

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Durdane Hande DENLİ

**İKİ BOYUTLU STANDART GEOMETRİK YAPILI PARÇALARIN KESİM
PROBLEMİNİN ANALİTİK VE GENETİK ALGORİTMA ÇÖZÜMÜ**

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2013

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İKİ BOYUTLU STANDART GEOMETRİK YAPILI PARÇALARIN KESİM
PROBLEMİNİN ANALİTİK VE GENETİK ALGORİTMA ÇÖZÜMÜ**

Durdane Hande DENLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez 07/03/2013 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Rızvan EROL
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İKİ BOYUTLU STANDART GEOMETRİK YAPILI PARÇALARIN
KESİM PROBLEMİNİN ANALİTİK VE GENETİK ALGORİTMA
ÇÖZÜMÜ**

Durdane Hande DENLİ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
Yıl: 2013, Sayfa: 123
Jüri : Doç. Dr. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Rızvan EROL
: Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA

Bu çalışmada iki boyutlu dikdörtgen ana levhadan parça çeşit sayısı az olan problem için optimum çözüm araştırılmıştır. Yapılan çalışmada arta kalan parçanın daire şeklinde maksimize edilmesini amaçlayan iki farklı modelleme yaklaşımı geliştirilmiştir. Birinci yaklaşımda bir ana levhadan az sayıda parça kesimi için tam sayılı nonlinear model geliştirilmiştir. Geliştirilen model bir optimizasyon paket programında çözülerek optimum kesim planı elde edilmiştir. İkinci yerleşimde ise çok sayıda parça kesimi durumunda en iyi çözümü bulacak genetik algoritma modeli kurulmuştur. Kurulan model MATLAB 7.9.0 paket programında çözülerek en iyi parça kesim planı elde edilmiştir. Optimizasyon programından elde edilen global sonuçlar genetik algoritma meta sezgisel algoritma ile kıyaslanarak sezgisel algoritma örnek çapı büyük problem çözümleri için kullanılmıştır.

Geliştirilen meta sezgisel yöntem parça sayısı az ve fazla olan problemler için optimum değere çok yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 2 Boyutlu Malzeme Kesme, Genetik Algoritma, Kullanılabilir Arta Kalan Alan, Nonlinear Tamsıyılı Programlama

ABSTRACT

MSc. THESIS

ANALYTICAL AND GENETIC ALGORITHM SOLUTION OF CUTTING STANDARD TWO-DIMENSIONAL GEOMETRIC PIECES

Durdane Hande DENLİ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING**

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
Year: 2013, Pages: 123
Jury : Assoc. Prof. Dr. Ali KOKANGÜL
: Prof. Dr. Rızzvan EROL
: Asst. Prof. Dr. Sami ARICA

In this study, we investigated many items of relatively few different types two-dimensional rectangular pieces cutting stock problem from main sheet. It is aimed to maximize the remaining circular piece in the study. In accordance with this purpose two different models are developed. The first model is about cutting pieces from the main sheet by using integer linear programming procedure. This model have been obtained the global optimum results by using optimization software. The second model is about cutting pieces from the main sheet with using genetic algorithm procedure. This meta-heuristic model have been solved by using MATLAB 7.9.0. software programming. The global results obtained from the optimization program compare with genetic algorithm solutions. Meta-heuristic genetic algorithm is used for the large sample seize problem solving.

As a result the developed meta-heuristic method is useful for two-dimensional rectangular cutting problems for the aim of maximum remaining circular piece.

Keywords: 2 Dimensional Material Cutting, Genetic Algorithm, Usable Leftover Material, Nonlinear Integer Programming

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her konuda yardımcı olan ve tezin her aşamasında bana yol gösteren danışman hocam Doç. Dr. Ali KOKANGÜL'e tüm içtenliğimle teşekkür ederim.

Çalışma dönemimde karşılaştığım problemlerin çözümüne katkı sağlayan hocam Yrd. Doç. Dr. Sami ARICA'ya çok teşekkür ederim.

Çalışma dönemim boyunca her türlü desteği gösteren Prof. Dr. Yaşar Gül DENLİ'ye, Arş.Gör. Yusuf KUVVETLİ'ye, çalışma arkadaşım Cansu DAĞSUYU'na, annem Handan DENLİ, babam Ahmet DENLİ ve kardeşim Püren DENLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Malzeme Kesme Problemleri	2
1.1.1. Malzeme Kesme Problemlerinin Tanımı	2
1.1.2. Kesme ve Paketleme Problemlerinin Sınıflandırılması	4
1.2. Problemin Tanımı ve Önemi	6
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	7
1.4. Çalışmanın Adımları	8
1.5. Orijinal Katkıları	8
1.6. Çalışmanın Organizasyonu.....	9
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	11
2.1. Kesin Çözüm Bulan Literatür Çalışmaları	11
2.2. Sezgisel Yöntemler İle Çözüm Bulan Literatür Çalışmaları.....	14
2.2.1. Sezgisel Yöntemlerle Dairesel Kesim Problemleri İle İlgili Literatür Taraması	19
2.3. Arta Kalan Alan İle İlgili Literatür Taraması.....	21
3. MATERYAL VE METOD	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar	25
3.2. Metot	26
3.2.1. Problemin Matematiksel Modeli.....	27
3.2.2. Varsayımlar.....	36
3.2.3. Meta-Sezgisel Yöntem	37

3.2.3.1. Genetik Algoritmanın Tanımı	38
3.2.3.2. Genetik Algoritma Adımları	39
3.2.3.3. Arta Kalan Alanın En Büyüklenmesi İçin Geliştirilen Sezgisel Yaklaşım.....	44
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	53
4.1. Matematiksel Model	53
4.1.1. Parça Çeşit Sayısı Sınırlı Olan Problem İçin Matematiksel Model	53
4.2. Geliştirilen Meta Sezgisel Yöntem	63
4.2.1. Genetik Algoritma Yönteminin Test Problemlerine Uygulanması.....	63
4.2.1.1. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması.....	63
4.2.1.2. Genetik Algoritma Operatörlerinin Uygulanması	67
4.2.2. Genetik Algoritma Parametre Tahminleri İçin Yapılan Testler.....	72
4.2.3. Genetik Algoritma Parametre Tahminleri İçin Yapılan Testler.....	77
4.2.4. Genetik Algoritmanın Büyük Örnek Çaplı Probleme Uygulanması.....	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	85
5.1. Sonuçlar	85
5.2. Öneriler.....	87
KAYNAKLAR.....	89
ÖZGEÇMİŞ	93
EKLER.....	94

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. KPP Problemlerinin Dyckhoff Sınıflandırması	5
Çizelge 3.1. Lingo Versiyonları	26
Çizelge 4.1. Test Problemi-1 Sabit Notasyon Değerleri.....	53
Çizelge 4.2. Test Problemi-1 Karar Değişken Değerleri	55
Çizelge 4.3. Test Problemi-2 Sabit Notasyon Değerleri.....	56
Çizelge 4.4. Test Problemi-2 Karar Değişken Değerleri	57
Çizelge 4.5. Test Problemi-3 Sabit Notasyon Değerleri.....	58
Çizelge 4.6. Test Problemi-3 Karar Değişken Değerleri	59
Çizelge 4.7. Test Problemi-4 Sabit Notasyon Değerleri.....	60
Çizelge 4.8. Test Problemi-4 Karar Değişken Değerleri	60
Çizelge 4.9. Test Problemi-5 Sabit Notasyon Değerleri.....	61
Çizelge 4.10. Test Problemi-5 Karar Değişken Değerleri	62
Çizelge 4.11. Test Problemi-1 İçin Oluşturulan Kromozom Yapısı	63
Çizelge 4.12. Karar Değişkeni Alt Sınırları.....	64
Çizelge 4.13. Karar Değişkeni Üst Sınırları	64
Çizelge 4.14. Başlangıç Popülasyon Parça Koordinat Değerleri	65
Çizelge 4.15. Uyum Fonksiyon Değerleri	66
Çizelge 4.16. Mutasyona Uğratılacak Genlerin Rastgele Belirlenmesi	68
Çizelge 4.17. Mutasyon Sonucunda Oluşan Yeni Popülasyon	69
Çizelge 4.18. Mutasyon Ve Çaprazlama Operatörleri Uygulanması İle Elde Edilen Uyum Fonksiyon Değerleri.....	69
Çizelge 4.19. Nihai Popülasyon	70
Çizelge 4.20. Nihai Popülasyonun Uyum Fonksiyon Değerleri	71
Çizelge 4.21. En İyi Çözüm Kromozomu.....	72
Çizelge 4.22. Test Problemi-1 Karar Değişken Değerleri	73
Çizelge 4.23. Test Problemi-2 Karar Değişken Değerleri	74
Çizelge 4.24. Test Problemi-3 Karar Değişken Değerleri	75
Çizelge 4.25. Test Problemi-4 Karar Değişken Değerleri	76
Çizelge 4.26. Test problemi-5 Karar Değişken Değerleri	77

Çizelge 4.27. En İyi Çözüm Kromozomu.....	80
Çizelge 4.28. Büyük Çaplı Problemine Ait Karar Değişken Değerleri.....	84
Çizelge 5.1. Analitik Çözüm Ve Sezgisel Çözümün Kıyaslanması	86

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. İki Boyutlu Şerit Paketleme Problemine Örnek Gösterim	3
Şekil 1.2. İki Boyutlu Kutu Paketleme Problemine Örnek Gösterim.....	4
Şekil 3.1. Kesilecek Parçaların Ana Malzeme Sınırları İçinde Kalması	33
Şekil 3.2. Arta Kalan Parçanın Ana Malzeme Sınırları İçinde Kalması.....	33
Şekil 3.3. Kesilecek Parçaların Boy Parametrelerinin Çakışmaması	34
Şekil 3.4. Kesilecek Parçaların En Parametrelerinin Çakışmaması	34
Şekil 3.5. Arta Kalan Parça ile Kesilen Parçaların Boy Parametrelerinin Çakışmaması	35
Şekil 3.6. Arta Kalan Parça ile Kesilen Parçaların En Parametrelerinin Çakışmaması	35
Şekil 3.7. Basit Genetik Algoritma Akış Şeması	39
Şekil 3.8. Problemdeki Kromozom Yapısı	44
Şekil 3.9. Geliştirilen Algoritmanın Akış Şeması	46
Şekil 3.10. Uyum Fonksiyonu Akış Şeması	47
Şekil 3.11. Arta Kalan Parçanın Yarıçapının Hesaplanması	48
Şekil 3.12. Genetik Algoritma Operatör Akış Şeması.....	49
Şekil 3.13. Mutasyon Operatörünün Akış Şeması	51
Şekil 4.1. Test Problemi-1 için Parça Yerleşim Şekli	56
Şekil 4.2. Test Problemi-2 için Parça Yerleşim Şekli	57
Şekil 4.3. Test Problemi-3 için Parça Yerleşim Şekli	59
Şekil 4.4. Test Problemi-4 için Parça Yerleşim Şekli	61
Şekil 4.5. Parça Sayısına Göre Çözüm Süresinin Değişim Grafiği.....	62
Şekil 4.6. Başlangıç Popülasyonunun İlk Çözüm Olasılığının Yerleşim Şekli	65
Şekil 4.7. Başlangıç Popülasyonunun En İyi Çözüm Değerinin Çizimi	67
Şekil 4.8. Mutasyon Operatörünün Yerleşime Etkisi	70
Şekil 4.9. Nihai Yerleşim.....	71
Şekil 4.10. Test Problemi 1 Genetik Algoritma Çözümü	73
Şekil 4.11. Test Problemi 2 Genetik Algoritma Çözümü	74
Şekil 4.12. Test Problemi 3 Genetik Algoritma Çözümü	75

Şekil 4.13. Test Problemi 4 Genetik Algoritma Çözümü	76
Şekil 4.14. Test Problemi 5 Genetik Algoritma Çözümü	77
Şekil 4.15. Popülasyon Büyüklüğüne Göre Çözüm Sürelerinin Değişim Grafiği	79
Şekil 4.16. Mutasyon Oranına Göre Çözüm Sürelerinin Değişim Grafiği	79
Şekil 4.17. Mutasyon ve Popülasyon Değerlerine Göre Çözüm Sürelerin Değişim Grafiği.....	80
Şekil 4.18. Popülasyon Büyüklüğü 30 ve Mutasyon Oranı 0.6 Olan Test Problem Sonucu	81
Şekil 4.19. Büyük Örnek Çaplı Problemin Yerleşim Planı	83

SİMGELER VE KISALTMALAR

MKP	: Malzeme Kesme Problemi
KPP	: Kesme ve Paketleme Problemleri
GA	: Genetik Algoritma

1. GİRİŞ

Rekabetin yüksek olduğu piyasa şartlarında üretim maliyetlerinin düşürülmesi üretim endüstrisinde en önemli amaçlardan biridir (Hopper, 2000). Endüstrilerin, temin ettikleri hammadde ya da yarı mamul olarak isimlendirilen kaynakları, insanların ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla çeşitli süreçlerden geçirerek ürün haline dönüştürmesine üretim denir. Hammaddenin sisteme girdiği andan ürünün sitemden çıktığı ana kadar sistemde birçok süreç işlemektedir. Her endüstri dalı için bu süreçler farklılık göstermektedir. Ancak makine, inşaat, tekstil, mobilya, deri gibi çoğu endüstri dalında ortak olarak uygulanan üretim süreçlerinden birisi kesme işlemidir. Kesme; doğada kısıtlı olarak bulunan ve belirli bir maliyet unsuru olan kaynakların, üretilecek olan ürünlere uygun boyutlarda dilimlenmesi sürecidir. Bu süreçte göz önüne alınması gereken en önemli unsur, kaynaklardan en iyi şekilde faydalanmayı sağlayan kesme planlarının oluşturulmasıdır. Bu amaca yönelik iyi kesme planlarının oluşturulması süreçten çıkan fire miktarını ve gerekli kaynak miktarını azaltacak buna bağlı olarak da malzeme tasarrufunu sağlayacaktır. Bunun yanında dolaylı olarak işgücü, kapasite, taşıma, stoklar gibi kavramlarda da verimlilik sağlanmış olacaktır.

Literatürde büyük malzemeden minimum fire miktarı ile küçük parçalar kesme veya büyük ana malzemeye minimum boşluk kalacak şekilde küçük parçaların yerleştirilmesi problemleri ‘Kesme ve Paketleme Problemleri (KPP) (Cutting and Packing Problems)’ adı altında toplanmaktadır. Bu çalışmada boyutları belli olan dikdörtgen ana malzemeden küçük parçaların kesim problemi dikkate alınmış ve problem bundan sonraki bölümlerde ‘Malzeme Kesme Problemi (MKP)’ olarak isimlendirilecektir. Bu problemde parçalar ana malzemeden kesilirken arta kalan alanın maksimum daire olarak bırakılması amaçlanmaktadır.

1.1. Malzeme Kesme Problemleri

1.1.1. Malzeme Kesme Problemlerinin Tanımı

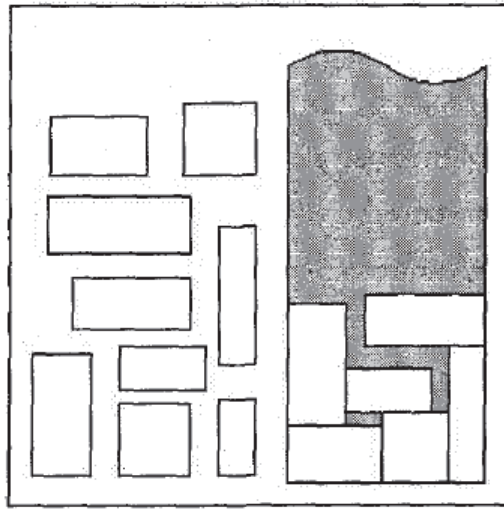
Malzeme kesme ve istifleme (paketleme) ya da yerleştirme olarak adlandırılan problemler, üretimde sık rastlanılan kaynak kullanımı sorunlarından biridir. Ana malzeme ve sipariş parça boyutu, sipariş parçasının şekli, ana malzemenin özellikleri, kesme yöntemi, kesme planlarının oluşturulması, uygulama yeri, benimsenen amaçlar gibi farklı durumlar göz önüne alındığında bu tür problemler çok çeşitlilik göstermektedir. Kombinatorik en iyileme problemleri sınıfında yer alan iki boyutlu malzeme kesme problemleri, düzlemsel şekilli malzemelerin olduğu problemlerdir. Metal levha, dikdörtgen şekilli plaka, kumaş, cam, mobilya suntası, çelik sac benzeri stok malzemelerin daha küçük alanlı parçalara kesilmesi ya da paletlere yükleme yapılması iki boyutlu problemlere örnek verilebilir (Akın ve Aras, 2000).

KPP literatürde ikiye ayrılarak incelenmektedir. Bunlardan birincisi stok kesme problemleri, ikincisi ise istifleme (paketleme) problemleridir.

- i. Stok Kesme Problemleri: Verilen parça yerleşim sırasına ait parçaların ana parçadan kesilmesiyle ilgilidir. Problem fire problemi ve karışım problemi olmak üzere iki ayrı problem olarak ele alınabilir. Fire problemi kesme yerleşim planının belirlenmesiyle, karışım problemi ana parçanın belirlenmesiyle ilgilenir (Söke, 2003).
- ii. İstifleme (Paketleme) Problemleri: Kısıtlı bir alanın içerisine daha küçük boyuttaki nesnelerin yerleşimi olarak düşünüldüğünde; tesis planlaması, raf düzenlemesi, kesme planlarının oluşturulması, kutu istifleme, sırt çantası yükleme, palet ve konteynır yükleme konularını kapsadığını görmekteyiz. Kısıtlı kaynak olarak bahsedilen ana malzeme para olarak düşünüldüğünde sermaye bütçeleme, zaman olarak düşünüldüğünde ise hat dengeleme ve çizelgeleme konularını kapsamaktadır.

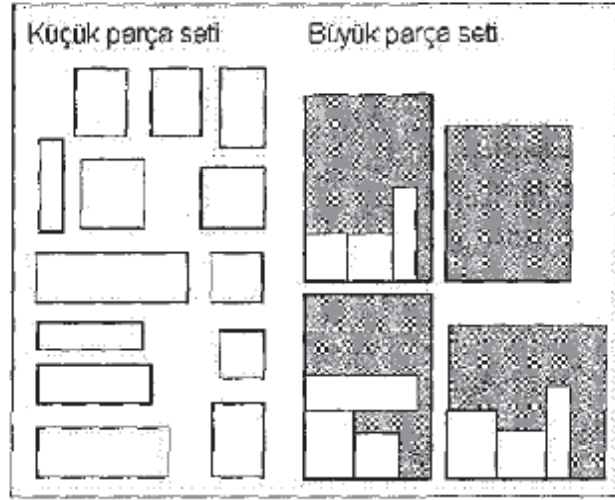
Genellikle ana parçanın çeşidine göre değişen Şerit Paketleme (Strip Packing) ve Kutu Paketleme (Bin Packing) olarak ikiye ayrılır (Söke, 2003: Hopper ve Turton: 2001'den).

a) Şerit Paketleme (Strip Packing): Kağıt ve tekstil endüstrisinde hammadde rulo halinde mevcuttur. Bu nedenle paketleme işlemi sadece yerleşim planının yüksekliğini azaltmayı amaçlar. Endüstrideki bu paketleme işlemi şerit paketleme problemi olarak da bilinir. Şekil 1.1.'de yerleştirilecek dikdörtgen parçalar içeren bir şerit paketleme problemine örnek gösterilmektedir.



Şekil 1.1. İki Boyutlu Şerit Paketleme Problemine Örnek Gösterim (Söke, 2003)

b) Kutu Paketleme (Bin Packing): Çok sayıda kutunun paketlenmesiyle ilgilenen kutu paketleme işleminde hammadde levhalar halinde mevcuttur. Kullanılan hammadde sınırsız olduğundan amaç kullanılan toplam hammaddeyi en aza indiren ve ayrıca parça yerleşim sırasındaki bütün parçaları yerleştiren kutu yerleşim sırasını bulmaktır. Uygulamaya bağlı olarak levhalar özdeş veya farklı boyutlarda olabilir.



Şekil 1.2. İki Boyutlu Kutu Paketleme Problemine Örnek Gösterim (Söke,2003)

KPP'nin kapsadığı konunun geniş olması nedeni ile bu çalışma alanı yetmiş yıldır bilimsel çalışmalara konu olmuştur. Ayrıca optimizasyon problemleri sınıfında yer alan bu problemler; kombinasyon çokluğundan dolayı hala kısa sürede en iyi sonucu veren bir çözüm yönteminin geliştirilememesi nedeni ile araştırmacıların, kaynakların kısıtlı ve mali değerinin yüksek olması nedeni ile de endüstrilerin ilgisini çekmektedir.

1.1.2. Kesme ve Paketleme Problemlerinin Sınıflandırılması

KPP birçok alanda karşılaşılan bir problem olduğundan Dyckhoff 1990 yılında yaptığı çalışmada KPP'ni sınıflandırma yöntemine gitmiştir. Bu sınıflandırmayı yaparken ana malzeme ve parçalar için 4 ana parametreyi dikkate alan Dyckhoff Sınıflandırması Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. KPP Problemlerinin Dyckhoff Sınıflandırması

Karakteristik	Sembol	Tanım
(α) Boyut	1	Bir boyutlu
	2	İki boyutlu
	3	Üç boyutlu
	N	N boyutlu(N>3)
(β) Atama Türü	B	Mevcut bir ana malzeme için küçük parçaların seçiminin yapılması
	V	Mevcut küçük parçalar için ana malzeme büyüklüğü seçiminin yapılması
(γ) Ana Malzemelerinin Çeşitliliği	O	Tek ana malzeme
	I	Aynı şekillerde ana malzemeler
	D	Farklı şekillerde ana malzemeler
(δ) Parçaların Çeşitliliği	F	Çeşitlilik fazla, parça sayısı az
	M	Çeşitlilik fazla, parça sayısı çok
	R	Çeşitlilik az, parça sayısı çok
	C	Benzer şekillerde parçalar

Ana malzeme ve bu ana malzemeye yerleşimi veya kesimi yapılacak olan parçalar bir boyutlu ise boru, çubuk kesme problemleri, iki boyutlu KPP'ne kağıt, metal, tekstil, cam, deri sektörleri, üç boyutlu KPP problemlerine ise mermer kesme veya araç yükleme problemleri örnek olarak gösterilebilir.

Atama türüne göre KPP sınıflandırıldığında 'B' atama türünde stoklarda bulunan farklı ölçülerdeki ana malzemedan talep doğrultusunda minimum fire oranı bırakılarak küçük parçaların tümünün yerleştirilmesi hedeflenirken, 'V' atama türünde ise talebi belli olan parçaların minimum fire ve artık oranı bırakacak kesim planına uygun optimum ana malzeme büyüklüğünün belirlenmesi hedeflenmektedir.

Diğer incelenen parametreler ana malzeme ve parçaların çeşitliliğine yöneliktir. Tek ana malzeme ve parçaların şekil çeşitliliği ve bu çeşitlerin sayısı arttıkça problemin çözümü zorlaşmaktadır.

KPP endüstride birçok farklı alanda uygulanabilmektedir. Problemlerin amacı yerleştirme yaparken maksimum fayda ve kullanım alanı yaratırken minimum artık vermektir (Hopper, 2000).

Hopper (2000), kesme ve paketleme problemlerini; büyük parçaya çoklu küçük parçaların en iyi yerleştirmeyi amaçlayan bir optimizasyon problemi olarak tanımlamıştır. Bu nedenle yerleşim planındaki ufak bir iyileştirme büyük oranda malzeme tasarrufu sağlar ve üretim maliyetlerini önemli seviyede düşürür.

1.2. Problemin Tanımı ve Önemi

Yapılan araştırmalar sonucunda her alanda verimlilik ve maliyet açısından fayda sağlayacak olan kesme ve paketleme problemlerinin uygulama alanlarında çok fazla dikkate alınmadığı gözlemlenmiştir. Firmalarda kesim esnasında fire oranlarını minimum yapmaya yarayan bilgisayar programları olmasına rağmen çoğu programların maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı optimum kesim planını veren programla çalışmamaktadırlar. Bunun yerine maliyeti daha düşük olan ama operatör tarafından manuel olarak parçaların yerleştirildiği ve artık oranının manuel olarak minimum edildiği programlar kullanılmaktadır. Bu programlarda firmanın kesim yaptığı parça taleplerini göz önünde bulundurarak arta kalan kullanılabilir malzeme oranlarını ve bu alan şeklinin ne olacağı ile ilgili parametreleri dikkate almadığı da gözlenmiştir. Özellikle arta kalan alan şeklinin kesilecek olan parça çeşitlerine göre maksimum ölçülerde bırakılarak malzeme kullanım verimliliğinin artırılması gibi durumlar dikkate alınarak firma verimliliğinin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi için arta kalan malzemenin tekrar kullanılabilir ölçülerde ve şekillerde olmasını amaçlayan optimum malzeme kesim planlarının oluşturulması problemi çalışma konusu olarak seçilmiştir.

Bu çalışmada iki boyutlu şekli belli olan tek bir ana malzemedan yine şekli belli olan çeşitli geometrik şekillere sahip parçaların kesim optimizasyonu dikkate alınacaktır. Dyckhoff'un sınıflandırmasına göre 2/B/O/R (iki boyutlu/ mevcut bir ana malzeme için küçük parçaların seçiminin yapılması/ tek ana malzeme/ çeşitlilik az, parça sayısı çok) sınıflarına giren bir optimum kesim çalışması yapılacaktır. Optimum

kesim çözümleri aranırken arta kalan alanın daire olarak maksimize edilmesi amaçlanacaktır. Maksimizasyonun daire olarak seçilmesi işletmelerin tek bir standart geometrik şekle sahip parça kesme problemleri ile sınırlı kalmamasından dolayı tercih edilmiştir. Ata kalan malzemenin tekrar kullanılabilen ölçülerde olması hammadde verimliliğini artırarak hurdaların azalmasına ve stok maliyetlerinin ortadan kaldırılmasına katkıda bulunacaktır. Böylece üretim aşamasında sağlanan faydalar nihai ürün maliyetlerini aşağıya çekecek ve nihai ürünün pazardaki talebi artırılarak firmaya katkıda bulunulacaktır.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Üretim endüstrisinde iki boyutlu büyük malzemelerden küçük parçalar kesme optimizasyon problemi gerek maliyet gerek zaman açısından firmalar için önem taşımaktadır. Bu çalışma ile;

- Parçaların ana malzemeye optimum yerleşimi,
- Hammadde maliyetlerinin minimize edilmesi dolayısıyla ürünlerin satış fiyatının azaltılabilmesi ile ürüne olan talebin ve pazar payının artırılması,
- Malzemedan arta kalan kısmın yüksek verimle tekrar kullanılabilmesi için en büyük yarıçapa sahip daire elde edilmesi,
- Kesilecek parçaların merkez koordinatlarının belirlenmesi,
- Ana malzeme sınırlarını aşmama ve çakışmama kısıtları dikkate alınarak matematiksel modelin oluşturulması,
- Matematiksel modele uygun genetik algoritma akışlarının kurulması ve bilgisayar ortamında akış kodlarının yazılması,
- Bir ana malzemedan hem dikdörtgen hem daire olmak üzere iki farklı parçanın kesilerek daire alanının maksimize edilmesi,
- Yerleştirme problemlerinde genetik algoritma kullanılarak çözüm sürelerinin kısaltılması amaçlanmaktadır.

1.4. Çalışmanın Adımları

Çalışma Adımları;

1. Çalışma kapsamında incelenecek konunun belirlenmesi,
2. Belirlenen çalışma konusu hakkında daha önce yapılan çalışmaların araştırılması ve yapılan çalışmalarda dikkate alınan parametrelerin, oluşturulan formüllerin, çözüm yöntemlerinin ve kullanılan programların incelenmesi,
3. Problemin literatürdeki çalışmalardan farklı yönlerinin ortaya konulması,
4. Problemin amacı, kısıtlar, karar değişkenleri ve gerekli verilerin belirlenmesi ve bir takım varsayımların yapılması,
5. Matematiksel modelin kurulması,
6. Matematiksel modelin optimizasyon programında çözülmesi,
7. Matematiksel modelin geçerliliğinin test edilmesi,
8. Sezgisel programlama tekniklerinden biri olan genetik algoritma tekniği ile problemin yeniden formüle edilmesi ve bilgisayar kodlarının oluşturulması,
9. Problemin genetik algoritma yöntemi ile çözülmesi,
10. Sezgisel modelin geçerliliğinin test edilmesi,
11. Çözümünden elde edilen sonuçların yorumlanması ve
12. Gelecek çalışmalar için önerilerde bulunulması şeklinde sıralanabilir.

1.5. Orijinal Katkılar

Çalışmanın orijinal katkıları şunlardır;

- i. Literatür incelendiğinde iki boyutlu malzeme kesme problemlerinde parçaların birbirine en yakın mesafede yerleştirilme kısıtı dikkate alınmadan ana malzemedan arta kalan parçanın maksimum alana sahip daire olmasıyla

ilgili bir çalışmaya rastlanmamıştır. Arta kalan alanın daire olarak en büyüklenmesi problemi iki boyutlu dikdörtgen levhadan kare parçalar kesen bir uygulama alanında ikinci bir çeşit olarak dairesel parçalar kesmek isteyen firmalar için orijinal katkı niteliğindedir.

- ii. Kullanılabilir arta kalan alanın maksimize edilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar bir boyutlu malzeme kesme ve yerleştirme problemlerini kapsamaktadır.
- iii. Analitik çözüm elde etmek amacıyla tamsayılı nonlinear optimizasyon modeli kurulmuş ve global optimum sonuç elde edilmiştir.
- iv. Başlangıç popülasyonda koordinatlar belirlenirken parça boyutları dikkate alınarak üretilmiştir. Bu durum çözüme hız kazandırmış ve operatörlere olan ihtiyacı azaltmıştır.
- v. Kromozomlar (x,y) koordinatlarından oluştuğu için her bir mutasyonda tek bir gen yerine her parçayı temsil eden ikili gen grupları mutasyona uğratılmıştır.

1.6. Çalışmanın Organizasyonu

Çalışmanın konusu, önemi, amacı ve kapsamı giriş bölümünde belirtilirken giriş bölümünde KPP’de kullanılan ortak kavramlardan ve Malzeme Kesme Problem çeşitlerinden bahsedilmiştir.

İkinci bölümde çalışma konusu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde, çalışma ile ilgili geliştirilen matematiksel modelin açıklaması yapılmıştır. Optimizasyon programında global çözüm bulunmuştur. Daha sonra meta sezgisel yöntem olan genetik algoritma çözüm yöntemi ile matematiksel modelde kullanılan amaç ve kısıtlar doğrultusunda geliştirilen genetik algoritma akışı detaylı olarak anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, geliştirilen yaklaşım için elde edilen bulgular ve analizlere yer verilmiştir. Matematiksel ve sezgisel yöntemlerin doğruluğu denemeler sonucu kanıtlanmış ve parametre değerlerinin optimizasyonu yapılmıştır. Sezgisel ile

matematiksel model kıyaslanarak sezgisel algoritmanın ve matematiksel modelin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

Son bölümde ise elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve önerilere yer verilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatüre girdiği 1940'lı yıllardan bu yana, çözümü zor (NP-hard) problemler olarak bilinen stok kesme problemlerinin etkin bir şekilde nasıl çözülebileceğine dair çeşitli disiplinlerde çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır. Stok kesme problemleri zengin bir literatüre sahip olmakla birlikte söz konusu çalışmalar bir ve iki boyutlu problemler üzerinde yoğunlaşmaktadır. Uygulama çalışmalarının ağaç, metal, cam, tekstil, kağıt gibi endüstrilerde karşılaşılan stok kesme problemi ile ilgili olduğu görülmektedir. Üç boyutlu stok kesme problemleri çerçevesinde ise kesme problemlerinin yanı sıra yükleme ve yerleştirme problemleri de incelenmektedir (Yavuz 2005). Dyckhoff (1990), Sweeney ve Paternoster (1992) tarafından yapılan ayrıntılı literatür çalışmalarında stok kesme problemleri ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunun bir ve iki boyutlu problemler üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Sweeney ve Paternoster (1992) tarafından yapılan araştırmada kullanılan metodolojilere göre çalışmaları 3 grupta ele almışlardır. Bunlar;

- Sezgisel Sıralı Atama Prosedürleri (Büyükten Küçüğe Sıralama Atama Yöntemleri)
- Tek Model Üreten Prosedürler (Dinamik Programlama Tabanlı Algoritmalar)
- Çoklu Model Üreten Prosedürler (Lineer Programlama Tabanlı Algoritmalar)

2.1. Kesin Çözüm Bulan Literatür Çalışmaları

Stok kesme problemi, ilk olarak 1939'da Rus matematikçi Kantorovich tarafından ele alınmıştır. Bu çalışmada, tek boyutlu stok kesme problemi, her biri n adet makinede işlenebilecek m adet işin çizelgelenmesi probleminin bir uzantısı olarak tanımlanmış ve bu doğrultuda artık minimizasyonuna yönelik tamsayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir.

Tutte (1947), yaptığı çalışmada eşkenar üçgen ana malzemeden eşkenar üçgen parçaları kesme problemine çözüm aramıştır. Daha önce 1940 yılında yapılan 'The dissection of rectangles into squares' araştırmada kullanılan çözüm yöntemini bu probleme uyarlamıştır. Kirchhoff yasalarına dayanan elektrik ağı (electrical network) metodunu baz alan bir çözüm yöntemi geliştirilerek çözüm yapılmıştır.

Literatürde stok kesme probleminin temeli, Gilmore ve Gomory'nin (1961,1963,1964,1966) çalışmalarına dayandırılmaktadır. Gilmore ve Gomory (1964), 1961 ve 1963'te yayınlanan çalışmalarında tek boyutlu stok kesme problemleri için geliştirdikleri sütun oluşturma tekniğini iki ve üç boyutlu problemler için de kullanmışlardır. Bu yıllardan itibaren stok kesme problemleri ile ilgili çok fazla sayıda çalışma yapılmıştır.

Christofides ve Whitlock (1977), mobilya sektöründe yaptığı çalışmada iki boyutlu ana dikdörtgen parçadan optimum küçük dikdörtgenler kesme üzerinde araştırma yapmıştır. Bu araştırmada ağaç türü arama (tree-search) algoritmasını çözüm yöntemi için uygulanmıştır. Sonuçlar parça kesim sayısının fazla olmadığı durumlarda etkili sonuçlar verebilmiştir.

Stoyan ve Yaskov (1998), dikdörtgen ve daireleri malzeme kullanımını en iyileyecek şekilde yerleştirmek amacıyla bir matematik modelin geliştirilmesi ve bu modelin çözüm yönteminin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Problemin bir matematiksel modeli geliştirilmiş, problemin özellikleri, uygun çözüm alanı ve uç noktalarda doğrusal bir amaç fonksiyonunun en iyi değeri araştırılmıştır. Problemin çözümü amacıyla dal sınır tekniği ile indirgenmiş eğim yönteminin bileşimine dayanan bir çözüm yaklaşımı kullanılmıştır. Uygun çözüm alanındaki tüm uç noktaların sıralanması için bir arama ağacı oluşturulmuş, ayrıca bir uç noktadan diğerine artan amaç fonksiyonu ile geçiş sağlanmıştır. Yazarlar geliştirdikleri yöntemi iki örnek problem üzerinde denemişlerdir. 100 adet dairenin büyük bir dikdörtgen içine yerleştirildiği birinci örnek problemde çözüm süresinin bir saat, 50 dikdörtgenin yerleştirildiği ikinci problemin çözüm süresinin ise 20 dakika olduğu belirtilmiştir. Ancak elde edilen sonuçların etkin olup olmadığından söz edilmemekte, kaynaklarda mevcut diğer yaklaşımlara göre avantaj ve dezavantajlarına değinilmemektedir.

Farley (1998), tekstil alanında uzun vadede karlılığın önemli olduğu kadar kesim planlarının en kısa sürede oluşturulabilmesinin de etkili olduğunu yaptığı çalışmada belirtmiştir. Bu amaçlar doğrultusunda genelde problemlerin çözümü bilgisayar tabanlı programlar tarafından ele alınmaktadır. Yapılan çalışmada tüm kısıtlar ve bu amaçlar doğrultusunda kesim planlarının oluşturulmasında matematiksel programla tekniklerinden tam sayılı ve kuadratik formülasyonlar ile çözüm aranmıştır.

