

Araştırma Makalesi / Research Article

**Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Altı Eksenli Robot Kol ile Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Ürünlerin Tasniflemesi**

Zekeriya KAYA<sup>1</sup>, Bekir AKSOY<sup>2\*</sup>, Koray ÖZSOY<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2887-2399>, zekeriyakaya0055@gmail.com

<sup>2\*</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8052-9411>, bekiraksoy@isparta.edu.tr

<sup>3</sup> Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Isparta OSB MYO, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Isparta, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8663-4466>, korayozsoy@isparta.edu.tr

Geliş/ Received: 25.02.2023;

Kabul / Accepted: 11.04.2023

**ÖZET:** Çalışmada, 5+1 serbestlik derecesine sahip bir robot kolunun belirli bir konumdaki ve belirli biçimdeki bir objeyi tespit edip buna göre kontrol sağlaması amaçlanmıştır. Çalışılan teorik ve algoritmik yapının gerçek ve simülasyon uygulamalarında kullanılması hedeflenmiştir. Robot kolun uygulamasında gerçek zamanlı ve akıllı uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Tasarım aşamasında 6 adet adım motor kullanılarak robot kolun kontrolü için gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Robota gideceği konumu alacağı objeyi belirleme yeteneği görüntü işleme ve yapay zekâ yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak tasarım programları yardımıyla robot kol tasarlanmıştır. Tasarlanan robot kol eklemeli imalat yöntemiyle Biopolimer Polilaktik Asit (PLA) malzemesi kullanılarak imal edilmiştir. Tasarlanan robot kola uygun motor ve programlama kartı (PLC) uygulanmıştır. PLC hazırlanan yazılım ile altı eksen de programlanmıştır. Robot kolun uzuv uzunlukları ve eksen hareketlerine göre D-H tablosu hesaplanmıştır. Her bir eksen için dönüşüm matrisleri elde edilerek ileri ve ters kinematik hesaplamaları yapılmıştır. Çalışmada nesnelerin tespiti ve ağırlık merkezleri hesaplamak için görüntü işleme ve U<sup>2</sup>-Net yapay zekâ tekniği kullanılmıştır. Elde edilen RGB görüntüler üzerinde U<sup>2</sup>-Net yapay zekâ modeli kullanılarak arka plan silme işlemi gerçekleştirilmiş ve nesnelerin renge göre tespit edebilmek için renk uzayları HSV renk uzayına dönüştürülmüştür. Gerçekleştirilen çalışma ile parçaları üretilen ve yazılımı gerçekleştirilen robot kol 5+1 serbestlik dereceli eksenle hareket edebilen bir robot kolun görüntü işleme ve yapay zekâ tekniği kullanılarak toplam 20 adet deney yapılarak hata payları 0 mm ile 22 mm arasında değişen değerler aldığı belirlenmiş ve ortalama hata payı 10,5 mm olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Robot kol, Robotik, Eklemeli İmalat, Görüntü işleme, Yapay zekâ.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: bekiraksoy@isparta.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Kaya, Z., Aksoy, B., Özsoy K. (2023). Eklemeli İmalat Yöntemiyle Üretilen Altı Eksenli Robot Kol ile Görüntü İşleme ve Yapay Zeka Tabanlı Ürünlerin Tasniflemesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 4(1), 193-210.

## Production of Six-Axis Robot Arms with Additive Manufacturing and Classification of Image Processing and Artificial Intelligence Based Products

**ABSTRACT:** In the study, it is aimed that a robot arm with 5+1 degrees of freedom can detect an object in a certain position and in a certain shape and provide control accordingly. It is aimed to use the studied theoretical and algorithmic structure in real and simulation applications. Real-time and smart applications have been realized in the application of the robot arm. During the design phase, the necessary calculations were made for the control of the robot arm by using 6 stepper motors. The ability of the robot to determine the object to which it will go, has been realized by using image processing and artificial intelligence methods. First, the robot arm was designed with the help of design programs. The designed robot arm was manufactured using Biopolymer Polylactic Acid (PLA) material with the additive manufacturing method. A suitable motor and programming card (PLC) has been applied to the designed robot arm. Six axes are programmed with the software prepared in PLC. D-H table was calculated according to the limb lengths and axis movements of the robot arm. Forward and inverse kinematics calculations were made by obtaining transformation matrices for each axis. In the study, image processing and U2-Net artificial intelligence technique were used to detect objects and calculate centers of gravity. Background deletion was performed on the obtained RGB images using the U2-Net artificial intelligence model, and the color spaces were converted to HSV color space to detect objects by color. A total of 20 experiments were carried out using image processing and artificial intelligence techniques of a robot arm that can move on an axis with 5+1 degrees of freedom, the parts of which were produced and the software of which was produced, and it was determined that the margins of error varied between 0 mm and 22 mm, and the average margin of error was It was determined as 10.5 mm.

**Keywords:** Robot arm, Robotics, Additive Manufacturing, Image processing, Artificial Intelligence.

### 1. GİRİŞ

Eklemeli imalat teknolojisi, üretilecek olan nihai parçayı çeşitli yöntemlerle üretmek için yüksek hassasiyetli malzeme biriktirme teknolojisidir (Ramírez ve ark., 2023). Uluslararası Amerikan test ve materyalleri topluluğu (ASTM) standardına (ASTM, 2012) göre Malzeme ekstrüzyonu (MEX), Tekne foto polimerizasyonu (VPP), Malzeme püskürtme (MJT), Levha laminasyonu (SHL), Toz yatağı füzyonu (PBF), Doğrudan enerji biriktirme (DED), Bağlayıcı püskürtme (BJT) olmak üzere yedi ana kategoride üç boyutlu(3B) baskı teknolojileri kullanılmaktadır (Awad ve ark., 2023). Eriyik Yığılma Modellemesi (FDM), ekonomik ve hızlı bir eklemeli üretim teknolojisinden bir tür malzeme ekstrüzyonudur (Zhang ve ark., 2023). Erimiş malzemenin katmanlar halinde biriktirilmesine dayanan bir tekniktir. FDM tekniği, diğer eklemeli imalat teknikleriyle karşılaştırıldığında, imalat parametrelerinin kolaylıkla değiştirilmesini kolay olmasından dolayı tasarım esnekliğine sahiptir (Brambilla ve ark., 2021).

FDM teknolojilerinde yapılan tasarımların üretilebilmesi için nesnelere iki boyutlu (2B) matematiksel ifadelerle dönüştürülmektedir. 3B nesnelere dönüşürken oluşan bir sahnenin basit iki değişkenli bir fonksiyon olarak tanımlanmasına “görüntü” denir. Başka bir ifade ile 3B nesnenin 2B haritasıdır (Büyükoçak 2018).

2B görüntü haritalarının önemli kullanım alanlarından birisi de robotik sistemlerdir. Robot kelimesi birçok programlanmış hareketi gerçekleştirmek için özel cihazları, malzemeleri ya da parçaların taşınması amacıyla tasarımı gerçekleştirilen birçok işlevi bulunan makine olarak tanımlanmaktadır (Barutçuoğlu 2001). Robotların tarım, hayvancılık, maden, metal endüstrisi, gıda, tekstil, ilaç sanayi, elektronik, eğitim, tıp gibi çok geniş alanına sahiptir. Robotik sistemler, karmaşık

bir sistem olarak kabul edilen bağlantı uzunlukları, eklem açıları ve kinematik mekanizmaların bir kombinasyonudur. Robot kolun eksen sayısı arttıkça hareket yeteneğinde de artmaktadır.

