



MARMARA ÜNİVERSİTESİ
TEKNOLOJİ FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ
BÖLÜMÜ

EKLEMBACAKLI YARI OTONOM
ROBOT KÖPEK
LAİKA

Mehmet Ekrem BEDİR

Mesutcan ÖZKAN

DANIŞMAN Doç. Dr. Uğur DEMİR

İSTANBUL, 2024

İçindekiler

| | |
|---|----|
| ÖZET..... | 3 |
| 1.BÖLÜM GİRİŞ | 4 |
| 1.1 Amaçlar ve Hedefler | 4 |
| 1.2 Özgün Değer..... | 4 |
| 2. BÖLÜM LİTERATÜR İNCELEMESİ | 5 |
| 3. BÖLÜM TASARIM VE DONANIM..... | 7 |
| 3.1 Servo Motor..... | 8 |
| 3.2 Modüler Yapı | 9 |
| 3.3 Gövde ve Mikrodenetleyici: | 10 |
| 3.4 Bacaklar:..... | 10 |
| 3.5 Güç Kaynağı:..... | 11 |
| 3.6 Ticari Avantajlar: | 12 |
| 4. BÖLÜM GERÇEKLEŞME VE İMALAT | 12 |
| 4.1 İş Planı..... | 12 |
| 4.1.1 Hedeflenen sonuçlara ulaşmak adına literatür taraması | 12 |
| 4.1.2 Mekanik tasarım yapılması..... | 13 |
| 4.1.3 Mekanik ve Elektronik Birleşenlerin tedarigi | 13 |
| 4.1.4 Dijital İkiz Tasarımı | 13 |
| 4.1.5 Mekanik Analiz yapılması..... | 14 |
| 4.1.6 At yürüyüşünün analiz edilmesi | 14 |
| 4.1.7 Yürüyüş algoritması tasarlamak | 14 |
| 4.1.8 Elektronik tasarımın yapılması ve elektrik bağlantılarının gerçekleştirilmesi | 14 |
| 4.1.9 Genel montaj ve bağlantı testlerinin gerçekleştirilmesi | 14 |
| 4.1.10 Test Parkuru tasarımı..... | 15 |
| 4.1.11 Temel hareket Testleri..... | 15 |
| 4.1.12 Test verilerine göre Temel hareket optimizasyonu | 15 |
| 4.1.13 Bulut sistemi ile haberleştirme | 15 |
| 4.1.14 Yapay zekâ ile Nesne takibi | 15 |
| 4.1.15 Dış alan testleri | 15 |
| 4.2 Risk Yönetimi..... | 16 |
| 4.2.1 Servo motorlardan kaynaklı hatalar..... | 16 |
| 4.2.2 IMU Sensörü kaynaklı hatalar..... | 16 |
| 4.2.3 Maliyetten kaynaklı sorunlar..... | 16 |
| 5. BÖLÜM DENKLEMLER | 17 |
| 5.1 Kinematik Denklemler | 17 |

| | |
|--|----|
| 5.2 Zıplama Senaryosu | 18 |
| 6. BÖLÜM YAZILIM..... | 19 |
| 6.1 Neden MATLAB..... | 19 |
| 7. BÖLÜM TEST VE DOĞRULAMA..... | 21 |
| 9. BÖLÜM GELECEK ÇALIŞMALAR | 24 |
| 10. BÖLÜM SONUÇLAR VE TARTIŞMA | 25 |
| KAYNAKLAR..... | 27 |
| EKLER | 34 |
| Quadruped Robot İçin MATLAB Kodu | 34 |
| Sadece Tek Bir Bacak İçin MATLAB Kodu | 43 |
| DOF_3_Inverse Fonksiyonu | 47 |
| LAIKA Robot Köpeklerin CAD tasarım görselleri..... | 48 |
| Bağlantı Şemaları | 53 |
| Kullanılan Mekanik Parçalar | 54 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1.Servo Motor İç Yapısı | 8 |
| Şekil 2. Modüler Yapı Gösterimi | 9 |
| Şekil 3 Bacak Tasarımı | 11 |
| Şekil 4 Dijital İkiz Görüntüsü | 13 |
| Şekil 5 Çift Servolu Kinematik Denklem..... | 17 |
| Şekil 6 Açısal Hız/Zıplama Tablosu..... | 18 |
| Şekil 7.Simulink Tasarımı | 20 |
| Şekil 8. Bir Servodaki Açılış Hataları..... | 21 |
| Şekil 9.Test Senaryosu | 22 |
| Şekil 10 Omuz Test Senaryosu..... | 23 |
| Şekil 11 CAD Tasarımının Görünümü..... | 48 |
| Şekil 12 CAD Tasarımının Ölçüleri..... | 49 |
| Şekil 13 Bacağın CAD Çizimi..... | 50 |
| Şekil 15 Mikrodenetleyici Yerleşimi..... | 51 |
| Şekil 16 Bacak Tasarımının Ölçüleri | 52 |
| Şekil 17 Bir Bacak'ın Bağlantıları..... | 53 |
| Şekil 18 Kayış | 54 |
| Şekil 19 Kasnak | 54 |
| Şekil 20 Rulman | 54 |

ÖZET

Mühendislik teknolojisinin hızlı gelişimi, çeşitli sektörlerde iş gücünü en aza indiren otonom robotların yaygınlaşmasına imkân tanımıştır. Bu ilerlemeye bir örnek olarak; "LAİKA" adını taşıyan otonom köpek projesi, tasarımından uygulamasına kadar uzanan bir süreci içeren iki üniversite öğrencisinin girişimidir. Bu otonom köpek, özellikle acil durumlar, kurtarma operasyonları, askeri kullanım, eğitim ve araştırma alanlarında geniş bir yelpazede kullanılmayı hedeflemektedir. Bu tür projeler, teknolojinin insanların güvenliği, verimliliği ve yaşam kalitesi üzerinde olumlu etkiler yaratabilecek potansiyeli yansıtmaktadır.

LAİKA, 12 adet servo motor kullanarak eklem bacaklı bir robotun hareket etmesini amaçlamaktadır. Bu servo motorlar, özel bir algoritma tarafından yönlendirilerek istenilen rotasyon hareketlerini gerçekleştirecektir. Ayrıca, robotun üzerinde bulunan IMU (Inertial Measurement Unit) sensörü sayesinde, kendi kendisini dengeleme yeteneği kazanacaktır.

Her ayağın kinematik denklemleri çıkarılarak, servo motorlar için gerekli açı değerleri hesaplanacaktır. Bu kinematik denklemlerden elde edilen açı değerleri sayesinde, robotun hem hareket etmesi hem de dengeyi sağlaması amaçlanmaktadır.

Ayrıca, algılama, nesne tanıma ve takibi için kamera ve sensörler kullanılacaktır. Bu veriler doğrultusunda robotun aksiyon alabilmesi hedeflenmektedir.

Mekanik tasarımda, kolay üretim, ekonomiklik ve çevre dostu yaklaşımlar hedeflenmektedir. Bu nedenle plastik şişelerin üretiminde kullanılan PET (polietilentereftalat) polimerinin geliştirilmiş bir versiyonu olan PET-G, üretimde kullanılacak ana malzeme olarak tercih edilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Otonom Robotlar, Quadraped Robot, Dijital İkiz, MATLAB, Arduino.

Ocak,2024

Mehmet Ekrem BEDİR

Mesutcan ÖZKAN

1.BÖLÜM GİRİŞ

1.1 Amaçlar ve Hedefler

2025 yılında 500 milyar ABD doları değerinde olması tahmin edilen robot sektörüne yönelik yerli ve milli bir hareketin gerçekleştirilmesidir. Bu genel amaç çerçevesinde belirlenen hedefler ise öncelikle acil durumlar, kurtarma operasyonları, askeri kullanım, eğitim ve araştırma alanlarında robot teknolojilerinin maliyetlerini azaltmak ve iş kazalarını minimize etmektir. Ayrıca, eklem bacaklı robot kategorisine yeni tasarımlar eklemeyi ve bu alanda öncü bir konuma gelmeyi amaçlıyoruz. Quadroped robotlarda yapay zekâ kullanımını artırmak ve bu alanda liderlik yapmak da önerilen hedefler arasında bulunmaktadır. Son olarak, LAİKA adlı robotun yüksek hareket kabiliyeti ve modüler yapısı ile özgün haberleşme protokolünü geliştirerek sektörde fark yaratmayı hedefliyoruz. Uygun üretim maliyeti ve yüksek taşıma kapasitesi sağlayacak gezegen dişli modeli tasarımıımız ile hem özgün hem de çok tercih edilecek bir yapıya sahip olacağız. Ayrıca Moskova Kızıl Meydanda özgürce dolaşan köpek olan Laika'nın teknoloji savaşlarını uğruna uzaya çıkan ilk köpek olma unvanını canıyla ödemesine ithafen bu proje için yapmış olduğumuz isim tercihi ile farkındalık da oluşturmak istiyoruz.

1.2 Özgün Değer

Robotlar, bir dizi sektörde hızla artan bir öneme sahiptir. Özellikle uzay bilimleri, biyomedikal, makine sanayi, telekomünikasyon ve iletişim gibi alanlarda tercih edilmektedirler. Bu tercihin temel nedenlerinden biri, robotların tehlikeli ve erişimi zor bölgelerde önceden keşif yaparak can güvenliğini sağlama yeteneğidir. Ayrıca, yapay zekâ destekli makinelerin karar alma kapasitesi, üretim süreçlerini hızlandırırken olası sorunları zamanında tespit edip aksiyon alma konusunda büyük bir avantaj sağlar, bu da verimliliği artırır.

Robotik teknolojisinin büyüklüğüne bakıldığında, 2017 ile 2025 arasında endüstriyel ve endüstriyel olmayan robotik pazarının gelirinin arttığı görülmektedir. 2025 yılına gelindiğinde, dünya genelinde robotik pazarının yaklaşık 500 milyar ABD doları değerinde olması beklenmektedir. Bu büyüme, kişisel yardımcı robotlar, müşteri hizmet robotları, özerk araçlar ve insansız hava araçları gibi otonom teknolojilerin gelişmesi ile daha da ivme kazanacaktır. Bizim projemizin bu pazardaki en büyük özelliği ise eklem bacaklı olarak yüksek hareket kabiliyetine sahip olmasıdır. Eklem bacaklı robotlar, esneklikleri ve manevra kabiliyetleri sayesinde düzensiz yüzeylerde dolaşma yetenekleriyle öne çıkar. Dayanıklılıkları ve dirençleri, zorlu koşullarda kullanılmak üzere tasarlanabilirlikleriyle dikkat çeker. Bu nedenle robotlar, gelecekte birçok sektörde daha fazla etkileşim ve kullanım alanı bulacaktır, bu da teknolojik gelişmelerin sürdürülebilir bir şekilde desteklenmesine katkı sağlayacaktır.

2. BÖLÜM LİTERATÜR İNCELEMESİ

Türkiye ekonomisi, Endüstri 4.0'un getirdiği dönüşümle yeni bir evreye adım atıyor. Bu değişimde, Türk mühendislerinin geliştirdiği yerli ve milli tasarımlar, öne çıkıyor. 4 bacaklı robot LAİKA, bu yenilikçi yaklaşımın bir örneği olarak karşımıza çıkıyor. Türk mühendisler tarafından geliştirilen LAİKA, Endüstri 4.0'a uyumlu ve çok yönlü kullanım potansiyeliyle Türkiye'nin küresel rekabetçiliğini artırıyor. Bu yerli tasarım, sadece teknolojik bir atılım değil, aynı zamanda Türkiye'nin kültürel kimliğini ve inovasyon gücünü temsil ediyor. LAİKA, Türkiye'nin geleceğini şekillendiren, yerli ve milli tasarımın gücünü gösteren bir örnek olarak öne çıkıyor.

Yunquan Li ve arkadaşlarının (2019) yılında yazdığı “Bio-inspired robotic dog paddling: kinematic and hydro-dynamic analysis” makalede Köpekgillerden veya kedigillerden ilham alan dört ayaklı robotlara ilişkin araştırmalar geniş çapta rapor edilmiş ve gösterilmiştir. Ancak bu bacaklı robotların hiçbiri küçük göller, akarsular, yağmur, çamur, su basmış araziler gibi su içeren zorlu ortamlarla baş edemeyeceğini belirtiyor. LAİKA robot köpeğimiz ise su geçirmez gövdesi sayesinde bu engeli aşarak piyasadaki diğer rakiplerinden bir adım daha önde olacaktır.

Gail F. Melson ve arkadaşlarının (2005) yılında yaptığı “Robots as dogs: children's interactions with the robotic dog AIBO and a live australian shepherd” makalede yaptıkları davranış analizlerine göre normalde canlı köpekler ile daha çok vakit geçiren çocukların SONY'nin Robot köpeği AIBO'yu canlı bir köpek gibi algıladılar ve onunla da etkileşime girerek vakit geçirdiler. LAİKA robot köpeğimiz bu makaleden yola çıkarak dış görünüş ve renklendirme olarak çocuklara hitap edebilme potansiyeline sahip olacaktır.

Robert Sparrow (2016) yılında yayınladığı “Kicking a robot dog” makalesinde 2015'te, Boston Dynamics tarafından internette yayınlanan dört ayaklı robot "Spot"u tekmeleyen bir adamı gösteren videonun ardından bir robot köpeği tekmelemenin yanlış olup olmadığını yorumluyor. Biz de bu makaleden yola çıkarak böyle bir durumda kaldığı zaman insanları sözlü olarak uyanan bir sistem uygulamayı düşünüyoruz.

Jannek Steinke ve arkadaşlarının (2023) yılında yayınladığı “Demo: The Future of Dog Walking – Four-Legged Robots and Augmented Reality” adlı makalelerinde 5G'nin iletişim açısından yüksek güvenilirlikle düşük gecikmeler talep eden kullanım durumlarını destekleme gereksinimi ile kablosuz kontrol uygulamaları mümkün hale geldiğini belirtiyor. Bizde LAİKA robot köpeğimizde bu yenilikçi teknolojiyi kullanarak sensörlerden aldığımız verileri tasarlamış olduğumuz HMI arayüzünde görüntülemeyi hedefliyoruz.

Brian L. Due'nin 2021 yılında yayınladığı “Guide dog versus robot dog: assembling visually impaired people with non-human agents and achieving assisted mobility through distributed co-constructed perception” makalesinde “Bir rehber köpeğin yerini robot bir köpek alabilir mi?” ve robot köpeğin rehber olabilmesi için gerekliliklerinden bahsediyor. Bizde robot köpeğin tasarımında bu kriterleri göz önünde bulundurarak çalışmalarımızı ilerletiyoruz.

Nicholas Harvey 2015 yılında yayınladığı “Arachnid-inspired Kinesthesia for Legged Robots” adlı makalesinde hayvanlar ve robotlar için başarılı navigasyonda uzuv pozisyonu ve hareketinin önemini araştırıyor. Ve sonuç olarak Uzuv pozisyonunu belirlemek için propriyosepsiyon olarak da bilinen kinestezinin kullanılmasını önermektedir. Bizde hareket kinematiklerinde hayvanları referans alarak bir algoritma çıkartmayı hedefliyoruz.

Bongsu Shin ve arkadaşlarının 2008 yılında yayınladıkları “Towards a biologically inspired small-scale water jumping robot” adlı makalelerinde, suda yaşayan eklembacaklıların su üzerinde atlama yeteneğini taklit eden küçük ölçekli bir robotik sistemi tanıtmaktadır. Çalışmadaki robot, su yüzeyini itmek için bükülmüş bacaklarını hızla serbest bırakarak dikey sıçramayı başarıyor. Bizde bu çalışmadaki zıplama tekniğini referans olarak kendi zıplama tekniğimizde kullanacağız.

Eugene F. Fichter 1988 yılında yazdığı “A SURVEY OF LEGS OF INSECTS AND SPIDERS FROM A KINEMATIC PERSPECTIVE” makalede eklembacaklı robotların sınırlamalarını ve karmaşık ortamlarda çalışmak için daha karmaşık bacak mekaniği ve kontrol sistemlerine duyulan ihtiyacı vurguluyor. Biz de bu makaleden edindiğimiz bilgilerle tasarımıımızı en ideal düzeye getirdik.

Yuntao Guan ve arkadaşlarının 2023 yılında yazdıkları “Structure Design and Motion Planning of a Reconfigurable Robot with Flexible Waist” makalesindeki Robotun esnek beli, gövdesini döndürmesine, çeşitli eylemleri koordine etmesine ve spor performansını artırmasına olanak tanıyor. LAİKA robot köpeğimiz bu makaleden yola çıkarak bacaklarındaki servo motorlar sayesinde daha esnek bir hale getirmeyi planlıyoruz.

B.L.Luk ve arkadaşlarının 1999 yılında yazdıkları “Intelligent walking motions and control for a legged robot” makalesinde pnömatik aktüatörlerle çalıştırılan bir robotun yürüme ve tırmanmasından bahsediliyor. Bizde bu makaleyi referans olarak pnömatik aktüatör kullanmak, servo motor arasındaki avantaj ve dezavantajları belirledik.

Michele Folgheraiter ve arkadaşlarının 2006 yılında yazdığı “A BioInspired Neural Controller For a Mobile Robot” adlı makalede karmaşık ve dinamik ortamlarda gezinebilen ve engellerden kaçınabilen hizmet robotik sistemlerinin geliştirilmesinde biyrobotiklerin rolüne odaklanmaktadır.LAİKA robot köpeğimizde ise bu makaleden yola çıkarak açık arazide aynı canlı bir köpek gibi hareketler sergilemesini hedeflemekteyiz.

Kirkland Boyd ve arkadaşlarının 2022 yılında yaptıkları”Bio-Inspired Hexapedal Firefighting Robot” çalışmada mum alevlerini tespit etmek ve söndürmek üzere tasarlanmış otonom bacaklı bir robotun tasarımını ve geliştirilmesinden bahsetmektedir. Biz de bu makaleden yola çıkarak LAİKA robot köpeğimizin ilerleyen süreçlerde üzerine yerleştireceğimiz donanımlarla birlikte yangın söndürme görevlerinde kullanılmasını planlamaktayız.

Jan Paskarbeits ve arkadaşlarının 2010 yılında yazdıkları “Layout and Construction of a Hexapod Robot with Increased Mobility” makalede iki ayaklı ve altı ayaklı robotların birbirlerine karşı avantajları ve dezavantajlarından bahsediyor biz de bu makaledeki avantaj ve dezavantajları değerlendirerek tasarım isterlerimiz belirlendi.

