



Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi

Cengiz Sertkaya^{1*}

^{1*} Ostim Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-2802-8297),
cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr

(2nd International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences ICAENS 2022, March 10-13, 2022)

(DOI: 10.31590/ejosat.1080183)

ATIF/REFERENCE: Sertkaya, C. (2022). Derin Öğrenme Tabanlı Nesne Tanıma Yeteneklerine Sahip Akıllı Robot Sisteminin Geliştirilmesi. *European Journal of Science and Technology*, (34), 211-216.

Özet

Günlük yaşamda insanlar için birçok yardımcı işlevi robotlar tarafından gerçekleştirilmeye başlanmıştır. Özellikle endüstride kullanılan robot kollar, çalışma alanına gelen nesnelere tanımlayarak, ilgili nesnenin özelliklerini belirlemede, buna göre uygulanması gereken tutma gücünü ve pozisyonunu ayarlayarak üretimde insan zekasına yakın kararlar verebilmektedir. Bu işlemlerden tanıma, konumlandırma ve tutma insanların düşünme ve çözüm üretme sistemleri baz alınarak oluşturulan yapay zeka algoritmaları ile gerçekleştirilmektedir. Yapay zeka yaklaşımlarından olan derin öğrenme son zamanlarda birçok farklı problem için kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Bu çalışmanın amacı, klasik bir robot kol için nesnenin tutma pozisyonuna ulaşmak amacıyla konumlandırılması ve nesnenin tutup kaldırılabilmesi için uygun kavrama parametrelerini otomatik olarak belirleyebilen bir sistemin oluşturulmasının sağlanmasıdır. Robot kolun mekanik sisteminin oluşturulmasında 3 boyutlu çizim programlarından üretilen modeller 3 boyutlu yazıcı kullanılarak basılmıştır. Bu sayede 3 boyutlu yazıcı teknolojisinin bu tür bir sistemde nasıl kullanılacağı bilgisi paylaşılmıştır. Ayrıca bu teknoloji sayesinde düşük maliyetli ve rahatlıkla konfigüre edilebilen modeller oluşturulması sağlanmıştır. Gerçek zamanlı nesne tanıma işlevini gerçekleştirebilmek, sistemi zeki ve öğrenilebilir hale getirmek amacıyla, yapay zeka metodlarından, Evrişimli Sinir Ağları(CNN) temelli derin öğrenme algoritması kullanılmıştır. Algoritmanın verimli çalışabilmesi için yapılması gereken ön hazırlık süreçleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.Yapılan simülasyon testleri ile elde edilen sonuçlardan, önerilen sistemin bu işlevleri başarıyla gerçekleştirdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Robot Kol, Derin Öğrenme, Evrişimli Sinir Ağları, Nesne Tanıma, Faster R-CNN.

Development of an Intelligent Robot System with Capabilities of Deep Learning Based Object Recognition

Abstract

In daily life, many auxiliary functions for humans have begun to be performed by robots. Robot arms, especially used in industry, identify the objects coming into the work area, determine the properties of the relevant object, and can make decisions close to human intelligence in production by adjusting the holding power and position that should be applied accordingly. Among these functions, recognition, positioning, and retention are performed by artificial intelligence algorithms based on people's thinking and solution generation systems. Deep learning, which is one of the artificial intelligence approaches, has been used for many different problems recently and it has been seen that successful results have been obtained.

The aim of this study is to position the object in order to reach the holding position for a classical robot arm and to provide a system that can automatically determine the appropriate grip parameters for the object to be held and lifted. In the creation of the mechanical system of the robot arm, the models produced from 3D drawing programs were printed using a 3D printer. In this way, information on how to use 3D printer technology in such a system was shared. In addition, thanks to this technology, low cost, and easily configurable models have been created. A deep learning algorithm based on Convolutional Neural Networks (CNN), one of the artificial intelligence methods, has been used in order to realize the real-time object recognition function and to make the system intelligent and learnable. Detailed information is given about the preliminary preparation processes that must be done in order for the algorithm to work efficiently. From the results obtained with the simulation tests, it has been seen that the proposed system successfully performs these functions.

