

**KIRIK KEMİKLERİN HİZALANMASI
OPERASYONLARI İÇİN
YARDIMCI ROBOT TASARIMI**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU

**KIRIK KEMİKLERİN HİZALANMASI OPERASYONLARI İÇİN
YARDIMCI ROBOT TASARIMI**

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2014**

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU tarafından hazırlanan “KIRIK KEMİKLERİN HİZALANMASI OPERASYONLARI İÇİN YARDIMCI ROBOT TASARIMI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ahmet H. ERTAŞ

Tez Danışmanı, Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/12/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Yrd. Doç. Dr. M. Kamil TURAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ahmet H. ERTAŞ (KBÜ)

İmzası



...../...../2014

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Mustafa BOZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KIRIK KEMİKLERİN HİZALANMASI OPERASYONLARI İÇİN YARDIMCI ROBOT TASARIMI

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd.Doç.Dr. Ahmet H. ERTAŞ

Aralık 2014, 78 sayfa

Kemik kırıkları, yaygın bir yaralanma neticesidir ve bu kırıklar yaşlı bireyler hariç kolayca iyileşebilmektedir. Bununla beraber kol ve bacaklardaki uzun kemiklerde (Humerus, Radius, Femur, Tibia) meydana gelen kırıkların harici (external) fiksator ile tedavisinde, kemiklerin uygun pozisyona getirilmesi (redüksiyon) önem arz etmekte olup süreç uzun sürebilmekte ve dolayısıyla bu işlem sırasında hem sağlık personeli hem de hasta oldukça fazla radyasyona maruz kalabilmektedir. Ayrıca, yaşlı hastalarda kemiklerin uygun pozisyonlanmanın sağlanamadığı durumların düzeltilmesi için ikinci bir operasyona ihtiyaç duyulmakta; bu durum ise yaşlı hastaların ölümüne dahi sebep olabilmektedir. Bu çalışmada, bahsedilen bu olumsuzluklardan kurtulmak ve daha kaliteli bir redüksiyon için yardımcı bir robot tasarlanmış ve hizalama işlemi hasta manken üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler : Kemik kırıkları, eksternal fiksator, radyasyon, kaliteli redüksiyon, robot tasarımı.

Bilim Kodu : 914.1.090

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

DESIGN OF AN ASSISTANT ROBOT FOR ALIGNMENT OF FRACTURED BONES IN MEDICAL OPERATIONS

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Ahmet H. ERTAŞ

December 2014, 78 pages

Bone fractures are very common injuries and they normally heal in most people without problems except for elderly ones. However, bringing the fractured bones in the appropriate position (reduction) during treatment is rather difficult and demanding work because bone fractures are almost always a result of a severe injury. Accordingly, both the personnel and also patients will be exposed to radiation. If a fracture does not heal in a normal alignment then it can be needed a second operation which sometimes can cause death for elderly people. In this work, an assistant robot has been designed and used to get rid of the afore-mentioned negative effects in medical operations of fractured bones.

Key Words : Bone fractures, external fixator, radiation, successful reduction, design of a robot.

Science Code : 914.1.090

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ahmet H. ERTAŞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Robotun tasarlanması ve imalatının yapılmasında büyük emeği olan Makine Mühendisi Hakan KAHVECİOĞLU'na, elektronik devreleri ve bilgisayar programını yapan Elektronik Yüksek Mühendisi İdris SANCAKTAR'a, tıbbi tecrübesi ile yönlendiren ve destek olan Ortopedi ve Travmatoloji Uzmanı Op. Dr. Burak TUNA'ya ve imalattaki katkılarından dolayı Makine Teknisyeni Turgut KOÇBIYIK' a teşekkür ederim. Ayrıca tez komitemde yer alan, tezimi değerlendirip fikirlerini benimle paylaşarak tezimin olgunlaşmasında rol oynayan çok değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Muhammed Kamil TURAN'a ve Yrd. Doç. Dr. Gökhan SUR' a teşekkürler ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
KEMİKLER VE KEMİK KIRIKLARI	3
2.1. KEMİKLER	3
2.2. KEMİK KIRIKLARI	5
2.2.1. Kırık Tipleri	7
2.2.2. Kırık Tedavileri	8
2.2.3. Kırığın Tedavi Şekilleri	8
BÖLÜM 3	10
FİKSATÖRLER.....	10
3.1. KULLANIM YERLERİNE GÖRE FİKSATÖR ÇEŞİTLERİ	10
3.2. EKSTERNAL FİKSATÖRLER.....	11
3.2.1. Çivili Eksternal Fiksatorler	12
3.2.2. Ring (Halka) Eksternal Fiksatorler	13
3.3. EKSTERNAL FİKSATÖRLERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI..	14
3.3.1. Eksternal Fiksatorlerin Avantajları ve Tercih Edilme Gerekçeleri	14

Sayfa

3.3.2. Eksternal Fiksatorlerin Dezavantaj ve Tercih Edilmeme Gerekçeleri ...	15
3.3.3. Eksternal Fiksator Kullanım Durumları	16
3.4. EKSTERNAL FİKSATÖRDE KIRIK İYİLEŞMESİ	17
3.5. REDÜKSİYON	17
BÖLÜM 4	19
ROBOTUN TASARIMI VE MODELLENMESİ	19
4.1. MEKANİK KISIM VE ROBOTUN TANITIMI	19
4.2. KUMANDA ÜNİTESİ	27
4.3. BİLGİSAYAR YAZILIMI	27
BÖLÜM 5	28
ROBOTUN İLERİ VE TERS KİNEMATİĞİ	28
5.1. ROBOTUN İLERİ KİNEMATİĞİ	29
5.2. ROBOTUN TERS KİNEMATİĞİ	31
5.3. ROBOTUN İLERİ VE TERS KİNEMATİK ÖZELLİĞİ	31
BÖLÜM 6	32
HAREKET MEKANİZMALARI	32
6.1. DOĞRUSAL HAREKET MEKANİZMALARI	32
6.1.1. Lineer Kızaklı Modül	32
6.2. DAİRESEL HAREKET MEKANİZMALARI	44
6.2.1. Harmonik Redüktör	44
6.3. ELEKTRONİK KONTROL BİRİMLERİ	50
6.3.1. Güç Kaynağı	50
6.3.2. Encoder	51
6.3.3. Step Motor (57HS30-60)	54
6.3.4. Step Motor Sürücüsü	59
6.3.5. Kontrol Kartı	61
BÖLÜM 7	64
7.1. NÜMERİK ÇALIŞMALAR	64

	<u>Sayfa</u>
7.1.1. Modelin Geometrisi ve Malzeme Özellikleri	64
7.1.2. Modelin Mesh (Ağ) Yapısı	65
7.1.3. Modelin Sınır Şartları ve Yüklemeler	66
7.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	73
7.3. SONUÇ VE ÖNERİLER	74
7.3.1. Sonuçlar	74
7.3.2. Öneriler	75
KAYNAKLAR	76
ÖZGEÇMİŞ	79

ŞEKİLLERDİZİNİ

Sayfa

Şekil2.1.Uzun kemikler.....	4
Şekil2.2.Kırık oluşumu şekilleri	6
Şekil3.1.Klempli fiksator	11
Şekil3.2.Halka fiksator.....	12
Şekil3.3.Fiksator fotoğrafı	13
Şekil3.4.Manken üzerinde operasyonu görüntüsü	17
Şekil4.1.Robot detayları-1	20
Şekil4.2.Robot detayları-2	21
Şekil4.3.Taşıyıcı sehpa.....	22
Şekil4.4.Robotun hareketlerinin şematik görünümü.....	23
Şekil4.5.Robot resmi-1	24
Şekil4.6.Robot resmi-2	25
Şekil4.7.Robot iskeleti	25
Şekil6.1.Lineer kızaklı modül	31
Şekil6.2.Yatay hareket mekanizması-1	32
Şekil6.3.Yatay hareket mekanizması-2.....	33
Şekil6.4.Dikeyhareket mekanizması.....	34
Şekil6.5.Lineer modül montaj fotoğrafı (yatay ve dikey hareket).....	35
Şekil6.6.Lineer modül montaj fotoğrafı (dikey hareket)	36
Şekil6.7.Lineer modül montaj fotoğrafı-1 (yatay hareket)	37
Şekil6.8.Lineer modül montaj fotoğrafı-2 (yatay hareket)	38
Şekil6.9.Lineer modül montaj fotoğrafı-1 (yatay ve dikey hareket).....	39
Şekil6.10.Lineer modül montaj fotoğrafı-2 (yatay ve dikey hareket).....	40
Şekil6.11.Lineer modül montaj fotoğrafı-3 (yatay ve dikey hareket).....	41
Şekil6.12.Lineer modül montaj fotoğrafı-4 (yatay ve dikey hareket).....	42
Şekil6.13.Harmonik motor.....	44
Şekil6.14.Harmonik motor fotoğrafı-1	46
Şekil6.15.Harmonik motor fotoğrafı-2	47

	<u>Sayfa</u>
Şekil6.16.Harmonik motor montaj fotoğrafı	48
Şekil6.17. Güç kaynağı	49
Şekil6.18.Encoder ve sürücü devresi-1	52
Şekil6.19.Encoder ve sürücü devresi-2	53
Şekil6.20. Step motorlar ve sürücü devresi.....	56
Şekil6.21. Step motor (57HS30-60).....	57
Şekil6.22. Step motorlar (57HS30-60 ve SY57STH51)	57
Şekil6.23. Step motor tork-frekans grafiği.....	58
Şekil6.24.Step motor sürücüsü.....	58
Şekil6.25.Kontrol kartı çalışma prensibi şematik görünümü.....	61
Şekil6.26.Robot kontrol ve veri toplama devresi.....	62
Şekil7.1.Robotun Invertor paket programıyla çizilmiş modeli.....	65
Şekil7.2.Tabanın sabitlemesi.....	66
Şekil7.3.Robota maksimum yüklerin uygulanması	67
Şekil7.4.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (X yönünde).....	68
Şekil7.5.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Y yönünde)	68
Şekil7.6.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Z yönünde)	69
Şekil7.7.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Eşdeğer)	69
Şekil7.8.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (1.asal gerilme)	70
Şekil7.9.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (3.asal gerilme)	70
Şekil7.10.Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (eşdeğer gerilme).....	71
Şekil7.11.Robotun kırık kemikleri hizalama işlemi yaparken çekilmiş fotoğrafı.	73

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 6.1.Harmonik motor dişli oranı tablosu	44
Çizelge 6.2.Harmonik motor teknik özellikleri.....	45
Çizelge 6.3. Güç kaynağı teknik özellikleri	50
Çizelge 6.4. Encoder mekanik özellikleri	51
Çizelge 6.5. Hibrit step motorun genel özellikleri	54
Çizelge 6.6. 57mm hibrit step motorun özellikleri	55
Çizelge 6.7. Step motor sürücüsünün teknik özellikleri	59
Çizelge 7.1.Malzeme özellikleri	64

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Nm	: Newtonmetre
μm	: Mikrometre
$^{\circ}$: Derece
i	: Dişli oranı
rpm	: Revolutionperminute (Dakikadaki devir sayısı)
kg	: Kilogram
arcmin	: Boşluk oranı
rad	: Radyan
$^{\circ}\text{C}$:Santigrad derece
N	: Newton
V	: Volt
A	: Amper
W	:Watt
V _{p-p}	:Peaktopeakvoltage (tepeden tepeye voltaj)
ms	: Milisaniye
VAC	:AC Voltaj (Alternatif akım gerilimi)
VDC	:DC Voltaj (Doğru akım gerilimi)
Hz	: Hertz
mA	:Miliamper
RH	:Relativehumidity (Bağıl nem)
min	: Minimum
cycle	: Dönüş
KVAC	:Kilovolt (Alternatif akım için)
Ohm	:Direnç birimi
mm	: Milimetre
μF	:Microfarad

m : Metre
s : Saniye
°F :Fahrenheit derece
max : Maximum
cm :Santimetre
pps : Pulse Per Second (Frekans)
oz : Ölçü birimi (1 oz = 28 gram)
ft :Feet
kHz : Kilo Hertz
cpr :Adet-çift
 Ω : Ohm
mH :Milihenri
g :Gram

KISALTMALAR

- UL : Underwriters Laboratories (Sigorta Laboratuvarları)
- TUV : Technischer Überwachungsverein (Teknik Denetim Kurumu)
- EN : European Norm (Avrupa Normu)
- CISPR : The International Special Committee on Radio Interference (Radyo Girişimi Uluslararası Özel Komitesi)
- IEC : The International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
- IP : Ingress Protection (Koruma Sınıfı)
- TS : Türk Standardı
- CW : Clockwise (Saat Yönünde Dönme)
- PIC : Peripheral Interface Controller (Giriş Çıkış İşlemcisi)
- USB : Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veriyolu)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uzun kemik kırıklarının tedavisinde kullanılan yöntemlerden birisi de harici fiksator uygulamasıdır. Harici fiksator uygulamalarında kemiklerin konumlandırılma işlemi genellikle zahmetli ve uzun zaman alan bir süreçtir. Hatta bazı durumlarda istenen redüksiyon sağlanamadığı için fazladan kesiklerin açılması bile söz konusu olmaktadır. Bu itibarla kırık kemiklerin redüksiyonunun büyük önem taşıdığı ve bunun gerçekleştirilmesi amacıyla yapılan çalışmaların ne denli önemli olduğu açıktır.

Bu çalışma ile tasarımı yapılan ve hasta manken üzerinde çalışması denetlenen robot sayesinde kemiklerin yeniden pozisyonlandırılmasının oldukça rahat ve çok daha başarılı bir şekilde yapılacağı gösterilmiştir.

Günümüzde insan kuvvetiyle yapılan redüksiyon işlemi, robot sayesinde uzaktan kumanda ile yapılabilecektir. Dahası insanın yorulması veya kuvvetinin yetmemesi gibi olumsuz etkiler robot ile ortadan kalkmış olacaktır. En önemlisi de robot kullanımı ile manuel olarak yani el ile yapılabilenden çok daha hassas bir pozisyonlandırma mümkün olacaktır.

Bunun dışında kemiklerin hizalanması işleminin kısalmasına bağlı olarak operasyon süresi oldukça azalacak, hastanın konforu ve iyileşme süreci daha iyi bir seviyeye çıkacaktır.

Yine operasyon süresinin kısalmasına bağlı olarak hastanın alacağı radyasyon miktarı en aza inecek, işlemin uzaktan kumanda ile hastadan ayrı bir odada gerçekleştirilmesi nedeni ile de sağlık personeli hiç radyasyona maruz kalmayacaktır.

Bu çalışmada öncelikle kırık kemiklerin hizalanması işlemlerinin günümüzde yapılış Şekilleri ile ilgili genel bir bilgi verilmiştir. Daha sonra bu işlem için kullanılan temel fiksatorler ve temel özellikleri detaylandırılmıştır.

Sonrasında bu çalışma ile önerilen hizalama işleminde robot kullanımının önemi ve bu maksatla geliştirilen robotundetaıları hem nümerik olarak hemde dizayn aşamasında imalat açısından aktarılmıştır.

BÖLÜM 2

KEMİKLER VE KEMİK KIRIKLARI

2.1. KEMİKLER

İnsan vücudunun temel yapı taşları kemiklerdir. Kemikler hem iskelet sisteminin temel yapı taşları olması açısından hemde organların konumlandığı/taşındığı yapılar olması nedenlerinden dolayı büyük öneme sahiptirler. Bu itibarla yaralanmalara bağlı olarak oluşan kırık kemiklerin tedavisi de insanın yaşamını sürdürmesi açısından özellikle yaşlı insanlarda büyük önem taşımaktadır. Öyleki yaşlı bir bireyin kemiriklere bağlı olarak hayatını kaybetmesi sözkonusu olabilmektedir [1].

Kemik sayısı bireyin yaşına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin yeni doğan insanda 270 adet kemik varken; 14 yaş civarlarında 256, erişkinlerde ise 206 adet kemik vardır [2]. Bahsi geçen kemiklerin sınıflandırılması sahip oldukları geometrik yapı, yürütmüş oldukları görev, sahip oldukları yapı v.b. unsurlara bağlı olarak sınıflandırılmaktadır. Genel olarak kemikler iki ana unsur temelinde (bölgesel ve geometrik olarak) aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [2]. Bununla beraber kemikleri yapıları bakımından da üçüncü bir grup olarak sınıflandırmak mümkündür. Kemik kırıkları temelli yaralanmalarda genel olarak uzun kemikler önem arz etmektedir. Şekil 2.1’de uzun kemiklerin vücuttaki yerleri ve adları verilmiştir.

Kemiklerin Sınıflandırılması

1. Bölgesel Sınıflama
 - 1.1. Aksiyal İskelet Kemikleri
 - 1.1.1. Kafatası
 - 1.1.2. Vertebralar
 - 1.1.3. Costalar
 - 1.1.4. Sternum

1.2. Appendikülerİskelet Kemikleri

1.2.1. Üst Extremitte Kemikleri

1.2.2. Omuz Kavşağı Kemikleri

1.2.3. Kol Kemikleri

1.2.4. Ön Kol Kemikleri

1.2.5. El Kemikleri

1.3. Alt Extremitte Kemikleri

1.3.1. Kalça Kemikleri

1.3.2. Uyluk Kemikleri

1.3.3. Bacak Kemikleri

1.3.4. Ayak Kemikleri

2. Şekline Göre Sınıflama

2.1. Uzun Kemikler

2.2. Kısa Kemikler

2.3. Yassı Kemikler

2.4. Düzensiz Kemikler

2.5. Sesamoid (susamsı) Kemikler

2.6. Pnömotik (havalı) Kemikler

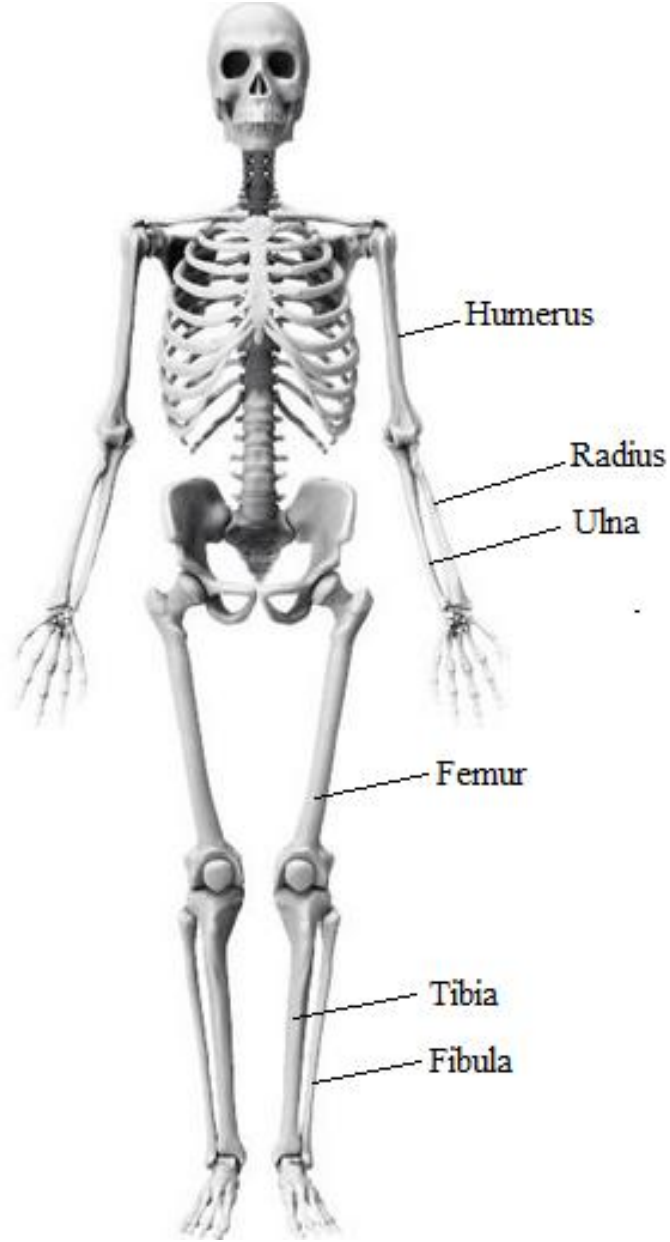
2.7. Aksesuar Kemikler

3. Yapılarına Göre Sınıflama

3.1. Periyost Kemikler

3.2. Kompakt Kemikler

3.3. Süngerimsi Kemikler



Şekil 2.1.Uzun kemikler [2].

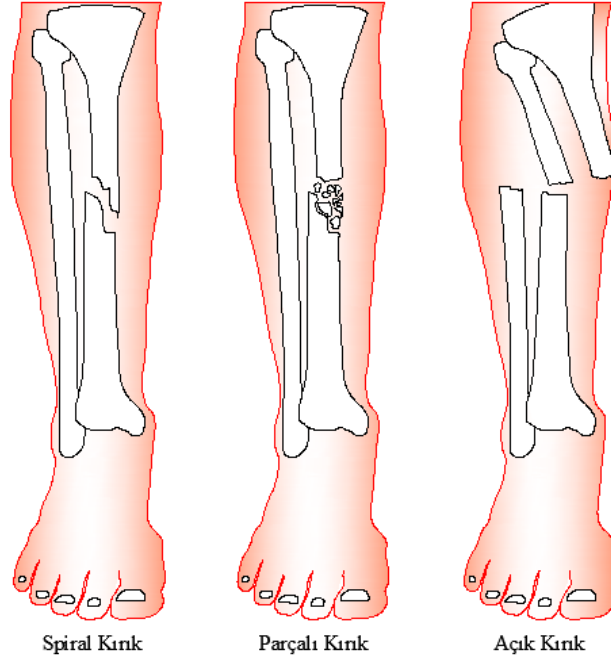
2.2. KEMİK KIRIKLARI

Kemiklerin anatomik durumlarının yada bütünlüklerinin bozulması kırık olarak tanımlanmaktadır. Kemikler yük ve zorlama durumlarında eğilebilecek yapıdadırlar. Zorlama aşırı olursa kemiklerin bütünlüğü bozulur. Bir başka ifade ile sağlam kemikler dayanıklı olmalarına rağmen aşırı zorlanmaları durumunda kırılabilirler. Bununla beraber hastalık veya kullanmama sonucu kemiklerin kırılmaları çok daha kolay olur[3].

