

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BİR HAPTİK ARAYÜZ YAPISAL ANALİZİ
VE İMALATI

Mustafa Metehan ÖZKAN
YÜKSEKLİSANS TEZİ
TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE

2007

T.C.
GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ
ENSTİTÜSÜ

BİR HAPTİK ARAYÜZ YAPISAL ANALİZİ
VE İMALATI

Mustafa Metehan ÖZKAN

YÜKSEKLİSANS TEZİ

TASARIM VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

GEBZE

2007

 GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ	YÜKSEK LİSANS/DOKTORA JÜRİ ONAY FORMU
--	--

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 16/10/2007 tarih ve 2007/37 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 17/10/2007 tarihinde tez savunma sınavı yapılan **Mustafa Metehan Özkan**'ın tez çalışması Tasarım ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : Bir Haptik Arayüz Yapısal Analizi ve İmalatı

YAZAR ADI : Mustafa Metehan Özkan

Dokunma ile ilgili bir bilim dalı haline gelen haptik üzerine çalışmalar her geçen gün hızla artmaktadır. Medikal sektörden, askeri eğitimlere kadar bir çok alanda kullanılmaya başlayan haptik arayüzler, artan ihtiyaçlar doğrultusunda sürekli geliştirilmektedir. Bu mekanizmaların 6 serbestlik derecesi, yüksek güç kapasitesi, geniş çalışma uzayı ve kararlılık gibi özellikleri olması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında, referans cihaz olarak kompakt 6 serbestlik dereceli, konumlayıcı olarak paralel mekanizma ve yönlendirici olarak da yalpa mekanizmasından oluşan karma bir cihaz tercih edilmiştir. İlk olarak literatür taraması yapılarak mevcut haptik arayüzler hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra kompakt 6 serbestlik dereceli haptik arayüzün CAD ortamında tasarlanması, kinematik ve yapısal analizinin incelenmesi ve imalatı yapılmıştır. Sonrasında mekanizmanın eksenlerdeki hareket aralıkları incelenmiş, sonuçların ve önerilerin sunulmasıyla sonlandırılmıştır.

SUMMARY

THESIS TITLE : Structural Analysis and Manufacturing of a Haptic Interface

AUTHOR NAME : Mustafa Metehan Özkan

Recently, scientific experiments related to haptic has been increasing which is about pointing subject. Haptic interfaces have been starting to use in many areas of life such as medical sector, military educations which is improving itself caused by raising requirements. This mechanisms should be included 6 dof, high force capacity and wide workspace

During this thesis study, as a reference equipment is chosen with 6 dof , consisting of parallel mechanism for placement and spatial gimbal mechanism for orientation. As a beginning, current haptic interfaces has been presented with literature search and study. After that compact 6 dof haptic interface has been designed in Cad, besides search of kinematic and structural analysis has been done with the manufacturing. Finally presented with study and search of motion distance in axis and finished with proposals.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin oluşturulmasına görüş ve düşünceleriyle yön veren değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. İlyas Kandemir'e,

Hayatım boyunca sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen aileme, teşekkürlerimi sunmak isterim.

Bu çalışma Tübitak Proje 104E061 tarafından desteklenmiştir.

Mustafa Metehan ÖZKAN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiv
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	4
2.1. Haptik Arayüz	4
2.2. Haptik Arayüz Kullanım Alanları	4
2.2.1. Grafikselsel Kullanıcı Arabirimi Kullanımı İçin Güç Yansıtıcı Giriş	
Aygıtları	5
2.2.2. Oyunlar	6
2.2.3. Multimedya Yayınları	6
2.2.4. Bilimsel Keşifler	6
2.2.5. Sanat ve Kreasyon	7
2.2.6. Ses ve Görüntü Kurgulama	7
2.2.7. Araç Çalıştırma ve Kontrol Odaları	7
2.2.8. Mühendislik	7
2.2.9. İmalat	8
2.2.10. Uzaktan Robotik Müdahale ve Uzaktan Operasyonlar	8

2.2.11.	Eğitim Öğretim	8
2.2.12.	Rehabilitasyon	8
2.2.13.	Dokunma Üzerine Bilimsel Çalışmalar	9
2.3.	Sanal Gerçeklik	9
2.4.	Mekanizma	9
2.4.1.	Paralel Mekanizmalar	10
2.4.2.	Seri Mekanizmalar	10
2.4.3.	Seri ve Paralel Mekanizmalar Arasındaki Farklar	11
3.	TASARIM	13
3.1.	Genel Tasarım Kriterleri	13
3.1.1.	Ergonomi	14
3.1.2.	Çalışma Uzayı/Alanı	14
3.2.	Kompakt Altı Serbestlik Dereceli Haptik Arayüz Tasarımı	15
3.2.1.	Uzaysal Yalpa Mekanizması	16
3.2.2.	Geliştirilmiş Paralel Mekanizma	19
3.3.	Boyutların Belirlenmesi	25
3.3.1.	Taban Kısımının Oluşturulması	26
3.3.2.	Sınırlandırıcı Delta Parça	27
3.3.3.	Mafsal Uzunluklarının Belirlenmesi	28
3.3.4.	Hareketli Üst Kısım	31
3.3.5.	Uzaysal Yalpa Mekanizması	32
3.4.	Motor seçimi	34
3.5.	Rulman Seçimi	36
4.	HAPTİK ARAYÜZÜN BİLGİSAYAR ORTAMINDA TASARIMI	39
4.1.	Parça Modelleme	40
4.1.1.	Catia V5 Programında Parça Modelleme	40
4.1.2.	Taban Katı Modellemesi	41
4.1.3.	Sınırlayıcı Delta Parça	43
4.1.4.	Taşıyıcı Kolların Katı Modellemesi	44

4.1.5.	Hareketli Üst Kısım Katı Modellemesi	47
4.1.6.	Uzaysal Yalpa Mekanizması Katı Modellemesi	48
4.1.7.	Motorların Katı Modellenmesi	53
4.2.	Montaj Modelleme	54
4.2.1.	Catia V5 Programında Montaj Modelleme	54
4.2.2.	Haptik Arayüzün Modellenmesi	55
5.	İMALAT	66
6.	SONUÇ VE ÖNERİLER	71
	KAYNAKLAR	73
	ÖZGEÇMİŞ	75

