

T.C.

**NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

2015-2016 EÖY LİSANS BİTİRME TEZİ

6 EKSENLİ ROBOT KOL TASARIMI VE KONTROLÜ

Abdullah GÜNAL

120607346

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. İlyas KACAR

NİĞDE, 2016

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
BİTİRME TEZİ KABUL VE ONAY BELGESİ

Bölümümüz 120607346 numaralı öğrencisi Abdullah GÜNAL'ın, “6 Eksenli Robot Kol Tasarım ve Kontrolü” başlıklı Bitirme Tezi çalışması aşağıdaki jüri üyeleri tarafından Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde Bitirme Tezi olarak Oy Birliği/Oy Çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr.İlyas KACAR
İmzası

Üye :
İmzası

Üye :
İmzası

Tezin savunulduğu Tarih: 03.06.2016

Bitirme Tezi dersi kapsamında yapılan bu çalışma, ilgili jüriler tarafından değerlendirme sonucunda Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde Bitirme Tezi çalışması olarak kabul edilmiştir.

İmza
Bölüm Başkanı
Yrd. Doç. Dr. M. Kürşat YALÇIN

DOĞRULUK BEYANI

Bitirme tezi olarak sunduğum bu çalışmayı tüm akademik kurallara ve Niğde Üniversitesi Yayın Etiği Komisyonu Yönergesi'ne uygun olarak gerçekleştirdiğimi ve sunduğumu; bu kurallar ve ilkelere aykırı hiç bir yol ve yardıma başvurmaksızın bizzat hazırladığımı beyan ederim.

Tezimle ilgili yaptığım beyana aykırı bir durum saptanırsa ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

İmza

Abdullah GÜNAL

TEŞEKKÜR

Lisans tezimde bana gerek bilgi ve yol göstericiliğiyle gerekse sabrı ve anlayışıyla yardımcı olan, çalışmamın not için değil öğrenmek olduğunu idrak ettiren değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İlyas KACAR' a, Mekatronik Mühendisliği bölüm hocalarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu proje çalışması; “tasarım”, “imalat-montaj” ve “kontrol” konularını içermektedir. Altı adet servo motor ve bir adet tutucu pençeden oluşan robot kol mekanizması; Ardunio kart ile ve Microsoft Visual C# üzerinde arayüz uygulaması yapılarak kontrol edilmiştir. Tasarım solidworks ile ve mekanik analizler ise ansys programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan sistemin montajı yapılarak bir platform üzerinden 6 tane servo motor kontrol edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Robot kol, Microsoft Visual C#,servo motor, Ardunio

ABSTRACT

This project study consists of “design”, manufacturing-assembling” and “control” fields. Robot arm mechanism that includes 6 servo motors and a gripper is programmed and controlled by arduino card and Microsoft Visual C#. The robot arm was designed by using the SolidWorks software and analysed by ANSYS software. As a result, assembling of designed system is performed and 6 servo motors are controlled.

Key Words: Robot arm, Microsoft Visual C #, servo motor, Ardunio

İÇİNDEKİLER

BİTİRME TEZİ KABUL VE ONAY BELGESİ.....	iii
DOĞRULUK BEYANI	iv
TEŞEKKÜR	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ÖNSÖZ.....	xii
BÖLÜM 1 : GİRİŞ.....	1
1.1 İş Zaman Çizelgesi.....	2
1.2 Bütçe ve gerekçesi.....	2
BÖLÜM 2 : LİTERATÜR ÖZETİ	3
BÖLÜM 3 : YÖNTEM	7
3.1. Statik Analiz	10
3.2 Harmonik Analiz	11
3.3 Yorulma Analizi	12
3.3.1 Fatigue Sensitivity diyagramı	15
3.4 Rijit Dinamik Analizi	15
3.4.1 Rijit Dinamik Analizde Kuvvet Dağılımının Yorumlanması	16
3.5 Optimizasyon Analizi.....	24
3.5.1 Şekil Optimizasyonu.....	27
BÖLÜM 4 : ROBOT KOL KİNEMATİĞİ	28
4.1 İleri Kinematik	28
4.2 Ters Kinematik	32
BÖLÜM 5 : ROBOT KOLUN MEKANİK MONTAJLANMASI VE KULLANILAN ARAYÜZ PROGRAMI	34
5.1 Robot Kolun Arayüz Tasarımı	36
BÖLÜM 6 : SONUÇ VE ÖNERİLER.....	38
KAYNAKÇA.....	39
EKLER.....	40
Ek 1. Bağlatı kodları:.....	40
Ek 2. Microsoft Visual C# Servo motor kontrolü ve scrollbar oluşum kodları	41
Ek 3. Arduino r3 üzerine gönderilen servo konum kodları:	45
ÖZGEÇMİŞ.....	48

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2-1. (A) Abdest için kullanılan tavus teknesi (b-c) el yıkama otomati [1]	3
Şekil 2-2. Wi-fi robot kol kontrolü [5].....	4
Şekil 2-3. Android rehabilitasyon arayüzü [6].....	4
Şekil 2-4. Tutucu donanımı [7]	5
Şekil 2-5. Robotik asistan [9]	5
Şekil 2-6. Kamera üzerinden mobil el hareketi kontrolü [10]	6
Şekil 3-1. Montajlı robot kol tasarımı.....	7
Şekil 3-2. Tutucu tasarımı.....	8
Şekil 3-3. Robotun yan kolları	9
Şekil 3-4. Robot kolun montajının tamamlanmış hali ve serbestlik derecelerinin gösterimi.....	9
Şekil 3-5. Modele uygulanan yük ve sınır şartları	11
Şekil 3-6. Toplam şekil değiştirme değerleri	11
Şekil 3-7. Frekans-genlik ve frekans-faz açısı grafikleri	12
Şekil 3-8. Soderberg diagramı	13
Şekil 3-9. Periyodik yükleme eğrisi.....	13
Şekil 3-10. Yapının sonsuz ömür değerindeki yorulma ömrü	14
Şekil 3-11. Yorulma emniyet katsayısı	14
Şekil 3-12. Fatigue sensitivity diyagramı	15
Şekil 3-13. Robot kolun bağlantı noktaları	16
Şekil 3-14. Robotun 1 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	17
Şekil 3-15. Robotun 2 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	17
Şekil 3-16. Robotun 3 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	17
Şekil 3-17. Robotun 4 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	18
Şekil 3-18. Robotun 5 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	18
Şekil 3-19. Robotun 6 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	18
Şekil 3-20. Robotun 1 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	19
Şekil 3-21. Robotun 2 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler	19
Şekil 3-22. Robotun 1 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler.....	19
Şekil 3-23. Robotun 2 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler.....	20
Şekil 3-24. Robotun 1 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	20
Şekil 3-25. Robotun 2 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	21
Şekil 3-26. Robotun 3 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	21
Şekil 3-27. Robotun 4 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	22
Şekil 3-28. Robotun 5 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	22

Şekil 3-29. Robotun 6 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	22
Şekil 3-30. Robotun 1 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	23
Şekil 3-31. Robotun 2 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	23
Şekil 3-32. Robotun 1 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	24
Şekil 3-33. Robotun 2 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler	24
Şekil 3-34 Optimizasyon parçası	25
Şekil 3-35. Response yüzeyin deformasyon grafiği	26
Şekil 3-36. Local sensitivity grafiği.....	26
Şekil 3-37. Şekil optimizasyon grafiği	27
Şekil 4-1. 4x4 Homojen transformasyon matrisinin şematik gösterimi [13].....	29
Şekil 4-2. Koordinat eksen takımlarının uzuvlara tutturulması [13].	30
Şekil 4-3. 6 eksen robot kolun koordinat eksen takımlarının gösterimi [13].....	31
Şekil 4-4. Düz ve ters kinematik analiz [16].	33
Şekil 5-1. Servo motor ve boyutları.....	34
Şekil 5-2. Robot kolun taban kısımlarının aşamalı montaj hali.....	35
Şekil 5-3. Robot kolun kol ve tutucu kısımlarının aşamalı montaj hali.....	35
Şekil 5-4. Robot kolun son hali	36
Şekil 5-5. Microsoft Visual Studio C# Üzerinden Arayüz Tasarımı	37

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1.1. Projenin iş-zaman çizelgesi.....	2
Tablo 1.2. Proje için yapılan harcamalar.....	2
Tablo 3.1 Yapısal çelik malzemesinin mekanik özellikleri.....	10
Tablo 3.2 Yapının doğal frekans değerleri.....	12
Tablo 3.3 Paralel dizayn parametre dataları.....	25
Tablo 4.1 6 eksen robot kolun her bir bağlantı noktasına gelen DH parametre değerleri.....	31

ÖNSÖZ

Çalışmayı tamamladığım projede altı eksenli robot kolun montaj ve Ansys analizleri yapılmıştır. Ayrıca kontrol edilmek üzere kodlar ile Microsoft Visual C# üzerinden arayüz oluşturulmuştur. Çalışmanın ile yapı elemanlarının imalatlarından önce analiz yapılması ve bu analizler sonucuna göre imalatın yapılarak maliyet ve zamandan tasarruf edilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma; mekanik sistem ve robotik sistemlerin anlaşılması, olası problemlerin gözlemlenmesi ve çözüm yollarının araştırılması, geliştirilmesi konularında tecrübe katmıştır.

BÖLÜM 1 : GİRİŞ

Günümüzde robot hemen hemen herkesin aşına olduğu ve artık günlük hayatımız da giren mekatronik sistemlerdir. Robot kollar ise özellikle otomotiv endüstrisinde kullanımı oldukça yaygın olup tamamen işçi robotlardan oluşan fabrikalar da mevcuttur. Dolayısıyla internet erişim ağının genişlemesiyle uzak ağ bağlantısı da sıkıntılar giderilmiş durumdadır. Bu amaçla robot kolların uzaktan kontrolü endüstriyel alanlarda yaygınlaştırılıp simülasyonu geliştirilmektedir. Yapılan çalışmada robotların uzaktan kontrolü ve üretim fabrikalarındaki kullanım çalışmaları incelenmiş olup, bu doğrultuda robot kol tasarımı-analizi gerçekleştirilmiştir.

Öncelikle literatür araştırması yapılarak geçmişten günümüze kadar robot kol hakkında bilgi edinilmiştir.

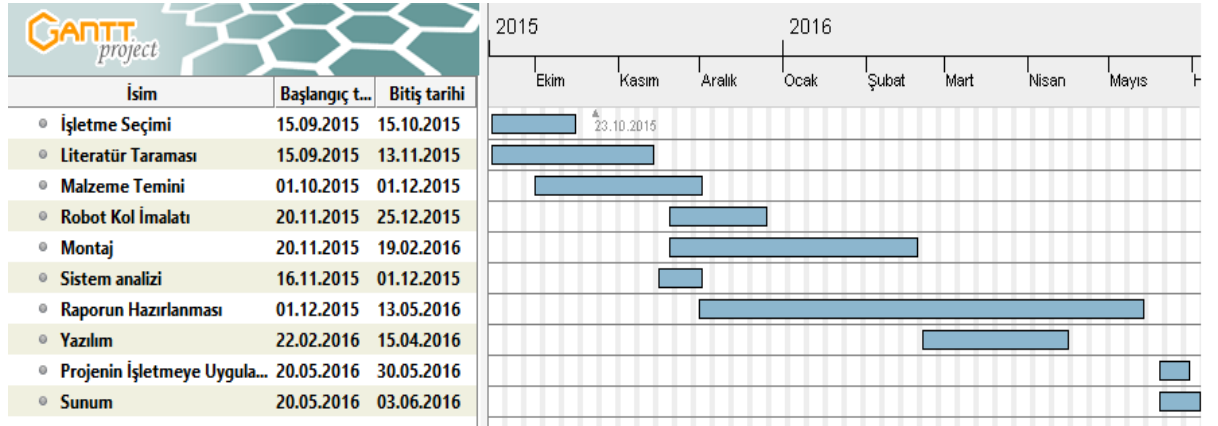
Mobil robotlar, robotik alanda yapılan çalışmalar ile hızlı gelişen bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Mobil robotlar günümüz devlet kurumlarında, savunma sanayi, eğitim kurumları ve sağlık kurumlarına kadar geniş bir kesimin ilgisini çekerek popüler bir sektör haline gelmiştir.

Bu proje çalışmasında, öncelikle mobil robot olarak kullanılabilir 6 servo motorlu robot kol tasarlanmıştır ve ileriki çalışmalarda da geliştirilebilir bir yapıda olması hedeflenerek tasarlanmıştır. Projede robot kolun servo motorlarının sürülmesi ve arayüz programıyla bağlantı kurmak için arduino uno kartı kullanılmıştır. Daha önceden yapılmış mobil robot kol uygulamaları gözden geçirilerek daha hassas efektif kontrol yöntemleri geliştirilmeye çalışılmıştır. İlk aşamada montajlama gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada Ansys programı vasıtasıyla rijit dinamik, statik analiz, harmonik analiz, yorulma analizi ve optimizasyon analizleri yapıldı. Son olarak hazırladığım C# kodları ve arayüz programı oluşturma hakkında teknik ve görsel bilgiler sunulmuştur. Bu çalışmada yetişmemiş olmasına rağmen ileriki çalışmalarda da bu robotun mobil kontrolü üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

1.1 İş Zaman Çizelgesi

Proje çalışmamızın iş-zaman çizelgesi Tablo 1.1 de sunulmuştur.

Tablo 1.1.1. Projenin iş-zaman çizelgesi



Proje iş planında da görüldüğü gibi Eylül ayında ilk olarak literatür çalışması yapılarak malzeme temini sağlanmaya çalışıldı. Literatür taraması 3 ay sürdü. Malzeme temini ise yetersiz maliyet nedeniyle Nisan ayında yapıldı. Robot kol montajı 1 hafta içerisinde tamamlandı. Raporun yazılmasına ise aralık-2015 ayında başlanarak mayıs-2016 ayında tamamlandı. Ansys ile mekanik analizlere Nisan ayında başlanarak iki ay süresince analizler tamamlandı. Gerekli donanım-yazılım entegre edildi ve sistemin hareketi sağlandı.

1.2 Bütçe ve gerekçesi

Projede yapılan harcamalar ve alımlar Tablo 1.2 de sunulmuştur.

Tablo 0.2. Proje için yapılan harcamalar

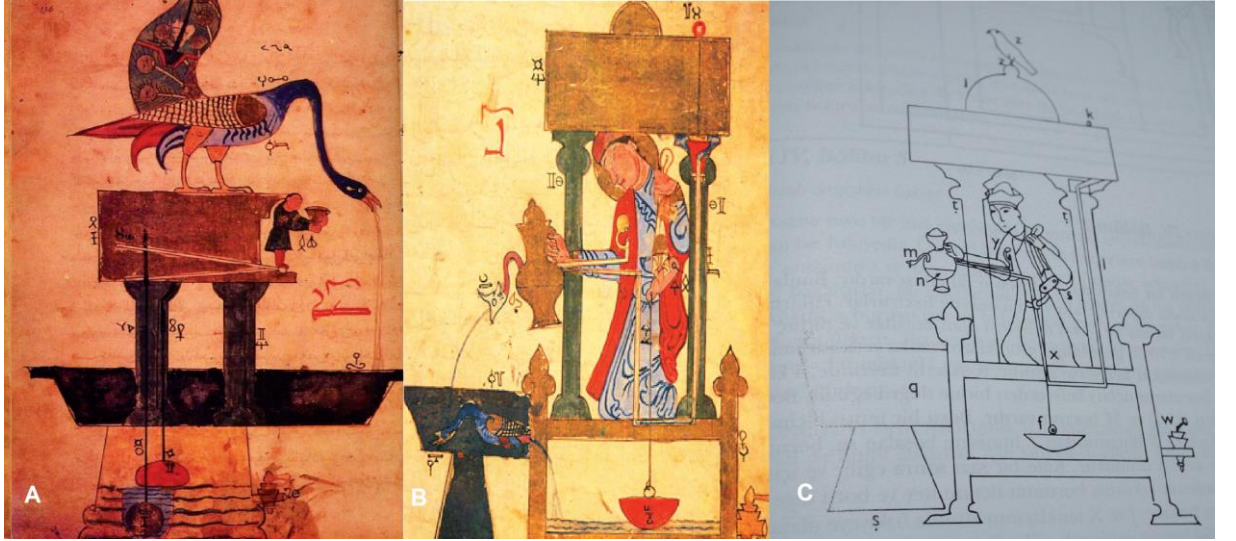
Malzeme adı	Nereden/Kimden Alınacağı	Gerekçesi	Bedeli (TL)
Mekanik şase ve tutucu pense	Aliexpres toptan sitesi	Robot kol uzuvları için alınacaktır	100
6 adet Servo motor	Aliexpres toptan sitesi	Robot manipulator hareketi için kullanılacaktır.	96
Sarf malzeme	Yurt içi alım	Kırtasiye ihtiyaç giderimi	50
		Toplam=	246(TL)

BÖLÜM 2 : LİTERATÜR ÖZETİ

Robotlar genel olarak bir yazılım aracı üzerinden kontrol edilerek yararlı amaç için iş üreten karmaşık cihazlardır.

1136-1206 yılları arasında yaşayan ve sibernetiğin ilk adımlarını atan ve ilk robotu yapıp çalıştıran El Cezeri'dir [1]. 1452-1519 yılları arasında yaşayan Leonardo Da Vinci "Da Vinci Robotik Cerrahi Platformu cihaz tasarımını yaparken El Cezeri'den ilham almıştır [1].

El Cezeri tarafından abdest için kullanılan tavus teknesi yapıldı. Robot çocuk ise abdestten sonra havlu vermek için tasarlandı [1].