Stoyan ve Yaskov (2004), farklı yarıçaplardaki dairelerin bir şerit üzerine yerleştirilmesi problemini ele almıştır. Problemin çözümü amacıyla, bir matematik model geliştirilerek bu modelin çeşitli özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler dikkate alınarak, bir yerel en iyiden diğerine geçiş yapılması olarak tanımlanan özgün bir yöntem önerilmektedir. Problem boyutunun arttırılması fikrine ve indirgenmiş eğitim yöntemine dayanan bu yaklaşım çeşitli problemler üzerinde test edilmiş olup, daire sayısının 15 ile 35 arasında olması durumunda yeterince etkin olduğu, kaynaklarda yer alan bir dal sınır tekniği ile karşılaştırıldığında ise daha üstün olduğu ifade edilmektedir. Ayrıca önerilen yöntemde paralel hesaplamaların kolaylıkla kullanılabilir olması nedeniyle yöntemin etkinliğinin daha da artırılabilirliği iddia edilmektedir.

Özkan (2008), yapmış olduğu çalışmada cam, ağaç, metal endüstrilerinde çok sık karşılaşılan iki boyutlu stok kesme problemine yeni bir yaklaşımla çözüm aranmıştır. Bu çalışmada, lineer programlama ve tamsayı programlama yöntemlerinden ve uygulama alanlarından bahsedilerek stok kesme problemine nasıl uygulandığı ifade edilmiştir. Uygulamada kaynak stokların ölçüleri ve miktarları ile hedef stokların ölçüleri ve miktarları girilerek en az fire verecek şekilde ve en hızlı biçimde çözümü elde edip ekranda yerleşimlerin çizdirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda mevcut yöntemleri kullanan bir yazılımla sonuçlarda karşılaştırmalar yapılmıştır.

Bilgiç (2009), yaptığı çalışmada pantolon üretiminde kumaşı en verimli şekilde kullanarak, ürün maliyetinde çok büyük bir yer tutan kumaş masraflarının, kumaş kesim kayıplarının düşürülmesiyle azaltılmasını hedeflemiştir. Üretim serisi üzere pastal planları için kumaş kayıpları açısından verimli kumaş enleri belirlenmiş,

çıkan sonuçlar matematiksel formüllere dönüştürülmüştür. Bu formüller sayesinde bir işletmenin kullandığı prensibe göre, kendilerine en uygun kumaş enini belirleyip, üretim için kumaş siparişlerini bu kumaş eninde verebilmeleri amaçlamıştır.

Silva, Alvelos ve Carvalho (2010), çalışmalarında iki boyutlu stok kesme probleminin çözümü için tam sayılı programlama modeli önermişlerdir. Kullanılacak dikdörtgen ana malzeme sayısını minimize ederek ana malzemeden küçük dikdörtgen parçalar kesmeyi amaçlamışlardır. İki ve üç aşamalı, kesin ve kesin olmayan problemler dikkate alınmıştır. Ayrıca yön değiştirme, kesim uzunluğu ve arta kalan parça oranları ile ilgili sorunlara da çözüm aranmıştır. Çözüm yöntemini geliştirirken Dyckhoff'un bir boyutlu stok kesme probleminden esinlenmişlerdir.

2.2. Sezgisel Yöntemler İle Çözüm Bulan Literatür Çalışmaları

Dyson ve Gregory (1974), cam üretim sektöründe uygulama yaparak ortaya koyduğu çalışmalarında sipariş kısıtlarını göz önünde bulundurarak kesim optimizasyon problemine çözüm geliştirmişlerdir. İki boyutlu dikdörtgen ana malzemeden küçük dikdörtgen parçaların kesim optimizasyonunda Gilmore ve Gomory'nin lineer programlama tekniği ile geliştirilen sezgisel yöntemin kıyaslaması yapılmıştır. Lineer programlama tekniği büyük ölçekli problemlerde kullanıldığında çözüme ulaşmada hesaplama zorluklarından doğan problemler ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Geliştirilen sezgisel metot hesaplama zorluklarının üstesinden gelebilmiş fakat hala iyileştirilmesi gerektiği gözlemlenmiştir.

Smith (1985) iki ayrı kod çözücü yerleştirme algoritması ile deneysel çalışmalarını yürüterek sıralamaya dayalı bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu kod çözücü yerleştirme algoritmalarından ilki olan kayma (slide) algoritması, sabit bir konumdan dikey zikzak hareketlerle indiği en uzak köşeye dikdörtgen parçanın yerleştirilmesini sağlar. İkinci kod çözücü yerleştirme algoritması olan ufuk çizgisi (skyline) algoritması kısmi yerleşim planı içerisinde bütün konumları dener. Bu iki algoritma arasında yapılan karşılaştırmalar genetik algoritmanın daha karmaşık bir algoritma ile birleştirilmesinin daha iyi yerleşim planları ürettiğini göstermektedir. Ancak bu çok büyük bir hesap yükü gerektirir. Bu çalışmadaki genetik algoritmaların

performansı dinamik programlama üzerine kurulmuş paketleme yöntemleriyle karşılaştırılmış ve genetik algoritmaların aynı paketleme yoğunluğu daha az zamanda elde ettiği görülmüştür.

Ermiş M. (1995), tezinde farklı boyutlardaki dikdörtgen kutuları en az sayıda taşıyıcıya en iyi şekilde yerleştirmeyi gerçekleştirecek bir algoritma ve pascal programlama dilinde bir bilgisayar programı geliştirmeyi amaçlamıştır. Bu üç boyutlu problemde kutu yerleşimi yapılırken kullanılmayan alanların minimizasyonu amaçlamıştır. Problemin çözümünü sezgisel yöntemlerle gerçekleştirmiştir.

Jakobs (1996), sıralamaya dayanan bir genetik algoritmayı aşağı-sol algoritması ile birlikte kullanmıştır. Hesapsal yükün azaltılması için, bu algoritma yerleşim planı içinde mutlaka mümkün olan en düşük konumu bulmak için arama yapmaz. Ancak yerleşim planı içinde her zaman aşağı sol koşulunu sağlamak için çalışır. Her parça ana parçanın sağ üst köşesinden başlayarak kısmi yerleşim planı içinde mümkün olduğunca aşağıya ve sola hareket eder. Genetik algoritmalarda başlangıç nüfusu parçaların yerleşim planı içindeki yerleşim sırasını gösteren sayı dizilerinden oluşturulur. Kıрма genetik algoritmalar değiştirilmiş yerleşim sırasını gösteren sayı dizilerinden oluşturulur. Kıрма genetik algoritmalar değiştirilmiş yerleşim kuralları kullanılarak çokgenler için de kullanılır.

Dagli and Poshyanonda (1997)'nin çalışmalarında kullandıkları kod çözücü yerleştirme algoritması bir kaydırma tekniğine dayalı, yapay sinir ağlarıyla birleştirilmiş bir yerleştirme algoritmasıdır. Genetik algoritmaları bu kod çözücü yerleştirme algoritmasında kullanmak üzere yerleşim sırasını bulmak için uygulamışlardır. Burada kullanılan kaydırma tekniği yeni parçayı ana parçanın genişliği boyunca, kısmi yerleşim planını oluşturan diğer parçaların yanına yerleştirir. Eğer kısmi yerleşim planı içindeki boş alan yeterli değilse, yeni parçaları yerleştirmek üzere yerleşim planında yeni bir sıra oluşturulur. Paketleme süresi boyunca yeni oluşan boş alanlar kaydedilir ve daha sonra yapılacak parça yerleşimlerinde kullanılmak üzere saklanır. Ana parça içine yeni bir parça yerleştirilmeden önce yerleştirilecek yeni parça ve boş alanlar arasında en iyi eşleşmenin seçimini yapmak üzere mevcut boş alanlar bir yapay sinir ağıyla kontrol edilir. Uygun bir eşleşme bulunamazsa yeni parça, kaydırma tekniğine dayanan

yerleştirme algoritmasıyla yerleştirilir. Eşleşme işlemi, kısmi yerleşim planı içinde yerleştirilecek yeni parçanın mümkün olan bütün yönlendirmelerini dener.

Nurmela ve Ostergard (1997), verilen bir dikdörtgenin içine yerleştirilebilecek n adet eşit dairenin yarıçapının en büyüklenmesi problemini araştırmıştır. Bu yaklaşım, daireler arasındaki uzaklıklardan elde edilen enerji fonksiyonunun en küçüklenmesine dayanmaktadır. Ele alınan problem çok yaygın bir geometrik problemidir. Bu problemin bir benzeri ise, aralarındaki uzaklıklar en az d uzunluğunda olacak şekilde n adet noktanın bir kareye yerleştirilmesi için en büyük d sayısının bulunması problemidir. Yakın zamana kadar yapılan çalışmalarda, en çok 20 dairenin kare içerisine yerleştirilmesine yönelik tüm yerleşimler ele alınmıştır. Yazarlar, 20'den fazla dairenin iyi yerleşimlerine ilişkin hesaplama yöntemlerini inceleyerek; 50 daireye kadar bulunan en iyi yerleşimleri verilmiştir.

Liu and Teng(1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Jakobs(1996) tarafından uygulanan kod çözücü yerleştirme algoritmasının geliştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilmiş aşağı-sol algoritması Jakobs(1996)'nın kullandığı kaydırma ilkesine göre çalışır. Ancak öncelik her zaman yerleştirilecek parçanın aşağı doğru kaydırılmasına verilmiştir. Liu ve Teng çalışmalarında, Jakobs(1996)'nın kullandığı iki paketleme problemini kullanarak yeni aşağı sol yerleştirme algoritmasının performansının daha iyi olduğunu göstermiştir.

Nurmela ve Ostergard (1999), eşit büyüklükteki n adet dairenin üst üste gelmeyecek şekilde bir kare içine yerleştirilmesi durumunda, en büyük yarıçapın bulunması problemini ele almıştır. Kaynaklarda yer alan önceki çalışmalarda 20 ve daha küçük daire sayıları için en iyi yerleşimlerin belirlendiği, bu yerleşimlerin doğrulanması için ise yoğun bir biçimde bilgisayar desteğinden yararlanıldığı ancak elle kontrolün mümkün olmadığı belirtilmiştir. Bu çalışmada, eski yaklaşımların doğrulanması yapılarak mevcut yaklaşım geliştirilmiş ve daire sayısı 27'ye çıkarılmıştır. Bilgisayar destekli doğrulamalarda yaygın olduğu üzere bu çalışmadaki yerleştirmelerin en iyiliğinin doğrulanmasında da otomatikleştirilmiş ve nispeten basit adımlardan oluşan çok uzun zincirler kullanılmıştır. Daire sayısının 20 ve daha az olduğu önceki çalışmalarla ilgili ve daire sayısının 20 ila 27 arasında olduğu önerilen yaklaşımla ilgili

bilgisayar sonuçlarına yönelik bazı istatistik veriler sunularak daire sayısının 20 ile 27 arasında olduğu yerleşimlerin şekilsel gösterimine yer verilmiştir.

Gradisar, Resinovic ve Kljajic (1999), tek boyutlu stok kesme problemlerinin optimizasyonu için hibrit (melez) bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Önerilen yaklaşım pattern-oriented LP tabanlı method ile item-oriented sequential sezgisel prosedürün kombinasyonundan meydana gelmiştir. Bu prosedür sipariş büyüklüğünü karşılayacak şekilde kesim yapabilme ve ardışık artık oranlarını tekrar kullanılabilir tek parça şeklinde bir araya getirmeyi amaçlamışlardır.

Hooper ve Turton (1999,2001), tarafından yapılan çalışmada iki farklı genetik algoritma kullanarak dikdörtgen parçaların yerleşim probleminin çözüm sonuçları karşılaştırılmıştır. Bu yöntemlerden birincisi geleneksel aşağı sol algoritması (Bottom-Left Algorithm) diğeri ise bu algoritmanın zayıf yönleri tespit edilip geliştirilmiş olan boşluk dolduran aşağı sol algoritması (Bottom-Left-Fill Algorithm)'dır. Büyük parçaların yerleşiminden sonra küçük parçaların oluşan boşluklara yerleşememesi aşağı sol algoritmasına olumsuzluk yaratmaktadır. Yapılan ikili testlerde boşluk oranı geliştirilen algoritmada daha az olduğu gözlemlenmiştir.

Leung ve arkadaşları (2001), araştırmasında genetik algoritma ve benzetilmiş tavlama yöntemlerini iki boyutlu giyotinsiz kesme problemine uygulamıştır. Bu iki yöntemin performans ve etkinliğini karşılaştırmak amacı ile birçok test yapmıştır. Elde edilen sonuçlara göre genetik algoritmanın benzetilmiş tavlama algoritmasına göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Söke (2003), yılında Matlab ortamında iki boyutlu giyotinsiz kesme problemleri için bir çözüm yaklaşımı geliştirmiştir. Problem çözümü için 200x200 birimlik bir ana parça içine yerleştirilecek 17 ve 29 adet düzgün biçimli birbirinden farklı dikdörtgenlerden oluşan farklı parçalar kullanılarak genetik algoritma ve benzetilmiş tavlama algoritma yöntemleri karşılaştırılmıştır. Kesme problemleri için Genetik algoritmanın Benzetilmiş tavlamadan daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Bingül ve Söke (2005), yaptıkları çalışmada farklı çaprazlama teknikleri kullanan genetik algoritmalar ve geliştirilmiş aşağı sol algoritmasının ortak kullanımıyla iki boyutlu giyotinsiz bir kesme problemine çözüm geliştirmişlerdir. 200x200 birimlik bir alan ile sınırlandırılmış bir büyük parça ve yerleşecek 29 adet

birbirinden farklı düzgün dikdörtgen parçadan oluşan bir test problemi üzerinde çalışmışlardır. Çalışma sonucunda aynı problem için, farklı çaprazlama tekniklerinin birbirinden çok farklı sonuçlar verdiğini görmüşlerdir.

Bingül ve Söke (2006), bu çalışmada genetik algoritma ve benzetilmiş tavlama algoritmasını aşağı sol algoritması ile geliştirerek iki boyutlu giyotin kısıtsız dikdörtgensel paketleme problemi üzerinde çalışmıştır. Geliştirilen algoritma Hopper ve Turton (2000) algoritması ile kıyaslanmıştır. Kıyaslamanın yapıldığı test problemi 17 ve 29 örnek dikdörtgen parçadan ve 200x200 boyutlarında ana malzemenin oluşmaktadır. Test sonuçlarına göre genetik algoritma kesme ve yerleştirme problemlerinde benzetilmiş tavlama algoritmasına göre daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu gözlenmiştir.

Suliman S.M.A. (2006), üç aşamalı sıralı atama prosedürünü kullanarak iki boyutlu dikdörtgensel giyotin kesme problemine çözüm aramıştır. Bu prosedürü uygularken artık oranını minimize etmek için optimum ana malzeme uzunluğunu belirlemeyi amaçlamıştır. Üç aşamalı prosedürün ilk aşamasında, ana malzeme optimum genişliği tespit edilmek istenmiştir. İkinci aşamada, yerleşimi yapılacak parçaların uzunlukları göz önünde bulundurularak ana malzeme optimum uzunluğu belirlenmiştir. Son aşamada, kaç çeşit kesme planının oluşturulacağı ortaya konmuştur.

Hadjiconstantinou ve Iori (2007), çalışmasında dikdörtgensel tek ana malzemenin küçük dikdörtgen parçaların yerleşimi ile ilgili problemi ele almıştır. Çalışmada kesilen parça sayısını maksimize etmeyi amaçlamıştır. Parça yerleşimi yapılırken parçaların yön değiştirmeme ve parça kenarlarının ana malzeme kenarlarına paralel yerleştirilmesi kısıtlarını dikkate almıştır. Açgözlü (greedy) ve hibrit genetik algoritmalarından yararlanarak sezgisel bir algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen bu algoritmayı iki çeşit test problemine uyguladıklarında karmaşık ve büyük çaplı test probleminde hem daha başarılı hem de optime yakın çözüm sonuçları elde ettiklerini gözlemlemişlerdir.

Javanshir, Rezaei, Najari ve Ganji (2010), yaptıkları çalışmada erkek giyiminde (42 beden pantolon için) iki boyutlu stok kesim sorunu üzerinde durulmuştur. Bu problemde düzenli düzensiz şekilli kesimlerin oluşturduğu artıkların

minimize edilmesi için kullanılan optimizasyon algoritmaları ile geniş çözüm aralığının olmasından dolayı geçersiz çözümler bulunmuştur. Bu yüzden metahuristik yöntemlerden tavlama benzetimi yöntemi (simulated annealing) kullanılmıştır. Çözüm sonucunda fireyi azaltırken optimum rulo uzunluğunu hesaplamayı amaçlamışlardır.

2.2.1. Sezgisel Yöntemlerle Dairesel Kesim Problemleri İle İlgili Literatür Taraması

Singh ve Sekhon (1998), dairesele ve dairesele olmayan parçaların bilgisayar destekli modellenmesi, basit kesme kalıpları için yerleşim seçeneklerinin oluşturulması ve bunların grafik gösterimi amacıyla düşük maliyetli bir sistem geliştirmiştir. Geliştirilen sistem, şerit kenarlarına ve kenar boşluklarına göre değişen şerit boyutlarını, köprü uzunluğunu, eğimi ve parçaların döndürülmesini göz önüne alabilmektedir. Önerilen yazılım basit kesme kalıpları için dairesele ve dairesele olmayan parçaların şerit üzerindeki farklı yerleşim düzenlemelerini araştırmak amacıyla ileri düzeydeki Auto-CAD ve AutoLISP komutlarını kullanmaktadır. Singh ve Sekhon, yordamın küçük ve orta büyüklükteki işletmeler için uygun olacağını belirtmiştir.

Hifi ve M'Hallah (2004), L0 ve W0 boyutlarındaki bir dikdörtgen levhanın mümkün en çok sayıda dairesele şekilli parçaya kesilmesi problemini ele almıştır. Dairesel parçalar yarıçapları r_i ($i = 1, \dots, n$) olacak şekilde n farklı türdedir. D_i 'nin i . parçaya ait en büyük talep olduğu kısıtlı dairesele kesme problemi, kurma esaslı ve genetik algoritma esaslı iki yöntem kullanarak çözülmüştür. Çözüm algoritması Fortran programında kod yazılarak geliştirilmiştir. Stoyan ve Yoskav'ın altı test problemi üzerinde geliştirilen her iki yöntem karşılaştırılmıştır. Hesaplama sonuçları, genetik algoritma tabanlı yaklaşımın uygun sürede yüksek kalitede çözümler ürettiği gözlemlenmiştir.

Cui (2005), büyük elektrik jeneratörlerinin rotor ve statörlerinin üretimi için dairesele ve şekli belli olan parçaların dikdörtgen ana malzeme üzerine T şeklinde yerleşimi için çalışmalar yapmıştır. Çözüm süresini minimum ve malzeme

kullanımını maksimum yapabilmek için her bir dikdörtgen ana malzeme üzerine parçaların hangi genişlik ve uzunluktaki T şeklinde yerleştirilmesi gerektiğini tespit edebilmek için bir algoritma geliştirmiştir. Geliştirilen algoritma üretim verilerine uygulandığında T yerleşim şeklinin tek yönlü yerleşime göre daha fazla malzeme kullanımı sağladığı ortaya konulmuştur.

Birgin, Martinez ve Ronconi (2005), çalışmalarında konteynırlara yerleştirilecek aynı çaplı silindir malzeme sayısı arttığında oluşacak maliyetleri minimize etmeye yönelik bir optimizasyon problemi kurmuşlardır. Bu problemde silindir merkezlerinin konteynır tabanı ile elde edilen dikdörtgenin içinde yerleştirilmesi probleminin çözümü için non-lineer karar problemlerinden oluşan bir yöntem geliştirilmiştir. Konteynır içine silindir yerleşimi yapılırken silindirlerin birbirlerinden en az bir çap ve konteynır sınırlarına en az bir yarı çap mesafede olma kısıtları göz önünde bulundurulmuştur. Çalışma bu kısıtları sağlayan silindir merkezlerinin en büyük sayısını bulmaya çalışmaktadır. Çalışma sonucunda, önerilen yaklaşım kaynaklarda yer alan diğer yöntemlerle karşılaştırılmış olup, daha iyi sonuçlar elde edildiği belirtilmektedir.

Liu ve arkadaşları (2005), bugüne kadar daha çok dikdörtgensel paketleme problemlerinde kullanılmış olan Least Flexibility First prosedürü bu çalışmada altıgen ana malzemeye üçgen parça yerleştirme problemi için uyarlanmış ve geliştirilmiştir. Çalışmada n adet aynı ölçülerde üçgen parça altıgen şeklindeki ana malzemeye yerleştirilirken ana malzeme kenarlarına paralel yerleştirme ve üst üste gelmeme gibi kısıtlar ortaya konmuştur. N adet üçgen parça yerleşiminde ana malzeme ölçülerini minimize etmek amaçlanmıştır. Geliştirilen algoritma test edilmiş ve sonuçları benzetilmiş algoritma sonuçları ile kıyaslanmıştır. Benzetilmiş tavlama algoritması problemi 166 dakikada çözerken geliştirilen algoritma problemi 18 saniyede çözdüğü görülmüştür. Bu sonuçlar ile geliştirilen algoritmanın daha iyi olduğunu kanıtlamışlardır.

Seydanoğlu (2007), yapmış olduğu çalışmada iki boyutlu dairesel kesme probleminin çözümü amacıyla genetik algoritma tabanlı bir yaklaşım geliştirmiştir. Bu problemde, farklı yarıçaplardaki bir daireler kümesinin sabit boyutlardaki

dikdörtgen bir ana malzemedan kesilmesi gerekmektedir. Amaç, her daire için talep kısıtları göz önünde alınarak, ana malzeme kullanım oranının en büyüklenmesidir.

Kubach, Bortfeldt ve Gehring (2009), tarafından yapılan çalışmada şerit yerleştirme (strip packing) ve sırt çantası (knapsack problem) problemleri birlikte ele alınmıştır. Şerit yerleştirme problemi ile değişik çaplardaki dairesel parçaların farklı enlerdeki dikdörtgen şeritlere yerleştirilirken şeritlerin uzunluğunu minimize etmek amaçlanırken, sırt çantası problemi ile de artık oranlarının minimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu problemleri çözmek için Huong (2005) tarafından geliştirilen açgözlü (greedy) algoritmasını geliştirilerek iki adet yeni açgözlü algoritma kurmuşlardır. Yeni geliştirilen algoritmalar uydu bilgisayar sistemi (master-slave approach) ile desteklenerek optimum yerleşim planı bulunmuştur. Yapılan test sonuçlarına göre Huong tarafından geliştirilen algoritmaya göre daha kısa zamanda daha iyi çözüm kalitesine sahip bir algoritma geliştirildiği gözlenmiştir.

Birgin ve Gentil (2010), aynı yarıçap ölçülerine sahip N adet dairesel parçanın ana malzeme boyutlarını minimize edecek şekilde yerleştirilmesi problemine çözüm aramışlardır. Çalışmalarından birçok farklı ana malzeme için çözüm yöntemini uygulamış ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Bu ana malzemelere daire, dikdörtgen, kare, şerit ve üçgen örnek olarak verilebilir. Geliştirilen çözüm yönteminde non-lineer çözüm tekniklerinden olan Newton-Raphson metodundan faydalanılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla kıyaslanarak daha iyi çözüm oluşturduğu ispatlanmıştır.

2.3. Arta Kalan Alan ile İlgili Literatür Taraması

Sinuany ve Weiner (1994), yapılan çalışmada birinci amaç, fire miktarını minimize etmek; ikinci amaç ise son ana parçalarda maksimum arta kalan alanın bırakılmasıdır. Çalışmada optimal sonucu veren bir algoritma verilmiştir. Fakat bu algoritmanın büyük problemlerde etkili sonuç vermediği gözlemlenmiştir. Bu problemin ortadan kaldırılması için sezgisel bir algoritma önerilmiştir.

Gradisor, Resinovic ve Kljajic (1999), çalışmalarında iki metodun birleşiminden oluşan bir çözüm yöntemi getirmişlerdir. Bu yöntemler ana malzeme

odaklı lineer programlama metodu ile parça odaklı sıralı heuristik prosedürüdür. Bu birleştirilmiş metodun amacı; talep edilen parçaların uzunluğu kadar kesim yapabilmek ve tekrar kullanabilmek üzere tek bir parça artık oluşturabilmektedir. Bir örnek problem ile geliştirilen çözüm yöntemi gösterilmiştir.

Cherri (2008), kullanılabilecek büyüklükte arta kalan parçaların tekrar kullanılmasına yönelik tek boyutlu bir stok kesme problemi üzerinde çalışılmıştır. Arta kalan malzemenin tekrar kullanılabilecek kadar minimum ölçülerde artık oluşturulması en ilginç olaylardan biridir. Bu çalışmada bazı iyi sonuç veren çözümler ve klasik sezgisel algoritmalar geliştirilerek istenmeyen (ne kullanılabilecek kadar büyük ne de fire sayılabilecek kadar küçük olan) artık oranları tekrar tasarlanmıştır. Bu çalışmadaki amaç fonksiyonu klasik problemlerdeki gibi artık oluşturmamaktır.

Cui ve Yang (2010), Çalışmalarında arta kalan parça kullanım miktarını dikkate alarak tek boyutlu stok kesim problemini ele almışlardır. Geliştirilen algoritma iki prosedürden oluşmaktadır. Birincisi lineer programlama prosedürüdür. Burada talebin karşılanacak şekilde çözümü dikkate alınmıştır. İkinci aşama ise sıralı sezgisel prosedürdür (sequential heuristic procedure). Bu aşamada da talep doğrultusunda arta kalan parçaları değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Algoritmada asıl amaç tüketilen ana malzeme maliyetinin dengesinin kurulmasıdır. Sonuçta diğer algoritma daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca tedarik fazla ve çeşit sayısı az olduğunda bu yaklaşım kesim plan (cutting pattern) sayısını oldukça arttırmaktadır.

Yapılan literatür taraması sonucunda tekrar kullanılabilir parçanın daha çok tek boyutlu problemlerde çalışıldığı gözlenmiştir. Ayrıca arta kalan alanın maksimize edilmesi problemlerinde parça şeklinin kesim yapılan parça şekillerine bağlı olarak belirlenmektedir. Çalışmamızda arta kalan alanın daire şeklinde olması ile ilgili literatür çalışmasına rastlanılmamıştır.

Çözüm yöntemleri incelendiğinde analitik çözümlerin parça sayısı az olan problem çözümlerinde verimli olduğu görülmektedir. Bu çalışmalardan yola çıkılarak parça sayısı az problemler için optimum çözümler aranacaktır. Daha sonra literatürde en çok çalışılan meta sezgisel yöntemlerden genetik algoritma kullanılarak

parça sayısı fazla olan problemlerin çözümü araştırılacaktır. Genetik algoritma çalışmaları incelendiğinde daha çok kırma genetik algoritmaların uygulandığı tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda parçaların yerleşimi ile ilgili geliştirilen algoritmalar (aşağı sol algoritması vb.) kullanılarak parça yerleşim sırası belirlenirken genetik algoritmalarından yararlanıldığı görülmüştür. Bu çalışmada parça yerleşimi genetik algoritma yöntemi kullanılarak yapılacaktır.

3. MATERYAL VE METOD

3. 1. Materyal

İki boyutlu kare parçaların kesim problemi için parça çeşit sayısı sınırlı olan test problemleri dikkate alınmıştır. Bu problemlerdeki veriler iki durumda dikkate alınmıştır.

Birinci durumda analitik çözümü belirli olan bir kesim problemi dikkate alınmıştır. Bu verilerle kurulan matematiksel modelde yerine konularak bilgisayar paket programı yardımıyla elde edilen global çözümün geçerliliği test edilmiştir.

İkinci problemde yine analitik çözümü bilinen ancak daha çok parça kesimi içeren bir problem dikkate alınmıştır. Geliştirilen genetik algoritma yaklaşımından elde edilen çözümün geçerliliği test edilmiştir.

3.1.1. Çalışmada Kullanılan Yazılımlar

Çalışmada kurulan matematiksel modelin çözümünde global optimum sonucu bulabilmek için LINGO 8.0 paket programının deneme sürümü kullanılmıştır. Çözüm uzayı çok büyük olan kesme problemlerinin parça sayısı arttıkça global optimum çözümü bulma süresi oldukça uzamaktadır. Bu nedenle çok sayıda parça içeren kesim problemlerinin makul seviyede çözümü için sezgisel yöntemlerden genetik algoritma yaklaşımı kullanılmıştır. Geliştirilen genetik algoritma yaklaşımı Matlab 7.9.0 bilgisayar paket programı kullanılarak çözülmüştür.

LINGO, LINDO Sistem Inc. şirketi tarafından üretilmiş, doğrusal, tamsayılı ve doğrusal olmayan matematiksel modelleri çözebilen, duyarlılık analizi yapan bir en iyileme yazılımı ve modelleme dilidir. Daha önce DOS ortamında kullanılan LINDO ve GINO yazılımlarının bir araya getirilmesi ve yeni özelliklerin eklenmesi ile oluşturulmuştur. En önemli iki yenilik, LINGO'nun bir modelleme dili olarak tasarlanması ve Windows ortamında çalışmasıdır. Böylece matematiksel modellerin kapalı formda yazılması sağlanmış, diğer Windows programlarıyla kolay bilgi alış

verişi mümkün hale gelmiştir. (LINGO Kullanım Kılavuzu, 2003). LINGO'nun, çözebildiği karar modeli boyutları Çizelge3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Lingo Versiyonları (LINGO Kullanım Kılavuzu, 2003)

İsim	Toplam Değişken Sayısı	En Büyük Tamsayı Değişken Sayısı	En Büyük Doğrusal Olmayan Değişken Sayısı	En Büyük Kısıt Sayısı
Demo/Web LINGO	300	30	30	150
Solver Suite LINGO	500	50	50	250
Super LINGO	2000	200	200	1000
Hyper LINGO	8000	800	800	4000
Industrial LINGO	32000	3200	3200	16000
Extended LINGO	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız	Sınırsız

3.2. Metot

Bu bölümde problemin matematiksel modeli oluşturularak detaylı bir biçimde anlatılmış, LINGO 8.0 paket programı ile matematiksel model çözülmüştür. Daha sonra sezgisel bir metot olan genetik algoritmalar hakkında bilgi verilerek çalışmada çözüm aranan malzeme kesme probleminin Matlab 7.9.0 paket programında kromozom yapısının oluşturulması, başlangıç popülasyonun oluşturulması, genetik operatör kullanımları detaylı olarak anlatılmıştır.

3.2.1. Problemin Matematiksel Modeli

Optimizasyon verilen şartlar altında en iyi sonucun elde edilmesi işlemidir. Bu çalışmada problemin çözümü için kurulan matematiksel model tamsayılı programlama problemidir. Tamsayılı programların bir kısmı zor optimizasyon (hard optimization) problemleri sınıfında yer alır ve çoğu tamsayılı programlama modelleri ise NP-zor (NP-hard) sınıfına aittir. Dolayısıyla genel doğrusal programlama modelleri polinomal zamanda çözülebilirken, aynı formülizasyonun tamsayı çözümünü bulmak üstel zamanı gerektirebilir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Çalışma kapsamında kısıtlayıcı nonlinear (doğrusal olmayan) tamsayılı optimizasyon probleminin matematiksel modeli kurulmuştur. Kurulan modelde artı kalan alanın maksimize edilmesi amaçlanırken parçaların çakışmama ve ana malzeme dışına taşmama kısıtları dikkate alınmıştır. Matematiksel modelin çözümünde amaç fonksiyonunun maksimizasyonu kadar kısıtların da sağlanacağı bir çözüm değeri bulunmalıdır.

Problemin matematiksel modeli oluşturulurken Beasley (2004)'nin yaptığı çalışmadan faydalanılmıştır. Beasley çalışmasında küçük dikdörtgen parçaların dikdörtgen bir ana malzemeden kesilmesi problemini incelerken parçaların merkez koordinatlarını dikkate alarak aşağıdaki model ile problemi ifade etmiştir.

S_0 : Dikdörtgen ana malzeme,

L_0 : Dikdörtgen ana malzemenin boyu,

W_0 : Dikdörtgen ana malzemenin eni,

L_i : i. dikdörtgenin boyu,

W_i : i. dikdörtgenin eni,

n : Sipariş parçalarının sayısı,

v_i : Dikdörtgenin fayda değeri,

P_i : i. dikdörtgenin S_0 'dan kesilebilecek en küçük sayısı,

Q_i : i. dikdörtgenin S_0 'dan kesilebilecek en büyük sayısı,

z_{ip} : Eğer i. dikdörtgenin p. kopyası ($p = 1, \dots, Q_i$) S_0 'dan kesilirse 1'e, aksi durumda sıfıra eşittir.

x_{ip} : i. dikdörtgenin p. kopyasının merkezinin x koordinatı,

y_{ip} : i. dikdörtgenin p. kopyasının merkezinin y koordinatı,

α_{ij} : i. ve j. dikdörtgenlerin boyları toplamının yarısı ($\alpha_{ij} = \frac{L_i + L_j}{2}$),

β_{ij} : i. ve j. dikdörtgenlerin enleri toplamının yarısı ($\beta_{ij} = \frac{W_i + W_j}{2}$),

Beasley'nin çalışmasında kullandığı karar modeli aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} \text{enb}(|x_{ip} - x_{jq}| - \alpha_{ij}, |y_{ip} - y_{jq}| - \beta_{ij})z_{ip}z_{jq} &\geq 0 & i, j=1, \dots, n; \\ & & p, q=1, \dots, Q_i; \\ & & (i \neq j \text{ veya } p \neq q) \end{aligned} \quad (3.1.)$$

$$\begin{aligned} z_{ip} &= 1, & i=1, \dots, n; \\ & & P_i > 0; \\ & & p=1, \dots, P_i, \end{aligned} \quad (3.2.)$$

$$\begin{aligned} L_i/2 \leq x_{ip} \leq L_0 - L_i/2, & & i=1, \dots, n; \\ & & p=1, \dots, Q_i \end{aligned} \quad (3.3.)$$

$$\begin{aligned} W_i/2 \leq y_{ip} \leq W_0 - W_i/2, & & i=1, \dots, n; \\ & & p=1, \dots, Q_i, \end{aligned} \quad (3.4.)$$

$$\begin{aligned} z_{ip} &\in (0,1), & i=1, \dots, n; \\ & & p=1, \dots, Q_i, \end{aligned} \quad (3.5.)$$

$$\text{Enb} \sum_{i=1}^n \sum_{p=1}^{Q_i} v_i z_{ip} \quad (3.6.)$$

Modeldeki amaç fonksiyonu toplam faydayı en büyükmektir.

Eşitlik 3.1., S_0 'dan kesilmek üzere seçilen herhangi iki parçanın birbirleriyle çakışmalarını sağlamaktadır.

Eşitlik 3.2., i. parçanın ilk P_i kopyasının S_0 'dan kesilmek üzere keyfi olarak seçildiğini göstermektedir.

Eşitlik 3.3. ve 3.4., herhangi bir i parçasının p. kopyasının, ana malzeme sınırlarını içinde kalmasını sağlamaktadır.

Son olarak eşitlik 3.5., modelde yer alan z_{ip} değişkenine sadece 0 veya 1 değeri atanabileceğini göstermektedir.

Bizim yaptığımız çalışmada bir ana parçadan çeşitli boyutlarda dikdörtgen parçalar kesilirken arta kalan alandan maksimum çapa sahip bir dairenin kesileceği varsayılmıştır.

Daha önce de ifade edildiği gibi şuna kadar yapılan çalışmalarda arta kalan alanın daire olarak değerlendirilebileceği dikkate alınmamıştır. Ancak bir ana parçadan sadece daire şeklindeki çok sayıda parçanın kesimi dikkate alınmıştır. Dairesel parçaların kesiminde kullanılan bazı kısıtlar Seydanoğlu (2007)'nin çalışmasında dikkate alınmıştır. Çalışmada farklı yarıçaplardaki dairel parçaların dikdörtgen bir ana malzemeye yerleştirilmesi probleminin karar modeli aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$r_i - L_o/2 \leq x_i \leq \frac{L_i}{2} - r_i, \quad (3.7.)$$

$$r_i - W_o/2 \leq y_i \leq \frac{W_i}{2} - r_i \quad i=1,...,n \quad (3.8.)$$

$$Enk \sum_{i < j} enb(0, (r_i + r_j - MAU_{ij})) \quad (3.9.)$$

Eşitlik 3.7. ve 3.8.'de daire parçasının merkez koordinatlarının ana malzeme sınırları içinde kalması kısıtı olup Eşitlik 3.9. yerleşen parçaların çakışma miktarını minimize etmeyi hedeflemektedir.