Literatürde 6 eksenli robot kollar ile ilgili birçok akademik çalışma bulunmaktadır. Lattanzi ve ark., çalışmalarında yüksek doğrulukta üretim görevi için 6 eksenli bir robotik kolun geometrik kalibrasyonun işlemini gerçekleştirmişlerdir (Lattanzi ve ark., 2020). Guida ve ark., çalışmalarında 6 eksenli robotik kolun kinematik analizi için modelleme tekniklerini geliştirmişlerdir (Guida ve ark., 2019). Bir diğer çalışmada 6 eksenli bir robot kola rastgele yerleştirilmiş bir çinko pres döküm ürün üzerinde harekete geçmesi yapay görme yöntemini kullanmışlardır (Butters ve ark., 2019). Jhang ve ark., çalışmalarında ise endüstriyel bir mobil robot kolunun çoklu sensör tabanlı eldiven kontrolünü gerçekleştirmişlerdir (Jhang ve ark., 2017). Talli ve ark., çalışmalarında robot görselleştirme yazılımı kullanılarak 6 eksenli bir robotun tasarımı, simülasyonu ve analiz işlemleri üzerine çalışmışlardır (Talli ve ark., 2020). Diğer bir çalışmada ise Mars 2020 robot kolunda doğru bir biçimde çalışması için 6 eksenli kuvvet-tork sensörünün iki aşamalı kalibrasyonunu gerçekleştirmişlerdir (Schaler ve ark., 2021). Li ve ark., çalışmalarında 6 eksenli hibrit ekleme-çıkarma üretim sürecinde tasarım ve örnek bir olay üzerinde inceleme yapmışlardır (Li ve ark., 2018). Sahu ve ark., çalışmalarında sonlu elemanlar analizi kullanan 6 eksenli bir endüstriyel robotun titreşim analizlerini gerçekleştirmişlerdir (Sahu ve ark., 2017). Cristalli ve ark., gerçekleştirdikleri akademik çalışmada ise yüksek doğrulukta üretim görevi için bilişsel robot referanslama sistemini araştırmışlardır (Cristalli ve ark., 2017). Kayışlı ve Uğur yapmış oldukları çalışmada üç serbestlik derecesine sahip robotun uç işlevcisine değişken kuvvet uygulanarak dayanıklılığının bulanık mantık ve PID kontrol yöntemiyle simülasyon ortamında gerçekleştirerek karşılaştırmalı olarak vermişlerdir (Kayışlı ve Uğur, 2017). Havusoğlu yapmış olduğu çalışmada alüminyum parçalar ve servo motorlar kullanarak tasarlamış olduğu robot kolu tasarımı, kinematik analiz, etkileşimli kontrol üzerine odaklanmıştır. Ayrıca hazırlanan bilgisayar ara yüz programıyla gerçek zamanlı kontrol uygulamaları da geliştirmiştir Havusoğlu, 2014). Bir diğer çalışmada Berki tasarlamış olduğu robot kolun yapay sinir ağlarıyla kontrolünün nasıl sağlanabileceği konusunda yaptığı çalışma sonucunda robot kollara ait kontrol sistemi tasarımı için yapay sinir ağlarının alternatif bir yöntem olarak tercih edilebileceği ifade etmiştir (Berki, 2013). Ayyıldız ve Çetinkaya yapmış oldukları çalışmada, görüntü işleme kullanılarak farklı nesnelerin geometrik şekillerini tahmin etmek için bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. Daire, kare, üçgen ve dikdörtgen şeklinde nesnelere deneysel işlemler kullanarak geometrik şekillerin özelliklerini çıkarmak için alan, çevre, kompaktlık, uzama, dikdörtgendik ve yuvarlaklık gibi morfolojik özellikler kullanmıştır. Yapay sinir ağı eğitimi sonrasında, eğitim ve test verileri için geometrik şekil değerlerinin korelasyon katsayıları ( $R^2$ ) değeri 1'e çok yakın olarak elde ederek yapay sinir ağının görüntü işleme kullanarak geometrik şekillerin tahmini için kabul edilebilir bir model olduğunu göstermişlerdir (Ayyıldız ve Çetinkaya, 2017).

Robot kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden birisi de görüntü işleme ve yapay zekâ teknikleridir. Görüntü işleme, görüntüler üzerinden özellikleri ve nitelik çıkarma işlemidir. Görüntü işleme teknolojisi, görüntünün kalitesi artırmak, gürültüyü azaltmak, görüntü üzerindeki herhangi bir nesnenin sınıflandırılması veya nesnelerin tanımlanması gibi birçok amaç için kullanılmaktadır (Russ ve Neal, 2016; Özsoy ve ark., 2021). Görüntülerin iyileştirilmesi için görüntünün kontrastı azaltma/artırma, değiştirme veya gelişmiş filtreleme teknikleri gibi farklı teknikler kullanılmaktadır (Yılmaz, 2007). Görüntü üzerindeki bulunan nesnelerin kenarları ve nesnelerin konumları elde etmek için ise görüntü segmentasyonu, renk uzayları ve kenar bulma algoritmaları kullanılır (Elhedda ve ark., 2017; Bilic ve ark. 2023; Zhou ve ark., 2023; You ve ark., 2023).

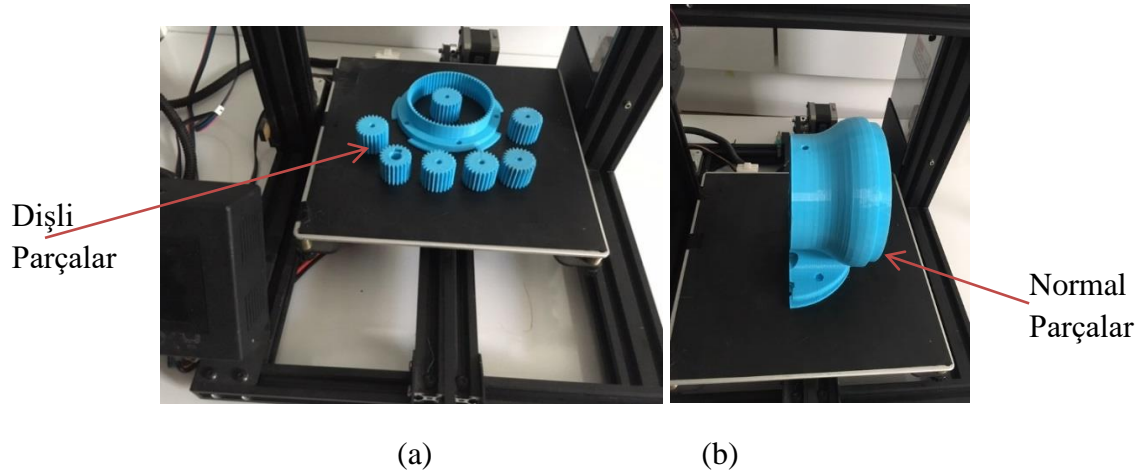
Çalışmada eklemeli imalat yöntemi ile imalatı gerçekleştirilen 5+1 eksenli robot kol tasarlanarak geliştirilmiştir. Robot kol ilk çalıştığında manuel olarak başlangıç noktasına (Home İşlemi) gitmesi sağlanmıştır. İkinci aşamada ise robot kola entegre edilen kamera kullanılarak bant üzerinde hareket etmesi sağlanmıştır. Bant üzerinde geçen nesnelere ait görüntülerde ilk olarak U2-Net yapay zekâ yöntemi kullanılarak görüntülerin arka planları silinerek tespit edilmiştir. Bir sonraki aşamada ise tespit edilen nesnelere rengine göre sınıflandırarak konumları hesaplanmaktadır. Çalışmada mavi, sarı ve kırmızı olmak üzere üç farklı renge ait sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Robot kol tespit edilen nesnenin rengine göre belirlenen konumlara hareket etmesi sağlanarak belirlenen bir noktadan nesne alınıp hedef konuma bıraktıktan sonra başlangıç konumuna dönmesi sağlanmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Materyal

#### 2.1.1 3B Yazıcı ve Filament Özellikleri

Çalışmada altı eksenli robot kolun her bir parçasının 3B yazıcı ile üretim aşamaları Şekil 1’de, 3B yazıcının teknik özellikleri Çizelge 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 3B yazıcı imalat görüntüleri, a) dişli imalatı ve b) ön kol imalatı

Çizelge 1. 3B yazıcının teknik özellikleri

Adı	Birim	Boyutlar
Baskı alanı	mm	255x255x260
Tabaka kalınlığı	mikron	20
Materyal		PLA/ABS/HIPS/WOOD/PC/PVC
Baskı teknolojisi		Fused filament fabrication (FFF)
Uyumlu filament çapı	mm	1,75
Nozzle çapları	mm	0,2/0,3/0,4
Ağırlık	kg	8,5
İmalat ölçüleri	mm	478x455x520
Yapı plakası		110 °C ısıtmalı cam yapı plakası (max)
Maksimum güç çıkışı	W	360
Dosya transferi		SD kart
Baskı yazılımı		Cura/Tronxy slicer

Çalışmada altı eksenli robot kolun 3B yazıcı ile imalatında kullanılan PLA türündeki filament malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** PLA ve filamentlerin teknik özellikleri

Baskı sıcaklığı (°C)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )	Bozulma sıcaklığı (°C,0,45 MPa)	Gerilme direnci (MPa)	Kopma uzaması (%)	Eğilme direnci (MPa)	Etki dayanıklılığı (kJ/m <sup>2</sup> )
205-225	1,24	52	60	29	87	7

Robot kolun üretim aşamasında yaklaşık olarak 6 kg filament kullanılmıştır. Kullanılan filamentin %25’i üretim aşamasında nesne destekleri olarak kullanılmıştır. Kalan %75’lik kısım robotun gerçek ağırlığı oluşturmaktadır. Üretilen tüm parçaların %55 doluluk oranı ile imal edilmiştir.