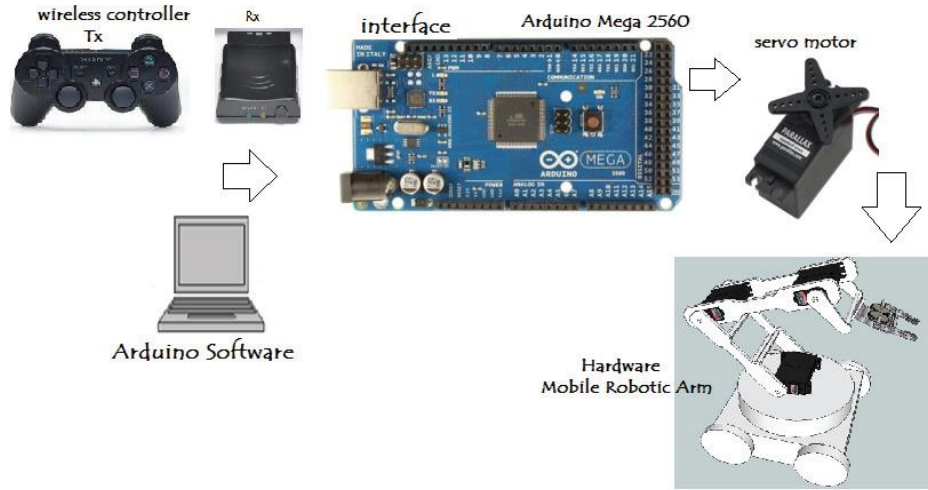


Şekil 2-1. (A) Abdest için kullanılan tavus teknesi (b-c) el yıkama otomatı [1]

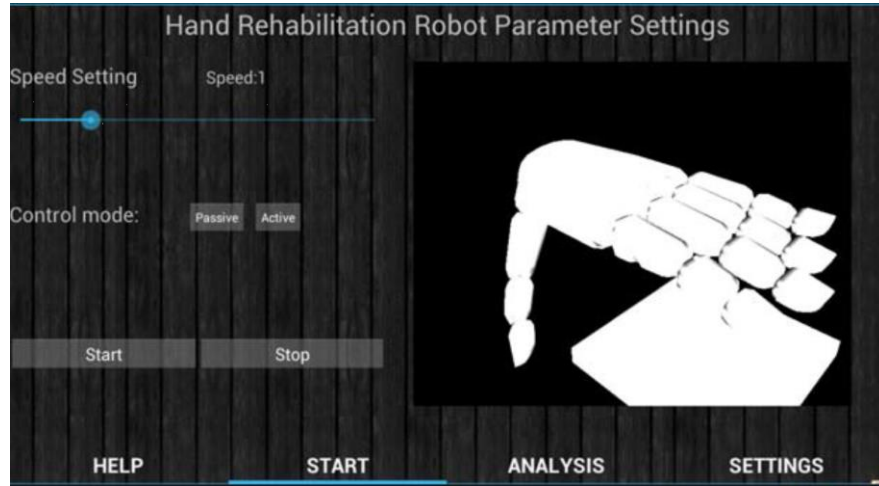
1801'de Marie Jacquard numerik olarak kontrol edilebilen ilk makinesi [2], 1805'de Maillardet'in geliştirdiği yaylarla çalışan, İngilizce ve Fransızca yazabilen otomatı olarak kabul edilmektedir [3]. 1953 yılında Grey Walter duyumsal uyarlamayla hareket eden biyolojik sistemlerin beyin nöronları doğrultusu ile ilk otonom robotu geliştirmiştir. Bu robot ufak noktasal ışık kaynaklarının yerleştirildiği karanlık bir odada ışık dedektörleri ile ışığı algılayıp, ışık şiddetine bağlı olarak ışık kaynağına doğru yönelmekte ve ışık kaynağından uzaklaşmaktaydı [4].

Günümüzde ise; donanım ve yazılım birimleri entegre edilerek Arduino, Raspery Pi, PLC gibi programlanabilen kartlar sayesinde servo motorlar kontrol edilerek PS2 wireless üzerinden uzak bağlantı sağlanmıştır [5].

İnsan makine arayüzü gerçekleştirilerek el hareket kabiliyeti sağlamak için hastalara uygulanan android sanal arayüz üzerinden rehabilitasyon sağlanmıştır [6].

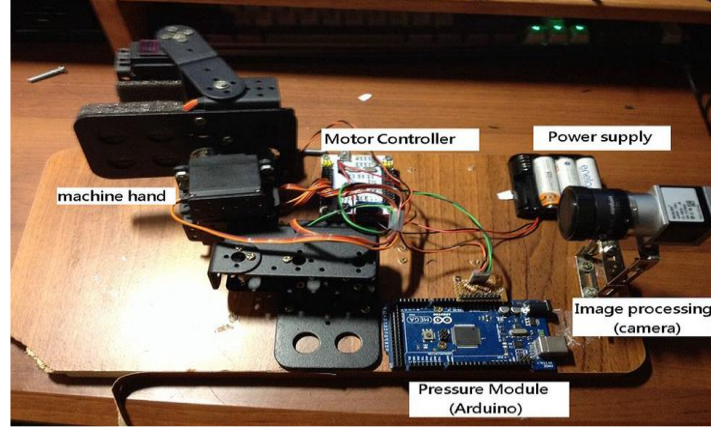


Şekil 2-2. Wi-fi robot kol kontrolü [5]



Şekil 2-3. Android rehabilitasyon arayüzü [6]

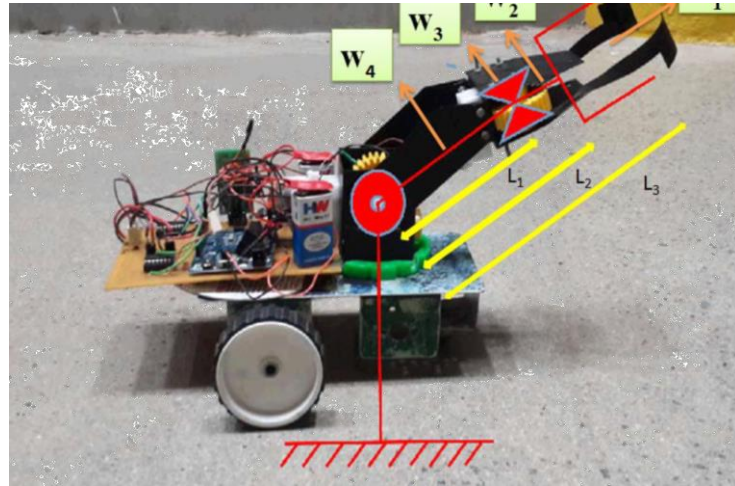
Ayrıca bulanık mantık sistemi ile hassas olarak geliştirilen ve servo motorlar üzerinden arduino'ya bağlanarak kontrolü sağlanan tutucu yapılmıştır [7].



Şekil 2-4. Tutucu donanımı [7]

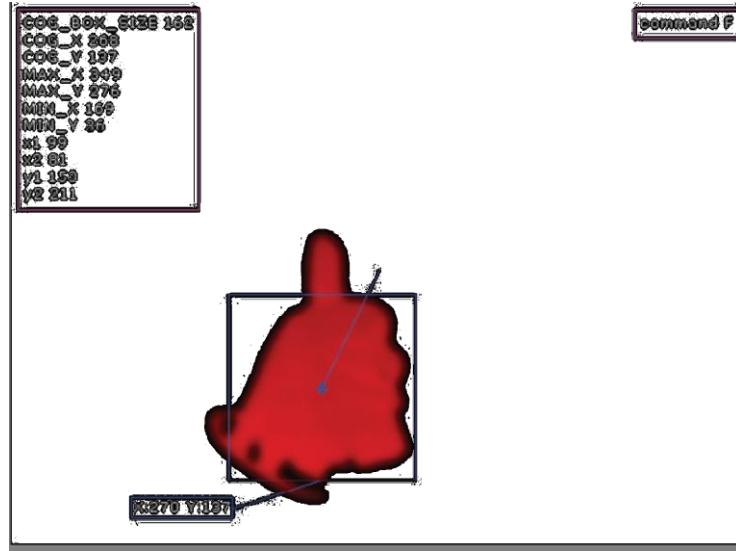
Genetik algoritma sistemi (AGA) üzerinden bluetooth kablosuz birimi kullanılmasıyla mobil robot elde edilerek endüstride AGA sisteminin otomatik kontrol kullanımı yaygınlaştırdı [8].

İnsan üzerinde giyilmek suretiyle çalışan android akıllı robot asistan geliştirilmiştir. Bu sistemlerde; her türlü komutlar algılanarak bulut sistemine kayıt etmektedir. Bu komutlar arduino mikro denetleyici üzerinden geliştirilerek metine çevrilmektedir. Bu sayede robotik asistan istenilen komutları yerine getirmektedir [9].



Şekil 2-5. Robotik asistan [9]

Mobil robot üzerinde el hareketi tanıma sistemi ile, daha az enerji harcanarak daha hızlı hareket kabiliyeti sağlanabilmektedir. İnsan robot etkileşiminin temel el hareketi iletişiminin, robotların uzaktan iletişimi olarak kullanılabilir [10].



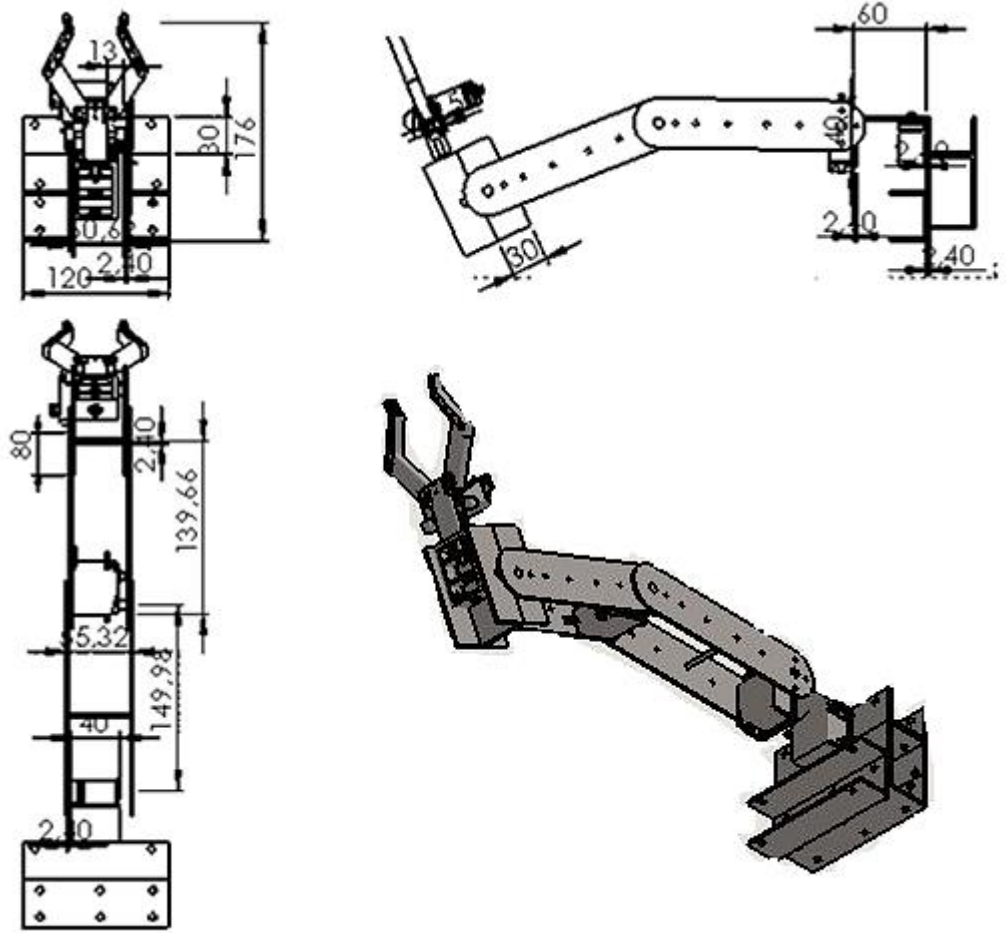
Şekil 2-6. Kamera üzerinden mobil el hareketi kontrolü [10]

Son yıllarda özellikle Japonya ve Amerika'nın yaptığı robot araştırmaları endüstride önem kazanmıştır. robotlar sadece bir üretim aracı olarak değil, bağımsız birer ürün olarak da ekonomik değer taşımaktadırlar. Ülkemizde de robot ve mobil uygulama çalışmaları özellikle üniversite destekli olarak 2000'li yılların başında hız kazanıp uluslararası projeler başlatılmıştır. Bunun da dünyada oluşan yeni pazarda Türkiye'ye de robotik ve mobil yazılım konumunda da bir yer bulmak açısından önemi büyüktür.

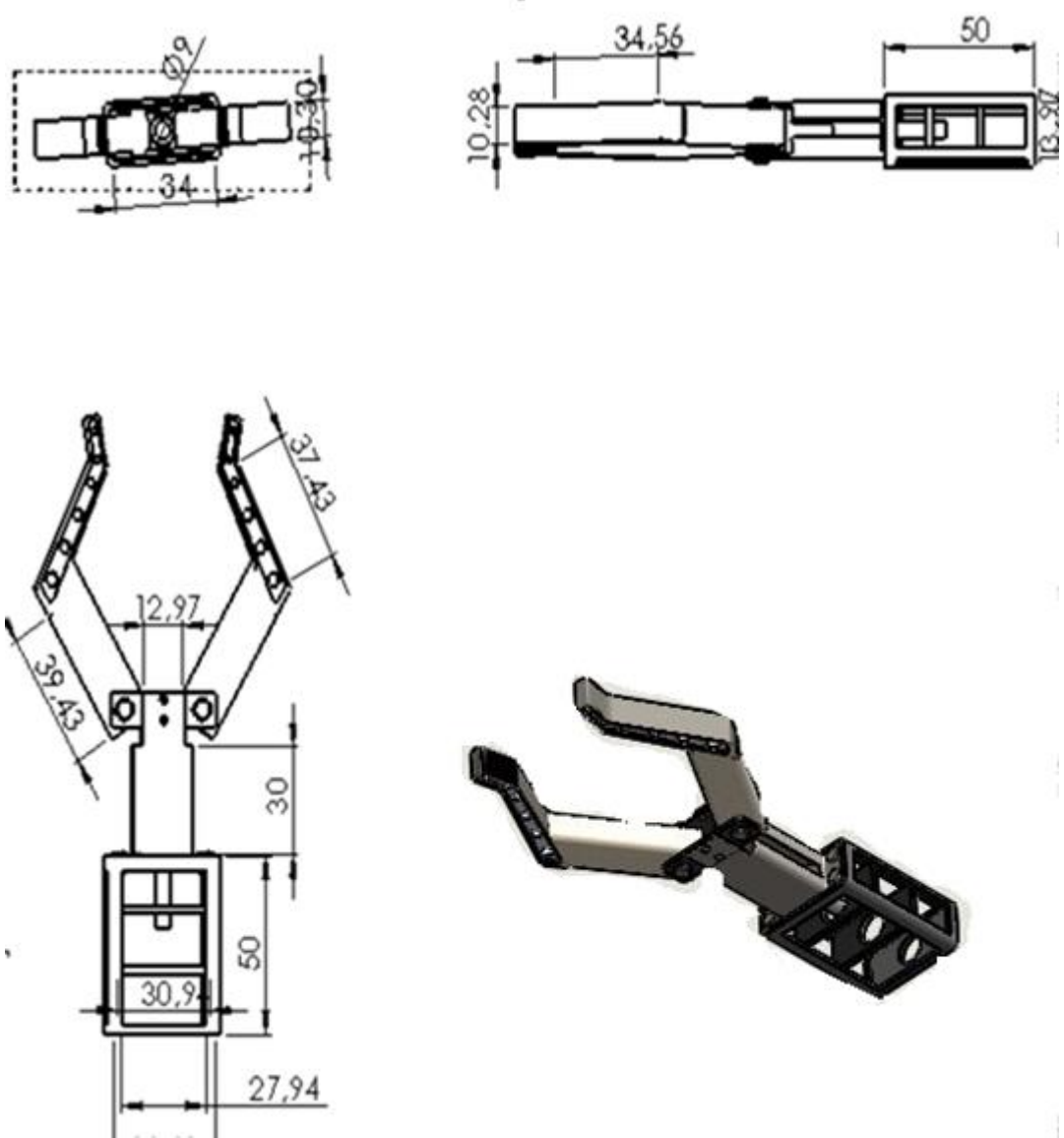
Bu çalışmamızda robot kolun kontrolünü sağlamak ve daha sonra da bu robot kolu mobil hale getirmeyi amaçladık. Böylece başta tıp olmak üzere pek çok alanda kullanılabilecek bir robot ve kontrolünü yapmayı hedefledik.

BÖLÜM 3 : YÖNTEM

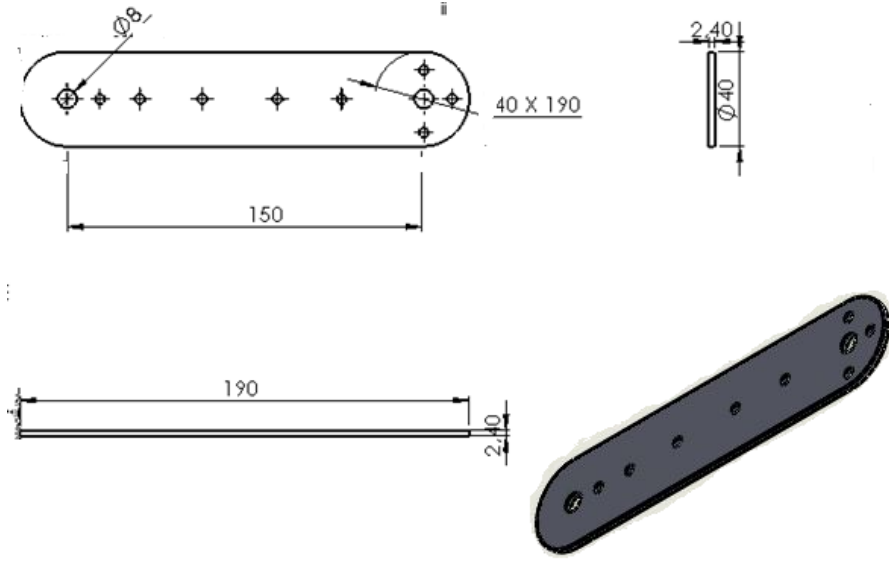
Sistemin tasarımı Solidworks 2015 sürümünde çizilmiştir. Toplam 32 parçadan oluşmaktadır. Şekil 3.4 gösterildiği gibi 6 serbestlik derecesine sahiptir.