Bu çalışmada arta kalan alandan kesilecek dairenin yarıçapının maksimize edilmesi amacı ile kurulan matematiksel modelde arta kalan alandan kesilecek daire parçası $(m+1)$. parça olarak düşünülmüştür. Arta kalan alandan kesilecek en büyük parçanın daire olarak belirlenmesi özellikle imalat endüstrisinde faaliyet göstermekte olan firmalarla yapılan görüşmeler ve incelemeler sonucunda ortaya koyulmuştur. Matematiksel model oluşturulurken ana levha dikdörtgen olarak seçilmiş ve dikdörtgenin sol alt köşesi orijin olarak alınmıştır. Parçaların yerleşimi yapılırken ana malzeme dışına taşmama kısıtı için x_i ve y_i koordinatlarının alabilecekleri değer aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu kısıt denklemleri oluşturulurken ana levha boyu x koordinat düzlemini ana levha eni de y koordinat düzlemi olarak belirlenmiştir.

Matematiksel modelde parçaların birbirine minimum uzaklıkta olma kısıtı göz ardı edilmiştir. Bu kısıtın ortadan kaldırılması ile arta kalan parça olarak incelenen dairenin maksimum alana sahip olma olasılığı artırılabilecektir. Örneğin kesilecek parçaların köşelere doğru yerleştirilmesi ile ana levha orta kısmında maksimum yarıçapa sahip bir daire parçası oluşturulabilme ihtimali göz ardı edilmemiş olacaktır.

Çalışmada parça kesim optimizasyonu için geliştirilen matematiksel model dikdörtgen parçalar ve arta kalan alandan maksimum yarıçapa sahip bir dairenin kesilmesi problemini ele almaktadır. Burada amaç kesilecek dikdörtgen parçaların hepsinin yerleştirilmesinin ardından arta kalan ana malzemeden maksimum yarıçapa sahip bir daire parçasının kesilmesidir. Bu amaç doğrultusunda matematiksel modelde parçaların minimum mesafede yerleştirilmesi kısıtı göz ardı edilmektedir. Bu kısıtın kullanılmamasının sebebi amaç fonksiyonunun en iyilenmesi ile doğrudan alakalıdır. Amaç fonksiyonu maksimum yarıçapa sahip dairenin kesilmesi olduğundan dikdörtgen parçaların minimum mesafede yerleşilmesi zorunluluğu ortadan kaldırılarak problem çözümüne olumlu katkıda bulunulmaktadır.

Dikdörtgen parçaların üst üste gelmeme ve ana malzeme sınırları dışına taşmama kısıtları sağlanması ile arta kalan ana malzemeden kesilecek olan dairenin de diğer dikdörtgen parçalar ile üst üste gelmeme ve ana malzeme sınırları dışına taşmama koşullarını sağlaması gerekmektedir. İncelenen mevcut çalışmalarda

kurulan matematiksel modellerdeki çakışmama kısıtları karmaşık bir yapıya sahiptir. Ayrıca geometrik şekli farklı olan düzgün şekilli parçaların kesilmesi problemleri için geliştirilen çakışmama kısıtına rastlanmamıştır. Geliştirilen matematiksel modelde çakışmama kısıtı işlevini kaybetmeden basitleştirilmiş ve geometrik yapısı daire ve dikdörtgen olan parçaların çakışmama kontrolünü yapacak şekilde revize edilmiştir. Bu durumlar göz önünde bulundurularak geliştirilen matematiksel model aşağıdaki gibidir:

Amaç Fonksiyonu;

$$Max Z = \sum_{k=1}^n r_k * Z_k \quad (3.10.)$$

Kısıtlar;

$$\left. \begin{array}{l} l_i/2 \leq x_i \leq L0 - l_i/2 \\ w_i/2 \leq y_i \leq W0 - w_i/2 \\ r_k \leq x_k \leq L0 - r_k \\ r_k \leq y_k \leq W0 - r_k \end{array} \right\} \begin{array}{l} i=1,\dots,m \\ k=1,\dots,n \end{array} \quad (3.11.)$$

$$\forall_{i=1,\dots,m} \text{ için } Z_i = 1 \quad (3.12.)$$

$$\forall_{k=1,\dots,n} \text{ için } Z_k = 1 \quad (3.13.)$$

$$\left. \begin{array}{l} |x_i - x_j| \geq \frac{l_i + l_j}{2} * z_i * z_j \\ \text{Veya} \\ |y_i - y_j| \geq \frac{w_i + w_j}{2} * z_i * z_j \end{array} \right\} \begin{array}{l} i=1,\dots,m \\ j=1,\dots,m \\ i \neq j \text{ ve } i < j \end{array} \quad (3.14.)$$

$$\left. \begin{array}{l} |x_i - x_k| \geq \frac{r_k + l_i}{2} * z_i * z_k \\ \text{veya} \\ |y_i - y_k| \geq \frac{r_k + w_i}{2} * z_i * z_k \end{array} \right\} \begin{array}{l} i=1,\dots,m \\ k=1,\dots,n \end{array} \quad (3.15.)$$

$$Z_i \text{ ve } Z_k = 0 \text{ veya } 1 \quad \begin{array}{l} i=1,\dots,m \\ k=1,\dots,n \end{array} \quad (3.16.)$$

Burada;

m=Sipariş parça sayısı,

n=Arta kalan daire sayısı,

l_i = i. parçanın boyu,

w_i = i. parçanın eni,

r_k = k. arta kalan dairenin yarıçapı,

L_0 = Ana malzemenin boyu,

W_0 = Ana malzemenin eni,

x_i = i. Parçanın x koordinatı,

y_i = i. Parçanın y koordinatı,

x_k = k. arta kalan dairenin x koordinatı,

y_k = k. arta kalan dairenin y koordinatı,

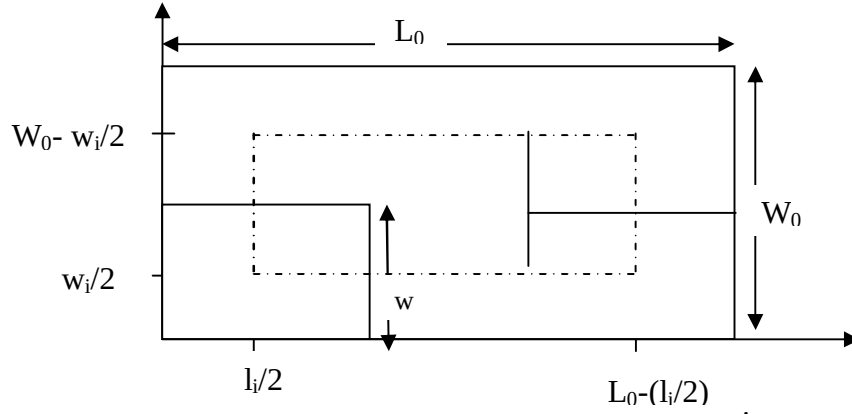
Z_i = i. Parçanın kesilip kesilmemesi,

Z_j = j. Parçanın kesilip kesilmemesi,

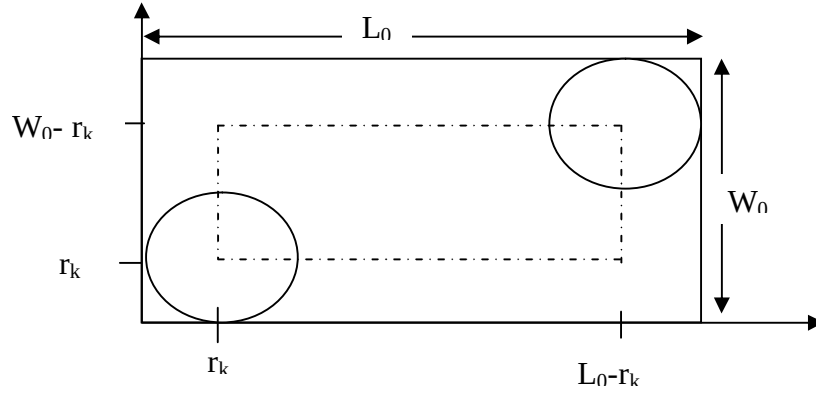
Z_k = k. arta kalan parçanın kesilip kesilmemesi.

Eşitlik 3.10. arta kalan dairenin yarıçapını maksimize eden amaç fonksiyonudur.

Eşitlik 3.11. kesimi yapılacak parçaların (x_i, y_i) koordinatlarının ve arta kalan malzeme (x_k, y_k) koordinatlarının ana malzeme sınırları içinde kalmasını sağlayan kısıtlardır. Parçaların ana malzeme sınırları içinde yerleştirilmesi için (x, y) koordinatlarının Şekil 3.1. ve 3.2.'de kesikli çizgi ile gösterilen alan içerisinde olması koşulunu sağlaması gerekmektedir.



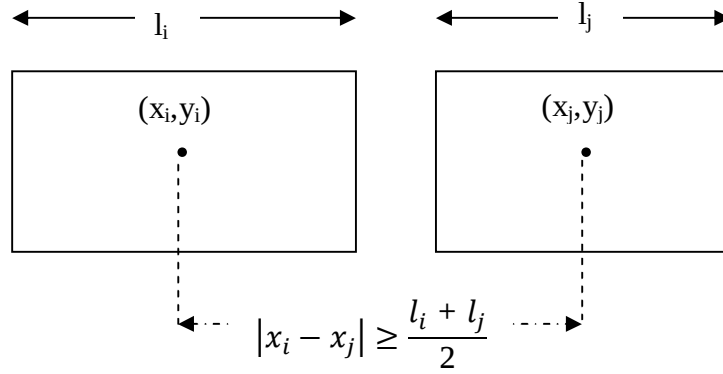
Şekil 3.1. Kesilecek Parçaların Ana Malzeme Sınırları İçinde Kalması



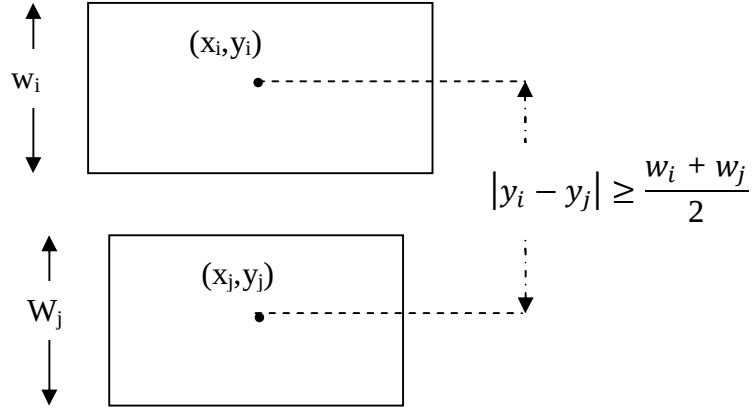
Şekil 3.2. Arta Kalan Parçanın Ana Malzeme Sınırları İçinde Kalması

Eşitlik 3.12. ve 3.13. Kesimi yapılması istenen bütün daire ve dikdörtgen parçaların yerleştirilmesi koşulunu ortaya koymaktadır.

Eşitlik 3.14. yerleştirilen parçalar arasında çakışma olmaması için konulan kısıttır. Şekil 3.3. ve 3.4.'de parçaların en ve boylarının çakışmaması için sağlaması gereken kısıtların gösterimi yapılmıştır.

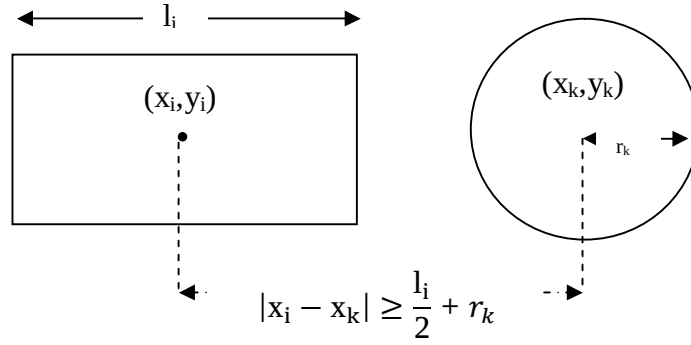


Şekil 3.3. Kesilecek Parçaların Boy Parametrelerinin Çakışmaması

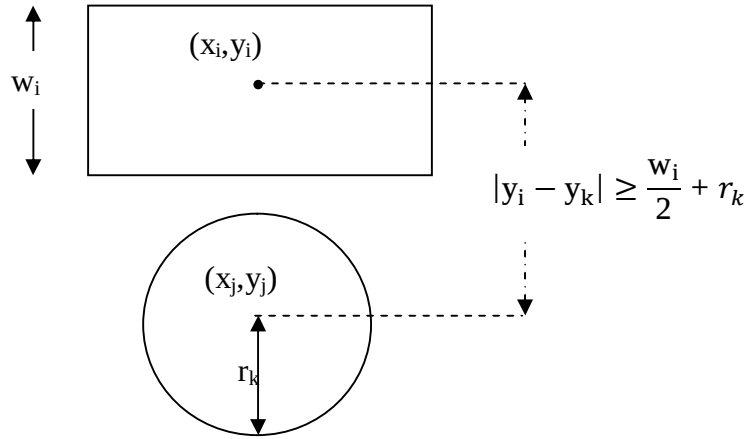


Şekil 3.4. Kesilecek Parçaların En Parametrelerinin Çakışmaması

Eşitlik 3.15. yerleştirilen parçalar ile arta kalan alanı temsil eden daire arasında çakışma olmaması için konulan kısıttır. Arta kalan alanın $(m+1)$. Parça olarak düşünülmesi bu kısıtın varlığını ortaya çıkarmıştır. Maksimum yarıçaplı alanın belirlenebilmesi için diğer parçalarla çakışmama kısıtının Şekil 3.5. ve 3.6.'deki gibi sağlanması gerekmektedir.



Şekil 3.5. Arta Kalan Parça ile Kesilen Parçaların Boy Parametrelerinin Çakışmaması



Şekil 3.6. Arta Kalan Parça ile Kesilen Parçaların Boy Parametrelerinin Çakışmaması

Eşitlik 3.16. karar değişkenlerinin tamsayı olma kısıtıdır.

Problemin çözümü ile elde edilmesi istenen karar değişken bilgileri aşağıda sıralanmıştır:

- 1) Kesilmesi istenilen parçaların (x,y) koordinatları
- 1) Arta kalan parçanın (x,y) koordinatları
- 2) Arta kalan parçanın yarıçapı

Problemin çözümü için gereken bilgiler ise aşağıdaki gibidir:

- 1) Kesilecek parçaların en ve boyu
- 2) Ana malzeme en ve boyu

Doğrusal programlama problemlerinin çözümü için geliştirilmiş olan simpleks vb. algoritmalar gerçek dünyada karşılaşılan büyük ölçekli doğrusal programlama modellerinin kabul edilebilir bir bilgisayar zamanı içerisinde (modern bilgisayarlarla birkaç saat içerisinde) çözme imkanı sağlar. Bu nedenden dolayı doğrusal programlama oldukça yaygın bir kullanım kazanmıştır. Maalesef aynı durum tamsayılı ve kombinatorik problemler için söz konusu değildir. Dolayısıyla bu alan literatürde hala geniş bir çalışma alanına sahiptir. Bu alanda temel bir takım teoriler üretilmiş olmasına rağmen büyük ölçekli problemler için uygulayıcıların makul zaman içinde çözüm elde edebileceği algoritmalar türetilmemiştir. Tam sayılı programlama problemlerinde bazı ya da tüm değişkenlerin tamsayı olmasını gerektiren kısıtların varolması çözümleme bakımından tamsayılı programlama problemlerini oldukça zor hale getirirler. Tamsayılı optimizasyon problemlerinin çoğu zor (hard) optimizasyon problemleri sınıfına girerler. Dolayısıyla DP problemleri çözüm için polinomial zaman gerektirirken, tamsayılı programlama problemlerinin çoğu NP (non-polinomial) sınıfından problemlerdir ve üstel hesaplama zamanı gerektirir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Problemin zorluk ve büyüklük derecelerine ve problem türüne göre geliştirilmiş çeşitli yöntemler mevcuttur. Bu yöntemlere dal sınır, düzlem kesme algoritmaları örnek olarak verilebilir. TP problemin büyüklüğü arttıkça sezgisel çözüm yöntemlerine başvurulduğu söylenebilir (Bakır ve Altunkaynak, 2003).

Çalışmada geliştirilen model yapısı tek amaçlı doğrusal olmayan tam sayılı optimizasyon problemidir. Bu problemin çözümü için LINGO optimizasyon programı kullanılmıştır. Program INP (integer nonlinear programming) problemini dal sınır yöntemi kullanarak çözmüş ve örnek çapı küçük olan problemlerde verimlilik göstermiştir.

3.2.2. Varsayımlar

Çalışmada aşağıdaki varsayımlar dikkate alınmıştır.

1. Kesilecek parça alanları toplamı ana malzeme alanından küçüktür.

2. Tek bir ana malzeme için problem çözümü yapılmıştır. Ve bu ana malzeme boyutlarının belli ölçülere sahip olduğu varsayılmıştır.
3. Bütün parçalar sabit bir yöndedir. Uzunluğu l genişliği w olan bir parça eğer parçanın boyutları birbirine eşit değilse uzunluğu w genişliği l olan parçadan farklıdır.
4. Yerleştirilecek parçaların kenarları ana parçanın kenarlarına paralel olarak yerleştirilir. Bu yüzden parçaların ana malzemeye yerleştirilirken döndürülme özelliği yoktur.
5. Yerleştirilecek hiçbir parçanın uzunluğu ve genişliği yerleştirileceği ana parçanın boyutundan büyük olamaz.
6. Genetik algoritma meta sezgisel yönteminde kromozom yapısı oluşturulurken en son iki genin arta kalan parçanın merkez koordinatlarını temsil etmektedir.
7. Her küçük parça ana parça üzerinde herhangi bir yere yerleştirilebilir.
8. İki parçanın yan yana gelmemesi gibi bir kısıtlama yoktur.

3.2.3. Meta-Sezgisel Yöntem

Optimizasyon problemlerinde kesin yöntemlerin aksine sezgisel yöntemler optimal çözümü garanti etmemektedirler. Buna rağmen sezgisel yöntemlerin kullanılması için birçok neden bulunmaktadır (Bakır ve Altunkaynak, 2003). Bu nedenler;

- i. Kesin formülizasyonu ve çözüm yöntemi olmayan problemler için sezgisel yöntemler kullanılabilir.
- ii. Problem için kesin çözüm yöntemleri olsa bile büyük ölçekli problemler için yoğun hesaplama gereklilikleri ve çözüm zamanı bakımından sıkıntı söz konusu olduğunda sezgisel yöntemler tercih edilir.
- iii. Sezgisel yöntemler aynı zamanda dal sınır çözüm yönteminde optimal çözümün sınırlarını hesaplamak için kullanılmaktadır.

Geliştirilen matematiksel modelin küçük çaplı problemlerde global optimum değer olarak yerleşim planının oluşturması bir avantaj oluştururken büyük çaplı problemlerde çözüm sürelerinin oldukça uzun olması dezavantaj oluşturmaktadır. Bu sebepten çalışma kapsamında meta-sezgisel yöntemlerden olan genetik algoritma geliştirilmiş ve büyük çaplı problemler için çözüm aranmıştır.

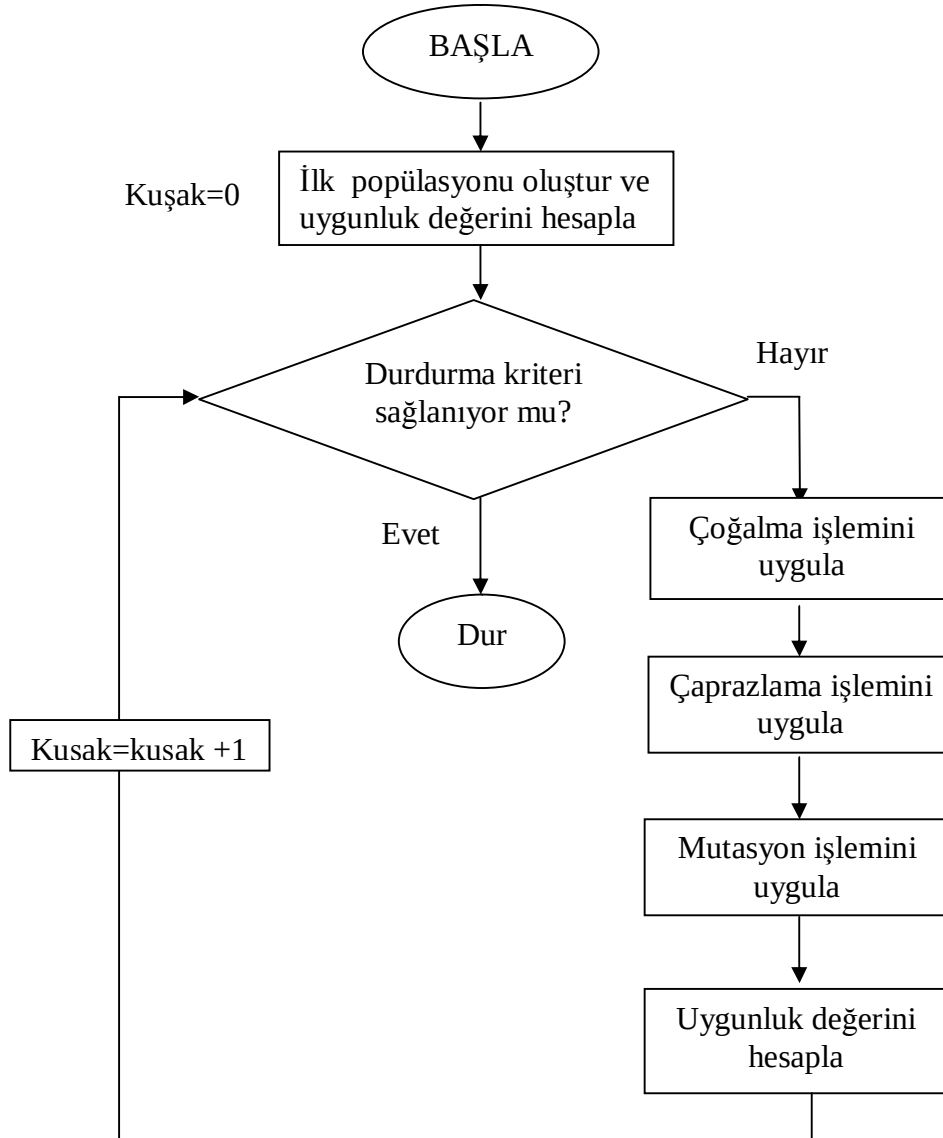
3.2.3.1. Genetik Algoritmanın Tanımı

Genetik algoritmalar (GA) klasik yöntemlerle çözümü zor olan problemlere çözüm bulmak amacıyla biyolojik evrim sürecinin bilgisayar ortamında kodlandığı ve bu evrim süreci kullanılarak optimum ya da optima yakın sonuçların araştırıldığı bir arama yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu yaklaşımın temelini Holland (1975) ortaya atmıştır. Karmaşık ve çok yönlü arama uzayında global optimumu bulabilen ve yönlendirilmiş rassal arama tekniği olarak tanımlanabilecek GA ise ilk defa John Holland tarafından ortaya konulmuştur (Pham ve Karaboğa, 2000).

Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritma, parametre kümesini değil kodlanmış biçimlerini kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritma, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (Goldberg, 1989: 1-7). Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır (Emel, Taşkın 2002).

GA, temelde Darwin'in en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak doğal seleksiyon ve popülasyon genetiği mekanizmalarını simüle eden, belirli veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılan bir rassal arama algoritmasıdır. GA tekniği nispeten yeni bir algoritma tekniğidir ve bununla ilgili çalışmalar devam etmekte, üzerine yenilikler denenmektedir. GA ile arama düşüncesinin temelinde hayatta kalma ve adaptasyondan meydana gelen biyolojik süreçler yatmaktadır. Bunun sonucu kompleks uzaylarda çözüm arayabilen çok esnek ve etkili bir algoritmadır (Goldberg, 1989; Pham ve Karaboğa, 2000; Uçaner, 2000).

Basit genetik algoritma akış şeması aşağıdaki gibi tanımlanabilir.



Şekil 3.7. Basit Genetik Algoritma Akış Şeması (Emel ve Taşkın,2002)

3.2.3.2. Genetik Algoritma Adımları

i.Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması

Başlangıç çözümünde olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubu popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. Kodlama türleri aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- İkili Dizi Gösterimi
- Tamsayı Gösterimi
- Gerçel Sayı Gösterimi

Kesme ve yerleştirme problemlerinde yerleştirme ile ilgili geliştirilen algoritmalar kullanılmadığında parçaların koordinatlarına göre yerleşimin yapılması probleminde gerçel sayı gösteriminin kullanılması gerekmektedir. Gösterimde tamsayı veya gerçel sayıların kullanılması, kodlama ve kod çözme işlemlerine gerek bırakmadığından problem çözümlerini bulmada zaman açısından ikili dizi gösterime göre daha avantajlıdır (Söke, 2003).

Başlangıç popülasyonu oluşturulurken kromozomlardaki çözüm seçeneklerinin üretilmesi için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bunlar;

- Rastgele bir sayı üretici tarafından rastgele üretilmiş olası çözümler
- Problem için belirli koşul ve kısıtlamaları karşılayan olası çözümler

Belli kısıtlar altında çözümlerin oluşturulması ön bilgi gerektirmektedir. Ön bilgiler doğrultusunda kromozomların oluşturulduğu algoritma, tamamen rastgele oluşturulan kromozomların kullanıldığı algoritmaya göre daha hızlı çözüm vermektedir.

Geliştirilen genetik algortmada gerçel sayı gösterimi ile kromozom yapısı oluşturulmuş ve her bir gerçel sayı değeri belli sınırlar içinde rastgele olarak üretilerek optimum çözüm aranmıştır.

ii.Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Bir nesil oluşturulduktan sonraki ilk adım, popülasyondaki her üyenin uygunluk değerini hesaplama adımıdır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için i. üyenin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (Jang, 1997). Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. 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 nesilde daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki nesilde temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Yeniay, 2001).

iii. Genetik Algoritma Operatörlerinin Uygulanması

a. Çoğalma İşleminin Uygulanması: Çoğalma operatöründe diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve iyi kalıtsal özellikleri gelecek kuşağa daha iyi aktaracak bireyler seçilir. Üreme operatörü yapay bir seçimdir. Dizileri uygunluk değerlerine göre kopyalama, daha yüksek uygunluk değerine sahip dizilerin, bir sonraki nesildeki bir veya daha fazla yavruya daha yüksek bir olasılıkla katkıda bulunması anlamına gelmektedir. Çoğalma, bireyleri seçme işleminden, seçilmiş bireyleri bir eşleme havuzuna kopyalama işleminden ve havuzda bireyleri çiftler halinde gruplara ayırma işleminden oluşur (Fırlı, 2002: 3). Uygunluk değerinin hesaplanması adımıdan sonra mevcut nesilden yeni bir popülasyon yaratılmalıdır. Seçim işlemi, bir sonraki nesil için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımadır. Seçim yöntemlerine;

- Rulet Tekerleği Seçimi,
- Turnuva Seçimi ve
- Sıralama Seçimi gibi seçim yöntemleri örnek verilebilir.

b. Çaprazlama İşleminin Uygulanması: Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki nesilden daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü kullanılmaktadır.

Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır (Jang, 1997). Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır.

İkili dizi gösterimi için kullanılan çaprazlama işlemcileri (Söke, 2003: Beasley, 1993'den):

- Tek noktalı çaprazlama
- İki veya çok noktalı çaprazlama
- Düzenli çaprazlama

Tamsayı gösterimi için kullanılan çaprazlama işlemcileri (Söke, 2003: Goldberg, 1989'dan):

- Sıralamaya Dayalı Çaprazlama (ordered Based Crossover-OBX)
- Devirli Çaprazlama (Cycle Crossover-CX)
- Sıralı Çaprazlama (Order Crossover-OX)
- Kısmi yerleştirmeli Çaprazlama (partially matced crossover- PMX)
- Düzenli Çaprazlama (Uniform Crossover-UX)
- Stefan Jakobs Çaprazlama (Stefan Jakobs Crossover-SJX)

Gerçel Sayı gösterimi için kullanılan çaprazlama işlemcileri:

- Huristik çaprazlama
- Aritmetik çaprazlama

Çalışmada çaprazlama operatörünün optimum çözüme yakınsamadaki etkisinin çok küçük olması hatta bazı çözümlerde çakışmama kısıtını olumsuz etkilemesinden dolayı olumsuz olması gözlemlenmiştir. Klasik çaprazlama yöntemlerinin (tek noktada, çift nokta) ve gerçel sayı gösterimi için kullanılan aritmetik çaprazlama operatörleri çözüm algoritmasında denemiş olumlu bir etki

sağlanamadığından bu çalışmada sadece mutasyon operatörü kullanılarak optimum çözüme ulaşılabacaktır.

Mutasyon İşleminin Uygulanması: 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. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg, 1989). İkili kodlama sisteminin kullanıldığı problemlerde mutasyon, düşük bir olasılık değeri altında bir bit değerini (0 veya 1 olabilir) diğer bit değerine dönüştürür. İkili kodlama sisteminin kullanılmadığı problemlerde ise, daha farklı mutasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Tam sayı gösterimleri için kullanılan mutasyon operatörü (Söke, 2003: Leung ve arkadaşları, 2001'den):

- Yer değiştirme mutasyonu
- Üçlü yer değiştirme mutasyonu
- Kaydırma mutasyonu
- Ters mutasyon
- Bitişik mutasyon
- Sınır mutasyonu

Çalışmada sıralı mutasyon operatörü kullanılarak yeni bireyle oluşturulmuştur. Kromozomda rastgele silen bir parçaya ait koordinat değerleri ana malzeme dışına taşmayacak şekilde oluşturulan sınır kısıtları altında yeniden üretilerek çözüm aranacaktır. Çalışmalar kapsamında hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır (Emel ve Taşkın, 2002: Braysy, 2001'den).

iv. Yeni Nüfusun Oluşması ve Döngünün Durdurulması

Yeni nüfusun oluşturulmasında ana kriter nüfus büyüklüğünün eski nüfus büyüklüğüne eşit olmasıdır. Yeni nüfus oluşturmanın durma kriterleri ise istenilen iterasyon sayısına ulaşılması veya uyum fonksiyon değerinin istenilen büyüklükte olması durumunda gerçekleşmektedir.

Genel olarak genetik algoritmalarda kullanılan operatörler bu başlık altında incelenmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen genetik algoritma ve bu algorithma kullanılan operatörler bir sonraki bölümde detaylandırılacaktır.

3.2.3.3. Arta Kalan Alanın En Büyüklenmesi İçin Geliştirilen Sezgisel Yaklaşım

- i. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması: Geliştirilen sezgisel yöntemde başlangıç popülasyon oluşturulurken kromozom yapısı Şekil 3.8.'deki gibi tanımlanmıştır.



Şekil 3.8. Problemdeki Kromozom Yapısı

Bu kromozomda arta kalan parçanın maksimum daire olarak hesaplanabilmesi için arta kalan alan (m+1). parça olarak kromozomda yerini almaktadır. Kromozomda m adet parça bulunduğu ve her parçanın 2 adet karar değişkenine sahip olduğu görülmektedir. Arta kalan alan koordinatları da kromozoma eklenirse bir kromozom;

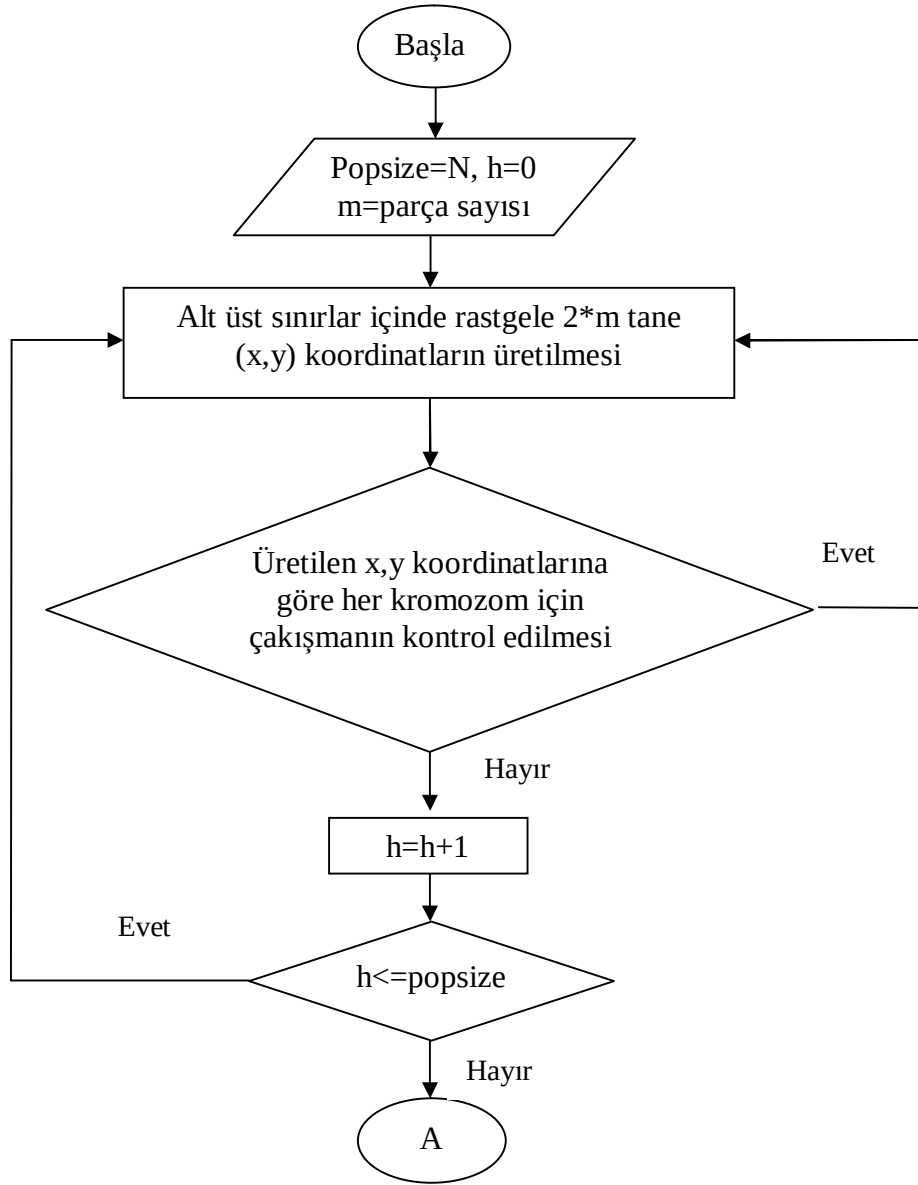
$$\begin{aligned} \text{Gen sayısı} &= 2(m+1) \\ &= 2m+2 \end{aligned}$$

adet karar değişkeninden yani genden oluşmaktadır.

Başlangıç popülasyon birçok kromozomun bir araya gelmesinden oluşmaktadır. Burada bir kromozom bir yerleşim planını temsil etmektedir. En iyi yerleşim planının sezgisel yöntem ile bulunabilmesi için yerleştirilecek parçaların (x,y) koordinatlarının rastgele olarak belirlenmesi gerekmektedir. Her gen için alt ve üst sınırlar belirlenmiş ve bu sınırlar içinde rastgele sayı üretilerek gen değerleri ortaya koyulmuştur. Böylece alt ve üst sınırlar içinde rastgele sayı üretilerek parçaların ana malzeme sınırlarını aşmayacağı garantilenmiş olacaktır.

Geliştirilen algoritmada yerleşimi yapılacak parçaların rastgele (x,y) koordinatları üretildikten sonra bu parçalar arasında çakışma olup olmadığı kontrol edilmektedir. Eğer parçalar arasında çakışma mevcut ise aynı kromozom hafızadan silinip tekrar alt üst sınırlara arasında rastgele (x,y) koordinatları üretilmektedir. Bu işlemler dışarıdan girilen popülasyon büyüklüğü sağlanana kadar devam etmektedir.

Bu kısıtlar çerçevesinde üretilen rastgele gen değerleri çözüm süresini kısaltarak en iyi çözüme hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlayacağı düşünülmektedir. Şekil 3.9.'da başlangıç popülasyonun oluşturulması için geliştirilen sezgisel algoritmanın akış şeması görülmektedir.