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
DOF :	degree of freedom
CAD :	computer aided manufacturing
SD :	serbestli derecesi
θ_r :	x eksenindeki yönelim açısı
θ_p :	y eksenindeki yönelim açısı
θ_y :	z eksenindeki yönelim açısı
θ_i :	i numaralı motorun bağlantı açısı
s_i :	θ_i 'nin sinüsü
c_i :	θ_i 'nin cosinüsü
J :	jakobyen
det J :	J matrisinin determinantı
$\bar{p}$:	P noktasının pozisyon vektörü
$\bar{u}$:	U noktasını pozisyon vektörü
θ_{li} :	i numaralı hareketlendiricinin bağlantı açısı
$\overline{CB}$:	C ile B noktaları arasında tanımlanan vektör
$\overline{AB}$:	A ile B noktaları arasında tanımlanan vektör
p_i :	i numaralı kol için P noktasının pozisyon vektörü
π :	pi sayısı
r_0 :	O noktası il A noktası arasındaki mesafe
r_1 :	alt kol uzunluğu
r_3 :	üst kol uzunluğu
r_5 :	P noktası ile C noktası arasındaki mesafe
h :	yükseklik

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Master-Slave Sistem [R.C. Goertz, 1952]	2
2.1. Mitsubishi Tarafından Geliştirilen PA-10	11
2.2. Seri ve Paralel Manipölatörler	12
3.1. Haptik Arayüz	16
3.2. Üç Serbestlik Dereceli Agile Eye Mekanizması	17
3.3. İki Serbestlik Dereceli Agile Eye Mekanizması	18
3.4. Yalpa Mekanizmasının Kinematik Yapısı [Tsumaki et al., 1998]	18
3.5. Clavel'in Paralel Mekanizması [Clavel, 1988]	20
3.6. Paralel Mekanizma Taslağı	21
3.7. Bağlantı Açıları ve Kol Uzunluklarının Gösterimi	22
3.8. Tek Uzun İçin İki Ters Kinematik Çözüm	23
3.9. Taban Bölümü	26
3.10. Sınırlayıcı Delta Parça	28
3.11. Taşıyıcı Kollar Yan Görünüm	29
3.12. Taşıyıcı Kollar İzometrik Görünüş	30
3.13. Seri Bağlantılı Kollar	31
3.14. Hareketli Üst Kısım	32
3.15. Uzaysal Yalpa Mekanizması	33
3.16. Rotor Üzerine Yerleştirilmiş Eğilmiş Mıknatıslar	35
3.17. Bilyalı Mafsal ile Rulman Hareket Limitleri [Tsumaki et al. , 1998]	37
3.18. Yalpa Mekanizmasında Rulmanların Kullanımı	38
4.1. Catia V5 Parça Modelleme Modülüne Giriş	40
4.2. Taban Altıgen Parça Katı Modeli	41

4.3. Taban Motor Taşıyıcı Parça Katı Modeli	42
4.4. Taban Katı Modeli	43
4.5. Sınırlandırıcı Delta Parça	44
4.6. Taşıyıcı Kol Parçaları Ayrıştırılmış Modeli	45
4.7. Taşıyıcı Kol Katı Modeli	45
4.8. U Mafsal Katı Modeli	46
4.9. Taşıyıcı Kol Sistemi Montaj Modeli	46
4.10. Üst Kol Bağlantısı Katı Modellemesi	47
4.11. Üst Motor Taşıyıcı Katı Modellemesi	47
4.12. Hareketli Üst Kısım Katı Modellemesi	48
4.13. İç ve Dış Çemberin Katı Modellemesi	49
4.14. Çember Yapısı	49
4.15. U Parça Katı Modellemesi	50
4.16. Orta Motor Yuvası Katı Modellemesi	51
4.17. Orta Motor Yuvası Katı Modellemesi	51
4.18. Orta Motor Yuvası Bağlantıları	51
4.19. Kontrol Kolu Katı Modellemesi	52
4.20. Motorların Katı Modellemesi	53
4.21. Montaj Modelleme Modülüne Giriş	54
4.22. Paralel Mekanizma Montaj Modeli	55
4.23. Paralel Mekanizma Üst Görünüş	56
4.24. Paralel Mekanizma Yan Görünüş	56
4.25. Yalpa Mekanizması Montaj Modellemesi	57
4.26. Yalpa Mekanizması Montaj Modeli Ön Görünüşü	57
4.27. Yalpa Mekanizması Montaj Modeli Üst Görünüş	58
4.28. Haptik Arayüz Montaj Modellemesi	59
4.29. Haptik Arayüz Montaj Modeli Üst Görünüş	60
4.30. Üst Kollar İler Hareketli Kısım Arasındaki Çakışma	61
4.31. Üst Kolların Çakışması	61

4.32. Haptik Arayüz x Ekseninde Çalışma Aralığı	62
4.33. Haptik Arayüz z Eksenindeki Çalışma Aralığı	62
4.34. Çalışma Uzayı	63
4.35. x-y Eksenlerindeki Çalışma Alanı	64
4.36. z-y Eksenlerindeki Çalışma Alanı	65
5.1. Sınırlayıcı Delta Parça	67
5.2. Uzaysal Yalpa Mekanizması	68
5.3. Paralel Mekanizma	69
5.4. Haptik Arayüz	70

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Paralel ve Seri Mekanizmalar Arasındaki Yapısal Farklılıklar	11

1. GİRİŞ

Geçmiş yıllarda genelde sanayide kullanılan robotlar, teknolojinin hızla gelişimi ve insan ihtiyaçlarının artmasıyla birçok sektörde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır.

Robot, yeniden programlanabilen, maddeleri, parçaları, aletleri programlanmış işe göre taşıyan ve işleyen makinelerdir [Robot Institute of America, 1979].

İnsanların kendilerine yardımcı bulma merakı sonunda meydana gelen robotlar, teknolojinin gelişimiyle insanın temel özelliklerine ve yeteneklerine sahip olmaya başlamıştır. Haptik sistemlerin gelişimiyle robotlar hissetme ve hissettirme gibi özelliklere kavuşmuşlardır.