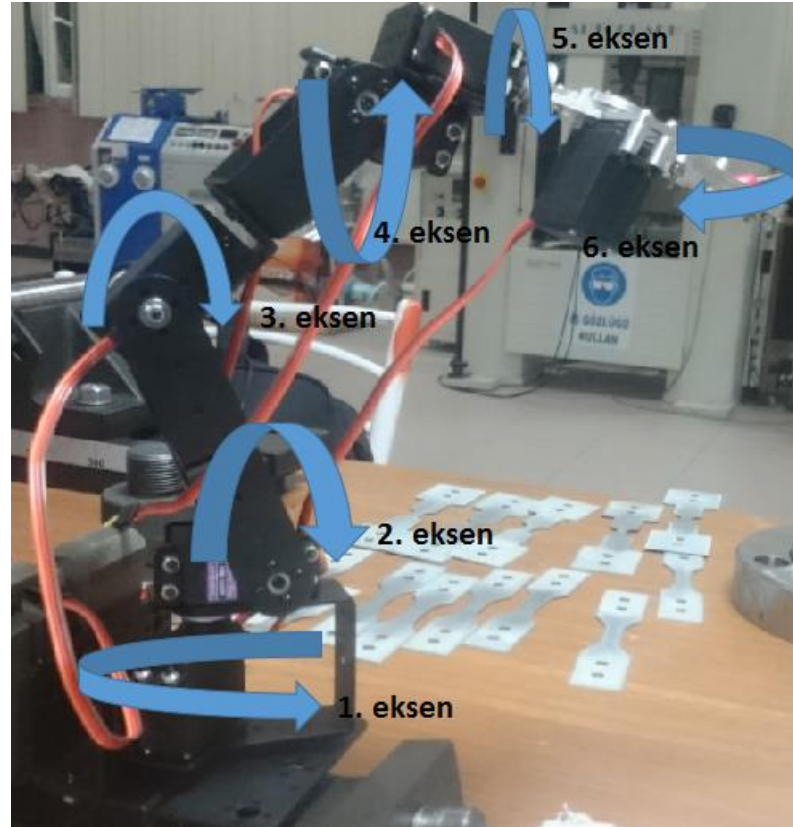
Şekil 3-1. Montajlı robot kol tasarımı



Şekil 3-2. Tutucu tasarımı



Şekil 3-3. Robotun yan koları



Şekil 3-4. Robot kolun montajının tamamlanmış hali ve serbestlik derecelerinin gösterimi

Bu tasarımın, Ansys programında statik, harmonik, yorulma, rijit dinamik ve optimizasyon analizleri yapılmış olup, detaylar aşağıda verilmiştir.

3.1. Statik Analiz

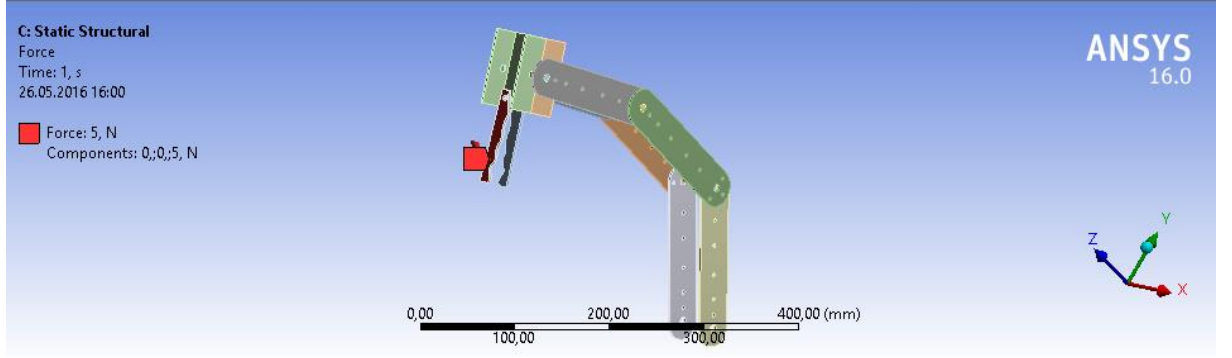
Statik analiz, analizini yaptığımız parça üzerindeki yüklerin ve kısıtlamaların, lineer olarak tanımlanmış malzeme özellikleri ile oluşturduğu anlık çözümlemelerdir. Statik analiz sonuçları anlık sonuçlardır. Bu çözümlemelere göre parçamıza gelen gerilmelerin dağılımı görülmektedir.

Statik analiz sonucu robot kolun tutucu uç noktalarında oluşan yer değiştirme ve gerilmeler elde edilmiş ve maksimum gerilme değeri malzemenin akma mukavemeti ile karşılaştırılarak hasar durumu analiz edilmiştir.

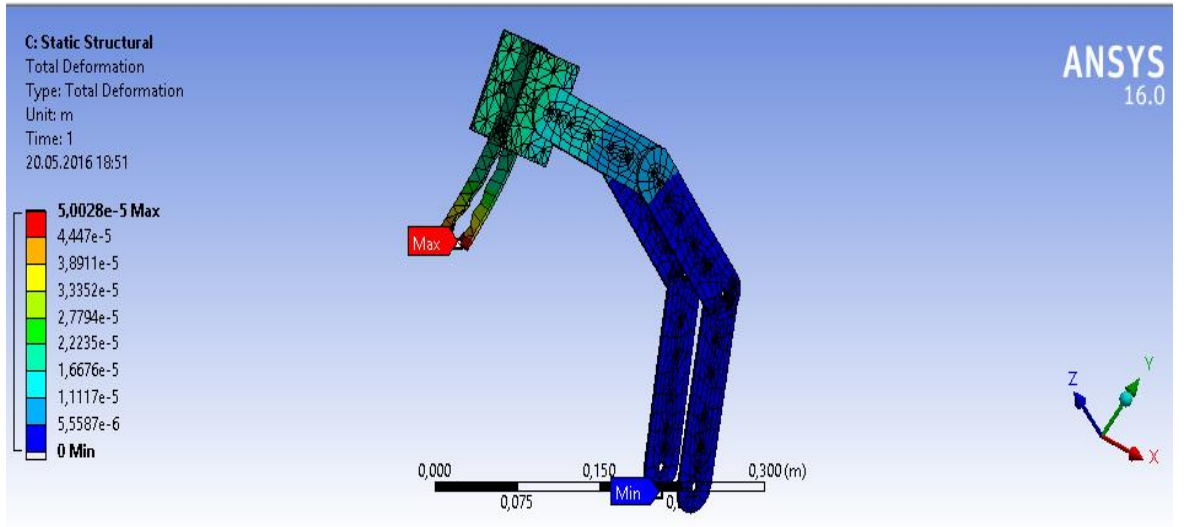
Malzeme olarak yapısal çelik kullanılmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir. Şekil 3.5 te gösterildiği gibi; modelin üst yüzeyine 5 N’luk kuvvet, alt yüzeye ise fixed support-ankastre bağlantı uygulandı. Maksimum gerilmenin 0.50028 MPa olduğu görülmüştür. Bu analiz sonuçlarına göre yapının gerilmesi Tablo 3.1’ de verilen yapısal çelik akma gerilmesinden (25 Mpa) küçük olduğu için robot kol sisteminde herhangi bir hasar olmayacaktır.

Tablo 3.1 Yapısal çelik malzemesinin mekanik özellikleri [11]

Young’s Modulus Pa	Poisson’s Ratio	Bulk Modulus Pa	Shear Modulus Pa	Tensile Ultimate Strength Pa	Tensile Yield Strength Pa	Compressive Yield Strength Pa
2.e+011	0.3	1.6667e+011	7.6923e+010	4.6e+008	2.5e+008	2.5e+008
Strength Coefficient Pa	Strength Exponent	Ductility Coefficient	Ductility Exponent	Cyclic Strength Coefficient Pa	Cyclic Strain Hardening Exponent	
9.2e+008	-0.106	0.213	-0.47	1.e+009	0.2	



Şekil 3-5. Modele uygulanan yük ve sınır şartları



Şekil 3-6. Toplam şekil değiştirme değerleri

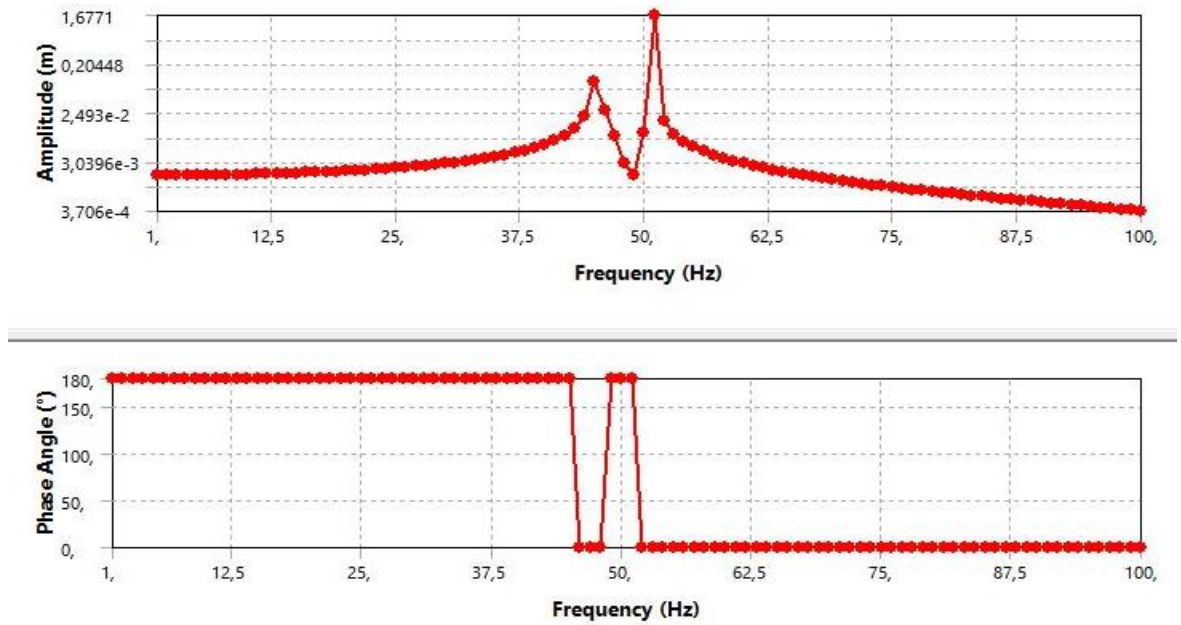
3.2 Harmonik Analiz

Harmonik analizin amacı belirli bir noktadan belirli bir frekansta yapıyı zorlamak ve model üzerinde bu noktaların uygulanan kuvvetlere karşı tepkisini (titreşiminin genlik değerini) belirlemektir.

Analiz sonucunda Şekil 3.7’de görüldüğü gibi frekans-genlik ve frekans-faz açısı grafikleri elde edilmiştir. Şekil 3.7’deki grafikte görüldüğü gibi 51.009 Hz frekansında (bu değer sistemin ikinci mod frekansıdır) sistemin genliği 1,671 m değerine çıkmıştır. Buradan da, yapıyı bu frekans değerinde (51.009 Hz) çalıştırmamamız gerektiğini anlamaktayız.

Tablo 3.2 Yapının doğal frekans değerleri

Mod	Frekans(Hz)
1.	45,246
2.	51,009
3.	136,38
4.	289,51
5.	503,63
6.	601,69



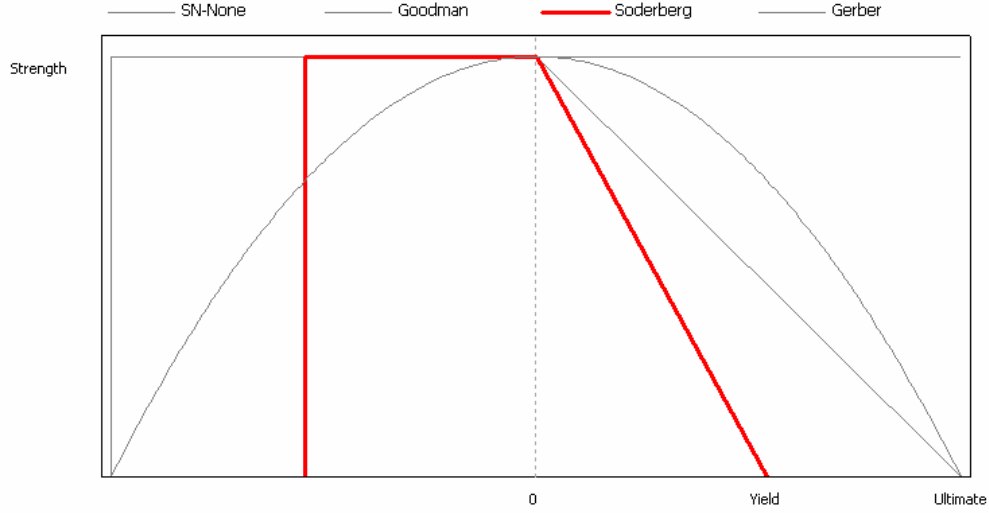
Şekil 3-7. Frekans-genlik ve frekans-faz açısı grafikleri

3.3 Yorulma Analizi

Bir yapının, akma mukavemetinin altında olsa bile değişken dinamik yükler altında belirli bir süre sonunda kırılmasına yorulma hasarı denir. Özel durumlar dışında çoğunlukla yorulmaya yol açan gerilme seviyesi malzemenin akma dayanımından düşüktür. Analizde hasar kriteri olarak belirli metotlar kullanılmaktadır. Soderberg eğrisi düşük sünekliğe sahip malzemeler için kullanışlıdır. Robot kolunda yapılan yorulma analizinde Soderberg eğrisi esas alınmıştır. Formülü ise Denklem 3.1’de ve eğrisi de Şekil 3.8 de gösterilmiştir.

$$\frac{\sigma_{Alternating}}{S_{Endurance_Limit}} + \frac{\sigma_{Mean}}{S_{Yield_Strenght}} = 1$$

Denklem 3.1



Şekil 3-8. Soderberg diagramı

Yapıya 25 N'luk periyodik bir kuvvet uygulanmıştır. ($F=25*\sin(t)$ N). Analizde aşağıdaki yükleme parametreleri kullanılmıştır:

$$\text{Ortalama yük : } F_m = \frac{F_{\max} + F_{\min}}{2} = 0 \text{ N}$$

Denklem 3.2

$$\text{Yük aralığı : } \Delta F_r = F_{\max} - F_{\min} = 50 \text{ N}$$

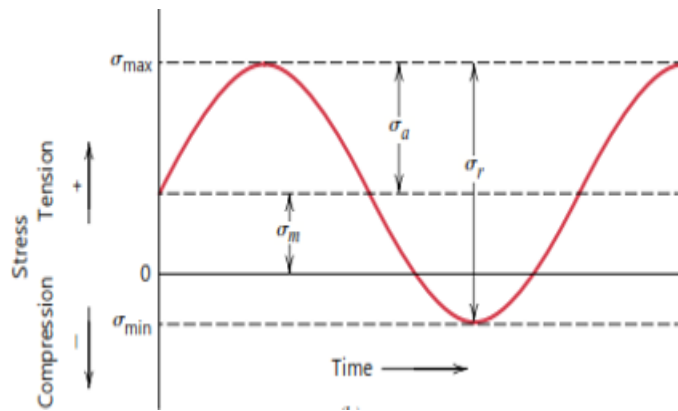
Denklem 3.3

$$\text{Yük genliği : } F_a = \frac{F_r}{2} = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} = 25 \text{ N}$$

Denklem 3.4

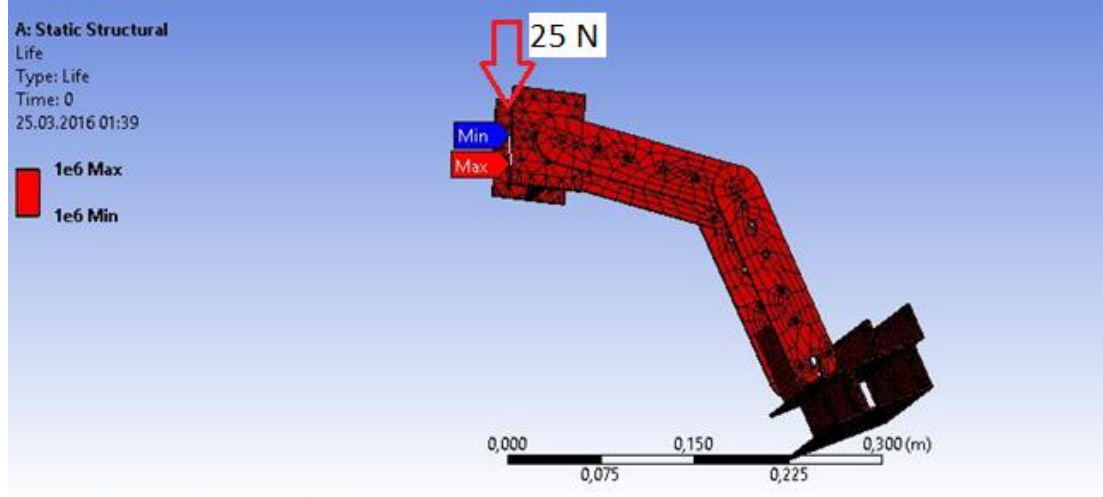
$$\text{Yükleme oranı (Yükleme oranı) : } R = \frac{F_{\min}}{F_{\max}} = 1$$

Denklem 3.5

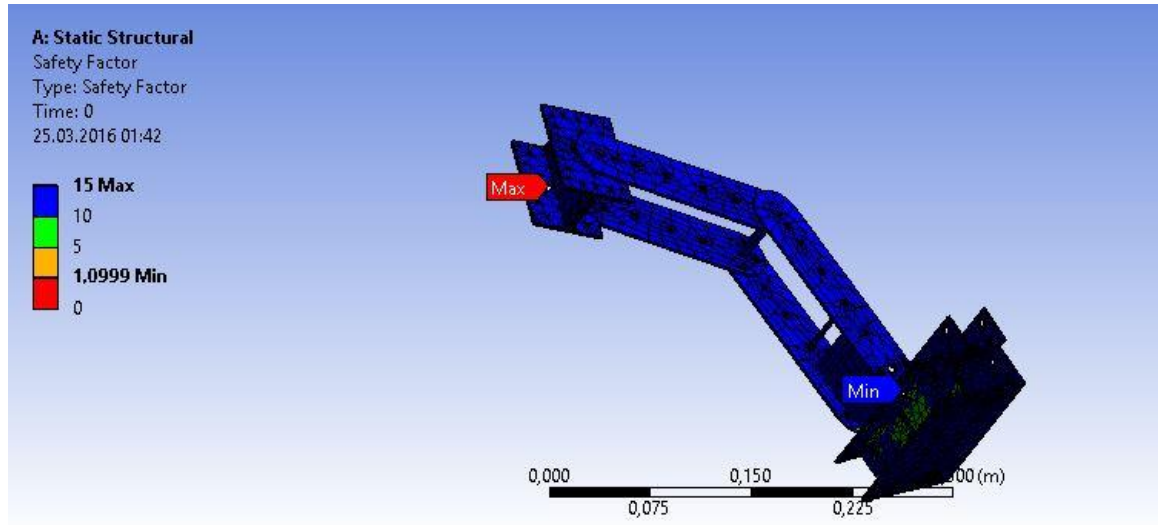


Şekil 3-9. Periyodik yükleme eğrisi

Analiz sonucunda, Şekil 3.9 ve Grafik 3.1’den görüleceği üzere, ömür değerinin sonsuz ömür değeri olduğu anlaşılmaktadır. Ansys programında **1e6** cycle değeri sonsuz ömür anlamına gelmektedir.