3. BÖLÜM TASARIM VE DONANIM

LAİKA projesi, Quadruped yapısı ve 12 adet servo motoruyla dikkat çekmektedir. Robotun yaklaşık 50 cm uzunluğu, 25 cm genişliği, 30 cm yüksekliği ve 1 kg ağırlığı bulunmaktadır., kendi ağırlığı kadar yük kaldırma kapasitesine sahip olması hedeflenmektedir. Ayrıca, LAİKA'nın yaklaşık 30 cm kadar zıplayabilme özelliği, çeşitli uygulamalarda kullanışlılığını artırmaktadır.

Quadruped yapısının, özellikle engebeli arazilerde üstün hareket kabiliyeti sağlayacağı düşünülmektedir. Bu özellik, saha keşfi yapma ve arazi tanımlaması gibi görevleri yerine getirmesine imkân tanırken, 12 adet servo motorunun sağladığı hızlı ve çevik hareketler, diğer Quadruped robotlara göre daha hızlı dönüşler gerçekleştirmesini mümkün kılacaktır.

LAİKA'nın servo motorlarının istenilen açı değerlerine ulaşması için özel olarak tasarlanan algoritma, at yürüyüş analizlerinden elde edilen verileri kullanarak kinematik koordinatlar ve servo açı değerlerini üretecektir. Bu sayede, robotun yürüme, dönme, eğilme, dengeleme ve zıplama gibi hareketleri gerçekleştirmesi planlanmaktadır.

Robotun üzerinde bulunacak kamera ve diğer sensörler, nesne algılama ve Visual Odometry gibi görevleri yerine getirmesine olanak tanıyacaktır. LAİKA, bu bilgileri kullanarak bulunduğu konumu belirleyecek ve hareket planlamasını buna göre yapacaktır.

LAİKA projesi, otonom ve manuel modlarıyla iki farklı şekilde kullanılabilir. Ayrıca, robotun edindiği bilgileri, batarya durumu, konumu gibi verileri bulut sistemine aktararak uzaktan erişim sağlanabilecektir. Bu özellik, kullanıcılara LAİKA'nın durumu hakkında gerçek zamanlı bilgi sunma imkânı verecektir.

Dijital ikiz, LAİKA adını taşıyan otonom köpek projesinde olduğu gibi gerçek bir nesnenin dijital bir modelini oluşturan ve bu model üzerinden tasarım, test ve simülasyon işlemlerinin gerçekleştirildiği bir kavramdır. Bu bağlamda, LAİKA'nın dijital ikizi, proje tasarımının başlangıcından itibaren kullanılan algoritmalar, sensörler ve mekanik sistemlerin simülasyonunu içerir.

Dijital ikizin önemi, gerçek dünyada karşılaşılabilecek potansiyel hataları ve sorunları önceden tespit etmek, tasarımı optimize etmek ve performansı iyileştirmek için tasarım sürecinin erken aşamalarında gerçekleştirilen test ve simülasyonları içerir. MATLAB gibi simülasyon araçları, tasarım hatalarını belirleme, algoritmaları optimize etme ve sistem performansını değerlendirme konularında mühendislerin önemli birer yardımcısıdır. Dijital ikizler, fiziksel prototip üretmeden önce tasarım hatalarını ve eksiklikleri tanımlamak için kullanılır. Bu, maliyetleri azaltır, üretim sürecini hızlandırır ve enerji verimliliği gibi önemli faktörleri önceden değerlendirme imkânı sağlar. Ayrıca, gerçek dünya testleri sırasında ortaya çıkabilecek sorunları önceden tahmin ederek tasarımın güvenilirliğini artırır. Bu nedenle, dijital ikizler, karmaşık projelerin başarıyla tamamlanmasına katkıda bulunan önemli bir araçtır.

3.1 Servo Motor

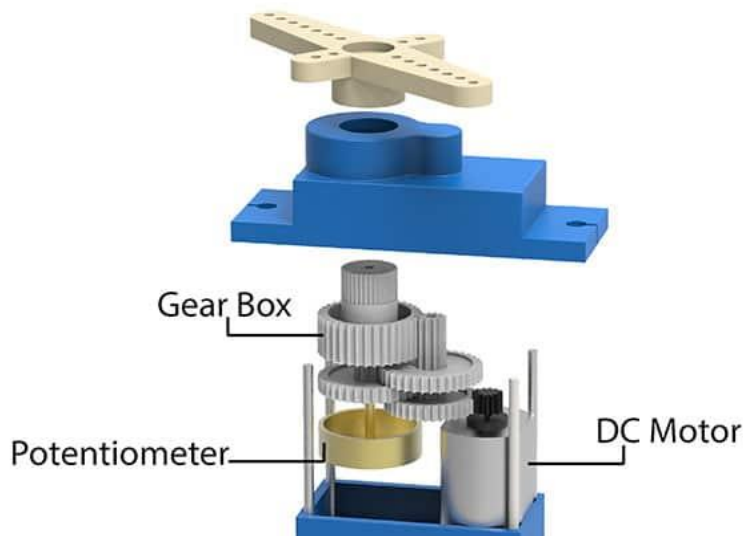
Servo motorlar, robot köpeğimiz gibi mekatronik projelerde çok önemli bir rol oynar. Bu motorların en belirgin özelliği, yüksek hassasiyetle belirli bir konumda durabilme yetenekleridir. Bu sayede, robot köpeğimizin bacakları veya eklem noktaları, istenilen açılarda hassas bir şekilde pozisyonlandırılabilir. Bu hassas kontrol, robot köpeğimizin hareketlerinin daha doğal ve kontrollü olmasını sağlar. Ayrıca, servo motorların hızlarının da hassas bir şekilde kontrol edilebilmesi, robotumuzun hareket kabiliyetini zenginleştirir ve daha gerçekçi bir hareket sergilemesine olanak tanır.

Servo motorların bir diğer önemli özelliği, geri bildirim mekanizmalarına sahip olmalarıdır. Bu mekanizmalar sayesinde, motorun hangi konumda olduğu ve bu konumun gerçek zamanlı olarak izlenebilmesi mümkün olur. Bu, robotun hareketlerini daha verimli ve doğru bir şekilde ayarlamamıza yardımcı olur.

Kullanım kolaylığı açısından da servo motorlar idealdir. Genellikle kullanıcı dostu olan bu motorlar, basit bağlantılarla projelere entegre edilebilir, böylece mekatronik projelerde zaman ve çaba tasarrufu sağlarlar. Servo motorların farklı boyut ve güç seçenekleri sunması, projenin ihtiyaçlarına göre esnek bir şekilde seçim yapma imkanı verir. Farklı hız ve tork kombinasyonlarına sahip motorlar seçerek, robot köpeğimizin farklı uygulamalara ve zeminlere uygun olarak hareket etmesi sağlanabilir.

Servo motorların hızlı tepki süreleri de önemlidir. Bu özellik, robot köpeğimizin ani hareketlere veya değişikliklere hızlıca adapte olmasını sağlar. Ayrıca, servo motorların belirli bir konumda sabit bir tork üretme yeteneği, enerji verimliliği açısından da büyük bir avantaj sağlar. Bu, robotun uzun süre boyunca enerji tasarrufu yaparak çalışmasını mümkün kılar.

Proje gereksinimlerimize ve tasarım hedeflerimize göre, servo motorlar dışında başka motor tipleri veya aktüatörler de düşünülebilir. Robot köpeğimizin modüler yapısı, farklı hız ve tork kombinasyonlarına sahip bacak tasarımlarını destekleyecek şekilde tasarlanmıştır, bu da projemizin esnekliğini ve uyarlanabilirliğini artırır. Bu özellikler, robot köpeğimizin farklı ortamlarda ve koşullarda etkili bir şekilde çalışabilmesi için temel teşkil eder.



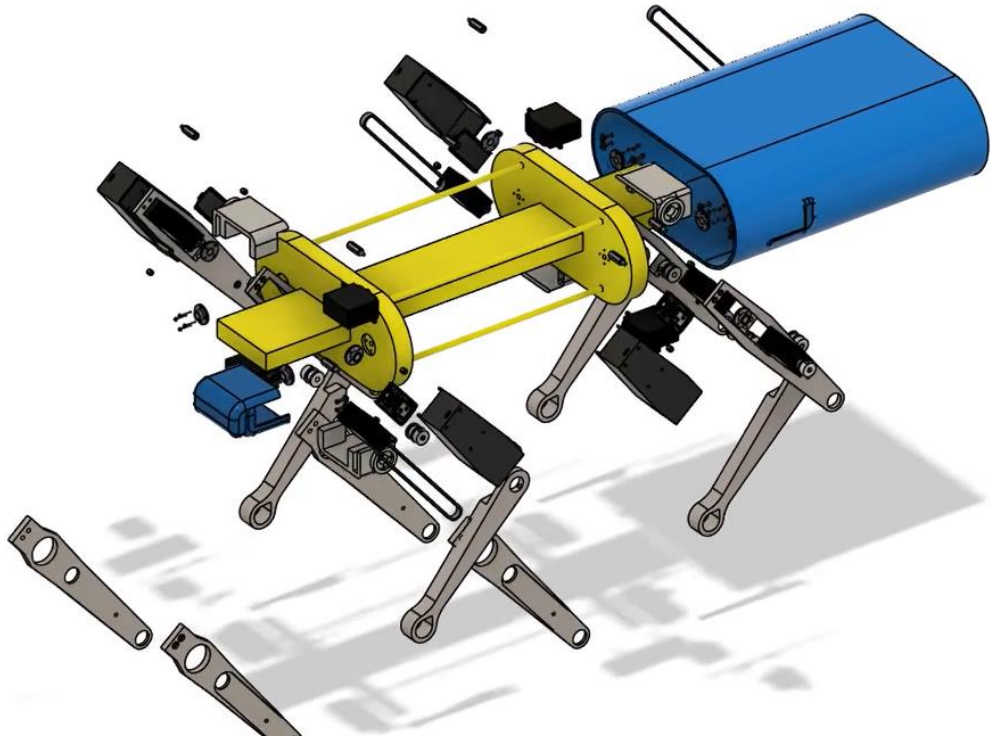
Şekil 1. Servo Motor İç Yapısı

3.2 Modüler Yapı

Projemiz, kullanıcıların özgün ihtiyaçlarına ve çevresel koşullara uyum sağlayabilen, modüler bir robot köpeği tasarımına dayanmaktadır. Robotun ana gövdesi, sağlamlık ve fonksiyonellik açısından optimal bir yapı sunarken, değiştirilebilir bacaklar ise projenin çeşitliliğini ve esnekliğini artırır. Bu modüler tasarım, kullanıcılara robotlarını farklı zemin türleri, hareket kabiliyetleri ve görevler için özelleştirme şansı verir. Örneğin, daha zorlu arazi koşulları için tasarlanmış bacaklar, robotun dengesini ve hareket kabiliyetini artırırken, daha düz yüzeyler için optimize edilmiş bacaklar, hız ve verimlilik açısından avantaj sağlar.

Projenin odaklandığı temel özellikler, robotun dayanıklılığı, adaptasyon yeteneği ve kullanıcı dostu arayüzüdür. Robotun yapısında kullanılan malzemeler ve tasarım, uzun ömürlü ve dayanıklı bir kullanım sunmak üzere seçilmiştir. Adaptasyon yeteneği, robotun farklı senaryolara kolayca uyarlanabilmesini sağlar; bu hem yazılım hem de donanım açısından esnek bir platform gerektirir. Kullanıcı dostu arayüz, robotun kurulumu ve programlanması süreçlerini basitleştirerek, kullanıcıların robotlarıyla etkileşimini kolaylaştırır. Bu özellikler, robotun geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmesini ve çeşitli uygulama alanlarında etkili bir şekilde kullanılmasını sağlar.

Bu projenin temel amacı, robotik teknolojiyi daha erişilebilir ve uygulanabilir hale getirmektir. Modüler tasarım, robotun kullanım alanlarını genişletirken, kullanıcıların kendi ihtiyaçlarına göre özelleştirmeler yapmasına olanak tanır. Bu, robotik alanındaki yenilikleri teşvik eder ve geniş bir kullanıcı yelpazesinin robot teknolojisinden faydalanmasına yardımcı olur. Projemiz, bu vizyonu gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır ve bu alanda önemli bir adım oluşturmaya hedeflemektedir.



Şekil 2. Modüler Yapı Gösterimi

3.3 Gövde ve Mikrodenetleyici:

Gövde, robotun merkezi kontrol ünitesi olarak işlev görür ve içerisinde test sürecinde Arduino UNO mikrodenetleyici platformu bulunmaktadır ve sonrasında her bir bacakta ESP tabanlı mikrodenetleyiciler kullanılacaktır. Arduino UNO, robotun beyin fonksiyonlarını temsil eder ve tüm hareketleri, algılamaları ve karar verme süreçlerini yönetir. Bu mikrodenetleyici platformunun seçilmesi hem güvenilirliği hem de geniş kullanıcı ve geliştirici topluluğu nedeniyle avantajlıdır.

Arduino UNO'nun projemizdeki bir diğer önemli rolü, Matlab yazılımı ile anlık olarak haberleşme yeteneğidir. Matlab, mühendislik ve bilimsel hesaplamalarda yaygın olarak kullanılan güçlü bir yazılımdır ve bu özelliği, robotumuzun performansını izleme ve analiz etme, ayrıca gerçek zamanlı kontrol ve ayarlama yapma konusunda önemli avantajlar sunar. Bu haberleşme, robot köpeğimizin hareketlerinin ve tepkilerinin optimize edilmesine, daha karmaşık görevlerin ve algoritmaların uygulanmasına imkân tanır. Ayrıca, Matlab'ın görsel arayüzü ve analitik araçları, projemizin geliştirme sürecini kolaylaştırır ve hızlandırır.

Gövdenin tasarımı ve Arduino UNO ile Matlab arasındaki entegrasyon, robot köpeğimizin verimli ve etkili bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu entegrasyon, robotun çevresel verileri toplama, işleme ve buna göre tepki verme kabiliyetini artırır. Ayrıca, bu yapı sayesinde robot, değişen durumlara ve ihtiyaçlara hızla uyum sağlayabilir, bu da onu çeşitli uygulama alanlarında kullanışlı kılar. Genel olarak, bu entegre sistem, robotumuzun akıllı, esnek ve kullanıcı dostu bir platform olarak geliştirilmesinde kritik bir rol oynar.

3.4 Bacaklar:

Robotumuzun bacakları, Formula 1 araçlarının tekerlek bağlantılarını andıran özel bir yapıya sahiptir. Bu tasarım, bacakların robotun gövdesine kolay ve etkili bir şekilde monte edilmesini sağlar. Vidalar aracılığıyla yapılan bu bağlantı, bacakların güvenli bir şekilde tutturulmasını ve gerektiğinde kolayca değiştirilebilmesini mümkün kılar. Bu modüler yaklaşım, robotun farklı koşullara ve ihtiyaçlara hızla adapte edilmesine olanak tanır.

Bacakların motorlandırılması konusunda ise, projemiz büyük bir esneklik sunar. Bacaklara farklı motor tipleri yerleştirilebilir, bu da robotun çeşitli zorluk derecelerindeki ortamlarda verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. Örneğin, ağır yük taşıma veya zorlu arazi koşullarında daha yüksek tork değerlerine ihtiyaç duyulduğunda, tork kapasitesi yüksek motorlar tercih edilebilir. Bu tür motorlar, robotun güç gerektiren durumlarda daha etkin performans göstermesini sağlar.

Diğer taraftan, hızın önemli olduğu durumlar için daha hız odaklı motorlar kullanılabilir. Bu motorlar, robotun daha hızlı hareket etmesini ve daha geniş alanları daha kısa sürede kapsamasını sağlar. Bu durum, özellikle arama-kurtarma görevleri gibi zamanın kritik olduğu senaryolarda robotun etkinliğini artırır.

Bu modüler ve esnek bacak tasarımı, robotumuzun çok çeşitli uygulama alanlarına uyum sağlamasına imkân tanır. Her bir motor tipi, belirli bir görev veya çevre için optimize edilebilir, bu da robotun her durumda en iyi performansı göstermesini sağlar. Genel olarak, bu yaklaşım robotumuzun kullanım alanını genişletir ve her türlü durumda maksimum verimlilik ve etkililik sunmasına yardımcı olur.



Şekil 3 Bacak Tasarımı

3.5 Güç Kaynağı:

Projemizdeki robot köpeğin her bir bacağı, güç ihtiyacını ana gövdede bulunan merkezi bir güç konektöründen alır. Bu tasarım, her bir bacağına ayrı ayrı güç ve veri kablosu çekme ihtiyacını ortadan kaldırır, böylece karmaşık ve dağınık kablo bağlantılarından kaçınılmış olur. Bu merkezi bağlantı noktası sayesinde hem veri iletimi hem de güç beslemesi tek bir yerden yönetilir, bu da robotun tasarımını hem estetik hem de pratik açıdan temiz ve düzenli kılar.

Bu yaklaşımın birçok avantajı vardır. İlk olarak, bacakların bağlantısı ve bakımı çok daha basitleşir. Bacakların değiştirilmesi veya onarılması gerektiğinde, çok sayıda kablo ile uğraşmak yerine, yalnızca merkezi bağlantıyı çözeniz yeterlidir. İkincisi, bu tasarım robotun genel güvenilirliğini artırır. Daha az kablo kullanımı, potansiyel arıza noktalarının sayısını azaltır ve genel olarak sistemin dayanıklılığını artırır.

Ayrıca, tüm güç ve veri iletiminin merkezi bir noktadan yapılması, robotun elektronik sistemlerinin daha kolay yönetilmesini sağlar. Bu, özellikle robotun programlanması ve hata ayıklaması sırasında büyük bir kolaylık sağlar. Kullanıcılar için bu, robotun daha anlaşılır ve erişilebilir olmasını sağlar.

Sonuç olarak, bu entegre güç ve veri iletimi sistemi, robotumuzun hem işlevsel hem de estetik açıdan üstün bir tasarıma sahip olmasını sağlar. Bu, robotun daha etkili ve verimli bir şekilde çalışmasına olanak tanırken, kullanım ve bakım süreçlerini de kolaylaştırır.

3.6 Ticari Avantajlar:

Projemizde sunduğumuz çeşitli bacak seçenekleri, geniş bir müşteri kitlesinin ihtiyaç ve beklentilerine hitap etme potansiyeline sahiptir. Bu modüler bacaklar, kolay ve hızlı bir bağlantı mekanizması sayesinde, kullanıcıların robotlarını karmaşık kablolama işlemleri olmadan, zahmetsizce özelleştirmelerine olanak tanır. Bu, müşterilere robotlarını çeşitli durumlar ve görevler için uyarlamaları için esnek bir yol sunar.

