



İSKENDERUN TEKNİK

ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK
LİSANS
TEZİ**

**İKİ ROBOT KOLLU
SİSTEMDE GÖRÜNTÜ İŞLEME
VE GENETİK ALGORİTMA
KULLANARAK ÇARPIŞMA
ÖNLEME VE GÖREV
PAYLAŞIMININ OPTİMİZASYONU**

Metin SEVİNÇLİ

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**



**İKİ ROBOT KOLLU SİSTEMDE GÖRÜNTÜ İŞLEME VE GENETİK
ALGORİTMA KULLANARAK ÇARPIŞMA ÖNLEME VE GÖREV
PAYLAŞIMININ OPTİMİZASYONU**

Metin SEVİNÇLİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM, ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2023

Metin SEVİNÇLİ tarafından hazırlanan “İKİ ROBOT KOLLU SİSTEMDE GÖRÜNTÜ İŞLEME VE GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK ÇARPIŞMA ÖNLEME VE GÖREV PAYLAŞIMININ OPTİMİZASYONU” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İskenderun Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ersin ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hakan YAVUZ

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Çukurova Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Ersin ÖZDEMİR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Murat FURAT

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, İskenderun Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18 / 01 / 2023

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Doç. Dr. Ersin BAHÇECİ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

İskenderun Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez üzerinde Yükseköğretim Kurulu tarafından hiçbir değişiklik yapılamayacağı için tezin bilgisayar ekranında görüntülendiğinde asıl nüsha ile aynı olması sorumluluğunun tarafıma ait olduğunu,
- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

İmza

Metin SEVİNÇLİ

18 / 01 / 2023

İKİ ROBOT KOLLU SİSTEMDE GÖRÜNTÜ İŞLEME VE GENETİK ALGORİTMA
KULLANARAK ÇARPIŞMA ÖNLEME VE GÖREV PAYLAŞIMININ OPTİMİZASYONU
(Yüksek Lisans Tezi)

Metin SEVİNÇLİ

İSKENDERUN TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Ocak 2023

ÖZET

Bu çalışmada, seçme amacıyla kullanılan bir konveyör bandının üzerindeki cisimlerin konumları, bir kamera ile çekilen fotoğraflar işlenerek elde edilmiştir. Konumları belirlenen objeleri toplamak için karşılıklı konumlandırılan iki adet robot kolun hareketi genetik algoritma ile planlanmıştır.

Çalışma iki ana modülden oluşmaktadır. İlk modül, gerçek görüntülerin işlendiği ve cisimlerin konumlarının belirlendiği görüntü işleme modülüdür. Bu amaçla geliştirilen "Metrik" ismini verdiğimiz görüntü işleme algoritması ve YOLOv4 algoritması kullanılmıştır. İkinci modül robotlara iletilecek, 4 farklı amacı gerçekleştiren, en uygun hareket planının genetik algoritma ile hesaplandığı bölümdür. Bu amaçlar; robot kolların çarpışmasının engellenmesi, eşit sayıda cisim almaları, kat edilecek toplam yolun kısaltılması ve yolların birbirine eşit olmasıdır. Bu hedeflere genetik algoritmanın ulaşabilmesi için bir başarı puanı hesaplama formülü geliştirilmiştir. Bu hedefler için en yüksek toplam başarı puanı veren hareket planı robot kollara iletilerek çarpışmaları engellenmiş, görev süreleri azaltılmış ve çalışma ömürleri arttırılmıştır. Sonuç olarak, hedef cisimlerin tanınması ve konumlarının belirlenmesi için "Metrik" ve YOLOv4 algoritmaları karşılaştırılmıştır. YOLOv4 algoritması "Metrik" den yaklaşık 100 kat daha hızlı, milisaniyeler düzeyinde cisimleri tanımış ve konumlarını belirlemiştir. Genetik algoritma kullanılmadan yapılan görev dağılımlarında, robot kolların çarpıştığı, görev dağılımının dengesiz olduğu görülmüştür. Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon sonrasında yük dağılımı, kat edilen yol dengeli hale gelerek kollar çarpışmamıştır. Elde edilen sonuçlarda, optimizasyon öncesine göre kat edilecek mesafe %25 azalırken, başarı yaklaşık %30 artmıştır.

Önerilen yöntemde hedef cisimlerin konumları başarılı bir şekilde belirlenmiştir ve robot kollar bu cisimleri çarpışmadan dengeli iş yükü ile toplamışlardır.

Anahtar Kelimeler : Görüntü İşleme, YOLOv4, Çoklu Robot Kol, Optimizasyon, Çarpışma Önleme, Genetik Algoritma.

Sayfa Adedi : 69

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ersin ÖZDEMİR

COLLISION PREVENTION AND OPTIMIZATION OF TASK SHARING USING IMAGE
PROCESSING AND GENETIC ALGORITHM IN A TWO ROBOT ARM SYSTEM
(M. Sc. Thesis)

Metin SEVİNÇLİ

ISKENDERUN TECHNICAL UNIVERSITY
INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES

January 2023

ABSTRACT

In this study, the positions of objects on a conveyor belt used for selection are obtained by processing pictures taken by a single camera. The movements of two mutually positioned robot arms are optimally planned with a genetic algorithm to collect the objects whose positions are determined by image processing.

The study consists of two main modules. The first module is the image processing module, where the images are processed for determination of the position of the objects. For this purpose, the image processing algorithm named as "metric" and the YOLOv4 algorithms are used. The second module is the section where the task planning details to be transmitted to the robots is calculated by genetic algorithm. In this module, an optimum action plan has been made for 4 different purposes. These purposes are defined as preventing collision of robot arms, taking the equal number of objects, shortening the total path to be travelled, and equalization of paths. In order for the Genetic Algorithm to achieve these goals, a success score calculation method has been developed. The action plan that gives the highest total success score for these targets is transmitted to the robot arms aiming at preventing collisions, reducing their duty times and increasing their working life. As a part of the study, the "Metric" and YOLOv4 algorithms are compared for identifying target objects and determining their location. It is observed that the YOLOv4 algorithm recognizes and determines the positions of objects in milliseconds, approximately 100 times faster than the Metric. It is also seen that the task distributions performed without using the genetic algorithm approach, it is seen that the robot arms collide and the task distribution is mainly unbalanced. After the task optimization is achieved by using the genetic algorithm, the work distribution and the path planning for the task becomes balanced and there appears to be no collisions of the arms. The achieved results also indicate that the distance to be covered is decreased by 25% and the success rate is increased by approximately 30%, compared to the pre-optimization.

In the proposed method, the positions of the target objects are successfully determined and the robot arms collected the objects with a balanced workload without collision.

Key Words : Image processing, YOLOv4, Multiple Robot Arm, Optimization, Collision Avoidance, Genetic Algorithm.

Page Number : 69

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Ersin ÖZDEMİR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca ilminden faydalandığım, insani ve ahlaki değerlerini örnek edindiğim, engin bilgi ve birikimlerini benimle büyük bir titizlikle paylaşıp, beni yönlendiren danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ersin ÖZDEMİR'e ve yüksek lisans eğitimim süresince bana manevi destek veren eşim Zuhâl SEVİNÇLİ'ye ve beni sürekli motive eden kızım Selena SEVİNÇLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR.....	4
2.1. Robotların Sınıflandırılması	4
2.1.1. Sektöre göre robotlar	4
2.1.2. Kabiliyetlerine göre robotlar	7
2.1.3. Tahrik sistemlerine göre	8
2.1.4. Diğer robotlar	9
2.2. Mobil Robotlarda Yol Planlama	11
2.3. Çok Kollu Robot Sistemlerinde Optimizasyon Algoritmaları İle Hareket Planlaması.....	18
2.4. Görüntü Tanıma Yöntemleri İle Hareket Planlama	22
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Deney Düzenegi Ve Donanımlar	25
3.2. Görüntü İşleme Yöntemleri.....	28
3.2.1. Metrik Tanımlama	28

3.2.2. YOLO	34
3.3. Genetik Algoritma.....	37
3.3.1. Hazırlık	39
3.3.2. İlk Popülasyonun Oluşturulması	41
3.3.3. Uygunluk Değeri Hesaplama.....	41
3.3.4. Seçim	41
3.3.5. Çaprazlama	43
3.3.6. Mutasyon	43
3.3.7. Yeni kuşak oluşumu ve durdurma şartı	43
3.4. Robot Kolların Çakışmadan Cisimleri Toplaması ve Optimizasyonu	44
3.4.1. İlk popülasyonun oluşturulması.....	44
3.4.2. Genetik algoritma optimizasyon döngüsü	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....	62
KAYNAKLAR.....	63

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan cep telefonu ve kamera özellikleri	27
Çizelge 3.2. Yazılımların geliştirildiği ve verilerin işlendiği bilgisayarların özellikleri	27
Çizelge 3.3. Şekillerine göre cisimlerin numaralandırılması.....	30
Çizelge 3.4. Renklerine göre cisimlerin kodlanması	30
Çizelge 3.5. Çeşitli şekillerdeki cisimlerden elde edilen metrik sonuçları	31
Çizelge 3.6. Sonuç matrisi	33
Çizelge 3.7. Şekillerine göre cisimlerin etiketlenmesi.....	35
Çizelge 3.8. Normalize koordinatların bulunduğu etiket dosyası.....	35
Çizelge 3.9. İkili kodlanmış örnek kromozomlar	40
Çizelge 3.10. Şekil ve rengine göre istenen cisim bilgileri.....	44
Çizelge 3.11 Sıra matrisindeki bilgiler	45
Çizelge 4.1. Genetik algoritma öncesi ve sonrası farklı sayıda malzeme alma karşılaştırması	54
Çizelge 4.2. GA öncesi aynı sayıda malzeme ile başlanan optimizasyon sonucu.....	55
Çizelge 4.3. 1.Bilgisayar ile yapılan optimizasyon süre ve uygunluk değerleri.....	60
Çizelge 4.4. 2.Bilgisayar ile yapılan optimizasyon süre ve uygunluk değerleri.....	61

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Endüstriyel robotların sınıflandırılması.....	5
Şekil 2.2. Mobil robot için yol planlama yöntemleri.....	12
Şekil 2.3. Görünürlük grafiği.....	14
Şekil 2.4. Voronoi diagramı.....	15
Şekil 2.5. Dikdörtgen hücreli ayrıştırma.....	16
Şekil 2.6. Kare hücreli ayrıştırma.....	16
Şekil 2.7. Hücre ayrıştırması: başlangıçtan hedef konuma kadar olası yollardan biri....	16
Şekil 2.8. APF yaklaşımıyla mobil robot navigasyonu.....	17
Şekil 2.9. Hareket planlama yöntemlerinin özellikleri.....	18
Şekil 3.1. İkilik resmin elde edilmesi için akış diyagramı.....	29
Şekil 3.2. YOLO ile test sonunda elde edilen bir sonuç görüntüsü.....	36
Şekil 3.3. Genetik algoritma akış diyagramı.....	39
Şekil 3.4 Ağaç kodlamalı kromozom örneği.....	41
Şekil 3.5. Cisimlerin robotlara olan uzaklıklarının tespiti.....	45
Şekil 3.6. Kromozom örneği.....	48
Şekil 3.7. Popülasyon örneği.....	48
Şekil 3.8. İlk popülasyon başarı yüzdesi dağılımı.....	48
Şekil 3.9. Mutasyon örneği.....	49
Şekil 3.10. Genetik algoritma da hesaplama, seçim, çaprazlama ve mutasyon döngüsü	50
Şekil 3.11. Çarpışmanın engellenmesi için örnek puan hesaplanması.....	51
Şekil 4.1. İlk popülasyon sonucu robotlara atanan malzemeler.....	52
Şekil 4.2. Yakın plan çarpışma durumunun görüntüsü.....	53
Şekil 4.3. GA optimizasyonlarında başarı grafiği.....	54
Şekil 4.4. GA optimizasyonu sonucu robotların alacağı cisimler için hareket planı.....	55
Şekil 4.5. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 50 000 iterasyon uygunluk değerleri	56

Şekil 4.6. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 10 000 iterasyon uygunluk değerleri	56
Şekil 4.7. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 5 000 iterasyona göre uygunluk değerleri	57
Şekil 4.8. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 50 000 iterasyona göre uygunluk değerleri	57
Şekil 4.9. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 10 000 iterasyona göre uygunluk değerleri	58
Şekil 4.10. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 5 000 iterasyona göre uygunluk değerleri	58



RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. El Cezeri' nin abdest aldırma robotu	1
Resim 1.2. Unimate robotu	2
Resim 1.3. Stanford kolu	3
Resim 3.1. Deney düzeneği fotoğrafları	26
Resim 3.2 Kullanılan nesnelerin yakından görünüşü	26
Resim 3.3. Deneylerde kullanılan yemekhane servis bandı	27
Resim 3.4. Orijinal görüntü	32
Resim 3.5 Şekillerine ve sıra numarasına göre etiketlenmiş görüntü.....	32

SİMGELER VE KISALTMALAR

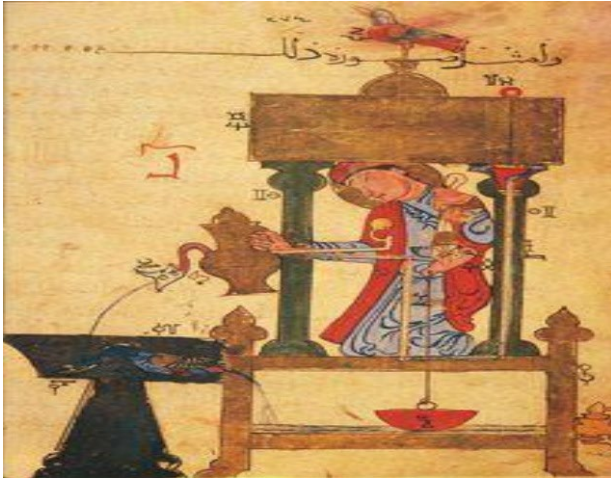
Bu çalışmada kullanılan kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklamalar
ABC	Artificial Bee Colony (Yapay Arı Kolonisi)
ACO	Ant Colony Optimization (Karıncı Kolonisi Optimizasyonu)
AGV	Automated Guided Vehicle
DMPC	Distributed Model Predictive Control
EPO	Emperor Penguin Optimization (İmparator Penguen Optimizasyonu)
GA	Genetic Algorithm (Genetik Algoritma)
GLS	Guided Local Search (Güdümlü Yerel Arama)
MA	Microcanonical Annealing (Mikrokanonik Tavlama)
OYA	Otomatik Yönlendirmeli Araçlar
PID	Proportional-Integral-Derivative
PSO	Particle Swarm Optimization (Parçacık Sürü Optimizasyonu)
RAT	Robotic-Assisted Arm Training
RL	Reinforcement Learning
SA	Simulated Annealing (Benzetilmiş Tavlama)
SCARA	Selective Compliance Articulated Robot Arm (Seçici Uyumluluk Mafsallı Robot Kolu)
SHO	Spotted Hyena Optimization (Benekli Sırtlan Optimizasyonu)
SOA	Seagull Optimization (Martı Optimizasyonu)
TS	Tabu Search (Tabu Arama)
QP	Quadratic Programming
WABOT-1	(WAseda roBOT)
VObDS	Virtual Object based Dynamical Systems
YOLO	You Only Look Ones

1. GİRİŞ

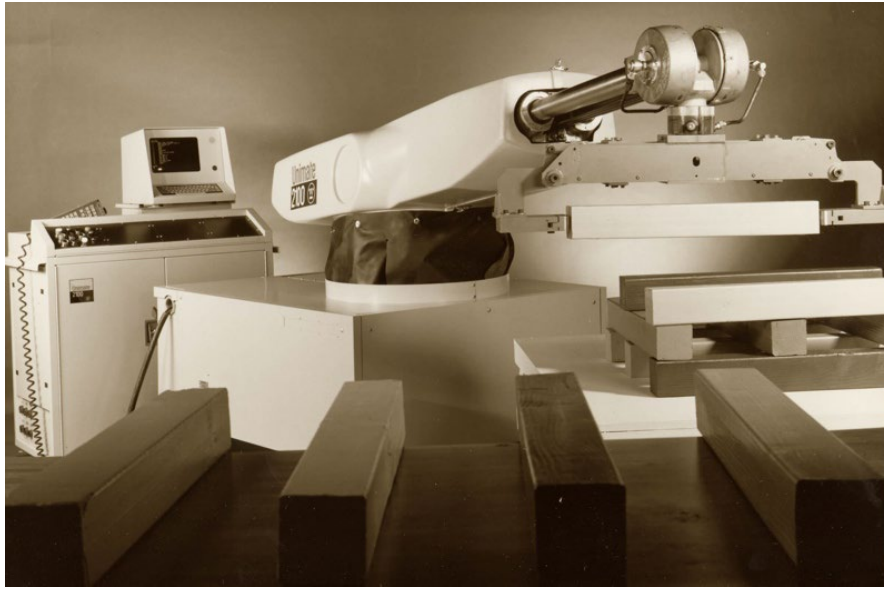
Tüm sanayicilerin Endüstri 4.0'dan 5.0'a geçmeye hazırlandığı günümüz endüstrisinde, sanayicilerin dünya çapında bir rekabet için üretimden paketlemeye, depolamadan nakliyeye kadar birçok aşamada robotik sistemleri kullanmak artık zorunluluk haline gelmiştir. Bu sistemlerde birden fazla robotun aynı alan ve zamanda birlikte çalışması üretim verimini ve hızını daha da artırdığı bir gerçektir. Ancak robotların birlikte çalışması çarpışma riskini beraberinde getirmiştir. Bu tezin de konusu olan birlikte çalışan robotların çarpışmadan birbirine eşit veya yakın sayıda malzeme için çalışması ve bunun sonucu olarak eşit ve daha az yaşlanmalarının sağlanması önem arz etmektedir. Robotlu sistemlerde kurulum maliyeti yüksekliği düşünüldüğünde, robotların eş yaşlanmaları ve en az yol kat etmeleri, robotların ömrünün uzamasına ve daha az enerji tüketerek aynı işin maliyetinin de azalmasına neden olur.

Günümüz endüstrisinde robotlar, hızlı üretim bantlarının önemli bir ekipmanı olarak insan gücü kullanımının ve üretim hatalarının azaltılmasında önemli roller üstlenmektedirler. Verimliliğe önemli katkılarda bulunarak üretimin daha düşük maliyet ve daha kısa sürede gerçekleştirilmesini sağlamaktadırlar. Robotlar ile ilgili düşüncelerin ortaya çıkması ve El Cezeri tarafından ilk uygulamasının (Resim 1.1) 11. yüzyılda yapılmasından bugüne kadar çeşitli süreçlerden geçerek modern teknolojiler ile donatılmak suretiyle günümüzdeki formunu almışlardır [1,2].



Resim 1.1. El Cezeri' nin abdest aldırma robotu

Tarihteki ilk robot kavramı 1920 yılında Çek yazar Karel Capek'in yazdığı RUR (Rossum's Universal Robots) adlı oyun romanında kullanılmıştır. Sanayi kuruluşlarındaki zamanla ortaya çıkan maliyet ve insanlar açısından tehlikeli alanlardaki seri üretimin yapılması ile ilgili ihtiyaçlar endüstriyel robotlara yönelmeyi doğurmuştur. Bu arayışların neticesinde ilk endüstriyel robot 1961 yılında George Devol ile Joseph Engelberger'e ait Unimaton şirketi tarafından Unimate ismiyle kurulmuştur (Resim1.2) [3]. Hidrolik olarak çalıştırılan ve bir kalıp döküm makinesinden parça çıkarmak için kullanılan Unimate'i yeniden programlamak çok karmaşık olduğundan tek bir görev için kullanılmıştır [4].



Resim 1.2. Unimate robotu

1968 ile 1977 arasında sınırlı davranışları öğrenebilen ve sahip oldukları gelişmiş sensörler yardımıyla çevreyi tanıma yeteneklerine sahip programlanabilen ikinci nesil endüstriyel robotlar üretilmeye başlanmıştır [5]. Stanford Üniversitesi'nde makine mühendisliği öğrencisi olan Victor Scheinman 1969 yılında 5 döner ve 1 prizmatik olmak üzere toplam 6 eklemden oluşan ve mikroişlemci ile kontrol edilen ilk robot kol örneği olan Stanford kolunu (Resim 1.3) tasarlamıştır [4]. Stanford kolu robotların gelişiminde bir mihenk taşı olarak kabul edilir.



Resim 1.3. Stanford kolu

Standford kolundan sonra da robotlar üzerine yapılan çalışmalar devam etmiş ve sosyal alanlarda broşür dağıtmak v.b. gibi amaçlarla kullanılmak ve sempatik görünmesi için insansı robotlar üretme çabası içine girilmiştir. Bunun sonucunda insansı tam ölçekli ilk robot 1973 yılında Japonya'daki Waseda Üniversitesi tarafından hayata geçirilmiştir [6]. WABOT-1 adıyla tanıtılan bu insansı robotun özellikleri, insan gibi 2 ayakla yürüme, görme, konuşma, nesne kavrama, yön bulma ve mesafe ölçme olarak özetlenebilir [7].

Tez çalışmasının geri kalan bölümleri şu şekilde özetlenebilir:

- Literatür bölümünde önceki çalışmalardan örnekler ile robotlar sınıflandırılmıştır. Daha sonra, mobil robotlarda yol planlama ile sabit robotlarda hareket planlama üzerine yapılan çalışmalar sunulmuştur.
- Materyal ve Yöntem bölümünde, öncelikle tez çalışmasında kullanılan bilgisayar ile deneysel düzenekler hakkında bilgi verilmiştir. Sonrasında cisimlerin şekil ve konumlarının tespit edilmesi için kullanılan geliştirdiğimiz görüntü işleme algoritması ile birlikte "Sadece Bir Kere Bak" (You Only Look Ones, YOLO) algoritması da görüntü işleme yöntemlerinde anlatılmıştır. Daha sonra genetik algoritmanın temelleri ile önerilen yöntem detaylı olarak verilmiştir.
- Bulgular ve Tartışma bölümünde, yapılan deneysel çalışmanın sonuçları ile bunlar üzerinde yorumlar yer almaktadır.
- Son bölüm, tezin konusunda elde edilen sonuçların değerlendirilmesine ayrılmıştır.

2. LİTERATÜR

Robotlar ve robot kolların endüstrinin farklı alanlarında yaşanan problemlere çözüm olması amacıyla yapılan çalışmalar incelendiğinde özellikleri bakımından farklı bakış açıları ile çözüm üretildiği görülmektedir. Buna bir örnek olarak çarpışma önleme ve engellerden kaçınma özelliklerinin ele alındığı yol planlama probleminin çözümleri gösterilebilir. Diğer bir örnek ise sabit robotların hareketlerini en az mesafede yapabilmesi için yörünge optimizasyonu ve böylece çalışma süresinin, tüketilen enerjinin, aşınma ve yaşlanmanın en aza indirilmesinin hedeflendiği hareket planlama uygulamalarıdır.

Bu tez çalışmasında ise yukarıda ilk örnekte verilen çarpışma önleme özelliği ile diğer örnekteki hareket planlama özelliklerinin birlikte gerçekleştirildiği yeni bir yöntem, bir bandın her iki kenarına karşılıklı yerleştirilmiş sabit robot kolların hareket planlaması için geliştirilmiştir.

2.1. Robotların Sınıflandırılması

Endüstrinin her alanda gelişmesi ile birlikte kullanılan robotlar, çeşitli özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu robotlar, birçok araştırmacı tarafından sınıflandırılmakta olup [8–11] genel olarak yapılacak sınıflandırmada üç kategori göze çarpmaktadır. Bunlar:

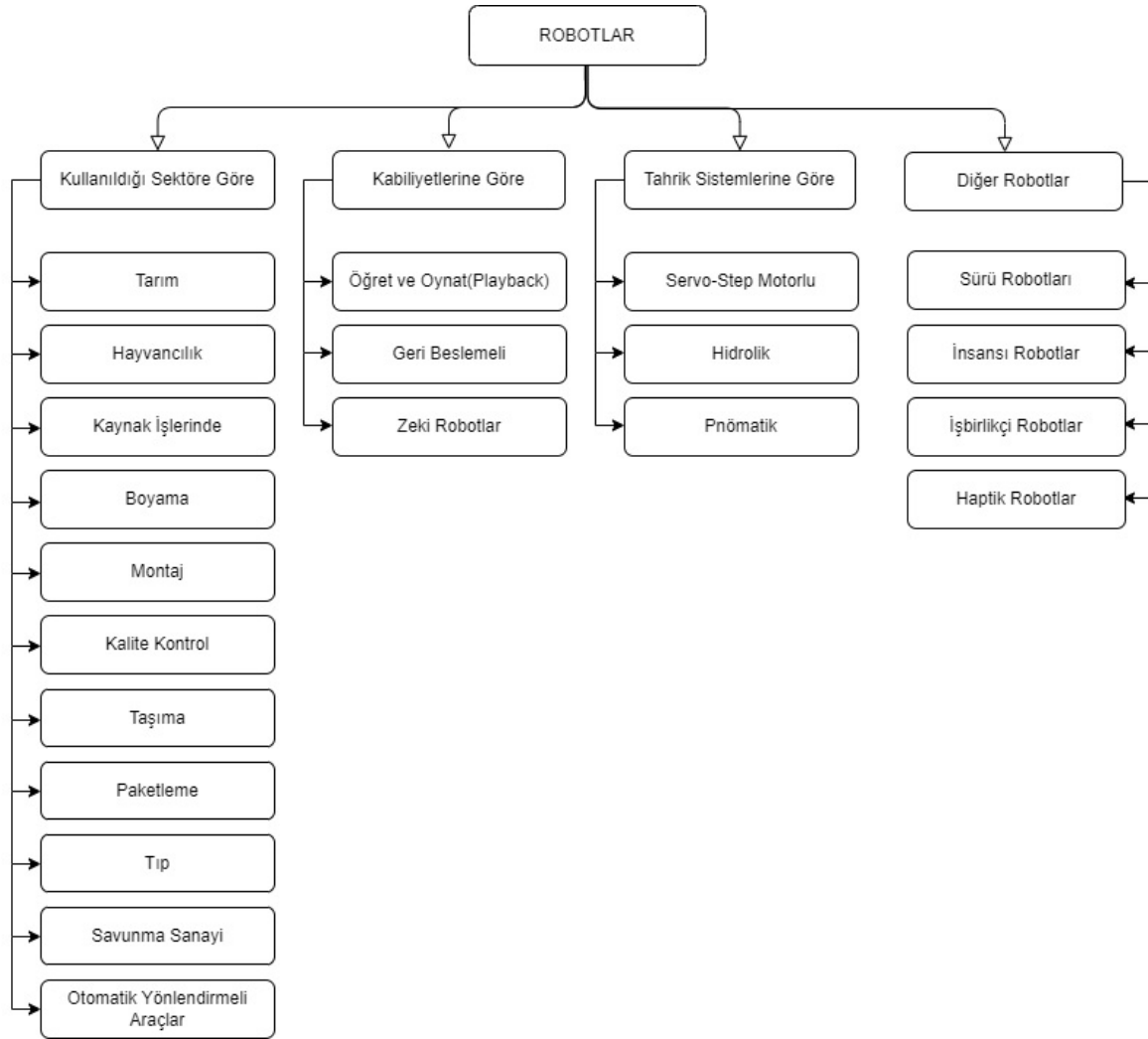
- Sektör (tarım, hayvancılık, kaynak işleri, boyama, montaj, kalite kontrol, taşıma, paketleme, tıp, savunma sanayisi ve otomatik yönlendirmeli araçlar),
- Kabiliyet (öğret ve oynat (playback), geri besleme ve zeki robotlar
- Tahrik (servo-step motorlu, hidrolik ve pnömatik).

