T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

3 EKSENLİ SERİ MANİPÜLATÖR TASARIM VE ÜRETİMİ

Bilal HARTAVİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

ŞANLIURFA
2023

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ v
1. GİRİŞ 1
1.1. Robotik Manipülatör Nedir? 2
1.2. Robotik Manipülatörün Çeşitleri 2
1.2.1. Kartezyen manipülatör 2
1.2.2. Silindirik manipülatör 3
1.2.3. Küresel manipülatör 3
1.2.4. Mafsallı manipülatör 4
1.2.5. Scara manipülatör 5
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 6
3. MATERYAL ve YÖNTEM 8
3.1 Mekanik Tasarım 8
3.2. Elektronik Donanım 19
3.2.1. Mach3 kartı 19
3.2.2. Step motor 20
3.2.3. Step motor sürücü 23
3.2.4. Güç kaynağı 26
3.2.5. Elektriksel bağlantılar 27
3.3. Robot Kinematiği 28
3.3.1. İleri kinematik – Denativ-Hartenberg 29
3.3.2. İleri kinematik – geometrik yaklaşım 33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 36
4.1. Statik Optimizasyon 36
4.2. Kinematik Analiz 42
4.3. Çalışma Alanı 45
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 46
KAYNAKLAR 47
ÖZGEÇMİŞ 48

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

3 EKSENLİ SERİ MANİPÜLATÖRÜN TASARIM VE ÜRETİMİ

Bilal HARTAVİ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ
YIL: 2023, Sayfa: 48

Bu çalışmada, üç eksenli seri bir robot manipülatörün optimum tasarımı, üretimi ve kinematik analizi yapılmıştır. Robot manipülatör için ön tasarım yapılarak kullanılacak motor gereksinimlerini belirlemek üzere statik analiz ve hareket analizi neticesinde tork grafikleri elde edilip yorumlanarak optimum tasarım modeli belirlenmiştir. Analiz sonuçları dikkate alınarak 3 farklı tasarım modeli üzerinde çalışılmıştır. Robot manipülatör modeli üzerinde gerçekleştirilen statik ve hareket analizlerinde, gerilme dağılımları, maksimum von mises gerilme bölgeleri, emniyet katsayıları ve motor mafsal noktalarındaki maksimum tork grafikleri incelenerek optimizasyon yapılması gereken kısımlar belirlenmiştir. Üç eksenli seri bir robot manipülatörde 2. ve 3. eksenlerde kullanılan kolların geometrileri değiştirilerek sistem hafifletilmiş ve maksimum motor tork eğrilerini aşmayan ve statik gereksinimleri karşılayan sonuçlar elde edilmiştir. Aynı zamanda, optimizasyon sonrası belirlenen modelin birebir üretimi yapılarak deneysel sistem imal edilmiştir. Deneysel sistemde bir adet 2.2 Nm, iki adet 11 Nm step motor ve CWD556 step motor sürücüleri kullanılmıştır. Hareket kontrolü için 5 Eksen LPT Kontrol Kartı 600 Mhz kullanılmıştır. Solidworks programında yapılan hareket girdileri deneysel sistem üzerinde de uygulanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: seri manipülatör, yapısal optimizasyon, kinematik analiz, tasarım, imalat

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN, PRODUCTION AND APPLICATION OF 3 AXIS ROBOT

Bilal HARTAVİ

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Doctor Lecturer Mehmet DİRİLMİŞ
Year: 2023, Page: 48

In this study, optimum design, production and kinematic analysis of a three-axis serial robot manipulator were made. The optimum design model was determined by obtaining and interpreting torque graphs as a result of static analysis and motion analysis in order to determine the motor requirements to be used by making a preliminary design for the robot manipulator. Considering the analysis results, 3 different design models were studied. In the static and motion analyzes performed on the robot manipulator model, stress distributions, maximum von mises stress zones, safety coefficients and maximum torque graphs at the motor joint points were examined and the parts that needed optimization were determined. By changing the geometries of the arms used in the 2nd and 3rd axes in a three-axis serial robot manipulator, the system is lightened and results that do not exceed the maximum motor torque curves and meet the static requirements are obtained. At the same time, the experimental system was produced by making the exact production of the model determined after the optimization. One 2.2 Nm, two 11 Nm stepper motors and CWD556 stepper motor module were used in the experimental system. 5 Axis LPT Control Card 600 Mhz is used for motion control.The motion inputs made in the Solidworks program were also applied on the experimental system.

KEYWORDS: serial manipulator, structural optimization, kinematic analysis, design, production

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezim için bana yardım eden, tecrübe ve birikimlerinden faydalandığım, kıymetli bilgilerini bana aktaran Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DİRİLMİŞ danışman hocama ve tüm çalışmam boyunca her zaman yanımda olup desteğini benden esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Kartezyen Manipülatör 2
Şekil 1.2. Silindirik Manipülatör 3
Şekil 1.3. Küresel Manipülatör 4
Şekil 1.4. Mafsallı Manipülatör 4
Şekil 1.5. Scara Manipülatör 5
Şekil 3.1 Kollar İçin Birinci Tasarım 9
Şekil 3.2. Kollar için İkinci Tasarım 9
Şekil 3.3. Çelik Yapılarda Yaygın Kullanılan Kafes Türleri 10
Şekil 3.4. Kollar İçin Üçüncü Tasarım 11
Şekil 3.5. Dxf Türünde Kayıt Yapma 11
Şekil 3.6. Dxf Çıktı Alma 12
Şekil 3.7. Robot İçin Tasarlanan Kol 13
Şekil 3.8. Bağlantı Parçasının Teknik Resmi 14
Şekil 3.9. Bağlantı Parçası'nın İşlenmiş Hali 15
Şekil 3.10. 1. Uzuv Teknik Resmi 16
Şekil 3.11. 1. Uzuv ve Z Eksen Step Motorun Montajlı Hali 17
Şekil 3.12. Döner Taban'ın 3 Görünüş Teknik Resmi 18
Şekil 3.13. 60mm x 60mm sac, Redüktörlü Motor ve Bağlantı Parçasının Montajı 19
Şekil 3.14. 5 Eksen LPT Eksen Kontrol Kartı 600 Mhz 20
Şekil 3.15. 2.2 Nm Step Motor 21
Şekil 3.16 Step Motorun Teknik Özellikleri 22
Şekil 3.17. 11 Nm Tork Redüktörlü Step Motor 22
Şekil 3.18. Redüktörlü Step Motorun Teknik Özellikleri 23
Şekil 3.19. CWD556 Model Step Motor Sürücüsü 24
Şekil 3.20. Güç Kaynağı 26
Şekil 3.21. Step Motor Sürücüsü ve Step Motor Bağlantısı 27
Şekil 3.22. Step Motor Sürücüsü CWD556'ın Mach3 LPT Kartına Bağlantısı 28
Şekil 3.23. Eksen Takımlarının Yerleştirilmesi 31
Şekil 3.24. Geometrik Yaklaşım ile İleri Kinematik Çözümü 33
Şekil 3.25. Robotun Sıfır Noktası ve Kol Uzunlukları 34
Şekil 3.26. Robotun 90 Derecedeki Pozisyonu 35
Şekil 4.1. Birinci Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri 36
Şekil 4.2. Birinci Tasarım için Tork Grafiği 37
Şekil 4.3. İkinci Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri 38
Şekil 4.4. İkinci Tasarım için Tork Grafiği 38
Şekil 4.5. Üçüncü Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri 39
Şekil 4.6. Üçüncü Tasarımın Tork Grafiği 40
Şekil 4.7. Üç Tasarımın Akma Gerilmesi Grafiği 40
Şekil 4.8. Üç Tasarımın Güvenlik Faktörü 41
Şekil 4.9. Üç Tasarımın Maksimum Tork Grafiği 41
Şekil 4.10. Üç Tasarımın Ağırlık Grafiği 42
Şekil 4.11. 90 Derece için Açısal Hız 43
Şekil 4.12. 90 Derece için Uç İşlevcisinin Yer Değiştirmesi 43
Şekil 4.13. 90 Derece İçin Uç İşlevcinin Hızı 44
Şekil 4.14. 90 Derece için Uç İşlevcinin İvmesi 44
Şekil 4.15. 3 Eksenli Seri Manipülatörün Çalışma Alanı 45

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. 5019 Kalite Alüminyum Alaşımının Özellikleri 8
Çizelge 3.2. Step Motorun Başlıca Özellikleri 21
Çizelge 3.3. Redüktörlü Step Motorun Başlıca Özellikleri 23
Çizelge 3.4. CWD556 Ait Elektriksel Özellikler 24
Çizelge 3.5. Akım Ayarlama 25
Çizelge 3.6. CWD556 Sürücüsü Mikro Adım Ayarlama Tablosu 25
Çizelge 3.7. D-H Tablosunun Oluşturulması 31

1. GİRİŞ

Mekatronik, makine, programlama ve elektrik-elektroniğin birleşimi olarak teknolojideki istek ve problemlere çözüm bulma, yapılması gerekenleri dikkate alan ve bunları bir bütün olarak algılayan yeni bir mühendislik dalı olarak tanımlanmaktadır. Bu mühendislik dalı ilgili bilimleri birlikte kullanarak gelişmektedir. Bu mühendislik dalından bahsedecek olursak kısaca robot teknolojisi diyebiliriz. 1900'lü yılların başlarında Henry Ford seri üretim kavramını ortaya atmıştır. Endüstriyel sanayide özellikle üretimde seri üretimin ve otomasyonun büyük bir önemi vardır. Böyle büyük bir öneme sahip olması, 1950'li yıllarda nümerik kontrolün (NC) takım tezgâhları ile yapılmasına yol açmıştır. Daha sonra ise elektronikteki ve bilgisayardaki gelişmelerden dolayı CNC yaygınlaşmıştır. 1970'lerde ise mekatroniğin gelişmesine en çok katkı sağlayan, bilgisayar ağlarının geliştirilmesi olmuştur. Son yıllarda otomasyon sistemlerindeki gelişmelere bakıldığında ise birinci sırada mekatronik akla gelmektedir. Ayrıca bu sistemlerin yönetilmesi ve kullanılması için uzman kişilere ihtiyaç artmaktadır (Gören ve Başer, 2000).

Son yüzyılda robot çalışmaları endüstriyel alanda çok değer kazanmıştır. Endüstride robot kullanımının artmasına sebep olan en büyük etken, robotlar ile yapılan işin kalitesi ve verimliliğinin mükemmel oluşudur. Bundan dolayı robot ve manipülatör kullanımının avantajları gerçekten kayda değerdir. Robot manipülatörlere sahip olan fabrikalar, rakiplerine fark atmaktadır. Robot ve manipülatör sistemlerinde elverişsiz olan boya, kaynak, punta, döküm vb. gibi işlemlerde kullanıldığından dolayı insanları zararlı işlerden kurtarmıştır (Efe Alp, 2012).

Endüstriyel bir robot yapısında en yüksek yüklemeye maruz kalan ikinci eksende optimizasyon çalışması yaparak kol üzerinde kütle azaltması ile yapıyı hafifletmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır (Buğday, 2018-2019). Seri robot manipülatörlerde kinetostatik performansı değerlendirmek için bir metodoloji ile optimum boyutlandırma üzerine çalışmalar yapılmıştır (Khan ve Angeles, 2006). Mikro-fiber yapılı tırmanan bir robot tasarımı ve optimizasyonu çalışmasında hafiflik, dayanıklılık ve enerji verimliliği gibi kriterleri göz önüne alınmıştır (Çalış, 2013). Uçak-uzay yapılarının statik aeroelastik kriter ile çok disiplinli tasarım optimizasyonu adlı çalışmalarında 3 boyutlu basit bir kanat modeli için daha fazla taşıma ve sürükleme kapasitesine varmak için aeroelastik iyileştirme çalışması yapılmıştır (Öncü ve ark., 2008).

1.1. Robotik Manipülatör Nedir?

Endüstriye özel robotlar birkaç görev yaparlar; bir şey almak, bir nesnenin yerini değiştirmek ve tam fonksiyonlu bir insan kolunun yaptığı manuel görevler gibi hareketler yapmaktır. Robotik kol olarak bilindiği gibi ayrıca robot manipülatör olarak ta bilinir. Bu manipülatörler aslında bio-tehlike olan, radyoaktif maddelerin bulunduğu veya erişilemez yerlerde kullanılır.

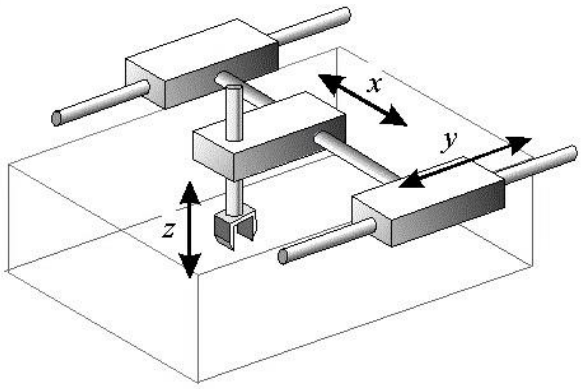
Her ticari robot, bir kontrolör ve manipülatör kolu içerir. Bir manipülatörün performansı hızına, kaldırabileceği yüke ve hassaslığına bağlıdır. Manipülatörün yapısına bağlı olarak genel çalışma alanı ve çalışma oryantasyonu hesaplanır.

Robotik manipülatörler yeni bir fikir değildir ve zaten yıllardır birçok üretim alanında kullanılıyorlar. Yapay zeka ilerledikçe, robotiklerin doğruluğunu ve işlevini arttırmak, bu tür manipülatörler tarafından daha geniş bir yelpazede görevlerin gerçekleştirilmesine izin verecek ve böylece son on yıldaki robotik manipülatörlerden daha fazla işlev ve iş gücü sağlanacaktır.

1.2. Robotik Manipülatörün Çeşitleri

1.2.1. Kartezyen manipülatör

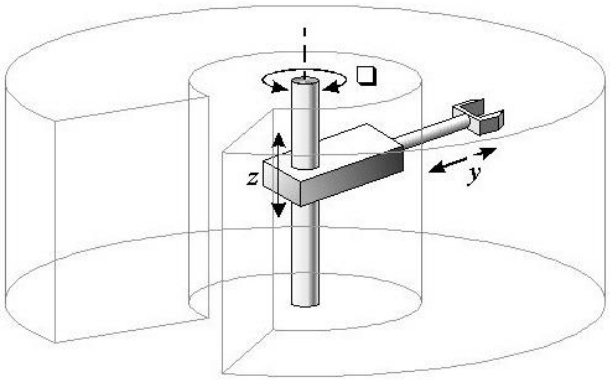
Kartezyen manipülatörde robotun düzlemsel olarak hareket eden uzuvları vardır. Yani x, y, z eksenlerinde birbirine dik olarak hareket eder. Mekanik olarak diğer manipülatörlere göre daha uzun ömürlü olmasına rağmen hareket kabiliyeti bakımından dezavantajlıdır. Yapıları basit olduğundan dolayı kolların hareketi zor değildir. Uç işlevcinin yer değişim hesabı daha kolaydır. Kartezyen manipülatör büyük hacimde ve ağırlıktaki nesneleri hareket ettirmek, taşımak için uygun bir seçim olur (Çakmak, 2013).



Şekil 1.1. Kartezyen Manipülatör (Çakmak, 2013)

1.2.2. Silindirik manipülatör

Silindirik manipülatör döner olarak hareket eden robottur. Kollarından biri z yönünde, diğeri dönel doğrultuda hareket eder. Bir nokta etrafında dönen ve kolları taşıyan sabit bir zemine monte edilen robotlardır. Bu manipülatörler mekanik olarak iyidir fakat manipülatör y ekseninde hareket ettiğinden dolayı bilek ve konumdaki doğruluk oranı düşüktür. Kartezyen manipülatördeki gibi silindirik manipülatörlerde büyük hacimli nesnelerin hareket ettirilmesinde kullanılırlar. Silindirik manipülatörlerde hidrolik motorların kullanılması daha uygundur. Yapılacak olan iş ve hedefin aynı doğrultuda olmadığı montaj işlerinde daha çok bu tip robotlar kullanılır. Silindirik manipülatörlerin dönme yetenekleri çok iyi olduğu için düzlemsel olmayan yerlerde kartezyen robotlara göre daha seridirler. (Çakmak, 2013).

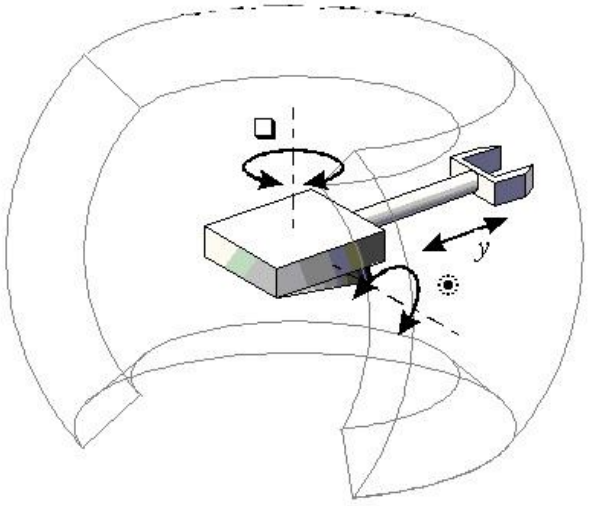


Şekil 1.2. Silindirik Manipülatör (Çakmak, 2013)

1.2.3. Küresel manipülatör

Küresel manipülatör iki adet döner ve bir adet kayar eklemden oluşmaktadır. Küresel manipülatörler mekanik sağlamlık açısından silindirik ve kartezyen manipülatöre göre daha zayıf, fakat mekanik yapı olarak diğer manipülatörlerden daha zordur.

Makine montajlarında kullanılan küresel manipülatörlerde daha çok elektrik motorları tercih edilir. Kollardan biri doğrusal olarak hareket edebilecek, diğer bir uzuvda gövdeye dik olarak döner bir hareket oluşturacak, diğeri de zemine paralel bir eksen etrafında dönmektedir. Dikey hareket eden kolun açısal hareketi tutucunun yukarı ve aşağı çıkabileceği kadardır. İletmede, test ve kontrolde çoğunlukla küresel manipülatörler kullanılmaktadır (Çakmak, 2013).



Şekil 1.3. Küresel Manipülatör (Çakmak, 2013)

1.2.4. Mafsallı manipülatör

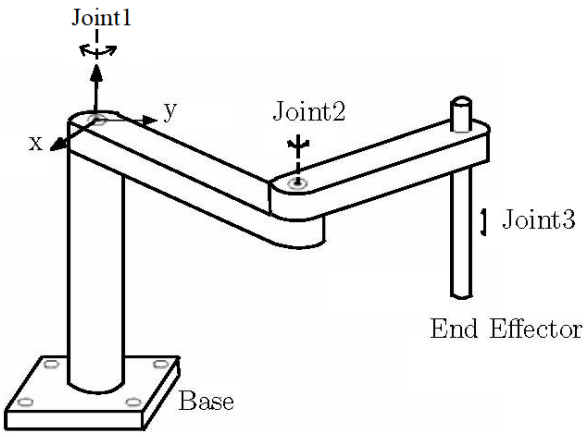
İnsanların kollarından esinlenerek yapılan bu manipülatörler bütün mafsalları döner olduğundan en geniş yeteneğe sahip robotlardır. Boyama, taşıma, kaynak yapma, vb. gibi çok farklı yerlerde geniş kullanım yelpazesine sahiptirler. Mafsallı manipülatörlerde de elektrik motorları tercih edilir. Kontrolü zor olduğundan dolayı mafsallı manipülatörlerin kullanımı uzun yıllar almıştır. En fazla açıda hareket imkanı sağlayan mafsallı manipülatörler yetenek olarak en çok tutulan robotlardandır (Çakmak, 2013).