Kullanıcılar, robotlarını arazideki hareket kabiliyetinden, yük taşıma kapasitesine kadar kendi spesifik ihtiyaçlarına göre özelleştirebilirler. Örneğin, zorlu arazi koşulları için tasarlanmış bacaklar, robotun dengesini ve navigasyon kabiliyetini artırırken; düz ve sert zeminler için tasarlanmış bacaklar, hız ve verimlilik açısından avantajlar sunar. Bu esneklik, kullanıcıların robotlarını çeşitli senaryolarda, örneğin arama-kurtarma görevlerinde, depo yönetiminde veya kişisel yardımcı olarak kullanmalarını mümkün kılar.

Bu modüler tasarımın bir başka avantajı da ekonomik verimlilik. Kullanıcılar, robotlarını yeni bir model almadan güncelleyebilirler, bu da hem maliyet etkinliği hem de çevresel sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Robotun modüler yapısı, uzun vadede daha az atık ve daha düşük maliyetle sürekli bir gelişim ve adaptasyon imkânı sunar.

Sonuç olarak, projemizin bu modüler yaklaşımı, robot köpeklerimizi farklı uygulama alanlarına uygun hale getirirken, kullanıcı dostu, esnek ve ekonomik bir çözüm sunar. Bu özellikler, projemizi pazarda rekabetçi ve çekici kılar, çeşitli müşteri ihtiyaçlarını karşılayacak şekilde geniş bir kullanım alanı yaratır.

4. BÖLÜM GERÇEKLEŞME VE İMALAT

4.1 İş Planı

4.1.1 Hedeflenen sonuçlara ulaşmak adına literatür taraması

Literatür taraması, projemizin karşılaşılabileceği matematiksel zorlukları derinlemesine anlamamıza ve bu zorlukların üstesinden gelmek için en uygun matematiksel modelleri ve çözüm stratejilerini belirlememize olanak tanır. Bu süreç, benzer çalışmaları inceleyerek projemizin bilimsel geçerliliğini güçlendirmemize ve matematiksel temellerini sağlamlaştırmamıza yardımcı olur. Başarının anahtarı, literatürde bulunan bilgileri projemize doğru bir şekilde uygulamak, matematiksel modellerle sistemin performansını artırmak ve projemizi diğer benzer çalışmalarla karşılaştırabilir bir düzeye taşımaktır. Bu yaklaşım, projemizin hem bilimsel hem de uygulamalı anlamda güçlü bir temele oturmasını sağlayacak ve hedeflenen sonuçlara ulaşmamıza katkıda bulunacaktır.

4.1.2 Mekanik tasarım yapılması

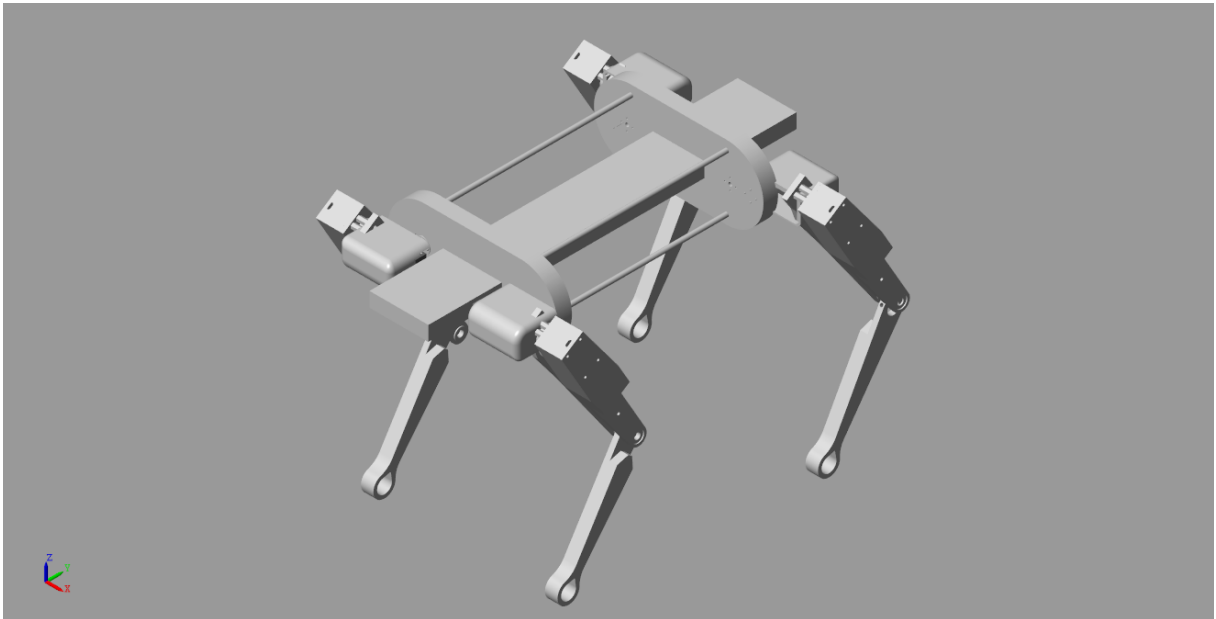
Projemizin belirlenen gereksinimlerine uygun bir mekanik tasarım gerçekleştirmek için literatürden elde edilen bilgiler büyük önem taşımaktadır. Bu süreç, literatürdeki bilgileri dikkatlice analiz ederek ve bu bilgileri projemizin spesifik ihtiyaçlarıyla bütünleştirerek hem işlevsel hem de yenilikçi bir mekanik tasarım yapmamızı sağlar. Bu yaklaşım, projenin başarısını artıracak ve tasarımın, projenin amaçlarına tam olarak hizmet etmesini garantileyecek şekilde uyarlanmasına olanak tanıyacaktır. Sonuç olarak, literatürdeki bilgileri projemizin özgün gereksinimleriyle birleştirmek, tasarım sürecimizin daha verimli ve etkili olmasına katkıda bulunacak ve projenin genel başarısını destekleyecektir.

4.1.3 Mekanik ve Elektronik Birleşenlerin tedariki

Mekanik ve elektronik birleşenlerin tedariki, projenin başarılı bir şekilde tamamlanması için kritik bir öneme sahiptir. Mekanik parçaların kalitesi, dayanıklılığı ve hassasiyeti, robotun hareket kabiliyeti ve genel performansı üzerinde doğrudan etkili olacaktır. Elektronik bileşenlerin doğru bir şekilde sağlanması ise robotun algılama, kontrol ve iletişim yeteneklerini belirleyecektir.

4.1.4 Dijital İkiz Tasarımı

Dijital İkiz Tasarımı, projemizin başarıya ulaşmasında hayati bir role sahiptir. Projenin başlangıcından itibaren, bu tasarım aracılığıyla gerçekleştirilen simülasyonlar, kullanılacak servo motorlar, algoritmalar ve sensörler arasındaki etkileşimleri önceden değerlendirmemize olanak tanır. Bu sayede, dijital ikiz, mühendisler, tasarım sürecinin erken aşamalarında potansiyel hataları tespit etme, bu hataları optimize etme ve düzeltme konusunda değerli bir araç oluşturur. Dijital ikizin sağladığı bu derinlemesine analiz ve ön değerlendirme yeteneği, projenin daha etkin ve hatasız bir şekilde ilerlemesine büyük katkı sağlar, böylece tasarım sürecinin verimliliğini artırır ve projenin genel başarısını destekler.



Şekil 4 Dijital İkiz Görüntüsü

4.1.5 Mekanik Analiz yapılması

Tasarlanan CAD parçalarının üzerinde oluşabilecek gerilimlere rağmen şekil değişikliğine uğramaması ve uzun ömürlü olmaları, projenin başarı kriterlerini belirler. Bu bağlamda, CAD parçalarının üzerindeki gerilimleri analiz etmek, mekanik dayanıklılıklarını sağlamak ve uzun ömürlü bir tasarım elde etmek projenin temel hedeflerindendir. Bu kriterlerin karşılanması, tasarımın mukavemet ve dayanıklılık açısından başarılı olduğunu gösterir. Ayrıca, CAD parçalarındaki gerilim analizi, robotun ağırlık merkezini hesaplamak ve düzenlemek için önemli bir veri kaynağıdır, bu da robotun dengeli ve stabil bir şekilde çalışmasını sağlamak için kritiktir.

4.1.6 At yürüyüşünün analiz edilmesi

Başarı kriteri olarak belirlenen nokta, at yürüyüşlerinin avantaj ve dezavantajlarına uygun olarak robotun yürüme planlaması yapılmasını içermektedir. Bu, at yürüyüşlerinden elde edilen bilgilerin robotun yürüme stratejisinin belirlenmesinde temel alınacağını göstermektedir. Katkısı açısından, köpeklerin farklı türlerine göre farklı yürüme stillerinin zorlu bir bilgi edinim süreci sunduğu düşünülmektedir. Ancak at yürüyüşlerinin analizi, daha rahat bir bilgi birikimi sağlayarak, robotun yürüme planlamasını daha etkili bir şekilde gerçekleştirmesine olanak tanır.

4.1.7 Yürüyüş algoritması tasarlamak

Belirlenen hedef, servo motorlara istenilen açı değerlerini ulaştırmak şeklinde özetleyebiliriz. Yürüme analizinden elde edilen koordinat verilerini kullanarak, her ayağın kaç dereceye hareket etmesi gerektiğini hesaplamak ve bu hesaplamalara dayanarak servo motorlarına uygun açı değerleri sağlamak.

4.1.8 Elektronik tasarımın yapılması ve elektrik bağlantılarının gerçekleştirilmesi

Elektronik tasarım, projenin kontrol sistemlerini, sensörlerini ve hareket mekanizmalarını içerir; bu unsurların uyumlu bir şekilde çalışması, robotun istenilen hareketleri ve fonksiyonları gerçekleştirebilmesi için hayati önem taşır. Ayrıca, doğru elektrik bağlantılarının kurulması, cihazın güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar ve enerji verimliliğini artırarak projenin başarısını destekler. Elektronik tasarımın ve elektrik bağlantılarının doğru bir şekilde gerçekleştirilmesi, proje sürecinde karşılaşılabilecek potansiyel sorunları en aza indirir, projenin güvenilirliğini artırır ve nihayetinde LAİKA'nın istenilen görevleri başarıyla yerine getirmesini sağlar.

4.1.9 Genel montaj ve bağlantı testlerinin gerçekleştirilmesi

Bu testler, tasarım sürecinin teorik aşamalarının pratikte uygunluğunu değerlendirir ve olası montaj hatalarını belirleyerek düzeltme şansı verir. Ayrıca, farklı bileşenler arasındaki bağlantıların sağlıklı çalışmasını kontrol ederek sistem bütünlüğünü güvence altına alır. Genel montaj ve bağlantı testleri, projenin gerçek dünya koşullarında sorunsuz bir şekilde çalışabilmesi için temel bir güvence sağlar ve donanımın uyumlu bir şekilde iş birliği yapmasını sağlamak adına önemli bir adımdır.

4.1.10 Test Parkuru tasarımı

Test parkuru tasarımı, LAİKA adlı otonom köpek projesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu tasarım, robotun gerçek dünya koşullarında performansını değerlendirecek ve güvenilirliğini test edecek bir ortam sağlar. Test parkuru, acil durumlar, kurtarma operasyonları ve askeri kullanım gibi çeşitli senaryolarda nasıl davrandığını anlamak için kullanılır. Bu sayede, algoritmaların ve sensörlerin etkinliği, hareket kabiliyeti ve dengeleme gibi önemli özellikler gerçek dünya uygulamalarında önceden değerlendirilebilir.

4.1.11 Temel hareket Testleri

Öncelikle, robotun şu ana kadar tamamlanan aşamalarının değerlendirilmesi amacıyla basit bir yürüyüş gerçekleştirilmesi planlanmaktadır. Ardından, robotun karşılaştığı engeli başarıyla algılaması ve engelin üzerinden atlamak veya üzerine çıkmak için uygun bir tepki göstermesi amaçlanmaktadır. Bu süreç, robotun genel performansını test etmek ve önündeki engelin üstesinden gelme yeteneğini ölçmek için bir değerlendirme sağlayacaktır.

4.1.12 Test verilerine göre Temel hareket optimizasyonu

Bu optimizasyon, algoritmaların ve servo motorların, gerçek dünya koşullarına uygun olarak en etkili ve verimli şekilde çalışmasını sağlamayı amaçlar. Test verilerine dayalı olarak yapılan optimizasyon, köpeğin hızlı ve doğru hareket etmesini, dengeyi korumasını ve çeşitli ortamlara uyum sağlamasını sağlar. Bu, proje başarısını artırır, enerji verimliliğini maksimize eder ve köpeğin görevlerini daha etkili bir şekilde yerine getirmesine olanak tanır.

4.1.13 Bulut sistemi ile haberleşme

Bulut sistemi, robotun sahip olduğu sensörlerden ve diğer veri kaynaklarından elde edilen bilgilerin merkezi bir konumda depolanmasını, işlenmesini ve paylaşılmasını mümkün kılar. Bu sayede, LAİKA'nın dijital ikizi sürekli olarak güncellenir ve geliştirilir, tasarım hataları hızla tespit edilip düzeltilir ve proje ekibi tarafından uzaktan erişimle yönetilebilir.

4.1.14 Yapay zekâ ile Nesne takibi

Projemizin son aşamasıdır. Dikkatle bu aşamaya ulaşabildiysek başarımız nihai olarak tescillenebilir. Hortum bağlantılarında sızıntı olmamasını özen göstermeliyiz. Havada püskürtme esnasında stabiliteyi kontrol etmeli olası kaymalarda sistemi hemen adapte edebilmeliyiz. Projenin başarıya ulaşmasındaki bu son aşama kritik düzeyde öneme sahiptir.

4.1.15 Dış alan testleri

Dış alan testleri, çeşitli zorlu çevresel faktörlerin etkisi altında donanımın ve yazılımın nasıl tepki verdiğini anlama konusunda önemli bilgiler sağlar. Bu testler aynı zamanda sensörlerin doğruluğunu, algoritmaların pratikteki etkinliğini ve robotun gerçek dünya uygulamalarında nasıl performans gösterdiğini değerlendirme imkânı tanır. Dış alan testleri sayesinde elde edilen veriler, proje tasarımını iyileştirmek ve olası sorunları önceden tespit ederek projenin genel başarı şansını artırmak için kullanılır.

4.2 Risk Yönetimi

4.2.1 Servo motorlardan kaynaklı hatalar

İlk olarak, hataların kökenini belirlemek için detaylı bir sorun analizi yapılmalıdır. Fabrikasyon hatalar için üretici ile iletişime geçilmelidir. Yazılımsal hatalar ise genellikle algoritmik veya parametre ayarlarından kaynaklanabilir; bu durumda, yazılımı gözden geçirmek, algoritmaları optimize etmek gerekebilir. Ayrıca geri bildirim sistemlerini kullanarak (örneğin, encoder), motor konumunu daha hassas bir şekilde kontrol etmek mümkündür. Test ve simülasyon süreçlerini düzenli olarak kullanarak, gerçek dünya koşullarını daha iyi taklit etmek ve tasarımın zayıf noktalarını önceden belirlemek de önemlidir.

4.2.2 IMU Sensörü kaynaklı hatalar

Sensör kalibrasyonunun doğru bir şekilde yapılması ve düzenli olarak tekrarlanması gerekmektedir. Ayrıca, sensör değerlerini işlemek ve yorumlamak için kullanılan algoritmaların güncellenmesi ve iyileştirilmesi önemlidir. Filtreleme teknikleri ve veri düzenleme algoritmaları kullanılarak gürültüyü azaltmak ve doğru veri sağlamak mümkündür.

4.2.3 Maliyetten kaynaklı sorunlar.

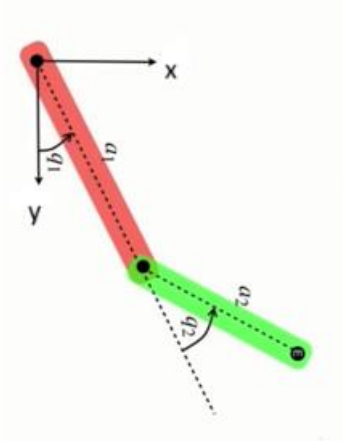
Modüler tasarım, her bir modülün bağımsız olarak optimize edilmesine ve hataların belirlenip düzeltilmesine olanak tanır. Ekonomik bir çözüm için en önemli yöntem olarak bu belirlenmiştir. Bu süreçte, sıkça gerçekleştirilen test ve doğrulama aşamalarıyla olası uyumsuzluklar önceden tespit edilmeli ve hızlı çözümler bulunmalıdır. Ayrıca, sürekli güncellemeler ve revizyonlar yaparak, yazılım-hardware uyumluluğunu korumak için proaktif bir yaklaşım benimsenmelidir.

5. BÖLÜM DENKLEMLER

5.1 Kinematik Denklemler

Robotumuzun hareket kabiliyetini sağlamak için, her biri üç servo motor barındıran dört ayağının koordineli şekilde adımlar atması gerekiyor. Bu, toplamda on iki servo motorun eş zamanlı ve hassas kontrolünü gerektiriyor. Ayakların istenilen noktalara doğru ve etkin bir şekilde ulaşabilmesi için, derece cinsinden girdi alıp çıktı veren kinematik denklemler büyük önem taşıyor.

Aşağıdaki denklem, yalnızca iki servo motor kullanmaktadır ve iki boyutlu (x ve y eksenleri) hareketler için geçerlidir ve dönme hareketleri için uygun değildir.



Şekil 5 Çift Servolu Kinematik Denklem

$$\cos q_2 = \frac{y^2 + x^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2}$$
$$q_2 = \cos^{-1}\left(\frac{y^2 + x^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2}\right)$$
$$q_1 = \tan^{-1}\frac{x}{y} - \tan^{-1}\frac{a_2 \sin q_2}{a_1 + a_2 \cos q_2}$$

Robotumuzun dönme hareketlerini daha rahat gerçekleştirebilmesi, hızla dengesini ayarlayabilmesi ve genel hareket kabiliyetini artırabilmesi için, omuz kısımlarına ek servo motorlar ekledik. Bu yeni servo motorlar, robotun daha karmaşık hareketleri kolaylıkla yapabilmesini sağlıyor. Ayrıca, robotumuzun kinematik denklemini, üç boyutlu hareketler (x, y ve z eksenleri) destekleyecek şekilde güncelledik. Bu güncellenmiş kinematik denklem, robotun her bir eksen boyunca daha hassas ve uyumlu hareketler yapmasına olanak tanıyor.