Kemik kırıklarının oluşumunda farklı unsurlar vardır. Bahsi geçen bu unsurlar üç temel grupta toplanabilir. Bunlar:

1. Travma neticesinde oluşan kırıklar. Bu kırıklara düşme, trafik kazaları, spor yaralanmaları v.b. sebep olmaktadır.
2. Osteoporoz kırık oluşumuna sebep olan diğer bir unsurdur. Osteoporozkırık oluşumunu kolaylaştırır. Kemikler travmaya karşı dirençlerini yitirdikleri için kolaylıkla kırılırlar.
3. Son grup ise yorulma kaynaklı kemik kırıklarıdır. Burada ardı ardına gelen yüklenmeler kemikte yorgunluk yapar ve kırık oluşumuna sebebiyet verebilir. Bu tip kırıklara stres veya yorgunluk kırığı denir. Uzun mesafe yürüyenlerde ve koşanlarda görülür[3].

Kemik kırıklarında önem arzeden diğer bir unsur kırık oluşum şekilleridir. Kırık oluşum şekilleri tedavi şeklini ve süreci etkileyen çok önemli bir unsurdur. Bu kırıklar kırıkların oluşum şekillerine bağlı olmalarının yanında, bireyin yaşına ve kemik yapısına bağlı olarak da gerçekleşmektedir. Oluşum şekillerine göre kırıkları Spiral, Parçalı ve Açık kırıklar olarak üç temel guruba ayırabiliriz. Şekil 2.2’de kırık oluşumu şekilleri gösterilmiştir. Şekildende anlaşılacağı üzere Spiral ve Açık kırıklar tedavi sürecinde hem müdahale anlamında hemde iyileşme süreci olarak Parçalı kırıklara nazaran daha olumlu tepkiler verecektir. Parçalı kırıkların oluşumunun temel sebebi alınan darbe olmakla beraber, osteoporoz da diğer önemli bir unsurdur.



Şekil 2.2.Kırık oluşum şekilleri.

2.2.1. Kırık Tipleri

Şekil 2.2’de gösterilen kırık oluşum şekillerinde temel unsur alınan darbeler sonucu kemiğe etkiyen kuvvettir. Kırığın biçimi onu meydana getiren kuvvet ile orantılıdır. Örneğin şiddetli olmayan bir kuvvet kırık oluşturmuşsa, bu durumda kırık parçaları birbirinden ayrılmayacaktır, bu tür kırıklara çatlak denir. Öte yandan eğer darbe sonucu kemiğe etki eden kuvvet büyük ise, kemikler birbirinden ayrılırlar; bir başka ifade ile kemikler çok parçalı olur[3]. Kemiklerin çok parçalı olmasının yanında parçalı kırık oluşumunda sözkonusu olabilir. Bu ise ya kemiğe etki eden kuvvetin şiddeti ile yada osteoporoz ile açıklanır. Bütün bunların dışında kemik kırıkları sonucunda eğer ciltte bir yaralanma sözkonusu değilse "kapalı kırık" aksi durumda yani ciltte yara oluşmuşsa, "açık kırık" sözkonusudur.

Yapılan bu sınıflandırmanın dışında kemiklerde oluşan kırıkların geometrik yapılarına yada kırık türlerine bağlı olarak farklı bir gruplandırmadan bahsedilebilir. Bahsi geçen bu kırıklaraşağıdaki gibi sınıflandırmak mümkündür [3]:

1. Kırık çizgisi kemiğin uzun eksenine dik ise "transvers kırık", eğik ise "oblik kırık"adını alır.
2. Kemiğin bir tarafı kırılır, diğer tarafı eğilir ise bu kırığa "yaş ağaç kırığı" adı verilir. Bu tür kırıklaresneklik değerleri bir hayli fazla olan çocuklarda görülmektedir.
3. Kemik, kırık sonucu üç veya daha fazla parçaya ayrılmışsa, bunlara "parçalı kırık" denir.

2.2.2. Kırık Tedavileri

Günümüzde halihazırda kullanılan kırık tedavisi aşağıdaki gibi özetlenebilir: Öncelikle kırık bölgesinin röntgen filmi çekilip incelenerek kırığın yeri ve tipi belirlenir. Sonrasında kırığın tedavi edilebilmesi için kırık parçaları tamamen el yordamı ile uygun duruma getirilmeye (redüksiyon) çalışılır. Daha sonra gerekli durumlarda röntgen filmine tekrar başvurularak redüksiyon işleminin gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilir. Son olarak eğer redüksiyon işlemi başarılı ise kemikler tespit edilen durumda kaynayıncaya kadar hareketsiz tutulur.

2.2.3. Kırığın Tedavi Şekilleri

Kırık tedavisinde günümüzde kırığın oluşumu, şekli ve türüne bağlı olarak dört farklı yöntem[3] kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Alçı ile tedavi:Bu yöntem kemik kırıklarında kullanılan en eski yöntem olup uygulanmasının basit ve ekonomik olması nedenlerinden dolayı günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde redüksiyonu gerçekleştirilen kemik kırıkları kaynayıncaya kadar alçı ile sarılı bir şekilde tutulur.
2. Fonksiyonel alçı veya cihaz:Bu metodun çıkış noktası "Alçı ile tedavi" yöntemidir. "Alçı ile tedavi" yönteminden farklı olarak bu tip alçı veya cihazlar, kırığa komşu eklemlerin hareketlerine tam olarak veya kısmen izin verir. Bu yöntemin "Alçı ile tedavi" yöntemine nazaran üstünlüğü olmakla beraber kullanım alanı sınırlı olup özel bazı kırıklarda uygulanmaktadır.

3. Açık redüksiyon ve içerden tespit:Bu yöntem daha önce bahsedilen "Alçı ile tedavi" ve "Fonksiyonel alçı veya cihaz" yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılır. Bu yöntem ile ilk olarak yumuşak doku kesilir ve kırık parçalar yerine konulur, sonrasında kırık kemiklerin yerlerinden oynamaması için duruma göre vidalar, çiviler, metal plaklar kullanılarak kemik parçaları birbirine ameliyat ile tespit edilir. Bu tespit için bazen kemiğin içine uzunca bir çivi yerleştirilir. Bu yöntemin enfeksiyon riski bulunmaktadır. Dahası duruma göre ikinci bir ameliyat da gerekli olabilmektedir.
4. Dışardan tespit:Bu yöntemin "Açık redüksiyon ve içerden tespit" yönteminden farkı yumuşak doku kesilmeksizin kırık bölgesinin tespitinin dışardan yapılmasıdır. Bu maksatla kırık bölgesinin altındaki ve üstündeki kemiklere vida veya teller bağlanıp sonrasında kırık kemiklerin birbirlerine metal çubuklarla bağlanması sağlanır.

BÖLÜM3

FİKSATÖRLER

Daha önce belirtildiği üzere temel olarak dört farklı kırık tedavi şekli vardır. Bunlardan "Alçı ile tedavi" ve "Fonksiyonel alçı veya cihaz" yöntemlerinde kırık kemiklerin tespiti alçı ile gerçekleştirilmekte iken "Açık redüksiyon ve içerden tespit" ile "Dışardan tespit" yöntemlerinde ise kırık kemiklerin tespiti fiksatörler yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu itibarla fiksatörler kırılan kemiklerin birleştirilmesinde, kemikleri hareketsiz yani rijit şekilde bir arada tutabilmek amacıyla, kemiğe takılan tel veya çivilerin bir desteğe bağlanması ile elde edilen sistemler olarak tanımlanırlar [4,5].

3.1. KULLANIM YERLERİNE GÖRE FİKSATÖR ÇEŞİTLERİ

Günümüzde kırık kemiklerin tespitinde duruma bağlı olarak fiksatörler kullanılmaktadır. Kullanım yerine göre fiksatörler internal ve eksternal olmak üzere iki grupta incelenebilir. Eksternal fiksatörler ayrıca düzlem sayısı ve eleman dizaynına göre de gruplandırılmıştır. Bahsi geçen bu gruplamanın detaylı görünümü aşağıda verilmiştir[4,5].

1. İç (İnternal) Fiksatörler
 - 1.1. Tel Fiksatörler
 - 1.2. Plaka Fiksatörler
 - 1.3. Vida Fiksatörler
 - 1.4. İntramodüler Çivi Fiksatörler
 - 1.5. Spinal Fiksatörler

- 2. Dış (Eksternal) Fiksatorler
 - 2.1. Düzlem Sayısına Göre Dış Fiksatorler
 - 2.1.1. Tek Taraflı (Unilateral) Fiksatorler
 - 2.1.2. İki Taraflı (Bilateral) Fiksatorler
 - 2.1.3. Üç Taraflı (Triangular) Fiksatorler
 - 2.1.4. Dört Taraflı (Quadrilateral) Fiksatorler
 - 2.2. Eleman Dizaynına Göre Dış Fiksatorler
 - 2.2.1. Pimli Fiksatorler
 - 2.2.1.1. Basit Çivili Fiksatorler
 - 2.2.1.2. Klempli (Kıskaç) Fiksatorler
 - 2.2.2. Ring (Halka) Fiksatorler
 - 2.2.3. Özel Tasarımlı Fiksatorler

3.2. EKSTERNAL FİKSATÖRLER

Eksternal fiksator, kırık kemiklerin tedavisi amacıyla vücudun dışına takılan bir cihaz olup, ilk defa 2500 yıl önce Hipokrat tarafından uygulanmıştır. Zaman içerisinde farklı kullanım çeşitleri olmakla birlikte, çok kısa sürede iyileştirdiği sonucuna varılan Ilizarov tekniği yaygın olarak uygulanmaya başlamıştır. Ülkemizde ise eksternal fiksator uygulaması ilk defa 1988 yılında yapılmıştır[5,6].

Kırık kemiğin fiksatöre bağlanabilmesi amacıyla iki veya daha fazla çivi kemiğe sabitlenir. Bazen de kemik parçalarını korumak amacıyla çivilerle birlikte veya çivi yerine teller de kullanılır. Eksternal fiksator, kemik kaynayanaya kadar kırılan kemiği doğru pozisyonda tutmak ve düzgünlüğünü korumak için kullanılır. Basit kırıklar için ortalama 6 hafta, daha ciddi durumlarda ise 1 yıl veya daha fazla süre ile sabitlendiği bölgede kalabilirler[5,6].

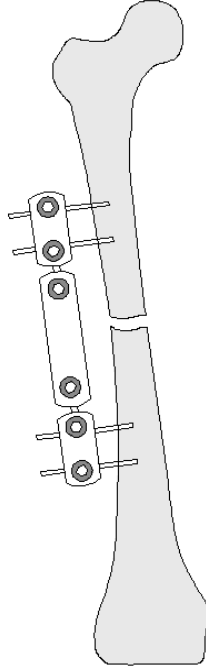
Eksternal fiksator ile tespit, uzun kemik kırıklarının tedavisinde çok yararlıdır. Ancak bu metot geleneksel tekniklerle redüksiyon ve hareketsizliğin sağlanamadığı durumlarda kullanılmalıdır [5].

Fiksatorlerin mekanik yapısının teşkilinde çivi büyüklüğü, çivi sayısı, çiviler arası mesafe, çivinin kırık sahasına uzaklığı ve çivilerin çapı tümüyle etkindir[7,8].

3.2.1. Çivili Eksternal Fiksatorler

Çivili eksternal fiksatorlerin günümüzde kullanılan birçok farklı türü vardır. Bu türlerden en önemlileri: RogerAnderson, Wagner Cihazı, Ortofiks Fiksator, AO/ASIF Fiksator v.b. dir. Çivili eksternal fiksatorler, tespit çivileri ile kemiğe birbirlerinden ayrı yerlerde, rijitliği artırdığı için de farklı açılarla çakılır ve eklemsiz sabitleme rotalarıyla tutturulur[5].

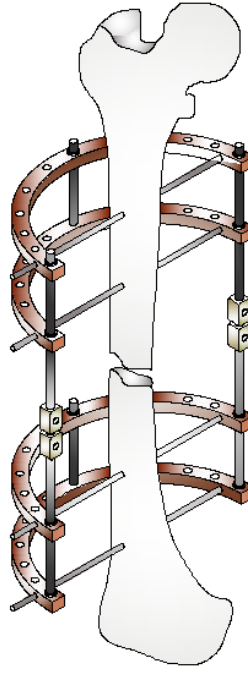
Çivili fiksatorlerden en önemlileri "Basit çivili" ve "Klempli" fiksatorlerdir. Şekil 3.1'de görüldüğü üzere Klemplifiksatorlerde cihaz uygulandıktan sonra bağlantı bölgelerinde gevşemeler olduğu için kırığın yeniden hizalanmasını gerektirdiği ve hantal yapısı hareketi engellediğinden kendine fazla bir kullanım alanı bulamamıştır [5].



Şekil 3.1.Klempli fiksator.

3.2.2. Ring (Halka)Eksternal Fiksatorler

Eleman dizaynına göre guruplandırılan ikinci tür fiksatorler "Ring (Halka)" fiksatorlerdir. Bu tür fiksatorlerin bazı türlerinde halka tam olmakla birlikte diğer türlerinde tam olmayan halkalardan çerçeveller kullanılır. Halkalar bağlantı rotlarıyla kırık bölgeyi kuşatır ve kırık kemiklerin birbirlerine göre açısai yer değiştirmelerine müsaade eder[5]. Fiksatorler tespit çivileri veya vidaları ile kemiğe sabitlenirler. Şekil 3.2'de bir halka fiksator örneği görölmektedir.



Şekil 3.2. Halka fiksator.

Çalışmamızda kırık kemiklerin hizalanması işleminde kullanılmak amacıyla üretilen fiksator Şekil 3.3'de görölmektedir. Şekil 3.3 ayrıca kullanılan yapay bir kemiği, bu yapay kemiğe sabitlenmiş çivileri ve kas etkisinin sağlanması amacıyla ilave edilen yaylarıda içermektedir.



Şekil 3.3. Fiksator fotoğrafı.

3.3. EKSTERNAL FİKSATÖRLERİN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

3.3.1. Eksternal Fiksatorlerin Avantajları ve Tercih Edilme Gerekçeleri

Eksternal fiksatorlerin avantajlarını ve buna bağlı olarak tercih edilme gerekçelerini maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [5]:

1. İnternal uygulamalarda dokularda beslenme kaybı ile birlikte enfeksiyon oluşabileceği riski ve ekstremitenin kaybedilme olasılığı nedeniyle eksternal fiksator kullanılır.
2. Parçalı olmayan kırıklarda kompresyon (sıkıştırma), parçalı kırıklarda kısalığı ve kemik kaybının olduğu kırıklarda veya ekstremitte uzatma amacıyla distraksiyon (ayrılma) yapmak için eksternal fiksator kullanılır.

3. Yaranın durumu, iyileşmesi, damar ve sinirin durumu, cilt dokularının canlılığı doğrudan gözlenebilir.
4. Tespit veya kırık yerleştirmesini bozmadan pansuman değişimi gibi müdahaleleri yapmak mümkündür.
5. Kırığın her iki tarafındaki eklemlerin hareketine hemen izin verir. Böylece ödem azalır. Eklem yüzeyinin beslenmesi kolaylaşır. Hastaların erkenden hareket etmesini sağlar. Ayrılmamış kırıklarda traksiyon ve alçı ile tedavinin aksine, eksternal fiksator ile erken hareket mümkündür.
6. Lokal anestezi ile de yöntem uygulanabilir.
7. Eksternal fiksatorler rijit tespit sağlayarak enfeksiyonun kontrol altına alınmasını sağlar.
8. Enfekte ve başarısız antroplasti (eklemi yeniden oluşturmak) neticelerinde eksternal fiksatorler ile başarılı artrodez (cerrahi girişim ile bir eklem sabitleştirilmesi) sağlanır.

3.3.2. Eksternal Fiksatorlerin Dezavantaj ve Tercih Edilmeme Gerekçeleri

Eksternal fiksatorlerin dezavantajlarını ve buna bağlı olarak tercih edilmeme gerekçelerini maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür [5,9]:

1. Çivilerin kemiğe tespitinde, çivi yolu enfeksiyonu oluşabileceği için oldukça titiz davranılmalıdır. Bu itibarla enfeksiyonu önlemek için cilt ve çivi yolu bakımı özenle yapılmalıdır.
2. Fiksatorün biçimsiz görünmesi ve hastanın estetik nedenlerle istememesi sözkonusu olabilmektedir.
3. Çivinin gerek uygulanması gerekse uygulanması sonrasında çivi civarında kırık meydana gelebilmesi.
4. Fiksator çıkarıldıktan sonra ekstremitelere yeterli korunmaz ise kaynamanın geç sürede gerçekleşmesi sonucu kemiğin olağan bir gerilmeye maruz kalması durumunda dahi refraktür (kaynamanın tam sağlanamaması) gelişebilir.
5. Fiksatorün fiyatı pahalıdır.

6. ivi yolu enfeksiyonu gelişirse daha sonra olası bir internal tespit veya artroplastik (kemikteki ağrıyı azaltmak için eklem yeniden yapılandırılması) uygulanmasında enfeksiyon riski artar.

3.3.3. Eksternal Fiksator Kullanım Durumları

Eksternal fiksatorlerin genelde iyi seçilmiş vakalarda, geleneksel açık redüksiyon-internal tespit ve alçı gibi tedavi metotlarından daha avantajlı oldukları durumlarda endikasyonu dűřünölmelidir.

Eksternal fiksator: kırık ile aynı anda yanık olması, yeniden yapılanma gerektirecek kırıkların geçici olarak tespit edilmesi, kemik kaybı gibi sonradan ayrılma gerektiren kırık operasyonlarında, ekstremiteler uzatılması işlemlerinde ve eklem kaynaştırma işlemlerinde sıklıkla kullanılır. Bunun yanında çocuklarda plak-vida ile internal fiksasyondan çıkarılmasında ikinci ameliyatı ortadan kaldırmak için de uygulanır.

Ayrıca; kırıklarla birlikte damar-sinir yaralanmalarının tamiri veya yeniden yapılandırılmalarında da yine eksternal fiksator kullanılır.

Birden çok yerinde kırığı (politravmatize) olan hastalarda eksternal fiksator ile tedavi alternatif tedavidir. Kırıklar, bu hastalarda traksiyon (kırık kemik parçalarını birbirinden uzaklaştırmak) alçı veya açık redüksiyon internal tespit ile tedavi edilebilir. Ancak bu metotlarda tespit yapabilmek zordur.

Parçalı kırıklarda internal tespite destek amacıyla da eksternal fiksator kullanılır. şiddetli kafa travması olan hastalarda devamlı kasılmalar olduğundan alçı, traksiyon veya eksternal tespit dışı yöntemlerle kırık tespiti pratik olmamakla birlikte, rijit tespit yetersizlik meydana gelir. Bu durumda geçici eksternal tespit uygulanabilir. Yine hastaların cerrahi durumlar nedeniyle nakledilmesi gerektiğinde geçici tespit amacıyla uygulanabilir. Eksternal tespit nakil sırasında kırık diziliminin bozulmasını önler[5].

3.4. EKSTERNAL FİKSATÖRDE KIRIK İYİLEŞMESİ

Eksternal fiksatorlerin konumlandırılmayı sağlamasının yanında kırık iyileşmesinde zaman zaman bazı olumsuz etkileri olabilmektedir. Örneğin, rijit eksternal tespit durumunda, kırık iyileşmesi tamamlanana kadar çivilerde yetersizlik meydana gelirse kemik diziliminin bozulması durumunda kaynamada gecikme oluşabilir ki, bu durum çivi yolu enfeksiyonu ve çivilerde gevşemeye sebebiyet verir. Dolayısıyla kemiğin yapısal tipi kırığın iyileşmesi bakımından önemlidir. Bir başka ifade ile kemiğin yapısal türlerine bağlı olarak kırıkların iyileşmesi farklılıklar gösterebilir[5].

3.5. REDÜKSİYON

Parça bütünlüğünün bozulduğu bir başka ifade ile kırığın olduğu kemik yapılarında tedavinin ilk aşamasında kemik bütünlüğünün sağlanması amaç edinilir. Bu amaç çerçevesinde ayrılmış olan kemik kırıklarının bütünlüklerinin sağlanması yani redükte edilmeleri gerekir. Bu işlem genel anlamda direkt (açık) ve indirekt (kapalı) olarak iki grupta ifade edilirler.