Şekil 3-10. Yapının sonsuz ömür değerindeki yorulma ömrü

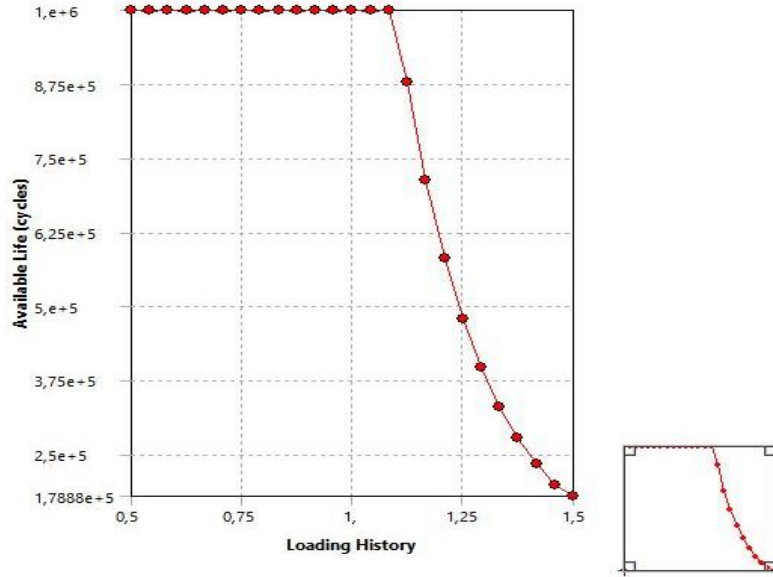


Şekil 3-11. Yorulma emniyet katsayısı

Şekil 3 10’ da ise yorulma emniyet katsayısı 1.0999 olarak elde edilmiştir. Sodeberg’e göre parçanın emniyet katsayısı 1’in üstünde olduğu için emniyetlidir. Bu yükleme değerinde yapıda yorulmadan dolayı kırılma gözlemlenmeyecektir.

3.3.1 Fatigue Sensitivity diyagramı

Bu diyagram; yükleme değerinin değişmesi halinde yorulma ömrünün ne olacağını gösterir. Şekil 3.11’de görüldüğü gibi yük arttıkça yapının ömrü azalmaktadır. Uygulanan yük 1,5 kat arttırılınca ömür değeri 1,7888e5 cycle’a düşmektedir.

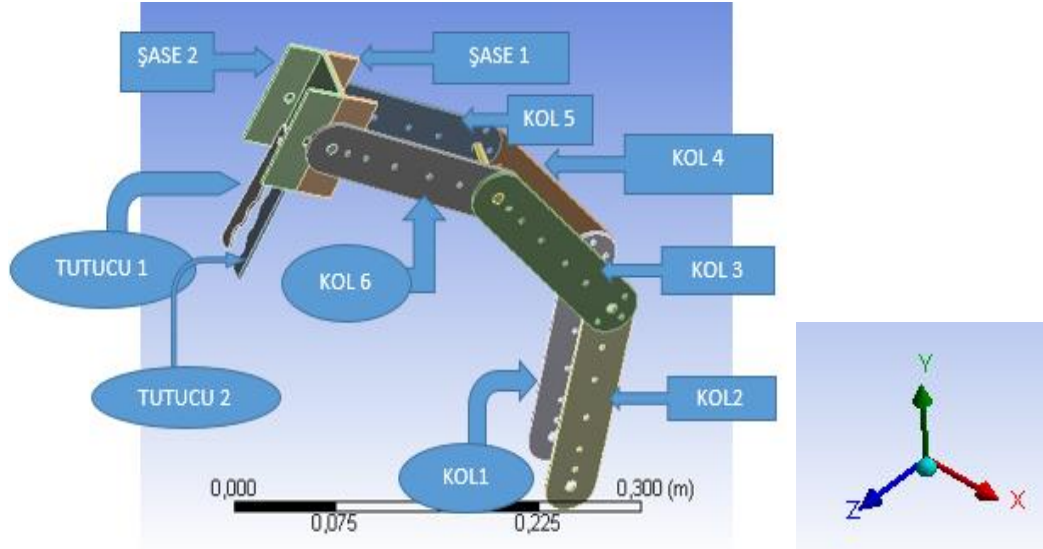


Şekil 3-12. Fatigue sensitivity diyagramı

3.4 Rijit Dinamik Analizi

Rijit dinamik analizi; yapının bütün elemanlarının rijit olduğu kabul edilerek yapılan bir analiz türüdür. Bu nedenle analiz neticesinde yapıda gerilme veya şekil değiştirme değerleri elde edilmez. Bu analiz, yapıya uygulanan öteleme-dönme, hız-ivme, yerçekimi gibi etkiler neticesinde; yapının bağlantı noktalarına gelecek olan sadece kuvvet ve moment değerlerinin tesbiti amacıyla yapılan bir analiz türüdür.

Analizimizde yapıya 5 N yük uygulanarak bağlantı noktalarına 0,1 rad/s’lik bir açısal hız uygulanması durumunda, bağlantı noktalarına gelen kuvvet ve moment değerleri aşağıda sırası ile verilmiştir.



Şekil 3-13. Robot kolun bağlantı noktaları

3.4.1 Rijit Dinamik Analizde Kuvvet Dağılımının Yorumlanması

Robotun bütün bağlantı noktalarına saatin tersi yönünde $\omega=0,1 \text{ rad/sn}$ açısal hız verilerek 60 sn süresi için analiz yapıldı. Böylece tam bir tur dönüş sağlandı. $\omega=0,1 \text{ rad/sn}$ açısal hıza sahip olan yapının bir tam tur (2π radyan) dönebilmesi için 60 sn’lik analiz zamanı gerekmektedir. Bu hesaplamalar Denklem 3.2-5 te verilmiştir.

$$\theta = \omega \cdot t \quad \text{Denklem 3.6}$$

$$2\pi = \omega \cdot t \quad \text{Denklem 3.7}$$

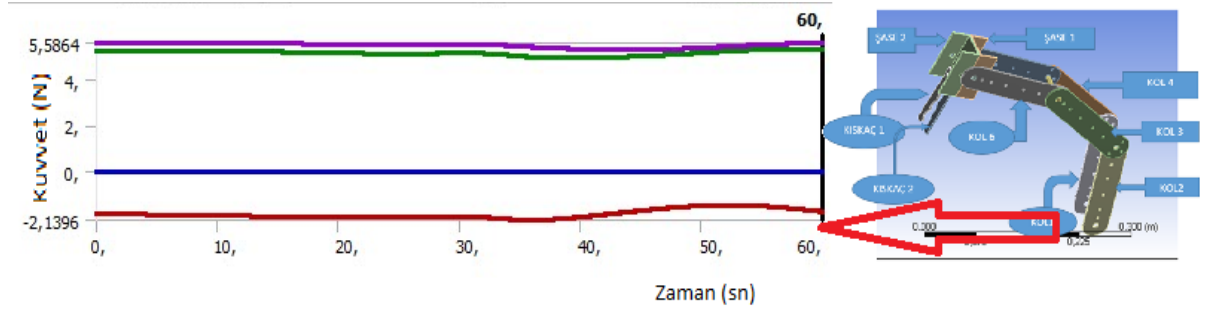
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \text{Denklem 3.8}$$

$$\omega = 2\pi f \quad \text{Denklem 3.9}$$

$$\theta = 0,1 \frac{\text{rad}}{\text{sn}} \times 60 \text{sn} = 6 \text{ rad}$$

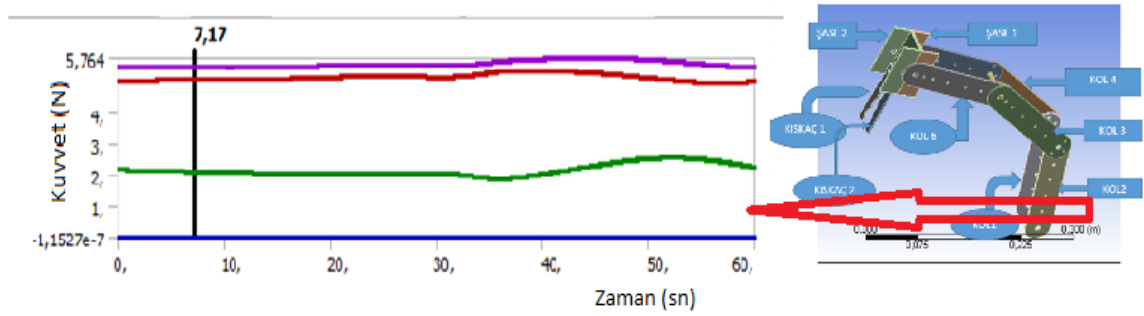
Şekil 3. 13’ e göre; KOL 1 olarak adlandırılan parçanın yere olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. Analizi yapılan bağlantı noktasında Z eksen

doğrultusunda herhangi bir kuvvet oluşmamaktadır. En yüksek kuvvet değeri Y ekseninde 5.5864 N dur.



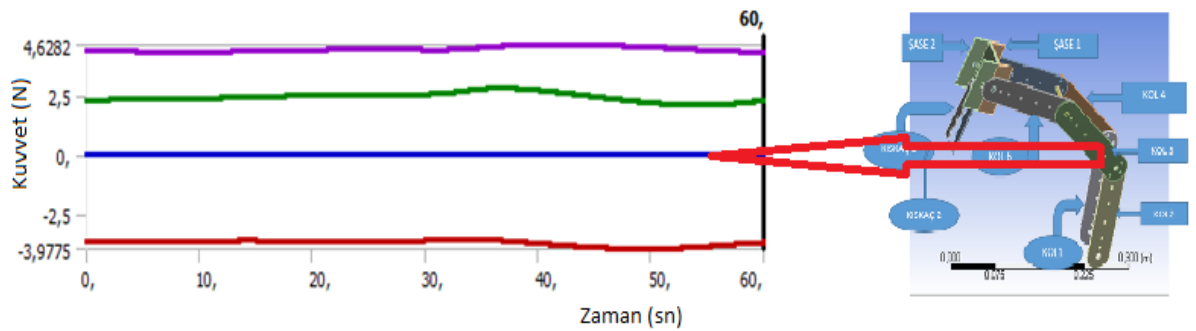
Şekil 3-14. Robotun 1 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.14’de KOL 2 olarak adlandırılan parçanın yere olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri $5,764 \text{ N}$ dur.



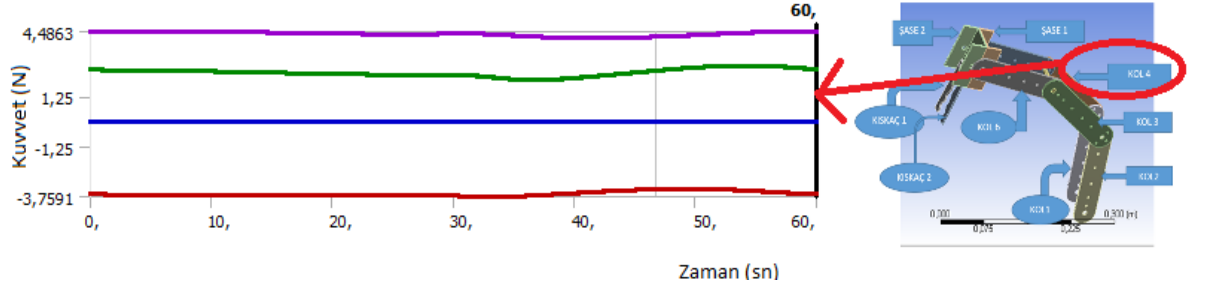
Şekil 3-15. Robotun 2 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.15’te KOL 3 olarak adlandırılan parçanın KOL 2 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri Y ekseninde $4,6282 \text{ N}$ dur.



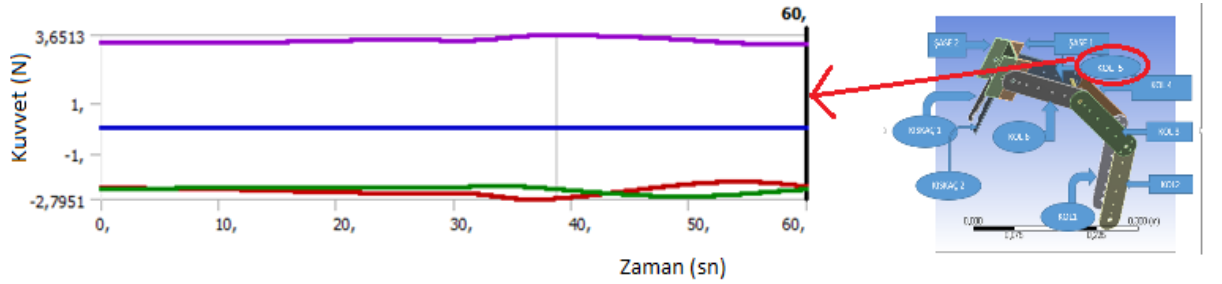
Şekil 3-16. Robotun 3 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.16'da KOL 4 olarak adlandırılan parçanın KOL 1 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri 4,4863 N dur.



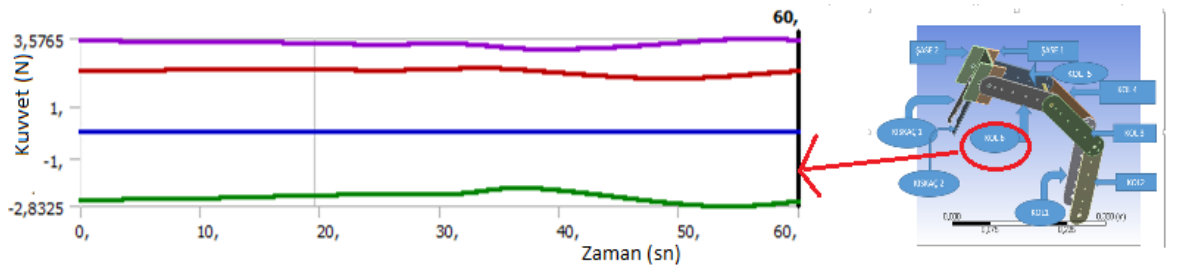
Şekil 3-17. Robotun 4 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.17'de KOL 5 olarak adlandırılan parçanın KOL 4 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri 3,6513 N dur.



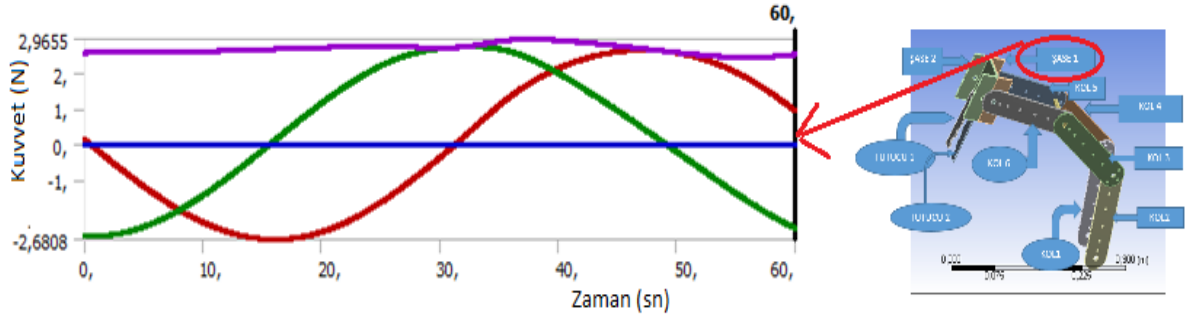
Şekil 3-18. Robotun 5 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.18'de KOL 6 olarak adlandırılan parçanın KOL 3 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri 3,5765 N dur



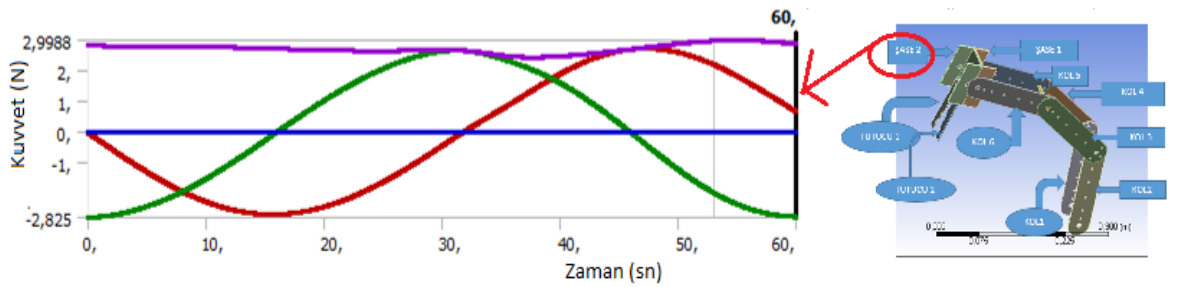
Şekil 3-19. Robotun 6 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.19’da ŞASE 1 olarak adlandırılan parçanın KOL 5 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri $2,9655\text{ N}$ dur.