Haptik, dokunma duyusuyla ilgili Yunanca kökenli bir terimdir. Günümüzde haptik, sanal veya gerçek ortamlardaki dokunmayla ilgili bilimin adı halini almıştır. Haptik manipulatörler ve arayüzeyler kuvveti hissetmemize yarayan, sanal ortamdaki cisimlere dokunma, onları hissetme, kontrol etme ve düzenlemeye imkan veren sistemlerdir.

1950 yılında Göertz tarafından tasarlanan, Şekil 1.1’de görülen master-slave sistem haptik sistemlerin temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmadan itibaren haptik aygıtların sayısı artmıştır. Haptik aygıtlarda asıl istenen özellik hızlı tepki verebilmesi ve aygıtın geniş çalışma alanına sahip olmasıdır [R.C. Goertz, 1952].

Haptik aygıtların kullanılmasının ana amacı, kullanıcıların simüle edilen veya uzaktan kontrol edilen ortamlar yardımıyla deneyimlerini artırmalarını sağlamaktır.

Uzaktan kontrolü başarıyla gerçekleştirebilmek için kullanıcının tüm bilgileri hazır bulundurması ve hatasız uygulaması gerekmektedir.



Şekil 1.1. Master-Slave Sistem [R.C. Goertz, 1952]

Haptik arayüzler sayesinde farklı nesneler birbirine bağlı değil gibi gözükseler bile bu nesneler arasında mükemmel etkileşim sağlanır. Haptik arayüzler, çevre ile etkileşimi bilgisayar donanımı ve yazılımlarıyla algırlar. Aygıtların kullanıldığı ortamlardaki çevresel şartlar, simule edilmiş ortamlar ve dış etkiler geliştirilmiş yazılımlar yardımıyla oluşturulabilir ve özel cihazlar yardımıyla da kullanıcılara sunulabilir. Gelişen bilgisayar grafikleri sayesinde sanal ortamlar gerçekteki gibi çeşitli çevresel şekiller içerebilirler. Bu ortamlar gerçek hayatta kullanıcının yaklaşılamayacağı, kullanıcı hayatı için tehlike içeren ortamlar olabileceği gibi, kullanıcının tecrübe eksikliğinden dolayı kullanamayacağı yüksek maliyetteki eğitim için tehlikeye atılamayacak aygıtlar olabilir. Bu ortamlar robot kollarının kullanıldığı mikro cerrahi, operatörün eğitildiği sanal bir ortam, uzaktan gerçekleştirilen operasyonlar, eğlence sektörü gibi çeşitli alanlarda olabilmektedir.

Bu nedenle kullanıcının tecrübe kazanıp daha başarılı operasyonlar gerçekleştirebilmesi için bu ortamlar sanal ortamda oluşturularak, kullanıcının belli bir tecrübeye ulaşması sağlanıp başarısına göre gerçek hayatta uygulamasına izin verilir.

Haptik sistemlerde haptik arayüzün performansı kadar kullanıcının da performansı önemlidir. Bilgisayarlarda kullanılan fare gibi giriş aygıtları dışında, genelde bilgisayar etkileşimi daktilo kullanmadaki gibi bir yeteneğe dayanmaktadır. Haptik arayüzlerde mümkün olduğu kadar bu sınırlamayı kaldırmak ve kullanımı basitleştirmek için çalışmalar yapılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, Tsumaki ve arkadaşları tarafından geliştirilen kompakt altı serbestlik derecesine sahip haptik arayüz, daha sonraki haptik çalışmalara alt yapı olması amacıyla bilgisayar ortamında tasarlanıp, imalatı yapılacaktır. Bu mekanizma geliştirilmiş uzaysal yalpa mekanizmasından ve taşıyıcı olarak kullanılan paralel mekanizmadan oluşmaktadır [Tsumaki et al., 1998]. Bu arayüzün imal edilebilirliğinin artması amacı ile, mekanizmanın mevcut hareket kabiliyetini bozmadan, rulmanlar ve bazı parçaların tasarımı değiştirilerek, bilgisayar ortamında CatiaV5 programında tasarımını yapılacaktır. Haptik arayüz, güç-tork sensörü kullanılmadan imal edilecektir. Maalesef güç-tork sensörü kullanılmadığında her bir yöndeki gücün denetlenilebilirliğini sağlamak için haptik arayüzün özel bir tasarıma ihtiyacı olacaktır. Daha kullanışlı ve hafif hale getirebilmek için mini motorlar tercih edilmiştir. Kompakt hale getirilen sistem tepki verimi artacaktır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Haptik Arayüz

Haptik arayüzler, insan hareket ve duyu kanallarını uyaran mekanik sinyaller üretir, kullanıcı hareketlerine karşılık olarak insan ile makine arasındaki ilişkiyi dokunma ile imkan verirler [V. Hayward et al., 2004].

Haptik sistemlerde haptik arayüzün performansı kadar kullanıcının da performansı çok önemlidir. Genellikle bilgisayar arayüzleri insanların temel yeteneklerinin getirdiği avantajlara sahip değillerdir. Bilgisayar ile etkileşimli olarak kullandığımız girdi aygıtlarının birçoğu sonradan kazanılan yetenekler sayesinde kullanılabilir. Haptik arayüzler, mümkün olduğunca bu yetenek sınırlamasını kaldırmak için bir yaklaşım olarak kullanılmaktadır.

2.2. Haptik Arayüz Kullanım Alanları

Haptik arayüzlerin çalışma prensibi üç ana tekniğin birleşmesi sonucunda meydana gelmektedir. Bu teknolojinin elemanları olarak nitelendirebileceğimiz bu üç teknik aşağıdaki gibidir [Y. Tsumaki et al., 1998]:

- Bilgisayar grafikleri,
- Ses sistemleri,
- Haptik cihaz ve kuvvet uygulamaları.