Şekil 2.1'deki gibi sektör, kabiliyet ve tahrik sistemlerine göre sınıflandırılan robotlar kendi içlerinde de çeşitli alt gruplara ayrılmaktadır. Bu üç sınıftan hiç birine girmeyen robotlar ise diğer robotlar adıyla sınıflandırmaya dâhil edilmiştir. Bunlarla ilgili çalışmalar aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Sektöre göre robotlar

Robotlar kullanıldığı sektörlere göre incelendiğinde şu örneklemeler yapılabilir. Tarımsal faaliyetlerde tohum ekim görevi için özel olarak tasarlanmış otonom bir tarım robotunun

prototipi Keerthana, Kirubaharan, Krishnamoorthy, Rajeswari, Zabiullah [12] tarafından sunulmuştur. Tarımda robot kullanımının yaygınlaşması ile birlikte tarımla iç içe olan hayvancılıkta da robot kullanımı başlamıştır. Örneğin Wang, Xie, Chang [13] çiftliklerdeki yumurtaları toplayıp sınıflandırabilen bir robot tasarlamışlardır.



Şekil 2.1. Endüstriyel robotların sınıflandırılması

Robotlar sadece tarım ve hayvancılıkta kullanılmakla kalmayıp sanayi kuruluşlarında da yaygın kullanımı mevcuttur. Birden fazla sensöre sahip otomatik kaynak dikişi takibi yapabilen borudan boruya TIG (Tungsten Inert Gaz Kaynağı, Koruyucu gazaltı tungsten ark kaynağı) kaynak robotunun tanıtımı Lei, Huang, Wang, Rong [14] tarafından yapılmıştır. Bir diğer kaynak işlerinde robotların kullanımı ile ilgili çalışma Guo, Zhu, Sun, Zhang [15] tarafından çelik kutu kirişler için tüm konumlarda otomatik kaynak işlemleri gerçekleştirebilen yeni bir kaynak robotu geliştirilmesidir. Robotların kullanıldığı

alanlardan bir diğeri de boyama sektörüdür. Raspberry Pi kartı ile Python programı kullanılarak kontrol edilebilen ve zaman yönetiminde de oldukça başarılı olan bir otomatik duvar boyama robotunu Bhuvaneswari, Ashlin, Madhavan, Thandapani [16] tasarlamışlardır.

Son zamanlarda otomotiv imalatındaki akıllı dönüşüm arayışları robot kullanımını dönüşümün anahtarı pozisyonuna sokmuştur. İnsanların ve robotların kaderinin rekabetten çok işbirliğine bağlı olduğu fikri giderek ağırlık kazanmaya başlamıştır. ROBO-PARTNER adıyla yapılmış bir proje kapsamında insan robot işbirlikçi montajı için bir robotik sistemin uygulaması Michalos ve diğerleri [17] tarafından hayata geçirilmiştir. Akıllı dönüşümün bir diğer nedeni ise artan talep ve rekabet karşısında iş kalitesini daha da arttırmak ve maliyetleri düşürmektir. 4. Sanayi devrimiyle birlikte üretilen ürünlerdeki kalite kontrolünün artırılması ve hatalı ürün sayısının sıfıra indirilmesi amaçlanmış ve mevcut çalışanlarla birlikte aynı alanda UR3 robotu konumlandırılarak işbirlikçi bir yaklaşım Brito ve diğerleri [18] tarafından önerilmiştir.

Kaliteli ve düşük maliyetli ürünlere yönelik talebin artması durumunda firmaların, depolarını hızla yenilemesi ve ürünü stoklaması gerekmektedir. Geleneksel depo lojistiği yöntemleri, çalıştırma ve bakım için fazla maliyet içeren ve bir takım sınırlamalarla gelen insan emeği ve Otomatik Yönlendirmeli Araçlar'dan (OYA) oluşan hibrit sistemler kullanır. Khedkar ve diğerleri [19] tarafından yapılan, depo ortamlarında basit ama etkili bir yönlendirme sistemine sahip, maliyeti, görev süresini ve manuel çabaları azaltan, esnekliği artıran, çarpışmaları başarıyla önleyen, ayrıca canlı/cansız nesnelere algılayabilen ve buna göre tepki verebilen bir OYA sunulmuştur.

Sosyal olmak amacıyla tasarlanmayan robotların insanlarla hangi biçimde sosyal etkileşime girebileceğinin araştırıldığı bir çalışmada OYA'lar Norveç'te bir hastanede çeşitli hizmetlerde kullanılmıştır [20]. Bu araçlar, hastane içerisinde tıbbi ekipmanların, yiyeceklerin ve çöplerin taşınması için programlanmıştır.

İnsanoğlu yaratıldığı günden bu yana sosyalleşmeyi isteyen bir yapıya sahiptir. Ancak küresel bir salgın haline gelmiş olan COVID-19 salgınında milyonlarca insanın virüsten ölmesi sosyalleşmeyi engellemiştir. Bu salgın kontrol altına alınmış olsa bile dış ortamdaki etkilenmeyle birlikte soğuk zincir taşımacılığı yoluyla ithal edilen meyve ve sebzelerle de

virüs taşınabilmektedir. Bu yüzden salgın, paketleme bölümlerinde robotların kullanımını ön plana çıkarmıştır. Birçok büyük işletme üretiminin son aşaması olan paketlemede hız ve verim avantajlarını da düşünerek robotik uygulamalara daha çok yer vermiştir. Bu tür durumlarla başa çıkmak için Yang ve diğerleri [21] tarafından meyveleri tanıyan, ardından alınmasını ve paketlenmesini sağlayan bir robot tasarlanmıştır.

Belirli tekrarlayan görevleri gerçekleştirmek için endüstride kullanılan robotik manipülatörler, insan-robot etkileşimi için sensör ve cihazlardaki teknolojik gelişmelerden sonra yüksek hassasiyet gerektiren cerrahi veya rehabilitasyon gibi tıp alanında daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Elektromekanik destekli cihazlar ve robotlar, nörolojik hastalıkları olan hastalarda fonksiyonel iyileşmeye yardımcı olmak için nörorehabilitasyonda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Servikal omurilik yaralanmasından etkilenen deneklerde motor ve fonksiyonel iyileşmede klinik uygulamalar ve robotik yardımcı kol eğitimi (Robotic-Assisted Arm Training, RAT) hakkında kanıta dayalı ilerlemelerin sistematik olarak raporlanması Morone ve diğerleri [22] tarafından derlenmiştir.

Sensör ve robot kontrolcülerindeki gelişmeler robotların sadece tıpta değil askeri amaçla da kullanımını arttırmıştır. Bunlardan biri de, tehlikeli savaş ortamında bulunan yaralı bir askeri bulunduğu yerden çıkarmak için yapılmış kurtarma robotudur [23].

2.1.2. Kabiliyetlerine göre robotlar

Kabiliyetlerine göre robotlar incelendiğinde öğret ve oynat (playback), geri besleme ve zeki robotlar kategorilerine ayrılabilir.

Kaynak işlerinde kullanılan robotların birçoğu öğret ve oynat kategorisine girmektedir. Ancak bu robotların, kurulum süresinin uzun olması ve kaynak işlemi sırasında iş parçalarının durumunu karşılamak için kendi kendini düzeltmemeleri gibi eksiklikleri mevcuttur [24].

Engelibeli arazilerde tekerlekli mobil robotlara nispeten geri beslemeli bacaklı mobil robotlar daha çok tercih edilmektedir. Özellikle kinematik karmaşıklıklarından dolayı hızlı geri besleme bilgisine ihtiyacı olan bacaklı mobil robotlarda geri bildirimde sahip akıllı

servo motorlar kullanılmaktadır. Bunun dışında, robot hareketini kararlı yapmak ve ayağın zeminle temas noktasını algılamak için ek sensörler kullanılarak daha çok geri besleme almak suretiyle robot hareketi daha kararlı duruma getirilebilmektedir [25].

Günümüzde birçok alan, nesnelere akıllı tespiti ve tanınmasını, çevreden bilgi toplamayı ve güvenlik sistemi, araç gözetleme navigasyonu, otonom robot navigasyonu vb. gibi farklı görevleri gerçekleştirmeyi gerektirir. Yapay zekânın gelişimiyle birlikte robotlar da geliştirilmiş, çevresini otomatik olarak analiz eden, emirler veren ve insanı taklit etmeye çalışan zeki robotlar endüstride, tarımda ve hizmet sektöründe daha fazla rol oynamaya başlamıştır. Kendi donanımını akıllı teknoloji ile birleştirebilen gelişmiş akıllı robotlar yapılmaya başlanmıştır. 21. yüzyılda bu gelişim hızlanmış ve robotlar sadece günlük insan hayatında değil, farklı çalışma alanlarında da önemli bir yer edinmiştir. Bilgisayarla görme, gömülü bir sistemle bağlantı kurarak gerçek zamanlı görsel uygulamalar için kapsamlı bir araştırma alanı haline gelmiştir. Farklı yüzleri tanıyabilen, kimliklerini Python TTS (TextToSpeech) kullanarak söyleyebilen ve engellerden kaçınma özelliği ile gerçek zamanlı olarak insanı akıllıca takip edebilen uygun maliyetli bir zeki robot Vaidya, Patil, Phade, Gandhe [26] tarafından tanıtılmıştır. Doğal bir tehlike olarak depremler, birçok ülkede önemli ekonomik kayıplara ve insan can kayıplarına neden olmuştur. Lin, Huang, Putranto [27] bir deprem nedeniyle otomatik denetim ve acil durum müdahalesi yapabilen yeni bir zeki robot önermişlerdir. Evin deprem uyarı cihazı bir uyarı aldığında, yerleşik kablosuz iletişim sistemi robota bir sinyal gönderecektir. Robot daha sonra gerçek zamanlı görüntü tanıma ve izleme yoluyla iç mekân alanını incelemeye başlayacaktır. Düşen insanları tespit ettikten sonra, robot işletim sistemi izleme arayüzü aracılığıyla hareketlerini düzenleyerek onlara yaklaşacaktır. Robot, bir depremden sonra mobilyaların düşebileceği ve bina sakinlerini yaralayabileceği kabul edilebilir bir hasarla ayakta kalan bir evde çalışmak üzere tasarlanmıştır.

2.1.3. Tahrik sistemlerine göre

Robotlar tahrik sistemleri açısından incelendiğinde ise servo-step motorlu, hidrolik ve pnömatik şeklinde gruplara ayrılabilir.

Günümüzde artık ucuz, temiz, sessiz ve geri bildirimli olmaları açısından AC veya DC servo motor - step motor tahrikiyle çalıştırılan robotlar, daha tercih edilir hale gelmiştir

[28]. Hidrolik robotlar, pompa gibi fazla bakım gerektiren çevresel ekipman gerektirmeleri, gürültü miktarının fazla olması, hidrolik hortum boyu ile ilgili kısıtlamadan dolayı fazla hareket alanının olmaması ve sıvı sızdırma ihtimali gibi dezavantajlarından dolayı temiz oda veya gıda işleme uygulamaları için uygun değildir. Ancak tepki hızları ve tork üretme yeteneklerinin yüksek olması nedeniyle ağır yükleri kaldırmak gibi görevlerde hidrolik robotlar tercih edilmektedir [28]. Hidrolik robotun yukarıda bahsedilmiş olan avantajları ve tekerlekli bacaklı robotların çeşitli arazi yapılarında rahat yürüyebilmesi, düz zeminde hızlı bir şekilde hareket edebilmesi gibi avantajlarıyla birleştirilip tekerlekli bacaklı hidrolik insansı robot Li, Zhou, Feng, Zhang, Fu [29] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Robotikle ilgili çalışmalarda güvenli, esnek, uyarlanabilir olması gibi özelliklerinden dolayı soft robotlar eğitimden kurtarmaya, giyilebilir cihazlardan keşif işine ve tıbbi bakım gibi birçok alanda büyük bir potansiyele sahiptir. Temiz, verimli ve hafif olmaları gibi özelliklerinden dolayı yumuşak robotlar arasında pnömatik soft robotlar önemli bir orana sahiptir. Hatta son zamanlarda pnömatik soft robotların geliştirilmesine dönük araştırmalarda artmıştır [30]. Ayrıca, hareket engelli hastaların tedavisinde kullanılan rehabilitasyon robotlarında davranış şeklinin insan kaslarına benzemesi, güvenilir ve uyumlu olmasından dolayı pnömatik kaslı giyilebilir rehabilitasyon robotlarını daha çok seçilir hale getirmiştir [31].

2.1.4. Diğer robotlar

Önceki belirtilen üç robot sınıflandırmasına dahil olmayan bu yüzden de diğer robotlar olarak ayrı bir sınıflandırma grubu içerisine alınmış olan robotlar bulunmaktadır. Bunlar incelendiğinde sürü robotları, insansı robotlar, işbirlikçi robotlar ve haptik robot şeklinde günümüzde uygulamaları mevcuttur. Bunların örnekleri aşağıda verilmiştir.

Karmaşık görevleri sürü robotları başarılı bir şekilde çözebilmektedir. Sürü robotlarının kullanıldığı karmaşık görevlerden biride iki nokta arasındaki en kısa yolun bulunması için yörünge planlamasıdır. Yapılan bir çalışmada, engellere çarpmadan, başlangıç ve bitiş noktası arasında en kısa mesafede seyahat etmeyi sağlayacak bir yol planlamasında sürü robotları kullanılmıştır [32].

Günümüzde yaşamın her alanında görebildiğimiz yapay zekâ ve arttırılmış gerçeklik ile insanlara çok benzetilen hatta vatandaşlık bile alan robotları bir alışveriş mağazasında bir ürün tanıtırken veya bir fuarda broşür dağıtırken görmek artık şaşırtıcı gelmemektedir. Hatta gelecekte müşteri talep ve eğilimlerinin değişmesiyle insansı robotların mutfakta veya lokantada yemek ya da servis yaptığı yerlerin yaygınlaşacağı düşüncesi artmaktadır. Robotik teknolojisi geliştikçe, insansı robotların günlük sosyal yaşamda bizimle birlikte var olup kilit roller oynayacağını ve tüm insanları daha akıllı, daha güvenli, daha sağlıklı bir varoluşa yönlendireceğini söyleyebiliriz. Pandey ve Gelin [33] yazdıkları makalede, SoftBank Robotics tarafından Haziran 2014'te piyasaya sürülen Pepper adlı insansı robotun tasarımı ve uygulamaları ile ilgili bilgileri sunmuşlardır. Makine beden dilini sergileme, çevresini algılama, etkileşim kurma ve hareket etme yeteneğine sahip olan Pepper robotu, etrafındaki insanlarla iletişime girmek için ses ve duygu tanımadaki en son gelişmeleri ve algoritmaları kullanarak insanların ifadelerini ve ses tonlarını analiz edebilmektedir.

İnsan-robot etkileşimi endüstriyel robotlardaki teknolojik gelişmelerle paralellik göstermiştir. Kontrolcüler ve algılayıcılardaki teknolojik ilerlemeler insanlarla birlikte pasif veya aktif bir şekilde çalışabilecek işbirlikçi (collaborative) robotların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bunun sonucunda da işbirlikçi robotlar fabrikalardaki otomasyon sistemlerine katkı sağlamışlardır. İşbirlikçi robot teknolojisindeki gelişmeler, tarım ve hayvancılıktan önce imalat sektöründe olmuş ve bu sektörde kullanılmaya başlanmıştır. Buna bir örnek olarak boyama sektöründe işbirlikçi robot kullanımını örnek verebiliriz. İnsanlarla iş birliği içinde çalışan, inşaat ortamının belirsizliklerine uyum sağlayan, hareket planlaması yapan ve sensör güdümlü bir kontrol sistemiyle donatılmış Pictobot isimli boyama robotu Asadi, Li, Chen [34] tarafından sunulmuştur.

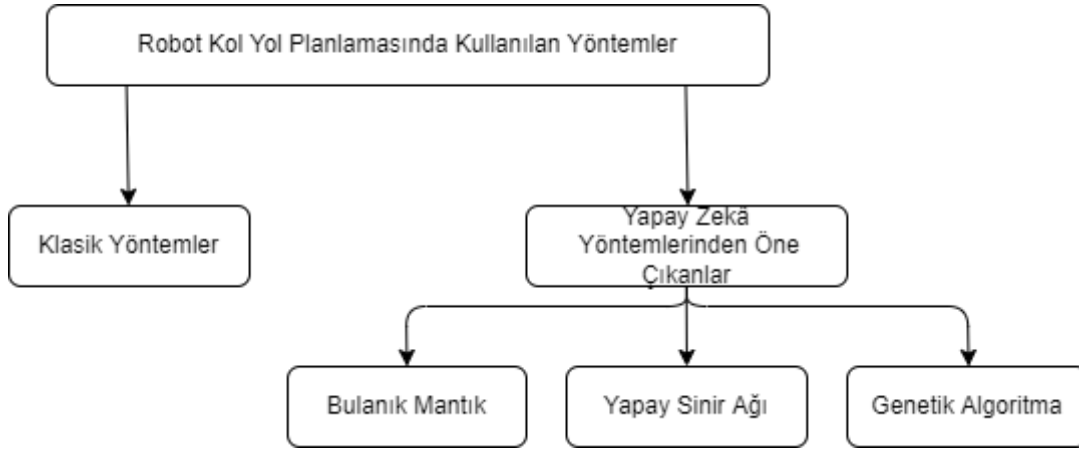
Haptik sistem insan-robot etkileşiminin duyular yardımıyla sağlandığı ve robotun dokunduğu noktanın sistemi kontrol eden kişi tarafından hissedilmesi ve buna bağlı olarak işler gerçekleştirilmesinin sağlandığı sistemlerdir. Birçok alanda kullanılmaktadır. Ancak cerrahi tıpta kullanımı yaygındır. Bir cerrahi müdahalede uzak ve erişilemeyen konumlarda gizli arterleri bulmak için, ucuna yerleştirilmiş bir dizi sensör bulunan 10mm çapındaki bir probun, cerrah tarafından ilgilenilen dokuya bastırılması sonucu, elektroniklerin temas alanındaki basınç dağılımını yüksek bir hızda okuyarak bilgisayara yolladığı, bilgisayarıda gelen sinyalleri işleyerek şekil, basınç ve titreşim görüntülerini dokunsal bilgilere dönüştürüp cerrahın parmaklarına iletildiği bir sistem Peine, Son, Howe [35]

tarafından yazılmış olan makalede açıklanmıştır.

2.2. Mobil Robotlarda Yol Planlama

Mobil robotlarda yol planlama problemi karmaşık bir görev olarak kabul edilir [36]. Çok boyutlu olan bu problemin endüstriyel robot uygulamalarında, özellikle robotlara kat ettirilen mesafe, seyahat süresi ve tüketilen enerji gibi kriterlerin minimuma indirilip verimliliğin ve çalışma performansının üst düzeye çıkarılması dikkat edilen en önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Ayrıca, robotların esnek çalışma kabiliyetinin özellikle dinamik ortamlar için artırılması endüstrinin en çok talep ettiği özelliklerin başında gelmektedir. Çoklu robotların kullanıldığı karmaşık ve sürekli değişen dinamik sistemlerde, aynı çalışma alanlarını paylaştıkları diğer robotlarla çarpışmadan ve kilitlenmeyi de engelleyecek şekilde yol planlamaları yapmaları gerekmektedir. Şekil 2.2'de robotik sistemlerin çalışırken izleyeceği çeşitli yol planlama yöntemleri sınıflandırılmıştır.

Mobil robotlarda yol planlama problemi, belirli bir ortamdaki robotun belirli bir başlangıç konumundan çeşitli engellere çarpmadan önceden tanımlanmış hedef konuma ulaşması için yol belirlemesi olup karmaşık bir görev olarak kabul edilir. Yol planlama problemi farklı kategorilere ayrılmıştır. Sınıflandırmalardan biri, çevresel bilgilere dayalı statik ve dinamik yol planlamasıdır. İkincisi ise yerel ve küresel yol planlamasıdır. Yerel yol planlamasında robot ortam ile ilgili az veya hiç bilgi sahibi olmadan engellerin üzerinden adım adım ilerler. Yol, zaman, enerji ve optimize kısıtlamalarını da karşılayarak hedefe ulaşmak için bir sonraki konumunu belirler. Küresel yol planlamada robot belirli bir başlangıç konumundan hedefe doğru hareket etmeden önce tüm çarpışmasız yolları belirler ve hangisinden gideceğine karar verir. Statik yol planlamasında engeller ve hedefler hareketsizdir. Ancak dinamik yol planlamasında her seferinde ortamdaki engeller ve hedefler hareket etmekte ve ayrıca ortam her seferinde değişmektedir [36].



Şekil 2.2. Mobil robot için yol planlama yöntemleri

Yol planlaması amacıyla yapılan çalışmalar arasında, bir sanayi tesisinde arıza yapan robotun yerine sağlam bir robotun görevi devralması problemi Avşar [37] tarafından ele alınmıştır. Sağlam robotun olay yerine gitmesi için gerekli rotayı hesaplaması ve bu rotada bir engelle karşılaşması durumunda yeni rota belirlemesi böcek algoritması ile yapılmıştır. Bu algoritmada robot, çevre ile ilgili bilgiye sahip olmadan başlangıç noktasından hedefe doğru düz çizgi şeklinde bir engelle karşılaşıncaya kadar ilerler. Engelle karşılaştığında engelin etrafında dolaşır çizginin engeli kestiği ikinci noktayı bulduktan sonra buradan yoluna devam eder. Bütün engelleri aynı yöntemle geçerek hedefe ulaşır.

Çok robotlu sistemlerde navigasyon, robotları başlangıç noktalarından itibaren belirlenen hedeflere yönlendiren verimli ve çarpışmasız yollar üretmeyi amaçlar. Bu sistemlerde etkili iletişim, merkezi olmayan başarılı bir yol planlamasının anahtarıdır. Ancak, atanan görev için hangi bilgilerin çok önemli olduğu ve robotlar arasında bu görevin nasıl ve ne zaman paylaşılması gerektiği açık değildir. Li, Gama, Ribeiro [38] tarafından yapılan çalışmada bu sorunları ortadan kaldırmak için robotların gözlem ve iletişim menzili açısından kısıtlı olduğu senaryolar için yerel iletişim ve karar verme politikalarını otomatik olarak sentezleyen birleştirilmiş bir model önerilmiştir. Önerilen yöntem, yerel gözlemlerden yeterli öznetelikleri çıkaran bir evrimsel sinir ağı (Convolutional Neural Network, CNN) ve bu özellikleri robotlar arasında iletmek için bir grafik sinir ağından (Graph Neural Network, GNN) oluşur. Yöntem, simülasyonlarla değerlendirilmiş ve başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bu modelin daha önce görülmemiş durumlara da (daha büyük ortam ve robot ekiplerine) uygulanabileceği ifade edilmiştir.

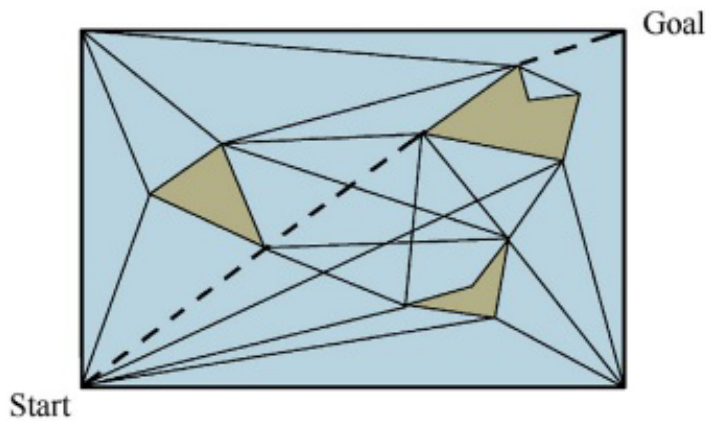
Literatürde, endüstriyel robot kolların kontrolü için YOLO ile kısmi nesne tespiti yapılmış ve CNN kullanılarak kısmi derinlik tahmini deneysel sonuçları ile sunulmuştur. Bu çalışmada, YOLO ile yeni bir yaklaşım önerilmiş ve önerilen yöntem bir robot kolun kontrolünde kullanılmıştır. 4 serbestlik dereceli, masaüstü boyutlu bir robot, derinliklere bakarak kalemi başarıyla aldığı deneylerle kanıtlanmıştır [39].

Mouad ve diğerleri [40] tarafından yapılan çalışmada ise engellerden kaçınmak ve hedefe ulaşmak için yol planlamasına dayanan çok modlu uyarlanabilir ve esnek bir kontrol algoritması sunulmuştur. İki yaklaşımın karışımı olan Planlama ve Yeniden Planlama (PRP, Planning and Re-Planning) algoritması önerilmiştir. Bu yaklaşımlardan birincisi zihinsel düşünme, akıl yürütme, hatırlama ya da robotlara bazı davranış biçimlerinin öğretildiği ve robotların karşıdaki kişinin davranışları hakkında hayal gücü geliştirip çeşitli çıkarımlarda bulunduğu bilişsel olarak tanımlanan, engellerden kaçınmak ve hedefe ulaşmak için yol planlaması yapmaya dayanır. İkincisi ise akıllı sistemlerin en temel sorununu karakterize edebilen, kullanıcının amaçlanan sanal yol hakkında biraz ya da hiçbir bilgiye sahip olmadığı tahmine dayalı algoritma olan reaktif algoritmaları eylem seçimi için kullanarak bir yörüngeyi takip ederken karşılaşılan beklenmeyen statik veya dinamik engeller sorununu çözmeye dayanır [40].

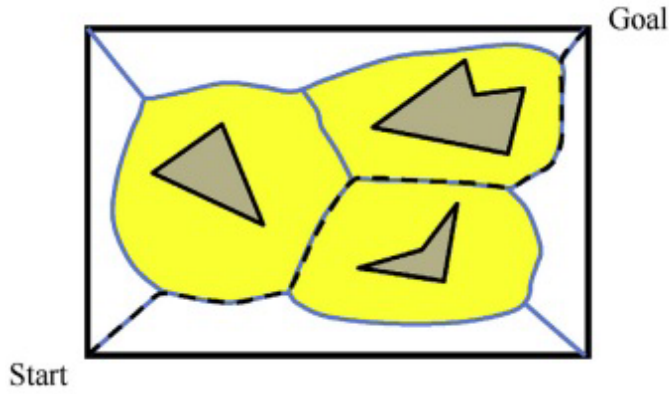
Bir mobil robotun bir kaynaktan tek hedefe veya çoklu bağımsız hedeflere gitmesi için ortaya çıkan çarpışmasız yol planlama probleminin optimum çözümünde, alan bilgisi tabanlı genetik algoritma Sarkar, Barman, Chowdhury [41] tarafından önerilmiştir. Bu çalışmada, "devre kaldırma operatörü", "ekleme-silme operatörü", "iyileştirme operatörü" ve "hedef hizalama operatörü" olmak üzere dört yeni alan bilgisi tabanlı operatör tanıtılmıştır. Bu dört operatörden ilk üçü sadece tek hedefli yol planlama problemleri için, tamamı ise birden çok bağımsız hedefi olan yol planlama problemlerinin çözümünde kullanılmıştır. Önerilen yöntem, çeşitli boyutlardaki simülasyon ortamlarında çalıştırılmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlardan, alan bilgisine dayalı operatörlerin geleneksel genetik algoritmanın kabiliyetini arttırdığı tespit edilmiştir. Mobil robotun tek hedefe sahip yol planlama problemi için önerilen yöntemin, daha önce önerilen bazı evrimsel algoritma tabanlı yöntemlerden daha iyi performans gösterdiği ifade edilmiştir [41].

