılabilir: 1 kg yüksek patlayıcı 5 kg düşük patlayıcının ürettiği enerjiyi açığa çıkarır, 1.5 kg yüksek patlayıcı 7.5 MN presin açığa çıkardığı enerjiyi üretir. Düşük patlayıcılarda, yanma dış yüzeyden iç kısımlara doğru saniyede birkaç inç hızla ilerler. Yüksek patlayıcılarda ise bu hız 5000-25000 feet/saniye'dir. Düşük patlayıcılar, örneğin barut veya kordit, özellikle tüfek veya roketlerde kullanılır. 0.28 GN/m² bir basınç meydana getirir. Düşük patlayıcılar patlayıcı yardımı ile form vermede fazla kullanılmaz [17, 22].

Askeri amaçlı kullanmak için ve TNT'nin performansını arttırmak için TNT türevleri olarak adlandırılan birçok patlayıcı da patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılabilir. Isı transfer özelliğini arttırmak için TNT'ye alüminyum eklenmesi, oksijen dengesini arttırmak için TNT'ye amonyum nitrat ilavesi bu amaçla yapılan iki farklı uygulamadır [27].

Bir su altı patlaması neticesinde, patlayıcının patlama enerjisi hızla 3000°C'deki sıcak gaza ve 5000Mpa'a kadar şok basıncına dönüşür. Patlama sonucunda elde edilen şok basıncı zamana bağlı olarak hızla düşer [5].

Farklı patlayıcı türlerinin farklı miktardaki kullanımları patlama hızı üzerinden önemli miktarda etkiye sahiptir. Ve patlama hızındaki değişim de form verilecek metal plakanın form verilebilirliğini etkilemektedir. Şekil 4.11'de farklı patlayıcı türleri için patlayıcı kalınlığının ve patlama hızının değişimi gösterilmiştir. Burada AN: amonyum nitrat, trimonite 1 ise amonyum nitrat, TNT ve toz alüminyumdan oluşan bileşimdir [23].

Patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılan patlayıcı türleri değişkendir. Çizelge 4.2'de düşük ve yüksek patlayıcıların tutuşturulması karşılaştırılmıştır, Çizelge 4.3'te ise bazı patlayıcıların özellikleri verilmiştir [17, 18, 21, 27].



Şekil 4.11. Farklı patlayıcı türleri için patlayıcı kalınlığının ve patlama hızının değişimi [23].

Çizelge 4.2. Düşük ve yüksek patlayıcıların karşılaştırılması [17, 18, 21, 27].

Özellik	Yüksek patlayıcı	Düşük patlayıcı
Başlama metodu	Birincil YP: tutuşma, kıvılcım, alev, veya darbe İkincil YP: patlatıcı, veya patlatıcı ve itici bileşimi	Tutuşma
Dönüşme süresi	Mikrosaniye	Milisaniye
Basınç	4,000,000psi'e kadar	40,000psi'e kadar

Çizelge 4.3. Bazı patlayıcıların özellikleri [17, 18, 21, 27].

Patlayıcı	Göreceli güç %TNT	Patlayıcı formu	Patlama hızı, m/s	Enerji, KJ/kg	Maximum basınç, Gpa
RDX (Cyclotrimethylene trinitramine, $C_3H_6N_6O_6$)	170	Sıkıştırılmış granül	8380	1270	23.4
TNT (Trinitrotoluene, $C_7H_5N_3O_6$)	100	Döküm	7010	780	16.5
PETN (Pentaerythritol tetranitrate, $C_5H_8N_{12}O_{14}$)	170	Sıkıştırılmış granül	8290	1300	22.1
Tetryl (Trinitrophenylmethylnitramine, $C_7H_5O_8N_5$)	129	Sıkıştırılmış granül	7835	----	----
Blasting gelatin	99	Cartridge plastik	7985	1220	17.9

4.5. Patlama

Patlama, bir maddedeki orijinal malzemeyi yüksek sıcaklık ve basınçta gaza dönüştüren kimyasal reaksiyondur. Su içinde bir patlayıcı patlatıldığı zaman, suyun içinde patlayıcı merkezinden dışarı doğru yayılan bir dalga oluşur. Buna şok dalgası adı verilir. Patlama sonucu ortaya çıkan dalga türü küresel dalga olarak kabul edilebilir. Küresel bir dalgada, amplitüd dalga radyal doğrultuda ilerledikçe azalır. Şok dalgası basıncı logaritmik olarak azalır ve birkaç milisaniyede sonlanır [24].

Patlama, bir malzemenin içinde meydana gelen ve orijinal malzemeyi yüksek sıcaklık ve basınçta gaza çeviren kimyasal bir reaksiyon olarak adlandırılır. Bu işlem çok kısa bir süre içerisinde meydana gelir ve açığa büyük miktarda ısı çıkar. Açığa çıkan gazın sıcaklığı 3000°C civarındadır, basıncı ise 50000 atm civarındadır. Dolayısıyla bir katı, sıvı veya gaz halindeki patlayıcı malzeme özünde kararsız yapıdaki bir maddedir, fakat kimyasal bir reaksiyona tabi tutulduğunda daha kararlı bir yapıya dönüşür [27].

Su altında bir patlama meydana geldiği zaman, patlayıcının merkezinden dışarıya doğru patlayıcıya özgü bir hızla hareket eden akustik bir dalga oluşur. Bu dalga patlama dalgası olarak adlandırılır. Patlama dalgasının kat ettiği çok kısa mesafelerde, patlayıcı çok yüksek basınçta akkor gaza dönüşür. Patlama dalgasının

önündeki patlayıcı malzeme patlamadan habersiz olarak değişmeden kalır. Örneğin, 400lb ağırlığında 1ft yarıçapında, küresel bir TNT patlayıcı, 40 μ s sürede, yüzlerce ton/in² basınçta akkor gaza dönüşür. Oluşan bu yüksek basınçtaki gaz baloncuğu genişlemeye çalışırken, çevresindeki su kütlesini sıkıştırır. Bu su tabakası bir sonraki su tabakasını sıkıştırır ve bu şekilde suyun içinde sıkıştırma dalgası oluşur ve yayılır. Bu dalga ise birincil basınç dalgası olarak adlandırılır. Patlayıcıdan çok kısa mesafedeki uzaklıklarda, bu birincil basınç dalgasının hızı çok hızlı bir şekilde düşerek sudaki ses hızına eşit hale gelir. Birincil basınç dalgası patlayıcıyı çevreleyen alandan çıktıktan sonra, genel akustik kanunlarına göre hareket eder. Yani dalganın yoğunluğu patlayıcıdan uzaklaştıkça azalır. Çok uzak mesafelerde, dalga sadece bir ses olarak kalır. Su altı patlamalarının en ilgi çekici özelliklerinden bir tanesi basıncın her zaman pozitif oluşudur. Bu havada meydana gelen patlamalardan farklıdır, çünkü havada meydana gelen patlamalarda pozitif basınç fazından sonra emme fazı oluşur [28].

Birincil basınç dalgası dışarı doğru hareket ederken, orijinal gaz baloncuğunun devam eden sıkışma ve genişlemesi sonucunda yeni basınç dalgaları oluşur. Bu dalgalar ikincil basınç dalgaları olarak adlandırılır. Fakat bu işlem, birincil basınç dalgasının oluşumundan daha yavaş oranlarda oluşur. Oluşan basınç dalgalarının basıncı da birincil basınç dalgasının basıncından daha düşüktür. İkincil basınç dalgalarının oluşumu sonsuza kadar sürmez. Orijinal gaz baloncuğunun her sıkışma ve genişlemesi sonucunda enerji harcanır ve her yeni oluşan ikincil basınç dalgası bir öncekine göre daha az enerjiye sahip olarak oluşur. Bu işlem orijinal gaz baloncuğu daha küçük gaz baloncuklarına ayrışana kadar devam eder. Sonuçta bu oluşan küçük gaz baloncukları su yüzüne çıkar [28].

Bir patlayıcı patladığı zaman dışarıya doğru çok büyük basınç uygular. Her ne kadar su sıkıştırılmaz olarak düşünülse de, bir miktar hacim değişimi vardır. Su patlama neticesinde sıkıştırılır ve yüksek radyal hız kazanır. Su bu durumda sıkıştırılabilir olduğu için, ortaya çıkan dalga yaklaşık olarak akustik hızda ilerler. Bu hız, basınç, sıcaklık ve yoğunluğa göre değişir. Dalga ilerleme oranı, sudaki akustik hız olarak alınabilir. Akustik hız genellikle 5000 ft/s olarak alınabilir. Akustik hızda hareket eden bu dalgaya şok dalgası adı verilir. Şok dalgasının patlayıcı yakınlarındaki

karakteristiği hakkında fazla bilgi yoktur. Bunun sebebi patlayıcı yakınlarındaki şok dalgasının karakteristiğini açıklayacak denklemlerin bulunamamış olmasıdır. Patlayıcı yardımı ile form vermede genellikle stand-off operasyonu kullanıldığı için, ilgili denklemlerin bulunamamış olması çok sorun yaratmamaktadır. Stand-off operasyonu için elde edilen deneysel formüller patlayıcı yarıçapının 10-100 katı uzaklıktaki stand-off mesafelerinde oldukça iyi sonuçlar vermektedir [24].

Patlamada elde edilen basıncın, form verilecek plakaya etkisinin nasıl olacağına dair birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular göstermiştir ki, patlayıcının türü, miktarı, şekli, stand off mesafesi, kullanılan ara ortamın cinsi gibi birçok parametre patlayıcı yardımı ile form vermede, form verilecek metal plakanın form verilebilirliğini etkilemektedir.

4.6. Kalıp Malzemeleri

Kalıp malzemeleri aşağıdaki kriterlere göre seçilir:

- Üretim Zamanı
- Tip ve işlenecek malzemenin kalınlığı
- Konfigürasyon (radyus, cep derinliği, yatak, vs.)
- Bitmiş parçada istenen tolerans
- Patlayıcı miktarı
- Standoff mesafesi

Patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılan kalıplarda karşılaşılan zorluklar normal kalıp üretiminde karşılaşılan zorluklarla aynıdır. Eğer kalıbın akma sınırı işlenecek malzemenin akma sınırından fazla ise, malzemenin işlenmesi ve istenilen şekle sokulması çok zordur [18].

Eğer az sayıda parça kullanılacak ve kalıptan az sayıda parça çıkacaksa Kirksite veya Fiberglas gibi malzemeler kullanılabilir. Çizelge 4.4'te patlayıcı yardımı ile form vermede kullanılan kalıpların malzemeleri ve kullanım alanları gösterilmektedir [17, 21, 22].

Çizelge 4.4. Genel kalıp malzemeleri

Kalıp Malzemesi	Uygulama Alanı
Kirksite	Düşük basınç ve az parça
Fiberglass ve Kirksite	Düşük basınç ve az parça
Fiberglass ve Çimento	Düşük basınç ve az parça
Epoxy ve Çimento	Düşük basınç ve az parça
Sünek Demir	Yüksek basınç ve çok parça
Çimento	Orta basınç ve büyük parça

Kalıp malzemesinin seçimi, servis süresine, üretilecek toplam parça miktarına, istenilen yüzey pürüzlülüğüne ve toleransa bağlıdır. Çok az miktardaki parça için veya kalıp tasarımını bitirmek için veya ısıtılma işlem gereksinimlerinin ara aşamalarında, beton gibi mukavemeti düşük, pahalı olmayan malzemeler kullanılabilir. Fakat eğer küçük patlayıcı kuvvetleri kullanılacaksa, cam elyaf emdirilmiş epoxy reçineler kalıp malzemesi olarak kullanılabilir. Daha büyük parçalar için çelik kalıplar kullanılabilir. Eğer çok sayıda parça üretilecekse o zaman daha dayanıklı malzemeler kullanılmalıdır. Sünek dökme demir, yüksek basınç yoğunlukları ve sık kullanım için uygundur. Dökme çelik kullanımı ile daha fazla sayıda parça üretilebilir fakat yüzey pürüzlülüğü kötüdür. Hem iyi yüzey pürüzlülüğü hem de fazla miktarda parça üretimi sağlamak istenirse, o zaman kalıp çeliği kullanmak uygun olur [1].

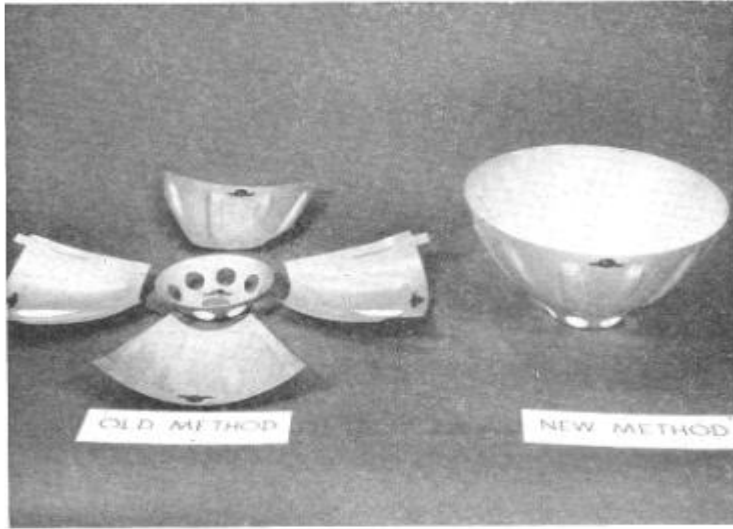
4.7. Maliyet ve Uygulanabilirlik

Metallere form verebilmek için plastik deformasyonun olması gerekmektedir ve uygulanan gerilimin malzemenin akma sınırından fazla, ama kırılma sınırından az olması gerekmektedir. Malzemeye form verebilmek için gerekli olan gerilim, sıcaklık ve/veya gerilim oranı değiştirilerek değiştirilebilir [23].

Patlayıcı yardımı ile form verme normal şartlarda üretimi zor olan parçaların imalatında kullanılır. Çok karmaşık parçaların (örneğin Resim 4.5) üretimi patlayıcı yardımı ile çok kolay olur ve bu sanayi için çok büyük bir avantajdır. Fakat patlayıcı yardımı ile form verme diğer imalat tekniklerinin yerine kullanılır diyemeyiz. Genel

olarak seri üretimdeki bir parça için patlayıcı yardımı ile form verme maliyeti normal şartlardaki maliyetten daha fazladır. Patlayıcı yardımı ile form verme şu şekilde karakterize edilebilir [18, 21]:

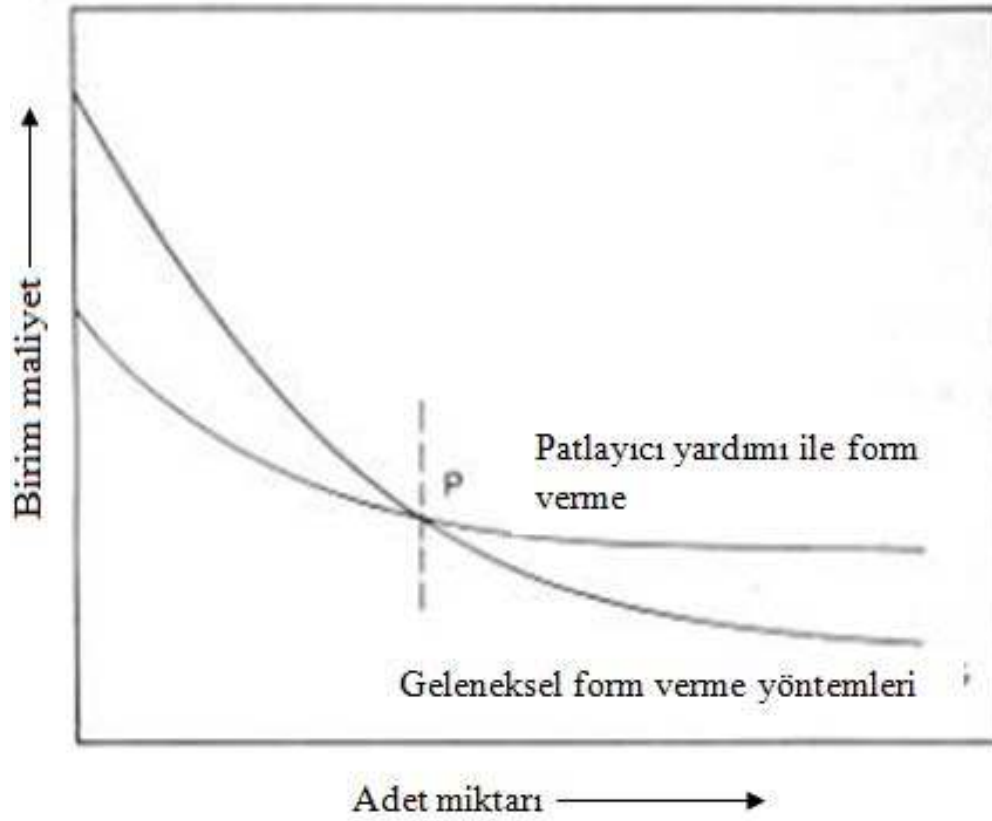
- Çok büyük ve kompleks şekillerdeki plakalar
- Düşük malzeme fiyatı fakat yüksek işçi maliyeti.
- Az sayıdaki parçanın üretimi için uygundur.
- Çok fazla zaman kaybı.



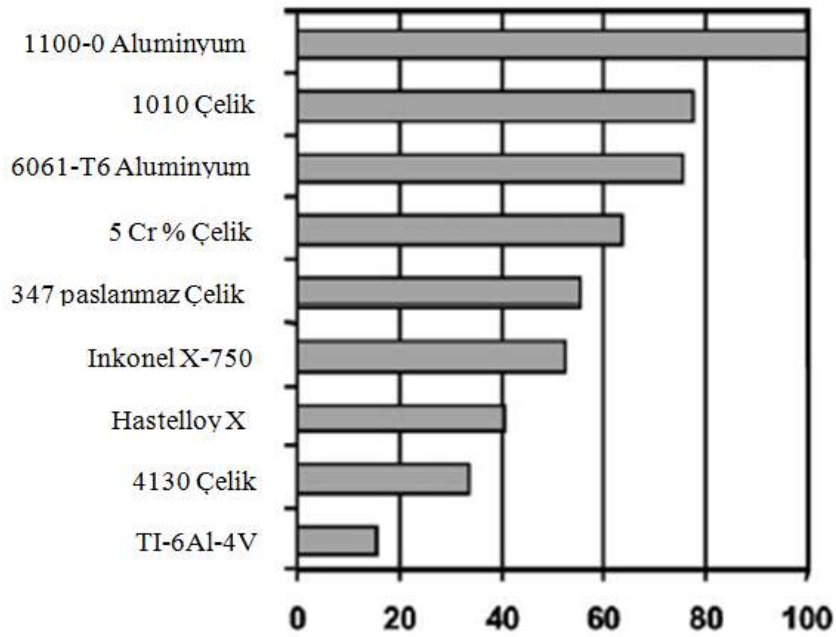
Resim 4.5. Soldaki normal yollarla, sağdaki patlayıcı yardımı ile üretilmiş parçalar

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi belli bir P noktasında parçayı patlayıcı yardımı ile üretmek normal şartlardaki üretimden daha az maliyetlidir. Bu daha çok, az malzeme kullanılmasından dolayıdır. Dolayısıyla, patlayıcı yardımı ile form verme normal şartlardaki üretimden maliyet yönünden daha cazip olabilir. Fakat bu noktadan sonra normal şartlardaki imalat yöntemleri daha ucuzdur. Patlayıcı yardımı ile form vermenin seri üretimdeki kullanımı çok düşüktür [18].

Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği ile başta alüminyum olmak üzere, çelik, titanyum vb. gibi malzemelere çok rahatlıkla form verilebilir. Şekil 4.13’de farklı malzeme türlerine patlayıcı yardımı ile form verilebilirliği gösterilmiştir [1].



Şekil 4.12. Genel maliyet karşılaştırma eğrisi



Şekil 4.13. Farklı malzemelerin patlayıcı yardımı ile form verilebilirliği

4.8. Enerji Transfer Edilen Ortam

Patlayıcı yardımı ile form vermede patlayıcıdan metal plakaya iletilen enerji miktarını tahmin etmek çok önemlidir. Belirli bir miktarda ve türde patlayıcı için, enerji transferinin verimliliği, çoğunlukla, patlayıcı ile metal plakanın yerleşim konfigürasyonuna ve ara ortama bağlıdır. Ara ortam olarak çoğu zaman su kullanılır çünkü su diğer birçok ara ortama göre enerjiyi daha iyi iletir. Ara ortam hava olduğu zaman elde edilen verim %4 iken su olduğunda %33'e çıkmaktadır. Suyun haricinde ara ortam olarak hava, gliserin, kerosen, kum gibi farklı malzemeler de kullanılır [20].

Bir metal plakaya form verme esnasında, su altında kimyasal patlayıcı patlatılır ve yüksek basınç altında bir gaz baloncuğu üretilir. Bu gaz baloncuğundan çevredeki suya doğru öncü bir şok dalgası ilerler. Patlayıcıdan çok kısa bir mesafe uzaklıkta, bu öncü şok dalgası patlayıcının toplam enerjisinin %50'sini taşır. Bu gaz baloncuğu, iç basıncı çevredeki suyun basıncının altına düşene kadar genişler. Sonunda bu genişleme durur ve baloncuk en küçük boyutlarına gelene kadar küçülür. Boyuttaki bu küçülme, baloncuk içindeki basıncın artmasına sebep olur. Bu basınç yeteri kadar arttığında, boyuttaki küçülme durur. Fakat bu durumda iç basınç çevredeki suyun basıncından yüksek olur ve baloncuk tekrar genişlemeye başlar. Bu ikinci genişlemenin başlangıcında, suda ikinci bir şok dalgası oluşur. Baloncuk her defasında en küçük boyutlarına geldiğinde, yeni bir şok dalgası yayılır. Her bir şok dalgası bir önceki şok dalgasına kıyasla daha küçük miktarda enerji taşır ve metal plakanın form verilmesine daha az katkısı olur [1].

Su altı patlamasında meydana gelen enerji transferinin karmaşık doğası nedeni ile henüz matematiksel bir formül bulunamamıştır. Fakat metal plakaya iletilen toplam enerjiyi yaklaşık olarak hesaplamada kullanılan üç farklı metot geliştirilmiştir;

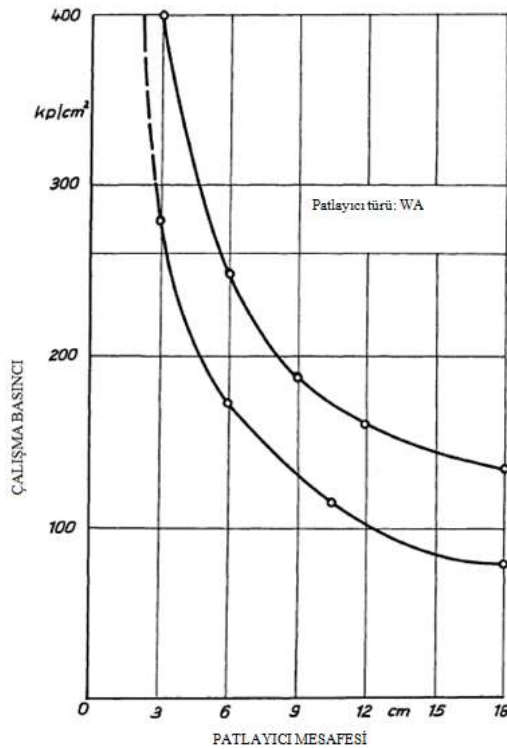
- 1) Geometrik metot: Patlayıcının spesifik enerjisine ve metal plakanın patlayıcıya göre konfigürasyonuna dayanır.
- 2) Enerji metodu: Su altı patlamaları sonucu elde edilen deneysel enerji yoğunluğu formülüne dayanır. Enerji yoğunluğunun metal plaka alanı

üzerinden integrali alınır. Bu metodun kullanımı, deneysel enerji sabitleri belirlenmiş patlayıcı türleri ile sınırlıdır.

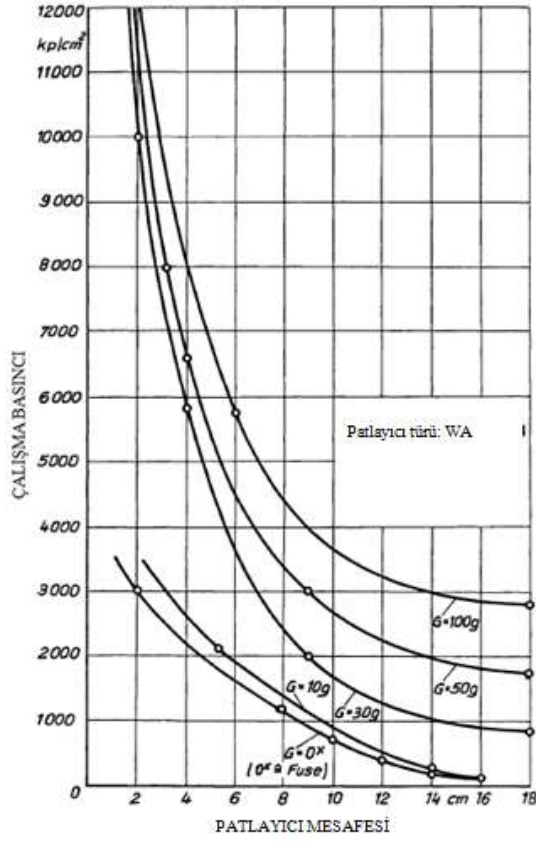
- 3) İmpuls metodu: Bu metotta da yine su altı patlamaları sonucunda oluşan şok dalgalarının basınçlarının ölçümü sonucunda elde edilen deneysel formül kullanılır. Bu metod sadece ara ortamın su olduğu durumlarda kullanılabilir.

Tepe basıncını belirlemede önemli bir faktör, enerji transfer edilen ortamın sıkıştırılabilirliği ve akustik impedansdır (akustik impedans=yoğunluk x ortamdaki ses hızı). Sıkıştırılabilirlik ne kadar düşükse, ortamın yoğunluğu o kadar fazladır, dolayısı ile tepe basıncı da fazladır [1].

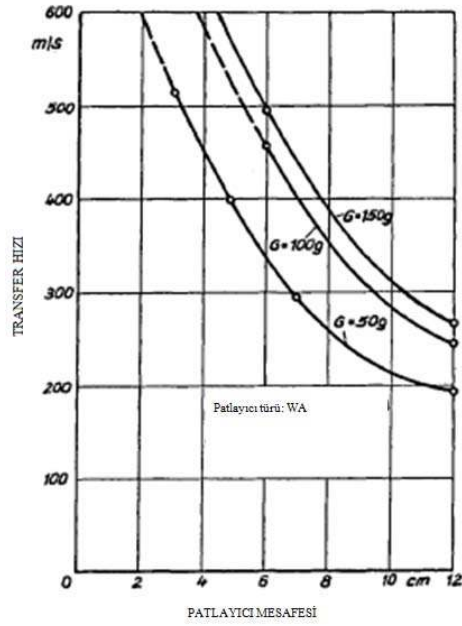
Şekil 4.14, 4.15 ve 4.16’da farklı ara ortamlarda (sırasıyla hava, su ve kuru kum) elde edilen basıncın stand off mesafesine göre değişimleri görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı gibi stand off mesafesi arttıkça basınçta ciddi düşme meydana gelmektedir, patlayıcı kütlesi arttıkça basınçta orantılı olarak artmaktadır [23].



Şekil 4.14. Basınç-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: hava) [23].

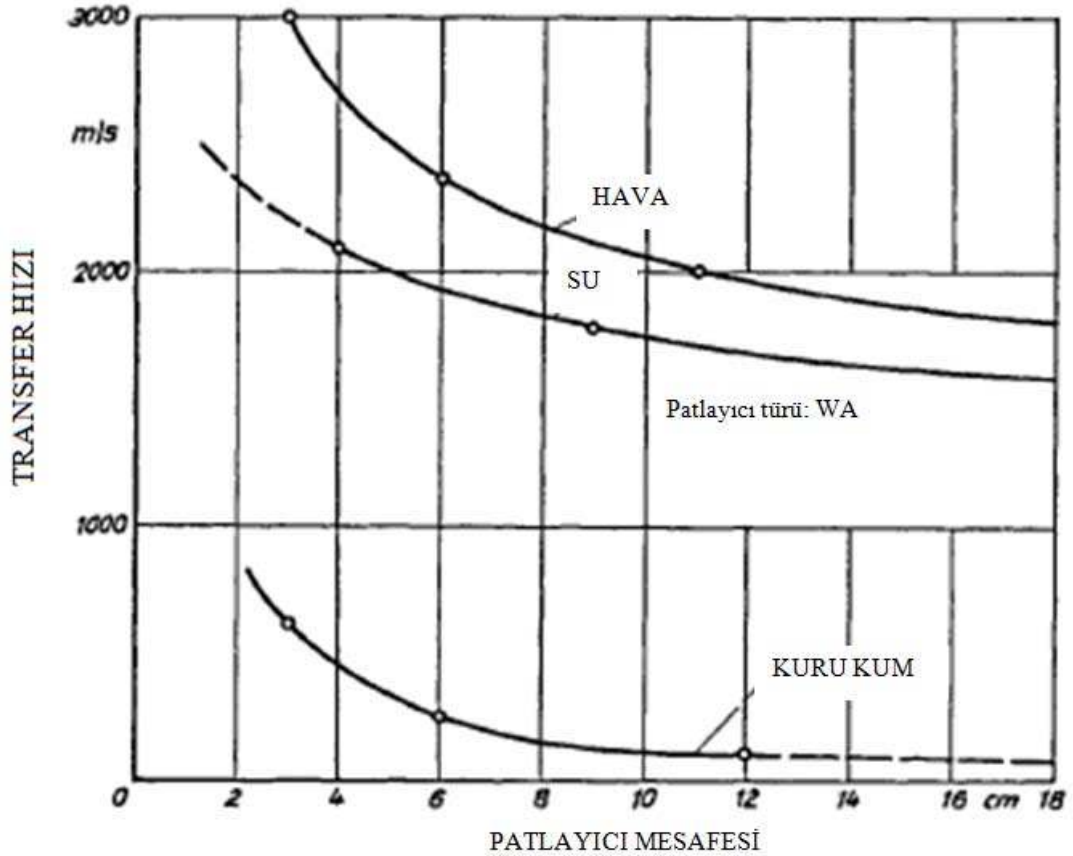


Şekil 4.15. Basınç-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: su) [23].



Şekil 4.16. Transfer hızı-patlayıcı uzaklığı grafiği (ara ortam: kuru kum) [23].

Şekil 4.17’de ise farklı ara ortamlarda aynı miktardaki patlayıcının transfer hızına etkisi gösterilmektedir. Dikkat edilirse transfer hızı en fazla havadadır. Ve patlayıcı uzaklığı arttıkça da transfer hızı bütün ara ortamlarda azalmaktadır [23].



Şekil 4.17. Transfer hızı-patlayıcı uzaklığı grafiği (farklı ara ortamlarda 50 gr patlayıcı) [23].

4.8.1. Akışkanlardaki ses hızı

Bir akışkandaki ses hızı basınç, impuls ve enerjinin iletilmesinde önemli ve belirleyici rol oynar. Ses hızı ile basınçtaki küçük ani bir değişimin akışkanın bir bölümünden diğer bölümüne iletilirken ki karakteristik hızı kastedilmektedir. Her bir akışkan kendine has bir ses hızına sahiptir ve bu sıkıştırılabilirlik, sıcaklık ve yoğunluk ile değişir. Bazı akışkanların ses hızı Çizelge 4.5’te gösterilmiştir [21].

Çizelge 4.5. Bazı akışkanların ses hızı [21].

Akışkan	Sıcaklık (°C)	Ses Hızı (feet/saniye)
Hava	20	1129
CO ₂	0	846
H ₂	0	4165
Saf Su	19	4794
Alkol	21	3890
Yağ	15	4351

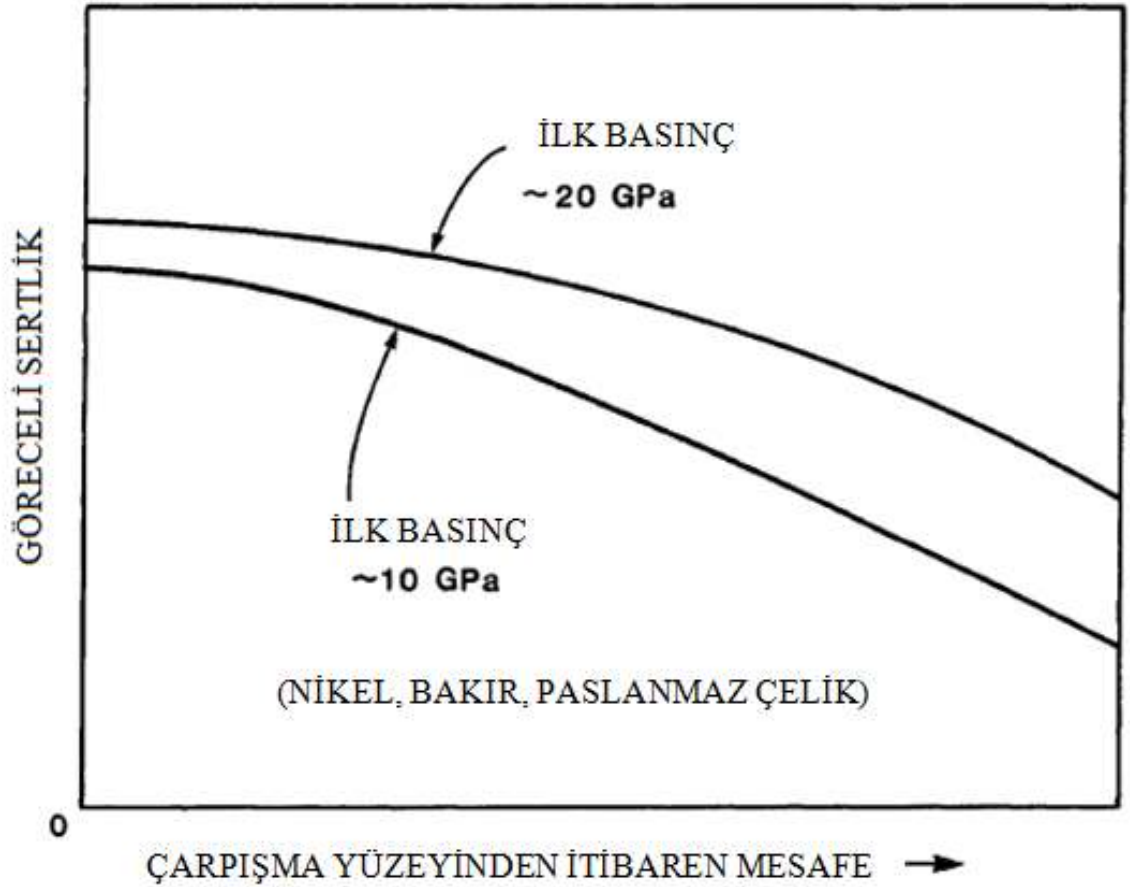
4.9. Patlayıcı Yardımı ile Form Verme Sonucunda Elde Edilen Toleranslar

Patlayıcı yardımı ile form vermede elde edilen toleranslar geleneksel üretim metotları ile elde edilen toleranslara eşit hatta bulardan daha iyidir. Bir kalıpla form verme operasyonunda patlayıcı kütlesi ve standoff mesafesi değiştirilerek springback belli oranda kontrol edilebilir. Patlayıcı kütlesini arttırarak veya standoff mesafesini azaltarak basıncı dolayısıyla parça tarafından hissedilen deformasyonu arttırabiliriz. Bu şekilde, parça tarafından hissedilen ilave deformasyon, parçanın elastik olarak geri kazanımına eşit olacak ve sonuçta elde edilen parça boyutları elastik olarak form verilmiş parçanın ölçülerine yakın olacaktır [1].

Patlayıcı yardımı ile form verme neticesinde meydana gelen mekanik özelliklerdeki değişim, diğer geleneksel üretim teknikleri sonucu meydana değişimlerle uyumludur. Nikel alaşımlar ve 300 serisi paslanmaz çeliklerin patlayıcı yardımı ile form verilmesi neticesinde sünekliğin azaldığı, mukavemet ve sertliğin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmalar östenitik paslanmaz çelik, Hadfield çeliği, Nikel ve molibden gibi soğuk şekillendirilen metaller için patlayıcı yardımı ile form vermenin uygun bir yöntem olduğunu göstermiştir. Kaynak yapılmış veya ısıtıl işlem uygulanmış

dolayısıyla mukavemeti azalıp yumuşayan metallere patlayıcı yardımı ile form verildiğinde eski mekanik özellikleri tekrar kazandıkları görülmüştür. Patlayıcı yardımı ile form verme tekniği ile dövme işlemi de yapılabilmektedir. Eğer parçada keskin hatlar yoksa alüminyum alaşımlarının patlayıcı yardımı ile dövülebildiği görülmüştür [20].

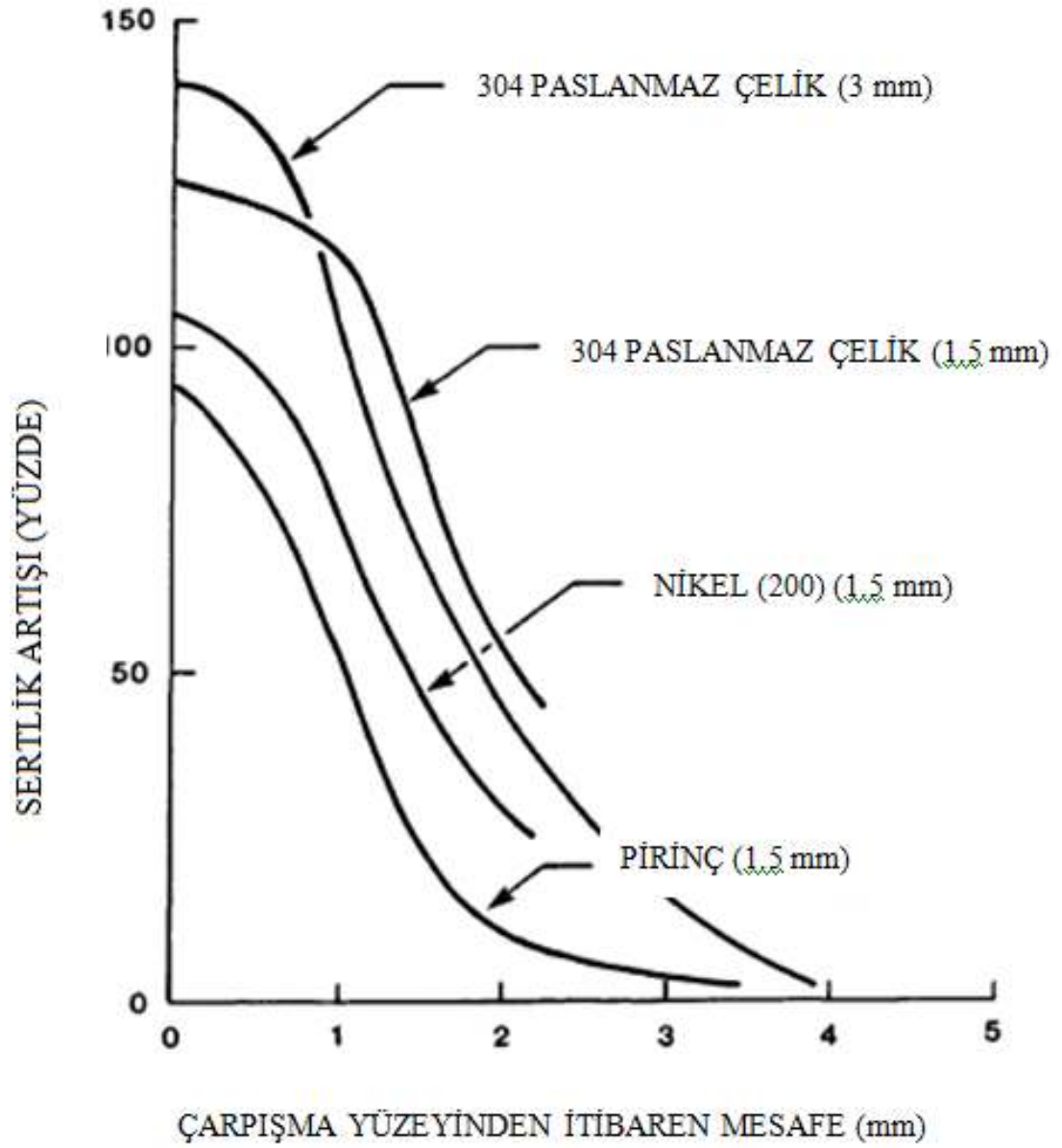
Sertlik ve akma mukavemeti birbirleri ile ilişkili iki malzeme özelliğidir. Herhangi bir malzemedan bir patlama neticesinde şok dalgası geçtiğinde bu iki özellik artar. Şekil 4.18’de çarpışma yüzeyinden uzaklaştıkça, sertlik ve basınçta meydana gelen değişim gösterilmiştir [23].



Şekil 4.18. Çarpışma yüzeyinden uzaklaştıkça, sertlik ve basınçta meydana gelen değişim [23].

Özellikle ilişki operasyonunda, patlayıcı form verilecek metal plakanın üzerine konulduğu için, metal plakanın sertliği, stand off operasyonu sonucu elde edilen form

verilmiş metal plakanın sertliğinden daha fazladır. Şekil 4.19’da bununla ilgili yapılan bir deneyin grafiği gösterilmiştir [23].



Şekil 4.19. Patlayıcının malzemenin yüzeyine konulmasıyla yapılan patlama işlemi sonucunda malzemedeki sertlik değişimi. Kullanılan patlayıcı: Datasheet C; $\rho=1.45 \text{ gr/cm}^3$, $V_D=7200 \text{ m/s}$ [23].