İntertrokanterik kırıklarda stabil redüksiyonu sağlamak amacıyla redüksiyon açık veya kapalı yöntemlerle yapılır. Bu maksatla kırıklara öncelikli olarak kırık (traksiyon) masasında, anestezi altında boylamasına kapalı redüksiyon uygulanır. Eğer kırık parçalı ve çok büyükse, zorlama yapılmaksızın dış rotasyon uygulanır. Anatomik olmayan stabil redüksiyonlarda, çok parçalı kırıklarda bazen açık metodlarla anatomik redüksiyon çok zor veya imkansızdır. Bu durumda uygulanan teknikler ile anatomik olmayan ancak stabil redüksiyon sağlanabilir. Ancak bu redüksiyon çok uygun değildir. Stabil olmayan kırıklar ciddi ve zor problemler ile sonuçlanabilir. Stabil olmayan kırıklarda anatomik redüksiyon ve internal tespit zordur, zaman alır ve genelde başarısızlıkla sonuçlanır. Anatomik redüksiyon için geniş cerrahi girişim uygulanmalıdır. Bu metod, anatomik restorasyonunun önemli olduğu genç hastalarda uygulanır[6]. Şekil 3.4’de geliştirilen robot ile manken maket üzerinde redüksiyon işlemi görülmektedir.



Şekil 3.4.Manken üzerinde operasyonu görüntüsü [1].

BÖLÜM 4

ROBOTUN TASARIMI VE MODELLENMESİ

Önceki bölümlerden kolayca anlaşılacağı üzere kemik kırıklarının tedavisinde karşılaşılan ve çözülmesi gereken en önemli husus kemiklerin hizalanmasıdır. Kırık kemiklerin hizalanması ile kastedilen kemik kırıklarının, kırılmadan önceki haline getirilmesidir. Bu maksatla tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen robotun temel olarak üç kısmı vardır. Bunlar:

1. Robotun mekanik kısmı ve robotu kontrol eden elektronik devre;
2. Uzaktan kumanda ünitesi;
3. Bilgisayar programı (yazılım).

4.1. MEKANİK KISIM VE ROBOTUN TANITIMI

Robot genel olarak aşağıdaki kısımlardan oluşmaktadır;

1. Lineer kızaklı modüller ile modülleri hareket ettiren motor ve redüktörler.
2. Dairesel hareket motorları ve redüktörler.
3. Lineer modülleri ve dairesel motorları bir arada tutan alüminyum gövde.
4. Elektronik devreler de dahil olmak üzere robotu üzerinde taşıyan hareketli sehpa.
5. Sehpa dahil tüm yapıyı örten dış muhafaza.

Robotu hareket ettiren altı adet adım motoru mevcuttur. Robot üç doğrusal ve üç dönme hareketi yapmaktadır. Doğrusal hareketi yapmak için kullanılan millerin hatvesi 5mm'dir ve her birini birer adım motoru kontrol etmektedir.

Öte yandan konum bilgisini öğrenmek için 18-bit çözünürlükte encoder kullanılmıştır. 18-bitin anlamsız olan 10 biti motorun bir turun neresinde olduğunu

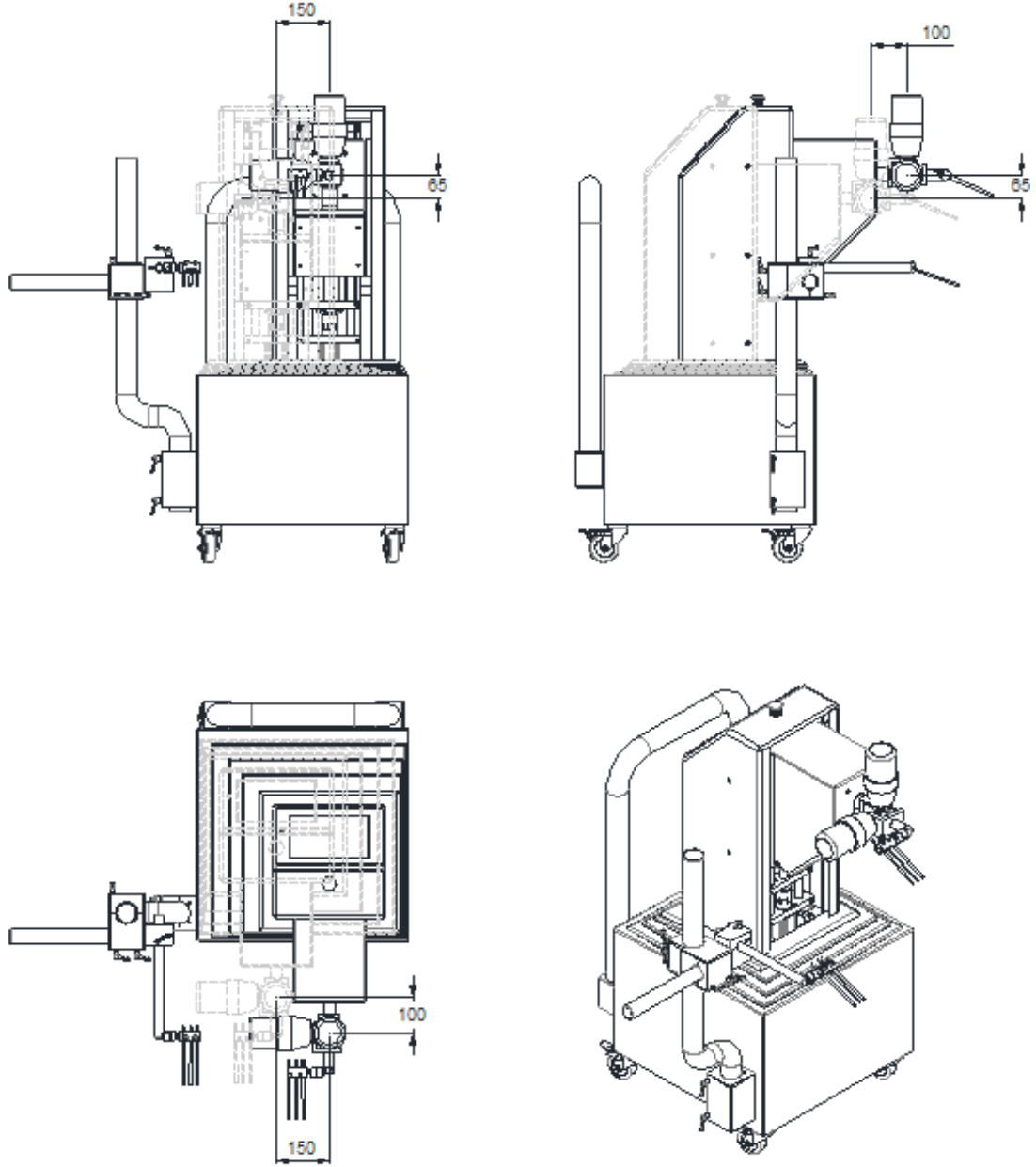
göstermektedir. Yani bir tur (360 derece) 10-bit ile gösterilmektedir. 10-bitin hassasiyeti 1024'e karşılık geldiğinden bir turu 1024'e bölerek adresleyebilmektedir.

Milin hatvesi 5mm olduğundan; $5\text{mm}/1024=4.88\mu\text{m}$ hassasiyetle konum bilgisi ölçülebilmektedir. Geriye kalan 8-bit ise motorun tur sayısını vermektedir. 8bit ile toplam 256 sayılabileceğinden $5\text{mm} \times 256=1280\text{mm}$ uzunluğundaki bir mil adreslenebilir. Bu çalışmada kullanılan miller, yatayda 150 mm, dikeyde ise 300 mmhareket ettiği için kontrol edilmesi mümkün olmuştur.

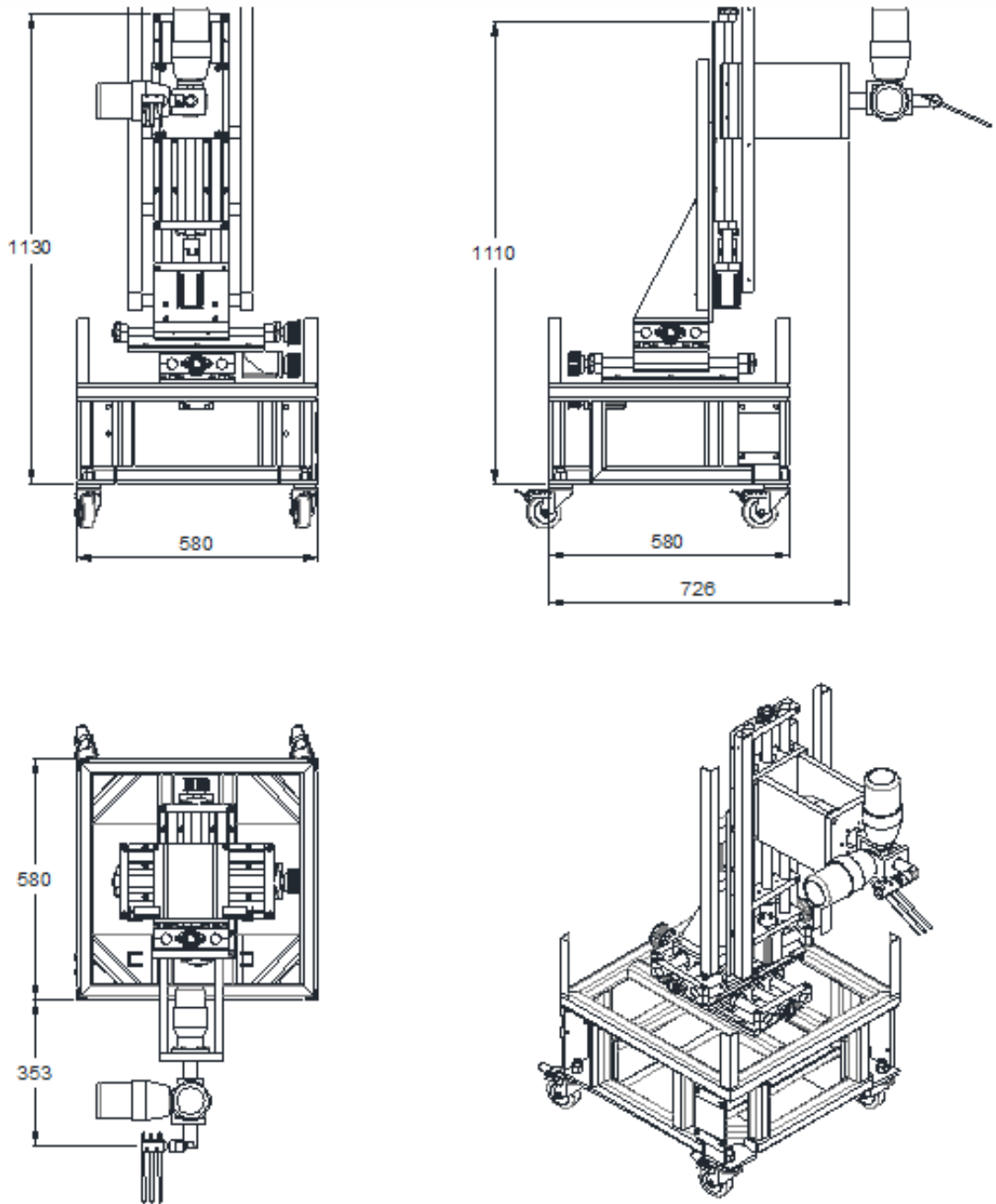
Üç farklı eksen de dönme hareketi için 3 adet adım motoru kullanılmıştır. Adım motorları 3Nm tork üretebilmektedir. Daha fazla bir güce ihtiyacımız olduğundan redüktör kullanılmıştır. Kullanılan bu redüktörün dişli oranı 160'dır. Böylece üretilen tork 480Nm olur. Buradaki konum bilgisini elde etmek için de aynı özellikte encoderlar kullanılmıştır. Kullanılan adım motoru 1.8° adımlara sahiptir. Buna bağlı olarak redüktörün çıkışında $1.8^\circ/160=0,01125^\circ$ hassasiyette dönüşler oluşur. Robotun hareketini sağlayan adım motorlarının kontrolü için bir elektronik devre tasarlanmış ve yapılmıştır. Elektronik devrede 7 adet mikrodnetleyici kullanılmıştır. Her bir adım motorunu birmikrodnetleyici kontrol etmektedir. Hangi motorun hangi yönde hareket edeceğine ise bir başka mikrodnetleyici karar verir. Merkezi mikrodnetleyici olarak PIC 18F8722 kullanılmıştır. Bu işlemci diğer PIC'lere (16F877) motorların hareket bilgilerini verir. Bu PIC'lerde aldığı bilgilere göre pulse üretir ve adım motoru sürücülerine gönderir. Böylece her bir adım motoru birbirinden bağımsız olarak kontrol edilir.

Kullanılan merkezi işlemci uzaktan kumanda ünitesiyle haberleşerek motorlara ait hız ve yön bilgilerini alır, sonrasında diğer mikrodnetleyicilere iletir. Merkezi mikrodnetleyici ile motorları kontrol edenmikrodnetleyiciler anlık olarak haberleşmezler, bir tampon üzerinden haberleşirler; her motora ait hız ve yön bilgileri birer buffer'a yazılır. Pulse üreten mikrodnetleyiciler de bu buffer'lardan bilgileri okur. Böylece eş zamanlı çalışma zorunluluğu ve zaman kaybı bertaraf edilmiş olur.

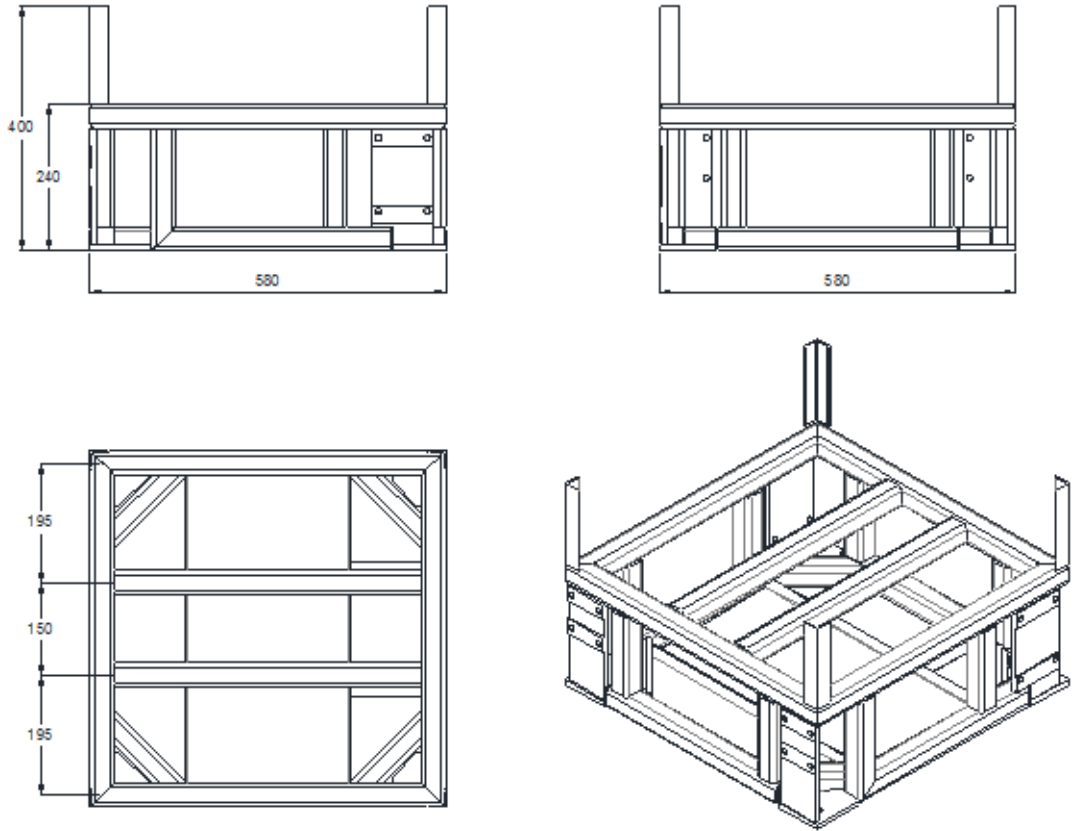
Tasarlanan ve yapılan robota ait detaylar Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de verilmiştir. Robot 580 mm x 580 mm ebatlarındaki sehpa üzerine konumlandırılmıştır. Robotun konumlandırıldığı sehpa ve üzerindeki mekanik yapının detayları Şekil 4.3’de görülmektedir.



Şekil 4.1. Robot detayları-1.

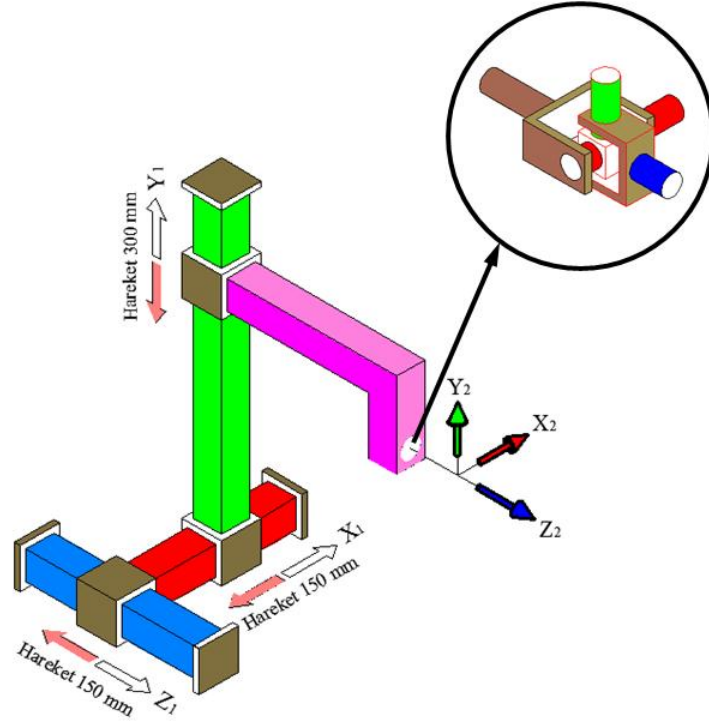


Şekil 4.2. Robot detayları-2.



Şekil 4.3. Taşıyıcı sehpa.

Tasarlanan robot X_1 ve Z_1 eksenlerinde 150'şer mm, Y_1 ekseninde ise 300 mm doğrusal hareket edebilme kabiliyetinde olup; yine X_2 , Y_2 ve Z_2 eksenlerinde dairesel hareketler yapabilmektedir. Bu altı hareket birbirinden bağımsız olup; arzu edildiğinde robota aynı anda tüm bu eksenlerde hareket verilebilmektedir. Şekil 4.4 bahsi geçen bu hareketleri şematik olarak göstermektedir.

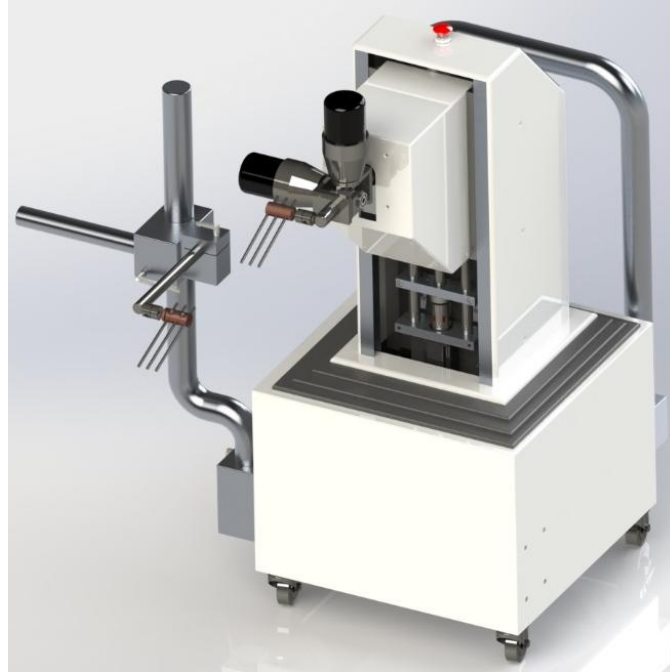


Şekil 4.4. Robot hareketlerinin şematik görünümü.

Şekil 4.5 - 4.7 tasarımı yapılan robotun SolidWorks programı kullanılarak çizilmiş görüntülerini içermektedir. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen robotun sahip olduğu özellikleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

1. Robotun ileri-geri ve sağa-sola hareketlerinde Şekillerde (Şekil 4.5 ve 4.6) siyah renk ile gösterilen kısım dikey mekanizmanın hareketine bağlı olarak yatayda hareket etmektedir.
2. Arka kısımda, robotu gezdirilebilmek için bir el tutamağı konulmuştur.
3. Toplam ağırlığı yaklaşık 120 kg civarında olan robotu, kolaylıkla hareket ettirebilmek amacıyla dört adet teker kullanılmıştır. Bu tekerler, operasyon bölgesinde bulunduğu yere sabitlenebilmesi için kilitlenebilir yapıdadır.
4. Bilgisayar ekranındaki görüntü, robot üzerine konulan monitör ile de takip edilebildiği gibi, robot buradan da kumanda edilebilmektedir.
5. Ayrıca ani bir müdahale için robot üzerine bütün hareketi sıfırlamak amacıyla bir STOP (durdurma) butonu konulmuştur.