Mobil robotlarda yol planlama üzerine yapılan diğer çalışmalar incelendiğinde, yol haritası yaklaşımının Voronoi diyagramı aracılığıyla yapıldığı bir çalışma [42]; bulanık mantık ile hedefin konumuna göre dönüş açısı ve ultrasonik sensör ile ölçülen engele olan uzaklığın girdiler olup, statik ortamda daha az bükülme enerjisiyle, minimum sürede, en kısa yoldan ve ortamdaki engellerden kaçınarak hedefe ulaşmanın sağlanmasına yönelik bir çalışma [43]; genetik algoritma kullanılarak robotun belli bir yerdeki hedefe engellerden kaçmak suretiyle belli bir sayıda adımla en kısa ve en hızlı rotanın bulunmasının amaçlandığı bir çalışma [44] öne çıkmaktadır.

Yol haritası yaklaşımı (Roadmap approach, RA) klasik bir yol planlama yaklaşımıdır. Başlangıçtan hedef noktasına gitmenin yoludur ve boş alanlar arasındaki bağlantı bir dizi tek boyutlu eğri ile temsil edilir. Düğümler istenen yolu elde etmek için rol oynar. Yol haritasını geliştirmek için görünürlük grafikleri ve Voronoi diyagramları kullanılır. Görünürlük grafiği yönteminin ana mantığı başlangıç ile hedefi haritadaki düğümleri kullanarak birleştirmektir. Şekil 2.3, karanlık alanın engelleri gösterdiği ve kesikli çizginin başlangıç konumundan son konuma ilgili yolu gösterdiği görünürlük grafiğini temsil etmektedir. Ancak bu yöntemle bulunan yollar engellerin köşelerini veya kenarlarını kullanarak ta elde edilebildiğinden güvenli değildir. Bu dezavantaj Voronoi diagramı yöntemiyle düzeltilmiştir. Bu yöntem, bölgeyi, birbirine bitişik engellerin her ikisinin sınırından eşit uzaklıkta bulunan noktalar kullanılarak oluşturulan alt bölgelere ayırmaktadır. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi başlangıç ile hedef nokta arasındaki yol planlaması alt bölgelerin sınırları kullanılarak oluşturulur [45].

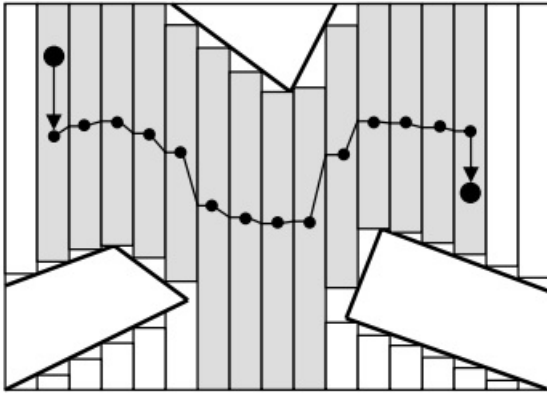


Şekil 2.3. Görünürlük grafiği

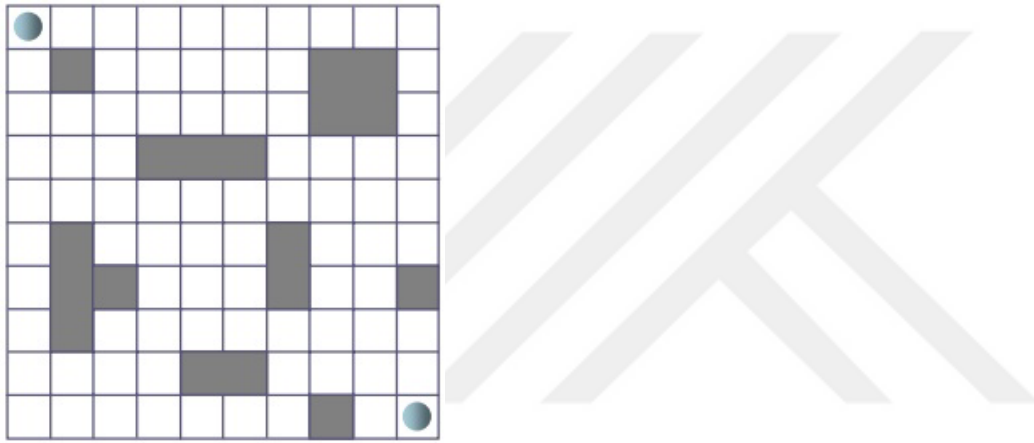


Şekil 2.4. Voronoi diagramı

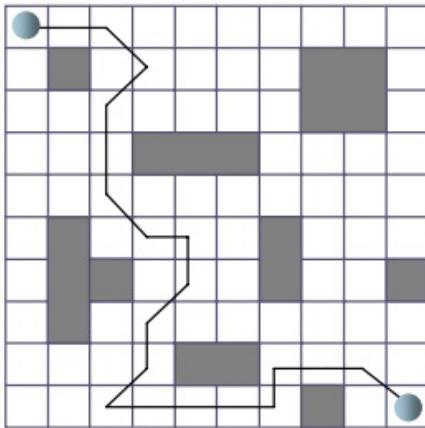
Yol planlamada kullanılan diğer bir klasik yaklaşım da (Cell Decomposition, CD) hücre ayrıştırmasıdır. Hücre ayrıştırması, F gibi bir boş uzayında hareket edecek olan bir robotun hareket planlaması üzerinde açıklanacak olursa F, hücre adı verilen bağlantılı bölgelere bölünür. Bu bölgeler farklı büyüklükte dikdörtgen hücreler oluşturacak dikey şeritler olabilir (Şekil 2.5) veya eşit büyüklükte kare şeklinde hücreler (Şekil 2.6) olabilir. Daha sonra kenarları ortak olan hücreler bitişik hücre olarak belirlenip birleştirilir. CD yaklaşımında, başlangıç konumu ile hedef konum, başlangıç ve bitiş hücreleri tarafından temsil edilir. Bir hücreden diğerine geçerek hedefe ulaşmak için bağlantı grafikleri kullanılır. Geçiş sırasında, engelsiz hücreler, başlangıç konumundan hedef konuma yol planlamasını gerçekleştirmek için seçilir. Yolda engel içeren hücre ile karşılaşırsa bu hücre iki yeni hücreye bölünerek engelsiz bir hücre elde edilir ve bu engelsiz hücrede yol planlamasına eklenir. Başlangıçla hedefi birleştiren hücreler gölgelenerek hücre dizisi oluşturulur. Oluşturulan dizideki hücrelerin merkezleri sınırların orta noktaları aracılığıyla birleştirilerek bir yol çizilir. 8 yönde hareket için dikey şeritlerle oluşturulan dikdörtgen hücreler kullanılamaz. Bunun yerine kare şeklindeki hücreler kullanılır (Şekil 2.7). Hücre ayrıştırmanın çözünürlüğü robotun hareketinin kontrol edilme hassasiyetine bağlı olarak çarpışmasız bir yol elde etmek için seçilir. Bu durum robot boyunun hücre boyutundan küçük olması gibi bir gereklilik getirdiğinden, kare şeklindeki hücrelerin bir dezavantajıdır [45,46].



Şekil 2.5. Dikdörtgen hücreli ayrıştırma



Şekil 2.6. Kare hücreli ayrıştırma



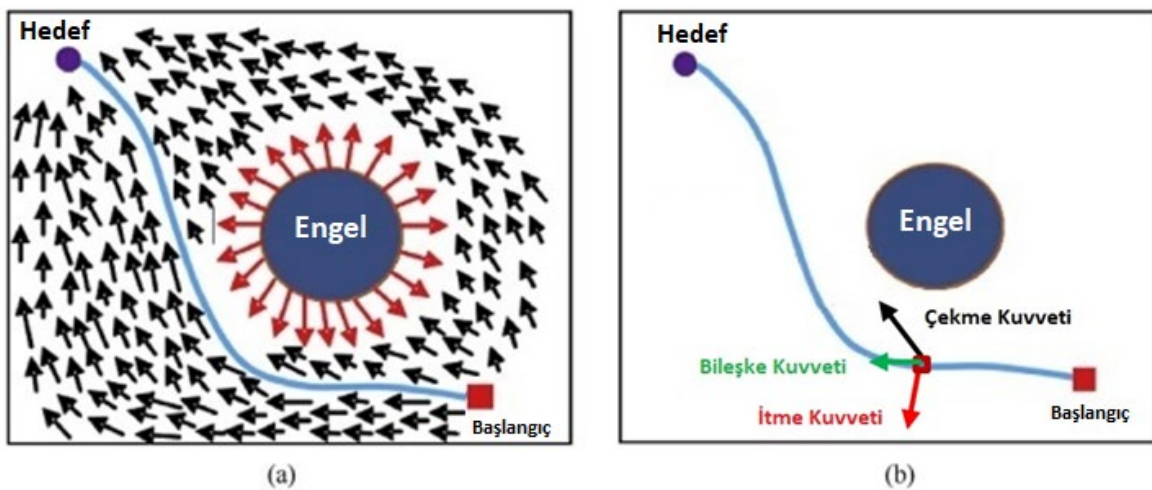
Şekil 2.7. Hücre ayrıştırması: başlangıçtan hedef konuma kadar olası yollardan biri

Bir mobil robotun görevi yerine getirirken bilinmeyen doğrusal bir çalışma alanında çevrimiçi yol planlaması yapabilmesi için Dugarjav, Lee, Kim, Kim, Chong [47] tarafından sensör tabanlı hücre ayrıştırma yaklaşımı sunulmuştur. Hücre sınırları, çalışma alanındaki duvarların ve nesnelerin algılanan genişletilmiş kritik kenarlarıyla

oluşturulmuştur. Kritik kenarları robotun algılayabilmesi için hücre ayrıştırma yaklaşımı lazer tarama mekanizmasıyla birlikte kullanılmıştır. LABVIEW (Amerikan National Instruments firmasının geliştirmiş olduğu yazılım platformudur. 1986'dan beri mühendisler ve bilim insanlarınca sinyal işleme konularında sıklıkla kullanılmaktadır. Geleneksel metin tabanlı programlama dillerinden farklı olarak görsel bir programlama dilidir.) ortamında yapılan deneyle yöntem doğrulanmıştır [47].

Literatürde, üç boyutlu (3B) ortamlarda İnsansız Hava Araçlarının (İHA) engellerden kaçarak bir uçuş yolu planlaması için hibrid bir algoritma önerilmiştir. Bu amaçla hücre ayrıştırma yaklaşımını 3B ortamlar için uyarlayarak değiştirmiştir. Önerilen algoritma statik ve dinamik simülasyon ortamlarında denenerek test etmiştir [48,49].

Robotların yol planlama ve çarpışma engelleme çalışmalarının önemini gösteren özellikler arasında yapay potansiyel alanlar da (Artificial Potential Field, APF) bulunmaktadır (Şekil 2.8) [45]. Klasik yaklaşımlardan biri olan yapay potansiyel alanlar, engellerin tepesi, hedef ve uygun yolların çukuru olarak senaryolaştırıldığı; bu senaryo içerisinde tepelerin itme, çukurlarında çekme kuvveti uyguladığı, hedefin en derin çukurun dip noktasında olduğunun kabul edildiği bir algoritmadır. Hedef ve uygun yollar robotu çekmeye çalışırken engeller itmeye çalışır. Amaç, robotun yokuş aşağı inip hedefe ulaşmaya çalışmasıdır [50].



Şekil 2.8. APF yaklaşımıyla mobil robot navigasyonu

Otonom robotların sabit ve dinamik engel barındıran dinamik ortamda birbirine veya engellere çarpmadan hedeflerine ulaşma problemi için APF ve matematiksel fonksiyonlara dayalı yeni bir teknik önerilmiştir [51]. Önerilen teknik, bilgisayar simülasyonlarında ortak bir çalışma alanında çalışan iki düzlemsel manipülatör üstünde başarıyla uygulanmıştır. Hareket sahasındaki yeterli miktarda itme veya çekme yönünde kuvvet uygulanmaması durumunda kararsızlık olduğundan bu durum yapay engellerle çözülmeye çalışılmıştır.

2.3. Çok Kollu Robot Sistemlerinde Optimizasyon Algoritmaları İle Hareket Planlaması

Tek bir robotun çalışma alanının çok küçük olması veya yükün bir robotun kaldıramayacağı kadar ağır olması durumunda çok robotlu sistemler kullanılması gerekir. Buradaki zorluk, robotik kolların hareketini birbirleriyle ve nesneyle koordineli olarak uyarlamaktır. Teknolojik gelişmelere bağlı olarak endüstriyel alandaki robotların hareketlerinin planlanmasına yönelik çalışmalar bu yönde ivme kazanmıştır. Başlangıçta, robotik sistemler görevleri zamanlama esasına göre yaparken, günümüzde bu görevler ileri seviye algoritmalar ile yapılmaktadır. Bununla beraber, tek kolla hareket eden robotik sistemler yerini çok kollu robotik sistemlere bırakmıştır. Ancak, her teknolojik gelişmenin beraberinde getirdiği yenilikler gibi yeni sorunlarda ortaya çıkmıştır. Literatürde, zamanlama esasına dayalı çözümlerden günümüz sorunlarını çözen yapay zekâ destekli robotik sistemlere kadar birçok çalışmanın yapıldığı görülebilir. Şekil 2.9'da gösterildiği gibi robotik çalışmalarda hareket planlama çok boyutlu özellikleri olan bir problemdir.



Şekil 2.9. Hareket planlama yöntemlerinin özellikleri

Ters kinematik problemine dayanan bir robotik kol yörünge optimizasyonu enerji tüketimi, robot rotasyon ve çalışma süresi minimizasyonu kriterleri dikkate alınarak genetik algoritma ile Števo, Sekaj, Dekan [52] tarafından yapılmıştır. Önerilen yaklaşım 6 serbestlik dereceli bir robot üstünde simüle edilmiş ekipmanda önemli ölçüde zaman, enerji, aşınma ve yıpranmadan avantaj sağlama yönünde çok iyi sonuçlar alındığı belirtilmiştir [52].

Alma/kesme noktasının belirlenmesi, çok kollu sistemin çalışma alanı dikkate alınarak yapılır. Alma/kesme noktası, nesnenin yörüngesindeki değişime uyum sağlamak için sürekli olarak yeniden hesaplanır. Bu konuda Salehian, Figueroa, Billard [53] tarafından yapılan bir çalışmada çok kollu bir robot sisteminde otonom ve senkronize hareketler oluşturmak için sanal nesne tabanlı dinamik sistemler (Virtual Object based Dynamical Systems, VObDS) kontrol yasası önerilmiş ve gerçek robotlar kullanılarak deneysel doğrulama yapılmıştır. Aynı problem için Mirrazavi Salehian, Figueroa, Billard [54] tarafından yapılan bir başka çalışmada bu tür ortak çalışma alanındaki koordinasyonun ikinci dereceden bir program olarak formüle edildiği ve kendi kendine çarpışmadan kaçınma kısıtlamaları altında merkezi ters kinematik ile çözüm önerilmiştir. Önerilen bu çalışmada, hem senkron hem de asenkron davranışlar için çok kollu görev alanı koordinasyonu sağlanmıştır. Senkron davranışı, robot kollarının birbiriyle ve hareket eden bir nesneyle eşzamanlı olarak ona ulaşmak için koordine etmesi gereken davranış olarak tanımlanmıştır. Buna karşılık, asenkron bir davranış, her robotun bağımsız noktadan noktaya ulaşma hareketlerini gerçekleştirmesine izin vermektedir. Asenkron davranışlardan senkronize davranışlara sorunsuzca geçiş yapmak ve bunun tersi için “senkronizasyon tahsis” (synchronization allocation) kavramı ortaya atılmıştır. Bu tahsisin, manipüle edilecek nesnenin konumu gibi harici bir değişken aracılığıyla nasıl kontrol edilebileceği gösterilmiştir. Hem davranışlar hem de bunların senkronizasyon tahsisi, tek bir dinamik sistemde kodlanmıştır. Yöntem çift kollu bir robotik sistem üzerinde doğrulanmış ve robotların milisaniyeler içinde kendi kendine çarpışmayı önlerken her bir kolun hareketini yeniden senkronize edip uyarlayabildiği gösterilmiştir. Kontrolün hızı, hareketi doğru bir şekilde tahmin edilemeyen hızlı hareket eden nesnelere durdurmak için kullanılmıştır [54].

Kurosu, Yorozu, Takahashi [55] yaptıkları çalışmada çift kollu robotların birkaç nesnenin olduğu dinamik bir ortamda al ve yerleştir (pick-and-place) görevinde çalışma süresini en

aza indirerek verimli alma ve yerleştirme performansı elde etmeye çalışmışlardır. Nesneyi hangi kolun hangi sırayla alacağını belirlemek için Karışık Tam Sayılı Doğrusal Programlama (Mixed Integer Linear Programming, MILP), kolların çarpışmaması için ise Hızlı Keşfeden Rastgele Ağaç (The rapidly exploring random tree, RRT) yöntemi kullanılarak yol planlaması yapmışlardır [55].

Biri teleoperasyon ile yönetilen diğeri ise otonom olarak hareket eden iki adet tek kollu manipülatör üzerinde bir çalışma literatürde sunulmuştur. Yapılan çalışmadaki senaryoda bir robotun insan tarafından teleoperasyon edilerek bir nesneyi aldığı, diğerinin ise üzerine monte edilmiş bir kamera ile hedef nesneyi otonom olarak sürekli görüş alanında tuttuğu bir ortam hazırlanmıştır. Buna göre, robotların birbiriyle veya engellerle çarpışmalarıyla ve eklem limitlerindeki kısıtlamalarla başa çıkması, nesneyi kavrama görevini basitleştiren otonom yönlendirme kontrolünün uygulanması için haptik-etkin paylaşımlı kontrol yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde, kavrama görevlerinin yürütülmesini daha da basitleştirmeyi amaçlayan otonom oryantasyon kontrolü ve çarpışmadan kaçınma için dokunsal yönlendirme paylaşımlı kontrol algoritmasıyla birleştirilmiştir [56].

Shen ve diğeri [57], APF yöntemi ile çarpışmadan kaçınılmalı hareket planlama problemini ele almıştır. Yapılan çalışma, 6 serbestlik dereceli 2 manipülatörün çalıştığı ortak çalışma alanında gerçekleştirilmiştir. Uygulanan yöntemde, önce ana kol için sadece statik engeller göz önünde bulundurularak bu engellerden kaçınacak şekilde bir hareket planlaması yapılmaktadır. Daha sonra ana kol dinamik engel olarak kabul edilip bağımlı kolu engellerden kaçırarak bir hareket planlaması yapılarak işlem tamamlanmaktadır. Bu yöntem, simülasyonlarla denenmiş ve başarı sağlandığı ifade edilmiştir [57].

Dinamik engellere sahip manipülatörler için hareket planlamaya dönük optimum bir yol bulmak için kullanılan ve nasıl yapılacağını öğrenmek için yedekli bir manipülatöre uygulanan Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning, RL) yaklaşımına benzer bir yaklaşım literatürde Salmaninejad, Zilles, Mayorga [58] tarafından uygulanmıştır. İki ikincisi ile çarpışmayı önlemeye çalışan iki manipülatör için pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı önerilmiştir. Anında hızlı yürütme gereksinimini göz önünde bulundurarak, özellikle Q- öğrenme (Q-learning) adlı bir RL tekniği kullanılmıştır. Başlangıçta, ilk manipülatörün çevre hakkında hiçbir bilgisi yoktur, ancak pekiştirmeli öğrenme yaklaşımı Team Q-öğrenme algoritması aracılığıyla optimal çarpışmasız yolları başarıyla öğrenir.

Dinamik engelleri olan bir vakaya Q-öğrenme uygularken karşılaşılan en büyük zorluk, durum sayısının ve dolayısıyla öğrenilen tablonun boyutunun aşırı derecede büyük olabilmesidir. Durum uzayını çok etkili bir şekilde ayırklaştırmak için Genel Durum (General State, GS) Ayırklaştırma ve Karo Kodlama (Tile Coding, TC) Ayırklaştırma olmak üzere iki farklı yaklaşım önerilmiştir [58].

Qi, Shi, Zhang [59] çift kollu bir endüstriyel robotun optimum hareket planlaması için enerji optimizasyonunu araştırmışlardır. Enerji minimizasyon probleminin amaç fonksiyonu, çalışma alanındaki robot kol konfigürasyonlarının alma ve yerleştirme işlemi için yürütme süresi ve toplam enerji tüketimine dayalı olarak belirtilmiştir. İlk olarak, optimal parametreleri elde etmek için PID kontrolör kullanılmaktadır. Daha sonra, daha hassas bir robot hareket yörüngesi oluşturmak için Genetik Algoritma ve Parçacık Sürü Optimizasyonu yöntemleri gibi metasezgisel algoritmalar kullanılarak PID parametrelerinin ince ayarı yapılır, bu da enerji açısından verimli bir robot konfigürasyonu sağlar [59]. Farklı robot konfigürasyonlarının sonuçları hem yürütme süresi hem de enerji verimliliği açısından daha iyi uyumluluk gösteren her iki hareket planlama algoritmasıyla karşılaştırıldı. Algoritmaların uygulanabilirliği, duAro adlı çift kollu bir robot üzerinde deneyler yaparak gösterilmiştir. Enerji verimliliği açısından sonuçlar, endüstriyel bir robot için çift kollu hareketlerin tek kollu hareketlerden daha fazla enerji tasarrufu sağlayabileceğini göstermektedir. Ayrıca, robot konfigürasyon problemini meta-sezgisel yaklaşımlarla birleştirmek, yalnızca PID kontrolörleri ile hareket planlamaya kıyasla enerji tüketiminden ve robot yürütme süresinde tasarruf sağladığı ortaya konulmuştur [60].

Dewi, Anggraini, Risma, Oktarina, Muslikhin [61] meyve paketleme sistemindeki iki işbirlikçi kol robotunun hareket kontrol analizi üstünde çalışmışlardır. Çalışma, kinematik modelleme, nesne tespiti için görüntü işleme ve robot giriş, çıkışları arasındaki ilişki için Bulanık Mantık Denetleyicisi kullanılarak iki robot arasındaki bağıl hareket analizi yapılmıştır. Robot kollardan birincisi kolların çevredeki nesnelere veya paketlenen nesnelere çarpışmaması için bir mesafe sensörü ile donatılmıştır. Diğerisi ise paketlenen nesnelere veya meyvelerin renklerini ve şekillerini ayırt etmek için mesafe sensörüne ek olarak bir kamera ile de donatılmıştır. İnsan ve robot iş birliği yerine iki robotun iş birliği içinde çalışmasının ele alındığı bu yayında gerçek deney sisteminin fizibilitesi de araştırılmıştır. Buna göre, ürünü paketleme sisteminde uygulanan iki işbirlikçi robot tasarımının uygun olduğu gösterilmiştir [61].

He, Li, Xu, Zhou, Li [62] yayınladıkları makalede esas olarak eşzamanlı çoklu robot koordinasyonu ve engellerden kaçınma problemini incelemeye odaklanmışlardır. Kinematik kontrol problemi, çarpışmadan kaçınmayı, bir eşitsizlik kısıtı olarak birincil görev kabul eder ve yörünge planlama görevini ise, güvenliğin önceliğini sağlamak için ikincil amaç olarak kabul eder, ikinci dereceden bir programlama (Quadratic Programming, QP) problemi olarak tanımlanır. Formüle edilen QP problemini yinelemeli olarak çözmek için tekrarlayan sinir ağı (Recurrent neural network, RNN) tabanlı bir dinamik denetleyici tasarlanmıştır. Tasarlanan sinir ağının yakınsaması matematiksel analizler ile kanıtlanmıştır. Üç SCARA düzlem robotu ile önerilen kontrolörün etkinliği sayısal simülasyonlarla doğrulanmıştır. Sonuçlarda, robotlar arasındaki minimum mesafe ayarlanan güvenlik mesafesinden daha az olduğunda, çarpışmadan kaçınma stratejisi çarpışmayı önlemek için robotları itmeye tepki vermekte, bu da engellerden kaçınma için birincil hedefe ulaştırmakta; aksi takdirde, robot istenen yörünge izleme görevini yerine getirmektedir [62].

Literatürde yer alan bir çalışmada, birden fazla robot manipülatörün statik ve dinamik ortamlardan oluşan ortak bir çalışma alanında gerçek zamanlı olarak çalışmasına yönelik problemler ele alınmıştır. Olası kilitlenmeler düşünülerek, çarpışmadan kaçınmak için Doğrusal Olmayan Model Tahmini Kontrolüne (Model Predictive Control, MPC) dayanan yeni bir hareket kontrol algoritması önerilmiştir [63]. Robotların çevrimiçi hareket planlayabilmek için ortak uzayda izleyecekleri tahmini yörüngeyi komşularıyla paylaştığı, işbirlikçi çalışma mantığına dayanmayan Dağıtılmış Model Tahminine Dayalı Kontrol (Distributed Model Predictive Control, DMPC) kavramı kullanılmıştır. Her robotun kendi başına etmen diğer robotların etken olarak kabul edildiği bir oyun formüle edilmiştir. Robot İşletim Sistemi (Robot Operating System, ROS) ile robotların kontrolü yapılmıştır. Algoritma, 6 serbestlik dereceli maksimum 4 robota kadar değişik sayıda manipülatörle Gazebo simülasyon ortamında alma ve yerleştirme senaryolarıyla denenmiştir.

2.4. Görüntü Tanıma Yöntemleri İle Hareket Planlama

Gerçek görüntüdeki Segmentasyon algoritmalarının kullanıldığı görüntü işleme tekniği ile gerçek görüntüdeki nesnelerin zeminden ayrıştırıldığı, sonrasında aynı renkteki yuvarlak nesnelerin veya istenen renkteki nesnelerin farklı renkteki nesneler arasından koordinatlarını bulmak için Uyanık [64] tarafından iki program geliştirilmiştir. Bu

programların çalıştırılması sonucu elde edilen veri GA'ya yollanarak robot kolun iki boyutlu hareket optimizasyonu yapılmıştır.