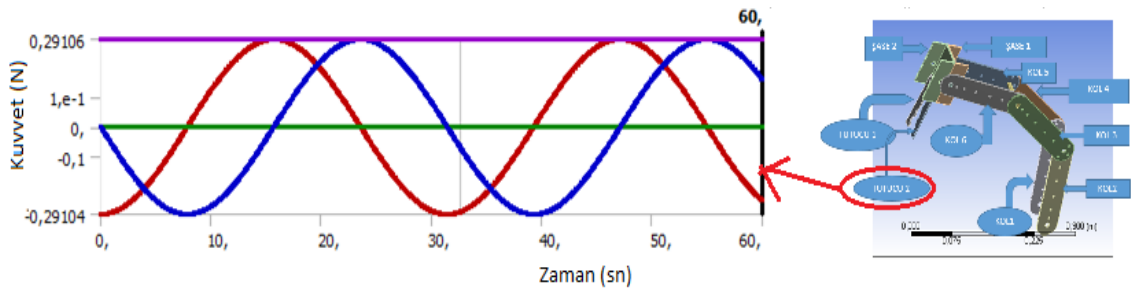
Şekil 3-20. Robotun 1 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.20’de ŞASE 2 olarak adlandırılan parçanın KOL 5 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri. 2.9988 N dur



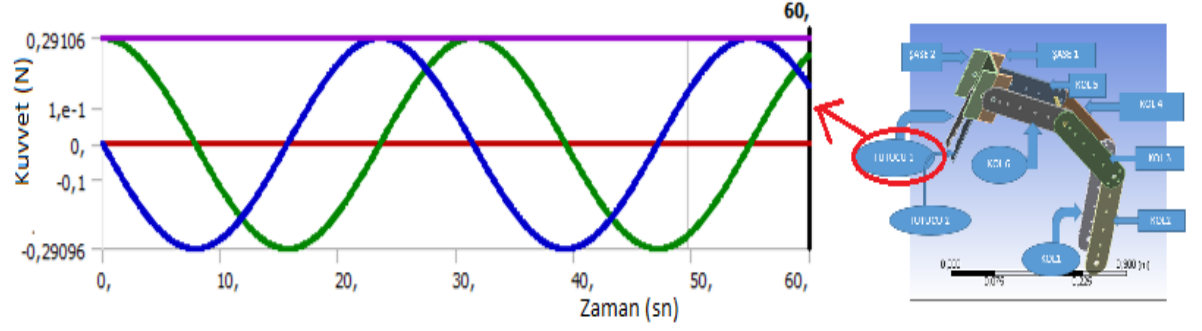
Şekil 3-21. Robotun 2 numaralı şasesinin altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.21’de TUTUCU 1 olarak adlandırılan parçanın ŞASE 2 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri $0,29\text{ N}$ dur.



Şekil 3-22. Robotun 1 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

Şekil 3.22’de TUTUCU 2 olarak adlandırılan parçanın ŞASE 2 üzerine olan döner bağlantısındaki kuvvet değişimi görülmektedir. En yüksek kuvvet değeri 0,29106 N dur.

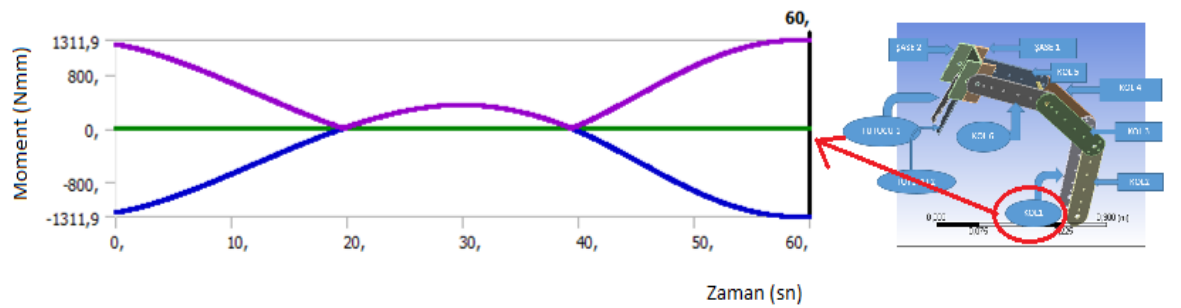


Şekil 3-23. Robotun 2 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam kuvvetler

3.4.2 Rijit Dinamik Analizde Moment Dağılımının Grafikselsel Yorumlanması

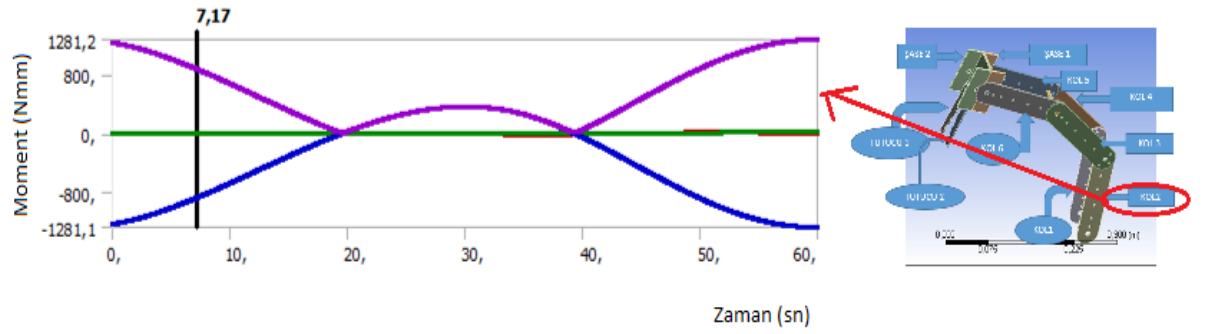
Rijit dinamik analizden elde edilen moment sonuçları aşağıda detaylıca verilmiştir.

Şekil 3.23’te KOL 1 olarak adlandırılan parçanın yere olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri 1311,9 $N*mm$ dir.



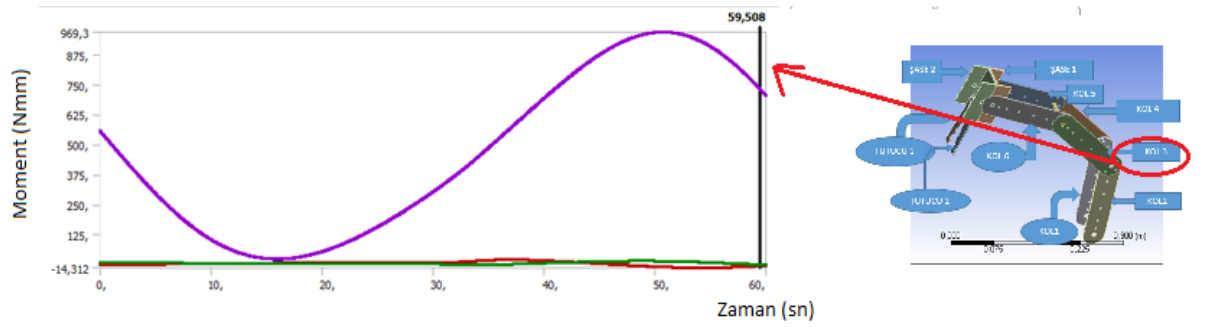
Şekil 3-24. Robotun 1 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.24’te KOL 2 olarak adlandırılan parçanın yere olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri 1281,2 $N*mm$ dir.



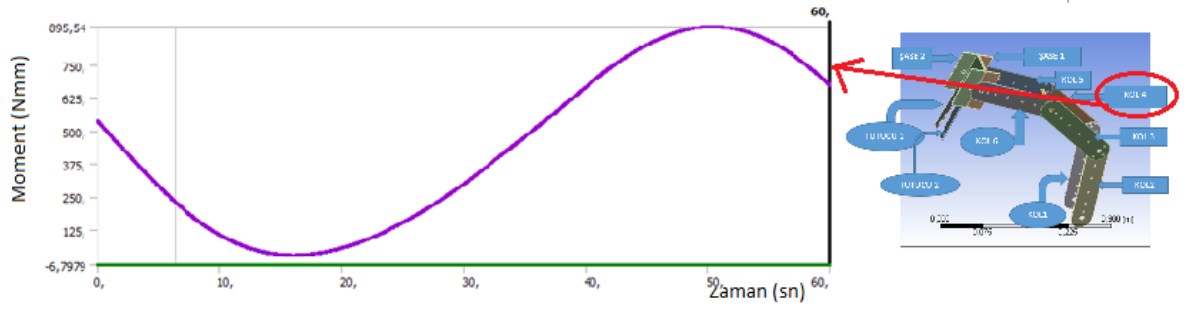
Şekil 3-25. Robotun 2 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.25'te KOL 3 olarak adlandırılan parçanın KOL 2 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri 969.3 N*mm dir.



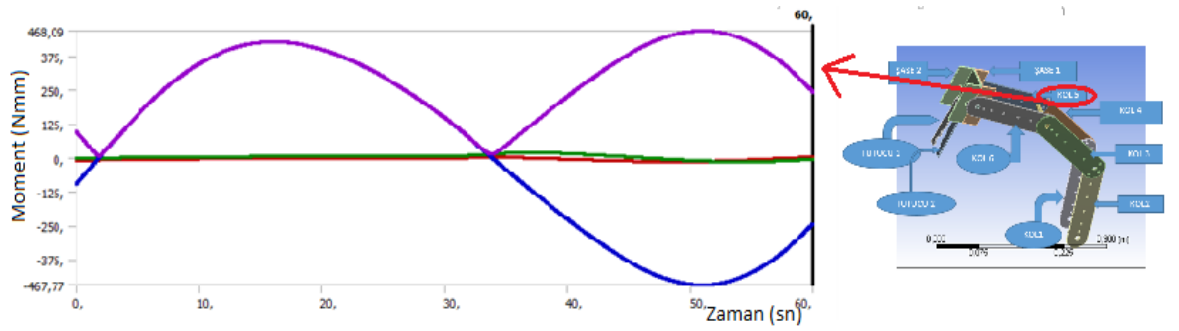
Şekil 3-26. Robotun 3 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.26'da KOL 4 olarak adlandırılan parçanın KOL 1 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri $895,54 \text{ N*mm}$ dir.



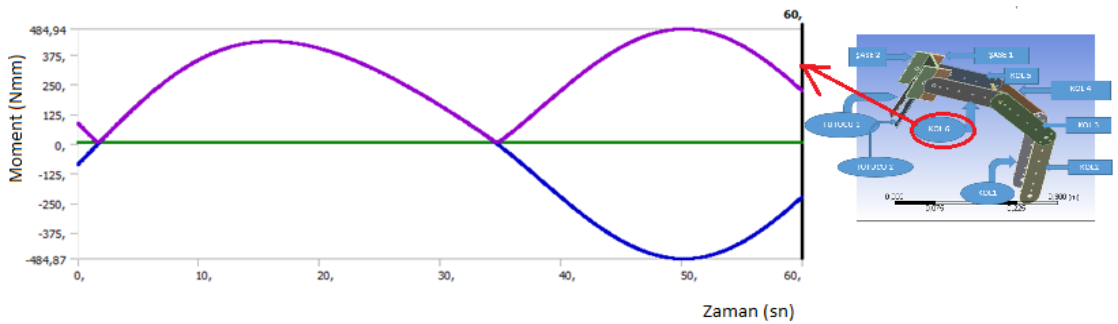
Şekil 3-27. Robotun 4 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.27’de KOL 5 olarak adlandırılan parçanın KOL 4 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri 468,09 $N*mm$ dir.



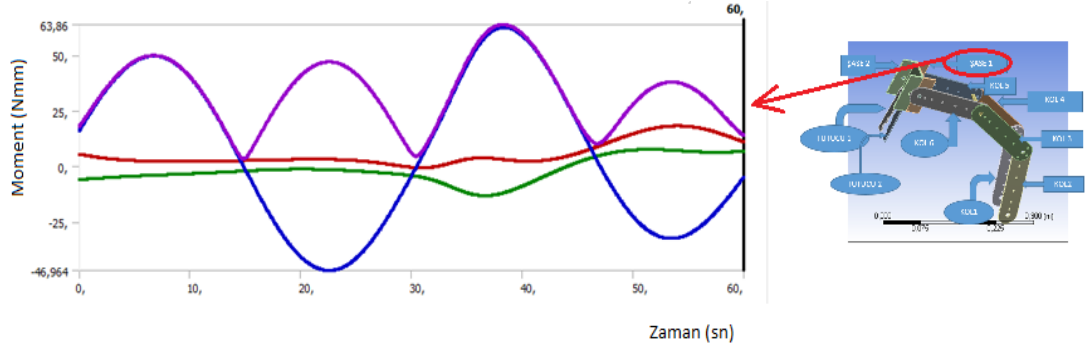
Şekil 3-28. Robotun 5 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.28’de KOL 6 olarak adlandırılan parçanın KOL 3 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri 484,94 $N*mm$ dir.



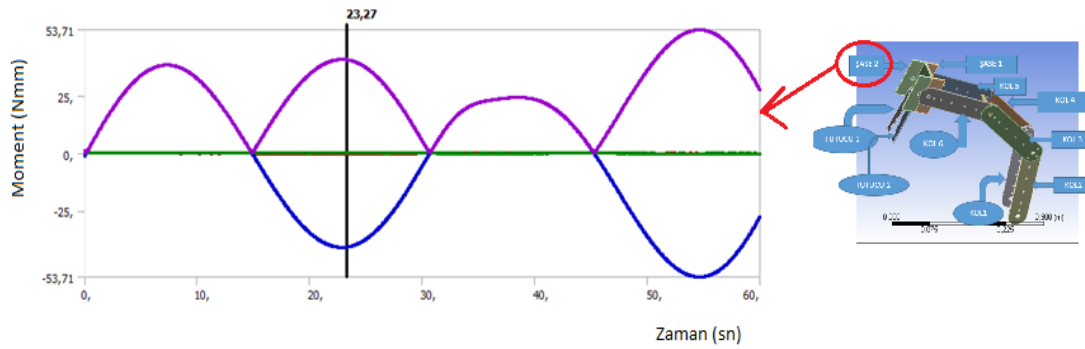
Şekil 3-29. Robotun 6 numaralı kolun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.29’da ŞASE 1 olarak adlandırılan parçanın KOL 5 ve KOL 6 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri $63,86 \text{ N*mm}$ dir.



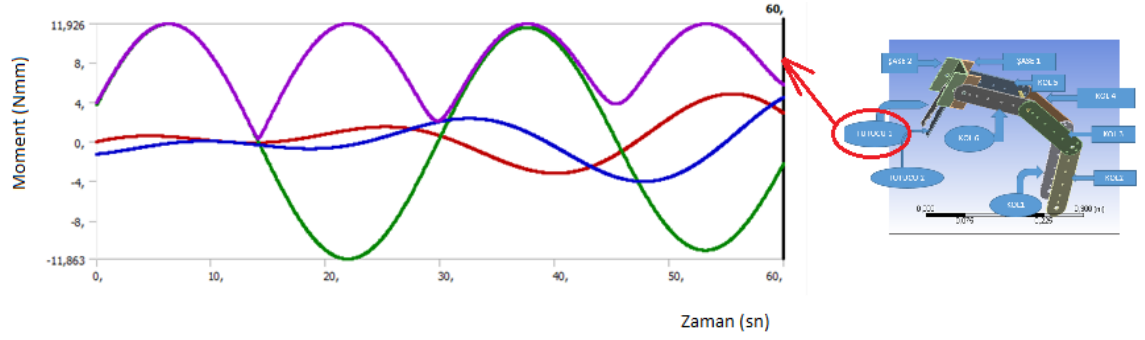
Şekil 3-30. Robotun 1 numaralı şasenin altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.30’da ŞASE 2 olarak adlandırılan parçanın KOL 5 ve KOL 6 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri $53,71 \text{ N*mm}$ dir.



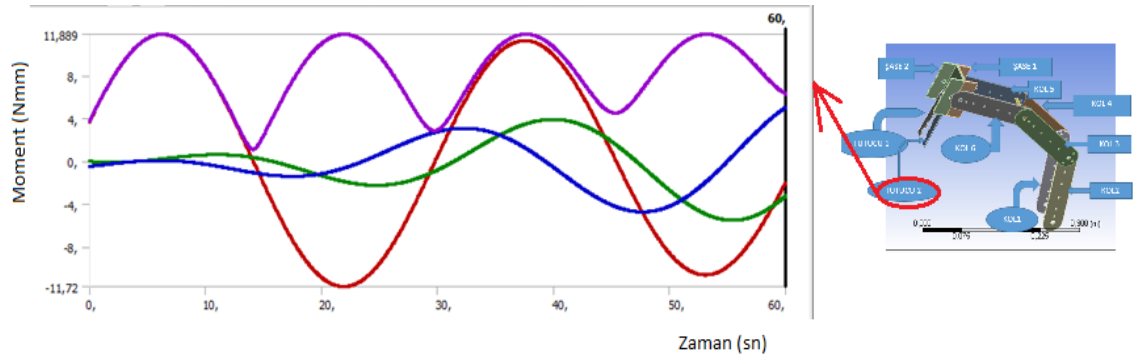
Şekil 3-31. Robotun 2 numaralı şasenin altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.31’de TUTUCU 1 olarak adlandırılan parçanın ŞASE 2 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri $11,926 \text{ N*mm}$ dir.