4.10. Patlayıcı Yardımı ile Form Verme ve Diğer Metal Form Verme Teknolojilerinin Karşılaştırılması

Patlayıcı yardımı ile form vermenin avantajları şu şekilde sıralanabilir [20]:

1. Geleneksel metotlarla üretilmeyen parçalar patlayıcı yardımı ile form verme metodu ile üretilir.
2. Elde edilen toleranslar çok iyidir.
3. Üretim yöntemi sebebi ile parçadan parçaya meydana gelen değişiklikler minimuma indirilir.
4. Hurdaya çıkma oranı çok azdır.
5. Daha az ekipman ve kalıpla üretim imkânı

Çizelge 4.6’da farklı metal form verme tekniklerinin, malzeme açısından üretim olanakları karşılaştırılmıştır. Bu teknikler arasındaki temel fark, kuvvetin nasıl uygulandığı ve bu kuvvetin form verme esnasında nasıl değiştiğidir [21].

Çizelge 4.6. Farklı metal form verme tekniklerinin, malzeme açısından üretim olanakları karşılaştırılmıştır [21].

Metal Form Verme Tekniği	Üretim olanakları
Patlayıcı yardımı ile form verme	Sınırsız! İstenilen miktarda ve şekilde patlayıcı kullanılabilir.
Derin çekme	Plaka kalınlığı ve boyutu, presin boyut ve kapasitesine bağlıdır. Genel olarak 3x2 m’ye kadar olan plakalar derin çekme işlemine tabi tutulur. Isıtma ile daha kalın plakalar derin çekilebilir.
Çekerek form verme (Stretch forming)	Kalınlığı 5 mm’den küçük plakaların form verilmesinde kullanılır.
Süperplastik form verme	Keskin detaylara sahip derin parçaların üretiminde kullanılır.

Çizelge 4.7’de farklı metal form verme tekniklerinin maliyetleri ve ürün özellikleri karşılaştırılmıştır. Burada ilk maliyet, kalıp üretim maliyeti ve prosesin geliştirilmesi için gerekli maliyettir. Üretim maliyeti ise bir parçanın üretimi için gerekli maliyettir. + iyi, - kötü ifadesi yerine kullanılmıştır [17].

Tablolardan da anlaşılabacağı gibi patlayıcı yardımı ile form verme tekniği, diğer geleneksel üretim yöntemlerine göre, üretim maliyeti açısından dezavantajlı, ilk maliyet, hatasızlık, incelme ve süneklik gibi kriterler açısından avantajlıdır. Üretim maliyetinin fazla olması açısından patlayıcı yardımı ile form verme tekniği seri üretim parçaları için değil de daha çok sınırlı sayıda ve çok büyük, dolayısıyla dişi ve erkek kalıp üretiminin çok maliyetli olacağı parçaların üretiminde tercih edilmektedir.

Çizelge 4.7. Farklı metal form verme tekniklerinin maliyetleri ve ürün özelliklerinin karşılaştırılması [17].

Form verme tekniği	Maliyet		Ürün Özellikleri		
	İlk Maliyet	Üretim Maliyeti	Hatasızlık	İncelme	Süneklik
Döndürerek Form Verme	+	+	-	--	-
Kavçukla Bastırarak Form Verme	+	+	0	0	+
Hidroforming	+	+	0	+	+
Patlayıcı Yardımı İle Form Verme	+	-	+	+	+
Derin Çekme	--	++	0	-	0
Çekerek Form Verme	0	-	++	-	0
Süperplastik Form Verme	-	--	+	--	0

Çizelge 4.8’de farklı metal form verme tekniklerinin deformasyon hızları gösterilmektedir [29].

Çizelge 4.8. Farklı metal form verme tekniklerinin deformasyon hızlarının karşılaştırılması [29].

Proses	Deformasyon hızı (m/s)
Çekme testi	10^{-6} - 10^{-2}
Hidrolik pres	2×10^{-2} - 3×10^{-1}
Boru (tüp) çekme	5×10^{-2} - 5×10^{-1}
Plaka yuvarlama	5×10^{-1} -25
Dövme	2-10
Tel çekme	5-40
Yüksek hızda dövme	20-50
Patlayıcı yardımı ile form verme	30-200

4.11. Patlayıcı Kullanılarak Yapılan Diğer İşlemler

Patlayıcı yardımı ile form vermenin birçok diğer türleri vardır. Bunlardan bazıları:

- Patlayıcı yardımı ile kaynak
- Patlayıcı yardımı ile kesme
- Patlayıcı yardımı ile toz halinde form verme
- Patlayıcı yardımı ile plaka laminasyonu
- Patlayıcı yardımı ile kaplama
- Patlayıcı yardımı ile gerilim giderme
- Patlayıcı yardımı ile sıkıştırma
- Patlayıcı yardımı ile temizleme

4.11.1. Patlayıcı yardımı ile kaynak

Bir metal levha başka bir metal levhaya yakın olacak şekilde yerleştirilir. Patlama sonrasında her iki plaka birbirine kaynar. En çok kullanılan çeşidi iki metal plakanın kaynağıdır. Diğer çeşitler ise iki tüpün kaynatılması, metal kabloların birleştirilmesi, lokal kaynak.

Avantajları: Farklı özellikteki malzemeler kaynatılabilir (örneğin alüminyum ve titanyumun çeliğe kaynatılması); kaynaklar çok geniş ve ulaşılması zor alanlarda yapılabilir.

4.11.2. Patlayıcı yardımı ile sıkıştırma

Bir tüp tozla doldurulur. Tüpün etrafına patlayıcı malzeme konur ve patlatılır. Yüksek basınçtan dolayı toz katı hale gelir. Erozyon makinesi sayesinde malzeme kesilebilir. Bu yöntemle sıkıştırılması zor olan tozlar sıkıştırılır.

4.11.3. Patlayıcı yardımı ile kesme

V şeklindeki bir metalin etrafına patlayıcı yerleştirilir. En yüksek noktada metal iyice sıkıştırılır.

Avantaj: Kesmeler çok ani şekilde ve ulaşılması zor yerlerde yapılabilir.

4.11.4. Patlayıcı yardımı ile sertleştirme

Bir metal ürün bir şok dalgası ile sıkıştırılır. Metal kristaller lokal olarak sıkıştırılır ve sertleştirilir.

Avantaj: Saf metaller sertleştirilebilir, çok büyük yüzeyler sertleştirilebilir, lokal sertleştirme yapılabilir. Diğer tekniklerle birlikte çalışma mümkündür.

4.11.5. Patlayıcı yardımı ile gerilim giderme

Bir patlayıcının patlaması ile şok dalgası gerilimi çok olan yüzeye çarpar. Şok dalgasında metal sıkıştırılır ve çekmeler dışa atılır. Şok dalgası geçtikten sonra, metal elastik bir springback gösterir.

Avantaj: büyük yapılar ve ulaşılması zor yerlerde yapılabilir.

4.11.6. Patlayıcı yardımı ile temizleme

Patlama sonucunda yüzeydeki zayıf partiküller atılır.

Avantaj: Ulaşılması zor yerlerdeki istenmeyen partiküller temizlenebilir.

4.11.7. Patlayıcı yardımı ile kaplama

Bir metal veya seramik tozu büyük bir kanona yerleştirilir. Patlama sonucunda tozlar çok yüksek sıcaklıkta ve hızda yüzeye yapışır.

Avantaj: Özel kaplamalar yapılabilir

Resim 4.6, 4.7, ve 4.8’de patlayıcı kullanılarak yapılan çeşitli işlemler görülmektedir.



Resim 4.6. Alüminyum plaka üzerine madeni paraların patlayıcı yardımı ile engrave edilmesi



Resim 4.7. Alüminyum plaka üzerine madeni paraların patlayıcı yardımı ile engrave edilmesi

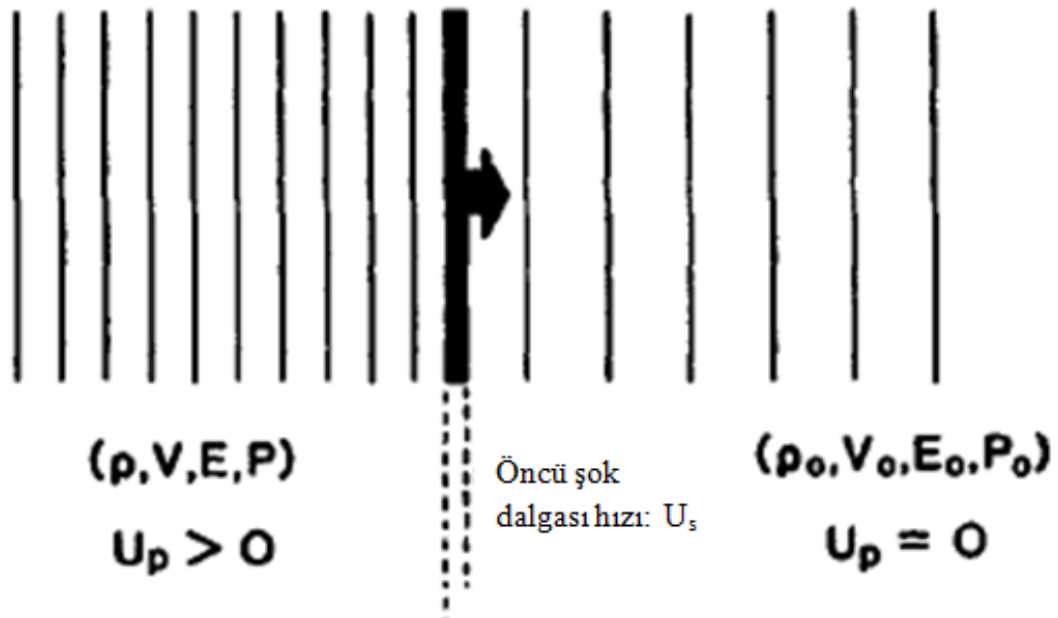


Resim 4.8. Patlayıcı yardımı ile detonografi (metal fosillerin kopyalanması için kullanılan bir metot)

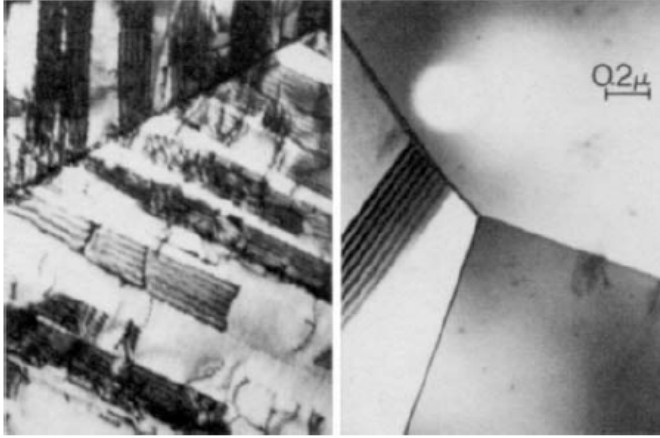
4.12. Şok Dalgasının İncelenmesi

4.12.1. Rankine-Hugoinot denklemleri

Bir patlama sonucu meydana gelen şok dalgası, malzemeye ulaşır malzemede ilerlemeye başladığı zaman, malzemeyi “deforme olmuş” ve “deforme olmamış” olarak iki kısma ayırır. Şok dalgası ilerlediği bölgeleri deforme olmuş ve sıkışmış bir halde terk eder ve daha önce deforme olmamış bölgelere şok dalgası hızı (U_s) ile ilerler. Dolayısıyla aşağıdaki şekilde görüldüğü gibi şok dalgasının sağında ve solunda kalan alanlar farklı yoğunluk, iç enerji ve özgül hacimlere sahiptir. Şok dalgasının solunda (arkasında) kalan bölgedeki malzeme U_p hızı (parça hızı) ile hareket ederken, sağında (önünde) kalan kısımdaki parça hızı sıfırdır. Şok dalgasının arkasında kalan kısım yüksek basınçlı bir bölge olduğu için $\rho > \rho_0$ ve $E > E_0$ ‘dur. Çoğu durumda şok dalgasının önünde kalan deforme olmamış bölgede basınç sıfırdır [21, 23].



Şekil 4.20. Şok dalgasının bir malzemedeki ilerleyişi [21, 23]



Resim 4.9. 15 GPa tepe basınçlı bir şok dalgasının, 304 paslanmaz çelik bir malzemede ilerlerken, şok dalgasının önünde ve arkasında kalan bölgelerin elektron mikroskobundaki görüntüsü [23]

Kütlenin korunumu:

İki boyutlu düzlemde çalıştığımızı düşünürsek, şok dalgasının önünde kalan deforme olmamış bölgedeki malzemenin şok dalgasına doğru $U_s - U_p$ hızı ile ilerlediği düşünülebilir. Şok dalgasını malzemenin içinde ilerleyen bir düzlem olarak düşünürsek, bu düzleme giren ve çıkan kütlenin eşit olması gerekmektedir [30].

$$(U_s - U_p) \rho = U_s \rho_0 \quad (4.1)$$

Momentum korunumu:

$$(P - P_0) \rho = U_p U_s \rho_0 \quad (4.2)$$

Enerji korunumu:

$$(E - E_0) = (P + P_0) (V_0 - V) / 2 \quad (4.3)$$

Özgül hacimleri ise şu şekilde ifade edebiliriz;

$$V = 1/\rho \quad (4.4)$$

$$V_0 = 1/\rho_0 \quad (4.5)$$

Denklemleri tekrar düzenleyip özgül hacimleri yerine koyarsak şok dalgası hızı ve parça hızı ile alakalı aşağıdaki denklemleri elde ederiz.

$$U_s = V_0((P-P_0)(V_0-V))^{1/2} \quad (4.6)$$

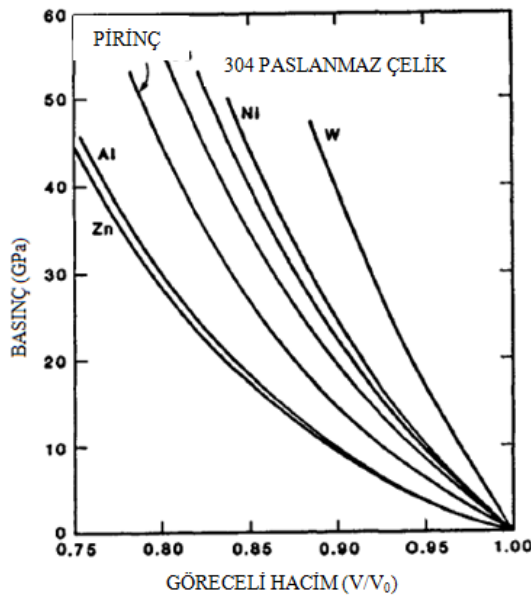
$$U_p = ((P-P_0)(V_0-V))^{1/2} \quad (4.7)$$

Yukarıdaki denklemler Rankine-Hugoniot denklemleri olarak bilinir.

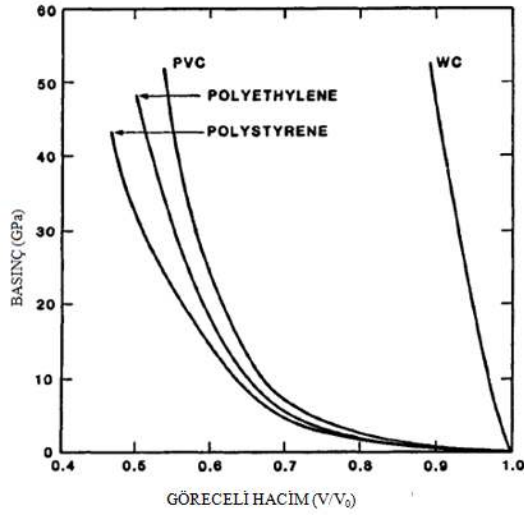
Birçok durumda P,V ve E'yi ölçmek zordur, fakat U_s ve U_p rahatlıkla ölçülebilir. U_s elektriksel veya optik metotlarla ölçülebilir, U_p ise serbest yüzey hızı olarak tanımlanan U_f hızı yardımı ile bulunur;

$$U_f = 2U_p \quad (4.8)$$

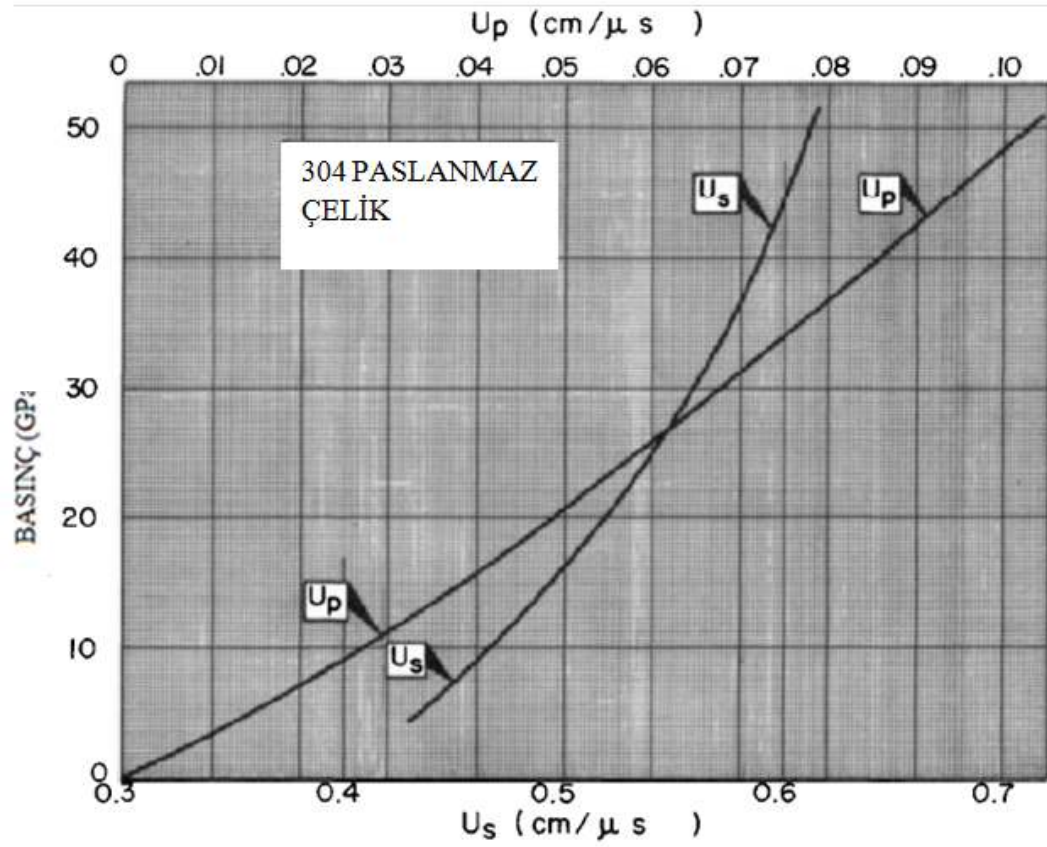
Bu şekilde elde edilen basınç ve hacimler grafiklerle gösterilir. Elde edilen bu P-V eğrilerine Hugoniot eğrileri denilir. Şekil 4.21'de metal ve alaşımlar için, Şekil 4.22'de ise polimer ve seramikler için elde edilen Hugoniot eğrileri görülmektedir. Şekil 4.23'de ise 304 paslanmaz çelik için şok dalgası ilerleyişi sonucu meydana gelen basınç- şok hızı ve parça hızı eğrileri gösterilmiştir [23].



Şekil 4.21. Metal ve alaşımları için Hugoniot eğrileri [23].



Şekil 4.22. Polimer ve seramikler için Hugoniot eğrileri [23].



Şekil 4.23. 304 paslanmaz çelik için şok dalgası ilerleyişi sonucu meydana gelen basınç- şok hızı ve parça hızı eğrileri [23].

4.12.2. Şok dalgasının yayılımı

Dairesel plakalar:

Su altı patlamaları sonucu oluşan enerjinin bir dairesel plakanın birim alanına etkisi aşağıdaki formülle ifade edilir [31, 7]:

$$E_d = \frac{2 \cdot m \cdot (P_m)^2}{\rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{\frac{2}{(1-x)}} \quad (4.9)$$

Bu formülde:

E_d : Enerji yoğunluğu

m : Birim plaka alanının kütlesi

P_m : Tepe basıncı

ρ : Su yoğunluğu

x : Ters ağırlık numarası

$$x = \frac{\rho \cdot c \cdot \theta}{m} \quad (4.10)$$

θ : Zaman sabiti

Birim alanın kütlesi plakanın kütle yoğunluğu ile kalınlığının çarpımı olarak verilebileceği için, yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir [7];

$$E_d = \frac{2 \cdot t \cdot \rho_p \cdot (P_m)^2}{\rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{\frac{2}{(1-x)}} \quad (4.11)$$

Bu denklemde:

t: Plakanın kalınlığı

ρ_P : Plakanın kütle yoğunluğu

Yarıçapı R olan dairesel bir plakaya iletilen toplam enerji ise şu şekilde gösterilir;

$$E_t = \frac{2 \cdot t \cdot \rho_P \cdot (P_m)^2 \cdot \pi \cdot R^2}{\rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{\frac{2}{(1-x)}} \quad (4.12)$$

Çap, boy, uzunluk gibi ölçülerin yaklaşık %5'ine kadar olan kalınlıktaki plakalar ince plaka olarak kabul edildiği için, patlama sonucunda plakanın aynen bir ince zar gibi deforme olduğu kabul edilir ve diğer bütün bükülme etkileri ihmal edilir. “Plaka gerilimi (plain stress)” şartlarında elastik olarak deforme olan bir plakanın gerinim enerjisi yoğunluğu şu şekilde gösterilir [6, 2]:

$$U_d = \frac{1}{2} \cdot (\sigma_1 \cdot \varepsilon_1 + \sigma_2 \cdot \varepsilon_2) \quad (4.13)$$

Buradaki σ_1 , ε_1 , σ_2 ve ε_2 , x ve y düzlemlerindeki temel (principal) gerilim ve gerinimlerdir. Denge gerilmesinden dolayı;

$$\sigma_1 = \sigma_2 \quad (4.14)$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \quad (4.15)$$

olur. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler göz önüne alındığında, gerinim dağılım fonksiyonunu şu şekilde ifade edebiliriz;

$$\varepsilon = \varepsilon_a \cdot \left(1 - \frac{r^2}{R^2} \right) \quad (4.16)$$

Burada ε plakanın herhangi bir noktasındaki temel gerinimdir, ε_a ise temel gerinimin tepe değeridir, r ise o anki anlık yarıçaptır. Plakanın yarıçapında R kadar bir artış olduğu zaman elastik deformasyon enerjisi şu şekilde hesaplanır:

$$U = \int_0^R U_d \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \quad (4.17)$$

Yukarıda yazdığımız U_d formülünü bu denklemde yerine yazıp sadeleştirdiğimizde şu sonuca ulaşırız;

$$U = \frac{E \cdot t \cdot (\varepsilon_a)^2 \cdot \pi \cdot R^2}{3 \cdot (1 - \nu)} \quad (4.18)$$

Bu denklemde:

E : Yang modülüsü

ν : Poisson oranıdır.

Plakanın bütün kinetik enerjisinin gerinim enerjisine dönüştüğünü kabul eder, ve plakanın kinetik enerjisini gerinim enerjisine eşitlersek, temel gerinimin tepe değeri şu şekilde bulunur [7];

$$\varepsilon_a = \sqrt{\frac{6 \cdot \rho_p \cdot (P_m)^2 \cdot x^{\frac{2}{1-x}} \cdot (1 - \nu)}{E \cdot \rho^2 \cdot c^2}} \quad (4.19)$$

Plaka gerilimleri için, von-Mises gerilimi şu şekilde yazılır;

$$\sigma^2 = (\sigma_1)^2 + (\sigma_2)^2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 \quad (4.20)$$

Burada σ malzemenin principal gerilimidir. İnce zar gerilmeleri için $\sigma_1 = \sigma_2$ olduğu için, yukarıdaki denklem şu hale gelir;

$$\sigma = \frac{E \cdot \varepsilon}{(1 - \nu)} \quad (4.21)$$

Dikdörtgen plakalar:

Su altı patlamaları sonucu oluşan enerjinin bir dikdörtgen plakanın birim alanına etkisi aşağıdaki formülle ifade edilir [7]:

$$E_d = \frac{2 \cdot m \cdot (P_m)^2}{\rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{(1-x)} \cdot 4 \cdot a \cdot b \quad (4.22)$$

Bu formülde a ve b dikdörtgen plakanın en ve boy ölçülerinin yarısıdır. Birim alanın kütlesi plakanın kütle yoğunluğu ile kalınlığının çarpımı olarak verilebileceği için, yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir [7];

$$E_d = \frac{2 \cdot t \cdot \rho_p \cdot (P_m)^2}{\rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{(1-x)} \cdot 4 \cdot a \cdot b \quad (4.23)$$

Patlama sonucunda plakanın aynen bir ince zar gibi deforme olduğu kabul edilir ve diğer bütün bükülme etkileri ihmal edilir. “Plain stress” şartlarında elastik olarak deforme olan bir plakanın gerinim enerjisi yoğunluğu şu şekilde gösterilir [7]:

$$U_d = \frac{E}{2 \cdot (1 - \nu^2)} \cdot \left[(\varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_2)^2 + 2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \right] \quad (4.24)$$

Yukarıdaki denklemi şu şekilde yazabiliriz;

$$U_d = \frac{E}{2} \cdot \left[(\varepsilon_e)^2 \right] \quad (4.25)$$

Burada ε_e eşit veya efektif gerinim olarak adlandırılır ve şu şekilde gösterilir;

$$\left(\varepsilon_e\right)^2 = \frac{\left(\varepsilon_1\right)^2 + \left(\varepsilon_2\right)^2 + 2 \cdot \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\left(1 - \nu^2\right)} \quad (4.26)$$

Yapılan deneylerde elde edilen verilerden, gerinimin plakanın yatay eksenini boyunca parabolik olarak değiştiği gözlemlenmiştir. Aynı durum dikey ekseninde de beklenebilir. Dolayısıyla gerinim enerjisi şu şekilde hesaplanabilir;

$$U = 4 \cdot \int_0^a \int_0^b U_d \cdot \left(1 - \frac{x^2}{a^2}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{y^2}{b^2}\right)^2 \cdot t \, dy \, dx \quad (4.27)$$

U_d formülü integralde yerine yazılıp integral alınırsa;

$$U = \frac{64}{225} \cdot \left[\frac{E \cdot \left(\varepsilon_e\right)^2}{2} \right] \cdot t \cdot 4 \cdot a \cdot b \quad (4.28)$$

Plakanın bütün kinetik enerjisinin gerinim enerjisine dönüştüğünü kabul eder ve plakanın kinetik enerjisini gerinim enerjisine eşitlersek [7];

$$\varepsilon_e = \sqrt{14 \cdot \rho_p \cdot \frac{\left(P_m\right)^2}{E \cdot \rho^2 \cdot c^2} \cdot x^{(1-x)}} \quad (4.29)$$

Şok basıncının hesaplanması:

Şok basıncının deneysel denklemi aşağıdaki gibidir [4, 5, 8, 9, 17, 21, 22, 24, 26, 27, 28, 32, 33, 34, 35, 36]:

$$P_t = P_m \cdot e^{\frac{-t}{\theta}} \quad (4.30)$$

Burada:

P_m : şok dalgasının tepe basıncı (psi)

θ : azalma sabiti (ms)

t : şok dalgasının hedefe ulaşma zamanı (ms)

$$P_m = K_1 \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_1} \quad (4.31)$$

$$\theta = K_2 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_2} \quad (4.32)$$

Bu denklemlerde:

W : patlayıcı kütlesi (lb)

R : stand-off mesafesi (feet)

K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 : Patlayıcı türüne göre değişen sabitler.

Çizelge 4.9'da farklı patlayıcı türleri için K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.9. Farklı patlayıcı türleri için K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 değerleri

Parametre	Patlayıcı Türü		
	HBX-1	TNT	PETN
K_1	22,347	22,505	24,589
α_1	1,144	1,18	1,194
K_2	0,056	0,058	0,052
α_2	-0,247	-0,185	-0,257

Şok dalgası parça yüzeyine ulaştıktan t süre sonra birim yüzey alanı üzerindeki şok enerjisi değişimini ifade eden, şok enerjisi değişim yoğunluğu şu şekilde hesaplanabilir:

$$E_f(t) = \frac{1}{\rho_o \cdot c_o} \cdot \int_0^t P^2(\tau) d\tau \quad (4.33)$$

Bu denklemde:

ρ_o : suyun yoğunluğu (kg/m^3)

c_o : sudaki ses hızıdır (m/s)

Basınç ve azalma sabiti denklemlerini kullanarak yukarıdaki integrali şu şekilde yazabiliriz;

$$E_f = K_3 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_3} \quad (4.34)$$

Belirtilen bir R stand-off mesafesindeki toplam enerji ise;

$$E_s = 4 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot E_f = 4 \pi \cdot K_3 \cdot W \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_3 - 2} \quad (4.35)$$

TNT ve Pentolit için α_3 değerleri 2.04 ve 2.12'dir.

Plaka üzerine etki eden toplam basıncın hesaplanması:

Taylor'ın plaka teorisine göre şok basıncının plakaya değmesi neticesinde plakada meydana gelen toplam basınç şu şekilde bulunur [4, 5]:

$$P(t) = 2 \cdot P_t - \left(\frac{\rho_o \cdot c_o \cdot v(t)}{\sin \phi} \right) \quad (4.36)$$

$$v(t) = \frac{2 \cdot P_m}{\rho_o \cdot c_o} \cdot \frac{1}{z - 1} \cdot \left(e^{\frac{-t}{z \cdot \theta}} - e^{\frac{-t}{\theta}} \right) \quad (4.37)$$

$$z = \frac{m_p}{\rho_o \cdot c_o \cdot \theta} \quad (4.38)$$

$$\sin(\phi) = \frac{R_0}{R} \quad (4.39)$$

Bu denklemlerde:

$P(t)$: Plaka üzerine etkiyen toplam basınç (Pa)

θ : Çarpışma açısı

R : Stand off mesafesi (m)

R_0 : En kısa radyal mesafe (m)

m_p : birim plaka alanının kütlesi (kg/m^3)

z : karakteristik kütle oranı

$v(t)$: Plakanın hızıdır (m/s)

5. OPTİMİZASYON

5.1. Giriş

Optimizasyon belirtilen koşullar altında en iyi sonucu elde etme işlemidir. Optimizasyon, aynı zamanda, bir fonksiyonun minimum veya maksimum değerini veren koşulları bulma işlemidir. Optimum değeri bulma metotları matematiksel programlama teknikleri olarak ta adlandırılabilir. Matematiksel programlama teknikleri, yöneylem araştırmalarının bir dalıdır. Yöneylem araştırmaları matematiğin bir alt dalıdır ve karar verme problemlerine bilimsel metot ve tekniklerin uygulanması ve en iyi veya uygun çözümlerin bulunması ile ilgilenir [37].

Mühendislik tasarım optimizasyon problemlerinin çözümünde klasik optimizasyon yöntemlerinin kullanılmasında karşılaşılan başlıca sorunlar;

- Tasarım optimizasyon modeli değişkenlerinin ve kısıtlayıcı sayısının fazla olması,
- Tasarım optimizasyon modellerini oluşturan fonksiyonların (amaç ve kısıtlayıcı fonksiyonlar) genelde karmaşık ve nonlinear yapıda olmaları,
- Birçok tasarım optimizasyon modelinde amaç ve kısıtlayıcı fonksiyonların, tasarım değişkenleri terimlerinde kapalı olarak ifade edilmeleri şeklinde sıralanabilir.

Literatürde klasik optimizasyon yöntemleri ile yapılmış çeşitli çalışmalar yer almaktadır. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bir problemi çözmek için seçilen yöntem başka bir problemde iyi sonuç vermeyebilmektedir. Problemin yapısına bağlı olarak, iraksama ve/veya lokal minimuma yakalanma problemleri sıkça görülmektedir [38, 39, 40].

Çizelge 5.1’de farklı yöneylem araştırma yöntemleri belirtilmiştir [37, 40]

Çizelge 5.1. Farklı yöneylem araştırma yöntemleri [37, 40]

Yöneylem Araştırma Yöntemleri		
Matematiksel Programlama Teknikleri	Olasılıklı İşlem Teknikleri	İstatistiksel Metodlar
Hesap Metotları	İstatistiksel Karar Teorisi	Regrasyon analizi
Değişkenlerin hesapları		
Lineer Olmayan Programlama		
Lineer Programlama	Markov İşlemleri	Kümeleme Çözümlemesi, Örüntü Tanıma
Geometrik Programlama		
İkinci Dereceden Programlama		
Dinamik Programlama	Kuyruk Teorisi	
Tam Sayı Programlama		
Olasılıklı Programlama	Yenileme Teorisi	Deneylerin Tasarımı
Ayrılabilir Programlama		
Çok Amaçlı Programlama		
Network Metotları	Simülasyon Metotları	Ayrırma Analizi, Faktör Analizi
Oyun Teorisi		
Benzetimli Tavlama		
Genetik Algoritma	Güvenilirlik Teorisi	
Sinir Ağları		

5.2. Optimizasyonun Mühendislikteki Uygulama Alanları [37]

1. En düşük ağırlık için uçak ve helikopter parçalarının tasarımı
2. Uzay araçları için en uygun yörüngenin bulunması
3. En düşük fiyat için pencere, bina, köprü, kule, baca ve baraj gibi inşaat mühendisliği yapılarının tasarımı

4. Fırtına, deprem vs. gibi gelişigüzel yüklemelerde yapıların en düşük ağırlık kıstasına göre tasarlanması.
5. Su kaynaklarından en uygun şekilde faydalanabilmek için sistem tasarımı.
6. Yapıların en uygun plastik tasarımı
7. Dişli, motor vs. gibi mekanik parçaların en uygun olacak şekilde tasarımı.
8. En ucuz üretim maliyeti için talaş kaldırma işlemlerinde işlem parametrelerinin seçimi.
9. En ucuz maliyet için, konveyör, kamyon ve vinç gibi malzeme nakliye araçlarının tasarımı.
10. En yüksek verimlilik için pompaların, türbinlerin ve ısı transfer ekipmanlarının tasarımı.
11. Motorlar, jeneratörler ve transformatörler gibi elektriksel ekipmanların tasarımı.
12. Elektriksel ağların optimum tasarımı
13. Bir turda birçok farklı şehri gezen bir satış elemanı için en kısa yolun bulunması.
14. En uygun üretim planlaması, kontrolü ve takvimleme çalışmasının yapılması.
15. Bir fiziksel olayın en uygun şekilde gösterimi için istatistiksel verilerin analizi ve deney sonuçlarından deneysel modeller üretme.
16. Kimyasal işlem ekipmanları ve alanlarının optimum tasarımı.
17. En uygun boru hattının tasarımı.
18. Bir endüstri için en uygun alanın seçilmesi.
19. Operasyon maliyetlerini düşürmek için bakım onarım ve değiştirme planlarının yapılması.
20. Envanter kontrolü
21. En çok kar sağlamak için farklı aktiviteler arasında kaynakların paylaşılması.
22. Maliyeti azaltmak için, bir seri üretim hattında bekleme, durma ve mola zamanlarının belirlenmesi.
23. Bir rakip karşısında en iyi sonucu elde edebilmek için, en iyi stratejinin planlanması.
24. Kontrol sistemlerinin optimum tasarımı

5.3. Bir Optimizasyon Probleminin Matematiksel İfadesi

Bir optimizasyon probleminin amacı verilen bir niceliği en uygun yapacak tasarım değişkenlerini bulmaktır.

Optimize edilecek niceliğe tasarım değişkeni, en uygununu bulma sürecinde değiştirilebilen parametrelere tasarım değişkenleri, parametre değerlerini sınırlayan kısıtlamalara tasarım sınırlamaları denir.

Bir en iyileme problemi şu şekilde ifade edilebilir [41, 37];

$$f(x), \quad x=(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad x \in R^N$$

Bu fonksiyonun en yüksek değerini bulalım.

Sınırlamalarımız ise şunlar olsun;

$$g_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, K,$$

$$h_i(x) \leq 0, \quad i = 1, \dots, P,$$

Burada, $f(x)$ amaç fonksiyonu, $g_i(x)$ ve $h_i(x)$ ise tasarım sınırlama fonksiyonlarıdır.

Herhangi bir optimum tasarım problemi üç nesnenin tanımlanması ile belirir. Bunlar amaç fonksiyonu, tasarım değişkenleri ve sınırlayıcılardır. Amaç fonksiyonu problemin tipine ve ihtiyaçlara göre kurulur. Tasarım değişkenleri, optimum çözüme ulaşmak için optimizasyon işlemi boyunca değiştirilen sistem parametreleridir. Sınırlayıcılar ise tasarım ve optimizasyon probleminde istenmeyen çözümlerin oluşmasını engellemek amacıyla kullanılırlar. Optimizasyon probleminde en iyi sonuca en kısa zamanda ulaşabilmek açısından, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların belirlenmesi ve tasarım değişkenlerinin seçimi son derece önemlidir [38].

Bazı optimizasyon problemlerinde birden fazla amaç fonksiyonu olabilir. Bunlara Çok amaçlı en iyileme problemi denir. Tek-amaçlı en iyileme problemlerinde ise hedeflenen tek bir amaç fonksiyonu bulunmaktadır.

Eğer problem herhangi bir kısıtlamaya maruz kalmazsa o zaman optimizasyon problemine, kısıtlı olmayan optimizasyon problemi denir [42].

5.3.1. Tasarım vektörü:

Bir mühendislik sistemi veya elemanı bir nicelik seti ile tanımlanır, ki bu setlerin bir kısmı tasarım işleminde değişken olarak kullanılır. Genel olarak, bazı nicelikler başlangıçta sabitlenir ve bunlara önceden tahsis edilmiş parametreler denir. Tasarım sürecindeki diğer bütün parametreler değişken olarak kabul edilir ve bunlara tasarım veya karar değişkenleri denir. Bu tasarım değişkenleri toplu olarak bir tasarım vektörü olarak gösterilir [37].

5.3.2. Tasarım kısıtları ve uygunluk fonksiyonu:

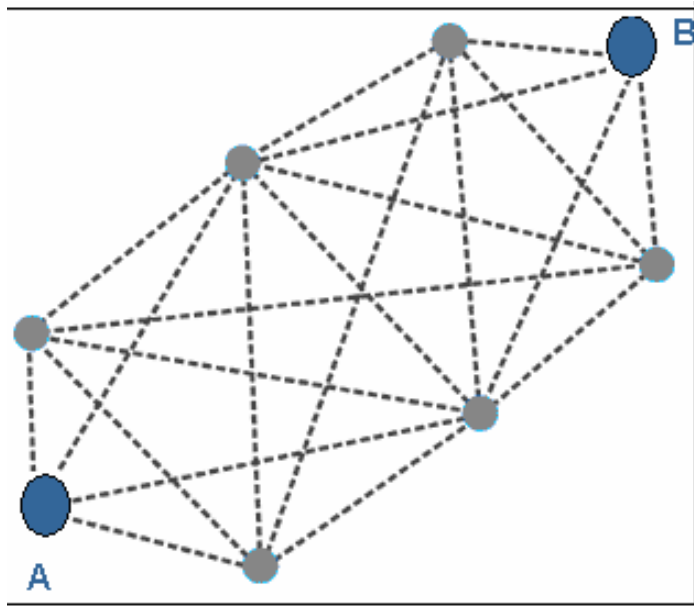
Birçok problemde, tasarım değişkenleri gelişigüzel seçilmez, bu tasarım değişkenlerinin daha önceden belirlenen gereksinimleri karşılaması gerekmektedir.

Kabul edilebilir bir tasarım için karşılanması gereken bu gereksinimlere topluca tasarım kısıtları denir. Bir sistemin davranışını veya performansını sınırlayan kısıtlara davranışsal veya fonksiyonel kısıtlar denir. Tasarım değişkenleri üzerinde fiziksel sınırlamalar meydana getiren kısıtlara ise geometrik veya yan kısıtlar denir [37].

GA' nın işleyişinde en temel unsur "uygunluğun" ne olduğunun tarifinde yatar. Matematiksel anlamda uygunluk, modellenmesi ve muhtemel her çözüm üzerinde uygulanması gereken bir fonksiyondur.

Çok temel bir örnek olarak iki şehir arasında onlarca yol olduğunu ve bu yolların çoğunun Şekil 5.1'deki gibi birbiriyle kesiştiğini düşünelim. Yollar arasındaki bu kesişim noktalarından yeni güzergâhlar elde edilir. Böylece alternatif güzergâh sayısı artacaktır. Şimdi alternatiflerin en uzundan en kısaya kadar sıralandığını ve uzun olanların elendiğini düşünelim. Şayet mevcut yollardan yeni güzergâhlar türetilmeden en uzun yollar hemen elenseydi belki de daha kısa güzergâhlar elde edilemeyecekti. Zira uzun yollar diğer yollarla kesiştiğinde, daha kısa yolların

oluşmasına imkân tanıyabilir.



Şekil 5.1. İki nokta arasındaki olası güzergahlar

İlk bakışta, en uygun yol en kısa yol olarak tarif edilebilir. O zaman uygunluk fonksiyonu mesafe ile ters orantılı olmalıdır. İki nokta arasındaki trafik çok yoğunsa ve sadece tek bir güzergâh ile taşınamıyorsa uygunluk fonksiyonu, mesafe ve trafik yoğunluğu değişkenlerinin her ikisini de kapsayacak şekilde yeniden tasarlanmalıdır. Bazı yolların paralel olduğunu ve fiyatlarının da değişik olduğunu düşünelim. Bu durumda ise en iyi yol, mesafe, yoğunluk ve maliyet değişkenleri dikkate alınarak tasarlanmış bir fonksiyonla bulunabilir. Özetle, amaca götüren birçok çözüm olabilir ama hangi çözümümün en iyi olduğunu bulabilmek için kısıtlamaların iyi tarif edilmesi ve bu tarife göre mevcut çözümler arasından en iyilerin seçilmesi gerekir [43].

5.3.3. Amaç fonksiyonu

Geleneksel tasarım yöntemleri, bir problemin sadece fonksiyonel veya diğer gereksinimlerini sağlayacak, kabul edilebilir veya yeterli bir tasarımı bulmayı amaçlar. Genelde, bu tür problemlerde birden fazla kabul edilebilir tasarım çözümü vardır ve optimizasyonun amacı, bu birçok farklı kabul edilebilir tasarımlar arasından

en iyisini seçmektir. Dolayısıyla bu farklı tasarımları karşılaştıracak ve en iyisini seçecek bir kriterin olması gerekmektedir. Bir tasarımın optimize edildiği bu kriter, tasarım değişkenleri cinsinden ifade edildiğinde, kriter veya değer veya amaç fonksiyonu adını alır. Amaç fonksiyonunun seçimi problemin doğasına bağlıdır [37].