Bu yenilikler sayesinde, robotumuzun hareket kabiliyeti önemli ölçüde iyileşti. Üç boyutlu kinematik denklem, robotun daha karmaşık ve çeşitli yüzeylerde etkili bir şekilde hareket etmesine, engelleri aşabilmesine ve görevlerini daha verimli bir şekilde yerine getirmesine yardımcı oluyor. Böylece, robotun hareket mekanizması daha esnek ve adaptif bir yapı kazanarak, daha geniş bir hareket yelpazesine erişebiliyor.

$$q_3 = \tan^{-1}\left(\frac{z}{y}\right)h = \sqrt{z^2 + y^2}$$
$$q_2 = \cos^{-1}\left(\frac{h^2 + x^2 - a_1^2 - a_2^2}{2a_1a_2}\right)$$
$$q_1 = \tan^{-1}\frac{x}{h} - \tan^{-1}\frac{a_2 \sin q_2}{a_1 + a_2 \cos q_2}$$

5.2 Zıplama Senaryosu

Robotun zıplama kabiliyetini analiz etmek için, önce bacakların çizgisel hızını açısal hız ve bacak uzunluğuna göre hesapladık. Robotun her bir bacağı için verilen derece/saniye cinsinden açısal hız ve bacakların uzunlukları kullanarak çizgisel hız hesaplandı. Çizgisel hız, açısal hızın bacak uzunluğu ile çarpılmasıyla elde edilir.

Daha sonra, bu çizgisel hıza dayanarak, her bir bacakta oluşan kinetik enerjiyi hesapladık. Her bir bacağın sağladığı kinetik enerji, hareketin dinamiklerine ve bacağın kütlesine bağlıdır.

Robotun dört bacağının toplam kinetik enerjisini bulmak için, her bir bacağın kinetik enerjilerini topladık. Bu toplam enerji, robotun zıplama yeteneğini belirleyen ana faktördür. Robotun dört bacağından elde edilen toplam kinetik enerji, robotun hareket kabiliyeti üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

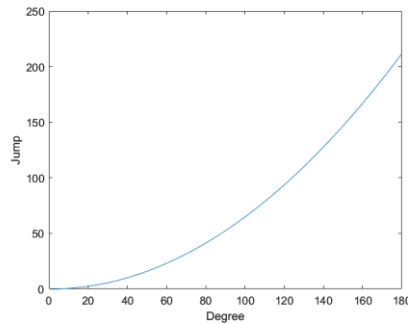
$$v = r * \omega \text{ (Robot bacağın çizgisel hızını çıkarmak)}$$

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Robotun bir bacağına oluşan kinetik enerji)}$$

$$E = 4 * K \text{ (tüm bacaklarında oluşan kinetik enerji)}$$

$$h = \frac{E}{mg} \text{ (oluşan kinetik enerji ile ulaşabileceği yükseklik)}$$

Son olarak, bu toplam kinetik enerjiyi, robotun kütlesi ve yer çekimi ivmesi göz önünde bulundurularak yüksekliğe dönüştürdük. Yükseklik, toplam kinetik enerjinin yer çekimi potansiyel enerjisine dönüştürülmesiyle hesaplanır. Bu hesaplama, robotun teorik olarak ne kadar yükseğe zıplayabileceğini gösterir ve robotun zıplama kabiliyetinin bir ölçüsüdür.



Şekil 6 Açısal Hız/Zıplama Tablosu

6. BÖLÜM YAZILIM

Robotumuzun hareket etmesi için ayaklarının (robotun merkezine göre) gitmesi gereken konumlar yazılımsal olarak matris formunda tanımlanmıştır.

Yazılım sistemimiz, konum matris'i üzerinde işlemler gerçekleştirerek, ayakların istenilen konumlara ulaşabilmesi için gereken açılar hesaplamaktadır. Bu hesaplamada, ayakların uzunlukları da dikkate alınarak doğru açılar belirlenmesi sağlanmaktadır. Kodları Ekler Bölümünde “DOF_3_Inverse Fonksiyonu” olarak verilmiştir.

Elde ettiğimiz açı değerlerini, Simulink ortamında tasarladığımız dijital ikizimiz üzerinde detaylı bir gözlem sürecine tabi tutuyoruz. Bu aşamada, her bir ayak segmentinin ve eklem hareketinin dijital ikizimizde nasıl yansıtıldığını inceleyerek, sistemin genel performansını anlamaya yönelik kapsamlı bir değerlendirme gerçekleştiriyoruz. Ayrıca, elde ettiğimiz açı değerlerini kullanarak dijital ikizin davranışını simüle ediyor ve olası senaryolara karşı nasıl tepki verdiğini gözlemliyoruz. Tasarladığımız Simulink Modeli “Şekil-7”de verilmiştir.

Dijital ikizimizde bulunan sanal sensörler aracılığıyla elde ettiğimiz verileri kullanarak, Simulink ortamında gerçekleştirdiğimiz hareketleri Arduino mikrodenetleyicisi üzerinden gerçek robotumuza aktarıyoruz. Bu süreçte, sanal sensörlerin sağladığı bilgilerle dijital ikizin içsel durumunu anlık olarak izliyor ve bu verilere dayanarak geliştirdiğimiz kontrol stratejilerini değerlendiriyoruz. Tüm bu süreci sağlayan Kodlar Ekler Bölümünde “Quadruped Robot İçin MATLAB Kodu” olarak verilmiştir.

6.1 Neden MATLAB

MATLAB (Matrix Laboratory), geniş bir teknik hesaplama yelpazesi için kullanılan bir yüksek seviyeli programlama dilidir. Bu, özellikle matris manipülasyonları, sayısal hesaplamalar, veri analizi, grafik çizimi, modelleme ve simülasyon gibi alanlarda önem taşır. MATLAB, mühendislikten fizik ve matematiğe, bilgisayar bilimlerinden biyomedikal mühendisliğe kadar birçok bilim dalında tercih edilen bir araçtır.

MATLAB'ın en büyük avantajlarından biri, hızlı prototipleme ve algoritma geliştirme süreçlerindeki etkinliğidir. Ayrıca, karmaşık fiziksel sistemleri simüle etme kabiliyeti sayesinde, araştırmacıların ve mühendislerin teorik modelleri gerçek dünya senaryolarında test etmelerine olanak tanır. Bu özellik, özellikle robotik ve otomasyon alanlarında devrim yaratan katkılara imkân sağlar.

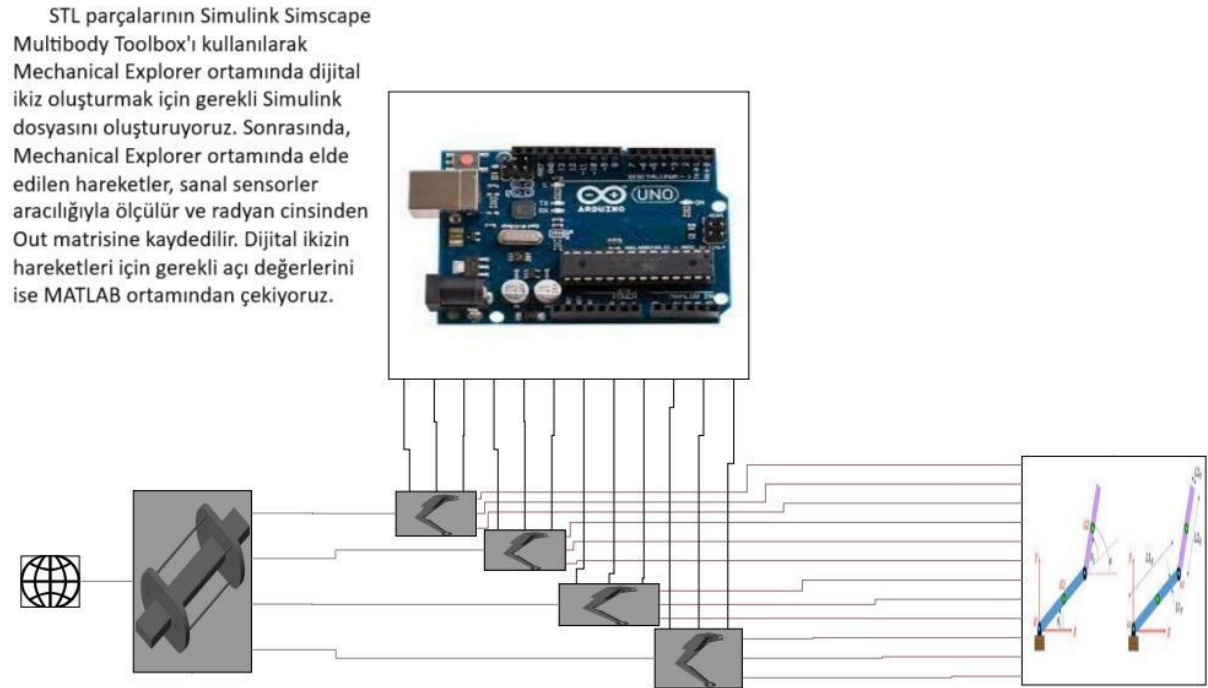
Projemizde, tasarlamış olduğumuz robot köpeğin STL uzantılı tasarım dosyalarını MATLAB Simscape Multibody Toolbox kullanarak dijital bir ikize dönüştürdük. Bu sayede, MATLAB Model Explorer aracılığıyla robot köpeğimizin dijital ikizini detaylı bir şekilde gözlemleyebildik. Bu işlem, robotun hareket kabiliyetini ve mekanik sınırlamalarını anlamamızda kritik bir rol oynadı.

Bunun yanı sıra, MATLAB'in güçlü matematiksel hesaplama yetenekleri sayesinde robotun kinematik denklemlerini ve kontrol algoritmalarını etkin bir şekilde çalıştırdık. Bu süreçte, MATLAB'ın kullanıcı dostu arayüzü ve kapsamlı fonksiyon kütüphanesi, karmaşık matematiksel problemleri hızlı ve etkili bir şekilde çözmemize yardımcı oldu.

Ayrıca, dijital ikizimizde bulunan sanal sensörlerden elde ettiğimiz açısal değerleri MATLAB araçlarıyla grafik olarak görselleştirdik. Bu görselleştirmeler, robotun davranışını daha iyi anlamamıza ve gerekli ayarlamaları yapmamıza imkân sağladı.

MATLAB Support Package for Arduino Hardware sayesinde, Serial porta bağlı olan Arduino UNO ve ona bağlı olan servo motorları kontrol ederek dijital ikizimizden elde ettiğimiz açısal değerlere göre gerçek robotumuzun hareketlerini kontrol edip ayarlayabildik. Bu entegrasyon, dijital ve fiziksel dünyalar arasında kesintisiz bir bağlantı kurmamızı sağlayarak, teorik modellemelerimizi gerçek dünya uygulamalarıyla doğrudan ilişkilendirmemize olanak tanıdı.

Sonuç olarak, MATLAB'ın bu geniş özellik yelpazesi, projemizin her aşamasında bize büyük avantajlar sağladı. MATLAB'ın sağladığı bu esneklik ve güç, projemizin başarısında kritik bir faktör oldu. Özellikle robotik ve otomasyon gibi hızla gelişen alanlarda, MATLAB gibi kapsamlı ve etkili bir aracın kullanımı, yenilikçi ve etkili çözümlerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu da MATLAB'ı bu tür projeler için vazgeçilmez bir araç haline getirir.



Şekil 7. Simulink Tasarımı

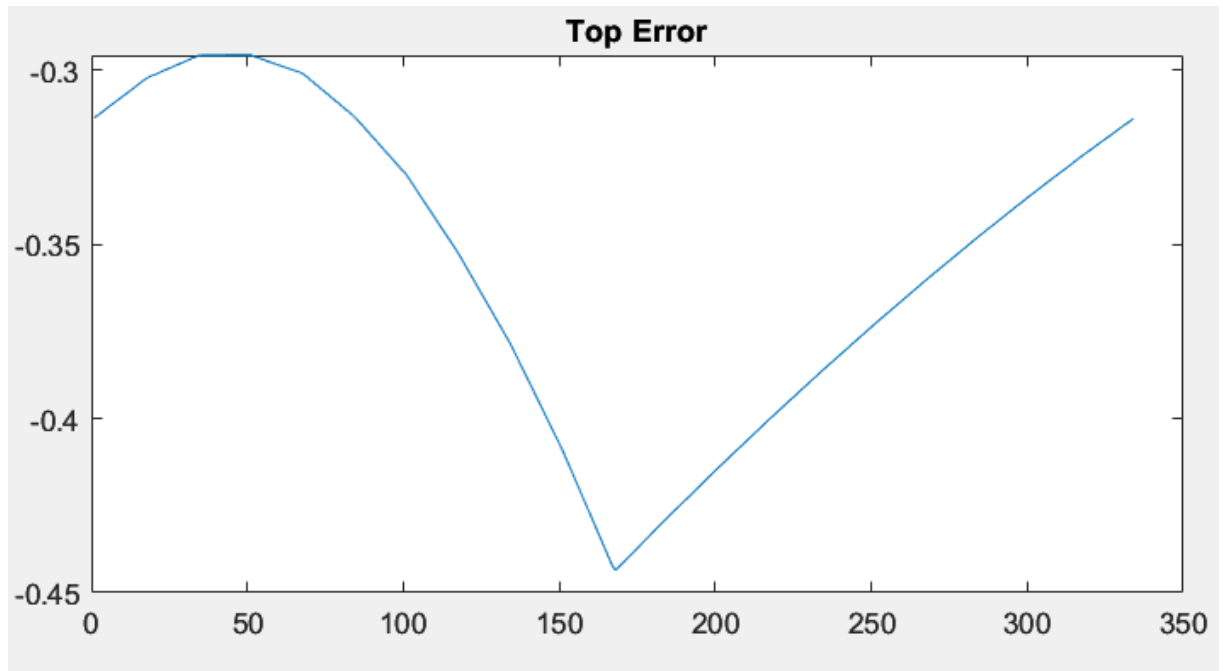
7. BÖLÜM TEST VE DOĞRULAMA

Tasarladığımız robot köpeğin, MATLAB ortamında oluşturduğumuz dijital ikizinde her bir ayağının hareketlerini koordine etmek için matris formatında spesifik konum değerleri belirledik. Bu değerler, robotun ayaklarının eş zamanlı ve verimli bir şekilde hareket etmesini sağlamak üzere tasarlandı. Dijital ikizimizde bu konum değerlerini, seçtiğimiz örnekleme frekansına (20 Hz, yani her 0,05 saniyede bir) göre değerler alındı.

Ardından, bu örneklemeleri Arduino mikrodenetleyici platformu üzerinden gerçek robotumuzun servo motorlarına uyguladık. Bu işlem, dijital ikizdeki hareketlerin gerçek robotumuzda doğru bir şekilde yansıtılmasını sağlamak için yapıldı. Mikrodenetleyici, MATLAB'dan alınan konum verilerini, robotun servo motorlarını uygun zaman aralıklarında aktive ederek gerçek zamanlı olarak uyguladı. Böylece, robot köpeğimizin hareketleri, dijital ikizde tasarlanan ve simüle edilen hareketlerle uyumlu hale getirildi

MATLAB ortamı ile sürekli olarak haberleşen Arduino mikrodenetleyici üzerinden, robot köpeğimizin servo motorları tarafından uygulanan açı değerlerini alıyoruz. Bu değerler, Arduino tarafından gerçek zamanlı olarak okunup, servo motorlara uygulanmaktadır. Elde edilen bu servo açı değerlerini, MATLAB ortamında grafiksel olarak görüntülemek için bir arayüz geliştirdik. Bu sayede, servo motorların hareketlerini ve performansını anlık olarak izleyebiliyoruz.

Kullandığımız servo motorların kalitesi, robot köpeğimizin ayaklarının ağırlıkları ve hareketler sırasında oluşan torklar nedeniyle, bazı durumlarda motorlar istenen açılara tam olarak ulaşamamaktadır. Bu sapmalar, özellikle yüksek tork gerektiren hareketlerde veya ağırlık merkezinin değiştiği durumlarda daha belirgin hale gelebilmektedir. Bu sorunları çözmek amacıyla, sistemimizdeki servo motorların tepki sürelerini ve tork kapasitelerini detaylıca analiz ettik. Ayrıca, ayakların yapısal tasarımını ve ağırlık dağılımını optimize ederek, hareket sırasında oluşan yükü azaltmaya çalıştık.



Şekil 8. Bir Servodaki Açı Hataları

Test sürecinde, MATLAB ortamında oluşturduğumuz dijital ikizin ürettiği açılış matrislerini, robot köpeğimizin fiziksel hareket kabiliyetlerine uygun hale getirmek için özel işlemler uyguladık. Bu işlemler sırasında, MATLAB'ın Arduino Toolbox özelliğini kullandık. Toolbox, servo motorların açısal hareketlerini 180 derece ile sınırlandırıyor, bu da gerçek dünyadaki servo motorların hareket kabiliyetlerini simüle etmemizi sağlıyor.

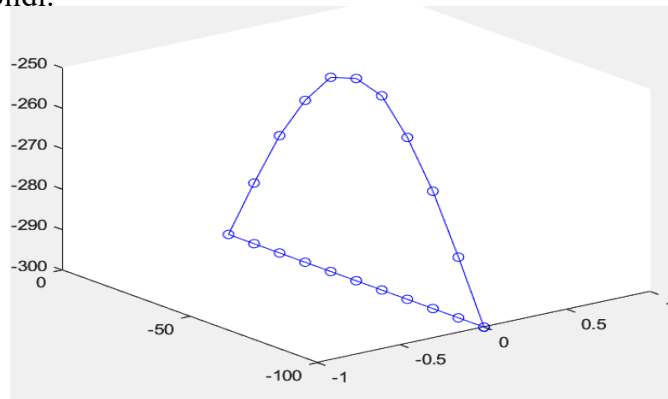
Açılış matrislerini, gerçek robot köpeğimizde kullanılan servo motorların fiziksel pozisyonlarına ve hareket sınırlamalarına göre ayarladık. Bu ayarlamalar, dijital ikizden alınan verileri, gerçek dünyadaki fiziksel kısıtlamaları göz önünde bulunduracak şekilde ölçeklendirmemizi ve dönüştürmemizi içeriyordu. Örneğin, bazı açılış değerleri, servo motorların mekanik sınırları nedeniyle uygulanabilir değildi; bu nedenle, bu değerleri motorların gerçek hareket aralıklarına uyacak şekilde ayarladık.

