

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÜÇ PARMAKLI YARI ESNEK ROBOTİK TUTUCUNUN
BİYOMEKANİK TASARIM VE KONTROLÜ

Kusay DİB

Yüksek Lisans Tezi

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Mekatronik Mühendisliği Bilim Dalı

TEMMUZ 2024

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ PARMAKLI YARI ESNEK ROBOTİK TUTUCUNUN BİYOMEKANİK TASARIM VE KONTROLÜ

Tez Yazarı

Kusay DİB

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet AYDIN

TEMMUZ 2024

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Üç Parmaklı Yarı Esnek Robotik Tutucunun Biyomekanik Tasarım ve Kontrolü
Yazarı:	Kusay DİB
İlk Teslim Tarihi:	10.06.2024
Savunma Tarihi:	16.07.2024

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Dr. Öğr. Üyesi Muhammet AYDIN Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Dr. Öğr. Üyesi Serhat AKSUNGUR Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Arapgir Meslek Yüksekokulu	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Hakan ÇELİK Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Prof. Dr. Burhan ERGEN
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Üç Parmaklı Yarı Esnek Robotik Tutucunun Biyomekanik Tasarım ve Kontrolü” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

16.07.2024

Kusay DİB



ÖNSÖZ

Robotik teknolojesi, hayatımızın birçok alanında kullanılmaktadır. Ancak, robotların insanlarla etkileşimi sırasında hassasiyetleri ve güvenilirlikleri sorun teşkil etmektedir. Bu nedenle, gelişmiş robotik tutucular üzerine araştırma yapılması önem arz etmektedir. Bu tez çalışması, hassas esnek robotik tutucuların özelliklerini ve kullanım alanlarını inceleyerek üç parmaklı robotik tutucu tasarımını ve kontrolünü amaçlamaktadır. Tez, ileri robotik teknolojesinin gelecekteki uygulamalarını tartışarak, okuyuculara geniş bir perspektif sunmaktadır. Tez, robotik teknolojesine ilgi duyan herkes için faydalı olacak ve ileri robotik teknolojesinin işleyişini anlamak için bir fırsat sunacaktır.

Kusay DİB
ELAZIĞ, 2024

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLOLAR LİSTESİ	x
EKLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
2. ROBOTİK TARİHÇESİ	2
2.1. Esnek Robotlar	3
3. TUTUCU TASARIMI	4
3.1. Esnek Yapıda Kullanılan Malzeme	7
3.2. Parmak tasarım	8
3.3. Parmak Serbestlik Derecesi	9
3.3.1. Solidworks Bir Parmak Mekanizması Tasarımı	10
3.4. Solidworks Tutucu Montaj	11
3.5. Matlab Simscape ile Tutucu Oluşturması	13
3.5.1. Matlab Simulink Parmaklara Tel Eklenmesi	15
4. BAĞLANTI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	18
4.1. Çalışma Prensibi ve Akış Diyagramı	19
5. MOTOR KONTROLÜ	20
5.1. PID Kontrol	20
5.1.1. DC Motor PID Kontrol	21
5.2. Tutucu Kontrolü	22
5.3. Dc Motor PID Kontrol	31
5.4. Gerçek Zaman Kontrol	34
6. TUTUCU MONTAJI VE TEST EDİLMESİ.....	39
7. SONUÇLAR.....	43
ÖNERİLER	44
KAYNAKLAR.....	45
EKLER.....	47
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Üç Parmaklı Yarı Esnek Robotik Tutucunun Biyomekanik Tasarım ve Kontrolü

Kusay DİB

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz 2024, Sayfa: xii + 46

Bu tez çalışması, gelişmiş nesne uyarımlı ve kavrama güvenilirliğine sahip hassas esnek robotik tutucuların önemini ve kullanım alanlarını ele almaktadır. Bu tutucuların avantajlarını ve dezavantajlarını inceleyerek, daha gelişmiş tutucuların tasarımı için hipotezler öne sürmektir. Bu çalışmada örneklem olarak farklı boyutlarda ve şekillerde nesneler kullanılmıştır. Örneklem büyüklüğü, nesnelerin şekil ve boyut çeşitliliği dikkate alınarak belirlenmiştir.

Belirtilen amaçlar doğrultusunda robotik tutucu ucun üç parmaklı olacak şekilde tasarımı gerçekleştirilmiştir. İlk olarak her bir parmak tek eleman içerecek şekilde tasarım gerçekleştirilmiş ve daha sonra her bir parmaktaki eleman sayısı artırılarak tasarım güncellenmiştir. Teorik çalışmalarda tutucu ucun PID kontrolü için farklı amaç fonksiyonlarına yönelik optimizasyon işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonraki süreçte DC motor ve servo motor kullanılarak tutucu montajı gerçekleştirilmiştir. Parmakların hareketi içlerinden geçirilen tel vasıtasıyla sağlanmıştır. Telin salınımı motor kontrolü ile gerçekleştirilmiştir. Robot tutucu ucunun parçaları üç boyutlu yazıcı teknolojisi kullanılarak üretilmiştir.

Tezde, hassas esnek robotik tutucuların tasarımı için teorik ve uygulamalı bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Tutucuların nesneleri nasıl kavradığını ve nesnelerin şekil ve boyut çeşitliliği açısından tutucuların performansı değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tutucu, Robotik, Esnek Robotik, Endüstriyel Robot.

ABSTRACT

Biomechanical Design and Control of a Three-Finger Semi-Soft Robotic Gripper

Kusay DİB

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechatronics Engineering

July 2024, Pages: xii + 46

This thesis investigates the importance and applications of advanced soft robotic grippers with enhanced object adaptability and grasp reliability. The advantages and disadvantages of these grippers are examined, and hypotheses are proposed for the design of more advanced grippers. The study uses objects of different sizes and shapes as a sample. The sample size is determined by considering the diversity of the objects' shapes and sizes.

In line with the stated objectives, the robotic gripper tip was designed to have three fingers. Firstly, each finger was designed to contain a single element and then the design was updated by increasing the number of elements in each finger. In the theoretical studies, optimization procedures for different objective functions for PID control of the gripper were performed. In the next process, the gripper was assembled using DC motor and servo motor. The movement of the fingers is provided by the wire passed through them. The oscillation of the wire is revealed by motor control. The parts of the robot gripper were produced using three-dimensional printer technology.

Methodology A theoretical and experimental study was conducted for the design of advanced soft robotic grippers. The grippers' performance in grasping objects and the diversity of object shapes and sizes were evaluated.

Keywords: Gripper, Robotics, Soft Robotics, Industrial Robot.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Rossum'un Evrensel Robotlarında üç robot gösteren bir sahne [18].	2
Şekil 2.2. Çeşitli canlı sistemlerden esinlenerek hareket eden mobil esnek robot sistemleri [21].	3
Şekil 3.1. Esnek tutucu SolidWorks ilk tasarımı.	5
Şekil 3.2. Tutucu parmak tasarımı.	6
Şekil 3.3. Kullanılan Dökme kalıbın SolidWorks tasarımı.	7
Şekil 3.4. Smooth-on ecoflex 00-30 silicone.	8
Şekil 3.5. İnsan parmağını oluşturan kısımlar.	9
Şekil 3.6. Parmak diyagramı.	9
Şekil 3.7. Solidworks ortamında bir parmak mekanizması	10
Şekil 3.8. Solidworks ortamında tutucu montajı.	11
Şekil 3.9. Solidworks ortamında tutucu açık hali.	12
Şekil 3.10. Matlab Simscape ortamında tutucu oluşturulması.	13
Şekil 3.11. Matlab Simulink'te tek bir parmak tutucu ile bağlantısı.	13
Şekil 3.12. Matlab Simulink'te parmak bağlantısı.	14
Şekil 3.13. Matlab Simulink'te parmak bloqları.	14
Şekil 3.14. Matlab Simulink'te parmaklara basınç kuvvet sensörü eklenmesi.	15
Şekil 3.15. Matlab Simulink'te ip sarma makarasının servo motora eklenmesi.	15
Şekil 3.16. Matlab Simulink'te parmak kısımlarının arasındaki ip için izlenecek yolun tanınması.	16
Şekil 3.17. Matlab Simulink'te parmağın ucundaki ipin bitiş noktasının tanıtılması.	16
Şekil 3.18. Matlab Simulink'te tel eklendikten sonraki tutucu bloqları.	17
Şekil 3.19. Matlab simmechanics arayüzü.	17
Şekil 4.1. TinkerCad bağlantı şeması.	18
Şekil 4.2. Akış diyagramı.	19
Şekil 5.1. Servo motor PID kontrol.	20
Şekil 5.2. Zamana bağlı hata ve servo motor hareketi.	21
Şekil 5.3. DC motor devresi.	21
Şekil 5.4. DC motor modelinden elde edilen değerler.	22
Şekil 5.5. Simulink ortamında optimizasyon yazılımı servo motor PID kontrolüne uygulanması.	22
Şekil 5.6. ISTSE PSO grafiği.	23
Şekil 5.7. ISTSE PSO ile servo motorun hız değişimi.	23
Şekil 5.8. ITSE PSO grafiği.	24

Şekil 5.9. ITSE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.	25
Şekil 5.10. ITAE PSO grafiği.	26
Şekil 5.11. ITAE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.	27
Şekil 5.12. ISE PSO grafiği.	28
Şekil 5.13. ISE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.	28
Şekil 5.14. IAE PSO grafiği.	29
Şekil 5.15. IAE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.	30
Şekil 5.16. DC motor PSO grafiği.	31
Şekil 5.17. DC motorun yüksüz kontrol grafiği.	32
Şekil 5.18. Yüğü tutarken DC motor kontrol grafiği.	32
Şekil 5.19. Yüğü bırakırken DC motor kontrol grafiği.	33
Şekil 5.20. Yük tarafından ölçülen toplam kuvvet değişimi.	33
Şekil 5.21. Bir parmak tarafından yüke uygulanan kuvvet değişimi.	34
Şekil 5.22. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 1.	35
Şekil 5.23. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 2.	36
Şekil 5.24. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 3.	37
Şekil 5.25. DC motor gerçek zamanlı kontrol hız değişimi.	37
Şekil 5.26. Servo motor gerçek zamanlı kontrol hız değişimi.	38
Şekil 6.1. Tutucu montaj.	39
Şekil 6.2. Servo motor ve DC motor mekanizması.	40
Şekil 6.3. Tutucu test 1.	40
Şekil 6.4. Tutucu tutma testi 1.	41
Şekil 6.5. Tutucu tek parmak tutuma testi.	42

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. Ecoflex 00-30 teknik bilgileri.	8
Tablo 3.2. Serbestlik derecesinin hesaplanması	10
Tablo 4.1. Tek parmak için kullanılan malzemelerin listesi.	18
Tablo 5.1. PID kontrol parametreleri ve performans kriterleri.	20
Tablo 5.2. DC motor parametreleri.	21
Tablo 5.3. ISTSE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.....	24
Tablo 5.4. ITSE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.....	25
Tablo 5.5. ITAE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.	27
Tablo 5.6. ISE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.	29
Tablo 5.7. IAE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.	30

EKLER LİSTESİ

	Sayfa
Ek- 1: Matlab optimizasyon pso m-file	47
Ek- 2: Matlab pso yazılımında kullanılan değerlendir fonksiyon	48



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

F	: Mekanizmanın serbestlik derecesi
M_p	: Maksimum yüzde aşma
P	: Kayar mafsalsal
R	: Döner mafsalsal
T_r	: Yükselme zamanı
T_s	: Yerleşme zamanı
U	: Hata değeri
Λ	: Çalışılan uzayın serbestlik derecesi

Kısaltmalar

DC	: Doğru akım
PID	: Proportional integral derivative
PSO	: Parçacık sürü optimizasyonu

1. GİRİŞ

Robotik, sistemlerin insan benzeri işlevselliğini geliştirmeye odaklanmaktadır. Özellikle, üç parmaklı yarı esnek robot tutucuların tasarımı ve kontrolü, hassaslık ile ağır yük kaldırma yeteneklerini bir arada sunma konusunda karşılaşılan zorlukları ele almaktadır. Robotikteki bu problem, endüstriyel uygulamalardan sağlık hizmetlerine kadar birçok alanda potansiyel faydalar sunmaktadır.

Üç parmaklı yarı esnek robot tutucuların tasarımı ve kontrolü, insan eli biyomekanikleri ile benzerlik gösteren bir şekilde optimize edilmesi gerektiği hipotezine dayanmaktadır. Ayrıca, bu tutucuların esneklik ve güç dengesini koruyarak hem hassas manipülasyon hem de ağır yük kaldırma görevlerini başarıyla gerçekleştirebileceği varsayılmaktadır.

Esnek robotik giderek büyüyen bir bilimsel araştırma alanıdır, ancak kavramsal olarak geleneksel katı robotik ile bağdaşmayan özelliklere sahiptir. Genel olarak katı robotlar, birbirine bağlı katı bağlantılar, ağır parçalar, pahalı motorlar ve yüksek derecede kontrol gerektiren elektronik parçalar içerir. Bunun aksine, esnek robotlar büyük veya küçük boyutlarda farklı ortamlarda çalıştırılabilir, düşük ağırlığa sahiptir, düşük maliyetli ve kontrol düzeyi karmaşık değildir. İnsanların ve robotların dokunsal bir şekilde etkileşimde bulunmalarının amaçlandığı bağlamlarda esnek robotlar, insan-robot etkileşimlerini, hassas tıbbi tedavileri, üretim hatlarında hassas ürünlerin daha güvenilir otomatik olarak taşınmasını iyileştirebilir[1].

Esnek robot teknolojisindeki gelişme, çalıştırma ve kontrol etme kavramlarının gelişmesiyle sıkı sıkıya ilişkilidir. Aktüatörler, esnek robot teknolojisinde hareket oluşturan araçlardır. Bu hareket üreteçleri için ağırlık, basınç ve boyut, esnek robotiklerin performansını etkiler. Ayrıca sensörler ve konumları da esnek robotların kontrolünde önemli kriterlerdir [2].

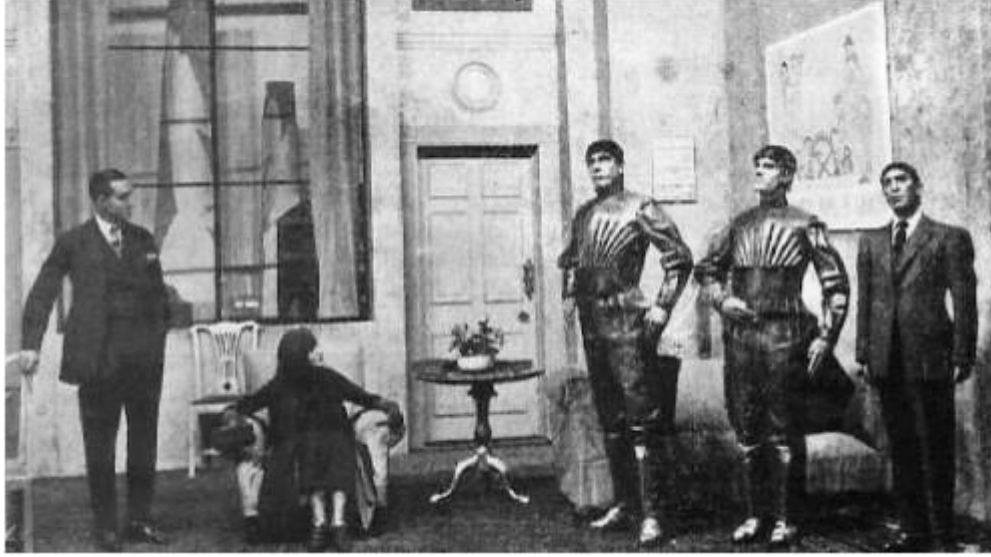
Esnek robotların aktüatörlerinin iki ana türü vardır; dışsal aktüatörler ve içsel aktüatörler. Bunlardan ilki, dışsa robot sisteminin ayrılmaz bir parçası olmayan bir aktüatör türüdür. İkincisi, içsel veya yerleşik sistem esnek robotik çalıştırma bileşenlerinin ayrılmaz bir parçası olan bir aktüatör tipidir. Dışsal eyleyiciler grubunda pnömatik [3], hidrolik [4], elektrik motoru tahrikli tendon kabloları [5], yanma tabanlı eyleyiciler grubun ana türleridir. Aktüatörler grubunda elektaktif polimerler [6] dielektrik elastomerler [7] hidrojeller [8] şekil hafızalı alaşımlar [9]. Manyetorelojik akışkanlar ve elastomerler [10], [11] grubun ana tipleridir. Dışsal aktüatörler genellikle büyük boyutlara sahiptir [12].

2. ROBOTİK TARİHÇESİ

“Robot” terimi, 1920 yılında başarılı bir şekilde oynanan Şekil 2.1’deki “Rossum’un Evrensel Robotlarında dikkat toplayan Çek yazar, romancı ve gazeteci Karl Capek tarafından kullanıldı [13]. Bugünlerde bu terim, bilim ve teknolojik alanlarında yaygın bir şekilde gündeme gelmektedir. Isaac Asimov’un, 1938 ile 1942 yılları arasında yayınladığı kısa öykülerinde robotik konusu işlemesi onun bu eserlerinin popüler olmasını sağlamıştır [14]. Asimov, robotların davranış biçimlerini üç kuralla belirtmiştir:

1. Bir robot, bir insanı yaralamamalı veya eylemsizlik yoluyla bir insanın zarar görmesine izin vermemelidir.
2. Bir robot, insanlar tarafından verilen emirlere uymak zorundadır, ancak bunu yapmak ilk kurala aykırıysa yapmamalıdır.
3. Bir robot, bu ilk veya ikinci kurala aykırı değilse, kendi varlığını korumalıdır.