Şekil 3-32. Robotun 1 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

Şekil 3.32’de TUTUCU 2 olarak adlandırılan parçanın ŞASE 2 üzerine olan döner bağlantısındaki moment değişimi görülmektedir. Toplam momentin en yüksek değeri $11,889 \text{ N*mm}$ dir.

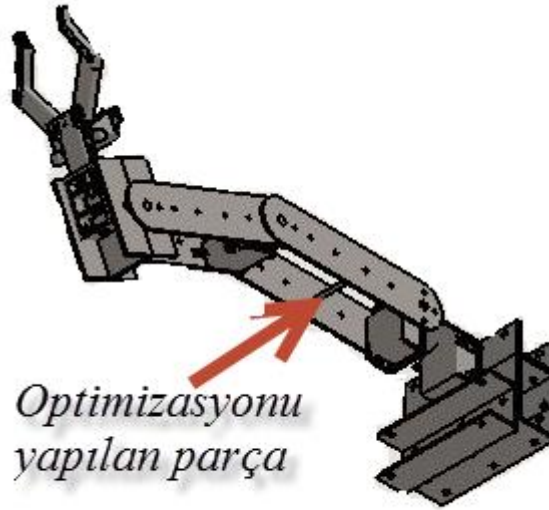


Şekil 3-33. Robotun 2 numaralı tutucunun altındaki bağlantıya gelen toplam momentler

3.5 Optimizasyon Analizi

Optimizasyon herhangi bir sistemde var olan kaynakların en verimli şekilde kullanılarak, maliyetin az olması, kar düzeyinin artırılması gibi belirli koşullara dayanarak yapılan bir analizdir. Optimizasyon analizlerinde; genel olarak modelleme ve çözümleme işlemleri yapılmaktadır. Modelleme esnasında giriş-çıkış parametre değerleri girilip aralarındaki ilişkiler matematiksel olarak ifade edilir. Çözümleme aşamasında ise bu girilen parametrelere göre modellemeyi en iyi şekilde sağlayan seçenek tespit edilir.

Robot kol tasarımımda pek çok parça bulunmaktadır. Ancak bir örnek olması açısından Şekil-34’te gösterilen silindirik parçanın yarıçap değeri optimize edilmiştir. Analizde “radyus-P3” değerleri giriş parametreleri olarak verilmiştir. Çıkış parametreleri olarak; “maksimum çekme gerilmesi-P1” ve “maksimum basma gerilmesi-P2” değerleri girilmiştir. Parametreler ve aralıkları Tablo 3.3’de verilmiştir.

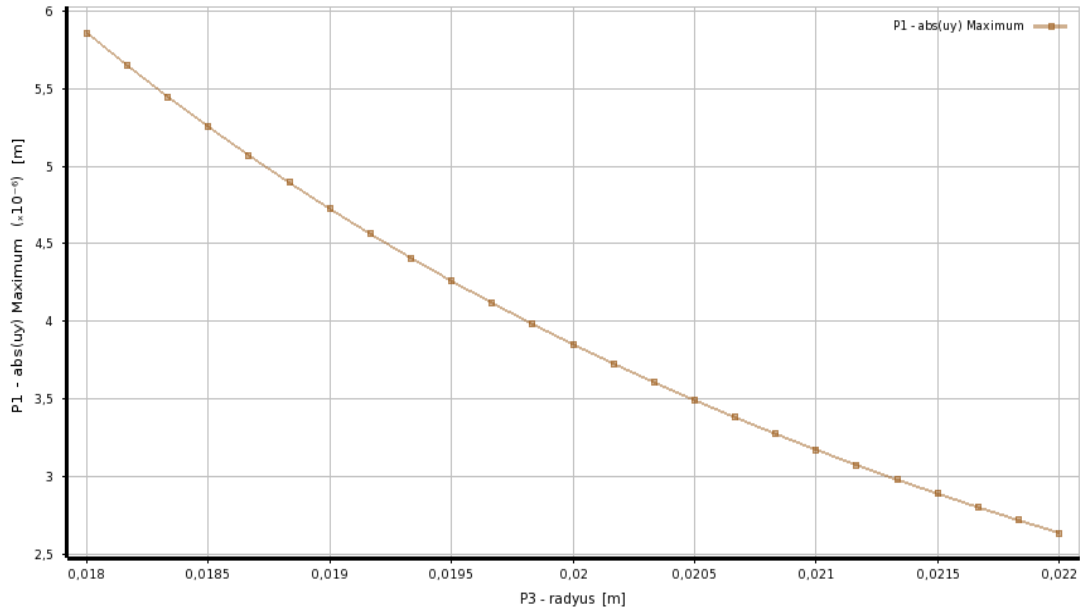


Şekil 3-34 Optimizasyon parçası

Tablo 3.3 Paralel dizayn parametre dataları

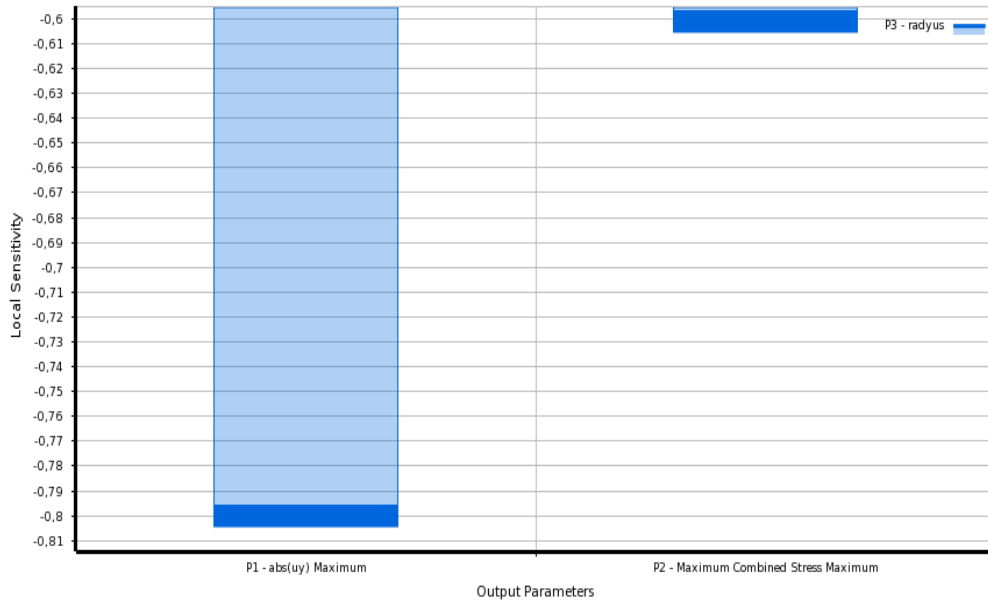
Name	P3-radyus(m)	P1-abs(uy)Maximum(m)	P2-Maximum comp. (MPa)
1	0,02	3,8512E-06	12,36
2	0,018	5,8611E-06	16,955
3	0,022	2,6347E-06	9,2863
4	0,019	4,7246E-06	14,416
5	0,021	3,1709E-06	10,677

Analiz sonucunda Response surface grafiği de elde edilmiştir. Bu grafik bize, giriş ve çıkış değerlerinin birbirleri ile olan ilişkilerini fonksiyonel formda (grafik olarak) vermektedir.



Şekil 3-35. Response yüzeyin deformasyon grafiği

Şekil 3. 35'te verildiği gibi, “Local sensitivity” grafiği de elde edilmiştir. Bu grafik ile, çıkış değerlerinin birbirleri ile ne denli etkileşimde olduğu (birbirlerini etkileyip-etkilemedikleri, etkiliyorsa ne oranda etkili oldukları) anlaşılmaktadır.



Şekil 3-36. Local sensitivity grafiği

Optimizasyon sonucunda en uygun değer olarak aşağıdaki değerler elde edilmiştir:

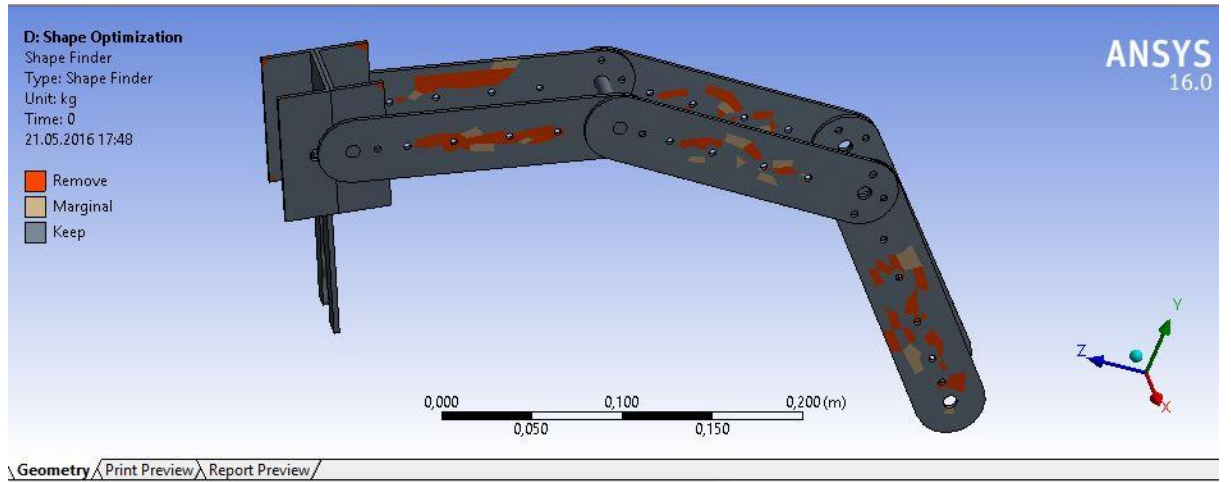
Name	P3-radyus(m)	P1-abs(uy)Maximum(m)	P2-Maximum comp. (MPa)
1	0,02	3,8512E-06	12,36

3.5.1 Şekil Optimizasyonu

Tasarladığımız geometri üzerine yükleme ve sınır şartlarını uyguladığımızda, üzerine gerilme gelmeyecek alanların tespit edilerek tasarımdan çıkartılması sağlanmaktadır. Böylece malzemeden tasarruf edilerek verimliliğin artması ve düşürülmesi sağlanacaktır.

Şekil optimizasyonunda robot kolumuzun tabanına “fixed support-ankastre bağlantı” uygulanarak yere sabitlendi. Daha sonra tutucu yüzeyine 50 N’luk kuvvet uygulanıp çözüm yapılarak yapının gerilmeye maruz kalmayan alanları tespit edildi. Şekil 3.37 de verilen analiz sonucunda çıkartılması müsait olan bölgeler turuncu renk ile gösterilmiştir.

Elbette bu analiz, şekil optimizasyonuna bir örnek olması için yapılmış olduğundan dolayı, çıkartılma işlemi fiilen uygulanmamıştır.



Şekil 3-37. Şekil optimizasyon grafiği

BÖLÜM 4 : ROBOT KOL KİNEMATİĞİ

Robot kontrolü, üç boyutlu uzayda robotun kendi tasarımı ve çevresindeki nesnelerin yerleşimi ile ilgilenir. Yerleşim bilgisi konum vektörü ve yönelim matrisi gibi iki nitelikle açıklanır. Matematiksel olarak nesnelerin konumu bir konum vektörü, yönelimi ise yönelim matrisi vasıtasıyla hesaplanır.

Kinematik bilimi zaman içerisinde konum değiştirerek yani devinimiyle ilgilenen bir hareket bilimidir. Robot kinematığı ile robotun hız kuvvet ve ivme analizleri yapılır. Eklem ve hareket eksenli bağlantı noktaları arasındaki ilişkileri tanımlar. Dönme hareketinden gerçekleşen yer değiştirmeye eklem açısı, bağlar arasında yer değiştirmeden dolayı oluşan ötelemeye ise eklem kayması denir [12].

Üç boyutlu uzayda bir nesnenin yönelimini ve konumunu tanımlamak için o nesnenin merkezine bir koordinat sistemi yerleştirilir. Robotlarda da robotun eklemlerine ve çalışma alanındaki nesnelere koordinat sistemlerinin yerleştirilir. Yerleştirilen bu koordinat sistemleri vasıtasıyla robotla çalışma alanındaki nesneler arasında yönelim ve konum ilişkisi tanımlanır [12].

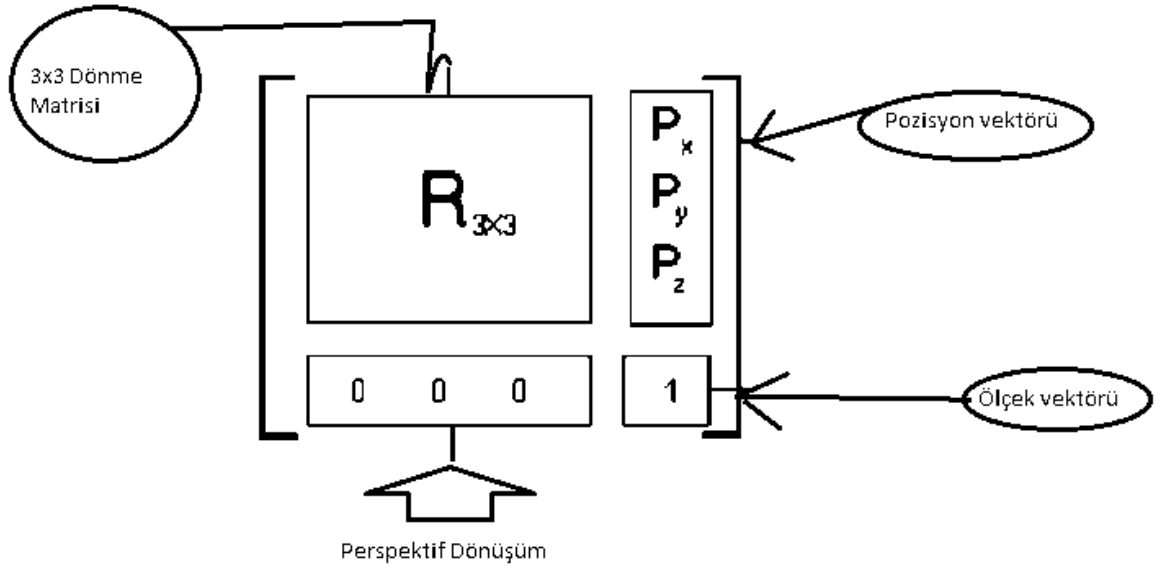
Robotlarda kinematik analiz iki şekilde tanımlanır :

- 1) İleri kinematik
- 2) Ters kinematik

4.1 İleri Kinematik

Robotların Kartezyen uzayda kinematik modelini çıkarmak için başlıca beş yöntem kullanılmaktadır. Bu beş yöntem: Homojen dönüşüm yöntemi, Üssel yöntem, SRK (Sıfır Referans Konum) yöntemi, Pieper-Roth yöntemi ve TPS (Tam ve Parametrik olarak Sürekli) yöntemleridir [13].

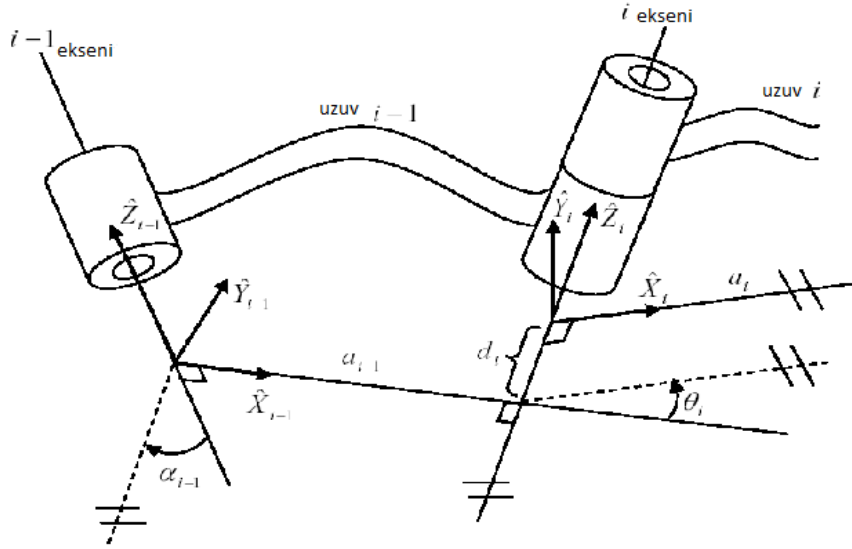
Denavit Hartenberg gösteriminde, her bir uzva bağı bir koordinat sistemi bulunur. Bu yaklaşımda 4x4 homojen transformasyon matrisi, mafsallardaki her bir uzvun koordinat sistemini bir önceki uzvun koordinat sistemine göre belirtir [13].



Şekil 4-1. 4x4 Homojen transformasyon matrisinin şematik gösterimi [13].

Ardışık transformasyon ile el koordinatlarının transformasyonu yapılarak, taban koordinatları cinsinden ifade edilir. Bu durumda her bir mafsala, (x_i, y_i, z_i) şeklinde bir koordinat sistemi yerleştirilir. Burada $i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$ olabilir. n serbestlik derecesidir. n serbestlik dereceli bir robot için $n+1$ koordinat sistemi tanımlıdır. “Denavit Hartenberg” ilkesi ile robotun uç uzvunda belirlenen bir noktanın pozisyonundaki değişim, eklemlere yerleştirilen koordinat sistemleri vasıtası ile taban sabit referans eksen takımına bağlı olarak ifade edilebilir ve tanımlanabilir [13].