### 2.1.2 Elektrik-Elektronik Sistem Tasarımı

Çalışmada 6 eksenli robot kolun elektrik elektronik sistem tasarımında denetleyici olarak Siemens marka S7 1200 PLC kullanılmıştır. PLC sistemi içerisinde güç kaynağı, CPU, yüksek hızlı hareket kontrol sistemi, mikroişlemci, giriş devresi, çıkış devresi gibi bileşenler ile profinet, analog giriş ve çıkışları da bulunmaktadır. Ayrıca PLC cihazında; RS485, GPRS, RS232, Profibus gibi haberleşme modülleri mevcuttur (Siemens, 2019).

### 2.1.3 Adım Motorları ve Sürücüleri

Adım motorlar, girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık analog dönme hareketi yapan fırçasız ve genellikle kalıcı mıknatıs kutuplu olan DC motorlardır. Bu motor tipinin ilk olarak 1930’lu yıllarda ortaya çıkmasıyla gemi ve çeşitli savaş ağırlıklı sistemlerde kullanılmaya başlanmıştır. (Altun vd., 2016). Çalışmada TB6600 adım motor sürücüsü kullanılmıştır.

### 2.1.4 Robot Kinematığı

Kinematik, harekete neden olan kuvvetleri veya momentleri dikkate almadan cisimlerin hareketini inceleyen bilim dalıdır. Robot kinematığı ise bir robot manipülatörünün hareketini analitik olarak ifade edilmesidir. Robot mekanizması için uygun kinematik modellerin matematiksel olarak ifade edilmesi, endüstriyel manipülatörlerin davranışını analiz etmek için oldukça önemlidir (Öğülmüş 2022). Manipülatörlerin kinematik modellemesinde kartezyen koordinat uzayı ve kuaterniyon uzayı olmak üzere iki farklı uzay sistemi kullanılmaktadır. Kartezyen koordinat sisteminde hareket ifadeleri dönme ve öteleme olmak üzere ikiye balık altında incelenmektedir. Dönme dönüşümde ise Euler açıları, Gibbs vektörü, Cayley-Klein parametreleri, Pauli spin matrisleri, eksen ve açısı, ortonormal matrisler ve Hamilton’un dördeyleri gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu dönüşümlerde 4x4 gerçek matrislere (ortonormal matrisler) dayalı homojen dönüşüm matrisleri sıklıkla tercih edilmektedir. Denavit-Hartenberg (DH) parametreleri olarak bilinen bu parametreler, robot kinematığında kullanılan bir analiz yöntemi olarak sıklıkla tercih edilmektedir (Küçük ve Bingül, 2016). Geliştirilen 5+1 serbestlik derecesine sahip robot kolun D-H tablosu oluşturulmuştur. D-H tablosunda robotun uzuv uzunlukları ve açıları belirlenmiştir. D-H tablosu kullanılarak dönüşüm matrisi her eksen için hesaplanarak robotun ileri kinematik analizi yapılmıştır.

### 2.1.5 U<sup>2</sup>-Net Yapay Zekâ Modeli

U<sup>2</sup>-Net, görüntü segmentasyonu için kullanılan bir yapay zekâ modelidir. U<sup>2</sup>-Net modeli, özellikle doğal sahnelerin segmentasyonu için kullanılmaktadır. U<sup>2</sup>-Net, çeşitli evrişimsel sinir ağı katmanlarının birleştirilmesiyle oluşturulmuştur. Model, görüntü segmentasyonu, görüntü tamamlama, nesne tanıma gibi birçok uygulama alanında kullanılabilir. U<sup>2</sup>-Net, açık kaynak kodlu ve kullanıcılar tarafından geliştirilebilen bir yapay zekâ modelidir (Ye ve ark., 2022; Shao ve ark., 2022).

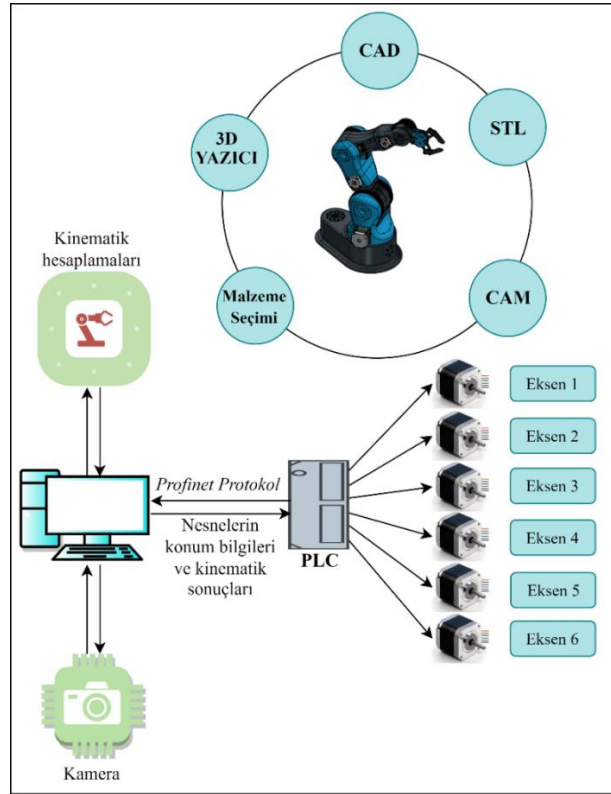
### 2.1.6 HSV Renk uzayı

Görüntü işleme alanında yaygın olarak kullanılan renk uzaylarından biriside Hue-Saturate-Value (HSV) renk uzayıdır. HSV renk uzayı H (renk derinliği), S (renk saflığı), V (renk parlaklığı) olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. HSV renk uzayındaki H değeri baskın dalga boyu ile ilişkili olduğu için görüntüdeki baskın rengi temsil etmektedir. S bileşeni ise beyaz bir referans değere göre tonun ne kadar saf olduğunu gösteren renk saflığını temsil etmektedir (Doğan ve ark., 2022).