5.4. Optimizasyon Problemlerinin Sınıflandırılması

Optimizasyon problemleri farklı şekillerde sınıflandırılabilir.

5.4.1. Kısıtlamaların olup olmamasına göre yapılan sınıflandırma

Optimize edilecek fonksiyonun kısıtlamalara sahip olup olmadığına göre, problem kısıtlı optimizasyon problemi ve kısıtlamasız optimizasyon problemi olarak ikiye ayrılır. Kısıtlı optimizasyon, parametreleri bir tanım aralığında değerlendirir. Kısıtsız optimizasyon ise parametreler her hangi bir değerde olabilir. Değişkenlerin transformasyonu yoluyla kısıtlı parametreler kısıtsız parametrelere çevrilirler. Çoğu nümerik optimizasyon rutinleri kısıtsız parametrelerle çalışır. Örnek olarak $f(x)$ fonksiyonunu ele alalım. Kısıtlar $-1 \leq x \leq 1$ arasında olsun. Bu fonksiyon $x = \sin(u)$ tanımı kullanılarak kısıtsız optimizasyona dönüştürülür. Burada u 'nun değeri ne olursa olsun x $(-1,1)$ aralığında değişecektir. Kısıtlı optimizasyon, lineer denklemler ve lineer sınırlarla parametreleri optimize ettiği zaman, program lineer program olarak adlandırılır. Kısıtlar ve maliyet denklemleri nonlinear ise, programda nonlinear programlama problemi olur [37].

5.4.2. Tasarım değişkenlerinin türüne göre yapılan sınıflandırma

Tasarım değişkenlerinin türüne göre optimizasyon problemleri iki ana kategoriye ayrılır. Birinci kategoride, problemin amacı, bazı kısıtlamalara maruz kalan, önceden belirlenmiş bir tasarım parametreleri fonksiyonunu minimize edecek değerleri bulmaktır. Bu tür problemler, *parametre* veya *statik optimizasyon problemleri* olarak adlandırılır. İkinci kategoride ise, amaç, bazı kısıtlamalara maruz kalan bir amaç fonksiyonunu minimize edecek tasarım parametrelerini ki bunlar diğer bazı parametrelerin sürekli fonksiyonlarıdır, bulmaktır. Bu şekilde, her bir tasarım

değişkeninin bir veya daha fazla sayıda parametrenin fonksiyonu olduğu problem türlerine *yörünge* veya *dinamik optimizasyon problemleri* olarak adlandırılır [37].

Örneğin bir şehrin kenar mahallesinde oturan bir insanın merkezdeki işine gitmesi için bir çok yollar olduğunu kabul edelim. En iyi yol hangisidir? sorulabilir. Mesafe açısından bakılacak olursa problem statiktir. Çözüm, haritayı ve arabanın kilometre/saatini kullanarak bulunabilir. Pratikte değişkenlerin çokluğu nedeniyle problem pek de basit değildir. En kısa yol en hızlı yol değildir. En hızlı yolu bulmak dinamik bir problemdir ve zamana, havanın durumuna, kazalara vb. bağlıdır.

5.4.3. Problemin fiziksel yapısına göre yapılan sınıflandırma

Problemin fiziksel yapısına göre optimizasyon problemleri optimal kontrol problemleri ve optimal olmayan kontrol problemleri olarak iki sınıfa ayrılır.

Optimal kontrol problemleri:

Optimal kontrol (OK) problemleri, her bir aşamanın bir önceki aşamadan önceden belirlenmiş bir yöntemle ortaya çıktığı aşamaları içeren matematiksel programlama problemleridir. OK çoğu zaman iki tür değişkenle ifade edilir: kontrol (tasarım) ve durum değişkenleri. Kontrol değişkenleri sistemi tanımlar ve sistemin bir aşamadan diğer aşamaya ilerleyişini yönetir. Durum değişkenleri ise herhangi bir aşamada sistemin durumunu veya davranışını tanımlar. Bu problemlerde amaç, bütün aşamalardaki toplam amaç fonksiyonunu (performans indeksi, PI) minimize etmek için gereken olan tasarım veya kontrol değişkenlerini bulmaktır [37].

5.4.4. Kullanılan denklemlere göre yapılan sınıflandırma

Bir diğer önemli optimizasyon problemi sınıflandırması ise amaç fonksiyonu veya kısıt fonksiyonları için kullanılan denklemlerin türlerine göre yapılan sınıflandırmadır. Bu sınıflandırmaya göre, optimizasyon problemleri lineer, lineer olmayan, geometrik ve ikinci dereceden programlama problemleridir [37].

Lineer programlama problemleri:

Lineer programlamanın en önemli özelliği, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların, tasarım değişkenlerinin lineer bir kombinasyonu olarak ifade edilmesidir. Lineer programlama tekniklerinin yapısal optimizasyon problemlerine uygulanabilmesi için, amaç fonksiyonu ve sınırlayıcıların tasarım değişkenleriyle arasındaki ilişkinin lineer hale getirilmesi zorunlu olmaktadır [38].

Lineer olmayan programlama problemleri:

Eğer amaç ve kısıt fonksiyonlarından herhangi birisi lineer değilse, o zaman problem lineer olmayan programlama problemi olarak adlandırılır. Bu en genel programlama problemidir ve bütün diğer problemler, lineer olmayan programlama probleminin özel bir durumu gibi düşünülebilir. Lineer olmayan matematik programlama, lineer olmayan sınırlayıcısız şekle dönüştürülmüş optimizasyon problemleri için geliştirilmiştir. Yapısal optimizasyonda kullanılan matematik programlama teknikleri incelendiğinde, kullanılan lineer olmayan programlama algoritmalarını genel olarak üç grupta toplamak mümkündür. Bunlar: ardı sıra lineer programlama, ardı sıra sınırlayıcısız minimize teknikleri, lineer olmayan temel programlama teknikleridir [38].

5.4.5. Tasarım değişkenlerinin izin verilen değerlerine göre yapılan sınıflandırma

Tasarım değişkenlerinin izin verilen değerlerine göre optimizasyon problemleri tamsayı ve gerçek değerli programlama problemleri olarak sınıflandırılabilir [37].

Tamsayı programlama problemleri:

Eğer bir optimizasyon problemindeki tasarım değişkenlerinin bazıları veya tümü, sadece tamsayı değerleri alacak şekilde sınırlandırılmışsa, bu tür problemlere tamsayı programlama problemi denir. Diğer taraftan, bütün tasarım değişkenlerine, herhangi bir gerçek değer alabilecek şekilde izin verilmişse, bu tür optimizasyon problemlerine gerçek-değerli programlama problemi denir [37].

5.4.6. Değişkenlerin belirleyici özelliklerine göre yapılan sınıflandırma

Problemde kullanılan tasarım değişkenlerinin belirleyicilik özelliklerine göre optimizasyon problemleri belirleyici ve olasılıklı programlama problemleri olarak sınıflandırılabilir [37].

Olasılıklı programlama problemleri:

Bazı veya bütün parametrelerin (tasarım değişkenleri ve/veya önceden belirlenmiş parametreler) olasılıklı olduğu optimizasyon problemine olasılıklı (stokastik) programlama problemi adı verilir [37].

5.4.7. Fonksiyonların ayrılabilirliğine göre yapılan sınıflandırma

Amaç ve kısıt fonksiyonlarının ayrılabilirliğine göre optimizasyon problemleri ayrılabilir ve ayrılamaz programlama problemleri olarak ikiye ayrılır [37].

5.4.8. Amaç fonksiyonunun sayısına göre yapılan sınıflandırma

Optimize edilecek amaç fonksiyonunun sayısına göre optimizasyon problemleri tek veya çok amaçlı programlama problemleri olarak sınıflandırılabilir. Sadece bir parametre varsa, optimizasyon bir boyutludur. Birden fazla parametreye sahip fonksiyon için çok boyutlu optimizasyon gereklidir. Boyut sayısı artarsa optimizasyonun zorluk derecesi de artar. Çok boyutlu optimizasyon metodunda, bir boyutlu optimizasyon metodu yaklaşımı kullanılır [37].

6. GENETİK ALGORİTMA

6.1. Genetik Algoritmanın Tanımı

Amatör bir İngiliz doğa bilimci olan Charles Darwin 1832 yılında H.M S. Beagle adlı keşif gemisiyle beş yıl boyunca dünyanın farklı bölgelerini gezmiştir. Darwin özellikle Galapagos Adaları'nda gördüğü ispinoz kuşlarından çok etkilenmiştir. Kuşların gagalarındaki farklılıkları gözlemleyen Darwin, bu farklılıkların kuşların adanın farklı bölgelerindeki yaşam koşullarına gösterdikleri uyumdan kaynaklandığını düşündü. Tekrar İngiltere'ye döndüğünde kitap çalışmalarına başladı ve 1859 yılında "The Origen of Species" isimli kitabını yayımladı. Kitabında "doğal seleksiyonla evrim" fikrini ortaya attı. Buna göre canlılar tek bir atadan gelmekle beraber değişik doğa koşullarına uyum sağlayarak farklılaşmışlardır. Yani canlıların çeşitliliğindeki temel etken çevreye uyum ve doğal seçilimdir. Örneğin; bir aslan sürüsü bir zebra sürüsüne saldırdığında hızlı koşan zebraların hayatta kalma olasılığı daha fazladır. Bir süre sonra sürüdeki daha yavaş koşan zebraların tamamı elenecektir. Ve toplulukta çevreye en fazla uyum gösteren bireyler hayatta kalacaktır. Her ne kadar doğal seçim mekanizması bir canlı türünü başka bir canlı türüne dönüştürmese de günümüze kadar evrim teorisi savunucularının en önemli argümanı olmuştur. Çünkü doğal seçim canlıların genlerinde kalıtsal varyasyonlara sebep olmaz [44].

Genetik Algoritma aslında doğada meydana gelen bu doğal seçim mekanizmasının bilgisayar ortamına uyarlanmış halinden başka bir şey değildir. En iyi çözümü elde edebilmek için elde bulunan bütün veriler genetik operatörler uygulanarak elemeye tabi tutulur. En iyi çözüm, ortama en çok uyum gösteren veya başka bir deyişle yapılan iterasyonlar sonucunda hala hayatta kalan bireylerden oluşmaktadır. En son elde edilen en iyi çözüm, ilk baştaki popülasyondaki bireyler arasında en çok uyum sağlayan birey olmayabilir, yani elde edilen çözüm optimum çözüm olmayabilir ama optimuma yakın bir çözüm olduğu kesindir [38, 43, 45, 46, 47, 48].

Genetik Algoritma, doğal seleksiyon ve genetik bilimine dayanan bir optimizasyon tekniğidir. Algoritma, doğadan farklı olarak kuralları tanımlanmış olan seleksiyon ile

evrilen sayılar popülasyonunu kullanarak optimizasyon yapar. Seleksiyon ve popülasyon ile optimizasyonda kullanılacak fonksiyonu minimum kılmaya çalışır. GA'lar, araştırma ve optimizasyon algoritmalarıdır ve yapay zekâ algoritmaları sınıfına girer. Rastsal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışır. En önemli avantajları olasılıklı işlemler yapmaları ve birçok çözüm içerisinde araştırma yapmaya olanak vermeleridir [39, 49, 50, 51, 52].

Geleneksel optimizasyon yöntemleri ile çözümü zor veya imkânsız olan bir çok problem genetik algoritma ile çözülebilir. Bu problemler genellikle çok büyük bir çözüm uzayında en iyi çözümü araştırmayı gerektirir. Geleneksel yöntemlerle çok uzun sürecek olan bu işlem, genetik algoritma ile kısa sürede sonuçlandırılır. Çünkü genetik algortmada çözüm uzayı kodlanmış halde incelenir, problemin matematiksel çözümüne gerek kalmaz [43, 53, 54].

Optimizasyon problemlerinde, kullanılacak algoritmanın sistem için uygun olması ve tasarım değişkenlerinin ayarlanabilmesi, en çok karşılaşılan sorunların başında gelmektedir. Genetik algoritma özellikle popülasyon yoğunluğu büyük, karmaşık sistemlerin optimizasyonunda başarılı bir şekilde uygulanmaktadır [55, 56, 57].

Doğada, canlılar arasında, hayatta kalabilmek için bir mücadele vardır. Bu mücadele sonucunda başarılı olan, yani ortama en çok uyum sağlayan bireyler hayatta kalır. Buna genetik algortmada uyum değeri denir. Bir bireyin uyum değeri ne kadar büyükse o bireyin bir sonraki nesilde var olma olasılığı o kadar artar. Genetik algortmadaki iterasyon sürecinde bir popülasyondaki uyum değeri yüksek olan bireyler eşleştirilir ve yeni bir popülasyon oluşturulur. Böylece bir önceki nesilde yüksek uyumlu bireyler bir sonraki nesilde var olmaya devam ederken, düşük uyumlu bireyler yok olmaktadır. Ve belli bir iterasyon sayısından sonra popülasyon içerisindeki en uyumlu yani uyum değeri en fazla olan birey (çözüm) bulunmuş olur [40, 58, 59, 60].

Genetik Algoritmalar (GA), insan ve ekosistemlerdeki doğal gelişmelerin geniş bir şekilde modellenmesi ile oluşmaktadır. Modellenen örneklerin bir zaman dilimi içerisinde kötüden iyiye doğru gitmesi, bir optimizasyon probleminin başlangıç

çözümünden optimum çözüme doğru yaklaşımını andırır [61].

Genetik algoritma, bulanık mantık denetleyicilerinin tasarımı, gezgin satıcı problemleri, yapay sinir ağları, optimizasyon, tesis planlama ve yerleşimi, grup teknolojisi, haberleşme şebekeleri tasarımı, elektronik devre tasarımı, gaz boruları şebeke en iyilemesi, görüntü ve ses tanıma, veri tabanı sorgulama en iyilemesi, uçak tasarımı, fiziksel sistemlerin kontrolü ve araç yön ve tarife planlaması gibi birçok farklı alana başarı ile uygulanmaktadır [47, 55, 62].

6.2. Genetik Algoritmanın Tarihsel Gelişimi

Charles Darwin'in "The Origen of Species" isimli kitabı 1859 yılında yayınladıktan sonra bilim dünyasında evrim teorisini ispatlamayı amaçlayan çalışmalar yapılmıştır. Günümüze kadar yapılan çalışmalarda tatminkâr bir cevap bulunamamasına karşın, ilgili gözlem ve araştırmalar devam etmektedir.

Doğada var olduğu iddia edilen ve kökeni antik çağlara uzanan evrim fikrini bir hesaplama metodolojisi olarak kullanma fikrini ilk kez 1960'lı yıllarda I. Rechenberg "Evrimsel Stratejileri (Evolutionssstrategie)" isimli eserinde ortaya atmıştır. Bu fikir, yani doğal olayları bilgisayar kodları şeklinde ifade edip kullanma fikri, daha sonra başka araştırmacıların ilgisini çekmiş ve bu konuda yapılan çalışmalar hız kazanmıştır. Michigan Üniversitesinde Psikoloji ve Bilgisayar Bilimi Uzmanı olan John Holland canlılardaki genetik varyasyonları ve bunların canlılar arası aktarımını bilgisayar ortamına aktarmak için "Hücrel Otomatikleştirme" isimli bir çalışma yapmıştır. Holland bulgularını 1975 yılında yayınladığı "Doğal ve Yapay Sistemlerde Adaptasyon (Adoption in Natural and Artificial Systems)" isimli kitabında açıklamıştır. Holland ve arkadaşları çalışmalarını iki amaçta toplamışlardır:

- ✓ Doğal sistemlerin uygun proseslerini açıklamak,
- ✓ Doğal sistemlerin mekaniğini elinde tutan yapay sistemler yazılımını tasarlamak.

1980'lerin ortalarında Illinois Üniversitesinde Genetik Algoritmalar ile ilgili ilk uluslar arası konferans gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Bu zamana kadar Genetik

Algoritma çalışmaları oldukça kuramsal kalmıştır. Holland'ın çalışmalarını sürdüren ve 1985 yılında Holland'ın doktora öğrencisi olarak mezun olan ve gaz boru hatlarının denetimi üzerine çalışmalar yapan inşaat mühendisi David E. Goldberg 1989 yılında sahasında klasik sayılan “Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning” isimli kitabını yayınlamıştır. Goldberg'in bu kitabı yayınlanana kadar algoritmaların pratik uygulamaları olamayacağına dair bir inanç vardı. Goldberg yayınladığı kitapta 83 pratik uygulamaya yer vererek bu inancı yerle bir etmiştir ve 1985'te Ulusal Bilim Kurulu (National Science Foundation) tarafından Genç Araştırmacı ödülünü kazanmıştır. 1992 yılında John Koza “Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection” isimli kitabını yayınlamış ve Genetik Algoritmayı kullanarak Genetik Programlamanın yapılabilirliğini göstermiştir.

Sonraki yıllarda araştırmalar devam etmiş ve Genetik Algoritmalar birçok farklı bilim dalında başarıyla uygulanmıştır. Günümüzde Genetik Algoritmalar güçlü arama algoritmaları olarak kendilerini ispatlamıştır [39, 42, 43, 47, 49, 50, 52, 53, 54, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63].

6.3. Biyolojik Altyapı

Genetik Algoritmanın tam olarak anlaşılabilmesi için bazı biyolojik terimlerin bilinmesi gerekmektedir. Bu kısımda bu temel terimlerin anlamları açıklanacaktır.

Genetik algoritmalar, doğada meydana gelen olayları bilgisayar ortamında kodlama esasına göre yapmayı amaçladığı için, genetik algoritma literatüründe kullanılan terminoloji, doğal ve yapay ortamdaki terimlerin karışımından oluşmaktadır. Bu nedenle, genetik algoritmalarla çalışan araştırmacıların kullanacağı temel bazı terimlere ihtiyaç vardır. Örneğin; yapay genetik sistemlerdeki diziler, biyolojik sistemlerdeki kromozomların karşılığıdır. Doğal sistemlerde, bir ya da daha fazla kromozom, bir organizmanın yapısı ve çalışması için toplam genetik bilgileri oluşturacak şekilde birleşir. Bu toplam genetik paket genotip olarak adlandırılır. Yapay genetik sistemlerde ise dizilerin toplamı genetik yapı paketi olarak adlandırılır. Doğal sistemlerde, toplam genetik paketin içinde bulunduğu şartlara

göre birbirini etkilemesiyle şekillenen organizma fenotip (phenotip) olarak tanımlanır. Yapay genetik sistemlerde ise yapılar, belli bir parametre setini, olası bir çözümü ya da çözüm uzayında bir noktayı düzenlemek için şifreli durumu çözer. Bir yapay genetik sistem tasarımcısı hem nümerik hem de nümerik olmayan parametreleri kodlamak için çeşitli alternatiflere sahiptir. Doğal terminolojide kromozomlar, belli sayıda değer alabilen genlerin birleşiminden oluşmaktadır. Bir gen'in pozisyonu onun gen olarak fonksiyonundan ayrı tanımlanır. Örneğin; bir hayvanın göz rengi geni ele alındığında bu genin pozisyonu ya da yeri 10, bu kodun değeri de mavi göze karşılık gelebilir. Yapay genetik araştırmalarda ise diziler, farklı değerler alan özellikler ya da karakterlerden meydana gelmektedir. Özellikler, dizi üzerinde farklı pozisyonlara yerleştirilebilir. Doğal ve genetik algoritma terminolojisinde kullanılan terimlerin karşılaştırılması Çizelge 6.1'de gösterilmiştir [55, 57].

Çizelge 6.1. Doğal ve Genetik Algoritma terimlerinin karşılaştırması

Doğal terminoloji	GA terminolojisi
Kromozom	Dizi
Gen	Özellik, karakter
Allele	Özellik değeri
Konum, Lokus	Dizi pozisyonu
Genotip	Yapı
Fenotip	Parametre seti

6.3.1. Gen

Kalıtsal molekülde bulunan ve organizmanın karakterlerinin tayininde rol oynayan kalıtsal birimlere denir. Yapay sistemlerde gen, kendi başına anlamlı bilgi taşıyan en küçük birim olarak tanımlanır. Organizmanın genleri; DNA(deoxyribo nucleic acid) formunda bir çift kromozomdur. Organizmanın her bir hücresi benzer miktarda kromozomlar içerirler. Örneğin her vücut hücresindeki kromozom miktarı sıvrisinek de 6, kurbağada 26, insanda 46 ve alabalıkta 94 adet vardır. Genler her biri farklı karakteristiği temsil eden iki fonksiyonel formda meydana gelir. Bu formların her

biri “allele” olarak bilinir. Örneğin allele değerine göre insanın gözünün biri mavi olurken diğeri kahverengi olmaktadır. Kromozomlardaki allele’rin kombinasyonlarını fertlerin kişisel özellikleri belirler. Fert üzerinde allelerden biri baskın olurken diğeri pasif olmaktadır. Her gen kromozom üzerinde kendine ait bir konuma sahiptir. Bu konuma yörünge (“locus”) adı verilir. Tüm genetik malzeme kümesine (tüm kromozomlar) genom adı verilir. Genom üzerindeki belli gen kümelerine genotip adı verilir. Genotipler, doğumdan sonra gelişmeyle fenotiplere - canlının göz rengi, zekâ v.b. fiziksel ve zihinsel özellikleri- dönüşür. Genler her bir optimizasyon parametresinin kodlanmış gösterimi olarak tanımlanabilir. GA’nın kullanıldığı programlama yapısında bu gen yapıları programcının tanımlamasına bağlıdır. Bir genin içerdiği bilgi sadece ikili tabandaki sayıları içerebileceği gibi onluk taban ve onaltılık tabandaki sayı değerlerini de içerebilir. Dolayısıyla yazılan programa göre gen içeriği çok önem kazanmaktadır [39, 50, 60].

6.3.2. Kromozom (Birey)

Genetik algoritmada genlerin belirli bir düzende sıraya dizilmesiyle kromozomlar oluşturulur. Kromozomlar, alternatif aday çözümleri gösterirler. Genler optimizasyon parametrelerini ifade ederken, kromozomlar her bir bireyi başka bir deyişle her bir olası çözümü ifade eder. Kromozomlar ikili veya gerçek sayı dizileri ile kodlanabilir. İkili kodlanmış kromozomlarda her bir gen, optimizasyonu yapılacak parametrenin özelliklerine bağlı olarak 1 ya da daha fazla bitten oluşabilir. Kromozomlar, GA yaklaşımında üzerinde durulan en önemli birim olduğu için bilgisayar ortamında iyi ifade edilmesi gerekir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıyacağı, ne tür bilgi içereceği kullanıcının olaya bakışını değiştirir [60, 64].

6.3.3. Popülasyon

Popülasyon, geçerli alternatif çözüm kümesidir. Genetik algoritmanın en uygun çözümü araştırmak üzere kullandığı, kromozomlardan oluşan küme olarak tanımlanabilir. Nesil, genetik algoritma durumları ile oluşturulan kümedir. Popülasyondaki birey sayısı (kromozom) genelde sabit tutulur. GA’da popülasyondaki birey sayısı ile ilgili genel bir kural yoktur. Popülasyon büyüklüğü,

problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom yığını problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki yığın çözüm değerlerine ulaşamamasına ya da sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşememesine neden olabilir. Problemin özelliğine göre seçilecek olan yığın sayısı programcı tarafından iyi belirlenmelidir. Seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi işlemlerin sonunda yeni nesil oluşturulur ve eski neslin yerine konur. Üretim aşamasında sağlıklı bireylerin genlerinin çok sayıda kopyası sonraki nesillere aktarılmakta ve bu durum popülasyonun genelini en iyi çözüme götürmektedir.

Algoritmayı sonlandırmak için kullanılan yöntemlerden biri, belirli sayıda nesil oluşturulduğunda algoritmayı sonlandırmaktır. Başka bir yöntem en iyi bireyin maliyet değerleri belirli bir eşik değerine ulaştığında algoritmayı sonlandırmaktır. Bunların dışında çeşitli algoritma sonlandırma yöntemleri de bulunmaktadır [39, 60, 64].

6.3.4. Kodlama

Kodlama GA'nın çok önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Probleme GA uygulanmadan önce, verinin uygun şekilde kodlanması gerekmektedir. Kurulan genetik modelin hızlı ve güvenilir çalışması için bu kodlamanın doğru yapılması gerekmektedir [39].

6.3.5. Ebeveyn

Popülasyon oluşturulduktan sonra, bir kromozomun seçilme olasılığının, o kromozomun maliyet değerine bağlı olduğu olasılıksal bir yöntemle kromozom çiftleri seçilir ve bu çiftler ebeveyn olarak adlandırılır [64].

6.3.6. Çocuk

Çocuklar, ebeveynlerin çaprazlama ve mutasyona tabi tutulması sonucunda oluşturulur. Çaprazlama rastgele bir çaprazlama noktası seçilmesi ve ebeveynlerin genetik bilgilerinin birleştirilmesiyle yapılır [64].

6.3.7. Uyumluluk

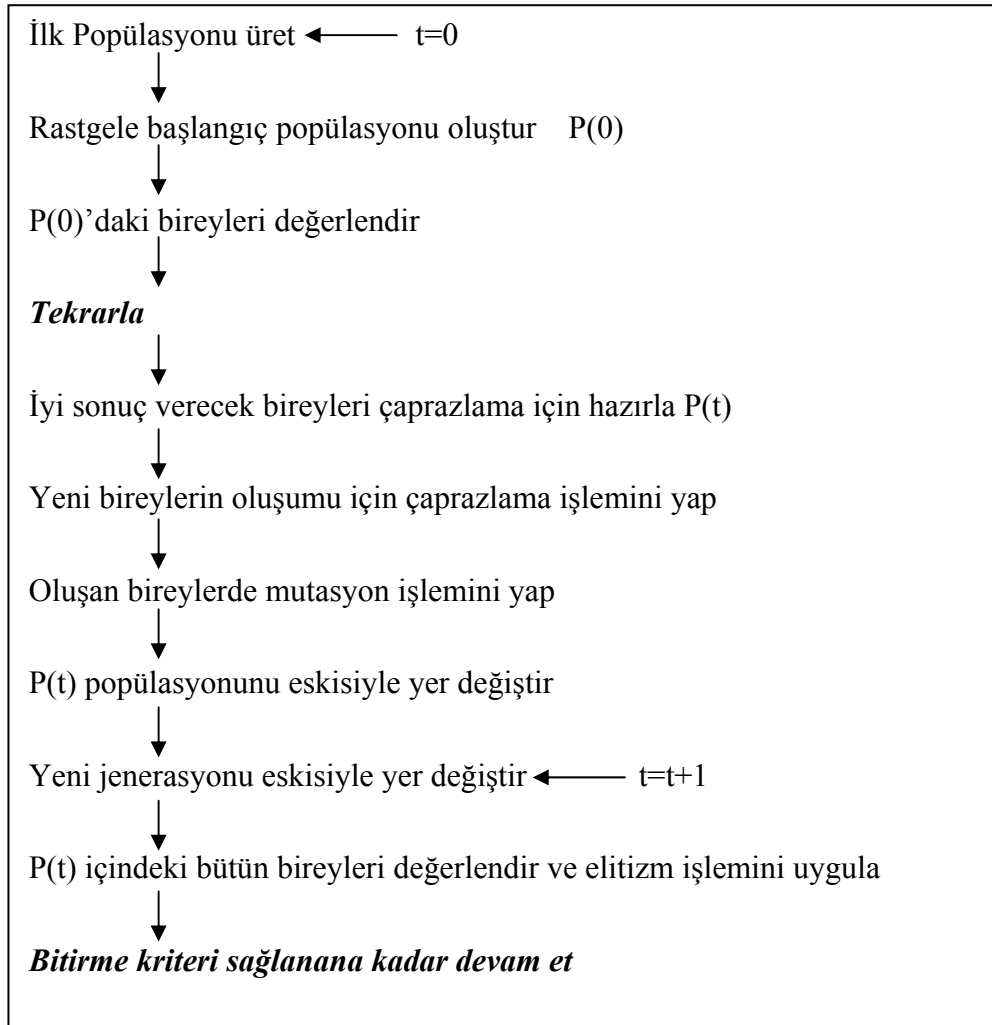
Kromozomların, çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların (dizi) bir sonraki nesile taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Algoritmanın başında, optimizasyonun amacına göre bir uyumluluk (maliyet/sağlık) fonksiyonu belirlenir ve popülasyondaki her bir kromozom için hesaplanan uyumluluk fonksiyonu değeri, kromozomların hedeflenen çözüme ne kadar yakın olduğunu gösterir. Optimizasyonun amacının en büyütme olduğu durumda uyumluluk değeri ne kadar yüksekse kromozom o kadar sağlıklıdır. Optimizasyonun amacının en küçültme olduğu durumda ise uyumluluk değerinin düşük olması kromozomun aranan çözüme ne kadar yakın olduğunu (sağlıklı) gösterir. Uygunluk değeri, yığındaki dizilerin bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır. GA’da kullanılan değerlendirme işlevi problemin amaç işlevini oluşturur [60, 64].

6.3.8. Arama uzayı

Eğer bir problemi çözüyorsak, genellikle çözümler arasındaki en iyi olanını arıyoruz demektir. Mümkün tüm çözümlerin uzayına (istenen çözümün aralarından bulunduğu çözümler kümesi) arama uzayı (durum uzayı) adı verilir. Arama uzayındaki her nokta bir olası çözümü temsil eder. Çözümü aramak, arama uzayında aşırı noktaları (azami veya asgari) aramak ile aynı anlamdadır [50].

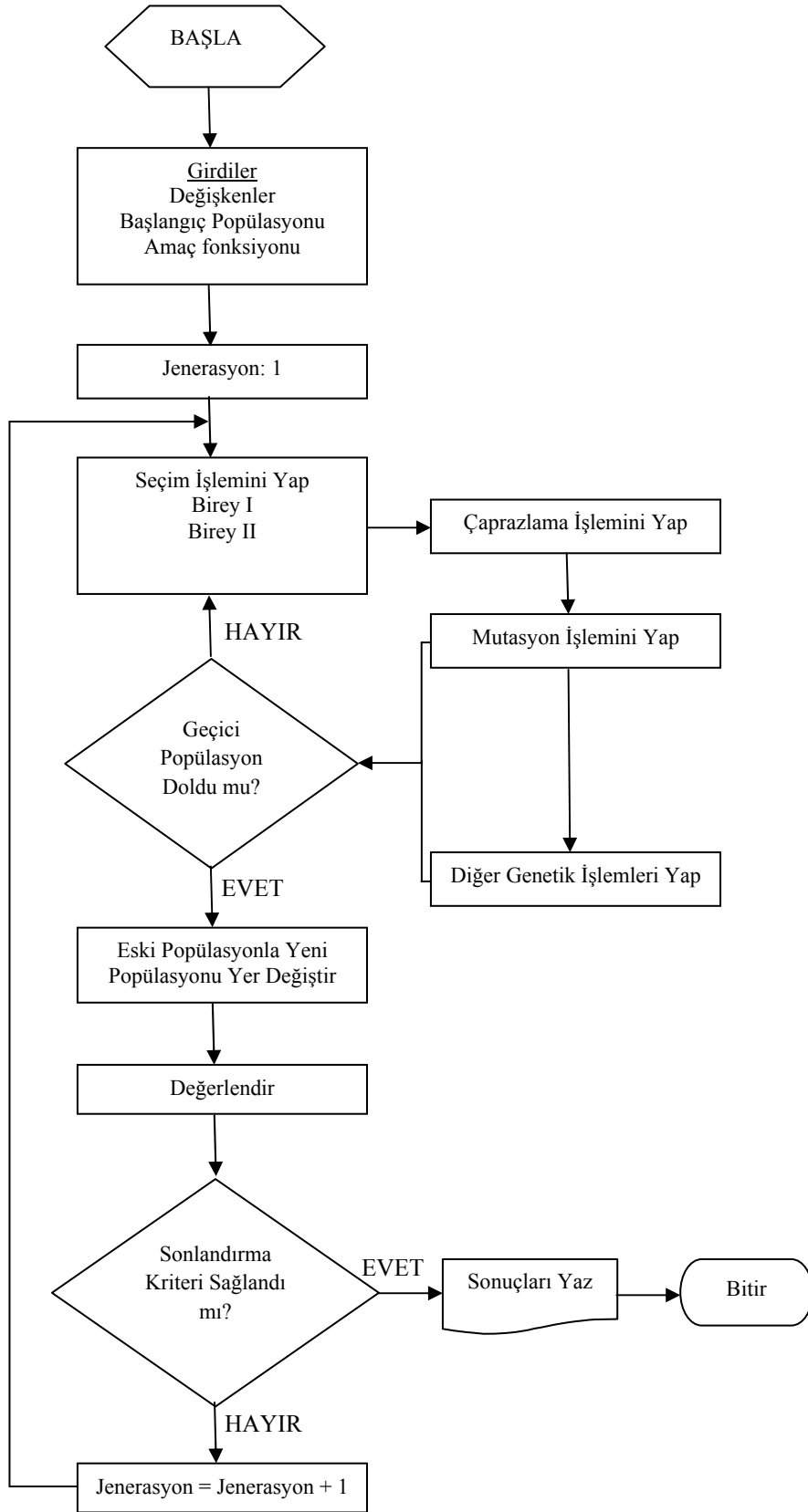
6.4. Genetik Algoritma Kuramı ve Çalışma Şekli

Genetik Algoritmanın program algoritması Şekil 6.1’de gösterilmiştir [53, 56, 65, 66, 67].



Şekil 6.1. Genetik Algoritmanın program algoritması

Genetik Algoritmanın akış diyagramı Şekil 6.2'de gösterilmiştir [39, 43, 45, 53, 56, 61, 62, 64, 68].



Şekil 6.2. Genetik Algoritmanın akış diyagramı

Bir genetik algoritma tasarım değişkenlerinin kodlandığı diziler ile temsil edilen muhtemel çözümlerden oluşan bir popülasyonu başlangıç popülasyonu olarak çalışır. Genetik algoritmalar ayrık tasarım değişkenlerini kullanırlar ve bu tasarım değişkenlerinin alabileceği değerler tasarıma başlamadan önce belirlenir. Çözüm dizilerindeki tasarım değişkenlerinin kodlama işlemi de, çözümü oluşturan tasarım değişkeni değerinin değer kümesindeki sıra numarasının kodlanması şeklinde uygulanır. Bu kodlama işlemi sıra numarasının ikili yada üçlü sayı sisteminde kodlanması olabileceği gibi gerçek değerlerin kodlanması şeklinde de olabilir. En çok kullanılan ikili sayı sistemi kullanıldığı takdirde çözüm dizileri “1” ve “0” karakterlerinden oluşmaktadır. Bu yaklaşım içinde çözüm dizilerinin oluşturduğu kümenin topluma, çözümlerin birer bireye ve çözüm dizilerini oluşturan rakamların ise genlere benzetilmesi mümkündür. Başlangıç aşamasında popülasyon, optimizasyonu yapılacak parametrelerin kodlanmış gösterimi olan, rastgele oluşturulmuş, belirli sayıda kromozomla doldurulur. İterasyon başlangıç çözümleri kullanarak başlar ve sonlandırma kriterleri sağlanana kadar devam eder. Sonlandırma kriteri, jenerasyon sayısı, algoritmanın çalışma süresi, uygunluk fonksiyonunun en iyi değerinin belirli bir süre aynı değeri taşıması gibi kriterler olabilir. Bu tez çalışmasında sonlandırma kriteri jenerasyon sayısıdır. Başlangıç popülasyonundaki her çözümün (birey) uygunluğu ölçülür ve en iyi birkaç elitizm operatörü ile bir sonraki jenerasyona doğrudan gönderilir. Kalan bireyler, belirlenen bir seçim mekanizmasıyla uygunluk değerinin iyilik derecesine göre seçilir. Seçilen iyi bireyler çaprazlama (crossover) ve değişim (mutasyon) operatörlerine sokularak, daha iyi bireyler oluşturarak yeni jenerasyon için hazırlanırlar. Oluşan yeni bireyler eski bireyler ile yer değiştirerek yeni jenerasyonun bireyleri olurlar. Seçim operatörü ve genetik operatörler yeniden uygulanır. Uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirme işlemine yeniden tabi tutulurlar. Bu döngü kabul edilebilir, mantıksal bir sonuç bulunana kadar devam eder [38, 53, 56, 64].

Genetik algoritmaların çalışmasını aşağıdaki adımlarla özetleyebiliriz [39, 40, 46, 48, 50, 52, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 69, 70]:

1. Adım: Arama uzayındaki tüm mümkün çözümler dizi olarak kodlanır. Çözüm grubuna biyolojideki benzerliği nedeniyle popülasyon, çözümlerin kodlar da kromozom olarak adlandırılır. Bu adıma popülasyonda bulunan birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100- 300 aralığında bir büyüklüktür. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir. Popülasyon bu işlemde sonra rastgele oluşturulur. Popülasyonu oluşturan bireylerin sayısı, popülasyon boyutu olarak tanımlanır ve popülasyon boyutu işlem boyunca sabit kalmaktadır. Popülasyon boyutu geniş tutulduğu zaman, ilk birkaç nesilde, sonucu kapsama olasılığı artmakta fakat genetik algoritmanın çalışma hızı azalmaktadır.

2. Adım: Her kromozomun ne kadar iyi olduğu bulunur. Kromozomların ne kadar iyi olduğunu bulan fonksiyona uygunluk fonksiyonu denir. Bu fonksiyon işletilerek kromozomların uygunluklarının bulunması ise hesaplama (evaluation) adı verilir. Bu fonksiyon genetik algoritmanın beynini oluşturmaktadır. Genetik algoritmada probleme özel çalışan tek kısım bu fonksiyondur. Çoğu zaman genetik algoritmanın başarısı bu fonksiyonun verimli ve hassas olmasına bağlı olmaktadır. Değerlendirme evrim süreci içerisinde bir sonraki nesile geçecek bireylerin belirlenmesi için gerekmektedir.

3. Adım: Rastgele seçilen kromozomlar kendi aralarında eşlenerek kopyalama ve değiştirme işlemleri uygulanır. Bu adımda, kromozomlar uygunluk değerlerine göre birbirleriyle çaprazlama işlemine uğrarlar. Çaprazlama işlemi sonrasında yeni nesil toplum oluşturulur. Çaprazlama işlemi, kullanılan kromozomların uygunluk değerlerine göre yapılırken, seçim işlemi farklı yöntemlerle yapılmaktadır. Genetik algoritmaları diğer algoritmalarından ayıran en önemli özelliklerden biri de seçmedir. Genetik algoritmalarda bireyin puanı onun seçilme şansını artırır ancak bunu garanti etmez. Seçim de ilk grubun oluşturulması gibi rastgeledir ancak bu rastgele seçimde seçilme olasılıklarını bireylerin puanı belirler. GA'lar da en fazla kullanılan seçim yöntemleri arasında rulet tekerleği seçim yöntemi (roulette wheel selection) ve turnuva seçimi (tournament selection) gibi yöntemler verilebilir.

4. Adım: Yeni kromozomlara yer açmak için eski kromozomlar ortadan kaldırılır.

Eski kromozomlar çıkartılarak sabit büyüklükte bir popülasyon sağlanır.

5. Adım: Tüm kromozomların uygunlukları tekrar hesaplanır. Tüm kromozomlar yeniden hesaplanarak yeni popülasyonun başarısı bulunur.

6. Adım: GA defalarca çalıştırılarak çok sayıda popülasyon oluşturulup hesaplanır. İstenilen düzeyde başarılı birey bulunana kadar veya topluluk başarıda artış sağlayamaz hale gelinceye veya başlangıçta belirlenen evrim sayısı tamamlanıncaya kadar 3. aşamadan bu yana olan işlemler tekrarlanır.

7. Adım: O ana kadar bulunan en iyi kromozom sonuçtur. Çünkü popülasyonların hesaplanmasında en iyi bireyler saklanmıştır.

GA geleneksel algoritmadan farklı olarak değişken kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanır. Olasılık kurallarına göre GA lar sadece amaç fonksiyonuna, tasarım değişkenlerine ve var ise kısıtlara gereksinim duyarlar. Çözüm uzayının tamamı değil belirli bir kısmını tarar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa sürede çözüme ulaşırlar [53, 56].

Popülasyon ortalaması üstünde uyum gösteren bireyler zamanın ilerlemesi ile üstün olarak çoğalırlar. Bu çoğalma genetik operatörler aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucunda ebeveynlerinden 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 sağlayabilmektedir [53, 56].

GA'nın işleme adımları incelendiğinde bu nedenler daha iyi anlaşılmaktadır. GA yapısı gereği, kötü bireyleri başka bir ifadeyle uygun olmayan çözümleri, operatörler sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir [53, 56].

6.5. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

GA'ların diğer yöntemlerden farklı olan bir özelliği de arama işleminin noktadan noktaya değil de, noktaların oluşturduğu bir başlangıç yığını içersinden aramayı gerçekleştirmesidir. Bu nedenle GA'larda ilk adım olarak çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu (başlangıç yığını) oluşturulur. Çözüm grubuna biyolojideki benzerliği nedeniyle popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Bu adıma popülasyonda bulunan birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu sayı için bir standart yoktur. Genel olarak önerilen 100-300 aralığında bir büyüklüktür. Büyüklük seçiminde yapılan işlemlerin karmaşıklığı ve aramanın derinliği önemlidir [53, 56, 62].