Unimate’in 1961’de General Motors tarafından otomotiv endüstrisinde kullanılması, robotların kurgudan gerçeğe geçişine olanak sunmuştur ve günlük yaşamdaki kullanımları git gide artmıştır. Şu anda, derin deniz ve uzay keşfi, arama ve kurtarma operasyonları, askeri ve savunma endüstrisi, tıbbi ve eğitim sektörleri gibi çeşitli alanlarda uygulamalar bulunmaktadır [15].



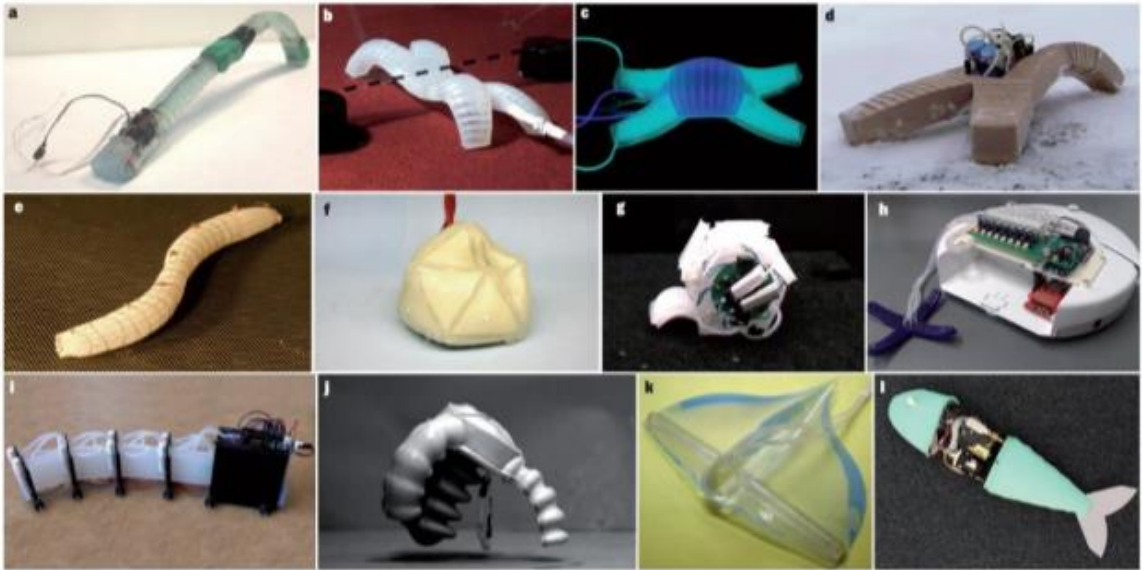
Şekil 2.1. Rossum’un Evrensel Robotlarında üç robot gösteren bir sahne [16].

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte, robotların hayatın her alanında kullanılması yaygın hale geldiği için, robotik vücutların tasarımı ve yapısı, yapacakları görevlere göre değişiklik gösterir. Bu yüzden, farklı görevleri yerine getirirken kullanım ve çaba düzeylerine bağlı olarak belirlenirler. Robotlar, kullanım alanlarına göre dört farklı kategoriye ayrılabilirler [17]:

- 1- Belirli görevler için ileri teknolojiye sahip özelleştirilmiş robotlar, genellikle karmaşık ortamlarla başa çıkmak için akıllı yeteneklerle donatılmıştır. Bu tür robotlar, uzay ve derin deniz keşifleri gibi zorlu görevlerde kullanılır.
- 2- Endüstriyel uygulamalar için yüksek hassasiyetli, güvenilir ve verimli robotlar tercih edilir.
- 3- Çocuklar için arkadaşça tasarlanmış oyuncak robotlar, eğlenceli etkileşim ve öğrenme deneyimleri sunar.
- 4- Eğitim ve ticari kullanımlar için ekonomik ve çekici robotlar, geniş bir kullanıcı kitlesi için erişilebilirlik sağlar.

2.1. Esnek Robotlar

Son on yılda, robotik sahada esnek robotlar adı altında yeni bir alan gelişmiştir. Robot mühendisleri hayvanların esnek davranış ve yapılarını örnek alarak belirli görevleri yerine getirmeleri için doğadan esinlenip robotlar geliştirmeye başlamışlardır. Şekil 2.2'deki hayvanların mekanik tasarımları, esnek materyaller gerektirir ve sinir sistemi ile entegre bir nöromekanik sistem oluşturmak için birlikte evrim geçirir. Bu esnek materyaller, yalnızca yapısal olmayan ortamlarla başa çıkmakla kalmaz, aynı zamanda şekillendirilebilirlik, yüksek uyum, esneklik ve stres etkisini azaltma gibi diğer önemli özellikler de sağlar. Ekolojik nişler, katılık veya katılaşmanın gelişimsel seyrini belirler [18]. Yüksek hız ve stres etkisi gerektirmeyen özel görevler için hayvanlar genellikle esnek vücutlar geliştirirler. Örneğin, ahtapotlar vücutlarını kas hareketleriyle sıkıştırabilir ve tırtıllar, konak bitkilere tutunabilmek adına esneklik geliştirirler.



Şekil 2.2. Çeşitli canlı sistemlerden esinlenerek hareket eden mobil esnek robot sistemleri [19].

3. TUTUCU TASARIMI

Elastomerik malzemelerden üretilmiş ve çeşitli nesneleri hassas bir şekilde tutabilen esnek robotik tutucular üzerine odaklanan makalelerde, bazı durumlarda tutucunun nesneyi doğru bir şekilde algılaması ve tutması zorlu olabilmektedir. Bu noktada, bir araştırma, hassas esnek bir tutucunun geliştirilmesi amacıyla kullanılabilecek çeşitli nesne algılama tekniklerini ve kavrama güvenilirliğini artırma yöntemlerini ele almaktadır. Bu çalışma, hassas esnek tutucuların daha güvenilir ve etkili bir şekilde kullanılmasına imkân tanıyacak teknolojileri içermektedir.

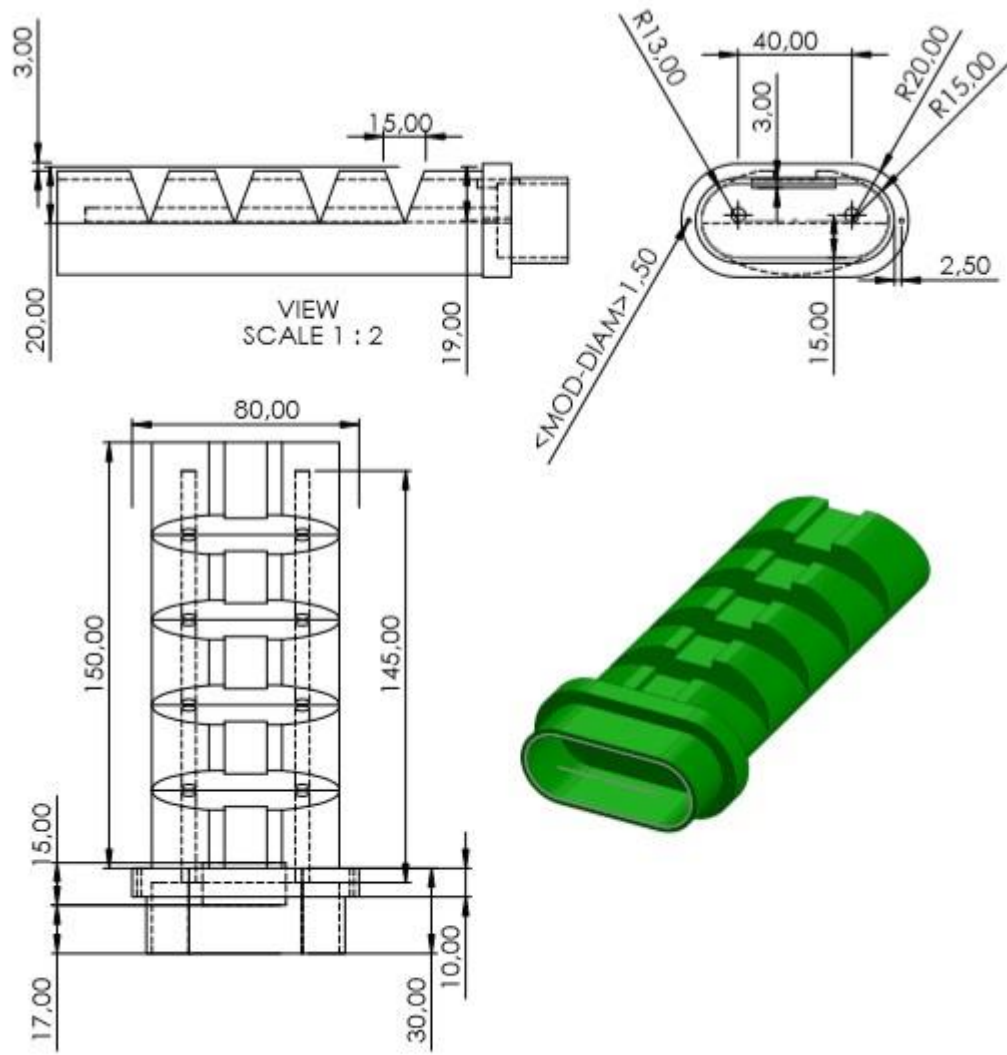
Literatürde, pratikte 100 kPa'nın altında çok düşük bir çalışma basıncında kendi ağırlığının 10 katı olan 40 N'luk bir kavrama kuvvetine ulaşabilen üç parmaklı bir yapı ve pasif avuç içi sisteminden oluşan esnek bir robotik kavrayıcı [3], parmaklarda tel kullanılan, parmakların çakışmadığı, bir tarafta iki parmak diğer tarafta tek parmak yapısının olduğu bir robotik kavrayıcı bulunmaktadır [4]. Ayrıca karşılıklı iki parmakla tasarlanan ve üretilen bir robotik kavrayıcı [5], pnömomatik odalar kullanılarak tasarlanan bir robotik kavrayıcı [6], parmak yapısının bir step motor tarafından hareket ettirildiği bir robotik kavrayıcı [7], bir kablo ile geliştirilen yumuşak bir robotik kavrayıcı [8], minimal invaziv cerrahi için geliştirilen robotik kavrayıcı [9], tanımlanamayan nesneleri kavramak için geliştirilen robotik kavrayıcı [10].

Bu çalışmada, üç parmaklı tek uzuvlu bir tasarıma sahip esnek robot tutucu geliştirilmiştir. Tasarlanan robot tutucusunun yapısında teller kullanılmış ve her bir parmakta bulunan tellerin yönlendirilmesi DC motorlar aracılığıyla sağlanmıştır. DC motorların hız kontrolü için PID kontrol yöntemi benimsenmiştir. PID kontrol yönteminin yapısındaki kazanç katsayılarının hesaplanmasında parçacık sürü optimizasyonu (PSO) kullanılmıştır. Beş farklı amaç fonksiyonu denenerek en iyi performansı sağlayan kazanç katsayıları elde edilerek motorların hız kontrolünün PID kontrol yöntemiyle en iyi şekilde yapılması sağlanmıştır.



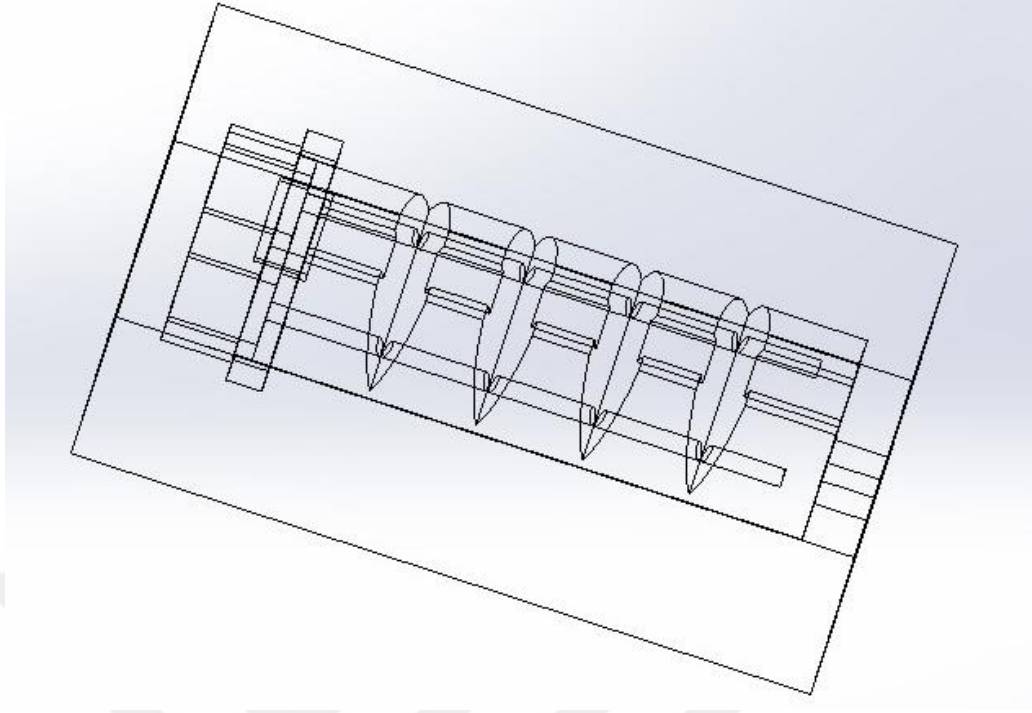
Şekil 3.1. Esnek tutucu SolidWorks ilk tasarım.

Şekil 3.1'de, farklı bir tasarıma sahip olan esnek robot tutucusunun tasarımı gösterilmektedir. Bu robot tutucusu, üç parmaklıdır ve parmakların iç kısmından teller geçmektedir. Parmakların esnek hareketi, alt kısımda bulunan DC motorların telleri çekmesiyle sağlanmaktadır.



Şekil 3.2. Tutucu parmak tasarımı.

Şekil 3.2'de robot tutucusunda kullanılan parmak yapısının detaylı ölçüleri verilmektedir. Tüm ölçüler mm cinsindendir. Tasarımdaki kesikli çizgiler, tellerin geçtiği yerleri temsil etmektedir.



Şekil 3.3. Kullanılan Dökme kalıbın SolidWorks tasarımı.

Şekil 3.3’te bir parmağın esnek yapısı üretiminde kullanılan döküm kalıbın SolidWorks programı ile tasarımı gösterilmektedir.

3.1. Esnek Yapıda Kullanılan Malzeme

Ecoflex™ kauçuklar, çok yönlü ve kullanımı kolay platin katalizli silikonlardır. Ağırlık veya hacim olarak 1A:1B oranında karıştırılır ve oda sıcaklığında göz ardı edilebilir bir çekme ile kürlenir. Düşük viskozite, kolay karıştırma ve hava alma sağlar, uygun dağıtım kartuşlar kullanarak karıştırmayı ve dağıtmayı tercih edilebilir. Kürlenmiş kauçuk son derece yumuşak, dayanıklı ve esnektir; yırtılmadan orijinal boyutunun birçok katı kadar esneyebilir ve bozulmadan orijinal formuna geri dönebilir. Ecoflex™ kauçuklar su beyazı yarı saydamdır ve çeşitli renk efektleri oluşturmak için Silc Pig™ pigmentleri ile renklendirilebilir. Viskoziteyi daha da düşürmek için Smooth-On Silikon Tiner™ eklenebilir. Ayrıca, THI-VEX™ silikon kalınlaştırıcıyı fırçayla uygulamalar için Ecoflex™ silikonlara ağırlıkça eklenebilir. Şekil 3.4'te bahsedilen Smooth-on ecoflex 00-30 silicone'a ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.4. Smooth-on ecoflex 00-30 silicone.

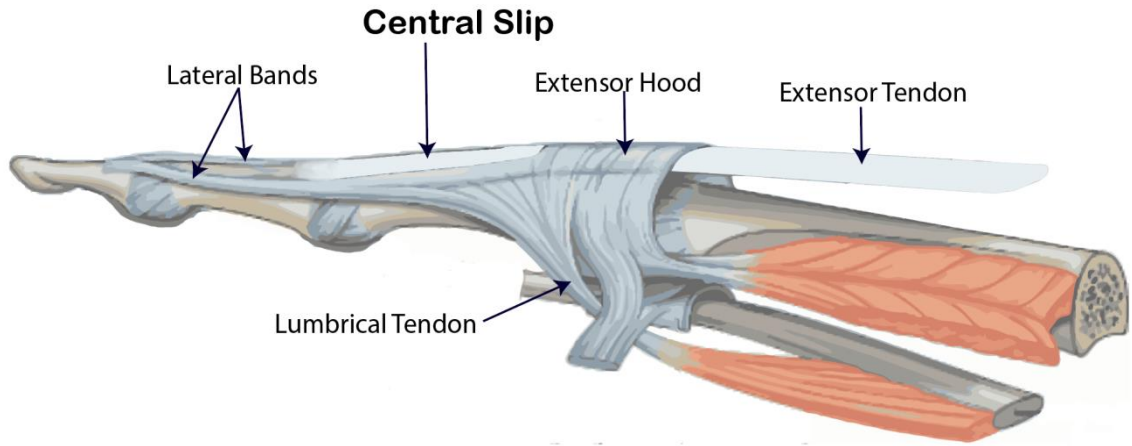
Şekil 3.4'teki gösterilen ürünün Tablo 3.1'de Ecoflex 00-30 teknik bilgileri yer almaktadır. Bu teknik bilgiler tablodanda görüleceği üzere karışık viskozite, özgül ağırlık, özgül hacim, kap ömrü, çekme dayanımı, kopma uzaması ve büzülme bilgilerini içermektedir.