## 2.2. Yöntem

### 2.2.1 5+1 Eksenli Robot Kolun Tasarımı, İmalatı ve Kontrolü

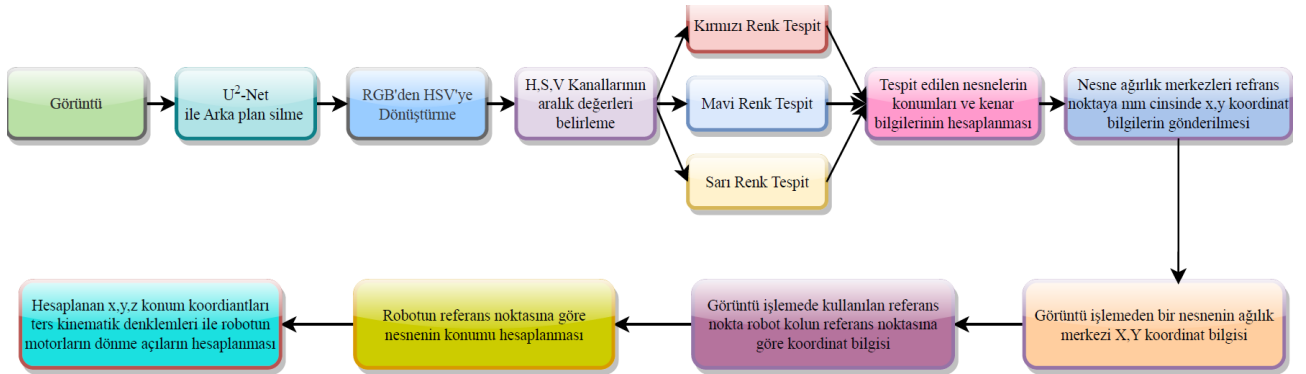
Çalışmada geliştirilen 5+1 eksenli robot koluna ait iş akış diyagramı Şekil 2’te verilmiştir. Şekil 2 incelendiğinde geliştirilen robotun iki ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde robot kolun tasarımı ve imalatı kapsarken ikinci bölümünde ise robot kolun kontrolünü içermektedir. Robot kolun tasarım ve imalat bölümü CAD, STL, CAM, malzeme seçimi ve 3B yazıcı ile üretilmesi olmak üzere beş aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada robot kolun katı modellemesi CAD tasarım programları ile tasarlanmıştır. İkinci aşamada ise tasarlanan 3B katı modelleri STL formatına dönüştürülmüştür. Sonraki aşamada ise STL formatına çevrilen parçaların CAM programları ile dilimleme işlemi (G kodları) yapılarak parçaları imalat süreci için hazır hale getirilmiştir. Dördüncü aşamada ise parçaların üretimi için PLA malzemesi tercih edilmiştir. Son aşamada ise tasarlanan parçaların 3B yazıcı ile imalatı gerçekleştirilmiştir. Robot kolun kontrol bölümü ise PLC, bilgisayar, kamera, kinematik ve adım motorlarından oluşmaktadır. Kameradan alınan görüntüler bilgisayara aktırılarak görüntülerin içerisinde nesne bulunup bulunmadığı tespit edilmektedir. Bir nesne tespit edildiğinde nesnenin konum bilgilerine göre ters kinematik hesaplamaları yapılmaktadır. Ters kinematikten elde edilen eksenlerin açıları profinet haberleşme protokolüyle PLC’ye gönderilir. PLC’ye gelen aç bilgileri pulse dönüştürerek adım motorlarına sinyal gönderilerek robot kolun tahrik işlemi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 2. Çalışmanın iş akış diyagramı

### 2.2.2 Görüntü İşleme Teknikleri ile Ürün Tasnifleme

Çalışmada Şekil 3’de verilen akış diyagramı kullanılarak görüntüler üzerinde nesnelerin tespiti ve ağırlık merkezleri hesaplanmıştır. Ayrıca görüntü işleme tekniklerini kullanabilmek için Python programlama dilinde çalışmaya özel bir yazılım geliştirilmiştir.



Şekil 3. Görüntü işleme ile nesne tespiti ve konum bilgileri hesaplama

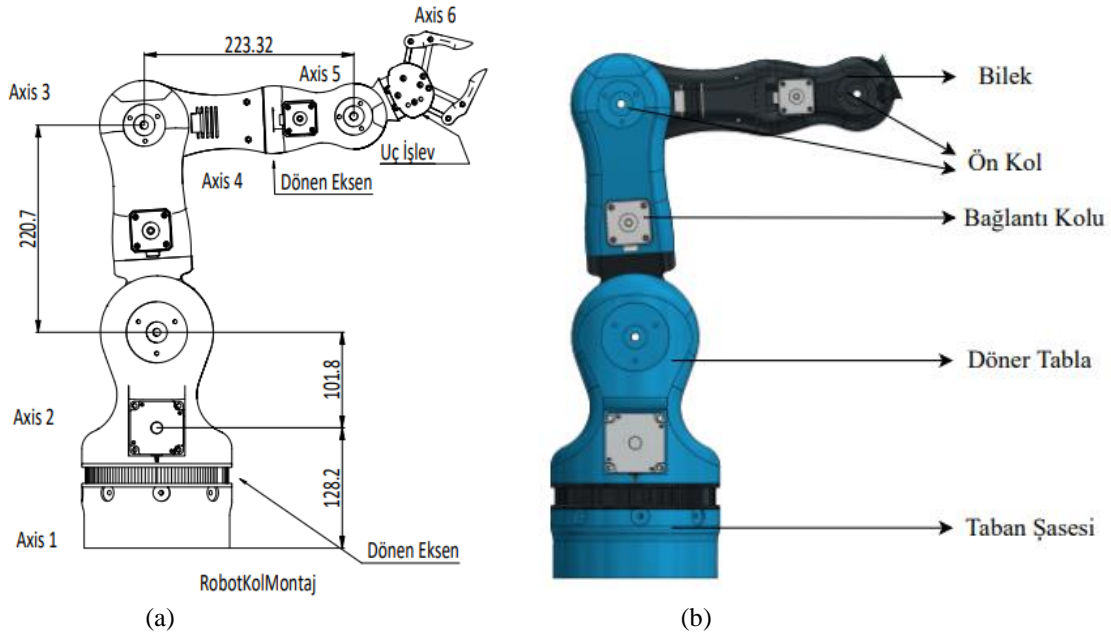
Şekil 3 incelendiğinde ilk olarak RGB görüntüler üzerinde arka plan silmek için yapay zeka tabanlı ve önceden eğitilmiş U<sup>2</sup>-Net yapay zeka yöntemi kullanılmıştır. İkinci aşamada ise arka planı silinmiş görüntülerin üzerindeki nesnelerin rengine göre tespit edebilmek için renk uzayları HSV’ye dönüştürülmüştür. Bir sonraki aşamada ise HSV renk uzayına dönüştürülen görüntüler üzerinde H, S ve V kanallarına 0-255 arasında bir aralık seçilmiştir. Seçilen aralık dışında kalan tüm pikseller arka plana ait olduğu kabul edilmiştir. Belirlenen H, S ve V renk kanal değerlerine göre çalışmada kullanılan sarı, mavi ve kırmızı nesnelerin tespit edilmiştir. Sarı renk için H kanalın alt değeri 20 ve üst değeri 30 olarak seçilmiş, S ve V kanalların alt değerleri 100 ve üst değerleri 255 olarak seçilmiştir. Mavi renk için H kanalın alt değeri 90 ve üst değeri 120, S kanalın alt değeri 80 ve üst

değeri 255 ve V kanalın alt değeri 2 ve üst değeri 255 olarak seçilmiştir. Son olarak kırmızı renk için H kanalın alt değeri 136 ve üst değeri 180, S kanalın alt değeri 87 ve üst değeri 255 ve V kanalın alt değeri 111 ve üst değeri 255 olarak seçilmiştir. Nesne tespit işleminden sonra görüntü tekrar RGB renk uzayına dönüştürülmüştür. RGB resimler üzerinde işlem maliyetini azaltmak için görüntüler gray scale (siyah-beyaz) dönüştürülmüştür. Gray görüntü üzerinde hangi bölgelerde nesne olduğu tespit etmek için eşikleme (thresholding) işlemi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamada ise görüntü üzerindeki tespit edilen nesne sınır bilgileri ve alanı hesaplamak için contours fonksiyonu ile nesnelere sınır noktaları hesaplanmıştır. Son aşamada ise find contours fonksiyonu ile hesaplanan sınır bilgilerine göre nesnenin ağırlık merkezi hesaplayarak bir referans noktaya göre nesnenin ağırlık merkezinin x ve y konum koordinatları milimetre cinsinden hesaplanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Robot Kol Tasarımı

Çalışmada 6 eksenli robot kolun tasarımı ve uzuvlarına ait teknik bilgiler Şekil 4’de gösterilmiştir. Robot kolun tasarım STL dosyaları grapcad platformuna yüklenerek açık kaynak kodlu erişimi sağlanmıştır (Grapcad 2023)