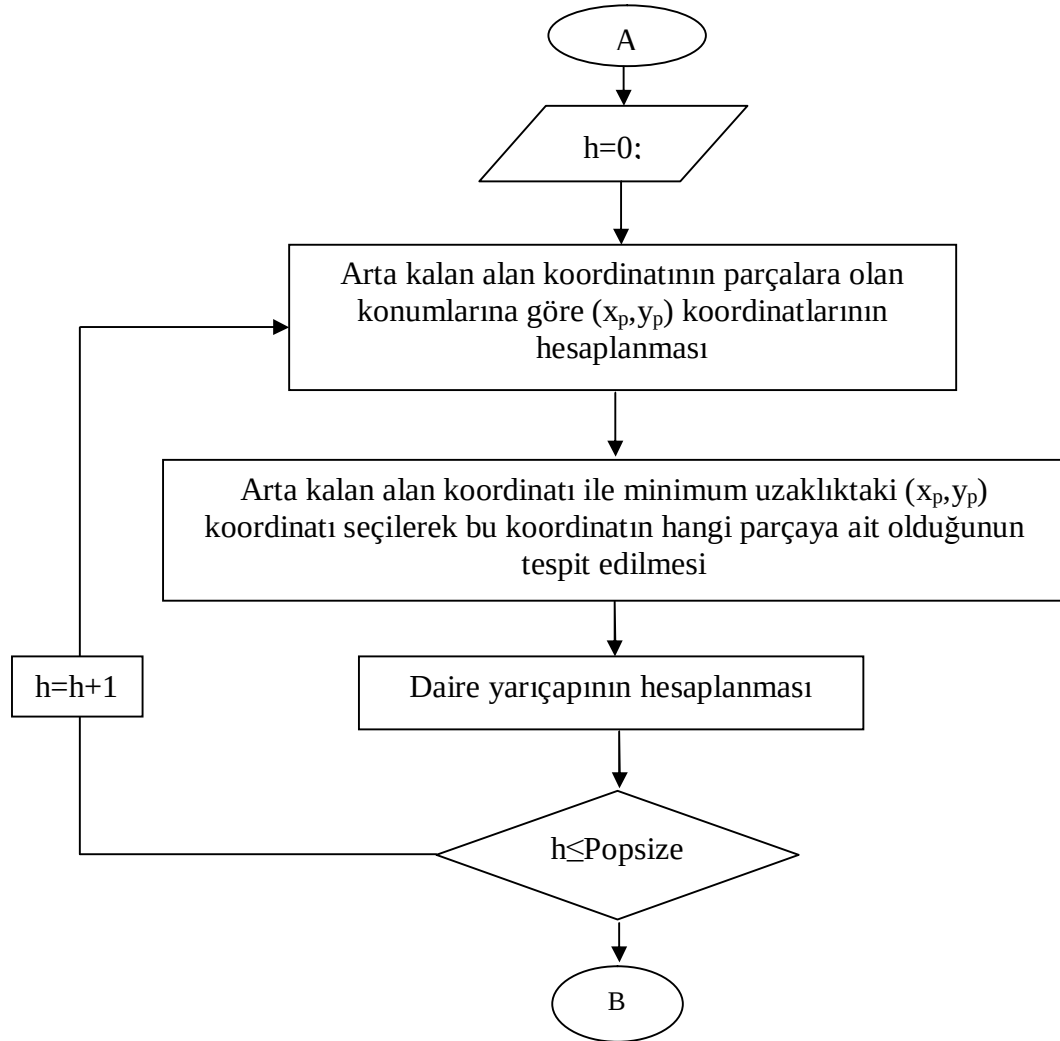


Şekil 3.9. Geliştirilen Algoritmanın Akış Şeması

- ii. Uyum Fonksiyonunun Hesaplanması: Başlangıç Popülasyonu oluşturulduktan sonra her kromozomun uyum fonksiyonu hesaplanmalıdır. Uyum fonksiyon değeri ile en yüksek uyum değerine sahip olan yerleşim planının (kromozomun) en iyiye en yakın yerleşim planı olduğu gözlemlenebilecektir. Bu problemde amacımız artı kalan daire alanını maksimize etmek olduğundan uyum fonksiyon değerini dairenin yarıçapı temsil edecektir.

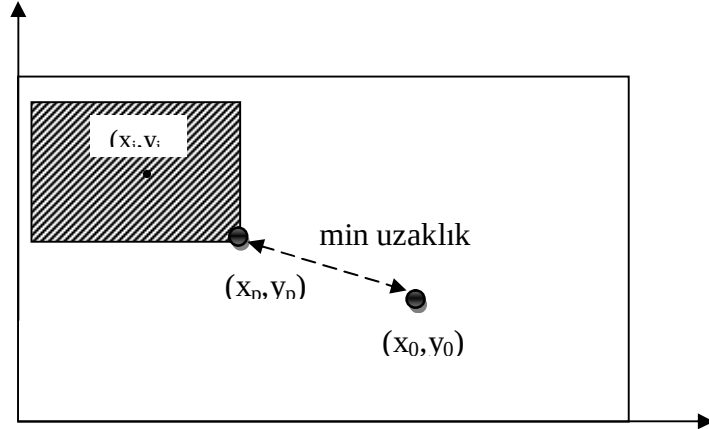
Uyum Fonksiyonu= r

Uyum fonksiyon değerinin hesaplanabilmesi için Şekil 3.11.'deki akış şeması işlemlerinin uygulanması gerekmektedir.



Şekil 3.10. Uyum Fonksiyonu Akış Şeması

Burada (x_p, y_p) köşe koordinatları hesaplanırken dikkat edilmesi gereken koşullar aşağıdaki formüllerde ifade edilmiştir. Şekil 3.11.'de verilen taralı parçanın rastgele atanan daire koordinatlarına minimum uzaklıkta olduğunu varsayarsak;



Şekil 3.11. Arta Kalan Parçanın Koordinatlarına En Yakın Noktanın Hesaplanması

y_p koordinatının hesaplanması;

$$\begin{aligned}
 |y_i - y_0| &> \frac{w_i}{2} \quad \text{ve} \quad y_i > y_0 \quad \text{ise} \quad y_p = y_i - \frac{w_i}{2} \\
 |y_i - y_0| &> \frac{w_i}{2} \quad \text{ve} \quad y_i < y_0 \quad \text{ise} \quad y_p = y_i + \frac{w_i}{2} \\
 |y_i - y_0| &< \frac{w_i}{2} \quad \text{ise} \quad y_p = y_0
 \end{aligned} \tag{3.14.}$$

x_p koordinatının hesaplanması;

$$\begin{aligned}
 |x_i - x_0| &> \frac{l_i}{2} \quad \text{ve} \quad x_i > x_0 \quad \text{ise} \quad x_p = x_i - \frac{l_i}{2} \\
 |x_i - x_0| &> \frac{l_i}{2} \quad \text{ve} \quad x_i < x_0 \quad \text{ise} \quad x_p = x_i + \frac{l_i}{2} \\
 |x_i - x_0| &< \frac{l_i}{2} \quad \text{ise} \quad x_p = x_0
 \end{aligned} \tag{3.15.}$$

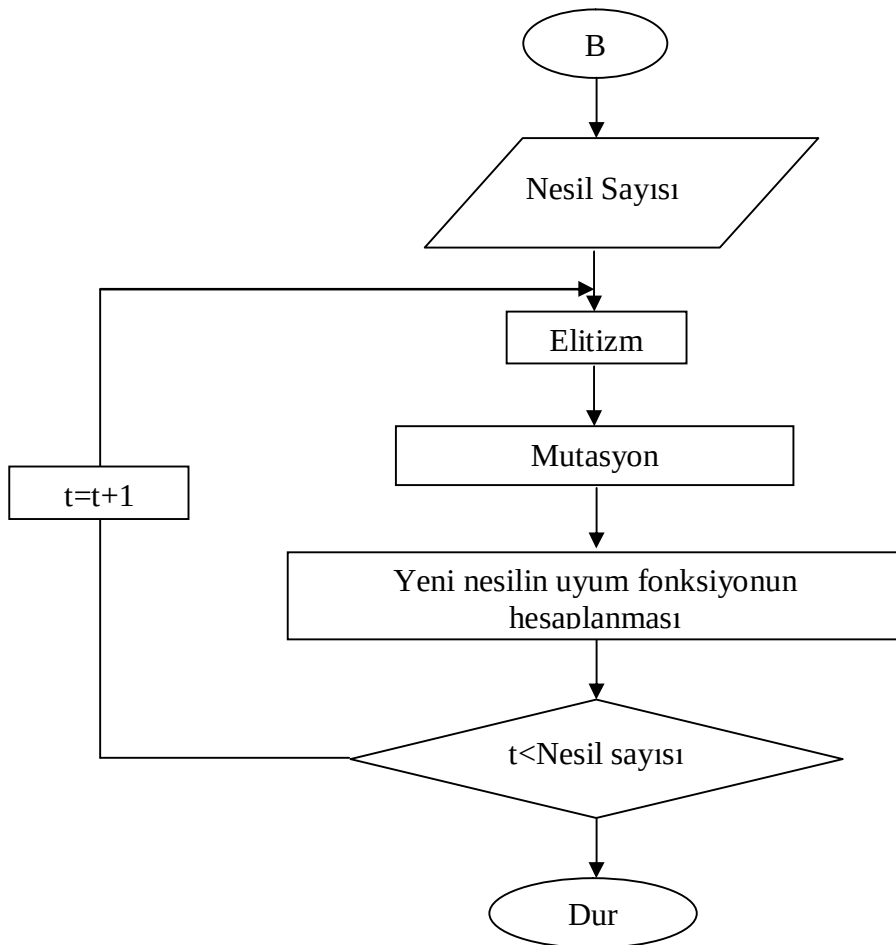
Koşulların sağlandığı aralıktaki x_i ve y_i değerleri için sırasıyla x_p ve y_p koordinat noktaları hesaplanabilecek ve (x_p, y_p) koordinatı ile daire koordinatı arasındaki uzaklık 3.16. formülü kullanılarak hesaplanabilecektir.

$$r = \sqrt{(x_p - x_0)^2 + (y_p - y_0)^2} \tag{3.16.}$$

Sezgisel çözümde maksimum yarıçap (r) değerine ulaşabilmek için dairenin diğer parçalar ile çakışmama ve ana malzeme sınırları dışına taşmama koşulları her adımda dikkate alınmıştır. Bu yüzden yarıçap hesabında ana malzeme dışına taşmayacak şekilde maksimum r değerinin elde edilebilmesi için (x_0, y_0) noktasının ana malzeme kenarlarına olan uzaklıkları da hesaplanmıştır.

Bu hesaplar her kenar için yapılarak 4 adet uzunluk değeri daha elde edilmiştir. Bu uzunluk değerleri içinden en küçük değere sahip olan koordinat artı kalan alanın yarı çap hesabında kullanılacak 2. noktayı temsil etmektedir.

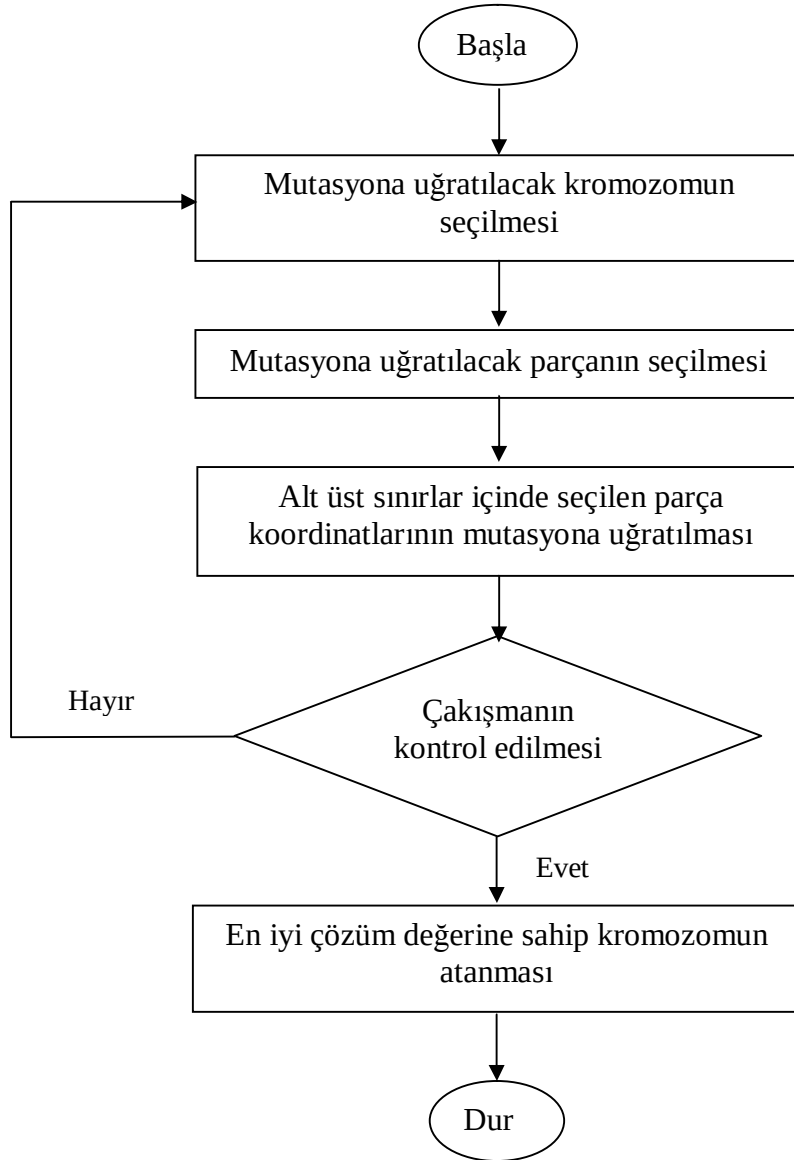
Genetik Algoritma Operatörleri: Sezgisel algoritma geliştirilirken elitizm ve mutasyon operatörleri dikkate alınmıştır. Şekil 3.12.'deki akış şemasında genetik algoritma operatörlerinin kullanım sırası verilmiştir.



Şekil 3.12. Genetik Algoritma Operatör Akış Şeması

Bu çalışmada çaprazlama operatörü kullanılmamıştır. Problemde tasarlanan kromozom yapısı parçaların (x,y) koordinatlarından oluştuğundan klasik çaprazlama yöntemleri (tek noktada çaprazlama, çift noktadan çaprazlama vb.) kullanıldığında parçaların çakışma problemi ortaya çıktığı gözlemlenmiştir. Bu durum genetik algoritma akışının sürekli döngüye girmesi ve sürekli çakışma olmasından dolayı en iyi çözümü yakalayamama olasılığının yüksek olmasına sebep olmaktadır. Daha önce iki boyutlu daire kesim problemi üzerinde yapılan çalışmalarda da klasik çaprazlama yöntemlerinin problemin çözümünü olumsuz etkilediği görülmüş ve bu çaprazlama operatörü yerine farklı operatörler (kaydırma operatörü vb.) ile çözüm arandığı gözlemlenmiştir (Seydanoğlu 2007).

- iii. Elitizm Operatörü: Bir sonraki nesile en iyi çözüm kombinasyonunun aktarılması için elitizm operatörüne ihtiyaç vardır. Elitizm operatörü kullanılarak en iyi yarıçap değerine sahip parça yerleşim çözümünün bir sonraki nesile aktararak yeni nesilde oluşan en iyi çözüm değerlerinin kıyaslanmasını sağlamaktadır. Çalışmada bir önceki nesildeki en iyi yarıçap değerine sahip olan kromozom bir sonraki nesile aktararak uyum fonksiyon değerinin maksimizasyonuna katkı sağlanacaktır. En iyi bir kromozomun seçimi popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak hesaplanmaktadır. Ve seçilen bu kromozoma mutasyon işlemi yapılmadan aynı şekilde korunması sağlanacaktır.
- iv. Mutasyon Operatörü: Başlangıç popülasyonu sonunda sıralanan bireylerin belli bir oranı mutasyona uğratılmadan koruma altına alındıktan sonra mutasyon oran değerine göre kaç adet genin mutasyona uğratılacağı tespit edilecektir. Bu sayı kadar mutasyon işlemi devam edecek mutasyon sayısı tamamlandığında yeni popülasyon oluşmuş olacaktır. Mutasyon sonucunda oluşan yeni bireylerin uyum fonksiyon değerleri hesaplanarak en iyiden en kötüye doğru tekrar sıralama yapılacaktır.



Şekil 3.13. Mutasyon Operatörünün Akış Şeması

Mutasyon operatörü uygulanırken kromozom yapısının tek sıra numarasına sahip genleri x koordinatını çift sıra numarasına sahip genleri ise y koordinatını temsil etmektedir. Klasik mutasyonda, her seferinde rastgele seçilen kromozomun rastgele seçilen bir genin mutasyona uğraması olayı gerçekleşmektedir. Bu durum incelendiğinde problemin kromozom yapısından dolayı bir parçayı sadece ya x eksenini boyunca ya da sadece y eksenini boyunca yer değiştirebildiği gözlenmiştir. Ana levha üzerinde bir mutasyon ile çapraz olarak yer değiştiremeyen parçaların en iyi çözüme ulaşmada sıkıntı yaratacaktır. Bu olumsuzluğun giderilmesi için mutasyona

uğrıtılacak genler yerine mutasyona uğrıtılacak parça koordinatları rastgele seçilmektedir. Mutasyona uğrıtılan her gen çifti kromozomdaki parçaların çakışmasına yol açıp açmadığı kontrol edilerek tekrarlanmaktadır.

- v. Durdurma Kriteri: Genetik algoritma yönteminde istenilen amaç fonksiyonuna ulaşıldığında ya da maksimum jenerasyon sayısı sağlandığında en iyi nesile ulaşılmış olmaktadır. Çalışmada kullanılan sezgisel algoritmanın test edilmesinde optimizasyon programında global optimum değerin bulunabilmesi ile durdurma kriteri olarak uyum fonksiyon değeri dikkate alınacaktır. Daha sonra büyük örnek çaplı problemlerin çözümünde arta kalan alanın maksimize edilmesi ile ilgili sezgisel model kurulduğundan maksimum amaç fonksiyon değerinin durdurma kriteri olarak kullanmak yerine jenerasyon sayısının sağlandığı nesildeki en iyi amaç fonksiyon değerine ulaşmak hedeflenmektedir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada iki boyutlu dikdörtgen şekilli parçaların bir ana parçadan kesilmesi probleminde parçaların birbirine en yakın mesafede yerleştirilme kısıtı göz ardı edilerek arta kalan parçadan en büyük yarıçaplı dairenin kesilmesi hedeflenmiştir. Bu bölümde kurulan matematiksel modelin doğruluğu 32 bit işletim sistemine sahip 1.86 Ghz hızında bilgisayar kullanılarak ispatlanıp test problemleri üzerinde denemeler yapılacaktır. Aynı test problemlerinin genetik algoritma çözümleri yapıp büyük çaplı problem çözümü verilecektir.

4.1. Matematiksel Model

4.1.1. Parça Çeşit Sayısı Sınırlı Olan Problem İçin Matematiksel Model

- i. Test Problemi 1: Parça çeşit sayısı sınırlı olan problemler için belirlenen test problemi-1'in çözümü LINGO 8.0 paket programında yapılarak model sonucu global optimum olarak bulunmuştur ve EK-1'de program çıktıları verilmiştir. Test probleminde 3 adet parça yerleşimi dikkate alınıp modelde kullanılan sabit notasyonlar Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Test Problemi-1 Sabit Notasyon Değerleri

Ana Malzeme Boyu (L_0)	8 br
Ana Malzeme Eni (W_0)	8 br
Kesilecek 1. Parçanın Boyu (l_1)	4 br
Kesilecek 2. Parçanın Boyu (l_2)	4 br
Kesilecek 3. Parçanın Boyu (l_3)	4 br
Kesilecek 1. Parçanın Eni (w_1)	4 br
Kesilecek 2. Parçanın Eni (w_2)	4 br
Kesilecek 3. Parçanın Eni (w_3)	4 br

Bu değerler (3.10.) - (3.16) eşitsizliklerinde yerine koyularak aşağıdaki matematiksel model oluşturulmuştur.

Amaç Fonksiyonu;

$$\text{Max } Z = r_0 * Z_0$$

Ana malzeme sınırları dışına taşmama kısıtı;

$$4/2 \leq x_1 \leq 8 - 4/2$$

$$4/2 \leq x_2 \leq 8 - 4/2$$

$$4/2 \leq x_3 \leq 8 - 4/2$$

$$4/2 \leq y_1 \leq 8 - 4/2$$

$$4/2 \leq y_2 \leq 8 - 4/2$$

$$4/2 \leq y_3 \leq 8 - 4/2$$

$$r_0 \leq x_0 \leq 8 - r_0$$

$$r_0 \leq y_0 \leq 8 - r_0$$

Parçaların birbiri ile çakışmama kısıtları;

$$|x_2 - x_1| \geq \frac{4+4}{2} * Z_1 * Z_2 \quad \text{veya} \quad |y_2 - y_1| \geq \frac{4+4}{2} * Z_1 * Z_2$$

$$|x_3 - x_2| \geq \frac{4+4}{2} * Z_3 * Z_2 \quad \text{veya} \quad |y_3 - y_2| \geq \frac{4+4}{2} * Z_3 * Z_2$$

$$|x_3 - x_1| \geq \frac{4+4}{2} * Z_1 * Z_3 \quad \text{veya} \quad |y_3 - y_1| \geq \frac{4+4}{2} * Z_1 * Z_3$$

Arta kalan daire parçanın diğer parçalar ile çakışmama kısıtları;

$$|x_1 - x_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_1 * Z_0 \quad \text{veya} \quad |y_1 - y_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_1 * Z_0$$

$$|x_2 - x_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_2 * Z_0 \quad \text{veya} \quad |y_2 - y_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_2 * Z_0$$

$$|x_3 - x_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_3 * Z_0 \quad \text{veya} \quad |y_3 - y_0| \geq r_0 + \frac{4}{2} * Z_3 * Z_0$$

Bütün parçaların ana malzemeden kesilme şartı;

$$Z_1 = 1$$

$$Z_2 = 1$$

$$Z_3 = 1$$

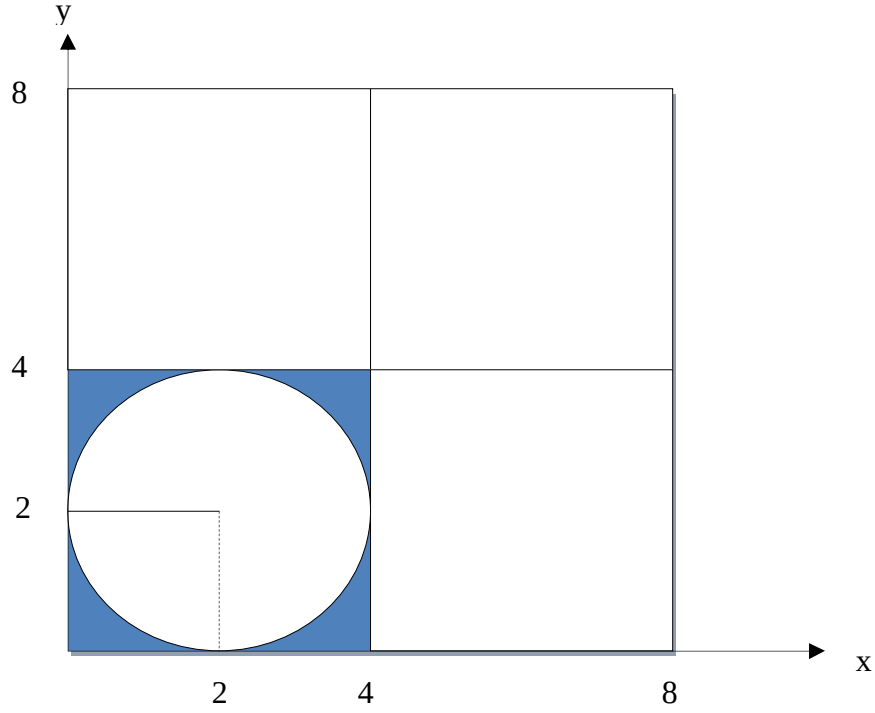
$$Z_0 = 1$$

Bu kısıtlar altında matematiksel model LINGO 8.0 paket programında çözülerek global optimum çözüm bulunmuştur. Bu problem toplamda 9 değişken ve 23 kısıta sahip olup elde edilen yerleşim planında amaç fonksiyon değeri yani arta kalan alandan kesilebilecek dairenin yarıçapı maksimum 2 br olarak hesaplanmıştır. Test probleminde global optimum sonuç 3 saniye de bulunmuştur. Karar değişken değerleri Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Test Problemi-1 Karar Değişken Değerleri

Karar Değişkenleri	x_i	6	2	6
	y_i	6	6	2
	y₀	2		
	x₀	2		
	R	2		
Süre		3 saniye		

Karar değişken değerlerinin belirlenmesi ile parça yerleşimleri sayısal olarak yapılmıştır. Bu sayısal değerlerin ana levha üzerine yerleşimi Şekil 4.1.'deki gibidir.



Şekil 4.1. Test Problemi-1 için Parça Yerleşim Şekli

- ii. Test Problemi 2: Parça çeşit sayısı sınırlı olan problemler için belirlenen test problemi-2'in çözümü LINGO 8.0 paket programında yapılarak model sonucu global optimum olarak bulunmuştur ve EK-1'de program çıktıları verilmiştir. Test probleminde 4 adet parça yerleşimi dikkate alınıp modelde kullanılan sabit notasyonlar Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Test Problemi-2 Sabit Notasyon Değerleri

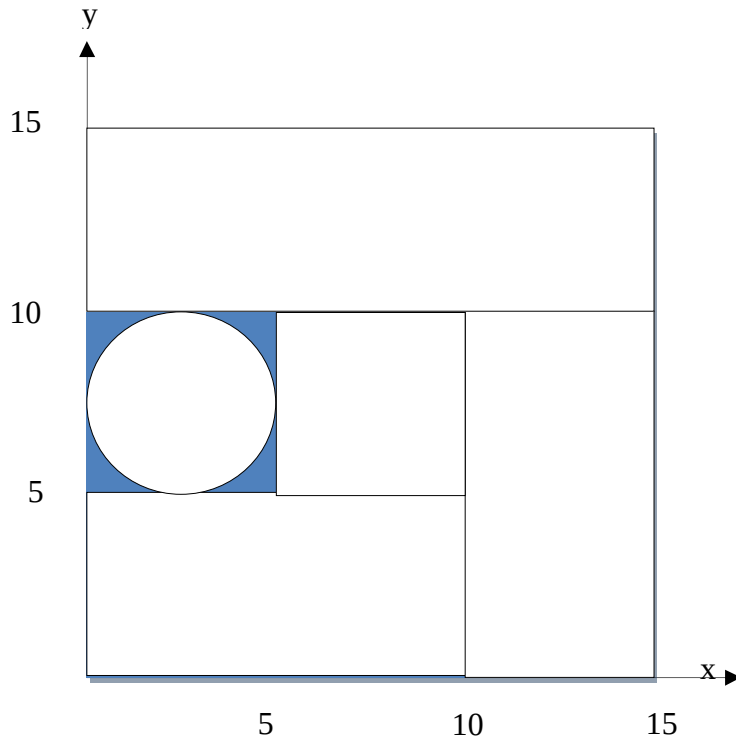
Ana Malzeme Boyu (L_0)	15 br
Ana Malzeme Eni (W_0)	15 br
Kesilecek 1. Parçanın Boyu (l_1)	10 br
Kesilecek 2. Parçanın Boyu (l_2)	5 br
Kesilecek 3. Parçanın Boyu (l_3)	15 br
Kesilecek 4. Parçanın Boyu (l_4)	5 br
Kesilecek 1. Parçanın Eni (w_1)	5 br
Kesilecek 2. Parçanın Eni (w_2)	10 br
Kesilecek 3. Parçanın Eni (w_3)	5 br
Kesilecek 4. Parçanın Eni (w_4)	5 br

Matematiksel model LINGO 8.0 paket programında çözülerek global optimum çözüm bulunmuştur. Bu problem toplamda 11 değişken ve 31 kısıta sahip olup elde edilen yerleşim planında amaç fonksiyon değeri yani arta kalan malzemeden kesilebilecek en büyük dairenin alanın yarıçapı maksimum 2,49 br olarak hesaplanmıştır. Test probleminde global optimum sonuç 745 saniye de bulunmuş olup, karar değişken değerleri Çizelge 4.4.'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Test Problemi-2 Karar Değişken Değerleri

Karar Değişkenleri	x_i	5	12,5	12,5	7,5
	y_i	2,5	5	12,5	7,5
	y_0	7,5			
	x_0	2,49			
	R	2,49			
Süre		745 saniye			

Karar değişken değerlerinin belirlenmesi ile parça yerleşimleri sayısal olarak yapılmıştır. Bu sayısal değerlerin ana levha üzerine yerleşimi Şekil 4.2.'deki gibidir.



Şekil 4.2. Test Problemi-2 için Parça Yerleşim Şekli

- iii. Test Problemi 3: Parça çeşit sayısı sınırlı olan problemler için belirlenen test problemi-3'in çözümü LINGO 8.0 paket programında yapılarak model sonucu global optimum olarak bulunmuştur ve EK-1'de program çıktıları verilmiştir. Test probleminde 5 adet parça yerleşimi dikkate alınıp modelde kullanılan sabit notasyonlar Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Test Problemi-3 Sabit Notasyon Değerleri

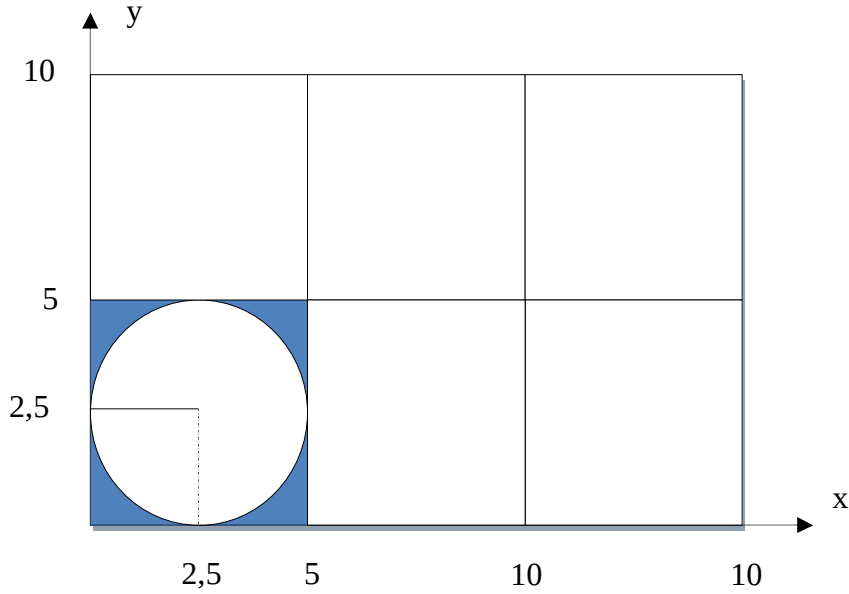
Ana Malzeme Boyu (L_0)	15 br
Ana Malzeme Eni (W_0)	10 br
Kesilecek 1. Parçanın Boyu (l_1)	5 br
Kesilecek 2. Parçanın Boyu (l_2)	5 br
Kesilecek 3. Parçanın Boyu (l_3)	5 br
Kesilecek 4. Parçanın Boyu (l_4)	5 br
Kesilecek 5. Parçanın Boyu (l_5)	5 br
Kesilecek 1. Parçanın Eni (w_1)	5 br
Kesilecek 2. Parçanın Eni (w_2)	5 br
Kesilecek 3. Parçanın Eni (w_3)	5 br
Kesilecek 4. Parçanın Eni (w_4)	5 br
Kesilecek 5. Parçanın Eni (w_5)	5 br

Matematiksel model LINGO 8.0 paket programında çözülerek global optimum çözüm bulunmuştur. Bu problem toplamda 13 değişken ve 40 kısıta sahip olup elde edilen yerleşim planında amaç fonksiyon değeri yani arta kalan malzemedan kesilebilecek en büyük dairenin yarıçapı maksimum 2,5 br olarak hesaplanmıştır. Test probleminde global optimum sonuç 5275 saniye de bulunmuş olup, karar değişken değerleri Çizelge 4.6.'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Test Problemi-3 Karar Değişken Değerleri

Karar Değişkenleri	x_i	12,5	7,5	2,5	7,5	12,5
	y_i	2,5	2,5	7,5	7,5	7,5
	y_0	2,5				
	x_0	2,5				
	R	2,5				
Süre		5275 saniye				

Karar değişken değerlerinin belirlenmesi ile parça yerleşimleri sayısal olarak yapılmıştır. Bu sayısal değerlerin ana levha üzerine yerleşimi Şekil 4.3.'deki gibidir.



Şekil 4.3. Test Problemi-3 için Parça Yerleşim Şekli

- iv. Test Problemi 4: Parça çeşit sayısı sınırlı olan problemler için belirlenen test problemi-3'in çözümü LINGO 8.0 paket programında yapılarak model sonucu global optimum olarak bulunmuştur ve EK-1'de program çıktıları verilmiştir. Test probleminde 5 adet parça yerleşimi dikkate alınıp modelde kullanılan sabit notasyonlar Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Test Problemi-4 Sabit Notasyon Değerleri

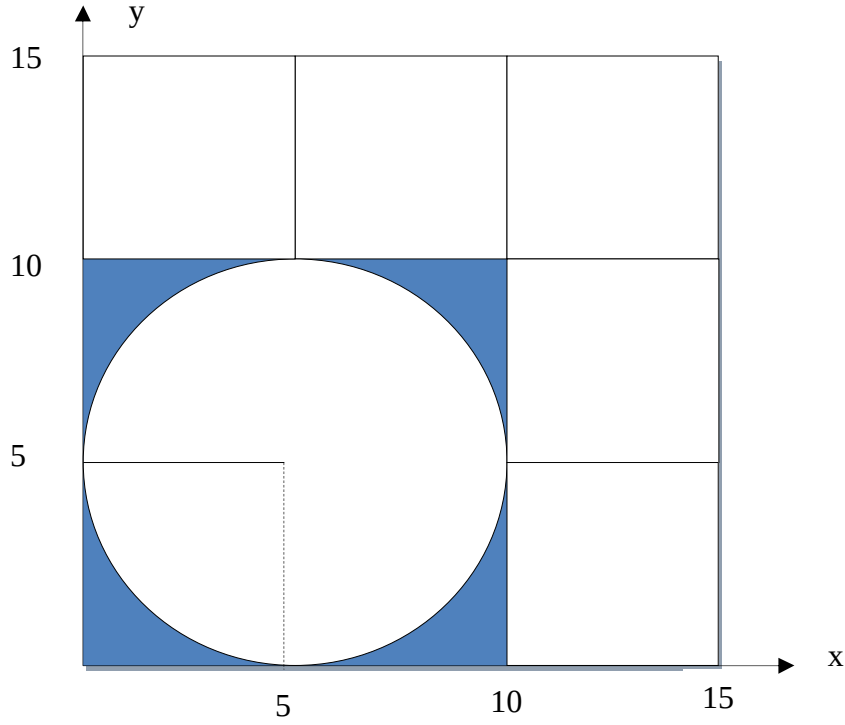
Ana Malzeme Boyu (L_0)	15 br
Ana Malzeme Eni (W_0)	15 br
Kesilecek 1. Parçanın Boyu (l_1)	5 br
Kesilecek 2. Parçanın Boyu (l_2)	5 br
Kesilecek 3. Parçanın Boyu (l_3)	5 br
Kesilecek 4. Parçanın Boyu (l_4)	5 br
Kesilecek 5. Parçanın Boyu (l_5)	5 br
Kesilecek 1. Parçanın Eni (w_1)	5 br
Kesilecek 2. Parçanın Eni (w_2)	5 br
Kesilecek 3. Parçanın Eni (w_3)	5 br
Kesilecek 4. Parçanın Eni (w_4)	5 br
Kesilecek 5. Parçanın Eni (w_5)	5 br

Matematiksel model LINGO 8.0 paket programında çözülerek global optimum çözüm bulunmuştur. Bu problem toplamda 13 değişken ve 40 kısıta sahip olup elde edilen yerleşim planında amaç fonksiyon değeri yani arta kalan malzemeden kesilebilecek dairenin yarıçapı maksimum 5 br olarak hesaplanmıştır. Test probleminde global optimum sonuç 950 saniye de bulunmuş olup, karar değişken değerleri Çizelge 4.8.'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Test Problemi-4 Karar Değişken Değerleri

Karar Değişkenleri	x_i	7,5	12,5	2,5	2,5	2,5
	y_i	12,5	12,5	12,5	7,5	2,5
	y_0	10				
	x_0	5				
	R	5				
Süre		950 saniye				

Karar değişken değerlerinin belirlenmesi ile parça yerleşimleri sayısal olarak yapılmıştır. Bu sayısal değerlerin ana levha üzerine yerleşimi Şekil 4.4'deki gibidir.