Keywords: Robot Arm, Deep Learning, Convolutional Neural Networks, Object Detection, Faster R-CNN

* Corresponding Author: cengiz.sertkaya@ostimteknik.edu.tr

1. Giriş

Günlük yaşamda insanlar için birçok yardımcı işlev robotlar tarafından gerçekleştirilmeye başlanmıştır (Maruyama ve Yamazaki 2001) (Sloane ve Silva 2019). Özellikle endüstride robot kollar çeşitli sektörlerin otomasyon sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (González-Galván ve diğ. 2001; Willer 1984). Robotlar, sürekli çalışabilme ve hata oranını en aza indiren zeki çalışma prensipleri nedeniyle otomasyonların en çok kullanıldığı fabrikalarda her geçen gün daha çok artan bir kullanım alanına sahiptirler (WEIR 2002).

Robot kavramı ilk ortaya çıktığında insanların günlük rutin faaliyetlerini yerine getirebilmeyi amaçlamışlardır. Bu nedenle benzer bir işlevi, sürekli tekrar eden bu yapıların, temelinde mekanik, elektronik ve yazılım alanlarından teknolojilerin kullanılması gerekmektedir. Farklı disiplinlerdeki bilginin biraraya gelmesi robotları ilk aşamada yüksek maliyetli yapsa da ilerleyen zamanlarda özellikle 3 boyutlu yazıcı teknolojisi ile arduino, rasperry gibi içerisinde işlem yapabileme kabiliyetine sahip mini bilgisayar sistemlerinin ortaya çıkmasıyla düşük maliyetli şekilde üretilebilir hale getirmiştir (ÇELEBİ ve diğ. 2019).

Literatürde robot kol üretiminde bu teknolojilerin kullanıldığı çalışmalar bulunmaktadır. Çelebi ve diğerlerinin çalışmasında 6 eksenli bir robot kol prototip tasarımı 3 boyutlu yazıcı ile gerçekleştirilmiştir. Sistemin yönetiminden sorumlu mikrodenetleyicisi olarak arduino kullanılmıştır (ÇELEBİ ve diğ. 2019). Papapaschos ve diğerlerinin çalışmasında hydrax ismini verdikleri robot kolun üretiminin gerçekleşmesi için 3 boyutlu yazıcıların kontrolünü gerçekleştiren bir sistem önerisinde bulunmuşlardır (Papapaschos, Bontarenko, ve Krimpenis 2020). Yusoff ve diğerlerinin çalışmasında robot kolun kablosuz şekilde yönetilebilmesi amacıyla arduino üzerine kurulan bir sistem geliştirilmiştir (Yusoff, Samin, ve Ibrahim 2012). Khosravi ve diğerlerinin çalışmasında kaynak yapma işlevini yerine getirecek bir robot kolun, maliyetini en aza indirebilmek amacıyla model önerisinde bulunmuştur. Modelin kontrol edilmesinde arduino kullanılmıştır (Khosravi Maleki ve diğ. 2021).

Robot kolun üretiminde maliyetin azalması ile yapılan çalışmaların artması, beraberinde araştırmacıların üretilen bu ürünler üzerinde daha rahat çalışma imkanı sağlamışlardır. Robot kollar, özellikle insan davranışlarını taklit edebilecek şekilde özellik ve yeteneklerin eklenmesi ile daha gelişmiş makineler haline gelmelerine olanak tanımıştır. Robot kollar üzerine yerleştirilen kamera, hareket, basınç, mesafe gibi sensörler yardımıyla dış dünya ile etkileşimli hale gelmişlerdir. Bu etkileşiminden elde edilen verilerin yorumlanmasıyla kendi kendine karar verebilen yapay zeka modellerinin entegre edildiği, zeki makineler haline gelmeleri sağlanmıştır (Ali ve diğ. 2018).