Şekil 4. 6 eksenli robotun (a) temel ölçüleri (b) uzuvların tanımlanması

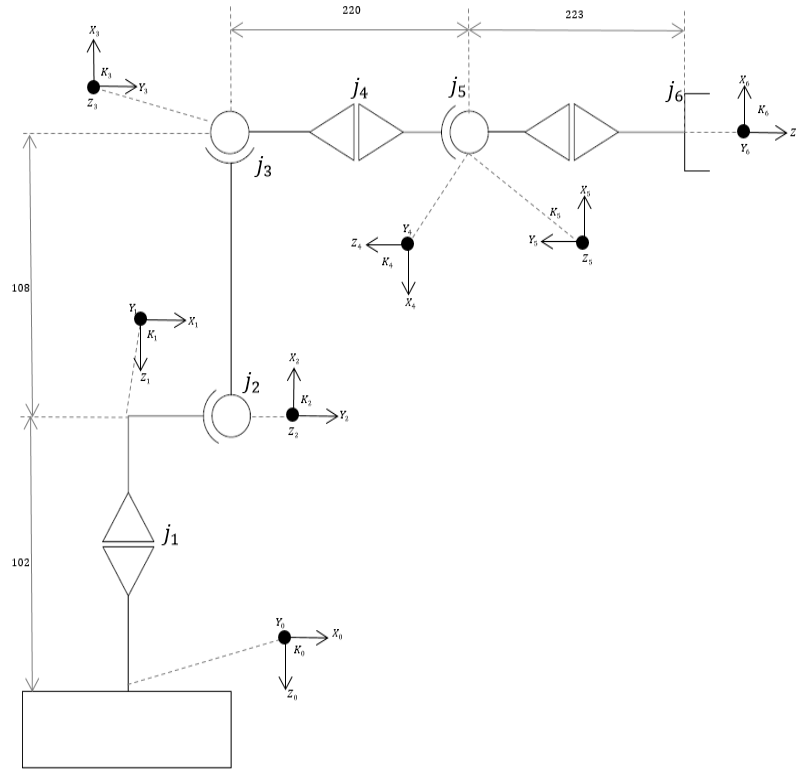
#### 3.2 İleri Kinematik Hesaplama Sonuçları

Çalışmada tasarlanan altı eksenli robot kolun D-H Tablosu Çizelge 3’te ve ileri kinematik diyagram görüntüsü Şekil 5’de verilmiştir.



Çizelge 3. D-H tablosu

D-H tablosu				
Eksen NO	$\alpha_{i-1}$	$a_{i-1}$ (m)	$\theta_i$	$d_i$ (m)
0	0	102	-	-
1	90	0	128	$\theta_1$
2	0	220	0	$\Theta_2-90$
3	90	0	0	$\theta_3$
4	-90	0	223	$\Theta_4+180$
5	90	0	0	$\Theta_5+180$
6	0	0	x	$\Theta_6$



Şekil 5. İleri kinematik diyagram görüntüsü

Şekil 5’de görüldüğü gibi ilk eklem açısının hesaplanması için vektörün izdüşümü kullanılmaktadır. Uç işlevcinin bulunduğu konuma göre 6 eksenli robot kolun uzun konumlarının ileri kinematik değerlerini elde etmek için Eşitlik 1 ile Eşitlik 3 arasında verilen matematiksel ifadeler kullanılmıştır.

$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 & a_{i-1} \\ \cos \alpha_{i-1} \sin \theta_i & \cos \alpha_{i-1} \cos \theta_i & -\sin \alpha_{i-1} & -d_i \sin \alpha_{i-1} \\ \sin \alpha_{i-1} \sin \theta_i & \sin \alpha_{i-1} \cos \theta_i & \cos \alpha_{i-1} & d_i \cos \alpha_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Eşitlik 1’de ( $i$ ) eksen takımı ( $i - 1$ ) eksen takımına göre  ${}^{i-1}T_i$  dönüşüm matrisi elde edilmektedir. Eşitlik 2’de referans eksen takımından uç işlevci eksen takımına kadar olan dönüşüm matrislerinin çarpımına ait matematiksel ifade verilmiştir.

$${}^0T = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5 {}^5T_6 \quad (2)$$

Eşitlik 3’de ise ileri kinematikte referans esken takımına göre uç işlevcinin eksen takımı dönüşüm matrisi verilmiştir. Matris son sütununda yer alan x, y ve z değerleri uç işlevcinin konum koordinatını ifade etmektedir. Ayrıca  $r_{14}$ , x eksenindeki konumu ( $P_x$ ),  $r_{24}$ , y eksenindeki konumu ( $P_y$ ) ve  $r_{34}$  ise z eksenindeki konumu ( $P_z$ ) temsil etmektedir.

$${}^0T = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & r_{14} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & r_{24} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & r_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

### 3.3 Ters Kinematik Hesaplama Sonuçları

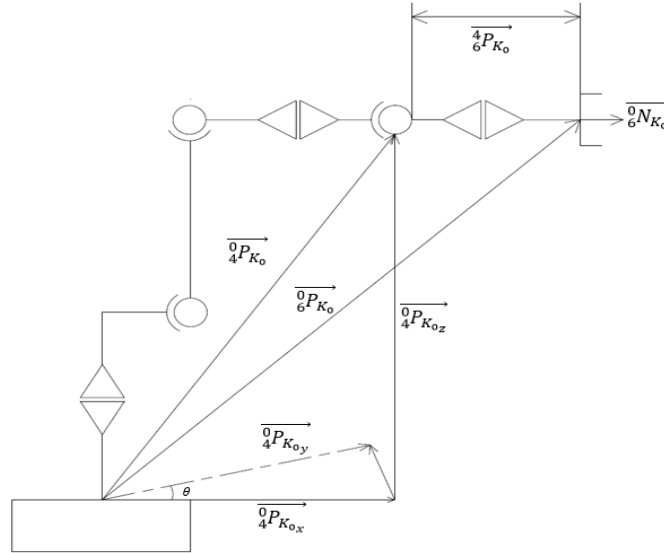
Şekil 6’daki gibi ters kinematik diyagramı verilen 6 eksenli robot kolun ilk eklem açısının hesaplanması için vektörlerin izdüşümleri kullanılmıştır. Eşitlik 4 ve Eşitlik 5’de robot kolun tersi kinematik analizi için kullanılan matematiksel ifadeler verilmiştir.

$${}^0T = \begin{bmatrix} {}^0T_{11} & {}^0T_{12} & {}^0T_{13} & {}^0T_{14} \\ {}^0T_{21} & {}^0T_{22} & {}^0T_{23} & {}^0T_{24} \\ {}^0T_{31} & {}^0T_{32} & {}^0T_{33} & {}^0T_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow {}^0N_{K_0} = \begin{bmatrix} {}^0T_{13} \\ {}^0T_{23} \\ {}^0T_{33} \end{bmatrix} \begin{cases} {}^0N_{K_0} = d_6 \times {}^0N_{K_0} \\ {}^0P_{K_0} = \begin{bmatrix} {}^0T_{14} \\ {}^0T_{24} \\ {}^0T_{34} \end{bmatrix} \end{cases} \Rightarrow {}^4P_{K_0} = {}^0P_{K_0} - {}^4P_{K_0} = \begin{bmatrix} {}^0T_{14} - d_6 {}^0T_{13} \\ {}^0T_{24} - d_6 {}^0T_{23} \\ {}^0T_{34} - d_6 {}^0T_{33} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Eşitlik 4’te  ${}^0T$  hedef transform matrisi iken K ise frame temsil etmektedir.

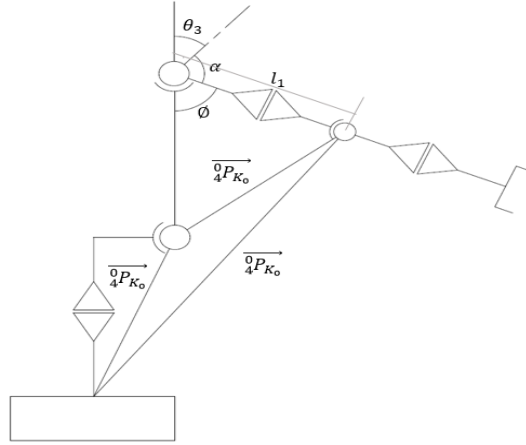
$$\theta_1 = \begin{cases} \text{ArcTan2}({}^0T_{24} - d_6 {}^0T_{23}, {}^0T_{14} - d_6 {}^0T_{13}) \\ \text{ArcTan2}({}^0T_{24} - d_6 {}^0T_{23}, {}^0T_{14} - d_6 {}^0T_{13}) + \pi \end{cases} \quad (5)$$

Eşitlik 5’te  $\theta_1$  ise ilk eklemin açısıdır.