Aralarında engellerin olduğu dairesel kesitli nesnelere ve koordinatlarının görüntü işleme tekniği kullanılarak tespit edildiği ve elde edilen koordinatların GA'ya aktararak robot kolun dairesel nesnelere erişim sırasının optimize edildiği bir çalışma Kert [65] tarafından yapılmıştır.

İki kamera kullanarak görüntü işleme yöntemiyle bir robotun görev sahasına birinin girmesi durumunda çarpışma olma ihtimaline karşın robotu durduran bir güvenlik sistemi literatürde Wang [66] tarafından önerilmiştir. Bu çalışmanın amaçları, İnternet üzerinden gerçek zamanlı izleme için gereken ağ trafiğini önemli ölçüde azaltmak ve insan-robotun bir arada bulunduğu bir ortamda insan güvenliğini artırmaktır. Nihai hedef, güvenlik koruması ile dinamik ortamlarda üretim operasyonlarının sürdürülebilirliğini arttırmaktır. Çalışmanın sonuçlarında önerilen yaklaşımın geleneksel kamera tabanlı yöntemlerin ağ bant genişliğinin %1'inden daha azını tükettiğini ve web tabanlı bir çözüm olarak uygulanabilir ve pratik olduğu ortaya konulmuştur [66].

Başka bir araştırmada, eğitime dönük bir robot kolun, hedef nesneyi kameradan alınan görüntüden tespit edip önceden belirlenmiş bir alana taşınması için bir bilgisayarlı görme sistemine dayalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bilgisayarlı görme ile 2 kameradan alınan görüntüden nesne rengi ve şekli belirlenip sonrasında sistem robot kolun hedefini ve konumunu bulmak için kütle merkezi tabanlı hesaplama, filtreleme ve renk segmentasyonu algoritması uygulamıştır. Deneysel sonuçlar sistemin etkinliğini ve kaynak, CNC makine besleme, makine görüşü ve çeşitli Esnek Üretim Sistemi (Flexible Manufacturing System, FMS) görevleri gibi uygulamalar için sağlamlığını göstermiştir [67].

Hareketli bant üzerinde çeşitli geometrik şekillerden oluşmuş nesnelere istenilen nesneyi almak ve ilgili yere koymak için bir bilgisayarlı görme sistemi ile bir endüstriyel robot arasındaki entegrasyonun çalışıldığı bir yayında, Matlab'ta yazılan ve alınması istenen nesnenin merkezini tespit etmek için gereken görüntü işleme görevini gerçekleştirebilen bir programlama kodu geliştirilmiştir. Kodun özelliği üçgen, dikdörtgen, daire vb. farklı şekiller arasından seçim yapabilme ve bulunan nesnenin ağırlık merkezinin koordinatının

belirlenmesidir. Ardından, nesneyi ilgili yere koymak için robotun izlemesi gereken yörünge ters kinematik analizi ile bulunmuştur. Yöntem simülasyonla test edilmiştir [68].

Bir robot manipülatörünün endüstriyel uygulama kabiliyetini arttırmak, görüş tabanlı olarak nesnelere şekil, boyut ve renklerine göre seçebilmesi için kavrayıcıya bir kamera yerleştirilmiştir. Robot ile kamera arasındaki iletişimin Matlab, Visual Basics ve Scorbace gibi sistem bileşenleriyle entegrasyonunun yapılması neticesinde manipülatörün nesnelere gruplayarak yerleştirilmesi sağlanmıştır [69].

Yukarıda literatürde öne çıkan çalışmalarda temel bir problem esas alınarak çözümler üretilmiştir. Hareket eden robot kollarında veya manipülatörlerde genel problem çarpışma olsa da cisimlerin toplanması sırasında en kısa yol ve sürede enerji verimliliği sağlanarak eşit yük dağılımı ile eş yıpranmanın beraber olduğu bir çözüme rastlanmamıştır.

Bu tez çalışmasında; bir bant üzerindeki cisimlerin konum bilgileri kullanılarak toplama sırası, görev dağılımı ve çarpışma önleme gereksinimlerini karşılayacak bir optimizasyon algoritması önerilmiştir. Algoritmanın ilk aşamasında, cisimlerin bant üzerindeki konum bilgileri için geliştirilen görüntü işleme algoritması ve YOLO kullanılmıştır. İkinci aşamada ise konum bilgileri kullanılarak toplama sırası, görev dağılımı ve çarpışma önleme fonksiyonları genetik algoritma ile optimize edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Tez çalışması için bir deney düzeneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney düzeneğinden çeşitli görüntüler alınmıştır. Alınan görüntülerdeki cisimlerin şekil ve konumlarının farklı görüntü algılama yöntemleri kullanılarak tespit edilmesi ve tespit edilen şekil ve konum bilgilerinin genetik algoritmaya aktarılarak robot kolların cisimleri toplaması ve cisimler toplanırken robot kollarının çakışmasının engellenmesi optimize edilmiştir. Bu problemin cisimlerin şekil ve konumlarının algılanması için geliştirdiğimiz yöntem dışında çok çeşitli yöntemler kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Yakın zamanda YOLO isimli algoritma literatürde yoğun olarak kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmada, geliştirilen yöntem dışında karşılaştırma yapmak amacı ile YOLO kullanılmıştır [70].

Bu bölümde hazırlanan deney düzeneği ve görüntülerin alınıp işlenmesinde kullanılan donanımlar, görüntü algılama işlemleri ve ardından genetik algoritma anlatılmıştır.

3.1. Deney Düzeneği ve Donanımlar

Deneysel çalışma için her biri 4 ayrı renkte olan daire, yarım daire, üçgen, dikdörtgen ve kareden oluşan farklı sayılardaki hedef malzemelerin bir bant üzerinde olduğu bir deney düzeneği kurulmuştur. Resim 3.1'de deney düzeneğinin farklı açılardan görüntüleri verilmiştir.



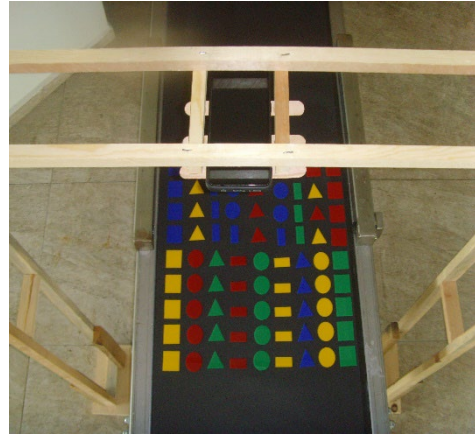
(a)



(b)



(c)



(d)

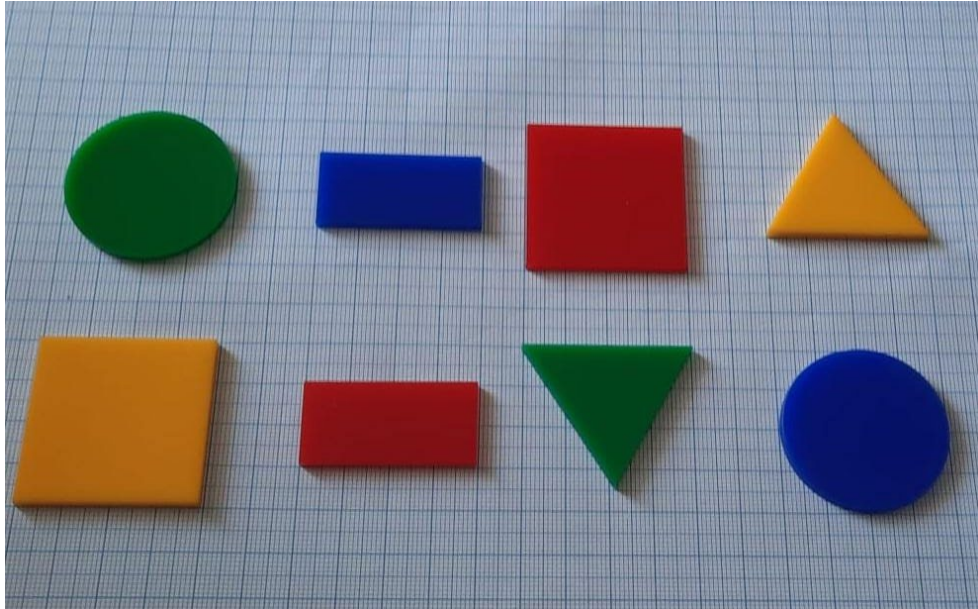


(e)



(f)

Resim 3.1. Deney düzeneği fotoğrafları



Resim 3.2 Kullanılan nesnelerin yakından görünüşü

Fotoğraflar, bir akıllı cep telefonunun kamerası kullanılarak çekilmiştir. Kullanılan cep telefonu ile kamerasının özellikleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneyleerde kullanılan cep telefonu ve kamera özellikleri

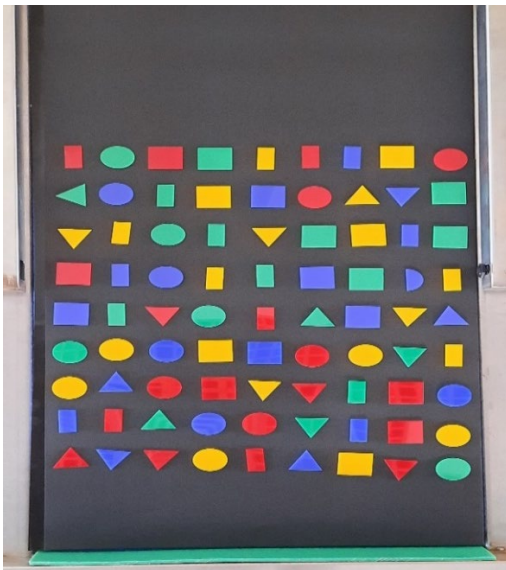
Telefon modeli	Samsung Galaxy A51
Yenileme hızı	60 Hz
Çözünürlük	12 MP + 12 MP
Resim Çözünürlük	4000x1800 piksel
Odak Uzaklığı	4.6 mm
İşlemci	8 Çekirdek (403MHz-2314MHz)
Flash (Işık ayarı)	Kapalı

Görüntülerin işlenmesi amacıyla kullanılan bilgisayarların özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Yazılımların geliştirildiği ve verilerin işlendiği bilgisayarların özellikleri

1. Bilgisayar	İşlemci	Intel® Core™ i3-2348M CPU @ 2.30GHz
	Ram	4 GB
	Ekran kartı	Intel® HD Graphics 3000
	Ekran çözünürlüğü	1366x768 piksel
2. Bilgisayar	İşlemci	Intel(R) Core(TM) i7-4720HQ CPU @ 2.60GHz
	Ram	16 GB
	Ekran kartı	Intel® HD Graphics 4600
	Ekran çözünürlüğü	1920x1080 piksel

Görüntüler, İskenderun Teknik Üniversitesi merkezi yemekhanesinin servis bandı üzerine yerleştirilmiş hedef malzemeler kullanılarak elde edilmiştir (Resim 3.3). Bu şekilde gerçekçi bir deney düzeneği üzerinde çalışma sağlanmıştır.



Resim 3.3. Deneyleerde kullanılan yemekhane servis bandı

3.2. Görüntü İşleme Yöntemleri

Bu çalışmada görüntü içindeki cisimlerin tespitinde iki farklı yöntem kullanılmıştır. Metrik Tanımlama olarak adlandırılan yöntemde, cisimler literatürde önerilen bir yaklaşım kullanılarak geometrik şeklinin ayırt edilmesi sağlanmıştır. Diğer yöntem ise son yıllarda popüler olarak kullanılan YOLO'dur.

3.2.1. Metrik tanımlama

Şekil 3.1'de verilen adımlar takip edilerek görüntü içindeki cisimlerin tespitinde ve sayımında kullanılacak ön işleme yapılmış görüntüler elde edilir.

Adım 1: Çalışmanın ilk etabında, cisimlerin görüntülerini elde etmek için hareketli bir servis bandında kameranın ilgi alanı bölgesine giren hedef cisimlerin fotoğrafı bant durdurularak üstten çekilir. Böylece, ön işlem uygulanacak cisimlerin görüntüleri elde edilir.

Adım 2: Orijinal görüntülerin renk kanallarının gri tonlaması yapılır.

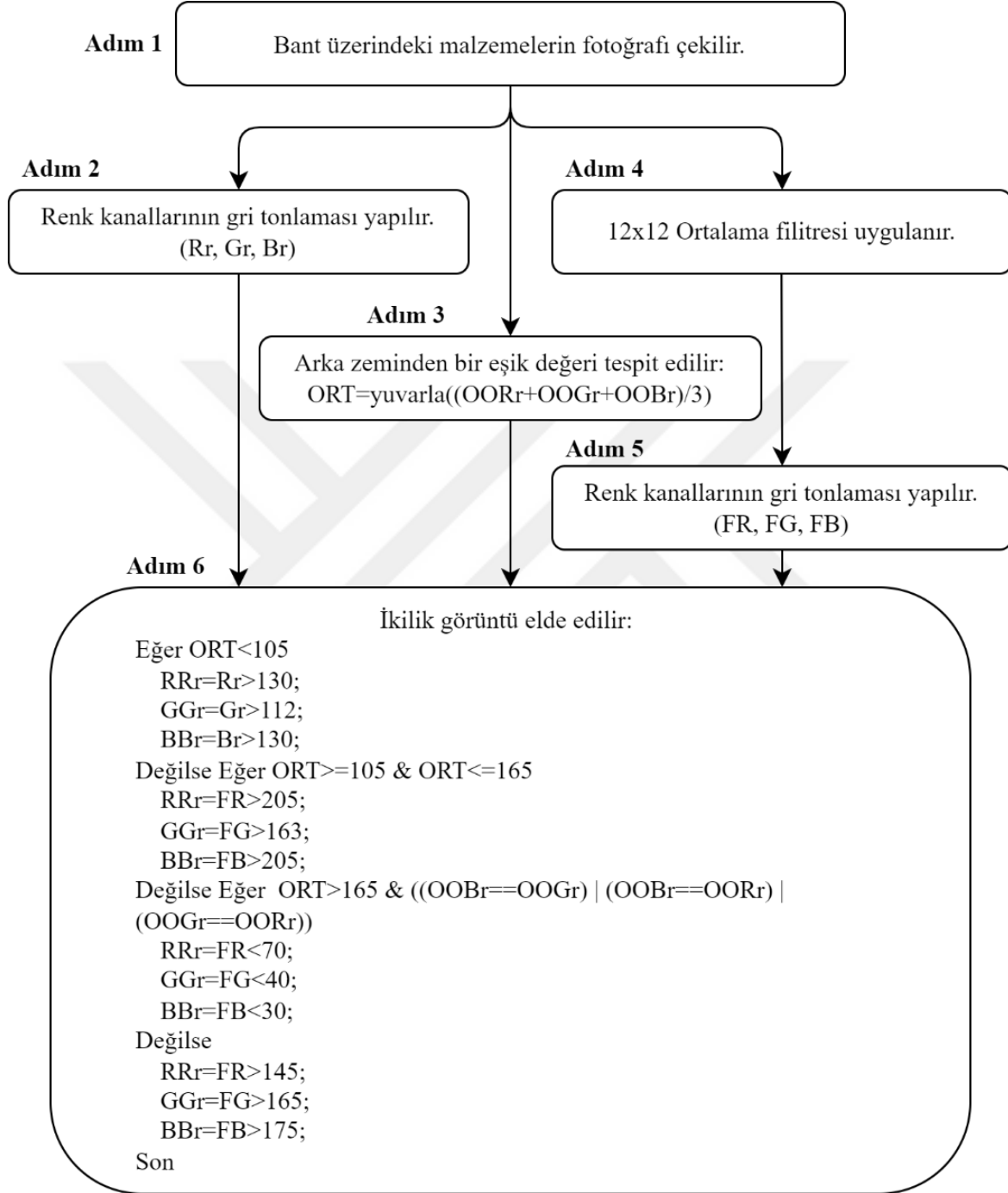
Adım 3: Gri tonlu görüntünün ikilik resme dönüştürülmesinde kullanılacak eşik değeri, her bir gri tonlu kanalın ortalama piksel değerlerinin (OORr, OOGr, OOB_r) ortalaması ile elde edilir.

Adım 4: Orijinal görüntü üzerindeki gürültünün yok edilmesi amacıyla 12×12 piksel boyutunda ortalama filtresi uygulanır.

Adım 5: Filtre uygulanmış görüntünün her bir renk kanalının gri tonlaması yapılır.

Adım 6: Görüntüye vuran aydınlık şiddeti göz önünde bulundurulduğunda, aydınlığın genliğine bağlı olarak renk kanallarının gri tonları ile zeminin gri tonunun genliklerinin farklı koşullar ile ayırt edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, 4 farklı koşul ile cisimlerin tespiti yapılır. Örneğin, yemekhane bandı üzerinde yapılan bir çalışmada, aydınlık şiddetinin düşük olmasından dolayı zemin görüntüsünün ortalama piksel değeri hesaplanmış ve ele alınan zemin görüntüsü için 105 olarak bulunmuştur. Buna göre, ilk koşul çalıştırılmıştır. Daha yüksek aydınlık şiddetinin olduğu çekimlerde ise diğer koşullar çalıştırılmıştır. Burada aydınlık şiddeti

arttıkça görüntü üzerindeki gürültünün etkinliği arttığından dolayı filtreli renk kanallarının ortalama değerleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. İkilik resmin elde edilmesi için akış diyagramı

Yukarıdaki işlemlerin ardından ilk olarak ikilik görüntüdeki cisimlerin ayırt edilmesini zorlaştıran gürültüleri yok etmek için görüntüdeki en küçük cismin alanı düşünülerek belirlenen değerden daha küçük bir alan içinde kalan gürültüler yok edilir. Bu çalışmada,

1300 pikselin altındaki alanlar kaldırılır. Ardından, 1300 pikselin üstündeki boşluklar doldurulur. Görüntü içinde kalan cisimlerin sayısı ve sınırlarının koordinatları tespit edilir. Sınırları tespit edilen cisimlerin çevresi beyaz çizgi ile çizilerek bu cisimlerin alanları, çevre uzunlukları ve ağırlık merkezlerinin koordinatları hesaplanır. Çevresi çizilen cisimlerin merkezindeki renk kanallarının gri tonlamalarının ağırlıkları deneysel olarak tespit edilir ve bu ağırlıklar kullanılarak aşağıdaki kurallara göre renkler tespit edilir:

Eğer (Rr>185 && Gr<100 && Br<110)

Cismin rengi=Kırmızı;

Son;

Eğer (Rr<90 && Gr>120 && Br>80)

Cisim Yeşil;

Son;

Eğer (Rr<120 && Gr<130 && Br>185)

Cismin rengi=Mavi;

Son;

Eğer (Rr>220 && Gr>185 && Br<25)

Cismin rengi=Sarı;

Son;

Orijinal görüntü üzerinde cisimler şekillerine göre ve renklerine göre kodlanarak önerilen yöntem içinde kullanılır. Buna göre yapılan çalışmada şekillerine göre kodlamada Çizelge 3.3 ve renklerine göre kodlamada Çizelge 3.4 kullanılır.

Çizelge 3.3. Şekillerine göre cisimlerin numaralandırılması

Şekil No	Şekil Kodu	Şekil Türü
1	DA	Daire
2	Dİ	Dikdörtgen
3	ÜÇ	Üçgen
4	KA	Kare
5	BEL ŞEKİL	Belirsiz şekil

Çizelge 3.4. Renklerine göre cisimlerin kodlanması

Renk No	Renk Kodu	Renk
1	R	Kırmızı
2	G	Yeşil
3	B	Mavi
4	Y	Sarı
-	T	Tüm renkler

Yukarıda verilen çizelgedeki bilgilere göre örnek kodlama şu şekilde olmaktadır. (2, 'T') Tüm renkteki dikdörtgenlerin alınmasını, (1, 'Y') sarı renkteki dairelerin alınmasını, (3, 'G') yeşil renkteki üçgenlerin alınmasını ve (4, 'R') kırmızı renkteki karelerin alınmasını ifade etmektedir.

Bu aşamada, cisimlerin boyut bilgileri ve yukarıda tespit edilen özellikleri kullanılarak şekilleri hakkında çıkarımlar yapılır [71]. Bu amaçla Eşitlik 3.1'de verilen metrik ile yapılan çalışma Çizelge 3.5' da verilmiştir.

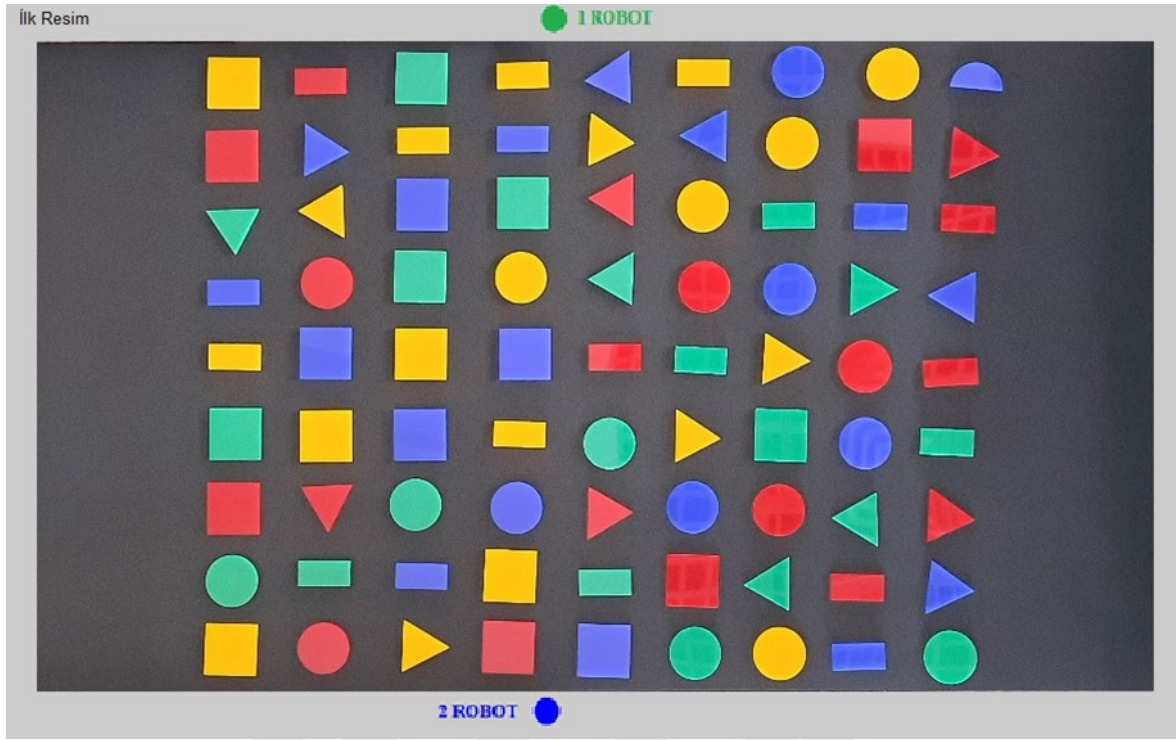
$$M = \frac{4\pi \times \text{Alan}}{(\text{Çevre})^2} \quad (3.1)$$

Çizelge 3.5. Çeşitli şekillerdeki cisimlerden elde edilen metrik sonuçları

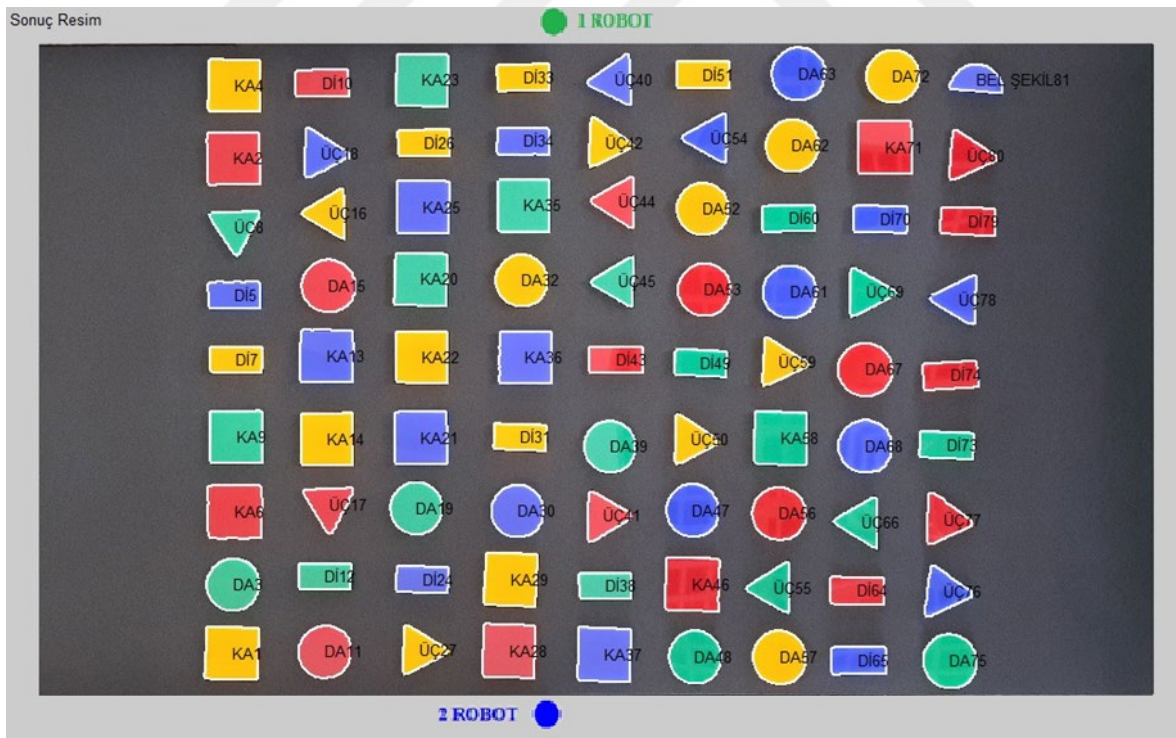
Daire	Dikdörtgen	Kare	Üçgen	Belirsiz
1.0071	0.7576	0.8132	0.6467	0.7848
1.0117	0.7452	0.8469	0.7219	0.7797
0.9866	0.7357	0.8058	0.6617	
0.9630	0.7656	0.8207	0.7179	
1.0161	0.7540	0.8518	0.7025	
0.9588	0.7414	0.8169	0.7201	
1.0097	0.7685	0.8251	0.6764	
0.9299	0.7396	0.8329	0.6997	
0.9010	0.7586	0.8412	0.6856	
0.9220	0.7361	0.8390	0.6553	
0.8970<M<1.0175	0.7311<M<0.7696	0.8000<M<0.8600	0.6400<M<0.7300	Diğer_Aralıklar

Çizelge 3.5 kullanılarak, Resim 3.4'te verilen orijinal görüntü üzerinde yapılan çalışma sonucu, farklı boyut ve şekillerdeki cisimlerin türleri tespit edilir. Tespit edilen cisimlerin şekillerinin kodu sıra numarası, cisimlerin merkezlerinin koordinatlarına yazılır (Resim 3.5).