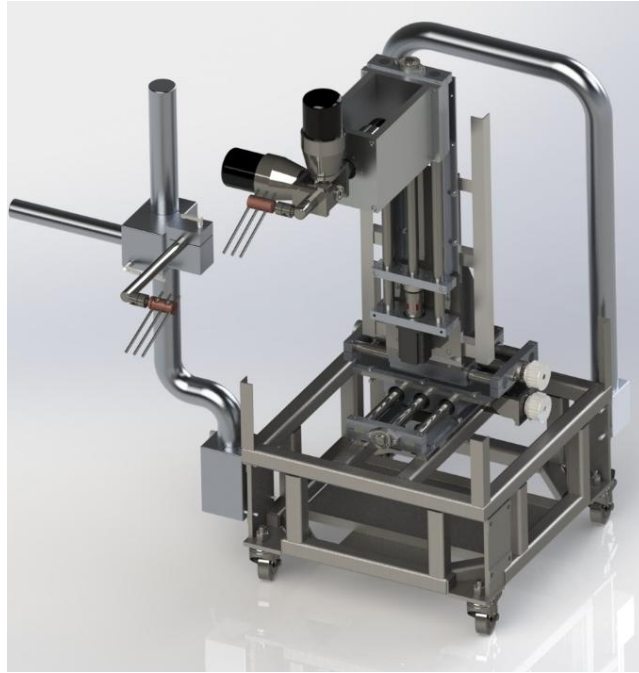
6. Robotun taşıyıcı sehпасı hafifliğine nazaran mukavemeti daha yüksek olması nedeniyle kutu profillerden, bazı kısımları ise köşebentlerden yapılmıştır.
7. Robotun üzerine sabitlendiğı sehpanın iç kısmında, elektronik devrelerin ve diğer elektronik aksamın muhafaza edilebilmesi için boş bir kısım oluşturulmuştur.
8. Hareketsiz fiksator çivileri, içi dolu mil üzerindeki bir gövdeye bağlanmıştır. Bu gövde, operasyon amacına uygun olarak mil ekseni boyunca hareket edebilmektedir ve hareket sonunda sabitlenebilmektedir. Milin alt kısmı ise sehpaye sabitlenmiştir.



Şekil 4.5. Robot resmi-1.



Şekil4.6. Robot resmi-2.



Şekil4.7. Robot iskeleti [1].

4.2. KUMANDA ÜNİTESİ

Uzaktan kumanda ünitesi kablolu seri haberleşme ile birinci kısım ile haberleşir. Bu ünite üzerinde her bir motoru kontrol eden ikişer adet buton vardır. Biri sola diğeri ise sağa döndürmek için kullanılır. Bu butonlardan istek geldiğinde, bu istek seri haberleşme ile elektronik devreye gönderilir ve orada işlenir. Butona basılı tutulduğu sürece bu işlem sürekli gerçekleşir. Aynı anda birden fazla motoru kontrol etmek mümkündür. Kumanda ünitesi aynı zamanda USB üzerinden bilgisayarla haberleşmektedir. Elektronik devre üzerinden gelen bilgiler buradan bilgisayara aktarılır. Encoderların gönderdiği bilgi buradan okunur. Kuvvet ölçmek için kullandığımız loadceller de buraya bağlıdır ve hem encoderlar hem de loadceller merkezi mikrodenetleyiciler tarafından sürekli okunur.

4.3. BİLGİSAYAR YAZILIMI

Yazılan bilgisayar programı uzaktan kontrol ünitesiyle haberleşir. Elektronik devreden gelen konum ve kuvvet bilgileri ekranda görüntülenir. Bilgisayardan yazılan program aracılığı ile direkt olarak robotu kontrol etmek mümkün olsa da, kullanılan işletim sisteminin veya bilgisayarın çökmesi yada kilitlenmesi gibi problemlerden çekinildiği için kontrol kumanda ünitesi tarafından yapılmaktadır. Robotun iki kolu arasındaki kuvvetleri ölçmek için üç adet loadcell kullanılmıştır. Loadceller hareketli kolun olduğu tarafa değil sabit kolun olduğu tarafa takılmıştır. Böylece sürtünme kuvvetleri bertaraf edilmiştir.

BÖLÜM 5

ROBOTUN İLERİ VE TERS KİNEMATİĞİ

Robotlarda hareketli kolun pozisyonu en önemli gerekliliktir. Kolun bulunduğu koordinat mutlaka bilinmelidir. Bu koordinatlar iki şekilde bilinebilir;

1. Birinci yöntemde başlangıç pozisyonundan itibaren hangi yöne ne kadar hareket etme komutu verilmişse, bunlar hesaplanıp toplanarak pozisyonun koordinatları bilinebilir[10].
2. İkinci yöntemde ise konumları algılayarak yapılan konum belirleme işlemidir[10]. Bu çalışmada robot kolunun konumunu öğrenmek için encoderlar kullanılmıştır.

Robotların temelini kinematik kavramlar oluşturmaktadır. Çünkü robotların yapacağı hareket ve sonuçta ulaşacağı konum bu bilim dalı tarafından incelenmektedir. Kinematikte önemli bir yeri olan eklemler, robotun hareketlik serbestliği için de çok önemlidir. Temel eklemler açısından kinematik ikiye ayrılır[10]:

1. Zincirin açık olduğu sistemler: Bir ucu açık iken diğer ucu başka bir aksama bağlı olan eklemlerdir.
2. Zincir kapalı olduğu sistemler: Her iki ucu da sabit olan eklem türüdür.

Bir robot kolunun kinematik hesabına nereden ve nasıl başlanacağı robot kinematığının başlangıcıdır. Bunun için iki temel başlangıç noktası vardır. Birincisi, mesnetten başlayarak en uca ulaşmaktır ki bu ileri kinematik olarak adlandırılır. İkincisi ise en uçtan başlayarak mesnede ulaşmaktır ki bu da ters kinematik olarak isimlendirilir[10].

5.1. ROBOTUN İLERİ KİNEMATİĞİ

İleri kinematik, verilen eklem değerlerini kullanarak sonlandırıcının ulaşacağı koordinatları hesaplama işlemidir. Eklem değerlerinden kasıt, kayar eklemler için eklem uzaması, döner eksenler için eklem birleştirdiği uzuvlar arasındaki açıdır.

Robot kolunun yönlendirilmesinde her bir eklem hareketi merkezi bir noktaya göre hesaplanır ve en alttaki eklemden en uçtaki eklem doğru takip edilir. Üç eksenli bir yapıda doğrusal hareket eden eklem 3x3'lük bir matris ile temsil edilir. Eksenlere dönme hareketi de uygulandığında, tüm hareketler 4x4'lük bir matris ile ifade edilir.

$$[T] = \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & P_{3 \times 1} \\ F_{1 \times 3} & 1 \times 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Dönme Matrisi} & \text{Konum Vektörü} \\ \text{Perspektif Dönüşüm} & \text{Ölçek} \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Buradaki T matrisi eklem davranışını temsil eder ve her eklem için ayrı bir T matrisi oluşturulur. Her bir eklem için yazılan matrisler çarpılarak tüm sistemi ifade eden yeni bir matris elde edilir[10].

$$[H] = [T_o^n] = [T_o^1] \cdot [T_1^2] \dots \dots [T_{n-1}^n] \quad (5.2)$$

Bu dönüşüm işlemi her ne kadar basit görünse de eklemlere ait matrisi oluşturma işlemi oldukça karmaşıktır. Denavit ve Hartenberg 1955 yılında karmaşık olan bu problemi sistematik hale getiren bir yöntem sunmuşlardır[10].

Bununla birlikte, tasarlanan robot 6 eksenli olup denklemlerini oluşturmak çok zor değildir. Üç öteleme ve üç dönme hareketi yapan eklemlerin matrisel ifadeleri yazılıp sırasıyla çarpılarak, tüm eklemlere ait transfer matrisi elde edilebilir. İlk üç eklem x, y ve z yönlerinde öteleme yapmaktadır. Bu üç eklemi, denklem 5.1'de belirtildiği gibi yerleştirilirse, her bir eklem için aşağıdaki ifadeler elde edilir.

$$T_0^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_1^2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} T_2^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.3)$$

Bu üç matrisi denklem 5.2’de belirtildiği gibi birbiri ile çarparsak toplam öteleme matrisi aşağıdaki gibi olur.

$$T_0^3 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

Sonraki üç eklem x, y ve z eksenleri etrafında sırasıyla α , β , θ açılarıyla dönme hareketi yapan eklemlerdir. Bu eklemleri denklem 5.1’de gösterildiği gibi yazarsak, döner eklemler için denklemler de aşağıdaki gibi yazılırlar.

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & \cos\alpha & -\sin\alpha & 0 \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T_4^5 = \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & \sin\beta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y \\ -\sin\beta & 0 & \cos\beta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

$$T_5^6 = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tüm eklemleri ifade eden matrisler denklem 5.2’de belirtildiği gibi çarpılırsa, denklem 5.1’e de ifade edilen toplam transfer fonksiyonu elde edilir. Bu durumda robotun değişkenleri x, y, z, α , β ve θ ‘dır. Bu değişkenlere değerler girilir ve matris çarpımları yapılırsa robot ucun koordinatları elde edilmiş olur.

5.2. ROBOTUN TERS KİNEMATİĞİ

Ters kinematik düz kinematiğe oranla daha karmaşık bir hesaplama gerektirir. Bu metot ile robotun uç işlevcisinin istenilen koordinatlara götürülmesi sağlanabilir. Uç işlevciyi istenilen pozisyona taşımak için her bir ekleme ait değişkenlerin hesaplanması gereklidir. Burada her bir eklemin hareket sınırları çözümlerimize de kısıtlamalar getirir. Fakat bu işlem için, yani robotun uç işlevcisinin istenilen koordinatlara taşınması sadece sonuçtur, bu hedefe ulaşılırken izlenecek çok sayıda yörünge mevcuttur. Yani, hedefe ulaşmak için sadece eklem değişkenlerini bulmak yeterli değildir. Bu değişkenlerin alacağı değerler hedef koordinatları belirlerler, fakat hangi yoldan gidileceğini belirlemezler. Bu durumda her bir yörünge aynı hedefe ulaşırabilir ama bizim aradığımız çözüm bu olmayabilir. Bu durumda geometrik yaklaşımlarla yörüngeyi belirlemek gerekecektir [10].

5.3. ROBOTUN İLERİ VE TERS KİNEMATİK ÖZELLİĞİ

Dizaynı ve imalatı yapılan robotun amacı kırık kemik parçasını, diğer kırık parçaya göre belirli bir pozisyona getirmektir. Burada robotun hangi konuma gideceğini ve bu konuma giderken hangi yörüngeyi izleyeceğine karar verecek olan operasyonu yöneten hekimdir. Bu nedenle ileri ve ters kinematik yöntemleri uygulayacak bir yöntemin uygulanmasına veya yapay zekâ geliştirilmesine ihtiyaç yoktur. Bununla beraber robot üzerinde her bir eklemi hareket ettiren motorları kontrol eden bir uzaktan kumanda ünitesi vardır. Hekim bu uzaktan kumanda ünitesini kullanarak istediği ekleme istediği miktarda hareket komutunu gönderir. Hatta aynı anda altı motoru birden kontrol edebilir. Böylece hekim uygun yörüngeyi takip ederek istediği hedefe kemiği götürür.

BÖLÜM 6

HAREKET MEKANİZMALARI

6.1. DOĞRUSAL HAREKET MEKANİZMALARI

6.1.1. Lineer Kızaklı Modül

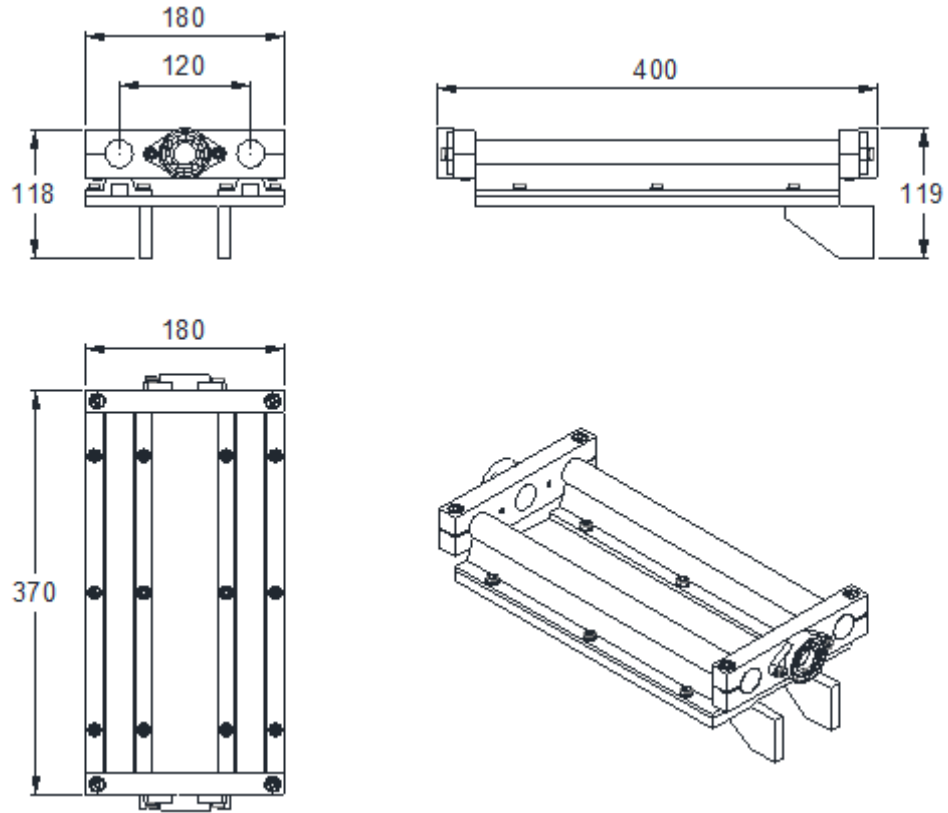
Seçmiş olduğumuz lineer kızaklı modüller piyasada kolaylıkla bulunabilir olup fiyatları oldukça makuldür. Fiyat fayda bakımından araştırmalarımız sonucu Şekil-6.1'de görülen modüller tercih edilmiştir. Daha öncede belirtildiği üzere yatay harekette kullanılan modüller 150 mm, dikey harekette kullanılan modüller ise 300 mm doğrusal hareket serbestliğine sahiptir. Kemiğin hareket mesafeleri düşünüldüğünde bu mesafelerin oldukça yeterli olduğu söylenebilir.



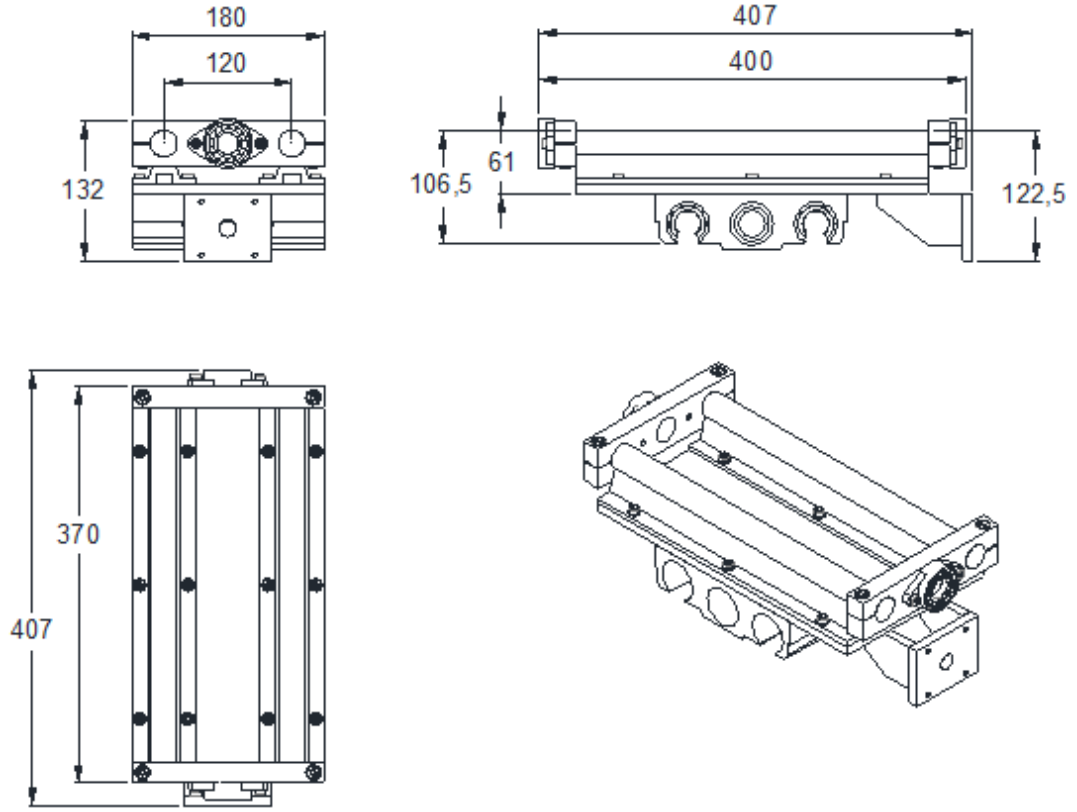
Şekil 6.1. Lineer kızaklı modül [11].

Bahsi geçen lineer kızaklı modül robotun ileri-geri, sağa-sola ve yukarı-aşağı doğrusal (lineer) hareket ettirilmesinde kullanılmıştır. Vidalı milin döndürülmesi için, mil ucuna kavrama ile bağlanılan step motorun çalışması gerekir; step motorun

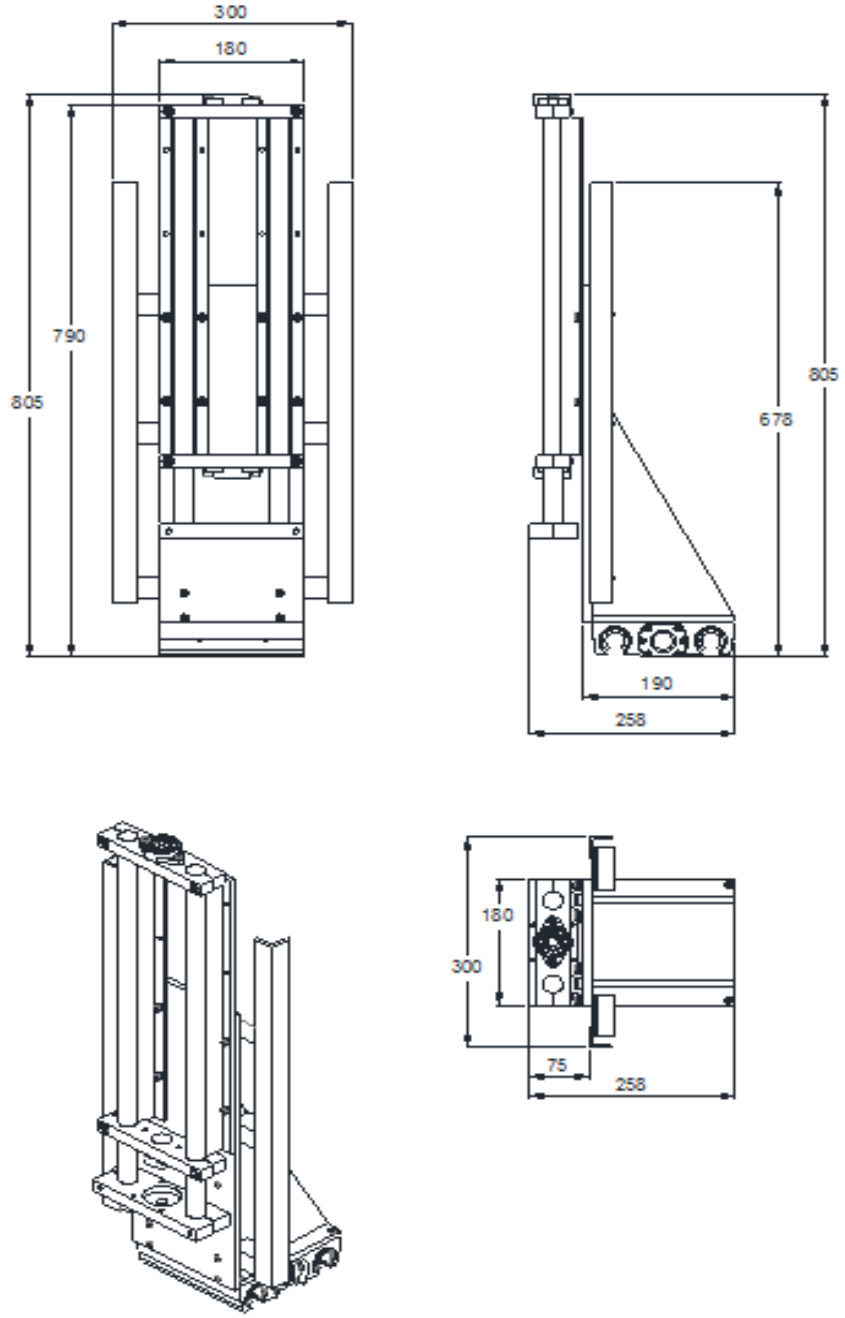
çalışması ile mil üzerinde bulunan ve her iki yandaki kızaklarla kılavuzlanmış platform mil eksenini boyunca doğrusal olarak ileri-geri hareket edecektir. Step motorların bir devri sonucu platform eksenini boyunca 5 mm hareket etmektedir. Yatayda iki adet, dikeyde bir adet olmak üzere toplam üç lineer modül kullanılmıştır. Kullanılan bu modüllerin çizimleri Şekil 6.2 ve Şekil 6.3’de verilmiştir. Dikey harekette kullanılan modül yatay hareket modülünün üzerine oturtulmuş olup alüminyum destek gövdesiyle birbirlerine sabitlenmiştir. Şekil 6.4 - 6.7’de bu durum görülmektedir. Yatay hareket mekanizması, taşıyıcı bir sehpa üzerine civatalı olarak sabitlenmiştir. Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da bu durum gösterilmiştir. Lineer mekanizmaların hareket ettirilmesi ve yeterli tork sağlanması bakımından redüktörlü motorlar kullanılmıştır. Motorların kızaklarının tahrikinde ise, kaymayı ve konum değişikliklerini önlemek amacıyla dişli tip kayışlar kullanılmıştır. Şekil 6.11’de kayış tahriki görülmektedir.