Tüm bu işlemler, yazılımımızın bir parçası olarak entegre edildi, böylece her test ve uygulama sırasında otomatik olarak çalıştırılabilir. Bu entegrasyon sayesinde, gerçek robotumuzun hareketlerini daha doğru ve etkin bir şekilde kontrol edebilir, dijital ikiz ile fiziksel robot arasında yüksek düzeyde uyum sağlayabiliriz.

Sistemimizde, MATLAB ile Arduino arasındaki haberleşme ve dijital ikizden alınan örneklerin düşük örnekleme frekansı, gerçek zamanlı robotumuzdaki hareket sorunlarının başlıca nedenlerinden biridir. Düşük örnekleme frekansı, robot hareketlerinin gerçek zamanlı olarak yeterince hassas olmamasına yol açmaktadır. Bu, özellikle karmaşık veya hızlı hareketler sırasında robotun beklenen performansı sergileyememesine neden olmaktadır.

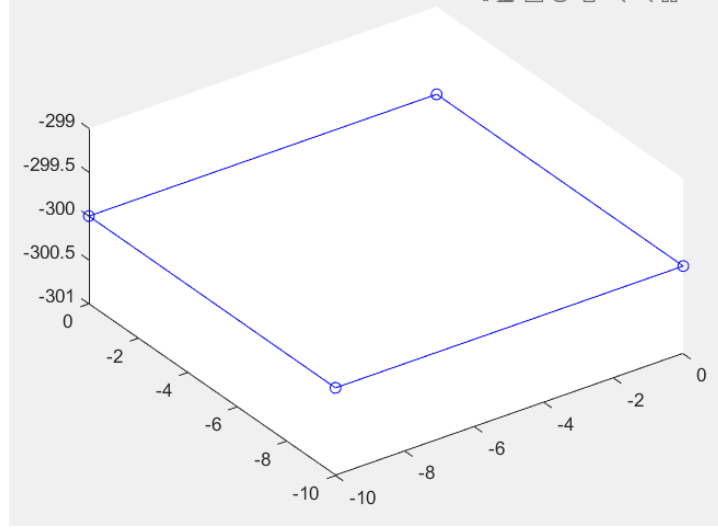
Öte yandan, örnekleme frekansını artırdığımızda, MATLAB ve Arduino arasındaki haberleşme hızının sınırlamaları nedeniyle yeni bir sorunla karşılaşırız. Yüksek örnekleme frekansı, daha fazla açılış değerinin hesaplanması ve iletilmesi gerektiği anlamına gelmektedir. Bu durum, MATLAB-Arduino haberleşmesindeki veri aktarım hızının yetersiz kalmasına ve sonuç olarak gerçek zamanlı hareketlerin yavaşlamasına neden olmaktadır. Bu yavaşlama, özellikle robotun hızlı tepki vermesi gereken durumlarda sorun yaratmaktadır.

Sistemimizde gerçekleştirdiğimiz test senaryosunda, her bir bacağın sırasıyla ileriye doğru sinüs dalgası şeklinde hareket etmesini ve ardından yatay eksen başlangıç noktasına geri çekilmesini sağladık. Bu senaryo, robot köpeğimizin bacak hareketlerinin doğruluğunu ve akıcılığını test etmek için tasarlandı. Bacakların ileri ve geri hareketleri, doğal ve düzgün bir yürüyüş ritmi oluşturacak şekilde ayarlandı, böylece robotun dengesi ve hareket kabiliyeti detaylıca incelenebildi.



Şekil 9. Test Senaryosu

Omuzdaki servo motorların hareket kabiliyetini ve 3 eksenli kinematik denklemleri daha kapsamlı bir şekilde test etmek için, her bir bacağı X-Y düzleminde 1 cm boyutunda bir kare çizdirerek hareket ettirdik. Bu test, robotun omuz servolarının hassasiyetini ve kinematik modelimizin doğruluğunu doğrulamak için önemliydi. Kare şeklindeki hareket, robotun bacak hareketlerinin doğruluğunu, servo motorlarının açısal kontrolünü ve genel mekanik yapıyı değerlendirmemizi sağladı.



Şekil 10 Omuz Test Senaryosu

Bu karmaşık hareketler sırasında, sistemimizdeki her bir servo motorun tepki süresi, tork kapasitesi ve hareket doğruluğu gibi kritik parametreler gözlemlendi. Ayrıca, robotun hareketleri sırasında oluşan dinamik yükler ve mekanik stresler de analiz edildi. Bu testler, robotun kinematik modelinin gerçek dünya koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamamıza ve gerekli iyileştirmeleri yapmamıza olanak tanıdı.

9. BÖLÜM GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu projeyi temel alarak, eklem bacaklı robotlar alanında yapay zekanın kullanımı ve bu tür robotlarda otonom sürüş algoritmalarının geliştirilmesi üzerine kapsamlı akademik çalışmalar yapmayı hedefliyoruz. Projemiz, özellikle arama-kurtarma, askeri ve lojistik alanlarında birincil kullanım önceliğine sahip olacak şekilde tasarlandı. Bu alanlarda robotumuzun, zorlu koşullarda etkili ve güvenilir bir şekilde görev yapabilmesi için gerekli donanım ve yazılım kapasitelerine sahip olmasını hedefliyoruz. Ayrıca, sağlık ve çocuk gelişimi alanlarında da önemli bir potansiyel görmekteyiz; örneğin, hastanelerde ilaç dağıtımı veya çocukların motor becerilerinin geliştirilmesine yardımcı olacak etkileşimli oyunlar gibi.

Robot köpeğimizi farklı platformlarda sergileyerek geniş bir kitleye ulaşmayı ve bu sayede büyük beğeni ile talep toplamayı umuyoruz. Projemizin bu çeşitlilik ve yenilikçi özellikleri, kamuoyu ilgisini çekmekle kalmayıp, robot teknolojisi alanında önemli bir atılım olarak da görülebilir. Bu bağlamda, projemizin modüler yapısı ve yenilikçi özellikleri göz önünde bulundurularak, ilgili patent ya da faydalı model başvurularını yapmayı hedefliyoruz. Böylece, teknolojik yeniliklerimizi koruma altına almayı ve ticari potansiyelini en üst düzeye çıkarmayı amaçlıyoruz.

Projemizin gelecekte, robot kinematiği, otonom algoritmalar, kinematik ve sensör teknolojileri gibi yeni araştırma konularına öncülük etmesini bekliyoruz. Bu alanlardaki yenilikler, robotumuzun daha da gelişmiş yeteneklere sahip olmasını sağlayacak ve geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılabilirliğini artıracaktır. Bu doğrultuda, teknolojik gelişmeleri yakından takip ederek ve sürekli yenilikçi çözümler üreterek çalışmalarımıza devam edeceğiz. Projemizin bu geniş vizyonu hem akademik hem de endüstriyel alanda önemli bir etki yaratmayı hedeflemekte ve robot teknolojisinin sınırlarını zorlamayı amaçlamaktadır.

10. BÖLÜM SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışma, Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümü öğrencilerinin bitirme projesi kapsamında geliştirilen dört ayaklı bir robot olan LAIKA'nın mekanik, yazılım ve elektronik tasarımlarını kapsamlı bir şekilde incelemektedir. Projede, LAIKA robot köpeğin geliştirilmesinin amacı, mekatronik mühendisliğinin temel prensiplerini uygulamak ve yenilikçi bir robotik çözüm sunmaktır. Projenin genel hedefleri ve beklenen sonuçlar, robotik ve mekatronik alanlarındaki yenilikleri takip etmek ve uygulamak olarak belirlenmiştir.

Literatür taraması bölümünde, dört ayaklı robotlar ve robot köpekler üzerine yapılan mevcut akademik ve endüstriyel çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu araştırma, benzer projelerin başarıları, zorlukları ve çözüm yolları üzerine odaklanmıştır, böylece LAIKA projesinin daha sağlam temeller üzerinde yükseltilmesine olanak tanımıştır.

Mekanik tasarım bölümünde, LAIKA'nın mekanik yapısı, kullanılan malzemeler, hareket kabiliyetleri ve yapısal dayanıklılık ele alınmıştır. Robotun hareket mekanizmaları, tasarım sürecinde karşılaşılan zorluklar ve bu zorlukların üstesinden gelinme yöntemleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Elektronik donanım bölümünde ise robotun elektronik bileşenleri, kontrol sistemleri ve güç yönetimi incelenmiştir. Sensörler, motorlar ve diğer elektronik parçaların seçimi ve entegrasyonu hakkında derinlemesine bilgi verilmiştir.

İmalat süreci bölümü, LAIKA'nın üretim aşamalarını, kullanılan imalat tekniklerini ve montaj süreçlerini içermektedir. Prototipin oluşturulması ve üretimde karşılaşılan zorluklar, bu bölümde detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Yazılım geliştirme bölümünde ise robotun programlanması, algoritma tasarımı ve yazılımın test edilmesi üzerine yoğunlaşmıştır. Yazılımın robotun hareket kabiliyetini nasıl etkilediği ve yazılım geliştirmede karşılaşılan zorluklar tartışılmıştır.

Test süreçleri, LAIKA'nın performansını, hareket kabiliyetini ve dayanıklılığını değerlendirmek için yapılan testleri ve bu testlerin sonuçlarını içerir. Bu testler sayesinde elde edilen veriler, robotun daha da geliştirilmesi için kritik öneme sahiptir. Risk yönetimi bölümü, proje süresince karşılaşılan riskleri ve bu risklerin nasıl yönetildiğini ele alır. Bu bölüm, risk azaltma stratejileri ve proje yönetimi tekniklerine odaklanır, böylece projenin başarılı bir şekilde tamamlanmasına katkıda bulunur.

Sonuç olarak, LAIKA robot köpeğin tasarımı ve geliştirilmesi sürecinde elde edilen tecrübeler, gelecekteki robotik projeler için önemli bilgiler ve öneriler sunmaktadır. Bu çalışma, Mekatronik Mühendisliği öğrencilerinin teorik bilgilerini pratiğe dökme ve yenilikçi çözümler üretme yeteneklerini göstermektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, dört ayaklı (Quadruped) robotlar alanında dijital ikiz teknolojisinin kullanımını keşfetmek ve geliştirmektir. Dijital ikiz, gerçek zamanlı veri akışı ve simülasyonlar aracılığıyla, robotun fiziksel bir kopyasını sanal ortamda oluşturmak ve bu sayede robotun performansını, davranışlarını ve olası sorunlarını daha etkili bir şekilde anlamak ve optimize etmek için kullanılmaktadır. Bu yaklaşım, robotun gerçek dünya senaryolarında karşılaşılabileceği durumları daha iyi öngörmemize ve karar verme süreçlerini iyileştirmemize olanak tanır.

Ayrıca, bu proje yüksek hareket kabiliyetine sahip bir robot geliştirmeyi hedeflemektedir. Hareket kabiliyeti, robotun çeşitli zemin koşullarında ve engellerle karşılaştığında göstereceği performans ve adaptasyon yeteneği açısından hayati öneme sahiptir. Bu hedef, robotun mekanik tasarımının yanı sıra kontrol algoritmalarının ve sensör sistemlerinin geliştirilmesiyle desteklenmektedir.

Son olarak, projede modüler bir yapı üzerinde durulmuştur. Modüler tasarım, robotun farklı görevlere ve çevresel koşullara uyum sağlamasını kolaylaştırır. Bu, robotun parçalarının ve işlevlerinin kolayca değiştirilmesine veya yükseltilmesine olanak tanıyarak, robotun uzun vadeli kullanımını ve esnekliğini artırır. Modüler yapının geliştirilmesi, aynı zamanda bakım ve onarım işlemlerini de basitleştirir, böylece robotun operasyonel verimliliği ve güvenilirliği artar.

Bu hedeflerin her biri, Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümü öğrencilerinin bitirme projesinde öncelikli olarak ele alınmış ve bu yönde kapsamlı çalışmalar yürütülmüştür. Projenin bu üç temel amacı, robotik alanında önemli yenilikler ve gelişmeler sunma potansiyeline sahiptir ve öğrencilerin bu alandaki bilgi ve becerilerini uygulamalı bir şekilde pekiştirmelerine olanak tanımaktadır.

LAIKA robot köpeğin tasarımı, boyut ve hareket kabiliyeti açısından dikkate değer özelliklere sahiptir. Robotun yaklaşık 50 cm uzunluk, 25 cm genişlik ve 30 cm yükseklik ölçülerinde olması ve yaklaşık 1 kg ağırlığında olması, onun hem kompakt hem de hafif bir yapıya sahip olduğunu gösterir. Bu boyutlar, robotun çeşitli ortamlarda etkin bir şekilde hareket etmesine olanak tanırken, hafifliği, enerji verimliliği ve hareket kolaylığı sağlar.

Robotun hareket kabiliyeti, 12 adet servo motor kullanılarak maksimize edilmiştir. Bu motorlar, LAIKA'ya daha çevik ve hassas hareketler yapma yeteneği kazandırır. Servo motorların her biri, robotun bacaklarını kontrol eder ve böylece karmaşık zemin şartlarında bile dengeli ve uyumlu hareketler gerçekleştirebilir. Bu hareket kabiliyeti, robotun zorlu arazi koşullarında etkili bir şekilde navigasyon yapmasını ve çeşitli görevleri başarıyla yerine getirmesini sağlar.

Projenin bir diğer önemli yönü ise LAIKA'nın dijital ikizidir. Bu dijital ikiz, projenin başlangıcından itibaren kullanılan algoritmaları, sensörleri ve mekanik sistemleri simüle eder. Dijital ikiz, gerçek dünyada robotun karşılaşacağı durumları önceden modelleyerek, tasarım ve test aşamalarında değerli içgörüler sunar. Bu, hem tasarım sürecini hızlandırır hem de potansiyel sorunları önceden tespit ederek çözüm üretme imkanı sağlar.

Robotun kinematik tasarımı da özenle ele alınmıştır. Her bacakta bulunan üç adet servo motor için hesaplanan kinematik denklemler, başlangıçta iki servo motor için tasarlanmış olup, daha sonra birkaç adım işlemle üç servo motorun üç eksenindeki hareketlerini kontrol edebilecek şekilde geliştirilmiştir. Bu kinematik düzenleme, robotun hareket aralığını ve esnekliğini artırırken, daha karmaşık hareket senaryolarının gerçekleştirilmesine olanak tanır.

Bu tasarım özellikleri, LAIKA'nın sadece teknik bir başarı değil, aynı zamanda mekatronik mühendisliği alanında önemli bir yenilik olduğunu göstermektedir. Robotun kompakt boyutları, gelişmiş hareket kabiliyeti ve dijital ikiz kullanımı, bu projenin robotik alanındaki gelişmeleri nasıl ileriye taşıdığını ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

1. R. Liang et al., "A General Arthropod Joint Model and its Applications in Modeling Human Robotic Joints," in *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7814-7822, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3049469.
2. M. Folgheraiter, G. Gini, A. Nava and N. Mottola, "A BioInspired Neural Controller For a Mobile Robot," 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Kunming, China, 2006, pp. 1646-1651, doi: 10.1109/ROBIO.2006.340191.
3. E. F. Fitcher and B. L. Fichter, "A survey of legs of insects and spiders from a kinematic perspective," *Proceedings. 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Philadelphia, PA, USA, 1988, pp. 984-986 vol.2, doi: 10.1109/ROBOT.1988.12188.
4. N. Harvey and A. L. Nel, "Arachnid-inspired kinesthesia for legged robots," 2015 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference (PRASA-RobMech), Port Elizabeth, South Africa, 2015, pp. 245-251, doi: 10.1109/RoboMech.2015.7359530.
5. K. Boyd, "Bio-Inspired Hexapedal Firefighting Robot," 2020 IEEE MIT Undergraduate Research Technology Conference (URTC), Cambridge, MA, USA, 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/URTC51696.2020.9668907.
6. A.G. Lamperski, O. Y. Loh, B. L. Kutscher and N. J. Cowan, "Dynamical Wall Following for a Wheeled Robot Using a Passive Tactile Sensor," *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Barcelona, Spain, 2005, pp. 3838-3843, doi: 10.1109/ROBOT.2005.1570706.
7. B Kwak, D. Lee and J. Bae, "Flexural Joints for Improved Linear Motion of a Marangoni Propulsion Robot: Design and Experiment," 2018 7th IEEE International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics (Biorob), Enschede, Netherlands, 2018, pp. 1321-1326, doi: 10.1109/BIOROB.2018.8488118.
8. B.L. Luk, S. Galt, D. S. Cooke and N. O. Hower, "Intelligent walking motions and control for a legged robot," 1999 European Control Conference (ECC), Karlsruhe, Germany, 1999, pp. 4756-4761, doi: 10.23919/ECC.1999.7100087.
9. J. Paskarbeit, J. Schmitz, M. Schilling and A. Schneider, "Layout and construction of a hexapod robot with increased mobility," 2010 3rd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Tokyo, Japan, 2010, pp. 621-625, doi: 10.1109/BIOROB.2010.5626605.
10. Y. Guan et al., "Structure Design and Motion Planning of a Reconfigurable Robot with Flexible Waist," 2023 9th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR), Wuhan, China, 2023, pp. 1-4, doi: 10.1109/EECR56827.2023.10150029.
11. B. Shin, H. -Y. Kim and K. -J. Cho, "Towards a biologically inspired small-scale water jumping robot," 2008 2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics, Scottsdale, AZ, USA, 2008, pp. 127-131, doi: 10.1109/BIOROB.2008.4762896.