Başlangıç popülasyonunun kalitesi, son popülasyonun kalitesini etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Literatürde başlangıç popülasyonu genel olarak rastgele şekilde oluşturulmaktadır. Uygulama çalışmalarında başlangıç popülasyonunu oluşturma yöntemleri genelde farklılık göstermektedir. İkili alfabenin kullanıldığı kromozomların gösteriminde, ilk popülasyonun oluşturulması için rastsal sayı üreticileri kullanılabilir. Rastsal sayı üreticisi çağrılır ve değer 0,5'den küçükse konum 0'a değilse 1 değerine ayarlanır. Birey sayısının ve kromozom uzunluğunun az olduğu problemlerde yazı-tura ile de konum değerleri belirlenebilmektedir. Genetik algoritmalarda ikili kodlama yöntemi dışında, çözümü aranan probleme bağlı olarak farklı kodlama yöntemleri de kullanılmaktadır. Gerçek mühendislik problemlerinin çözümü için değil de araştırma yapmak amacıyla yazılan programlarda kullanılan GA'ların başlangıç popülasyonları genellikle rastgele üretilir. Fakat problemle ilgili başlangıçta bazı çözümler biliniyorsa bu durumda, popülasyon tamamen rastgele olarak değil de bir kısmı bilinen değerlerden oluşarak yapılmaktadır. Optimizasyon problemlerinde, rastgelelik, uygun olmayan çözümlere neden olabilir. Bu durumdan kaçınmak için genellikle incelenen probleme özgü sezgisel yöntemlerden yararlanılır. Örneğin, Grefenstette 1987'de yaptığı çalışmada, gezgin satıcı problemi için greedy sezgisellerinden; Kapsalis ve arkadaşları 1993'de yaptığı çalışmada, Steiner ağaç problemi için minimum ağaç yaklaşımından; Thiel ve Vass 1994'de yaptığı çalışmada, 0-1 sırt çantası problemi için ekleme çıkarma

sezgiselinden; Chen ve arkadaşları ise 1995'de çizelgeleme problemi için Campbell-Dudek-Smith ve Dannenbrig sezgisellerinden yararlanarak başlangıç popülasyonunu oluşturmuşlardır [40, 45, 49, 60, 70].

GA programında, jenerasyon sayısı ile popülasyon büyüklüğünün dengelenmesi gerekmektedir. Öyle ki, 100 kromozomlu bir popülasyon, çözümü 10 jenerasyonla bulabilir. Fakat 20 jenerasyonda çözümü bulan 20 kromozomlu bir başlangıç popülasyonuna sahip bir GA 'dan 4 kat daha uzun zaman alabilir. Bu durumda, başlangıç popülasyonu küçük olan bir GA, başlangıç popülasyonu büyük olan bir GA 'dan daha fazla jenerasyon sayısı ile çözümü bulmasına rağmen, daha kısa bir sürede optimum çözüme ulaşabilir sonucu çıkartılır. Popülasyon büyüklüğü için, 50-100 arasında kalan değerler yaygın olarak kullanılmaktadır. Ancak 30 diziye sahip popülasyonlar ile tatmin edici sonuçlara ulaşan birçok uygulama da vardır [47, 69].

6.6. Uygunluk Değerinin Hesaplanması

İlk ya da başlangıç popülasyonunun oluşturulmasıyla başlayan GA sürecinde gelecek nesillere aktarılabilecek bireylerin seçimini sağlayabilmek için bir uygunluk kriterinin belirlenmesi gerekmektedir. Uygunluk işlevi yardımıyla uygunluğu en iyi olan bireyin belirlenebilmesi ise problemin maksimizasyon yada minimizasyon problemi olmasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için i . üyenin uygunluk değeri $f(x)_i$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir. Fakat minimizasyon probleminde, $f_c(x)_i$, uygunluk fonksiyonunun (UF) negatif değer almaması için bir dönüşüm kullanılır.

$$f(x)_i = C_{\max} - f_c(x)_i \quad (6.1)$$

Burada, $C_{\max}$ yeteri değerde büyük bir sayı olup uygunluk değerinin pozitif olmasını sağlar. Uyum değerlerine bağlı olarak problem minimizasyon problemi ise düşük, maksimizasyon problemi ise yüksek uygunluk değeri aranır.

Çözümü istenen her problem için uygunluk fonksiyonu belirlenmelidir. Uygunluk fonksiyonu, belirli bir kromozomun çözüme yakınlığının göstergesi olan uygunluk değerinin hesaplanmasında kullanılır. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk

fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir. Popülasyon içerisinde uygunluk değeri yüksek olan bireyler seçilerek, en yüksek uygunluklu birey, uygunluğu düşük olan bireyin yerini almaktadır [40, 45, 47, 52, 53, 56, 59, 60, 62, 70, 71].

6.7. Genetik Algoritmanın Kodlanması

GA'da en önemli faaliyetlerinden biri de problem çözümünde kromozomların nasıl kodlanacağıdır. GA'nın yaygınlaşmaya başladığı ilk zamanlarda, parametre değerleri için iki tabanlı gösterim daha uygun görülüp yaygın olarak kullanılmıştır. Michalewicz, çalışmalarıyla arama uzayının doğasıyla uyumlu gösterimlerinin daha iyi sonuçlar sağladığını göstermiştir. Bu nedenle, fonksiyon optimizasyonunda, kromozomların iki tabanlı gösterime kıyasla gerçel sayılarla ifade edilmesi daha verimlidir [40].

Kodlanmış dizilerin uzunluğu değişkenlerin veya değişkenin alt ve üst sınırını tüm noktaları temsil edecek şekilde belirlemelidir. Her tasarım değişkeni alt ve üst sınır olarak

$$x_{(i)}^{alt} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)}^{üst} \quad (6.2)$$

aralığında genleri oluşturur [53, 56, 62].

Kodlanan genlerin birleştirilmesi ile de tasarım problemine ait kromozom (birey) elde edilir ve bitlerden meydana gelir. GA'nın başarısı, problemin düzgün kodlanmasına bağlıdır. Binary düzenindeki bu bitlerin sayısı, 1, aşağıdaki bağıntı ile bulunur [53, 62];

$$2^l \geq \left\lceil \frac{[x_{(i)}]_{\text{üst}} - [x_{(i)}]_{\text{alt}}}{\varepsilon} \right\rceil + 1 \quad (6.3)$$

Burada l , tasarım değişkeninin ikilik sistemdeki uzunluğu; ε , tasarım değişkeninin kesirli kısmının derecesini ifade etmektedir ($\varepsilon = 0.01$). Tasarım değişkenleri $\{0,1\}$ karakterlerinden oluşturulmaktadır. Tasarım değişkenlerinin gerçek değerleri $x(i)$, aşağıdaki eşitlik ile ikilik sistemden gerçek değerlerine dönüştürülür.

$$x_i = \frac{[x_{(i)}]_{\text{üst}} - [x_{(i)}]_{\text{alt}}}{2^l - 1} \cdot d_i + [x_{(i)}]_{\text{alt}} \quad (6.4)$$

Burada, d_i , ikilik sistemdeki dizinin onluk tabana dönüştürülmesi sonucu elde edilen değerdir [53, 62].

Kromozomların kodlanması aşamasında dikkat edilmesi gereken üç önemli nokta vardır. Bunlar [60];

- Kromozomun uygunluğu (Feasibility) kontrol edilir,
- Kromozomun belirtilen şartları (Constraints) sağlayıp sağlamadığı (Legality) kontrol edilir.
- Kodlama haritasında, kromozomun tek olduğu kontrol edilir.

Genellikle GA problemlerinde çözüm aşamasında, genotip ve fenotip olarak adlandırılan terimler vardır. Kromozomları oluşturan genler genellikle ikilik sayı sisteminde ifade edilirler. Genotipler, ikilik sayı sisteminde ifade edilen kromozom yapısını temsil etmektedir. Fenotipler ise ikilik sistemdeki kromozomların onluk tabana dönüştürülmüş şeklini temsil etmektedir. Fenotip orijinal değişken değerleri kullanan bir ifadedir [62].

GA'nın etkin kullanımını sağlamak amacıyla özel problemler için farklı kodlama metotları geliştirilmiştir. GA'da kullanılan başlıca kodlama sistemleri aşağıda verilmiştir [43, 45, 46, 47, 50, 52, 55, 61, 64, 68, 70]:

6.7.1. İkili (Binary) kodlama

Bilgisayarda programlanabilirliği açısından uygunluk göstermesi sebebiyle en çok kullanılan kodlama biçimidir. Bu kodlama yönteminde, popülasyonu oluşturan kromozomların her biri 0 ve 1'ler ile ifade edilerek kodlanırlar. Sonuçta kodlanan kromozom bir sayıya karşılık gelmektedir. Holland ikili kodlamaların uygulamasında bir yargı ortaya atmıştır. Holland, aynı bilgileri kullanarak iki farklı kodlama sistemini karşılaştırmıştır. İlkinde, az sayıda gen ve uzun diziler, diğerinde ise çok sayıda gen ve kısa diziler kullanmıştır. Ancak ikili kodlama yönteminde, küçük boyutlu problemler için çok büyük kromozom vektörleri meydana gelebilmektedir. Bu yüzden farklı kodlama yöntemleri problemin türüne göre kullanılmaktadır. Şekil 6.3'te ikili kodlama için bir örnek verilmiştir [39, 42, 59, 69].

İkili düzende kodlama, çok sık kullanılan bir kodlama tipi olmasına rağmen bazı sakıncaları vardır. Örneğin, çok değişkenli fonksiyon eniyilemesi için değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi çok uzun olabilir. Aynı zamanda gezgin satıcı, çizelgeleme, kareli atama gibi kombinatoriyal eniyileme problemlerinde ikili düzende kodlama, araştırma uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle literatürde, permütasyonlu kodlama (sayısal kodlama) daha sık kullanılmaktadır [60].

Kromozom A	001101010011
Kromozom B	101011100101
Kromozom C	001101101100

Şekil 6.3. İkili kodlama için kromozom örneği

6.7.2. Üçlü kodlama

Bu kodlamada dizi içerisindeki sayılar 0, 1, veya -1 olabilirler. Bu tür kodlama yönteminde, üçlü dijitin her biri ikinin kuvveti ile ilgilidir. Örneğin, $k \cdot 2^m$ 'i göz önüne

alalım. Eğer k pozitif ise (+1), dizi içerisindeki $|m|$ 'nin durumu 1 sayısı ile kodlanmaktadır. Öte yandan k negatif ise (-1), dizi içerisindeki $|m|$ 'nin durumu 1 sayısı ile kodlanır. Diğer durumlarda ise 0 ile kodlama yapılır [69].

6.7.3. Karışık kodlama

Bu kodlama yönteminde, her bir katsayı ikili dizi ve üçlü dijital olarak kodlanmıştır. İkinci kuvveti olan $k \cdot 2^{m_1}$, $k \cdot 2^{m_2}$, $k \cdot 2^{m_3}$ sayılarını ele alalım. Karışık kodlama yönteminde, üçlü değeri temsil eden k_i ; 0, 1 veya -1 olabilir. Bu sayıları m_i 'nin ikili kodlanmış dizisi takip etmektedir [69].

6.7.4. Permütasyon (Sıralı) kodlama

Sıralama problemlerinin çözülmesi açısından en uygun kodlama yönteminin permütasyon kodlama olduğu söylenebilir. Bu kodlama yöntemi, genel olarak gezgin satıcı ve şebeke tasarımları gibi sıra gözetilen problemlerde yaygınca kullanılır. Bu tür problemlerde yine permütasyon olarak düşünülen kodlama ikili diziye çevrilerek kodlanabilir. Yapılan bu değişiklikte, her sayı kaç bit (dijital) ile kodlanmışsa sonuçta elde edilen ikili dizi şeklindeki kromozomun dijital sayısı bir sayıyı temsil eder. Örneğin, gezici satıcı problemde (travelling salesman problem) "verilen şehirlerarasındaki uzaklıklar bilinirken, bütün şehirleri birleştiren minimum yol uzunluğu ne olmalıdır?" sorusuna cevap aranmaktadır. Burada kromozomlar, şehirlerin hangi sırada ziyaret edilebileceğini gösteren permütasyonlar şeklinde kurulurlar. Şekil 6.4'de bir permütasyon kodlama örneği verilmiştir [59, 60, 69].

Kromozom A	240553432205
Kromozom B	310453234503
Kromozom C	156522440323

Şekil 6.4. Permütasyon kodlama için kromozom örneği

6.7.5. Değer kodlama

Bazı uygulama alanlarında değerlerin tamamının kodlanabilmesi için çözüm uzayında bulunan değerler aynen kullanılabilir. İkili ve çok karakterli ampirik karşılaştırmalar çok karakterli kodlamanın performansının daha iyi olduğunu göstermiştir. Bu kodlama yöntemi, gerçel gibi kompleks sayıların da yer aldığı problemlerde kullanılır. Bu tür problemler için ikili kodlama oldukça zordur. Burada her kromozom, bazı değerler dizisidir ve bu değerler problemle ilişkilidir. Örneğin gerçel sayı, karakter veya kompleks sayılar olabilir. Bu tür kodlama, yapay sinir ağları için ağırlıkların hesaplanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Şekil 6.5'te bir değer kodlama örneği verilmiştir [59, 60, 69].

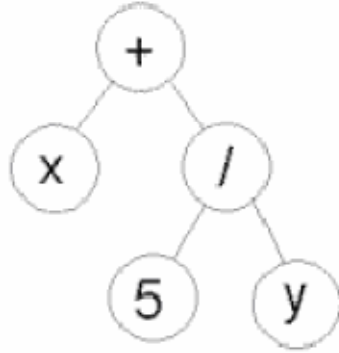
Kromozom A	4.235 6.143 2.221 1.374 2,942
Kromozom B	ABKLCCDDBFTGHJKDGB
Kromozom C	(sol), (geri), (ileri), (sağ), (sol)

Şekil 6.5. Değer kodlaması için kromozom örneği

6.7.6. Ağaç kodlama

Ağaç kodlama genellikle GA'da programlar ve ifadeler oluşturmak için kullanılır. Ağaç kodlama yapılarak oluşturulan kodlamada her kromozom, adından da anlaşılacağı gibi nesneler ve nesneler arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşur. Bu yöntemin dezavantajı ağaçların kontrolsüz bir şekilde büyüyebilmesi ve hiyerarşik aday çözümlerin oluşmasını önleyebilmesidir. Aynı zamanda sonuçta oluşan ağaçlar büyük olduğundan anlaşılması ve basitleştirilmesi oldukça zordur. Şekil 6.6'da bir ağaç kodlama örneği verilmiştir [39, 69].

Kromozom A



$$(x + (5 / y))$$

Şekil 6.6. Ağaç kodlama için kromozom örneği

6.8. Seçim Operatörü

GA'da, kodlama türüne karar verildikten sonra ikinci olarak GA'nın popülasyon seçimini nasıl yapacağına ve ne kadar gen oluşturulacağına karar vermek gerekir. GA ile amacımıza hitap eden çözümlere ulaşılabilmesi, bir önceki nesilden sonrakilere aktarılabilecek bireylerin uygun kriterlere göre belirlenmesiyle mümkündür. Böylece uygunluk kriterlerimize uyan çözümleri saklama, uymayanları ise eleme imkânına kavuşuruz. Seçim kriterinin gücü, uygunluk kriterlerinin iyi saptanmasında yatmaktadır. Bu nedenle bireylerden beklenen uygunluğun ne olduğu iyi tanımlanmalı ve matematiksel olarak formüle edilmelidir. Popülasyon içerisinde yer alan ve her bir bireyi temsil eden kromozomların ne kadar iyi olduklarını bulan fonksiyona uygunluk (uyumluluk, fitness) fonksiyonu denir. Bu GA programında özel çalışan tek kısımdır. Uygunluk fonksiyonu kromozomların şifrelerini çözer (decoding) ve sonra da hesaplama yaparak bu kromozomların uygunluklarını hesaplar. GA'nın her çevriminde elde edilen kromozomların uygunluk değerleri, uygunluk fonksiyonuna tabi tutularak hesaplanır. Daha sonra yüksek uyuma sahip olanlar seçilir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Uygunluk fonksiyonu, çözümlerinin uygunluk değeri en yüksek olandan düşük olana

doğru sıralanmasını sağlar ancak sıralanan çözümler arasında çeşitliliği de koruyacak şekilde bir seçim yapılması gerekir [39, 43, 45, 46, 47, 52, 53, 54, 55, 57, 61, 62, 69, 70].

Yeni bireyler, uyumluluğa göre seçilebildiği gibi rastgele de seçilebilir. Yeni bireylerin tamamen rastgele seçilmesi durumunda yakınsama zorlaşabilir. Tüm bireyler uyumluluğa göre seçildiğinde ise yeni kuşaklar içinde bölgesel yakınsamalar olabilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için belli bir oranda uyumluluk seçimi belli bir oranda da rastgele seçim yapılabilir. Bu oran kuşak farkı ile ifade edilir. Kuşak farkı % 100 olduğunda yeni bireylerin tamamı uygunluğa göre seçilir [59].

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.

6.8.1. Orantılı seçim mekanizmaları

Bu seçim mekanizmaları, rulet tekerleği, stokastik artan ve stokastik universal seçim mekanizmaları olarak bilinen, bir seçim yığınındaki kromozomların uygunluk değerlerine göre seçiminin yapıldığı seçim mekanizması türleridir [53].

Rulet tekerleği seçim mekanizması:

Holland'ın orijinal GA'sında bu yöntem kullanılmıştır. Bu yöntemde, bireyin beklenen değeri, bireyin uygunluk değerinin popülasyon ortalamasına bölümüdür. Her bir popülasyon bireyi için hesaplanan uygunluk değerleri bir çarkın dilimlerini oluştururlar. Uygunluk değeri büyük olan, çarkta daha büyük bir alana sahip olacaktır. Bu durumda popülasyondaki bu bireylerin seçilme olasılığı daha yüksek olacaktır. Popülasyondaki her bir birey için hesaplanan seçilme olasılıklarına göre rulet çarkının içi dilimlenerek doldurulur. Çark popülasyondaki toplam birey sayısı kadar çevrilir. Her çevrimde diğer operatörlerde kullanılacak yeni bireyler için seçim işlemi yapılır [39, 53, 58, 66, 69].

$$F = \sum_{i=1}^N UF(x_i) \quad (6.5)$$

$$P_r(x_i) = \frac{UF(x_i)}{F} \quad (6.6)$$

F: Popülasyondaki bütün uygunluk değerlerinin toplamı

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

N: Popülasyon adımı sayısı

UF: Uygunluk fonksiyonu

Bu yöntemi bir örnek ile açıklayacak olursak; başlangıç popülasyonu adım sayısı 6 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 [53].

$P_r(x_1) = 0.17$ çarkın 0.00 ile 0.17 arası dilimi

$P_r(x_2) = 0.13$ çarkın 0.17 ile 0.30 arası dilimi

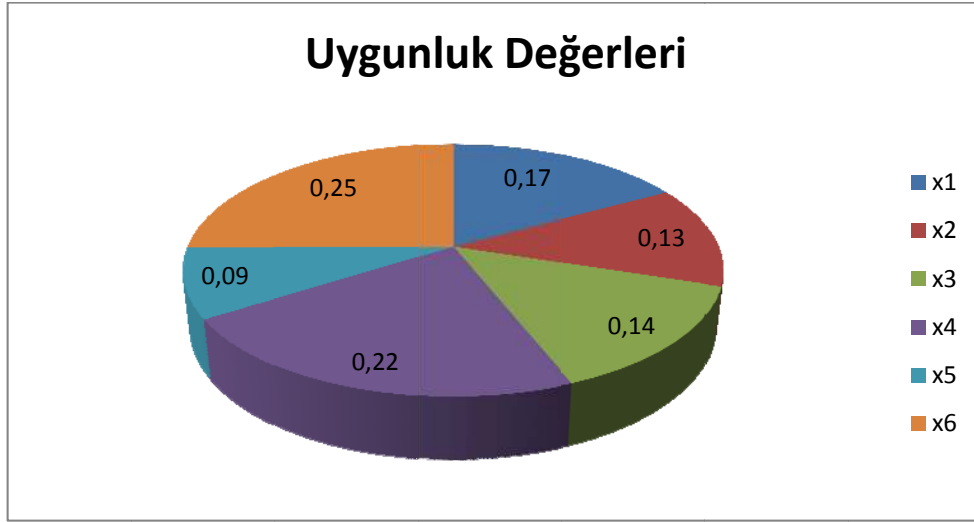
$P_r(x_3) = 0.14$ çarkın 0.30 ile 0.44 arası dilimi

$P_r(x_4) = 0.22$ çarkın 0.44 ile 0.66 arası dilimi

$P_r(x_5) = 0.09$ çarkın 0.66 ile 0.75 arası dilimi

$P_r(x_6) = 0.25$ çarkın 0.75 ile 1.00 arası dilimini oluşturur.

Hesaplanan uygunluk değerlerinin rulet çemberine yerleştirilmesi Şekil 6.7'deki gibi olacaktır.



Şekil 6.7. Bireylerin rulet tekerleğine yerleşimi

Şekil 6.7'de görüldüğü gibi uygunluk değerine göre en yüksek seçilme olasılığına sahip popülasyon bireyi x_6 en düşük seçilme ihtimali olanı ise x_5 olarak görülmektedir. Rulet çarkının tamamının %100 yani 1 olarak alındığı varsayılırsa çark her dönüşünde 0 ile 1 arasında bir dilimin olduğu herhangi bir noktada duracaktır. Bilgisayar programı yardımı ile popülasyondaki birey sayısı kadar sayı, 0 ile 1 arasında rastgele üretilir. Bu sayılara karşılık gelen çarkın bölmelerine ait bireyler çiftleşme havuzuna gönderilir. Seçilen bu bireyler GA'nın diğer operatörü olan çaprazlama (Crossover) ve mutasyon (değişim) gibi operatörlerin yaptığı işlemlerin ardından gelecek jenerasyonun bir bireyi olacaktır [53].

Şayet kromozomların uyumluluk değeri arasında çok ciddi farklılıklar varsa, sonraki nesillerde çeşitlilik azalacaktır. Örneğin en iyi kromozomun uyumluluğu %90 ise diğer kromozomların seçilme şansı azalacaktır. Bu durum Rulet Çemberinin dezavantajı olarak düşünülebilir. Rulet çemberinde stokastik hatalar nedeniyle bir bireye pay edilen yavru sayısı, beklenen yavru sayısından önemli ölçüde farklı olabilir. Bu nedenle rulet çemberi seçimi büyük örnekleme hataları doğurabilmektedir. İterasyon sayısı arttıkça, örnekleme hatası da artmaktadır. Pay edilen yavru sayısı, sadece çok büyük popülasyonlar için beklenen yavru sayısına yaklaşmaktadır. Rulet çemberi seçimindeki bu örnekleme hatası nedeniyle, arama tahmin edilenden farklı yönlerde devam etmektedir. Bu ise algoritmanın muhtemelen

yerel optimuma zamansız yakınsamasına neden olmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için çeşitli seçim yöntemleri önerilmiştir [40, 43, 56, 60].

Stokastik artan seçim mekanizması:

Bu seçim mekanizmasında önce yığındaki dizilerin beklenen kopya sayısı hesaplanır. Sonra her dizinin beklenen kopya sayısının tamsayı kısmı kadar kopyası yeni yığına kopyalanır. Yığın genişliğine ulaşılmadı ise, yığın doldurmak için beklenen kopyaların kesirli kısımları da olasılıklı olarak kullanılır. Kesirli kısımların kullanılmasında iki yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda beklenen kopya sayısı 1.5 olan bir dizinin bir tane kopyası yeni yığına alınırken ikinci kopyasının yeni yığında olma olasılığı ise %50 dir. İkinci yaklaşımda ise kesirli kısımlar kullanılarak rulet çemberi aralıkları oluşturulur ve seçim yapılır [53, 62].

Stokastik universal seçim mekanizması:

James Baker, bireye atanan gerçek yavru sayısı ile beklenen yavru sayısı arasındaki farkı minimize eden stokastik evrensel örnekleme adında bir yöntem önermiştir. Temel düşünce tek bir seçimle tüm N bireyi örnekleme. Bu yöntemi gerçekleştirmek için, rulet çemberine seçim çemberi (selection wheel) denilen bir ek parça eklenir. Bu parça eşit aralıklı N göstergeye sahiptir. Çember bir kez çevrilir ve durduğunda göstergelerin bulunduğu yerler bireyleri gösterir. Böylece N birey, bir adımda seçilir. Göstergeler eşit aralıklı olduğu için, bir bireyin küçük popülasyonlarda bile tüm popülasyona hakim olma tehlikesi yoktur. Bu yöntemle, her bireyin beklenen yavru sayısı kadar (daha çok değil) üremesi garanti edilir. Bu algoritma ile seçim planının belirli bir işleyişinin sonucu beklenen davranışa mümkün olduğunca yakındır, yani ortalama değişim minimumdur [40, 53, 62].

6.8.2. Sıralı seçim mekanizması (rank selection)

Baker tarafından öne sürülen bu mekanizmada, her kromozom, uyumluluk fonksiyonuyla hesaplanmış uyum değerine göre sıralanır. Daha sonra kromozomlar en kötü uyum değerine sahip olandan en iyi değere sahip olana doğru sıralanır. En uyumsuz kromozomun değeri 0, en uyumlu kromozomun değeri is N (toplam

kromozom sayısı) kadardır. Böylece kromozomların seçilme olasılığı, doğrusallaştırılmış artan fonksiyon haline getirilir.

Sıralı seçim yönteminin uygulandığı toplumlarda bireyler en zayıf uygunluğa sahip bireyden başlayarak, en güçlü uygunluğa sahip bireye doğru sıralanır. Bu sıralama ile birlikte bireylerin sıra numaraları aynı zamanda yeni uygunluk değerleri olarak belirlenir. Almış oldukları yeni uygunluk değerleri dikkate alınarak aynı Rulet tekerleğinde olduğu gibi uygunluk oranları ve kümülatif uygunluk oranları saptanarak $[0,1)$ aralığında rastgele olarak belirlenen sayıların kaldığı aralık doğrultusunda seçim işlemi uygulanır [59].

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. Fakat bu yöntemin bir dezavantajı, en iyi kromozomun diğerlerinden fazla farkı olamayacağından çözüme ulaşma yavaş olacaktır [43, 53, 62, 69].

6.8.3. Turnuva (Tournament) seçim mekanizması

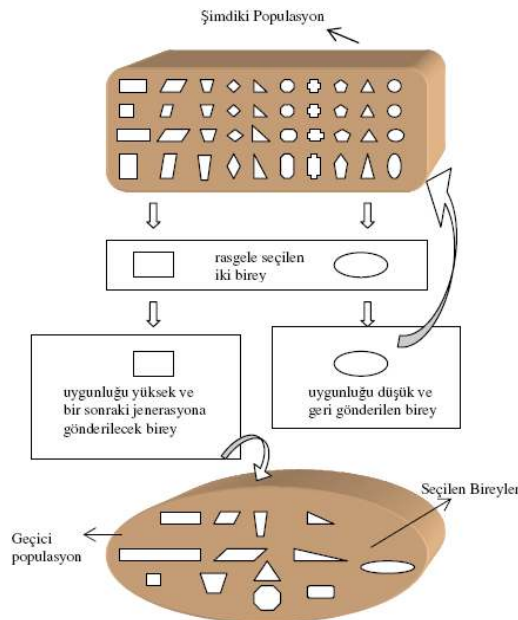
Turnuva seçim yöntemi, sıralama seçim yöntemine benzer. Ancak işlemsel olarak daha verimli olup, uygulamaya daha yatkındır. Bu mekanizma da yığından rastgele bir grup birey seçilir ve bu grup içerisinde uygunluk değeri en büyük olan birey alınır ve kromozom eşleme havuzuna gönderilir. Diğerleri yine yığının içine bırakılır ve hala seçilme şansları devam eder. Şekil 6.8.'de 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_6 ve x_4 seçilerek kaydedilir. Bunlar çiftleşme havuzunda kesinlikle yer alırlar [39, 53, 56, 62].

Gruptan rastgele seçilen birey sayısı t ile ifade edilir ve turnuva genişliği olarak ifade edilir. Turnuvalarda çoğunlukla $t=2$ alınır ve ikili turnuva olarak adlandırılır [40].

6.8.4. 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 popülasyon oluşturulur. Kısacası; alt popülasyon oluşturulduktan sonra uygunluklar hesaplanır, en kötü kromozomlar yerlerini başlangıçtaki en iyi kromozomlara terk ederler. Yapılan bu seçim yöntemleri içerisinde biri kullanılarak gelecek neslin oluşturulması işlemi, uygunluk değerleri kötü olan kromozomların yerlerine iyi olan kromozomlar alınarak gerçekleştirilir. Denge durumlu GA'lar daha çok kural tabanlı sistemlerde kullanılır [39, 50, 53, 56, 59, 62, 69].



Şekil 6.8. Turnuva seçim mekanizması [53]

6.9. Çaprazlama Operatörü

Biyolojik terim olarak çaprazlama genel olarak, bir bireyin içerisindeki değişimi kastetmesine rağmen, çaprazlama terimi burada bireyler arasındaki benzer alt kromozomların değişimlerini ifade etmektedir. Genetik algoritmada çaprazlama iki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapmasıdır. Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır [47, 50, 52, 53, 56, 70].

Amaç, ana-baba kromozom genlerinin yerini değiştirerek çocuk kromozomlar üretmek ve böylece var olan uygunluk değeri yüksek olan kromozomlardan, uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar elde etmektir. Benzer şekilde GA, çaprazlama işlemini uygunluk değerlerine göre seçilmiş iki ebeveyn bireyden, iyi özellikte yeni bireyler elde etmek için kullanır. Eğer iki bireyin problemin çözümünde bazı etkileri var ise onların bir parçaları faydalı, iyi veya uygun nitelenebilecek bilgi taşımaktadır. Çaprazlama belki problemin çözümünde, bu faydalı bilgileri birleştirerek, daha çok etkili yeni bireyler üretecektir. Çaprazlama ile oluşan yavrular popülasyonda olmayan bilgileri alamazlar. Örneğin; mevcut popülasyonun tüm elemanları, dizinin 1. pozisyonunda 1 içeriyorsa, çaprazlama bu pozisyonunda 0 olan bir bireyi hiçbir zaman yaratamaz [40, 56, 57, 58].

Yeni kuşak oluşturulurken mevcut toplumun tamamının çaprazlanması yerine belli bir oran dahilinde çaprazlama uygulanır. Böylece toplumda var olan iyi bireylerden bazılarının kaybolması da engellenmiş olur. Bazı popülasyon bireylerinin çaprazlama işlemine uğramadan bir sonraki popülasyona geçmesi isteniyorsa bu durumda çaprazlama oranı belirlenir. Literatürde bu oranın %50 - %95 oranında uygulandığı görülmüştür. Çaprazlamada bir diğer önemli unsur ise ne tür bir çaprazlamanın yapılacağıdır. Örneğin, eş kromozom seçiminde ilk olarak en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom seçilirken, ikinci kromozom rastgele olarak seçilebilir. Çaprazlama oranı belirlendikten 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. Çaprazlama olasılığı 0.5-1.0 aralığında tavsiye edilir. Çaprazlama oranı $P_{\text{ç}} = 0,6$ belirlendiğini varsayarsak, 10 adet bireyden 6 tanesi çaprazlamaya tabi tutulacaktır. Çaprazlamaya uğrayacak bu kromozomların belirlenebilmesi için her birey için bir p sayısı üretilir [53, 54, 59, 60].

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

Çizelge 6.2. Çaprazlama için üretilen rastgele değerler

p_1	0,70
p_2	0,35
p_3	0,66
p_4	0,15
p_5	0,42
p_6	0,09
p_7	0,34
p_8	0,18
p_9	0,22
p_{10}	0,53

- $p_1 > P_{\text{ç}}$ 0,70 > 0,6 olduğundan 1 numaralı birey çaprazlama işlemi görmez.
- $p_2 < P_{\text{ç}}$ 0,35 < 0,6 olduğundan 2 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_3 > P_{\text{ç}}$ 0,66 > 0,6 olduğundan 3 numaralı birey çaprazlama işlemi görmez.
- $p_4 < P_{\text{ç}}$ 0,15 < 0,6 olduğundan 4 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_5 < P_{\text{ç}}$ 0,42 < 0,6 olduğundan 5 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_6 < P_{\text{ç}}$ 0,09 < 0,6 olduğundan 6 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_7 < P_{\text{ç}}$ 0,34 < 0,6 olduğundan 7 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_8 < P_{\text{ç}}$ 0,18 < 0,6 olduğundan 8 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_9 < P_{\text{ç}}$ 0,22 < 0,6 olduğundan 9 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.
- $p_{10} < P_{\text{ç}}$ 0,53 < 0,6 olduğundan 10 numaralı birey çaprazlama işlemi görür.

Basit bir çaprazlama işlemi iki adımda yürütülür. İlk olarak çaprazlama işlemine uğrayacak diziler rastgele belirlenir. İkinci adımda ise çaprazlama işlemini uygulamak için dizi üzerinde bir k tam sayı pozisyonu yine rastgele seçilir. Diziyi oluşturan karakterlerin sayısı ya da dizi uzunluğu l ise, k çaprazlama pozisyon değeri 1 ile $l-1$ arasında olmalıdır. Buna göre rastgele seçilen bir dizi çiftinde, $k+1$ ile l arasındaki bütün karakterler karşılıklı olarak yer değiştirilerek iki yeni dizi elde edilir [55, 61].

Çaprazlama işlemi tek noktalı, çift noktalı, çok noktalı ve düzgün (üniform) çaprazlama metotları ile yapılmaktadır. Programlama sürecinde farklı çaprazlama operatörleri kullanılabilir. Bu operatörlerden hangisinin seçileceğine ise problemin çözümü öncesi yapılacak değerlendirmelere bakılarak karar verilir [39, 43, 47, 53, 62, 64].

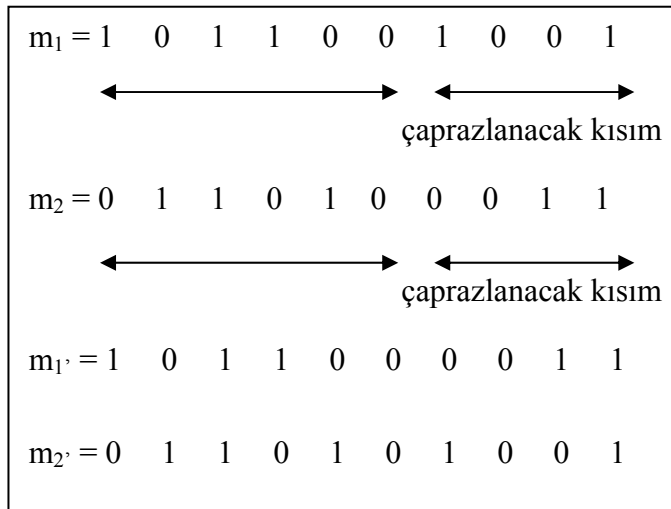
Son yıllardaki GA literatürleri çeşitli teknikleri karşılaştırmıştır. Özellikle, tek nokta ve iki nokta çaprazlama ile tek nokta ve üniform çaprazlama karşılaştırılmaktadır. Üniform çaprazlama bitlerin pozisyonlarını gözetmeksizin değiştirmektedir. Ancak yüksek bozucu yapı sık sık sorun olmaktadır. Tek nokta ve iki nokta çaprazlama, popülasyon homojen olduğunda aramaya daha da yardımcı olmaktadır [40].

Popülasyon büyüklüğü ile çaprazlama türü arasında etkileşim bulunmaktadır. Deneysel sonuçlar, üniform çaprazlamanın küçük popülasyonlar için, iki nokta çaprazlamanın ise büyük popülasyonlar için daha iyi olduğunu göstermektedir. Üniform çaprazlamanın bozuculuğu, küçük popülasyonlarda oldukça keşifsel bir arama yapmaya yardımcı olmaktadır. Büyük popülasyonlarda var olan çeşitlilik keşif gereksinimini azaltmakta ve iki nokta çaprazlamayı daha uygun kılmaktadır [40].

6.9.1. Tek noktalı çaprazlama yöntemi

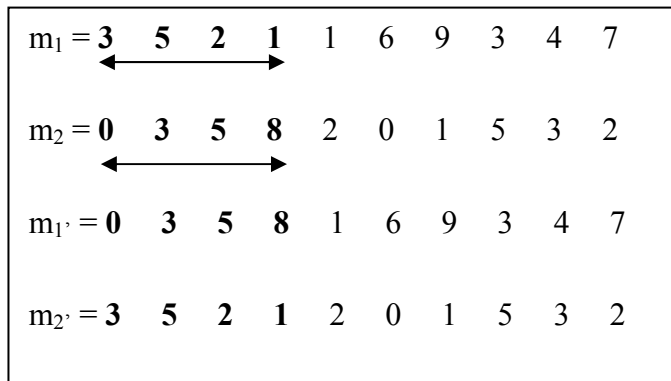
En basit çaprazlama yöntemi tek noktalı çaprazlama yöntemidir. Tek noktalı çaprazlama yapılabilmesi için her iki kromozomun da aynı gen uzunluğunda olması gerekir. Bu tip çaprazlama işleminde ikişerli olarak eşleştirilen bireylerin çaprazlanması için rastgele olarak bireyin genleri üzerinde bir nokta 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 10 genden oluşan bir birey için 1 ile 9 arasında bir sayı üretilir ve üretilen sayının sağındaki rakamlar çaprazlamaya tabi tutulur. $a \in \{1,9\}$, $a=6$ ve çaprazlamaya tabi tutulacak kromozomlar, m_1 ve m_2 , çaprazlamadan sonra oluşacak kromozomlar m_1' ve m_2' ise;



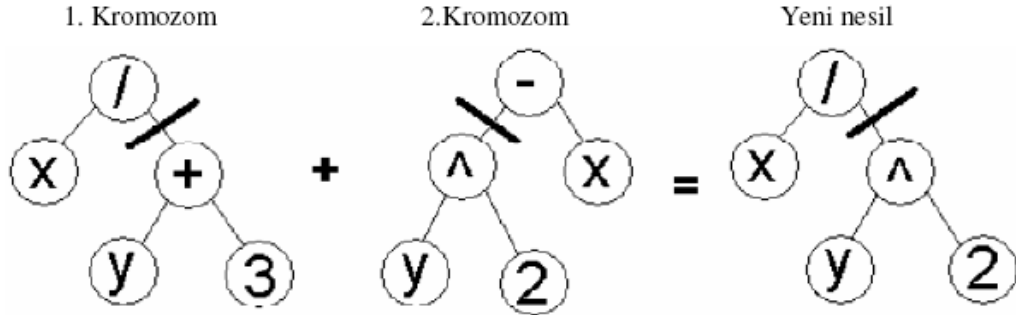
Şekil 6.9. Tek noktalı çaprazlama

Permütasyon kodlamada tek noktalı çaprazlama şu şekilde olmaktadır [69];



Şekil 6.10. Permütasyon kodlamada tek noktalı çaprazlama

Ağaç kodlamada tek noktalı çaprazlama ise şu şekilde olmaktadır [69];



Şekil 6.11. Ağaç kodlamada tek noktalı çaprazlama

Değer kodlamada tek noktalı çaprazlama ise şu şekilde olmaktadır [59];

$m_1 =$	A	C	A	D	B	G	E	A	F
	←────────────────→								
$m_2 =$	D	A	B	G	F	E	A	B	E
	←────────────────→								
$m_{1'} =$	D	A	B	G	B	G	E	A	F
$m_{2'} =$	A	C	A	D	F	E	A	B	E

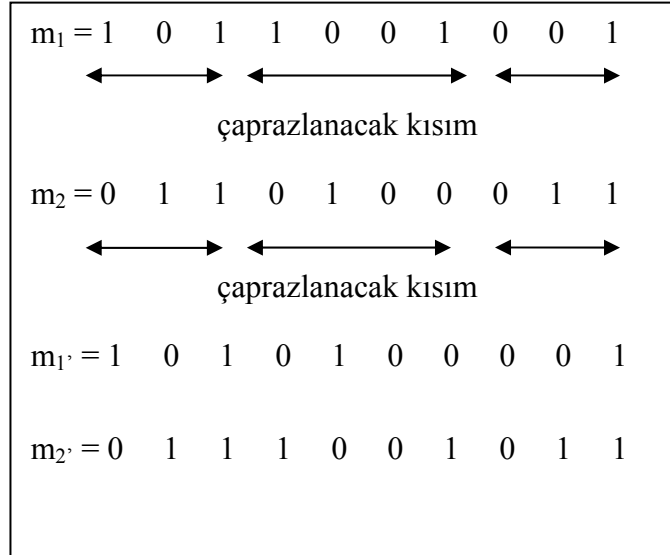
Şekil 6.12. Değer kodlamada tek noktalı çaprazlama

6.9.2. Çok noktalı çaprazlama yöntemi

De Jong, çok nokta çaprazlama operatörlerini test edip, daha fazla alt dizi değiştirildiğinde performansın gerilediği sonucuna varmıştır. İlerlemeyi sürdürmek için bazı değişiklikler kazandırmak önemlidir. Ancak, çok fazla değişim yapmak, bir çözümün iyi özelliklerine karar verme olasılığını yükseltmektedir. Bazı araştırmacılar ise, çok nokta çaprazlamanın kromozomlardaki bazı iyi özelliklerinin birleştirilmesinin uygun olacağını düşünmektedirler. Bu nedenle, mevcut çözümlerdeki iyi özelliklerin işletilmesi ve yeni özelliklerin kazanılması arasındaki denge, etkin bir GA araması için çok önemlidir [40].

Çok noktalı çaprazlama işleminin GA'nın performansını artırdığı literatürde yapılan çalışmalarda belirtilmektedir. Bu çaprazlama işleminde çaprazlama noktası birden fazladır. Bu noktaların arası çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır. Noktalar tek noktalı çaprazlama da olduğu gibi 0 ile bireydeki gen sayısı arasında rastgele üretilir. Kromozomlar belirlenen noktalardan birkaç kısma ayrılır. Kromozomun baş kısmı ile son kısmı aynı kalır ve aradaki kısımlar çaprazlama işlemine tabi tutulur.

$a \in b [1,9]$ $a=3$, $b=7$ ve çaprazlamaya uğratılacak kromozomlar m_1 ve m_2 , çaprazlamadan sonra oluşacak kromozomlar m_1' ve m_2' ise;



Şekil 6.13. Çift noktalı çaprazlama

6.9.3. Düzenli (Uniform) çaprazlama yöntemi

Syswerda tarafından tanımlanmıştır. Düzgün çaprazlama metodunda tek ve iki noktalı çaprazlama da olduğu gibi belli noktalardan kesilerek çaprazlama işlemi yapılmaz. Bu metotta hangi genlerin çaprazlamaya tabi tutulacağını belirleyen bir çaprazlama kalıbı (maske) rastgele 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 [53, 68].

a çaprazlama kalıbı ve kromozomlar m_1 ve m_2 şeklinde olursa, ve çaprazlama işlemi sonucunda oluşacak kromozomlar $m_{1'}$ ve $m_{2'}$ ise;

$m_1 =$	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1
$m_2 =$	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0
$a =$	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
$m_{1'} =$	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
$m_{2'} =$	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1

Şekil 6.14. Düzgün çaprazlama

Çaprazlama kalıbı tek ve iki noktalı çaprazlama işlemlerinde de kullanılabilir. Bu durumda oluşacak kalıplarlarda 0 alan değerler çaprazlamaya uğramadan, 1 alan değerler ise çaprazlamaya tabi tutulur.