Şekil 6.2. Yatay hareket mekanizması-1.



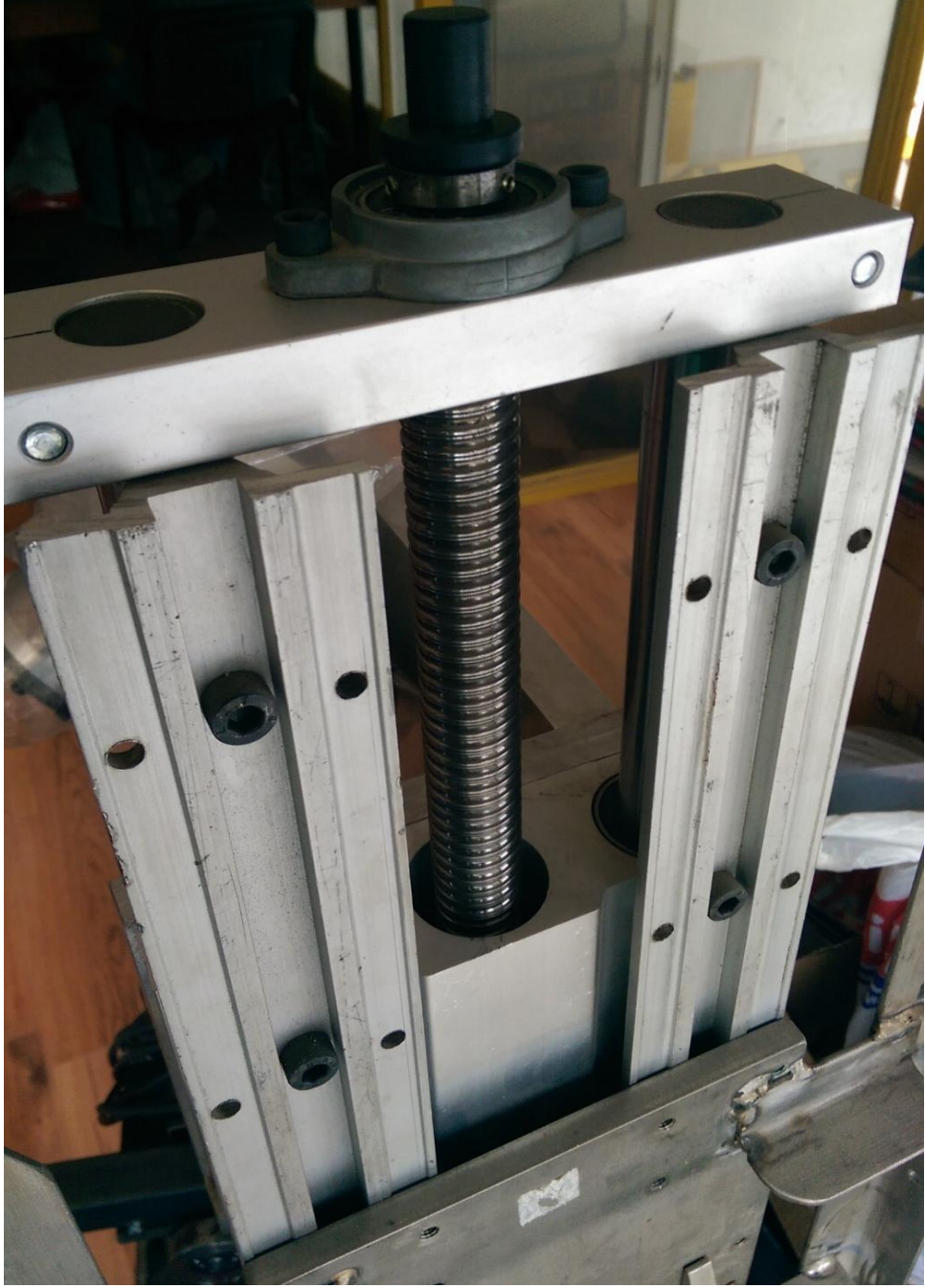
Şekil 6.3. Yatay hareket mekanizması-2.



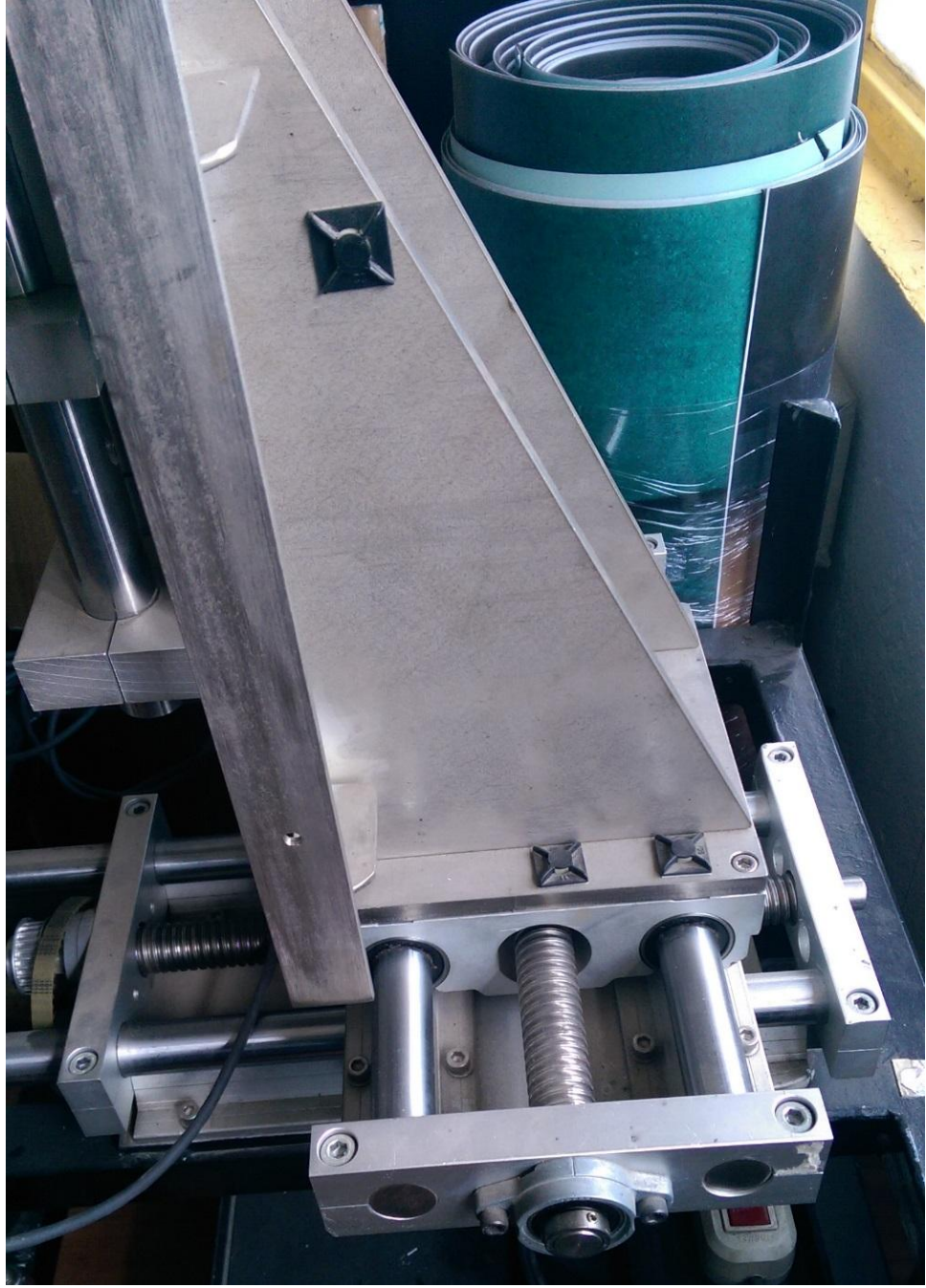
Şekil 6.4. Dikey hareket mekanizması.



Şekil6.5.Linear modül montaj fotoğrafı (yatay ve dikey hareket).



Şekil 6.6. Lineer modül montaj fotoğrafı (dikey hareket).



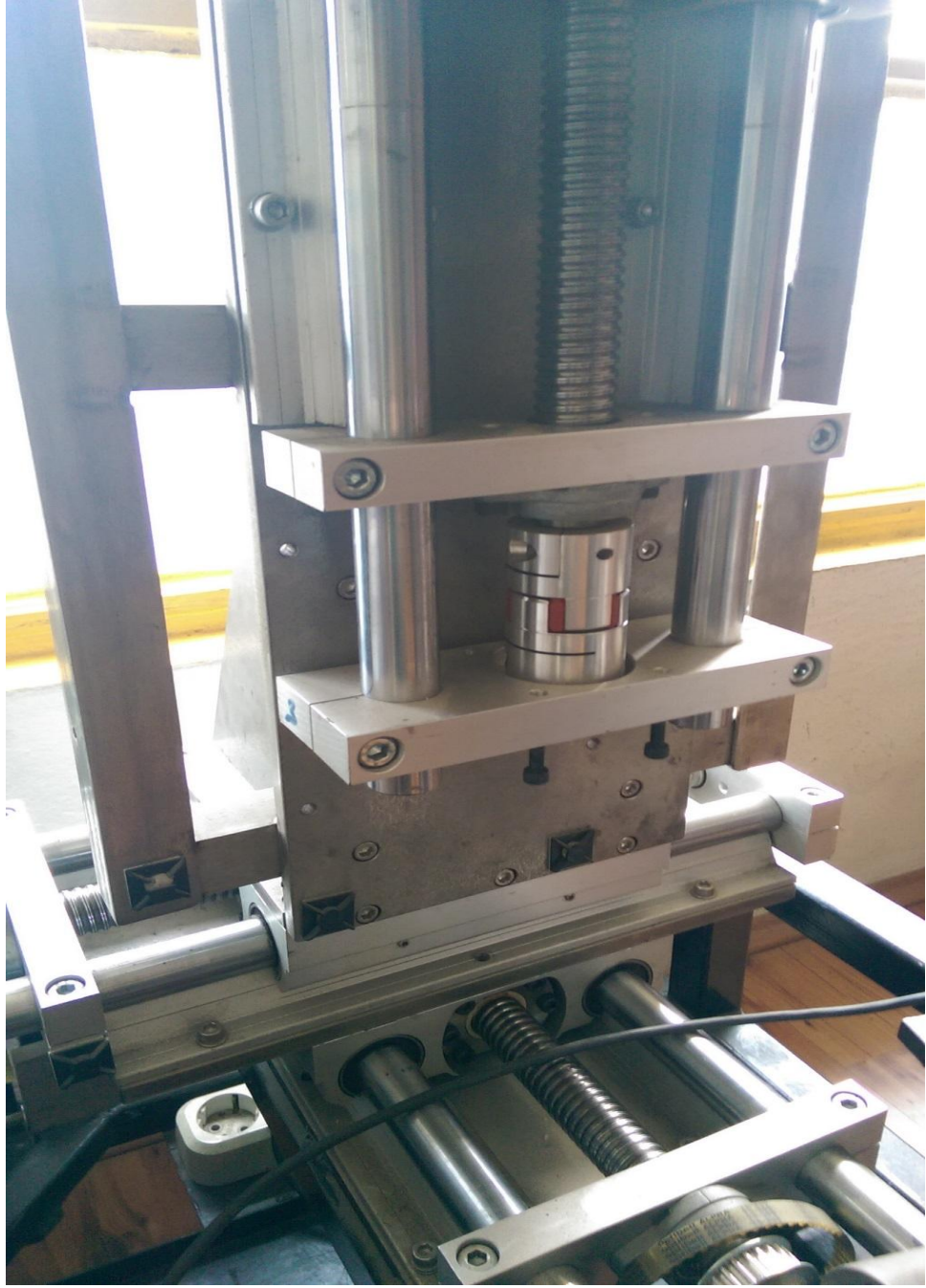
Şekil 6.7. Lineer modül montaj fotoğrafı-1 (yatay hareket).



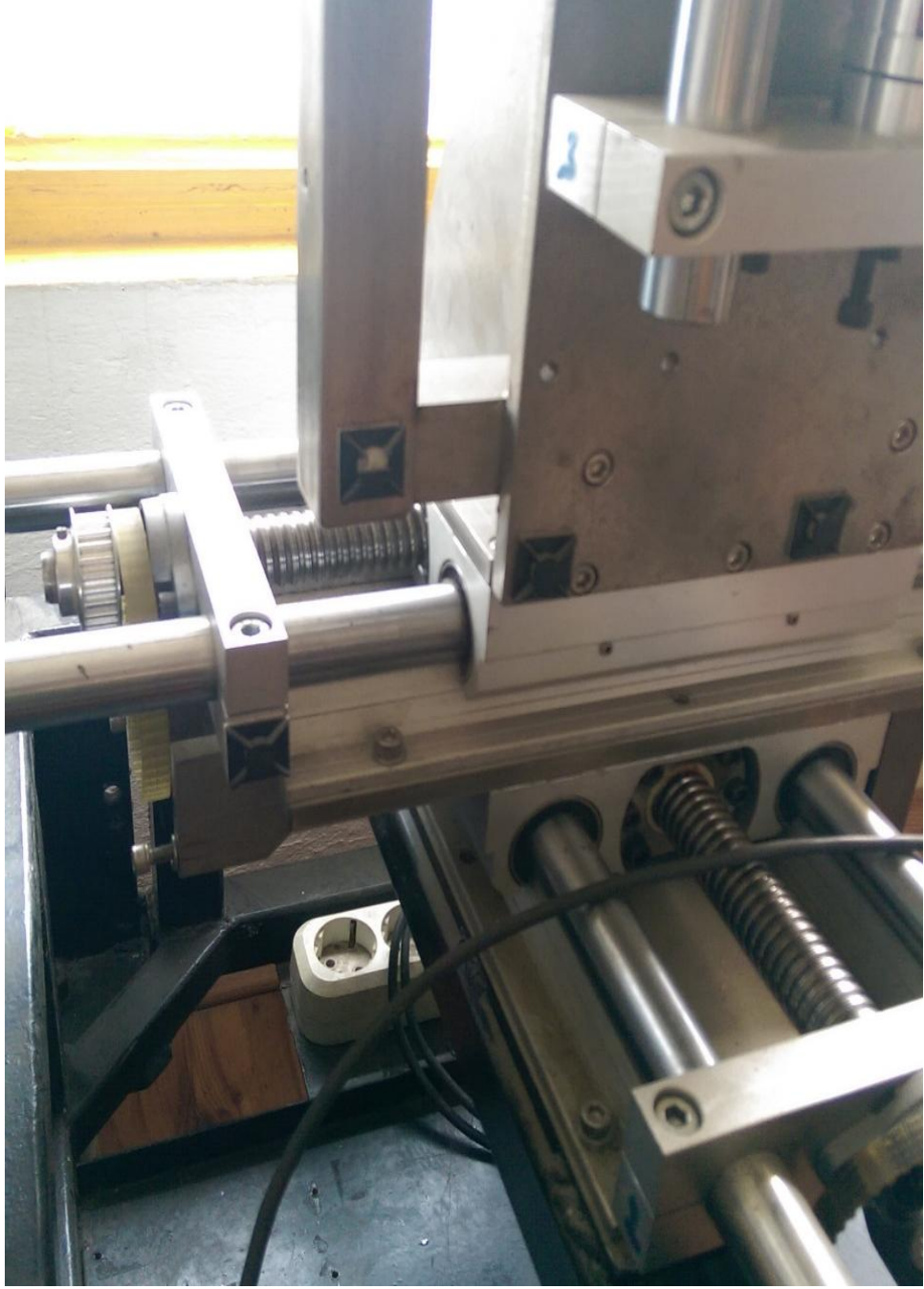
Şekil 6.8. Lineer modül montaj fotoğrafı-2 (yatay hareket).



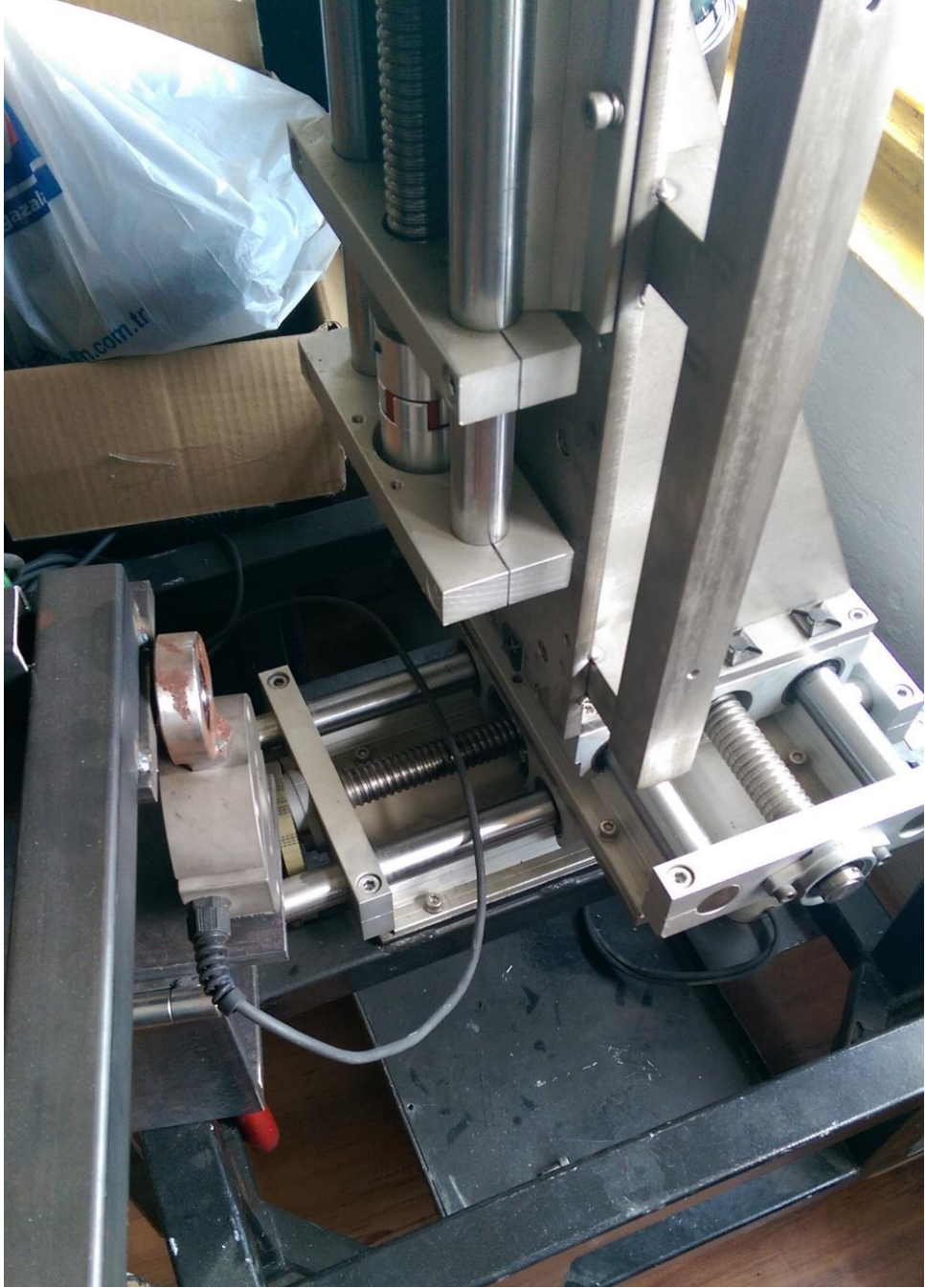
Şekil 6.9. Lineer modül montaj fotoğrafı-1 (yatay ve dikey hareket).



Şekil 6.10. Lineer modül montaj fotoğrafı-2 (yatay ve dikey hareket).



Şekil 6.11. Lineer modül montaj fotoğrafı-3 (yatay ve dikey hareket).



Şekil6.12. Lineer modül montaj fotoğrafı-4 (yatay ve dikey hareket).

6.2. DAİRESEL HAREKET MEKANİZMALARI

6.2.1. Harmonik Redüktör

CSG 20-160-2UH-SP harmonik motor 160:1 çevrim oranına sahiptir ve 23 Nm ile 3419 Nm arasında tekrarlanabilir tork değerlerine müsade edebilir özelliğindedir. Bu çalışmada motordan gelen 3 Nm moment girişi kullanılan redüktör vasıtasıyla, çıkışında 480 Nm moment değeri elde edilmiştir.