Tablo 3.1. Ecoflex 00-30 teknik bilgileri.

Karışık	Özgül	Özgül	Kap Ömrü	Çekme	Kopma	Büzülme (in.
Viskozite	Ağırlık	Hacim (cu.	(ASTM D-	Dayanımı	Uzaması %	/in.) (ASTM
(ASTM	(g/cc)	in. /lb.)	2471)	(ASTM D-	(ASTM D-	D-2566)
D-2393)	(ASTM D-	(ASTM D-		412)	412)	
	1475)	1475)				
3000 cps	1.07	26.0	45 min.	200 psi	900 %	<.001 in. /in.

3.2. Parmak tasarım

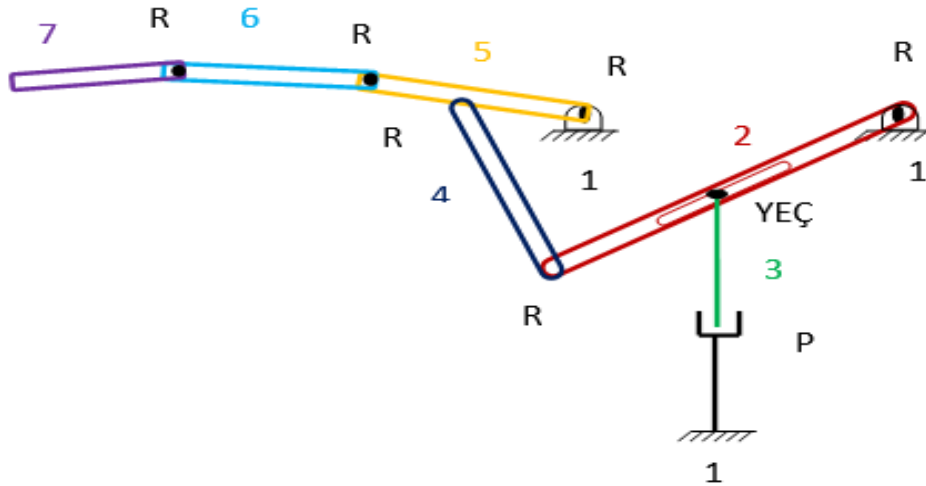
Tasarım, yayınlanan makalelerin çalışmalarındaki eksiklikleri göz önünde bulundurarak ve insan parmakların içyapısından ilham alınarak gerçekleştirilmiştir. İnsan parmağı üç kısımdan oluşur; bu kısımların ikisi birbirine bağlı bir şekilde diğer kısım ise bağımsız bir şekilde hareket etmektedir. Şekil 3.5'de insan parmağını oluşturan kısımlara ait detaylı bir gösterim yer almaktadır.



Şekil 3.5. İnsan parmağını oluşturan kısımlar.

3.3. Parmak Serbestlik Derecesi

Şekil 3.6’da gösterildiği gibi bir parmağın serbestlik derecesi 3 olarak hesaplanmıştır fakat parmağın üç Kısımından ikisi birbirine bağlı bir şekilde hareket ettiği için serbestlik derecesinden 1 çıkartılarak 2 olarak kabul edilmiştir.



Şekil 3.6. Parmak diyagramı.

Tablo 3.2’de bir parmağa ait serbestlik derecesi hesabı yapılırken dikkate alınan eleman çiftlerinin ve serbestlik derecelerinin karşılıkları verilmiştir.

Tablo 3.2. Serbestlik derecesinin hesaplanması

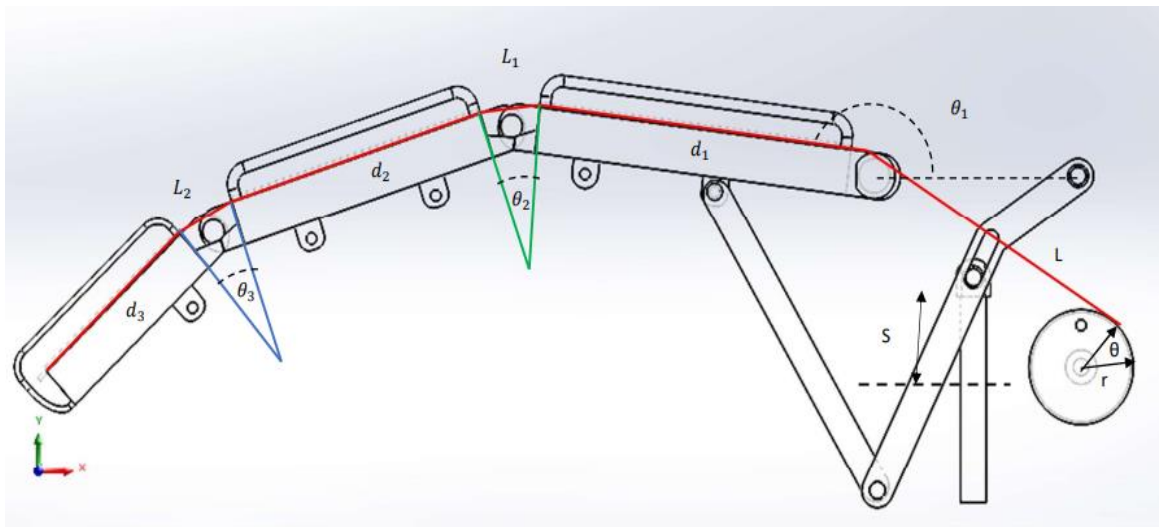
Kinematik çift	Tipi	S.D.
1-2	R	1 e ₁
2-3	YEÇ	2 e ₂
3-1	P	1 e ₁
2-4	R	1 e ₁
4-5	R	1 e ₁
5-1	R	1 e ₁
5-6	R	1 e ₁
6-7	R	1 e ₁

Denklem 2.1’de ise e₁ ve e₂ (yüksek eleman çifti) eleman çifti sayısı, l mafsals sayısı ve λ (uzayda hareket olduğu için 6 ya eşittir) dikkate alınarak kullanılacak olan serbestlik derecesi formülüne yer verilmiştir.

$$F = \lambda \cdot (l - 1) - 2 \cdot e_1 - e_2 \quad (2.1)$$

3.3.1. Solidworks Bir Parmak Mekanizması Tasarımı

Parmak mekanizması biri servo motor diğeri DC motor olmak üzere iki motor tarafından tahrik edilecek şekilde tasarlanmıştır. Mekanizma hassas harekete sahip olup motorlara fazla yük vermeden yüksek yükler taşıyabilmektedir. Şekil 3.7’de bir parmak mekanizmasına ait Solidworks çizimi görülmektedir.



Şekil 3.7. Solidworks ortamında bir parmak mekanizması

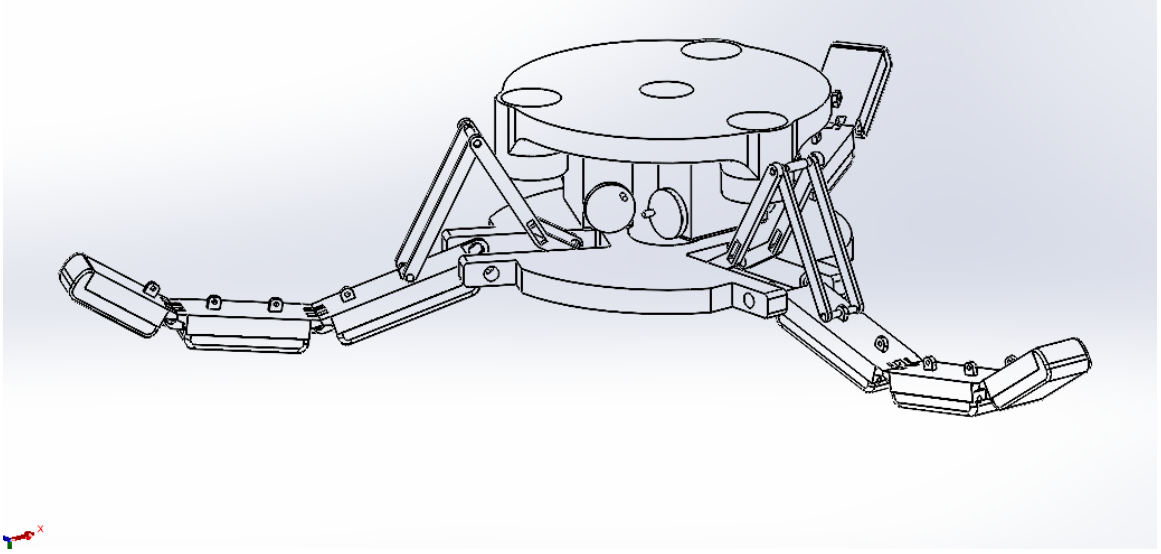
3.4. Solidworks Tutucu Montaj

Tutucu tasarımı ve montajı aşamasında Solidworks programı kullanılmıştır. Tutucu üç parmakten oluşmuş olup her parmak üç kısımdan oluşur. Parmaklara esneklik kazandırılması için parmaklar hem katı yapıya sahip hem de silikon kaplamalı olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.8’de tasarımı yapılan ve montajı bitirilmiş robotik tutucu görülmektedir.



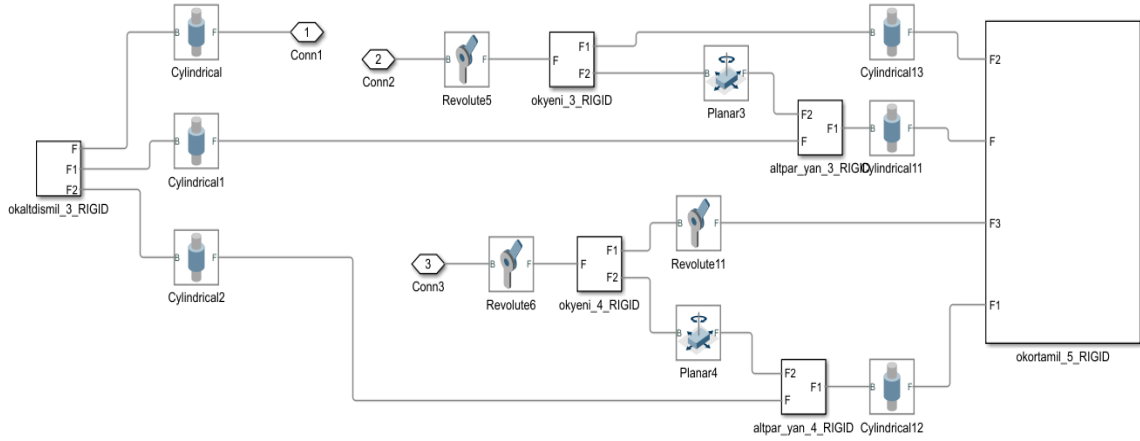
Şekil 3.8. Solidworks ortamında tutucu montajı.

Tasarımı gerçekleştirilen robotik tutucunun açık montajlı hali Şekil 3.9 da verilmiştir. Açık montajlı robotik tutucunun görselinden her bir parmağa ait üç eleman ve elemanların hareketini sağlayacak telin geçeceği bağlantı yerleri detaylı görülmektedir.

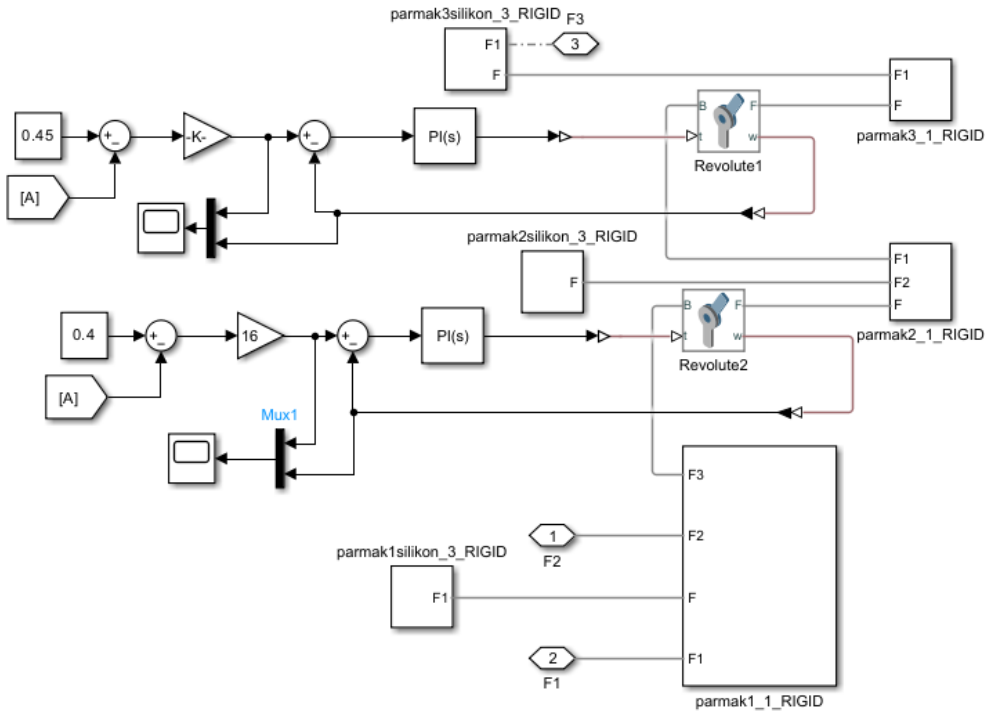


Şekil 3.9. Solidworks ortamında tutucu açık hali.

Şekil 3.12’de Matlab Simulink ortamında tek bir parmak bağlantısının oluşturulurken kullanılan bağlantı blokları gösterilmiştir. Şekil 3.13 ise parmak bağlantılarının bir araya getirilmiş haline ait tutucu ucun tek bir uzvunun blok diyagramlarını göstermektedir.

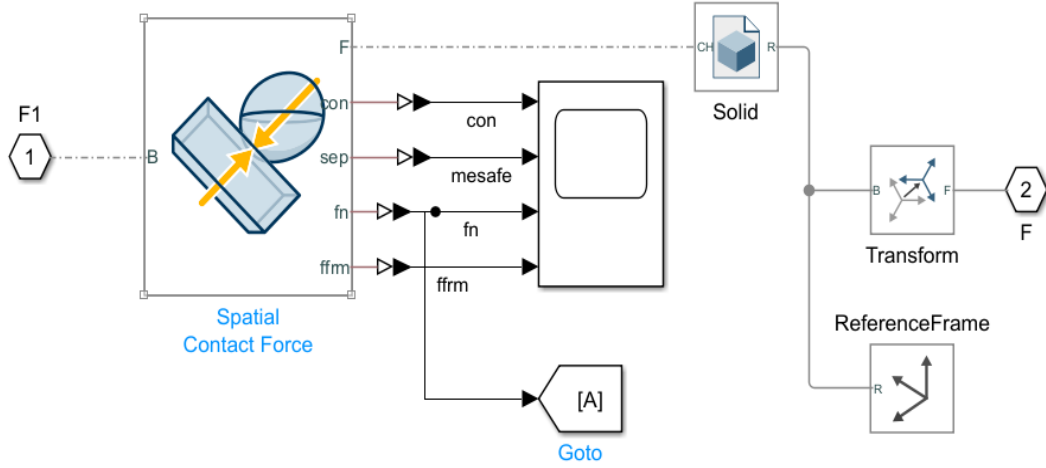


Şekil 3.12. Matlab Simulink’te parmak bağlantısı.



Şekil 3.13. Matlab Simulink’te parmak blogları.

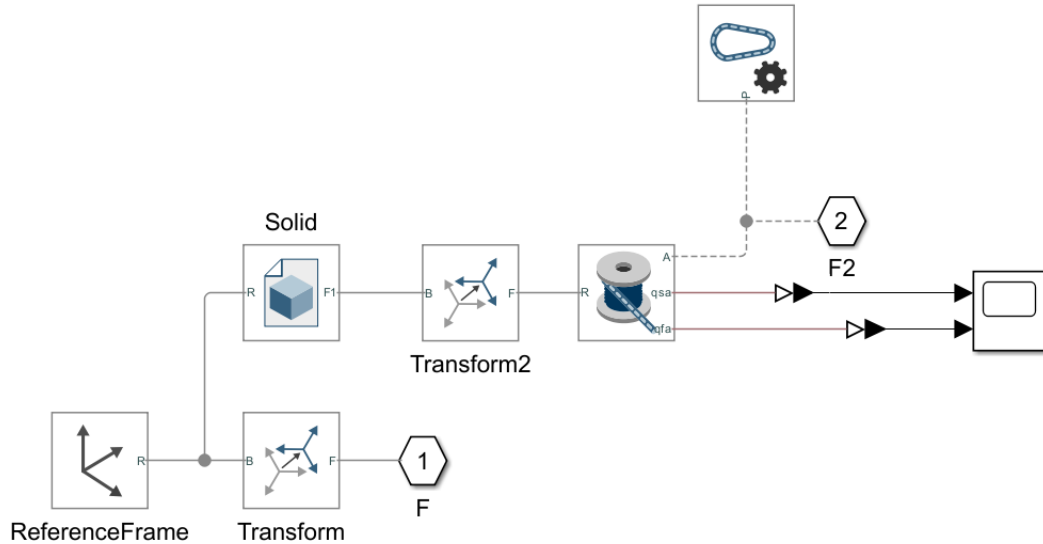
Şekil 3.14 robotik tutucu ucun parmaklarına Matlab/Simulink ortamında basınç kuvvet sensörünün eklenme aşama ve bloklarını sergilemektedir.