Böylece çekilen fotoğrafa uygulanan görüntü işleme işleminden sonra bulunan cisimlerin merkezinin y ve x koordinatları, cisimlerin şekillerinin ismi, rengi ve kaçınıcı eleman olduğu bilgisinin olduğu bir sonuç matrisi oluşturulur (Çizelge 3.6).



Resim 3.4. Orijinal görüntü



Resim 3.5 Şekillerine ve sıra numarasına göre etiketlenmiş görüntü

Çizelge 3.6. Sonuç matrisi

y	x	Şekil no	Renk no	Sıra No		y	x	Şekil no	Renk no	Sıra No
1423	452	4	4	1		1103	1319	3	1	41
269	457	4	1	2		233	1322	3	4	42
1262	455	1	2	3		739	1348	2	1	43
99	459	4	4	4		371	1353	3	1	44
588	459	2	3	5		556	1353	3	2	45
1093	459	4	1	6		1262	1526	4	1	46
739	461	2	4	7		1090	1527	1	3	47
430	459	3	2	8		1431	1532	1	2	48
918	463	4	2	9		746	1546	2	2	49
94	662	2	1	10		925	1522	3	4	50
1419	669	1	1	11		75	1551	2	4	51
1244	670	2	2	12		387	1550	1	4	52
730	673	4	3	13		575	1554	1	1	53
923	674	4	4	14		222	1568	3	3	54
566	678	1	1	15		1270	1716	3	2	55
398	679	3	4	16		1097	1728	1	1	56
1077	679	3	1	17		1432	1729	1	4	57
258	660	3	3	18		921	1732	4	2	58
1084	882	1	2	19		745	1729	3	4	59
551	893	4	2	20		409	1751	2	2	60
920	893	4	3	21		580	1754	1	3	61
732	895	4	4	22		239	1759	1	4	62
87	896	4	2	23		72	1774	1	3	63
1251	897	2	3	24		1277	1910	2	1	64
383	898	4	3	25		1439	1914	2	3	65
233	900	2	4	26		1117	1921	3	2	66
1415	889	3	4	27		761	1929	1	1	67
1417	1099	4	1	28		940	1929	1	3	68
1251	1103	4	4	29		581	1932	3	2	69
1091	1118	1	3	30		411	1965	2	3	70
919	1125	2	4	31		244	1975	4	1	71
554	1128	1	4	32		78	1993	1	4	72
81	1132	2	4	33		938	2119	2	2	73
230	1132	2	3	34		775	2128	2	1	74
379	1133	4	2	35		1441	2127	1	2	75
733	1137	4	3	36		1280	2112	3	3	76
1426	1321	4	3	37		1111	2112	3	1	77
1266	1323	2	2	38		598	2148	3	3	78
941	1333	1	2	39		416	2169	2	1	79
87	1346	3	3	40		264	2167	3	1	80
						86	2190	5	3	81

3.2.2. YOLO

YOLO, en son teknoloji ürünü gerçek zamanlı nesne algılama algoritmasıdır. Tek bir taramada tüm görüntünün birden çok sınırlayıcı kutusunu ve sınıfını aynı anda tahmin eden tek bir evrişimli sinir ağıdır. YOLO'nun yapısı [72]'de sunulmuştur. Ağ mimarisi, görüntü sınıflandırması için GoogLeNet modelinden esinlenmiştir [73].

Mevcut YOLO sürümlerinden V1'den V4'e ana iyileştirmeler aşağıda verilmiştir [70,74]:

- YOLO : Orijinal YOLO ağı, YOLOv1 olarak da adlandırılır. Tespitten, güven kaybindan şebeke bölümü sorumludur;
- YOLO V2 : Toplu normalleştirme, bağlantı kutuları ve yüksek çözünürlüklü sınıflandırıcının tanıtılmasıyla hız avantajını koruyan YOLO V1'in geliştirilmiş bir sürümüdür;
- YOLO V3 : ImageNet üzerinde eğitilmiş 53 evrişimli katmanın tanıtılmasıyla daha iyi bir özellik çıkarıcı eklendi. YOLO V3'ün doğruluğu YOLO V2'den daha iyidir ancak daha fazla katman nedeniyle YOLO v2'den daha yavaştır.
- YOLO V4 : SPP, MISH aktivasyon işlevi, veri geliştirme Mosaic/Mixup, GIOU (Generalized Intersection over Union) kayıp fonksiyonu eklenmiştir.

Metrik yöntemin ilk adımında kullanılan cisimlerin yer aldığı fotoğraflar YOLO V4 ile yapılan görüntü işleme algoritmasında da kullanılmıştır. YOLO ile uyumlu bir etiketleme programı kullanılarak alınan görüntülerdeki cisimler etiketlenmiştir. Burada dikkat edilen husus görüntülerdeki cisimlerin aynı etiket ve sıralama ile etiketlenmesidir. Kullanılan sıralama ve etiket açıklamaları Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Etiketleme programı etiketlerin isimlerinin ve koordinatlarının olduğu iki metin dosyası üretmiştir. Bu dosyalar, Çizelge 3.7'deki bilgileri içeren bir etiket dosyası ile etiketleme sonucu her bir resim için oluşan koordinat dosyasıdır. Koordinat dosyalarında etiketleme için seçilen alanın merkez koordinatları ile en ve boy bilgileri normalize edilmiş olarak kaydedilmiştir. Örnek bir etiketleme dosyasının ilk 10 satırı Çizelge 3.8'de verilmiştir.

Bu dosyalar resimler ile birlikte YOLO programında eğitim için yüklenir. Program, yüklenen resim ve dosyalardan bir kısmını eğitim amaçlı kullanırken kalan kısmını test için ayırır.

Çizelge 3.7. Şekillerine göre cisimlerin etiketlenmesi

Etiket No	Etiket	Açıklama
0	K_Ka	Kırmızı Kare
1	M_Ka	Mavi Kare
2	Y_Ka	Yeşil Kare
3	S_Ka	Sarı Kare
4	K_Di	Kırmızı Dikdörtgen
5	M_Di	Mavi Dikdörtgen
6	Y_Di	Yeşil Dikdörtgen
7	S_Di	Sarı Dikdörtgen
8	K_Da	Kırmızı Daire
9	M_Da	Mavi Daire
10	Y_Da	Yeşil Daire
11	S_Da	Sarı Daire
12	K_Uc	Kırmızı Üçgen
13	M_Uc	Mavi Üçgen
14	Y_Uc	Yeşil Üçgen
15	S_Uc	Sarı Üçgen
16	BelSek	Belirsiz Şekil

Çizelge 3.8. Normalize koordinatların bulunduğu etiket dosyası

Etiket No (0:K_Ka, 1:M_Ka)	Etiketin Merkezinin X Koordinatı	Etiketin Merkezinin Y Koordinatı	Etiketin Eni	Etiketin Boyu
0	0.760192	0.161513	0.058846	0.098026
0	0.676346	0.159539	0.058846	0.098026
0	0.667115	0.595066	0.058846	0.098026
0	0.422500	0.933224	0.058846	0.098026
0	0.176346	0.719408	0.058846	0.098026
1	0.345385	0.250658	0.056923	0.098684
1	0.431538	0.365789	0.056923	0.098684
1	0.258462	0.480921	0.056923	0.098684
1	0.343462	0.605921	0.056923	0.098684
1	0.508846	0.938487	0.058462	0.100658

Yukarıda Çizelge 3.8'de etiket koordinatları verilen resim 2600×1520 px boyutlarındadır.

Buna göre ilk satırda verilen etiketin;

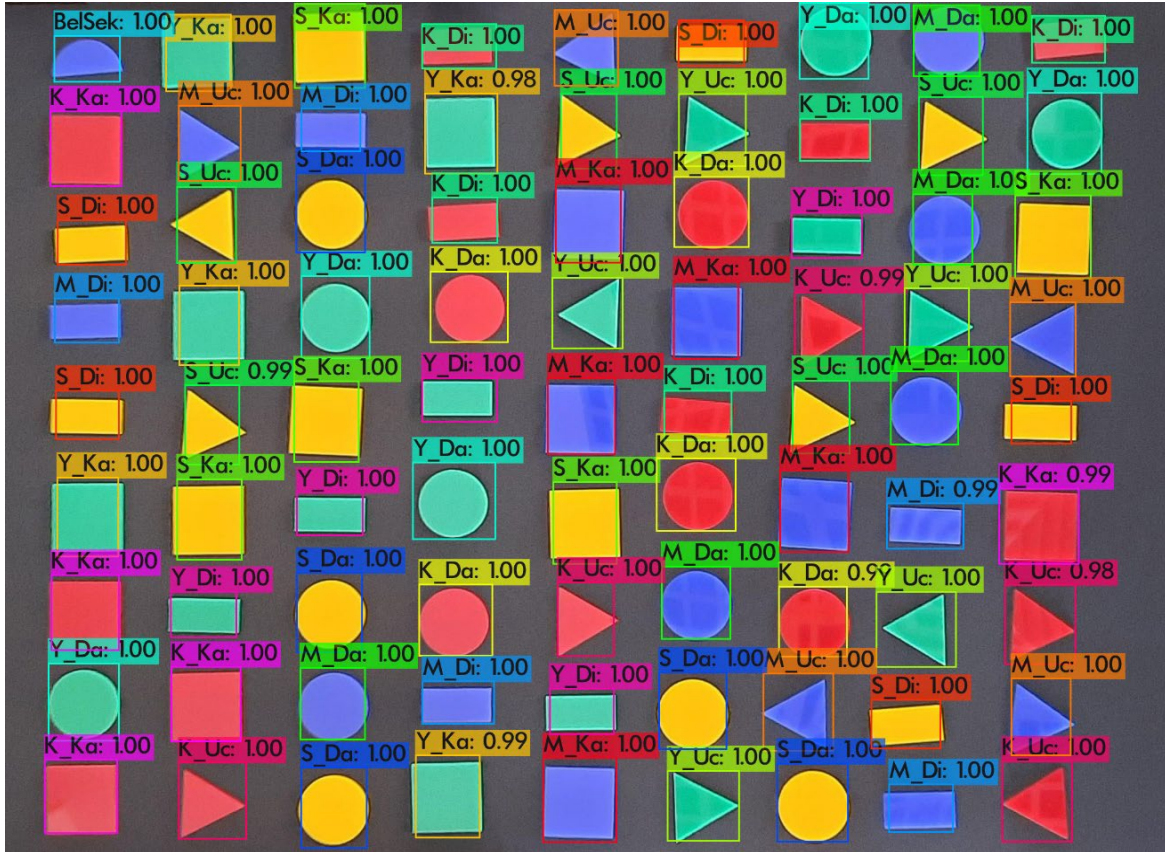
Merkezinin X koordinatı: $0,760192 \times 2600 = 1976px$

Merkezinin Y koordinatı: $0,161513 \times 1520 = 245px$

Etiketinin eni: $0,058846 \times 2600 = 153px$

Etiketin boyu: $0,098026 \times 1520 = 149$ px olarak bulunur.

Eğitim süreci sonunda program çıktısı olarak cisimlerin tanınması amacıyla YOLO tarafından kullanılacak bir ağırlık dosyası oluşturulur. Ağırlık dosyasının başarısı için test için ayrılan görüntüler kullanılır. Elde edilen sonuç, ağırlık dosyasının doğru sonuç verdiğini ortaya koyar. Bundan sonraki süreçte, bu ağırlık dosyası yeni görüntülerdeki cisimlerin algılanmasında kullanılır. Son olarak Çizelge 3.3 ve 3.4'te verilen kodlamaya göre cisimlerin şekil ve renkleri kodlanır. Buna göre elde edilen bir sonuç görüntüsü Şekil 3.2'de verilmiştir. Bu görüntüde, cisimlerin etiket bilgileriyle eğitim sonucu benzerliği 1.00 üzerinden her cismin çerçevesinin üstüne yazılmıştır.



Şekil 3.2. YOLO ile test sonunda elde edilen bir sonuç görüntüsü

Şekil 3.2'de verilen görüntüde, her cismin çevresi bir çerçeve ile çizilmiştir. Bu çerçevelerin koordinat bilgileri, etiketleri ve % cinsinden benzerlikleri ile görüntüdeki cisimlerin tamamının algılanması için harcanan süre bir metin dosyası olarak alınmaktadır. Bu dosyada her cismin koordinat bilgisi olarak çizilen çerçevenin sol üst köşesinin koordinatları ile eni ve boyu piksel cinsinden yazılır. Yukarıdaki görüntüye ait metin dosyasının bir bölümü aşağıda verilmiştir.

```

DEBUG=1
  CUDNN_HALF=1
net.optimized_memory = 0
mini_batch = 1, batch = 1, time_steps = 1, train = 0
Create CUDA-stream - 0
  Create cudnn-handle 0
nms_kind: greedy (1), beta = 0.600000
nms_kind: greedy (1), beta = 0.600000

seen 64, trained: 326 K-images (5 Kilo-batches_64)
Detection layer: 30 - type = 28
Detection layer: 37 - type = 28
/content/drive/MyDrive/test/T3.jpg: Predicted in 13.324000 milli-seconds.
K_Di: 100% (left_x: 386 top_y: 1376 width: 133 height: 79)
Y_Da: 100% (left_x: 393 top_y: 1189 width: 121 height: 140)
S_Ka: 100% (left_x: 393 top_y: 200 width: 118 height: 143)
K_Di: 100% (left_x: 396 top_y: 539 width: 113 height: 80)
M_Di: 100% (left_x: 396 top_y: 390 width: 122 height: 81)
K_Ka: 100% (left_x: 397 top_y: 1020 width: 121 height: 139)
K_Da: 100% (left_x: 401 top_y: 19 width: 127 height: 125)
S_Di: 100% (left_x: 405 top_y: 693 width: 113 height: 88)
Y_Ka: 100% (left_x: 407 top_y: 845 width: 110 height: 146)
Y_Uc: 100% (left_x: 595 top_y: 1360 width: 130 height: 124)
...

```

Yukarıdaki bilgilerden yola çıkılarak, her cisim için çizilen çerçevenin merkez koordinatları aşağıdaki gibi bulunur:

X merkez= $\text{left_x} + \text{width}/2$
Y merkez= $\text{top_y} + \text{height}/2$

3.3. Genetik Algoritma

Optimizasyon bir sorunun çözümü için belirlenmiş çeşitli kısıtlamalar altında olabilecek çözüm alternatifleri içerisinde en uygun olanın bulunmasıdır. Günümüzde, ekonomiden mühendislik alanına kadar gerçek hayatta karşılaştığımız birçok karmaşık problemleri çözmek için metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır. Metasezgisel algoritmalar biyolojik evrim sürecinden, sürü davranışından ve fizik yasalarından esinlenerek ortaya çıkmıştır.

Metasezgisel algoritma tek çözüm ve popülasyon tabanlı olmak üzere genel olarak iki kategoriye ayrılır. Tek çözüm tabanlı algoritmalar tek aday çözümü kullanır ve bu çözümü

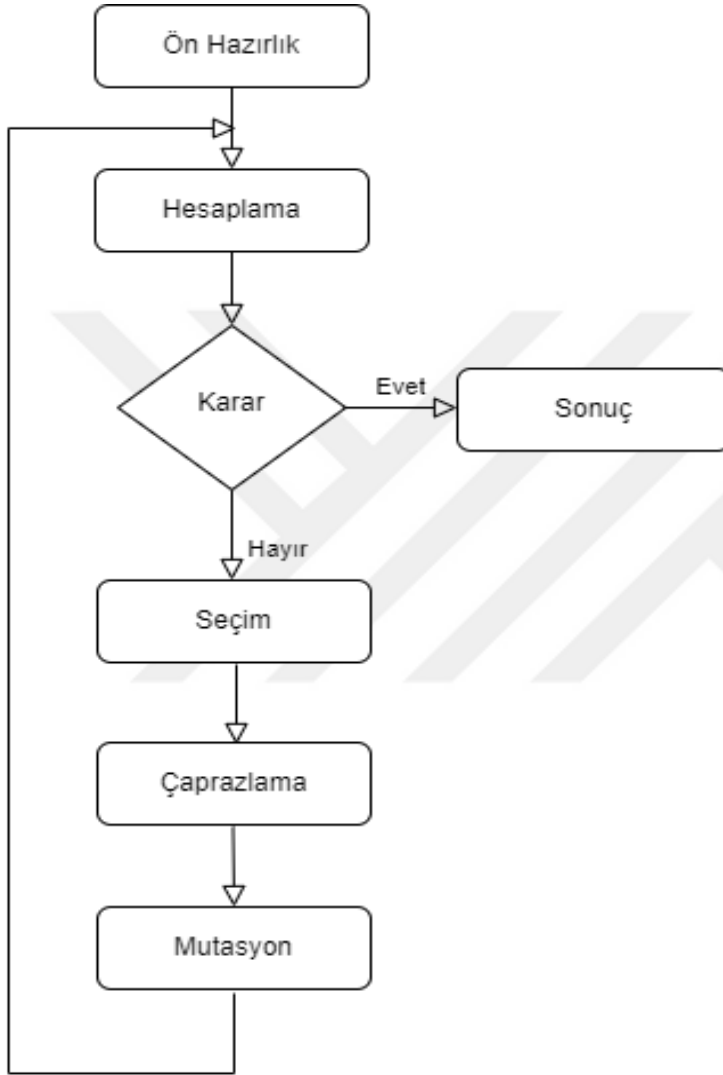
yerel arama kullanarak geliştirir. Ancak, tek çözüm tabanlı metasezgisel yöntemlerden elde edilen çözüm, yerel optimumda sıkışıp kalabilir. İyi bilinen tek çözüm tabanlı metasezgisel yöntemler, benzetilmiş tavlama (Simulated Annealing, SA), tabu arama (Tabu Search, TS). Popülasyon tabanlı algoritmalar, arama işlemi sırasında birden çok aday çözümü kullanır. Böylece, popülasyondaki çeşitliliği korur ve çözümlerin yerel optimumlara takılmasını önler [75]. İyi bilinen popülasyon tabanlı metasezgisel algoritmalarından bazıları, genetik algoritma (Genetic Algorithm, GA) [41], parçacık sürüsü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) [59], karınca kolonisi optimizasyonu (Ant Colony Algorithm, ACO) [76], ve yapay arı kolonisi algoritması (Artificial Bee Colony, ABC) [77,78].

Optimize edilecek problem çözümlerinde kabul göreceğ hesaplama süresi içerisinde çözüm uzayını tarayarak en optimum çözüme yakın çözüm bulabilmesi nedeniyle çoğunlukla evrimsel algoritmalarından genetik algoritma kullanılmaktadır. Genetik algoritma, 1975 yılında biyolojik evrim sürecinden esinlenen Michigan Üniversitesinde bilgisayar ve psikoloji bilimi uzmanı olarak çalışmış olan John Holland tarafından optimum çözüme ulaşmak için, Darwin'in doğada en iyi olanın hayatta kalması teorisi taklit edilerek, genetik evrimden ve doğal seleksiyondan ilham alınmak suretiyle ortaya atılmış bir algoritmadır. Genetik algoritmanın temel unsurları, kromozomların kodlanması, uygunluk değeri hesaplama ve biyolojiden ilham alan (seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi) genetik operatörlerdir. Şekil 3.3'te genetik algoritmanın akış diyagramı verilmiştir.

Genetik algoritma parametrelerin kodlanmış halleriyle çalışır, doğrudan amaç fonksiyonunu ve rastlantısal geçiş kurallarını kullanır, kodlamayı değişken kümesine yaparak noktalar kümesinde çözüm arar. Böylece, tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan bir çözüm kümesi üretir. Bunun sonucu olarak, arama uzayında aynı anda birçok nokta değerlendirilmekte ve yerel optimumdan kurtularak global çözüme ulaşma olasılığı yükselmektedir. Çözüm kümesindeki çözümler birbirinden tamamen bağımsızdır. Her biri çok boyutlu uzayda bir vektördür [75].

Genetik algoritmadaki gen, bir kromozomdaki değişkenlerden bir tanesinin özelliğidir. Bireyi ifade eden kromozom ise amaç fonksiyonu içindeki değişkenlerin alabileceği değerleri gösterir. Ebeveynlerden rassal olarak aktarılan genler bir bireyi ifade eden kromozomu oluşturur. Popülasyon, problem için olası pek çok çözümü temsil eden bir

çözüm kümesidir. Nüfus olarak da ifade edilir ve kromozom topluluğudur. Kuşak adı da verilen jenerasyon ise ebeveynlerden genetik algoritma parametreleri yardımıyla yeni oluşturulan topluluktur. Ebeveyn, genlerini rassallıkla yeni kuşaklara aktaran bireylerdir [79].



Şekil 3.3. Genetik algoritma akış diyagramı

Tezin ilerleyen bölümünde GA için gerekli işlemler teorisi ile birlikte adım adım verilmiştir.

3.3.1. Hazırlık

Genetik algoritma ile ele alınacak problemin değişkenleri ve kısıtları tespit edilir. Ardından kromozomdaki gen sayısı değişken sayısına bağlı olarak belirlenir. Problem ile ilgili

veriler algoritma tarafından anlaşılıp kullanılacak bir dile çevrilerek (diğer bir ifadeyle çözümlerin bir kromozom meydana getirecek şekilde kodlanmasıyla) hazırlık işlemi bitirilir.

Kromozomların Kodlanması

Kromozomlar, çözüm uzayında noktalar olarak kabul edilir ve birden fazla genin birleşmesiyle oluşur. Kromozomun kodlanması için kromozom yapısının probleme uygun olacak doğru bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Kromozomların kodlanmasında kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

İkilik (Binary) Kodlama

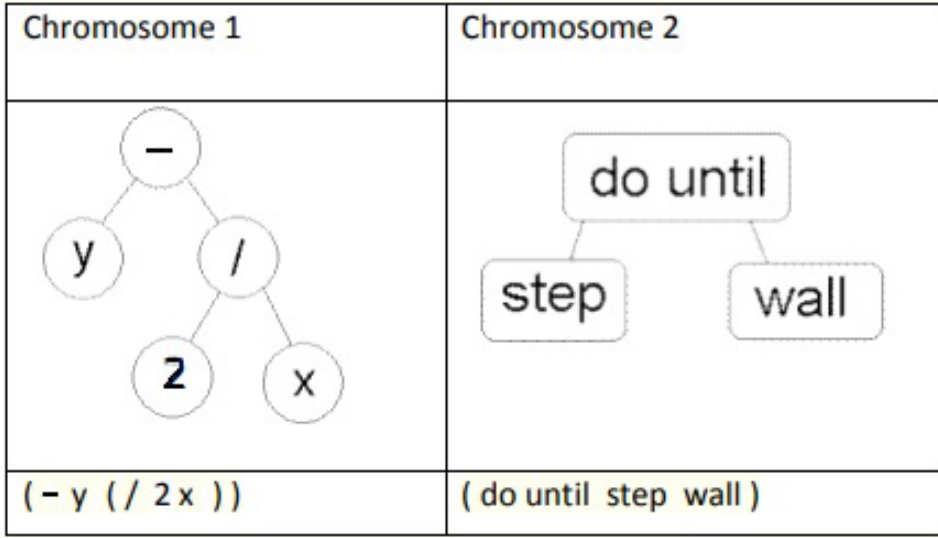
0 ve 1'lerden oluşan kodlamadır. Çizelge 3.9'da ikilik kodlanmış örnek kromozomlar verilmiştir.

Çizelge 3.9. İkili kodlanmış örnek kromozomlar

Kr1	1	0	1	1	0	0	0	1
Kr2	0	0	1	0	1	1	0	1

Ağaç (Tree) Kodlama

Ağaç kodlaması, temel olarak, genetik programlama için programları veya ifadeleri geliştirmek için kullanılır. Ağaç kodlamasında her kromozom, programlama dilindeki işlevler veya komutlar gibi bazı nesnelere bir ağaçtır. Kromozomlar, bir ağaçta temsil edilen fonksiyonlardır. Şekil 3.4'te ağaç kodlamalı kromozom örneği görülmektedir.



Şekil 3.4 Ağaç kodlamalı kromozom örneği

3.3.2. İlk popülasyonun oluşturulması

Popülasyondaki kromozom sayısı için bir standart olmayıp, problemin karmaşıklığı ve aranan çözümün derinliğine göre karar verilir. Kodlama şekli ve yapısı belirlenerek oluşturulmuş kromozomdaki genlerin alacağı durum ise rastgele belirlenir. Bu işlem belirlenen kromozom sayısında tekrar edilerek, ilk popülasyon rastgele oluşturularak çözüme başlanır.

3.3.3. Uygunluk değeri hesaplama

İlk popülasyon oluşturulduktan sonra tüm kromozomların amaçlanan optimum sonuca en yakınsama oluşacak şekilde belirlenmiş uygunluk fonksiyonu ile uygunluk değeri hesaplanır. Seçimde, kromozomlar, daha sonraki işlemler için uygunluk değerleri temelinde seçilir. Böylece hem kuşak ilerler hem de daha uygun kromozomlar bir üst kuşağa taşınmış olur. Bir kromozomun uygunluk değeri ne kadar büyükse bir üst kuşağa geçme ve yaşama şansı fazla olur.

3.3.4. Seçim

Mevcut popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri hesaplandıktan sonra bunların arasından bir sonraki kuşağı oluşturacak ebeveynler uygunluk değeri yüksek olanlardan

seçilir. Böylece bir üst kuşağa uygunluk değeri daha yüksek olan kromozomlar aktarılmış olur ve yeni kuşağın uygunluk değeri ortalamasını yükseltmiş olur. Seçim için kullanılan çok farklı yöntemler olmakla beraber en çok kullanılanları turnuva, rulet çemberi, sıralama ve sabit durum yöntemidir.

Turnuva Yöntemi

Bu yöntem rastgele olarak seçilecek iki kromozom arasından uygunluk değerleri kıyaslanıp yüksek uygunluk değerine sahip olan kromozomun seçilmesiyle yapılan bir seçim yöntemidir.

Rulet Çemberi Yöntemi

Bu yöntemin dayanağı, ebeveynlerin olasılık tabanlı seçilmesi olup kromozomun bir sonraki kuşakta yer alma şansının, kendi uygunluk değerinin popülasyon içerisindeki kromozomların uygunluk değerlerinin toplamına oranı ile belirlenen bir seçim yöntemidir.

$$\text{Seçilme olasılığı} = \frac{\textit{kromozomun uygunluk değeri}}{\textit{popülasyondaki kromozomların uygunluk değerleri toplamı}} \quad (3.2)$$

Sıralama Yöntemi

Bu seçim yönteminde her kromozom uygunluk değerine bağlı olarak sıralanır. En düşük uygunluk değerine sahip kromozoma 1 değeri verilirken en yüksek uygunluk değerine sahip kromozoma M değeri verilir. M değeri popülasyondaki kromozom sayısıdır. Sonrasında bu kromozomların aldıkları puanlar sayısınca bir seçim havuzuna aktarılır. Daha sonra bu havuzdan rastgele seçim yapılır. Böylece yüksek puana sahip kromozomun seçilme olasılığı artmış olur.

Sabit Durum Yöntemi

Bu seçim yönteminde yüksek uygunluk değerine sahip olan kromozomlar bir üst kuşağa aktarılırken düşük uygunluk değerine sahip kromozomlar yeni yavru kromozomlara yerini vermek zorunda kalarak elenir.