Özkaya 2021 çalışmasında esnek bir robot kolun hareket kontrolüne yönelik kararın metasezgisel algoritmalar kullanılarak verilmesi üzerine Genetik Algoritma, Arı Kolonisi ve Titreşimli Parçacıklar Sistemi (TPS) tabanlı zeki model önerileri yapılmıştır. TPS modeli en yüksek başarıyı elde etmiştir (Özkaya ve diğ. 2021).

Bu çalışmada tasarımı yapılmış 5 eksenli bir robot kolun 3 boyutlu yazıcı ile üretimi gerçekleştirilmiştir. Robot kolun fonksiyonlarını yerine getirebilmesi için arduino temelli mikroişlemci yapısı kullanılarak elektronik sistem tasarlanmış ve programlanmıştır. Ayrıca sistemin, uygun kavrama konumunu

alması ve uygulaması gereken basınç oranını ayarlayabilmesi için nesnelere tanıma sürecinde yapay zeka yöntemlerinden derin öğrenme algoritması kullanılmıştır.

2. Materyal and Metot

Robot kol sisteminin geliştirilmesinden uygulanan adımlar Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Sistemin geliştirilmesinde uygulanan adımlar

2.1. Tasarım ve Düzenlemelerin Yapılması

Bu çalışmada kullanılan robot kol tasarımı (TG 2022) çalışmasındaki tasarım baz alınarak oluşturulmuştur (TG 2022). Tasarımda bilgisayar destekli çizim programlarından Catia yazılımının P3V5-6R2018 versiyonu kullanılmıştır. Çizim programı ile robot kola ait parçalar amaçlanan işlevleri yerine getirebilmesi için düzenlenerek son hallerine getirilmiştir. Robot kola ait parçaların bir bölümü Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2. Robot kol parçalarının 3 boyutlu görünümü (TG 2022).

Üretilen tasarım parçalarının son halleri stl uzantılı dosyalar halinde kaydedilerek 3 boyutlu baskı için hazırlanmıştır.

2.2. 3 Boyutlu Yazıcıdan Baskı Alınması

Robot kola ait parçaların stl uzantılı dosyaları 3 boyutlu yazıcının baskı yapabilmesi için gcode adı verilen baskı süreçlerini belirten dosyalara dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu amaçla stl dosyalarını baskıya hazır hale getirebilmek için dönüştürü programlardan Ultimaker Cura 4.11.0 versiyonu kullanılmıştır. Bu uygulama üzerinde seçilen yazıcı ve baskı malzemesine göre yazdırma işleminde kullanılacak parametreler belirlenmektedir. Bu çalışmada 3 boyutlu baskı yazıcısı olarak Ender 3 v2 modeli tercih edilmiştir. 3 boyutlu yazıcıda kullanılmak üzere baskı malzemesi olan filamentin seçimi oldukça önemlidir. Bu çalışmada seçilen filament olarak yaygın şekilde kullanılan polilaktik asit’in (PLA) kullanılmasına karar verilmiştir. PLA’nın seçilmesinin nedenleri; organik olması, doğada hızlı şekilde çözünmesi, baskı sırasında daha az atık oluşturması, baskıda yaşanan sorunların diğer filament türlerine göre daha az oluşu, bu filament türünü seçilen yazıcının başarılı bir şekilde kullanabilmesi ve düşük maliyetli olmasıdır (Sin ve diğ. 2013). Yazıcı ve filament türünün belirlenmesinin ardından

baskı işlemine uygun baskı parametreleri seçimi gerçekleştirilmiştir. Standart parametreler dışında bu çalışma için özel olarak belirlenmiş parametreler ve seçilen değerleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Baskı işlemi için seçilen parametreler ve değerleri