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.

6.10. Mutasyon Operatörü

Çaprazlama işleminden sonra mutasyon işlemi gelmektedir. Canlılarda gen rekombinasyonlarının dışındaki diğer nedenlerle ve ani olarak meydana gelen kalıtsal değişimlere mutasyon denir. Doğal popülasyonlarda mutasyon işlemi;

- Kromozom yapısı değişimleri,
- Kromozom sayısı değişimleri,

- Gen yapısındaki fiziksel ve kimyasal değişimler, şeklinde gerçekleşir.

Yapay sistemlerde mutasyon işlemi esnasında kromozomdaki gen sayısı değişmez sabit kalır. Doğal popülasyondaki mutasyon oranı oldukça düşüktür. Mutasyon frekansının büyüklüğü GA'nın performansını etkilemektedir. Mutasyon işlemi bir tek kromozom üzerinde yapılır [39].

Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretmez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Toplulukta çeşitlilik yaratabilmek, çaprazlama sonucunda kaybolabilen iyi özellikleri geri kazanabilmek ve genel en iyiye ulaşabilmek için bireylerdeki kodlar belli bir olasılık ile değişime (mutasyon) uğratılmaktadır. GA'nın bu işleyişi önceden belirlenen bir durdurma koşulu sağlanıncaya kadar devam etmektedir. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır. Mutasyon; yeni, görülmemiş ve araştırılmamış çözüm elemanlarının bulunması için kullanılır. Bu operatör aynı zamanda algoritmanın alt optimal bir çözümü bulmasını engeller ve çalışmanın yerel bir noktada sıkışıp kalmasını engeller [40, 45, 47, 49, 50, 52, 53, 57, 58, 61, 62, 68, 70, 71].

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 rastgele 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. 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 [53].

Değiştirme (mutasyon aralığı) olasılığının 0,1 - 0,001 aralığında olması tavsiye edilir. Aşağıdaki eşitlik Back tarafından önerilmiştir [53, 56, 60, 64].

$$1 / \text{popülasyon büyüklüğü} < \text{Mutasyon oranı} < 1 / \text{kromozom uzunluğu}$$

Kodlama yöntemine bağlı olarak, mutasyon işlemlerinin farklı şekilleri bulunabilmektedir. Bunlar aşağıda açıklanmıştır [59, 69].

6.10.1. Uniform mutasyon

Uniform mutasyonda, toplum içerisinde seçilen bireyin bir geni rastgele olarak belirlenir. Rastgele seçilen gen çözüm aralığından yine rastgele olarak belirlenen bir değerle değiştirilir.

Mutasyon Öncesi	A	C	D	A	A	B	C	D
				↓				
Mutasyon Sonrası	A	C	D	C	A	B	C	D

Şekil 6.15. Değer kodlamaya uniform mutasyon uygulanışı

Mutasyon Öncesi	3,24	2,21	1,42	3,44	2,43
			↓		
Mutasyon Sonrası	3,24	2,21	2,56	3,44	2,43

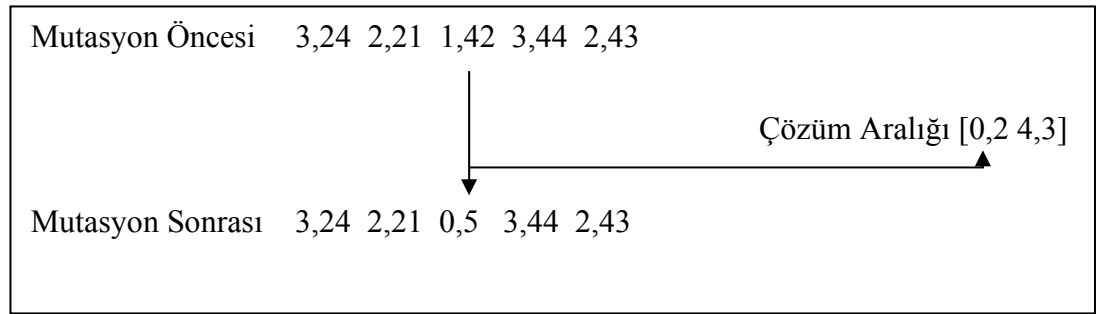
Şekil 6.16. Değer kodlamaya (reel olarak) uniform mutasyon uygulanışı

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

Şekil 6.17. İkili kodlamaya uniform mutasyon uygulanışı

6.10.2. Sınır mutasyon

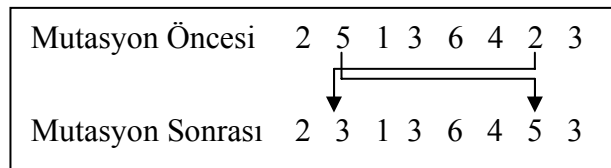
Sınır mutasyonda, toplum içerisinde seçilen bireyin bir geni rastgele olarak belirlenir. Rastgele seçilen gen çözüm aralığının minimum ya da maksimum değerlerinden biri ile değiştirilir.



Şekil 6.18. Değer kodlamaya (reel olarak) sınır mutasyon uygulaması

6.10.3. Rastlantısal mutasyon

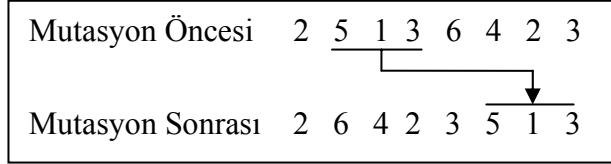
Rastlantısal mutasyon yönteminde, rastgele olarak belirlenen iki gen birbiriyle yer değiştirilir. Bu yöntem sıklıkla permütasyon kodlama yöntemi ile kodlanmış toplumlar için kullanılmaktadır.



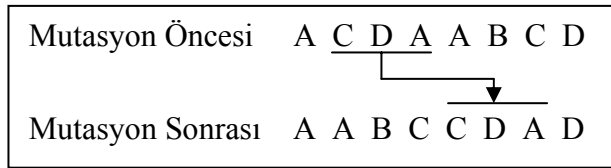
Şekil 6.19. Permütasyon kodlamaya sınır mutasyon uygulaması

6.10.4. Yerdeğişim mutasyonu

Yerdeğişim mutasyonunda, rastgele olarak bir gen dizisi belirlenir. Belirlenen dizi rastgele olarak kaydırılır. Bu yöntem sıklıkla permütasyon kodlama ile kodlanmış toplumlara uygulanırken; değer kodlama ile kodlanan toplumlara da uygulanabilir.



Şekil 6.20. Permütasyon kodlamaya yerdeğişim mutasyonu uygulaması



Şekil 6.21. Değer kodlamaya yerdeğişim mutasyonu uygulaması

6.11. Diğer Operatörler

Seçim operatörü, çaprazlama ve mutasyon operatörleri genetik algoritma uygulamalarında en fazla kullanılan operatörler olmasına rağmen, basit genetik algoritmanın gücünü arttırmak için bazı ek operatörler de uygulanmaktadır. Bir genetik algoritmanın güçlülüğü, uygun bir zaman içerisinde, algoritmanın iyi bir optimal çözümü bulabilme kabiliyetidir. En sık kullanılan ek operatörler uygunluk değeri paylaşımı ve ters çevirme (inversion) operatörlerdir [45, 53].

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 [53].

Terslendirme operatörü ile kromozom içerisindeki gen değerleri yeniden düzenlenir. Bit dizisi şeklinde kodlanan bilgi, problem için en iyi çözümü ifade eden gen dizisi olmayabilir. Genlere bağlı olan bu durum, bunları içeren şemanın süreklilik olasılığını etkiler. Yani gen dizisi algoritmanın etkinliğini etkiler. Ters çevirme (inversion) operatörü, anne kromozomun genlerinde rastgele seçilmiş iki nokta arasında bulunan gen sırasını ters çevirerek görevini yerine getirir. Gerekli değişim

olduktan sonra da herbir gen yine önceki bilgiyi ifade eder. Şekil 6.22’de terslendirme operatörüne bir örnek gösterilmiştir [45, 53, 60, 68].

Anne-Baba	0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 1
Yavru	0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1



Şekil 6.22. Terslendirme operatörüne bir örnek

6.12. Elitizm (Seçkinlik, En iyinin saklanması)

İlk olarak De Jong tarafından önerilmiştir. Üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonrasında kuşakta bulunan en iyi uyumluluğa sahip birey sonraki kuşağa aktarılamayabilir. Bunu önlemek için bu işlemlerden sonra oluşan yeni kuşağa bir önceki kuşağın en iyi (elit) bireyi, yeni kuşaktaki herhangi bir birey ile değiştirilir. Buna elitizm adı verilir. Yöntemin avantajı en iyi uyum değerine sahip bireyin örnekleme hatasını ya da genetik operatörlerin kullanılması ile kaybolmasını önlemektir. Elitizm sayesinde ardışıl jenerasyonların yüksek kaliteli genetik materyallere ulaşması sağlanır. Elitizm çok hızlı bir şekilde GA’nın performansını artırır çünkü en iyi bulunan çözüm ya da çözümlerin kaybını önler [39, 40, 43, 50, 53, 54, 56, 58, 61, 68].

6.13. Yeni Kuşağın Oluşması ve Döngünün Durdurulması

Yeni kuşak çoğalma, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tanımlanmakta ve bir sonraki kuşağın ebeveynleri olmaktadır. Süreç yeni kuşakla çoğalma için belirlenen uygunluk ile devam eder. Bu süreç, önceden belirlenen kuşak sayısı kadar veya bir hedefe ulaşıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder. İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir. Her bir iterasyon bir nesil olarak adlandırılır. Genel olarak 50-500

nesil istenilen sonuca ulaşmada yeterli miktardır. Fakat daha fazla iterasyon da yapılabilir [47, 70, 73].

6.14. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Tüm problem çeşitlerine uygulanabilir olan optimum parametreler üzerinde bir çok çalışma yapılmıştır ama şu ana kadar istenen sonuçlar elde edilememiştir. Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu parametreler, kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Genetik algoritmanın performansını artırmak için şunlar önerilmiştir:

- ✓ Farklı mutasyon oranları, farklı popülasyon büyüklükleri vs. kullanmak,
- ✓ Optimizasyonu daha stokastik hale getirmek,
- ✓ Genetik gösterimi değiştirmek (Gray kodlama kullanmak vb.) [60].

Genetik algoritmaların performansını etkileyen 6 farklı kontrol parametresi vardır. Bunlar:

- Popülasyon genişliği,
- Çaprazlama oranı,
- Mutasyon oranı,
- Nesil aralığı (Generation gap),
- Seçim stratejisi,
- Ölçeklendirme fonksiyonu.

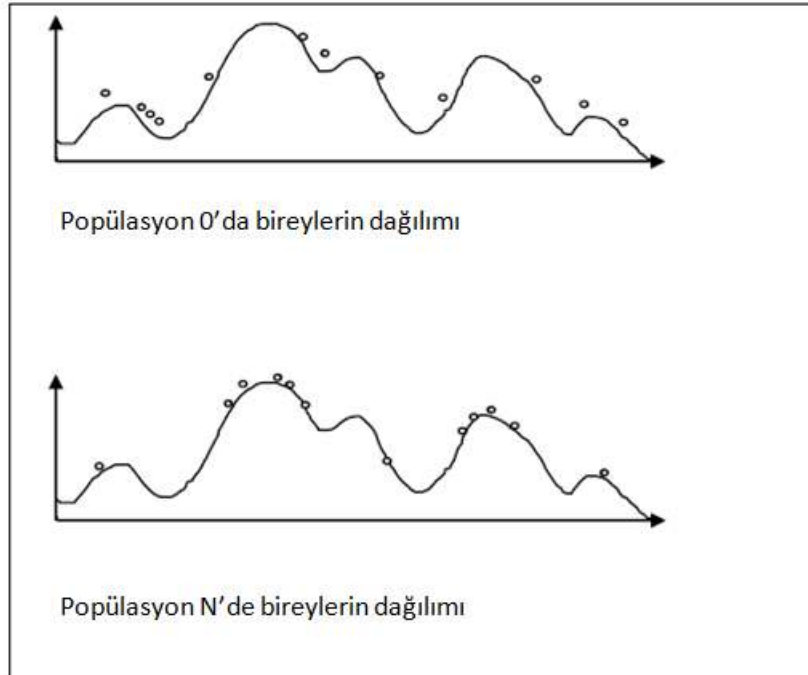
Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır [39, 45, 47, 50, 53, 54, 56, 62, 68, 70, 71];

6.14.1. Popülasyon genişliği (N_p)

Popülasyon genişliği algoritmanın yakınsamasını etkileyen bir faktördür. Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu parametre popülasyon içinde (yalnızca bir kuşakta) kaç adet kromozom yani birey olduğunu söyler. Eğer kromozom sayısı az olursa GA çözüm aranan uzayın ancak bir kısmını gezebilir ve yerel bir optimuma takılabilir. Kromozom sayısı çok fazla olursa çözüm

uzayının çok iyi örneklenmesini sağladığı için aramanın etkinliğini artırır ve zamansız yakınsamayı önler ama GA çok yavaş çalışır. Araştırmalar belli bir noktadan sonra popülasyon sayısını artırmanın bir yararı olmadığını göstermiştir. Bu konuda Goldberg 1985’de, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989’da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. Genel olarak popülasyon büyüklüğü problemin büyüklüğüne bağlıdır. Akış tipi çizelgeleme probleminde başlangıç popülasyonu büyüklüğü problem büyüklüğüne bağlı olarak 10-30 aralığında seçilmektedir. Çok aşamalı kalite kontrol problemlerinin çözümünde ise popülasyon büyüklüğü 20-50 arasında değişmektedir. Değişken sayısı fazla olan problemlerin çözümünde kullanılan popülasyon büyüklüğü de fazla olması gerekir. Dizi uzunluğuna bağlı olarak yığın genişliğini bulmak için $N = 1,65 * 2^{0,21 * l}$ eşitliği önerilmiştir [39, 45, 47, 50, 53, 54, 56, 70, 71].

Nesil sayısı arttıkça daha iyi çözümler elde edileceği aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [73].



Şekil 6.23. Popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak birey dağılımının değişimi [73].

6.14.2. Çaprazlama oranı (P_c)

Çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. Her yeni yığında $P_c \times N$ kadar diziye çaprazlama uygulanır. Eğer hiç çaprazlama yapılmaz ise (çaprazlama oranı %0) yeni bireyler eski bireylerin aynısı olur ama bu yeni kuşağın eskisiyle aynı olacağı anlamına gelmez. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artmasına neden olmakta fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomların da bozulma olasılığını arttırmaktadır. Eğer bu oran %100 olursa yeni bireyler tamamıyla çaprazlama ile elde edilir. Çaprazlama eski bireylerden iyi taraflar alınarak elde edilen yeni bireylerin daha iyi olması umuduyla yapılır. Çaprazlama oranının 0,75 ile 0,95 arasında alınmasının GA'nın performansını iyi yönde etkilediği görülmüştür [39, 45, 47, 50, 53, 54, 56, 62, 68].

6.14.3. Mutasyon oranı (P_m)

Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Seçim işlemi ile elde edilen yeni yığındaki her dizinin her elemanı P_m mutasyon oranına eşit bir olasılıkla rastgele değişime uğrar. Sonuçta $P_m \times N \times L$ adet mutasyon gerçekleşir. Burada N nüfus sayısı, L ise dizi uzunluğudur. Mutasyon olmaz ise yeni birey çaprazlama veya kopyalama sonrasında olduğu gibi kalır. Eğer mutasyon olur ise yeni bireyin bir kısmı değiştirilmiş olur. Eğer bu oran %100 olursa kuşak içindeki bireyler tamamen değişir, %0 olursa hiç değişmeden kalır. Yüksek mutasyon oranı genetik algorithmadaki aramanın bir rastgele aramaya eşdeğer olmasına neden olduğundan, seçilen mutasyon oranının düşük olması tercih edilir. GA'nın performansının, çaprazlama oranına göre mutasyon oranına daha duyarlı olduğu yine literatürde görülmüştür [39, 45, 47, 50, 53, 54, 56, 61, 62, 70].

Muhlenbein ve Backin'in yaptığı çalışmalar, mutasyonun olasılığının, P_m , optimal oranının dizinin uzunluğu ve problemin çözüm uzayı ile orantılı olduğunu ortaya koymuştur. Çaprazlama olasılığı, genellikle 0.25 ile 1 arasında, mutasyon olasılığı 0.01 ile 0.001 arasında seçilir. Özellikle küçük nüfus sayılarında sistemin performansını çaprazlama olasılığından çok mutasyon olasılığı belirler.

Yapılan bazı çalışmalarda ise dinamik mutasyon ve çaprazlama olasılıkları kullanılmıştır. Bu çalışmalarda, jenerasyon sayısı arttıkça mutasyon olasılığı artmakta fakat çaprazlama olasılığı azalmaktadır. Dinamik çaprazlama ve mutasyon olasılıkları aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$P_c = e^{-\frac{T_G}{M}} \quad (6.7)$$

$$P_m = e^{-\frac{0.005 \cdot T_G}{M}} \quad (6.8)$$

Yukarıdaki eşitlikte T_G o andaki jenerasyon değerini, M maksimum jenerasyon sayısını göstermektedir. Genetik algoritmanın yürütülmesi sırasında seçilen bu parametreler en iyileme probleminin performansını etkileyen en önemli faktörlerdir [55].

6.14.4. Nesil aralığı (G)

Her kuşaktaki yeni kromozom oranına nesil aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer bir çok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir. Yeni bireyler uyumluluğa göre veya rastgele olarak seçilebilir. Yeni bireylerin tamamen rastgele seçilme durumunda yakınsama zorlaşabilir. Tüm bireyler uyumluluğa göre seçildiğinde ise yeni kuşak içinde bölgesel yakınsamalar olabilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için belli bir oranda uyumluluk seçimi belli bir oranda da rastgele seçim yapılabilir. Nesil ayrılığı her iterasyonda yığında meydana gelen değişimin yüzdesini kontrol eder. Buna göre i . iterasyondaki yığının $N(1 - G)$ adet dizisi, $(i+1)$. iterasyonda da kullanılacaktır. G 'nin 1 alınması tüm yığının her iterasyonda değişeceğini belirtirken, G 'nin 0,5 alınması yığındaki dizilerin yarısının bir sonraki iterasyonda kullanılacağını gösterir [39, 47, 56, 62].

6.14.5. Seçim stratejileri

Genetik algoritmalarda kullanılan seçim stratejileri orantılı yeniden seçim mekanizması, sıralı seçim mekanizması, turnuva seçim mekanizması ve denge durumu seçim mekanizması olarak dörde ayrılmaktadır. Seçim stratejileri de genetik algoritmaların performansını etkileyen bir faktördür [39, 47, 53, 56, 62].

6.14.6. Ölçeklendirme faktörü

Genetik algoritmaların çalışmaları süresince yığındaki değişkenliğin korunması önemlidir. Yığındaki uyum değerlerinin kullanılacak bir metot yardımı ile ölçeklendirilmesi gerekir. Doğrusal ölçeklendirme, standart sapma kadar azaltma ve üs yaklaşımı metotları literatürde en fazla kullanılmaktadır. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır [39, 47, 53, 62].

6.14.7. Diğer faktörler

Yukarıda sayılan 6 farklı kontrol parametresinden başka, genetik algoritmanın performansını etkileyen farklı parametrelerde mevcuttur. Bunları şu şekilde sıralayabiliriz;

Bitirme koşulu: Genetik algoritmayı durdurmak için farklı koşullar mevcuttur. İstenilen çevrim sayısına ulaşıldığında, yığının ortalama uyum değerinin yığındaki en iyi dizinin uyum değerine önceden belirlenen oranda yaklaştığı durumlarda genetik algoritma sonlandırılabilir [49].

Kaç noktalı çaprazlama yapılacağı: Normal olarak çaprazlama tek noktada gerçekleştirilmekle beraber yapılan çalışmalar bazı problemlerde çok noktalı çaprazlamanın çok yararlı olduğunu göstermiştir. Çaprazlama sonucu elde edilen bireylerin nasıl değerlendirileceği, elde edilen iki bireyin birden kullanılıp kullanılmayacağı bazen önemli olmaktadır [56, 60].

Parametre kodlamasının nasıl yapıldığı: Kodlamanın nasıl yapıldığı en önemli

noktalardan biridir. Örnek vermek gerekirse kimi zaman bir parametrenin doğrusal yada logaritmik kodlanması GA'nın performansında önemli bir farka yol açabilir [60].

6.15. Genetik Algoritmalar Nasıl Çalışır?

Genetik algoritmaların çalışma prensibini açıklamaya yönelik en çok kullanılan iki yaklaşım vardır. Bu yaklaşımlar, “Şema Teoremi” ve “Yapıtaşı Hipotezi”dir

6.15.1. Şema teoremi

Şema teoremi John Holland tarafından ortaya atılmıştır ve GA'nın çalışmasını açıklamaya yönelik bir teoremdir. Holland'ın şema teoremi hala genetik algoritmaların başarısını açıklamak için en başarılı teorem olarak kullanılır. Genetik algoritmanın performansını anlamak için, herhangi bir arama prosedüründe mevcut ilk bilgilere bakmak gerekir ve bu da kodlamadaki benzerlikleri işleterek daha etkili bir arama yapılmasını sağlar. Bu genetik algoritma yaklaşımının kilit taşı olan, dizi oluşturma hipotezine ulaşımı sağlayan benzerlik şablonları veya şemadır [60].

Şema, ikili dizileri göstermek için kullanılan bir gösterimdir. Holland bu kuramı ikili diziler üzerinde temel bir genetik algoritma için tanımlamıştır. Bu yöntemle göre genetik algoritma iyi yapıları ortaya çıkarır, çoğaltır ve birleştirir. Genel olarak bir genetik algoritma ikili kodlama sistemi üzerinde çalışır. Bu kodlamalar doğal sistemlerdeki kodlamalar ile ilgilidir. Genetik algoritmalar doğal genetiklerden kelimeleri ödünç alır. Genetik algoritmalarda oluşan başarılı bireyler incelenirse, bu bireyler arasındaki benzerlikler bulunabilir. Bu benzerliklerden yola çıkarak şemalar oluşturulabilir. İkili dizi kodlaması için aşağıdaki yöntem önerilebilir: 0,1 ve * (“ * ” o konumda 0 veya 1 olmasının önemsiz olduğunu gösterir). Örnek olarak birinci biti 1, üçüncü ve altıncı bitleri 0 olan çözümlerin başarılı olduğu bir toplumda şu şema oluşturulabilir:

1*0**0

Bu şemaya uygun aşağıdaki ikili diziler yazılabilir:

110110, 110100, 110010, 100110, 100000, 100100, 100010

1 uzunluklu bir dizi 2^l tane şemayı temsil etmektedir. Buna göre n boyutlu bir dizi popülasyonun da $N \cdot 2^l$ adet şema bulunacaktır. Görüldüğü gibi şemaların katılması ikili dizilerle gösterilen arama aralığını büyötmektedir. Arama aralığının büyümesinin sonucun bulunmasını zorlaştırması beklenir ancak durum böyle değildir. Şema teoremi, GA'nın gücünü şablonların işlenme şekli ile izah eder. Kromozom topluluğunun bireylerine bir sonraki nesli oluşturmak üzere çoğalma fırsatı verilir. Bu işleme 'Çoğalma Denemesi' denir. Her bireyin kazanacağı fırsat sayısı, uygunluk değerinin yüksekliğiyle doğru orantılı olarak değişir. Böylelikle uygunluk değeri yüksek bireyler, sonraki nesile daha fazla gen aktarımında bulunurlar. Yüksek uygunluk değerinin kaynağı, sahip olduğu iyi bir şablonun varlığı kabul edilir ve yeni nesile aktarılan iyi şablonların çözüme ulaşma ihtimalini arttırdığı düşünölür. Genetik algoritma kendi içinde sanal olarak şemaları oluşturur. Toplumun bireyleri incelenerek bu şemalar ortaya çıkarılabilir. Genetik algoritmalar şemaları oluşturmak için toplum üyelerinin kodları dışında bir bilgi tutmaz. Genetik algoritmaların bu özelliğine içsel paralellik (implicit parallelism) denir. Her nesilde, iyiyi belirleyen şemalardaki belirsiz yada önemsiz elemanlar azalır. Böylece genetik algoritmalar sonuca doğru belli kalıplar içinde ilerler [52, 56].

6.15.2. Yapıtaşı hipotezi

Genetik algoritmaların nasıl arama yaptığı alt dizi kavramıyla açıklanmaktadır. Alt diziler, genetik algoritmaların davranışlarını açıklamak için kullanılan teorik yapılarıdır. Bir alt dizi, belirli dizi kümeleri arasındaki benzerliği tanımlayan bir dizidir. Eğer bir x dizisi, alt dizinin kalıbına uyarsa x dizisine "H'nin bir örneğidir" denir. Alt dizilerin iki özelliğı mevcuttur. Bu özellikler aşağıda verilmiştir.

1. Alt dizi derecesi: Bir H alt dizisinin derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili alfabede 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir. Örneğın, 10 bit'e sahip olan;

$H1=***001*110$

H2=****00**0*

H3=11101**001

Şemaları, $o(H1)=6$, $o(H2)=3$ ve $o(H3)=8$ derecelerine sahiptir. Burada H3 şeması en belirgin olanıdır. Bir şemanın derecesi mutasyona rağmen yaşama olasılığını hesaplarırken yararlı olmaktadır.

2. Alt dizi uzunluğu: Bir H alt dizisinin uzunluğu $\delta(H)$ ile gösterilir ve mevcut alt dizi kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır. Örneğin, $H = (* 1 0 * * 0 * * *)$ şeklindeki bir H şeması için, son kesin bit pozisyonu 6, ilk kesin bit pozisyonu 2 olup aralarındaki uzaklık şema uzunluğudur. Buna göre şema uzunluğu $\delta(H) = 6-2 = 4$ şeklinde elde edilir. Şemanın tanımlanan uzunluğu, çaprazlamaya rağmen şemanın yaşama olasılığını hesaplamada faydalıdır. Bir şemanın ortalama uyumu, o şemanın örneklerinin ortalama uyumuna eşittir [62].

Alt dizi derecesi ve alt dizi uzunluğu kavramlarının genetik algoritmaların temel teoreminde son derece önemli bir yeri vardır. Alt dizi derecesi düşük, alt dizi uzunluğu kısa olan diziler “yapı blokları” olarak adlandırılır. John Holland, genetik algoritmaların işleyişinde uygun yapı bloklarının tanımlanmasını ve bu yapı bloklarının daha uygun yapı blokları elde etmek amacıyla birleştirilmesini önermektedir. Bu fikir yapı blokları hipotezi olarak bilinmektedir. Genetik algoritmanın temel teoremi ise şöyle açıklanmaktadır:

Popülasyon ortalamasının üstünde uyum gücü gösteren, kısa uzunluğa ve düşük dereceye sahip alt diziler zamanın ilerlemesiyle üstsel olarak çoğalırlar.

Bu çoğalma, genetik işlemler aracılığı ile gerçekleşmektedir ve sonucunda ana-babadan daha üstün özellikler taşıyan bireyler ortaya çıkmaktadır. Bu çözüm kalitesinin kuşaktan kuşağa artması iki nedene bağlanmaktadır. Bu nedenler şöyle açıklanabilir:

- Başarısız olan bireylerin üreme şansları azaltıldığı için kötüye gidiş zorlaşmaktadır.

- Genetik algoritmaların yapısı kötüye gidişi engellemekle kalmamakta, genetik algoritmaların temel teoremi uyarınca, zaman içinde hızlı bir iyiye gidiş de sağlayabilmektedir.

Genetik algoritmaların işleme adımları incelendiğinde bu nedenler daha iyi anlaşılmaktadır. Genetik algoritmalar yapısı gereği, kötü bireyleri yani uygun olmayan çözümleri, operatörleri sayesinde elemektedir. Bu işlemler bir döngü içerisinde durdurma kriteri sağlanana kadar devam etmektedir. Goldberg'e göre, GA'nın gücü iyi yapıtaşları bulabilmesinden kaynaklanmaktadır. Yapıtaşları, kısa tanımlayıcı uzunluklu, birleştirildikleri takdirde başarıyı artırma eğiliminde olan uyumlu dizilişlerdir. Başarılı kodlama, ilişkili genlerin kromozom üzerindeki konumlarının yakın olduğu halde genlerarası etkileşiminin az olmasının sağlandığı durumda yapıtaşlarının oluşumunun teşvik edildiği kodlamadır. Bir genin toplam uygunluk değerine katkısı diğer genlerden bağımsız olsaydı, problemin çözümü, sırasıyla her gen için tepe-tırmanma yönteminin uygulanmasıyla bulunabilirdi ki, bu genelde mümkün olmayan bir çözüm yoludur [40, 47, 49, 53, 70].

6.16. Genetik Algoritmalar ve Kısıtlı Optimizasyon Problemleri

GA'ların kısıtlı optimizasyon problemlerine uygulanmasındaki en büyük zorluk, klasik genetik operatörler ile uygun olmayan (kısıtlar sağlamayan) çözümlerin elde edilmesidir. Bu tür problemlerde uygun çözümlerin bulunduğu başlangıç yığını 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 [53, 62].

6.16.1. Ceza 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 [53, 56].

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

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile ceza fonksiyonunun toplamıdır ve

$$f(x) = f_{\text{amaç}}(x) + \sum_{i=1}^{KS} r_i \cdot p_i(x) \quad (6.9)$$

Ceza fonksiyonu, p_i , genellikle kuadratik formda olur .

$$p_i(x) = [\text{maximum}[0, g_i(x)]]^2 \quad (6.10)$$

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

$$f(x) = f_{\text{amaç}}(x) - \sum_{i=1}^{KS} r_i \cdot p_i(x) \quad (6.11)$$

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

$$f(x) = C_{\text{maximum}} - \left[f_{\text{amaç}}(x) + \sum_{i=1}^{KS} r_i \cdot p_i(x) \right] \quad (6.12)$$

Burada, KS problemde bulunan kısıt sayısı ve C_{maksimum} uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için kullanılan yeterince büyük pozitif bir sayıdır [53, 56].

6.17. Genetik Algoritmanın Kullanılma Nedenleri

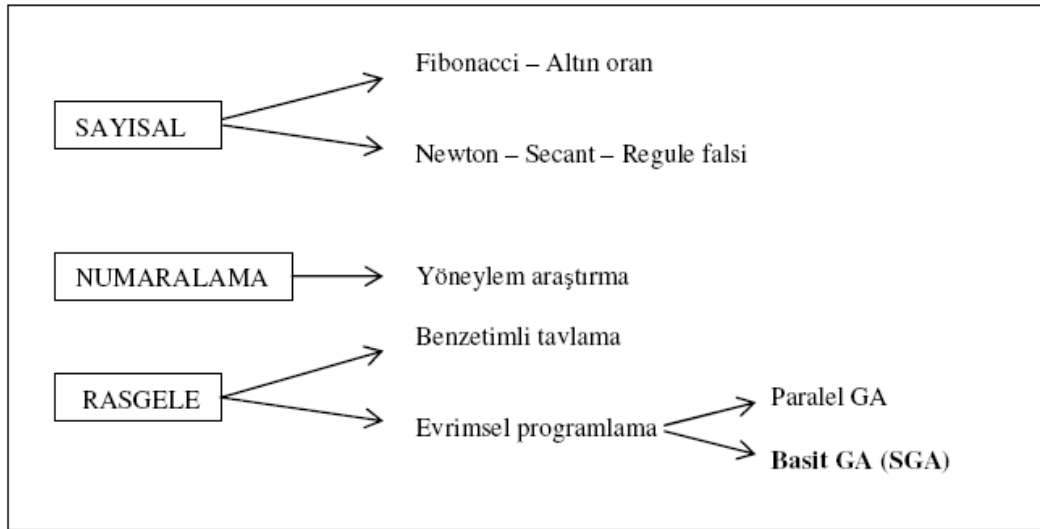
Diğer optimizasyon tekniklerinin tercih edilmeme sebepleri incelendiğinde, genetik algoritmaların tercih edilme nedenleri daha iyi anlaşılır. Denkleme dayalı optimizasyon problemleri genellikle üç gruba ayrılırlar. Bunlar;

1. Türev-İntegral hesabına (calculus) dayananlar,
2. Numaralamaya (enumeration) dayananlar,
3. Rastgele aramalar (random searches).

Türev-İntegral hesaplamalarına dayanan yöntemler, fonksiyonun türevinin köklerinin fonksiyonun en küçük ve en büyük değer veren noktaları olmasından yararlanır. Gerçek problemler için sıfır veren noktaları bulmak da ayrı bir problemidir. Diğer bir yöntem 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 olduğunu bilemez.

Numaralama yöntemleri ise oldukça alışlagelmiştir. Sürekli olan gerçel sayı aralıkları belli sayıda parçaya ayrılarak parçalar denenir. Bu yöntemin biraz daha geliştirilmiş şekli dinamik programlamayla (dynamic programming) oluşturulur. Parçalar arasından 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.

Günümüzde rastgele aramaların kullanımı artmaktadır. Bu tip aramalar optimizasyonun “daha iyiyi yapma” amacını sağlamakta daha başarılıdırlar. Genetik algoritmalar geleneksel yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilen bir araştırma tekniğidir.



Şekil 6.24. Optimizasyon modelleri [53]

Genetik algoritma rastgele aramalar sınıfına girmektedir.

Genetik algoritmalar klasik yöntemlerin çok uzun zamanda yapacakları işlemleri kısa bir zamanda çok net olmasa da yeterli bir doğrulukla yapabilir [52, 53, 56, 61, 68].

6.18. Genetik Algoritmaların Diğer Optimizasyon Tekniklerine Göre Farklılıkları

Genetik algoritmaların diğer optimizasyon tekniklerine göre şu avantajları vardır:

- 1) Diğer metotlarda olduğu gibi doğrudan parametreler üzerinde çalışmaz. Genetik Algoritmalar, optimize edilecek parametreleri kodlar ve parametreler üzerinde değil, bu kodlar üzerinde işlem yapar. Parametrelerin kodlarıyla uğraşır. Bu kodlamanın amacı, orijinal optimizasyon problemini kombinezonsal bir probleme çevirmektir. Örneğin, $f(x)=6x^3$ fonksiyonunun $[0,20]$ aralığında minimizasyonu yapılmak istendiğinde, diğer optimizasyon yöntemleri x parametresini küçük küçük değiştirerek amaç fonksiyon değerinin en küçük olduğu yeri bulmaya çalışırlar. Bu durumda algoritmanın lokal minimum noktalarına takılma riski vardır. Genetik algoritmalarla optimizasyon işleminin yürütülmesinde ise ilk adım, x parametresinin sonlu uzunlukta dizi olarak değişik şekillerde kodlanması ve kodlanan parametre ile

çalışılarak optimizasyonun sağlanmasıdır. Pek çok durumda ikili (binary) kodlama kullanılır. Fakat genetik algoritma için bu bir zorunluluk değildir. Gerçek sayı kodlama, ağaç yapılı kodlama (tree coding) gibi farklı kodlama biçimleri de kullanılabilir. Parametrelerin kodlanması sonucunda, diğer yöntemleri sınırlayan birtakım özelliklerde de büyük ölçüde serbestlik sağlanmış olur (süreklilik, türevin varlığı, vb.)

- 2) GA, sadece bir arama noktası değil, bir grup arama noktası (adaylar) üzerinde çalışır. Yani arama uzayında, yerel değil global arama yaparak sonuca ulaşmaya çalışır. Bir tek yerden değil bir grup çözüm içinden arama yapar. Birçok optimizasyon probleminde, tanım aralığı içindeki tek bir noktadan hareketle bazı geçiş kurallarına göre bir sonraki inceleme noktası bulunur. Bu, noktadan noktaya yönelme yöntemi, çok sayıda tepe noktası bulunan araştırma uzayı için risklidir. Çünkü bölgesel tepe değerine yaklaşma hatası oluşabilir. Yani lokal minimum veya maksimum noktaları çözüm noktaları olarak bulunabilir. Genetik algoritmalarda, çok sayıda noktalardan oluşan bir veri tabanı ile (dizilerin nüfusu) çalışıldığından aynı anda pek çok tepe noktasına atlanabilir. Böylece noktadan noktaya geçme yöntemindeki yanlış tepe noktasının bulunma olasılığı azalır. Sonuç olarak, genetik algoritma dizilerden oluşan bir nüfus ile başlar ve bu dizilerden daha başarılı nüfuslar üretir. Bu nüfus, problemin bütün olası çözümlerini temsil eden uzayı oluşturur. Başlangıç nüfusu genellikle rastgele üretilen bireyleri içerir. Genetik algoritmalar, çözüm uzayı hakkında herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymazlar
- 3) GA, arama uzayında bireylerin uygunluk değerini bulmak için sadece “amaç - uygunluk fonksiyonu” (objective-fitness function) ister. Çoğu araştırma tekniklerinin, doğru bir şekilde çalışması için yardımcı bazı bilgilere ihtiyaçları vardır. Örneğin, gradient tekniklerinde, tepe değerine doğru yükselmenin olup olmadığını anlamak için, nümerik ya da analitik olarak hesaplanan türev bilgisi gereklidir. Ayrıca, farklı araştırma problemleri için de çok farklı yardımcı bilgilere ihtiyaç olabilir. Bunun aksine, genetik algoritmalarda hiçbir yardımcı bilgiye ihtiyaç yoktur. Verimli bir araştırma yapmak için gerekli olan, her bir dizinin değerlendirileceği bir amaç

fonksiyonudur. Optimizasyon sırasında problemle ilgili özel birtakım bilgilerin kullanılmaması, genetik algoritmaların performansını yükseltmede son derece etkilidir.

- 4) GA'da deterministik değil rastlantısal geçiş kuralları kullanılır. Genetik algoritmalar olasılıklı hesaplama yöntemleridir. Genetik algoritmalar rastgele algoritmalarlardır. Sonuçlarına ulaşmak için ihtimal ilkelerinden yararlanılır. Buna göre çalışmalar sırasında bir rastgele sayı üreticisine gerek vardır. Genetik algoritmalar araştırmaya yön vermek için, birçok optimizasyon tekniğinin aksine, olasılığa dayalı geçiş kuralları kullanır. Bunun sonucunda araştırmanın, araştırma uzayının hangi bölgesine doğru yöneleceğine karar vermek için rastgele seçim tekniği kullanılır [39, 42, 48, 53, 55, 56, 57, 66, 69, 74].

Genetik algoritmaların diğer optimizasyon tekniklerine göre dezavantajları ise şu şekilde sıralanabilir:

- 1) Çok fazla uyum fonksiyonu hesaplaması gerektirir,
- 2) Global olarak tam optimum noktanın saptanmasında problem yaşanmaktadır,
- 3) Kullanılan konfigürasyon genel değil, probleme özgü bir yapı taşımaktadır,
- 4) Nesiller arasında iyi özelliklerin kaybolma ihtimali vardır [60].

6.19. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Genetik Algoritmalar özellikle çözüm uzayının çok geniş olduğu karmaşık problem türlerine diğer geleneksel optimizasyon tekniklerine göre hem daha hızlı hem de daha başarılı sonuçlar vermektedir. GA'lar,

- ✓ Araştırma alanı geniş, kompleks ve anlaşılması zayıfsa,
- ✓ Konudaki bilgi azsa ya da eldeki uzman bilgi, araştırma alanını daraltmada zorlanıyorsa,
- ✓ Matematiksel analiz elde edilemiyorsa,
- ✓ Geleneksel araştırma metotları başarısız olmuşsa faydalı ve etkilidirler [60].

Bir uygulama verildiğinde, GA' nın kullanılabilecek iyi bir yöntem olup olmadığına

nasıl karar verilebilir? Birçok araştırmacı, aşağıdaki görüşleri paylaşmasına rağmen ciddi bir açıklama yoktur. Eğer arama yapılacak uzay büyükse, oldukça düzgün ve tek tepeli olmadığı biliniyorsa, iyi kavranılmadı ise, veya uyum fonksiyonu gürültülü ise (noise) (yani aynı kromozoma her değerlendirilişinde farklı değerler veriyorsa), GA zayıf yöntemlerden daha başarılı olma veya onlarla rekabet edebilme şansına sahip olur [40].

Günümüzde Genetik Algoritmalar elektronikten mekaniğe, finanstan üretim planlamaya, sosyal bilimlerden trafiğe kadar birçok farklı alana başarıyla uygulanmaktadır. Genetik Algoritmaların uygulama alanlarını genel uygulama alanları ve işletmedeki uygulama alanları olarak iki başlık halinde inceleyebiliriz [46].

6.19.1. Genel uygulama alanları

Genetik Algoritmaların genel uygulama alanları şu şekilde sıralanabilir [56];

- Mekanik Öğrenme
- Ekonomik ve Sosyal Sistem Modelleri
- Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri
- Optimizasyon
- Ekonomi
- İmmün sistemler
- Popülasyon genetiği
- Evrim ve Öğrenme
- Sosyal sistemler

Optimizasyon:

Genetik Algoritmalar farklı bilim dallarında kullanılan amaç fonksiyonlarını minimize veya maksimize etmek için kullanılabilir. Bazı durumlarda optimize edilecek amaç fonksiyonu sürekli değildir. Böyle durumlarda, süreksizlik noktalarında türev alınamayacağından geleneksel optimizasyon teknikleri yetersiz

kalmaktadır. Genetik Algoritmalar ise problemin çözümünde kodlamayı esas aldığı ve fonksiyonun türevine ihtiyaç duymadığı için bu tip problemlerde başarılı sonuçlar vermektedir.

Bazı durumlarda sınırlı sayıdaki kaynağın en verimli şekilde kullanılması amaç fonksiyonumuz olmaktadır. Bu gibi durumlarda elde bulunan kaynakların her birini birer değişken olarak kabul ettiğimizde, değişken sayısı ne kadar fazla ise çözümün bulunabilmesi için taranması gereken çözüm uzayı o derece büyür. Geleneksel optimizasyon yöntemleri ile neredeyse imkânsız olan bu tip problemler, Genetik Algoritma yardımı ile çözülebilir. Çünkü Genetik Algoritmalar çözüm uzayının tek seferde tamamını değil belli bir kısmını tarar ve eş zamanlı arama yapar [53].