On yıl öncesine kadar bilgisayar grafikleri ve ses sistemleri hızla gelişmişti, fakat haptik üzerine çalışmalar çok yavaştı. Teknolojinin hızla gelişimi, robot sektöründeki beklentilerin hızla değişmesi ve robotların her sektörde hızla kullanılmaya başlanması üzerine haptik bilimi üzerine yapılan çalışmalar da hızla artmıştır. Aslında bir bakıma haptik sistemler aslına uygun yeniden üretim sisteminin gelişmesine katkıda bulunmaya başlamışlardır. Haptik arayüzün yaygın uygulama alanları şu şekildedir [V. Hayward et al., 2004]:

1. Grafiksel kullanıcı arabirimi kullanımı için güç yansıtıcı giriş aygıtları
2. Oyunlar
3. Multimedya yayınları
4. Bilimsel keşifler
5. Sanat ve kreasyon
6. Ses ve görüntü kurgulama
7. Araç operasyonları ve kontrol odaları
8. Mühendislik
9. İmalat
10. Uzaktan robotik müdahale ve uzaktan operasyonlar
11. Eğitim öğretim
12. Rehabilitasyon
13. Dokunma üzerine bilimsel çalışmalar

2.2.1. Grafiksel Kullanıcı Arabirimi Kullanımı İçin Güç Yansıtıcı Giriş Aygıtları

Haptik arayüz uygulamalarında yapılan ilk araştırmalardan biri varolan grafiksel kullanıcı arabirimlerini geliştirmek içindir.

2.2.2. Oyunlar

Bazı çok geliştirilmemiş haptik arayüzler yaygın olarak joysticklerde ve diğer oyun kontrol aygıtlarında kullanılmaktadırlar. Diğer taraftan oyuncuyu oyunun içine çekmek ve gerçek hissini yaşatmak için gelişmiş haptik arayüzlerde oyun konsollarında kullanılmaya başlanmıştır.

2.2.3. Multimedya Yayınları

Günümüzde multimedya ve yardımcı metin uygulamaları; metin, ses, resim ve video içermektedirler. Şimdiye kadar uygun cihazların eksikliği nedeniyle haptik arayüzler iletişim aracı olarak kullanılmamışlardır. Örneğin mekanik belgeler olarak adlandırılan yeni nesil dokümanlar görsel, işitsel hem de haptik özellikler içermektedirler.

2.2.4. Bilimsel Keşifler

İşlenmiş verilerin, özel surette imal edilmiş elektronik veya elektro mekanik cihazlarla, gözle görülebilir şekle getirilmesi ve molekül kenetleme projesi haptik uygulamaların en eski kullanım alanlarıdır [Brooks et al., 1990]. Çok boyutlu haritalar, jeolojideki veri madenleri, uzaktan hissediş ve akım alanlarının gösterimi gibi birçok alanlarda da uygulanmaktadır. Haptik sistemlerin en çekici yanı, datanın grafiksel sunumu dağınık olsa bile en ince ayrıntısına kadar iletmesi, taşımasıdır.

2.2.5. Sanat ve Kreasyon

Müzisyenler ve görsel sanatçılar, artan bir şekilde bilgisayar teknolojisini kullanmaktadırlar. Tasarımlarını yaparken çoğunlukla ellerini kullanmalarına rağmen haptik arayüzlerin gelişmesi ve yaygınlaşmasıyla, arayüzlerden faydalanmaktadırlar. Haptik iletişim bilgisayar teknolojisi ile yeni fırsatlara açıktır.

2.2.6. Ses ve Görüntü Kurgulama

Haptik sistemler, verilere hızlı erişim ihtiyaçlarını karşılar, ses ve video dokümanlarını düzenleme, geliştirme gibi işlemler için gözden geçirmeye imkan tanırırlar [MacLean et al., 1999].

2.2.7. Araç Çalıştırma ve Kontrol Odaları

Stresli ve hızlı hamle gerektiren ortamlarda haptik iletişim, işlerin hafiflemesine yardımcı olmaktadır [Payette et al., 1996]. Günümüzde haptik kontroller ticari olarak araçlarda kullanılmaktadır [iDrive Sistemi kullanılan BMW 7 Serisi].

2.2.8. Mühendislik

Tasarımcı, bilgisayar destekli tasarımda istenilen yada istenilmeyen olguları sanal ortamda görerek deneyim kazanabilir. Yapılan simülasyonu, elle işletilerek testleri yapılabilir, onarılabılır ve değerleri biçilebilir [Nahvi et al., 1998].

2.2.9. İmalat

İmalatta haptik arayüzlerin yoğun bir kullanımı mevcuttur. Haptik prototip yaratırken prototipin ihtiyaçlarını azaltma açısından ve iyi bir hızlı prototip yapma için yardımcı olabilir. Bu kompleks sistemlerin yapılmadan önce muhafaza edebilirliğini görmekte mümkündür [McNeely et al., 1999].

2.2.10. Uzaktan Robotik Müdahale ve Uzaktan Operasyonlar

Teleoperatörler, uzaktan kumandalı robotik aletlerdir. Operatör için bağlantı güçleri türettiklerinde “haptik teleoperasyon” adını alırlar. İlk elektrikle uyarılan teleoperatörler 1950’li yıllarda Argonne National Laboratuvarında imal edilmişlerdir [R.C. Goertz, 1950].

2.2.11. Eğitim Öğretim

Cerrahlık gibi uygun seviyede kabiliyet gerektiren ve tehlike içeren mesleklere hazırlıkta simülasyon içeren haptik sistemler eğitim amaçlı olarak kullanılabilmektedirler [Delp et al., 1997].

2.2.12. Rehabilitasyon

Çeşitli sebeplerle bazı uzuvlarının hareket yeteneğini kaybetmiş hastalar için rehabilitasyon sırasında kondisyonlarına yardımcı olması için haptik cihazlar kullanılmaktadır [Tang et al., 2005].

2.2.13. Dokunma Üzerine Bilimsel Çalışmalar

Bilgisayar kontrollü uyarılma, dokunma duyusunun fonksiyonlarını keşfetmek için araştırmalarda kullanılmaktadır. Bu programlanabilir ses kartlarının ve bilgisayar grafiklerinin insan duyma ve görüş araştırmalarında kullanılmasına benzerdir [Hogan et al., 1990].

2.3. Sanal Gerçeklik

Sanal Gerçeklik, katılımcılarına gerçekmiş hissi veren, bilgisayarlar tarafından yaratılan dinamik bir ortamla karşılıklı iletişim olanağı tanıyan, üç boyutlu bir benzetim modelidir. Şu ana kadar eğlence dünyasından, tıp alanındaki karmaşık bilimsel deneylere kadar pek çok uygulama alanı bulmuştur [Bayraktar ve Kaleli, 2007].