Şekil 1.4. Mafsallı Manipülatör (Çakmak, 2013)

1.2.5. Scara manipülatör

Scara Manipülatörler döner eksenli manipülatörlerin özel bir çeşidi olarak kabul edilir. Scara robotlarda bileği (arm) hareket etmek için iki adet döner mafsala sahiptir. Birinci döner eklem z ekseni olarak da varsayacağımız ana koordinat çevresinde kolu ileri-geri döndürür. İkinci döner eklem kolun z koordinatı çevresinde ileri geri dönmesini sağlar. Bu şekilde iki döner mafsal x ve y düzlemlerdeki hareketi kontrol eder. Üçüncü eklem hareketin dikey eksenine göre bileği yukarı-aşağı hareket ettirir. Scara manipülatörler, genel olarak mekanik montajında, herhangi bir parçayı test etmede, ürün taşımada, makinelerin yüklenmesi ve boşaltılmasında kullanılmaktadır. Çok fazla yük taşıma özelliği olmamasına rağmen çok hızlı ve seri bir şekilde çalıştığından dolayı daha çok montajlama işlemi için kullanılan robot manipülatör tipidir. (Çakmak, 2013)



Şekil 1.5. Scara Manipülatör (Çakmak, 2013)

Bugüne kadar farklı amaçlar için birçok robotlar geliştirilmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte robotların hareket ve yörünge kontrolü “artificial intelligence” yani yapay zeka ile sağlanmaya başlanmıştır. Tabi son yıllarda robotların kontrolü bilgisayar ve elektronik kartlar ile sağlanıyor. Bu konular ile alakalı birçok çalışmalar mevcuttur. Literatür araştırması yaptığımızda aşağıdaki çalışmaları görebiliriz.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çakar (2020) Afyon Kocatepe Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında 3B yazıcı aracılığıyla yaptığı 5 eksenli manipülatörün kontrolünü Atmel firmasının tasarladığı Atmega328P mikro denetleyici ile yapmıştır. Ve bunu C dili yazılımını kullanarak yapmıştır. Dönme momenti için durağan torku 4.8 voltta 9.4 Kg/cm olan servo motorlar kullanılmıştır. Bu yapılan çalışmada taşıma robotu amaçlanmıştır. Manipülatörlerin ileri kinematiği ve ters kinematiği DH (Denavit-Hartenberg) yöntem ve formülleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Alp (2012) Dokuz Eylül Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında üç eksenli ve bir tutucuya sahip bir robot kolu üzerinde çalışmıştır. Bu robot çalışmasında kontrol için PIC ailesinden mikroişlemci kullanmıştır. Robot manipülatörün tasarımı için SolidWorks programı kullanılmıştır. Tutucu için ise iki dişliden oluşan bir mekanizma kullanılarak RC servo motor tarafından hareketi sağlanmıştır.

Şahin (2006) Selçuk Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında üç serbestlik derecesine sahip olan Scara tipi robot manipülatörünün PID ile uç elemanı kontrol edilmiştir. Robotun sistemi MatLab-Simulink yazılımı yardımıyla modellenmiş dört tane farklı yol alma fonksiyonu giriş olarak kabul edilmiştir. Kartezyen koordinatlar için yörünge ayarlanması yapılmıştır.

Özer (2018) Marmara Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında Endüstriyel üretimde sıkça kullanılan 4 eksenli SCARA robot kolun çalışması yapılmıştır. Bu robot kolunun tasarımı ve statik analizleri SolidWorks programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada robot kol, erişim mesafesi ihtiyacına göre modüler bir şekilde tasarlanmış ve Sonlu Elemanlar Metoduyla erişimi arttırıldığı zaman kolda ve bağlantılarda oluşan gerilimlerin de analizleri yapılmıştır.

Demirci (2012) Dokuz Eylül Üniversitesinde yaptığı yüksek lisans tez çalışmasında SCARA tipi manipülatör yapılmıştır ve statik ve frekans analizleri SolidWorks ekinde bulunan simülasyon yazılımı ile yapılmıştır. Bütün parçaların birbirlerine uygun olarak çalışabilmesi için analiz edilip tasarlanmıştır.

Shevkar (2019) yaptığı çalışmada üç serbestlik derecesine sahip PRR türünde bir SCARA robotun tasarımını ve geliştirilmesini yapmıştır. Robotta kullanılan step motorların atalet hesaplarını yapmak için Inventor programı kullanılmıştır. Kinematik hesapları MatLab aracılığıyla yapılmıştır. Kontrolü Arduino Uno ile sağlanmıştır. MatLab GUI ile geliştirilmiş olan arayüz sayesinde ise robotun kontrolü oldukça kolaylaştırılmıştır.

Cao (2015) Shanghai Jiao Tong University'de yaptığı çalışmada beş serbestlik derecesine sahip SCARA türündeki bir kaynak robotunun analizini ve tasarımını yapmıştır. Bu çalışmada iki serbestlik

derecesine sahip olan bir uç işlevci geleneksel bir SCARA ile birleştirilmiştir. Bu yöntem ile robot uzuvlarının arasındaki uyumluluğunu ve kararlılığını mükemmel bir hale getirmiştir. Robot kontrolü için manipülatör yapısının ileri ve ters kinematik analizleri yapılmıştır.

Kato (1990) yaptığı bir endüstriyel robot, bir taban, bir tutucu ve birbirlerine bağlı şekilde olan iki yatay koldan oluşmaktadır. Ayrıca 1.yatay kol ile taban arasında bulunan kaldırma şaftından meydana gelmektedir. Taban üzerindeki 2. gövde, çıkış gücünü yatay kollara ve yatay kollardaki hareket iletme mekanizması ise tutuculara iletebilmektir. Buradaki hedef bu robotun daha hızlı bir şekilde çalışabilmesi ve kabloların da zorlanmamasıdır. Buradaki asıl mantık hareket motorlarının gövde üzerine monte edilip dişli veya kayış kasnak gibi sistemler kullanılarak hareket kollara iletilmelidir. Bu çalışmada yatay kollara monte edilen herhangi bir hareket ünitesi yoktur. Bu şekilde hareket ünitelerinin ağırlığından kurtulmuş oluruz. Bir başka avantajı ise kabloların kollar ile ilişkisi bulunmadığından titreşimde önlemiş olur.

Endüstriyel sanayi sektöründe üretilen araçların mümkün olduğunca hafif olması ve üretilecek parçaların güvenlik testlerinden başarıyla geçmesi gerekmektedir. Araçların daha hafif olması için üretilecek parçaların her birinin daha hafif olması gerekir. Bu hafifletilmiş parçalar için daha az malzeme kullanılacağından üreticiler için daha az maliyet ortaya çıkarır. Bu hafifliği elde etmek için yapısal optimizasyon yöntemlerine ihtiyaç vardır. Mevcut tasarımın boyutları, yapısal optimizasyon için en iyi hale getirilir ve nerelerden malzeme azaltılabileceğini bulmak için optimizasyon yapılır (Keten, 2020).

Yapılan çalışmada kaynak robotu yapılması ve bu robotun maliyetinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu çalışmada robot kollarının olabildiğince hafifletilmesi buna karşın mukavemetinin de sağlanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada alüminyum sigma profiller kullanılmış olup statik olarak optimizasyonu incelenmiştir (Khosravi, 2021).

Endüstriyel bir robot üzerinde ANSYS paket programı kullanarak statik ve dinamik analizler yaparak optimizasyon yapılacak bölgeleri belirleyip kütle azaltma işlemlerini uygulamışlardır ve motor yüklerini azaltmışlardır (Pupaza ve ark., 2014).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Mekanik Tasarım

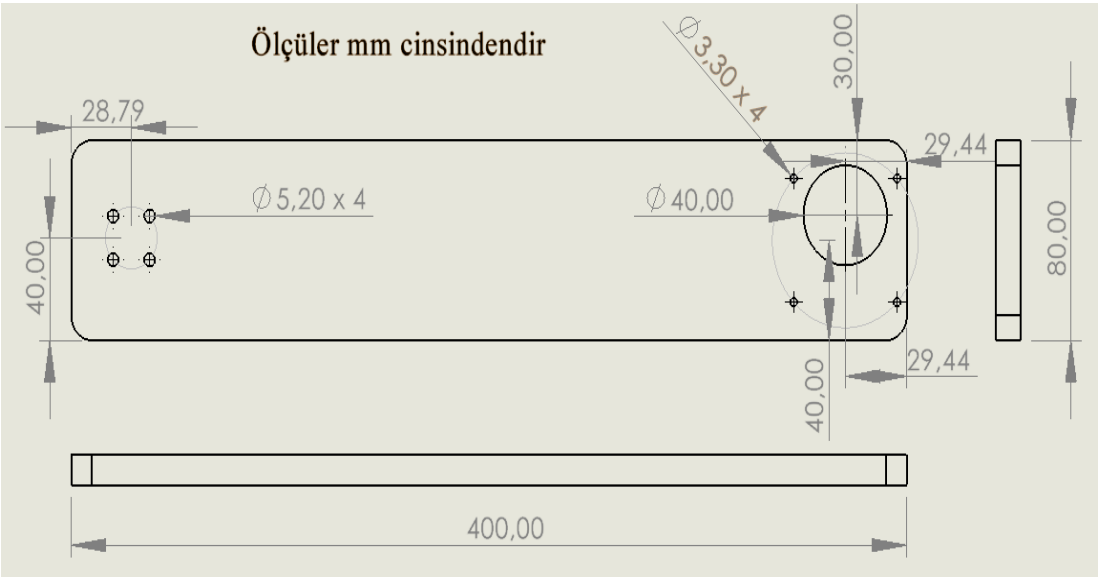
Robot kolunun belirlenebilmesi için öncelikle malzeme seçimi yapıldı. Bu malzemenin ağır olmaması için ve ayrıca dayanıklı olabilmesi için piyasa da mevcut olan 5019 kalite alüminyum alaşımı seçildi. Motor redüktörünün flanşına göre uyumlu olabilmesi için ve hareket kabiliyeti için 12 mm kalınlığında, 80 mm genişliğinde ve 400 mm uzunluğunda alüminyum lama kullanıldı.

Genel olarak, Alüminyum alaşımı ile çeliklerde mümkün olandan daha sert ve daha hafif tasarımlar elde edilebilir. Alüminyum alaşımlarının önemli bir yapısal sınırlaması, çeliğe kıyasla daha düşük yorulma mukavemetidir. 5019 alüminyum alaşımı %94,7 alüminyum, %5,0 Mg ve %0,25 Mn içerir. Bu 5019 kalite alüminyum alaşımının özellikleri Çizelge 3.1. gibidir.

Çizelge 3.1. 5019 Kalite Alüminyum Alaşımının Özellikleri

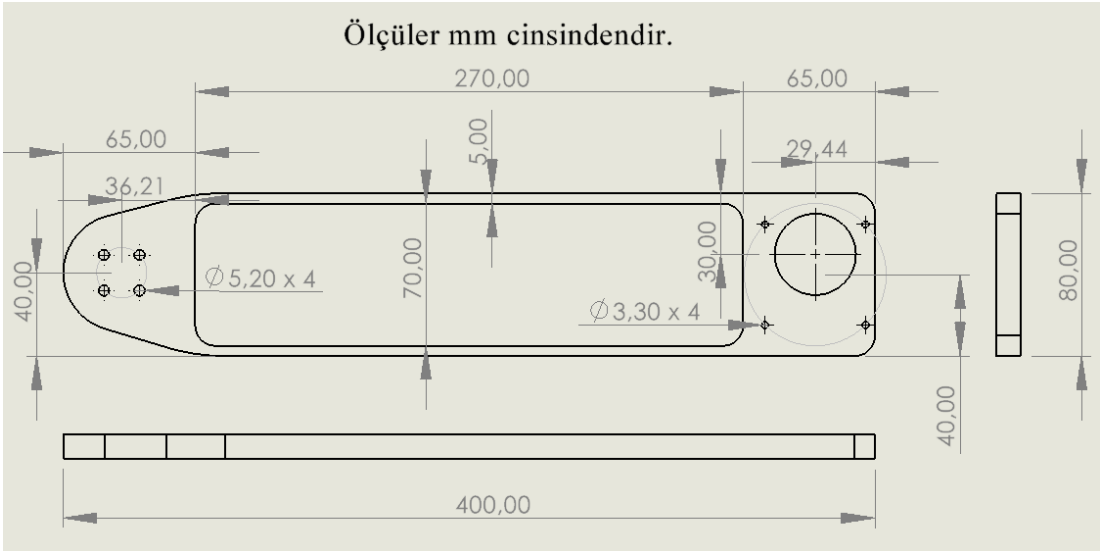
Özellik	Değer	Birim
E (Elastisite Modülü)	7000	$N\ mm^{-2}$
Poisson Oranı	0.3897	-
Yırtılma Modülü	27000	$N\ mm^{-2}$
Kütle Yoğunluğu	2700	$Kg\ m^{-3}$
Gerilme Mukavemeti	250	$N\ mm^{-2}$
Akma Mukavemeti	110	$N\ mm^{-2}$
Termal Genişleme Katsayısı	2.4 e-05	K
Termal İletkenlik	204	$W\ (m\ K)^{-1}$
Özgül Isı	940	$J\ (kg\ K)^{-1}$

Robot kolun yüksek mukavemetli, hafif ve motor torklarına uygun olması optimum tasarım için önemlidir. Robot kolların üretim aşamasına geçilmeden önce ön tasarımlarının yapılması ve uygunluğunun analizlerle tespit edilmesi gerekmektedir. Uygun olmayan, gereğinden daha ağır seçilen ve motor tork sınırlarını zorlayan tasarımlar optimizasyon ile düzeltilmelidir. Ön tasarım (birinci tasarım) üzerinde analizler yapılarak optimizasyona yönelik ikinci tasarım ve üçüncü tasarım geliştirilerek analizleri yapılmıştır. Şekil 3.1'de görülen birinci tasarımda, kol üzerinde sadece motor ve flanş bağlantı yerleri belirlenip uygun yerler delinmiştir. Kollar için yapılan birinci tasarımın kol ağırlığı 989.44 gram olarak bulunmuştur.



Şekil 3.1 Kollar İçin Birinci Tasarım

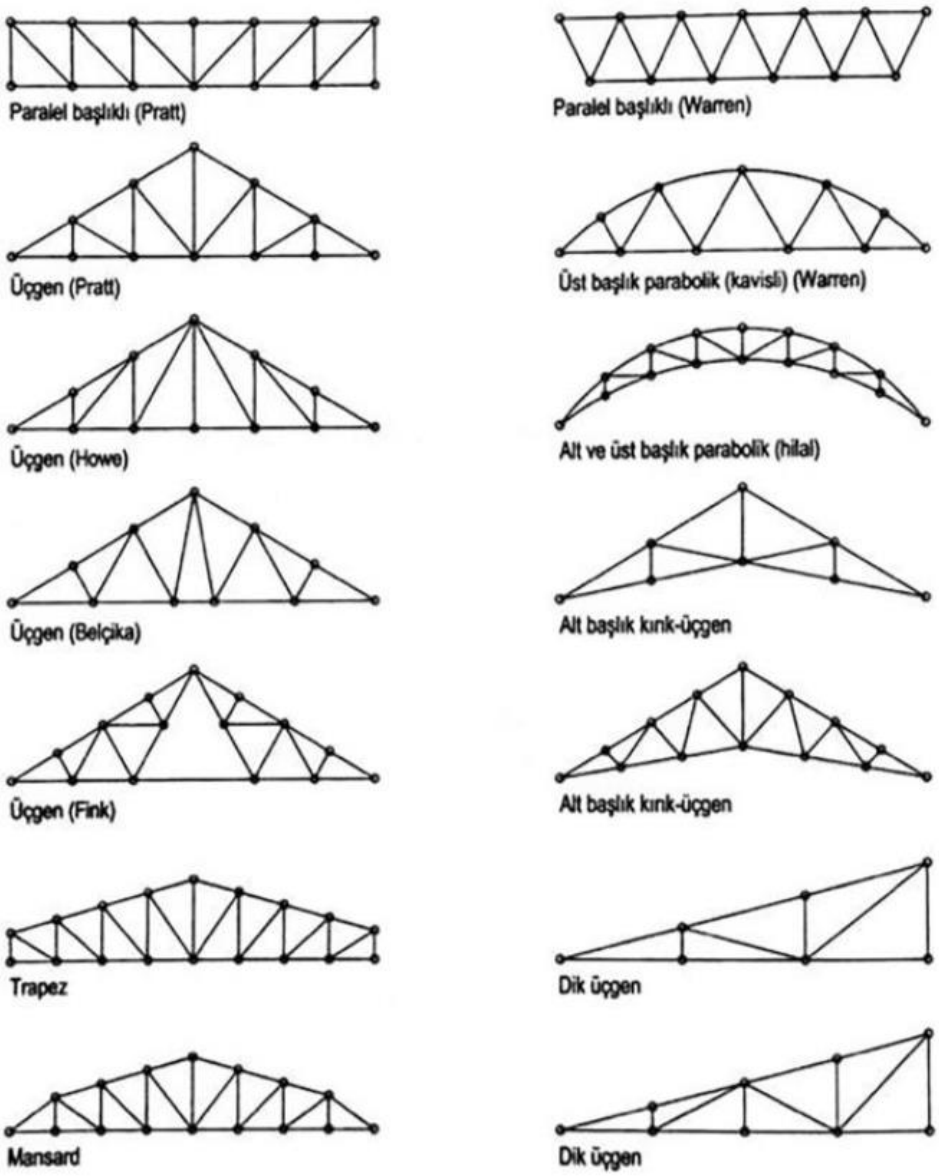
Metot olarak modellerin kütle değerleri, von Mises gerilme değerleri ve hareket analizi tork grafikleri değerlendirilip yeni model tasarımı yapılmıştır. Birinci tasarımın mukavemetini olabildiğince düşürmeden kütlesini düşürmek için ikinci tasarımda flanş yerlerine ek olarak orta alandaki fazlalıklar ve flanşın çevresini kurtaracak şekilde düzeltmeler yapılarak Şekil 3.2.'de görülen ikinci kol tasarımı yapılmıştır. Kollar için yapılan ikinci tasarımda kol ağırlığı 337.06 gram olarak bulunarak yaklaşık yüzde 60 oranında kol ağırlığının hafifletildiği görülmüştür.



Şekil 3.2. Kollar için İkinci Tasarım

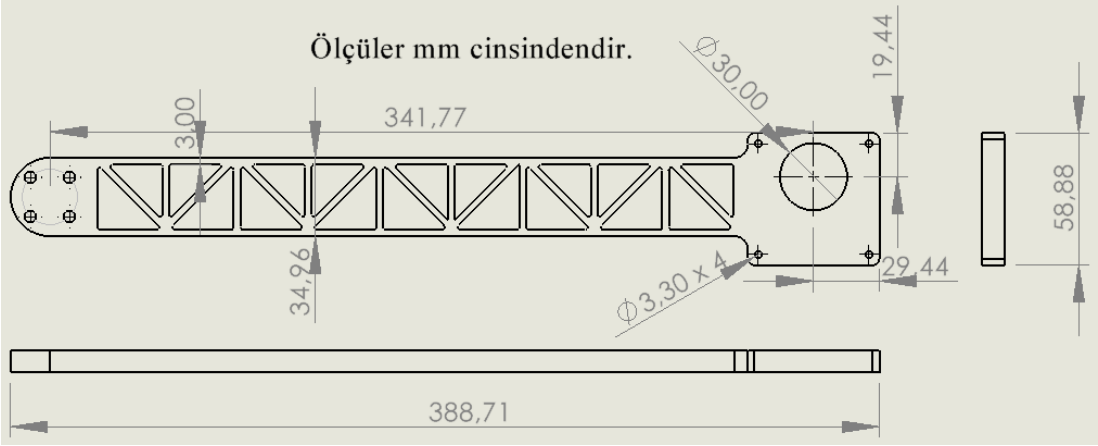
Üçüncü tasarımda, Bulgular ve Tartışma bölümünde mevcut olan ikinci tasarımın statik analiz sonuçları incelenerek kenarlarda gerilmelerin fazla olduğu ve yapıyı ağırlaştırmadan geometrinin

değiştirilmesi gerektiği görüldü. Bu araştırmalar neticesinde Şekil 3.3.'te görülen özellikle çelik yapılarda yaygın olarak kullanılan kafes kiriş türleri incelenmiştir. Kafes kirişler, farklı yapıdaki tasarımlar için çok güçlü, denenmiş ve maliyet bakımından uygun bir seçenek olarak kabul görmüştür.