Otomatik programlama ve bilgi sistemleri:

Belirli ve özel görevler için gerekli olan bilgisayar programlarını geliştirmek için Genetik Algoritmalarından faydalanılmaktadır. Ayrıca hesaplama gerektiren yapıların tasarımı da kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak dişli çark tasarımı, planet dişli tasarımı, ders programı hazırlanması vb. sayılabilir [47].

6.19.2. İşletmelerdeki uygulama alanları

Genetik algoritmalar; üretim süreçlerinin planlamasında, bu planlar doğrultusunda kaynak tahsisi ve makinelerin gruplandırılmasında başta olmak üzere bir çok farklı iş probleminde kullanılabilmektedir. İşletmelerdeki en yaygın kullanım alanları aşağıdaki gibi verilebilir [62]:

- Finans,
- Pazarlama,
- Üretim/işlemler,
- Montaj hattı dengeleme problemi,
- Çizelgeleme problemi,
- Tesis yerleşim problemi,
- Atama problemi,

- Hücresel üretim problemi,
- Sistem güvenilirliği problemi,
- Taşıma problemi,
- Gezgin satıcı problemi,
- Araç rotalama problemi.

6.20. GA İle Basit Bir Uygulama

GA'nın işleyişinin daha iyi anlaşılabilmesi için basit bir uygulama aşağıda açıklanmıştır [55, 75].

Amacımız $z=2x^4-64x$ fonksiyonunu minimum yapan x değerini bulmak olsun. Klasik optimizasyon metodu ile bu problemi çözecek olursak, öncelikle fonksiyonun x 'e göre türevini alıp, daha sonra bu türevlenmiş fonksiyonu sıfır yapan x değerini bulmak, bize istediğimiz sonucu verecektir.

$$\frac{d}{dx} z = 8x^3 - 64 \quad (6.13)$$

$$8x^3 - 64 = 0 \quad (6.14)$$

$$x^3 = 8 \quad (6.15)$$

$$x = 2 \quad (6.16)$$

Dolayısıyla $x=2$ 'de fonksiyonumuz minimum değerini alır. Eğer bu problemi GA ile çözecek olursak;

1) Öncelikle, örneğin dört tane rastgele x değeri belirleyelim ve belirlediğimiz bu x değerlerini ikili sayı sistemine çevirelim. Bu durumda başlangıç popülasyonumuz dört olmuş oldu, yani başlangıçta dört kromozomdan oluşan bir topluluğumuz oldu. Burada her x rakamına karşılık gelen ikilik tabandaki ifade bir kromozomu temsil etmektedir. Bu kromozomların uzunlukları da beş seçilsin. Yani her bir ikilik tabandaki ifade beş haneden oluşsun, ya da diğer bir ifade ile her bir kromozomumuzun beş geni olsun. Bu durum aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. GA ilk toplumu

GA İlk Toplumu	
Karar Değişkenleri	Kromozom
$x_1=7$	0 0 1 1 1
$x_2=14$	0 1 1 1 0
$x_3=22$	1 0 1 1 0
$x_4=27$	1 1 0 1 1

2) Her bir kromozomun temsil ettiği x sayılarının fonksiyonda yerine konulmasıyla z sayılarının toplamını, sonrada her bir sayının bu toplam içindeki uygunluk değerinin yüzdesini

$$d(x) = \frac{h(x_i)}{\sum_{j=1}^n h(x_j)} \quad (6.17)$$

denklemini ile hesaplırsak;

Çizelge 6.4. GA hedef ve uygunluk değerleri

GA hedef ve uygunluk değerleri		
Karar Değişkeni	Hedef Değer	Uygunluk Değeri
$x_1=7$	4354	0,002706789
$x_2=14$	75936	0,047207792
$x_3=22$	467104	0,290388599
$x_4=27$	1061154	0,659696820
Toplam	1608548	1,000000000

Örnek;

$x_1=7$ için

Hedef Değer:

$$z=2x^4-64x=2.7^4-64.7=4354$$

Uygunluk Değeri:

$$4354/1608548=0,002706789$$

Bulduğumuz yüzdelerin her biri aslında kromozomların temsil ettikleri sayıların, kromozom topluluğu içindeki ihtimal değerlerini gösterir. Diğer bir ifade ile bu yüzdelar, kromozomların topluluk içinde hayatlarını sürdürebilme mücadelesindeki başarı ihtimallerinin bir ifadesidir. Buna göre, bir sonraki nesilde hayatta kalma olasılığı en fazla olan 4. kromozom, en az olan ise 1. kromozomdur.

3) Bu yüzde değerleriyle beraber seçim aşaması için bir rulet çarkı düşünelim. Rulet çarkında uygunluğu yüksek olan kromozomun kapladığı alanın diğerlerine göre daha fazla olduğunu ve çarkı 4 defa çevirdiğimizde gelme olasılığının yüksek olması da kaçınılmazdır. Burada dikkat edilecek husus: bizim problemimiz minimum problemi olduğu için uygunluk değerlerini tam tersine düşünebiliriz. Yani aradığımız en kuvvetli kromozom bizim problemimiz için uygunluk değeri en küçük olan kromozomdur. Bundan sonraki işlemlerde bu doğrultuda yapılacaktır. Rulet çarkıyla seçimde uygunluk değeri büyük olan kromozomlar rastgele rulet tekerleği seçimini geçememiştir. Böyle bir rulet oyununda en fazla olasılıkla 1. kromozomun yani 7 sayısının meydana gelmesi beklenir.

Çizelge 6.5. Kromozom seçimi

Kromozom seçimi	
Karar Değişkenleri	Kromozom
$x_1=7$	0 0 1 1 1
$x_2=7$	0 0 1 1 1
$x_3=14$	0 1 1 1 0
$x_4=22$	1 0 1 1 0

- 4) Yukarıda meydana gelen kromozomlar zaman içinde gelişmeleri için önce kendi aralarında çaprazlamaya tabi tutulurlar. Bu çaprazlamayı rastgele x_1 ile x_3 ve x_2 ile x_4 aralarında yapalım.

Çizelge 6.6. Çaprazlama işlemi

	Hane Numarası				
Kromozom	1	2	3	4	5
x_1	0	0	1	1	1
x_3	0	1	1	1	0

	Hane Numarası				
Kromozom	1	2	3	4	5
x_2	0	0	1	1	1
x_4	1	0	1	1	0

Bu işlem sonunda oluşan yeni kromozomlar:

Çizelge 6.7. Çaprazlama işlemi sonucunda oluşan GA toplumu

Çaprazlanmış GA toplumu	
Karar Değişkenleri	Kromozom
$x_1=15$	0 1 1 1 1
$x_2=6$	0 0 1 1 0
$x_3=23$	1 0 1 1 1
$x_4=6$	0 0 1 1 0

Çaprazlama sonucunda toplum kromozomlarının daha sağlam hale geldiği görülür. Bu problem için, kromozomu oluşturan gen sayısı az (4 tane) olduğu için çaprazlama sonunda tekrar aynı sayılara ulaşıldı. Gen sayısı fazla olduğu zaman sayı kümesi de artacağından, yeni kromozomlara ulaşmak daha kolay olur.

- 5) Son olarak mutasyon işlemini uygulayalım. Mutasyona uğrayacak kromozomun hanesi de rastgele seçilir. Biz 4. kromozomun 3. hanesinde rakamı değiştirelim yani 1'i 0 yapalım. Bu durumda toplum aşağıdaki şekli alır.

Çizelge 6.8. Mutasyona uğramış GA toplumu

Mutasyona uğramış GA toplumu	
Karar Değişkenleri	Kromozom
$x_1=15$	0 1 1 1 1
$x_2=6$	0 0 1 1 0
$x_3=23$	1 0 1 1 1
$x_4=2$	0 0 0 1 0

Bu toplulukta görüleceği gibi en küçük değer 4. kromozomdur. Bu değer bizim problemimizin de çözümüdür. Eğer biz bu adımda sonuca ulaşamasaydık algoritma yeniden başa dönerek sonucu bulana kadar aynı işlemleri yapacaktı.

6.20.1. Matlab programı ve GA toolbox

Matlab programı maksimize ya da minimize yapmak istediğimiz uygunluk (hedef) fonksiyonunu (fitness function), belirlediğimiz kriterlere göre çözümler. Matlab uygunluk fonksiyonunu minimum yapan değerleri bulmak için çalışır. Maksimum yapan değerleri bulmak için sadece uygunluk fonksiyonunu (-1) ile çarpabiliriz. Programın çalışma mekanizmasını anlayabilmek için yukarıdaki örneği matlab programı kullanarak çözmeye çalışalım.

Fonksiyonun Matlab M-File' deki yazılışı şu şekilde olur;

function z=my_fun(x)

$z=2*x(1)^4-64*x(1)$ seklindedir.

Burada $z=2*x(1)^4-64*x(1)$ ifadesi my_fun(x) ile tanımlanan $z=2x^4-64x$ fonksiyonunun uygunluk fonksiyonudur.

- Fitness function (uyguluk fonksiyonu) : @my_fun
- Number of variables (bağımsız degisken sayısı): 1
- Population size (popülasyon büyüklüğü): 20
- Creating function (olusturma islevi): Uniform
- Scaling function (ölçeklendirme islevi): Rank (dereceleme)
- Selection function (seçim islevi): Roulet (rulet)
- Elite count (elit birey sayısı): 2
- Crossover fraction (çaprazlama oranı): 0,8
- Mutation function (mutasyon islevi): Uniform (oran 0.01)
- Crossover function (çaprazlama islevi): Two point (ikili)
- Stopping criteria (durdurma kriteri): Maksimum nesil sayısı: 100

Program sonucu:

Fitness function value (uygunlu fonksiyon degeri): -95.99934820216592

Final point (sonuç degeri): x(1)=2.00368

7. YAPILAN ÇALIŞMA

7.1. Patlayıcı Yardımı ile Form Vermede Patlayıcı Kütlesinin Genetik Algoritma ile Optimizasyonu

Bu bölümde, patlayıcı yardımı ile form verme işleminde patlayıcı kütlesini minimum hale getirmek için, öncelikle form verilecek parçayı derin çekme işleminde minimum çekme kuvveti ile çekebilmek için gerekli olan dış çap ve kalıp yarıçapı optimize edilecek. Daha sonra optimize edilmiş parametrelerle optimum çekme kuvveti bulunacak ve en sonunda da bu kuvveti patlayıcı yardımı ile form verme düzeneğinde sağlayabilmek için gerekli olan patlayıcı kütlesi, verilen bir stand off mesafesine göre, farklı patlayıcı türleri için bulunacaktır. Bunun için öncelikle bir amaç fonksiyonu belirlenecek ve buna bağlı olarak tasarım değişkenleri tanımlanacak ve amaç fonksiyonunu minimum yapan tasarım değişkenleri Genetik Algoritma kullanılarak çözülecektir.

7.1.1. Amaç fonksiyonunun tanımlanması

Optimizasyon probleminde ilk aşama amaç fonksiyonunun tanımlanmasıdır. Çalışmamızda amaç fonksiyonu derin çekme işlemindeki azami çekme kuvvetidir. Derin çekme işlemindeki azami çekme kuvveti ile ilgili literatürde farklı formüller kullanılmaktadır. Siebel, temel plastisite teorisini kullanarak analitik bir model oluşturmuş ve azami çekme kuvvetini analitik yoldan hesaplamıştır. Çalışmamızda bu formülü kullanacağız. Buna göre azami çekme kuvveti [76]:

$$F_{d,max} = \underbrace{\pi d_m S_o}_{A} \left[\underbrace{1.1 e^{\mu\pi/2}}_{B} \underbrace{\sigma_{f,m,l} \ln(d_{F,max} / d_m)}_{C} + \underbrace{2 \mu F_N / (\pi d_{F,max} S_o) + \sigma_{f,m,l} S_o / (2 r_D)}_{D} \right]$$

Şeklinde ifade edilebilir. Burada A ile belirtilen ifade kalıp yarıçapındaki sürtünme ile alakalıdır. B ile belirtilen ifade homojen bir deformasyon için gerekli olan işi ifade eder. C ile belirtilen ifade flanş, kalıp ve plaka tutucu arasındaki sürtünmeyi aşmak için gerekli olan işi ifade eder. D ile belirtilen ifade ise kalıp kenar yarıçapı çevresindeki bükülme ile alakalıdır. Bu formülde:

d_m : Ortalama (mean) çapı ifade eder ve $d_1 + S_o$ 'a eşittir (mm)

S_o : Plaka kalınlığı (mm)

d_1 : Zımba çapı (mm)

μ : Kalıp ve parça arasındaki sürtünme katsayısı

$\sigma_{f,m,1}$: Parçanın flanş bölgesindeki ortalama akış gerilimidir (mean flow stress) (MPa)

Çoğu durumda $\sigma_{f,m,1} = 1.35 S_u$ 'dur.

S_u : Azami çekme mukavemeti (MPa)

$d_{F,max}$: Çekme kuvveti maksimum olduğu zaman flanşın dış çapı (mm)

$d_{F,max}$ değeri yaklaşık $0.77d_o$ 'dır.

d_o : İlkel çap (mm). Flanşlı bir parça için ilkel çap şu şekilde hesaplanır.

$$d_o = \sqrt{(d_2)^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h} \quad (7.1)$$

d_2 : Flanşlı parçanın dış çapı (mm)

h : Flanşlı parçanın yüksekliği (mm)

r_D : Kalıp kenar radyüsü

$\sigma_{f,m,11}$: Parçanın kalıp köşe bölgesindeki ortalama akış gerilimidir (MPa) ve aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\sigma_{f,m,11} = C \left(\ln \sqrt{1 + \frac{S_o}{r_p}} \right)^n \quad (7.2)$$

Burada:

C: Plakanın mukavemet katsayısı (strength coefficient) (MPa)

n: Plakanın sertleşme üssü (strainhardening exponent)

r_p : Zimba kenar radyüsü

F_N : Plaka tutucu kuvveti (N) ve şu şekilde hesaplanır:

$$F_N = P.A \quad (7.3)$$

$$A = (d_o^2 - d_e^2) \frac{\pi}{4} \quad (7.4)$$

$$d_e = d_l + 2w + 2r_D \quad (7.5)$$

Bu formüllerde:

d_e : Baskı plakasının efektif genişliği (mm)

w: Çekme boşluğu (mm) ve şu şekilde ifade edilir:

$$w = S_o + 0.07\sqrt{10S_o} \quad (7.6)$$

$$P = [(\beta-1)^2 + \frac{d_1}{200S_o}] \frac{Su}{400} \quad (7.7)$$

β : Çekme oranı

$$\beta = S_o/d_o \quad (7.8)$$

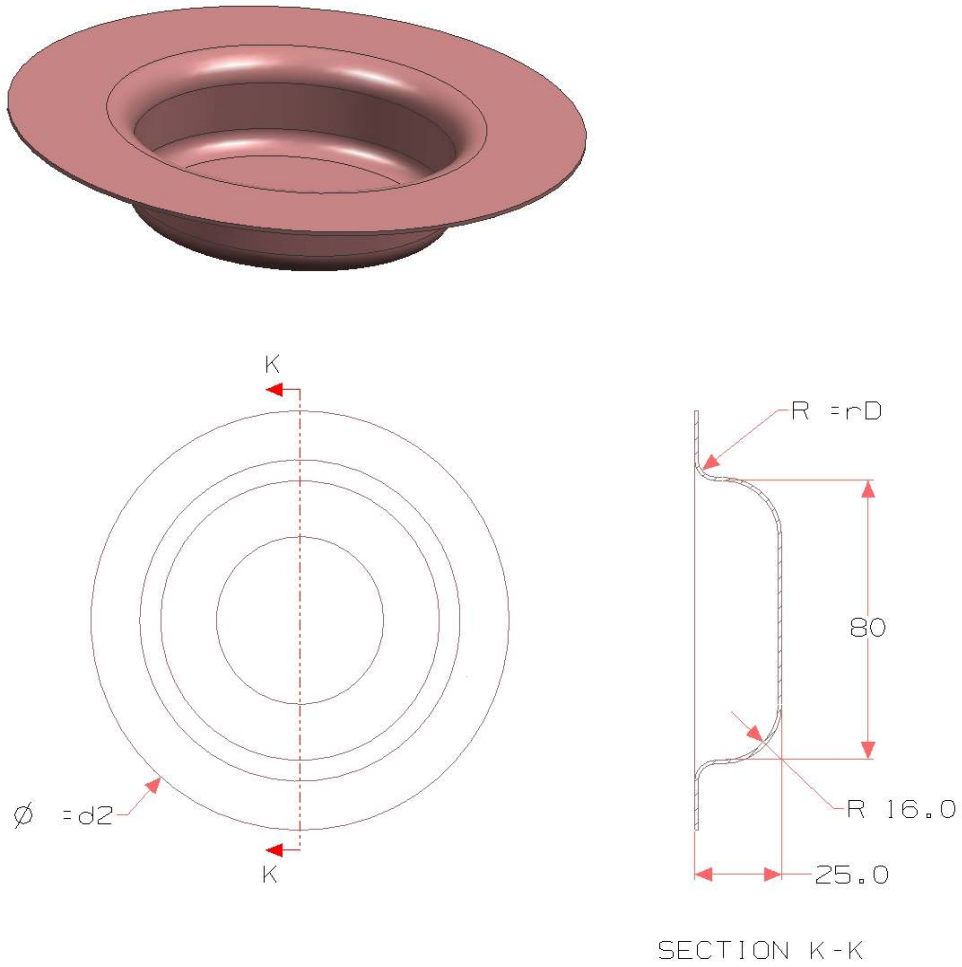
Dolayısıyla amaç fonksiyonumuz:

$$F_{\text{amaç}} = F_{\min}(d_2, r_D) = F_{d,\max} \quad (7.9)$$

7.1.2. Değişkenler, parametreler ve kısıtlar

Plakanın form verilebilmesi için gerekli olan azami çekme kuvvetini minimize etmek için, oluşturulacak plakanın dış çapı (d_2) ve kalıp yarıçapı (r_D) olmak üzere iki farklı tasarım değişkeni kullanılmıştır.

Optimizasyon işlemini yapmak için örnek bir parça kullanılacaktır. Form verilecek parça Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Burada $d_1=80\text{mm}$ ve $r_P=16\text{mm}$ ölçüleri sırası ile parçanın iç çapını ve form verme işleminde kullanılacak zımbanın yarıçapını göstermektedir. Tasarım kısıtı olarak bu iki parametre sabitlenmiştir. Dış çapın ve kalıp yarıçapının ise belli aralıklarda değişmesine yine tasarım açısından müsaade edilmektedir.



Şekil 7.1. Form verilecek parça

Problemin çözümünde kullanılacak parametreler ise Çizelge 7.1’de gösterilmiştir. Bu çizelgede gösterilen parametrelerin seçiminde F. Fereshteh Saniee ve M.H. Montazeran tarafından yazılan “a comparative estimation of the forming load in the deep drawing process” ve G.M.Kakandikar ve V.M. Nandedkar tarafında yazılan “optimization of forming load and variables in deep drawing process for automotive cup using genetic algorithm” isimli makalelerden faydalanılmıştır [72, 76].

Çizelge 7.1. Problem çözümünde kullanılacak parametreler

Tanımlama	Sembol	Birim	Değeri
Parçanın iç çapı	d_1	mm	80
Parçanın iç yarıçapı, zımba yarıçapı	r_p	mm	16
Parça kalınlığı	S_o	mm	1
Ortalama çap ($d_m = d_1 + S_o$)	d_m	mm	81
Kalıp ve parça arasındaki sürtünme katsayısı	μ	-	0.12
Azami çekme mukavemeti (DIN 1.0347)	S_u	MPa	325
Parçanın flanş bölgesindeki ortalama akış gerilimi ($\sigma_{f,m,1} = 1.35 S_u$)	$\sigma_{f,m,1}$	MPa	438.75
Flanşlı parçanın yüksekliği	h	mm	25
Plakanın mukavemet katsayısı	C	MPa	348.3
Plakanın sertleşme üssü	n	-	0.07
Parçanın kalıp köşe bölgesindeki ortalama akış gerilimi ($\sigma_{f,m,11} = C (\ln \sqrt{1 + \frac{S_o}{r_p}})^n$)	$\sigma_{f,m,11}$	MPa	286.246
Çekme boşluğu ($S_o + 0.07\sqrt{10S_o}$)	w	mm	1.221

Parçanın dış çapı ve kalıp yarıçapı için kullanacağımız sınır aralıkları ise tasarım kısıtlarına göre belirlenmektedir. Bu tasarım kısıtlarına göre dış çap aralığı:

$$120 \leq d_2 \leq 160 \quad (7.10)$$

Şeklinde ifade edilebilir. Minimum kalıp yarıçapı için aşağıdaki formül kullanılmaktadır:

$$r_D = 0.035 [50 + (d_0 - d_1)] \sqrt{S_o} \quad (7.11)$$

Ayrıca kalıp yarıçapı ile zımba yarıçapı arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

$$3 r_D \leq r_p \leq 6 r_D \quad (7.12)$$

Buna göre kalıp yarıçapı için sınır aralıkları şu şekilde ifade edilebilir:

$$4 \leq r_D \leq 6 \quad (7.13)$$

Tasarım kısıtlarımızı ise şu şekilde ifade edebiliriz [76]:

Minimum kalıp yarıçapı kısıtı:

$$g_1 = r_D \geq 0.035 [50 + (d_0 - d_1)] \sqrt{S_o} \quad (7.14)$$

Uygulanacak azami çekme kuvveti parçada çatlak oluşturacak kuvvetten küçük olmalıdır. Parçada çatlak oluşturacak kuvvete çatlama kuvveti denilmektedir.

$$F_{cr} = \pi d_m S_o S_u \quad (7.15)$$

Problemimizde kullanılacak veriler kullanıldığında çatlama kuvveti 82700 N olarak bulunur. Dolayısıyla:

$$g_2 = F_{d,max} \leq 82700 \quad (7.16)$$

7.1.3. Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması

Genetik algoritmalar, kısıtsız bir optimizasyon metodu gibi çalışırlar. Bu sebepten dolayı optimizasyon problemi, penaltı fonksiyonu ile cezalandırılıp, kısıtsız optimizasyon durumuna getirilir. Belirlenen cezanın sınırlarını aşma durumu olduğu zaman, ilgili uygunluk değeri olan ceza fonksiyonu ile cezalandırılarak sınırlar içerisine alınırlar. Uygunluk fonksiyonu (Fitness Function) bir bireyin, gelecek jenerasyonlar için seçilme işleminde kullanılan performansının ölçüsünü verir. Uygunluk fonksiyonu (UF) aşağıdaki şekilde hesaplanır [56].

$$UF = F - (AF + P) \quad (7.17)$$

Burada ceza fonksiyonu P ile gösterilmiş ve aşağıdaki bağıntı ile ifade edilmiştir.

$$P = \sum_{r=1}^{KS} r_i \cdot \left(\text{maximum}(0, g_i) \right)^2 \quad (7.18)$$

g_i = kısıt değeri

r_i = katsayı

AF = amaç fonksiyonu, (modül)

F = (AF+P)' den büyük bir sayı

KS = kısıt sayısı

Uygunluk değeri daima pozitif değer alması gerektiğinden g_i 'nin karesi alınmalıdır. r_i katsayısı, her kısıt için öngörü ile uygun ve anlamlı şekilde seçilmelidir. F sayısı ise pozitif değer ve yeteri değerde büyük olmalıdır [53].

7.1.4. Değişkenlerin kodlanması ve genetik algoritma parametreleri

Genetik algoritmalar, amaç fonksiyonu ve buna bağlı değişkenlerin değerlerine ve hassasiyetlerine göre kodlanmasına gerek duyar. Değişik kodlama seçenekleri olmasına karşın, en çok kullanılanı ikilik kodlama olan “binary” {0,1} sistemidir. Burada tüm çözümler aynı boyutlara sahip bitler dizisi şeklinde gösterilir. Dizilerden her biri, problemin olası çözümler uzayındaki rasgele bir noktayı simgeler [56].

$$x_{(i)} = \{d_2, r_D\} \quad (7.19)$$

$$x_{(i)}^{\text{alt}} \leq x_{(i)} \leq x_{(i)}^{\text{üst}} \quad (7.20)$$

$x_{(i)}^{alt}$ değişken için en alt sınır, $x_{(i)}^{üst}$ değişken için en üst sınırdır. Değişkenlerin bit sayısı L , aşağıdaki bağıntı ile elde edilir.

$$2^L \geq \left\lceil \frac{[x_{(i)}]_{üst} - [x_{(i)}]_{alt}}{\varepsilon} \right\rceil + 1 \quad (7.21)$$

burada;

L = değişkenin bit sayısı

ε = değişkenin artma aralığı

Çizelge 7.2.'de değişkenlerin oluşturulması görülmektedir. GA' yı başlatabilmek için, rastgele bir başlangıç popülasyonu üretilmesine ihtiyaç vardır. Üretilen bu popülasyon problemin potansiyel çözümlerinden biridir. Çizelge 7.3.'te değişkenlerin ikilik (binary) kodlama sistemine göre oluşturulmuş bir çözümü örneklendirilmiş ve birleştirilmiştir.

Çizelge 7.2. Değişkenlerin oluşturulması

Değişkenler	Alt Sınır	Üst Sınır	Artma Aralığı	Bit Sayısı
Parça dış çapı (d_2)	120	160	1	6
Kalıp yarıçapı (r_D)	4	6	0.1	6

Çizelge 7.3. Değişkenlerin ikilik sistemde gösterimi ve birleşimi

Parça dış çapı (d_2)	Kalıp yarıçapı (r_D)
1 0 1 1 0 1	1 1 0 1 0 0
Değişkenlerin birleştirilmesi	
1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0	

Görüldüğü gibi değişkenlerin birleştirilmesi sonucunda oluşan birey 12 bit'ten meydana gelmektedir. Dolayısıyla çözüm uzayında 2^{12} tane alternatif çözümü vardır.

Popülasyon büyüklüğü her jenerasyondaki arama noktalarının sayısını belirler. Goldberg'in önerdiği optimum bir popülasyon büyüklüğü vardır. Bu aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

$$\text{PopülasyonBüyükülüğü} = 1,65 \cdot 2^{(0,21) \cdot l} \quad (7.22)$$

12 bit uzunluğundaki bir birey için popülasyon büyüklüğü:

$$PB := 1.65 \cdot 2^{0.21 \cdot 12} \quad (7.23)$$

$$PB=9.464 \quad (7.24)$$

Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü 16 alınmıştır. Rastgele oluşan başlangıç popülasyonu Çizelge 7.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 7.4. Rastgele oluşan başlangıç popülasyonu

Birey numarası	Rastgele oluşan bireyler
1	1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0
2	0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1
.	
16	1 1 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1

Yapılan bu optimizasyon işleminde GA operatörü olarak şunlar kullanılmıştır; *elitizm*, *rulet tekerleği seçim mekanizması* (Şekil 7.2) , *tek noktadan çaprazlama* (Çizelge 7.5) ve *mutasyon* (Çizelge 7.6).



Şekil 7.2. Rulet tekerleği seçim mekanizması

Şekil 7.2’den de görüleceği gibi bir sonraki jenerasyona aktarılmak için en uygun birey 12. bireydir.

Çaprazlama oranı literatürde 0,5-1,0 arasında olması önerilir. Bu çalışmada 0,5 çaprazlama oranı kullanılacaktır.

Çizelge 7.5. Tek noktadan yapılan çaprazlama işlemi

5. noktadan çaprazlanmış bireyler	
Birey 1	1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0
Birey 2	0 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1
Çaprazlama sonucu oluşan bireyler	
Çocuk 1	1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 1
Çocuk 2	0 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 0

Mutasyon oranı, arama uzayını genişletmek için, rastgele bir şekilde bireylerin genlerinde (bitleri) küçük değişiklikler yapmak için kullanılır. Mutasyon oranı artırıldığında iyi bireylerin kötü duruma geldiği görülmüştür. Mutasyon işlemi 0.1-0.001 aralığındaki değerlerde seçilebilir. Bu çalışmada 0,001 mutasyon oranı kullanılacaktır.

Çizelge 7.6. Mutasyon işlemi

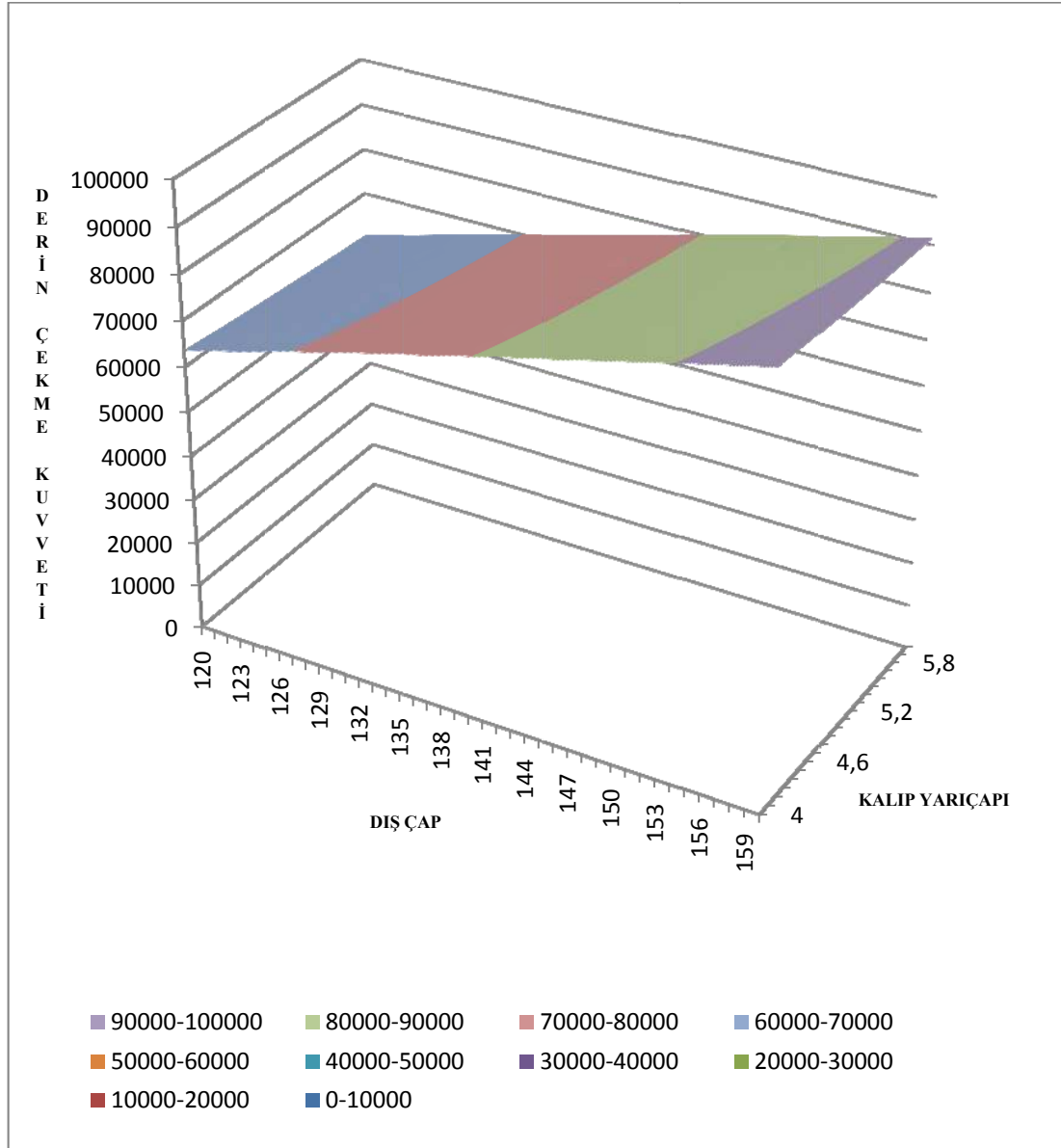
Mutasyon öncesi	1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 0
Mutasyon sonrası	1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0

Bu çalışmada kullanılacak olan genetik algoritma parametreleri Çizelge 7.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.7. Genetik algoritma parametreleri

Genetik algoritma parametreleri	
Bireyin (çözümün) bit sayısı	12
Popülasyon büyüklüğü	16
Jenerasyon (nesil) sayısı	100
Çaprazlama oranı	0,5
Mutasyon oranı	0,001

Tasarım değişkenlerinin belirtilen aralıklarda değişimi sonucu amaç fonksiyonu olan derin çekme kuvvetindeki değişim Şekil 7.3’de gösterilmiştir.

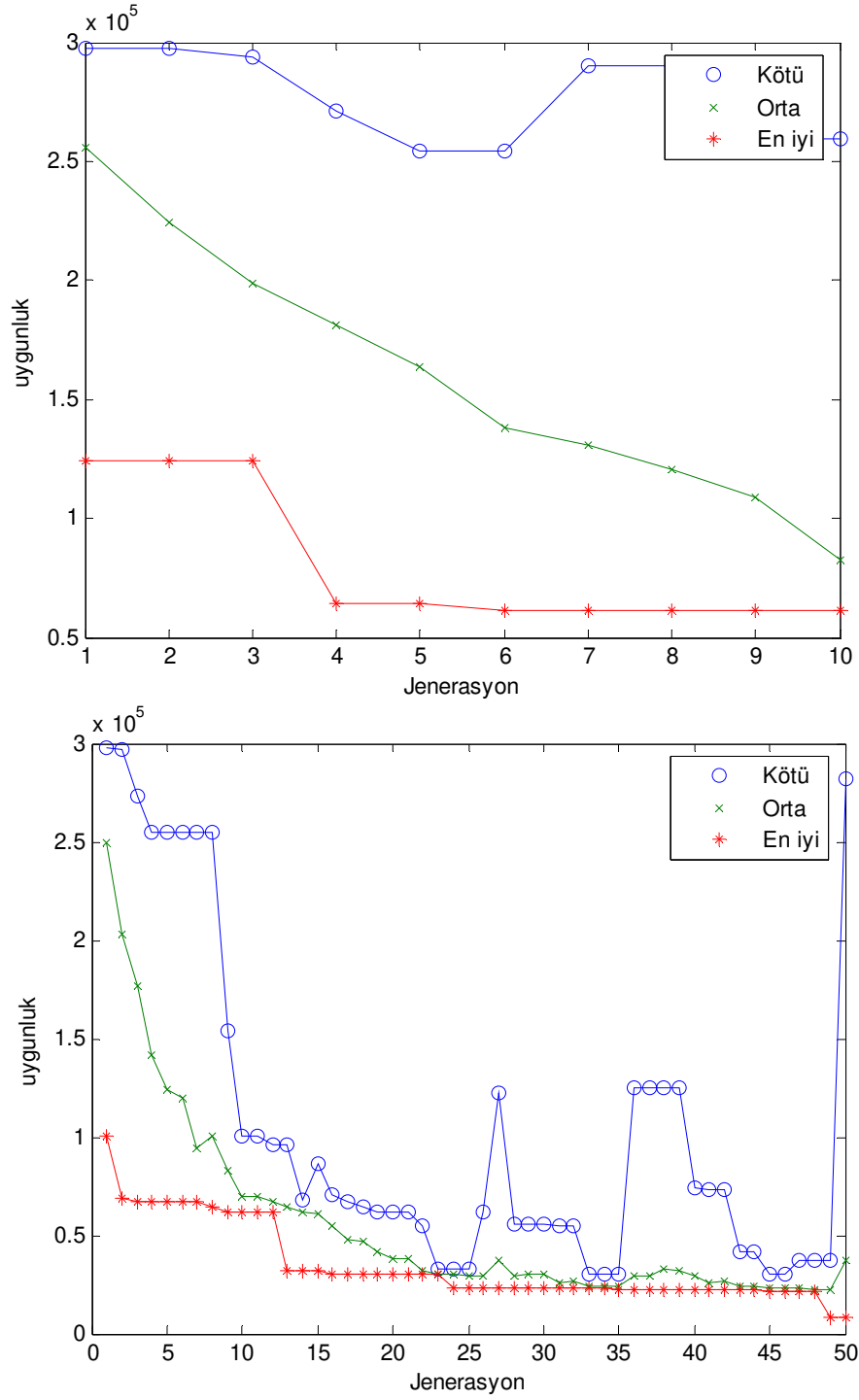


Şekil 7.3. Tasarım değişkenlerinin amaç fonksiyonuna etkisi

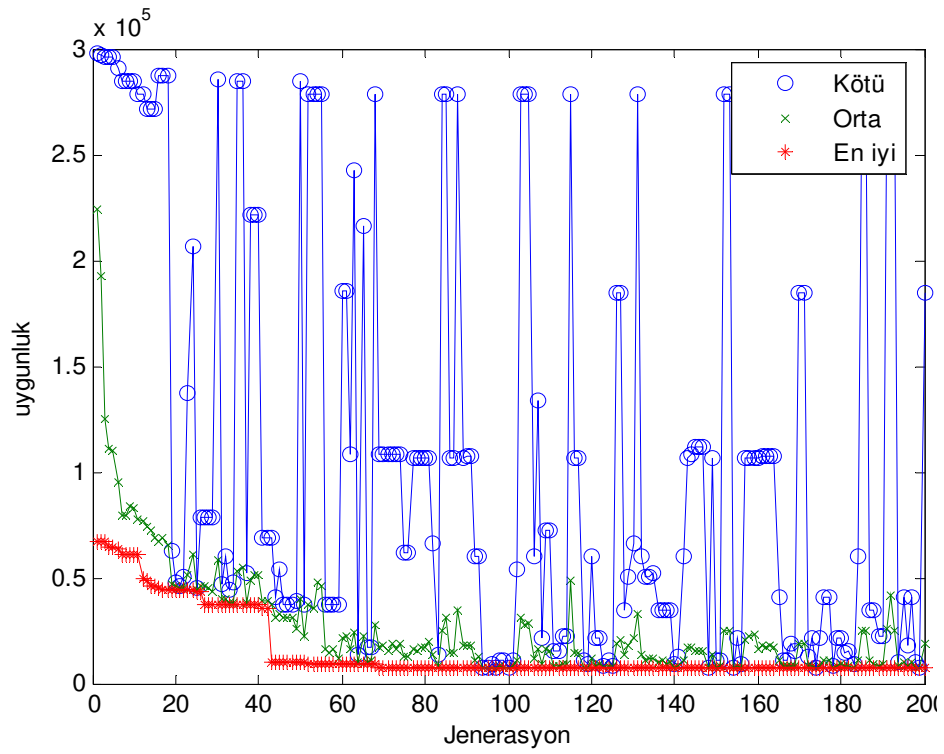
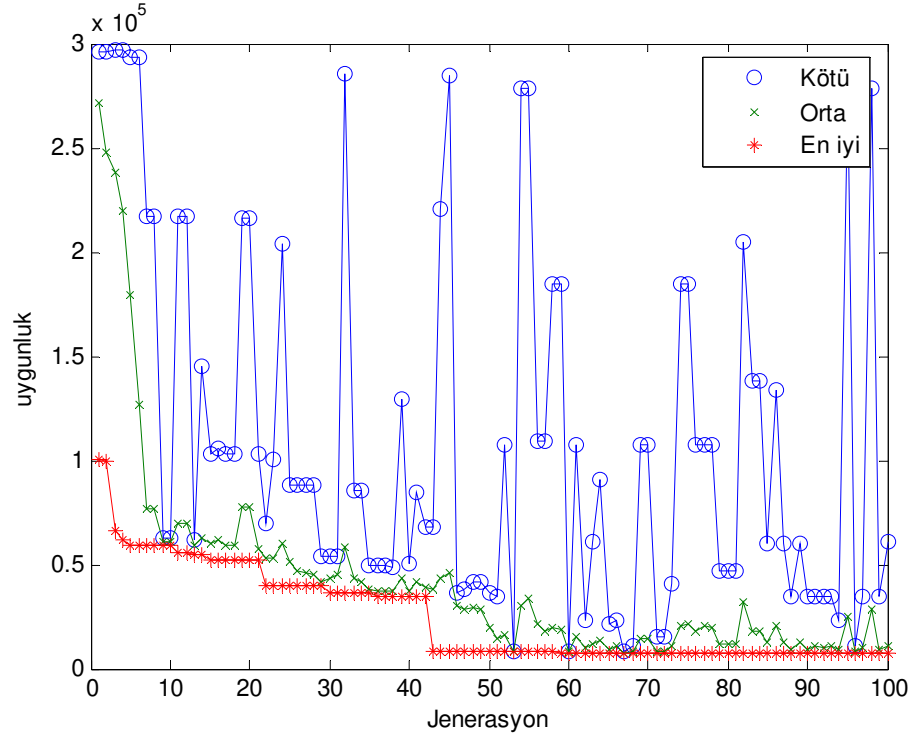
7.1.5. Programın Matlab'ta yazılması:

Matlab7.0'da yazılan programın program ağacı EK-1'de gösterilmiştir. İlgili program ise EK-2'de gösterilmiştir. Burada yapılan, derin çekme işlemi için belirlenen amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonunun mevcut Matlab 7.0 genetik algoritma programına uyarlanmasından ibarettir.