Sanal dünyalar, etkileşimli kontrolün temini ve objelerdeki değişimlerin yansıtılabilmesi için gerçek zamanda yada gerçeğe yakın bir süratle görüntülenmelidir. Bunu gerçekleştirilebilmesi için güçlü görüntü işleyebilen bilgisayarlara gerek vardır. Fakat sanal prototip oluşturmak gerçeğine göre daha ucuz olmasında dolayı kullanımlar hızla yaygınlaşmaktadır.

2.4. Mekanizma

Mekanizma, kuvvet ve hareket iletimi için kullanılabilen rijit cisimlerin, rijit mafsallarla birleştirildiği sistem olarak tanımlanabilir. Mekanizmalar paralel ve seri mekanizmalar olarak sınıflandırılabilir.

2.4.1. Paralel Mekanizmalar

Bir paralel mekanizma, ortak bir platforma paralel olarak bağlanmış bağlardan meydana gelir. Bir başka tanım, paralel mekanizmaların uç platformun tabana en az iki bağımsız kinematik bağ ile bağlandığı kapalı mekanizmalar olduğudur.

Kapalı döngülü sistemlerde manipülâtörün kararlılığını geliştirmek muhtemeldir. Hareketlendiricilerin tabana yerleştirecek olması hareketli hafif bir mekanizma geliştirme ve yüksek güçlü direk-sürüş (direct-drive) motorlar kullanılabileceği için avantajlıdır. Paralel mekanizmalar uçuş simulatörleri, petrol platformları, robot kol ve uç organ tasarımı, helikopterle ağır yük taşımacılığı, hafif metal işleme, cilalama, kesme, şekil verme ve montaj işlemleri gibi pek çok sahada yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

2.4.2. Seri Mekanizmalar

Geleneksel endüstriyel robotlar seri bağlanmış bağlardan oluşan, açık döngülü mekanizmalardır. Seri bağlı mekanizmaların uzanabildikleri mesafe ve çalışma uzayları paralel mekanizmalardan daha yüksek olmasına rağmen dinamik özellikleri karşılaştırıldığında paralel bağluların daha üstün oldukları görülür. Seri mekanizmalar, fazla rijit değildirler ve düşük doğal frekanslara sahiptirler. Bu sebepten yüksek hızda ve yüksek yükler altındaki performansları düşüktür [Merlet, 1993].

İnsan kolu seri manipülâtörlere çok iyi bir örnektir. Şekil 2.1’de görülen seri manipülâtör Mitsubishi tarafından geliştirilmiştir.



Şekil 2.1. Mitsubishi Tarafından Geliştirilen PA-10

2.4.3. Seri ve Paralel Mekanizmalar Arasındaki Farklar

Rijitlik ve hassasiyet bakımından daha üstün oldukları için ve doğal frekansları ile kuvvet/ağırlık oranları yüksek olduğundan, dinamik yüklemenin yüksek, hız ve hassasiyetin önemli, çalışma uzayının ise daha az önemli olduğu durumlarda paralel mekanizmalar tercih edilir. Bunun karşılığında ise paralel mekanizmaların çalışma uzayı küçüktür, tasarımı, kinematiği ve kontrolü karmaşıktır. Ayrıca bu özelliklere ek olarak Tablo 2.1’de paralel mekanizmalar ile seri mekanizmalar arasındaki en belirgin özellikler verilmektedir.

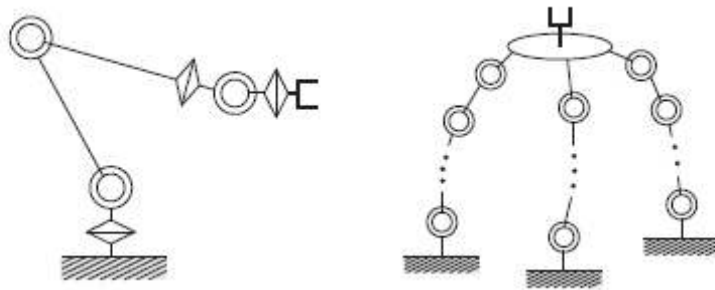
Tablo 2.1. Paralel ve Seri Mekanizmalar Arasındaki Yapısal Farklılıklar

Mekanizma Türü	Seri Mekanizma	Paralel Mekanizma
Çalışma Alanı	Büyük	Küçük
İleri Kinematiğin Hesaplanabilirliği	Kolay	Zor
Ters Kinematiğin Hesaplanabilirliği	Zor	Kolay
Sertlik	Düşük	Yüksek

Mekanizmalar seri ve paralel olarak sınıflandırılmalarının dışında açık döngülü ve kapalı döngülü olarak sınıflandırılmaktadırlar. Bazı yazarlar manipülatörleri kapalı döngülü ve açık döngülü olarak sınıflandırmanın seri ve paralel olarak sınıflandırmayla aynı olmadığını belirtmişlerdir. Açık döngülü mekanizmalar her zaman seri olmalarına rağmen kapalı döngülü mekanizmalar paralel olabildikleri gibi seri de olabilirler. Bir serbestlik dereceli kapalı döngülü mekanizmalar seridirler.

Bunlara ek olarak, paralel ve seri mekanizmaların bir arada kullanıldığı mekanizmalar da mevcuttur ve bunlara hibrit mekanizmalar denir. Literatürde az da olsa bunların tasarımı ve kinematik analizi ile ilgili çalışmalar da mevcuttur [Dasgupta ve Mruthyunjaya, 2000].

Farkları özetlemek gerekirse, kapalı döngü yapıdan dolayı paralel manipülatör aynı boyut ve ağırlığındaki seri manipülatörlere göre daha rijittir ve eyleyicilerinde kuvvet bileşenleri eklendiği için çıkış kuvveti/manipülatör ağırlığı oranı seri manipülatörlerden bir mertebe büyüktür. Bütün bu özellikler göz önüne alındığında paralel mekanizmaların simülörlerde kullanımının son derece uygun olduğu görülür.