Harmonik redüktör yüksek tork değerine müsade etmesi, küçük ve kompakt yapısı dolayısıyla çalışmamızda tercih edilmiştir. Bununla beraber harmonik redüktörlerin kullanım alanlarının çok özel olması dolayısıyla temin edilmesi oldukça güç olmuştur. Harmonik motorun diğer motorlara nazaran sahip olduğu en önemli üstünlüğü sıfır boşluk tabir edilen diş yapısıyla çok yüksek hassasiyetle konumlamaya müsade etmesidir.

Bu redüktörün tercih edilmesinin diğer bir nedeni ise çalışma ortamına uygunluğu, dakikada ortalama 6500 devir hızına müsait olması, 2350 N radyal ve 3500 N aksel yüklerle dayanıklı olmasıdır. Piyasa araştırmamızda, bu özelliklere sahip alternatif bir redüktör bulunamadığından ve standart servo motorlarla kompakt şekilde monte edilebilmeleri dolayısıyla bu redüktörlerin kullanımı uygun bulunmuştur.

Redüktörün seçiminde yüksek tork değerleri üretmesi bakımından uzun araştırmalar sonucu Şekil 6.13'de gösterilen harmonik motorlar kullanılmıştır. Tasarımı itibarı ile hacimsel olarak küçük alanlarda yüksek tork değerleri elde edilmektedir. Doğruluk ve kararlılık bakımından oldukça yeteneklidir. Böyle bir motorun resmi Şekil 6.13'de, dişli oran tablosu Çizelge 6.1'de ve teknik özellikleri ise Çizelge 6.2'de verilmiştir. Üç eksenli dairesel hareketleri oluşturmak için bu tip motorlardan 3 adet kullanılmıştır.



Şekil 6.13.Harmonik motor[12].

Çizelge 6.1. Harmonik motor dişli oranı tablosu [12].

Seri	Boyut	Oran (Ratio)					Versiyon
CSG	20	50	80	100	120	160	2UH

Çizelge 6.2. Harmonik motor teknik özellikleri [12].

Teknik özellikler	Sembol/Birim	CSG-20-2UH				
		50	80	100	120	160
Çevrim oranı	i [birimsiz]	50	80	100	120	160
Tekrarlanabilir tepe torku	T_R [Nm]	73	96	107	113	120
Ortalama tork	T_A [Nm]	44	61	64	64	64
Nominal tork	T_N [Nm]	33	44	52	52	52
Maksimum giriş hızı (ince yağ)	$n_{in(max)}$ [rpm]	10000				
Maksimum giriş hızı (gres yağı)	$n_{in(max)}$ [rpm]	6500				
Ortalama giriş hızı (ince yağ)	$n_{av(max)}$ [rpm]	6500				
Ortalama giriş hızı (gres yağı)	$n_{av(max)}$ [rpm]	3500				
Atalet momenti	$J_{in}[x10^{-4} \text{ kgm}^2]$	0.193				
Ağırlık	m [kg]	0.98				
Maksimum içi boş shaft çapı	$d_{H(max)}$ [mm]	10				
Güç aktarım hassasiyeti	[arcmin]	< 1				
Tekrarlanabilirlik	[arcmin]	< ±1				
Kayıp hareket	[arcmin]	< 1				
Burulma rijitliği	$K_3[x10^3 \text{ Nm/rad}]$	23	29			
Çalışma ortamı sıcaklığı	[°C]	-10.....80				
Dinamik radyal yük	$F_{R \text{ dyn(max)}}$ [N]	2354				
Dinamik aksenal yük	$F_{A \text{ dyn(max)}}$ [N]	3511				
Dinamik devrilme momenti	$M_{\text{dyn(max)}}$ [Nm]	91				

Kullanılan harmonik motora ait fotoğraflar Şekil 6.14 - 6.16'da görülmektedir.



Şekil6.14. Harmonik motor fotoğrafı-1.



Şekil 6.15. Harmonik motor fotoğrafı-2.



Şekil6.16.Harmonik motor montaj fotoğrafı.

6.3. ELEKTRONİK KONTROL BİRİMLERİ

6.3.1. Güç Kaynağı

Elektronik devrenin ve motorların beslemeleri için MEAN WELL DRP 480-48 SWITCHING marka güç kaynağı kullanılmıştır. Kullanılan bu güç kaynağının giriş akımı 220-240 V 4A iken çıkış akımı 48 V 10 A dir. Kullanılan güç kaynağının resmi Şekil 6.17’de ve teknik özellikleri ise Çizelge 6.3’de verilmiştir.

Çalışmada kullanılan 6 adet motorun (3 tanesi dairesel hareketleri sağlamak, kalan 3 tanesinde doğrusal hareketleri sağlamak maksatlıdır) kontrol edilmesi amacıyla kullanılan güç kaynağı hazır alınmıştır. Güç kaynağının hazır olarak alınmasının temel sebepleri olarak motorlar ile uyumlu çalışması, kolay temin edilmesi ve ucuzluğu sayılabilir. Güç kaynağı elektronik devreye takılmıştır. Adım motorları ve diğer tüm elemanlar enerjilerini devre üzerinden almaktadırlar.



Şekil 6.17. Güç kaynağı [13].

Çizelge 6.3. Güç kaynağı teknik özellikleri [13].

MODEL		DRP-480-24
Güç Kaynağı Çıkışı Özellikleri	DC voltaj	24V
	Anma akımı	20A
	Akım aralığı	0 ~ 20A
	Nominal güç	480W
	Dalga ve gürültü	120mVp-p
	Voltaj aralığı	24 ~ 48V
	Voltaj toleransı	±1.0%
	Hat düzenleme	±0.5%
	Yük düzenleme	±1.0%
	Kurulum, yükselme	1200ms, 40ms/230VAC (tam yükte)
	Tutma süresi	16ms/230VAC (tam yükte)
Güç Kaynağı Giriş Özellikleri	Voltaj aralığı	180~264VAC 250~370VDC
	Frekans aralığı	47 ~ 63 Hz
	Güç faktörü (typ.)	≥0.7
	Etkenlik (typ.)	89%
	AC akım (typ.)	4A/230VAC
	Demerajakımı (typ.)	40A/230VAC (ilk çalıştırmada)
	Kaçakakım	<3.5mA / 240VAC

6.3.2. Encoder

Robot tasarımında AMC5810/256 BT-15-EKL2 model Lika marka encoder kullanılmıştır. Kullanılan bu encoder bir turu 1024'e bölebilmektedir ve toplam tur sayısı da 256 adet olabilmektedir. Encoderın bir turu 1024 adıma karşılık gelmektedir. Adım motorunun bir tur atması encoderı da bir tur attırmaktadır. Böylece motorun bir turu 1024 adıma bölünebilmektedir. Doğrusal hareket eden motorların bağlı olduğu millerin hatvesi 5mm olduğundan, $5\text{mm}/1024=4.88\mu\text{m}$ ye karşılık gelmektedir. Sonuç olarak doğrusal hareket eden motorların konum bilgisi 4.88 μm hassasiyetle ölçülebilmektedir.

Rotasyonel hareket eden adım motorları da yine aynı özellikteki encoderlara bağlanmıştır ve bu encoderlar da bir turu 1024'e bölmektedir. Bir tur 360 derece olduğundan, $360/1024=0.35$ derecelik aralıklarla konum bilgisi alınabilmektedir. Belirtilen yüksek hassasiyet oranından dolayı bahsi geçen encoderlar tercih edilmiştir. Kullanılan bu encoderların özellikleri Çizelge 6.4'de

verilmiştir. Çalışmada kullanılan encoder ve sürücü devrelerine ait fotoğraflar ise Şekil 6.18 ile 6.19’da görülmektedir.

Çizelge 6.4. Encoder mekanik özellikleri [14].

ENCODER ÇEVRESEL ÖZELLİKLERİ	
Darbe	100 g, 6 ms
Titreşim	10 g, 5-2000 Hz
Koruma	IP65
İşletme sıcaklık aralığı	-25°C ile +85°C (-13°F ile +185°F)
Depolama sıcaklığı	-25°C ile +85°C (-13°F ile +185°F)
ENCODER MEKANİK ÖZELLİKLERİ	
Şaft çapları	6, 8, 9.52, 10, 12 mm
İçi boş şaft çapları	14, 15 mm
Şaft yüklemesi (eksenel, radyal)	40 N (maksimum değer)
Şaft dönüş hızı	6000 devir/dakika (maksimum değer)
Başlangıç torku (20°C de)	AM58: 0,15 Ncm
Hareket ömrü	400x10 ⁶ devir/dakika (maksimum şaft yüklemesi 20N olduğunda ise400x10 ⁹ devir/dakika)
Elektriksel bağlantı	SSI: MIL 7
Ağırlık	250 g (8.8oz)
Opsiyon	Dsub 25 pinplug1 m (3.3ft) kablo



Şekil 6.18. Encoder ve sürücü devresi-1.



Şekil 6.19. Encoder ve sürücü devresi-2.

6.3.3. Step Motor (57HS30-60)

Step motorlar belirli açılarla hareket eden motorlardır. Bu motorlar sargılarına ve uygulanan pulse değerlerine bağlı olarak hareket ederler. Ana kontrol devresinin tasarımında aynı türden motorların kullanılması önemli bir etken olduğundan, lineermodüller ve harmonikredüktörlerle kolaylıkla uyum sağladığından bu motorlar

kullanılmıştır. Bu motorların 8 kablolu, bipolar ve unipolar kullanabilme imkanı vardır. Bu çalışmada iki farklı step motor kullanılmıştır. Bunlar 57HS30-60 ve SY57STH51 modelleridir. Kullanılan hibrit step motorlarına ait genel özellikler Çizelge 6.5’de verilmiştir. Spesifik olarak 57 mm step motoruna ait özellikler ise Çizelge 6.6’da listelenmiştir. Çalışmada kullanılan step motorlar ile sürücü devrelerine ait fotoğraflar Şekil 6.20 - 6.22’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Hibrit step motorun genel özellikleri [15].

PARÇA	ÖZELLİKLER
Adım açısı	1.8°
Adım açış hassasiyeti	%±5 (tam adım, yüksüz)
Direnç hassasiyeti	%±10
İndüktans hassasiyeti	%±20
Sıcaklık artışı	8°C (maksimum)
Ortam sıcaklığı	-20°C ~ +50°C
Yalıtım direnci	100M Ω min., 500VDC
Dielektrik dayanımı	500VAC (1 dakika için)
Şaft radyal çalışma	0.02 maksimum (450 g-load)
Şaft aksel çalışma	0.08 maksimum (450 g-load)
Maksimum radyal güç	75N
Maksimum aksel güç	10N
Dönüş	Saat yönü

Çizelge 6.6. 57mm hibrit step motorun özellikleri [15].

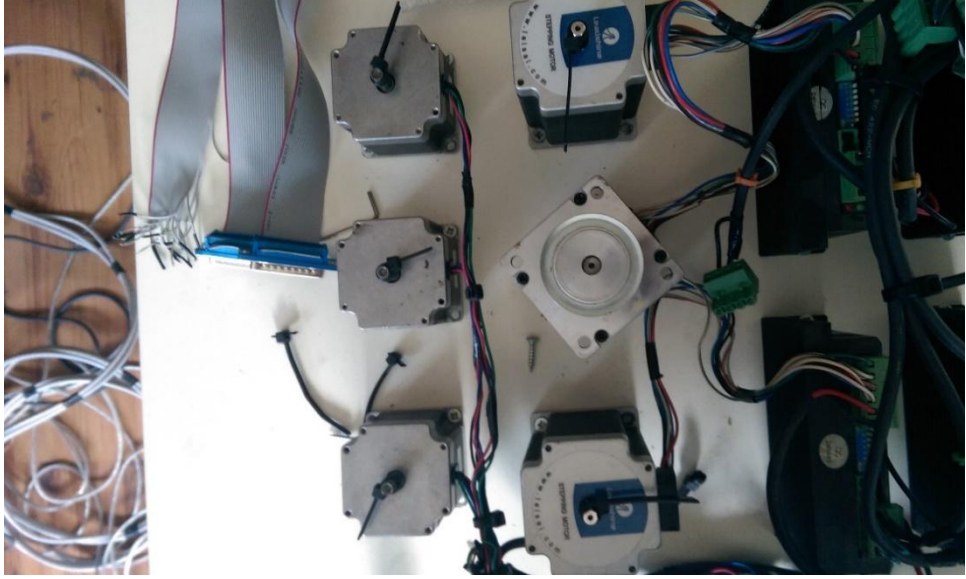
Model No		Nominal Voltaj	Akım/Faz	Direnç/Faz	İndüktans/Faz	Tutma Torku	Rotor Atalet	Ağırlık	Tetikleme Torku	Uzunluk
Tek Şaft	Çift Şaft	V	A	Ω	mH	kg.cm	g.cm^2	kg	kg.cm	mm
SY57ST41 1106A	SY57ST41 1106B	4	1.1	3.6	3.6	2.88	57	0.54	0.18	41
SY57ST41 0406A	SY57ST41 0406B	12	0.4	30	30					
SY57ST41 1564A	SY57ST41 1564B	2.8	1.5 6	1.8	3.6					
SY57ST51 0856A	SY57ST51 0856B	6	0.8 5	7.1	9	4.97	110	0.60	0.35	51
SY57ST51 0426A	SY57ST51 0426B	12	0.4 2	29	36					
SY57ST51 2804A	SY57ST51 2804B	1.8	2.8	0.65	1.6					
SY57ST56 1206A	SY57ST56 1206B	6	1.2	5	8	6.05	135	0.65	0.42	56
SY57ST56 0606A	SY57ST56 0606B	12	0.6	20	32					
SY57ST56 2554A	SY57ST56 2554B	2.8	2.5 5	1.1	3.6					



Şekil 6.20.Step motorlar ve sürücü devresi.

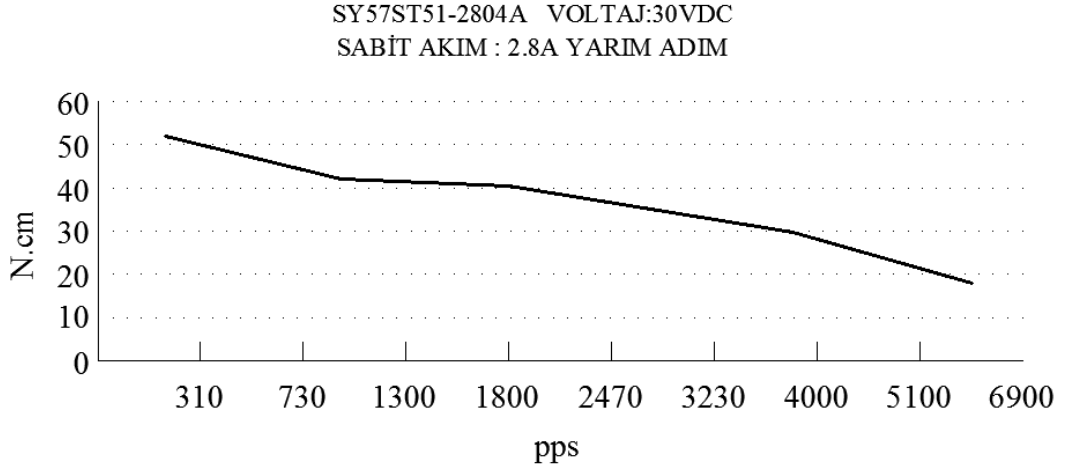


Şekil 6.21. Step motor (57HS30-60).



Şekil 6.22. Step motorlar (57HS30-60 ve SY57STH51).

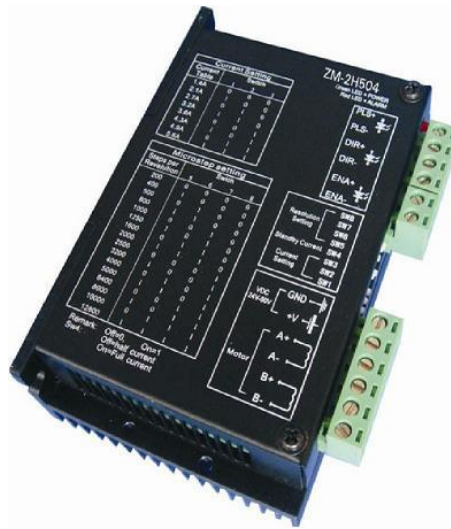
SY57STH51 model step motoruna ait tork-frekans grafiği Şekil 6.23’de verilmiştir.



Şekil 6.23.Step motor tork-frekans grafiği [15].

6.3.4. Step Motor Sürücüsü

Step motor sürücüleri isimlerinden de kolayca anlaşılacağı üzere step motorları kontrol etmek için üretilmiş devrelerdir. Bu devre ile motor hızları ve yönleri rahatlıkla ayarlanabilmektedir. Şekil 6.24’de bu çalışmada kullanılan motor sürücüsüne ait fotoğraf görülmektedir. Çizelge 6.7’de ise bu çalışmada kullanılan 2H504 (iki fazlı) model sürücünün teknik özellikleri listelenmiştir.



Şekil6.24. Step motor sürücüsü [16].

Çizelge 6.7. Step motor sürücüsünün teknik özellikleri.

Besleme	24-50VDC
Uygun Motorlar	3 Nm
Sürüş Yöntemi	Sabit akımlı, sinusoidal dalga.
Frekans	0 – 200KHz
Çalışma Ortam Sıcaklığı	0 – 50 °C
Depolama Sıcaklığı	-10 – 80 °C
Titreşim	5.9 m/s ²
Ağırlık	260 gr

ZM-2H504 (iki fazlı) sürücü, 4,6 ve 8 telli step motorlar için üretilmiştir. Yüksek frekanslı giriş sinyallerini kabul edebilecek şekilde donatılmıştır. Bu sürücünün öne çıkan özellikleri: akım kararlılığının olması, parazit önleme kabiliyetinin çok güçlü olması, yüksek frekans performansının çok başarılı olması, yüksek başlangıç frekansına sahip olması, giriş ve çıkış devreleri izolasyonuna sahip olması, ayarlanabilir akım özelliğinin bulunması, kararlı çalışma şartları sunabilmesi, yüksek doğrulukta ve düşük gürültülü çalışma özelliklerine sahip olmasıdır. Bu sürücü ile 4,2A ve altında, tüm 34 frameve altı motorları rahatlıkla sürebilir. Ürün, gövdeye monte edilip soğutuculu olarak sunulmaktadır[16].

ZM-2H504 sürücülerde otomatik optimize hız kontrol tekniği kullanılırken yaygın olarak piyasadaki sürücüler pseudosinüsoidal akım kontrol tekniğini kullanır. Pseudosinüsoidal teknik, nisbi olarak daha parazitli sinüsoidal akım ile titreşim, gürültülü çalışma ve aşırı ısınmaya sebep olurken, ZM-2H504 sürücülerde kullanılan otomatik optimize hız kontrol tekniği ile parazitler neredeyse sifıra indirilerek çok daha yüksek performans ve motor ömrü elde edilebilir[16].

ZM-2H504 sürücü karakteristiği maddeler halinde aşağıdaki gibi sıralanabilir [16]:

1. Maksimum akım 4,2A olup Dip switchlerle 8 farklı akım (1A-4,2A) ayarlayabilme özelliği mevcuttur. Ayrıca hazırda bekleme akım ayar düğmesi

devreye alınırsa, motor çalışmadığı sürece, ayarlanan akımın yarısı gönderilerek, enerji tasarrufu sağlanır ve motorun aşırı ısınması önlenir.

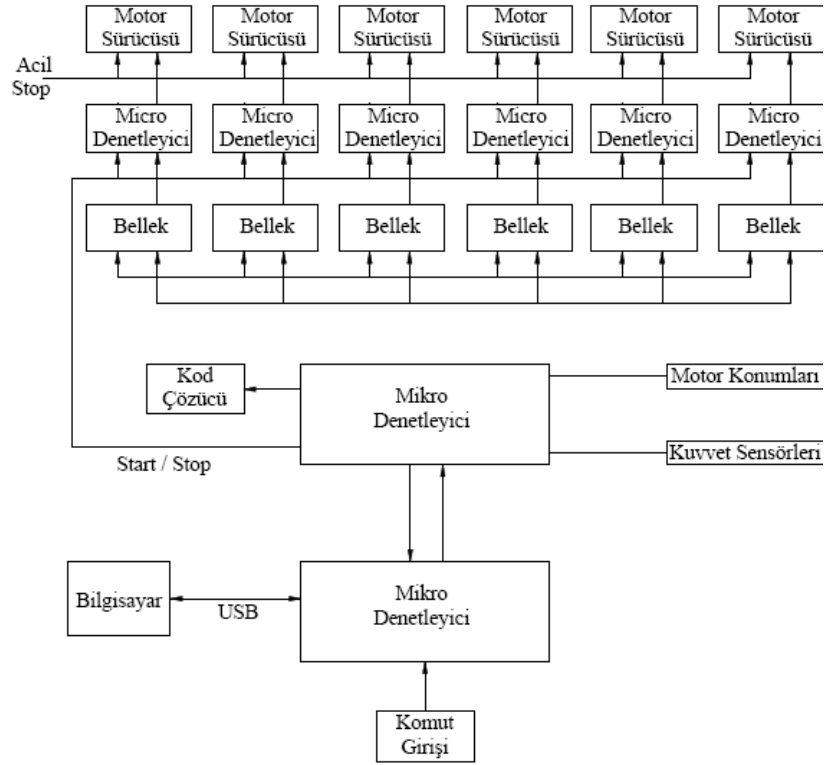
2. Entegre aşırı akım koruma devresi mevcuttur.
3. En düşük toleranslı ve en yüksek kalitede elektronik bileşenler mevcuttur.
4. Ayarlanabilir microstep çözünürlüğüne sahiptir.
5. Tüm girişlerde optik izolasyon mevcuttur.
6. Aşırı voltaj, faz-faz bağlantısı ve faz-toprak bağlantısı koruması bulunmaktadır.
7. 24-50VDC besleme özelliğine sahiptir.
8. Maksimum 200KHz pulse üretebilmektedir.