Farklı jenerasyon sayılarının etkilerini görebilmek için sırasıyla 10, 50, 100 ve 200 jenerasyon sayıları ile program çalıştırılmış ve aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



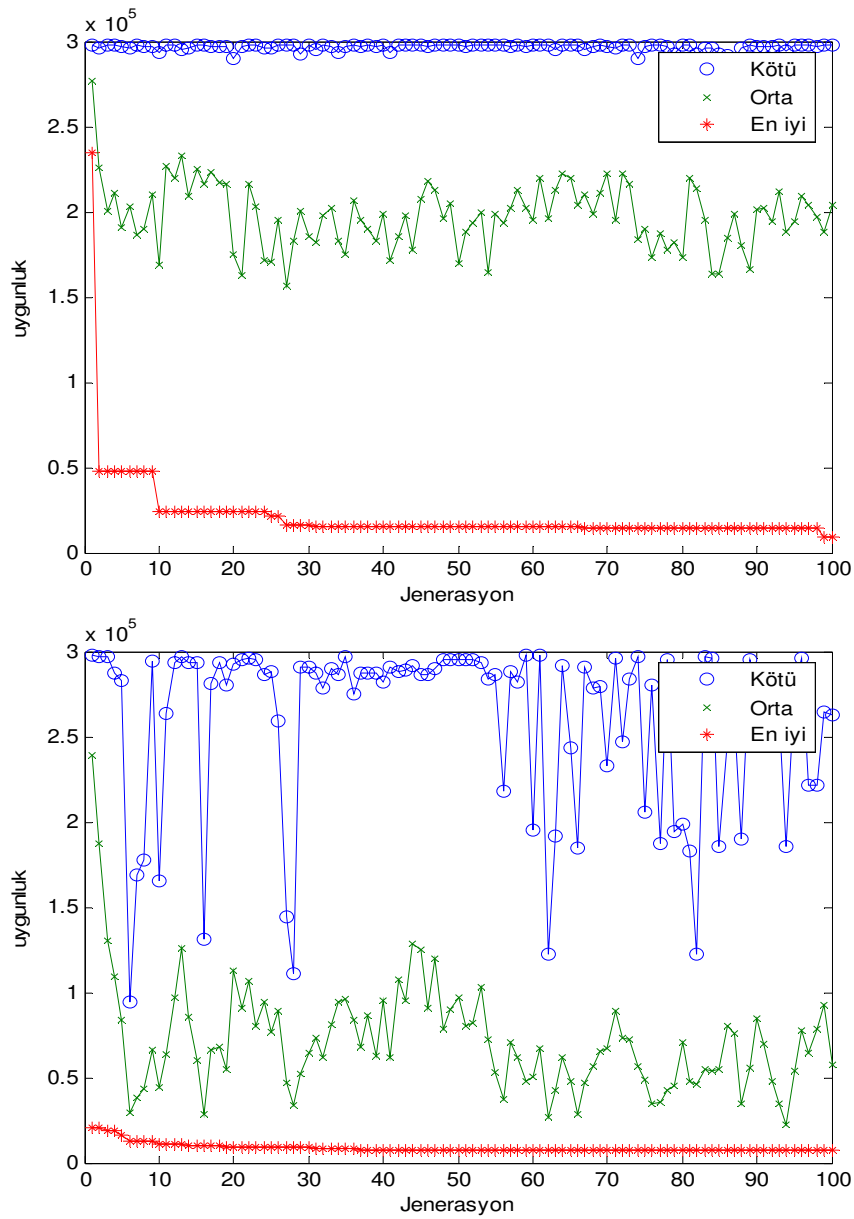
Şekil 7.4. Farklı jenerasyon sayıları için jenerasyon-uygunluk grafikleri



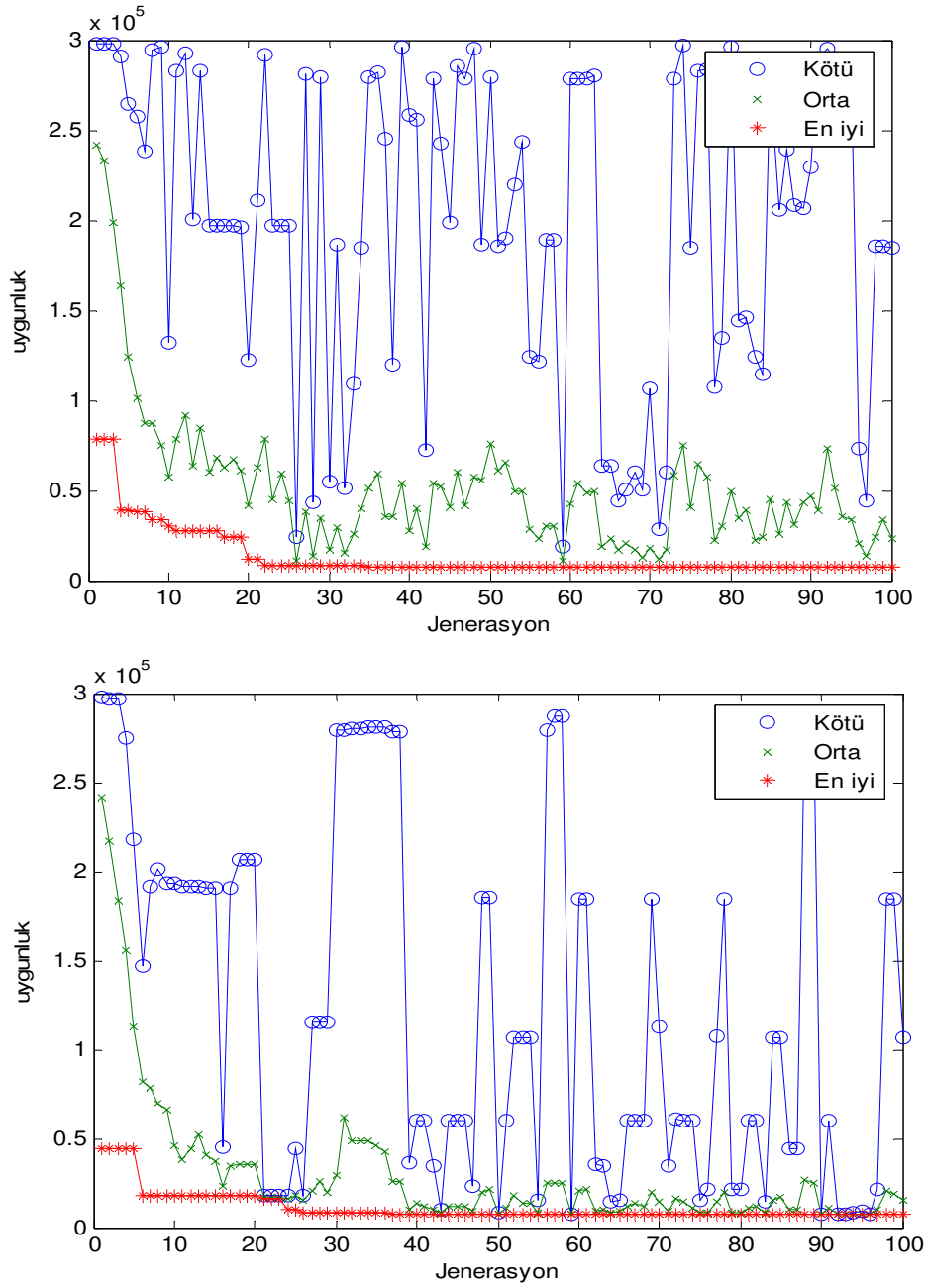
Şekil 7.4. (Devam) Farklı jenerasyon sayıları için jenerasyon-uygunluk grafikleri

Şekil 7.4'teki farklı jenerasyon sayıları için elde edilen grafikler incelendiğinde 70. jenerasyondan sonra uygunluk değerlerinde ciddi farklılıkların olmadığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla programda kullanılacak jenerasyon sayısı 100 olarak alınmıştır.

Farklı mutasyon oranlarının etkilerini görebilmek için sırasıyla 0.1, 0.01, 0.005 ve 0.001 mutasyon oranları ile program çalıştırılmış ve sırası ile aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



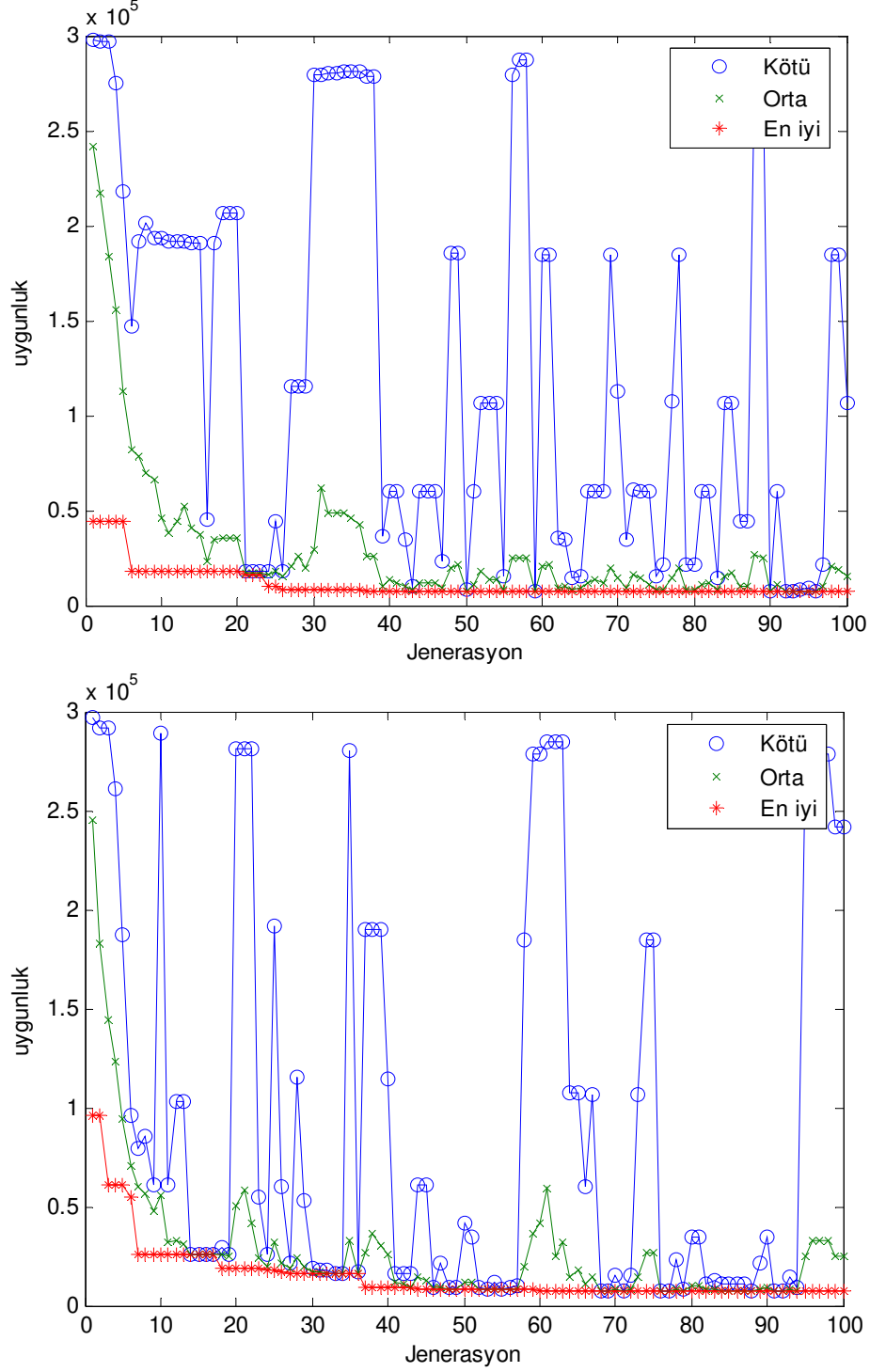
Şekil 7.5. Farklı mutasyon oranları için jenerasyon-uygunluk grafikleri



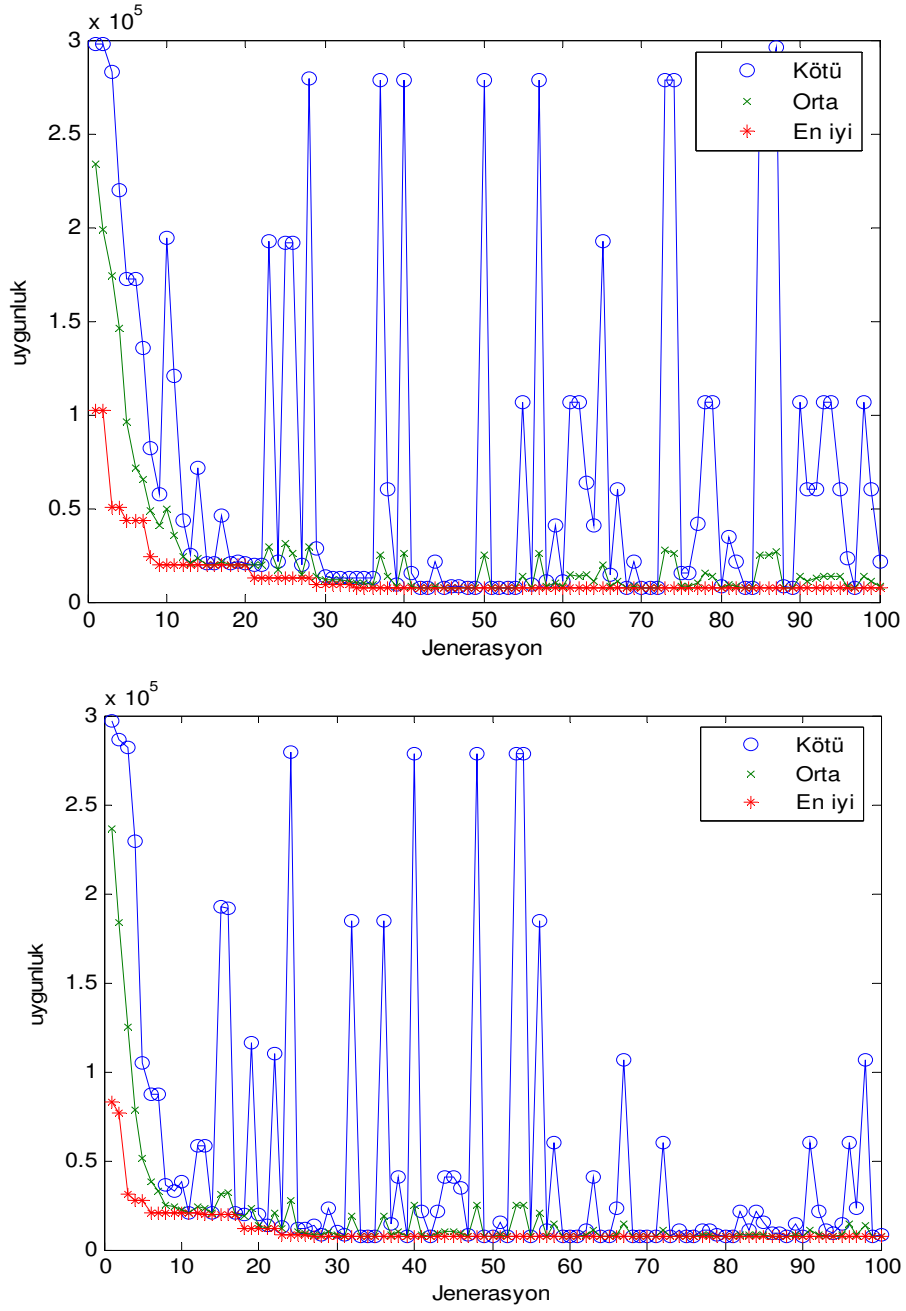
Şekil 7.5. (Devam) Farklı mutasyon oranları için jenerasyon-uygunluk grafikleri

Şekil 7.5'teki grafikler incelendiğinde, mutasyon oranı arttıkça iyi ve kötü uygunluk değeri eğrilerinin birbirinden uzaklaştığı görülmüştür. GA'nın uygun çözüm verebilmesi için iyi ve kötü uygunluk değeri eğrilerinin birbirine mümkün olduğu kadar yakın olması gerektiğinden, mutasyon oranı 0.001 olarak alınmıştır.

Farklı çaprazlama oranlarının etkilerini görebilmek için sırasıyla 0.5, 0.7, 0.9 ve 1.0 mutasyon oranları ile program çalıştırılmış ve sırası ile aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 7.6. Farklı çaprazlama oranları için Jenerasyon-uygunluk grafikleri

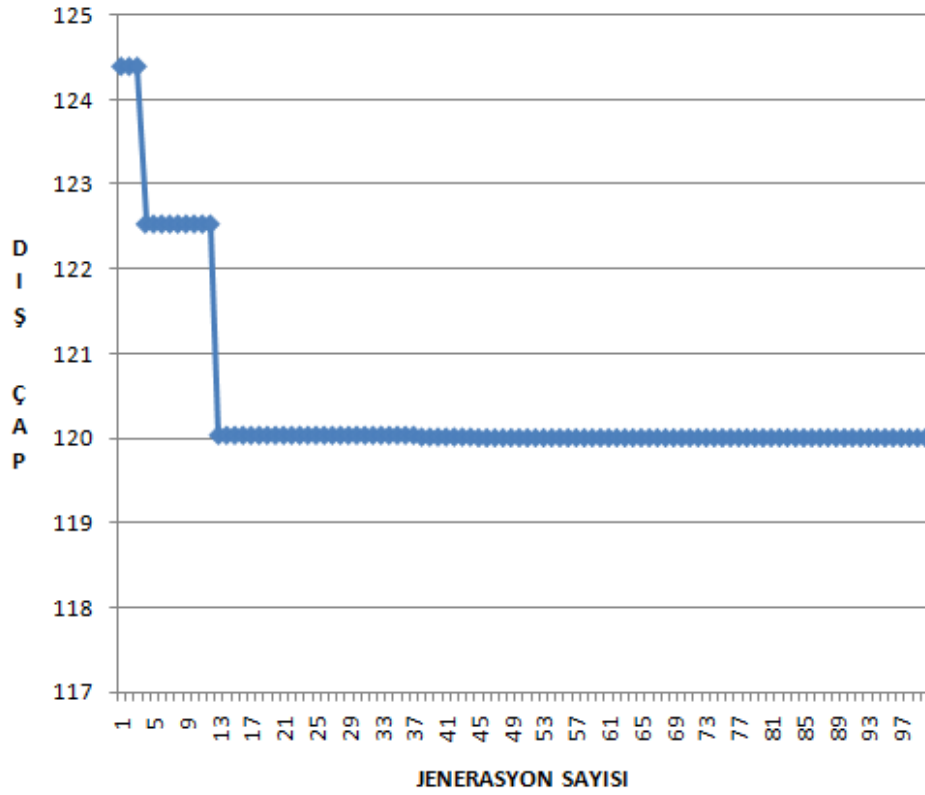


Şekil 7.6. (Devam) Farklı çaprazlama oranları için Jenerasyon-uygunluk grafikleri

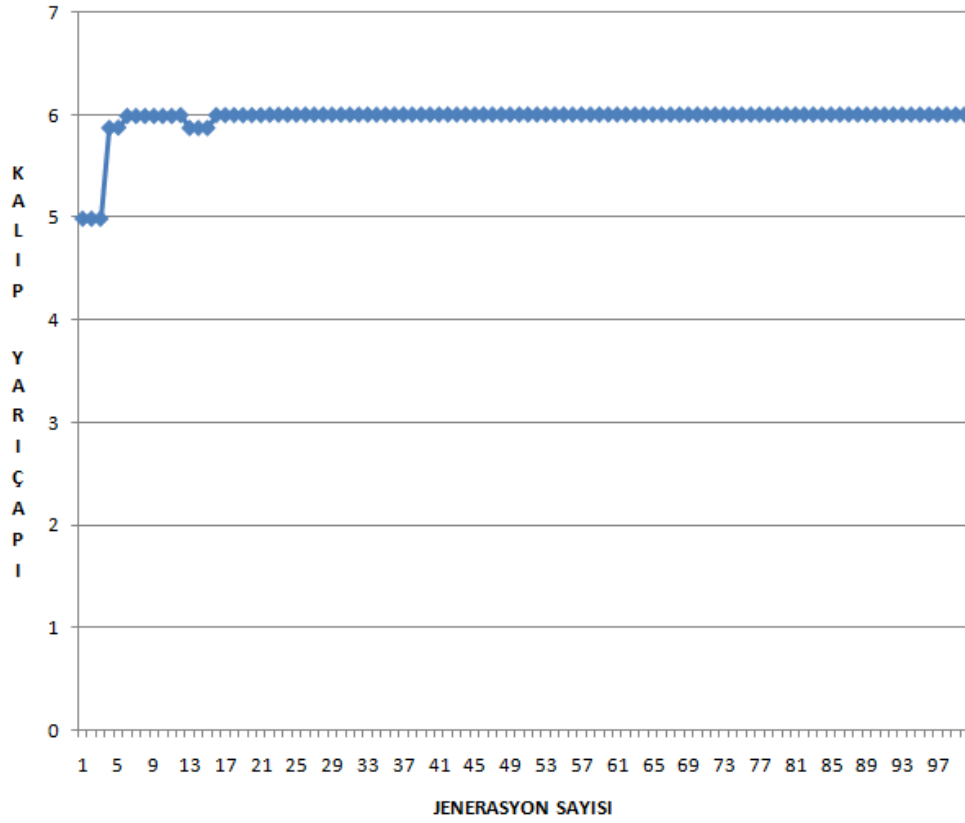
Şekil 7.6'daki grafikler incelendiğinde, çaprazlama oranı arttıkça uygunluk değerinin daha kötü sonuçlar verdiği görülmektedir. Bundan dolayı çaprazlama oranı 0.5 olarak alınmıştır.

Program bu değerlerle çalıştırıldığında dış çap 120 mm, kalıp yarıçapı ise 6mm olarak elde edilmiştir.

Program çalıştırıldıktan sonra 100 jenerasyona gelene kadar dış çap ve jenerasyon sayısı arasındaki ilişki Şekil 7.7’de gösterilmiştir. Benzer şekilde 100 jenerasyona gelene kadar kalıp yarıçapında meydana gelen değişim Şekil 7.8’de gösterilmiştir. 46. jenerasyondan sonra dış çapın sabit kaldığı, 36. jenerasyon sonra kalıp yarıçapının sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Çok fazla iterasyon yapmadan genetik algoritmanın sonucu erken jenerasyonlarda bulmasının sebebi derin çekme kuvveti grafiğinin artan bir grafik olmasıdır. Yani genetik algoritma lokal minimum ve maksimum noktalarına takılmadan, direk olarak grafiğin en üst noktasına doğru iterasyon yapmaktadır. Eğer grafiğimizde bu şekilde lokal noktalar olsaydı, o zaman genetik algoritma belli jenerasyonlarda bu noktalara takılacak, dolayısı ile sonucu bulması hem uzun zaman alacak hem de jenerasyon sayımız yüksek çıkacaktı.



Şekil 7.7. Dış çap-jenerasyon sayısı grafiği



Şekil 7.8. Kalıp yarıçapı-jenerasyon sayısı grafiği

Bu parametrelere göre çekme kuvveti hesaplandığında, çekme kuvvetinin 60370 N olduğu görülür ve bu değerlerin daha önce ifade edilen iki tasarım kısıtını sağladığı görülür. Bu çekme kuvveti değeri $\pi d_m S_o$ 'ya bölüldüğünde elde edilen değer çekme basıncıdır.

$$P_{\text{ç}} = F_{d,\text{max}} / \pi d_m S_o \quad (7.25)$$

$$P_{\text{ç}} = 60370 / \pi \cdot 81.1 = 237.239 \text{ Mpa} \quad (7.26)$$

Bulunan bu çekme basıncı patlayıcı yardımı ile form verme basıncı formülünde yerine yazılıp, bilinen bir stand off mesafesi için gerekli olan kütle bulunacaktır. Örneğimizde stand off mesafesi 0.15 m olarak alınmıştır. Patlayıcı türü olarak TNT için ilgili işlemlerin yapılması aşağıda açıklanmıştır.

$$P_t = P_m \cdot e^{-\frac{t}{\theta}} \quad (7.27)$$

$$P_m = K_1 \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_1} \quad (7.28)$$

$$\theta = K_2 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{R} \right)^{\alpha_2} \quad (7.29)$$

Bu denklemlerde:

R: Stand off mesafesi (m)

P_m : şok dalgasının tepe basıncı (Pa)

θ : azalma sabiti (ms)

t: şok dalgasının hedefe ulaşma zamanı (ms)

W: patlayıcı kütlesi (kg)

K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 : patlayıcı türüne göre değişen sabitler.

c_0 : sudaki ses hızıdır (1497 m/s)

Şok basıncının hedefe ulaşma zamanı, t, bulunurken ise mesafenin yani stand off mesafesinin sudaki ses hızına bölümü kullanılmıştır.

$$t = R \times 10^3 / c_0 = 0.1 \text{ s} = 0.0001 \text{ ms}$$

Patlayıcımız TNT olarak düşünülmüştür. Buna göre K_1 , α_1 , K_2 ve α_2 sabitleri sırası ile şu şekildedir: 52.16×10^6 , 1.13, 92.5, -0.22 [4]. Denklemden yerlerine yazarsak:

$$237.239 = \left[52.16 \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{0.15} \right)^{1.13} \right] \cdot e^{\left[\frac{-0.0001}{92.5 \cdot W^{\frac{1}{3}} \cdot \left(\frac{W^{\frac{1}{3}}}{0.15} \right)^{-0.22}} \right]} \quad (7.30)$$

Denklem çözülürse:

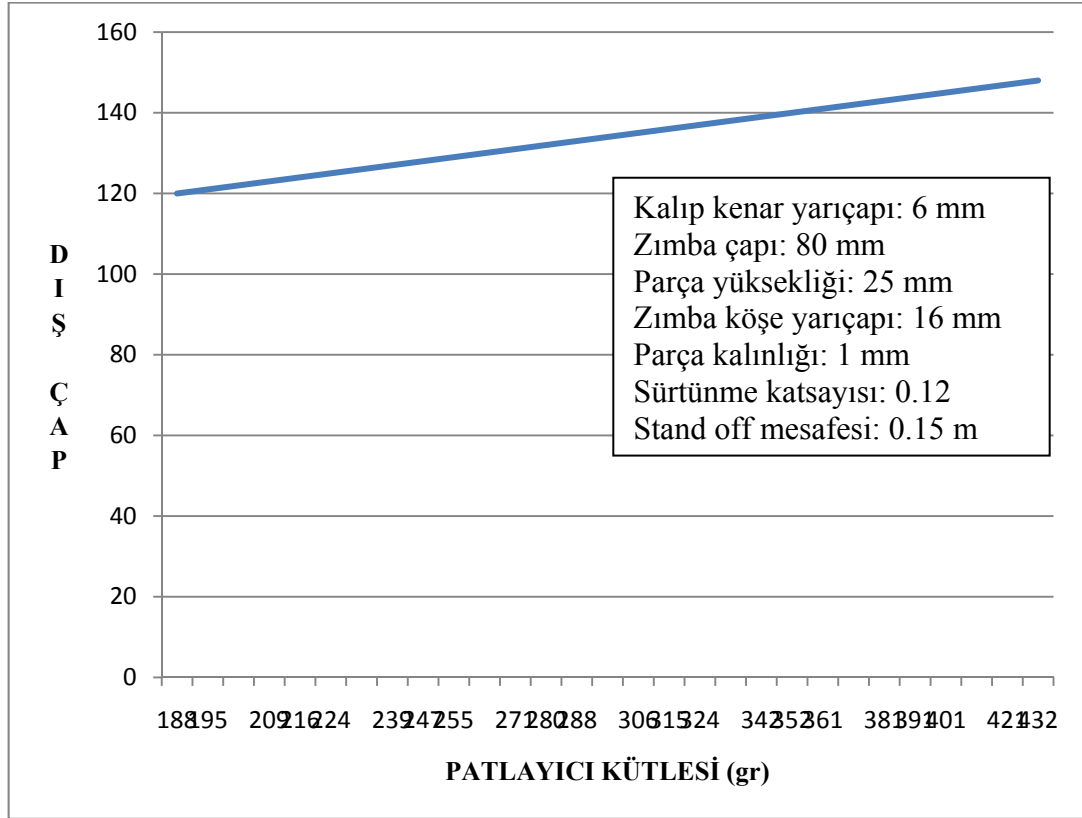
$W = 0.188268 \text{ kg} = 188.268 \text{ gr}$ olarak bulunur. Yani Şekil 7.1’de gösterilen parça (dış çap 120 mm, kalıp yarıçapı 6 mm olacak şekilde), 188.268 gr TNT, form verilecek plakadan 0.15 m uzağa yerleştirilerek patlatılırsa, elde edilir.

7.2. Parametrelerin Patlayıcı Kütlesine Olan Etkisi

Patlayıcı yardımı ile form vermede çeşitli parametrelerin patlayıcı kütlesi üzerine olan etkileri bu bölümde detaylı olarak incelenecektir. Bu parametreler dış çap, iç çap, parça yüksekliği, kalıp kenar yarıçapı, zımba köşe yarıçapı, parça kalınlığı, sürtünme katsayısı ve stand off mesafesidir.

7.2.1. Dış çapın etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken dış çapın değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.9’da gösterilmiştir. Kalıp yarıçapı bu durumda 6 mm olarak alınmıştır.

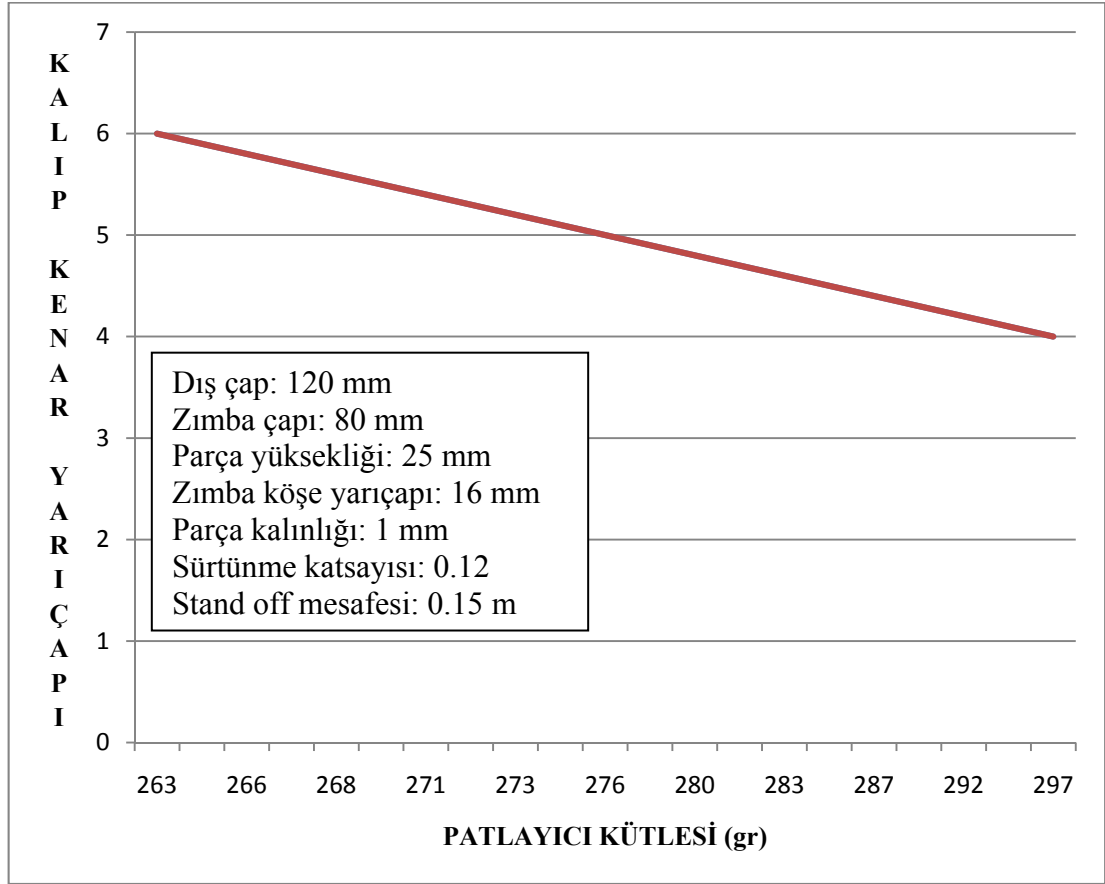


Şekil 7.9. Dış çap-patlayıcı kütlesi grafiği

Şekil 7.9'dan da görüleceği gibi dış çap arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Çünkü dış çapın artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de artacaktır. Grafikte dış çapın 148 mm'den sonraki değerleri gösterilmemiştir, çünkü bu değerden sonra parçaya form vermek için gerekli olan basınç kırılma basıncını geçmektedir. Yani diğer parametreler sabit iken dış çapın alacağı 149 mm ve üzeri değerlerde, parçada çatlak meydana gelmesi veya parçanın kırılması muhtemeldir.

7.2.2. Kalıp kenar yarıçapının etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken kalıp yarıçapının değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.10'da gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm olarak alınmıştır.



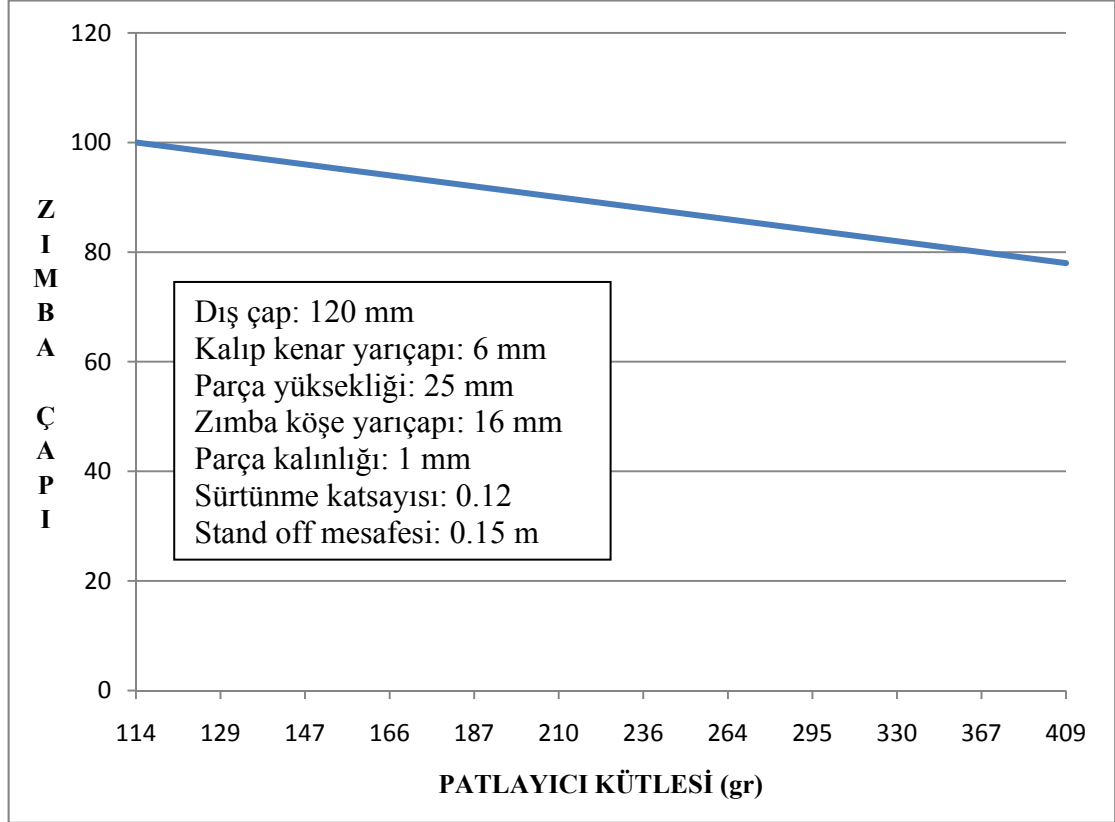
Şekil 7.10. Kalıp kenar yarıçapı-patlayıcı kütlesi grafiği

Şekil 7.10'dan da görüleceği gibi kalıp kenar yarıçapı arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak azalmaktadır. Çünkü kalıp kenar yarıçapının artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de azalacaktır.

7.2.3. İç çapın (zımba çapı) etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken zımba çapının 50-100 mm aralığında değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.11'de gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm, kalıp kenar yarıçapı 6 mm olarak alınmıştır. Derin çekme kuvveti ve buna bağlı olarak derin çekme basıncı hesaplanırken, zımba çapının 78 mm'den az olduğu durumlarda derin çekme kuvvetinin kırılma kuvvetinden büyük olduğu görülmüştür. Yani diğer parametreler sabit iken zımba çapı 78 mm'den küçük olursa parçada çatlak oluşması veya parçanın kırılması muhtemeldir. Grafikte onun için 78 mm'den küçük değerler gösterilmemiştir. Şekil 7.11'den de görüleceği gibi zımba

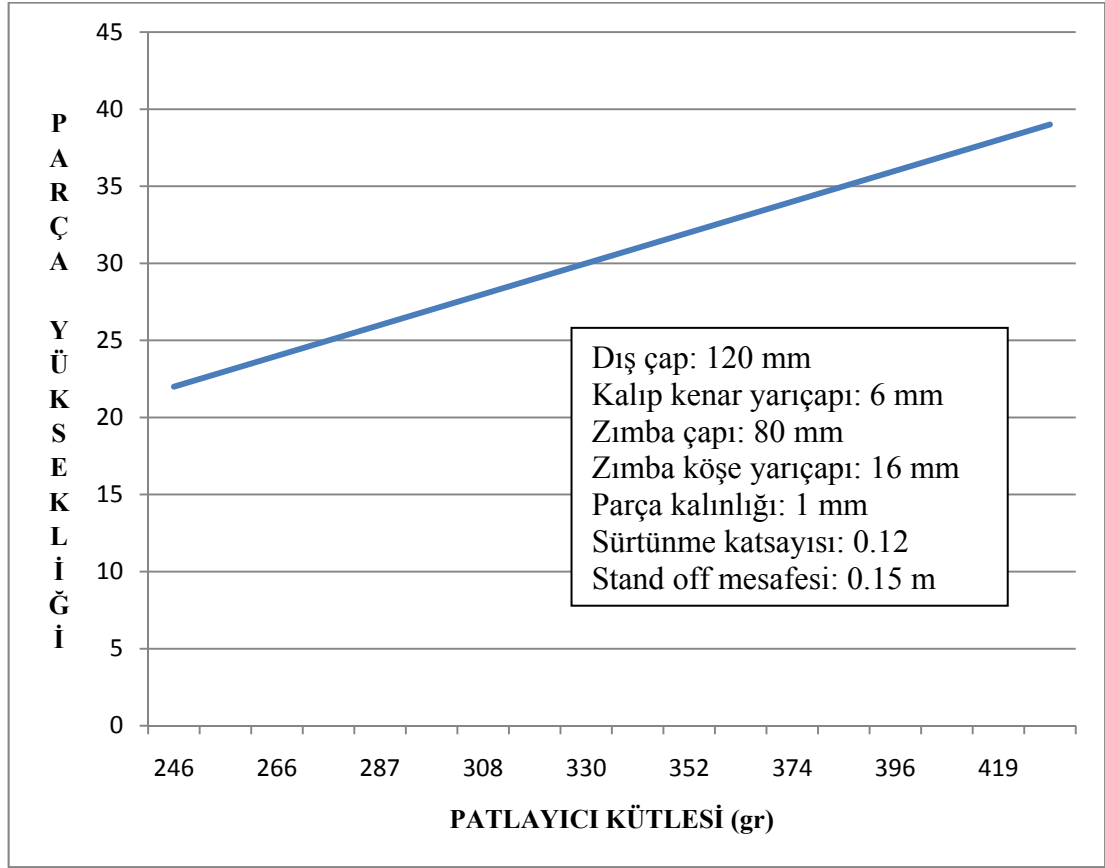
apı arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak azalmaktadır. Çünkü zımba çapının artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de azalacaktır.



Şekil 7.11. Zımba apı-patlayıcı kütlesi grafiği

7.2.4. Parça yüksekliğinin etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken parça yüksekliğinin değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.12’de gösterilmiştir. Dış ap bu durumda 120 mm, kalıp kenar radyüsü 6 mm olarak alınmıştır.

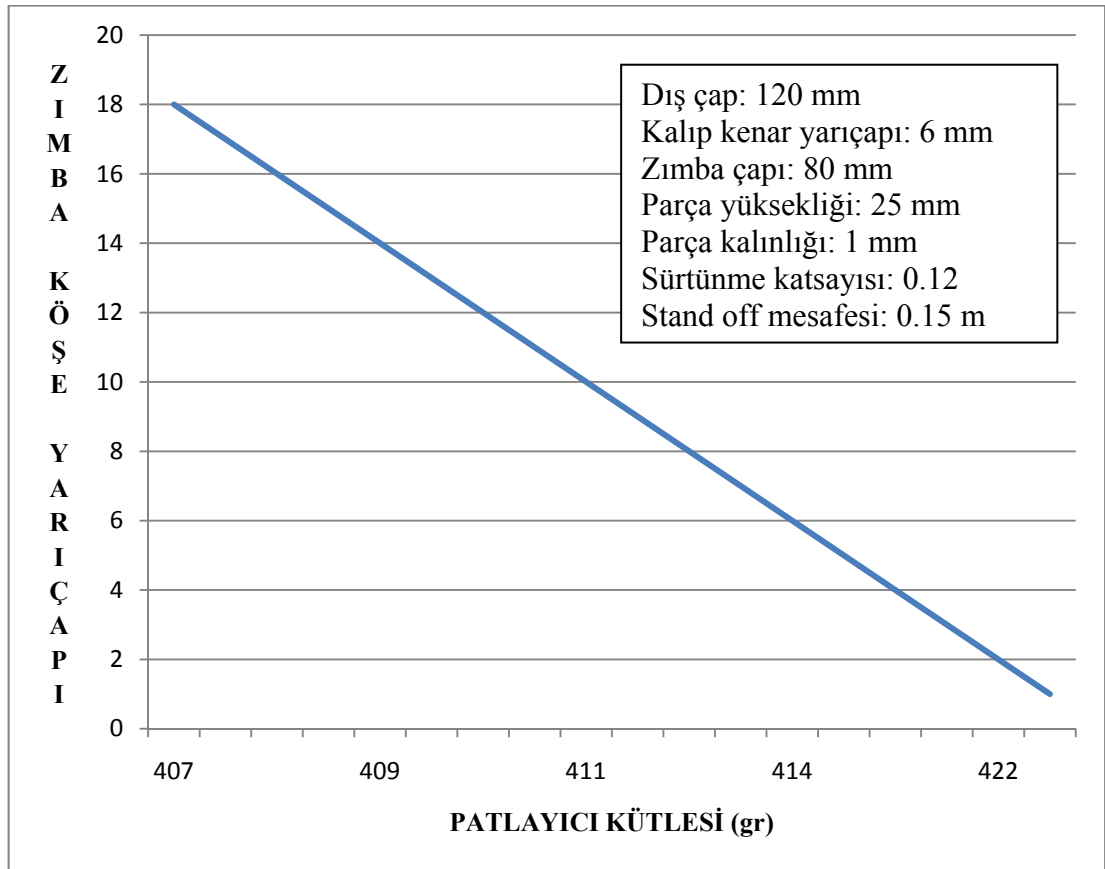


Şekil 7.12. Parça yüksekliği-patlayıcı kütlesi grafiği

Derin çekme kuvveti ve buna bağlı olarak derin çekme basıncı hesaplanırken, parça yüksekliğinin 39 mm'den fazla olduğu durumlarda derin çekme kuvvetinin kırılma kuvvetinden büyük olduğu görülmüştür. Yani diğer parametreler sabit iken parça yüksekliği 39 mm'den büyük olursa parçada çatlak oluşması veya parçanın kırılması muhtemeldir. Grafikte onun için 39 mm'den büyük değerler gösterilmemiştir. Şekil 7.12'den de görüleceği gibi parça yüksekliği arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Çünkü parça yüksekliğinin artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de artacaktır.