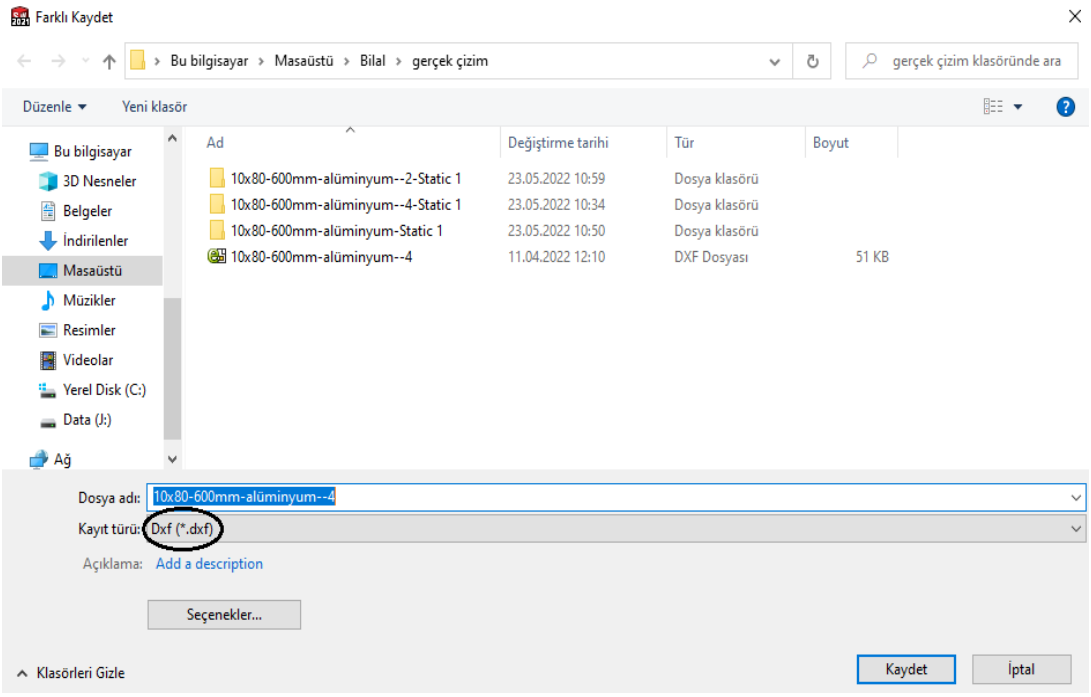
Şekil 3.3. Çelik Yapılarda Yaygın Kullanılan Kafes Türleri (Erten, 2012)

Şekil 3.3.'te görülen kafes türlerinden yararlanarak robot kolu için Paralel Başlıklı (Warren) tipi yapı geliştirilip robot kola uyarlanarak üçüncü tasarımı Şekil 3.4.'te görüldüğü gibi tasarlanmıştır. Kollar için yapılan üçüncü tasarımda kol ağırlığı 278.44 gram bulunarak birinci ve ikinci tasarımdan daha hafif bir kol yapısı elde edildiği görülmüştür.



Şekil 3.4. Kollar İçin Üçüncü Tasarım

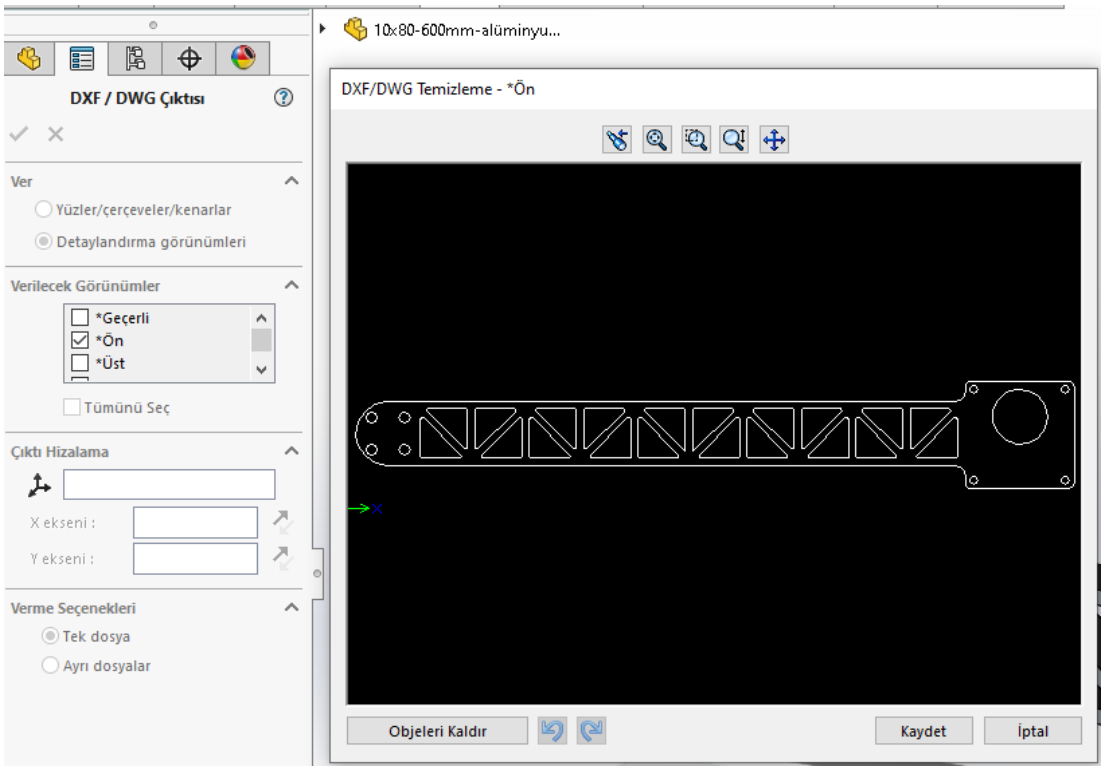
Üçüncü tasarımımızın mukavemet ve kütle değerlerinden iyi sonuç alındığından dolayı daha hassas bir şekilde üretiminin yapılması için lazer kesim ile işlenmesine karar verildi. Lazer kesim makinalarına uygun formatta çizim gönderebilmek için SolidWorks programından Dosya sekmesinden Farklı Kaydet tıklanır, açılan pencereden Kayıt Türü "Dxf (*.dxf)" seçilir ve Kaydet butonuna tıklanır.



Şekil 3.5. Dxf Türünde Kayıt Yapma

Daha sonra bir pencere açılır ve burada hangi yüzeye dik olarak lazer kesim yapılacak ise o yüzey seçilir, bu çizimde "Ön" yüzey seçildi ve onaylandı. Şekil 3.6.'daki gibi siyah arka plan üzerine beyaz olarak çizilmiş bir çizim ekrana gelir. Bu çizim lazer kesimin yapılacağı çizimdir.

Dxf çıktısı için dikkat edilmesi gereken hususlardan bir tanesi, bu çizimin değiştirilmemesi, bu çizimin açıp düzenlenmemesi veya ölçülendirilmemesidir aksi takdirde gerçek ölçüler değişip yanlış bir çizim ile yanlış bir tasarıma neden olur.



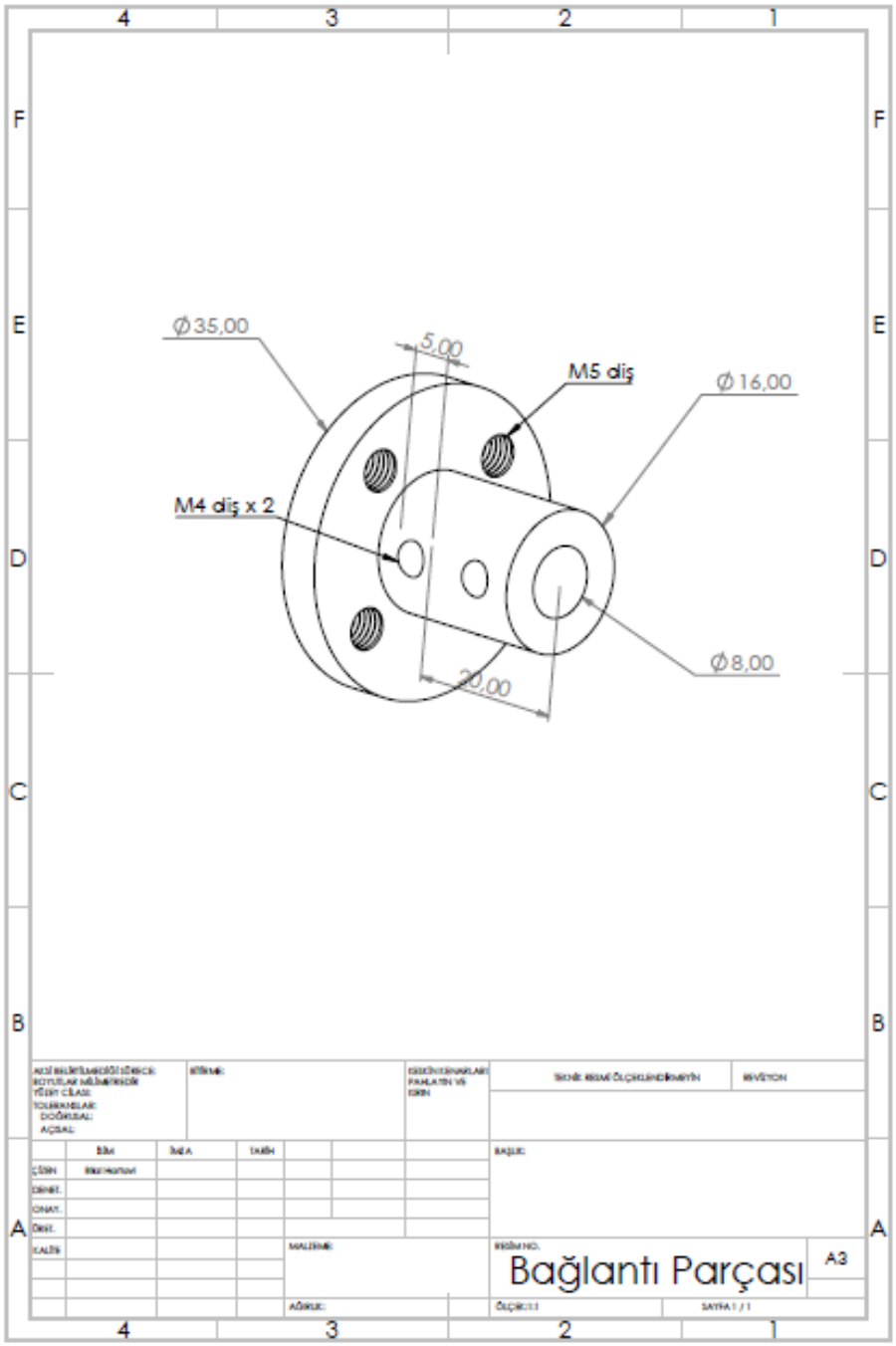
Şekil 3.6. Dxf Çıktı Alma

Lazer kesime verilen Dxf çıktısı sonucunda Şekil 3.7.'de görüldüğü üzere robot için kol hazır duruma gelmiştir.



Şekil 3.7. Robot İçin Tasarlanan Kol

Kol ile step motorların birbirlerine montajını sağlamak için ayrıca bir parça gereklidir. Bu parça "Bağlantı Parçası" olarak adlandırıldı. Bağlantı Parçası'nın yapılması için ilk önce Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi SolidWorks programında tasarımı yapıldı. Ve bu tasarım teknik çizime aktarıldı.



Şekil 3.8. Bağlantı Parçasının Teknik Resmi

Şekil 3.8.'de Teknik resimde de görüldüğü gibi bu parçada M5 ve M4 dişlerin açılması gerekmektedir. Fakat bu dişler ince olduklarından malzeme seçimi için dikkat edilmelidir. Çünkü burada alüminyum gibi yumuşak bir malzeme seçilmesi durumunda, vida dişleri sıyıracaktır. Bu nedenle malzemeyi demir olarak seçiyoruz.

Bağlantı parçası döner bir pozisyonda kullanılacağından tek parçadan imal edildi ve tornalanarak istenilen ölçüler sağlandı. Daha sonra kılavuz yardımıyla dikkatli bir şekilde dişler çekildi. Şekil 3.9.'da Bağlantı Parçası'nın işlenmiş hali gösterilmiştir.



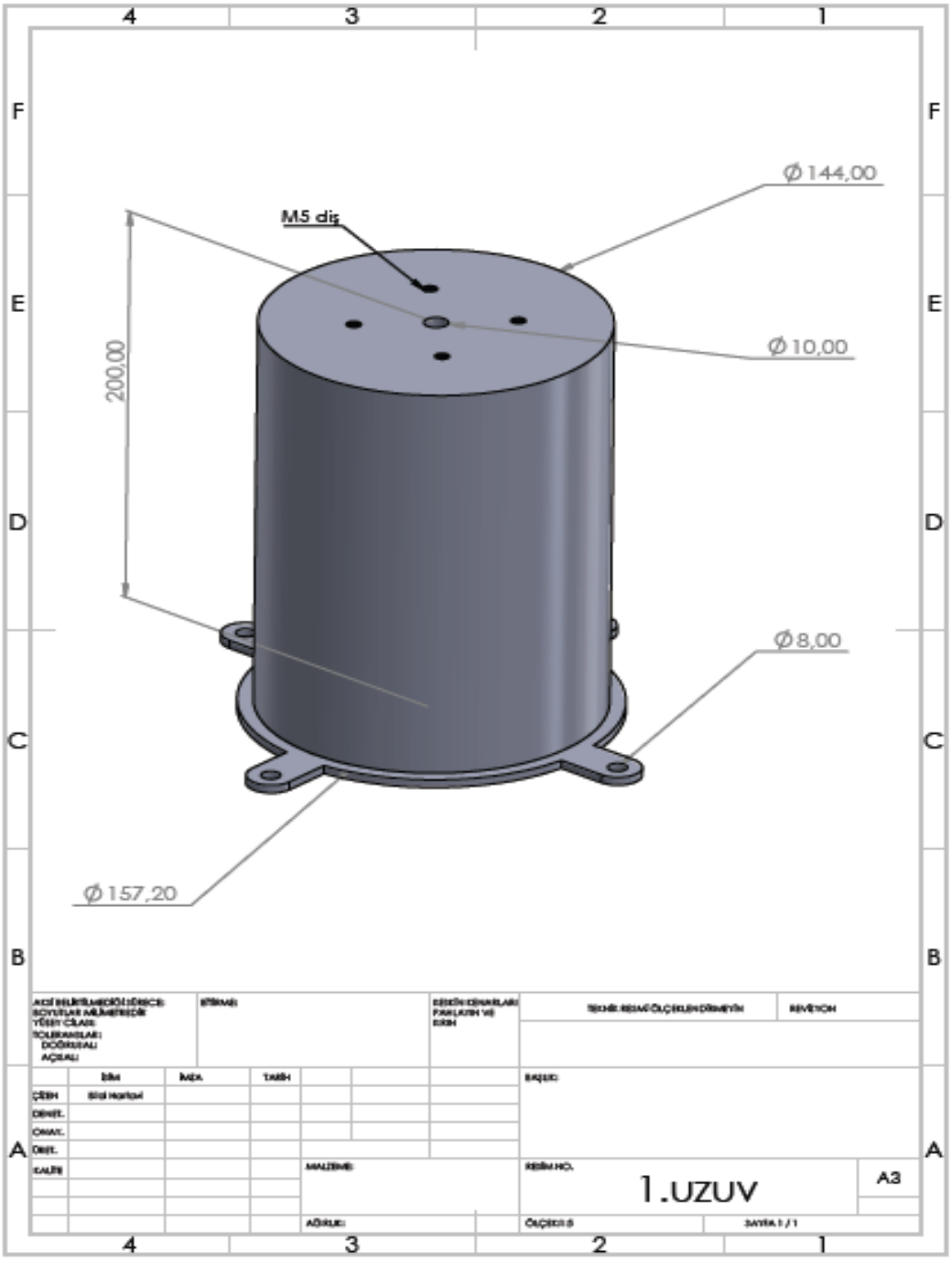
Şekil 3.9. Bağlantı Parçası'nın İşlenmiş Hali

1. Uzuv adı verdiğimiz sabit ve yere monte edilen parçamızın üretimi için ilk önce Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi SolidWorks programı aracılığıyla tasarımı yapıldı.

Malzeme temini için 144 mm çapındaki ve 200 mm uzunluğundaki bir çekme demir borudan yararlanıldı. Bu borunun üst kısmını 12 mm kalınlığındaki dairesel bir demir levha tornalanarak aynı ölçü olan 144 mm çapa göre ayarlandı. Ayrıca bu dairesel malzemeye diş çekileceğinden dolayı 12 mm kalınlığında seçildi. Daha sonra bu iki parça birbirine kaynak yapılarak birleştirildi.

Şekil 3.11.'de gösterilen 1. Uzuv'un alt kısmındaki yere sabitleme sacı ise lazer kesimde işlenip 1. Uzuv'a kaynak ile birleştirildi.

1. Uzuv'un üst tarafına step motorun montajının yapılabilmesi için 4 adet M5 diş açıldı. Ve böylece bu parçanın imalat süreci tamamlanmış oldu.



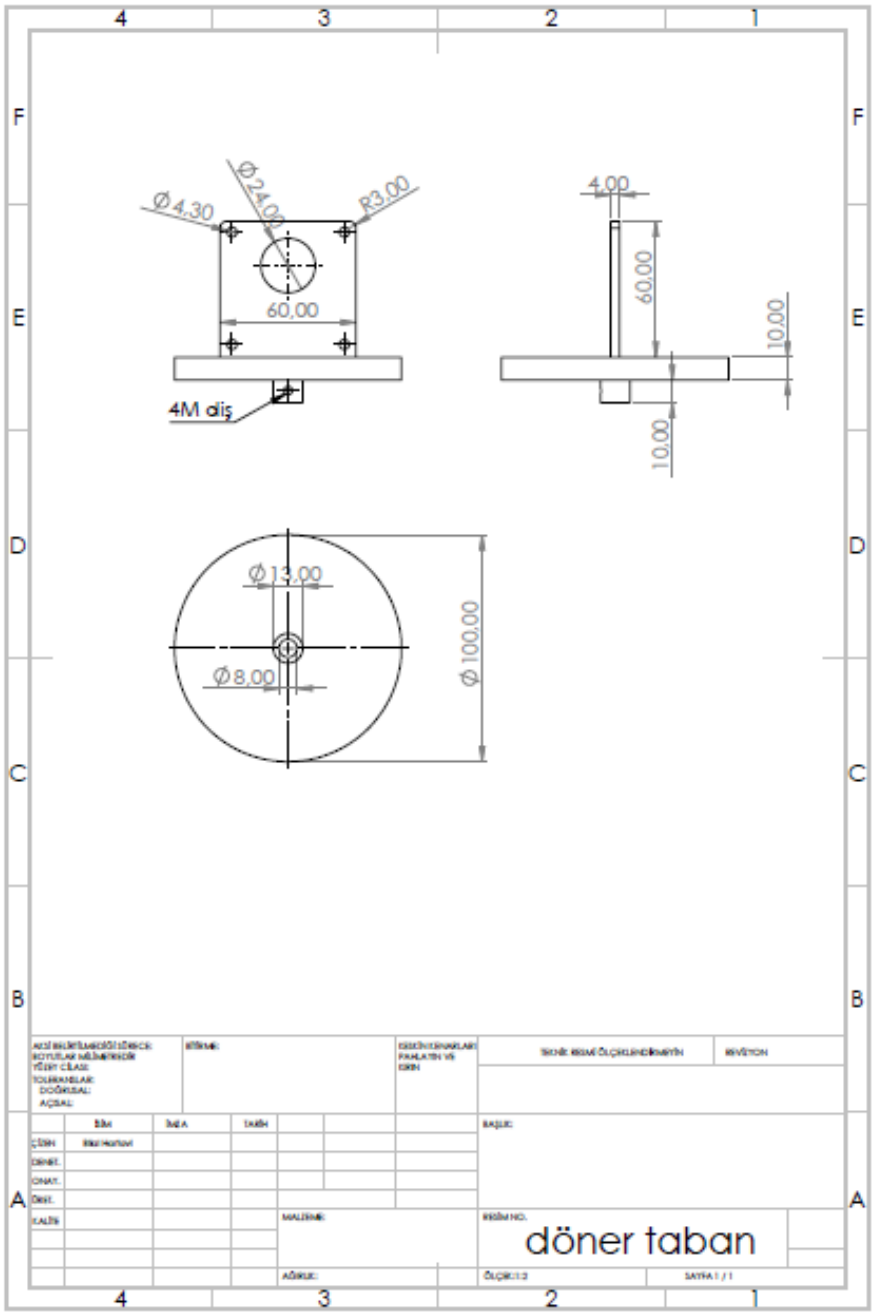
Şekil 3.10. 1. Uzuv Teknik Resmi



Şekil 3.11. 1. Uzuv ve Z Eksen Step Motorun Montajlı Hali

Şekil 3.11.'de görülen 1.Uzuv'a montaj edilmiş olan step motorun, kolları ve diğer iki motorun z ekseni etrafında dönebilmesi için z eksenindeki step motor mili ile diğer step motorun gövdesini montaj edilebilecek bir parça tasarımı yapıldı. Bu parça "Döner Taban" olarak isimlendirildi.