Şekil 2.2. Seri ve Paralel Manipülatörler

3. TASARIM

3.1. Genel Tasarım Kriterleri

Haptik arayüzler, kullanım alanlarına bağlı olarak çok farklı özellik ve kapasitelerde tasarlanmaktadır. Bu çeşitliliğe rağmen yüksek performansa, altı serbestlik derecesine ve geniş çalışma uzayına sahip cihazların eksikliği bulunmaktadır. Tasarımı yapılacak olan cihaz diğer aygıtlara göre daha hızlı, çalışma uzayı daha geniş ve kompakt bir cihaz olmalıdır. Ek olarak bu aygıtın mekanik özellikleri, temas hissini etkili bir şekilde hissettirebilmelidir.

İdeal bir haptik arayüz aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

- Altı serbestlik derecesine sahip olmalı,
- Hızlı hareketi gerçekleştirebilmeli,
- Geniş ve yeterli çalışma alanına sahip olmalı,
- Kompakt olmalıdır.

İlk gereksinime sadece parçacık hareketlerini göstermek için değil sert gövde hareketlerini göstermek için ihtiyaç vardır. Cihaz her türlü hareketi hassas bir şekilde iletebilmelidir. Yani cisim serbest hareketi gösterebilmelidir. Hızlı hareket yeteneği dokunma özelliği imkanına izin vermelidir. Bir cismin dokunması titreşim ile ifade edilmektedir [Ikei, 1997]. Üçüncü gereksinim pozisyon, oryantasyon açısından doymayı, sınırlamayı önlemek içindir. Dördüncü son gereksinim ise masaüstü uyumluluğu ve kullanım kolaylığını sağlamak içindir. Birde yukarıda belirtilen tasarım kriterlerine ek olarak sonraki bölümlerde üzerinde durulması gereken önemli konulara değinilmiştir.

3.1.1. Ergonomi

Ergonomi, mekanizma tasarımında hesaba katılması gereken önemli bir kriterdir. Operatörün görevine bağlı olarak uzun süreler cihaz başında çalışması gerekebilir. Yorgunluk ve konfor eksikliği operatörün verimini düşüren etkenler arasındadır.

Haptik cihazlar önemli görevlere destek veren aletler oldukları için kullanımları sırasında operatörün performansının sürekli aynı seviyede olması istenir. Bu nedenle de ergonomiden doğan verim düşürücü etkenlerin minimumda tutulması gerekmektedir. Operatör haptik cihazı eğer tek elle kullanması gerekiyorsa kavraması ve hareketi kolay olmalı, vücudunun diğer kısımlarını yormamalıdır. Operatörün bilgisayar başında haptik cihaz kullandığını düşündüğümüzde, bu cihaz kullanım açısından bir masaüstü klavye, fare kadar ergonomik olmalıdır.

3.1.2. Çalışma Uzayı/Alanı

Paralel mekanizmaların kullanımı son derece yaygın olmasına rağmen, kinematik hesapları ve konfigürasyonları karmaşık olduğundan dolayı çalışma uzaylarını belirlemede kullanılacak genel bir yaklaşım mevcut değildir, ancak tasarım aşamasında bu çalışma uzayının hesaplanması gerekmektedir [Bayraktar ve Kaleli, 2007].

Haptik cihaz tasarımında çalışma uzayı vazgeçilemez faktörlerin başında gelir. Yeni bir haptik arayüz tasarlarken ana amaç, diğer özelliklerden ödün vermeden en geniş çalışma uzayını elde etmektir.

Masa başında monitör karşısındaki bir insanı düşündüğümüzde, çalışma uzayı kullanıcının ulaşabileceği maksimum mesafeyle sınırlandırılan alan olarak belirtilebilir. Aksi halde kullanıcının kendi elinin çalışma alanının dışında kalan bir alana ulaşmak için sarf edilen efor kullanıcıyı yoracak ve performansının düşmesine neden olacaktır.

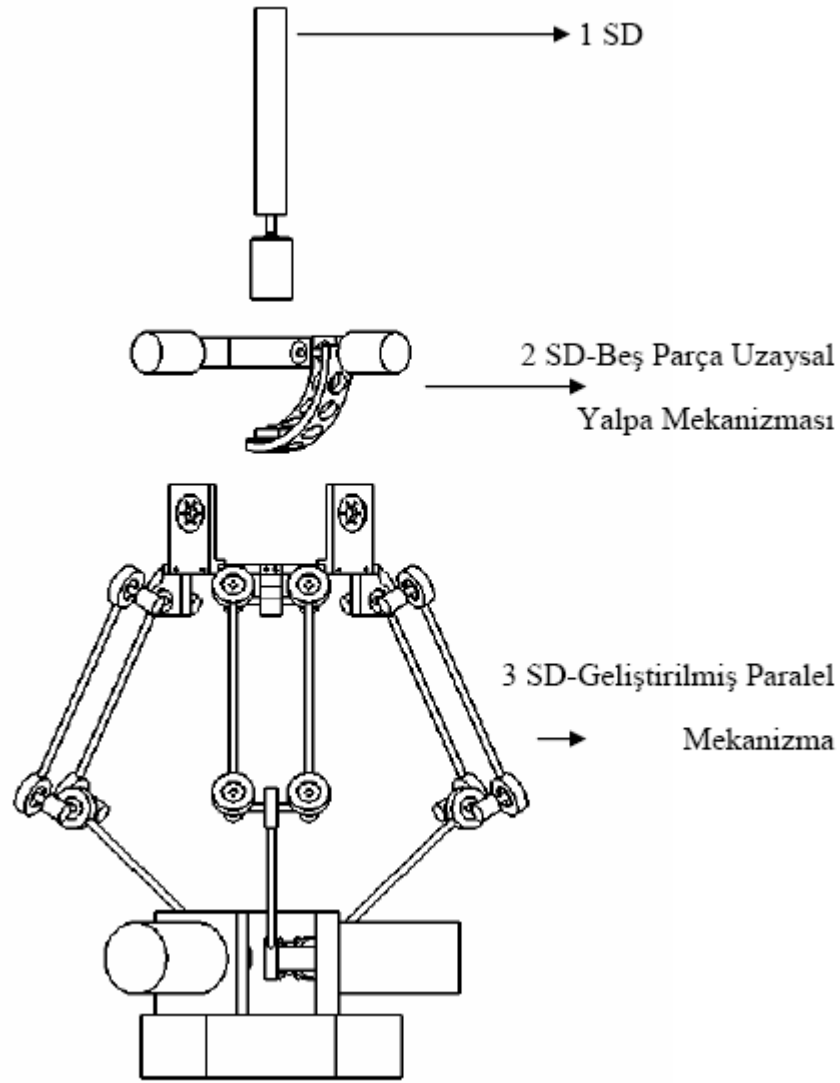
Sanal ortamda daha geniş alanda çalışmak için kullanıcının çalışma alanı içerisinde bir bilgisayar faresinin hassasiyeti artırıldığı gibi haptik cihazında hassasiyeti yazılımlarla artırılabilir.