12. B. He, Z. Wang, M. Li, K. Wang, R. Shen and S. Hu, "Wet Adhesion Inspired Bionic Climbing Robot," in *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 19, no. 1, pp. 312-320, Feb. 2014, doi: 10.1109/TMECH.2012.2234473.
13. B. Ma, Z. Liu, C. Peng and X. Li, "Trotting gait control of quadruped robot based on Trajectory Planning," 2021 4th World Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Manufacturing (WCMEIM), Shanghai, China, 2021, pp. 105-108, doi: 10.1109/WCMEIM54377.2021.00031.
14. Biswal, P., & Mohanty, P.K. (2020). Development of quadruped walking robots: A review. *Ain Shams Engineering Journal*.
15. Raibert, Marc H., Kevin Blankespoor, Gabriel M. Nelson and Robert Playter. "BigDog, the Rough-Terrain Quadruped Robot." *IFAC Proceedings Volumes* 41 (2008): 10822-10825.
16. Li, Yang, et al. "Towards object tracking for quadruped robots." *Journal of Visual Communication and Image Representation* 97 (2023): 103958.
17. Qi, J., Gao, H., Su, H., Han, L., Su, B., Huo, M., ... & Deng, Z. (2023). Reinforcement Learning-Based Stable Jump Control Method for Asteroid-Exploration Quadruped Robots. *Aerospace Science and Technology*, 108689.
18. TAHERI, Hamid; MOZAYANI, Nasser. A study on quadruped mobile robots. *Mechanism and Machine Theory*, 2023, 190: 105448.
19. JIANG, Han, et al. Stable skill improvement of quadruped robot based on privileged information and curriculum guidance. *Robotics and Autonomous Systems*, 2023, 170: 104550.
20. FANG, Lizhou, et al. Open-source lower controller for twelve degrees of freedom hydraulic quadruped robot with distributed control scheme. *HardwareX*, 2023, 13: e00393.
21. QI, Ji, et al. Integrated attitude and landing control for quadruped robots in asteroid landing mission scenarios using reinforcement learning. *Acta Astronautica*, 2023, 204: 599-610.
22. PARK, Sangyoon, et al. BIM-based scan planning for scanning with a quadruped walking robot. *Automation in Construction*, 2023, 152: 104911.
23. HALDER, Srijeet, et al. Construction inspection & monitoring with quadruped robots in future human-robot teaming: A preliminary study. *Journal of Building Engineering*, 2023, 65: 105814.
24. ZHANG, Yanbin, et al. Hybrid learning mechanisms under a neural control network for various walking speed generation of a quadruped robot. *Neural Networks*, 2023, 167: 292-308.
25. YAO, Qingfeng, et al. Adaptive legged manipulation: Versatile disturbance predictive control for quadruped robots with robotic arms. *Robotics and Autonomous Systems*, 2023, 104468.

26. CHEN, Zhijun, et al. Fault-tolerant gait design for quadruped robots with one locked leg using the GF set theory. *Mechanism and Machine Theory*, 2022, 178: 105069.
27. LUO, Jianwen, et al. Prismatic Quasi-Direct-Drives for dynamic quadruped locomotion with high payload capacity. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2022, 235: 107698.
28. CHAI, Hui, et al. A survey of the development of quadruped robots: Joint configuration, dynamic locomotion control method and mobile manipulation approach. *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 2022, 2.1: 100029.
29. JI, Qinglei, et al. Synthesizing the optimal gait of a quadruped robot with soft actuators using deep reinforcement learning. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2022, 78: 102382.
30. MISHRA, Krishna Anurag, et al. Fuzzy logic controlled autonomous quadruped robot. *Materials Today: Proceedings*, 2022, 63: 49-55.
31. CUI, Junxiao, et al. Design and experiments of a novel quadruped robot with tensegrity legs. *Mechanism and Machine Theory*, 2022, 171: 104781.
32. CHEN, Xin, et al. Realization of indoor and outdoor localization and navigation for quadruped robots. *Procedia Computer Science*, 2022, 209: 84-92.
33. CHEN, Jiawei; XU, Kun; DING, Xilun. Adaptive gait planning for quadruped robot based on center of inertia over rough terrain. *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 2022, 2.1: 100031.
34. WANG, Kexin, et al. Vision-based Moving Target Tracking of Certain Target for Quadruped Robots. *Procedia Computer Science*, 2022, 209: 23-30.
35. LIU, Jinhao, et al. A person-following method based on monocular camera for quadruped robots. *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 2022, 2.3: 100058.
36. LI, Jing, et al. Development of a miniature quadrupedal piezoelectric robot combining fast speed and nano-resolution. *International Journal of Mechanical Sciences*, 2023, 250: 108276.
37. LUO, Bende; LUO, Yinlin. A balanced jumping control algorithm for quadruped robots. *Robotics and Autonomous Systems*, 2022, 158: 104278.
38. KROLICKI, Alexander, et al. Modeling Quadruped Leg Dynamics on Deformable Terrains using Data-driven Koopman Operators. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, 55.37: 420-425.
39. MANU, Amritanshu; GUPTA, Shakti S.; KOTHARI, Mangal. Path Tracking Strategy for Quadruped Robots Using a Hierarchical Framework. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, 55.1: 192-197.
40. CHEN, Chin-Tai; LIAO, Po-Sheng. Additive design and manufacturing of a quadruped robot actuated by electrothermal effect of shape memory polymer. *Sensors and Actuators A: Physical*, 2023, 357: 114401.

41. MOYER, Virginia; FICHTER, Eugene; FICHTER, Becky. Analyzing dynamics of arthropod walking. In: Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE, 1988. p. 710-711.
42. KIM, Juhyeon, et al. Deep learning-based 3D reconstruction of scaffolds using a robot dog. *Automation in Construction*, 2022, 134: 104092.
43. WANG, Ke, et al. A unified model with inertia shaping for highly dynamic jumps of legged robots. *Mechatronics*, 2023, 95: 103040.
44. PONCE, Hiram, et al. Modeling and simulation for designing a line walking chameleon-like legged robot. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 2022, 121: 102648.
45. YU, Haoyang, et al. Hierarchical jumping optimization for hydraulic biped wheel-legged robots. *Control Engineering Practice*, 2023, 141: 105721.
46. KOVAL, Anton; KANELAKIS, Christoforos; NIKOLAKOPOULOS, George. Evaluation of Lidar-based 3D SLAM algorithms in SubT environment. *IFAC-PapersOnLine*, 2022, 55.38: 126-131.
47. LINDQVIST, Björn, et al. Multimodality robotic systems: Integrated combined legged-aerial mobility for subterranean search-and-rescue. *Robotics and Autonomous Systems*, 2022, 154: 104134.
48. WANG, Jiankun, et al. A survey of the development of biomimetic intelligence and robotics. *Biomimetic Intelligence and Robotics*, 2021, 1: 100001.
49. SHAHABPOOR, E.; PAVIC, A. Human-structure dynamic interactions: Identification of two-degrees-of-freedom walking human model. *Journal of Sound and Vibration*, 2024, 569: 117974.
50. MORADI, Vahideh; SANJARI, Mohammad Ali; STERGIOU, Nick. Single subject analysis of individual responses to prosthetic modifications based on passive dynamic walking model. *Clinical Biomechanics*, 2022, 100: 105815.
51. HE, JingYe, et al. Survey of quadruped robots coping strategies in complex situations. *Electronics*, 2019, 8.12: 1414.
52. LI, Xiaoqi; WANG, Wei; YI, Jianqiang. Foot contact force of walk gait for a quadruped robot. In: 2016 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. IEEE, 2016. p. 659-664.
53. ZHANG, Dong, et al. Design of an Unconventional Bionic Quadruped Robot with Low-degree-freedom of Movement. In: 2021 6th International Conference on Control and Robotics Engineering (ICCRE). IEEE, 2021. p. 55-60.
54. NANDHINI, M.; KRITHIKA, V.; CHITTAL, K. Design of four pedal quadruped robot. In: 2017 IEEE International Conference on Power, Control, Signals and Instrumentation Engineering (ICPCSI). IEEE, 2017. p. 2548-2552.
55. BHATTI, Asad, et al. A Purposed model for Quadruped footprint generation. In: 2020 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies (iCoMET). IEEE, 2020. p. 1-5.

56. KASHIRI, Navvab, et al. Evaluation of Hip Kinematics Influence on the Performance of a Quadrupedal Robot Leg. In: ICINCO (1). 2016. p. 205-212.
57. HUNT, Alexander; SZCZECINSKI, Nicholas; QUINN, Roger. Development and training of a neural controller for hind leg walking in a dog robot. *Frontiers in neurorobotics*, 2017, 11: 18.
58. PETRESCU, Rely Victoria, et al. Inverse kinematics at the anthropomorphic robots, by a trigonometric method. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, 10.2: 394-411.
59. ZHANG, Jinrong; WANG, Chenxi; ZHANG, Jianhua. The kinematics analysis and configuration optimize of quadruped robot. *The Open Automation and Control Systems Journal*, 2014, 6.1.
60. LI, Zhaolu, et al. Motion Control Method of Bionic Robot Dog Based on Vision and Navigation Information. *Applied Sciences*, 2023, 13.6: 3664.
61. IIDA, Fumiya; GÓMEZ, Gabriel; PFEIFER, Rolf. Exploiting body dynamics for controlling a running quadruped robot. In: ICAR'05. Proceedings., 12th International Conference on Advanced Robotics, 2005. IEEE, 2005. p. 229-235.
62. LI, Xin, et al. Mechanical design of the legs of hydraulically actuated quadruped bionic robot. In: 2013 ICME International Conference on Complex Medical Engineering. IEEE, 2013. p. 626-632.
63. BIN, Li; XUEWEN, Rong; YIBIN, Li. Review and analysis of quadruped robots with articulated spine. In: The 26th Chinese Control and Decision Conference (2014 CCDC). IEEE, 2014. p. 5074-5079.
64. BOAVENTURA, Thiago, et al. Stability and performance of the compliance controller of the quadruped robot HyQ. In: 2013 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems. IEEE, 2013. p. 1458-1464.
65. LI, Qi, et al. Towards Generation and Transition of Diverse Gaits for Quadrupedal Robots Based on Trajectory Optimization and Whole-Body Impedance Control. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2023, 8.4: 2389-2396.
66. REBULA, John R., et al. A controller for the littledog quadruped walking on rough terrain. In: Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2007. p. 1467-1473.
67. ARIKAWA, Keisuke; HIROSE, Shigeo. Development of quadruped walking robot TITAN-VIII. In: Proceedings of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. IROS'96. IEEE, 1996. p. 208-214.
68. SAKAKIBARA, Yoshihiro, et al. Foot trajectory for a quadruped walking machine. In: IEEE International Workshop on Intelligent Robots and Systems, Towards a New Frontier of Applications. IEEE, 1990. p. 315-322.
69. HIROSE, Shigeo; KATO, Keisuke. Study on quadruped walking robot in Tokyo Institute of Technology-past, present and future. In: Proceedings 2000 ICRA. Millennium

Conference. IEEE International Conference on Robotics and Automation. Symposia Proceedings (Cat. No. 00CH37065). IEEE, 2000. p. 414-419.

70. PONGAS, Dimitris; MISTRY, Michael; SCHAAL, Stefan. A robust quadruped walking gait for traversing rough terrain. In: Proceedings 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 2007. p. 1474-1479.

71. HIROSE, Shigeo, et al. Quadruped walking robot centered demining system-development of titan-ix and its operation. In: Proceedings of the 2005 IEEE international conference on robotics and automation. IEEE, 2005. p. 1284-1290.

72. ZIMMERMANN, Simon; PORANNE, Roi; COROS, Stelian. Go fetch!-dynamic grasps using boston dynamics spot with external robotic arm. In: 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA). IEEE, 2021. p. 4488-4494.

73. KUMAR, PALIVELA ARUN; NARAYAN, YEOLE SHIVRAJ. Design of a quadruped robot and its inverse kinematics. International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development (IJMPERD), 2017, 7.4: 241-252.

74. Sun, Wenkai, Xiaojie Tian, Yong Song, Bao Pang, Xianfeng Yuan, and Qingyang Xu. 2022. "Balance Control of a Quadruped Robot Based on Foot Fall Adjustment" Applied Sciences 12, no. 5: 2521. <https://doi.org/10.3390/app12052521>

75. Li, Y., Fish, F., Chen, Y., Ren, T., & Zhou, J. (2019). Bio-inspired robotic dog paddling: kinematic and hydro-dynamic analysis. *Bioinspiration & biomimetics*, 14(6), 066008.

76. Melson, G. F., Kahn Jr, P. H., Beck, A. M., Friedman, B., Roberts, T., & Garrett, E. (2005, April). Robots as dogs? Children's interactions with the robotic dog AIBO and a live Australian shepherd. In *CHI'05 extended abstracts on Human factors in computing systems* (pp. 1649-1652).

77. Sparrow, R. (2016, March). Kicking a robot dog. In *2016 11th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (pp. 229-229). IEEE.

78. Steinke, J., Rischke, J., Sossalla, P., Hofer, J., Vielhaus, C. L., Vom Hofe, N., & Fitzek, H. F. (2023, June). The Future of Dog Walking—Four-Legged Robots and Augmented Reality. In *2023 IEEE 24th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)* (pp. 352-354). IEEE.

79. Due, B. L. (2023). Guide dog versus robot dog: assembling visually impaired people with non-human agents and achieving assisted mobility through distributed co-constructed perception. *Mobilities*, 18(1), 148-166.

80. Guan, Yuntao, et al. "Structure Design and Motion Planning of a Reconfigurable Robot with Flexible Waist." 2023 9th International Conference on Electrical Engineering, Control and Robotics (EECR). IEEE, 2023.

81. Li, Yunquan, et al. "Bio-inspired robotic dog paddling: kinematic and hydro-dynamic analysis." *Bioinspiration & biomimetics* 14.6 (2019): 066008.

82. Harvey, Nicholas, and André Leon Nel. "Arachnid-inspired kinesthesia for legged robots." 2015 Pattern Recognition Association of South Africa and Robotics and Mechatronics International Conference (PRASA-RobMech). IEEE, 2015.
83. Shin, Bongsu, Ho-Young Kim, and Kyu-Jin Cho. "Towards a biologically inspired small-scale water jumping robot." 2008 2nd IEEE RAS & EMBS International Conference on Biomedical Robotics and Biomechatronics. IEEE, 2008.
84. Fitcher, Eugene F., and Becky L. Fichter. "A survey of legs of insects and spiders from a kinematic perspective." Proceedings. 1988 IEEE International Conference on Robotics and Automation. IEEE, 1988.
85. Luk, Bing Lam, et al. "Intelligent walking motions and control for a legged robot." 1999 European Control Conference (ECC). IEEE, 1999.
86. <https://robotacademy.net.au/lesson/inverse-kinematics-for-a-2-joint-robot-arm-using-geometry/>
87. <https://www.mathworks.com/help/supportpkg/arduinoio/ug/control-servo-motors.html>

EKLER

Quadruped Robot İçin MATLAB Kodu

Her bacağın ters kinematik modelini kullanarak, belirli bir konum ve üst/ayak uzunluklarını temel alarak, servo motorların açılış değerlerini hesaplar.

Dört ayak genellikle aynı işlemleri yapacağı için, hareketleri parçalara bölerek bu parçaları sırasıyla "position" matrislerinin içine yerleştirdik. Bu, kolaylık ve anlaşılabilirlik açısından daha organize bir yapı sağlar.

SP(Start Pointte Bekleme)

LP(Last Pointte Bekleme)

SIN(Sinus dalgası çizme)

BCK(Lineer olarak geri gelme)

```
clear;clc;
SP=[ -300,0,0;%1
     -300,0,0;%2
     -300,0,0;%3
     -300,0,0;%4
     -300,0,0;%5
     -300,0,0;%6
     -300,0,0;%7
     -300,0,0;%8
     -300,0,0;%9
     -300,0,0;%10
     -300,0,0;%11
    ];

LP=[ -300, 100,0;%1
     -300, 100,0;%2
     -300, 100,0;%3
     -300, 100,0;%4
     -300, 100,0;%5
     -300, 100,0;%6
     -300, 100,0;%7
     -300, 100,0;%8
     -300, 100,0;%9
     -300, 100,0;%10
     -300, 100,0;%11
    ];

SIN =[ -300, 0,0;%1
        -285, 10,0;%2
        -271, 20,0;%3
        -260, 30,0;%4
        -252, 40,0;%5
```

```

-250, 50,0;%6
-252, 60,0;%7
-260, 70,0;%8
-271, 80,0;%9
-285, 90,0;%10
-300, 100,0;%11
];
BCK = [ -300, 100,0;%1
-300, 90,0;%2
-300, 80,0;%3
-300, 70,0;%4
-300, 60,0;%5
-300, 50,0;%6
-300, 40,0;%7
-300, 30,0;%8
-300, 20,0;%9
-300, 10,0;%10
-300, 0,0;%11
];

```

Hareket parçalarını istediğimiz sıraya göre, her bir "position" matrisinin içine ekliyoruz. Bu esnada dikkat etmemiz gereken önemli bir kural var: Her matrisin satır sayısı aynı olmalı ve sütun sayısı da 3 olmalıdır.

[y (yükseklik), x (ileri kayma) ve z (yana kayma)]

```

positionRF = [SP;SIN;BCK;SIN;BCK;SIN;BCK;SP;];
positionLB = [SP;SIN;BCK;SIN;BCK;SIN;BCK;SP;];
positionLF = [SP;SP;SIN;BCK;SIN;BCK;SIN;BCK];
positionRB = [SP;SP;SIN;BCK;SIN;BCK;SIN;BCK];

```

Elde edilen "position" matrislerini, her bacak için 3 servo motoru içeren açı değerlerine dönüştürmek için "Pos2Deg" fonksiyonunu kullanıyoruz. Ayrıca, girmiş olduğumuz konum sayısına göre, bu değerleri eşit süreli olarak bölerek elde ediyoruz.

```

degRB = Pos2Deg(positionRB);
degRF = Pos2Deg(positionRF);
degLB = Pos2Deg(positionLB);
degLF = Pos2Deg(positionLF);

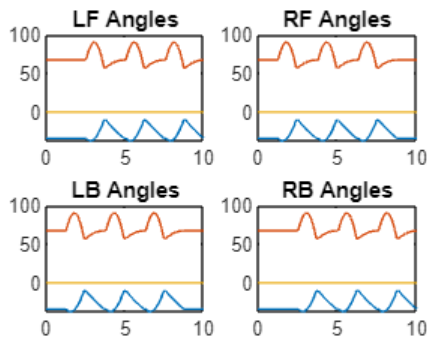
```

Elde edilen "deg" matrislerini denemek ve sonuçları gözlemllemek amacıyla, simülasyonu çalıştırıyoruz. Simülasyon sırasında elde edilen "deg" matrisleri, dijital ikiz üzerinde uygulanır. Dijital ikiz, içinde bulunan sensörler aracılığıyla eklemlerin radyan cinsinden anlık durumunu 0.1 saniye aralıklarla ölçer. Bu ölçümler, elde edilen "deg" matrislerinin dijital ikiz üzerindeki etkilerini gösterir. Dijital ikizdeki eklemlerin anlık durumları, bu sensör verileri kullanılarak kaydedilir ve ilgili bilgiler "out" nesnesinin içine aktarılır. Bu sayede simülasyonun etkileri ve elde edilen matrislerin dijital ikiz üzerindeki yansımaları gözlemlenebilir.

```
out = sim("HandsomeDog.slx");
```

Gönderilen açılış değerlerinin grafik gösterimi

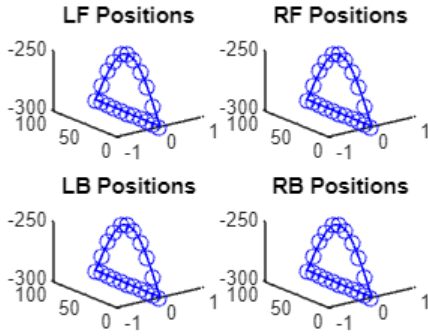
```
figure;  
  
subplot(2, 2, 1);  
plot(degLF(:,4),degLF(:,1:3)*(180/pi));  
title("LF Angles");  
  
subplot(2, 2, 2);  
plot(degRF(:,4),degRF(:,1:3)*(180/pi));  
title("RF Angles");  
  
subplot(2, 2, 3);  
plot(degLB(:,4),degLB(:,1:3)*(180/pi));  
title("LB Angles");  
  
subplot(2, 2, 4);  
plot(degRB(:,4),degRB(:,1:3)*(180/pi));  
title("RB Angles");
```



Gönderilen konum değerlerinin grafik gösterimi

```
figure;  
  
subplot(2, 2, 1);  
plot3(positionLF(:, 3), positionLF(:, 2), positionLF(:, 1), 'b-o');  
title("LF Positions");  
  
subplot(2, 2, 2);  
plot3(positionRF(:, 3), positionRF(:, 2), positionRF(:, 1), 'b-o');  
title("RF Positions");  
  
subplot(2, 2, 3);  
plot3(positionLB(:, 3), positionLB(:, 2), positionLB(:, 1), 'b-o');  
title("LB Positions");  
  
subplot(2, 2, 4);
```

```
plot3(positionRB(:, 3), positionRB(:, 2), positionRB(:, 1), 'b-o');  
title("RB Positions");
```



Matematiksel İşlemler

Dijital ikizde bulunan 12 sensörden gelen veriler, "out" nesnesinden çıkartılır ve her biri ayrı bir matris olarak açılır. Ardından, bu matrislerdeki değerler radyandan dereceye dönüştürülür. Bu dönüşüm işlemi, Matlab Arduino Toolbox'ının servo motorları sadece 0-180 derece arasında hareket ettirme yeteneği ile ilgili bir gerekliliktir.