Grup	Özellik	Değer
Yazıcı	Filament Çapı	1.75 mm
	Nozzle Çapı	0.4 mm
Kalite	İlk Katman Yüksekliği	0.4 mm
Malzeme	Yazdırma Sıcaklığı	210 °C
	Yapı Levhası Sıcaklığı	70 °C
Hız	İlk Katman Yazdırma Hızı	%50
	Yazdırma Hızı	%100
Destek	Oluşturma Desteği	Var
	Destek Yapısı	Ağaç
	Destek Dal Açısı	40°
	Destek Hattı Mesafesi	0.0 mm
Yapı Levhası Yapıştırması	Yapı Levhası Türü	Kenar
	Kenar Genişliği	8.0 mm
	Kenar Hattı Sayısı	14

Baskı için hazırlanan tasarımların g-kodu dosyaları yazıcıya gönderilerek yazdırma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

2.3. Mekanik ve Elektronik Sistemin Oluşturulması

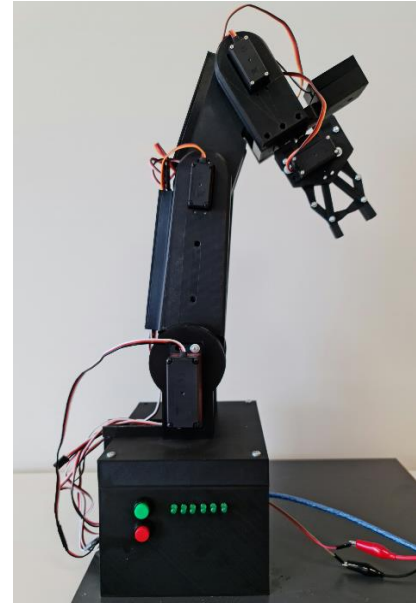
Sistemin hareketini sağlayacak olan mekanik bölüme ait motorlar için, robotik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, düşük maliyetli, kontrolünün kolay olması ve yüksek tork değerlerine sahip olduğundan dolayı servo tipi motorlar tercih edilmiştir (Fatih 2016). Robot kol tasarımında istenen işlevleri yerine getirebilmesi amacıyla her bir eklem bölümü için kullanılan servo motorlar Tablo 2'de belirtilmiştir.

Tablo 2. Kullanılan Servo Motor Özellikleri ve Bağlantı Noktaları

Servo Modeli	Tork Değeri	Bağlantı Noktası
TD-8160MG	60 kg	Alt Kol - Zemin Bağlantısı
TD-8135MG	35 kg	Orta Kol – Alt Kol Bağlantısı
MG995R	13 kg	Üst Kol – Orta Kol Bağlantısı Tutucu Bağlantısı Tutucu Hareketi

Servo motorların monte işleminin ardından motorların kontrolünü sağlaması amacıyla elektronik sistemin tasarımına başlanmıştır. Bu aşamada robotik uygulamalarda yaygın kullanımı, maliyetinin uygun olması ve programlanabilmesi gibi imkanlarından dolayı Arduino mikroişlemci yapısı seçilmiştir. Elektronik sistemin kablosuz haberleşebilmesi için HC-05 bluetooth modülü kullanılmıştır. Sistemin süreçlerini görebilmek amacıyla 6 adet led ile motorların hareketlerinin gözlemlenmesi sağlanmıştır. Arduinonun model seçiminde ihtiyaç duyulan girdi ve çıktı sayıları baz alınarak yeterli port sayısına sahip olduğu için Arduino Mega 2560 modeli seçilmiştir.