3.3.5. Çaprazlama

Seçim sonrası bir üst kuşağa seçilen kromozomlardan rastgele iki kromozom seçilir ve çaprazlama yapılır. Bunun için aşağıda belirtilen yöntemlerle belirlenmiş genler yer değiştirilerek daha iyi uygunluk değerine sahip kromozomlar elde edilmesi amaçlanır. Çok farklı çaprazlama yöntemleri vardır. Bunlardan, tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama ve kısmen haritalanmış çaprazlama (Partially-Mapped Crossover, PMX) yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tek Noktalı Çaprazlama

Ebeveyn olarak rastgele seçilen iki tane M uzunluğundaki kromozomun 1 ile M-1 aralığında rastgele seçilen bir noktaya kadar olan genlerin değiş tokuşunun yapılmasıyla yeni bir kromozom oluşturulur.

İki Noktalı Çaprazlama

Bu çaprazlama ise iki tane M uzunluğundaki kromozomun 1 ile M-1 aralığında rastgele seçilen iki nokta arasında olan genlerin değiş tokuşunun yapılmasıyla yeni bir kromozom oluşturulur.

3.3.6. Mutasyon

Mutasyon ikilik kodlanmış bir sistemde herhangi bir genin değerinin 0 ise 1 veya 1 ise 0 yapılmasıyla gerçekleştirilir. Popülasyondaki kromozom çeşitliliğini arttırmak amacıyla, yeni kuşaktaki kromozomların genleri üzerinde değişiklik yapılması yoluyla farklı kromozomlar elde edilir. Böylece, meydana gelebilecek çözümdeki tıkanmaların önüne geçilmiş olur.

3.3.7. Yeni kuşak oluşumu ve durdurma şartı

İlk popülasyonda yapılan seçim, çaprazlama ve ardından mutasyon ile elde edilen yeni kromozomlar yeni kuşak oluşturulmuş olur. Bu yeni kuşağın uygunluk değeri hesaplanarak eğer istenen uygunluk değerine ulaşılmışsa algoritma durdurulur. Ya da algoritma önceden belirlenen belli bir döngü sayısına ulaştığında durdurulur.

3.4. Robot Kolların Çakışmadan Cisimleri Toplaması ve Optimizasyonu

Çalışmanın bu kısmında, cisimlere ait gerçek görüntülerden elde edilen konum bilgileri ile cisimlerin robot kollar tarafından toplanma sırası ve dengeli görev sayısı genetik algoritma ile sağlanacaktır. Optimizasyon hedefleri, robot kolların çakışma olmaksızın cisimleri alma sırasının belirlenmesi ve her kola eşit iş yükü olmasının sağlanmasıdır.

3.4.1. İlk popülasyonun oluşturulması

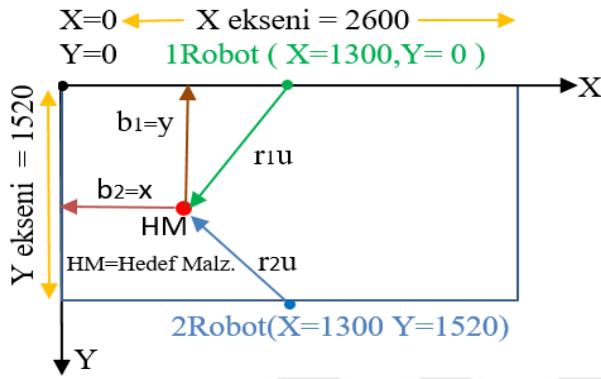
Çarpışma olmaksızın en kısa yoldan eşit sayıda hedef malzeme almak için önerilen yöntem çalıştırılmadan önce alınması istenen cisimlerin şekil ve renk bilgisi yukarıdaki kodlama mantığına göre programa verilir. Örnek olarak (1, 'T') tüm renkteki dairelerin toplanması istenmiş olsun. Sonuç matrisinden toplanması istenen şekil ve renkteki cisimler ayırt edilerek istenen özellikteki cisim bilgilerinin olduğu [ayırt edilmiş cisim sayısı \times 5] boyutlarında bir matris elde edilir (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10. Şekil ve rengine göre istenen cisim bilgileri

y	x	Şekil No	Renk No	Sıra No
1262	455	1	2	3
1419	669	1	1	11
566	678	1	1	15
1084	882	1	2	19
1091	1118	1	3	30
554	1128	1	4	32
941	1333	1	2	39
1090	1527	1	3	47
1431	1532	1	2	48
387	1550	1	4	52
575	1554	1	1	53
1097	1728	1	1	56
1432	1729	1	4	57
580	1754	1	3	61
239	1759	1	4	62
72	1774	1	3	63
761	1929	1	1	67
940	1929	1	3	68
78	1993	1	4	72
1441	2127	1	2	75

Daha sonra robotlar ile Çizelge 3.10'daki cisimler rasgele eşleştirilir. Eşleştirme ile alınacak cisimlerin merkezlerinin koordinatı ve alınan kaçınıcı cisim oldukları bilgisi ile Çizelge 3.11'deki gibi bir sıra matrisi [Ayırt edilmiş cisim sayısı \times 4] boyutunda oluşturulur.

Her bir robotun görüntü üzerinde tespit edilen hedef cisimlerin, buradaki örnekte daire, merkezine olan uzaklığı Şekil 3.5'te verildiği gibi hesaplanır.



Şekil 3.5. Cisimlerin robotlara olan uzaklıklarının tespiti

Çizelge 3.11 Sıra matrisindeki bilgiler

Hedef cismin hangi robot tarafından alındığı	Alınacak cisimlerin merkezinin koordinatları		Alınan kaçınıcı cisim olduğu
	Satır (y)	Sütun (x)	
1	1262	455	1
1	1419	669	2
2	566	678	3
2	1084	882	4
1	1091	1118	5
1	554	1128	6
1	941	1333	7
2	1090	1527	8
2	1431	1532	9
2	387	1550	10
1	575	1554	11
2	1097	1728	12
2	1432	1729	13
1	580	1754	14
1	239	1759	15
1	72	1774	16
2	761	1929	17
1	940	1929	18
2	78	1993	19
1	1441	2127	20

Alınacak her cismin sırayla birinci robota olan uzaklıklarının bulunduğu (robot1'in uzaklığı: $r1u$) ile aynı cisimlerin aynı sırayla ikinci robota olan uzaklıklarının bulunduğu (robot2'nin uzaklığı: $r2u$) satır matrisleri cisim sayısı (n) kadar sütunda oluşturulur. Satır matrislerinin her birinin elemanları, robotların seçilen cisimlere olan uzaklığını içerir. Eşitlik 3.3 ve 3.4 ile robotlar ile cisimler arasındaki mesafe hesaplanır. Elde edilen sonuçlar kullanılarak robotların cisim başına uzaklıkları toplamı ile rtt matrisi Eşitlik 3.5 ile oluşturulur.

$$r1u[1,1:n] = \sqrt{(|1300 - b_2(n)|)^2 + (b_1(n))^2} \quad (3.3)$$

$$r2u[1,1:n] = \sqrt{(|1300 - b_2(n)|)^2 + (1520 - b_1(n))^2} \quad (3.4)$$

$$rtt[1,1:n] = r1u[1,1:n] + r2u[1,1:n] \quad (3.5)$$

Robotların hedef cisimlere uzaklıkları bulunduktan sonra her **Robotun Aldığı Cisim Sayısı** (R1ACS, R2ACS) sıra matrisinden bulunur. Hedef başına robotların alacakları puan ise Eşitlik 3.6 ve 3.7 ile hesaplanır.

1. **Robotun aldığı Cisim Başına kazandığı Puan** (R1CBP):

$$R1CBP[1,1:n] = \frac{r2u[1,1:n]}{r1u[1,1:n] + r2u[1,1:n]} \quad (3.6)$$

2. **Robotun aldığı Cisim Başına kazandığı Puan** (R2CBP):

$$R2CBP[1,1:n] = \frac{r1u[1,1:n]}{r1u[1,1:n] + r2u[1,1:n]} \quad (3.7)$$

Daha sonra **Robotların eşleştirme sonucu uygunluk değeri** olarak cisimlerden **Kazandıkları Toplam Puan** (R1KTP ve R2KTP) birinci robot için R1CBP ve ikinci robot için R2CBP kullanılarak bulunur.

Robotların Alacakları hedef Cisim Sayısının birbirine Oranı (RACSO) ise Eşitlik 3.8 ve 3.9'da verildiği gibi bulunur:

$$\text{Eğer } R1ACS \leq R2ACS \text{ ise } RACSO = R1ACS / R2ACS \quad (3.8)$$

$$\text{Eğer } R1ACS > R2ACS \text{ ise } RACSO = R2ACS / R1ACS \quad (3.9)$$

Robotların **K**azandıkları **T**oplam **P**uanların birbirine **O**ranı (RKTPO) ise Eşitlik 3.10 ve 3.11 de verilmiştir.

$$\text{Eğer } R1KTP \leq R2KTP \text{ ise } RKTPO = R1KTP / R2KTP \quad (3.10)$$

$$\text{Eğer } R1KTP > R2KTP \text{ ise } RKTPO = R2KTP / R1KTP \quad (3.11)$$

Robotların **a**ldıkları **c**isimlerin **s**ayısının **o**ranı (RACSO) ve aldıkları toplam puanların oranı (RKTPO) hesaplanıp bunlardan yararlanarak **b**aşarı **p**uanı (BP) Eşitlik 3.12 ile hesaplanır:

$$BP = (RACSO \times 50) + (RKTPO \times 50) \quad (3.12)$$

İlk popülasyonun ilk kromozomu aşağıdaki verilen düzende satır matrisi olarak hazırlanır. Ardından robotların Çizelge 3.10'daki cisimler ile rastgele eşleştirilmesi ve sonrasında yapılan işlemler istenen kromozom sayısı kadar tekrarlanır.

İlk 40 sütun: Tek sayılı sütunlar cisim alan robot numarası ve çift sayılı sütunlar ise eşleşen cismin sıra numarası,

41. sütun: Birinci robotun aldığı cisim sayısı (R1ACS)

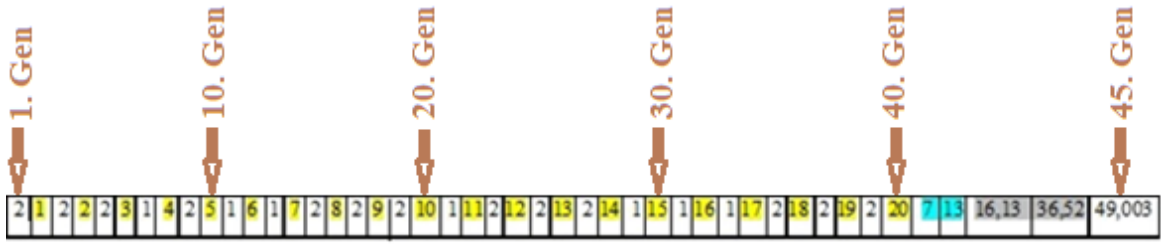
42. sütun: İkinci robotun aldığı cisim sayısı (R2ACS)

43. sütun: Birinci robotun kazandığı puan (R1KTP)

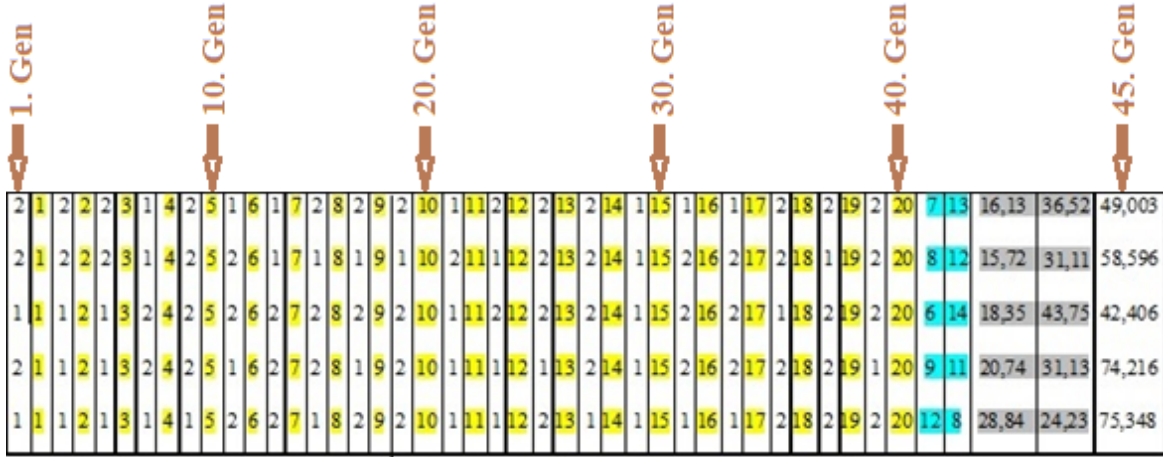
44. sütun: İkinci robotun kazandığı puan (R2KTP)

45. sütun: Kromozomun uygunluk değeri olarak hesaplanan başarı puanı (BP)

Şekil 3.6'da bir kromozom örneği, Şekil 3.7'de ise 5 kromozomlu bir popülasyon örneği verilmiştir.

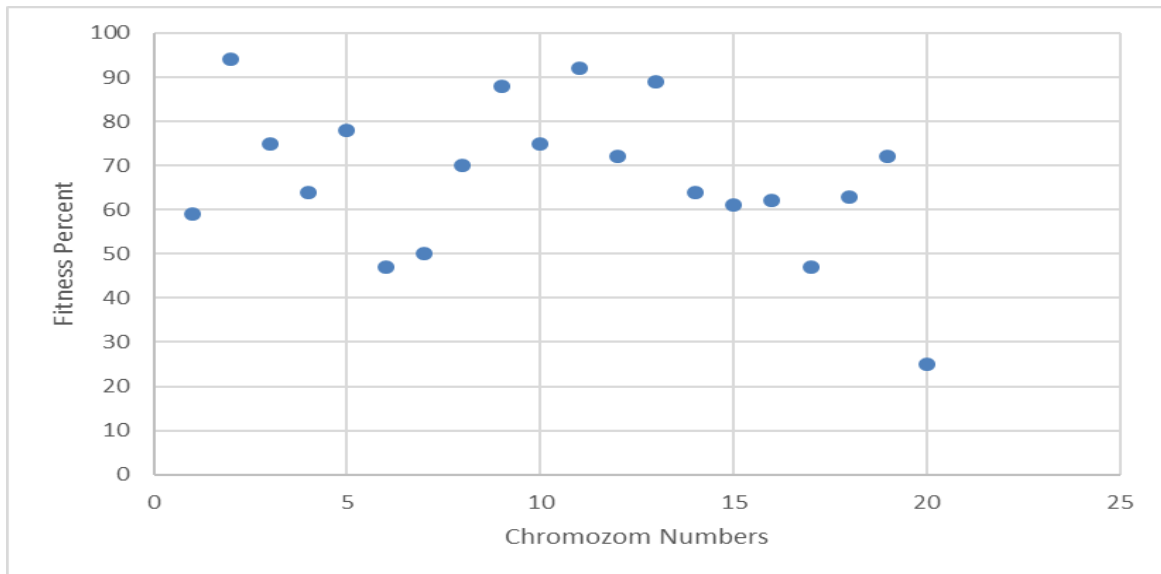


Şekil 3.6. Kromozom örneği



Şekil 3.7. Popülasyon örneği

Şekil 3.8’de 20 kromozomlu ilk popülasyon örneği ile elde edilen başarı puanları grafiği verilmiştir. Şekil incelendiğinde, her bir kromozomun farklı değerlerde başarı puanlarına sahip olduğu ve daha iyi bir sonuç için bir döngü ile yöntemin çalıştırılması gerektiği görülmektedir.



Şekil 3.8. İlk popülasyon başarı yüzdesi dağılımı

3.4.2. Genetik algoritma optimizasyon döngüsü

İlk popülasyonun oluşturulmasının ardından, genetik algoritmanın operatörleri hedefe ulaşıncaya kadar döngü içinde tekrarlanır. Şekil 3.10'da bu döngüyü oluşturan adımlar verilmiştir.

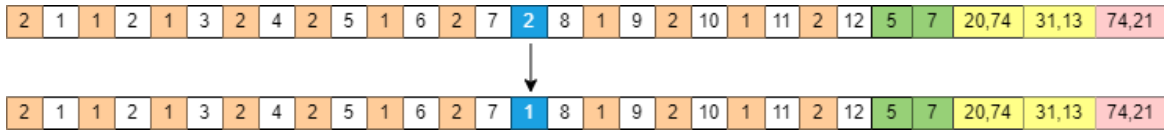
Adım 1 (Kromozom seçimi): Seçme algoritması için turnuva metodu kullanılmıştır [80].

Popülasyon içerisinde rastgele (turnuva metodunda k: seçim parametresi 2-4 adet aralığındadır) 2 kromozom alınır, bu kromozomların iyisi çaprazlama için seçilir. Bu adım bir kez daha tekrar eder ve ikinci kromozom da seçilir.

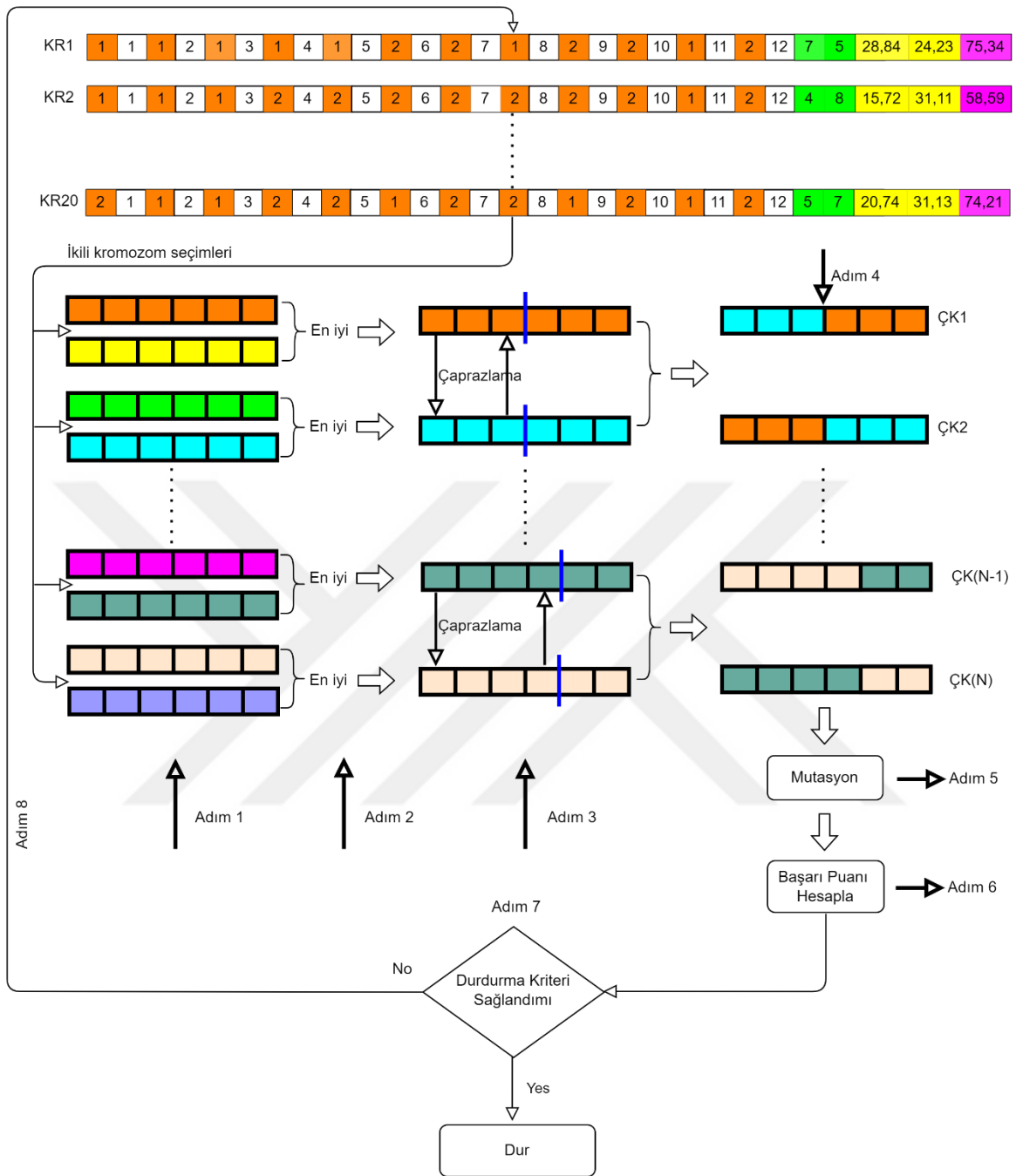
Adım 2 (Çaprazlama): Turnuva metodu ile seçilen iki kromozom üzerinde genlerin çaprazlanması için rastgele bir kesme nokta belirlenir.

Adım 3 (Yeni bireylerin oluşturulması): Kromozomların başından itibaren belirlenen noktaya kadar olan genleri yer değiştirilerek çaprazlama yapılır ve böylece çaprazlanan iki kromozomdan iki yeni kromozom (birey) oluşumu sağlanır. Yukarıdaki adımlar belirlenen çaprazlama oranına ulaşıncaya kadar tekrarlanır.

Adım 4 (Mutasyon): Yeni popülasyon içinden rasgele seçilen kromozomların rastgele seçilen genlerinin değerleri üzerinde yine rasgele bir değişim yapılarak mutasyon gerçekleştirilir. Bu çalışmada gende yazılı hedef malzemeyi alan robot numarası değiştirilerek Şekil 3.10'da gösterildiği gibi soruna özgü mutasyon işlemi uygulanmıştır. Böylelikle araştırma uzayında farklı alanların incelenmesi sağlanmış ve popülasyonun çeşitliliği artırılmıştır. Mutasyon işleminden sonra yeni popülasyon oluşması tamamlanır.



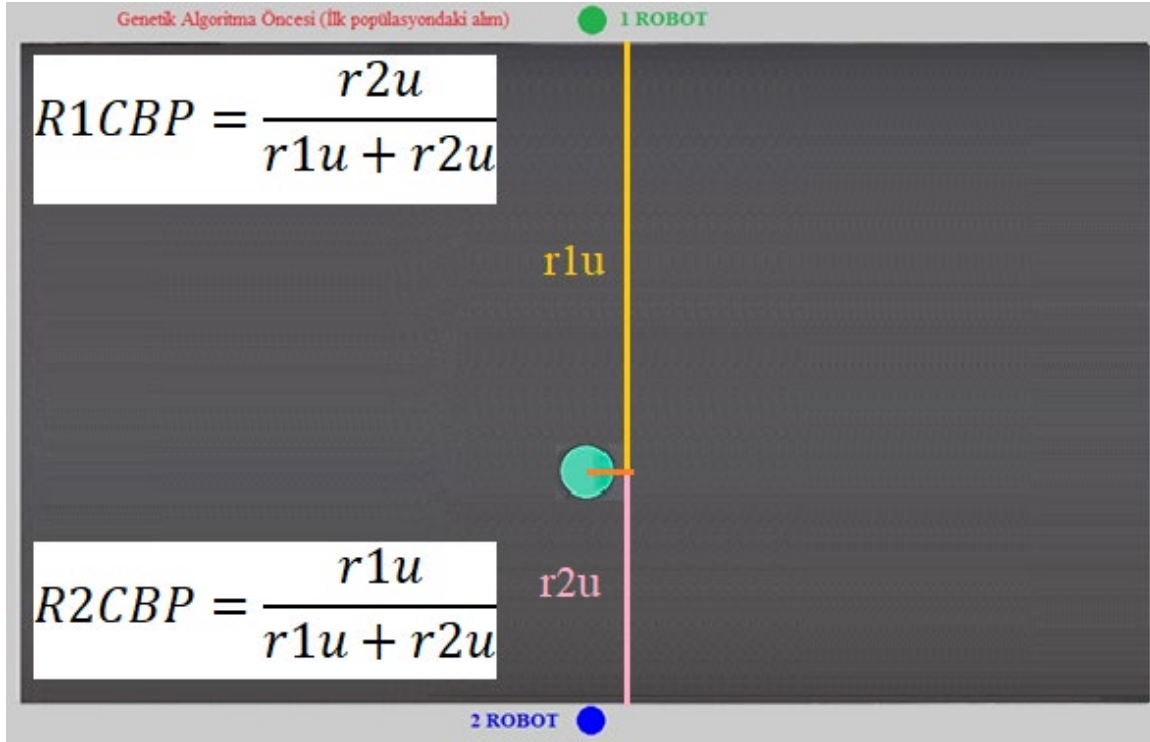
Şekil 3.9. Mutasyon örneği



Şekil 3.10. Genetik algoritma da hesaplama, seçim, çaprazlama ve mutasyon döngüsü

Adım 5 (Başarı Puanı Hesaplanması): Oluşturulan yeni popülasyonun başarı puanları önceki bölümde verilen işlem sırasına uygulanarak hesaplanır. Başarı puanına bakarak çarpışma engelleme yöntemi Şekil 3.11’de verildiği gibi uygulanır. Burada, birinci robotun yeşil ile gösterilen hedef cismi alması durumunda elde edeceği puan R1CBP, ikinci robotun alması durumunda R2CBP ile bulunur. Buradan görüldüğü üzere kendisine uzak olan cismi alan daha az puan almaktadır.

Bu yöntem ile tüm hedefler için puanlar bir araya getirildiğinde robotlara kendilerine yakın cisimlerin atanması sağlanır. Ayrıca atanan cisimleri alma sırası bakımından robotlar farklı yönlerden almaya başlayacağından çarpışma engellenmiş olur.