Döner Taban'ın yapılması için ilk önce SolidWorks programı yardımıyla Şekil 3.12.'de görüldüğü gibi tasarımı yapılıp üç görünüş yöntemi ile teknik resmi çizildi.



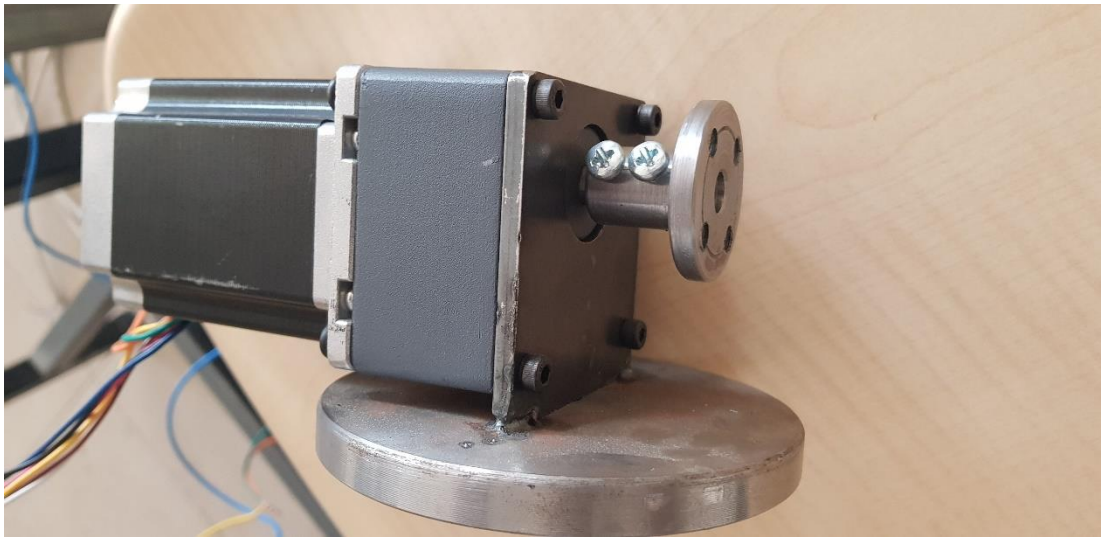
Şekil 3.12. Döner Taban'ın 3 Görünüş Teknik Resmi

Döner Taban'ın imalatı için 20 mm kalınlığında 100 mm çapında dairesel bir demir seçildi. Bu dairesel parçanın yüzeyi 10 mm tornalanarak 13 mm'lik dairesel bir alan bırakıldı daha sonra bu alanın merkezinden çapı 8 mm olacak şekilde bir delik delindi. Bu delik Z eksen step motor milinin gireceği yerdir. Bu deliğe dik olarak bir delik delindi ve M4 diş için kılavuz çekildi. Bu motor milini tutmak için kullanılacak vidanın diş yeridir.

Redüktörlü Step motorun montaj olabilmesi için 60 mm x 60 mm boyutundaki sac levha lazer kesimde işlenerek uygun hale getirildi. Lazer kesimde işlenmesinin amacı motor flanş ölçülerinin

kesilen parçaya tam olarak denk gelmesi içindir. Aksi takdirde vidalar tam yerini tutmaz ve montaj hatalı olur.

60 mm x 60 mm boyutundaki sac işlendikten sonra döner tabanına dikkatli bir şekilde kaynak yapıldı. Şekil 3.13.'teki gibi 60 mm x 60 mm saca redüktörlü step motoru ve redüktörlü step motorun miline de Bağlantı Parçası montaj edildi, vidalar yardımıyla montajı sağlamlaştırıldı.

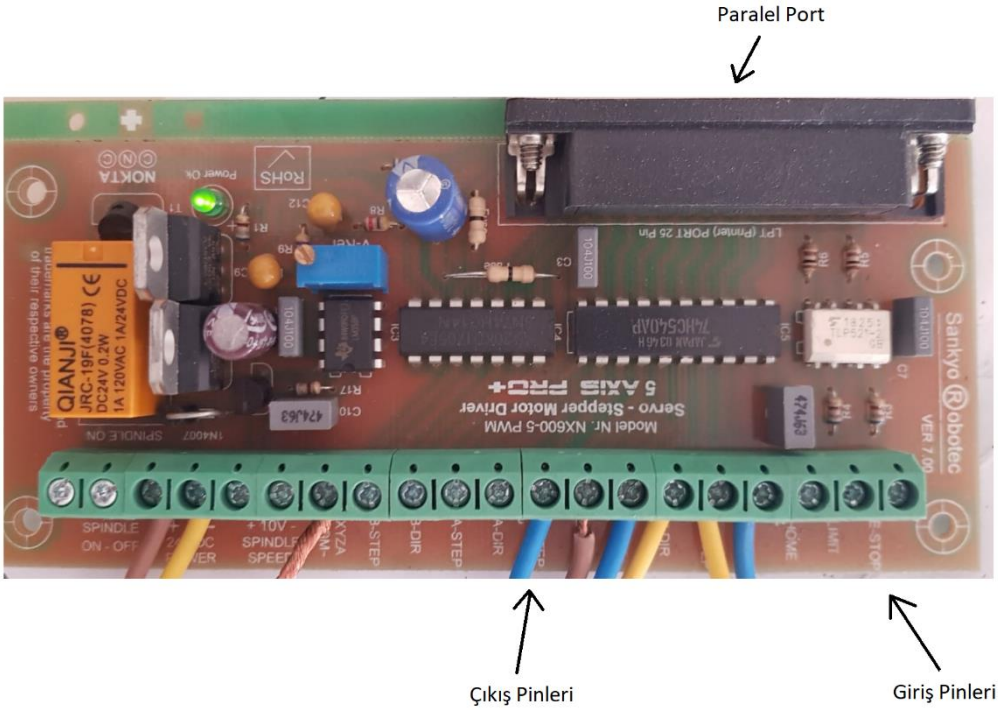


Şekil 3.13. 60mm x 60mm sac, Redüktörlü Motor ve Bağlantı Parçasının Montajı

3.2. Elektronik Donanım

3.2.1. Mach3 kartı

Mach3, makinaların kontrol edilmesini sağlayan bir elektronik karttır. Mach3 kartına G ve M kodları ile program yazılır. Mach3 kartına gereken yazılım programı kurulduktan sonra bilgisayar aracılığıyla kontrol edilir. Mach3 kontrol kartını bilgisayara bağlamak için paralel port kullanılır bundan dolayı Mach3 lpt de denilmektedir. Mach3 lpt kontrol kartı, step motor ve servo motor gibi sürücüler ile sürülebilir motorlar için uygundur (Koç ve Doğan, 2017). Şekil 3.14.'te 5 Eksen LPT Eksen Kontrol Kartı 600 Mhz görülmektedir.



Şekil 3.14. 5 Eksen LPT Eksen Kontrol Kartı 600 Mhz

3.2.2. Step motor

Step motorlar, elektrik enerjisini döner manyetik alana dönüştürür, bu döner manyetik alana maruz kalan mekanik yapı döner ve adımsal olarak hareket eder. Her konumunu adımlar halinde manyetik alana göre yaptığından dolayı hassas kontrol gereken yerlerde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Step motor adım adım ilerlediğinden dolayı adım motor (step motor) olarak da bilinmektedir. Step motorun adımlarının ardışık şekilde çalışıp dönmesi için ve motor kontrolünün sağlanması için gerekli olan sinyaller step motor sürücüsü ile verilmektedir. Bunun için step motor ve step motor sürücüsü haberleşmeli ve uyumlu olarak çalışmaktadır.

Step motorlar motorun iç yapısına göre çeşitlenmektedirler. Step motorlar; iki fazlı step motorlar, bipolar step motorlar, unipolar step motorlar, sabit mıknatıslı step motorlar olarak çeşitlenirler. Değişken relüktanslı step motorlar, tek parçalı, çok parçalı, hibrit step motorlar, lineer step motorlar ve hidrolik step motorlar olarak ayrılmaktadır.

Son yıllarda çip teknolojilerinin iyileşmesi ve yaygınlığının artması ile her boyuttaki step motorlar fark etmeksizin adım kontrolü gereken bütün projelerde kullanılabilmektedir. Step motorlar özellikle; gıda endüstrisi, paketleme endüstrisi, CNC tezgahları, tıbbi cihazlar, yazıcılar, fabrika otomasyonları, kart okuyucular gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Birçok sektörde farklı hedeflere

hizmet etmek için seçilen adım motorlar, kullanıcıları için birçok avantajı vardır. Bu avantajlar; hareket ettiklerinde pozisyon yani açı hatası olmaz ve herhangi bir problem olmadan çok defa çalıştırılabilirler.

Projede iki çeşit step motor kullanıldı. Bunlardan bir tanesi Şekil 3.15.'de görülen 2.2 Nm ve 2 fazlı step motorudur.

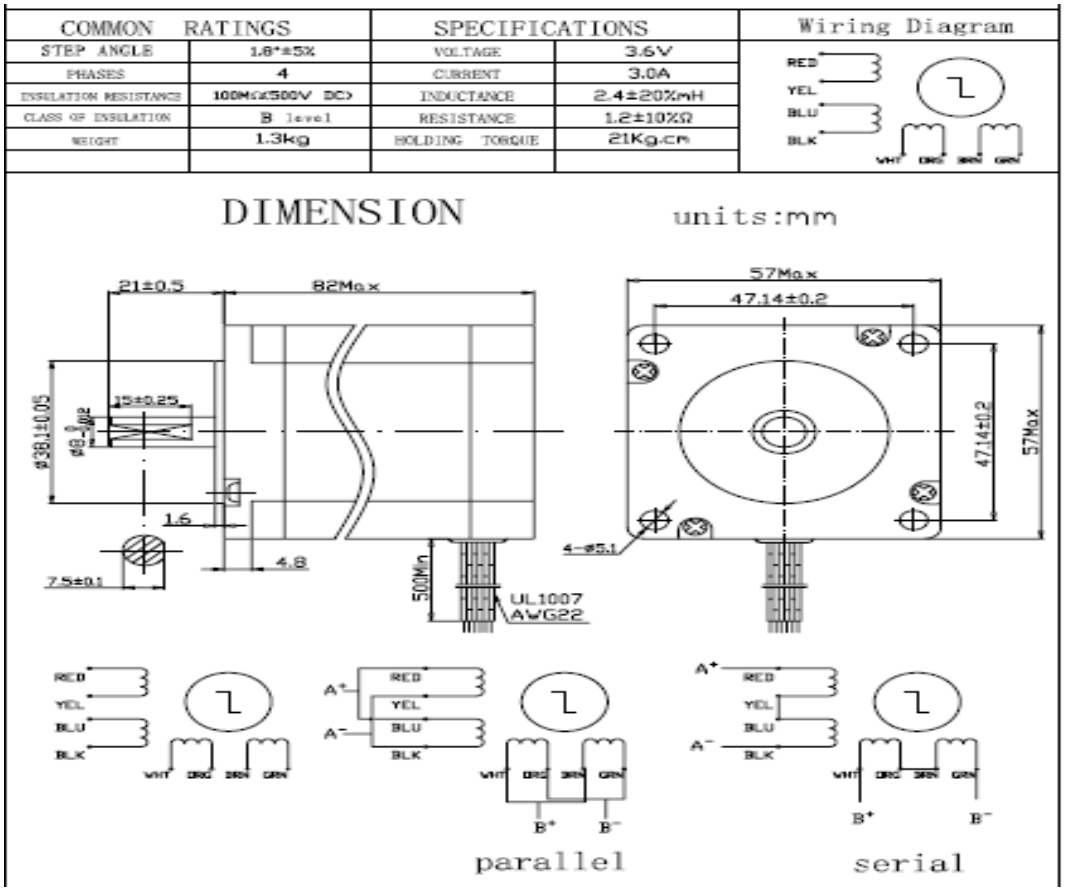


Şekil 3.15. 2.2 Nm Step Motor (Koç, 2017)

Çizelge 3.2. Step Motorun Başlıca Özellikleri (Koç, 2017)

STEP MOTOR TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
TUTMA TORKU	2.2 Nm
Akım	3.0 Amper
Flanş Ölçüsü	57 x 57 mm

Step motorun hem mekanik özellikleri hem de elektronik özellikleri Çizelge 3.2. ve Şekil 3.16.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Step Motorun Teknik Özellikleri (Koç, 2017)

Projede kullandığımız ikinci step motor ise 11 Nm tutma torkuna sahip bir redüktörlü step motordur, redüktörün olmasıyla beraber motor torkunun ve hassasiyetinin arttırıldığı bir motordur. Şekil 3.17.'de redüktörlü motorun gerçek görüntüsü mevcuttur.

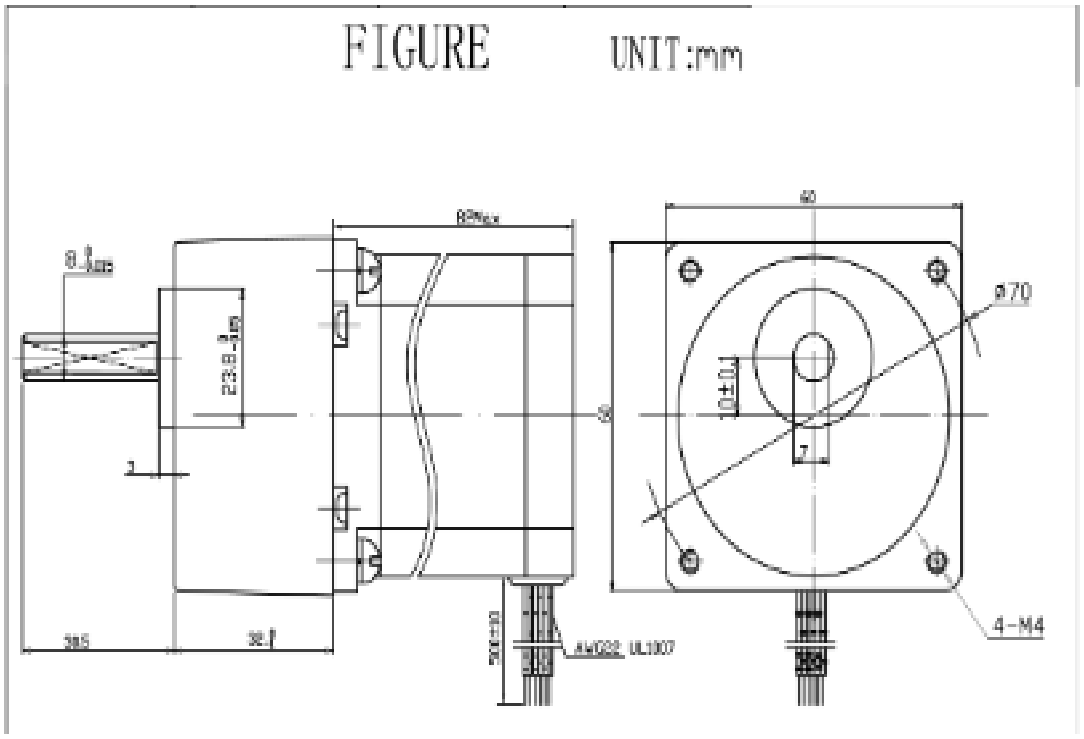


Şekil 3.17. 11 Nm Tork Redüktörlü Step Motor (Koç, 2017)

Step motorun hem mekanik özellikleri hem de teknik özellikleri Çizelge 3.3. ve Şekil 3.18.'de gösterilmiştir. Çizelge3.3.'te gösterildiği gibi tutma torku artmış oldu. Tutma torkunun önemi büyüktür çünkü motorun kaldırabileceği maksimum yükün seviyesini belirlemiş olur.

Çizelge 3.3. Redüktörlü Step Motorun Başlıca Özellikleri (Koç, 2017)

STEP MOTOR TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
TUTMA TORKU	11 Nm
Akım	3.0 Amper
Flanş Ölçüsü	57 x 57 mm



Şekil 3.18. Redüktörlü Step Motorun Teknik Özellikleri (Koç, 2017)

3.2.3. Step motor sürücü

Step Motorlarının yön ve hızlarını belirlemek için belli bir düzende sinyaller uygulanmalıdır. Step motor, uygulanan sinyale uyumlu olarak hareket eder. Bu hareketlerin sayısı motora ek olacak bir devre kartı ile sağlanabilir. Bu devre kartlarına sürücü devresi veya kontrolör denir.

Bu projede kullanılan sürücü Şekil 3.19.'da görülen CWD556 model 2 fazlı step motor sürücüsüdür. 24 VDC ile 50 VDC aralığında voltaj kaynağı sağlar. Faz akımı 5.6A altındadır. Mikrostep

full adımdan 51200 adım/dev kadar puls çıkışı ve 2.1 A ile 5.6 A arasında akım sağlayabilir. Ayrıca boşta akım engelleme, kendini test etme, yüksek voltaj, alçak voltaj ve aşırı akım korumaları vardır.



Şekil 3.19. CWD556 Model Step Motor Sürücüsü (Koç, 2017)

CWD556 ile ilgili elektriksel özellikler Çizelge 3.4.'te verilmiştir. Bu özelliklere göre step motor seçimi yapılmalıdır aksi takdirde yeterli gereksinimleri karşılayamadığı için uyum sorunu yaşanacaktır.

Çizelge 3.4. CWD556 Ait Elektriksel Özellikler (Koç, 2017)

Parameter	Min	Typical	Max	Unit
Input Voltage(DC)	20	-	50	VDC
Output Current	0	-	5.6	A
Pulse Signal Frequency	0	-	200	KHZ
Logic Signal Current	7	10	16	MA

CWD556 step motor sürücü ile farklı değerlerdeki akım sağlanabilir. Bunun için gerekli olan akım değerine göre Çizelge 3.5.'te de görüldüğü gibi CWD556 sürücü üzerindeki ilk üç adet anahtar (swich) ile ayarlanabilir. Örnek olarak akım RMS değeri 3.1 A isteniyor ise "SW1" olarak gösterilen birinci anahtarı "on" konumuna, "SW2" anahtarı "off" konumuna ve "SW3" anahtarı "on" konumuna getirilir.

Çizelge 3.5. Akım Ayarlama (Koç, 2017)

Peak	RMS	SW1	SW2	SW3
Default		Off	Off	Off
2.1 A	1.5 A	On	Off	Off
2.7 A	1.9 A	Off	On	Off
3.2 A	2.3 A	On	On	Off
3.8 A	2.7A	Off	Off	On
4.3 A	3.1 A	On	Off	On
4.9 A	3.5 A	Off	On	On
5.6 A	4.0 A	On	On	On

Bu metot mikrostep motorlarını kontrol etmek için kullanılır. Genel olarak yüksek hassasiyet ve smooth hareket oluşturmak için kullanılır. Step motor farklı stepler ile veya bir devrin kesirlerinde hareket eder. Örneğin, her bir hareketi yani adımı 1.8 derece olan açısına bir step motor, motorun bir tam devrini tamamlaması için 200 adım atacaktır (360 ÷ 1.8). Bu ayrık ve farklı hareketler, motor dönüşünün tam düzgün olmadığı ve devir ne kadar yavaşsa, o derecede az hassasiyette adımdan dolayı o kadar daha az yumuşak (smooth) manasına gelir. Motor yavaş çalıştırıldığında daha hassas dönme elde etmek için her devri daha fazla kesirlere bölmek gerekir. Bundan dolayı mikro adımlar ile çalışmamız gerekir. Çizelge 3.6.'da CWD556 sürücüsünün mikro adımlama ayarlama tablosu gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. CWD556 Sürücüsü Mikro Adım Ayarlama Tablosu (Koç, 2017)

Step/Rev	SW5	SW6	SW7	SW8
Default	On	On	On	On
800	Off	On	On	On
1600	On	Off	On	On
3200	Off	Off	On	On
6400	On	On	Off	On
12800	Off	On	Off	On
25600	On	Off	Off	On
51200	Off	Off	Off	On
1000	On	On	On	Off
2000	Off	On	On	Off
4000	On	Off	On	Off
5000	Off	Off	On	Off
8000	On	On	Off	Off
10000	Off	On	Off	Off
20000	On	Off	Off	Off
40000	Off	Off	Off	Off

Mikrostep kontrolü, daha çok düşük hızlarda step motorun dönüşünü kolaylaştırmak için tüm adımları küçük kesirlere ayırır. Örnek olarak, 1,8 derece olan bir adımı 256'ya bölerek 0,007 derecelik bir hassasiyet veya her devirde 51,200 mikro steplik bir adım açısı sağlar. Bu şekilde çok daha hassas bir yapı elde edilmiş olur.