Şekil 4.4. Test Problemi-4 için Parça Yerleşim Şekli

- v. Test Problemi 5: Parça çeşit sayısı sınırlı olan problemler için belirlenen 10 parçalık test problemi-2'nin sabit notasyon değerleri Çizelge 4.9.'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. Test Problemi-5 Sabit Notasyon Değerleri

Ana malzeme Boyu (L_0)	25 br
Ana malzeme Eni (W_0)	15 br
Kesilecek 10 Parçanın Boyları (l_i)	5 br
Kesilecek 10 Parçanın Enleri (w_i)	5 br

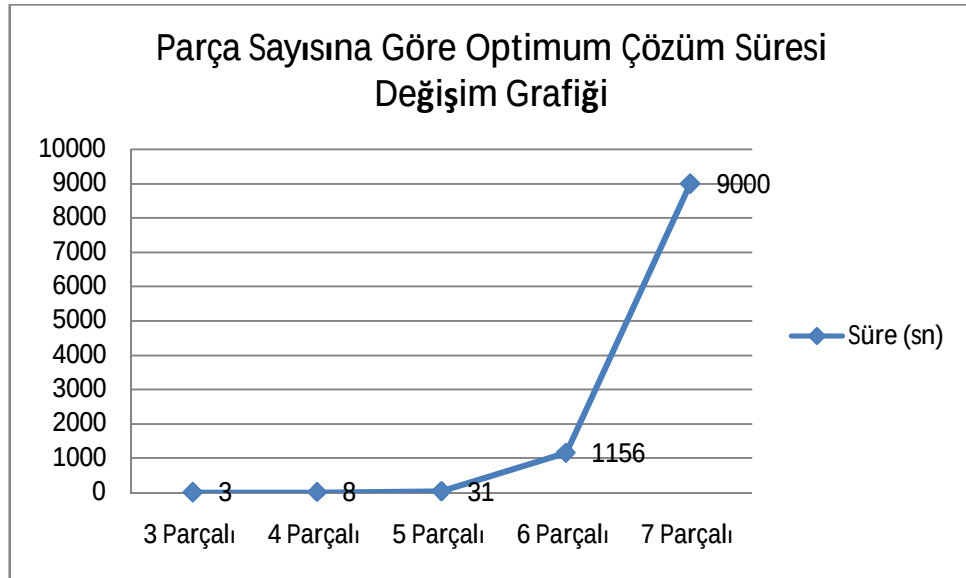
LINGO optimizasyon programı problem kombinasyonlarının çokluğu nedeniyle 37 saat 6 dakika 37 saniye çalıştırılmasına rağmen çözüm süresini tamamlayamamıştır.

Yapılan denemeler sonucunda kurulan matematiksel modelin problemin amaç fonksiyonunu karşılayacak şekilde global çözüm verdiğini fakat kesin çözümlerin ancak parça sayısı az olan problem çözümlerinde başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Ana levha boyu 25 br, eni 15 br ve kesilecek parçaların boyu ve eni 5 br olan bir problemde parça sayısının arttırılarak çözüm sürelerindeki değişim test edilmiştir. Yapılan deneyler ve bu deneylerin süreleri Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Kesilecek parça sayısının kesin çözüm süresine etkisi

Parça Sayısı	Süre (saniye)
3 Parçalı problem	3
4 Parçalı problem	8
5 Parçalı problem	31
6 Parçalı problem	1156
7 Parçalı problem	9000



Şekil 4.5. Parça Sayısına Göre Çözüm Süresinin Değişim Grafiği

Şekil 4.5.’de parça sayısı arttıkça çözüm süresinin hızlı bir şekilde arttığı görülmektedir. Parça sayısının yedi ve üzerinde olduğu problemlerde çözüm süresinin uzun olmasından dolayı sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Test

problemi-5’de parça sayısının 10 adet olması çözüm süresini uzatması stok kesim problemlerinin sezgisel algoritmalara ihtiyaç duyduğunu kanıtlamaktadır.

4.2. Geliştirilen Meta Sezgisel Yöntem

Çalışmanın bu adımında aynı kısıtlar ve amaç fonksiyonu altında sezgisel yöntem olarak bir genetik algoritma oluşturulmuştur. Geliştirilen sezgisel algoritma adımları matematiksel modeldeki 5 adet test problemi üzerinde uygulanıp sonuçları bu bölümde açıklanmıştır.

4.2.1. Genetik Algoritma Yönteminin Test Problemlerine Uygulanması

Genetik algoritma ile kurulan test problemlerinde problem-1 için kromozom yapısı Çizelge 4.11.’deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.11. Test Problemi-1 İçin Oluşturulan Kromozom Yapısı

X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X0	Y0
----	----	----	----	----	----	----	----

Kromozom büyüklüğü parça ve arta kalan parça sayısının iki katı olarak belirlenmiştir. Probleminde arta kalan parçadan kesilecek olan dairenin yarıçapını maksimize edebilmek için en iyi yerleşim koordinatlarının belirlenmesi gerekmektedir. Fakat arta kalan alandan kesilebilecek en büyük dairenin yarıçap uzunluğu çözüm elde edilmeden belirlenememektedir. Bu sebepten başlangıç popülasyonunda kesilecek $m+1$. parça olarak düşünülen dairenin koordinatları rastgele oluşturulurken dairenin bir kare olduğu varsayılacaktır.

4.2.1.1. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması

Problemde popülasyon büyüklüğü 10 olarak alınmıştır. Her çözüm kombinasyonu bir kromozomu oluşturduğundan başlangıç popülasyonunda 10 adet çözüm kombinasyonu oluşturulmuştur. Bu çözüm kombinasyonları oluşturulurken

her kromozomdaki parça koordinatlarının ana malzeme sınırları içinde kalma ve çakışmama kısıtlarını sağlayacak şekilde rastgele sayı üretimi yapılmıştır. Başlangıç popülasyonun oluşturulmasını hızlandırmak için parçaların yerleşim esnasında boy ve en ölçüleri kadar artış göstererek koordinatlarının belirlenmesi durumu dikkate alınmıştır.

Parça (x_i, y_i) koordinatları alt sınır ve üst sınır arasında rastgele üretilmiştir. Böylece parça yerleşimi yapılırken ana malzeme sınırları dışına taşmama koşulları otomatik olarak sağlanmıştır. Çizelge 4.12. ve 4.13.'de bu problem için oluşturulan alt-üst sınır değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.12. Karar Değişkeni Alt Sınırları

	parça 1	parça 2	parça 3	parça 4
LB(xi)	2	2	2	0,5
LB(yi)	2	2	2	0,5

Çizelge 4.13. Karar Değişkeni Üst Sınırları

	parça 1	parça 2	parça 3	parça 4
UB(xi)	6	6	6	7,5
UB(yi)	6	6	6	7,5

Örneğin; 1. Parça koordinatları aşağıdaki sınırlar içinde rastgele üretilmiştir.

$$2 \leq x_1 \leq 6$$

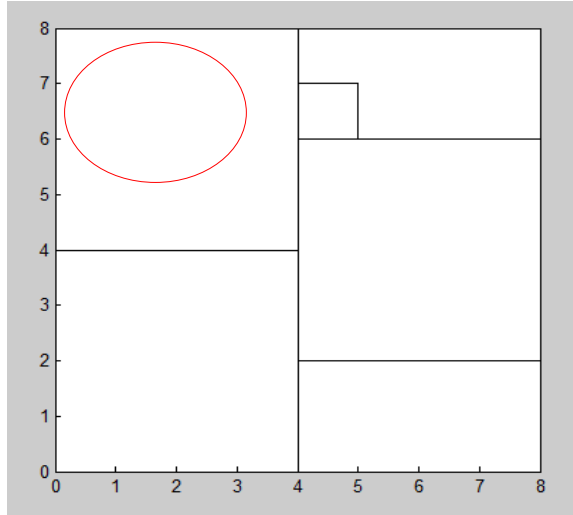
$$2 \leq y_1 \leq 6$$

Bütün parçalar için koordinatlar üretildikten sonra parçalar arasında çakışma olup olmadığının kontrolü yapılmıştır. Eğer parçalar arasında çakışma varsa alt-üst sınırlar arasında rastgele sayı üretimi tekrarlanacaktır. Sayı üretimi çakışma olmayana kadar devam ettirilmelidir. Bu kontrol popülasyon büyüklüğü sağlandığı an sonlandırılmış ve başlangıç popülasyonu Çizelge 4.14.'deki gibi oluşturulmuştur.

Çizelge 4.14. Başlangıç Popülasyon Parça Koordinat Değerleri

x1	y1	x2	y2	x3	y3	x0	y0	yarıçap (r)
6	4	2	2	2	6	4,5	6,5	0,5
6	6	6	2	2	6	0,5	3,5	0,5
2	2	6	2	4	6	6,5	7,5	0,5
2	2	6	4	2	6	4,5	6,5	0,5
6	2	2	4	6	6	3,5	6,5	0,5
6	2	6	6	2	6	3,5	3,5	0,5
6	2	2	4	6	6	2,5	6,5	0,5
2	6	6	2	6	6	2,5	1,5	1,5
6	6	2	2	6	2	2,5	7,5	0,5
6	2	2	2	6	6	1,5	4,5	0,5

Başlangıç popülasyonun ilk kromozomuna ait yerleşim şekli şekil 4.6.'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi başlangıçta arta kalan alanın merkez koordinat ataması yapılabilmesi için kırımları daire içindeki küçük kare koordinatları dikkate alınacaktır.



Şekil 4.6. Başlangıç Popülasyonunun İlk Çözüm Olasılığının Yerleşim Şekli

Bu popülasyonda her kromozomun uyum fonksiyonu yarıçapı ile doğru orantılıdır. Yarıçap büyüklüğü arttıkça algoritma en iyi çözüme yaklaşmaktadır. En iyi çözüm kromozomunun elde edilebilmesi için uyum fonksiyonları her kromozom için hesaplanıp hafızada tutulmaktadır. Çizelge 4.15.'de her kromozom için uyum fonksiyon değerleri görülmektedir. En yüksek uyum değerinin hangi sıradaki

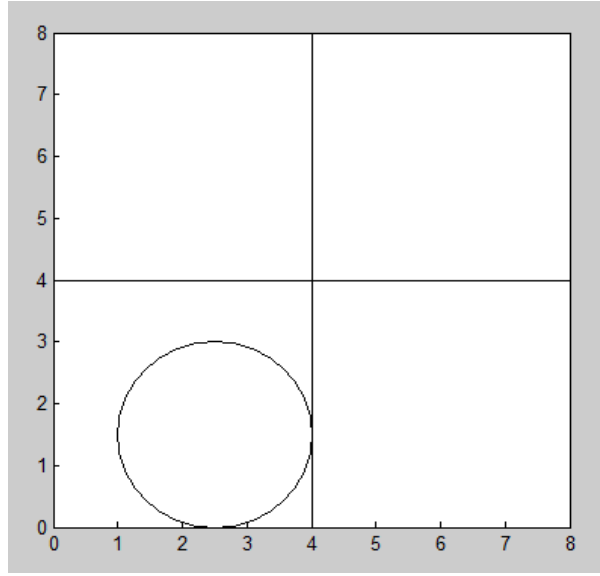
kromozoma ait olduğu belirlenmesi ile en iyi çözüme sahip olan kromozomların seçilmesine olanak sağlanmaktadır.

Çizelge 4.15. Uyum Fonksiyon Değerleri

Uyum Fonksiyon Değeri	Kromozom sırası
1,5	8
0,5	1
0,5	2
0,5	3
0,5	4
0,5	5
0,5	6
0,5	7
0,5	9
0,5	10

Daha sonra yarıçap ölçüleri büyükten küçüğe sıralanarak en iyi kromozomların bir sonraki nesile aktarılması sağlanmıştır. Problemde popülasyondan en iyi kromozomun bir sonraki nesile aktarılıp, bu kromozomun mutasyona uğratılmama şartı sağlanarak diğer kromozomların en iyi çözüm değerleri aranacaktır.

Başlangıç popülasyon uyum değerleri hesaplanıp en iyi çözüm veren kromozomdaki gen değerleri dikkate alınarak Şekil 4.7.’deki yerleşim yapılmıştır. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken Şekil 4.6.’de verilen yerleşim şeklinden farklı olarak arta kalan alandan kesilebilecek parçanın daire olarak gösterildiği Şekil 4.7.’de görülmektedir.



Şekil 4.7. Başlangıç Popülasyonun En İyi Çözüm Değerinin Çizimi

Yapılan yerleştirmelerde parçaların ve arta kalan alandan kesilecek olan daire sınırlarının ana malzeme dışına taşmadığı ve birbiri ile çakışma durumunun olmadığı görülmektedir. Başlangıç popülasyonu oluşturulurken koordinatların parça boy ve enleri dikkate alınarak atanması problemin optimum çözüme daha hızlı yakınsamasına fayda sağladığı tespit edilmiştir.

4.2.1.2. Genetik Algoritma Operatörlerinin Uygulanması

Bu problemde çalışılan yerleştirme algoritmasında çaprazlama operatörünün çakışma durumunu büyük ölçüde olumsuz etkilediği yapılan araştırmalar ve uygulamalar sonucunda tespit edilmiştir. Genetik algoritma operatörlerinden elitizm ve mutasyon operatörlerinin kullanılmasıyla optimum çözüme %95 güven düzeyinde yakınsadığı bu aşamada gösterilmektedir.

- i. Mutasyon operatörü: Rastgele olarak seçilen satır ve sütunlara denk gelen genler hangi parçayı temsil ediyorsa o parçanın boy ve en ölçüleri dikkate alınarak ana malzeme sınırları içinde kalacak şekilde rastgele sayı üretilmiştir. Yapılan mutasyon işleminin parçalar arasında çakışmaya sebep olduğu görülmektedir. Bu çakışmanın giderilmesi için algoritmada kontrol

mekanizması oluşturulmuştur. Kontrol sırasında parçalar arasında çakışma olduğu tespit edilirse rastgele seçilen genin alt üst sınırlar içerisinde yeniden üretilmesi gerekmektedir. Bu döngü kromozomdaki parçalar arasında çakışma olmayana kadar devam etmektedir.

Geliştirilen genetik algoritmada mutasyona uğrıtılacak genler seçilirken elitizm oranı kadar kromozom mutasyona uğrıtılmayacaktır. Bu kromozomlar dışındaki çözüm seçeneklerindeki parçaların yerlerinin değiştirilerek daha iyi çözümler aranmasında kromozom yapısından dolayı gen yerine parça seçimi yapılarak bu parçaları temsil eden gen çifti mutasyona uğrıtılmıştır. Bu yöntemin uygulanması ile parçanın çapraz olarak hareketine olanak sağlanmıştır. Böylece sadece x veya sadece y koordinatı boyunca parça yerlerinin değişmesinden doğan çözümsüzlük sıkıntılarının önüne geçilmiştir.

Çizelge 4.16.'da satır numarası ile rastgele seçilen kromozomlar ifade edilirken sütun numarasıyla bu kromozomlardaki mutasyona uğrıtılacak genler gösterilmektedir. Mutasyona uğrıtılacak genler rastgele olarak seçilmiştir.

Çizelge 4.16. Mutasyona Uğrıtılacak Genlerin Rastgele Belirlenmesi

Satır Numarası	2	3	3	3	4	4	5	...	8	9	10	10	10
Sütun Numarası	5	7	5	5	1	3	5	...	3	5	3	1	7

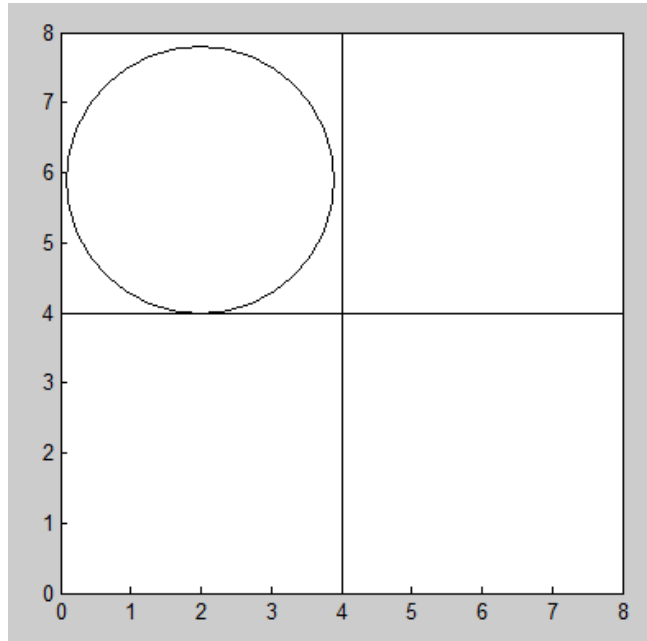
Çizelge 4.17.'de mutasyon sonucunda oluşturulan popülasyon ve bu popülasyon çözüm kombinasyonlarının uyum fonksiyonu olan yarıçaplar gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. Mutasyon Sonucunda Oluşan Yeni Popülasyon

x1	y1	x2	y2	x3	y3	x0	y0	yarıçap (r)
6	6	6	2	2	2	1,992585	5,903283	1,5
2	6	6	2	6	6	2,5	1,5	1,903283
6	2	2	6	6	6	2,599768	2,418607	1,400232
2	2	6	2	2	6	5,967294	5,276971	0,798422
6	2	6	6	2	6	2,834461	0,945776	0,945776
6	2	2	2	6	6	0,798422	6,476321	1,276971
2	2	6	4	2	6	4,830024	0,655568	0,570197
6	2	2	2	6	6	1,285634	4,653986	0,655568
6	4	2	2	2	6	7,429803	1,155304	0,653986
6	6	2	4	6	2	2,5	7,5	0,5

Çizelge 4.18. Mutasyon Operatörünün Uygulanması İle Elde Edilen Uyum Fonksiyon Değerleri

Uyum Fonksiyon Değeri	Kromozom sırası
1,903283	2
1,5	1
1,400232	3
1,276971	6
0,945776	5
0,798422	4
0,655568	8
0,653986	9
0,570197	7
0,5	10



Şekil 4.8. Mutasyon Operatörünün Yerleşime Etkisi

Bütün bu işlemler jenerasyon sayısı olarak belirlen değere kadar tekrarlanıp en büyük yarıçap değerine sahip çözüm alternatifleri bir sonraki nesile aktarılmış ve jenerasyon sonucunda Çizelge 4.12.’deki karar değişken değerleri elde edilmiştir.

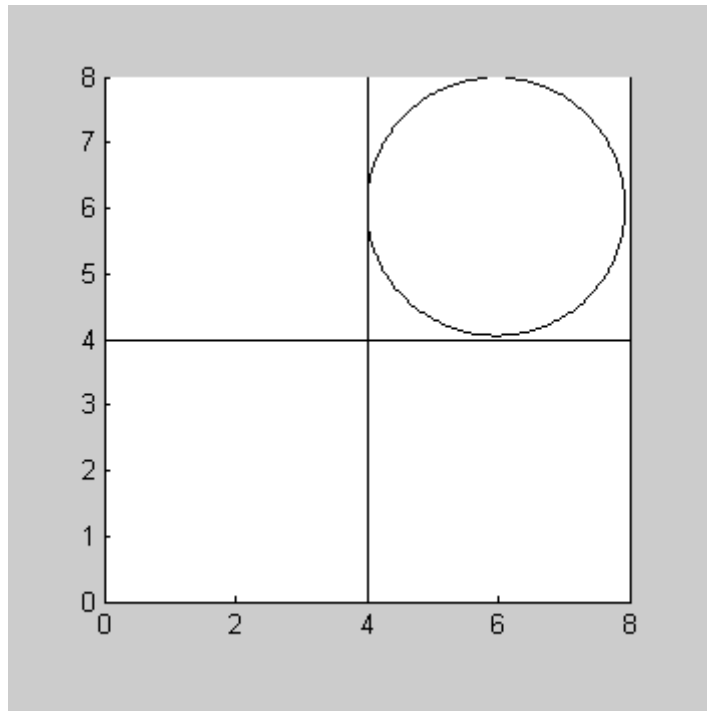
Çizelge 4.19. Nihai Popülasyon

x1	y1	x2	y2	x3	y3	x0	y0	yarıçap (r)
2	2	6	2	2	6	5,964874	6,024526	1,9649
6	2	6	6	2	2	2,47509	6,16711	0,5500
6	2	2	2	6	6	1,750066	4,950124	0,9310
6	2	2	4	6	6	1,856812	0,931027	1,5249
6	6	6	2	2	4	3,152733	1,227764	0,7722
2	2	6	4	2	6	6,10349	0,750982	0,7510
2	6	4	2	6	6	1,252855	2,098921	0,7471
6	2	2	6	6	6	1,288794	0,670611	0,9501
6	2	6	6	2	6	3,449964	0,786558	0,6706
6	2	2	2	2	6	7,499621	6,00088	0,5004

Çizelge 4.20. Nihai Popülasyonun Uyum Fonksiyon Değerleri

Uyum Fonksiyon Değeri	Kromozom sırası
1,9649	1
1,5249	4
0,9501	8
0,9310	3
0,7722	5
0,7510	6
0,7471	7
0,6706	9
0,5500	2
0,5004	10

Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0,6 olarak belirlenen problemin çözümünde en iyi yarıçap değeri yaklaşık 28 dakikalık sürede 1,9649 br olarak bulunmuştur. Karar değişken değerleri Çizelge 4.21.'de verilmiş olup Şekil 4.9.'da parça yerleşim şekli görülmektedir.



Şekil 4.9. Nihai Yerleşim

Çizelge 4.21. En İyi Çözüm Kromozomu

X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X0	Y0
2	2	6	2	2	6	5,9649	6,0245

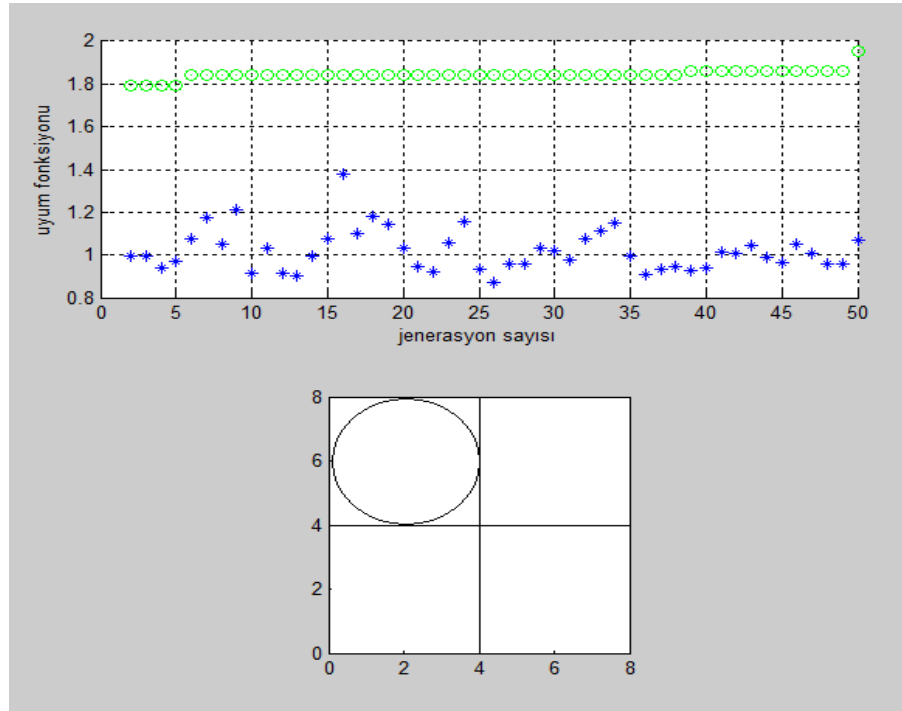
Örnek çapı küçük olan bu problemin çözümünden de anlaşılacağı üzere matematiksel model ile aynı kısıt ve amaç altında geliştirilen sezgisel yöntemin başarısı kanıtlanmıştır. Matematiksel model ile bu problem için elde edilen global optimum değer 2 br iken sezgisel yöntem ile hesaplanan yarıçap değeri 1,9649 br'dir. Sezgisel algoritmanın %98 güvenilirlikle ($1,9649/2=0,98$) optimum değeri verdiği görülmektedir.

Matematiksel modelin ve geliştirilen genetik algoritma sezgisel yönteminin amaç fonksiyon değerlerinin kıyaslanmasından ve modellerin doğruluğunun ispatlanmasından sonra kesme problemlerinde parça sayısı çok olan problemlerin çözümü için genetik algoritma yönteminin sonuçları incelenmelidir. Sezgisel yöntemin optimum çözüme yakın sonuçları kısa sürede verebilmesi için parametre değerlerinin en uygun değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir.

4.2.2.Genetik Algoritma Yönteminin Test Problemlerine Uygulanması

Matematiksel model süreleri ile geliştirilen sezgisel algoritma çözüm sürelerini kıyaslanması amacı ile 5 adet test problemine ait genetik algoritma çözümleri bu bölümde verilmiştir.

- i. Test Problemi 1: Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0.6, jenerasyon sayısı 50 ve elitizm oranı 0.1 olarak alındığında test problemi 1'in genetik algoritma çözümü şekil 4.10'da verilmiştir.



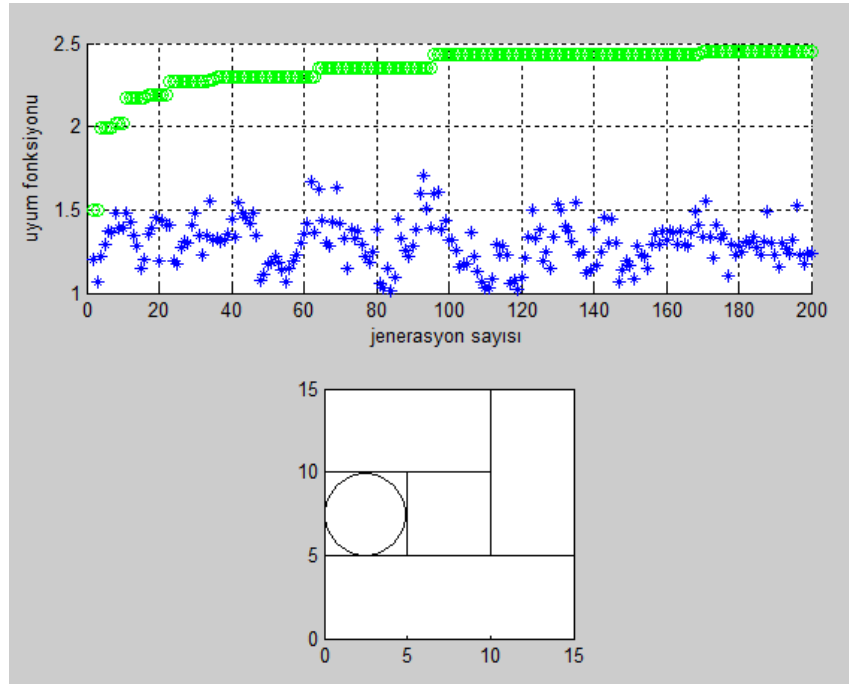
Şekil 4.10. Test Problemi 1 Genetik Algoritma Çözümü

En iyi yarıçap değeri 5 saniye sürede 1.953 br olarak bulunmuş olup karar değişken değerleri Çizelge 4.22.’de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Test Problemi-1 Karar Değişken Değerleri

6	6	2	2	6	2	2.047	5.971
----------	----------	----------	----------	----------	----------	--------------	--------------

- ii. Test Problemi 2: Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0.6, jenerasyon sayısı 200 ve elitizm oranı 0.1 olarak alındığında test problemi 1’in genetik algoritma çözümü şekil 4.11’de verilmiştir.



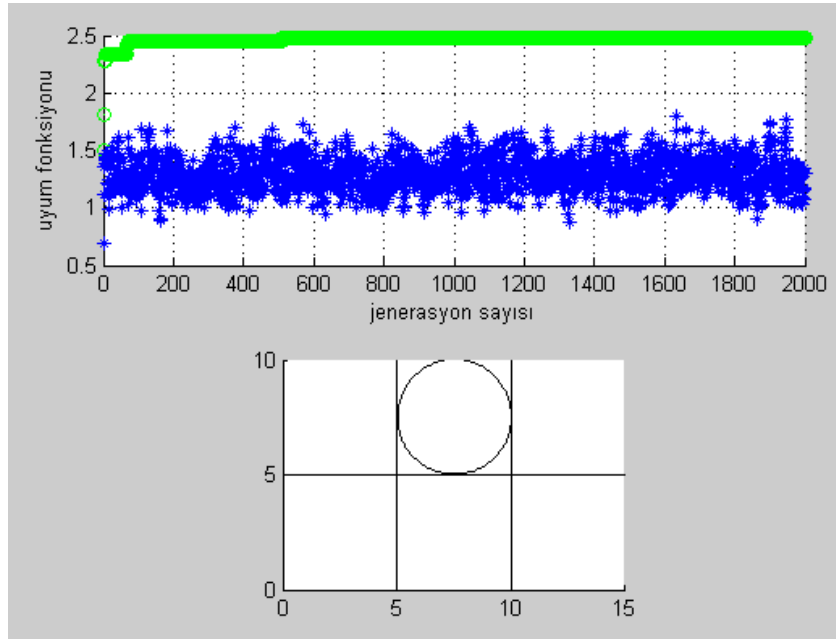
Şekil 4.11. Test Problemi 2 Genetik Algoritma Çözümü

En iyi yarıçap değeri 102 saniye sürede 2.4522 br olarak bulunmuş olup karar değişken değerleri Çizelge 4.23.'de verilmiştir.

Çizelge 4.23. Test Problemi-2 Karar Değişken Değerleri

5	12,5	12,5	10	7,5	2,5	7,5	7,5	2,45	7.47
---	------	------	----	-----	-----	-----	-----	------	------

- iii. Test Problemi 3: Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0.6, jenerasyon sayısı 2000 ve elitizm oranı 0.1 olarak alındığında test problemi 1'in genetik algoritma çözümü şekil 4.12'de verilmiştir.



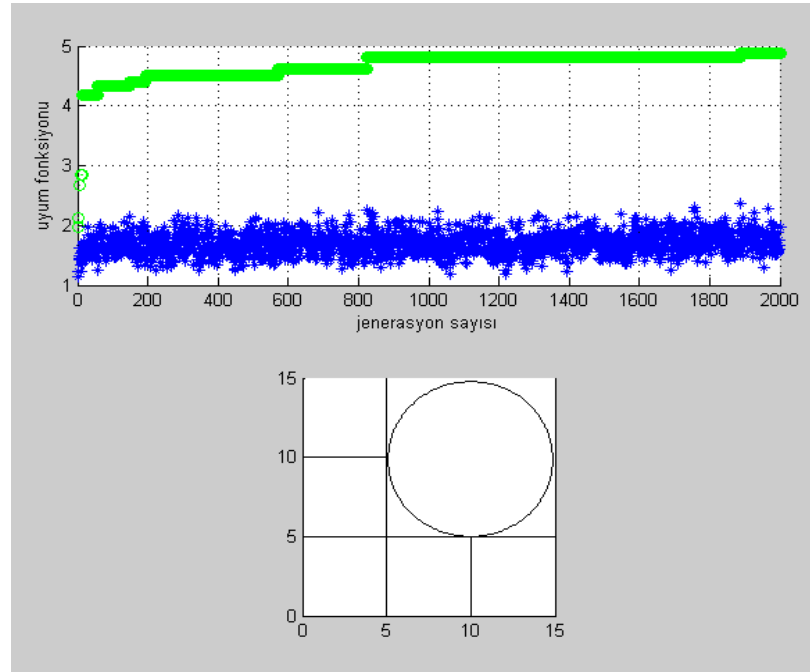
Şekil 4.12. Test Problemi 3 Genetik Algoritma Çözümü

En iyi yarıçap değeri 420 saniye sürede 2.4786 br olarak bulunmuş olup karar değişken değerleri Çizelge 4.24.’de verilmiştir.

Çizelge 4.24. Test Problemi-3 Karar Değişken Değerleri

7,5	2,5	2,5	7,5	2,5	2,5	12,5	2,5	12,5	7,5	7,5	7,5
-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	-----	------	-----	-----	-----

- iv. Test Problemi 4: Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0.6, jenerasyon sayısı 2000 ve elitizm oranı 0.1 olarak alındığında test problemi 1’in genetik algoritma çözümü şekil 4.12’de verilmiştir.



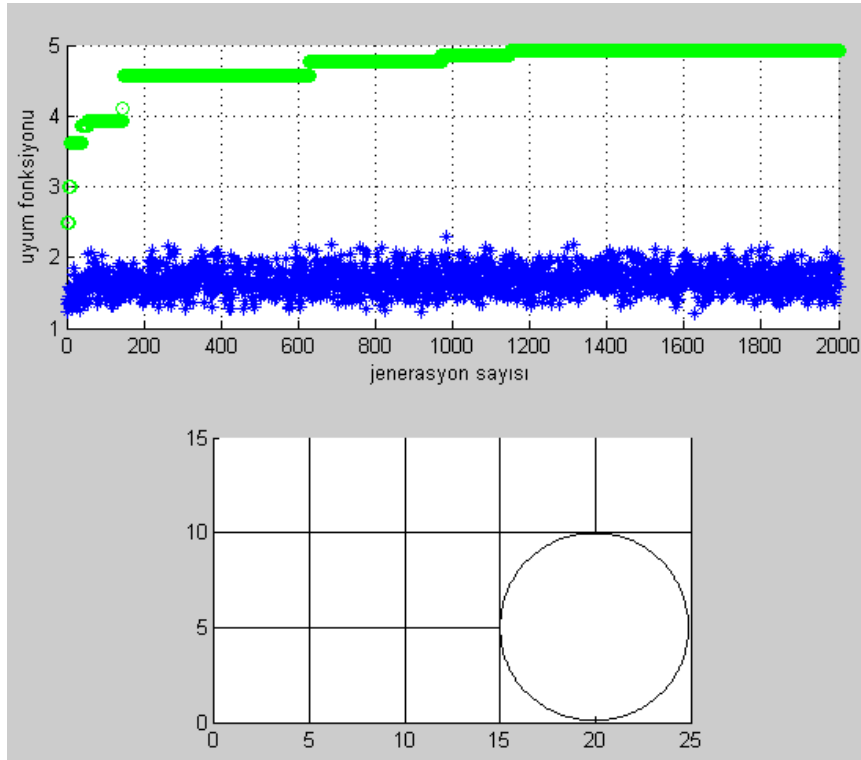
Şekil 4.13. Test Problemi 4 Genetik Algoritma Çözümü

En iyi yarıçap değeri 300 saniye sürede 4.8838 br olarak bulunmuş olup karar değişken değerleri Çizelge 4.25.'de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Test Problemi-4 Karar Değişken Değerleri

7,5	2,5	2,5	12,5	2,5	7,5	12,5	2,5	2,5	2,5	9,97	9,88
-----	-----	-----	------	-----	-----	------	-----	-----	-----	------	------

- v. Test Problemi 5: Popülasyon büyüklüğü 10, mutasyon oranı 0.6, jenerasyon sayısı 2000 ve elitizm oranı 0.1 olarak alındığında test problemi 1'in genetik algoritma çözümü şekil 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.14. Test Problemi 5 Genetik Algoritma Çözümü

En iyi yarıçap değeri 840 saniye sürede 4.9258 br olarak bulunmuş olup karar değişken değerleri Çizelge 4.26.'de verilmiştir.

Çizelge 4.26. Test problemi-5 Karar Değişken Değerleri

12,5	2,5	2,5	7,5	17,5	12,5	2,5	2,5	7,5	12,5
12,5	12,5	7,5	7,5	22,5	12,5	2,5	12,5	12,5	7,5
19,92	5,03								

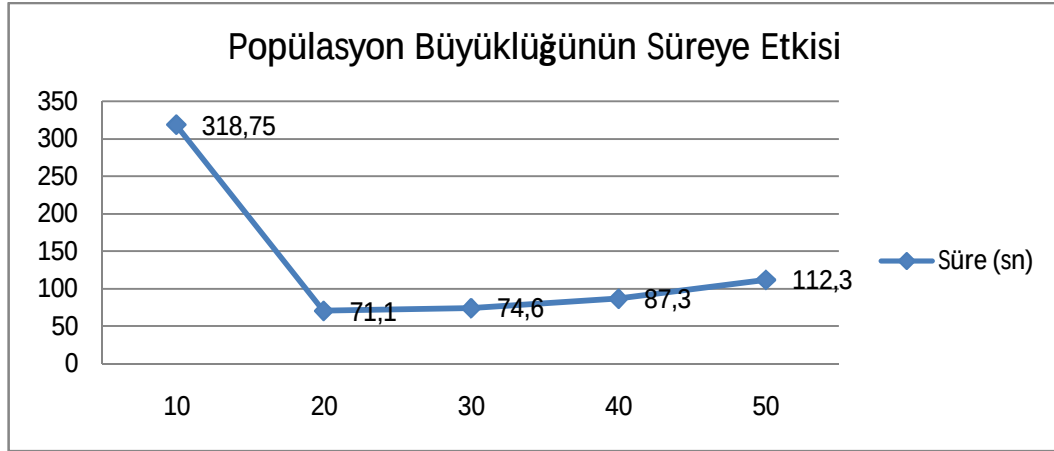
4.2.3. Genetik Algoritma Parametre Tahminleri İçin Yapılan Testler

Geliştirilen genetik algorithma parametreler; popülasyon büyüklüğü, mutasyon oranı, elitizm sayısı ve jenerasyon sayısıdır. Bu parametrelerin bir kısmı problem için sabit kabul edilmiştir. Sabit olarak kabul edilen parametrelerden elitizm değeri popülasyon büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmiş olup her nesilde en iyi kromozomun bir sonraki nesile taşınmasını sağlamak için $(1/\text{popülasyon büyüklüğü})$ formülü ile hesaplanmaktadır. Popülasyon büyüklüğü ve mutasyon oranı

parametrelerinin bu problem için en iyi değerleri test problemi üzerindeki farklı denemeler ile ortaya koyulacaktır.