Şekil 3.14. Matlab Simulink'te parmaklara basınç kuvvet sensörü eklenmesi.

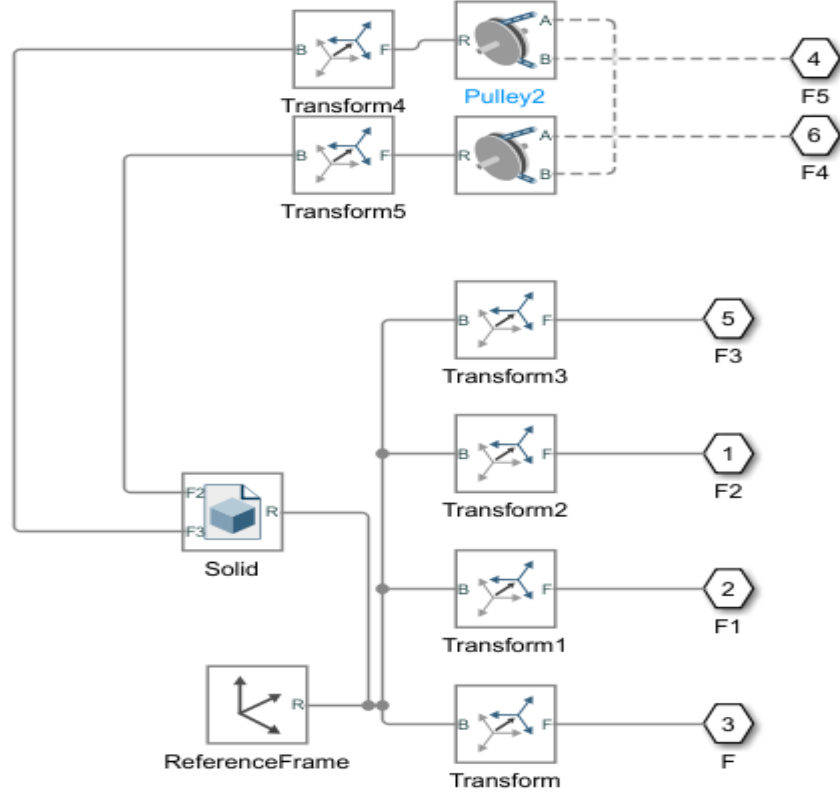
3.5.1. Matlab Simulink Parmaklara Tel Eklenmesi

Matlab Simulink ortamında tutucuya Simscape'teki belt eklentisi yardımı ile parmağın hareketinde yardımcı olacak olan teller eklenmiştir. Bahsedilen bu aşama Şekil 3.15'te detaylı olarak gösterilmiştir

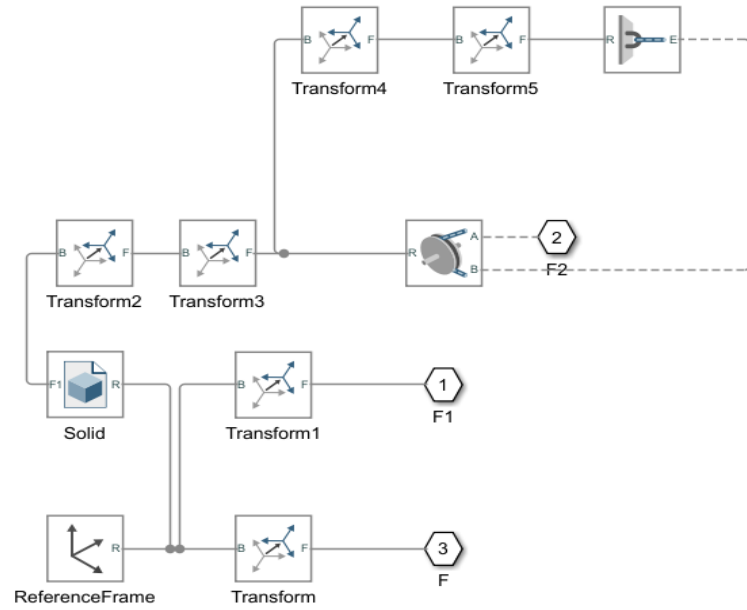


Şekil 3.15. Matlab Simulink'te ip sarma makarasının servo motora eklenmesi.

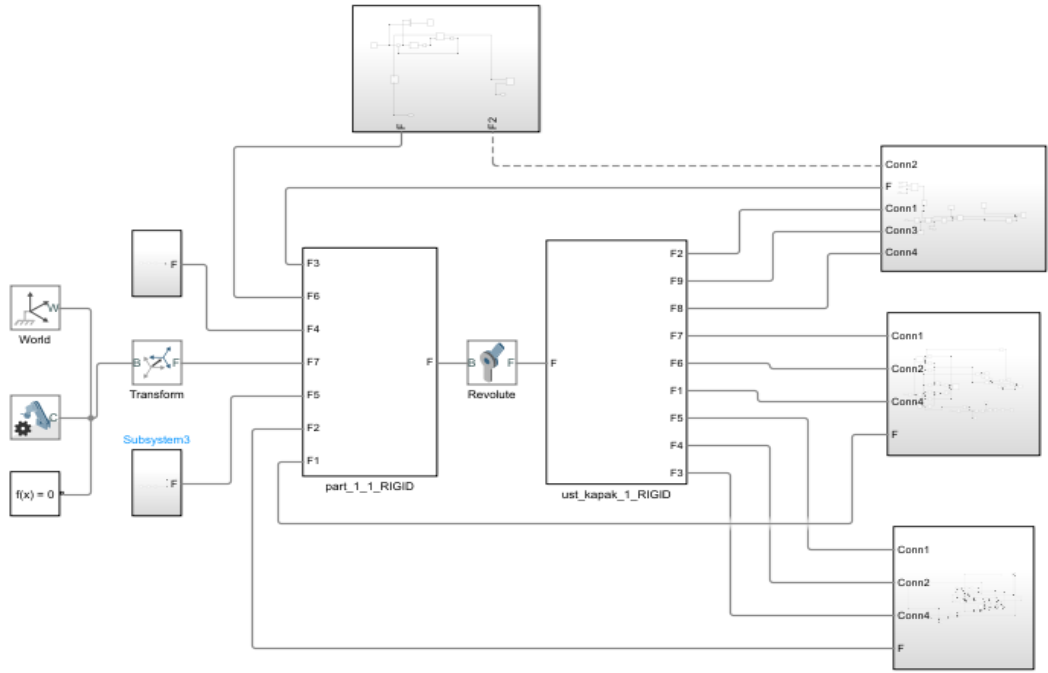
Şekil 3.16’da ise parmak kısımlarının arasındaki ip için izlenecek yolun tanımlamasının nasıl yapıldığı verilmiştir. Benzer şekilde Şekil 3.17 ise parmağın ucundaki ipin bitiş noktasının tanıtılmasını içermektedir.



Şekil 3.16. Matlab Simulink’te parmak kısımlarının arasındaki ip için izlenecek yolun tanınması.

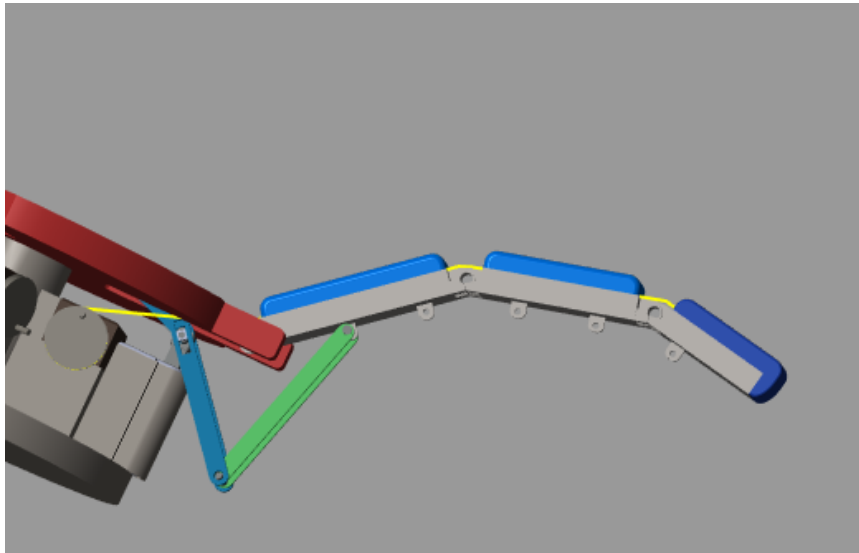


Şekil 3.17. Matlab Simulink’te parmağın ucundaki ipin bitiş noktasının tanıtılması.



Şekil 3.18. Matlab Simulink'te tel eklendikten sonraki tutucu blokları.

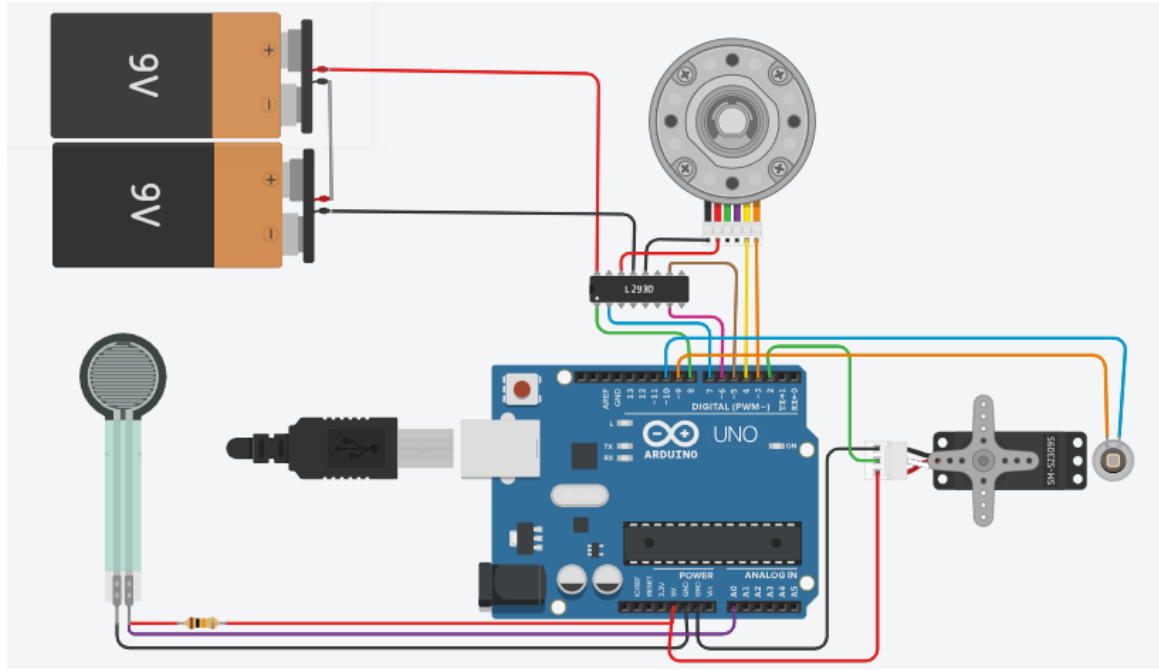
Şekil 3.18'de parmakların yapısına tel eklendikten sonra robot tutucu ucuna ait blok diyagramlarının gösterimi sunulmaktadır. Tel eklendikten sonra robot tutucu ucu çalıştırıldığında bir parmağa ait Matlab Simmechanics arayüzü Şekil 3.19'da ortaya konmuştur.



Şekil 3.19. Matlab simmechanics arayüzü.

4. BAĞLANTI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Tinker Cad programını kullanarak bir parmağa ait motorların ve sensörlerin Arduino ile bağlantısı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Tek parmak için kullanılan malzemelerin listesi Tablo 4.1'da açıklanmıştır.



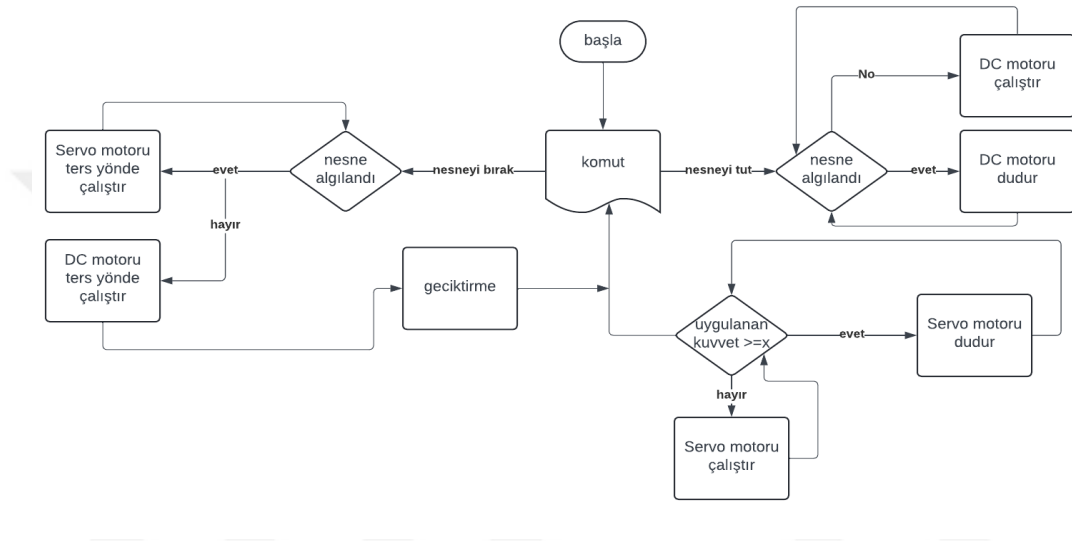
Şekil 4.1. TinkerCad bağlantı şeması.

Tablo 4.1. Tek parmak için kullanılan malzemelerin listesi.

Malzeme türü	Adet
Arduino mega 2560	1
Esnek basınç sensörü	1
Enkoderli DC motor	1
BTS7960B motor sürücü	1
Enkoder	1
10 kΩ direnç	1

4.1. Çalışma Prensibi ve Akış Diyagramı

Tutucuya tut komutu verildikten sonra motorlar sabit hızla harekete geçer, basınç sensöründen ilk sinyal geldiğinde DC motor durur, servo motor ise nesneye belirtilen uygun basınç seviyesine ulaşılan kadar harekete devam eder. Bu çalışma mantığını görsel olarak ifade eden akış şeması Şekil 4.2’de verilmiştir.

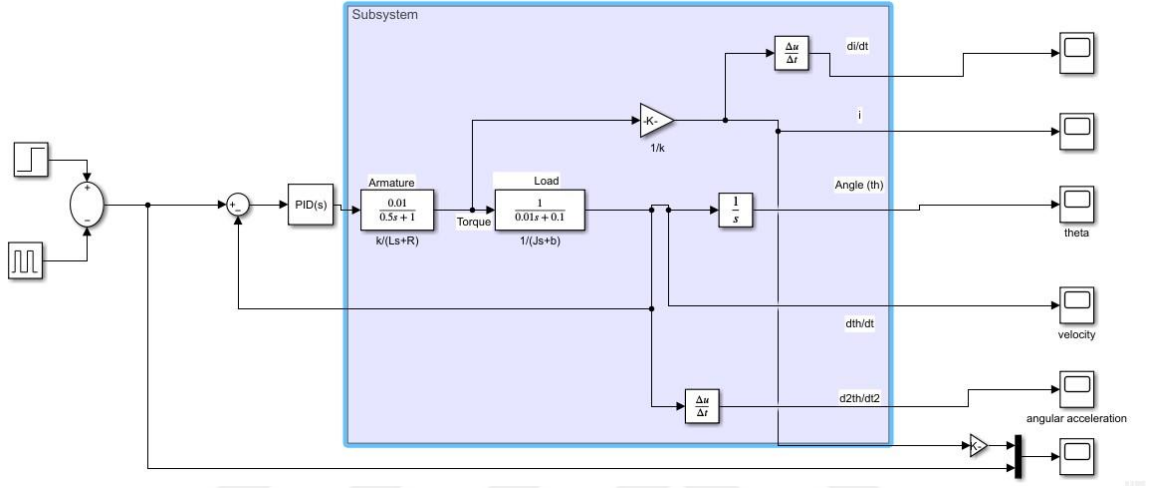


Şekil 4.2. Akış diyagramı.

5. MOTOR KONTROLÜ

5.1. PID Kontrol

Matlab Simulink ortamında gerçekleştirilen PID kontrol sistemi servo motoru $E(s)$ değerine göre kontrol etmektedir. Referans değeri belirtilen basınç değeri ile basınç sensöründen okunan değeri arasındaki farktan oluşmaktadır.