Mikro adımlama, motorun sbobinlerine giden voltajı PWM yöntemiyle daha küçük bölümlere ayırmaktır. Sürücü ile motor içindeki sargılarına 90 derece faz dışı iki tane sinüzoidal dalga gönderir. Bir bobinde akım yükselirken diğer bobinde düşer. Bu sıralı akım iletimi, tam veya yarım adımlı kontrolden daha yumuşak hareket ve daha tutarlı tork oluşturur.

3.2.4. Güç kaynağı

Bu projede de hem Mach3 kartı için hem de CWD556 Step motor sürücüleri için güç kaynağına ihtiyaç duyuldu. Güç kaynağı seçiminde en önemli etmenler voltaj ve akımdır. Bunun için öncelikle kullanılacak olan yerin gücüne bakılır. Voltaj için aynı voltaj değerinde olması gerekmedir. Akım için ise harcanacak olan akımdan daha yüksek bir akıma sahip güç kaynağı seçilir. Örneğin yapılan projede 3 adet step motor kullanılmıştır, bu step motorların her biri 3 amper akım çekmektedir, dolayısıyla toplamda yaklaşık 9 amperlik bir harcama olacaktır. Bundan dolayı Şekil 3.20.'deki Lrs-350-24 Volt 14.6 Amper Meanwell Smps Power güç kaynağı seçildi.

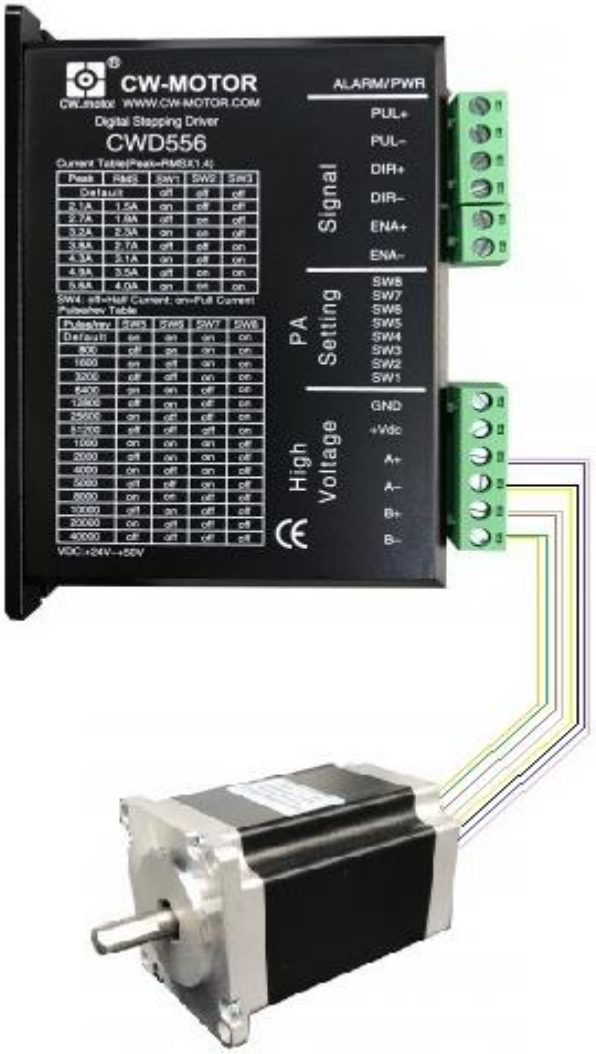


Şekil 3.20. Güç Kaynağı (Koç, 2017)

3.2.5. Elektriksel bağlantılar

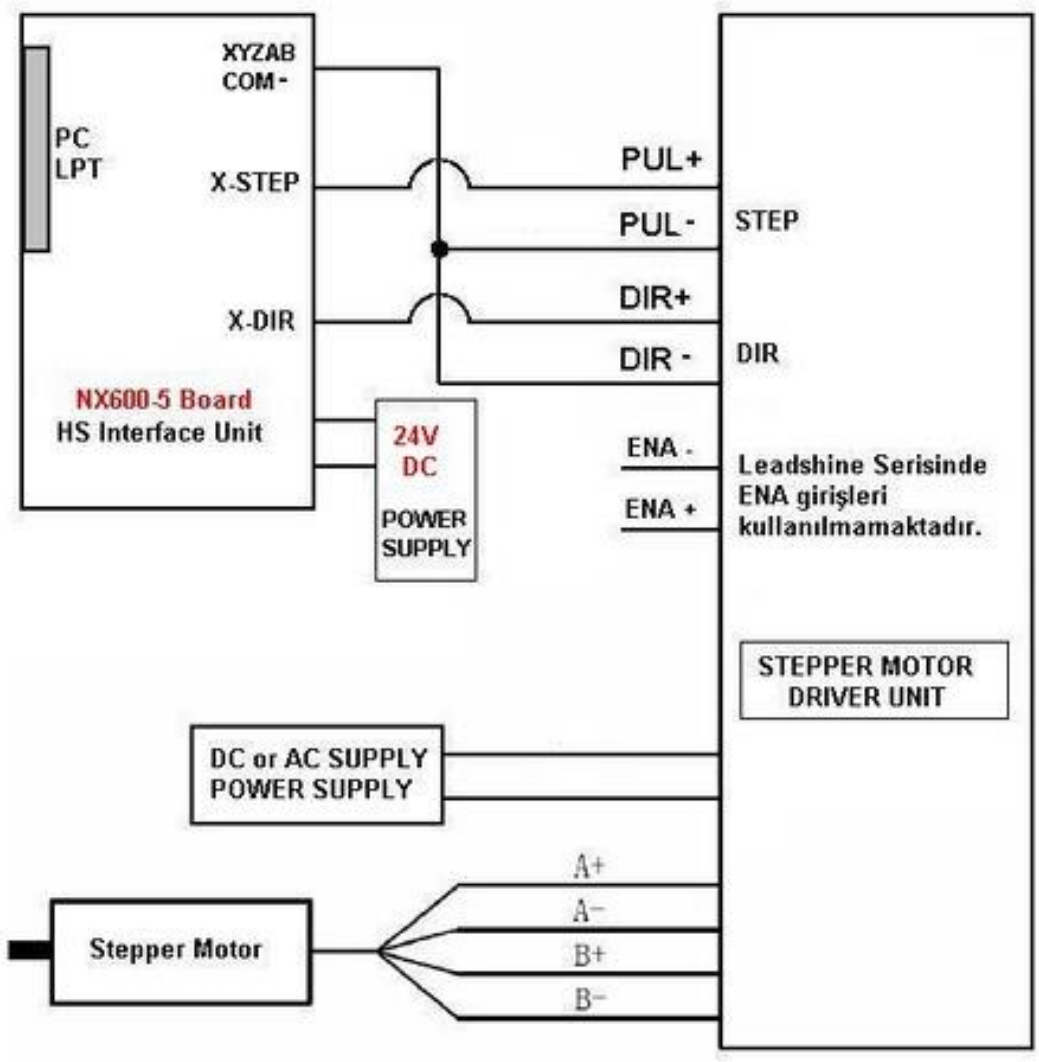
Öncelikle güç kaynağının 220V kısmına fiş uçlu kablosu faz ve nötr olarak bağlanır. 24V+ ve 24V- ucundan Mach3 kartının 24V DC power + ve - kısmına bağlantı yapılır. Aynı uçlardan paralel olacak şekilde üç step motor sürücüsünün de +Vdc ve GND kısmına bağlantılar yapılır. Bu şekilde tüm güç kaynağı bağlantıları tamamlanmış olur.

Step motorun step motor sürücüsüne bağlantısı Şekil 3.21.'de gösterildiği üzere motordaki kablolardan lacivert ve pembe olan kısa devre yapılıp step motor sürücüsünün A+ ucuna, motordaki kablolardan sarı ve siyah olan kısa devre yapılıp step motor sürücüsünün A- ucuna, motordaki kablolardan kahverengi ve beyaz olan kısa devre yapılıp step motor sürücüsünün B+ ucuna ve motordaki kablolardan turuncu ve yeşil olan kısa devre yapılıp step motor sürücüsünün B- ucuna bağlanır. Bu şekilde 3 step motor için de aynı bağlantılar yapılır.



Şekil 3.21. Step Motor Sürücüsü ve Step Motor Bağlantısı (Koç, 2017)

Step motor sürücüsü CWD556'ın Mach3 LPT kartına bağlantısı Şekil 3.22.'de görüldüğü üzere şu şekilde yapılır, X ekseni için sürücüdeki PUL- ve DIR- kısa devre yapılır ve Mach3 kartındaki XYZAB COM- ucuna bağlanır ayrıca sürücüdeki DIR+ ucu Mach3 kartındaki X-DIR ucuna, sürücüdeki PUL+ ucu Mach3 kartındaki X-STEP ucuna bağlanır. Bu şekilde Y ve Z ekseni için de aynı şekilde bağlantılar yapılır.



Şekil 3.22. Step Motor Sürücüsü CWD556'ın Mach3 LPT Kartına Bağlantısı (Koç, 2017)

3.3. Robot Kinematiği

Sebepleri ve dış etkenleri saymadan hareketi inceleyen mekaniğin bir alt dalıdır. Kinematik, hareket, hız ve ivmenin incelenmesi ile kavranabilir. Bir cismin hareketli olarak, bir yerden diğer bir yere olan yer değiştirme, hız ve ivmesidir.

3.3.1. İleri kinematik – Denativ-Hartenberg

Bir robotun belirli bir ana orijininden uç işlevciye doğru prizmatik veya döner mafsallarla bağlanmış seri uzuvlardan ulaşmaya çalışmaktır. Bir başka deyişle konumu belli olan robotun sabit gövdesini baz alarak kol ve uzuvların açısından yola çıkarak uç işlevcinin konumunu tayin etmektir. İki link arasındaki ilişki homojen dönüşüm matrisiyle tanımlanır. Homojen dönüşüm matrislerinin art arda çarpılmasıyla orijin noktası ile işlevci arasındaki ilişki belirlenir. Bu ilişki robotun uç işlevcinin konumunu orijine göre tanımlar. Kısaca ileri yön kinematiği mafsal değişkenleri ile uç işlevcisinin konumu orijine göre hesaplar diyebiliriz (Doğan, 2019).

Her bir ekleme bir koordinat sistemi yerleştirilse komşu iki eklem arasındaki ilişki bir ${}^{i-1}_{i}T$ dönüşüm matrisiyle elde edilir.

İlk mafsala ait dönüşüm matrisi ilk mafsal ile orijin arasındaki bağıntıyı belirlerken, son mafsala ait dönüşüm matrisi uç işlevcisi ile son mafsal arasındaki bağıntıyı tanımlar. Art arda sıralanan bu mafsal dönüşüm matrisleriyle orijin ile uç işlevci arasındaki bağıntı belirlenir. Bu bağıntıya da ileri kinematik denir. Orijin ile uç işlevci arasındaki bağıntı 3.1'deki gibidir.

$$ {}^{0}_{N}T = {}^{0}_{1}T\,{}^{1}_{2}T \ldots {}^{N-1}_{N}T \tag{3.1} $$

Robotların mafsal değişkenlerinin bilinmesi için çok sayıda kinematik metot belirlenmiştir. Kinematik problemler iki farklı uzayda gerçekleştirilir, üç boyutlu ve dört boyutlu uzayda gerçekleştirilir. Kartezyen uzayda üstel yöntem, Pieper-Roth yöntemi ve Denativ-Hartenberg yöntemi kullanır. Ancak en fazla tercih edilen yöntem Denativ-Hartenberg yöntemidir.

Denativ-Hartenberg yönteminde dört ana değişken kullanılarak robot kinematiği çıkarılır. Bu değişkenler

- İki eksen arasındaki uzuv uzunluğu a_{i-1}
- İki komşu esken arasındaki eksen açısı α_{i-1}
- Üst üste çıkan bağlar arasındaki eklem kayması(kaçıklığı) d_i
- İki komşu uzuv arasındaki eklem açısı θ_{i-1}

Bu dört değişken de D-H değişkenidir (Doğan, 2019).

Eksenleri yerleştirmek için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır

1. “Öncelikle eklem eksenleri dönme veya kayma yönleri belirlenir ve bu eksene paralel bir doğru çizilir.

2. Bu işlem gerçekleştirilirken eklem eksenleri, döner eksenler için dönme yönü Z, prizmatik eklemler için kayma yönü Z ekseni olarak belirlenir.

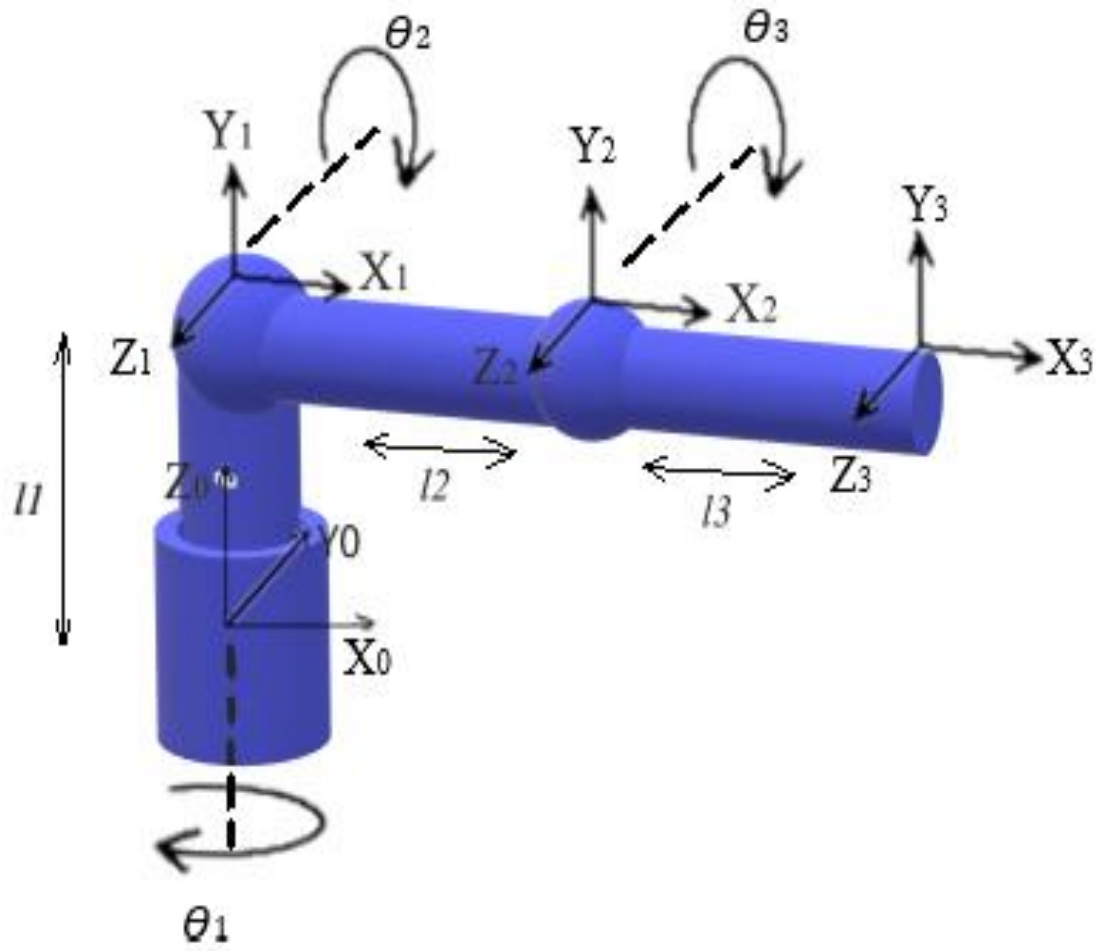
3. Z eksenine dik ve kol boyunca olan bağ (uzuv) uzunluğu X ekseni olarak kabul edilir.

4. Z ve X eksenleri belirlendikten sonra sağ el kuralına göre Y ekseni bulunur.

5. Eğer arka arkaya gelen 2 eklemin dönme veya kayma yönleri aynı ise Z ekseni belirlendikten sonra kol boyunca X ekseni belirlenir. Son olarak sağ el kuralına göre Y ekseni belirlenir.

6. 0 ve 1. eksenler üst üste kabul edilebilir.

7. Bir seri robotun eklemine koordinat sistemleri yerleştirilirken 1. eksenin dönme yönü Z ekseni olarak belirlendikten sonra genellikle bu eksene X eksenince döndürüldüğünde komşu iki Z ekseni çakışacak şekilde bir X ekseni yerleştirilir.” (Doğan, 2019)



Şekil 3.23. Eksen Takımlarının Yerleştirilmesi

Şekil 2.23.'de görüldüğü gibi eksen takımlarının yerleştirilme işlemi yapıldı. Bundan sonra yapılması gereken Çizelge 3.7.'deki gibi D-H tablosunun belirlenmesidir.

Çizelge 3.7. D-H Tablosunun Oluşturulması

i	*α*	*a*	*d*	θ	Değişken
1	-90°	0	*l1*	θ_1	θ_1
2	0°	*l2*	*0*	θ_2	θ_2
3	0°	*l3*	*0*	θ_3	θ_3

Eksen takımlarının yerleştirilmesi ve D-H tablosunun oluşturulmasından sonra Homojen Dönüşüm Matrisi yazıldı (3.2).

$$ {}^{i-1}_{i}T = \begin{bmatrix} cos\theta_i & -sin\theta_i & 0 & a_{i-1} \\ sin\theta_i * cos\alpha_{i-1} & cos\theta_i * cos\alpha_{i-1} & -sin\alpha_{i-1} & -sin\alpha_{i-1} * d_i \\ sin\theta_i * sin\alpha_{i-1} & cos\theta_i * sin\alpha_{i-1} & cos\alpha_{i-1} & cos\alpha_{i-1} * d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.2) $$

Dönüşüm matrisi yazıldıktan sonra (3.2) 'deki dönüşüm matrisi temel alınarak her bir satır için sırasıyla eklemler arasındaki dönüşüm uygulanır.

$$ {}^{0}_{1}T = \begin{bmatrix} cos\theta_1 & -sin\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ -sin\theta_1 & -cos\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.3) $$

Sıfır(0)'dan bire(1)'e olan dönüşüm matrisi (3.3)'teki gibi elde edildi.

$$ {}^{1}_{2}T = \begin{bmatrix} cos\theta_2 & -sin\theta_2 & 0 & l_2 \\ sin\theta_2 & cos\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.4) $$

Bir (1)'den iki (2)'ye olan dönüşüm matrisi (3.4)'teki gibi elde edildi.

$$ {}^{2}_{3}T = \begin{bmatrix} cos\theta_3 & -sin\theta_3 & 0 & l_3 \\ sin\theta_3 & cos\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.5) $$

İki (2)'den üç (3)'e olan dönüşüm matrisi (3.5)'teki gibi elde edildi.

$$ {}^{0}_{3}T = {}^{0}_{1}T * {}^{1}_{2}T * {}^{2}_{3}T \quad (3.6) $$

Bu üç matrisin (3.6)'deki gibi çarpılmasıyla, ana koordinat sisteminden uç işlevciye kadar olan tüm değişimleri veren dönüşüm matrisi elde edilir.