3.2. Kompakt Altı Serbestlik Dereceli Haptik Arayüz Tasarımı

Son yıllarda arayüzlerin çeşitliliği hızla artmasına rağmen 6 serbestlik dereceli kompakt cihazların eksikliği görülmektedir. Serbestlik derecesinin fazla olması hareketin her alanda uygulanmasına olanak tanımaktadır.

Kompakt altı serbestlik dereceli haptik arayüz, geliştirilmiş paralel mekanizma ve üzerine konumlandırılan uzaysal yalpa mekanizmasından oluşmaktadır. Uzaysal yalpa mekanizması yönelim, paralel mekanizma ise çevirim hareketlerini tanımlayacaktır.

Şekil 3.1’de görüldüğü üzere haptik arayüz iki adet paralel mekanizmanın seri bağlanmasından meydana gelmektedir. Bu paralel mekanizmaya 1-SD’ lik kısımda katılınca mekanizma seri-paralel mekanizma olmaktadır.



Şekil 3.1. Haptik Arayüz

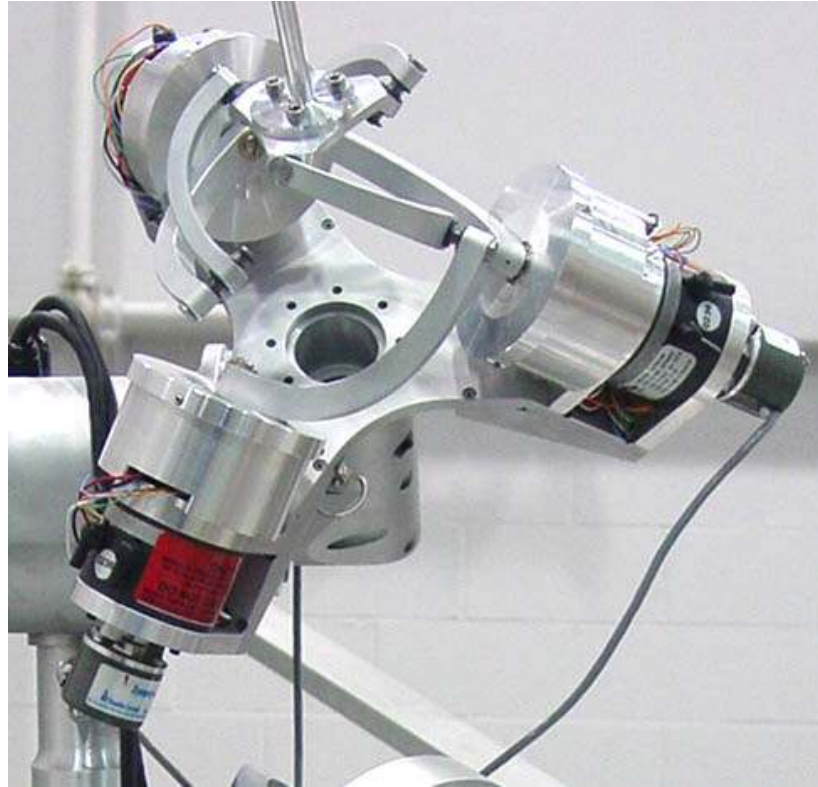
3.2.1. Uzaysal Yalpa Mekanizması

Uzaysal yalpa mekanizması geleneksel 3 serbestli dereceli “Agile Eye” mekanizmasından geliştirilmiştir. Bu mekanizma x ve y eksenlerinde 70 dereceye yakın bir hareket alanı sağlamasına rağmen, z ekseninde bu hareket 30 dereceyle sınırlı kalmaktaydı. Bu yüzden geleneksel 2 serbestlik dereceli agile eye mekanizması ile 1 serbestlik dereceli z eksenli sistem birleştirilmiştir [Tsumaki et al., 1998].

Uzaysal yalpa mekanizması hızlı hareket edebilen, geniş çalışma alanına sahip kompakt ve hafif bir mekanizmanın üzerinde konumlanmıştır. Yalpa mekanizmasının ağırlığı pozisyon belirlemedeki hassasiyeti etkileyeceği için mümkün olduğunca hafif olmalıdır.

Sistemin ana özellikleri aşağıdaki gibidir [Tsumaki et al. , 1998]:

- Düşük ağılıkta,
- Her bir ekseninde geniş çalışma alanı,
- Hızlı hareket, yüksek güç ve yüksek kararlılık,
- Kinematiği basit.

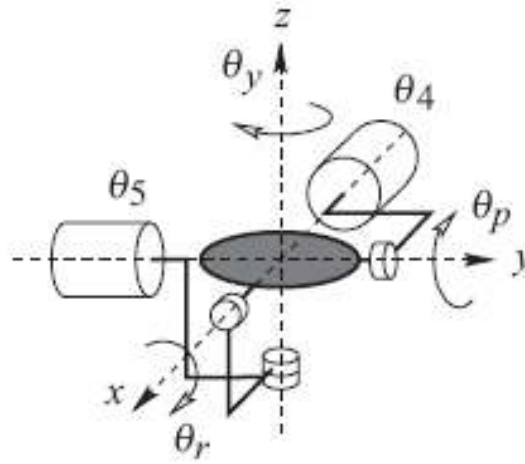


Şekil 3.2. Üç Serbestlik Dereceli Agile-Eye Mekanizması



Şekil 3.3. İki Serbestlik Dereceli Agile Eye Mekanizması

Sistemin Kinematik Yapısı:



Şekil 3.4. Yalpa Mekanizmasının Kinematik Yapısı [Tsumaki et al. , 1998]

Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi x ekseninde θ_r ve y ekseninde θ_p olmak üzere iki eksende yönelim, yalpa mekanizması tarafından gerçekleştirilir. Z ekseninde ise Şekil 3.1’de görülen en üstteki parça yönelimi sağlamaktadır.