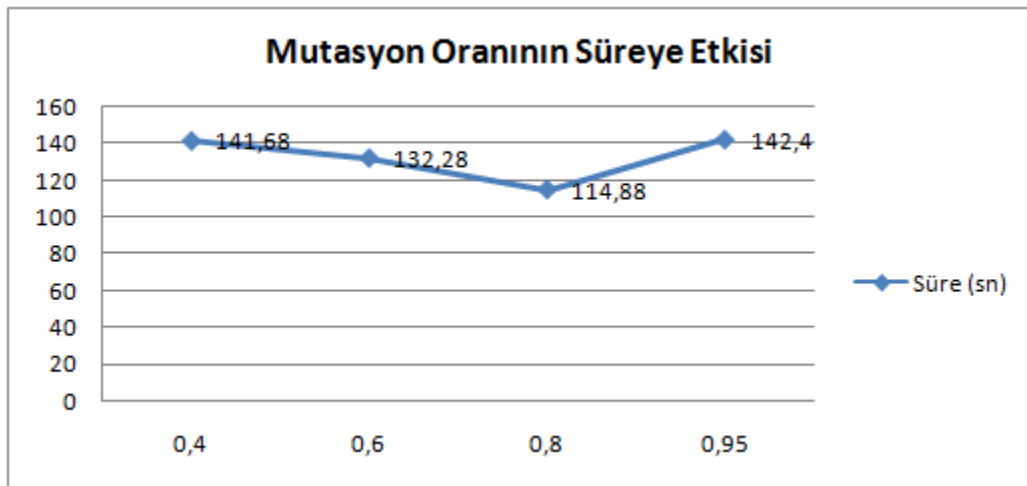
Geliştirilen genetik algoritmanın hangi parametre değerlerinde optimuma en yakın sonuç vereceğini tespit edebilmek için toplamda 100 adet test yapılmıştır. Popülasyon büyüklüğü 10, 20, 30, 40, 50 olarak seçilen denemelerin her biri için mutasyon oranı 0.4, 0.6 , 0.8 ve 0.95 varsayılarak test sonuçları elde edilmiştir. Yapılan her bir testin rastsallığını ortadan kaldırmak için 5 tekrar yapılmıştır. Yapılan test grafikleri ve bu testler sonucunda oluşan yerleşim şekilleri EK-2’de verilmiştir. Genetik algoritma modeli çalıştırılırken durdurma kriteri olarak LINGO paket programından elde edilen optimum yarıçap değeri kullanılmıştır. Parçaların yerleşimleri ve maksimum yarıçap değeri kontrol edilirken yarıçap değerinin %95’ine eşit veya daha büyük olduğu koşulda algoritma sonlandırılmış ve karar değişken değerleri incelenmiştir. Test aşamasında karar değişkeni olarak süreler dikkate alınmıştır. En düşük çözüm süresine sahip olan ve optimum yarıçap değerini yakalayan testteki mutasyon oranı ve popülasyon oranının büyük problemlere uygulanabilecek genetik algoritma parametreleri olduğu varsayılacaktır. Denemelere ait süreler EK-3’de verilmiştir.

Genetik algoritma operatörlerinden mutasyon oranı ve popülasyon büyüklüğünün optimum değerleri hesaplanırken popülasyon büyüklüğü ile mutasyon oranının çözüm süresine etkileri ayrı ayrı incelenmiştir. Popülasyon büyüklükleri incelendiğinde 10-20 arasında çözüm süresinde azalma görülürken 20-50 arasında bir artış söz konusudur. Şekil 4.15.’de görülen grafikte popülasyon büyüklüğü 10 kromozom olduğunda uzun sürede uygun çözüm bulurken popülasyon büyüklüğü 20 kromozoma çıkartıldığında bu sürenin azaldığı görülmektedir. Problemden popülasyon büyüklüğünün düşük olması veya yüksek olması olumsuz etki yaparken uygun çözüm 20 popülasyon büyüklüğünde bulunmuştur.



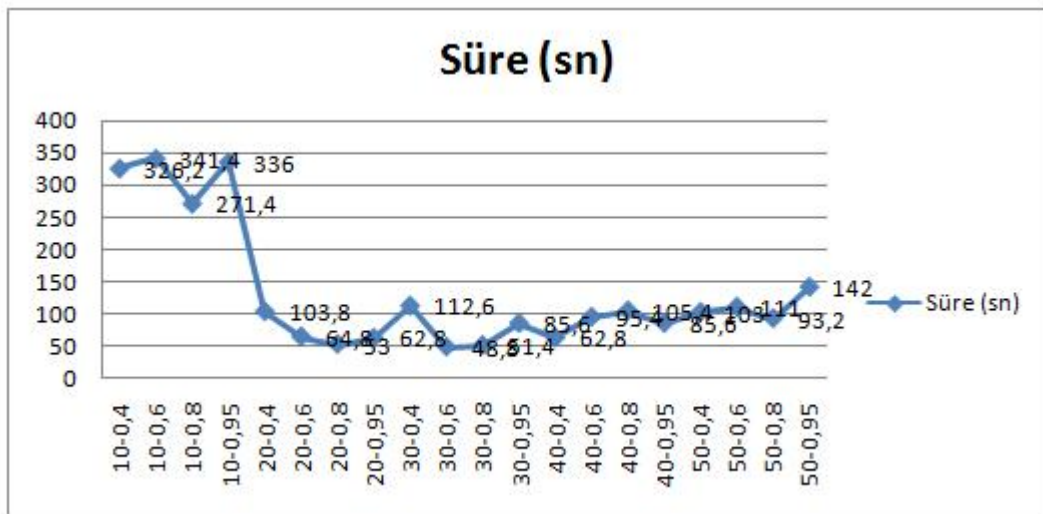
Şekil 4.15. Popülasyon Büyüklüğüne Göre Çözüm Sürelerinin Değişim Grafiği

Popülasyon büyüklüğü sabit tutulup çözüm süresinin mutasyon oranına göre değişimi incelendiğinde 0,4 ve 0,8 mutasyon oranları arasında çözüm süresinin düşüş gösterdiği 0,8-0,95 mutasyon aralığında ise çözüm süresinin arttığı görülmektedir. Mutasyon oranının çözüm süresi üzerinde etkisi ölçüldüğünde Şekil 4.16.'de 0,8 mutasyon oranı ile en düşük sürede uygun çözümün bulunduğu görülmektedir. Mutasyon oranının düşük olması haline uygun çözüm süresinin artması az sayıda genin değişikliği uygun çözüme ulaşma süresini artırmaktadır.



Şekil 4.16. Mutasyon Oranına Göre Çözüm Sürelerinin Değişim Grafiği

Denemelerinde optimum parametre değerleri ayrı ayrı incelendikten sonra bu iki parametrenin aynı anda değişiklik göstermesi problem çözüm süresini nasıl etkilediği şekil 4.17.' de gösterilmektedir. Hem popülasyon büyüklüğündeki değişim hem de mutasyon oranındaki değişim değerleri dikkate alındığında en düşük çözüm süresi popülasyon büyüklüğünün 30, mutasyon oranının 0,6 olduğu durumda gerçekleşmektedir. Sadece mutasyon oranı veya popülasyon büyüklük değerlerinin etkisi her iki parametrenin birlikte yarattığı etkiden farklı olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 4.17. Mutasyon ve Popülasyon Değerlerine Göre Çözüm Sürelerinin Değişimi Grafiği

Belirlenen parametre değerleri altında algoritma çalıştırıldığında Çizelge 4.27.'deki karar değişken değerleri elde edilmektedir. Jenerasyon sayısı 403 iken 38 saniye sürede algoritmanın optimum yarıçap değerini yakaladığı ($r=4,88$) görülmektedir. Popülasyon büyüklüğü 30 olduğundan elitizm oranı ($1/\text{popülasyon büyüklüğü}$) formülünden 0.033 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.27. En İyi Çözüm Kromozomu

X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	X5	Y5	X0	Y0
12.5	12.5	2.5	12.5	7.5	12.5	12.5	2.5	12.5	7.5	4.88	4.98

Jenerasyon sayısı: 403

Seçme oranı: 0.4

Mutasyon oranı: 0.6

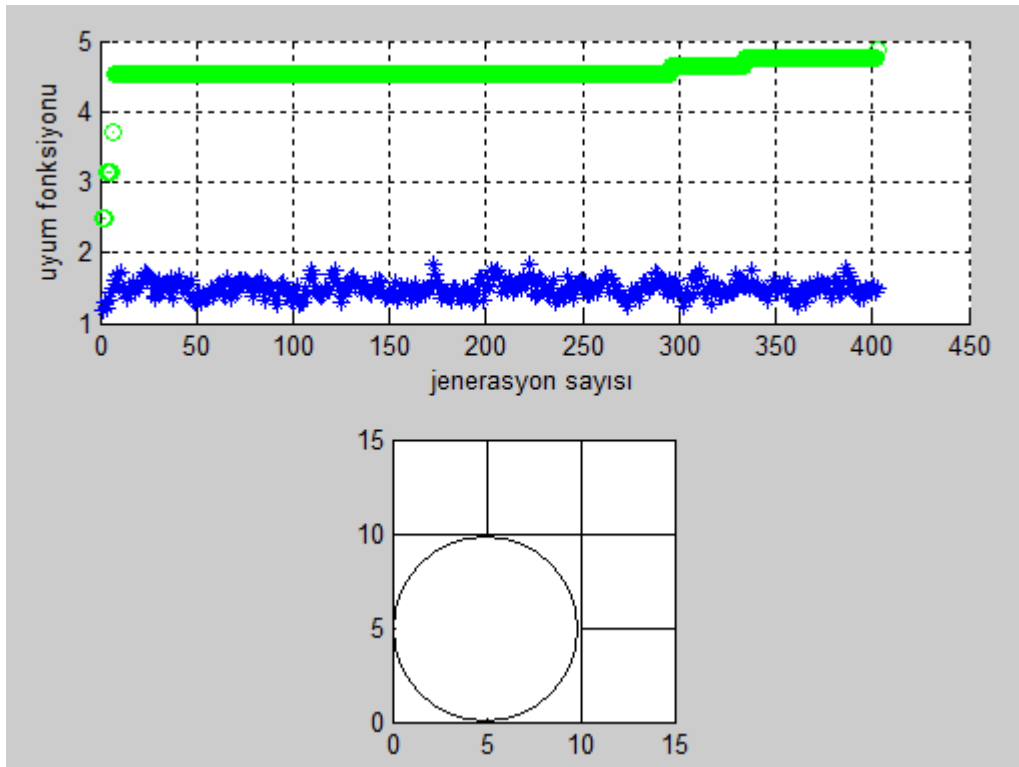
Elitizm Oranı: 0.033

Çözüm sonucunda bulunan yarıçap değeri: 4,88 br

Çözüm Süresi: 23:11: 26.586

23:12: 4.654

Meta sezgisel çözüm sonucunda elde edilen yerleşim şekli ve optimum yarıçap değerinin sezgisel algoritma ile yakalandı jenerasyon sayısının büyüklüğü şekil 4.18.'de verilmiştir. Şekilde gösterilen grafikte yeşil çizgi uyum fonksiyon değerindeki değişimi gösterirken mavi çizgi uyum fonksiyon ortalama değerinin değişimini göstermektedir.



Şekil 4.18. Popülasyon Büyüklüğü 30 ve Mutasyon Oranı 0.6 Olan Test Problem Sonucu

Yapılan analizler sonucunda aynı test problemi üzerinde bir çok deneme yapılarak rastsallık ortadan kaldırılmış ve bu problem için en iyi sonucu en kısa zamanda veren genetik algoritma parametre değerleri belirlenmiştir. Belirlenen optimum parametre değerleri parça çeşit sayısı fazla olan büyük çaplı probleme uygulanacaktır.

4.2.4. Genetik Algoritmanın Büyük Örnek Çaplı Probleme Uygulanması

Geliştirilen genetik algoritma belirlenen optimum parametre değerleri kullanılarak büyük çaplı bir problem için çözülmüştür. Belirlenen problemde boyutları 35x15 br olan bir ana levhadan 15 adet kare parça kesimi dikkate alınmıştır. Kesilecek kare parçaların boyutları 5x5 br'dir. Bu sabit değerler dikkate alındığında büyük örnek çapı probleminde arta kalan alandan kesilebilecek dairenin yarıçapını maksimum yapmak hedeflenmiştir.

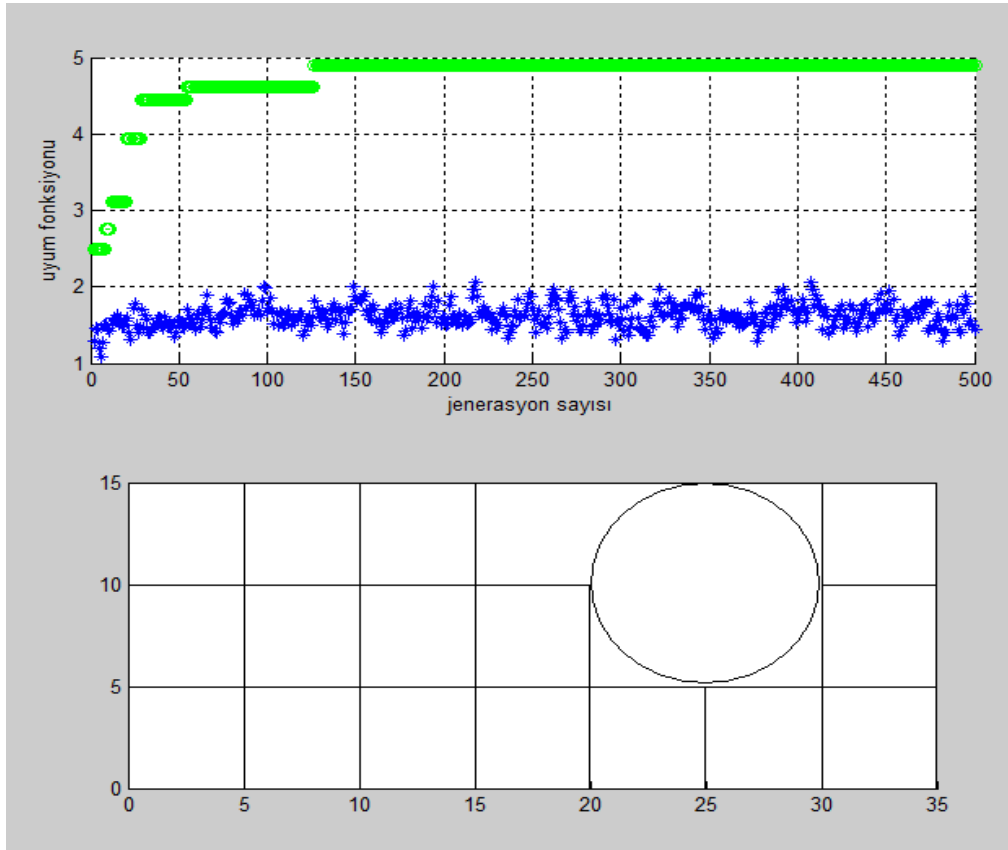
Parametre değerleri;

Mutasyon oranı: 0,6

Popülasyon büyüklüğü: 30

Jenerasyon sayısı:500

Elitizm oranı:0,033 olarak sezgisel algoritma çalıştırıldığında Şekil 4.19.'de ki yerleşim şekli ve jenerasyon sayısı arttıkça uyum fonksiyon değerindeki değişim grafiği verilmiştir.



Şekil 4.19. Büyük Örnek Çaplı Problemin Yerleşim Planı

Çözüm aranan problem için toplamda 32 adet karar değişkeni bulunmaktadır. Bu karar değişkenlerini 15 adet parçanın (x,y) koordinatları ve arta kalan alandan kesilecek dairenin (x,y) koordinatları oluşturmaktadır. Genetik algoritma sonucunda Çizelge 4.28.'de verilen karar değişken değerleri görülmektedir. Sezgisel algoritma sonucunda arta kalan alandan kesilebilecek en büyü dairenin yarıçap değeri 4,91 br olarak bulunmuştur. Büyük çaplı problemin çözüm süresi ise yaklaşık 5 saat sürmüştür.

Çizelge 4.28. Büyük Çaplı Problemine Ait Karar Değişken Değerleri

X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4
32.5	7.5	22.5	2.5	2.5	7.5	7.5	2.5
X5	Y5	X6	Y6	X7	Y7	X8	Y8
27.5	2.5	17.5	2.5	17.5	7.5	32.5	12.5
X9	Y9	X10	Y10	X11	Y11	X12	Y12
2.5	12.5	12.5	7.5	2.5	2.5	12.5	12.5
X13	Y13	X14	Y14	X15	Y15	X16	Y16
7.5	12.5	12.5	2.5	7.5	7.5	24.9638	10.0952

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Günümüz rekabet şartlarında kaynakların verimli kullanımı özellikle imalat yapan işletmelerde önem arz etmektedir. Pazarda lider konuma gelebilmek için firmaların üretim maliyetlerini mümkün olduğunca azaltması gerekmektedir. Üretim maliyetlerinin azaltılmasında artık oranlarının minimize edilmesi ve ana malzemedan arta kalan malzemenin yüksek verimle tekrar kullanılabilmesi etkili olmaktadır. Firmalarda üretim aşamasında nihai ürünün oluşturulabilmesi için hammaddelerin işlenmesi gerekmektedir. Bu operasyonlardan maliyetleri en çok etkileyen firmalardaki malzeme kesim işlemidir. Firmalarda ana malzemedan sadece tek bir çeşit parça kesilmesi durumu dışında arta kalan malzemedan kesilen parçaların geometrik şekillerinden farklı olan parçaların da kesilebileceği gözlemlenmiştir. Bu durum göz önünde bulundurularak çalışmada kare parçaların ana malzeme üzerinde yerleşimi yapılırken arta kalan ana malzemedan en büyük yarıçapa sahip dairenin kesilmesi problemi incelenmiştir.

Çoğunlukla üretim yapan işletmelerde karşımıza çıkan kesme problemleri kaynakların verimli kullanılmasına yönelik farklı amaç ve kısıtlar içermektedir. Bu işletmelerde genellikle tek bir amaç olarak fire miktarını minimize etmek amaçlanmıştır. Fakat ana malzemedan arta kalan alanın büyük verimlilikle tekrar kullanılabilmesi üretim maliyetlerinde büyük azalma sağlayacağı ihmal edilmektedir. Çalışmada geliştirilen matematiksel model arta kalan ana malzemedan en büyük yarıçap değerine sahip bir dairenin kesilmesi amaçlanmaktadır. Matematiksel model 5 farklı test probleminde denenerek doğruluğu ispatlanmıştır. Parça sayısı yedi olan problemler için makul sürelerde global optimum çözüm bulunabilirken parça sayısı sekiz olan problem için 24 saat süren bir çalışma sonucunda çözüm bulunamamıştır. Bu durum analitik çözümün dezavantajını ortaya koymaktadır.

Analitik çözüm sürelerinin büyük çaplı problemlerde oldukça uzun sürmesi çalışmada sezgisel yöntemlerin kullanılmasını zorunlu kılmıştır. Optimum çözümü bulunan bu matematiksel model amaç ve kısıtlarından yola çıkarak meta sezgisel

yöntemi için genetik algoritma yaklaşımı geliştirilmiştir. Meta sezgisel yöntem analitik yöntemin uygulandığı test problemlerine uygulanarak çözüm süreleri ve amaç fonksiyon değerleri kıyaslanmıştır. Çizelge 5.1.'de LINGO optimizasyon programı ve genetik algoritma çözüm süreleri ve amaç fonksiyon değerleri verilmiştir. Sezgisel yöntemin süre olarak analitik yöntemden daha iyi olması ve amaç fonksiyon değerlerine 0,055 bağıl hata oranı ile yaklaşması sezgisel yöntemin başarısını ortaya koymaktadır.

Çizelge 5.1. Analitik Çözüm Ve Sezgisel Çözümün Kıyaslanması

	Arta Kalan Parçanın Yarıçap Büyüklüğü			Süre (sn)	
	Bilinen Çözüm	Analitik Çözüm	Sezgisel Çözüm	Analitik Çözüm	Sezgisel Çözüm
Test Problemi-1	2	2	1,953	3	5
Test Problemi-2	2,5	2,5	2,5	243	2
Test Problemi-3	2,5	2,5	2,48	5275	420
Test Problemi-4	5	5	4,88	950	300
Test Problemi-5	5	-	4,92	-	840

Sezgisel yöntemde kullanılacak parametrelerin optimum değerlerinin analizleri yapılarak sezgisel yöntemin çözüm sürelerinin kısaltılması ve optimum amaç fonksiyon değerlerine yakın sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır. Yapılan denemelerde mutasyon oranı 0,4, 0,6, 0,8 ve 0,95 ve popülasyon büyüklükleri ise 10, 20, 30, 40, 50 olarak belirlenmiştir. Toplamda 100 adet deneme yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Optimum mutasyon parametre değeri bu çalışmada 0,6 ve optimum popülasyon büyüklüğü 30 olarak belirlenmiştir.

Analitik çözümün büyük örnek çaplı problemde uygulanamamasından dolayı optimum parametrelerin belirlenmesinden sonra genetik algoritma yöntemi kullanılarak 15 parçalık bir problemin çözümü yapılmıştır. Belirlenen problemde boyutları 35x15 br olan bir ana levhadan 15 adet kare parça kesimi dikkate

alınmıştır. Kesilecek kare parçaların boyutları 5x5 br'dir. Uyum fonksiyon değeri yaklaşık beş saat süren çözüm süresinden sonra 4,91 br olarak hesaplanmıştır.

5.2. Öneriler

Çalışma iki boyutlu kare parçalar için değerlendirilmiştir. Bu çalışma dikdörtgen parçaların kesim problemlerinin çözümü için de kullanılabilir. Farklı geometrik şekilli parçaların kesimi veya arta kalan alanın daire dışında farklı geometrik şekle (üçgen vb.) sahip olma durumu incelenebilir.

Çalışmada iki boyutlu kesme problemleri dikkate alınmış olup gelecek çalışmalarda üç boyutlu kesme ve yerleştirme problemleri için kurulan sezgisel algoritma geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- BAKIR, M.A., ALTUNKAYNAK, B., 2003. Tamsayılı Programlama Teori, Modeller ve Algoritmalar, Nobel Yayıncılık, Ankara, 625
- BAL, H., 1995. Optimizasyon Teknikleri, Gazi Üniversitesi, Ankara, 207
- BANG-JENSEN, J., LARSEN, R., 2012. Efficient Algorithms For Real-Life Instances Of The Variable Size Bin Packing Problem. Computers & Operations Research, 39, 2848–2857
- BİLGİÇ, H., 2009. Pantolon Üretiminde Kesim Yerleşim Planlarının Kumaş Telefinin Düşürülmesi Açısından Optimize Edilmesi. Erciyes Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kayseri, 166
- BİRGİN, E. G., GENTIL, J. M., 2010. New And Improved Results For Packing Identical Unitary Radius Circles Within Triangles, Rectangles And Strips. Computers & Operations Research, 37, 1318–1327
- BİRGİN, E.B., MARTINEZ, J.M., RONCONI, D.P., 2005. Optimizing The Packing of Cylinders into a Rectangular Container: A Nonlinear Approach. European Journal Of Operational Research, 160, 19-33
- CHERRI, A.C., ARENALES, M. N., YANASSE, H.H., 2009. The One-Dimensional Cutting Stock Problem With Usable Leftover – A Heuristic Approach. European Journal of Operational Research, 196,897–908
- CHRISTOFIDES, N.,WHITLOCK, C., 1977. An Algorithm for Two-Dimensional Cutting Problems. Operations Research, 25,1, 30-44
- CUI, Y., 2005. A Cutting Stock Problem and Its Solution in the Manufacturing Industry Of Large Electric Generators. Computers & Operations Research, 32, 1709-1721
- CUI, Y., YANG,Y., 2010., A Heuristic For The One-Dimensional Cutting Stock Problem With Usable Leftover. European Journal of Operational Research, 204, 245–250
- DYCKHOFF, H., 1990, Typology of cutting and packing problems, European Journal of Operational Research, 44, 145-159

- DYSON, R.G., GREGORY, A. S.,1974. The Cutting Stock Problem In The Flat Glass Industry. *Operational Research Quarterly*, 25, 1, 41-53
- FARLEY, A., 1988. Mathematical Programming Models for Cutting-Stock Problems in the Clothing Industry. *The Journal of the Operational Research Society*, 39,1, 41-53
- GILMORE, P. C., GOMORY, R. E., 1964. Multistage Cutting Stock Problems of Two and More Dimensions. *Operations Research*, 13, 94-120
- GILMORE, P. C., GOMORY, R. E., 1966. The Theory and Computation of Knapsack Functions. *Operations Research*, 14, 6, 1045-1074
- GILMORE, P. C., GOMORY, R.E., 1961. A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem. *Operations Research*, 9, 849-859
- GILMORE, P. C., GOMORY, R.E., 1963. A Linear Programming Approach to the Cutting Stock Problem-Part II. *Operations Research*, 11, 863-888
- GRADISAR, M., , RESINOVIC G., KLJAJI ,M.,1999. A Hybrid Approach For Optimization Of One-Dimensional Cutting. *European Journal of Operational Research* 119, 719-728
- HADJICONSTANTINO, E., IORI, M., 2007. A Hybrid Genetic Algorithm For The Two-Dimensional Single Large Object Placement Problem. *European Journal Of Operational Research*, 183 ,1150–1166
- HAUPT, R.L., HAUPT, S.E., 2004. *Practical Genetic Algorithms*, Wiley-Interscience, New Jersey, 253
- HIFI, M., M'HALLAH, R., 2004. Approximate Algorithms for Constrained Circular Cutting Problems. *Computers & Operations Research*, 31, 675–694
- HOPPER, E., TURTON, B., 1999. A Genetic Algorithm for A 2D Industrial Packing Problem. *Computer and Industrial Engineering*, 37, 375-378
- HOPPER, E., TURTON, B., 2001. An Empirical Investigation of Meta-Heuristic and Heuristic Algorithms For a 2D Packing Problem. *European Journal of Operational Research*, 128, 34-57
- JAVANSHIR, H., REZAEI, S., NAJAR, S.S., GANJI, S.S., 2010. Two-Dimensional Cutting Stock Management In Fabric Industries And Optimizing The Large Object's Length, *Ijrras*

- KANTOROVICH, L.V., 1960. Mathematical Methods of Organizing and Planning Production, Management Science, 6, 4, 366-422
- KUBACH, T., BORTFELDT, A., GEHRING, H., 2009., Parallel Greedy Algorithms For Packing Unequal Circles Into A Strip Or A Rectangle, CEJOR , 17:461–477
- LEUNG, T.W., YUNG, C.H., TROUTT, M.D., 2001. Applications of Genetic Search and Simulated Annealing to the Two-Dimensional Non-Guillotine Cutting Stock Problem. Computer and Industrial Engineering, 40, 201-214
- LIU, D., TENG, H., 1999. An Improved BL-Algorithm For Genetic Algorithm Of The Orthogonal Packing Of Rectangles. European Journal of Operational Research, 112, 413-420
- NURMELA, K.J., OSTERGARD, P.R.J., 1997. Packing Up To 50 Equal Circles In A Square. Discrete & Computational Geometry, 18, 111-120
- NURMELA, K.J., OSTERGARD, P.R.J., 1999. More Optimal Packing Of Equal Circles In A Square, Discrete & Computational Geometry, 22, 439-457
- ÖZKAN, D.M., 2008. Çok Boyutlu Stok Kesme Problemi Ve Yeni Bir Çözüm Yaklaşımı. Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 82
- PHAM, D.T., KARABOGA, D., 2000. Intelligent Optimization Techniques, Springer, New York, 302
- SEYDANOĞLU, H., 2007. Dairesel Kesme Problemlerinin Çözümünde Genetik Algoritma Tabanlı Bir Yaklaşım Kullanılması. Osmangazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 76
- SILVA, E., ALVELOS, F., VALÉRIO DE CARVALHO, J.M., 2010. An Integer Programming Model For Two- And Three-Stage Two-Dimensional Cutting Stock Problems. European Journal Of Operational Research, 205, 699–708
- SINGH, R., SEKHON, G.S., 1998. A Low Cost Modeler For Two Dimensional Metal Stamping Layouts. Journal of Materials Processing Technology, 84, 79-89
- SINUANY-STERN, Z., WEINER, I., 1994. The One Dimensional Cutting Stock Problem Using Two Objectives. The Journal of the Operational Research Society, 45, 2 , 231-236

- SÖKE A., 2003. Genetik Algoritma ve Benzetilmiş Tavlama ile İki Boyutlu Giyotinsiz Kesme Problemlerine Olasılıksal Yaklaşım. Kocaeli Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 131
- STOYAN, Y.G., YASKOV, G.N., 1998. Mathematical Model And Solution Method Of Optimization Problem Of Placement Of Rectangles And Circles Taking Into Account Special Constraints. International Translation Operational Research, 5,1,45-57.
- STOYAN, Y.G., YASKOV, G.N., 2004. A Mathematical Model And A Solution Method For The Problem Of Placing Various-Sized Circles Into A Strip. European Journal Of Operational Research, 156, 590-600
- SWEENEY, P.E., PATERNOSTER, E.R., 1992. Cutting and Packing Problems: A Categorized, Application-Orientated Research Bibliography. The Journal of the Operational Research Society, 43, 7, 691-706
- TUTTE W. T., 1948. The Dissection Of Equilateral Triangles Into Equilateral Triangles. Mathematical Proceedings Of The Cambridge Philosophical Society, 44: 463-482
- YAVUZ Y., 2005. Üç Boyutlu Stok Kesme Problemlerinin Matematiksel Programlama Teknikleri Ile Çözümü Ve Mermer Endüstrisinde Bir Uygulama. Erciyes Üniversitesi İşletme Ana Bilim Dalı, Kayseri, 169

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Adana’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Adana’da tamamladı. 2005 yılında Gazi Üniversitesi İstatistik Bölümü’nü kazandı. 2009 yılında başarı ile istatistik bölümünden mezun oldu. 2010 yılı Şubat ayında Endüstri Mühendisliği Ana bilim Dalı’nda tezli yüksek lisans programına başladı.

EKLER

EK 1

LINGO optimizasyon program çıktıları

Test problemi-1

Global optimal solution found at iteration:
Objective value:

34
2.000000

Variable	Value	Reduced Cost
L0	8.000000	0.000000
W0	8.000000	0.000000
L(1)	4.000000	0.000000
L(2)	4.000000	0.000000
L(3)	4.000000	0.000000
W(1)	4.000000	0.000000
W(2)	4.000000	0.000000
W(3)	4.000000	0.000000
X(1)	6.000000	0.000000
X(2)	2.000000	0.000000
X(3)	6.000000	-0.3333333
Y(1)	6.000000	0.000000
Y(2)	6.000000	0.000000
Y(3)	2.000000	0.000000
Z(1)	1.000000	0.000000
Z(2)	1.000000	0.000000
Z(3)	1.000000	0.000000
X0(1)	2.000000	0.000000
Y0(1)	2.000000	0.000000
R(1)	2.000000	0.000000
Z0(1)	1.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2.000000	1.000000
2	4.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000
4	4.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	4.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	1.000000
9	4.000000	0.000000
10	4.000000	0.000000
11	4.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	4.000000	0.000000
16	0.000000	0.000000
17	4.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000
19	0.000000	0.000000
20	0.000000	0.000000
21	0.000000	1.999999
22	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000

24	0.000000	0.000000
25	0.000000	0.000000
26	0.000000	0.000000
27	0.000000	0.000000

0.1000000E-05

Test Problem-2

Global optimal solution found at iteration: 30034
 Objective value: 2.499999

Variable	Value	Reduced Cost
L0	15.00000	0.000000
W0	15.00000	0.000000
L(1)	10.00000	0.000000
L(2)	5.000000	0.000000
L(3)	15.00000	0.000000
L(4)	5.000000	0.000000
W(1)	5.000000	0.000000
W(2)	10.00000	0.000000
W(3)	5.000000	0.000000
W(4)	5.000000	0.000000
X(1)	5.000000	0.000000
X(2)	12.50000	0.000000
X(3)	7.500000	0.000000
X(4)	7.500000	0.000000
Y(1)	2.500000	0.000000
Y(2)	5.000000	0.000000
Y(3)	12.50000	0.000000
Y(4)	7.500000	0.000000
Z(1)	1.000000	0.000000
Z(2)	1.000000	0.000000
Z(3)	1.000000	0.000000
Z(4)	1.000000	0.000000
X0(1)	2.499999	0.000000
Y0(1)	7.500000	0.000000
R(1)	2.499999	0.000000
Z0(1)	1.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2.499999	1.000000
2	0.000000	0.000000
3	10.00000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	5.000000	0.000000
6	5.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	5.000000	0.000000
10	0.000000	1.000000
11	10.00000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	10.00000	0.000000
15	5.000000	0.000000

16	10.000000	0.000000
17	5.000000	0.000000
18	0.000000	0.000000
19	5.000000	0.000000
20	5.000001	0.000000
21	5.000001	0.000000
22	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000
25	0.000000	0.000000
26	0.000000	2.499998
27	0.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000
29	0.000000	0.000000
30	0.000000	0.000000
31	0.000000	0.000000
32	0.000000	0.000000
33	0.000000	0.000000
34	0.000000	0.000000
35	0.000000	0.000000
36	0.000000	0.1250000E-05

Test problemi-3

Global optimal solution found at iteration:
Objective value:

162
2.500000

Variable	Value	Reduced Cost
L0	15.00000	0.000000
W0	10.00000	0.000000
L(1)	5.000000	0.000000
L(2)	5.000000	0.000000
L(3)	5.000000	0.000000
L(4)	5.000000	0.000000
L(5)	5.000000	0.000000
W(1)	5.000000	0.000000
W(2)	5.000000	0.000000
W(3)	5.000000	0.000000
W(4)	5.000000	0.000000
W(5)	5.000000	0.000000
X(1)	12.50000	0.000000
X(2)	7.500000	0.000000
X(3)	2.500000	0.000000
X(4)	7.500000	0.000000
X(5)	12.50000	0.000000
Y(1)	2.500000	0.000000
Y(2)	2.500000	0.000000
Y(3)	7.500000	0.000000
Y(4)	7.500000	0.000000
Y(5)	7.500000	0.000000
Z(1)	1.000000	0.000000
Z(2)	1.000000	0.000000
Z(3)	1.000000	0.000000
Z(4)	1.000000	0.000000
Z(5)	1.000000	0.000000

X0(1)	2.500000	0.000000
Y0(1)	2.500000	0.000000
R(1)	2.500000	0.000000
Z0(1)	1.000000	0.000000

Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	2.500000	1.000000
2	10.000000	0.000000
3	5.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	5.000000	0.000000
6	10.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000
8	5.000000	0.000000
9	10.000000	0.000000
10	5.000000	0.000000
11	0.000000	0.000000
12	0.000000	0.000000
13	10.000000	0.000000
14	0.000000	0.000000
15	0.000000	0.000000
16	5.000000	0.000000
17	5.000000	0.000000
18	5.000000	0.000000
19	5.000000	0.000000
20	5.000000	0.000000
21	0.000000	0.000000
22	0.000000	0.000000
23	0.000000	0.000000
24	0.000000	0.000000
25	5.000001	0.000000
26	0.000000	0.000000
27	0.000000	0.000000
28	0.000000	0.000000
29	0.000000	0.000000
30	0.000000	0.000000
31	0.000000	2.499998
32	0.000000	0.000000
33	0.000000	0.000000
34	0.000000	0.000000
35	0.000000	0.000000
36	0.000000	0.000000
37	0.000000	0.000000
38	0.000000	0.000000
39	0.000000	0.000000
40	0.000000	0.000000
41	0.000000	0.000000
42	0.000000	0.000000
43	0.000000	0.000000
44	0.000000	0.000000
45	0.000000	0.000000
46	0.000000	0.000000

Test Problem-4

Global optimal solution found at iteration:

44

Objective value:

5.000000

Variable	Value	Reduced Cost
L0	15.000000	0.000000
W0	15.000000	0.000000
L(1)	5.000000	0.000000
L(2)	5.000000	0.000000
L(3)	5.000000	0.000000
L(4)	5.000000	0.000000
L(5)	5.000000	0.000000
W(1)	5.000000	0.000000
W(2)	5.000000	0.000000
W(3)	5.000000	0.000000
W(4)	5.000000	0.000000
W(5)	5.000000	0.000000
X(1)	7.500000	0.000000
X(2)	12.500000	0.000000
X(3)	2.500000	0.000000
X(4)	2.500000	0.000000
X(5)	2.500000	0.000000
Y(1)	12.500000	0.000000
Y(2)	12.500000	0.000000
Y(3)	12.500000	0.000000
Y(4)	2.500000	0.000000
Y(5)	7.500000	0.000000
Z(1)	1.000000	0.000000
Z(2)	1.000000	0.000000
Z(3)	1.000000	0.000000
Z(4)	1.000000	0.000000
Z(5)	1.000000	0.000000
X0(1)	10.000000	0.000000
Y0(1)	5.000000	0.000000
R(1)	5.000000	0.000000
Z0(1)	1.000000	0.000000

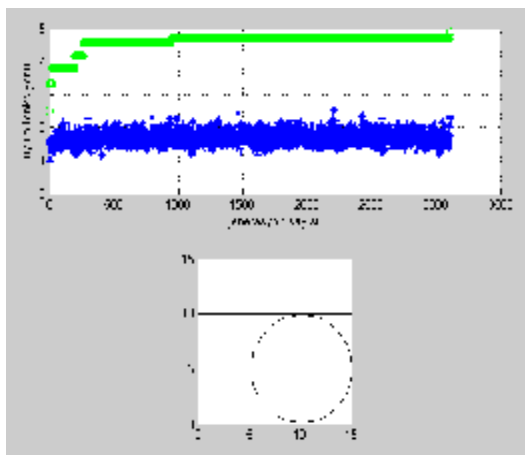
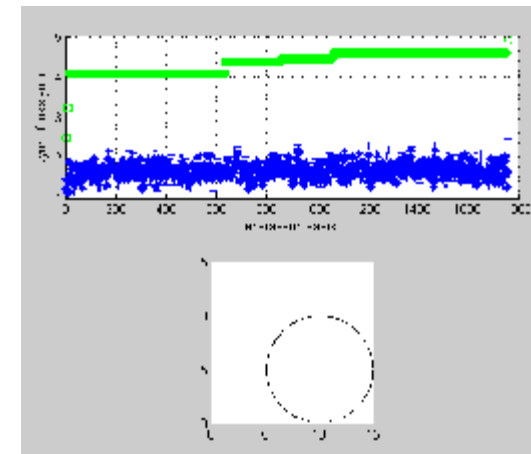
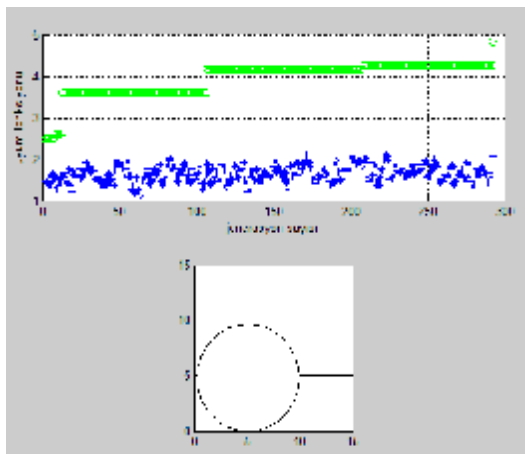
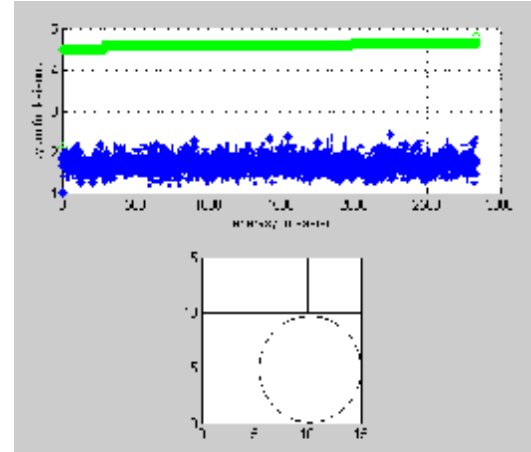
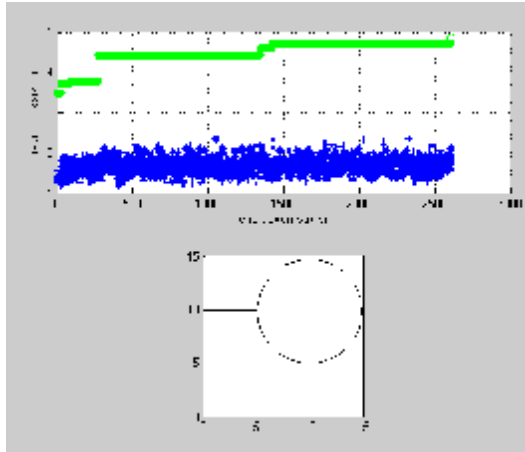
Row	Slack or Surplus	Dual Price
1	5.000000	1.000000
2	5.000000	0.000000
3	10.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000
7	5.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000
9	10.000000	0.000000
10	10.000000	0.000000
11	10.000000	0.000000
12	5.000001	0.000000
13	0.000000	0.000000
14	10.000000	0.000000
15	10.000000	0.000000
16	10.000000	0.000000

	17	0.000000	0.000000
	18	5.000000	0.000000
	19	0.000000	0.000000
	20	0.000000	0.000000
	21	0.000000	0.000000
	22	10.00000	0.000000
	23	5.000000	0.000000
	24	0.000000	0.000000
	25	5.000001	0.000000
	26	0.000000	0.000000
	27	0.000000	0.000000
	28	0.000000	0.000000
	29	0.000000	0.000000
	30	0.000000	0.000000
	31	0.000000	4.999997
	32	0.000000	0.000000
	33	0.000000	0.000000
	34	0.000000	0.000000
	35	0.000000	0.000000
	36	0.000000	0.000000
	37	0.000000	0.000000
	38	0.000000	0.000000
	39	0.000000	0.000000
	40	0.000000	0.000000
	41	0.000000	0.000000
	42	0.000000	0.000000
	43	0.000000	0.000000
	44	0.000000	
0.2500000E-05			
	45	0.000000	0.000000
	46	0.000000	0.000000

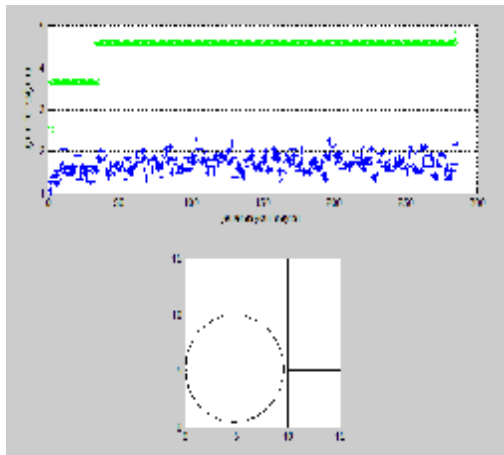
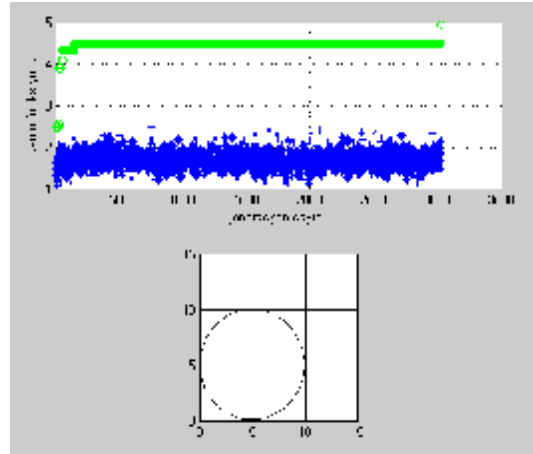
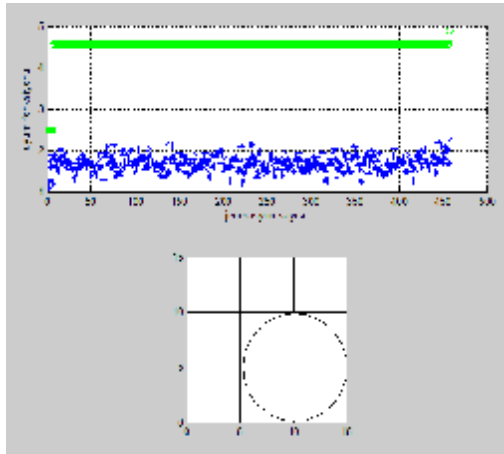
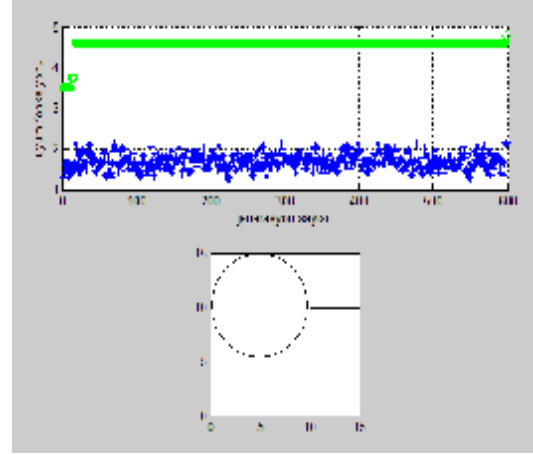
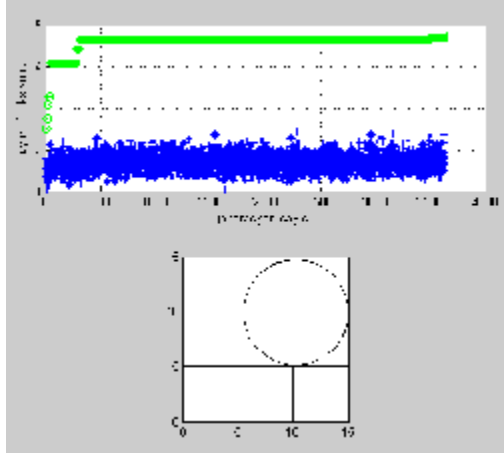
EK 2

Popülasyon büyüklüğü 10 için yapılan denemeler

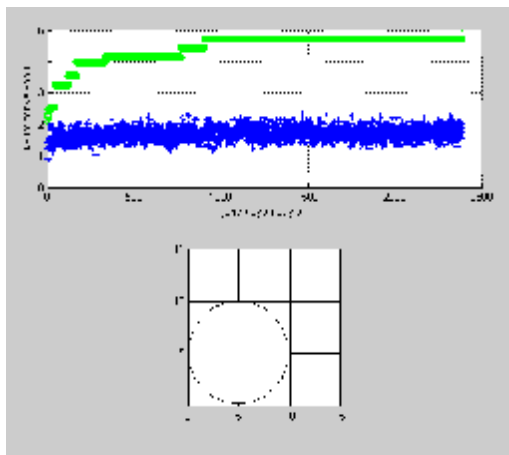
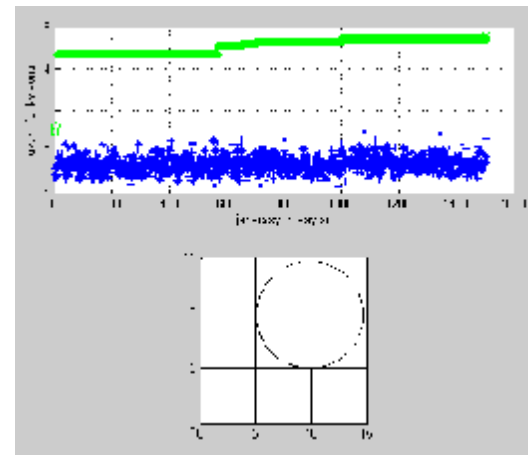
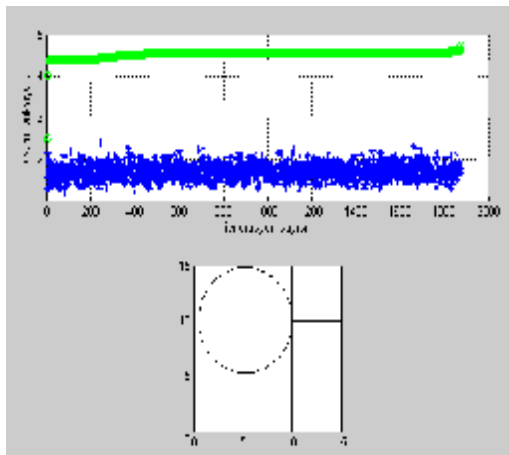
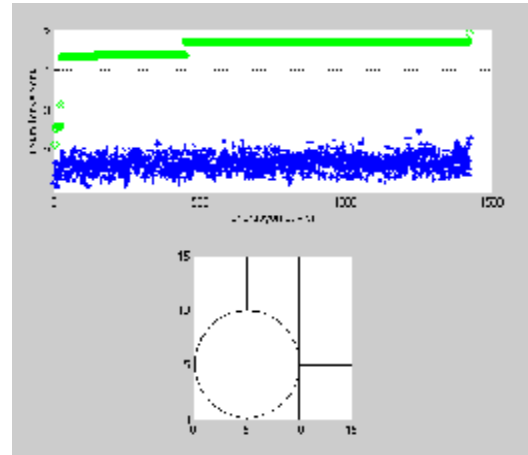
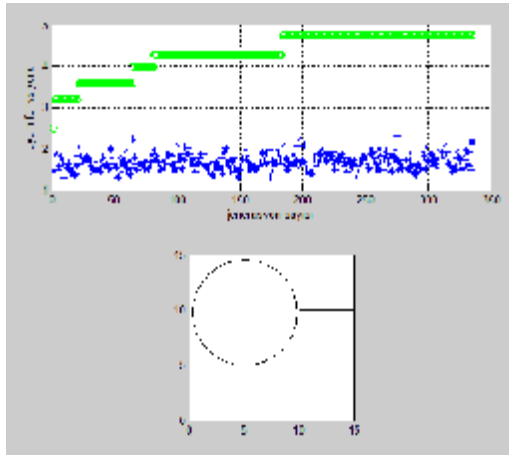
Mutasyon oranı:0.4 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



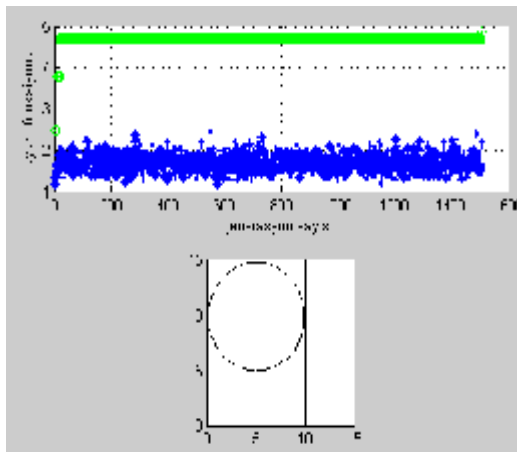
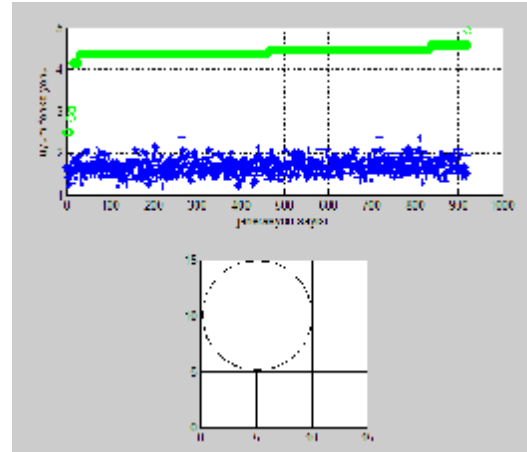
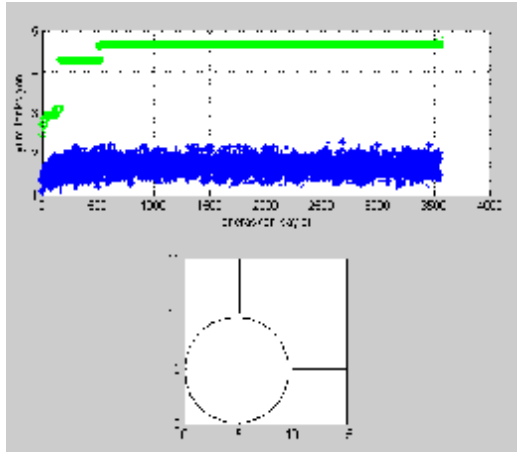
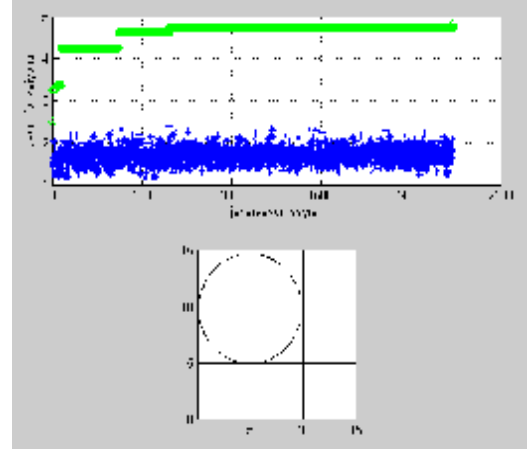
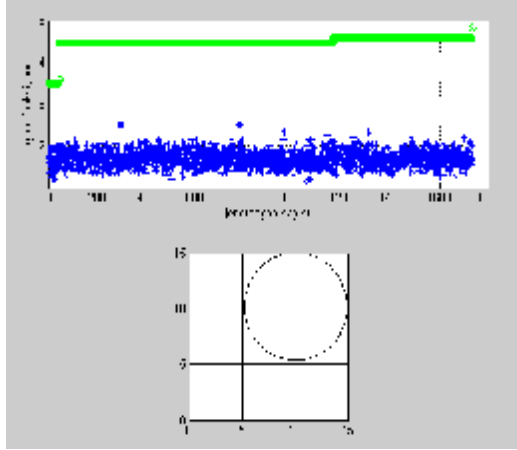
Mutasyon oranı:0.6 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



Mutasyon oranı:0.8 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

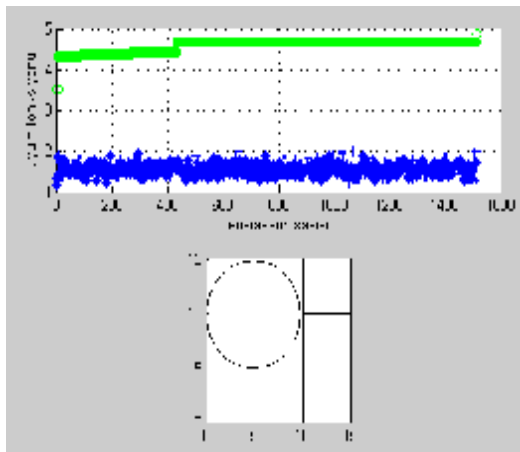
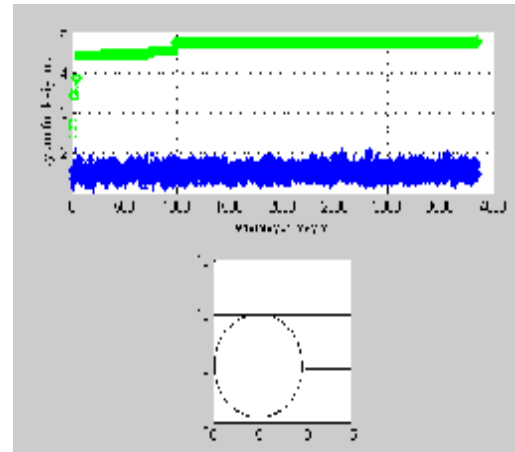
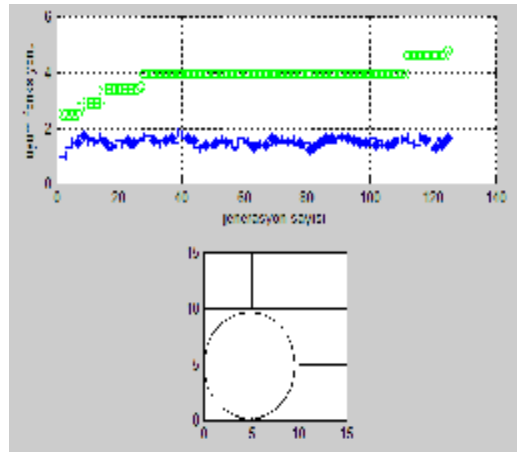
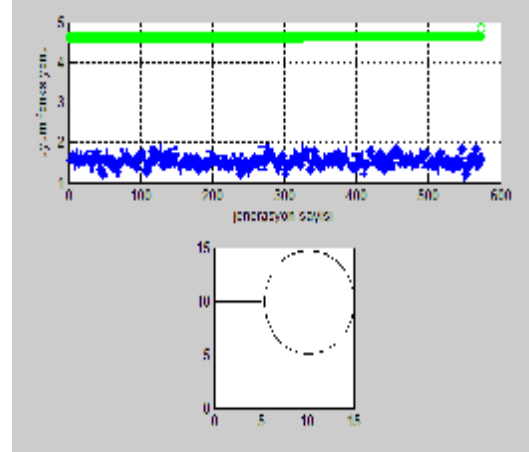
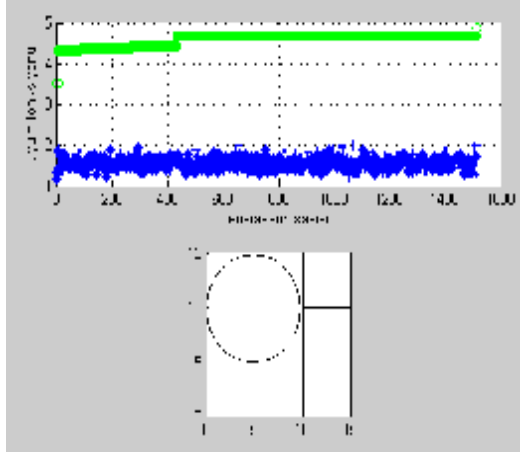


Mutasyon oranı:0.95 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

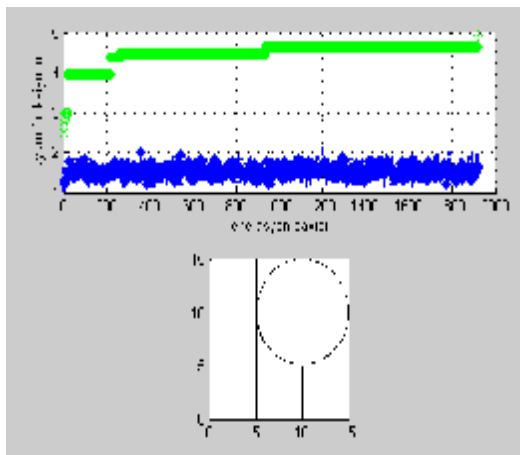
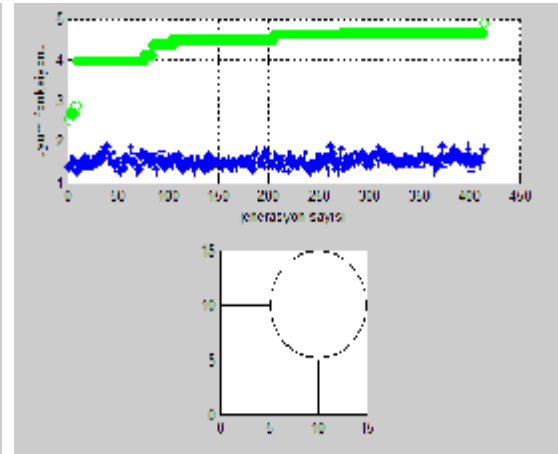
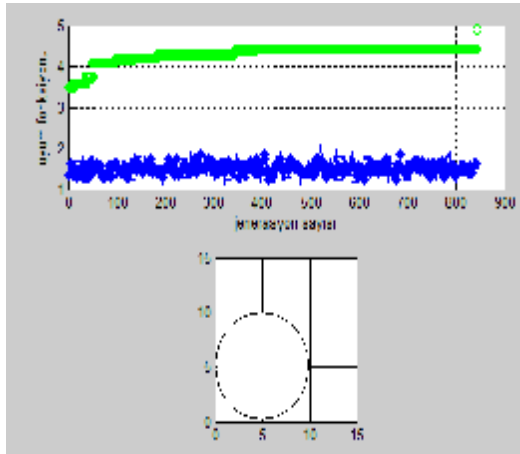
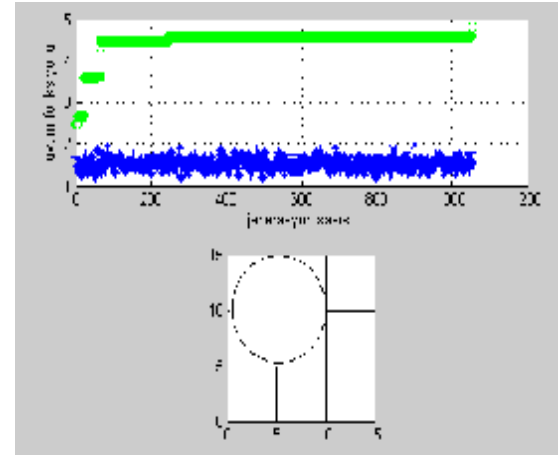
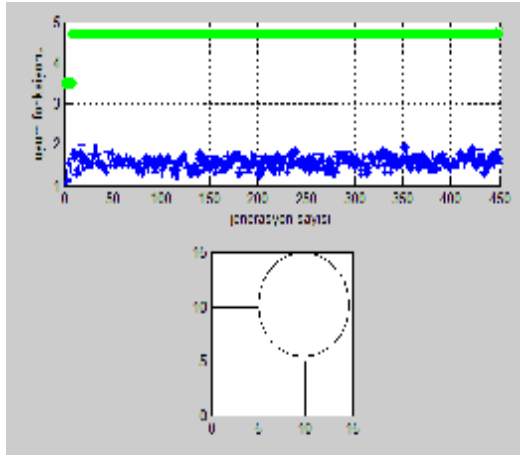


Popülasyon büyüklüğü 20 için yapılan denemeler

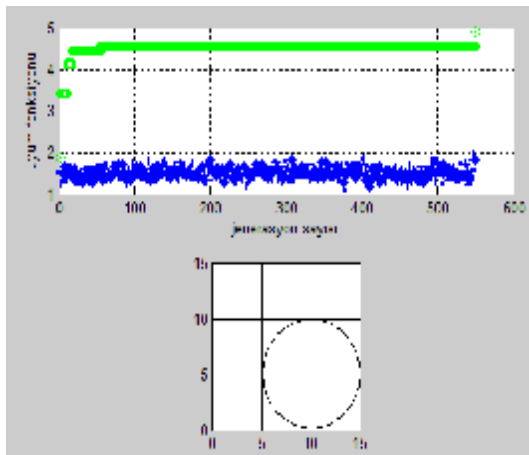
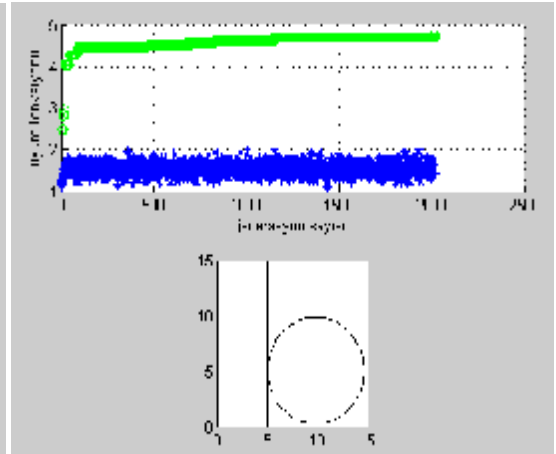
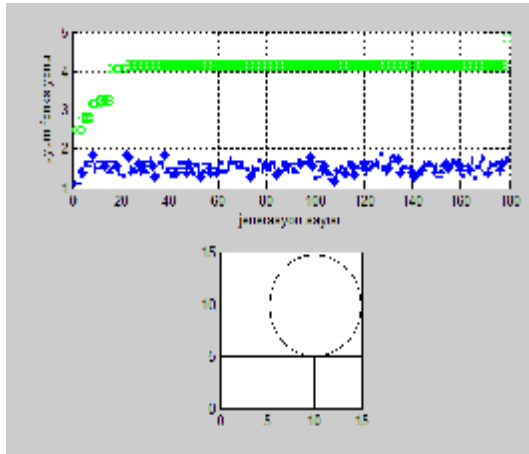
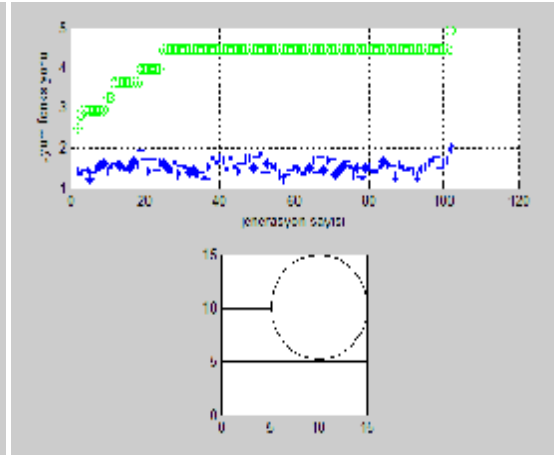
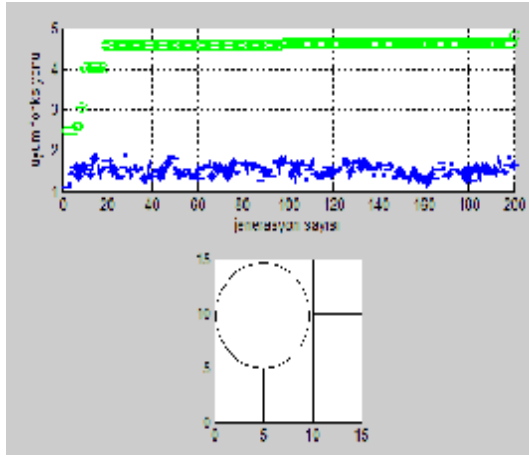
Mutasyon oranı:0.4 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



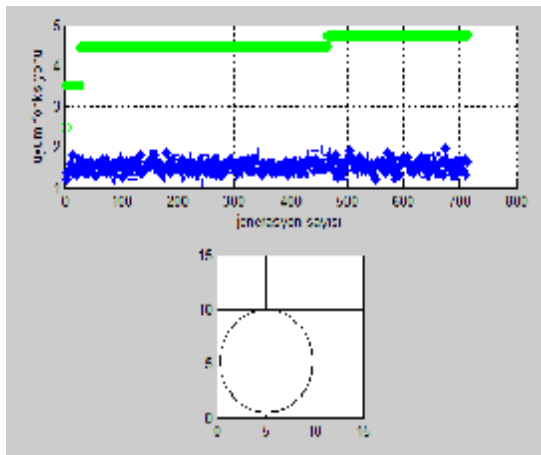
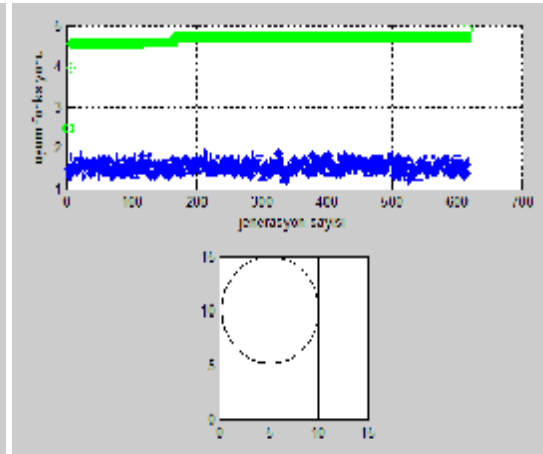
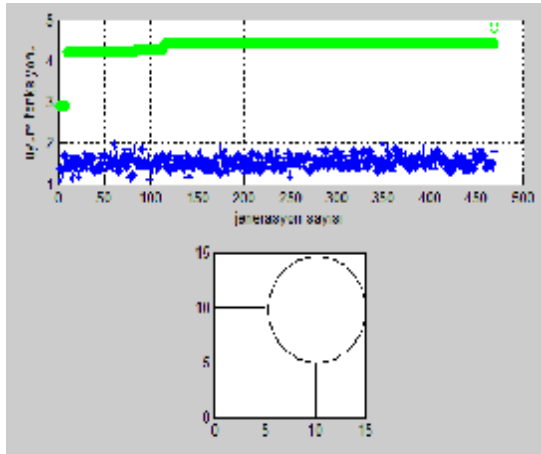
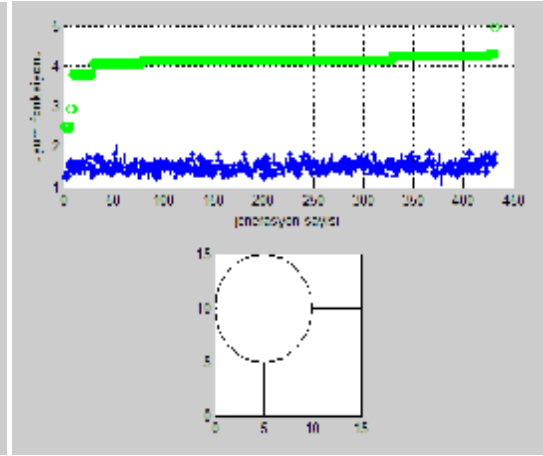
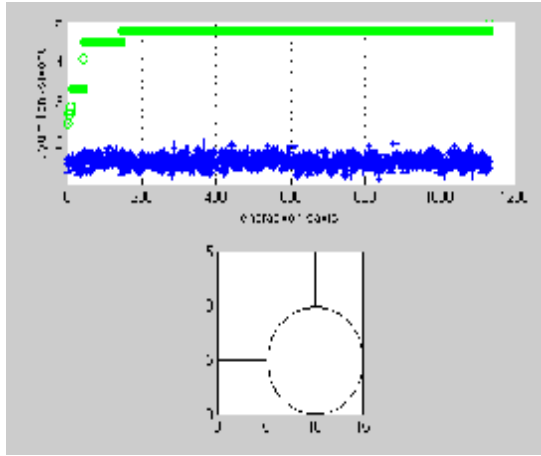
Mutasyon oranı:0.6 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



Mutasyon oranı:0.8 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

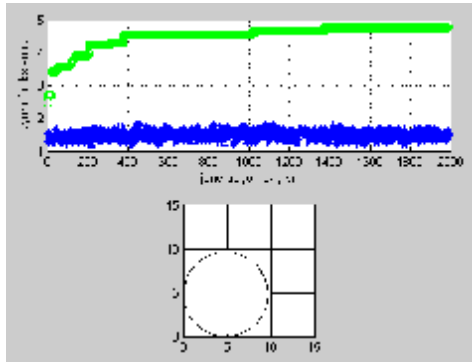
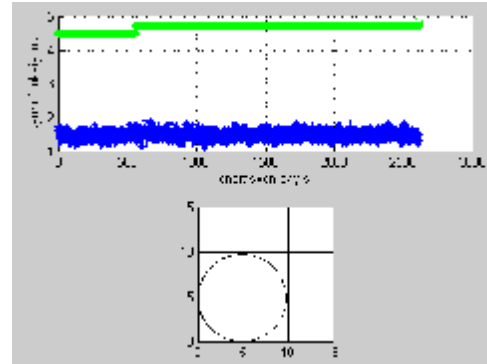
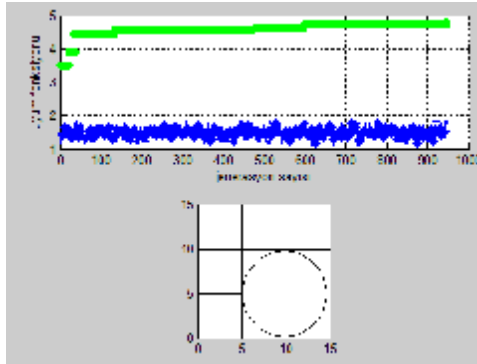
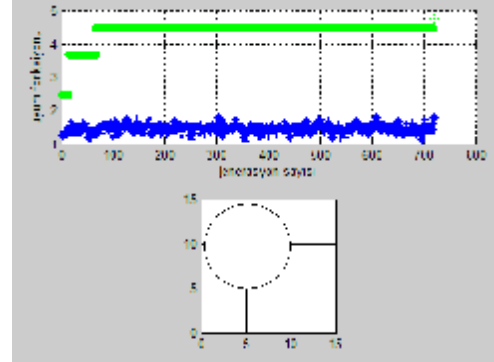
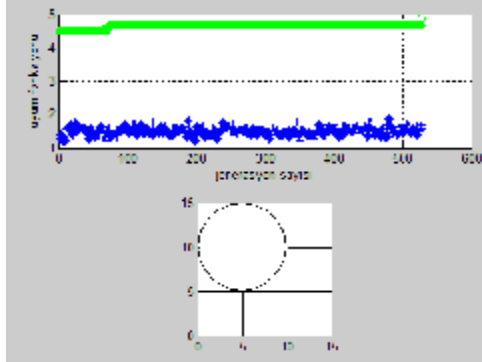