Bu çarpım işlemini yapabilmek için öncelikle sıfır (0)'dan bir (1)'e ve bir (1)'den iki (2)'ye olan dönüşüm matrisi çarpılır (3.7). Bunun sonucunda sıfır (0)'dan iki (2)'ye olan dönüşüm matrisi bulunur.

$$ {}^{0}_{2}T = {}^{0}_{1}T * {}^{1}_{2}T \quad (3.7) $$

$$ {}^{0}_{2}T = \begin{bmatrix} cos(\theta_1 + \theta_2) & -sin(\theta_1+\theta_2) & 0 & l_2 * cos\theta_1 \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ -sin(\theta_1 + \theta_2) & -cos(\theta_1 + \theta_2) & 0 & -l_2 * sin\theta_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

Daha sonra da sıfır (0)'dan iki (2)'ye ve iki (2)'den üç (3)'e olan dönüşüm matrisi çarpılır (3.8). Bunun sonucunda sıfır (0)'dan üç (3)'e olan dönüşüm matrisi bulunur.

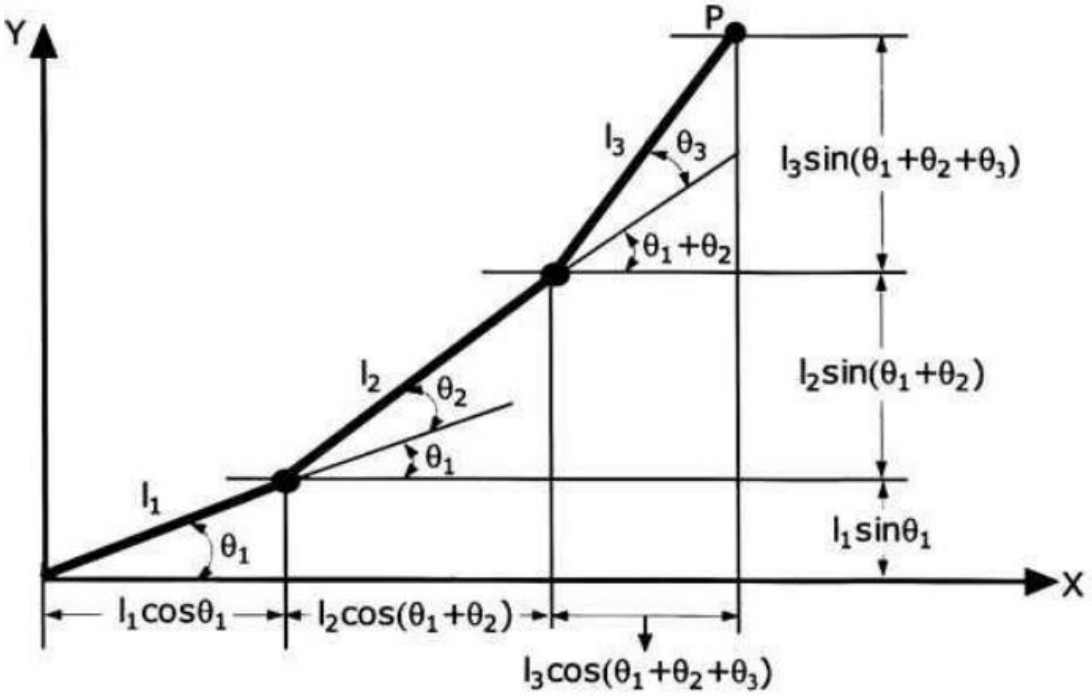
$$ {}^{0}_{3}T = {}^{0}_{2}T * {}^{2}_{3}T \tag{3.8}$$

$$ {}^{0}_{3}T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3) & -\sin(\theta_1+\theta_2+\theta_3) & 0 & l_2 * cos\theta_1 + l_3 * \cos(\theta_1+\theta_2) \\ 0 & 0 & 1 & l_1 \\ -\sin(\theta_1+\theta_2+\theta_3) & -\cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3) & 0 & -l_2 * sin\theta_1 - l_3 * \sin(\theta_1+\theta_2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} $$

3.3.2. İleri kinematik – geometrik yaklaşım

Üç eklemli düzlemsel (planar) basit bir robotun ileri yön kinematiğini hesaplamak için geometrik yaklaşım yöntemi kullanılabilir.

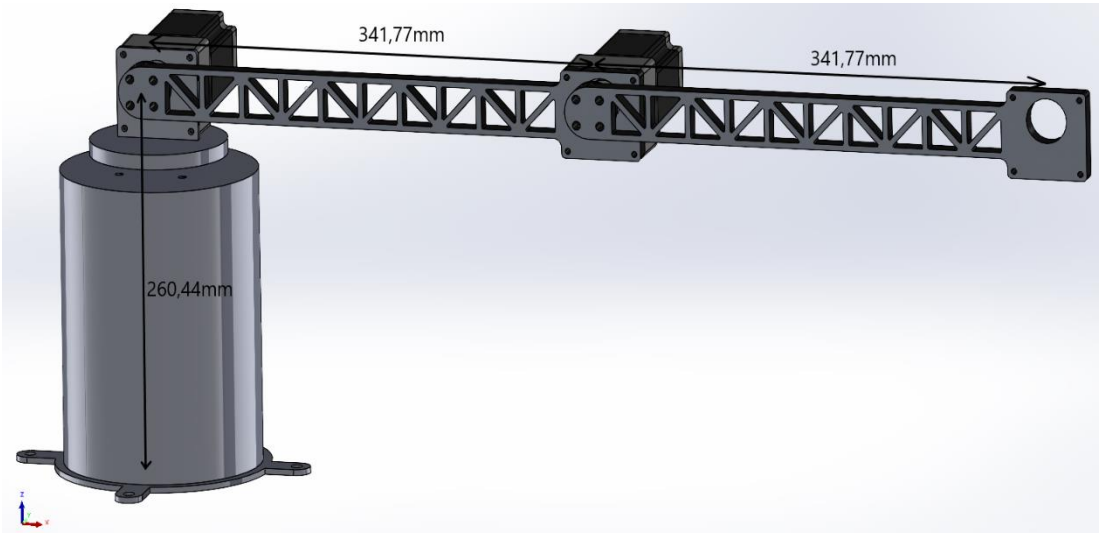
İleri kinematik hesabının Geometrik yaklaşım metodu ile çözümü şöyledir, robotun her bir uzvu $x\ ve\ y$ koordinat sistemine yerleştirilir. Robot uzuvlarından her birinin θ açısı veya açıları toplamının kosinüsü alınarak x düzlemlerine yerleştirilmesi ile uç işlevcinin Px konum noktası bulunur. Aynı şekilde robot uzuvlarından her birinin θ açısı veya açıları toplamının sinüsü alınarak y düzlemlerine yerleştirilmesi ile uç işlevcinin Py konum noktası bulunur. Şekil 3.24.'te ve 3.10 formülünde çözümü görülmektedir.



Şekil 3.24. Geometrik Yaklaşım ile İleri Kinematik Çözümü

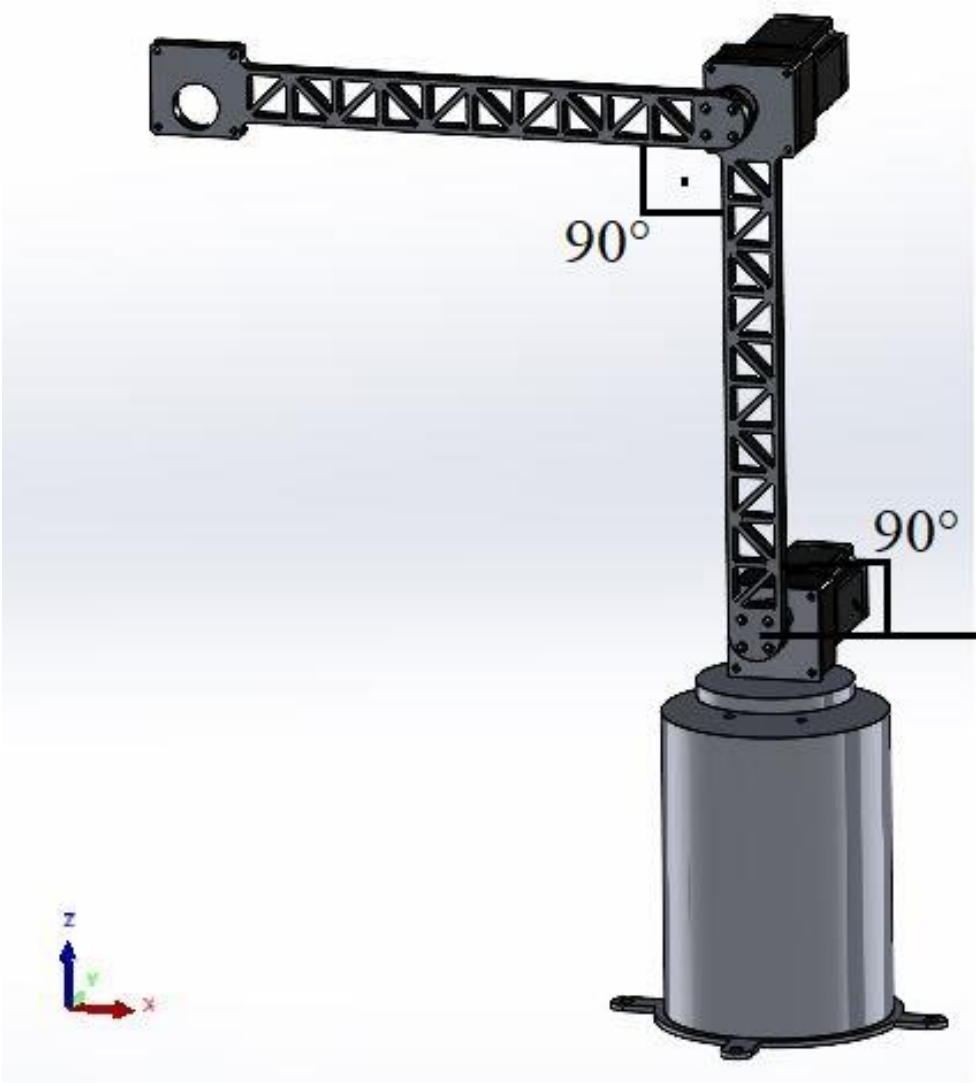
$$ Px = l_1 * cos\theta_1 + l_2 * \cos(\theta_1+\theta_2) + l_3 * \cos(\theta_1+\theta_2+\theta_3) \tag{3.10} $$
$$ Py = l_1 * sin\theta_1 + l_2 * \sin(\theta_1+\theta_2) + l_3 * \sin(\theta_1+\theta_2+\theta_3) $$

Şekil 3.25.'te görüldüğü üzere robotun Geometrik yaklaşım ile çözümü yapılması için ilk önce bir sıfır noktası kabul edilir. Bu sıfır noktası olarak şekil 3.25'deki pozisyon kabul edildi.



Şekil 3.25. Robotun Sıfır Noktası ve Kol Uzunlukları

Sıfır pozisyonuna göre $X\ ve\ Z$ ekseninde 1. ve 2. Kol için saatin tersi yönünde 90° açı verildiği takdirde pozisyonumuz Şekil 3.26'daki gibi olur.



Şekil 3.26. Robotun 90 Derecedeki Pozisyonu

Robotun 90 derecedeki pozisyonunun ileri kinematiğini hesaplamak için geometrik yöntem kullanıldı. Bu yöntem ile konum hesabı yapıldı.

$$Px = 260 * cos90 + 341 * \cos 90 + 341 * \cos 180 \quad (3.11)$$
$$Pz = 260 * sin90 + 341 * \sin 90 + 341 * \sin 180$$

Bulgular ve Tartışma bölümünde bu hesaplamaların SolidWorks 2021 Premium programı ile yapılmış hali mevcuttur.

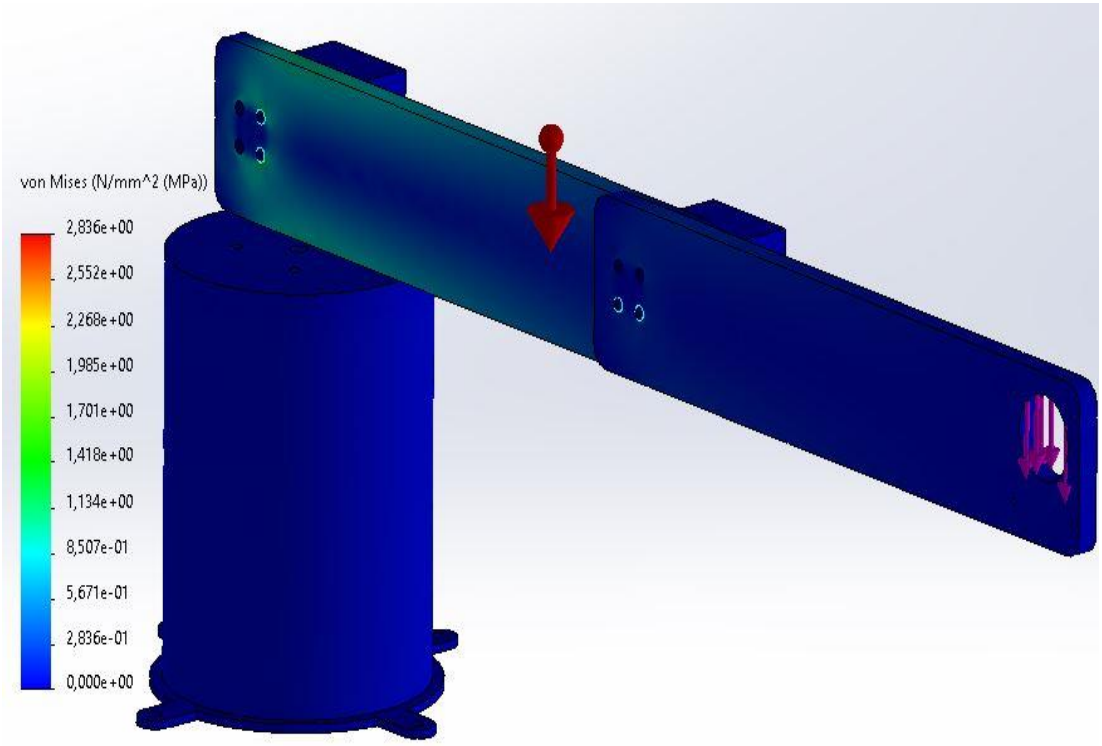
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Statik Optimizasyon

Birinci tasarım üzerinde yapılan statik analiz neticesinde elde edilen von Mises gerilme bölgeleri Şekil 4.1.'de ve hareket analizi sonucunda elde edilen motor tork grafiği Şekil 4.2.'de görülmektedir.

Birinci tasarımın statik analizini yapmak için kola etki eden yükün hesaplaması için robot manipülatörün montajlı hali baz alındı. Uç işlevci 500g olarak düşünülüp 4.1'deki hesaplama sonucunda uç işlevci kısmına $4.905N$ kuvvet uygulandı. Ayrıca gerçek değerleri vermesi açısından yer çekimi ivmesi de eklendi ve sonlu elemanlar metodu kullanarak SolidWorks programı yardımıyla statik analizi yapıldı.

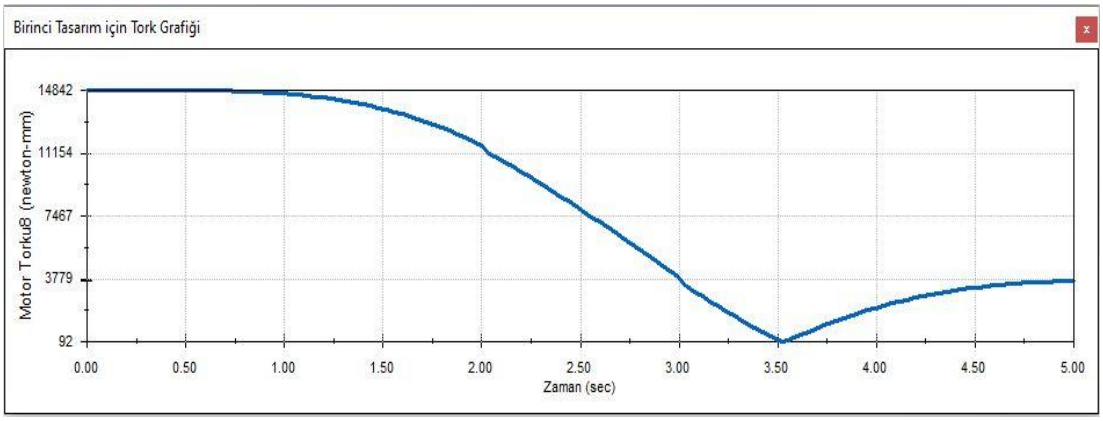
$$0.5kg * 9.81 = 4.905N \quad (4.1)$$



Şekil 4.1. Birinci Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri

Şekil 4.1.'de görülen statik analiz sonuçları incelendiğinde birinci tasarım için kollardaki akma mukavemetinin 1.1 10^2 N mm^{-2} olmasına karşın Birinci Tasarımdaki maksimum von Mises gerilmesinin

2.836 N mm^{-2} olduğu görülmüştür. Emniyet katsayısı değeri 39 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen emniyet katsayısı ve von Mises gerilme değerinin gereğinden daha iyi olduğu ancak ağırlık ve malzeme israfına yol açacağından biraz hafifletilmesi gerektiği görülmüştür.

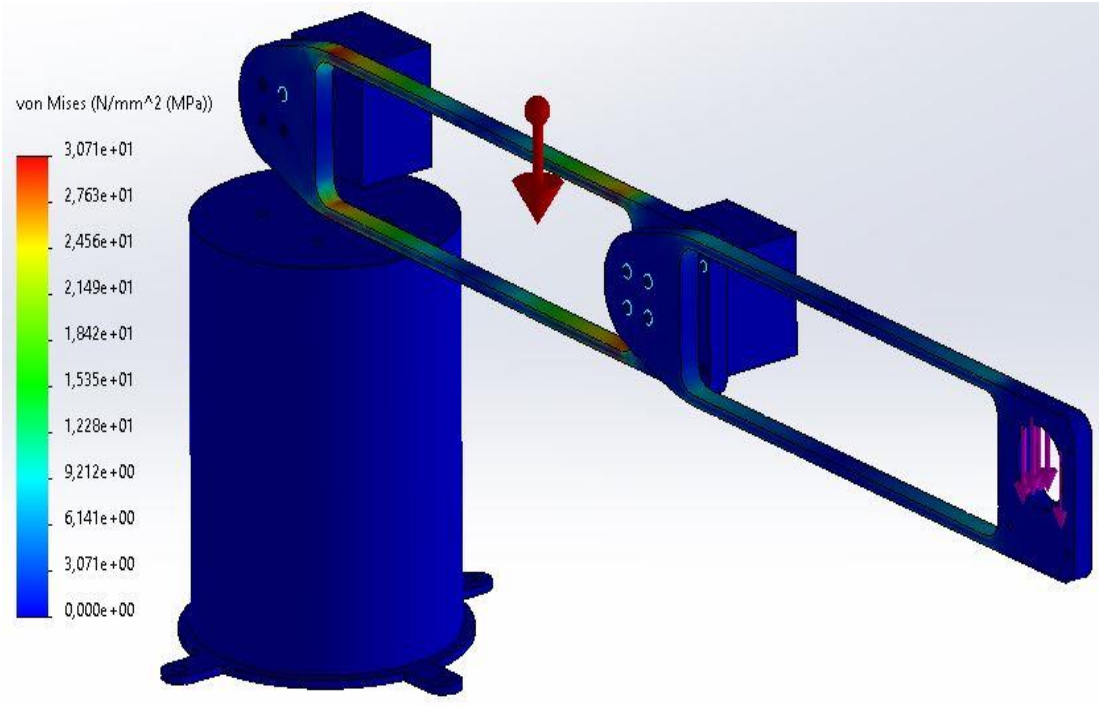


Şekil 4.2. Birinci Tasarım için Tork Grafiği

Hareket analizinde Şekil 3.31.'de görülen sıfır konumundan saatin tersi yönünde 90 derecelik bir hareket uygulandığında, bu konuma 5 saniyede gitmesi sonucu motor bağlantı noktasında oluşan maksimum tork değerleri incelenmiştir. Şekil 4.2.'de görülen birinci tasarım motor tork grafiği incelendiğinde maksimum tork değerinin 14842 N mm olduğu görülmüştür. Grafikte görülen torku sağlamak için daha büyük ve daha ağır motor kullanılması gerektiğinden bu tasarımın hafifletilmesi ve tork ihtiyacının azaltılması gerektiği görülmüştür.