7.2.5. Zımba köşe yarıçapının etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken zımba köşe yarıçapının değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.13'te gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm, kalıp kenar radyüsü 6 mm olarak alınmıştır.

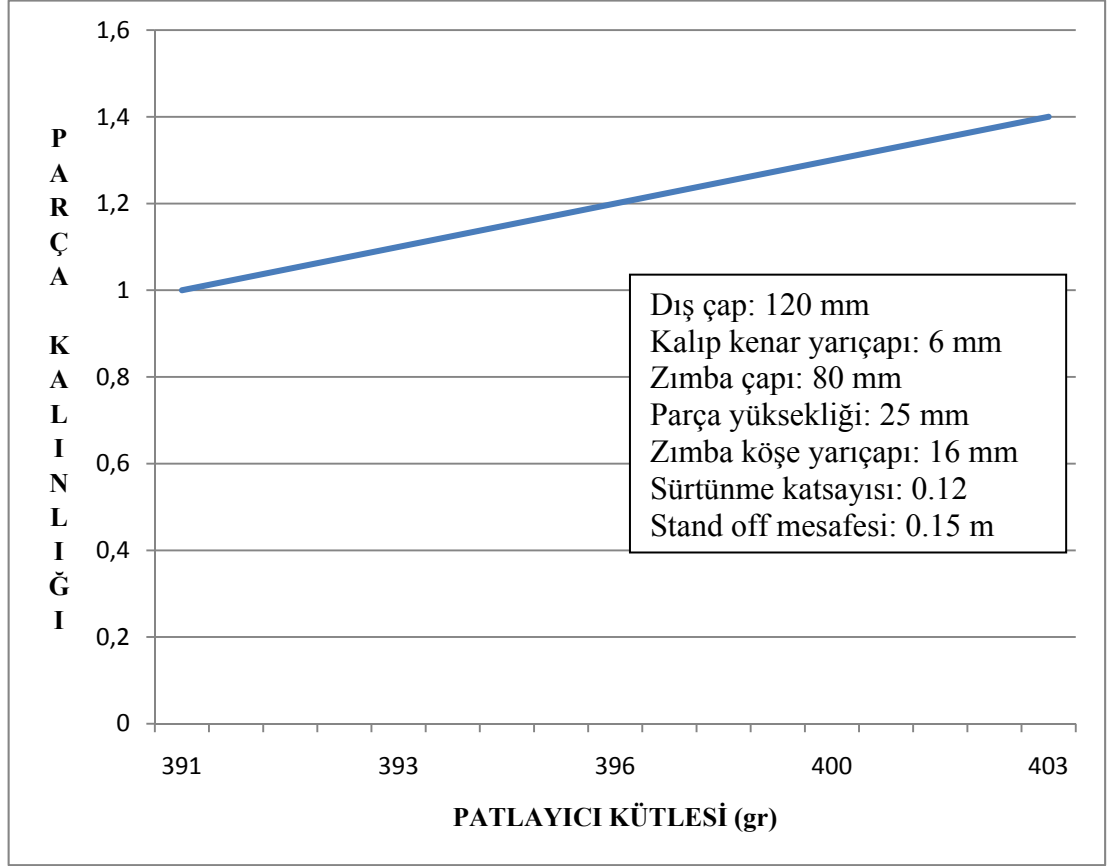


Şekil 7.13. Zımba köşe yarıçapı-patlayıcı kütlesi grafiği

Şekil 7.13'ten de görüleceği gibi zımba köşe yarıçapı arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak azalmaktadır. Çünkü zımba köşe yarıçapının artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de azalacaktır.

7.2.6. Parça kalınlığının etkisi

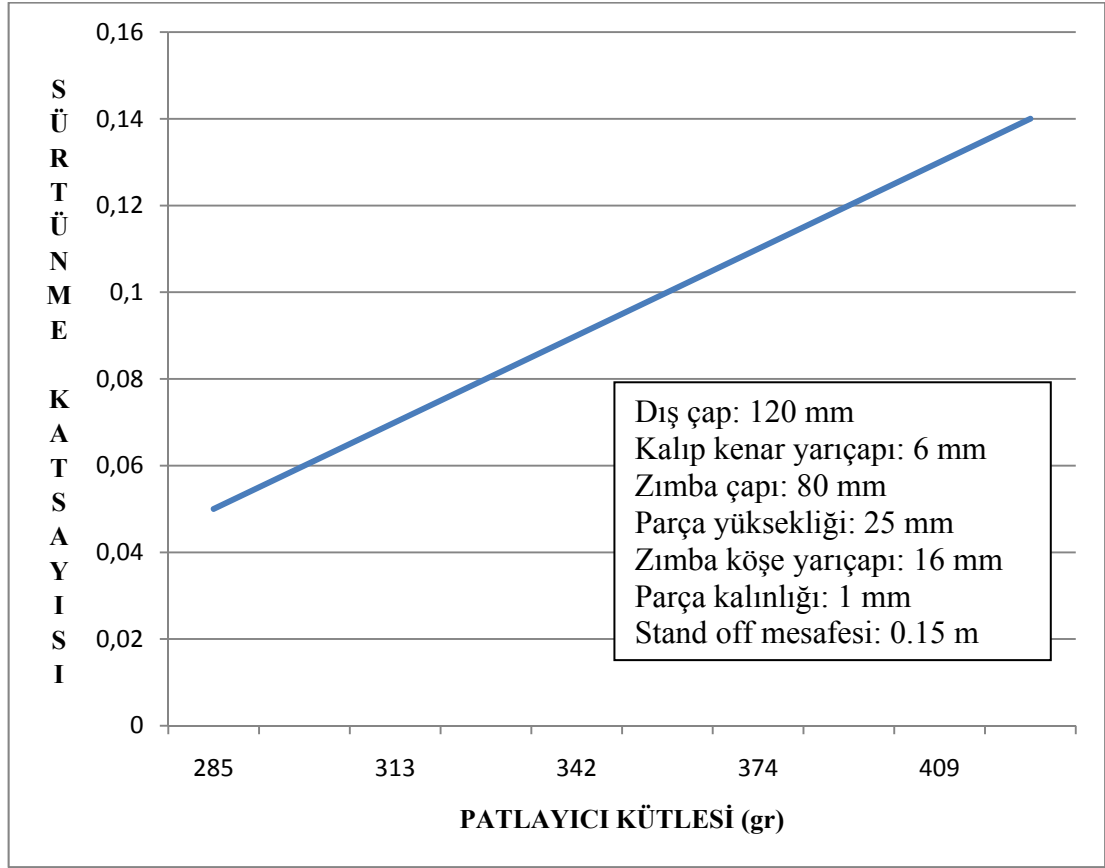
Parçanın diğer parametreleri sabit iken parça kalınlığının değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.14'de gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm, kalıp kenar radyüsü 6 mm olarak alınmıştır. Şekil 7.14'den de görüleceği gibi parça kalınlığı arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Çünkü parça kalınlığının artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de artacaktır.



Şekil 7.14. Parça kalınlığı-patlayıcı kütlesi grafiği

7.2.7. Sürtünme katsayısının etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken sürtünme katsayısının değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.15'te gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm, kalıp kenar radyüsü 6 mm olarak alınmıştır. Sürtünme katsayısı 0,14'ten büyük değerler aldığı anda parçaya form verebilmek için gerekli olan derin çekme kuvveti, parçada çatlama meydana getirecek kırılma kuvvetinden büyük çıkmaktadır. Yani sürtünme katsayısının 0,14'ten büyük değerlerinde parçada çatlama veya kırılma meydana gelme olasılığı yüksektir. Bunun için grafikte 0,14'ten büyük değerler gösterilmemiştir. Şekil 7.15'ten de görüleceği gibi sürtünme katsayısı arttıkça patlayıcı kütlesi yaklaşık lineer olarak artmaktadır. Çünkü sürtünme katsayısının artması ile birlikte parçanın form verilebilmesi için gerekli olan derin çekme kuvveti de artacaktır.

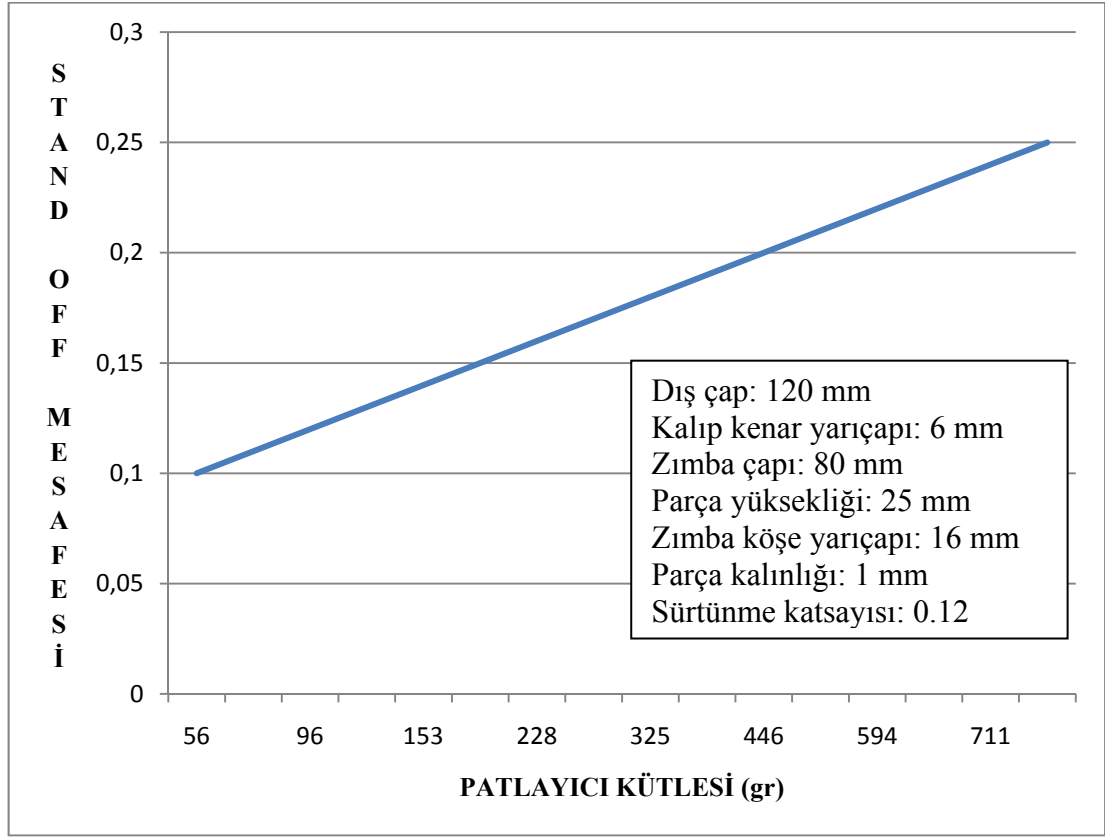


Şekil 7.15. Sürtünme katsayısı-patlayıcı kütlesi grafiği

7.2.8. Stand-off mesafesinin etkisi

Parçanın diğer parametreleri sabit iken stand-off mesafesinin değişimi ile kullanılacak patlayıcı kütlesinin grafiği Şekil 7.16'da gösterilmiştir. Dış çap bu durumda 120 mm, kalıp kenar radyüsü 6 mm olarak alınmıştır.

Stand off mesafesi değerinin 0,1-0,25 m aralığında değiştiği varsayılarak grafik çizilmiştir. Şekil 7.16'dan da görüleceği gibi stand off mesafesi arttıkça patlayıcı kütlesi de lineer olarak artmaktadır. Çünkü parçanın diğer parametreleri sabit olduğu için, parçaya form verilebilmesi için her seferinde aynı miktarda basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Aynı basıncı elde edebilmek için ise, patlayıcı ile form verilecek plaka birbirinden uzaklaştırıldıkça daha çok patlayıcı kütlesine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 7.16. Stand off mesafesi-patlayıcı kütlesi grafiği

8. SONUÇ

Bu çalışmada bir nevi derin çekme operasyonu olan patlayıcı yardımı ile form verme işlemi için genetik algoritma kullanılarak optimizasyon yapılmıştır. Bunun için öncelikle derin çekme için gerekli olan çekme kuvvetini minimum yapabilmek için gerekli olan dış çap ve kalıp yarıçapı optimize edilmiş. Daha sonra optimize edilen bu parametreler ile elde edilen çekme basıncı, patlayıcı yardımı ile form verme neticesi elde edilmesi gereken basınç olarak düşünülmüş ve belirlenen bir patlayıcı türü ve stand off mesafesi için optimum kütle bulunmuştur. Dolayısıyla genetik algoritmanın patlayıcı yardımı ile form verme işlemine başarılı bir şekilde uyarlanabileceği gösterilmiştir.

GA, kısıtsız bir optimizasyon metodu gibi işlev görmekte iken, penaltı fonksiyonuyla kısıtlı optimizasyon yapacak duruma getirilir. GA'nın bu özelliği birçok 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.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde 70. jenerasyondan sonra uygunluk fonksiyonun fazla değişmediği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla programda jenerasyon sayısı olarak 100 kullanılmış, daha fazla jenerasyonun problemin çözümüne ciddi katkı sağlamadığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde mutasyon oranı olarak 0.001'in kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Mutasyon oranının arttırılmasının, en iyi ile en kötü uygunluk değerleri çizgilerinin birbirinden daha fazla ayrılmasını sağladığı görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde çaprazlama oranı olarak 0.5'in kullanımının uygun olduğu görülmüştür. Çaprazlama oranı arttıkça uygunluk değerinin daha kötü sonuçlar verdiği görülmüştür.

Patlayıcı yardımı ile form vermeye etki eden birçok parametre vardır. Bunlar; dış çap, iç çap, parça yüksekliği, kalıp kenar yarıçapı, zımba köşe yarıçapı, parça kalınlığı, sürtünme katsayısı ve stand off mesafesidir. Bu parametrelerden dış çap, parça yüksekliği, parça kalınlığı, sürtünme katsayısı ve stand off mesafesinin artması ile parçaya form verilebilmesi için gerekli olan patlayıcı kütlesinin lineer olarak arttığı görülmüştür. İç çap, kalıp kenar yarıçapı ve zımba köşe yarıçapının artması ile birlikte ise patlayıcı kütlesinin lineer olarak azaldığı görülmüştür. Dolayısıyla maliyet üzerinde ciddi etkisi olan patlayıcı kütlesini en aza indirmek için, parçamızın, tasarım kısıtları izin verdiği müddetçe, mümkün olduğu kadar dış çapı, parça yüksekliği, parça kalınlığı, sürtünme katsayısı ve stand off mesafesinin azaltılması, iç çap, kalıp kenar yarıçapı ve zımba köşe yarıçapının ise mümkün olduğu kadar artırılması gerekmektedir.

Elde edilen sonuçlar ve ilgili grafikler incelendiğinde patlayıcı kütlesine tek başına en çok etki eden parametrenin stand off mesafesi olduğu bulunmuştur. Daha sonra sırası ile sürtünme katsayısı, parça kalınlığı, kalıp kenar yarıçapı, parçanın iç çapı, parçanın yüksekliği, parçanın dış çapı ve zımba köşe yarıçapının patlayıcı kütlesi üzerinde tek başına en etkili olan parametreler olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla patlayıcı yardımı ile form verme işleminde patlayıcı kütlesini minimum hale getirmek için, tasarım kısıtları izin verdiği ölçüde yukarıdaki sıra ile parametrelerde oynama yapılmalıdır. Örneğin öncelikle stand off mesafesi mümkün olduğu kadar azaltılmalı, daha sonra sürtünme katsayısının azalması için kalıp yağlanmalı, daha sonra tasarım kısıtlarına göre minimum parça kalınlığı kullanılmalı vs.

Patlayıcı yardımı ile form verme konusunda Türkiye'de ciddi bir çalışma yapılmamıştır ve bu teknoloji şu an ülkemizde kullanılmamaktadır. Özellikle uçak ve uzay sanayinde yurt dışında ciddi kullanıma sahip olan bu teknoloji ile ilgili araştırmalara, yapılan bu çalışmanın mütevazı bir katkı sağlayacağı umulmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Mynors, D.J., Zhang, B., "Application and Capabilities of Explosive Forming", *Journal of Materials Processing Technology*, 125-126: 1-25 (2002).
2. Fengman, H., Zheng, T., Ning, W., Zhiyong, H., "Explosive Forming of Thin-Wall Semi-Spherical Parts", *Materials Letters*, 45: 133-137 (2000).
3. Iyama, H., Fujita, M., Zhang, R., Zhang, T., "Optimum Structure Design Method for Non-die Explosive forming of Spherical Vessel Technology", *Journal of Materials Processing Technology*, 85: 217-219 (1999).
4. Ramajeyathilagam, K., Vendhan, C.P., "Deformation And Rupture Of Thin Rectangular Plates Subjected To Underwater Shock", *International Journal of Impact Engineering*, 30: 699-719 (2004).
5. Hung, C.F., Hsu , P.Y., Hwang-fuu, J.J., "Elastic Shock Response of an Air-backed Plate to Underwater Explosion", *International Journal of Impact Engineering*, 31: 151-168 (2005).
6. Narasimhan, K., Rajendran, H., "Damage Prediction of Clamped Circular Plates Subjected to Contact Underwater Explosion", *International Journal of Impact Engineering*, 25: 373-386 (2001).
7. Rajendran, R., Narasimhan, K., "Linear Elastic Shock Response of Plane Plates Subjected To Underwater Explosion", *International Journal of Impact Engineering*, 25: 493-506 (2001).
8. Lam, K.Y., Zong, Z., Wang, Q.X., "Dynamic Response of a Laminated Pipeline on the Seabed Subjected to Underwater Shock", *Composites Part B: Engineering*, 34: 59-66 (2003).
9. Kira, A., Fujita, M., Itoh, S., "Underwater Explosion of Spherical Explosives", *Journal of Materials Processing Technology*, 85: 64-68 (1999).
10. Gürün, H., "Derin Çekme Kalıplarındaki Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi ve Bulanık Mantık İle Tahmini", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 20-46 (2008).
11. Ulu, D., "Derin Çekme Prosesi İle Üretilen Alüminyum Sac Metal Parçalarına Ait Veri Tabanı Oluşturulması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 27-61 (2008).

12. Esner, C., "AA5754 Malzemesinde Derin Çekme İşleminde Baskı Plakasının Etkisinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 10-27 (2006).
13. Marciniak, Z., Duncan, J.L., Hu, S.J., "Mechanics of Sheet Metal Forming", **Butterworth-Heinemann Press**, Oxford, 14-129 (2002).
14. Alparslan, Y., E., "Merkezi Delikli Taslak Malzemelerin Derin Çekme Özelliklerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, 8-32 (2008).
15. Demiray, K., " Al1050 Malzemesinin Derin Çekme İşleminde Baskı Plakasının Etkisinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 12-28 (2006).
16. Tschaetsch, H. "Metal Forming Practice, Processes-Machines-Tools", **Springer Press**, Germany, 141-158 (2006).
17. Bruno, E. J., "High-Velocity Forming of Metals", **American Society of Tool and Manufacturing Engineers**, Michigan University, 3-153 (1968).
18. White, T., "Materials and Manufacturing for Tomorrow's Engineer", **3rd Annual KU Aerospace Materials and Processes "Virtual" Conference**, The University of Kansas, 7-31 (2003).
19. Zadeh, N., Darvizeh, A., Jamali, A., Moeini, A., "Evolutionary Design of Generalized Polynomial Neural Networks Form Modelling and Prediction of Explosive Forming Process", **Journal of Materials Processing Technology**, 1-11 (2005).
20. Schwartz, M., "Encyclopedia of Materials, Parts and Finishes", 2nd. Edition, **CRC Press LLC.**, Florida, 294-295 (2002).
21. Rinehart, J. S., Pearson, J., "Explosive Working of Metals", **Pergamon Press**, Oxford, 3-341 (1963).
22. Davies, R., Austin, E.R. "Developments in High Speed Metal Forming", **Industrial Press Inc.**, New York, 11-225 (1970).
23. Murr, L. E., "Shock Waves for Industrial Applications", **Noyes Publications**, Park Ridge, N. J., 1-169 (1988).
24. Shin, Y. S., "Ship Shock Modelling and Simulation for Far-field Underwater Explosion", **Computers and Structures**, 82: 2211-2219 (2004).

25. Bret, J. M., Yiannakopoulos, G., Van Der Schaaf, P.J., "Time-resolved measurement of the Deformation of Submerged Cylinders Subjected to Loading From a Nearby Explosion", *International Journal of Impact Engineering*, 24: 875-890 (2000).
26. Bulson, P. S., "Explosive Loading of Loading Structures", *E & FN Spon*, London, 12-40 (1997).
27. Cole, R. H., "Underwater Explosions", *Princeton University Press*, Oxford, 3-147 (1948).
28. McCoy, R.W., Sun, C.T., "Fluid-Structure Interaction Analysis of a Thick-section Composite Cylinder Subjected to Underwater Blast Loading", *Composite Structures*, 37: 45-55 (1997).
29. Walker, J.M., "Parts Fabrication: Principles and Process", 2nd. Edition, *Taylor and Francis Group LLC*, London, 63-172 (2006).
30. Mader, C.L., "Numerical Modelling of Explosives and Propellants", *CRC Press*, Boca Raton FL, 1-198 (2008).
31. Kosing, O.E., Skews, B.W., "An Investigation of High-Speed Forming of circular Plates in a Liquid Shock Tubes", *International Journal of Impact Engineering*, 21: 801-816 (1998).
32. Savage, B., Helmberger, D.V. "Kursk Explosion", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 91(4): 753-759 (2001).
33. Arons, A.B., "Underwater Explosion Shock Wave Parameters at Large Distances From the Charge", *Journal of Acoustic Society of America*, 25(3): 343-346 (1954).
34. Keevin, T.M., Hempen, G.L., "The Environmental Effects of Underwater Explosions With Methods to Mitigate Impacts", *U.S. Army Corps of Engineers*, Missouri, 1-60 (1997).
35. Rungsiyaphornrat, S., Klaseboer, E., Khoo, B.C., Yeo, K.S., "The Merging of Two Gaseous Bubbles With an Application to Underwater Explosions", *Computers & Fluids*, 32: 1049-1074 (2003).
36. Murata, M., Takahashi, K., Kato, Y., "Precise Measurements of Underwater Explosion Phenomena by Pressure Sensor Using Fluoropolymer", *Journal of Materials Processing Technology*, 85:39-42 (1999).
37. Rao, S.S., "Engineering Optimization, Theory and Practice", 3rd. Edition, *John Wiley & Sons Inc. Press*, United States, 1-129 (1996).

38. Aydın, Z., "Öngerilmeli Beton Kirişli Köprü Üstyapılarının Genetik Algoritma İle Optimum Tasarımı", Doktora Tezi, **Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, 1-11 (2006).
39. Tosun, E., "Frezeleme İşlemlerinde Genetik Algoritma Yaklaşımı İle Kesme Koşullarının Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 25-61 (2006).
40. Coşkun, A., "Genetik Algoritma Kullanılarak Kimyasal Maddelerin Deriden Geçiş Katsayılarının Ve Molekül Yapılarının Bulunması", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 27-52 (2006).
41. Rau, N.S., "Optimization Principles", **John Wiley & Sons Inc.Press**, United States, 125-147 (2003).
42. Taşkınoğlu, E., "A Genetic Algorithm For Structural Optimization", Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 10-22 (2006).
43. Özbilen, A., "Genetik Algoritma İle İletişim Ağlarında Yönlendirme Optimizasyonu ", Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 39-50 (2006).
44. Behe, J.M., "Darwin'in Kara Kutusu", Çeviren: Burcu Çekmece, **Aksoy Yayıncılık**, İstanbul, 13-56 (1998).
45. Karaboğa, N., "Sayısal Filtre Katsayılarının Genetik Algoritma Kullanılarak Yuvarlatılması" Doktora Tezi, **Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Kayseri, 22-32 (1994).
46. Kaya, S., "Operasyonel Sabit İş Çizelgeleme Problemlerinin Genetik Algoritmalar İle Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, **Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 17-26 (2006).
47. Düzgün, S., "Tornalama İşlem Parametrelerinin Optimizasyonunda Genetik Algoritma Çalışmaları Ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 4-26 (2006).
48. İşçi, Ö., Korukoğlu, S., "Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulam", **Yönetim ve Ekonomi**, 10(2): 191-208 (2003).
49. Goldberg, D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", **Addison-Wesley**, USA, 1-7 (1989).
50. Kalaycı, T.E., "Yapay Zeka Teknikleri Kullanan Üç Boyutlu Grafik Yazılımları İçin "Extensible 3D" İle Bir Altyapı Oluşturulması Ve

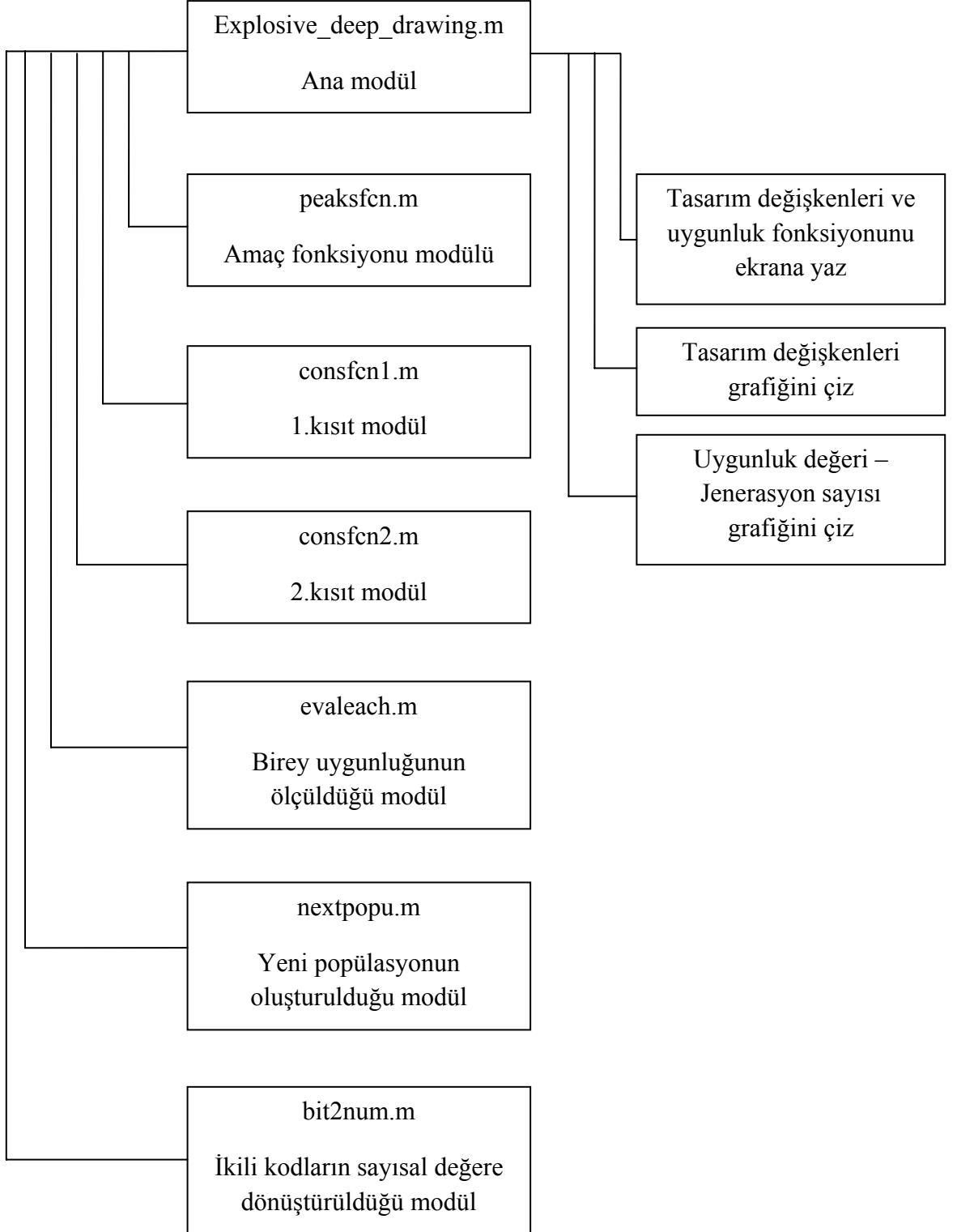
- Gerçekleştirimi", Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 66-84 (2006).
51. Holland, J.H., "Genetic Algorithm", *Scientific American*, 7: 44-45 (1992).
 52. Yazıcı, G., "Genetik Algoritmalar İle Radyal Temelli Fonksiyon Ağlarının Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4-19 (2006).
 53. Yaman, M., "Genetik Algoritma ile Kardan Mili Tasarım", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-47 (2007).
 54. İnternet: Kurt, M., Semetay, C. "Genetik Algoritma Ve Uygulama Alanlar", http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2001/ekim/Genetik_Algoritma.htm (2009).
 55. Işık, Y., "Genetik Algoritma Tabanlı Bulanık Kontrolün Uçuş Kontrol sistem Tasarımına Uygulanması", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 29-48 (2006).
 56. Yalçın, T., "Genetik Algoritmaların Planet Dişli Tasarımlarına Uyarlanması", Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 43-60 (2007).
 57. Turan, Ö., "Turbofan Motorlarının Elitizimli Genetik Algoritma Yöntemiyle Optimizasyonu", Doktora Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 81-98 (2007).
 58. Usta, H., "Genetik Algoritmalarda Mutasyon, Çaprazlama Ve Bellek Mekanizmalarının Etkileri Ve İyileştirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Samsun, 4-31 (2007).
 59. Doğan, S., "İçme Suyu Ve Kullanma Suyu Şebekelerinin Genetik Algoritma İle Boyutlandırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 3-28 (1996).
 60. Duman, C., "Genetik Algoritma İle Tesis Yerleşim Tasarımı Ve Bir Uygulama", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 26-52 (2007).
 61. Polat, A., "Kafes Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Çok Amaçlı Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 2-13 (2006).
 62. Zeyveli, M., "Genetik Algoritma ile Hız Kutusu Dişli Tasarımı", Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 11-31 (2005).

63. Koza, John R., "Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection", *The MIT Press*, Cambridge, 1-21 (1992).
64. Kırıcı, S., "Genetik Algoritma Kullanarak Tel Anten Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 22-29 (2007).
65. Turgut, P., Arslan, A., "Sürekli Bir Kirişte Maksimum Momentlerin Genetik Algoritmalar İle Belirlenmesi", *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 3(3): 1-9 (2001).
66. Güçlü, İ., "A Genetic Algorithm Approach To The Tool Allocation Problem In Flexible Manufacturing Systems", Yüksek Lisans Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 21-77 (2006).
67. Ülker, Ö., "Linear Linkage Encoding In Genetic Algorithms", Yüksek Lisans Tezi, *Yeditepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 14-25 (2006).
68. Bağış, A., "Genetik Algoritma Kullanılarak Ders Programının Optimum Şekilde Düzenlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kayseri, 1-19 (1996).
69. Kaya, T., "Genetik Algoritma İle Sayısal Filtre Tasarımı", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 3-20 (2006).
70. Emel, G.G., Taşkın, Ç., "Genetik Algoritmalar Ve Uygulama Alanları", *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21(1): 129-152 (2002).
71. Kaya, M., "Genetik Algoritma ve Gezgin Satıcı Probleminin Çözümü", Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, 4-13 (1999).
72. İnternet: Kakandikar, G. M., Nandedkar, V.M., "Optimization of Forming Load and Variables in Deep Drawing Process for Automotive Cup Using Genetic Algorithm", http://www.optimization-online.org/DB_HTML/2007/03/1606.html, (2009).
73. Uysal Ö."Comparison of Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization Algorithm for Bicriteria Permutation Flowshop Scheduling Problem",Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 15-23 (2006).
74. Er, H., Çetin, K., Çetin, E.İ. "Finansta Evrimsel Algoritmik Yaklaşımlar: Genetik Algoritma Uygulamaları", *Akdeniz İ.İ.B.F. Dergisi*, 10: 73-94 (2005).

75. Akoğlu, K., "Konteyner Limanının Depolama Sahasının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Manisa, 12-48 (2006).
76. Fereshteh-Saniee, F., Montazeran, M.H., "A Comparative Estimation of the Forming Load in the Deep Drawing Process", **Journal of Material Processing Technology**, 140: 555-561 (2003).

EKLER

EK-1 Geliştirilen GA'nın program ağacı



Şekil 1.1. GA Program ağacı

EK-2 Matlab 7.0'da yazılan GA programı

explosive_deep_drawing.m

```

clc
clear all
close all

generation_n=100;
popuSize = 16;
xover_rate = 0.5;
mutate_rate = 0.001;
bit_n=12;
global OPT_METHOD
OPT_METHOD = 'ga';
figure;

obj_fcn = 'peaksfcn';
cons_fcn1= 'consfcn1';
cons_fcn2= 'consfcn2';

%Değişken sayısı ve değişken aralıklarının girilmesi
var_n = 2;
range = [120,160; 4,6];

% Initial random population
popu = rand(popuSize, bit_n*var_n) > 0.5 ;

upper = zeros(generation_n, 1);
average = zeros(generation_n, 1);
lower = zeros(generation_n, 1);
% GA nın ana döngüsü
for i = 1:generation_n;
% gerksiz objeleri sil
delete(findobj(0, 'tag', 'member'));
delete(findobj(0, 'tag', 'individual'));
delete(findobj(0, 'tag', 'count'));
% herbir birey için tüm fonksiyon değerlerini hesapla
fcn_value = evalpopu(popu, bit_n, range, obj_fcn);
fcn_value1 = evalpopu(popu, bit_n, range, cons_fcn1);
fcn_value2 = evalpopu(popu, bit_n, range, cons_fcn2);

penalty1=fcn_value1;
penalty2=fcn_value2;

penalty = penalty1.^2 + penalty2.^2;

```

EK-2 (Devam) Matlab 7.0'da yazılan GA programı

```

uygunluk = 380000 - (fcn_value + 0.000625*penalty)

% obj matrisinin içini doldur
upper(i) = max(fcn_value);
average(i) = mean(fcn_value);
lower(i) = min(fcn_value);

% kısıt1 matrisinin içini doldur
upper(i) = max(fcn_value1);
average(i) = mean(fcn_value1);
lower(i) = min(fcn_value1);

% kısıt2 matrisinin içini doldur
upper(i) = max(fcn_value2);
average(i) = mean(fcn_value2);
lower(i) = min(fcn_value2);

% uygunluk fonk matrisinin içini doldur

upper(i) = max(uygunluk);
average(i) = mean(uygunluk);
lower(i) = min(uygunluk);

%en iyi değerini ekranda göster

[best, index] = min(uygunluk);
fprintf('UYGUNLUK %i: ', i);
    fprintf('UF(%f, %f,%f)=%f\n', ...
        bit2num(popu(index, 1:bit_n), range(1,:)), ...
        bit2num(popu(index, bit_n+1:2*bit_n), range(2,:)), ...
        best);

% bir sonraki jenerasyon için yeni popülasyonu elitizm, seçim, çaprazlama ve
mutasyon ile oluştur.

popu = nextpopu(popu, uygunluk, xover_rate, mutate_rate);
    if (i==1),
        fprintf('1. generasyon da popülasyon .\n');
        fprintf('devam için herhangi bir tuşa basınız...\n');
        pause;
    end
end

% İlk figür

```

EK-2 (Devam) Matlab 7.0'da yazılan GA programı

```

xopt1=bit2num(popu(index, 1:bit_n), range(1,:));
xopt2=bit2num(popu(index, bit_n+1:2*bit_n), range(2,:));
hold on
plot(xopt1,xopt2,'r.')
hold off;
xlabel('DIS CAP'); ylabel('KALIP YARICAPI')

figure;

x = (1:generation_n)';
plot(x, upper, 'o', x, average, 'x', x, lower, '*');
hold on;
plot(x, [upper average lower]);
hold off;
legend('Kötü', 'Orta', 'En iyi');
xlabel('Jenerasyon'); ylabel('uygunluk');

```

peaksfcn.m

%Amaç fonksiyonunun kodlanması

```

function z = peaksfcn(input)
global OPT_METHOD
global PREV_PT

x = input(1); y = input(2);

%dm = 81;
%So = 1;
%u = 0.12;
%Su = 325;
%sl = 1.35*Su ;
%d1 = 80;
%h = 25;
%do = sqrt(x*x + 4*d1*h);
%df = 0.77*do;
%w = So + 0.07*sqrt(10*So);
%de = d1 + 2*w + 2*y;
%A = (do*do - de*de)*pi/4;
%B = So/do;
%P = ((B-1)*(B-1) + d1/(200*So))*Su/400;
%F = P*A;

```

EK-2 (Devam) Matlab 7.0'da yazılan GA programı

```
%s2 = 286.246;
%z = pi*dm*So*(1.1*exp(pi*u/2)*s1*ln(df/dm) + 2*u*F/(pi*df*So) + s2*So/(2*y));

z = 254.469*(582.737*log(0.77*(sqrt(x*x + 8000))...
/81)+0.063*(((1/sqrt(x*x+8000))-1)*...
((1/sqrt(x*x+8000))-1)+0.4)*((sqrt(x*x+8000))...
*(sqrt(x*x+8000))-(82.442+2*y)*(82.442+2*y))/...
(sqrt(x*x+8000))+143.123/y);
```

consfcn1.m

```
function t = consfcn1(input)
global OPT_METHOD
global PREV_PT

% Kısıt fonksiyon 1
x = input(1); y = input(2);
t = y+1.05-0.035*sqrt(x*x+8000);
```

consfcn2.m

```
function k = consfcn2(input)
global OPT_METHOD
global PREV_PT

% Kısıt fonksiyon 2
x = input(1); y = input(2);
k = (82700-254.469*(582.737*log(0.77*(sqrt(x*x + 8000))...
/81)+0.063*(((1/sqrt(x*x+8000))-1)*...
((1/sqrt(x*x+8000))-1)+0.4)*((sqrt(x*x+8000))...
*(sqrt(x*x+8000))-(82.442+2*y)*(82.442+2*y))/...
(sqrt(x*x+8000))+143.123/y));
```

evaleach.m

```
function out = evaleach(string, bit_n, range,obj_fcn , cons_fcn1,cons_fcn2 );
var_n = length(string)/bit_n;
input = zeros(1, var_n);
```

EK-2 (Devam) Matlab 7.0'da yazılan GA programı

```
for i = 1:var_n;
    input(i) = bit2num(string((i-1)*bit_n+1:i*bit_n), range(i, :)) ;
end
out = feval(obj_fcn, input);
```

evalpopu.m

%Populasyonun uygunluğunun ölçülmesi

```
function obj = evalpopu(population, bit_n, range, obj_fcn, cons_fcn1, cons_fcn2);
```

```
global count
pop_n = size(population, 1);
obj = zeros(pop_n, 1);
%fitness = zeros(pop_n, 1);
for count = 1:pop_n;
    obj(count) = evaleach(population(count, :), bit_n, range, obj_fcn);
    %fitness(count) = evaleach(population(count, :), bit_n, range, obj_fcn);
end
```

nextpopu.m

```
function new_popu = nextpopu(popu, uygunluk, xover_rate, mut_rate)
```

```
new_popu = popu;
popu_s = size(popu, 1);
string_leng = size(popu, 2);
```

% ===== ELITISM: korunacak en iyi iki değerin bulunması

```
tmp_uygunluk = uygunluk;
[junk, index1] = min(tmp_uygunluk); %en iyi uygunluğa sahip birinci değer
tmp_uygunluk(index1) = max(tmp_uygunluk);
[junk, index2] = min(tmp_uygunluk); % en iyi uygunluğa sahip ikinci değer
new_popu([1 2], :) = popu([index1 index2], :);
```

% ===== SELECTION and Crossover

```
for i = 2:popu_s/2;
    % === Select two parents based on their scaled fitness values
```

```
    cand=ceil(popu_s*rand(2,1)); % popilasyondan rastgele iki birey al (rastgele iki
    satır numarası belirle )
```

EK-2 (Devam) Matlab 7.0'da yazılan GA programı

```

if uygunluk(cand(1))< uygunluk(cand(2))
    parent1= popu(cand(1), :); % iki bireyden hangisi büyükse o anne diğerini at
else
    parent1= popu(cand(2), :);
end
cand=ceil(popu_s*rand(2,1));
if uygunluk(cand(1))< uygunluk(cand(2)) % iki bireyden hangisi büyükse o
baba diğerini at
    parent2= popu(cand(1), :);
else
    parent2= popu(cand(2), :);
end

parent1;
parent2;

% === Do crossover

if rand < xover_rate;
    % Perform crossover operation
    xover_point = ceil(rand*(string_leng-1));
    new_popu(i*2-1, :) = ...
        [parent1(1:xover_point) parent2(xover_point+1:string_leng)];
    new_popu(i*2, :) = ...
        [parent2(1:xover_point) parent1(xover_point+1:string_leng)];
end

% ===== MUTATION Mutasyon(elites are not subject to this)

mask = rand(popu_s, string_leng) < mut_rate;
new_popu = xor(new_popu, mask);
% restore the elites
new_popu([1 2], :) = popu([index1 index2], :);
%pause;
end
%disp(new_popu);

```

bit2num.m

```

%İkilik tabandan 10'luk sayı sistemine dönüştürme
function num = bit2num(bit, range)
integer = polyval(bit, 2);
num = integer*((range(2)-range(1))/(2^length(bit)-1)) + range(1);

```