Şekil 3.11. Çarpışmanın engellenmesi için örnek puan hesaplanması

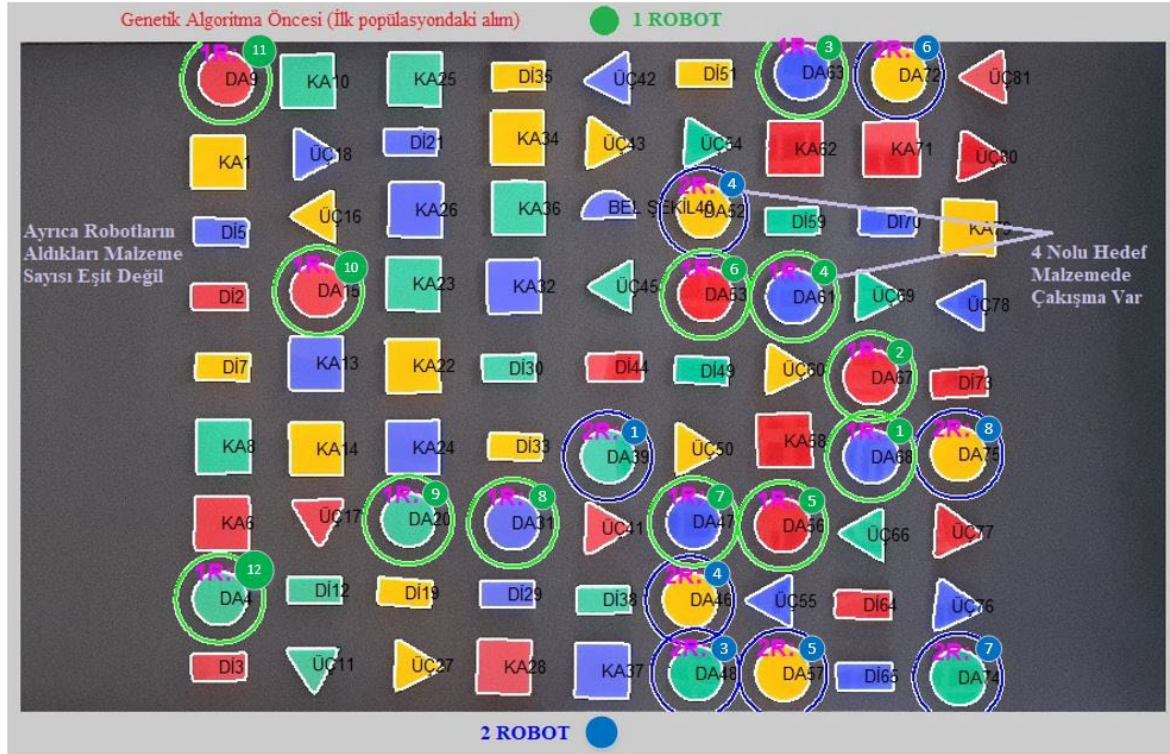
Adım 6 (Durdurma kriteri kontrolü): Bu adımda, hesaplanan başarı puanı hedeflenen başarı puanına ulaşmışsa veya önceden belirlenen toplam döngü sayısına ulaşılmışsa optimizasyon sonlandırılır.

Adım 7 (Durdurma kriteri kontrol ediliyor): Eğer başarı puanı istenen değere ulaşmış veya önceden belirlenmiş döngü sayısına ulaşılmış ise işlem durduruluyor.

Adım 8 (Başa Dönüş): Eğer başarı puanı istenen değere ulaşmamış ve önceden belirlenmiş döngü sayısına ulaşılmamış ise genetik algoritma optimizasyon döngüsü Adım 1'e dönerek devam eder.

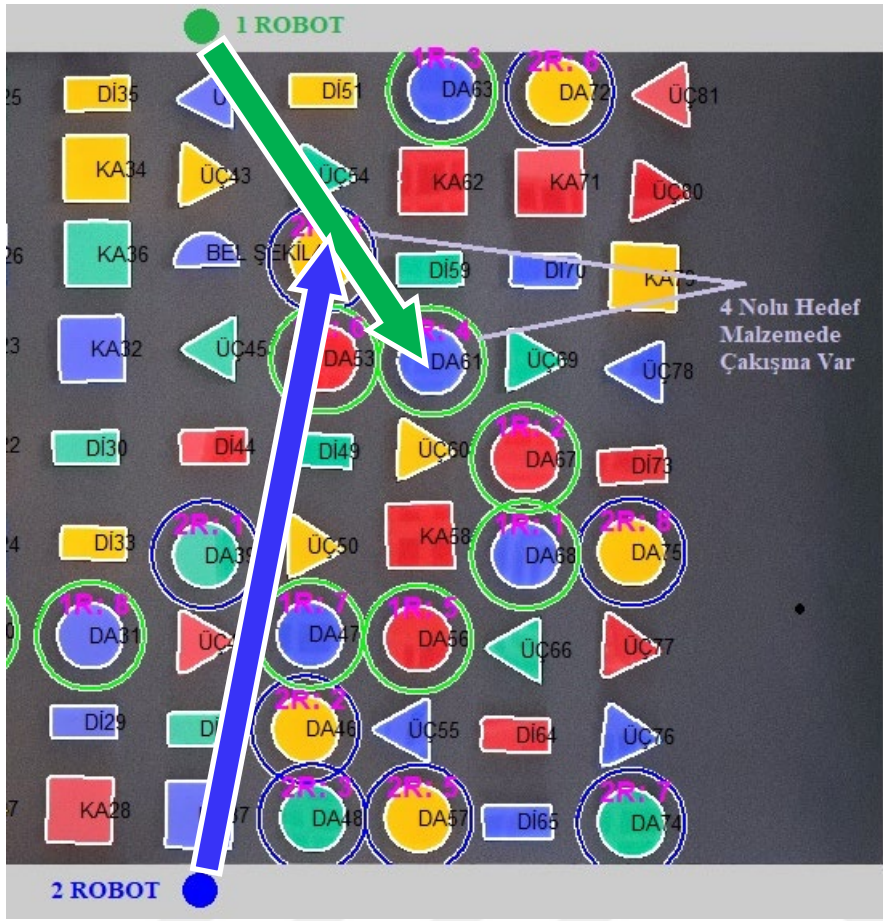
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

İlk popülasyonun oluşturulması için yapılan çalışmada, her bir kromozom için Şekil 4.1'deki gibi robotlara rasgele atama yapılmıştır. Yapılan atamada birinci robotun alacağı cisimler yeşil renk ile ikinci robotun alacağı cisimler mavi renk ile çerçevenlenmiştir.



Şekil 4.1. İlk popülasyon sonucu robotlara atanan malzemeler

Yapılan atama sonucu çarpışmanın gerçekleşeceği durum Şekil 4.2'de yakın planda verilmiştir. Buna göre, her iki robotun 4. sırada alacağı cisimler incelendiğinde bir çarpışmanın olacağı görülmektedir.



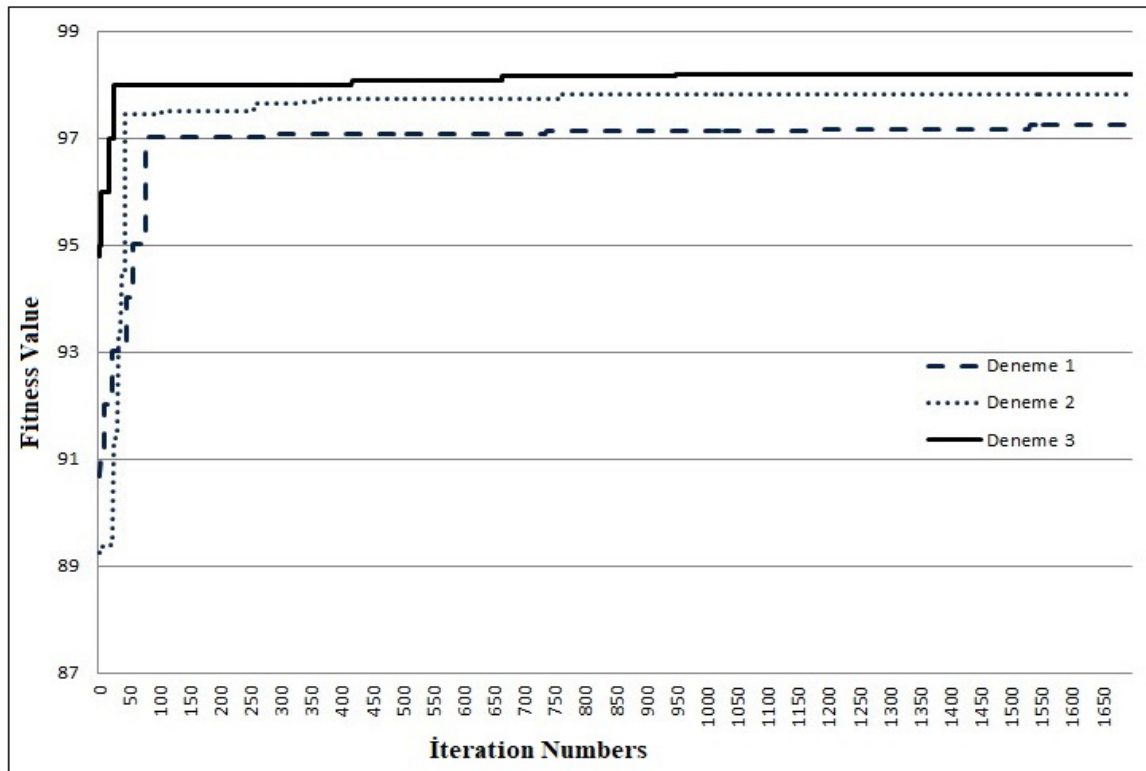
Şekil 4.2. Yakın plan çarpışma durumunun görüntüsü

Robotların aldıkları malzeme sayısının ve kat ettikleri mesafenin birbirine eşit olmayıp çarpışmaların meydana geldiği görülmektedir.

Çizelge 4.1'de GA ile optimizasyon yapılmadan önce ve sonra elde edilen sonuçlar verilmiştir. GA çalıştırılmadan elde edilen en iyi sonucun başarı oranı 75,348 iken GA ile yapılan üç optimizasyon denemesi sonucu en iyi başarı puanını ortalama 100s içinde 98,178 olarak elde edilmiştir. Yapılan denemelerdeki optimizasyon başarı grafikleri Şekil 4.3'te verilmiştir. En yüksek başarı puanının elde edildiği çözümde, çarpışma olmaksızın eşit sayıda cismin yaklaşık eşit mesafe kat ederek robotların alacağı cisimler için hareket planlaması Şekil 4.4'teki gibi yapılmıştır.

Çizelge 4.1. Genetik algoritma öncesi ve sonrası farklı sayıda malzeme alma karşılaştırması

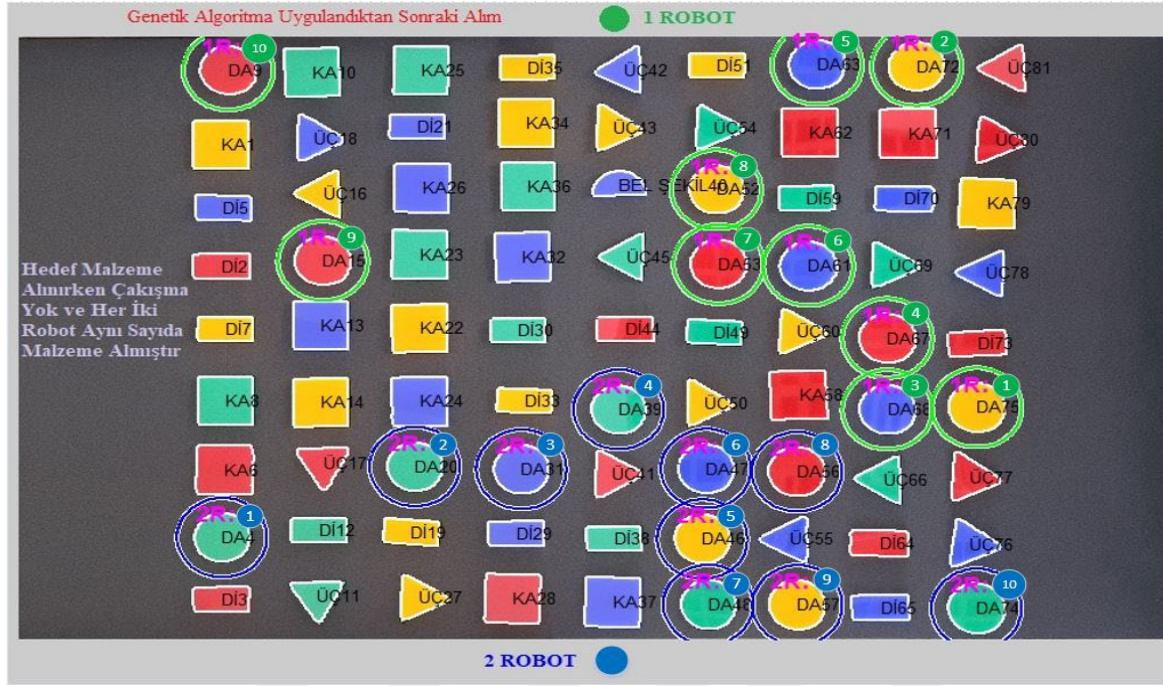
	Alınan cisim sayısı		Kat ettiği mesafe	
	Robot 1	Robot 2	Robot 1	Robot 2
Optimizasyon öncesi	12	8	11 741.0	6 215.8
Optimizasyon sonrası	10	10	6 587.7	6 792.7
	Toplam kat edilen mesafe		Başarı Puanı	
Optimizasyon öncesi	17 956		75.348	
Optimizasyon sonrası	13 380		98.178	



Şekil 4.3. GA optimizasyonlarında başarı grafiği

Yapılan deneysel çalışmalarda, Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi, optimizasyon öncesi rasgele yapılan seçimlerde aynı sayıda cismin robotlara atandığı ilk çözümler de ortaya çıkmıştır. Ancak, her ne kadar robotların atanmış cisimlerin sayısı aynı olsa da kat edecekleri mesafelerin birbirine yakın olmadığı görülmüştür. Bu başlangıç ile yapılan optimizasyon sonunda, yine aynı sayıda cisim robotlara atanırken kat edecekleri mesafelerin birbirine yaklaştığı ve toplam mesafenin de %30.8 gibi dikkat çekici bir oranda düştüğü görülmüştür. Bu sonuç, robotların görevlerini yapmak için harcayacakları zamanda da aynı oranda iyileşme getirmektedir. Dolayısıyla, robotların daha kısa süre ve yol ile görevlerini

yapacakları; bunun sonucu olarak da daha az yıpranarak daha uzun ömürlü olacakları ortaya çıkmıştır.



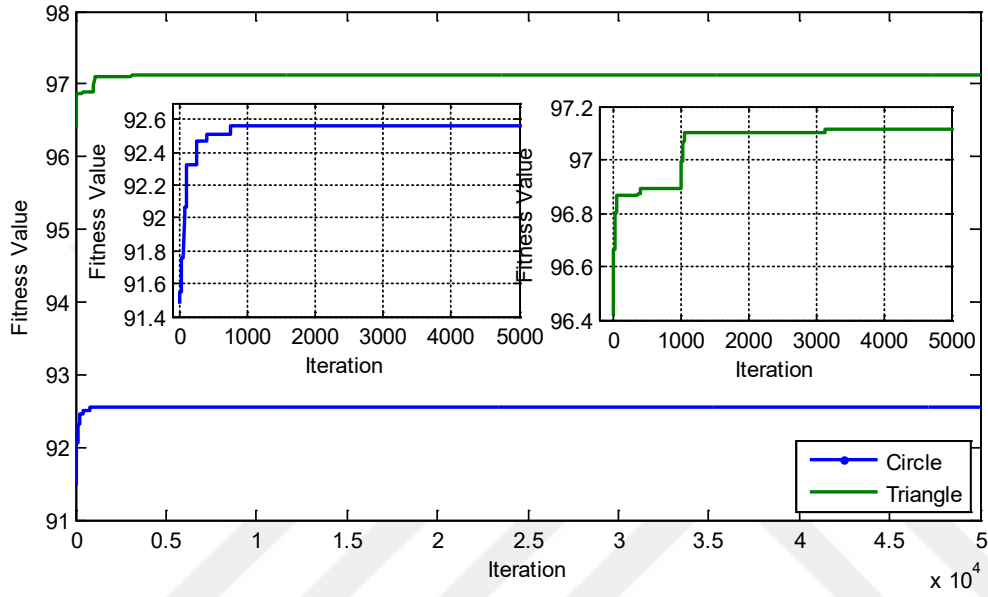
Şekil 4.4. GA optimizasyonu sonucu robotların alacağı cisimler için hareket planı

Çizelge 4.2’de, başarı puanı %93.435 olan optimizasyon öncesi yapılan rasgele atamada eşit sayıda cisim robotlara atanmıştır. Buna göre, birinci robotun kat edeceği mesafe 10554 birim iken ikinci robotun kat edeceği mesafe %20 fark ile 8519,3 birim olarak hesaplanmıştır. Ancak, bu hareket planı GA ile optimize edildiğinde yine aynı eşit sayıda cisim atanmasına rağmen toplam kat edilecek mesafe %30.68 azalmıştır. Bununla beraber robot kolların kat ettikleri mesafe arasındaki fark da %13 seviyesine düşmüştür. Her ne kadar rasgele yapılan atamalarda, başarı puanının eşit ve yüksek olduğu durumlar ortaya çıksa da optimizasyon sonucu daha kısa mesafe ve sürede de aynı başarıyı sağlayacak sonuçların elde edilebileceği gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. GA öncesi aynı sayıda malzeme ile başlanan optimizasyon sonucu

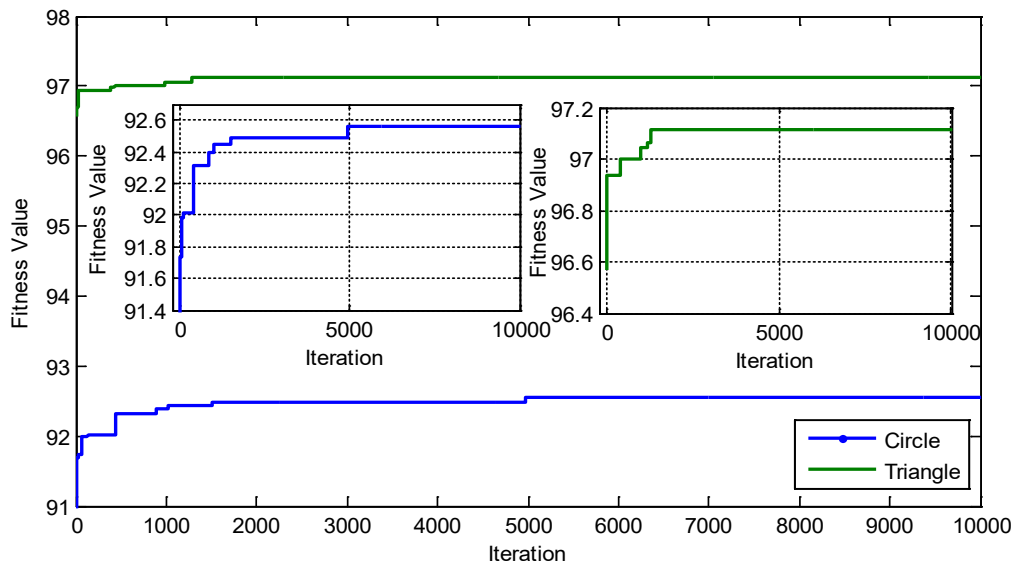
	Alınan cisim sayısı		Kat ettiği mesafe	
	Robot 1	Robot 2	Robot 1	Robot 2
Optimizasyon öncesi	10	10	10 554.0	8 519.3
Optimizasyon sonrası	10	10	7 066.9	6 154.9
	Toplam kat edilen mesafe		Başarı Puanı	
Optimizasyon öncesi	19 074		93.435	
Optimizasyon sonrası	13 222		94.838	

YOLO ile elde edilen cisimlere ait koordinat bilgileri kullanılarak yapılan çalışmada ise 20 kromozom ve 50 000 iterasyon sonucu daire ve üçgen için elde edilen uygunluk değerleri (fitness value) Şekil 4.5'te verilmiştir. Ayrıca genetik algoritmanın öğrenme eğrisini daha detaylı görebilmek için ilk 5 000 iterasyon aynı şekil içerisinde daire ve üçgen için ayrı ayrı verilmiştir. Aynı işlem diğer sonuçlar için de yapılmıştır.



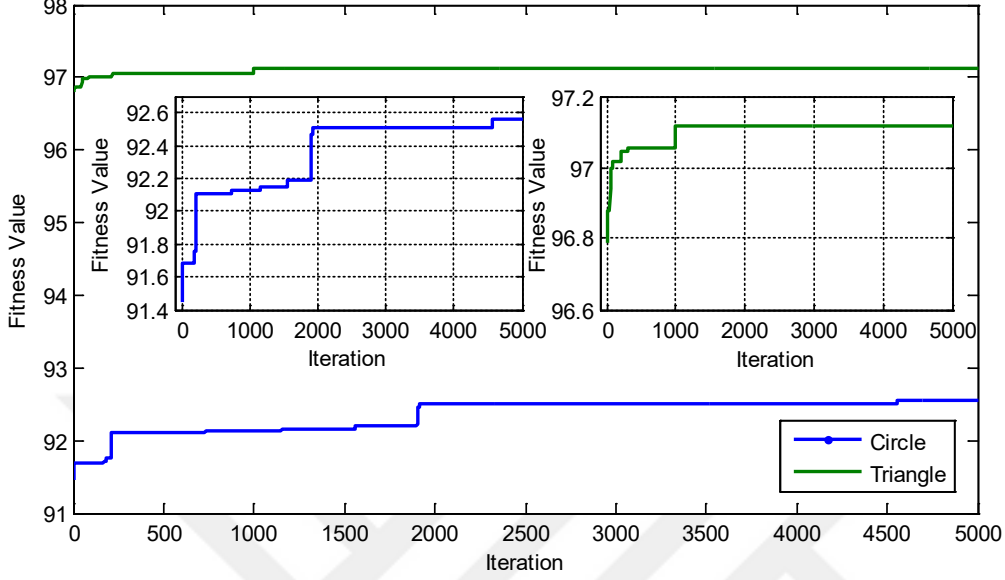
Şekil 4.5. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 50 000 iterasyon uygunluk değerleri

YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 10 000 iterasyon sonucu daire ve üçgen için elde edilen uygunluk değerleri Şekil 4.6'da verilmiştir.



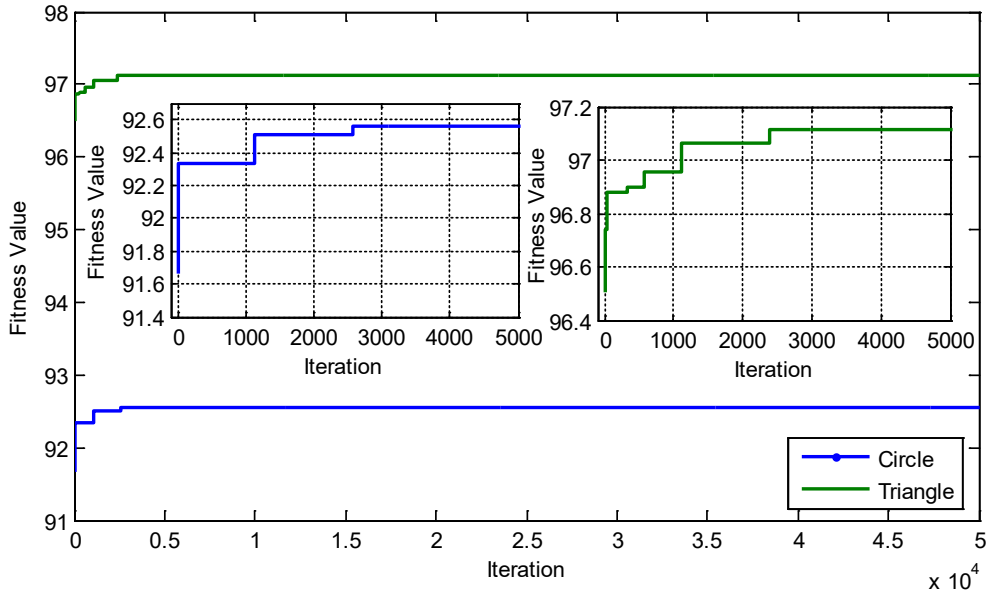
Şekil 4.6. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 10 000 iterasyon uygunluk değerleri

YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 5 000 iterasyon sonucu daire (circle) ve üçgen (triangle) için elde edilen uygunluk değerleri Şekil 4.7’de verilmiştir.