Şekil 6. Ters kinematik diyagram görüntüsü

Şekil 7’de gösterilen üçüncü eklem açısının hesaplanması için Eşitlik 6 ile Eşitlik 9 arasında matematiksel ifadeler kullanılmıştır. İlk olarak  $\theta_2 = 0$  kabul edip Eşitlik 6 kullanılarak dönüşüm matrisinden  $K_0$  çerçevesi ile  $K_4$  çerçevesi arasındaki  ${}^4P_{K_0}$  değeri hesaplanmıştır. Daha sonra Eşitlik 7 ile Eşitlik 9’da verilen matematiksel ifadeler kullanılarak  $\theta$ ,  $\alpha$  ve  $\theta_3$  açı değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 7. Üçüncü eklem açısı için ters kinematik diyagram görüntüsü

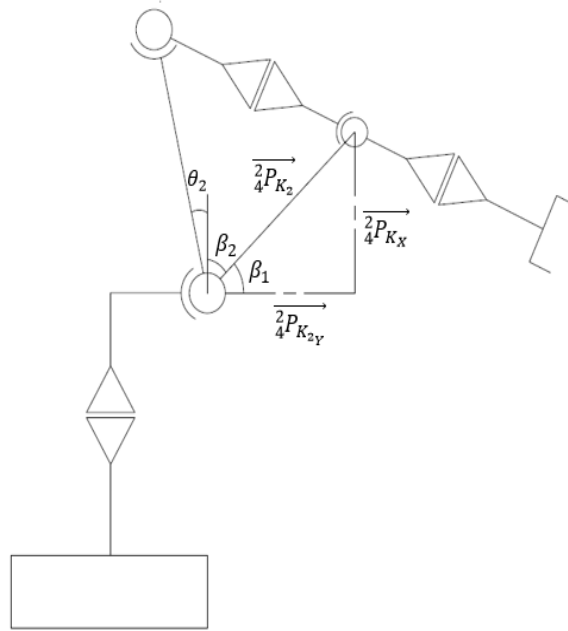
$${}^0_2T = \begin{bmatrix} {}^0_2T_{11} & {}^0_2T_{12} & {}^0_2T_{13} & {}^0_2T_{14} \\ {}^0_2T_{21} & {}^0_2T_{22} & {}^0_2T_{23} & {}^0_2T_{24} \\ {}^0_2T_{31} & {}^0_2T_{32} & {}^0_2T_{33} & {}^0_2T_{34} \end{bmatrix} \Rightarrow \overrightarrow{{}^0_2P_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0_2T_{14} \\ {}^0_2T_{24} \\ {}^0_2T_{34} \end{bmatrix} \frac{{}^2P_{K_0}}{4P_{K_0}} = \frac{{}^2P_{K_0}}{4P_{K_0}} - \overrightarrow{{}^0_4P_{K_0}} = \begin{bmatrix} \overrightarrow{{}^2_4P_{K_{0x}}} \\ \overrightarrow{{}^2_4P_{K_{0y}}} \\ \overrightarrow{{}^2_4P_{K_{0z}}} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\phi = \text{ArcSin} \left( \frac{(l_1^2 - a_2^2 + |\overrightarrow{{}^2_4P_{K_0}}|^2)}{2|\overrightarrow{{}^2_4P_{K_0}}|l_1} \right) + \text{ArcSin} \left( \frac{\left( \frac{|\overrightarrow{{}^2_4P_{K_0}}|}{2} \frac{l_1^2 - a_2^2 + |\overrightarrow{{}^2_4P_{K_0}}|^2}{|\overrightarrow{{}^2_4P_{K_0}}|} \right)}{a_2} \right) \quad (7)$$

$$\alpha = \text{ArcTan}(-d_4, a_3) \quad (8)$$

$$\theta_3 = \begin{cases} \pi - \phi - \alpha \\ \pi + \phi - \alpha \end{cases} \quad (9)$$

Şekil 8'de gösterildiği gibi ikinci eklem açısının hesaplanması için Eşitlik 10 ile Eşitlik 16 arasındaki matematiksel ifadeler kullanılmıştır. İlk olarak Eşitlik 10 kullanılarak dönüşüm matrisinden  $K_2$  çerçevesi ile  $K_4$  çerçevesi arasındaki  $\overrightarrow{{}^2_4P_{K_2}}$  değeri hesaplanmamıştır. Daha sonra  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  ve ikinci eklem açısı olan  $\theta_2$  değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 8. İkinci eklem açısı için ters kinematik diyagram görüntüsü

$$\overrightarrow{{}_4P_{K_2}} = {}^2R_4 \overrightarrow{{}_2P_{K_0}} = {}^0R^{-1} \overrightarrow{{}_4P_{K_0}} \tag{10}$$

$${}^0T = \begin{bmatrix} {}^0P & {}^0P_{ORG} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow {}^0T = \begin{bmatrix} {}^0T_{11} & {}^0T_{12} & {}^0T_{13} \\ {}^0T_{21} & {}^0T_{22} & {}^0T_{23} \\ {}^0T_{31} & {}^0T_{32} & {}^0T_{33} \end{bmatrix} = {}^2R^{-1} \tag{11}$$

$$\overrightarrow{{}_4P_{K_2}} = \begin{bmatrix} {}^0T_{11} & {}^0T_{12} & {}^0T_{13} \\ {}^0T_{21} & {}^0T_{22} & {}^0T_{23} \\ {}^0T_{31} & {}^0T_{32} & {}^0T_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overrightarrow{{}_4P_{K_0x}} \\ \overrightarrow{{}_4P_{K_0y}} \\ \overrightarrow{{}_4P_{K_0z}} \end{bmatrix} \tag{12}$$

$$\beta_1 = \text{ArcTan}2(\overrightarrow{{}_4P_{K_2x}}, \overrightarrow{{}_4P_{K_2y}}) \tag{13}$$

$$\beta_2 = \text{ArcSin}\left(\frac{a_2^2 - |\overrightarrow{{}_4P_{K_0}}|^2 + l_1^2}{2l_2a_2}\right) + \text{ArcSin}\left(\frac{l_1 - \frac{a_2^2 - |\overrightarrow{{}_4P_{K_0}}|^2 + l_1^2}{2l_1}}{|\overrightarrow{{}_4P_{K_0}}|}\right) \tag{14}$$

$$\theta_2 = \begin{cases} \frac{\pi}{2} - (|\beta_1| + \beta_2) \\ \frac{\pi}{2} + (|\beta_1| - \beta_2) \end{cases} \tag{15}$$

$${}^0T = \begin{bmatrix} {}^0T_{11} & {}^0T_{12} & {}^0T_{13} & {}^0T_{14} \\ {}^0T_{21} & {}^0T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ {}^0T_{31} & {}^0T_{32} & {}^0T_{33} & {}^0T_{34} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Rightarrow \overrightarrow{{}_4N_{K_0}} = \begin{bmatrix} {}^0T_{13} \\ {}^0T_{23} \\ {}^0T_{33} \end{bmatrix} \tag{16}$$

Beşinci eklem açısını hesaplanmak için ise Eşitlik 17 ve Eşitlik 18’de verilen matematiksel ifadeler kullanılmıştır.  $\theta_4 = 0$  olarak kabul edilip  $\overrightarrow{40N_{K_0}}$  vektörü kullanılarak  $\theta_5$  açısı değeri hesaplanmıştır.

$$\theta_5 = \pi - \text{ArcCos}(\overrightarrow{40N_{K_0}} \cdot \overrightarrow{60N_{K_0}}) \quad (17)$$

$${}^4R = {}^0R^{-1}{}^0R = {}^4R^0R \quad {}^4R = \text{Rot}_z(\theta_4)\text{Rot}_y(\theta_5 + \pi)\text{Rot}_z(\theta_6) \quad (18)$$

Dördüncü ve altıncı eklemlerin açılarını hesaplanmak için Eşitlik 19 ile Eşitlik 23 arasındaki matematiksel ifadeler kullanılarak  $\theta_4$  ve  $\theta_6$  hesaplamak için  ${}^4R$  rotasyon matrisi kullanılmıştır.

$$\text{Rot}_y(\theta_5 + \pi) = \begin{bmatrix} \cos(\pi + \theta_5) & 0 & \sin(\pi + \theta_5) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\pi + \theta_5) & 0 & \cos(\pi + \theta_5) \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\text{Rot}_z(\theta_6) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_6) & -\sin(\theta_6) & 0 \\ \sin(\theta_6) & \cos(\theta_6) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