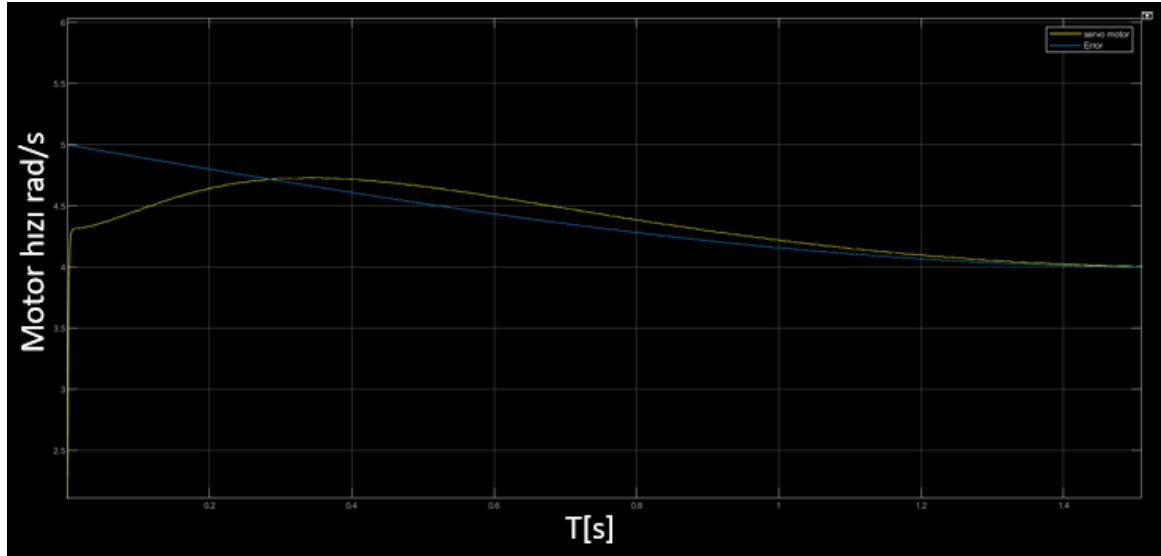
Şekil 5.1. Servo motor PID kontrol.

Şekil 5.1’de servo motor PID kontrolüne ait bloklar Matlab Simulink’te gösterilmiştir. Tablo 5.1 ise servo motorun PID kontrol parametrelerine ait değerlerin neler olduğunu detaylıca sunmaktadır.

Tablo 5.1. PID kontrol parametreleri ve performans kriterleri.

P	I	D	N	t_r	t_s	$\%M_p$
46.2641	97.8607	4.2164	886.6499	0.265 s	0.882 s	2.28

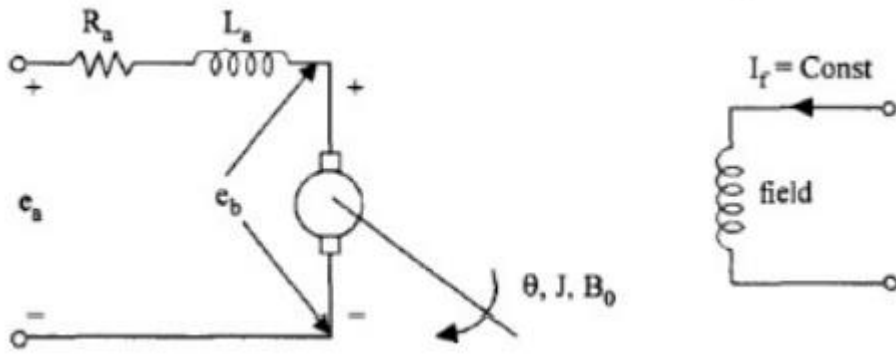
Şekil 5.2 servo motorun zamana bağlı olarak hareketini ve hata değişimini Göstermektedir.



Şekil 5.2. Zamana bağlı hata ve servo motor hareketi.

5.1.1. DC Motor PID Kontrol

Şekil 5.3'te görüldüğü gibi sistemi kontrol etmek için aşağıdaki DC motor modeli kullanılmıştır.



Şekil 5.3. DC motor devresi.

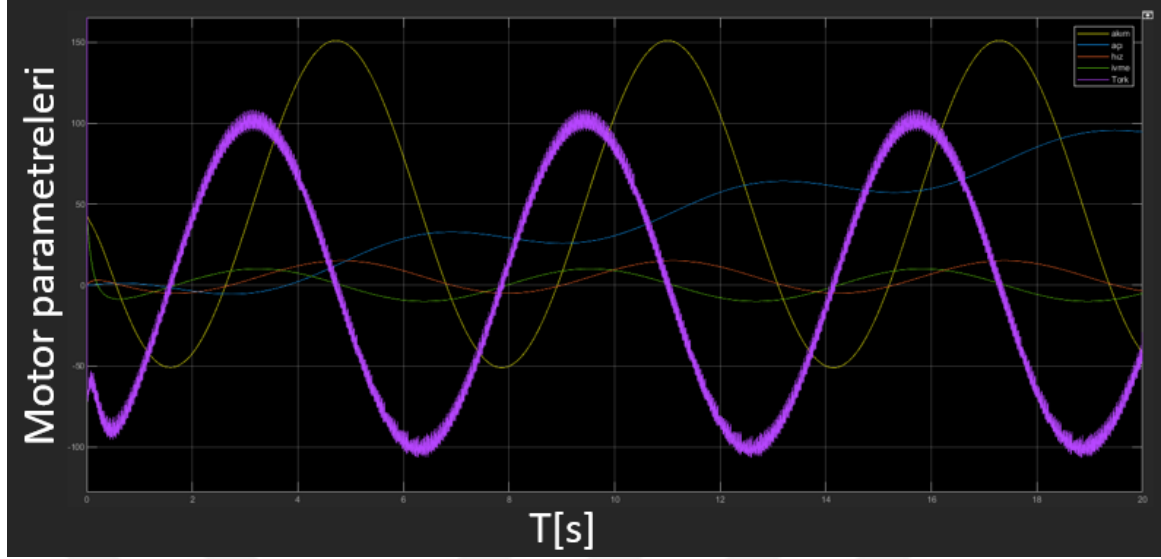
$$\frac{W(s)}{E(s)} = \frac{K_T}{[R_a + s \cdot L_a] \cdot [J \cdot s + B] \cdot [K_T \cdot K_b]} \quad (5.1)$$

Tablo 5.2'de denklem 5.1'de gösterilen parametrelerin değerlerinin sayısal ifadeleri ve birimlerine yer verilmiştir.

Tablo 5.2. DC motor parametreleri.

R_a	L_a	J	B	K_T
1 ohm	0.5 mH	0.01 Kg.cm ²	0.1	0.01 N.m/A

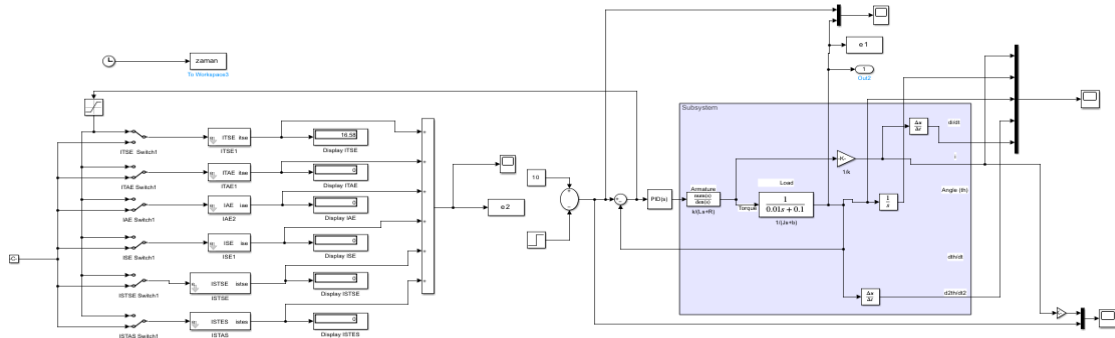
DC motordan elde edilen değerler ise Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. DC motor modelinden elde edilen değerler.

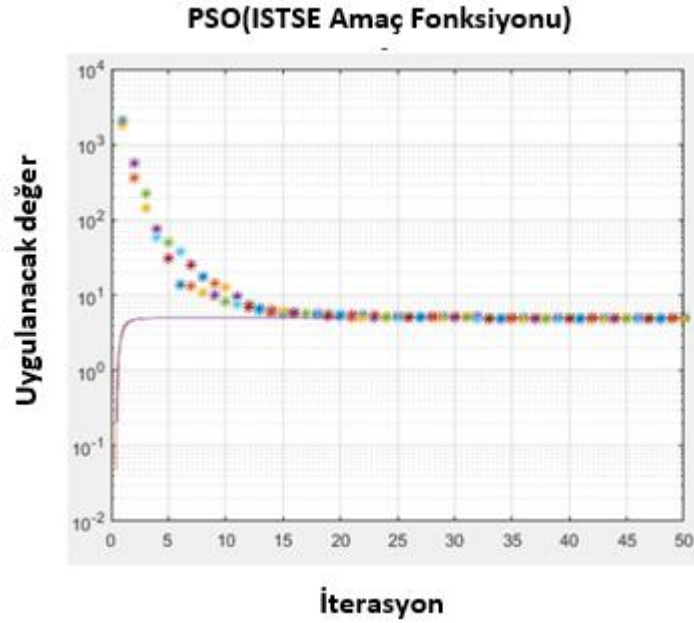
5.2. Tutucu Kontrolü

Tutucu mekanizması oldukça hassasiyet gerektiren bir çalışma olduğundan kullanılacak kontrolün türü buna göre seçilmiştir. Pid kontrol sonuçları oldukça iyi bir kontrol olmasına rağmen, PID kontrol için gereken parametreleri belirlerken çok hassas bir hesaplama yapmak gerekir. Yapılan araştırma ve çalışmalara göre optimizasyon yöntemleri bu amaç için kullanılmaktadır. PSO yöntemi matlab ortamında gerçekleştirdikten sonra elde edilen PID'nin parametreleri hem matlab Simulink ortamında hem gerçek zamanlı Pid kontrolü için kullanılmıştır. DC motoru en iyi şekilde kontrol etmek için; PSO yöntemi ile PID kontrol kazanç katsayılarının optimum değerini bulmak için beş ayrı amaç fonksiyonu ile çalışılmıştır. Bu amaç fonksiyonlarının blok diyagramları Şekil 5.5'de Matlab/Simulink ortamında oluşturulan benzetim modelinde görülmektedir.



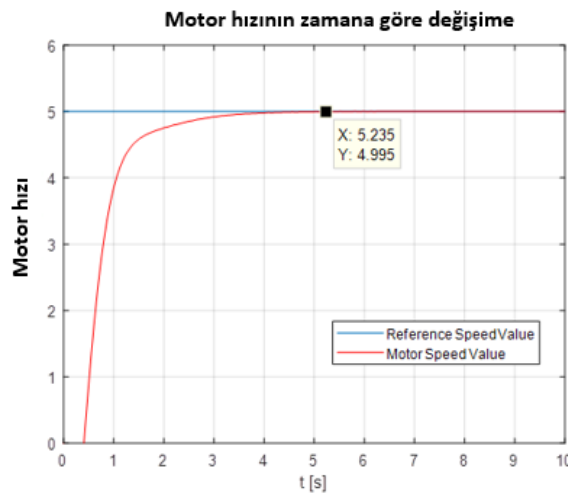
Şekil 5.5. Simulink ortamında optimizasyon yazılımı servo motor PID kontrolüne uygulanması.

Bu çalışmada hata fonksiyonların dört çeşidini kullanarak en iyi sonuca sahip olan İSTSE hata fonksiyonu denklem (4-1) diğer motorlar için parametreleri elde etmek içinde kullanılmıştır. PID kontrol katsayıları, PSO kullanılarak 50 iterasyon sonunda ISTSE amaç fonksiyonuyla optimize edildi. Bu süreç sonucunda elde edilen performans değeri 4.876805969476571 olarak belirlendi. Şekil 5.6'da PSO'nun ISTSE amaç fonksiyonuyla gerçekleştirilen optimizasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 5.6. ISTSE PSO grafiği.

Motorun hız kontrolü gerçekleştirildiğinde zamana göre motorun hızını veren grafik Şekil 5.7'de verildiği gibi elde edilir. Grafik incelendiğinde 5.235 saniye sonra motorun istenilen hız değerine 0.005 rad/s hatayla ulaştığı görülmektedir.



Şekil 5.7. ISTSE PSO ile servo motorun hız değişimi.

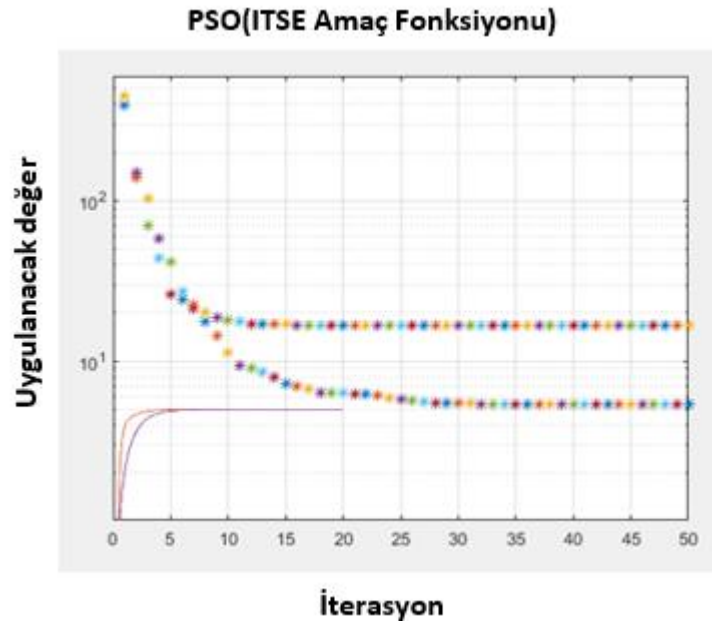
Tablo 5.3. ISTSE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.

Parametre	Değeri
T_r	0.9474 s
T_s	2.9519 s
M_p	0
K_p	1.083175042269747
K_i	9.096427827835454
K_d	-2.332473877749748

Tablo 5.3’de görüldüğü üzere PID kazanç katsayıları sırasıyla $K_p=1.083175042269747$, $K_i=9.096427827835454$ ve $K_d=-2.332473877749748$ olarak hesaplanmıştır. ISTSE amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi Denklem 5.2’de verilmiştir.

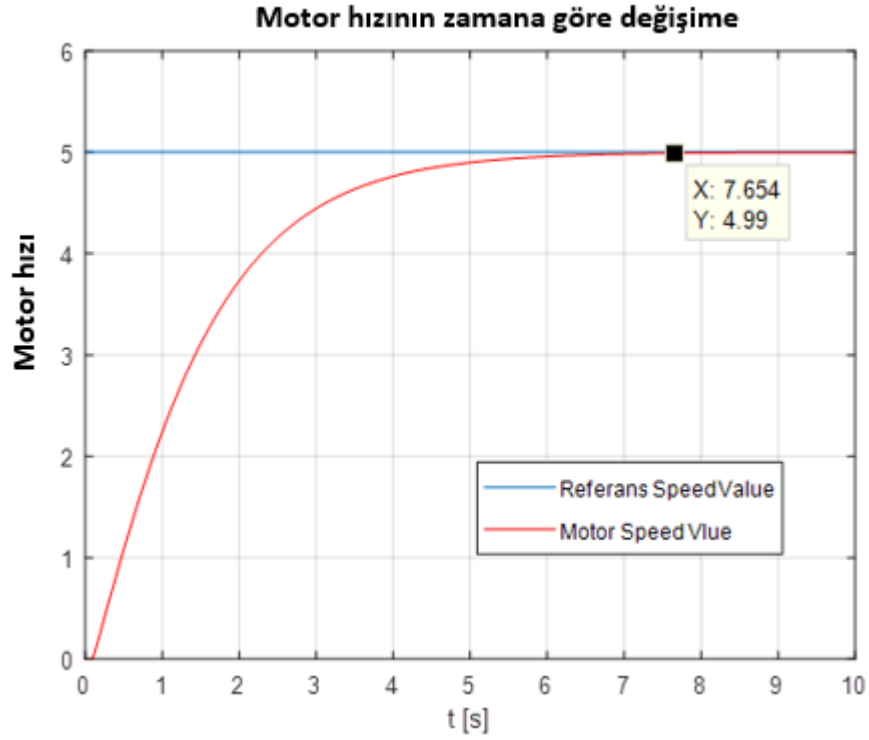
$$ISTSE = u^2 \cdot t^2 \cdot \frac{1}{s} \quad (5-2)$$

Şekil 5.8’deki PSO ile ITSE amaç fonksiyonu kullanılarak PID kontrol katsayıları 50 iterasyon sonunda elde edilmiştir. Sonuç olarak performans değeri 16.577432176709010 olarak bulunmuştur. Aşağıda PSO kullanılarak ITSE amaç fonksiyonu ile elde edilen optimizasyon grafiği sunulmuştur.



Şekil 5.8. ITSE PSO grafiği.

DC motorun hız kontrolü gerçekleştirildiğinde zamana göre motorun hızını veren grafik Şekil 5.9’da verildiği gibi elde edilir. Grafik incelendiğinde 7.654 saniye sonra motorun istenilen hız değerine 0.01 rad/s hatayla ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.9. ITSE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.

Tablo 5.4 PSO ile ITSE amaç fonksiyonu kullanıldığında elde edilen parametreleri göstermektedir.

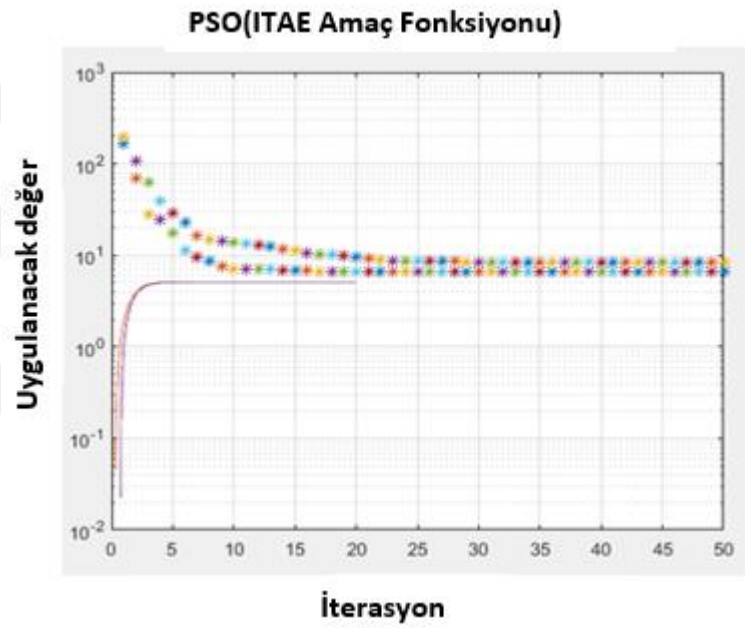
Tablo 5.4. ITSE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.