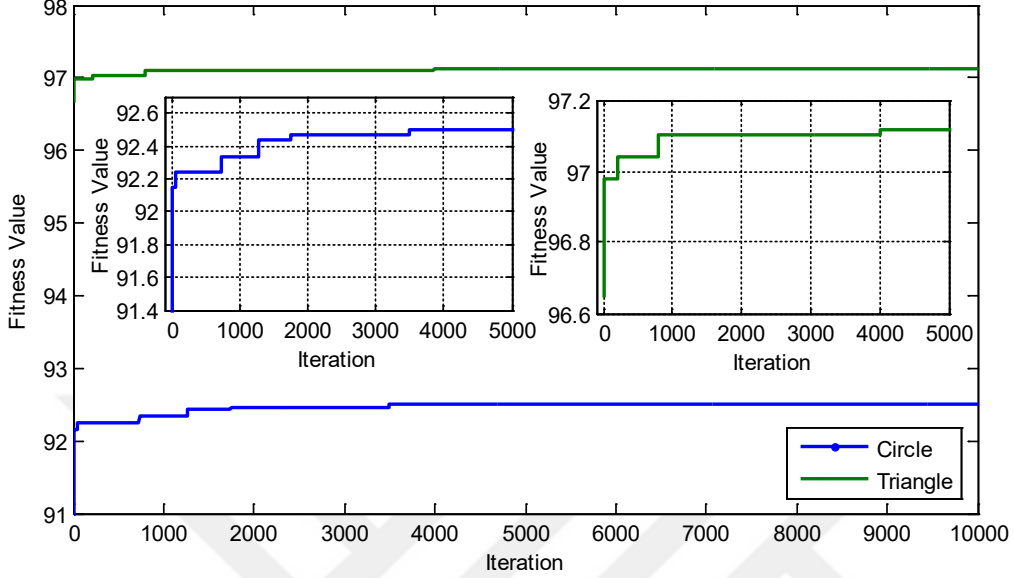
Şekil 4.7. YOLO ile yapılan 20 kromozom ve 5 000 iterasyona göre uygunluk değerleri

YOLO ile yapılan çalışmada ise 40 kromozom ve 50 000 iterasyon sonucu daire (circle) ve üçgen (triangle) için elde edilen uygunluk değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



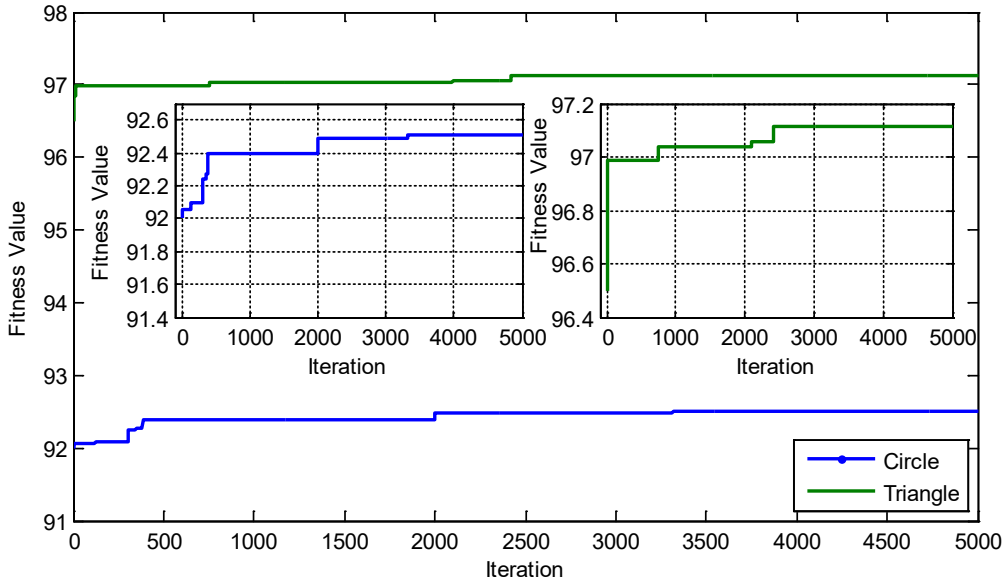
Şekil 4.8. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 50 000 iterasyona göre uygunluk değerleri

YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 10 000 iterasyon sonucu daire (circle) ve üçgen (triangle) için elde edilen uygunluk değerleri Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 10 000 iterasyona göre uygunluk değerleri

YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 5 000 iterasyon sonucu daire (circle) ve üçgen (triangle) için elde edilen uygunluk değerleri Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10. YOLO ile yapılan 40 kromozom ve 5 000 iterasyona göre uygunluk değerleri

Şekil 4.5'ten Şekil 4.10'a kadar verilen optimizasyon sonuçlarında hem daire hem de üçgen için uygunluk değerinin en iyi sonuca ulaşmasının ilk 5 000 iterasyonda olduğu görülmektedir. Geri kalan iterasyonlarda ise uygunluk değerinde bir değişiklik gözlenmemiştir. Ancak, yukarıda verilen optimizasyonlar süre bakımından incelendiğinde farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Cisimleri algılama ve optimizasyon sürelerinin kromozom ve iterasyon sayılarına göre detaylı çizelgesi kullanılan her bir bilgisayar için Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te görüldüğü üzere YOLO ile cisimleri algılama süresi (13,324ms) metrik sistem ile yapılan algılama süresine (1,371s) göre yaklaşık 100 kat daha kısa olmaktadır. Üzerinde çalıştığımız problemde kromozom sayısı arttıkça optimizasyon süresi uzamakta. Ancak iterasyon sayısını belli bir değerden sonra arttırmanın elde edilen uygunluk değerinde anlamlı bir değişikliğe sebep olmadığı görülmektedir. Bu yüzden en iyi optimizasyon parametrelerinin 20 kromozom, 5 000 iterasyon kullanılması durumunda elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 4.3. 1.Bilgisayar ile yapılan optimizasyon süre ve uygunluk değerleri

Kromozom sayısı	İterasyon sayısı	Yöntem	Cisim	Cisimleri algılama süresi	Optimizasyon süresi	Toplam işlem süresi	Uygunluk değeri
20	50 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	95.4573s	95.4706s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	94.5122s	94.5255s	%97.116
		METRİK	DAİRE	2.8759s	96.6424s	99.5183s	%92.361
			ÜÇGEN	2.9090s	95.4577s	98.3667s	%97.261
	10 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	8.3912s	8.4045s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	8.4700s	8.4833s	%97.116
		METRİK	DAİRE	2.7477s	7.8202s	10.5679s	%92.361
			ÜÇGEN	2.7282s	7.7997s	10.5279s	%97.261
	5 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	4.3989s	4.4122s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	3.9913s	4.0046s	%97.116
		METRİK	DAİRE	2.7221s	3.3645s	6.0866s	%92.260
			ÜÇGEN	2.7909s	3.3358s	6.1267s	%97.261
40	50 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	118.3219s	118.3352s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	118.1198s	118.1331s	%97.116
		METRİK	DAİRE	2.7385s	117.6972s	120.4357s	%92.361
			ÜÇGEN	2.7710s	117.5038s	120.2748s	%97.261
	10 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	13.0640s	13.0773s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	13.0732s	13.0865s	%97.116
		METRİK	DAİRE	2.6898s	12.5560s	15.2458s	%92.361
			ÜÇGEN	2.7725s	12.4484s	15.2209s	%97.261
	5 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	6.4160s	6.4293s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	6.4331s	6.4464s	%97.065
		METRİK	DAİRE	2.6956s	5.7311s	8.4267s	%92.307
			ÜÇGEN	2.7387s	5.7766s	8.5153s	%97.246

Çizelge 4.4. 2.Bilgisayar ile yapılan optimizasyon süre ve uygunluk değerleri

Kromozom sayısı	İterasyon sayısı	Yöntem	Cisim	Cisimleri algılama süresi	Optimizasyon süresi	Toplam işlem süresi	Uygunluk değeri
20	50 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	50.8557s	50.8690s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	48.1775s	48.1908s	%97.116
		METRİK	DAİRE	1.3998s	46.4775s	47.8773s	%92.361
			ÜÇGEN	1.4635s	46.3505s	47.8140s	%97.261
	10 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	3.2211s	3.2344s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	3.1470s	3.1603s	%97.116
		METRİK	DAİRE	1.3771s	2.4407s	3.8178s	%92.361
			ÜÇGEN	1.4159s	2.4014s	3.8173s	%97.261
	5 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	1.7883s	1.8016s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	1.7066s	1.7199s	%97.116
		METRİK	DAİRE	1.3435s	1.0517s	2.3952s	%92.260
			ÜÇGEN	1.3711s	1.0264s	2.3975s	%97.261
40	50 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	55.7542s	55.7675s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	55.7885s	55.8018s	%97.116
		METRİK	DAİRE	1.3460s	54.3707s	55.7167s	%92.361
			ÜÇGEN	1.3530s	54.0433s	55.3963s	%97.261
	10 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	4.6664s	4.6797s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	4.4982s	4.5115s	%97.116
		METRİK	DAİRE	1.3517s	3.6763s	5.0280s	%92.361
			ÜÇGEN	1.3500s	3.7332s	5.0832s	%97.261
	5 000	YOLO	DAİRE	13.324ms	2.4094s	2.4227s	%92.561
			ÜÇGEN	13.324ms	2.4030s	2.4163s	%97.065
		METRİK	DAİRE	1.3368s	1.7235s	3.0603s	%92.307
			ÜÇGEN	1.3468s	1.6897s	3.0365s	%97.246

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Tez iki aşamadan oluşmuştur. İlki görüntü işleme aşamasıdır. Bir taşıma bandını yukarıdan görecektir şekilde konumlandırılmış sayısal fotoğraf makinesi kullanılarak çekilen görüntüler işlenerek, farklı renk ve şekillerdeki cisimlerin tanımı ve konumları belirlenmiştir. Bu amaçla geliştirdiğimiz ve metrik ismini verdiğimiz görüntü işleme algoritması ve sonuçları karşılaştırma amacıyla son yıllarda bilimsel araştırmalarda yaygın kullanım alanı bulmuş olan YOLO algoritması kullanılmıştır.

İkinci aşamada robotlara iletilecek görevler genetik algoritma ile planlanmıştır. Bu aşamada 4 hedefli optimum hareket planı yapılmıştır. Bunlar; robot kolların çarpışmasının engellenmesi, eşit sayıda cisim almaları, görev için kat edilecek toplam yolun kısaltılması ve görev için kat ettikleri yolların birbirine eşit veya yaklaşık olmasıdır. Genetik algoritma ile bu hedefleri sağlayan optimum görev planı yapılmıştır.

Deneilerde YOLOv4 algoritması ile cisimlerin şekil ve konumlarının belirlenmesi için harcanan sürenin 13 milisaniye kadar düştüğü görülmüştür. Elde edilen bu konumlar robotlara görev dağılımı yapıldığında, robot kolların çarpıştığı, görev dağılım oranının %60'a %40 ve kat edilen mesafenin %65'e %35 oranında dengesiz olduğu görülmüştür. Genetik algoritma ile yapılan optimizasyon işlemi sonrası yük dağılımının eşitlendiği (%50'e %50), kat edilen yolun (%49,3'e %50,7) dengeli hale geldiği ve çarpışmanın oluşmadığı görülmüştür. Böylece optimizasyon öncesine göre kat edilecek mesafe %25 azalırken, başarı yaklaşık %30 artmıştır.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile birden fazla robot kolun çarpışmaları engellenmiş, görev yükleri dengelenmiş ve iş süreleri azalmıştır. Sonuç olarak görev için harcadıkları enerji azalmış ve çalışma ömürleri artmıştır.

Çalışmalar, iki ve daha fazla sayıda gerçek robot kol ile gerçek zamanlı, üç boyutlu tarımsal meyve toplama uygulamaları yapılması konusunda devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- 1 Çırak B ve Yörük A. Mekatronik Biliminin Öncüsü İsmail ElCezeri Vanguard of Mechatronic Science Ismail Al-Jazari. *Sos Bilim Enstitü Derg* 2015:175–94.
- 2 Sevinçli M ve Özdemir E. Optimization of Task Sharing in a Dual Robot Arm System Using Genetic Algorithm. *3rd Int Eurasian Conf Sci Eng Technol (EurasianSciEnTech 2021)* 2021:654–61.
- 3 Robotics Career y.y. <https://www.roboticscareer.org/news-and-events/news/23360> (erişim 09 Aralık 2022).
- 4 Gasparetto A ve Scalera L. A Brief History of Industrial Robotics in the 20th Century. *Adv Hist Stud* 2019;08:24–35. <https://doi.org/10.4236/ahs.2019.81002>.
- 5 Zamalloa I, Kojcev R, Hernández A, Muguruza I, Usategui L, Bilbao A, vd. Dissecting Robotics - historical overview and future perspectives 2017:1–9.
- 6 Stanford's robotics legacy | Stanford News y.y. <https://news.stanford.edu/2019/01/16/stanfords-robotics-legacy/> (erişim 09 Aralık 2022).
- 7 Bogue R. Humanoid robots from the past to the present. *Ind Rob* 2020;47:465–72. <https://doi.org/10.1108/IR-05-2020-0088>.
- 8 Ben-Ari M ve Mondada F. *Elements of Robotics (Robots and Their Applications)*. Springer Switzerland; 2018.
- 9 Gürgüze G ve Türkoğlu İ. Kullanım Alanlarına Göre Robot Sistemlerinin Sınıflandırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Derg* 2019;31:53–66.
- 10 Ozan E. Robotlar ve Uygulamaları. YL Tezi, Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2020.
- 11 Singh G ve Banga VK. Robots and its types for industrial applications. *Mater Today Proc* 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.426>.
- 12 Keerthana A, Kirubaharan P, Krishnamoorthy S, Rajeswari K ve Zabiullah GS. Agriculture Robot for Seeding and Forming. *Int Res J Eng Technol* 2018;5:3837–40.
- 13 Wang CH, Xie BX ve Chang CL. Design and Implementation of Livestock Robot for Egg Picking and Classification in the Farm. *Proc - 2019 Int Symp Electr Electron Eng ISEE 2019* 2019:161–5. <https://doi.org/10.1109/ISEE2.2019.8921255>.
- 14 Lei T, Huang Y, Wang H ve Rong Y. Automatic weld seam tracking of tube-to-tubesheet TIG welding robot with multiple sensors. *J Manuf Process* 2021;63:60–9. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.03.047>.
- 15 Guo J, Zhu Z, Sun B ve Zhang T. A novel field box girder welding robot and realization of all-position welding process based on visual servoing. *J Manuf Process* 2021;63:70–9. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.04.054>.

- 16 Bhuvanewari S, Ashlin Jinushia R, Madhavan K ve Thandapani T. Automated Exterior Wall Painting Robot Using Raspberry Pi. 2020 6th Int Conf Adv Comput Commun Syst ICACCS 2020 2020:1420–5. <https://doi.org/10.1109/ICACCS48705.2020.9074393>.
- 17 Michalos G, Kousi N, Karagiannis P, Gkournelos C, Dimoulas K, Koukas S, vd. Seamless human robot collaborative assembly – An automotive case study. *Mechatronics* 2018;55:194–211. <https://doi.org/10.1016/J.MECHATRONICS.2018.08.006>.
- 18 Brito T, Queiroz J, Piardi L, Fernandes LA, Lima J ve Leitão P. A machine learning approach for collaborative robot smart manufacturing inspection for quality control systems. *Procedia Manuf* 2020;51:11–8. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.003>.
- 19 Khedkar A, Kajani K, Ipkal P, Banthia S, Jagdale BN ve Kulkarni M. Automated Guided Vehicle System with Collision Avoidance and Navigation in Warehouse Environments. *Int Res J Eng Technol* 2020;7:5442–8.
- 20 Søråa RA, Fostervold ME. Social domestication of service robots: The secret lives of Automated Guided Vehicles (AGVs) at a Norwegian hospital. *Int J Hum Comput Stud* 2021;152. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2021.102627>.
- 21 Yang G, Liu X, Zhong O, Lei O, Wu Z ve Jin J. A Vision-Based Fruit Packaging Robot. 2021 IEEE 6th Int Conf Comput Commun Syst 2021:297–302. <https://doi.org/10.1109/ICCCS52626.2021.9449154>.
- 22 Morone G, de Sire A, Cinnera AM, Paci M, Perrero L, Invernizzi M, vd. Upper limb robotic rehabilitation for patients with cervical spinal cord injury: A comprehensive review. *Brain Sci* 2021;11. <https://doi.org/10.3390/brainsci11121630>.
- 23 Choi B, Lee W, Park G, Lee Y, Min J ve Hong S. Development and control of a military rescue robot for casualty extraction task. *J F Robot* 2019;36:656–76. <https://doi.org/10.1002/rob.21843>.
- 24 Xu Y, Lv N, Fang G, Du S, Zhao W, Ye Z, vd. Welding seam tracking in robotic gas metal arc welding. *J Mater Process Technol* 2017;248:18–30. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2017.04.025>.
- 25 Faigl J ve Čížek P. Adaptive locomotion control of hexapod walking robot for traversing rough terrains with position feedback only. *Rob Auton Syst* 2019;116:136–47. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2019.03.008>.
- 26 Vaidya OS, Patil R, Phade GM ve Gandhe ST. Embedded vision based cost effective Tele-operating smart robot. *Int J Innov Technol Explor Eng* 2019;8:1544–50.
- 27 Lin TH, Huang JT ve Putranto A. Integrated smart robot with earthquake early warning system for automated inspection and emergency response. *Nat Hazards* 2022;110:765–86. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04969-2>.
- 28 Spong MW, Hutchinson S ve Vidyasagar M. Robot modeling and control. *IEEE Control Syst.*, vol. 26, 2006. <https://doi.org/10.1109/MCS.2006.252815>.

- 29 Li X, Zhou H, Feng H, Zhang S ve Fu Y. Design and Experiments of a Novel Hydraulic Wheel-Legged Robot (WLR). *IEEE Int Conf Intell Robot Syst* 2018;3292–7. <https://doi.org/10.1109/IROS.2018.8594484>.
- 30 Su H, Hou X, Zhang X, Qi W, Cai S, Xiong X, vd. *Pneumatic Soft Robots : Challenges and Benefits* 2022;11:1–14.
- 31 Liu Q, Zuo J, Zhu C ve Xie SQ. Design and control of soft rehabilitation robots actuated by pneumatic muscles: State of the art. *Futur Gener Comput Syst* 2020;113:620–34. <https://doi.org/10.1016/j.future.2020.06.046>.
- 32 Yaşar E. Sürü Robotların Hareket Planlamada Kullanılması. *Eur J Sci Technol* 2020;24–9. <https://doi.org/10.31590/ejosat.763444>.
- 33 Pandey AK ve Gelin R. A Mass-Produced Sociable Humanoid Robot: Pepper: the First Machine of Its Kind. *IEEE Robot Autom Mag* 2018;25:40–8. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2833157>.
- 34 Asadi E, Li B ve Chen IM. Pictobot: A Cooperative Painting Robot for Interior Finishing of Industrial Developments. *IEEE Robot Autom Mag* 2018;25:82–94. <https://doi.org/10.1109/MRA.2018.2816972>.
- 35 Peine WJ, Son JS ve Howe RD. A Palpation System for Artery Localization in Laparoscopic Surgery. *First Int Symp Med Robot Comput Surg* 1994:1–4.
- 36 Das PK, Behera HS ve Panigrahi BK. A hybridization of an improved particle swarm optimization and gravitational search algorithm for multi-robot path planning. *Swarm Evol Comput* 2016;28:14–28. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2015.10.011>.
- 37 Avşar E. Bilinmeyen Ortamda Çoklu Robotlarla Arızaya Toleranslı Hedefe Ulaşma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, 2021.
- 38 Li Q, Gama F, Ribeiro A ve Prorok A. Graph Neural Networks for Decentralized Multi-Robot Path Planning. *IEEE/RSJ Int Conf Intell Robot Syst* 2020;2020-May:11785–92.
- 39 Kato H, Nagata F, Murakami Y ve Koya K. Partial Depth Estimation with Single Image Using YOLO and CNN for Robot Arm Control. *2022 IEEE Int. Conf. Mechatronics Autom. ICMA 2022, IEEE; 2022, s. 1727–31*. <https://doi.org/10.1109/ICMA54519.2022.9856055>.
- 40 Mouad M, Adouane L, Khadraoui D, Martinet P, Mouad M, Adouane L, vd. *Mobile Robot Navigation and Obstacles Avoidance based on Planning and Re-Planning Algorithm To cite this version : HAL Id : hal-01714850 Mobile Robot Navigation and Obstacles Avoidance based on Planning and Re- Planning Algorithm* 2018.
- 41 Sarkar R, Barman D ve Chowdhury N. Domain knowledge based genetic algorithms for mobile robot path planning having single and multiple targets. *J King Saud Univ - Comput Inf Sci* 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.10.010>.
- 42 Garrido S, Moreno L, Blanco D ve Jurewicz P. *Path Planning for Mobile Robot*

- Navigation using Voronoi Diagram and Fast Marching. *Int J Robot Autom* 2011;2:42–64.
- 43 Singh NH ve Thongam K. Mobile Robot Navigation Using Fuzzy Logic in Static Environments. *Procedia Comput Sci* 2018;125:11–7.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.12.004>.
 - 44 Choueiry S, Owayjan M, Diab H ve Achkar R. Mobile Robot Path Planning Using Genetic Algorithm in a Static Environment. 2019 4th Int Conf Adv Comput Tools Eng Appl ACTEA 2019 2019:1–6. <https://doi.org/10.1109/ACTEA.2019.8851100>.
 - 45 Patle BK, Babu L G, Pandey A ve Parhi DRK, Jagadeesh A. A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot. *Def Technol* 2019;15:582–606.
<https://doi.org/10.1016/j.dt.2019.04.011>.
 - 46 Šeda M. Roadmap Methods vs. Cell Decomposition in Robot Motion Planning. *Proc 6th WSEAS Int Conf Signal Process Robot Autom Corfu Island, Greece, Febr 16-19, 2007* 2007:127–32.
 - 47 Dugarjav B, Lee SG, Kim D, Kim JH ve Chong NY. Scan matching online cell decomposition for coverage path planning in an unknown environment. *Int J Precis Eng Manuf* 2013;14:1551–8. <https://doi.org/10.1007/s12541-013-0209-5>.
 - 48 Samaniego F, Sanchis J, Garcia-Nieto S ve Simarro R. UAV motion planning and obstacle avoidance based on adaptive 3D cell decomposition: Continuous space vs discrete space. 2017 IEEE 2nd Ecuador Tech Chapters Meet ETCM 2017 2018;2017-Janua:1–6. <https://doi.org/10.1109/ETCM.2017.8247533>.
 - 49 Samaniego F, Sanchis J, García-Nieto S ve Simarro R. Recursive rewarding modified adaptive cell decomposition (RR-MACD): A dynamic path planning algorithm for UAVs. *Electron* 2019;8. <https://doi.org/10.3390/electronics8030306>.
 - 50 Gürgüze G ve Türkoğlu İ. Robot Sistemlerinde Kullanılan Algoritmalar. *Türk Doğa ve Fen Derg* 2019;8:17–31.
 - 51 Prasad A, Sharma B ve Vanualailai J. A new stabilizing solution for motion planning and control of multiple robots. *Robotica* 2016;34:1071–89.
<https://doi.org/10.1017/S0263574714002070>.
 - 52 Števo S, Sekaj I ve Dekan M. Optimization of robotic arm trajectory using genetic algorithm. vol. 19. *IFAC*; 2014. <https://doi.org/10.3182/20140824-6-za-1003.01073>.
 - 53 Salehian SSM, Figueroa N ve Billard A. Coordinated multi-arm motion planning: Reaching for moving objects in the face of uncertainty. *Robot Sci Syst* 2016;12.
<https://doi.org/10.15607/rss.2016.xii.019>.
 - 54 Mirrazavi Salehian SS, Figueroa N ve Billard A. A unified framework for coordinated multi-arm motion planning. *Int J Rob Res* 2018;37:1205–32.
<https://doi.org/10.1177/0278364918765952>.
 - 55 Kurosu J, Yorozu A ve Takahashi M. Simultaneous dual-arm motion planning for minimizing operation time. *Appl Sci* 2017;7. <https://doi.org/10.3390/app7121210>.

- 56 Selvaggio M, Abi-farraj F, Pacchierotti C, Giordano PR ve Siciliano B. Haptic-Based Shared-Control Methods for a Dual-Arm System. *IEEE Robot Autom Lett* 2018;3:4249–56.
- 57 Shen D, Niu W, Liu J, Li H, Tan C, Xue Y, vd. Obstacle avoidance path planning for double manipulators based on improved artificial potential field method. *Proc 2nd Int Conf Inf Technol Electr Eng* 2019:1–5.
<https://doi.org/10.1145/3386415.3386997>.
- 58 Salmaninejad MA, Zilles S ve Mayorga RV. Motion Path Planning of Two Robot Arms in a Common Workspace. *Conf Proc - IEEE Int Conf Syst Man Cybern* 2020;2020-Octob:45–51. <https://doi.org/10.1109/SMC42975.2020.9283018>.
- 59 Qi Z, Shi Q ve Zhang H. Tuning of digital PID controllers using particle swarm optimization algorithm for a CAN-Based DC motor subject to stochastic delays. *IEEE Trans Ind Electron* 2020;67:5637–46.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2019.2934030>.
- 60 Nonoyama K, Liu Z, Fujiwara T, Alam MM ve Nishi T. Energy-Efficient Robot Configuration and Motion Planning Using Genetic Algorithm and Particle Swarm Optimization. *Energies* 2022;15. <https://doi.org/10.3390/en15062074>.
- 61 Dewi T, Anggraini C, Risma P, Oktarina Y ve Muslikhin M. Motion Control Analysis of Two Collaborative Arm Robots in Fruit Packaging System. *Sinergi* 2021;25:217–26. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2021.2.013>.
- 62 He Y, Li X, Xu Z, Zhou X ve Li S. Collaboration of multiple SCARA robots with guaranteed safety using recurrent neural networks. *Neurocomputing* 2021;456:1–10.
<https://doi.org/10.1016/J.NEUCOM.2021.05.049>.
- 63 Gafur N, Kanagalingam G ve Ruskowski M. Dynamic collision avoidance for multiple robotic manipulators based on a non-cooperative multi-agent game 2022;2:1–14.
- 64 Uyanık B. Görüntü işlemeye dayalı robot kol hareket optimizasyonu. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2003.
- 65 Kert M. Gerçek görüntüden elde edilen koordinatlarla robot kol hareket optimizasyonu. YL Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2006.
- 66 Wang L. Collaborative robot monitoring and control for enhanced sustainability. *Int J Adv Manuf Technol* 2015;81:1433–45. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-4864-6>.
- 67 Rai N, Rai B ve Rai P. Computer vision approach for controlling educational robotic arm based on object properties. *Proc. 2014 2nd Int. Conf. “Emerging Technol. Trends Electron. Commun. Networking”, ET2ECN 2014, IEEE; 2015, s. 1–9.*
<https://doi.org/10.1109/ET2ECN.2014.7044931>.
- 68 Gomez AB, Rodriguez JCC, Londono JM ve Velasquez EP. Image recognition application for robotic manipulation of moving objects. *IEEE 2nd Colomb. Conf. Autom. Control*, 2015, s. 1–5.

- 69 Ali MH, Aizat K, Yer Khan K, Zhandos T ve Anuar O. Vision-based Robot Manipulator for Industrial Applications. *Procedia Comput Sci* 2018;133:205–12. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.07.025>.
- 70 Jiang P, Ergu D, Liu F, Cai Y ve Ma B. A Review of Yolo Algorithm Developments. *Procedia Comput Sci* 2022;199:1066–73. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.135>.
- 71 Mertoğlu JN. Benzetim Ortamında ve gerçek Zamanlı Olarak Trafik İşaretlerinin Tespiti. Hacettepe Üniversitesi, 2017.
- 72 Redmon J, Divvala S, Girshick R ve Farhadi A. You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. pattern Recognit.*, 2016.
- 73 Szegedy C, Reed S, Sermanet P, Vanhoucke V ve Rabinovich A. Going deeper with convolutions 2014:1–12.
- 74 Jamtsho Y, Riyamongkol P ve Waranusast R. Real-time license plate detection for non-helmeted motorcyclist using YOLO. *ICT Express* 2021;7:104–9. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2020.07.008>.
- 75 Katoch S, Chauhan SS ve Kumar V. A review on genetic algorithm: past, present, and future. vol. 80. *Multimedia Tools and Applications*; 2021. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-10139-6>.
- 76 Arjunan S ve Sujatha P. Lifetime maximization of wireless sensor network using fuzzy based unequal clustering and ACO based routing hybrid protocol. *Appl Intell* 2018;48:2229–46. <https://doi.org/10.1007/s10489-017-1077-y>.
- 77 Öztürk Ş, Ahmad R ve Akhtar N. Variants of Artificial Bee Colony algorithm and its applications in medical image processing. *Appl Soft Comput J* 2020;97:106799. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106799>.
- 78 Akay B ve Karaboga D. A modified Artificial Bee Colony algorithm for real-parameter optimization. *Inf Sci (Ny)* 2012;192:120–42. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2010.07.015>.
- 79 Ayhan E. Kan Tedarik Zinciri Dağıtım Ağı Modellemesi Ve Hibrit Genetik Algoritma İle Çözümü. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- 80 Daban F. Genetik algoritma kullanarak çok kriterli ders programının hazırlanması ve optimizasyonu. YL Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2004.

DİZİN

A

algoritma · iv, viii, ix, x, 13, 17, 25,
38, 39, 40, 44, 50, 51, 55, 63,
69

Ç

çaprazlama · x, 39, 43, 44, 50, 51

D

dinamik · 11, 13, 17, 18, 19, 20,
21, 22, 23

E

engellerden kaçınma · 4, 8, 22

G

genetik algoritma · iv, 13, 14, 19,
24, 25, 39, 44, 52, 63
görüntü işleme · iv, 3, 22, 23, 24,
32, 35, 63

H

hareket planı · iv, x, 24, 56, 63
hücre ayrıştırma · 17

İ

ilk robot · 2, 3
insansı robotlar · 3, 9
işbirlikçi robotlar · 9, 10

K

kromozom · x, xi, 39, 40, 41, 42,
43, 44, 48, 50, 53, 57, 58, 59,
60

M

metrik · iv, ix, 32, 60, 63
mutasyon · x, 39, 44, 50, 51

N

nesne tespiti · 12, 22

O

optimizasyon · iv, viii, ix, 50, 52,
54, 55, 56, 60, 61, 62, 63

R

robot kol · 2, 21, 63, 68

Y

yapay zekâ · 9, 18
YOLO · iv, v, viii, x, xi, xiii, 3, 12,
24, 25, 28, 35, 37, 57, 58, 59,
60, 61, 62, 63, 66, 69
yük dağılımı · iv, 24

Z

zeki robotlar · 4, 7, 8



TEKNOVERSİTE



teknoversite **AYRICALIĞINDASINIZ**

İSTE