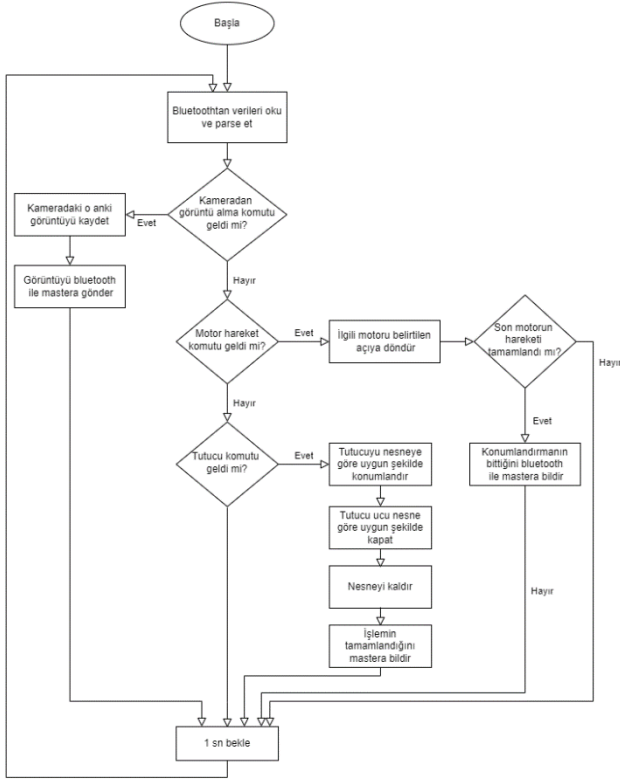
Mekanik sistemin monte edilmesi ve elektronik sistemin tamamlanması ile robot kolun son hali Şekil 3'teki görünümde oluşmuştur.



Şekil 3. Robot kolun mekanik ve elektronik sisteminin monte edilmiş hali

2.4. Yazılım Sistemin Oluşturulması

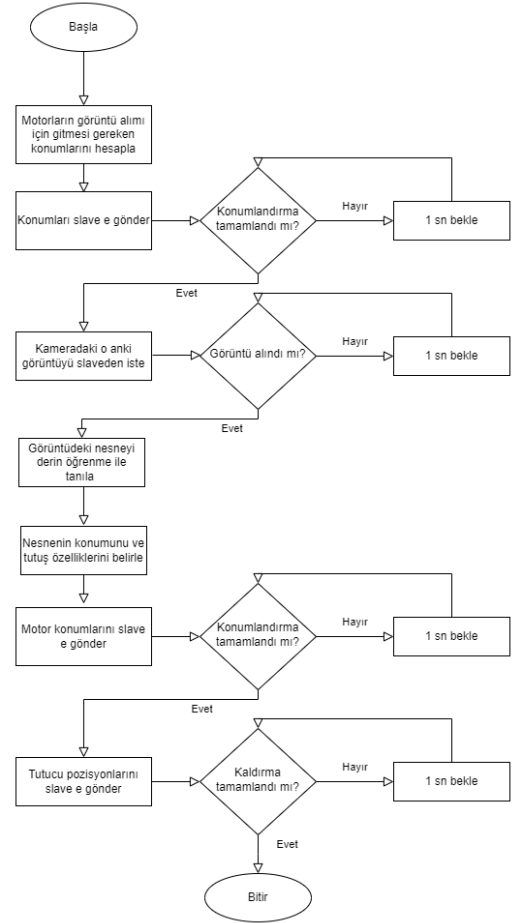
Sistemde geliştirilen yazılım yapısı 2 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Arduino mikroişlemcisi içerisinde yer alan motorların kontrol edildiği ve kamera görüntülerini almakta kullanılan slave bölümü bulunmaktadır. Bu bölümdeki yazılımın algoritması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Slave yazılım bölümünün algoritması

Slave bölümün yazılımında geliştirme ortamı olarak Arduino IDE 1.8.12 versiyonu kullanılmıştır.

İkinci yazılım bölümü windows ortamında bilgisayar üzerinde çalışan ve C# diliyle kodlanmış, sistemin genel yönetiminden sorumlu olan bölümdür. Bu bölümün görevleri; alınan görüntüyü işleyerek derin öğrenme algoritması üzerinden nesne tanıma fonksiyonlarını gerçekleştirmek ve slave bölümün yapması gereken işlemler için komutları hazırlamaktır. Yönetim yazılım bölümünün algoritması Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. Yönetim yazılım bölümünün algoritması

Yönetim bölümünün yazılımında geliştirme ortamı olarak Visual Studio 2017 versiyonu kullanılmıştır.

2.5. Derin Öğrenme Algoritması ile Nesne Tanıma

Nesne tanıma görevleri yerine getirilirken izlenmesi gereken bir dizi işlem bulunmaktadır. Bu işlem adımları Şekil 6'da gösterilmektedir.