Parametre	Değeri
T_r	0.3243 s
T_s	NAN s
M_p	399.9997
K_p	1.930797076179335
K_i	6.328557534074116
K_d	-0.235721471990887

ITSE amaç fonksiyonu zaman ağırlıklı hata karelerinin toplamını ifade etmektedir. ITSE amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi denklem 5.3'de verilmiştir.

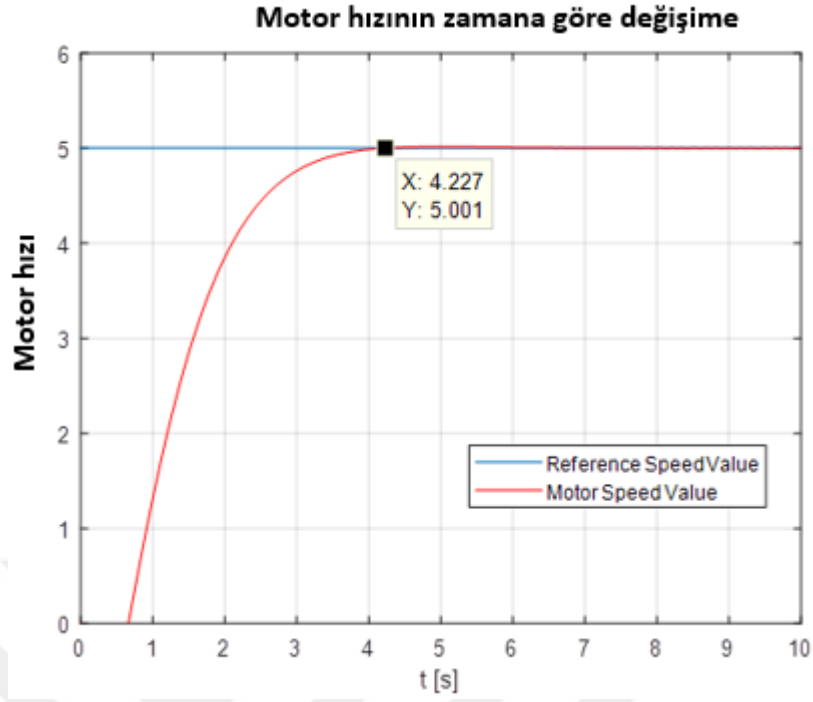
$$ITSE = u^2 \cdot t \cdot \frac{1}{s} \quad (5-3)$$

PID kontrol katsayıları, PSO kullanılarak 50 iterasyon sonunda ITAE amaç fonksiyonuyla optimize edildi. Bu süreç sonucunda elde edilen performans değeri 8.452464896087200 olarak belirlendi. Şekil 5.10'da PSO'nun ITAE amaç fonksiyonuyla gerçekleştirilen optimizasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 5.10. ITAE PSO grafiği.

DC motor hız kontrolü gerçekleştirildiğinde, zamanla değişen motor hızını gösteren Şekil 5.11'deki grafik elde edildi. Grafik incelendiğinde, motorun istenilen hız değerine 4.227 saniye sonra çok küçük bir hata olan 0.01 rad/s ile ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.11. ITAE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.

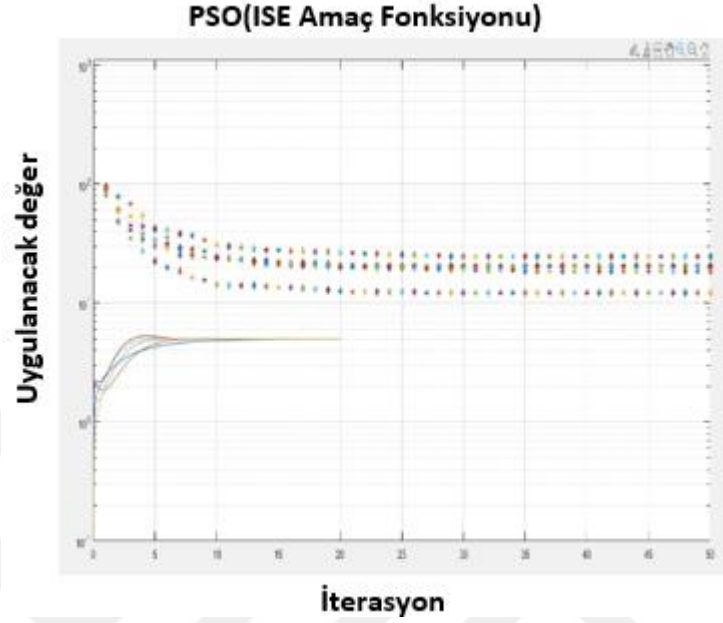
Tablo 5.5 ITAE amaç fonksiyonu kullanıldığında PSO nun bulduğu katsayıların değerlerini göstermektedir. Ayrıca hesaplamalarda kullanılan ITAE amaç fonksiyonu denklem 5.4’ de gösterilmektedir.

Tablo 5.5. ITAE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.

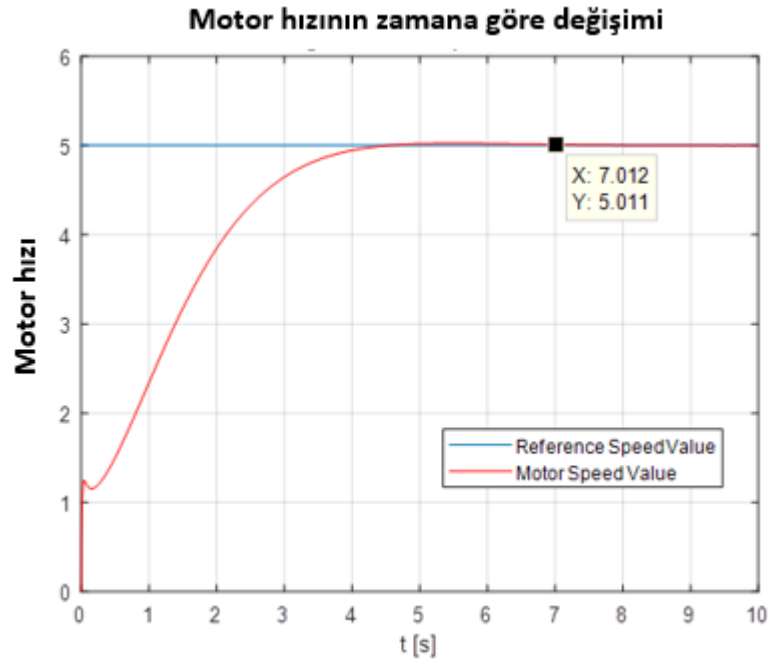
Parametre	Değeri
T_r	1.7895 s
T_s	3.5281 s
M_p	0.3011
K_p	-1.536965565689375
K_i	5.602065869875116
K_d	-1.594452328966901

$$ITAE = |u|.t.\frac{1}{s} \quad (5-4)$$

PID kontrol katsayıları, PSO kullanılarak 50 iterasyon sonunda ISE amaç fonksiyonuyla optimize edildi. Bu süreç sonucunda elde edilen performans değeri 18.473181606955760 olarak belirlendi. Şekil 5.12’de PSO’nun ISE amaç fonksiyonuyla gerçekleştirilen optimizasyon grafiği verilmiştir.



Şekil 5.12. ISE PSO grafiği.



Şekil 5.13. ISE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.

DC motorun hız kontrolü gerçekleştirildiğinde zamana göre motorun hızını veren grafik Şekil 5.13’de verildiği gibi elde edilir. Grafik incelendiğinde 7.012 saniye sonra motorun istenilen hız

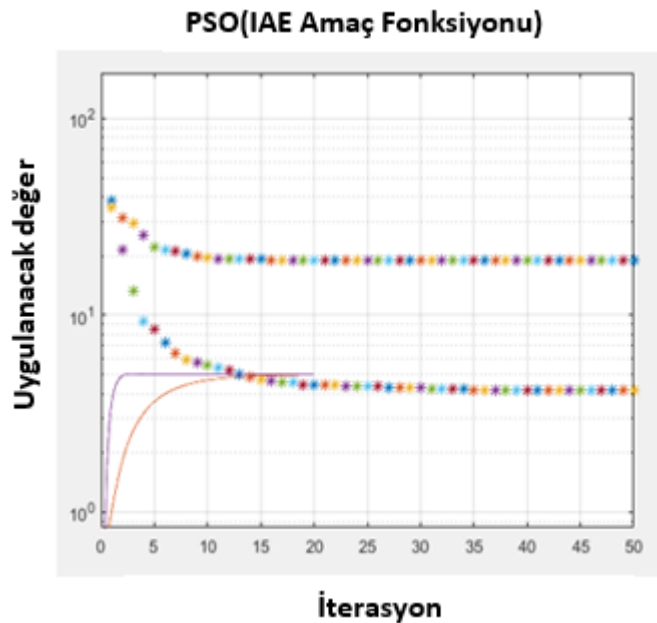
değerine 0.011 rad/s hatayla ulaştığı görülmektedir. Tablo 5.6 ise ISE amaç fonksiyonu uygulandıktan sonra PSO'nun hesapladığı katsayılara ait değerleri içermektedir. Denklem 5.5'de kullanılan ISE amaç fonksiyonunun denkleminde yer verilmiştir.

Tablo 5.6. ISE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.

Parametre	Değeri
T_r	2.7838 s
T_s	3.8540 s
M_p	0.4578
K_p	2.444950921452875
K_i	7.564001933890495
K_d	1.314806661865235

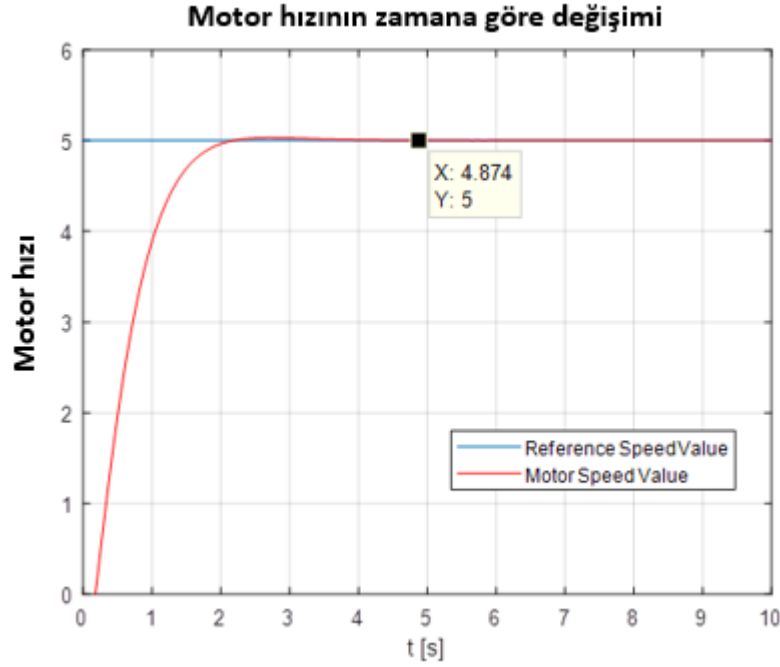
$$ISE = u^2 \cdot \frac{1}{s} \quad (5-5)$$

Şekil 5.14'teki PSO ile IAE amaç fonksiyonu kullanılarak PID kontrol katsayıları 50 iterasyon sonunda elde edilmiştir. Sonuç olarak performans değeri 4.170398885812407 olarak bulunmuştur. Aşağıda PSO kullanılarak ITAE amaç fonksiyonu ile elde edilen optimizasyon grafiği sunulmuştur.



Şekil 5.14. IAE PSO grafiği.

DC motor hız kontrolü gerçekleştirildiğinde, zamanla değişen motor hızını gösteren Şekil 5.15'deki grafik elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde, motorun istenilen hız değerine 4.874 saniye sonra 0 rad/s hatayla ulaştığı gözlemlenmektedir.



Şekil 5.15. IAE PSO ile servo motorun kontrol grafiği.

Tablo 5.7 ise ISE amaç fonksiyonu uygulandıktan sonra PSO'nun hesapladığı katsayılar a ait değerleri içermektedir.

Tablo 5.7. IAE PSO ile PID kontrolün parametreleri ve sonuç grafiğine ait bilgileri.

Parametre	Değeri
T_r	1.0950 s
T_s	1.9320 s
M_p	0.6039
K_p	3.294302430836764
K_i	12.222782529523670
K_d	-0.918755771346210

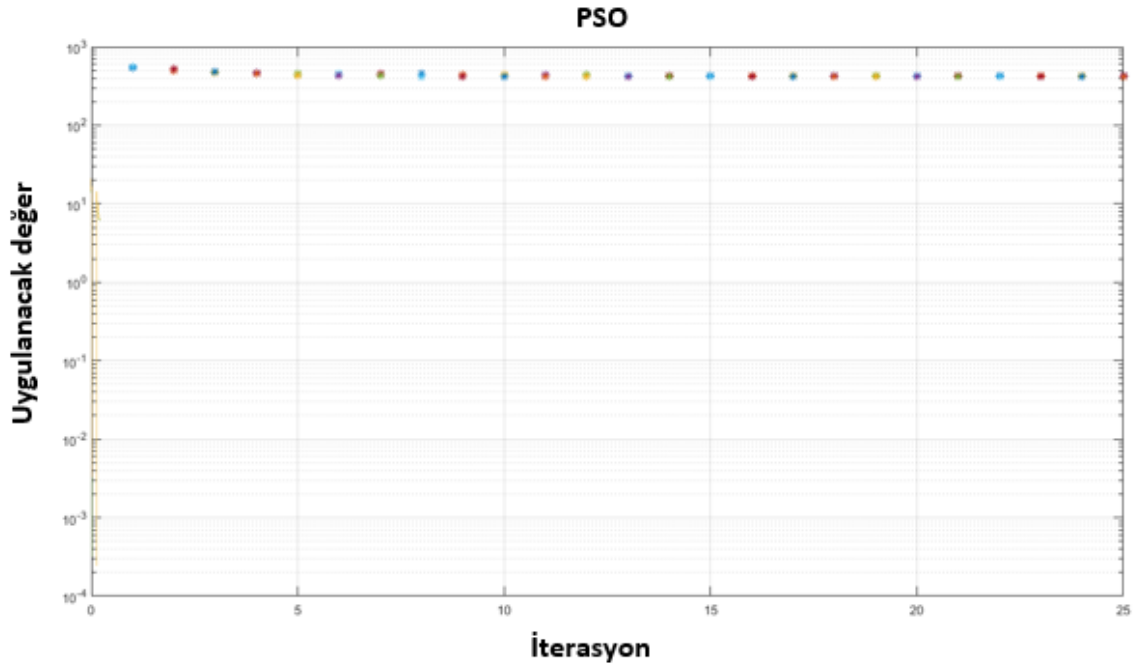
IAE amaç fonksiyonu, mutlak hataların toplamını temsil etmektedir. Aşağıda IAE amaç fonksiyonunun matematiksel ifadesi Denklem 5.6'da verilmiştir.

$$IAE = |u| \cdot \frac{1}{s}$$

5-6)

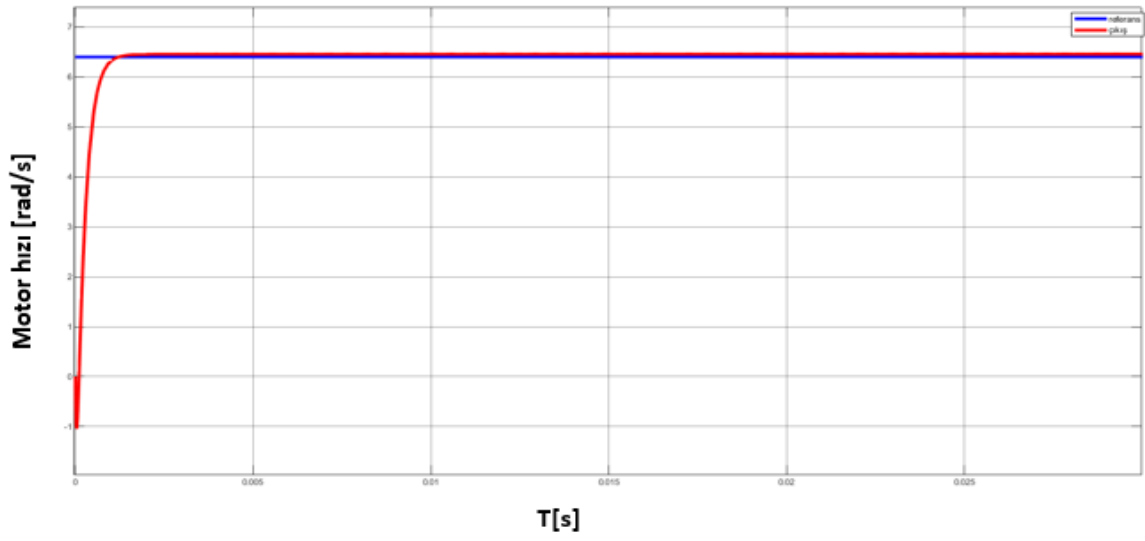
5.3. Dc Motor PID Kontrol

Servo motora uygulanan optimizasyon PSO yazılımı, DC motor kontrolünde de uygulanıp DC motora ait PID kontrol parametreleri elde edilmiştir. Şekil 5.16 da PSO optimizasyonu sonucunda ortaya çıkan performans grafiği gösterilmektedir.