Elde edilen derece değerleri, gerçek bir robota uygulanabilmesi için gerekli matematiksel işlemlere tabi tutulur. Bu işlemler, özellikle servo motorları kontrol etme konusunda kısıtlı olan Arduino Toolbox'ının sınırlamalarını aşabilmek adına önemlidir.

Bu sayede, dijital ikizden elde edilen verilerin radyan cinsinden ifade edilen eklemlerini, gerçek bir robot üzerinde kullanabilmek için uygun bir derece aralığına dönüştürerek, Matlab ve Arduino arasında sorunsuz bir iletişim ve kontrol sağlanır.

```
LBH=out.LBH;  
LBT=out.LBT;  
LBB=out.LBB;  
LBH=rad2deg(LBH);LBH=LBH+90;  
LBT=rad2deg(LBT);LBT=LBT+90;  
LBB=rad2deg(LBB);LBB=LBB+90;  
  
LFH=out.LFH;  
LFT=out.LFT;  
LFB=out.LFB;  
LFH=rad2deg(LFH);LFH=LFH+90;  
LFT=rad2deg(LFT);LFT=LFT+90;  
LFB=rad2deg(LFB);LFB=LFB+90;  
  
RBH=out.RBH;  
RBT=out.RBT;  
RBB=out.RBB;  
RBH=rad2deg(RBH); RBH=RBH+90;  
RBT=rad2deg(RBT);RBT=RBT+90;  
RBB=rad2deg(RBB);RBB=RBB+90;  
  
RFH=out.RFH;  
RFT=out.RFT;
```

```
RFB=out.RFB;
RFH=rad2deg(RFH);RFH=RFH+90;
RFT=rad2deg(RFT);RFT=RFT+90;
RFB=rad2deg(RFB);RFB=RFB+90;
```

İşlemler sonucu elde edilen açı matrislerinin, Matlab Arduino Toolbox'ı ile servo motorları kontrol etmek için 0-1 arasında değerler içermesi gerekmektedir. Bu aşamada, ayarlanmış derece matrislerini istenilen aralığa getirme işlemi gerçekleştirilir. Bunun yanı sıra, 0-1 arasında olmayan değerlerin olabileceği durumları kontrol etmek adına alt ve üst limitler belirlenir.

Eğer değerler belirlenen limitlerin dışına çıkarsa, bu durumda limit aşımalarını önlemek amacıyla ilgili değerler 0 veya 1 ile değiştirilir. Bu yaklaşım, Matlab Arduino Toolbox'ının hata vermeme ihtimalini artırarak, servo motorları kontrol etme sürecinde istikrar sağlar.

```
LB(:,1)=LBH/180;
LB(:,2)=LBT/180;
LB(:,3)=LBB/180;
LB(LB>1)=1;
LB(LB<0)=0;

LF(:,1)=LFH/180;
LF(:,2)=LFT/180;
LF(:,3)=LFB/180;
LF(LF>1)=1;
LF(LF<0)=0;

RB(:,1)=RBH/180;
RB(:,2)=RBT/180;
RB(:,3)=RBB/180;
RB(RB>1)=1;
RB(RB<0)=0;

RF(:,1)=RFH/180;
RF(:,2)=RFT/180;
RF(:,3)=RFB/180;
RF(RF>1)=1;
RF(RF<0)=0;

boyut = size(RF);
```

Arduino Bağlantısı

Arduino kartı kullanarak, seri bağlantı kurarak belirli pinlere bağlı olan servo motorları kontrol etmek mümkündür. Bu bağlantı, robotun mekanik eklemlerinin hareketini gerçekleştirmemizi sağlar.

```
fprintf("Connection Start \n");
```

Connection Start

```
a = arduino('COM5', 'Uno', 'Libraries', 'Servo');
LBH = servo(a, 'D2');
LBT = servo(a, 'D3');
LBB = servo(a, 'D4');
LFH = servo(a, 'D5');
LFT = servo(a, 'D6');
LFB = servo(a, 'D7');
RBH = servo(a, 'D8');
RBT = servo(a, 'D9');
RBB = servo(a, 'D10');
RFH = servo(a, 'D11');
RFT = servo(a, 'D12');
RFB = servo(a, 'D13');
fprintf("Connection Succed \n");
```

Connection Succed

Arduino Üzerinden Servo Motorların Kontrolü

Matematiksel işlemleri tamamlanmış ve Matlab Arduino Toolbox'ına uygun olarak ayarlanan servo açış değerleri, kendi servo motorlarına writePosition komutu kullanılarak kademe kademe yazılır. Ardından ReadPosition komutu ile her servo motorunun açış değerleri okunur. Gelen değerler 0 ile 1 arasında olduğu için 180 ile çarpılarak dereceye dönüştürülür.

```
Pos=zeros(12,1);
for i = 1:boyut(1)
    writePosition(LBH, LB(i,1));
    writePosition(LBT, LB(i,2));
    writePosition(LBB, LB(i,3));

    writePosition(LFH, LF(i,1));
    writePosition(LFT, LF(i,2));
    writePosition(LFB, LF(i,3));

    writePosition(RBH, RB(i,1));
    writePosition(RBT, RB(i,2));
    writePosition(RBB, RB(i,3));

    writePosition(RFH, RF(i,1));
    writePosition(RFT, RF(i,2));
    writePosition(RFB, RF(i,3));

    Pos(i,1) = readPosition(LBH)*180;
    Pos(i,2) = readPosition(LBT)*180;
    Pos(i,3) = readPosition(LBB)*180;

    Pos(i,4) = readPosition(LFH)*180;
    Pos(i,5) = readPosition(LFT)*180;
    Pos(i,6) = readPosition(LFB)*180;
```



```

Pos(i,7) = readPosition(RBH)*180;
Pos(i,8) = readPosition(RBT)*180;
Pos(i,9) = readPosition(RBB)*180;

Pos(i,10) = readPosition(RFH)*180;
Pos(i,11) = readPosition(RFT)*180;
Pos(i,12) = readPosition(RFB)*180;

end

```

Servo Motorların Hata Payı Hesabı

Servo motorlarından okunan değerler Pos matrisine kaydedilmişti. Bu matrisi ve servo motorlarına gönderdiğimiz matrisleri (0-1 aralığında oldukları için 180 ile genişletiyoruz) farkını alarak hata paylarını buluyoruz ve Err matrisine kaydediyoruz. Ardından, bu hata paylarını subplot yardımı ile grafiksel olarak gösteriyoruz.

```

Err(:,1)=Pos(:,1)-(LB(:,1)*180);
Err(:,2)=Pos(:,2)-(LB(:,2)*180);
Err(:,3)=Pos(:,3)-(LB(:,3)*180);

Err(:,4)=Pos(:,4)-(LF(:,1)*180);
Err(:,5)=Pos(:,5)-(LF(:,2)*180);
Err(:,6)=Pos(:,6)-(LF(:,3)*180);

Err(:,7)=Pos(:,7)-(RB(:,1)*180);
Err(:,8)=Pos(:,8)-(RB(:,2)*180);
Err(:,9)=Pos(:,9)-(RB(:,3)*180);

Err(:,10)=Pos(:,10)-(RF(:,1)*180);
Err(:,11)=Pos(:,11)-(RF(:,2)*180);
Err(:,12)=Pos(:,12)-(RF(:,3)*180);

subplot(4, 3, 1);
plot(Err(:,1));
title("LBH Error");

```

```

subplot(4, 3, 2);
plot(Err(:,2));
title("LBT Error");

subplot(4, 3, 3);
plot(Err(:,3));
title("LBB Error");

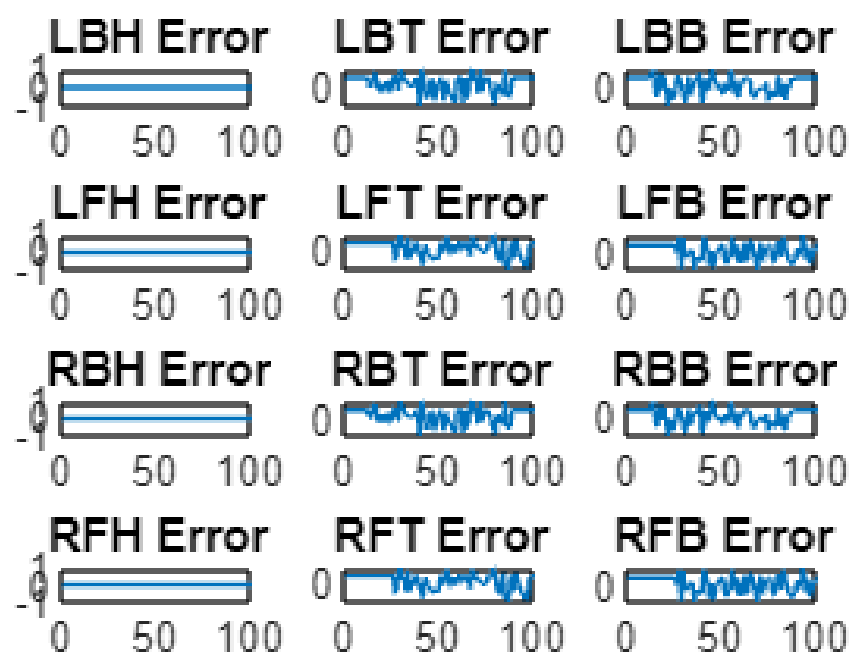
subplot(4, 3, 4);

```

```
plot(Err(:,4));  
title("LFH Error");  
  
subplot(4, 3, 5);  
plot(Err(:,5));  
title("LFT Error");  
  
subplot(4, 3, 6);  
plot(Err(:,6));  
title("LFB Error");
```

```
subplot(4, 3, 7);  
plot(Err(:,1));  
title("RBH Error");
```

```
subplot(4, 3, 8);  
plot(Err(:,2));  
title("RBT Error");  
  
subplot(4, 3, 9);  
plot(Err(:,3));  
title("RBB Error");  
  
subplot(4, 3, 10);  
plot(Err(:,4));  
title("RFH Error");  
  
subplot(4, 3, 11);  
plot(Err(:,5));  
title("RFT Error");  
  
subplot(4, 3, 12);  
plot(Err(:,6));  
title("RFB Error");
```



Sadece Tek Bir Bacak İçin MATLAB Kodu

Bir bacağın ters kinematik modelini kullanarak, belirli bir konum ve üst/alt ayak uzunluklarını temel alarak, servo motorların açısı değerlerini hesaplar.

Position matrisi, simülasyon sırasında ulaşılması gereken konumları temsil eder ve bu konumlar y (yükseklik), x (ileri kayma) ve z (yana kayma) koordinatları ile ifade edilir. LegLength matrisi ise sırasıyla alt ve üst bacak uzunluklarını içerir.

```
clear;clc;
position = [300,0,0;
            300,10,0;
            300,10,10;
            300,0,10;
            300,0,0;]
% position = [300, 0,0;
%             285, 10,0;
%             271, 20,0;
%             260, 30,0;
%             252, 40,0;
%             250, 50,0;
%             252, 60,0;
%             260, 70,0;
%             271, 80,0;
%             285, 90,0;
%             300, 100,0;
%             300, 90,0;
%             300, 80,0;
%             300, 70,0;
%             300, 60,0;
%             300, 50,0;
%             300, 40,0;
%             300, 30,0;
%             300, 20,0;
%             300, 10,0;
%             300, 0,0;
%             ];
LegLenth=[180,180];
```

"deg" adlı bir matris oluşturuyoruz. Bu matris, konum bilgilerini kullanarak "DOF_3_Inverse" fonksiyonu ile elde edilen açısı değerlerini tutmak için kullanılır.

```
boyut = size(position);
deg = zeros(boyut());
for i= 1:boyut(1)
    phase =
DOF_3_Inverse(position(i,1),position(i,2),position(i,3),LegLenth(1),LegLenth(2
));
    deg(i,1)=phase(1);
    deg(i,2)=phase(2);
```

```
deg(i,3)=phase(3);  
end
```

PS-LookUp tablosu için gereken zaman aralıklarını belirlemek için, 10 saniyelik simülasyon zamanını girilen pozisyon (position satır) sayısına bölerek her adım için eşit zaman aralıkları elde ediyoruz.

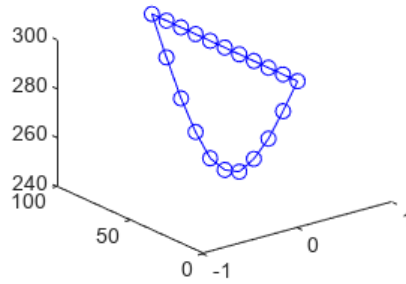
```
timer = linspace(0, 10, boyut(1));timer = timer';
```

Elde edilen zaman aralıkları matrisini (timer), "deg" matrisinin son sütununa ekleyerek, Simulink'te işlemleri kolaylaştırıyoruz.

```
deg=horzcat(deg,timer);
```

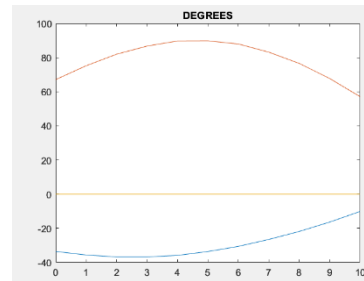
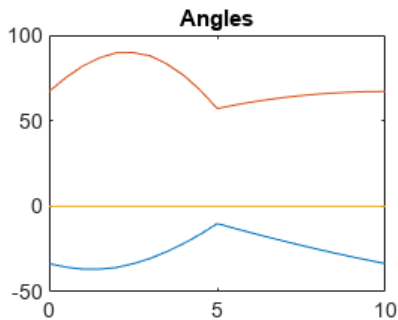
Pozisyon bilgileri ile çıkışta elde edilen açı değerleri için grafik oluşturma.

```
figure;  
plot3(-position(:, 3), -position(:, 2), -position(:, 1), 'b-o');
```



Gitmesi istenen Konum Değerleri

```
figure;  
plot(deg(:,4),deg(:,1:3)*(180/pi));  
title("Angles");
```



Servo Motorların yapması gereken hareketler

Kullanılan Arduino'nun tanımlamaları ve değişkenleri [Bağlantı Portu, Modeli] burada belirlenir.

```
fprintf("Connection Start \n");
```

Connection Start

```
a = arduino('COM5', 'Uno', 'Libraries', 'Servo');  
TopServo = servo(a, 'D9');  
BotServo = servo(a, 'D10');  
HipServo = servo(a, 'D11');  
fprintf("Connection Succed \n");
```

Connection Succed

Simulinteki tek bacak için simülasyonu çalıştırma

```
out=sim("ArduLeg.slx");
```

Simülasyon çıktılarını daha anlaşılır ve rahat bir şekilde çalışmak için 'Bot', 'Top' ve 'Hip' adındaki değişkenlere atadık.

```
Bot=out.Bot;  
Top=out.Top;  
Hip=out.Hip;  
Bot=rad2deg(Bot);Bot=-Bot;Bot=Bot+90;Bot=Bot/180;  
Top=rad2deg(Top);Top=Top+90;Top=180-Top;Top=Top/180;
```

Simülasyon çıktılarının Arduino'ya uyarlanabilmesi için, simülasyondan gelen değerlerin 0-1 arasında olması gerekiyor.

```
Ang(:,1)=Top;  
Ang(:,2)=Bot;  
Ang(:,3)=Hip;  
Ang(Ang>1)=1;  
Ang(Ang<0)=0;  
boyut=size(Ang);
```

Örnekleme sonuçlarına bağlı olarak bir for döngüsü oluşturulur. Bu döngüde tanımlanan servolara uygun servo değerleri atanır. Ardından, servo değerlerinin pozisyonları okunur ve bu bilgiler yuvarlanarak 'Pos' matrisine yazılır. Bu süreçte sistemin durumunu kontrol etmek için 'fprintf' kullanılarak servo motorlarının okunan değerleri yazılır.

```
for i = 1:boyut(1)  
    writePosition(TopServo, Ang(i,1));  
    writePosition(BotServo, Ang(i,2));  
    writePosition(HipServo, Ang(i,3));  
  
    Pos(i,1) = readPosition(TopServo);  
    Pos(i,2) = readPosition(BotServo);  
    Pos(i,3) = readPosition(HipServo);  
    %pause(0.05);  
end
```

```
Pos=round(Pos)*180;
```

For döngüsünün başarılı bir şekilde tamamlandığını anlamak için işlem sonunda 'Done' yazdırılır. Ardından, verilen açılar ile okunan pozisyonlar arasındaki hata değerleri hesaplanır ve bu değerler 'Err' adlı matrise yazılır.