Mutasyon oranı:0.95 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

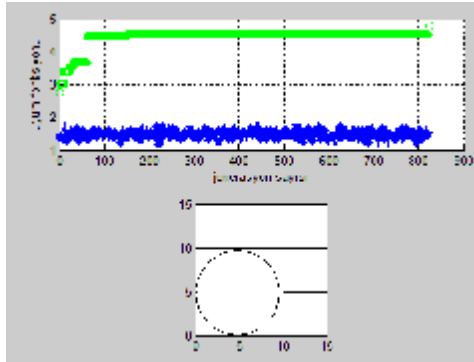
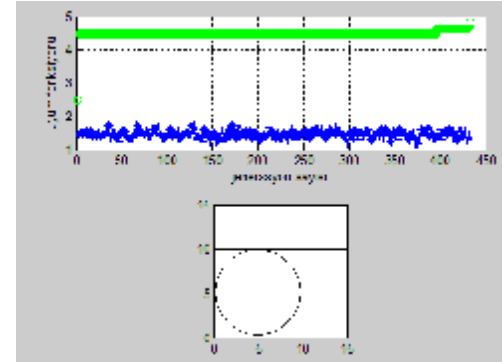
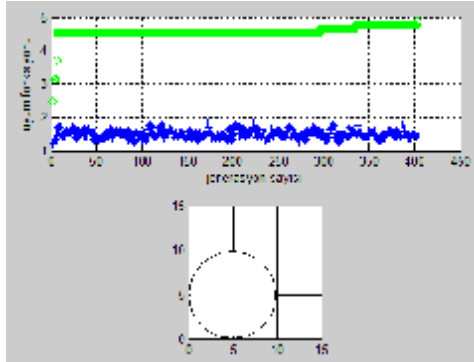
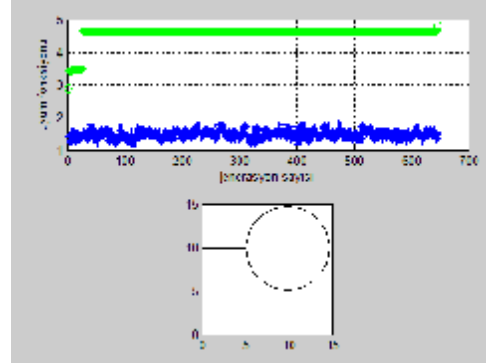
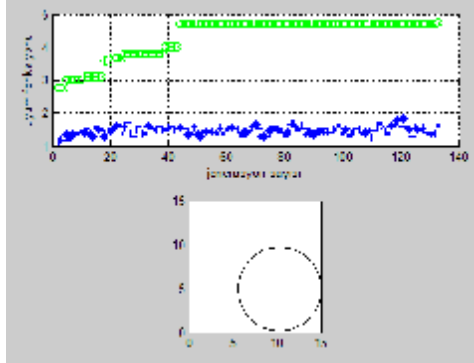


Popülasyon büyüklüğü 30 için yapılan denemeler

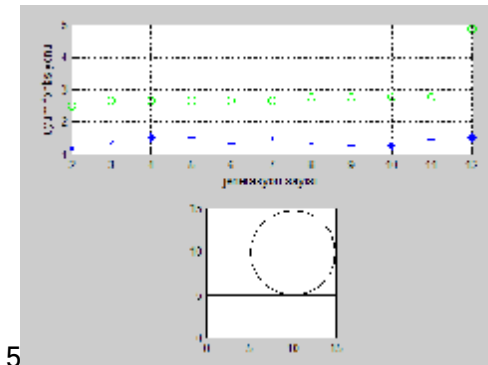
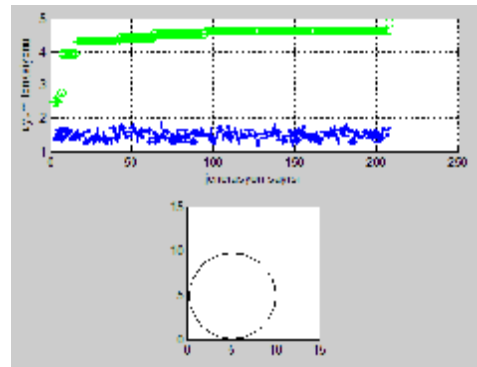
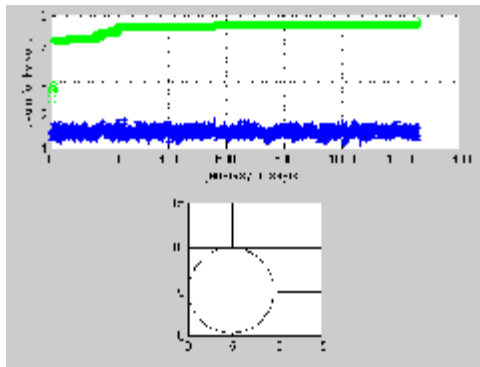
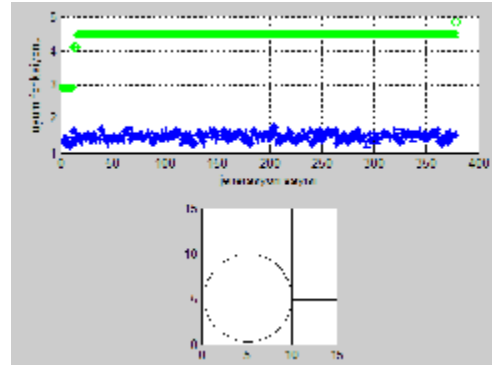
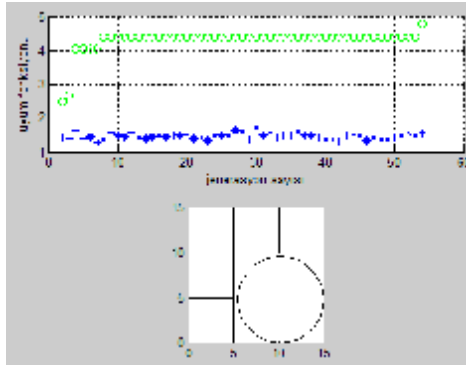
Mutasyon oranı:0.4 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



Mutasyon oranı:0.6 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

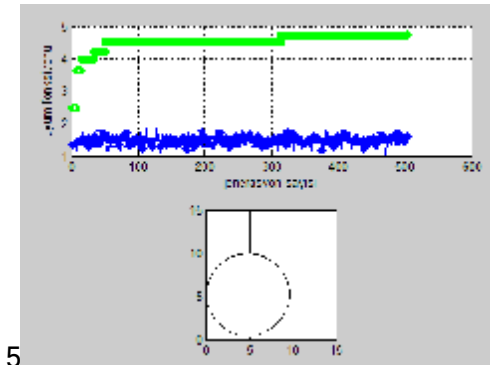
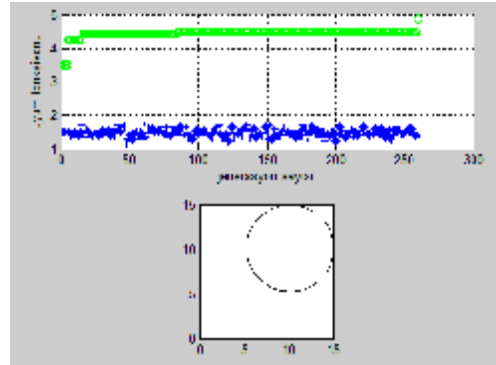
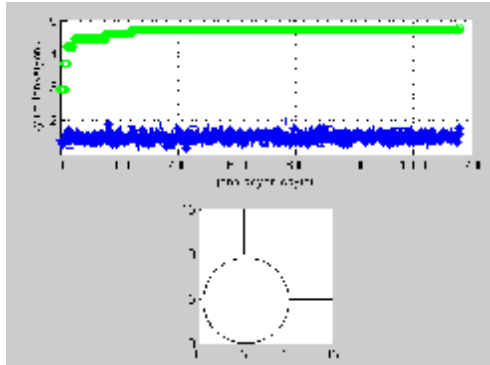
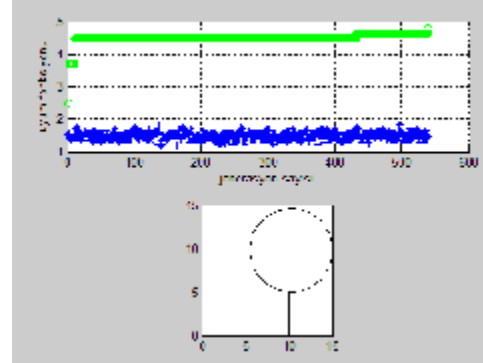
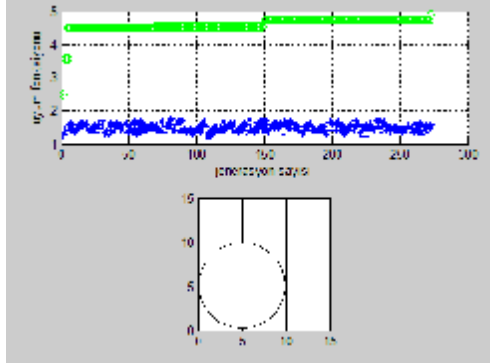


Mutasyon oranı:0.8 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



5

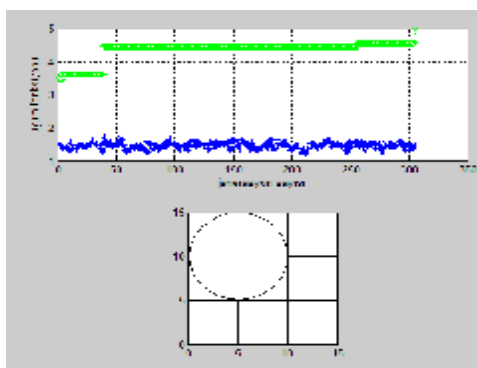
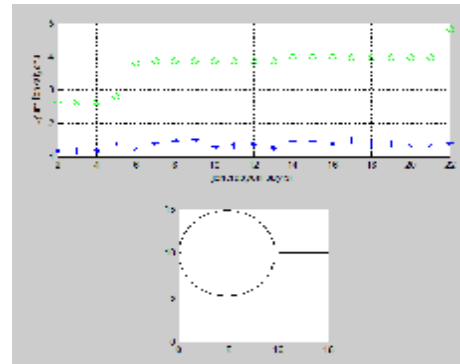
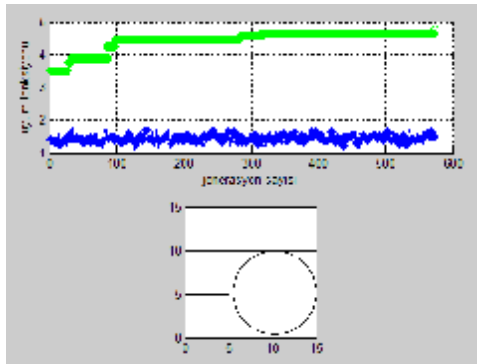
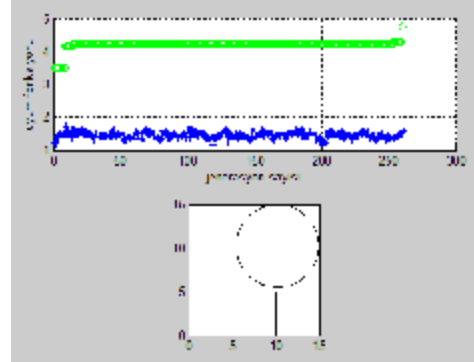
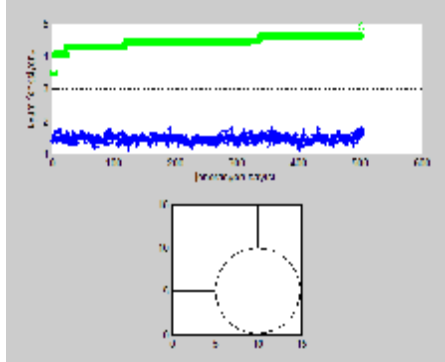
Mutasyon oranı:0.95 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



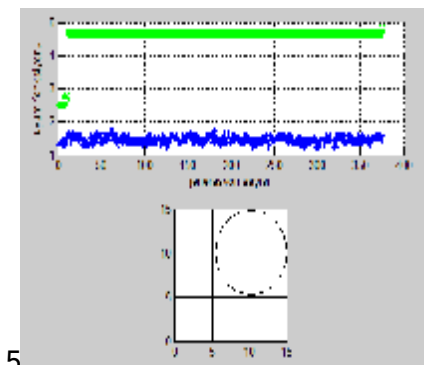
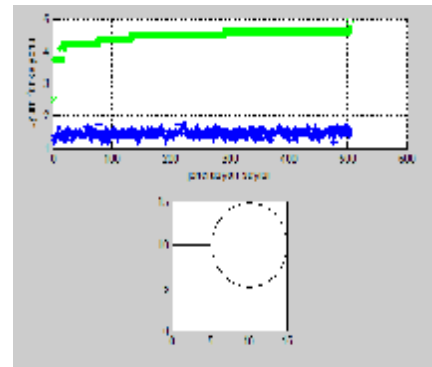
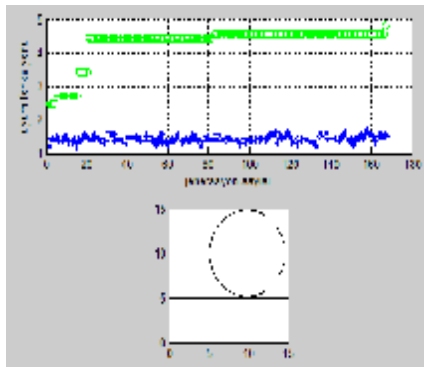
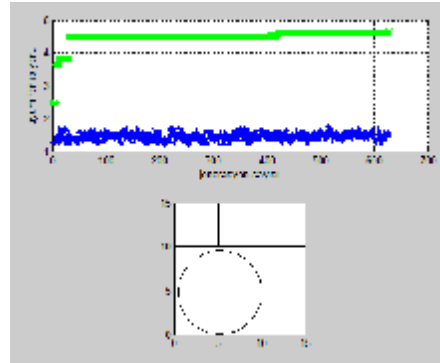
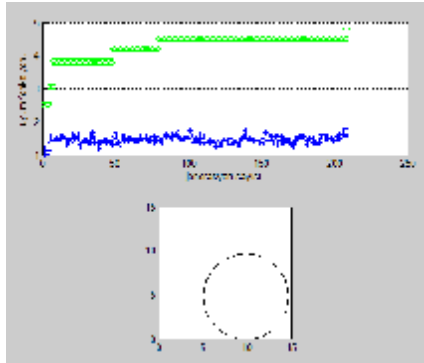
5

Popülasyon büyüklüğü 40 için yapılan denemeler

Mutasyon oranı:0.4 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

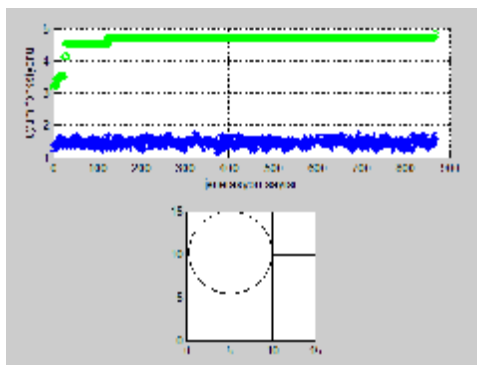
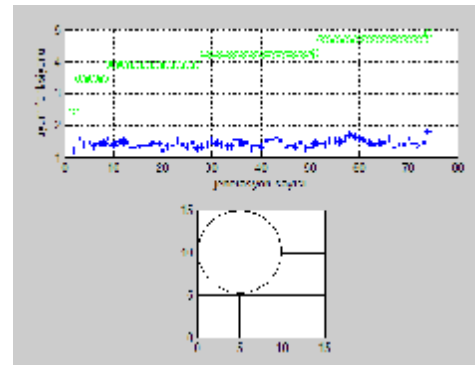
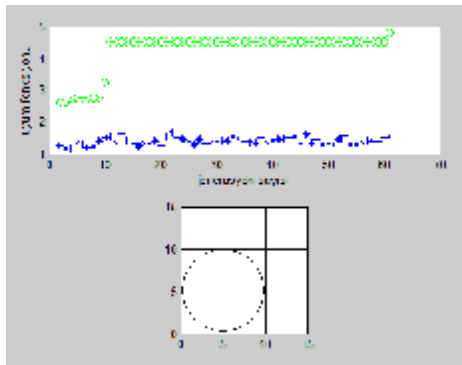
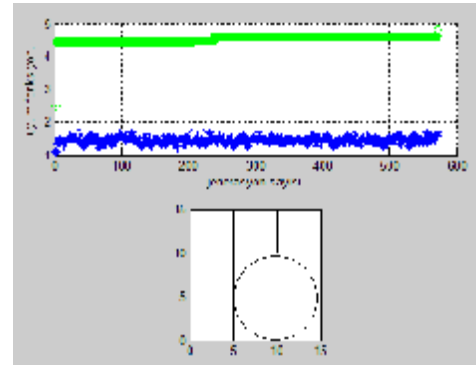
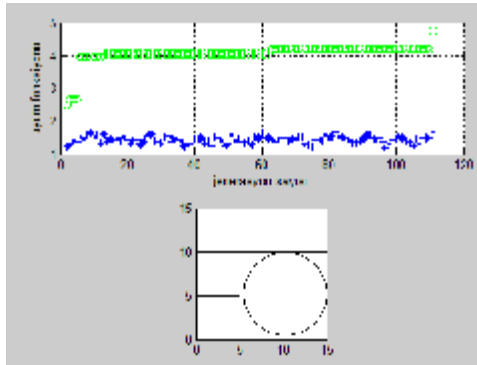


Mutasyon oranı:0.6 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

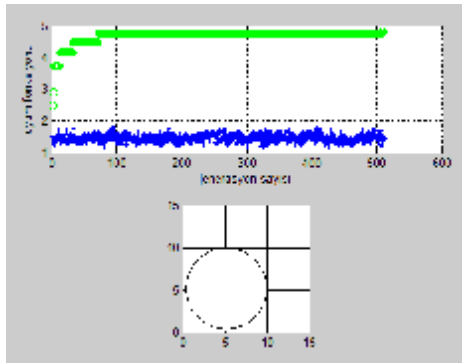
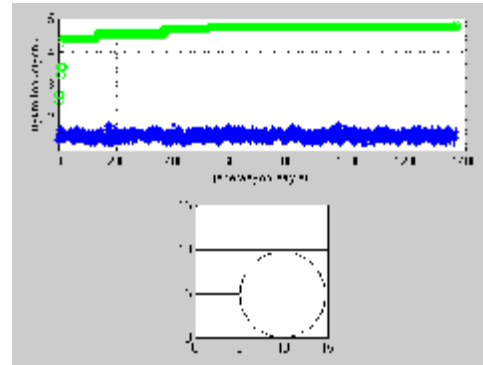
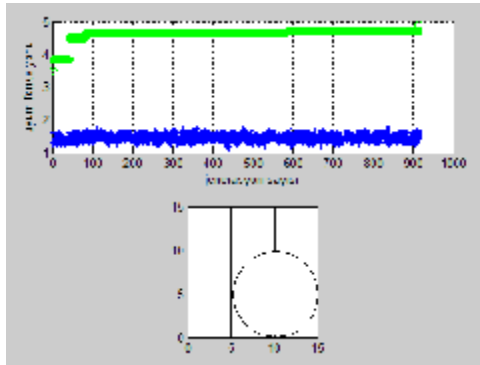
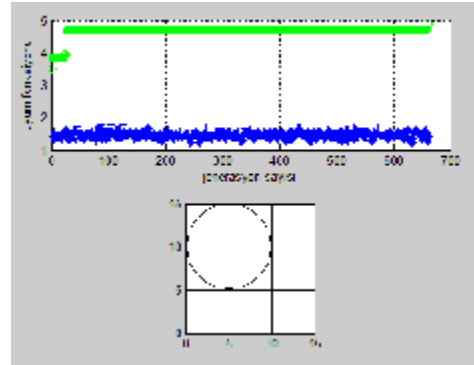
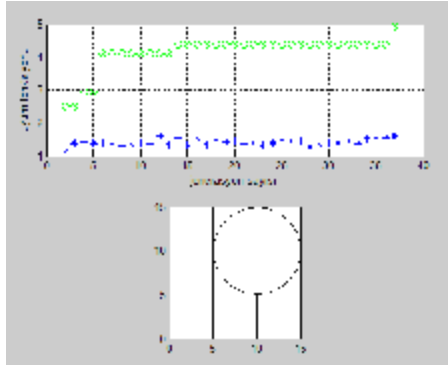


5

Mutasyon oranı:0.8 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

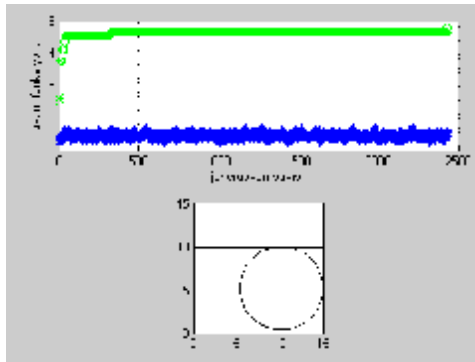
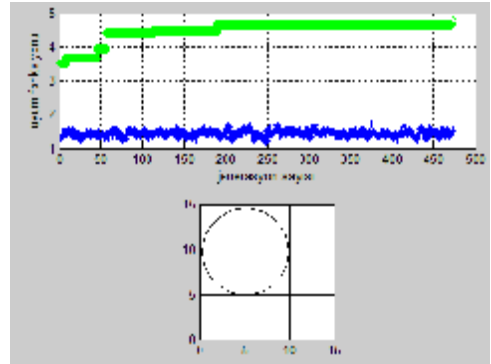
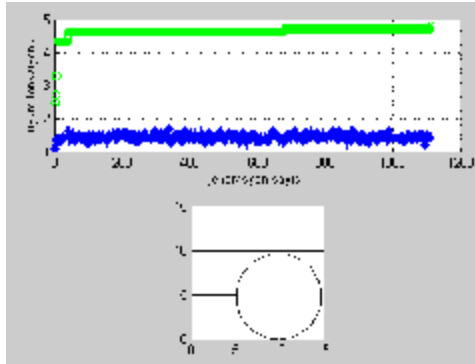
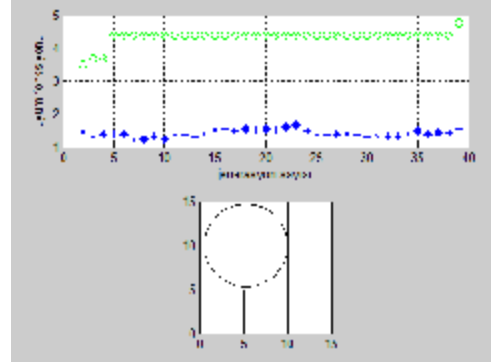
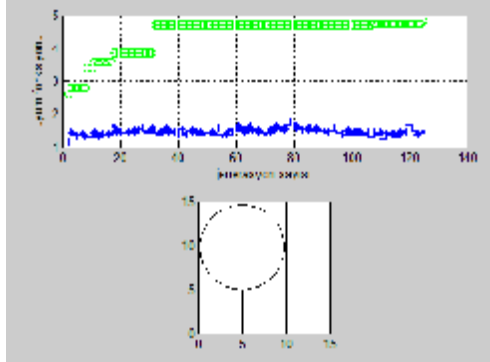


Mutasyon oranı:0.95 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri

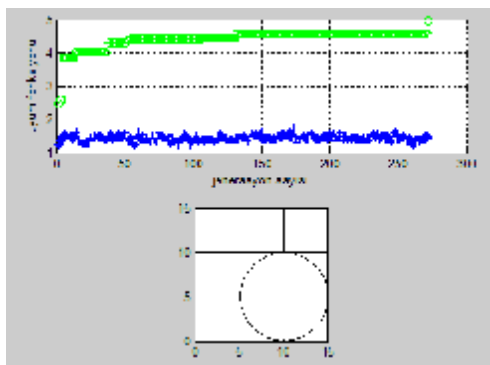
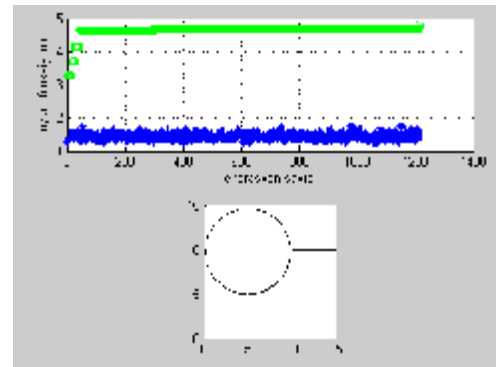
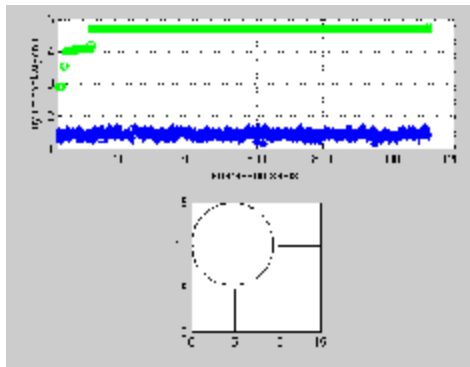
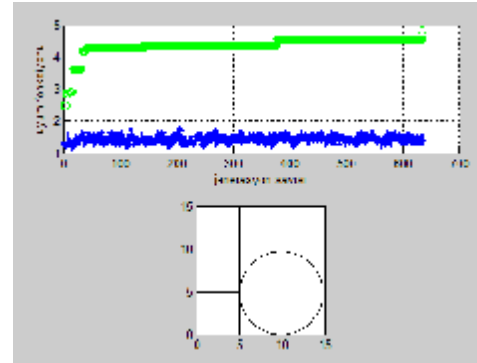
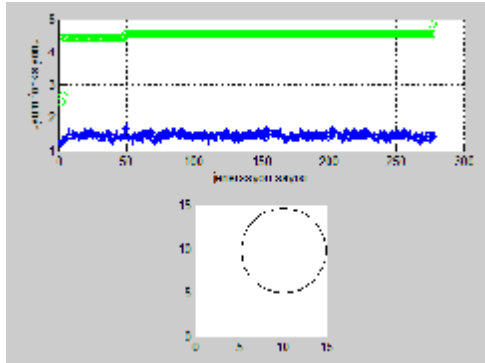


Popülasyon büyüklüğü 50 için yapılan denemeler

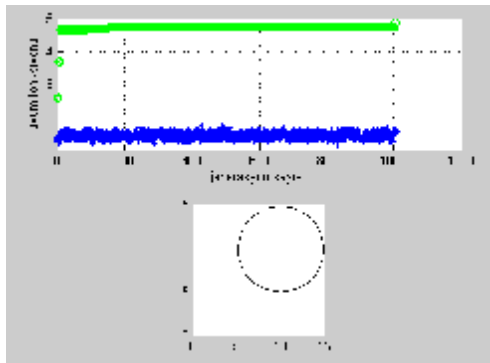
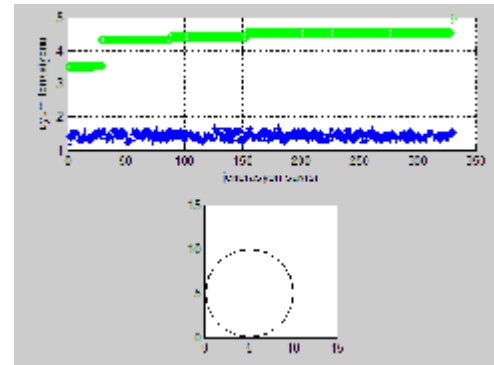
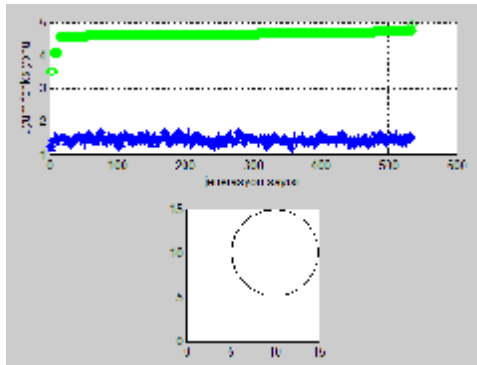
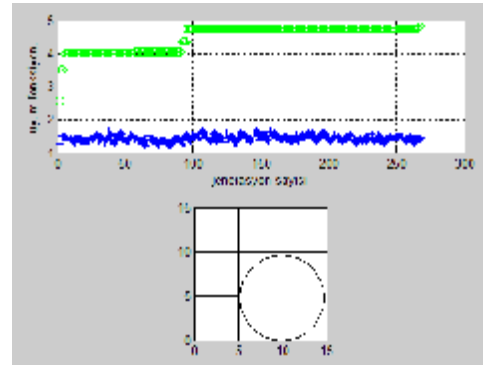
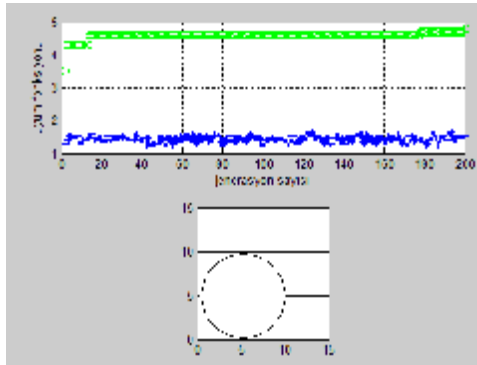
Mutasyon oranı:0.4 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



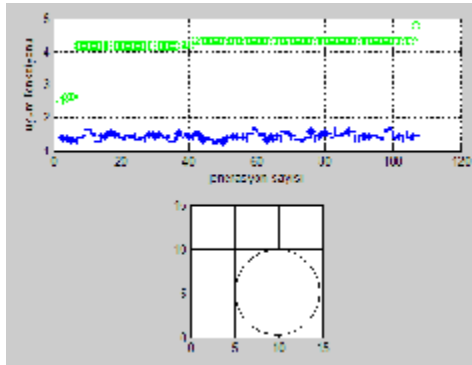
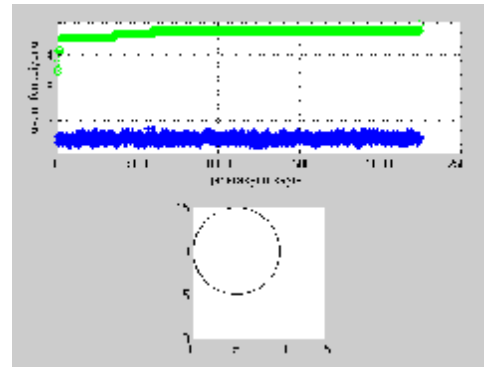
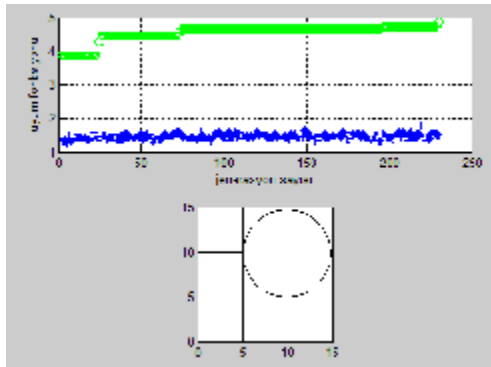
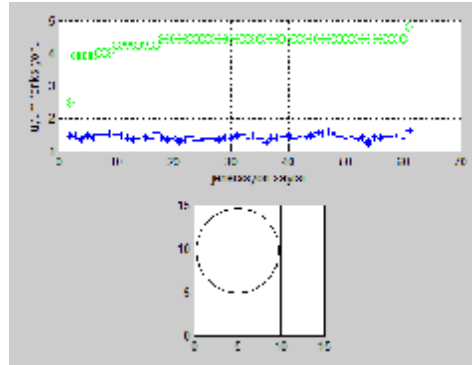
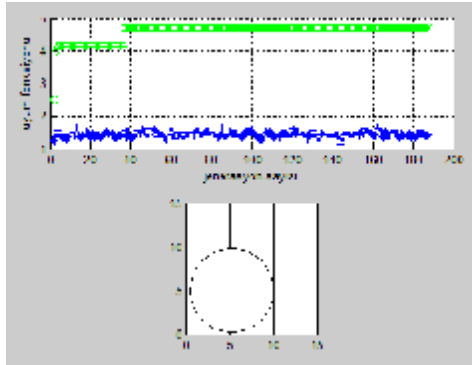
Mutasyon oranı:0.6 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



Mutasyon oranı:0.8 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



Mutasyon oranı:0.95 ve Yarıçap değeri:4.90 olan deneme sonuç grafikleri



EK 3

Popölasyon Büyüklüğü	Mutasyon Oranı	Yarıçap Değeri	Süre (saniye)	jenerasyon Sayısı
10	0,4	4,86	403	2611
10	0,4	4,79	467	2834
10	0,4	4,84	19	292
10	0,4	4,93	201	1758
10	0,4	4,89	541	3108
10	0,6	4,75	860	3627
10	0,6	4,81	60	598
10	0,6	4,88	46	458
10	0,6	4,95	720	3026
10	0,6	4,78	21	285
10	0,8	4,77	37	335
10	0,8	4,9	221	1422
10	0,8	4,75	323	1872
10	0,8	4,82	258	1506
10	0,8	4,87	518	2385
10	0,95	4,81	370	1732
10	0,95	4,83	463	2231
10	0,95	4,79	449	3354
10	0,95	4,92	155	921
10	0,95	4,88	243	1505
20	0,4	4,87	82	1512
20	0,4	4,85	25	573
20	0,4	4,77	77	1427
20	0,4	4,81	7	125
20	0,4	4,78	328	3846
20	0,6	4,77	27	449
20	0,6	4,81	70	1054
20	0,6	4,89	54	842
20	0,6	4,9	25	414
20	0,6	4,94	148	1921
20	0,8	4,81	16	200
20	0,8	4,92	8	102
20	0,8	4,86	14	179
20	0,8	4,77	186	2013
20	0,8	4,92	41	549
20	0,95	4,92	116	1132
20	0,95	4,96	38	432

20	0,95	4,81	42	470
20	0,95	4,89	54	617
20	0,95	4,76	64	714
30	0,4	4,88	39	528
30	0,4	4,76	52	719
30	0,4	4,8	67	946
30	0,4	4,85	240	2611
30	0,4	4,82	165	1990
30	0,6	4,76	17	133
30	0,6	4,81	59	646
30	0,6	4,88	38	403
30	0,6	4,82	51	433
30	0,6	4,8	79	824
30	0,8	4,78	11	54
30	0,8	4,85	49	378
30	0,8	4,8	159	1260
30	0,8	4,87	29	208
30	0,8	4,87	9	12
30	0,95	4,89	43	273
30	0,95	4,8	79	540
30	0,95	4,77	197	1358
30	0,95	4,89	40	260
30	0,95	4,77	69	504
40	0,4	4,91	100	502
40	0,4	4,76	45	260
40	0,4	4,77	113	573
40	0,4	4,83	4	22
40	0,4	4,94	52	305
40	0,6	4,82	49	208
40	0,6	4,76	166	627
40	0,6	4,81	44	167
40	0,6	4,9	127	504
40	0,6	4,81	91	375
40	0,8	4,76	33	11
40	0,8	4,81	180	572
40	0,8	4,81	18	61
40	0,8	4,89	21	74
40	0,8	4,82	275	867
40	0,95	4,95	13	37
40	0,95	4,9	254	662
40	0,95	4,9	347	913

40	0,95	4,82	549	1369
40	0,95	4,81	189	509
50	0,4	4,83	19	125
50	0,4	4,75	13	39
50	0,4	4,83	121	1111
50	0,4	4,77	53	473
50	0,4	4,78	309	2429
50	0,6	4,83	47	277
50	0,6	4,85	97	635
50	0,6	4,75	176	1121
50	0,6	4,83	190	1214
50	0,6	4,95	45	272
50	0,8	4,8	42	200
50	0,8	4,82	55	267
50	0,8	4,92	107	535
50	0,8	4,95	67	330
50	0,8	4,86	195	1004
50	0,95	4,79	68	187
50	0,95	4,82	25	61
50	0,95	4,86	56	230
50	0,95	4,94	530	2245
50	0,95	4,79	31	107