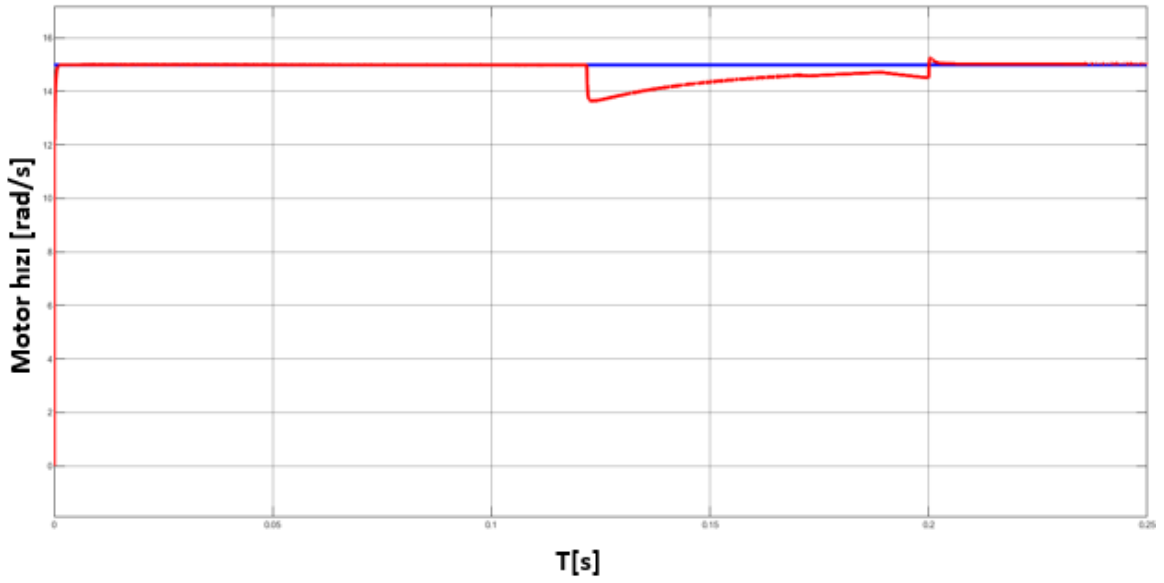
Şekil 5.16. DC motor PSO grafiği.

Şekil 5.17 ise DC motorun yüksüz kontrol grafiğini göstermektedir.

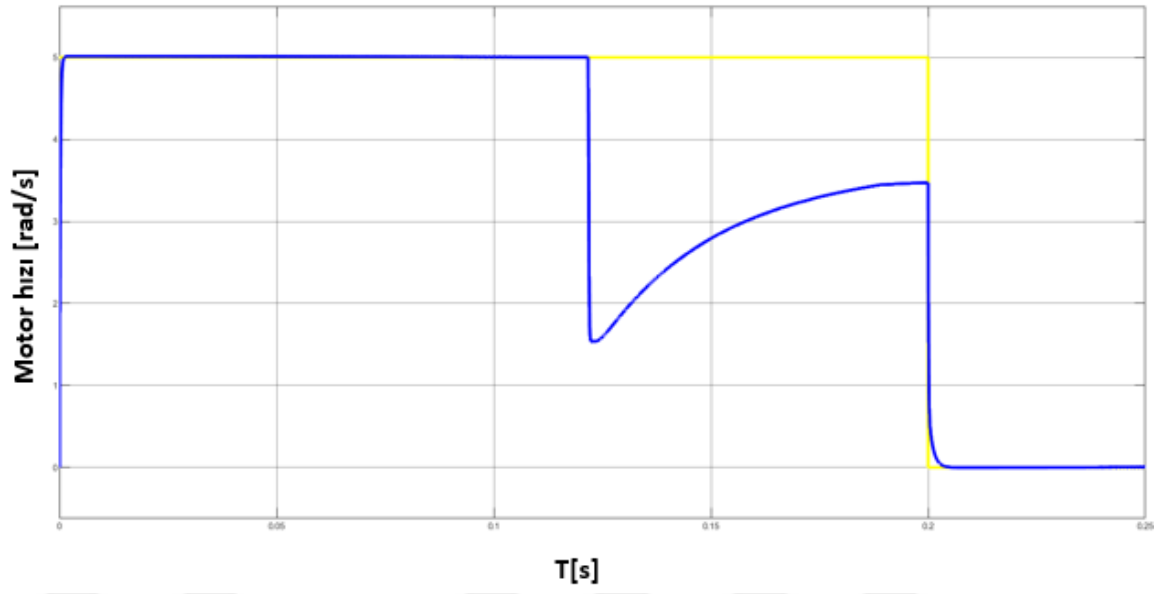


Şekil 5.17. DC motorun yüksüz kontrol grafiği.

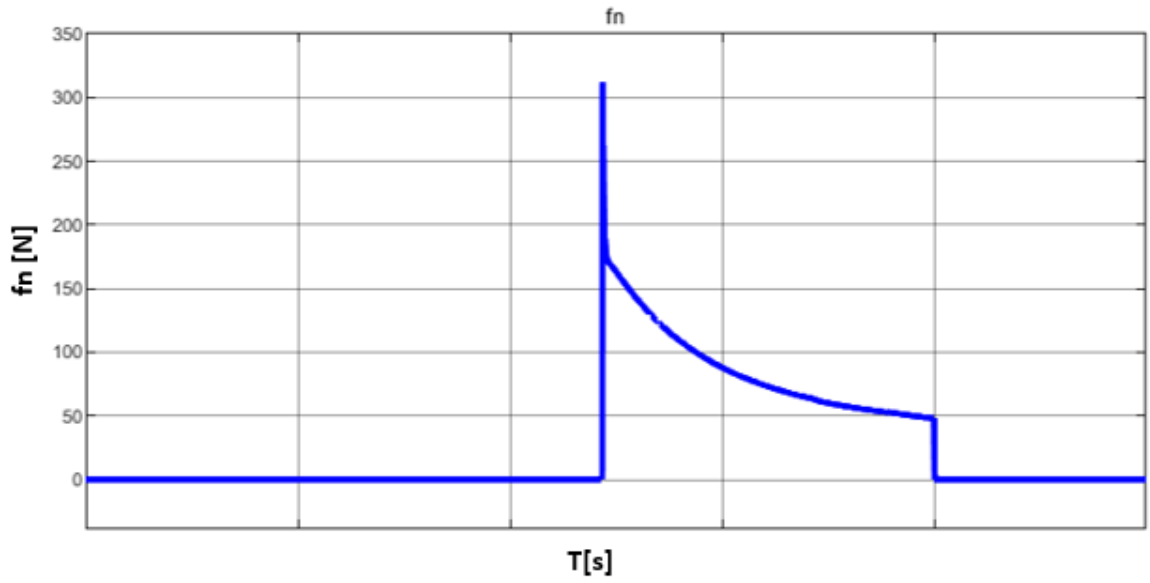
Şekil 5.18’de Dc motor yüklüken elde edilen motor grafiği gösterilmektedir. Şekil 5.19 ise DC motorun yüklü durumdan yüksüz duruma geçerken sergilediği davranışı göstermektedir.



Şekil 5.18. Yüğü tutarken DC motor kontrol grafiği.

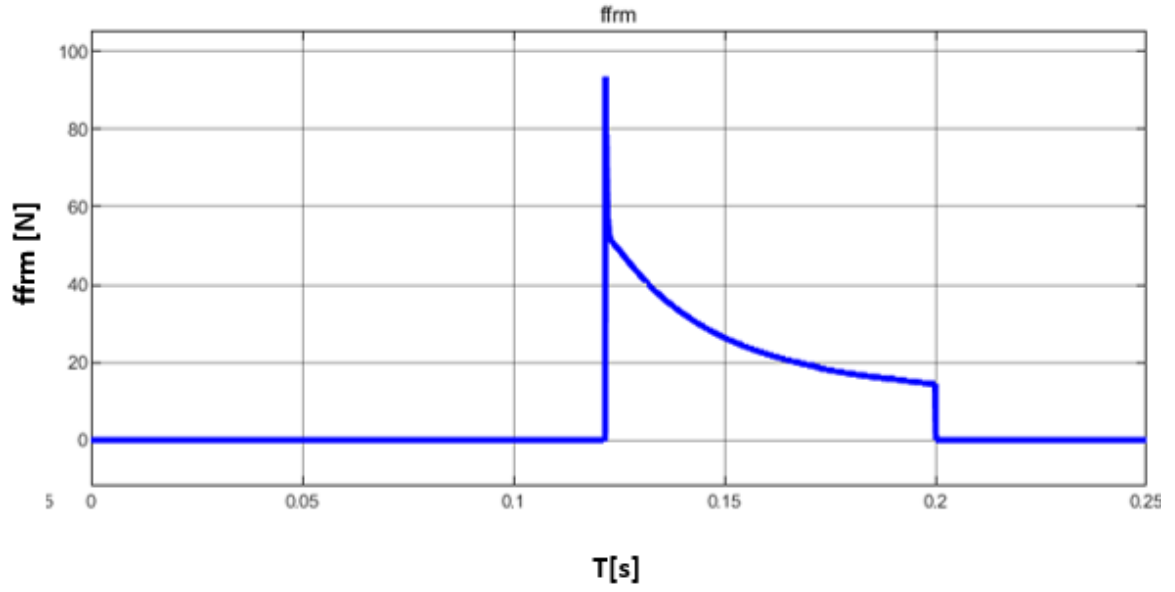


Şekil 5.19. Yüğü bırakırken DC motor kontrol grafiğı.



Şekil 5.20. Yüğü tarafından ölçülen toplam kuvvet değışimi.

Şekil 5.20’de motor yüklüken ölçülen toplam kuvvet grafiğıne yer verilmiştir. Şekil 5.21 de ise bir parmağın yüklü durumdayken ölçülen kuvvet grafiğı gösterilmektedir.



Şekil 5.21. Bir parmak tarafından yüke uygulanan kuvvet değişimi.

5.4. Gerçek Zaman Kontrol

Arduino mega 2560 kontrol kartını kullanarak hazır olan Pid.h kütüphanesi yardımı ile DC motor ve servo motorun kontrolünü yapılmıştır. Her bir motorun kontrolünde kontrol parametresi olarak optimizasyondan elde edilen parametreler kullanılmıştır. Şekil 5.22, şekil 5.23, şekil 5.24 sırasıyla Arduino ile gerçekleştirilen kodlamalara ait görüntülerdir.

pid_dc.ino

```
1 // Encoder pinleri
2 const int encoderPinA = 2;
3 const int encoderPinB = 3;
4 #include <Servo.h>
5 Servo servoMotor;
6 // Hızı hesaplamak için değişkenler
7 volatile int pulseCount;
8 unsigned long lastMeasurementTime;
9 int r_en = 30;
10 int l_en = 31;
11 //Use PWM pins
12 int r_pwm = 5;
13 int l_pwm = 6;
14 #include <PID_v1.h>
15 // Define Variables we'll be connecting to
16 double Setpoint, Input, Output, binput;
17 // Specify the links and initial tuning parameters
18 double Kp=2.9623, Ki=0.7792, Kd=1.2080;
19 PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);
20 void setup()
21 {
22     // Seri bağlantıyı başlat
23     Serial.begin(115200);
24     // Encoder pinlerini giriş olarak ayarla
25     pinMode(encoderPinA, INPUT);
26     pinMode(encoderPinB, INPUT);
27     // Bot pini giriş olarak ayarla
28     servoMotor.attach(A8);
29     // Kesme işlevlerini ata
30     attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoderPinA), countPulse, RISING);
```

Şekil 5.22. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 1

```

pid_dc.ino
31 // Başlangıç zamanını kaydet
32 lastMeasurementTime = millis();
33 pinMode(30, OUTPUT);
34 pinMode(31, OUTPUT);
35 pinMode(5, OUTPUT);
36 pinMode(6, OUTPUT);
37 // Your existing setup code here
38 // Initialize the PID
39 Setpoint = 10; // Set your desired speed here
40 myPID.SetMode(AUTOMATIC); // Turn the PID on
41 myPID.SetSampleTime(100); // Set PID sampling rate (milliseconds)
42 myPID.SetOutputLimits(0, 255); // Set output limits for PWM
43 }
44 void loop()
45 {
46 // Geçen süreyi hesapla
47 unsigned long currentTime = millis();
48 if (currentTime - lastMeasurementTime >= 1000) { // 1 saniyede bir hızı hesapla
49 noInterrupts(); // Kesmeleri devre dışı bırak
50 int count = pulseCount; // Geçerli pulse sayısını al
51 pulseCount = 0; // Pulse sayısını sıfırla
52 interrupts(); // Kesmeleri tekrar etkinleştir
53
54 // Hızı hesapla (örnek olarak)
55 float speed = count * (60.0 / 2048); // Burada dönüş başına pulse sayısına göre ayar yapın
56 bnput = speed/20;
57 // Hızı yazdır
58 Serial.println(Setpoint); // Print the actual speed
59 Serial.print(","); // Print a separator
60 Serial.println(bnput);

```

Şekil 5.23. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 2.

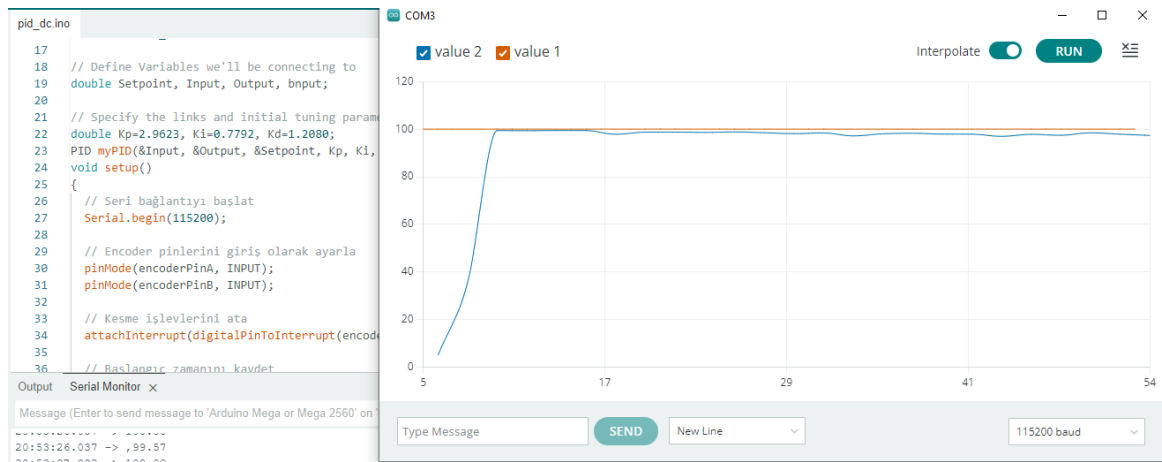
```

61 | // Your existing loop code, up to the speed calculation
62 |
63 | // Update the Input variable with the actual speed
64 | Input = speed;
65 |
66 | // Let the PID compute the new Output (PWM value)
67 | myPID.Compute();
68 |
69 | // Use the Output to control your motor
70 | analogWrite(r_pwm, Output);
71 |
72 | // Your existing loop code, after the speed calculation
73 | //To enable forward and backward
74 | // Son ölçüm zamanını güncelle
75 | lastMeasurementTime = currentTime;
76 | // Send the Input (actual speed) and Output (PWM value) to the Serial Plotter
77 | }
78 | }
79 | // Kesme işlevi
80 | void countPulse() {
81 |     pulseCount++;
82 | }

```

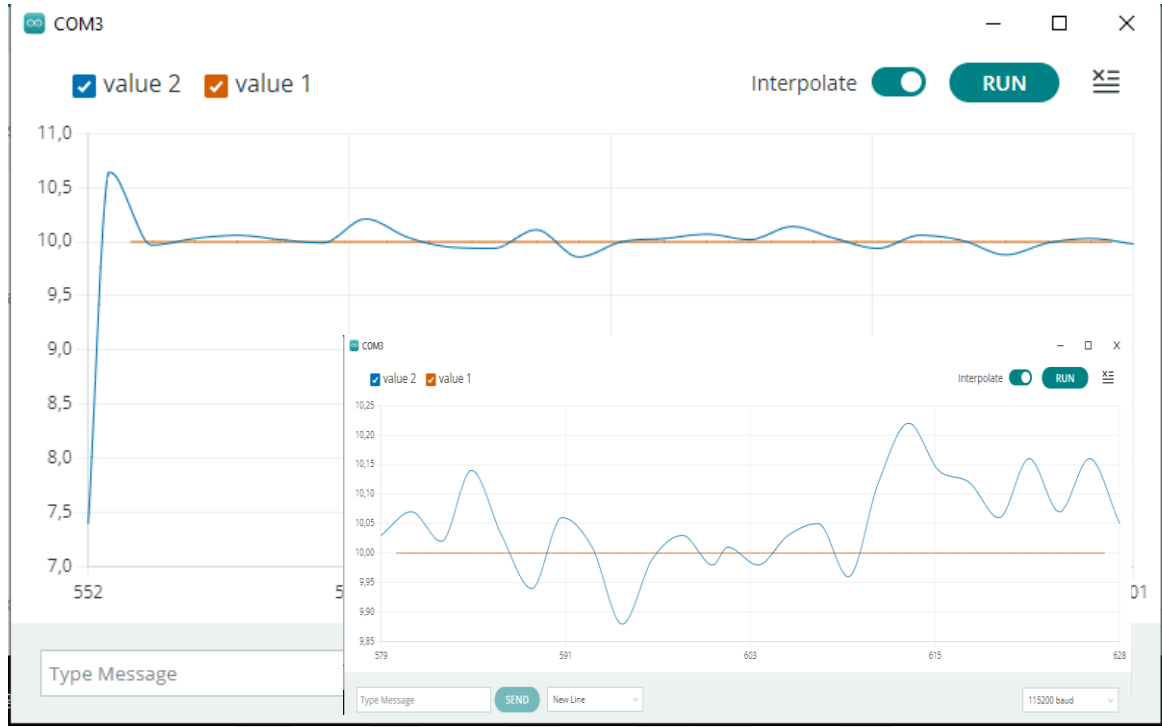
Şekil 5.24. Arduino ile kontrol kütüphaneleri kod alıntısı 3.