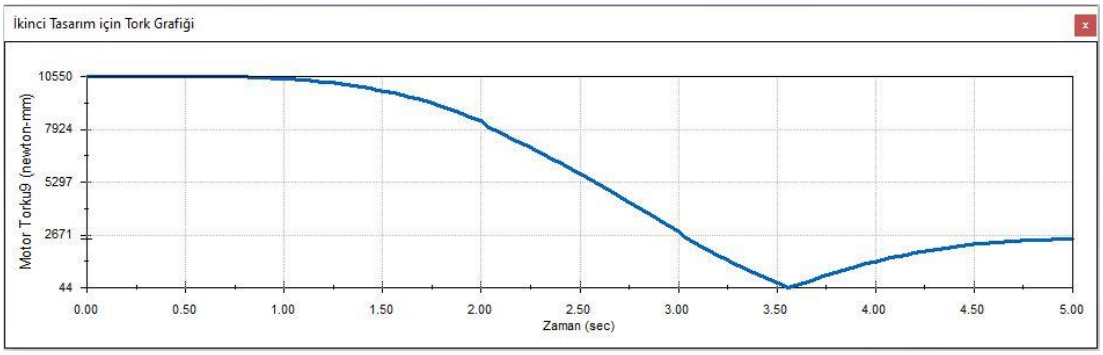
İkinci tasarımın statik analizini yapmak için kola etki eden yükün hesaplaması için robot manipülatörün montajlı hali baz alındı. Uç işlevci 500g olarak düşünülüp 4.1'deki hesaplama sonucunda uç işlevci kısmına $4.905N$ kuvvet uygulandı. Ayrıca gerçek değerleri vermesi açısından yer çekimi ivmesi de eklendi ve sonlu elemanlar metodu kullanarak SolidWorks programı yardımıyla statik analizi yapıldı.

İkinci tasarım üzerinde yapılan statik analiz neticesinde elde edilen von Mises gerilme bölgeleri Şekil 4.3.'te, hareket analizi sonucunda elde edilen motor tork grafiği de Şekil 4.4.'de görülmektedir.



Şekil 4.3. İkinci Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri

Şekil 4.3.'te görülen statik analiz sonuçları incelendiğinde ikinci tasarım için akma mukavemetinin 1.1 10^2 N mm^{-2} olmasına karşın maksimum von Mises gerilmesinin 3.071 10^1 N mm^{-2} olarak gerçekleştiği ve ince cidarlarda akma sınırına diğer tasarımlara göre daha fazla yaklaşıldığı görülmüştür.

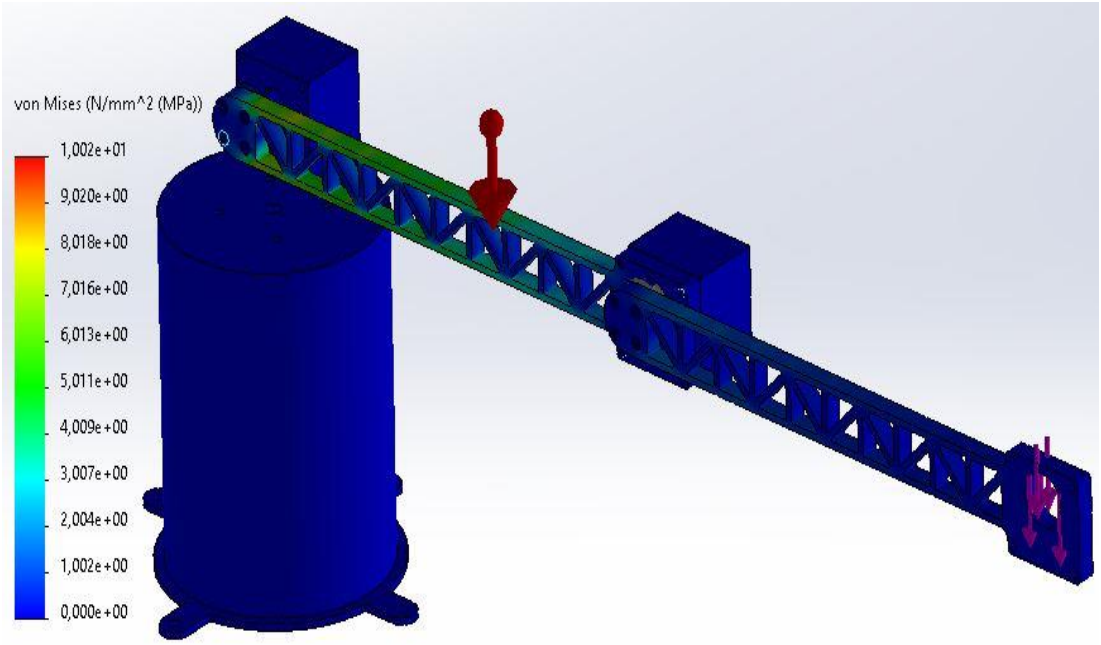


Şekil 4.4. İkinci Tasarım için Tork Grafiği

Şekil 4.4'te görülen ikinci tasarımın motor tork grafiği incelendiğinde maksimum tork değerinin 10550 N mm olduğu görülmüştür. Emniyet katsayısı değeri 3.6 olarak hesaplanmıştır. Bu tasarımda emniyet katsayısı değeri ilk modele göre oldukça düşmüştür. Kenar bölgelerde von Mises gerilme değerlerinin arttığı görülmektedir.

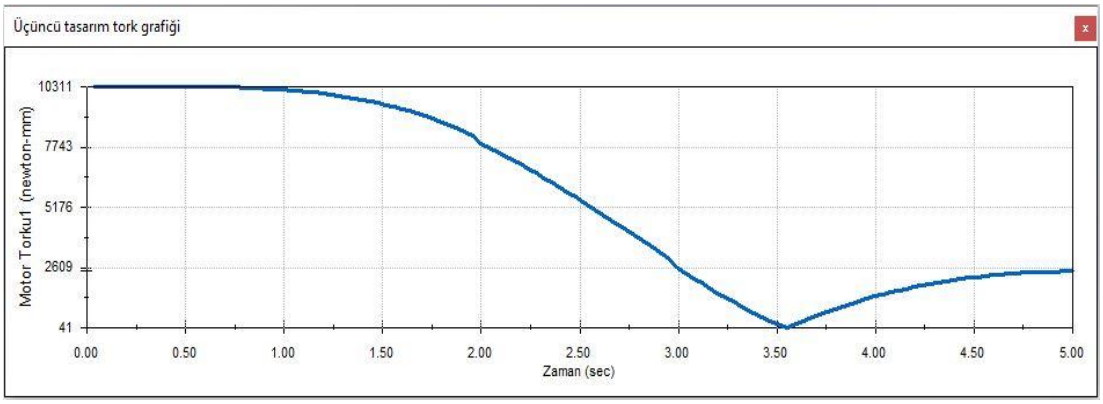
Üçüncü tasarımın statik analizini yapmak için kola etki eden yükün hesaplaması için robot manipülatörün montajlı hali baz alındı. Uç işlevci 500g olarak düşünülüp 4.1'deki hesaplama sonucunda uç işlevci kısmına $4.905N$ kuvvet uygulandı. Ayrıca gerçek değerleri vermesi açısından yer çekimi ivmesi de eklendi ve sonlu elemanlar metodu kullanarak SolidWorks programı yardımıyla statik analizi yapıldı.

Üçüncü tasarım üzerinde yapılan statik analiz neticesinde elde edilen von Mises gerilme bölgeleri Şekil 4.5.'te, hareket analizi sonucunda elde edilen motor tork grafiği ise Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Üçüncü Tasarımın von Mises Gerilme Bölgeleri

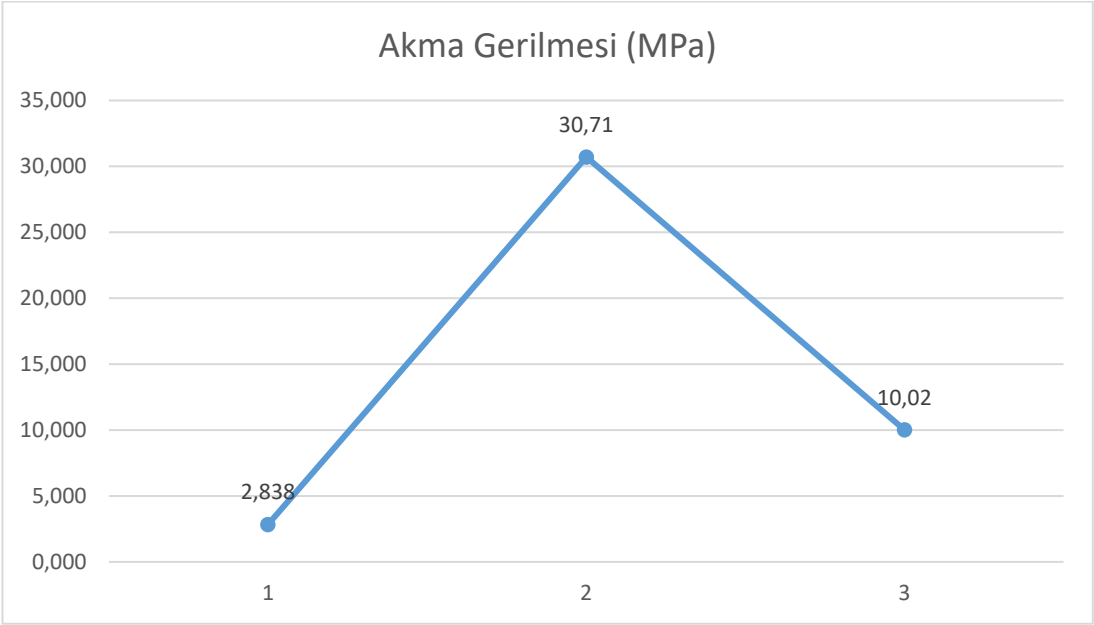
Şekil 4.5.'de görülen statik analiz sonuçları incelendiğinde üçüncü tasarım için akma mukavemetinin 1.1 10^2 N mm^{-2} olmasına karşın maksimum von Mises gerilmesinin 1.002 10^1 N mm^{-2} olarak gerçekleştiği görülmüştür. Emniyet katsayısı değeri 11 olarak hesaplanmıştır. Analiz sonuçları incelendiğinde, üçüncü tasarımın diğer tasarımlara göre daha güvenli ve optimum bir yapı olduğu görülmüştür.



Şekil 4.6. Üçüncü Tasarımın Tork Grafiği

Şekil 4.6.'da görülen motor tork grafiği incelendiğinde maksimum tork değerinin 10311 N mm olduğu görülmüştür. Elde edilen bu sonuçlar birinci ve ikinci tasarıma göre daha iyidir.

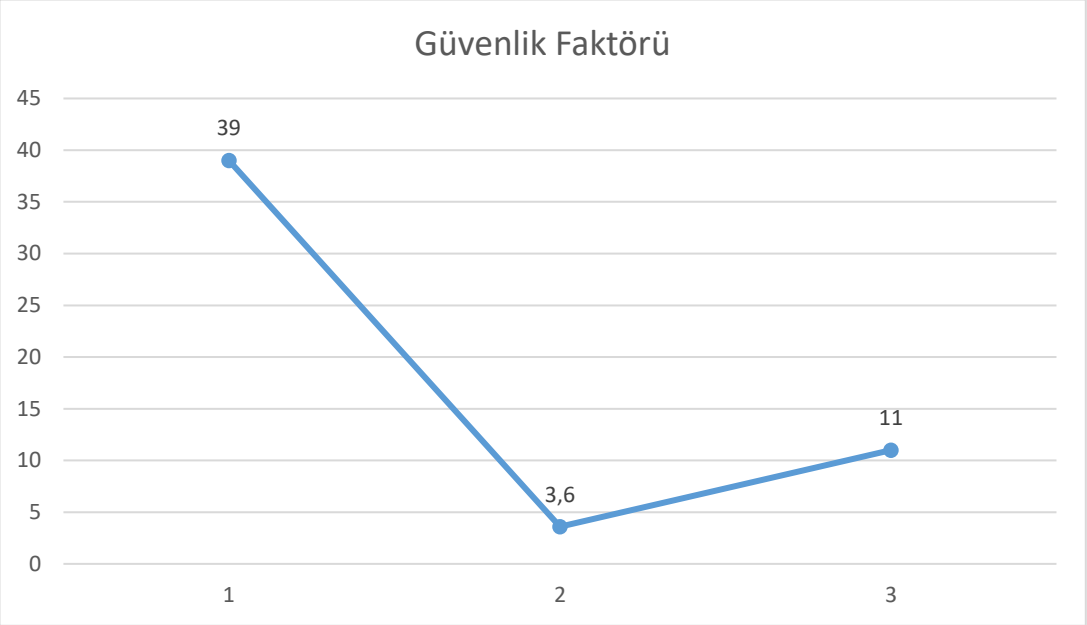
Her üç tasarım için yapılan analizler neticesinde elde edilen optimizasyon grafiği Şekil 4.7.'de görülmektedir. Birinci tasarımda kol ağırlığı 989.44 gram iken optimizasyon sonrası üçüncü tasarımda kol ağırlığı 278.44 gram olarak bulunmuştur. Birinci tasarımda maksimum motor tork ihtiyacı 14842 N mm iken optimizasyon sonrası üçüncü tasarımda maksimum motor torku 10311 N mm olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. Üç Tasarımın Akma Gerilmesi Grafiği

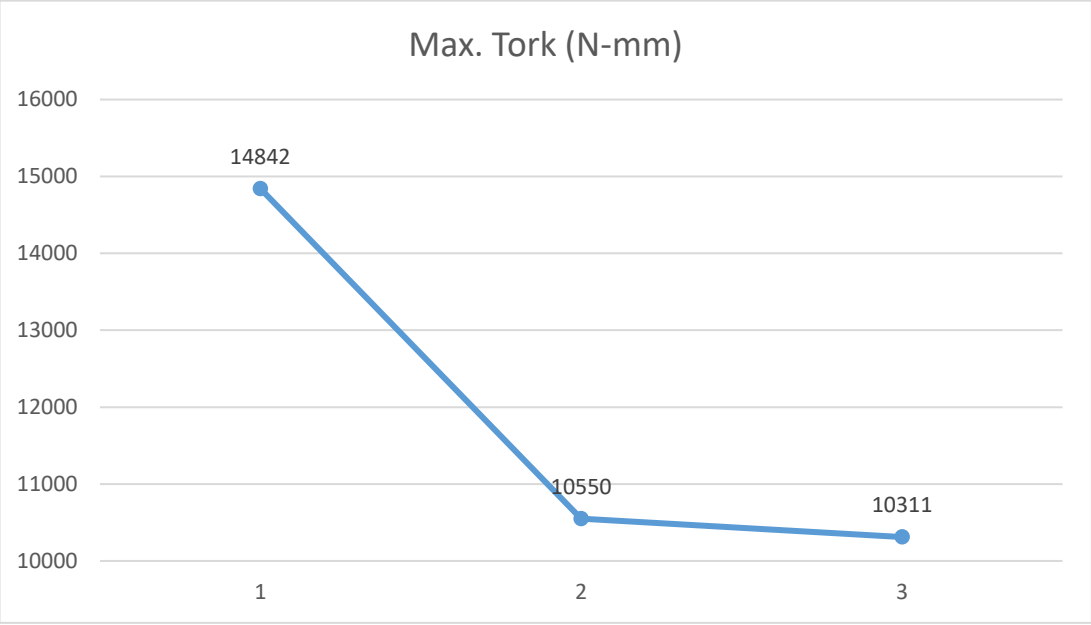
Şekil 4.7.'deki grafikte üç tasarımın da akma gerilimi gösterilmiştir. Birinci tasarımda 2.838 MPa değerinde bir gerilme vardır. İkinci tasarımda bu gerilme 30.71 MPa değerine yükselmiştir.

Üçüncü tasarımda ise 10.02 MPa değerine düşürülerek ikinci tasarıma göre daha düşük bir gerilme elde edilmiştir.



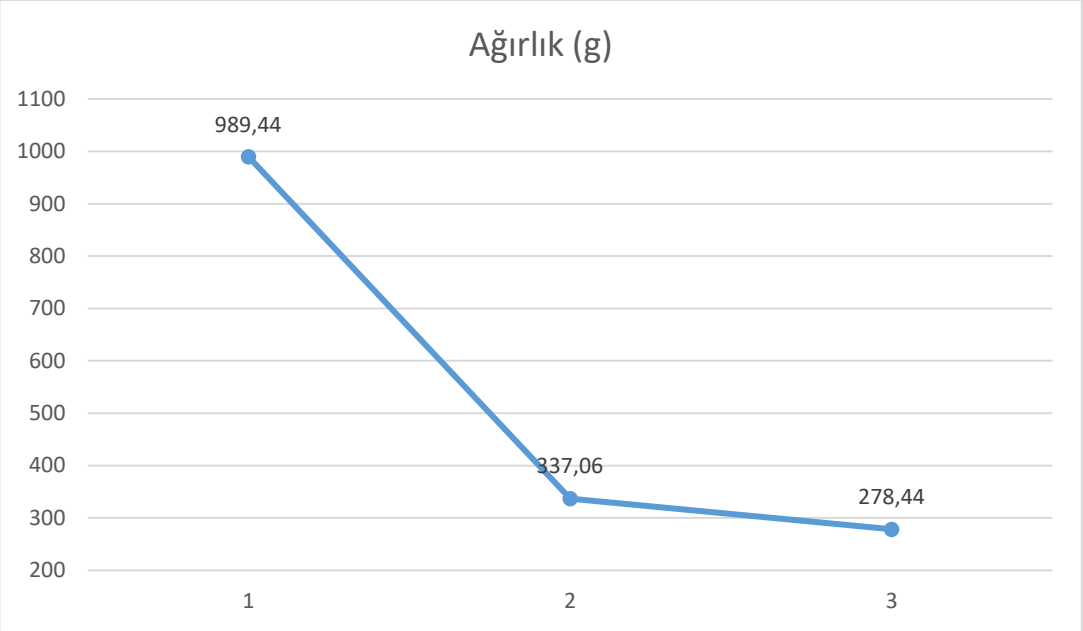
Şekil 4.8. Üç Tasarımın Güvenlik Faktörü

Şekil 4.8.'deki grafikte üç tasarımın da güvenlik faktörü gösterilmiştir. Birinci tasarımda 39 değerinde bir güvenlik faktörü oluşmuştur. İkinci tasarımda bu güvenlik faktörü 3.6 değerine düşmüştür. Üçüncü tasarımda ise 11 değerine yükselerek ikinci tasarıma göre daha güvenli bir yapı oluşmuştur.



Şekil 4.9. Üç Tasarımın Maksimum Tork Grafiği

Şekil 4.9.'daki grafikte üç tasarımın maksimum torku gösterilmiştir. Birinci tasarımda 14842 Nmm değerinde bir tork mevcuttur. İkinci tasarımda bu tork 10550 Nmm değerine düşmüştür. Üçüncü tasarımda ise 10311 Nmm tork değerine düşürülerek ikinci tasarıma göre daha düşük bir tork ihtiyacı elde edilmiştir.