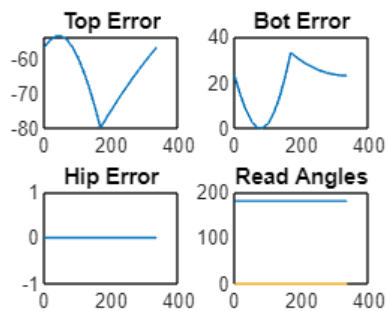
```
fprintf("Done \n");
```

Done

```
Err=(Ang)-Pos/180;
```

Err matrisindeki bilgileri grafiğe dönüştürme.

```
figure;  
subplot(2,2,1);plot(Err(:,1));title("Top Error");  
  
subplot(2,2,2);plot(Err(:,2));title("Bot Error");  
  
subplot(2,2,3);plot(Err(:,3));title("Hip Error");  
  
subplot(2,2,4);plot(Pos(:,1:3));title("Read Angles");
```



DOF_3_Inverse Fonksiyonu

```
function joint_angles = DOF_3_Inverse(y_point, x_point,z_point, a1, a2)

    q3=atan(z_point/y_point);
    hipotenus = sqrt((y_point^2)+(z_point^2));

    q2 = acos(((hipotenus^2)+(x_point^2)-(a1^2)-(a2^2))/(2*a1*a2));
    q1 = atan(x_point/hipotenus) - atan((a2*sin(q2))/(a1+(a2*cos(q2))));
    joint_angles = [q1,q2,q3];
end
```

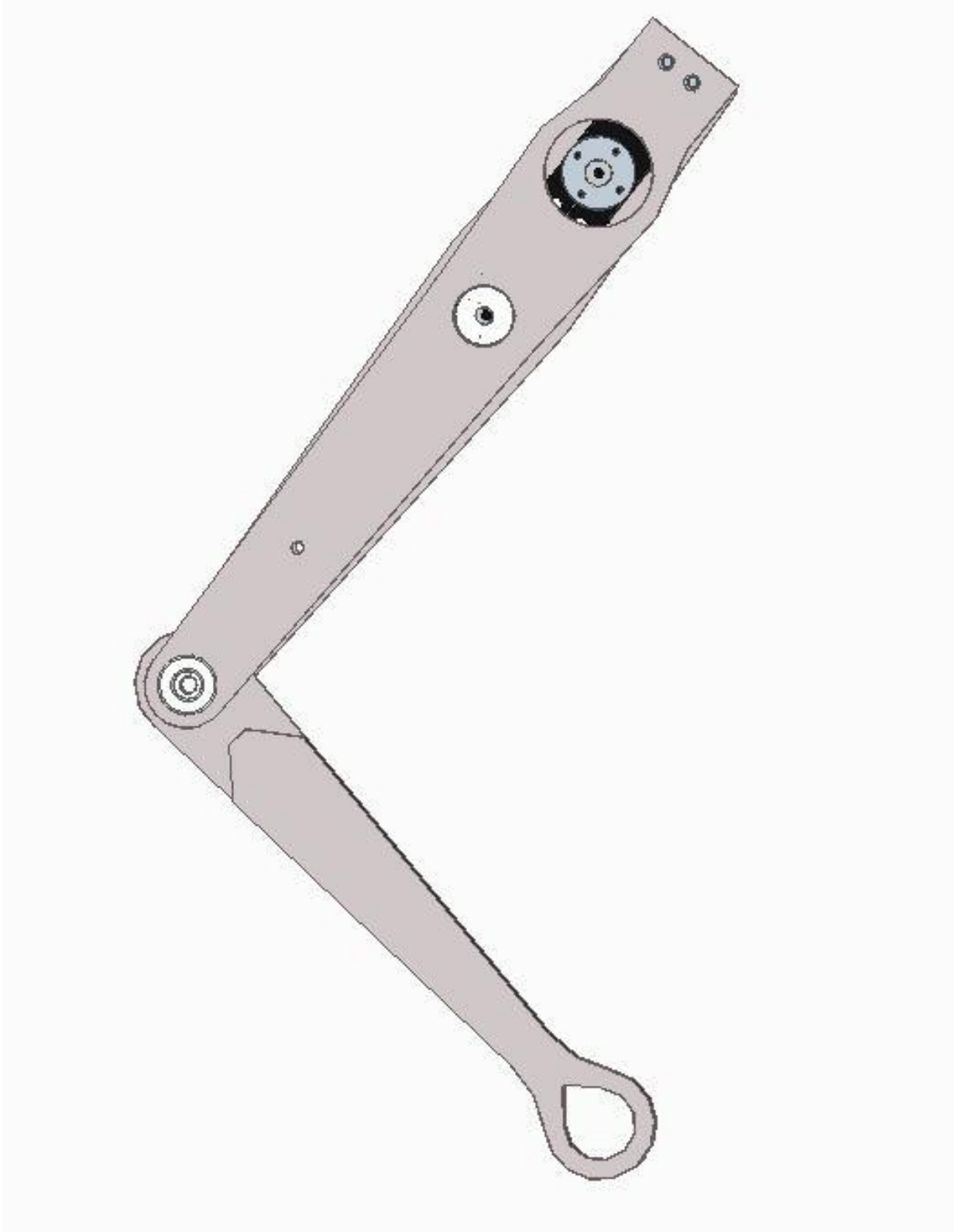

LAIKA Robot Köpeklerin CAD tasarım görselleri



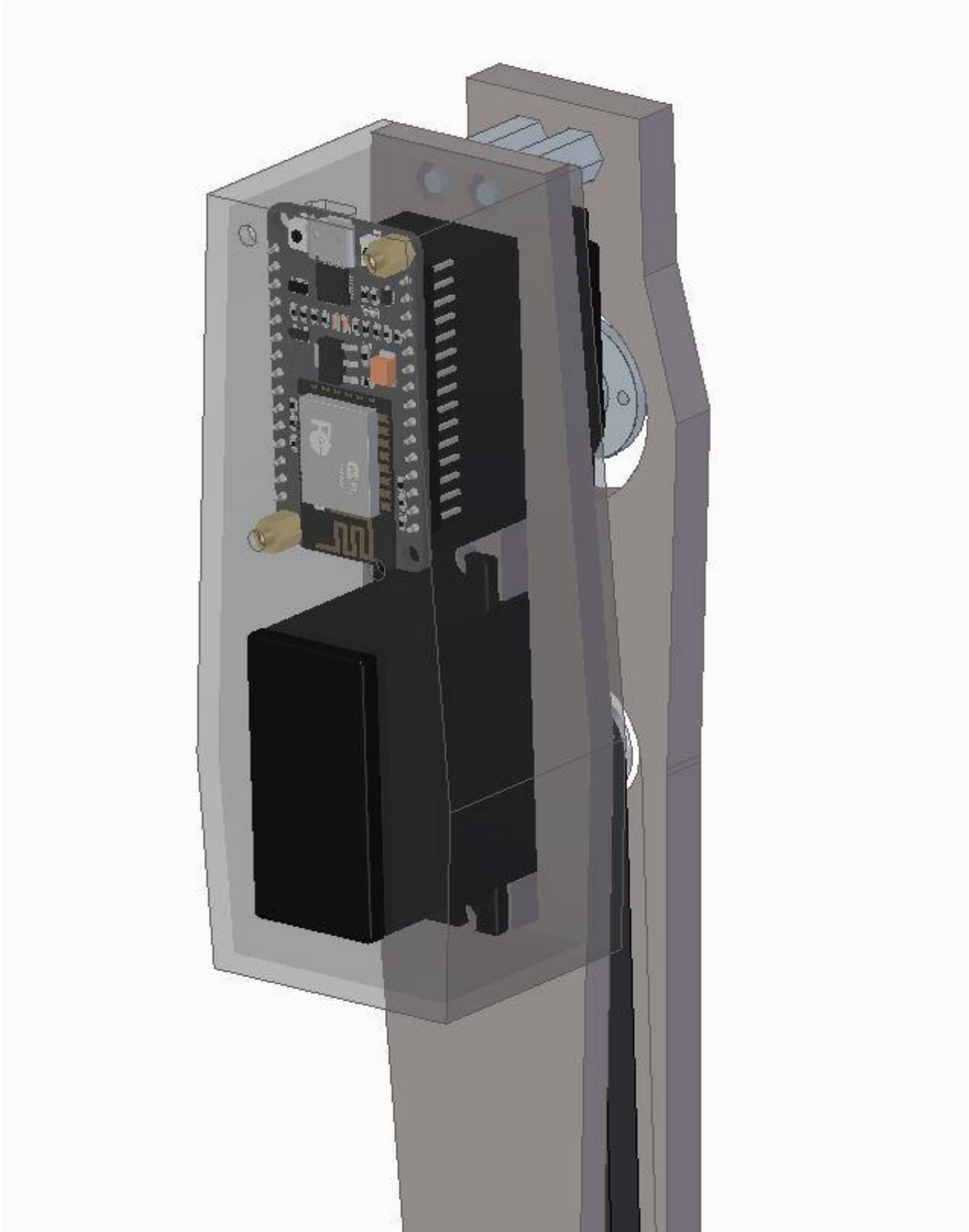
Şekil 11 CAD Tasarımının Görünümü



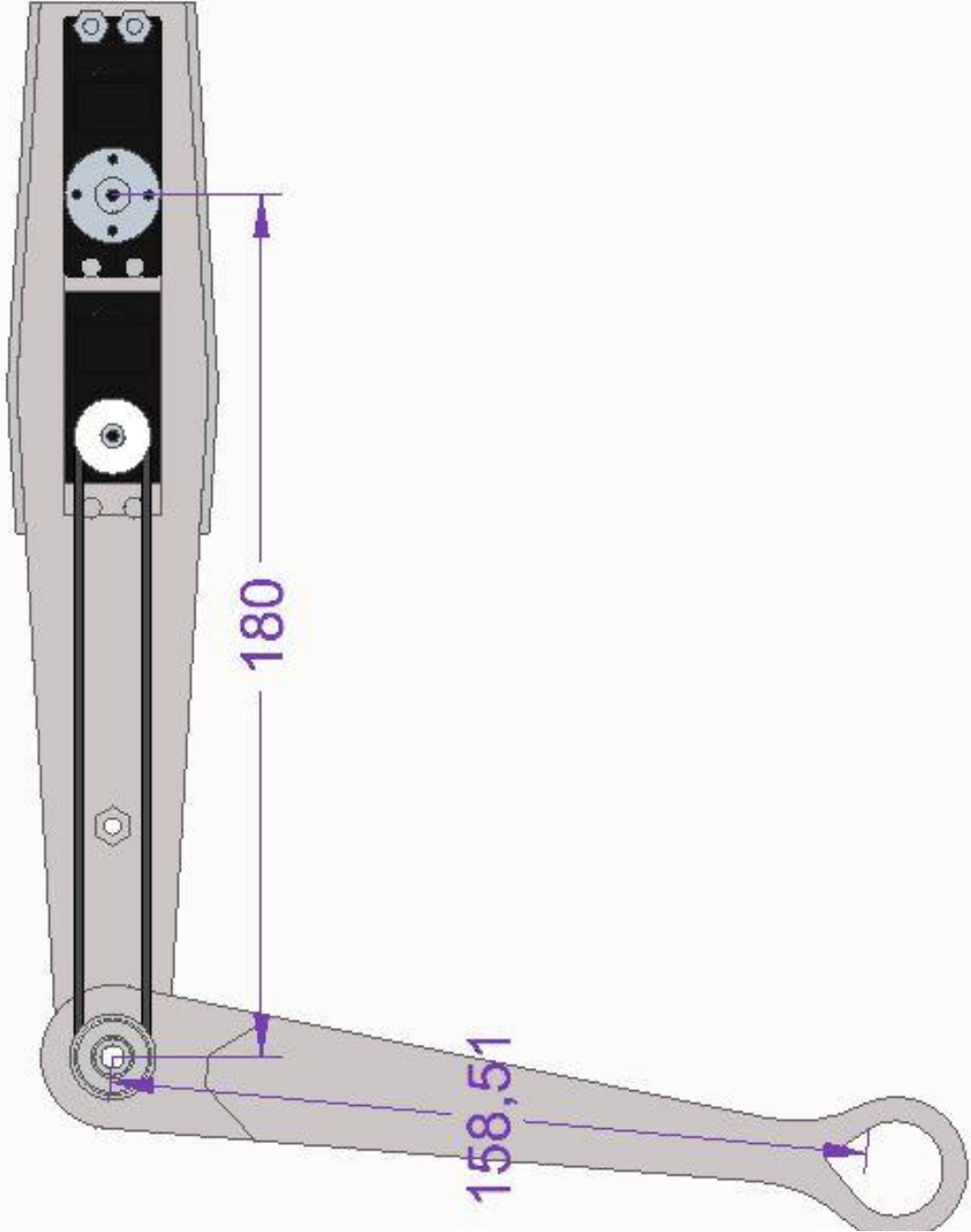
Şekil 12 CAD Tasarımının Ölçüleri



Şekil 13 Bacağın CAD Çizimi

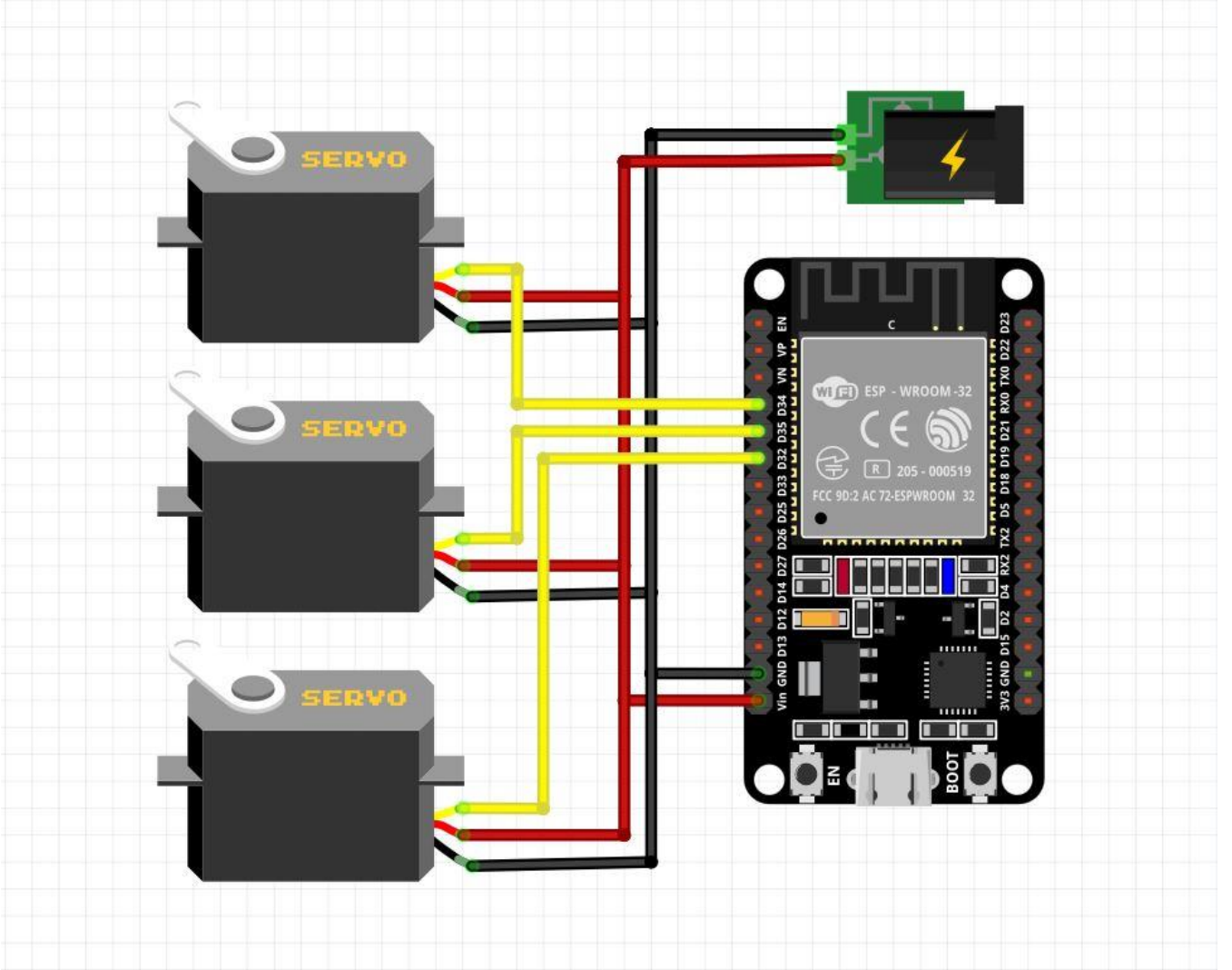


Şekil 14 Mikrodenetleyici Yerleşimi



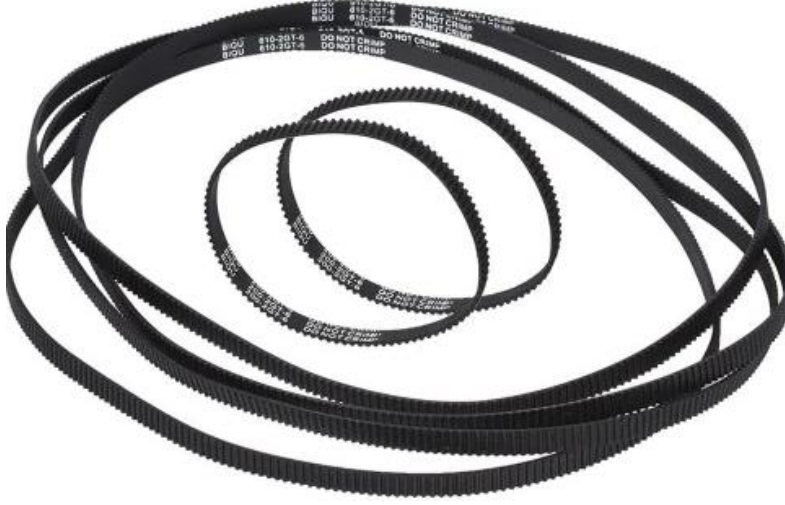
Şekil 15 Bacak Tasarımının Ölçüleri

Bağlantı Şemaları



Şekil 16 Bir Bacak'ın Bağlantıları

Kullanılan Mekanik Parçalar



Şekil 17 Kayış



Şekil 18 Kaskak



Şekil 19 Rulman