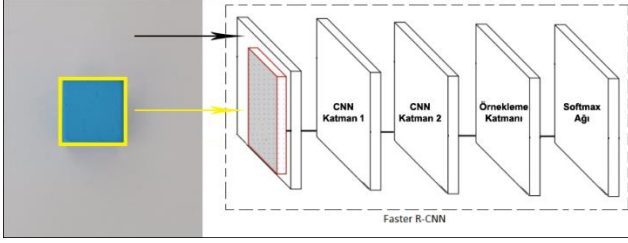


Şekil 6. Nesne Tanıma İşlem Süreçleri

Nesne tanıma verisetinin hazırlanması gerçekleştirilen ilk aşamadır. Bu aşamada ilk olarak nesne görüntülerinin yer aldığı resim dosyaları oluşturulmalıdır. Sonrasında resim dosyalarındaki nesnelere etiketleme yöntemi ile belirlenir. Etiketleme işleminde nesnenin resimde bulunduğu konum çerçeve içerisine alınır ve nesnenin sınıfı(grubu) belirtilir. Bu şekilde tüm resimlerin etiketlenmesinin ardından ikinci bir dosyada bu bilgiler saklanır. Bu sayede resim ve etiketleme bilgilerinin yer aldığı dosya ile veriseti hazırlanmış olmaktadır(Pathak ve diğ. 2018).

Nesne tanıma algoritması seçiminde literatürde derin öğrenme yöntemlerinden Evrişimli Sinir Ağları'nın (CNN) başarılı olduğu yapılan birçok uygulama ile ispatlanmıştır(Özkaya ve diğ. 2021). CNN algoritması aynı zamanda düşük hafıza ve işlemci kullanımıyla da diğer yöntemlere göre ön plana çıkmaktadır. Bu

çalışmada bu nedenlerle CNN algoritması üzerinde yoğunlaşmıştır. CNN algoritmasının kendi içerisinde R-CNN, Fast R-CNN ve Faster R-CNN gibi alt modelleri bulunmaktadır(TDS 2022). Bizim amacımız canlı görüntü üzerinde hızlı tespit yapmak olduğundan bu alt modellerden en hızlı tanılama yapabilen Faster R-CNN modeli seçilmiştir(Li ve diğ. 2021). Çalışmada kullanılan Faster R-CNN mimarisi Şekil 7’de gösterilmektedir.



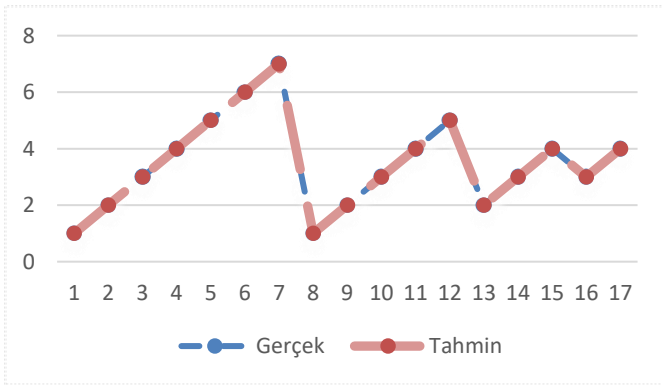
Şekil 7. Çalışmada kullanılan Faster R-CNN mimarisi(Yang ve diğ. 2017)(Cömert ve diğ. 2019)

Önerilen modelde en iyi başarıyı elde ettiği için 2 adet ara CNN katmanı, 1 örnekleme katmanı ve sınıflayıcı katmanında softmax yer almaktadır. Filtre yapısı 3x3 boyutunda ve adım sayısı 1 olarak tercih edilmiştir.