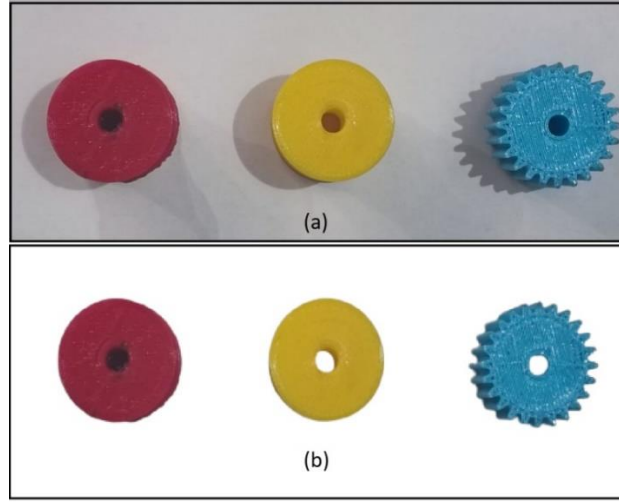
$${}^4R = \begin{bmatrix} -c_4c_5c_6 - s_4s_6 & c_4c_5s_6 - s_4c_6 & -c_4s_5 \\ -s_4c_5c_6 + c_4s_6 & s_4c_5s_6 + c_4c_6 & -s_4s_5 \\ s_5c_6 & -s_5s_6 & -c_6 \end{bmatrix} {}^4R = \begin{bmatrix} {}^4R_{11} & {}^4R_{12} & {}^4R_{13} \\ {}^4R_{21} & {}^4R_{22} & {}^4R_{23} \\ {}^4R_{31} & {}^4R_{32} & {}^4R_{33} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$\theta_4 = \text{ArcTan}(-{}^4R_{23}, -{}^4R_{13}) \quad (22)$$

$$\theta_6 = \text{ArcTan}({}^4R_{32}, {}^4R_{31}) \quad (23)$$

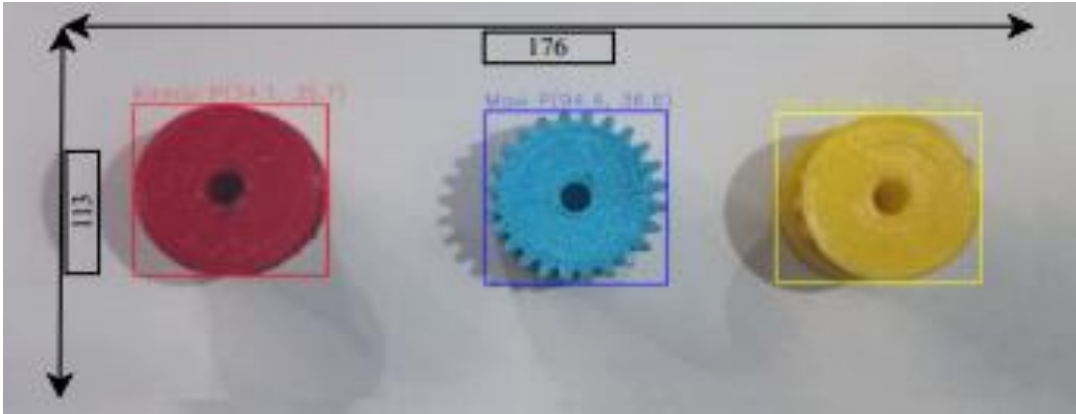
### 3.4 Görüntü İşleme ve Yapay Zekâ Tabanlı Ürün Tasnifleme Sonuçları

Çalışmada önceden eğitilmiş  $U^2$ -Net yapay zekâ modeli kullanılarak alınan görüntülerin arka plan silme işlemi için kullanılmıştır.  $U^2$ -Net modeli ile elde edilen arka plan silme işleminin örnek sonuca ait görsel Şekil 9’da verilmiştir. Şekil 9 incelendiğinde  $U^2$ -Net yapay zekâ modelinin arka plan silmede oldukça başarılı olduğu görülmektedir.



Şekil 9. U<sup>2</sup>-Net ile arka plan silme işlemi

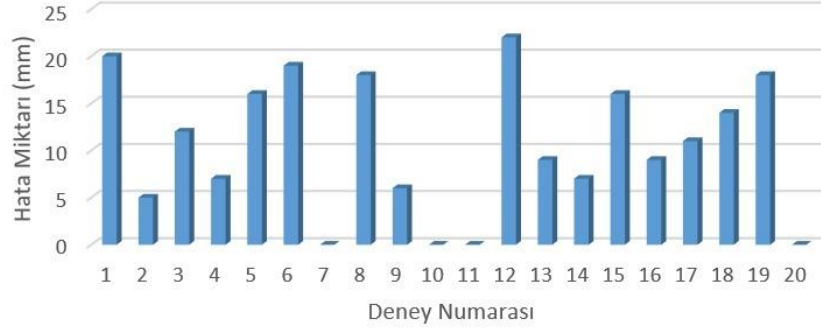
Çalışmada kullanılan görüntü işleme algoritmalarından elde edilen ürün tespiti ve tasnifleme sonuçları Şekil 10'da gösterilmiştir. Şekil 10 incelendiğinde algoritmanın yüksek doğrulukta çalıştığı görülmektedir. Çalışmada mavi, kırmızı, sarı olmak üzere nesnelerin üç kategoriye ayrılmıştır. Bu nesnelerin sınıflandırılması ve ağırlık merkezleri yüksek doğrulukta gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10. Ürün tespiti ve tasnifleme

### 3.5 Robot kolun çalışmasının doğruluk analizi

Çalışmada geliştirilen robot kolun doğruluk analizi yapmak için 20 adet deney yapılmıştır. Her deneyde belirlenen konum ve hedef konum arasındaki hata payı milimetre olarak ölçülmüştür. Yapılan deneylerden elde edilen hata değerleri Şekil 11'de verilmiştir. Şekil 11 incelendiğinde hata paylarının 0 mm ile 22 mm arasında değiştiği görülmektedir. Bu nedenle ortalama olarak robot kolun ortalama hata değeri 10,50 mm olarak tespit edilmiştir.



Şekil 11. Robot kolun çalışmasının doğruluk analizi

Yapılan çalışmadaki konum doğruluğu ile ilgili akademik literatür incelendiğinde; Joubair vd. yapmış oldukları simülasyon çalışmasında, ileri kinematik tabanlı kalibrasyon yöntemi kullanılarak 6 serbest dereceli robotun hedef çalışma alanı içindeki maksimum konum hatası 5,957 mm'den 0,851 mm'ye ve ortalama konum hatası 3,992 mm'den 0,3871'e optimize etmişlerdir (Joubair ve ark., 2015). Bir diğer çalışmada Joubair ve ark., simülasyon çalışmasında, kuvvet-tork sensörü tabanlı kalibrasyon yöntemi kullanılarak 6 serbest dereceli robotun hedef çalışma alanı içindeki maksimum konum hatası 12 mm'den 0,320 mm'ye ve ortalama konum hatası 9 mm'den 0,2771'e optimize etmişlerdir (Joubair ve ark., 2016). Li vd. simülasyon çalışmalarında, 6 serbest dereceli robotun hedef çalışma alanı içindeki konum hatası  $5,35 \pm 2,89$  olarak tespit etmişlerdir (Li ve ark., 2022). Akademik çalışmalarda elde edilen bulgular incelendiğinde robot kollar üzerinde kalibrasyon işlemi yapıldığında konum hatalarının minimize edildiği görülmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada kalibrasyon işlemi yapılmadığı için konum hatası ortalama 10,5 mm olarak tespit edilmiştir. İlerleyen çalışmalarda kalibrasyon işlemi de gerçekleştirilerek kalibrasyon konum hata değerinin minimuma indirilmesi hedeflenmektedir.

#### 4. SONUÇ

Dünyadaki birçok endüstri alanında robot kollar kullanılmaktadır. Robot kolların kullanımı insan gücüyle gerçekleştirilen görevleri kolaylaştırmakta, hız ve maliyet açısından büyük avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca oluşabilecek hatalarda minimuma indirilmektedir. Çalışmada 5+1 serbestlik derecesine sahip robot kol tasarım gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan robot kol 3B yazıcı teknolojisi ile imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan robot kolun motor seçimi, sürücü ve kontrolcü seçimi yapılmıştır. Çalışma için gerekli literatür araştırması yapılmış ve gerekli malzemeler temin edilerek robot kolun imalatı gerçekleştirilmiştir. Üretilen robot kol görüntü işleme ve U<sup>2</sup>-Net yapay zekâ yöntemleri kullanılarak üç farklı sınıfa ait nesnelere tespit ederek tespit edilen bir konumdan alarak başka bir tanımlı bir hedef konuma taşıması sağlanmıştır. İmal edilen robot kolda deneysel olarak taşıma, başlangıç, bitiş hareketleri ve hedefe ulaştırma işlemleri başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Ancak çalışmada kullanılan robot kolun kalibrasyon işlemi yapılmadığı için elde edilen konum hatası ortalama olarak 10,5 mm'dir. Elde edilen konum hatası değerini yüksek olmasının temel nedenlerinden birisi üretim aşamasında üç boyutlu yazıcılar kullanarak PLA tipi malzeme kullanılması sonucu hassasiyetin azalmasıdır. İlerleyen çalışmalarda robot kolun metal malzeme ile üretilerek robot kolun hassasiyetinin artırılması hedeflenmektedir. Ayrıca Konum hatalarını

azaltmak için kalibrasyon işleminin yapılması ve kapalı döngü kuvvet torku kontrol yöntemi kullanılması hedeflenmektedir.