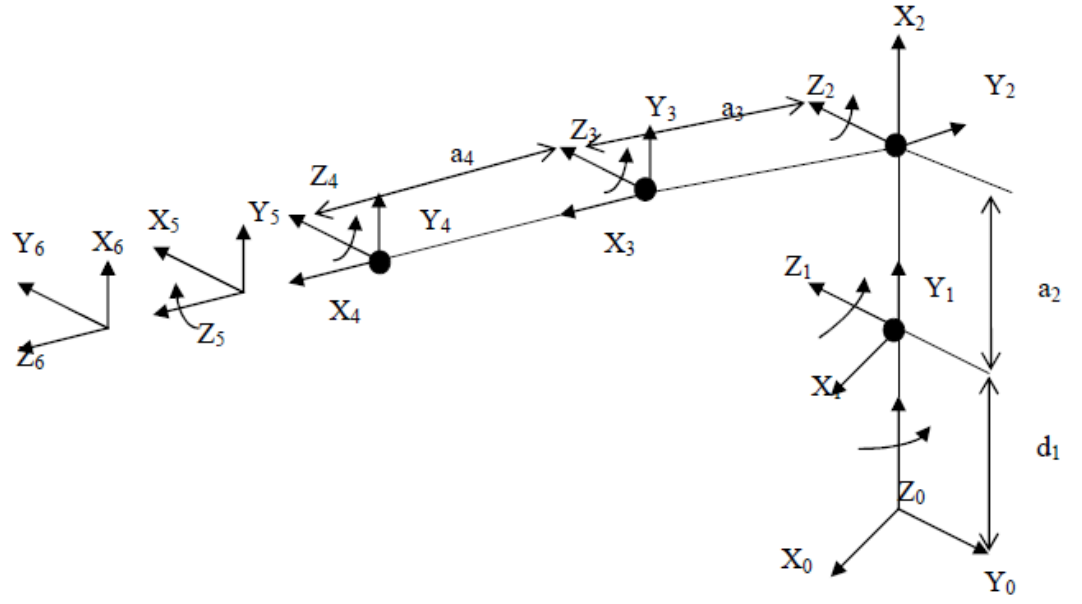
Robotların kinematik modelini çıkartmak için her bir eksene bir koordinat eksen takımı yerleştirilir. Koordinat eksen takımı belirlenirken **döner eksenler için dönme yönü Z, buna dik olan bağ uzunluğu X eksenini kabul edilir.** Y eksenini ise sağ el kuralına göre bulunur [13].



Şekil 4-2. Koordinat eksen takımlarının uzuvlara tutturulması [13].

Uzayda iki eksenin (burada eklem eksenleri) birbirine göre tanımlanması için uzuv uzunluğu (a_{i-1}) ve uzuv bükülme açısının (α_{i-1}) bilinmesi gerekmektedir. Uzuv uzunluğu iki eklem eksen arasındaki mesafedir. Bu mesafe, her iki eksene karşılıklı olarak dik olan doğru boyunca alınır. Bükülme açısı ise şöyle tarif edilir. Normal doğrusu, daha önce tarif edilen iki eksen arasındaki karşılıklı dik doğru olan bir düzlem ele alınsın. Her iki eksenin bu düzlem üzerindeki izdüşümleri alınır ve bunlar arasındaki açı ölçülürse bükülme açısı bulunmuş olur. Bu açı ölçümü $i-1$ ekseninden i eksenine doğru yapılır [13].

Uzuvların birbirleriyle bağlantısını belirlemek için iki parametre tanımına daha ihtiyaç vardır, uzuv açıklığı (d_i) ve eklem açısı (θ_i). Uzuv açıklığı a_{i-1} 'in eksenini kestiği noktadan, a_i 'nin eksenini kestiği noktaya olan uzaklıktır. Eklem açısı ise a_{i-1} 'in uzantısı ile a_i arasındaki açıdır. Böylece bir robotun kinematik tanımlaması, her uzuv için dört parametrenin verilmesiyle yapılabilir. Bunlardan ikisi uzvun kendisini, diğer ikisi de uzuvların birbiriyle olan ilişkilerini tanımlar. Eğer dönen eklem söz konusu ise θ_i eklem değişkeni, diğer üç parametre ise sabit parametreler olur. Eğer eklem prizmatik ise d_i eklem değişkeni, diğer üç parametre ise sabit parametreler olur.



Şekil 4-3. 6 eksen robot kolun koordinat eksen takımlarının gösterimi [13].

Tablo 4.1 6 eksen robot kolun her bir bağlantı noktasına gelen DH parametre değerleri [14]

Joint (i)	θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	θ_1	0	0	0
2	θ_2	$-\pi/2$	0	0
3	θ_3	0	a_2	d_3
4	θ_4	$-\pi/2$	a_3	d_4
5	θ_5	$\pi/2$	0	0
6	θ_6	$\pi/2$	0	0

$${}^{i-1}_iT = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ s\theta_i c\alpha_{i-1} & c\theta_i c\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & \alpha_{i-1} d_i \\ s\theta_i s\alpha_{i-1} & c\theta_i s\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Denklem 4.1}$$

$${}^0_1T = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^1_2T = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^2_3T = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & a_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \text{Denklem 4.2}$$

$${}^3_4T = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & a_3 \\ 0 & 0 & 1 & d_4 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^4_5T = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^5_6T = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$${}^0_6T = \begin{bmatrix} c_1[c_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) - s_{23}s_5c_6] + s_1(s_4c_5c_6 + c_4s_6) & c_1[c_{23}(-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + s_{23}s_5c_6] + s_1(c_4s_6 + s_4c_5s_6) & \dots \\ s_1[c_{23}(c_4c_5c_6 - s_4s_6) - s_{23}s_5c_6] - c_1(s_4c_5c_6 + c_4s_6) & s_1[c_{23}(-c_4c_5s_6 - s_4c_6) + s_{23}s_5c_6] - c_1(c_4s_6 + s_4c_5s_6) & \dots \\ -s_{23}(s_4c_5c_6 - s_4s_6) - c_{23}s_5c_6 & -s_{23}(-s_4c_5c_6 - s_4s_6) - c_{23}s_5 & \dots \\ 0 & 0 & \dots \end{bmatrix} \rightarrow$$

Yukarıdaki matrisin devamı, yer darlığı nedeni ile matris bölünerek aşağıda verilmiştir.

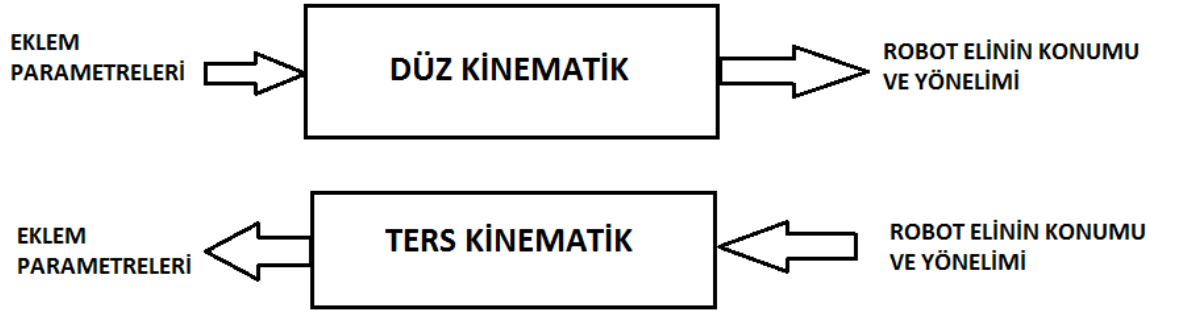
$$\rightarrow \begin{bmatrix} \dots c_1(c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5) - s_1s_4s_5 & c_1(a_2c_2 + a_3c_{23} - d_4s_{23}) - d_3s_1 \\ \dots s_1(c_{23}c_4s_5 + s_{23}c_5) - c_1s_4s_5 & s_1(a_2c_2 + a_3c_{23} - d_4s_{23}) - d_3c_1 \\ \dots s_{23}c_4s_5 - c_{23}c_5 & -a_3s_{23} - a_2s_2 - d_4c_{23} \\ \dots 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Denklem 4.3 [14]}$$

Tablo 4-1'deki DH parametrelerin denklem 4.1' de yerine konularak denklem 4.2' deki matrisler elde edilmiştir.

${}^0_1T {}^1_2T {}^2_3T {}^3_4T {}^4_5T {}^5_6T$ matrisleri çarpılarak robotun ileri yön kinematiği 0_6T hesaplanmıştır.

4.2 Ters Kinematik

Düz kinematik sayesinde, belirli eklem parametreleri için robot elinin konum ve yönelimi hesaplanmıştır. Ters kinematik analizde ise robot elinin istenen bir konum ve yönelimi için eklem parametrelerinin alması gereken değerleri hesaplanacaktır [15].

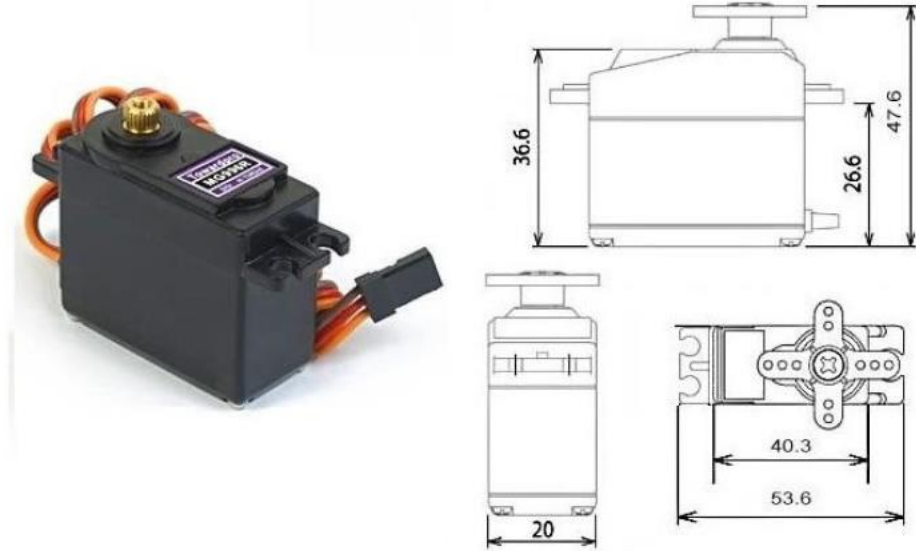


Şekil 4-4. Düz ve ters kinematik analiz [16].

Bu proje çalışmasında, yukarıda izah edilen ters ve düz kinematik formülasyonlarının, hazırladığımız programa dahil edilmesi amaçlanmış idi. Ancak süreyi yetiştiremediğimden dolayı ters-düz kinematik formülasyonları programa dahil edilememiştir. İleriki çalışmalarda bu konunun programa eklenmesi planlanmaktadır.

BÖLÜM 5 : ROBOT KOLUN MEKANİK MONTAJLANMASI VE KULLANILAN ARAYÜZ PROGRAMI

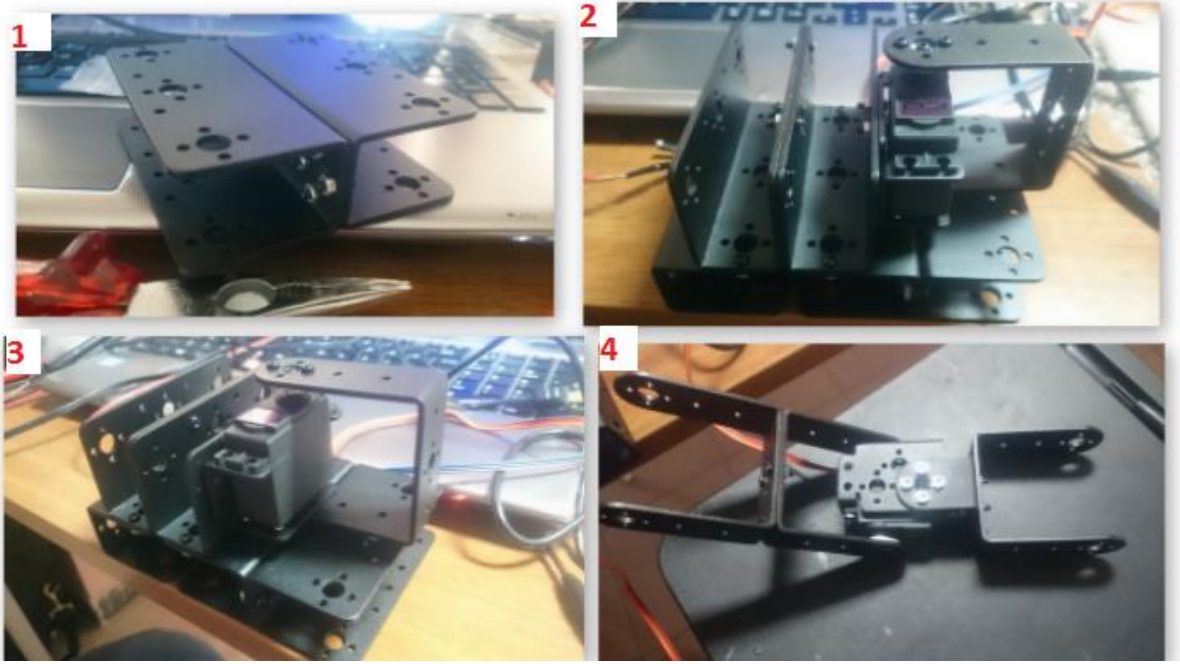
6 tane tower- pro MG-996R marka servo motor kullanılarak sistemin mekanik montajı yapıldı. Yapılan montajlar aşama aşama Şekil 5.2 , 5.3 ve 5.4'te gösterilmiştir.



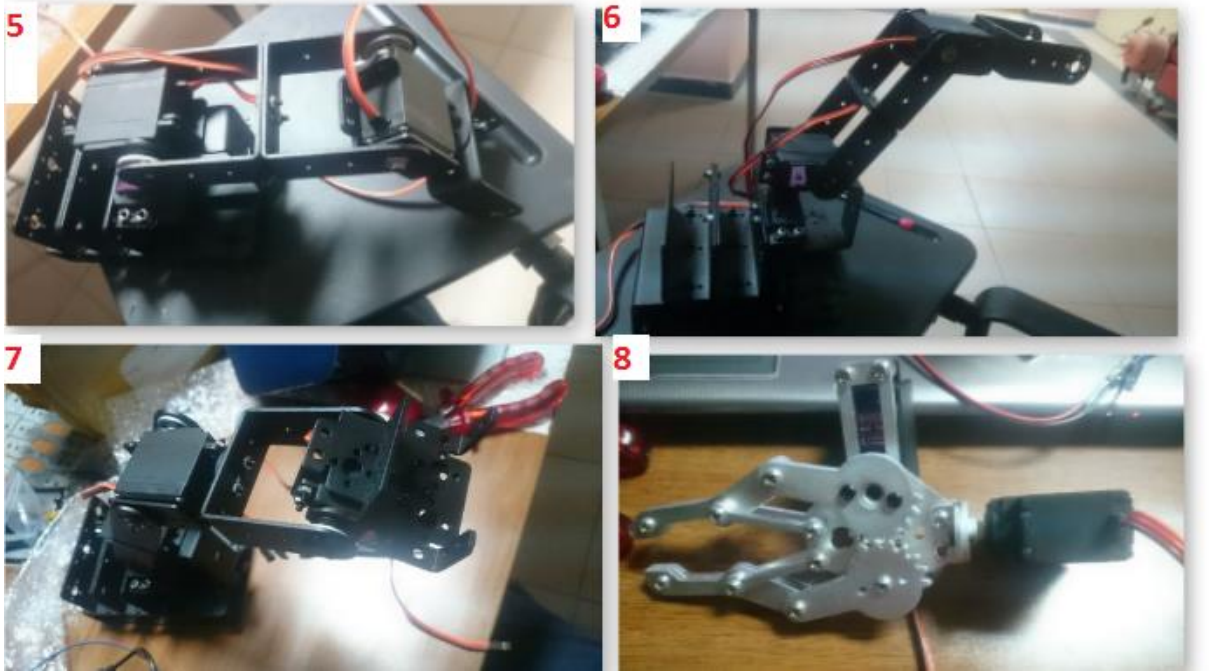
Şekil 5-1. Servo motor ve boyutları

Servo motor özellikleri aşağıda verilmiştir.