Verisinde 7 farklı nesnenin tanımlanmasının yapılması hedeflenmiş ve her bir nesnenin en az 7 farklı görüntüsünün yer aldığı toplamda 57 adet veri oluşturulmuştur. Verisindeki veriler, %70’i eğitim ve %30’i test olmak üzere ayrılmıştır. Buna göre 40 adet veri eğitim, 17 adet veri test verisi olarak belirlenmiştir.

3. Sonuçlar ve Tartışma

Test simülasyonu sırasında nesne tanımda gerçek nesnenin kodu ve sistemin verdiği kararı ifade eden tahmin edilen nesne kodu değerlerini gösteren grafik Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8. Gerçek değer ve modelin elde ettiği tahmin sonuçları

Tahmin sonuçları grafik üzerinde değerlendirildiğinde gerçek ve tahmin edilen nesnelerin birbiriyle yüksek uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Derin öğrenme modelinin simülasyon sonucunda başarısının sayısal olarak değerlendirilmesi önemlidir. Bu amaçla başarının sayısal değerlendirilmesinde doğruluk (accuracy) yöntemi kullanılmıştır. Doğruluk değerinin bulunması için karmaşıklık matrisinin(confusion matrix) oluşturulması gerekmektedir(Kulkarni ve diğ. 2020). Karmaşıklık matrisinin yapısı Tablo 3’te gösterilmektedir.

Tablo 3. Karmaşıklık matrisi yapısı(Kulkarni ve diğ. 2020)

		Tahmin	
		Negatif	Pozitif
Gerçek	Negatif	TN	FP
	Pozitif	FN	TP

Bu matristen yararlanarak doğruluk formülü Denklem 1’deki şekilde oluşturulmaktadır(Kulkarni ve diğ. 2020).

$$\text{Doğruluk} = \frac{TN+TP}{TN+FP+FN+TP} \quad (1)$$

Similasyon sonuçlarına göre hesaplama yapıldığında, doğruluk değeri %100 olarak bulunmuştur. Bu değer sistemin tüm nesnelere doğru tahmin ettiğini göstermektedir.

Bu çalışmada bir robot kolun 3 boyutlu baskı teknolojisi kullanılarak üretilmesi konusunda detaylı bilgi verilmiştir. Ayrıca robot kolun yönetilmesi için gerekli elektronik ve yazılım sistemleri hakkında süreçler paylaşılmıştır. Derin öğrenme ile nesne tanıma özelliklerinin de eklenmesiyle geliştirilen robot kolun standart özelliklerin yanı sıra zeki, kendi kendine karar verebilen bir mimaride olması sağlanmıştır.

Geliştirilen sistemin endüstride özellikle üretim süreçlerinde birçok amaç için kullanılması mümkündür. İnsansı karar verebilme yapısı sayesinde bu süreçlerin bazılarında geliştirilen sistemin kullanımı ile daha az personelin görevlendirilmesi sağlanabilir ve üretim maliyeti azaltılabilir.

İlerleyen çalışmalarda daha fazla nesne çeşitinin yer aldığı ve veri sayısının artırıldığı sistemler üzerinde geliştirilen model uygulanabilir. Ayrıca bu veriler üzerinde farklı yapay zeka modelleri oluşturulabilir. Bu şekilde elde edilen sonuçlar karşılaştırılabilir.

4. Teşekkür

Bu çalışma Ostim Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından HIZDEP proje türü ve BAP0018 proje numarasıyla desteklenmiştir.

References

- Ali, Md Hazrat et al. 2018. “Vision-Based Robot Manipulator for Industrial Applications.” *Procedia Computer Science* 133: 205–12.
- ÇELEBİ, Ahu, Adem KORKMAZ, Tuğcan YILMAZ, and Halil TOSUN. 2019. “3 Boyutlu Yazıcı İle 6 Eksenli Robot Kol Tasarım Ve İmalatı.” *International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry* 3(3): 269–78.
- Cömert, Onur, Mahmut Hekim, and Kemal ADEM. 2019. “Faster R-CNN Kullanarak Elmalarda Çürük Tespiti.” *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi* 11(1):335–41.
- Fatih IŞIK, Mehmet. 2016. “Doğru Akım Servo Motorun Device-Net Ağı Üzerinden Uzaktan Kontrolü.” *BEU Journal of Science* 5(2): 203–9.