6.3.5. Kontrol Kartı

Robotun kontrolü tasarlanan bir devre ile gerçekleştirilmiştir. Bu devre üzerinde yedi adet mikro denetleyici kullanılmıştır. Bunlardan altısı doğrusal ve dönme hareketlerinin sağlanabilmesi amacıyla step motorları sürmek için, diğeri de tüm işlemleri kontrol etmek içindir. Kumanda ünitesinden gelen komutlar merkezi mikro denetleyici tarafından alınır ve kod çözücü ile seçilerek ilgili belleklere sıra ile yazılır.

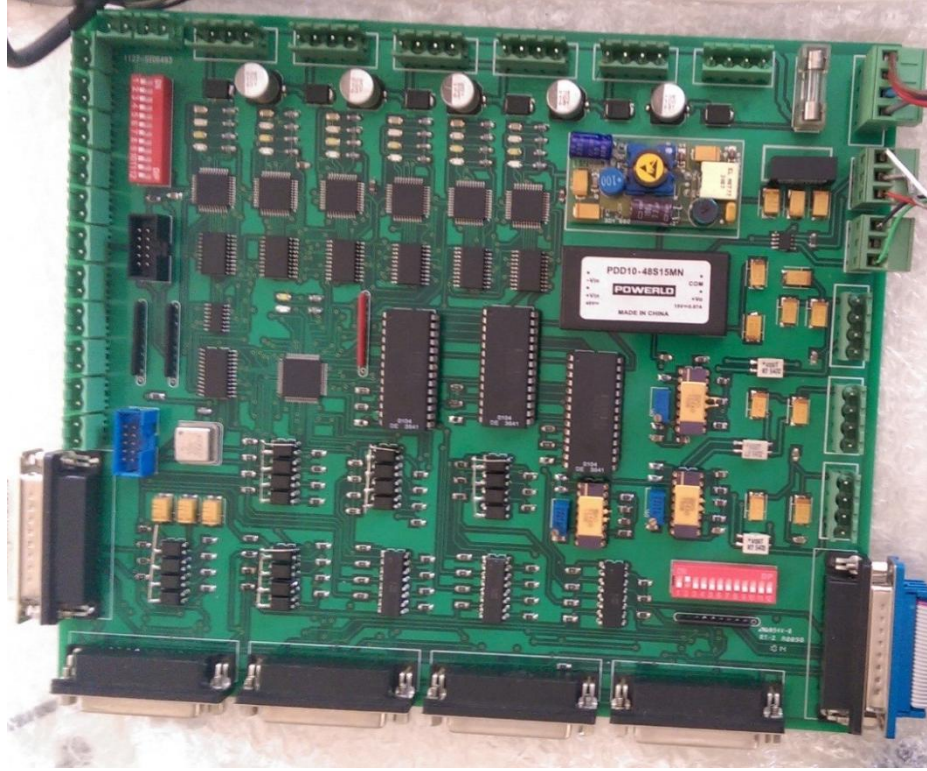
Motor sürmek için kullanılan mikro denetleyiciler, kendilerine ait bellekten gelen komutu alırlar ve uygularlar.

Robotu kontrol etmek ve veri almak için bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bu kumanda ünitesi, robotun ana devresi ile bilgisayar yazılımı arasında haberleşmeyi sağlar. Kumanda ünitesi ile ana devre birbirleriyle seri olarak haberleşir. Kumanda ünitesi ile bilgisayar birbirlerine USB ile bağlıdır. Aynı zamanda bu kumanda ünitesi ile step motorlar da kontrol edilir. Şekil 6.25'de kontrol kartı şematik çalışma görünümü verilmiştir.



Şekil 6.25. Kontrol kartı çalışma prensibi şematik görünümü.

Kontrol kartının çalışması şu şekilde özetlenebilir: Merkezi mikrodenetleyici encoderlardan gelen verileri alarak kumanda ünitesine gönderir. Kumanda ünitesi de bu verileri bilgisayar yazılımına aktarır. Operasyon sırasında beklenmeyen bir durumun oluşmasına karşın önlem olarak motor sürücülerine direk bağlı STOP (durdurma) butonu kullanılmıştır. Bu butona basıldığı an bütün motorların durdurulması mümkündür. Şekil 6.26’da robot kontrol ve veri toplama devresinin fotoğrafı görülmektedir.



Şekil6.26.Robot kontrol ve veri toplama devresi.

BÖLÜM 7

7.1. NÜMERİK ÇALIŞMALAR

Dizayn edilen robotun imalatının yapılması aşamasından önce sonlu elemanlar paket programı (ANSYS 14.0) yardımıyla çalışma şartlarındaki duruma göre analizi yapılmıştır. Bu analizler neticesinde robot koluna uygulanan momentler altında robotun efektif olarak ve sorunsuz çalışabildiği tespit edilmiştir.

Bu çalışmada incelenen robotun sonlu elemanlar modeli üç ana başlık altında incelenebilir. Bunlar;

1. Robot geometrisinin oluşturulması ve malzeme özelliklerinin atanması
2. Elde edilen robot geometrisinin mesh (ağ) yapısının; düğüm sayısı, eleman tipi ve sayısı vs. gibi özelliklere dikkat edilerek oluşturulması
3. Son olarak mesh atılmış robot geometrisi üzerinde sınır koşullarının belirlenmesi ve analizlerin yapılmasıdır.

7.1.1. Modelin Geometrisi ve Malzeme Özellikleri

Bu çalışmada toplam ağırlığı 84.04 kg olan robot ANSYS 14.0/Inventor 2015 paket programlarıyla modellenmiş ve çalışma şartlarında analizi yapılmıştır. Nümerik analizde yapılan kabuller ve diğer özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Modelin oluşumunda kullanılan malzeme özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

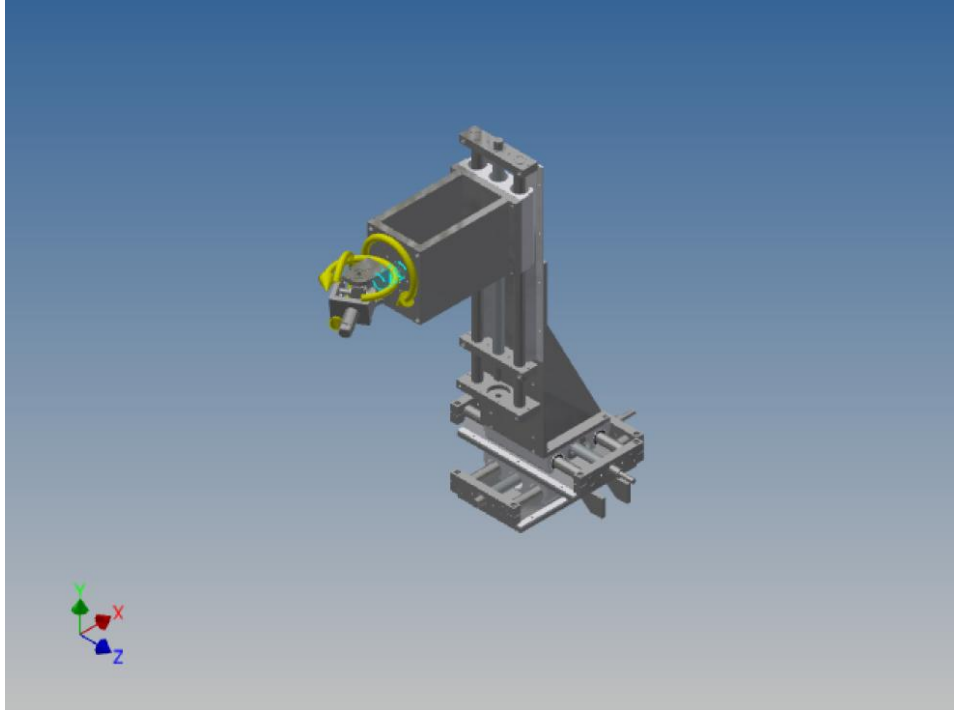
1. Modellenen robot yapısının bütün yapı elemanları kaynak için uygunluk, süneklik ve işlenebilirlik özelliklerine dikkat edilerek belirlenmelidir. Bu çalışmada sözkonusu özelliklere haiz kimi yerlerde Alüminyum kimi yerlerde Plastik ve kimi yerlerde de Çelik malzeme dikkate alınmıştır.
2. Kullanılan Plastik, Alüminyum ve Çelik malzemelerinin özellikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Malzeme özellikleri.

Malzeme Türü	Plastik	Young Modülü (MPa)	2240
		Poisson Oranı	0,38
		Malzeme Yoğunluğu (g/cm ³)	1,06
		Akma Gerilmesi (MPa)	20
	6061	Young Modülü (MPa)	68900
		Poisson Oranı	0,33
		Malzeme Yoğunluğu (g/cm ³)	2,7
		Akma Gerilmesi (MPa)	275
	Çelik	Young Modülü (MPa)	193000
		Poisson Oranı	0,3
		Malzeme Yoğunluğu (g/cm ³)	8
		Akma Gerilmesi (MPa)	250

7.1.2. Modelin Mesh (Ağ) Yapısı

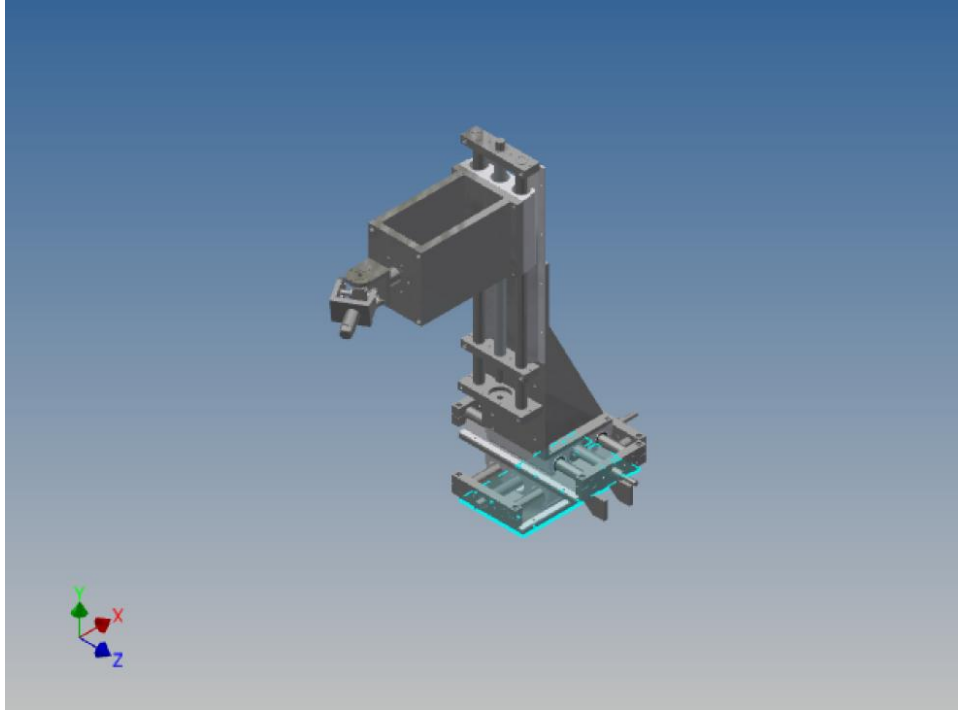
Robotun Inventor 2015 paket programında oluşturulan sonlu elemanlar modeli Şekil 7.1’de verilmiştir. Modelleme yapılırken eleman değeri olarak 0.1 mm kullanılmıştır. Bu durumda model üzerinde oluşan düğüm sayısı 321683 ve buna karşılık eleman sayısı da 175471 dir. Modellemede işlem süresini artırmamasına rağmen daha gerçekçi olmasından dolayı solid eleman tipi kullanılmıştır.



Şekil 7.1. RobotunInventor paket programıyla çizilmiş modeli.

7.1.3. Modelin Sınır Şartları ve Yüklemeler

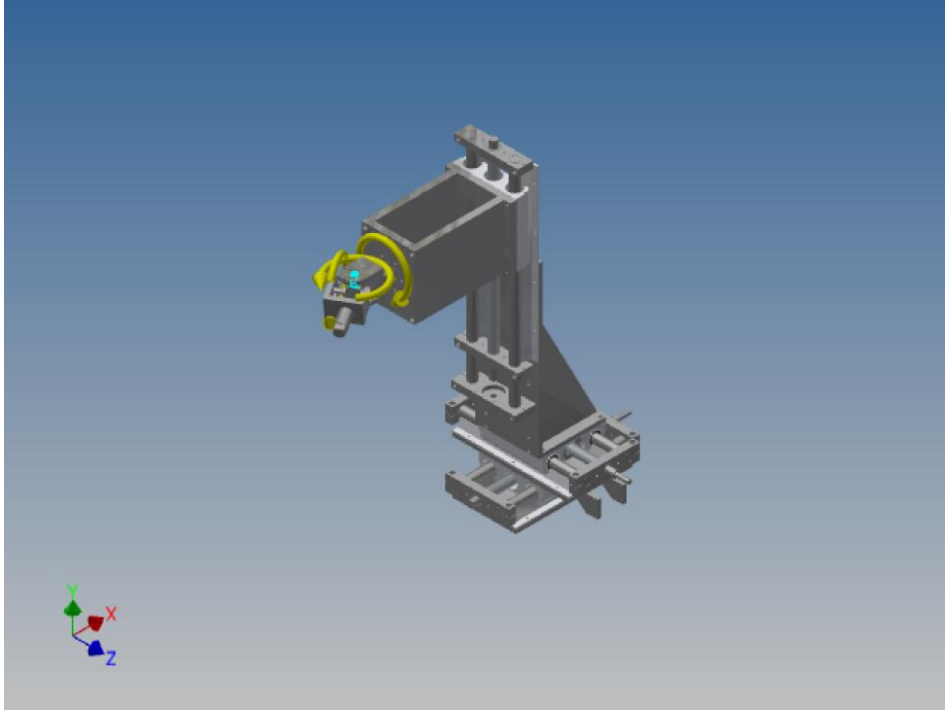
Modelin alt tabanı, çalışma şartları düşünüldüğünde yani robotun maruz kaldığı yükler altında sabit bir mesnet gibi davranması durumu dikkate alındığında, Şekil 7.2.'de gösterildiği gibi bütün yük altındaki durumlarda sabitlenir. Modele uygulanan çalışma momentleri bu kısım sabitken uygulanmıştır.



Şekil 7.2. Tabanın sabitlenmesi.

Inventor paket programı kullanılarak modeli oluşturulan robotun alt taban kısmı analizi yapabilmek adına öteleme ve dönme sınır koşulları olarak Şekil 7.2’de gösterildiği üzere sabitlenmiştir.

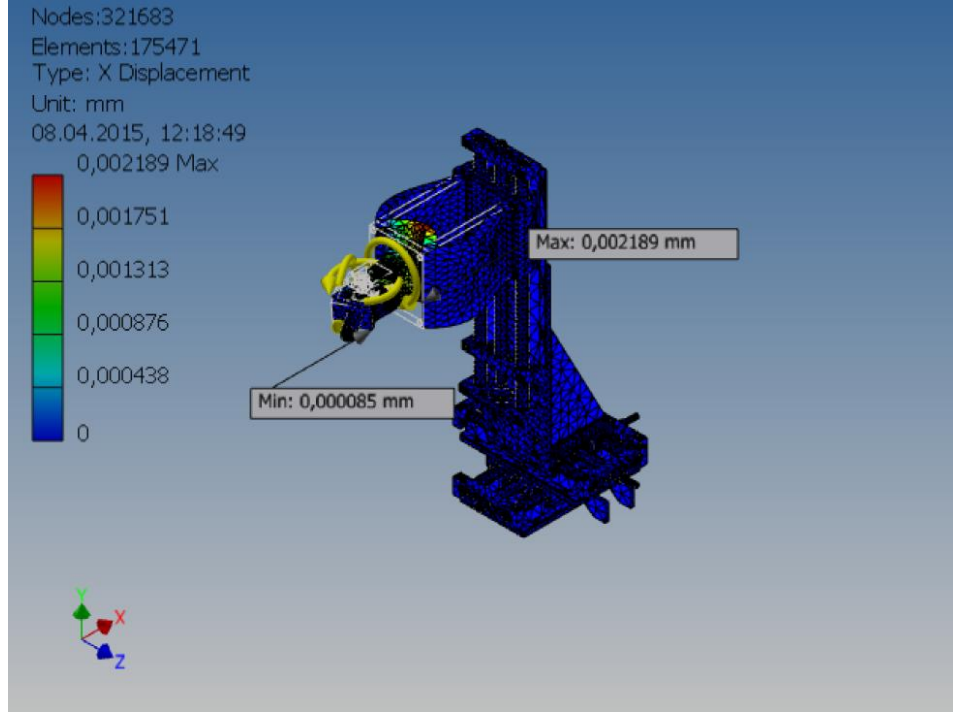
İlk olarak robota çalışma şartlarında etki edecek maksimum moment (robot koluna X, Y, ve Z eksenleri etrafında herbiri 480 Nmm olacak şekilde)ve maksimum kuvvet (insan gücüyle yapılan ameliyat ortamında uygulanan kuvvetin kişilere bağlı olarak değiştiği ve bu değerlerin yaklaşık olarak yarısının uygulanabildiği varsayımıyla 200 kg) değerleri uygulanıp gerilme analizleri yapılmıştır. Robota maksimum yüklerin yüklenmesi (üç moment ve bir kuvvet olmak üzere toplam dört yükleme değerleri) işlemleri Şekil 7.3’de görülmektedir



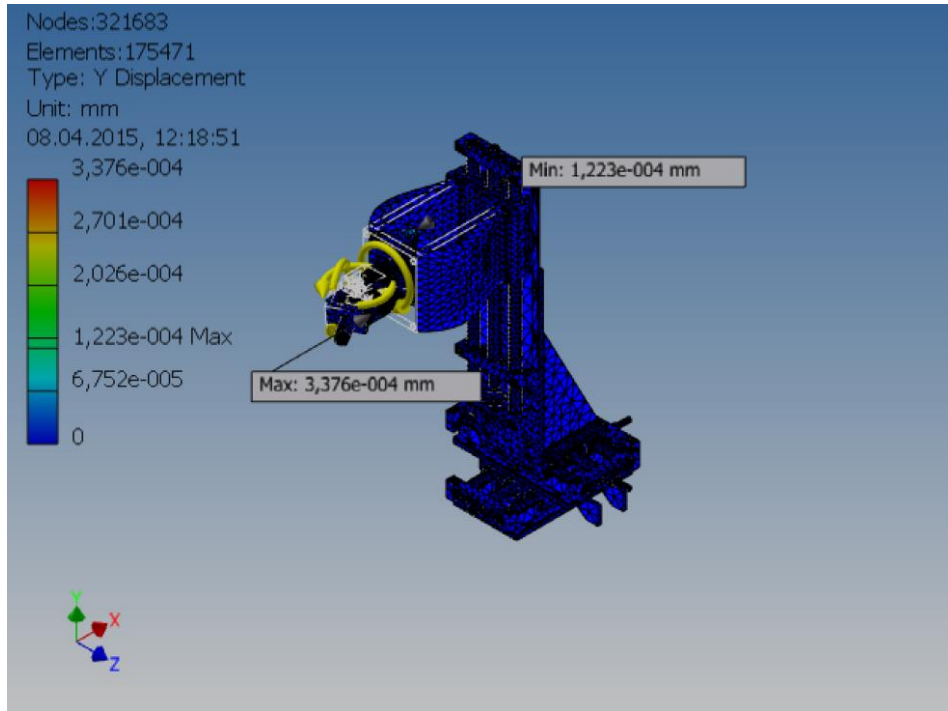
Şekil 7.3. Robota maksimum yüklerin uygulanması.

Şekil 7.4-7.6'da robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda sırasıyla X, Y ve Z yönünde oluşan şekil değişimleri görülmektedir. Söz konusu şekiller incelendiğinde maksimum yüklemeler esnasında robotta X, Y, ve Z yönlerinde sırasıyla 0.002189 mm, 0.0003376 mm, ve 0.001414 mm maksimum yer değiştirme değerlerinin oluştuğu görülmektedir. Son olarak Şekil 7.7.'de ise eşdeğer şekil değişimi görülmektedir. Bütün bu değerlerin yapılacak işlem için yeterli hatta çok uygun olduğu söylenebilir.