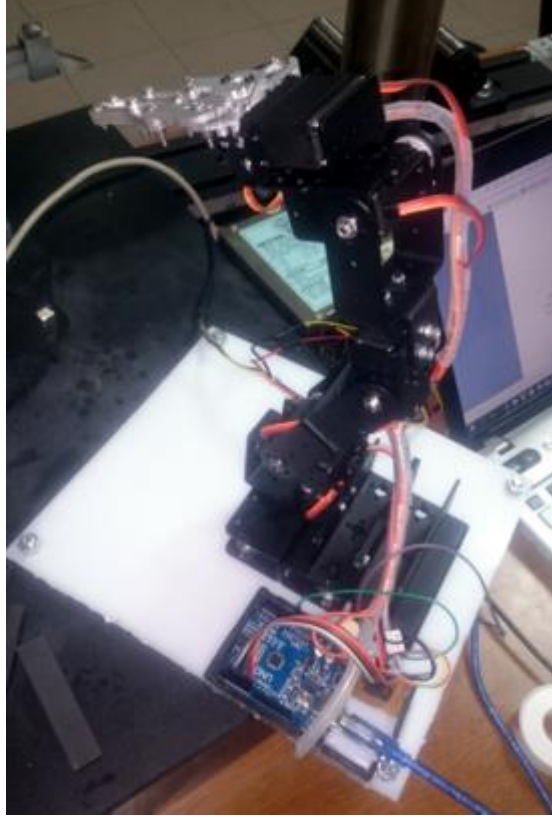
- Ağırlık : 55 g
- Boyutlar: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.
- Tork: 9.4 kgf·cm (4.8 v), 11 kgf·cm (6 v)
- Çalışma açısı hızı: 0.17 s/60° (4.8 v), 0.14 s/60° (6 v)
- Gerilim : 4.8 v a 7.2 v
- Çalışma akımı: 500 ma –
- Önerilen akım: 2.5 a (6v)
- Ölü bant genişliği : 5 µs
- Çalışma sıcaklığı : 0 °c –900 ma (6v) 55 °c



Şekil 5-2. Robot kolun taban kısımlarının aşamalı montaj hali



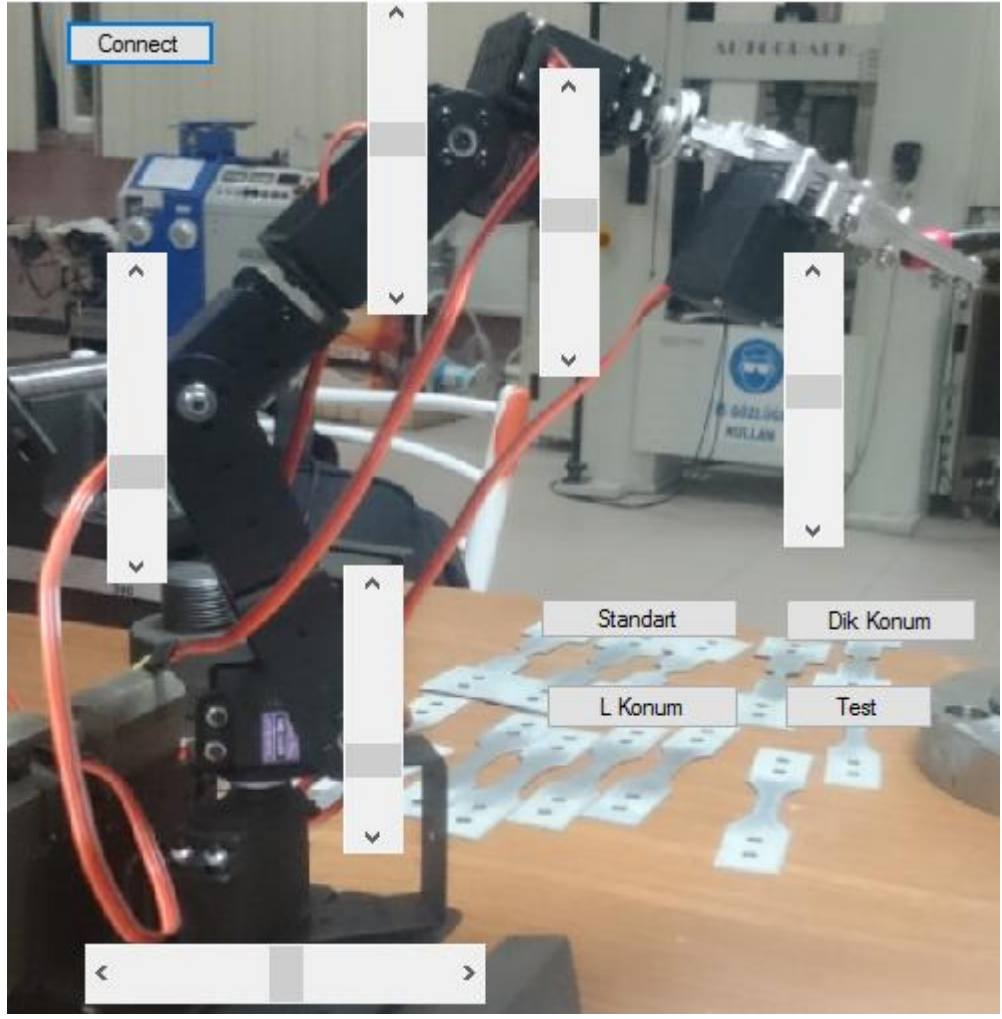
Şekil 5-3. Robot kolun kol ve tutucu kısımlarının aşamalı montaj hali



Şekil 5-4. Robot kolun son hali

5.1 Robot Kolun Arayüz Tasarımı

Robot kol arayüz tasarımı Microsoft Visual Studio C# üzerinden yapıldı. EK-1 de hazırlanan programın kodları verilmiştir.



Şekil 5-5. Microsoft Visual Studio C# üzerinden arayüz tasarımı

BÖLÜM 6 : SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu proje çalışması; “tasarım”, “imalat-montaj” ve “kontrol” konularını içermektedir. 6 servo motor ve 1 tutucu pençeden oluşan robot kol mekanizması; Ardunio kart ile ve Microsoft Visual C# üzerinde arayüz uygulaması yapılarak kontrol edilmiştir. Tasarım solidworks ile ve mekanik analizler ise ansys programı kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak tasarlanan sistemin montajı yapılarak bir platform üzerinden 6 tane servo motor kontrol edilmiştir.

Bu çalışma ile elde edilen bilgiler ve mekanik sistem robotik sistemlerin anlaşılması, olası problemlerin gözlemlenmesi ve çözüm yollarının araştırılması, geliştirilmesi konularında tecrübe katmıştır.

Bu çalışmada yetişmemiş olmasına rağmen ileriki çalışmalarda bu robotun mobil kontrolü üzerine çalışmalar yapılması planlanmaktadır.

Bu proje çalışmasında, yukarıda izah edilen ters ve düz kinematik formülasyonlarının, hazırladığımız programa dahil edilmesi amaçlanmış idi. Ancak süreyi yetiştiremediğimden dolayı ters-düz kinematik formülasyonları programa dahil edilememiştir. İleriki çalışmalarda bu konunun programa eklenmesi planlanmaktadır.

KAYNAKÇA

- [1] N.Penbegul, M. Atar, M. Kendirci, Y. Bozkurt, N. K. Hatipoglu, A. Verit, A. Kadioglu, "Primitive robotic procedures: Automotions for medical liquids in 12th century Asia minor", (4-8 Sept. 2012) post. no:UP-473 , Istanbul, Turkey.
- [2] Moore, R., "Classical woollen and worsted cloth designs - No. 21: Dobby or Jacquard woven?", (2000), Vol. 159, pp. 56-57
- [3] C.P.Brock, "Maillardet Automaton", The Franklin Institute, (2007),<https://www.fi.edu/history-automaton>
- [4] Reeve, R.E., Webb, B.H. , "New neural circuits for robot phonotaxis", Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, (October 2003), Vol. 361, Issue 1811, pp. 2245-2266
- [5] M. A. K. Yusoff, R.E. Samin, B. S. K. Ibrahim, "Wireless Mobile Robotic Arm", International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors (2012), pp.1072-1078
- [6] F. Zhang, X. Wang, Y. Yang, Y.Fu and S. Wang, "A Human-machine Interface Software Based on Android System for Hand Rehabilitation Robot", State Key Laboratory of Robotics and System Harbin Institute of Technology, (August 2015), China , pp. 625-630
- [7] Kuo-Ho Su, Syuan-Jie Huang, Chan-Yun Yang, "Development of Robotic Grasping Gripper Based on Smart Fuzzy Controller", (2015), pp.595-608, Taiwan
- [8] Saraladevi. B, M.Tech, "video streaming in autonomous mobile robot using wi-fi", IEEE Sponsored 2nd International Conference on Innovations in Information Embedded and Communication Systems, (2015) pp.978-982
- [9] A. Kumar, A.Mishra,P.Makula, K. Karan and V. K. Mittal , "Smart Robotic Assistant", Indian Institute of Information Technology, (2015), India
- [10] A.Athif Mohd Faudzi, M.H. Kuzman Ali, M. Asyraf Azman, Zool H. Ismail, "Real-time Hand Gestures System for Mobile Robots Control", International Symposium on Robotics and Intelligent Sensors, (2012), pp. 798-804, Malaysia
- [11] K. Lee, Ziaul Huque, R. Kommalapati, Sang-Eul Han, "Evaluation of equivalent structural properties of NREL phase VI wind turbine blade", Renewable Energy, (Feb. 2016), Vol.86, pp. 796-818
- [12] Shahinpoor, M., Jamshidi, M. and Kim, Y. T. (1986), "Exact solution to the inverse kinematics problem of a standard 6-axis robot manipulator", Journal of Robotic Systems, Vol:3, pp. 259-280
- [13] Flanders, M. and Kavanagh, R. C. (2015), "Build-A-Robot: Using virtual reality to visualize the Denavit–Hartenberg parameters", Computer Applications in Engineering Education, Ireland, Vol.23 pp. 846–853
- [14] B.Koyuncu, and M. Güzel , "Software Development for the Kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm"World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, (2007) Vol:1, No:6
- [15] Driels, M. R. and Pathre, U. S. (1987), "Robot manipulator kinematic compensation using a generalized jacobian formulation", Journal of Robotic Systems, vol:4, pp.259-280
- [16] Muir, P. F. and Neuman, C. P. (1987), "Kinematic modeling of wheeled mobile robots.", Journal of Robotic Systems,(April 1987), Vol:4, pp.281-340

EKLER

Ek 1. Bağlatı kodları:

```
namespace ArduinoServer
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        SerialPort COMPort;
        bool connected = false;

        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void btnConnect_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                COMPort = new SerialPort("COM4", 9600);
                COMPort.ErrorReceived += new SerialErrorReceivedEventHandler(COMPort_ErrorReceived);
                COMPort.Open();
                connected = true;
                MessageBox.Show(COMPort.PortName.ToString() + " üzerinden Baglanti kuruldu");
            }
            catch (Exception)
            {
                MessageBox.Show("Baglanti kurulamadi...");
                return;
            }
        }
    }
}
```

Ek 2. Microsoft Visual C# Servo motor kontrolü ve scrollbar oluşturma kodları

```
private void SendData( int servo, int value)
{
    byte[] buffer = new byte[3];
    buffer[0] = 35;
    buffer[1] = Convert.ToByte(servo);
    buffer[2] = Convert.ToByte(value);
    COMPort.Write(buffer, 0, 3);
    switch (servo)
    {
        case 1:
            label3.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            hScrollBar1.Value = value;
            break;
        case 2:
            label4.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            vScrollBar1.Value = value;
            break;
        case 3:
            label5.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            vScrollBar2.Value = value;
            break;
        case 4:
            label6.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            vScrollBar3.Value = value;
            break;
        case 5:
            label7.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            vScrollBar4.Value = value;
            break;
        case 6:
            label8.Text = "Servo: " + servo + "; value: " + value;
            vScrollBar5.Value = value;
            break;
        default:
            break;
    }
}

private void hScrollBar1_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (connected == true)
    {
        SendData(1, hScrollBar1.Value);
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce bağlantı kurunuz");
    }
}

//private void vScrollBar1_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
//{
```

```

// if (connected == true)
// {
// SendData(2, vScrollBar1.Value);

// }
// else
// {
// MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
// }
//}

private void vScrollBar3_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
{

if (connected == true)
{
SendData(4, vScrollBar4.Value);
}
else
{
MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
}
}

private void button1_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (connected == true)
{
SendData(8, 95); // burda 95 önemsiz
}
else
{
MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
}
}

private void button2_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (connected == true)
{
SendData(9, 95); // burda 95 önemsiz
}
else
{
MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
}
}

private void button3_Click(object sender, EventArgs e)
{
if (connected == true)
{
SendData(10, 95); // burda 95 önemsiz
}
}

```

```

else
{
    MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
}
}

private void vScrollBar2_ValueChanged_1(object sender, EventArgs e)
{

    if (connected == true)
    {
        SendData(3, vScrollBar2.Value);
        //label5.Text = "Servo: " + 3 + "; value: " + vScrollBar2.Value.ToString();

    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
    }
}

private void vScrollBar4_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
{

    if (connected == true)
    {
        SendData(5, vScrollBar4.Value);
        //label7.Text = "Servo: " + 5 + "; value: " + vScrollBar4.Value.ToString();
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
    }
}

private void vScrollBar3_ValueChanged_1(object sender, EventArgs e)
{

    if (connected == true)
    {
        SendData(4, vScrollBar3.Value);
        //label6.Text = "Servo: " + 4 + "; value: " + vScrollBar3.Value.ToString();

    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce baglanti kurunuz");
    }
}

private void vScrollBar5_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
{
    if (connected == true)
    {
        SendData(6, vScrollBar5.Value);
        //label8.Text = "Servo: " + 6 + "; value: " + vScrollBar5.Value.ToString();
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce bağlantı kurunuz");
    }
}

private void vScrollBar1_ValueChanged_1(object sender, EventArgs e)
{

    if (connected == true)
    {
        SendData(2, vScrollBar1.Value);

    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce bağlantı kurunuz");
    }
}

private void button4_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (connected == true)
    {
        SendData(7, 95);

    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Önce bağlantı kurunuz");
    }
}

private void vScrollBar3_Scroll(object sender, ScrollEventArgs e)
{

}

private void hScrollBar1_Scroll(object sender, ScrollEventArgs e)
{

}

private void vScrollBar5_Scroll(object sender, ScrollEventArgs e)
{

}

}
}

```

Ek 3. Ardunio r3 üzerine gönderilen servo konum kodları:

```
#include <VarSpeedServo.h>

// Create a Servo object for each servo
VarSpeedServo servo1;
VarSpeedServo servo2;
VarSpeedServo servo3;
VarSpeedServo servo4;
VarSpeedServo servo5;
VarSpeedServo servo6;

// Common servo setup values
int minPulse = 600; // minimum servo position, us (microseconds)
int maxPulse = 2400; // maximum servo position, us

// User input for servo and position
int userInput[3]; // raw input from serial buffer, 3 bytes
int startbyte; // start byte, begin reading input
int servo; // which servo to pulse?
int pos; // servo angle 0-180
int i; // iterator

void setup()
{
    // Attach each Servo object to a digital pin
    //servo1.attach(2, minPulse, maxPulse);
    //servo2.attach(3, minPulse, maxPulse);
    //servo3.attach(4, minPulse, maxPulse);
    //servo4.attach(5, minPulse, maxPulse);

    servo1.attach(2);
    servo2.attach(3);
    servo3.attach(4);
    servo4.attach(5);
    servo5.attach(6);
    servo6.attach(7);

    //Baslangicda robot kolunun alacagi pozisyon.
    servo1.write(105,20,true);
    servo2.write(86,20,true);
    servo6.write(10,255,true);
    servo4.write(60,20,true);
    servo3.write(164,20,true);
    servo5.write(84,20,true);
    servo6.write(10,255,true);

    // Open the serial connection, 9600 baud
    Serial.begin(9600);
}

void loop()
{
    Serial.flush();
    // Wait for serial input (min 3 bytes in buffer)
    if (Serial.available() > 2) {
        // Read the first byte
```

```

startbyte = Serial.read();
// If it's really the startbyte (ASCII 35 -> #)
if (startbyte == 35) {
// ... then get the next two bytes
for (i=0;i<2;i++) {
userInput[i] = Serial.read();
}
// First byte = servo to move?
servo = userInput[0];
// Second byte = which position?
pos = userInput[1];

// Packet error checking and recovery
if (pos == 255) { servo = 255; }

// Assign new position to appropriate servo
switch (servo) {
case 1:
servo1.write(pos); // move servo1 to 'pos'
break;
case 2:
servo2.write(pos);
break;
case 3:
servo3.write(pos);
break;
case 4:
servo4.write(pos);
break;
case 5:
servo5.write(pos);
break;
case 6:
servo6.write(pos);
break;
case 7: //Objeyi al getir funkstionu icin
test();
break;
case 8: //Standart Pozition al funksiyonu
standart();
break;
case 9: //Dikdur Pozition al funksiyonu
dikdur();
break;
case 10: //L Pozition al funksiyonu
lkonum();
break;
}
}

void lkunum()
{
servo1.write(105,20,true);
servo2.write(112,20,true);
servo6.write(10,255,true);
servo4.write(50,20,true);
}

```

```

servo3.write(77,20,true);
servo5.write(90,20,true);
servo6.write(10,255,true);
}
void dikdur()
{
servo1.write(105,20,true);
servo2.write(86,20,true);
servo6.write(10,255,true);
servo4.write(60,20,true);
servo3.write(164,20,true);
servo5.write(84,20,true);
servo6.write(10,255,true);
}
void standart()
{
servo1.write(105,20,true);
servo2.write(83,20,true);
servo6.write(10,255,true);
servo4.write(44,20,true);
servo3.write(107,20,true);
servo5.write(90,20,true);
servo6.write(10,255,true);
}
void test()
{

```

//Burada 10 servonun çok yavaş dönmesini sağlar, hızlı dönmesini istersek bu rakami arttırmalıyız(0-255) arasında bir sayı olmalı

```

servo2.write(86,20,true);
servo5.write(84,255,true);
servo1.write(95,20,true);
servo4.write(54,20,true);
servo3.write(167,20,true);
servo6.write(10);
servo5.write(84);
//delay(1000);

```

```

servo1.write(161,20,true);
servo2.write(170,20,true);
servo6.write(50,20,true);
servo4.write(120,20,true);
servo3.write(122,20,true);
servo5.write(84,20,true);
servo6.write(10,255,true);
//delay(2000);

```

```

servo5.write(84,20,true);
servo2.write(86,20,true);
servo1.write(61,20,true);
servo4.write(54,20,true);
servo6.write(45,20,true);
servo3.write(167,20,true);
//delay(1500);
}

```

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı ve Soyadı: Abdullah Günal

Baba Adı : Mehmet

Anne Adı : Naile

Doğum Tarihi : 1992

Doğum Yeri : Hizan



İlk ve orta öğrenimini Gaziantep’de tamamladıktan sonra 2012 yılında Niğde Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2016 yılında lisans öğrenimine devam etmektedir.

Haberleşme Bilgileri

E-posta 1: abdullahgunal@hotmail.com

E-posta 2: abdullahgunal@yahoo.com.tr