- González-Galván, Emilio J. et al. 2001. "A Graphical User Interface for Industrial Robot Programming in Non-Repetitive Tasks." *Human Friendly Mechatronics*: 67–71.
- Khosravi Maleki, Farshid, Ebucihat Aktaş, Evren Cantürk, and Mehmet Akyemiş. 2021. "Kaynak Yapımında Kullanılan Robotik Kolun Maliyetinin Azaltılması İçin Bir Öneri." *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 7(1): 67–80.
- Kulkarni, Ajay, Deri Chong, and Feras A. Batarseh. 2020. "Foundations of Data Imbalance and Solutions for a Data Democracy." *Data Democracy: At the Nexus of Artificial Intelligence, Software Development, and Knowledge Engineering*: 83–106.
- Li, Cui jin, Zhong Qu, Sheng ye Wang, and Ling Liu. 2021. "A Method of Cross-Layer Fusion Multi-Object Detection and Recognition Based on Improved Faster R-CNN Model in Complex Traffic Environment." *Pattern Recognition Letters* 145: 127–34.
- Maruyama, Tsugito, and Muneshige Yamazaki. 2001. "Autonomous Mobile Robot for Carrying Food Trays to the Aged and Disabled." *Human Friendly Mechatronics*: 93–98.
- Özkaya, Semih, Çağlar Conker, and Hasan Hüseyin Bilgiç. 2021. "Esnek Robot Kol Sistemi İçin Lqr Denetleyici Parametrelerinin Metasezgisel Algoritmalar Kullanılarak Belirlenmesi." *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi* 9(3): 735–52.
- Özkaya, Umut, Öztürk, Şaban, Melgani, Farid, and Seyfi, Levent 2021. "Residual CNN+ Bi-LSTM model to analyze GPR B scan images." *Automation in Construction*, 123, 103525.
- Papapaschos, Vasileios, Evgenios Bontarenko, and Agathoklis A. Krimpenis. 2020. "HydraX, a 3D Printed Robotic Arm for Hybrid Manufacturing. Part II: Control, Calibration & Programming." *Procedia Manufacturing* 51: 109–15.
- Pathak, Ajeet Ram, Manjusha Pandey, and Siddharth Rautaray. 2018. "Application of Deep Learning for Object Detection." *Procedia Computer Science* 132: 1706–17.
- Sin, Lee Tin, Abdul R. Rahmat, and Wan A.W.A. Rahman. 2013. "Overview of Poly(Lactic Acid)." *Handbook of Biopolymers and Biodegradable Plastics: Properties, Processing and Applications*: 11–54.
- Sloane, Elliot B., and Ricardo J. Silva. 2019. "Artificial Intelligence in Medical Devices and Clinical Decision Support Systems." *Clinical Engineering Handbook, Second Edition*: 556–68.
- TDS. "R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO — Object Detection Algorithms | by Rohith Gandhi | Towards Data Science." <https://towardsdatascience.com/r-cnn-fast-r-cnn-faster-r-cnn-yolo-object-detection-algorithms-36d53571365e> (February 24, 2022).
- TG." <https://www.thingiverse.com/thing:1838120> (February 22, 2022).
- WEIR, R. 2002. "Robotics and Manipulators." *Clinician's Guide to Assistive Technology*: 281–93.
- Willer, Derrick. 1984. "Computer Aided Manufacturing." *CME. Chartered mechanical engineer* 31(7–8): 22–24.
- Yang, Su et al. 2018. "Faster R-CNN Based Microscopic Cell Detection." 2017 International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics, SPAC 2017 2018-January: 345–50.
- Yusoff, Mohd Ashiq Kamaril, Reza Ezuan Samin, and Babul Salam Kader Ibrahim. 2012. "Wireless Mobile Robotic Arm." *Procedia Engineering* 41: 1072–78.