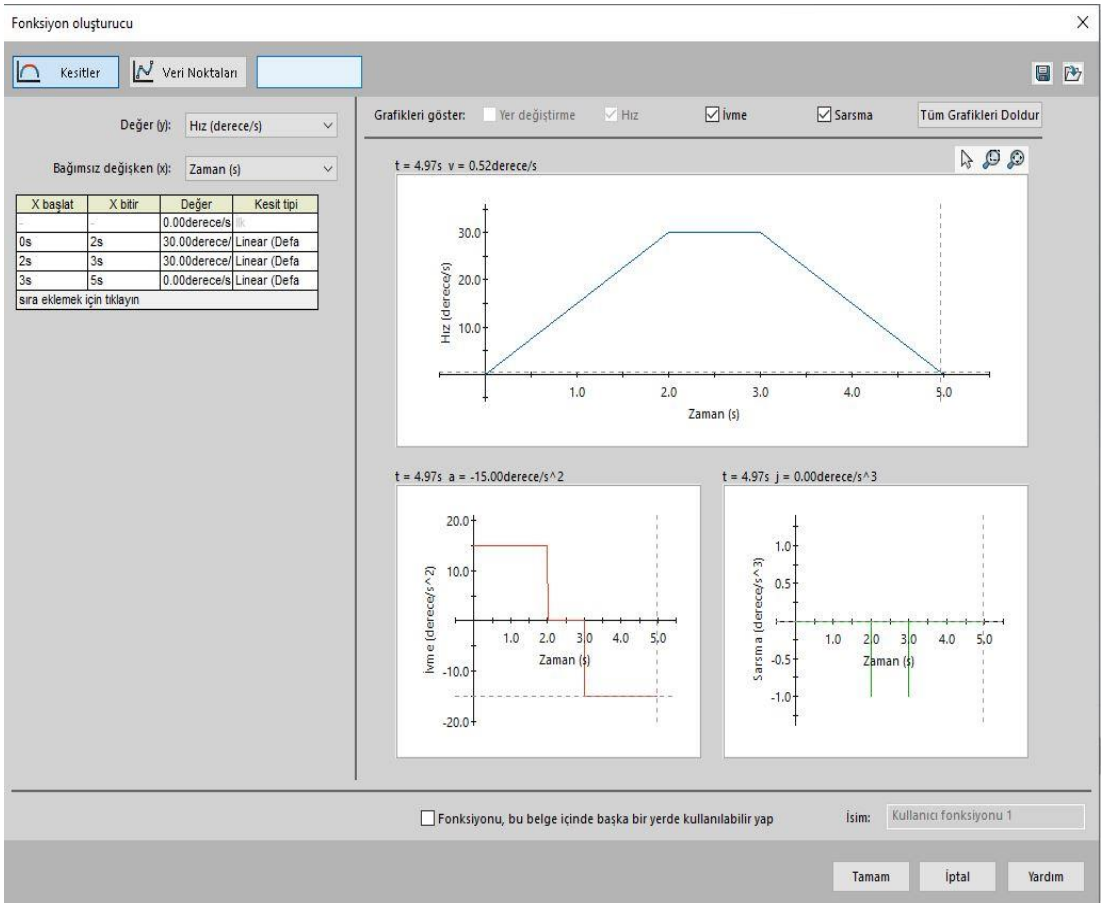


Şekil 4.10. Üç Tasarımın Ağırlık Grafiği

Şekil 4.10.'daki grafikte üç tasarımın da ağırlıkları gösterilmiştir. Birinci tasarımda 989.44 gram değerinde bir ağırlık mevcuttur. İkinci tasarımda bu değer 337.06 düşmüştür. Üçüncü tasarımda ise 278.44 gram değerine düşürülerek ikinci tasarıma göre daha düşük bir ağırlık elde edilmiştir.

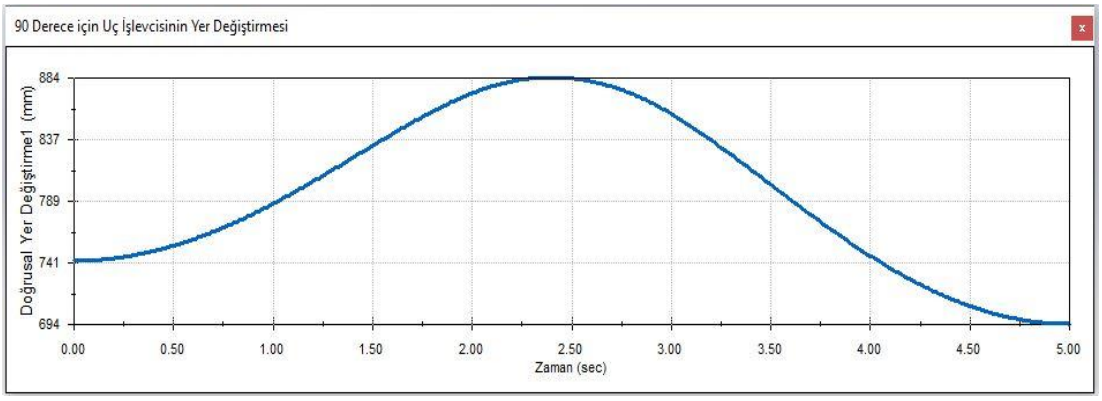
4.2. Kinematik Analiz

3 Eksenli Robot Manipülatörün kinematik analizini gerçekleştirmek için SolidWorks 2021 Premium programı kullanıldı. Açısal hız analizini gerçekleştirmek için SolidWorks programının hareket analizi uygulamasından yararlanıldı. Kinematik analiz olarak Şekil 3.28.'deki $\theta 2$ ve $\theta 3$ açılarının $90°$ olacak şekilde açısal hız kesit olarak verildi. Hareketli motorlara kesitler, 0-2 saniye arasında yükselen rampa olarak, 2-3 saniye sabit hız ve 3-5 saniye arası ise düşen kenar olarak tanımlandı (Şekil 4.11.), bu şekilde başlangıç konumundan uç işlevcinin son konumuna kadar olan kısmını 5 saniye içinde tamamlanması gerçekleştirildi.



Şekil 4.11. 90 Derece için Açısal Hız

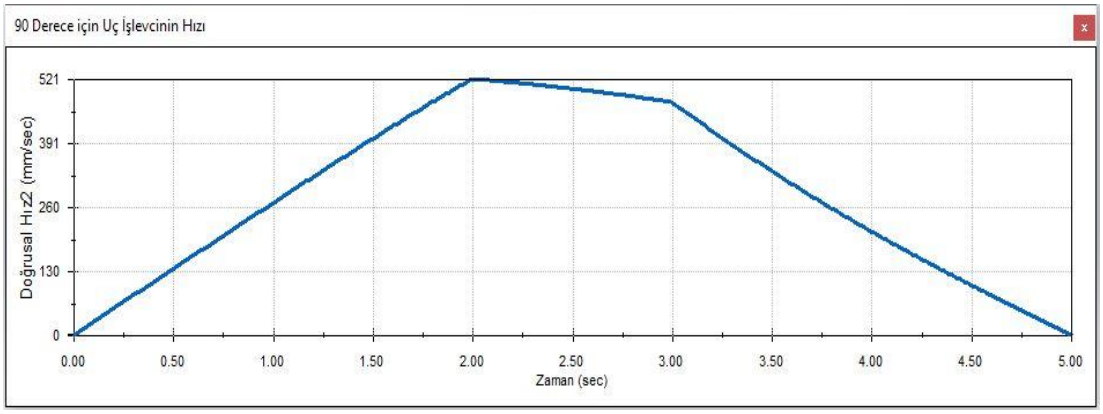
Başlangıç noktasından belirtilen bu konuma kadar olan yer değiştirme için analiz yapıldı. Bu analiz neticesinde uç işlevcinin orijine göre olan yer değiştirme grafiği Şekil 4.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 4.12. 90 Derece için Uç İşlevcisinin Yer Değiştirmesi

Şekil 4.12.'de görüldüğü üzere uç işlevcinin orijine göre olan uzaklığı 0 saniyesinde yaklaşık 741mm iken 5. saniyede yaklaşık 694mm olmuştur.

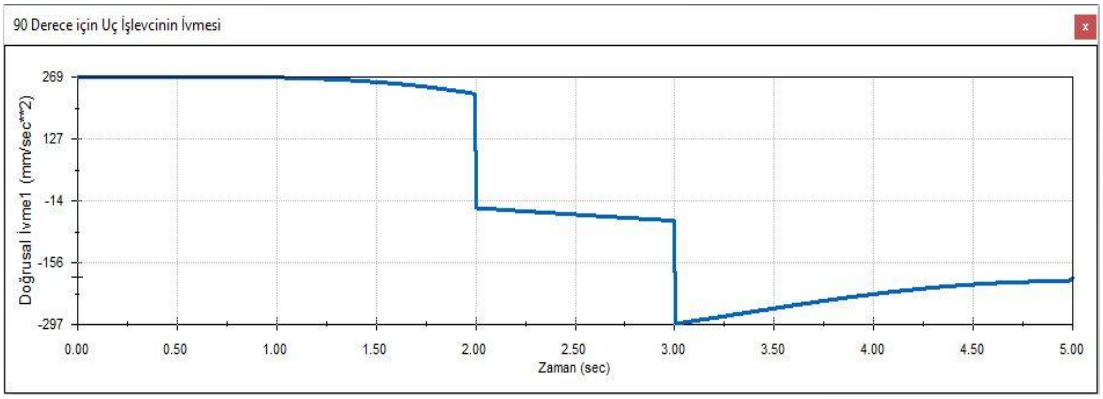
Kinematik analiz için ayrıca hızın da hesaplanması gereklidir. Bu hesaplama için Şekil 3.28'deki $\theta 2$ ve $\theta 3$ açılarının $90°$ olacak şekilde açısal hız kesit olarak verildi. Açısal hız analizini gerçekleştirmek için SolidWorks programının hareket analizi uygulamasından yararlanıldı. Hareketli motorlara kesitler, 0-2 saniye arasında yükselen rampa olarak, 2-3 saniye sabit hız ve 3-5 saniye arası ise düşen kenar olarak tanımlandı (Şekil 4.11.), bu şekilde uç işlevcinin başlangıç konumundan son konumuna kadar olan kısmını 5 saniye içinde tamamlanması gerçekleştirildi.



Şekil 4.13. 90 Derece İçin Uç İşlevcinin Hızı

Yapılan doğrusal hız analizinde Şekil 4.10.'da görüldüğü üzere 2. saniyede en yüksek değere ulaşmış olup hız değeri 521 mm sn^{-1} olduğu görülmüştür.

Kinematik analiz için hesaplanması gereken bir diğer analiz ise ivmedir. İvme için Şekil 3.28'deki $\theta 2$ ve $\theta 3$ açılarının $90°$ olacak şekilde açısal hız kesit olarak verildi. Başlangıç noktasından belirtilen bu konuma kadar olan 5 saniyelik süre için uç işlevcinin ivme analizi yapıldı. Bu analize göre olan uç işlevcinin ivme grafiği Şekil 4.14.'te gösterilmiştir.

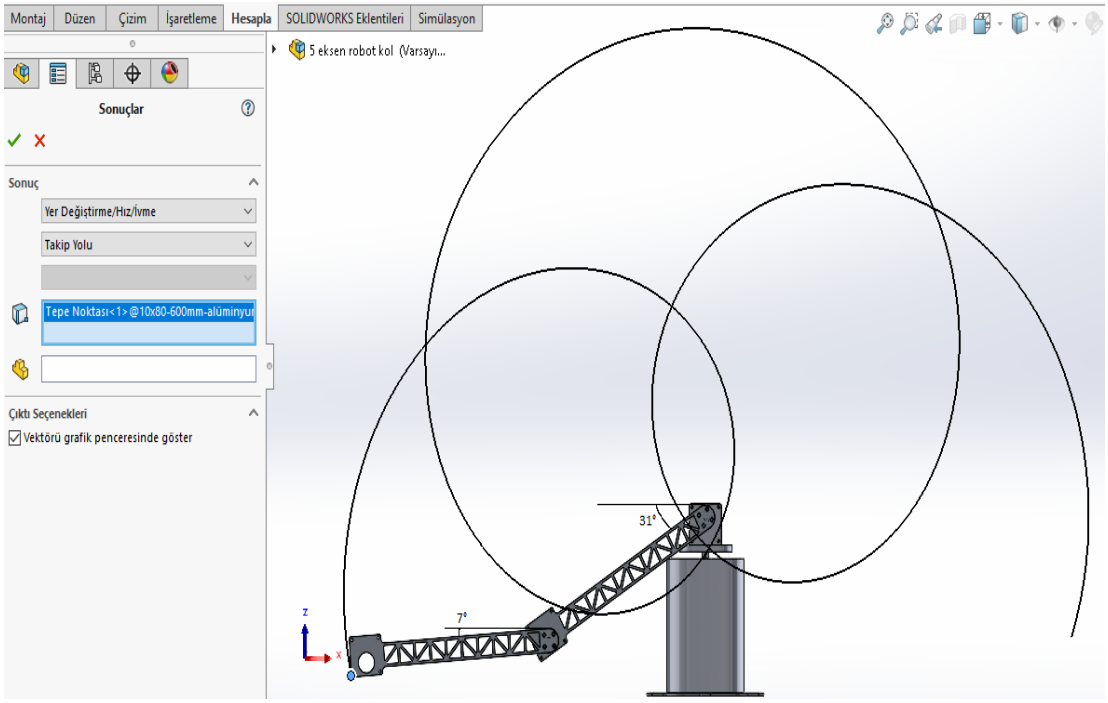


Şekil 4.14. 90 Derece için Uç İşlevcinin İvmesi

Şekil 4.14.'de görüldüğü gibi 0-2 saniye arasında robot manipülatörün kolları hızlanma aşamasındadır bu durumda ivme değeri pozitif yönde olmuştur. 2-3 saniye aralığında hız sabit olduğundan ivme de 0' yakın olmuştur daha sonrasında ise motor durmaya yönelik direnç gösterdiğinden ivme de negatif yönde değer almıştır.

4.3. Çalışma Alanı

3 Eksenli Seri Manipülatörün Solidworks 2021 Premium programında montajı yapılarak uç işlevci kısmının takip edeceği, erişebileceği takip yolu belirlenmiş oldu. Şekil 4.15.'i incelediğimizde 1. kol saat yönünde veya tersi yönünde 31°, 2. kol ise 7° hareket ettiğinde uç işlevcisi zemine ulaştığından bu noktalar sınır noktasıdır. Bu sınır noktalarının üstünde kalan Şekil 4.15.'de çizilmiş olan yayların içinde kalan alanlar çalışma alanı olarak belirlendi. Bu işlem için "Hareket Analizi" kısmından "Sonuçlar ve Grafikler" butonuna tıklıyoruz sonra solda açılan "Sonuçlar" penceresinden "Yer Değiştirme/Hız/İvme" ve daha sonrasında da "Takip Yolu" seçenekleri seçilerek istenilen nokta işaretlendi böylece Şekil 4.15.'deki çalışma alanı elde edildi.



Şekil 4.15. 3 Eksenli Seri Manipülatörün Çalışma Alanı

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Analizler neticesinde, birinci tasarımın kütlesi gereğinden çok fazla olduğu ve imalatta malzeme israfına yol açar. Ayrıca daha güçlü motorların seçilmesi gerektiğinden dolayı daha fazla maliyete sebep olur, daha fazla güçten dolayı da enerji israfına yol açacağı görülmüştür. Birinci tasarım üzerinde yapılan optimizasyonun etkileri ikinci tasarım üzerinde net bir şekilde görülmüştür.

3 Eksenli Seri Manipülatörün her bir kolunda optimizasyon neticesinde, birinci tasarıma oranla %71.86 oranında hafifletme sağlanmıştır ve maliyeti düşürülmüştür. Ayrıca optimizasyon tasarımları üzerinde yapılan hareket analizleri ile motor tork gereksinimi üçüncü tasarımda birinci tasarıma göre %37 oranında azaltılarak daha küçük ve daha hafif motor kullanma imkanı sağlanmıştır. Yapılan statik optimizasyon ve hareket analizi optimizasyonu ile daha verimli bir sistem tasarlanmıştır.

Kinematik analiz hesaplamasını matematiksel yol ile yapmak zor ve hataya açık olduğundan SolidWorks programı yardımıyla yapıldı ancak analiz için özellikle dinamik analizler için Ansys programı ile yapılması daha uygundur.

Yapılan bu çalışmadaki 3 eksenli robot manipülatör herhangi bir uç işlevcisi olmadan tasarlanmıştır. Bu çalışmaya ilaveten uç işlevci olarak kaynak torcu, boyama başlığı, lazer kesici başlığı, tutucu (gripper) vb. bağlanabilir. Fakat burada dikkat edilecek husus uç işlevcisinin 1kg ve daha ağır olmamasıdır.

Bu çalışmada 1. uzuv için kullanılan Z eksen step motoru maliyetinden dolayı redüktörsüz olarak seçilmiştir fakat redüktörlü step motorun kullanılması, hem daha hassas bir dönme sağlayacak hem de daha sağlam ve yüksek torklu bir yapı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

ALP O E., 2012. Genel Amaçlı Robot Kolu Tasarımı. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 118s.

BUĞDAY, M., 2018. Endüstriyel Robot Kollarının Tasarımından Kaynaklanan Ölü Yüklerin Sonlu Elemanlar Yöntemi İle Optimize Edilmesi Ve İşletme Maliyetlerine Etkisinin İncelenmesi. Necmettin Erbakan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.

BUĞDAY, M., 2019. Design Optimization Of İndustrial Robot Arm To Minimize Redundant Weight. Engineering Science And Technology, An International Journal, 22(1), 346-352.

CAO F., 2015. A Novel 5-DOF Welding Robot Based on SCARA. Shanghai Jiao Tong University, Robotics Institute, 10th Conference on Industrial Electronics and Applications, Shanghai.

ÇAKAR O., 2020. Endüstriyel Tabanlı Yeni Bir Robot Kol Tasarımı. Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyon, s. 23-87.

ÇAKMAK T., 2013. Endüstriyel Robotlar ve Sınıflandırılması. Elektrik Port Web Sitesi. [Erişim Tarihi: 05 11 2022.] https://www.elektrikport.com/universite/endustriyel-robotlar-1-bolum/11295#ad-image-0

ÇALIŞ A., 2013. Mikro-Fiber Yapılar Kullanan Tırmanan Robotun Tasarımı, Optimizasyonu ve Üretimi. Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış).

DEMİRCİ A., 2012. Design and Analysis of A Scara Robot. Graduate School of Naturel and Applied Sciences of Dokuz Eylül University, Master Thesis, İzmir.

DOĞAN A., 2019. Scara Robot Tasarımı, İmalatı ve Uygulaması. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.

GÖREN A., BAŞER Ö., 2008. İdeal Mekatronik Mühendisliği Eğitimi ve Hidrolik–Pnömatik. Uluslararası Hidrolik Pnömatik Kongresi, 307, 318.

KATO M., 1990. A Study For Robot Application in Agriculture. Department Of Agricultural Engineering, Tokyo University of Agriculture, Japan.

KETEN A., 2020. Direksiyon mafsalının yapısal optimizasyon yöntemleri ile hafifliğinin sağlanması. Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), Bursa.

KHAN, W.A. and J. ANGELES, 2006. The Kinetostatic Optimization of Robotic Manipulators: The İnverse and The Direct Problems.

KHOSRAVI F., AKTAŞ E., CANTÜRK E., AKYEMİŞ M., 2021. Kaynak Yapımında Kullanılan Robotik Kolun Maliyetinin Azaltılması İçin Bir Öneri. Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Araştırma Makalesi, Bartın.

KOÇ S., DOĞAN C., 2017. Beş Eksenli Bilyalı Vidalı Mil Tahrikli Robot Kolun Tasarımı ve Mach3 Kartıyla Kontrolü. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 7(1/2), 37-47.

ÖNCÜ L., YANANGÖNÜL A., 2008. Uçak-Uzay Yapılarının Statik Aerolastik Kriter ile Çok Disiplinli Tasarım Optimizasyonu. II. Ulusal Havacılık ve Uzay Konferansı, 15-17 Ekim, İTÜ, İstanbul.

ÖZER O., 2018. Programlanabilir Hareketli Üretim Platformu Montaj Otomasyonu İçin Yüksek Erişimli Hafifleştirilmiş Scara Robot Geliştirilmesi ve Prototip Uygulaması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 84s.

PUPAZA C., CONSTANTIN G., NEGRILLA Ş., 2014. Computer aided engineering of industrial robots. Proceedings in Manufacturing Systems, 9(2), 87-92.

SHEVKAR, P., BANKAR, S., VANJARE, A., SHINDE, P., REDEKAR, V. ve CHIDREVAR, S., 2019. A Desktop SCARA Robot using Stepper Motors. International Research Journal of Engineering and Technology, 6(2) : 132-139.

ŞAHİN, Y., 2006. Scara Tip Bir Robotun Yörünge Kontrolünde PID Kontrol Uygulanması. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya, 81s.