## 5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar arasında, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## 6. YAZAR KATKISI

Bu makale Zekeriya KAYA'nın Bekir AKSOY'un birinci danışmanlığı ve Koray ÖZSOY'un ikinci danışmanlığını hazırlamış olduğu yüksek lisans tezinde üretilmiştir.

## 7. KAYNAKLAR

- Altun Y., Öztürk Z., Özüberk H., Bulanık mantık ve arduino kullanarak step motorun hız kontrolü. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4(2), 672-680, 2016.
- ASTM Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies. Subcommittee F42, Standard Terminology for Additive Manufacturing General Principles—Terminology, ASTM International, 2012.
- Awad A., Goyanes A., Basit A. W., Zidan A. S., Xu C., Li, W., Chen R.K., A Review of State-of-the-Art on Enabling Additive Manufacturing Processes for Precision Medicine. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 145(1), 010802, 2023.
- Ayyıldız M., Çetinkaya K., Predictive modeling of geometric shapes of different objects using image processing and an artificial neural network. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 231(6), 1206-1216, 2017.
- Barutçuoğlu E. I., Robotların Tarihçesi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2001.
- Berki K., Yapay Sinir Ağları ile Robot Kolu Kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2013.
- Bilic P., Christ P., Li H. B., Vorontsov E., Ben-Cohen A., Kaissis G., Menze B., The liver tumor segmentation benchmark (lits). *Medical Image Analysis*, 84, 102680, 2023.
- Brambilla C. R., Okafor-Muo O. L., Hassanin H., ElShaer A., 3D printing of oral solid formulations: A systematic review. *Pharmaceutics*, 13(3), 358, 2021.
- Butters L., Xu Z., Klette R., Using machine vision to command a 6-axis robot arm to act on a randomly placed zinc die cast product. *Proceedings of the 2nd International Conference on Control and Computer Vision*, 8-12, 2019.
- Büyükkoçak Y., Görüntü işleme tabanlı aydınlatma ölçüm sistemi tasarımı ve uygulaması. MS thesis. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- Cristalli C., Lattanzi L., Massa D., Angione G. Cognitive robot referencing system for high accuracy manufacturing task. *Procedia Manufacturing*, 11, 405-412, 2017.
- Doğan S., Akar F., Baran A., Geliştirilmiş Sobel Kenar Bulma Operatörünün Farklı Renk Uzaylarındaki Performansının Değerlendirilmesi. *Mühendislikte Güncel Araştırmalar*, 8, 142-153, 2022.



- Elhedda W., Mehri M., Mahjoub M. A., A comparative study of filtering approaches applied to color archival document images. Proceedings of The International Arab Conference on Information Technology (ed M Kherallah), Hammamet, TN, USA, IEEE Explore, 1–8, 2017.
- Grabcad., <https://grabcad.com/library/eklemeli-imalat-yontemiyle-uretilen-alti-eksenli-robot-kol-ile-urunlerin-goruntu-isleme-ve-yapay-zeka-tabanlı-tasniflenmesi-1>, Erişim tarihi 04.04.2023
- Guida R., De Simone M. C., Dašić P., Guida, D., Modeling techniques for kinematic analysis of a six-axis robotic arm. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 568, IOP Publishing, 1-6, 2019.
- Havusoğlu H., Robot kol tasarımı, kinematik analizi ve etkileşimli kontrolü. (Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü), 2014.
- Jhang L. H., Santiago C., Chiu C. S., Multi-sensor based glove control of an industrial mobile robot arm. 2017 International Automatic Control Conference (CACCS), 1-6, IEEE, 2017.
- Joubair A., Zhao L. F., Bigras P., Bonev I. A., Use of a force-torque sensor for self-calibration of a 6-DOF medical robot. Sensors, 16(798), 1-19, 2016.
- Joubair A., Zhao L. F., Bigras P., Bonev I., Absolute accuracy analysis and improvement of a hybrid 6-DOF medical robot. Industrial Robot: An International Journal, 42(1), 44-53, 2015.
- Kayışlı K., Uğur M., 3 Serbestlik Dereceli Bir Robot Kolun Bulanık Mantık ve PID ile Kontrolü. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji, 5(4), 223-234, 2017.
- Küçük S., Bingül Z., Robot kinematics: Forward and inverse kinematics. London, UK: INTECH Open Access Publisher, 4, 117-148, 2006.
- Lattanzi L., Cristalli C., Massa D., Boria S., Lépine P., Pellicciari M., Geometrical calibration of a 6-axis robotic arm for high accuracy manufacturing task. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 111, 1813-1829, 2020.
- Li K., Xu Y., Zhao Z., Meng M. Q. H., External and internal sensor fusion based localization strategy for 6-dof pose estimation of a magnetic capsule robot. IEEE Robotics and Automation Letters, 7(3), 6878-6885, 2022.
- Li L., Haghghi A., Yang Y., A Novel 6-Axis Hybrid Additive-Subtractive Manufacturing Process: Design and Case Studies. Journal of Manufacturing Processes, 33, 150-160, 2018.
- Öğülmüş A. S., Yedi Serbestlik Dereceli iki Küresel Bir Doğrusal Eyleyicili Robot Kolu Sisteminin Tasarımı ve Dinamik Analizi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2022.
- Özsoy K., Aksoy B., Salman O. K. M., Investigation of the dimensional accuracy using image processing techniques in powder bed fusion. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering, 235(5), 1587-1597, 2021.
- Ramírez I. S., Márquez F. P. G., Papaelias M., Review on additive manufacturing and non-destructive testing. Journal of Manufacturing Systems, 66, 260-286, 2023.
- Russ J. C., Neal F. B., The image processing handbook. Boca Raton: CRC Press, 2016.
- Sahu S., Choudhury B. B., Biswal B. B., A vibration analysis of a 6axis industrial robot using FEA. Materials Today: Proceedings, 4(2), 2403-2410, 2017.
- Schaler E. W., Wisnowski J., Iwashita Y., Edlund J. A., Sly J. H., Raff, W., Townsend J. A., Two-stage calibration of a 6-axis force-torque sensor for robust operation in the Mars 2020 robot arm. Advanced Robotics, 35(21-22), 1347-1358, 2021.
- Shao J., Zhou K., Cai Y. H., Geng, D. Y., Application of an Improved U<sup>2</sup>-Net Model in Ultrasound Median Neural Image Segmentation. Ultrasound in Medicine & Biology, 48(12), 2512-2520, 2022.

Siemens, Erişim Adresi: [www.siemens.com.tr](http://www.siemens.com.tr) Erişim Tarihi: 01/12/2022.

Talli A., Meti V. K. V., Design, simulation, and analysis of a 6-axis robot using robot visualization software. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, IOP Publishing, 872, 1-9, 2020.

Ye Z., Wei J., Lin Y., Guo Q., Zhang J., Zhang H., Yang K., Extraction of olive crown based on UAV Visible images and the U2-Net deep learning model. Remote Sensing, 14(6), 1523, 2022.

Yılmaz A. Real time security application with image processing using camera. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2007.

You N., Han L., Zhu D., Song W. Research on Image Denoising in Edge Detection Based on Wavelet Transform. Applied Sciences, 13(1837), 1-13, 2023.

Zhang Z., Feng S., Almotairy A., Bandari S., Repka M. A., Development of multifunctional drug delivery system via hot-melt extrusion paired with fused deposition modeling 3D printing techniques. European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics, 183(February), 102-111, 2023.

Zhou S., Canchila C., Song W., Deep learning-based crack segmentation for civil infrastructure: data types, architectures, and benchmarked performance. Automation in Construction, 146(February-104678), 1-20, 2023.