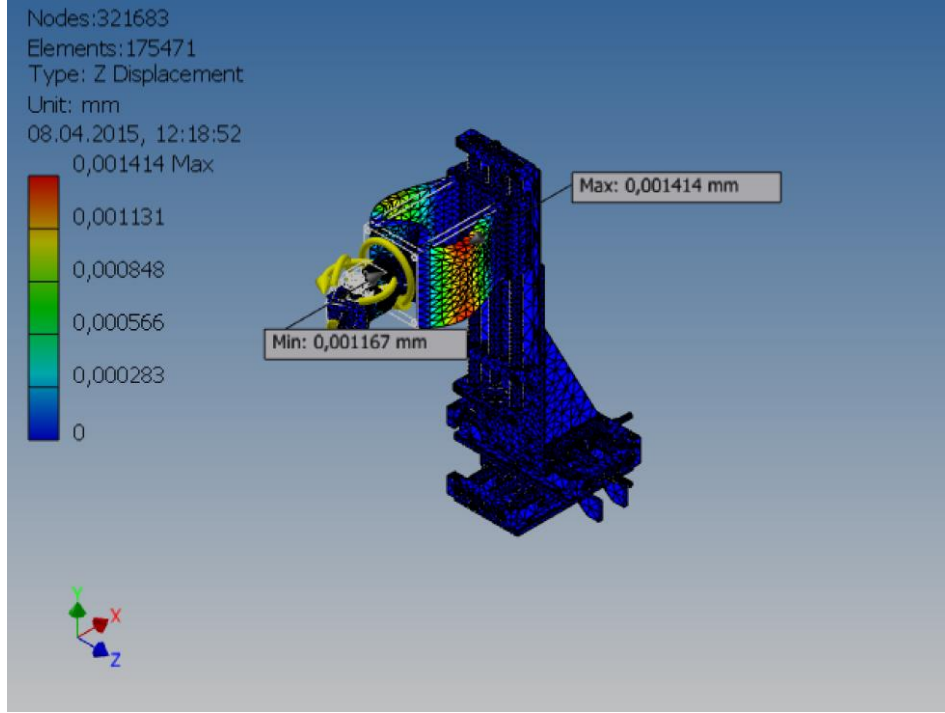
Şekil 7.8 - 7.10'da robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilmeler ile eşdeğer gerilme dağılımı görülmektedir. Dağılımlara bakıldığında maksimum gerilmelerin sırasıyla 5.842 MPa, 1.77 MPa ve 3,724 MPa olduğu görülmektedir. Bu değerler robotun güvenli bir şekilde çalışabileceğini göstermektedir.



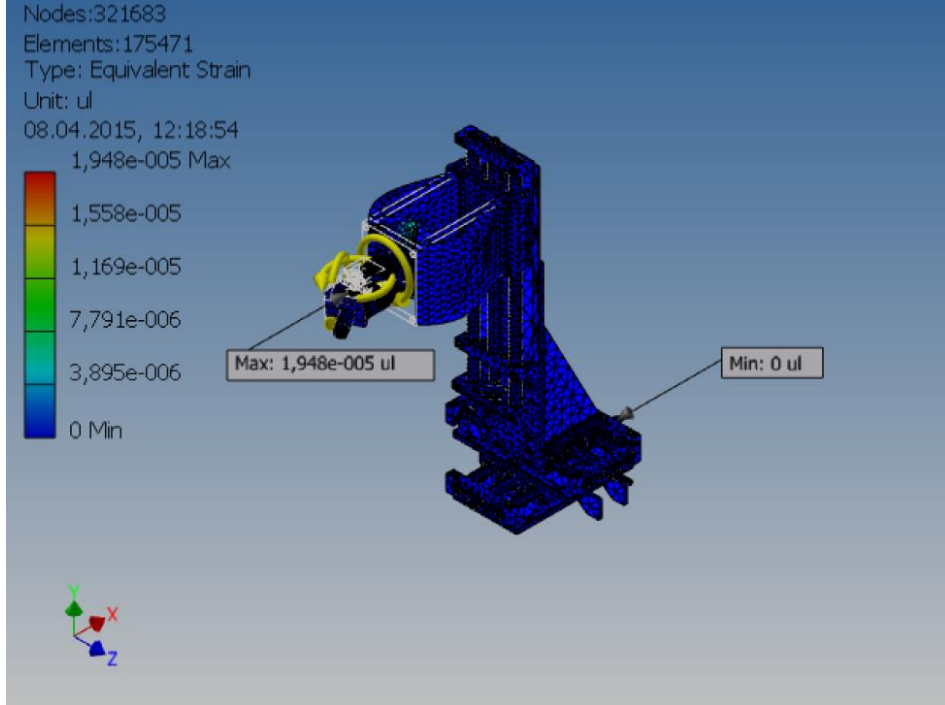
Şekil 7.4. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (X yönünde).



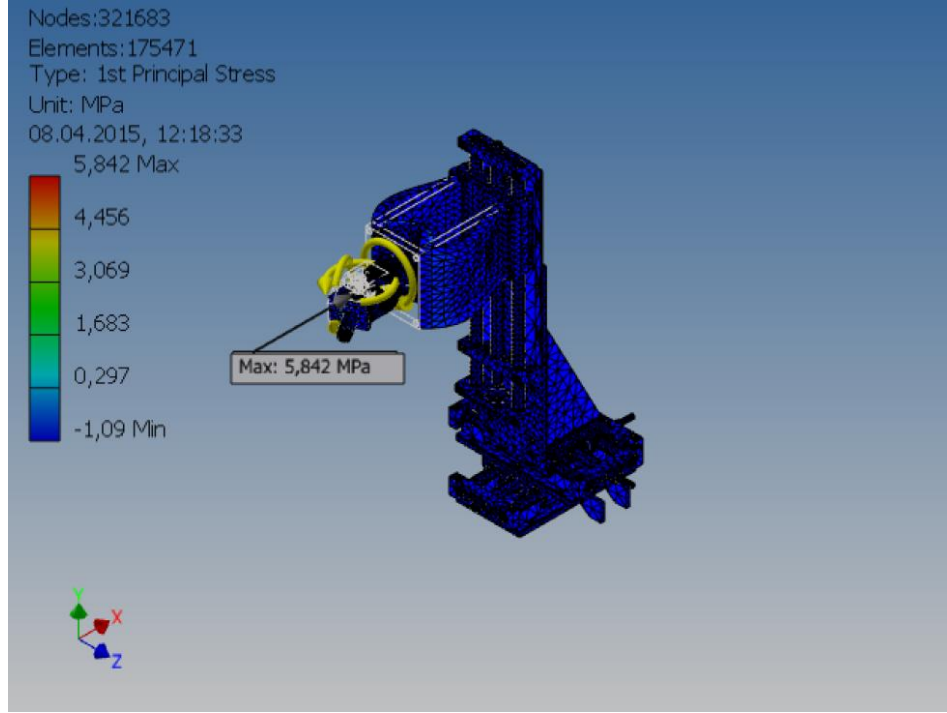
Şekil 7.5. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Y yönünde).



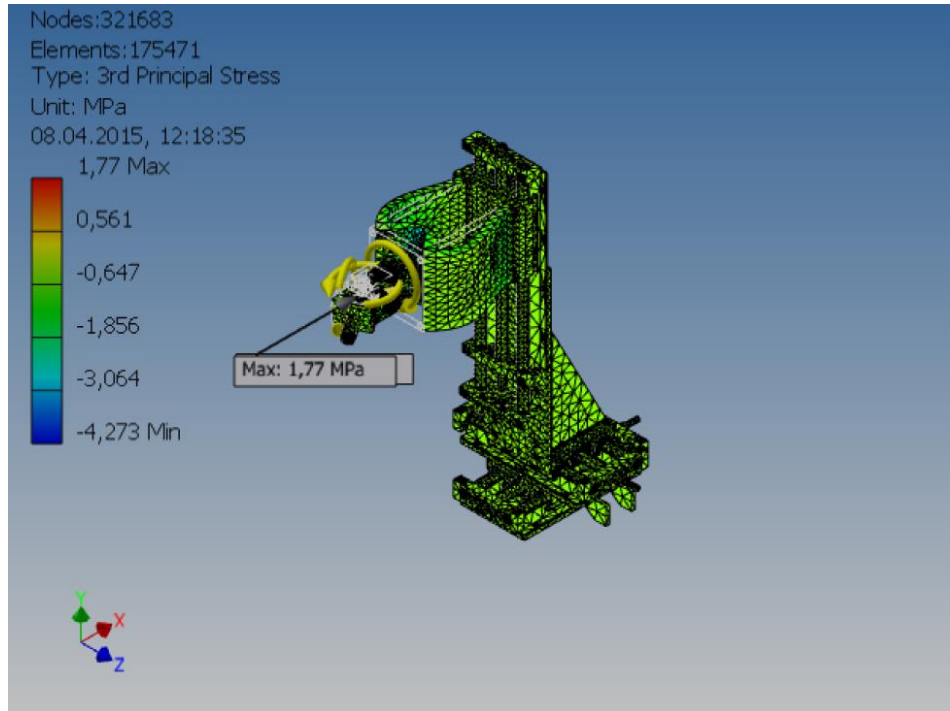
Şekil 7.6. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Z yönünde).



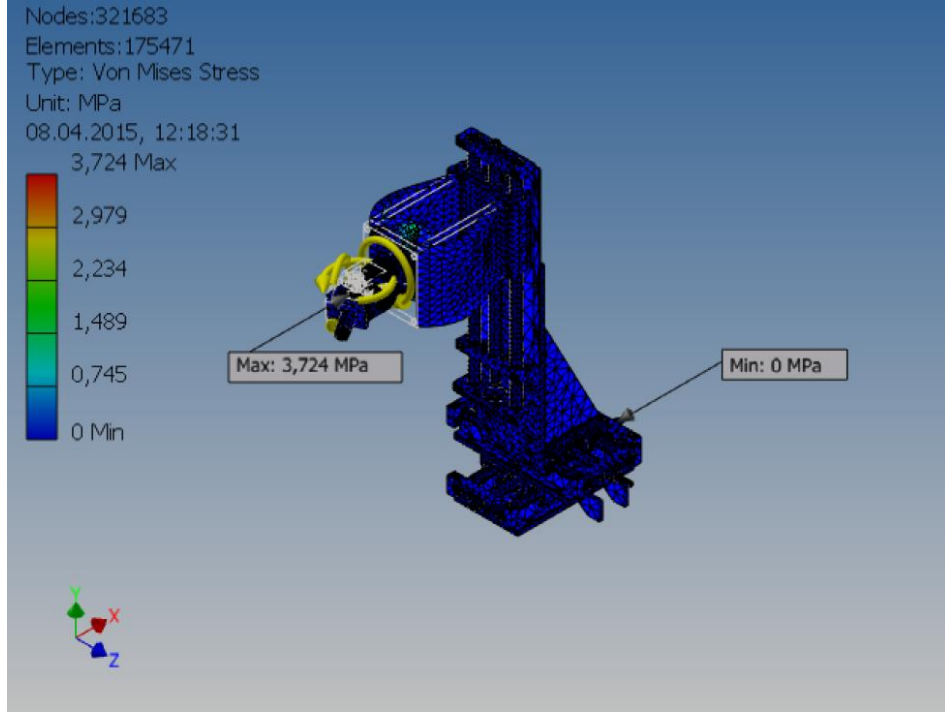
Şekil 7.7. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan deformasyon dağılımı (Eşdeğer).



Şekil 7.8. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (1. asal gerilme).



Şekil 7.9. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (3. asal gerilme).



Şekil 7.10. Robota uygulanan maksimum yüklemeler sonucunda oluşan asal gerilme dağılımı (eşdeğer gerilme).

Bütün bu şekil değiştirme ve gerilme değerleri incelendiğinde; konstrüksiyonun ana gövdesi ve bu bölgeye yakın olan alanlarında stabil ve kullanılan malzemelerimizin gerilme dayanımlarına göre kabul edilebilir ve genel dayanımı olumsuz yönde etkilemeyen bir değer aralığında (koyu mavi ile açık mavi gerilme bandındaki değerler) olduğu görülmektedir.

Dikey sütun üzerindeki dairesel motorları üzerinde bulunduran bölgede ise hemen hemen ana sabit konstrüksiyona yakın gerilme değerleri elde edilmiştir. Bu alanda da konstrüksiyonun yaptığı mekanik hareket yönünde ve kullanılan malzemenin gerilme dayanımı değerleri kabiliyetine göre oluşan bileşke gerilme değerleri kabul edilebilir ve genel dayanımı olumsuz yönde etkilemeyen bir değer aralığındadır (açık maviden açık yeşile doğru).

Hareketli fiksator çivilerinin bağlandığı uç kısmında ise en yüksek gerilme değerleri elde edilmiştir. Özellikle çivilere sabitlenen uç kısım ile bu kısma hareket sağlayan makine mafsalları kritik gerilme bölgelerini oluşturmaktadır. En yüksek gerilme değeri ise fiksator çivilerinin bağlandığı uç kısımlarda olduğu görülmektedir.

Buna bağlı olarak konstrüksiyonun gerilme analizi değerlerine göre en yüksek gerilme değerleri görülen vida (saplama) ve bunun bağlı olduğu makine mafsallarda kısımlarında aşırı yüklemeden dolayı mafsallarda ve malzemede radyal yönde çatlaklar, yırtılmalar ve karşılıklı çalışan, yüksek gerilme değerlerine maruz kalmış kısımlarda da ezilmeler, deformasyonlar görülebilir.

Bu değerlendirmeler ışığında; yapılan deneyde tasarlanan konstrüksiyonun; uygulanan yük değerleri altında kullanılan malzeme değerlerine ve konstrüksiyon tasarımına, makine elemanlarına ve mafsallarda tasarıma göre emniyetli sınırlar içerisinde olduğuaıkca grlmektedir.

7.2. DENEYSEL ALIşMALAR

Nümerik analiz sonucu güvenilirliği test edilen robotun imalatı gerçekleştirilerek deneysel olarak kırık kemik hizalama işlemleri manken üzerinde de test edilmiştir. Bu maksatla robotun kolları arasına yerleştirilen kırık kemik parçalarını modellemek için yapay kemikler kullanılmıştır. Kemiklere er adet fiksator çivisi çakılmıştır. Kırık kemiklerin hizalanması için, kemiğin bir parçasının sabit, diğer parçasının ise hareketli olması prensibi kullanıldığından kırık kemiğin bir tanesi robotun hareketsiz koluna sabitlenmiştir. Diğer kemik ise robotun hareketli koluna bağlanmıştır. Hareketli kolun uzaktan kontrolü (kumanda nitesi) ile diğer kırık kemik sabit kemiğe göre uygun konuma getirilmeye çalışılmış ve doğruluğu göz ile kontrol edilmiştir. Gzn gördüğü hassasiyette başarı sağlanmıştır. Aynı anda 6 motora da hareket verilebildiği için çok sayıda yörüngeyi takip etmek mümkün olmuştur. Kullanıcı nasıl bir yörüngeyi takip edeceğine kendisi karar verebilmektedir. Deneyde kullandığımız model kemikte gerçek bir kas, sinir tendon vb. yapı olmadığından hareketi sınırlayıcı etkenler oluşmamıştır. Konumlandırılmada birçok değişik yörünge takip edilerek her denemede başarılı hizalama sağlanmıştır. Şekil 7.11’de robotun kırık kemikleri hizalama işlemini yaparken çekilen bir fotoğraf grlmektedir.



Şekil 7.11. Robotun kırık kemikleri hizalama işlemi yaparken çekilmiş fotoğrafı.

7.3. SONUÇ VE ÖNERİLER

7.3.1. Sonuçlar

Tasarımı ve imalatı yapılan robot ile uzun kemik kırıklarının harici fiksatör uygulamalarında cerrahi operasyonlar için kullanılabileceği tespit edilmiştir. Bu

robot sayesinde hastanın daha az radyasyona maruz kalması, redüksiyonun çok daha kaliteli yapılabilmesi ve bunlara bağı olarak hastanın iyileşme sürecinin kısalması mümkün olabilecektir.

Bu çalışmada, tasarlanan robotun nümerik analizleri için Inventor 2015 kullanılmış; 3 ekseninde maksimum moment değerlerinin (480 Nmm lik moment değerlerinin) varlığında ve yaklaşık 2000 N değerindeki kuvvetin uygulanması durumunda konumlanmanın sorunsuz olabileceği görülmüştür.

7.3.2. Öneriler

Hekim ve sağlık personelinin ameliyat süresince kol kuvveti ile güçlükle yapabildiği veya güç yetersizliğinden hiç yapamadıkları kemiklerin hizalanması problemi bu robot sayesinde giderilmiş olacaktır. Bu sayede operasyon süresinin oldukça kısalması beklenen doğal sonuçtur. Bu durum zaman ve iş gücünün verimli kullanılması bakımından oldukça faydalı bir yöntem sunmaktadır.

Robot uzaktan kumanda ile kontrol edilebildiğinden, sağlık personelinin sürekli hasta yanında bulunma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Böylece bu personel, kırığın durumunu gözlemek için oldukça sık ihtiyaç duyulan röntgen görüntülerinin çekimi sırasında oluşan radyasyona maruz kalmayacaktır. Hekim ve diğer sağlık personeli için sıfır radyasyon oldukça etkileyici bir sonuçtur.

KAYNAKLAR

1. Çakıroğlu, M.S., Sancaktar, İ., Ulutaş, M., and Ertaş, A.H., “Design of an assistant robot for alignment of fractured bones in medical operations”, *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17: 188-189(2014).
2. Malas, M.A., “Kemikler hakkında genel bilgi”, Kısa Anatomi Ders Notları, *İzmir Kâtip Çelebi Üniversitesi Tıp Fakültesi*, İzmir (2014).
3. İnternet: Kemik Eklem Cerrahisi Derneği, “Genel Olarak Kırıklar”, <http://kemikeklemcerrahisi.org/HastalarimizaOzel.aspx>(2014).
4. Mutlu, B., ve Kurt, M., “Kırık kemik tedavilerinde kullanılan fiksatorlerin mekanik özellikleri ve üç değişik malzemeden yapılmış halka tipi fiksatorlerin mekanik testleri”, *Mühendis ve Makina*, 46: 543 (2005).
5. Yılmaz, C., “Yüksek cerrahi riski bulunan intertrokanterik femur kırıklı hastalarda eksternal fiksator uygulaması ve sonuçları”, *Şişli Etfal Eğitim ve Araştırma Hastanesi, 1.Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği*, İstanbul(2005).
6. Baykal, Y.B., Burç H., ve Atay T., “Proksimal tibia kırıklarında redüksiyon yöntemleri ve kilitli plak uygulamaları”, *TOTBİD (Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği) Dergisi*, 11 (1):65-71 (2012).
7. Moss, D.P., and Tejwani, N., “Biomechanics of external fixation: a review of the literature”, *Bulletin of the New York University Hospital for Joint Diseases*, 65(4):294-299(2007).
8. Ateşalp, A.S., Demiralp, B., ve Bek D., “Tibia'nın kemik defektlerinde sirküler eksternal fiksator ile kemik transportu”, *TOTBİD (Türk Ortopedi ve Travmatoloji Birliği Derneği) Dergisi*, 3 (1-2): 65-71 (2004).
9. Demir, H., ve Çalış, M. “Diz artroplastisi rehabilitasyonu”, *Erciyes Tıp Dergisi*, 24 (4): 194-201(2002).
10. Çetinkaya, Ö., “Bir kolun hareketlerini takip eden dört dönel mafsallı robot kolu tasarımı ve deneysel araştırılması”, Y. Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 46-72(2009).
11. İnternet: Birlik Rulman, “Lineer Modüller, Doğrusal Lineer Hareket Sistemleri”, <http://www.birlikrulman.com/markalar.asp?islem=detay&ID=23> (2014).

12. Internet: Customer Benefits and Features, “Technical Data”, <http://harmonicdrive.de/produkte/units-getriebeboxen-und-lanetengetriebe/units/hfuc-2uh.html> (2014).

13. İnternet: Mean Well, “480W Single Output Industrial DIN RAIL with PFC Function”,<http://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=drp-480>(2014).
14. İnternet: Lika Absolute Programmable Encoder,“CAT AMx58x P E”,http://lika.it/eng/file7.php?id_file=3442 (2014).
15. İnternet: Leadshine Step Motor, “Step Motor 57HS Series LSC Stepper Systems”,<http://www.leadshine.com/productdetail.aspx?type=products&category=stepper-products&producttype=2-phase-stepper-motors&series=57HS&model=57HS22>(2014).
16. İnternet: Robosan Otomasyon, “ZM-2H504 4.2A 24-50VDC Microstep Sürücü”,<http://www.robosan.com.tr/step/zm2h504.htm> (2014).

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Selim ÇAKIROĞLU 1972 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Samsun'da tamamladı. Yüksek Öğrenimini ise 1997 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümünde tamamladı. Özel sektörde farklı iş alanlarında tecrübesi bulunan Mustafa Selim ÇAKIROĞLU halen Ordu Üniversitesi Teknik Bilimler MYO da Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

İş Deneyimleri :

TARİH	İŞ YERİ	GÖREVİ
1996-1997	Volkswagen	Servis Müdürü
1997-1998	Kayhan Asansör	Makine Mühendisi
1999-2002	Ansa Müh.Ltd.Şti.	Şirket Müdürü
2002-Devam Ediyor	Makine Müh. Odası	MİEM Eğiticisi
2002-2005	Özerentaş Asansör	Makine Mühendisi
2005-2006	Karadeniz Teknik Üniversitesi	Öğretim Görevlisi
2006-Devam Ediyor	Ordu Üniversitesi	Öğretim Görevlisi

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Ordu Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, Akyazı Mah. Altınordu/ ORDU

Tel : +90 (452) 233 48 65 (4168); +90 (530) 776 70 77; +90 (530) 441 48 32

E-posta : mselimcakiroglu@hotmail.com; msc@odu.edu.tr