Şekil 5.25 de Arduino ile gerçekleştirilen yazılım sonucunda elde edilen DC motorun gerçek zamanlı kontrol grafiğini göstermektedir.



Şekil 5.25. DC motor gerçek zamanlı kontrol hız değişimi.

Şekil 5.26’da ise servo motorun gerçek zamanlı kontrol grafiğine yer verilmiştir.



Şekil 5.26. Servo motor gerçek zamanlı kontrol hız değişimi.

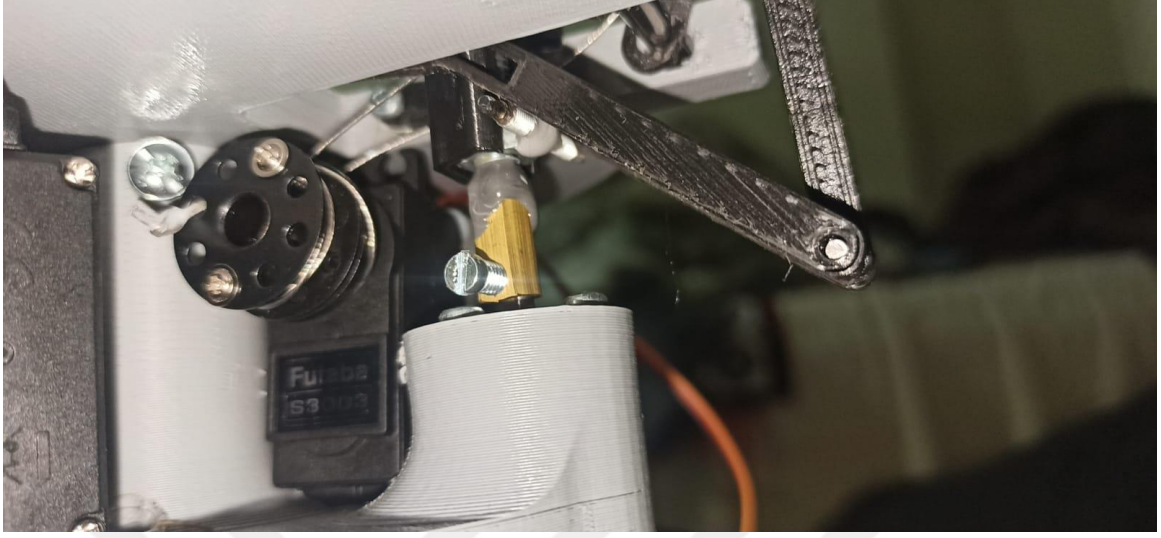
6. TUTUCU MONTAJI VE TEST EDİLMESİ

Tutucunun ana iskeleti üç boyutlu yazıcı kullanılarak PLA filament malzemeden üretilmiştir. Bu amaç doğrultusunda tasarımı gerçekleştirilen her bir parça stl uzantılı dosyalara dönüştürülmüştür. Üç boyutlu yazıcıda üretilen parçaları birbirine bağlamak için hazır çelik mil ve cıvatalar kullanılmıştır. Parmakların esnek kısmını hazırlamak için sıvı silikon kullanılmış ve döküm işlemi ile üretilmiştir. Şekil 6.1 de esnek robotik tutucunun bitmiş son hali görülmektedir.



Şekil 6.1. Tutucu montaj.

Şekil 6.2 servo motor ve DC motora bağlı olarak hareket eden mekanizmayı göstermektedir.



Şekil 6.2. Servo motor ve DC motor mekanizması

Şekil 6.3 de geliştirilen esnek robotik tutucunun ilk test aşamasına ait fotoğraf görülmektedir.



Şekil 6.3. Tutucu test 1.

Esnek robotik tutucunun tutma testi gerçekleştirildikten sonra tutma anı şekil 6.4 de görülmektedir. Esnek robotik tutucu tutacağı cisme yavaşça yaklaşarak tutma işlemine nesneye zarar vermeden yumuşak bir şekilde tamamlmaktadır.



şekil 6.4. Tutucu tutma testi 1.

Esnek robotik tutucunun tek parmağı için tutma testi Şekil 6.5 de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tek parmak tutma testi de başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 6.5. Tutucu tek parmak tutuma testi.

7. SONUÇLAR

Sunulan tez çalışması, nesne algılama ve tutma güvenilirliğine sahip gelişmiş ve yarı esnek bir robotik kavrama konseptine odaklanmaktadır. Mevcut durumda robotik tutucular, farklı şekil ve bileşenlerdeki parçaları doğru bir şekilde algılama ve tutma konusunda bazı kısıtlamalarla karşı karşıyadır. Bu kısıtlamaların üstesinden gelmek için tez, esnek robotik tutucuların kullanılmasını önermektedir. Bu yapılar, görüntü özellikleri hakkında daha hassas bilgi sağlayarak robotik tutucuların nesne algılama ve kavrama güvenilirliğini artırabilir. Robotik tutucuların nesne algılama ve kavrama yeteneklerinin geliştirilmesi, endüstriyel uygulamalarda önemli bir potansiyele sahip olup, bu alanda önemli kazanımlar sağlayabilir.



ÖNERİLER

Endüstriyel robotik uygulamalarında nesne algılama ve tutma güvenilirliğini artırmak için çeşitli stratejiler geliştirilmelidir. Robotik tutucuların nesne şekillerini ve boyutlarını daha doğru bir şekilde algılayabilmesi için yeni teknolojilerin araştırılması gerekmektedir. Bu sayede, robotik tutucular daha hassas ve güvenilir bir şekilde nesneleri kavrayabileceklerdir.

Ayrıca, endüstriyel kullanım için geliştirilen esnek robotik sistemlerin belirlenen standartlara uygun olması önemlidir. Bu standartlar, robotik tutucuların güvenli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için oluşturulmalıdır. Bu şekilde, endüstriyel alanda robotik sistemlerin kullanımı daha yaygınlaştırılabilir ve standartlaştırılabilir.

Son olarak, esnek robotik sistemlerin endüstriyel kullanımları için uygun eğitim programları oluşturulmalıdır. Bu eğitim programları, robotik sistemlerin doğru ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu sayede, kullanıcılar robotik sistemlerden maksimum verimlilikle faydalanabilirler.

Özetle, endüstriyel robotik sistemlerin nesne algılama ve tutma güvenilirliğini artırmak, standartlara uygunluğunu sağlamak ve uygun eğitim programları oluşturmak, esnek robotik sistemlerin endüstriyel kullanımlarını daha etkili hale getirebilir.

KAYNAKLAR

- [1] G. Alici, “Softer is Harder: What Differentiates Soft Robotics from Hard Robotics?”, *MRS Adv*, c. 3, sy 28, ss. 1557-1568, 2018, doi: 10.1557/ADV.2018.159.
- [2] B. Trimmer, “A Practical Approach to Soft Actuation”, *Soft Robot*, c. 4, sy 1, ss. 1-2, Mar. 2017, doi: 10.1089/SORO.2017.29011.BAT.
- [3] K. Suzumori, S. Iikura, ... H. T.-1991 I. I. C., ve undefined 1991, “Development of flexible microactuator and its applications to robotic mechanisms”, *computer.orgK Suzumori, S Iikura, H TanakaProceedings. 1991 IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1991*•*computer.org*, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.computer.org/csdl/proceedings-article/robot/1991/00131850/12OmNxG1ySM>
- [4] S. Wakimoto, K. Suzumori, ve K. Ogura, “Miniature Pneumatic Curling Rubber Actuator Generating Bidirectional Motion with One Air-Supply Tube”, *Advanced Robotics*, c. 25, sy 9-10, ss. 1311-1330, 2011, doi: 10.1163/016918611X574731.
- [5] A. D. Marchese, R. K. Katzschmann, ve D. Rus, “A recipe for soft fluidic elastomer robots”, *Soft Robot*, c. 2, sy 1, ss. 7-25, Mar. 2015, doi: 10.1089/SORO.2014.0022.
- [6] S. Papendorp, O. Iyun, C. Schneider, A. Tekes, T. Ashuri, ve A. A. Amiri Moghadam, “Development of 3d Printed Soft Pneumatic Hand Motion Sensors”, *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, c. 4, Şub. 2023, doi: 10.1115/IMECE2022-94580.
- [7] R. F. Shepherd vd., “Using explosions to power a soft robot”, *Wiley Online LibraryRF Shepherd, AA Stokes, J Freake, J Barber, PW Snyder, AD Mazzeo, L CademartiriAngewandte Chemie International Edition, 2013*•*Wiley Online Library*, c. 52, sy 10, ss. 2892-2896, Mar. 2013, doi: 10.1002/anie.201209540.
- [8] R. Mutlu, G. Alici, W. L.-I. T. on, ve undefined 2015, “A soft mechatronic microstage mechanism based on electroactive polymer actuators”, *ieeexplore.ieee.orgR Mutlu, G Alici, W LiIEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2015*•*ieeexplore.ieee.org*, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/7332943/?casa_token=E-gwYPnp21gAAAAA:ZnasYmxHSYVNLzcHoePhoyrGLorP8Ypsdu55xJxcxUCzalOQoH5FcNPTjlgudEuImgOdWLK3Yiw
- [9] H. Anver, R. Mutlu, G. A.-2017 I. international, ve undefined 2017, “3D printing of a thin-wall soft and monolithic gripper using fused filament fabrication”, *ieeexplore.ieee.org*, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8014057/?casa_token=XmOgrpFat-0AAAAA:art3XEaMNUz26vec7NNDvLYnTexno_ml1haaAAAdAYtDbTCvk3i33gqL9xj9GCig0-xrxNTiVw0
- [10] S. E. Bakarich, R. Gorkin, M. In Het Panhuis, ve G. M. Spinks, “4D printing with mechanically robust, thermally actuating hydrogels”, *Macromol Rapid Commun*, c. 36, sy 12, s. 1211, Haz. 2015, doi: 10.1002/MARC.201500079.
- [11] H. Jin, E. Dong, G. Alici, S. Mao, ... X. M.-B. &, ve undefined 2016, “A starfish robot based on soft and smart modular structure (SMS) actuated by SMA wires”, *iopscience.iop.orgH Jin, E Dong, G Alici, S Mao, X Min, C Liu, KH Low, J YangBioinspiration & biomimetics, 2016*•*iopscience.iop.org*, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-3190/11/5/056012/meta>
- [12] W. H. Li, Y. Zhou, ve T. F. Tian, “Viscoelastic properties of MR elastomers under harmonic loading”, *Rheol Acta*, c. 49, sy 7, ss. 733-740, Mar. 2010, doi: 10.1007/S00397-010-0446-9/FIGURES/9.
- [13] R. Víctor, S. Barrientos, R. José, S. García, S. Ramón, ve ♣ Ortigoza, “Robots móviles:

Evolución y estado del arte”, *redalyc.org*VRB Sotelo, JRG Sánchez, RS OrtigozaPolibits, 2007•*redalyc.org*, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.redalyc.org/pdf/4026/402640448003.pdf>

- [14] N. Schurr, P. Varakantham, E. Bowring, M. Tambe, ve B. Grosz, “Asimovian Multiagents: Applying Laws of Robotics to Teams of Humans and Agents”, *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, c. 4411 LNAI, ss. 41-55, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-71956-4_3.
- [15] N. G. Hockstein, C. G. Gourin, R. A. Faust, ve D. J. Terris, “A history of robots: From science fiction to surgical robotics”, *J Robot Surg*, c. 1, sy 2, ss. 113-118, Mar. 2007, doi: 10.1007/S11701-007-0021-2/FIGURES/6.
- [16] R. SZABOLCSI, “The Birth of the Term Robot”, *Advances in Military Technology*, c. 9, sy 1, ss. 117-128, Eyl. 2014, Erişim: 14 Mayıs 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.aimt.cz/index.php/aimt/article/view/1021>
- [17] W. Zhang, A. Dai, ve Y. Rong, “Engineering Design for Robot Aesthetics”, *Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference*, c. 1B-2015, Oca. 2016, doi: 10.1115/DETC2015-47218.
- [18] S. Kim, C. Laschi, ve B. Trimmer, “Soft robotics: A bioinspired evolution in robotics”, *Trends Biotechnol*, c. 31, sy 5, ss. 287-294, May. 2013, doi: 10.1016/j.tibtech.2013.03.002.
- [19] D. Rus ve M. T. Tolley, “Design, fabrication and control of soft robots”, *Nature* 2015 521:7553, c. 521, sy 7553, ss. 467-475, May. 2015, doi: 10.1038/nature14543.

EKLER

EK- 1: MATLAB OPTİMİZASYON PSO M-FILE

```
tic
for defa=1:2;
n = 10; % Size of the swarm " no of birds "
bird_setp=25; % Maximum number of "birds steps"
dim = 3; % Dimension of the problem
c2 =1.2; % PSO parameter C1
c1 = 0.12; % PSO parameter C2
w =0.9; % pso momentum or inertia
fitness=0*ones(n,bird_setp);
mto=1;
R1 = rand(dim, n);
R2 = rand(dim, n);
current_fitness =0*ones(n,1);
current_position = abs(rand(dim, n));
velocity = .3*randn(dim, n) ;
local_best_position = current_position ;
for i = 1:n
[current_fitness(i)] = degerlendir(current_position(:,i)) ;
end
local_best_fitness = current_fitness ;
[global_best_fitness,g] = min(local_best_fitness) ;
for i=1:n
global_best_position(:,i) = local_best_position(:,g) ;
end
velocity = w*velocity +c1*(R1.*(local_best_position-
current_position))+c2*(R2.*(global_best_position-current_position));
current_position = current_position + velocity ;
%% Main Loop
iter = 0 ; % Iterations counter
while ( iter < bird_setp )
iter = iter + 1;
for i = 1:n
[current_fitness(i)] = degerlendir(current_position(:,i)) ;
end
for i = 1 : n
if current_fitness(i) < local_best_fitness(i)
local_best_fitness(i) = current_fitness(i);
local_best_position(:,i) = current_position(:,i) ;
end
end
[current_global_best_fitness,g] = min(local_best_fitness);
if current_global_best_fitness < global_best_fitness
global_best_fitness = current_global_best_fitness;
for i=1:n
global_best_position(:,i) = local_best_position(:,g);
end
end
plot(iter,current_global_best_fitness,'*')
set(gca, 'YScale', 'log')
pause(0.1)
hold on
grid on
velocity = rand()*velocity+(0.5+rand()*2)*(R1.*(local_best_position-current_position)) + (2.5-
rand()*2)*(R2.*(global_best_position-current_position));
current_position = current_position + velocity;
sprintf('The value of interation iter %3.0f ', iter );
end % end of while loop its mean the end of all step that the birds move it
kazanclar=global_best_position(:,g)
Kp_1=kazanclar(1);
Ki_1=kazanclar(2);
Kd_1=kazanclar(3);
simopt = simset('solver','ode45','SrcWorkspace','Current','DstWorkspace','Current'); %
[tout yout] = sim('model_1.mdl',[0 20],simopt); % simulink modeli ya da m file
calistirilir. Bunun sonucunda
malietet =abs(e2);
performans=stepinfo(e1,zaman,5);
Tr=performans.RiseTime;
Ts=performans.SettlingTime;
Mp=performans.Overshoot;
plot(zaman,e1)
grid on
sure=toc;
[Kp_1 Ki_1 Kd_1 malietet Tr Ts Mp sure e1']
save(['sonuclar' num2str(defa) '.mat'])
end
```

EK- 2: MATLAB PSO YAZILIMINDA KULLANILAN DEĞERLENDİR FONKSİYON

```
function maliyet=degerlendir(kazanclar)
    Kp_1=kazanclar(1);
    Ki_1=kazanclar(2);
    Kd_1=kazanclar(3);
    simopt =
simset('solver','ode45','SrcWorkspace','Current','DstWorkspace','Current');
    [tout yout] = sim('model_1.mdl',[0 20],simopt);
%simulink modeli ya da m file calistirilir. Bunun sonucunda %
    maliyet =abs(e2);

end
```

ÖZGEÇMİŞ

Kusay DİB

[illegible]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. Dib, K. & Aydın, M. (2023). Esnek Robot Tutucu Tasarımı ve Kontrolü. *Mühendislikte Yenilikçi Yaklaşımlar*.
2. Dib, K., & Aydın, M. (2023). Optimization of PID Parameters of Flexible Gripper with PSO Using Various Objective Functions. *Journal Of Materials And Electronic Devices*, 4(1), 5-12.

Projeler:

- ## 1. PLC tabanlı akıllı enerji analizörü