Yalpa mekanizmasının kinematik yapısı Şekil 3.4’de görülmektedir. Mekanizmanın direk kinematiği şu şekildedir:

$$\begin{pmatrix} \theta_r \\ \theta_p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \theta_4 \\ a \tan 2(s_5, c_4 c_5) \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

Yukarıda θ_r y eksenindeki dönme açısını, θ_p ise x eksenindeki dönme açısını belirtmektedir. Aynı zamanda $s_i = \sin \theta_i$ ve $c_i = \cos \theta_i$ olmaktadır. Burada θ_i , i numaralı motorun bağlantı açısıdır.

Aynı zamanda jakobyen matrisi şu şekildedir:

$$J = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \frac{s_4 s_5 c_5}{s_5^2 + c_4^2 c_5^2} & \frac{c_4}{s_5^2 + c_4^2 c_5^2} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

Jakobyen matrisinin determinanı şu şekildedir:

$$\det J = \frac{c_4}{s_5^2 + c_4^2 c_5^2} \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3’te $c_4=0$ olduğunda mekanizma tekil olacaktır. Yani tekillik $\cos \theta_4=0$,

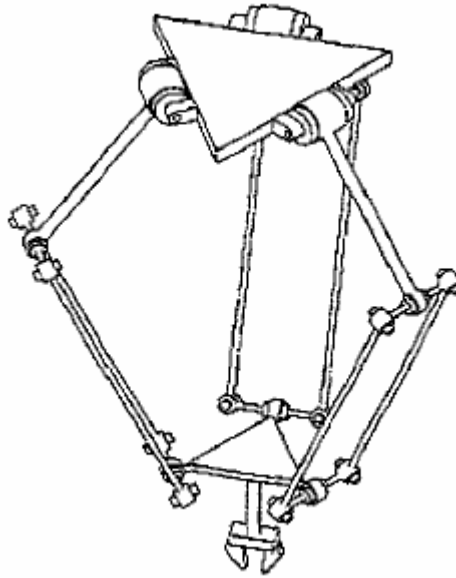
$\theta_4 = \pm \frac{\pi}{2}$ ‘de ortaya çıkmaktadır.

3.2.2. Geliştirilmiş Paralel Mekanizma

Delta mekanizma 3 serbestlik derecesine sahip günümüzde birçok alanda yaygın olarak kullanılan bir mekanizmadır [Clavel, 1988].

Kompakt 6 serbestlik dereceli haptik arayüzde geliştirilmiş delta mekanizma kullanılacaktır. Geliştirilmiş paralel mekanizma pozisyon belirleyici olarak görev almaktadır. Geliştirilmiş paralel mekanizmada klasik paralel robottaki bilyalı mafsallar yerine rulmanlı sistem kullanılmıştır. Sistemin kararlı duruş sergilemesi için paralel mekanizma çok önemlidir.

Paralel mekanizma yeterli derecede sert, bükülmez olmalıdır. Çünkü yönelim hareketi için yalpa mekanizmasını taşıyacaktır. Geliştirilmiş paralel mekanizma birçok rulman ve küçük parçadan oluşmaktadır. Sistemin kararlılığı her bir parçanın elastik deformasyonundan olumsuz olarak etkilenmektedir. Kararlı paralel mekanizma için tüm ayarlar iyi dengelenmelidir.

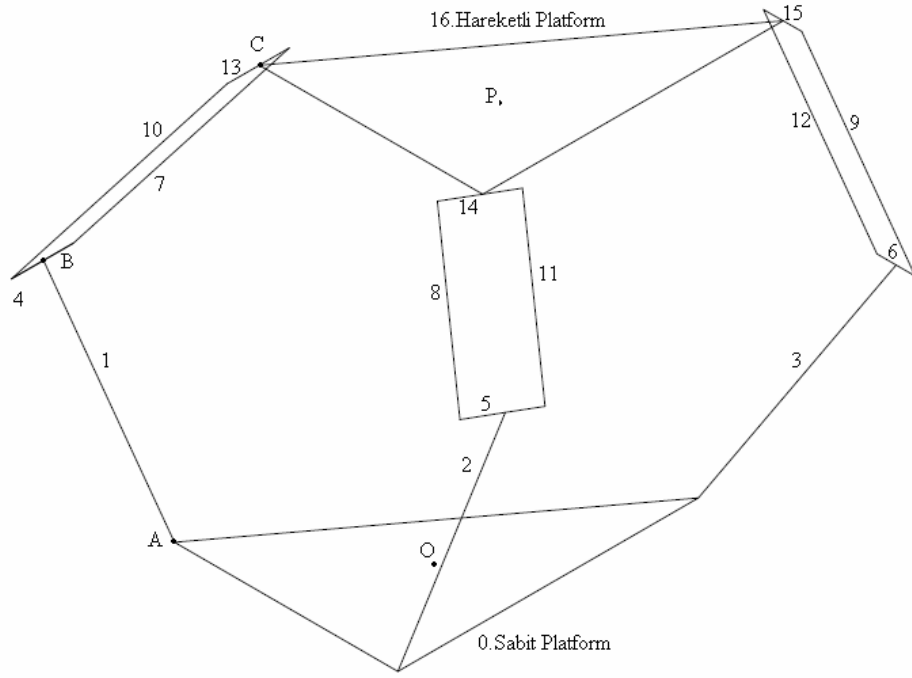


Şekil 3.5. Clavel'in Paralel Mekanizması [Clavel, 1988]

Sistemin Kinematik Yapısı:

Paralel mekanizmanın mekanik yapısı kinematik kapalı zincirden oluşur. Şekil 3.6'daki sistemin taslağına bakıldığında sabit platform 0 ile hareketli platform ise 16 ile numaralandırılmıştır. Sabit platform hareketli platforma aynı yapıya sahip 3 adet

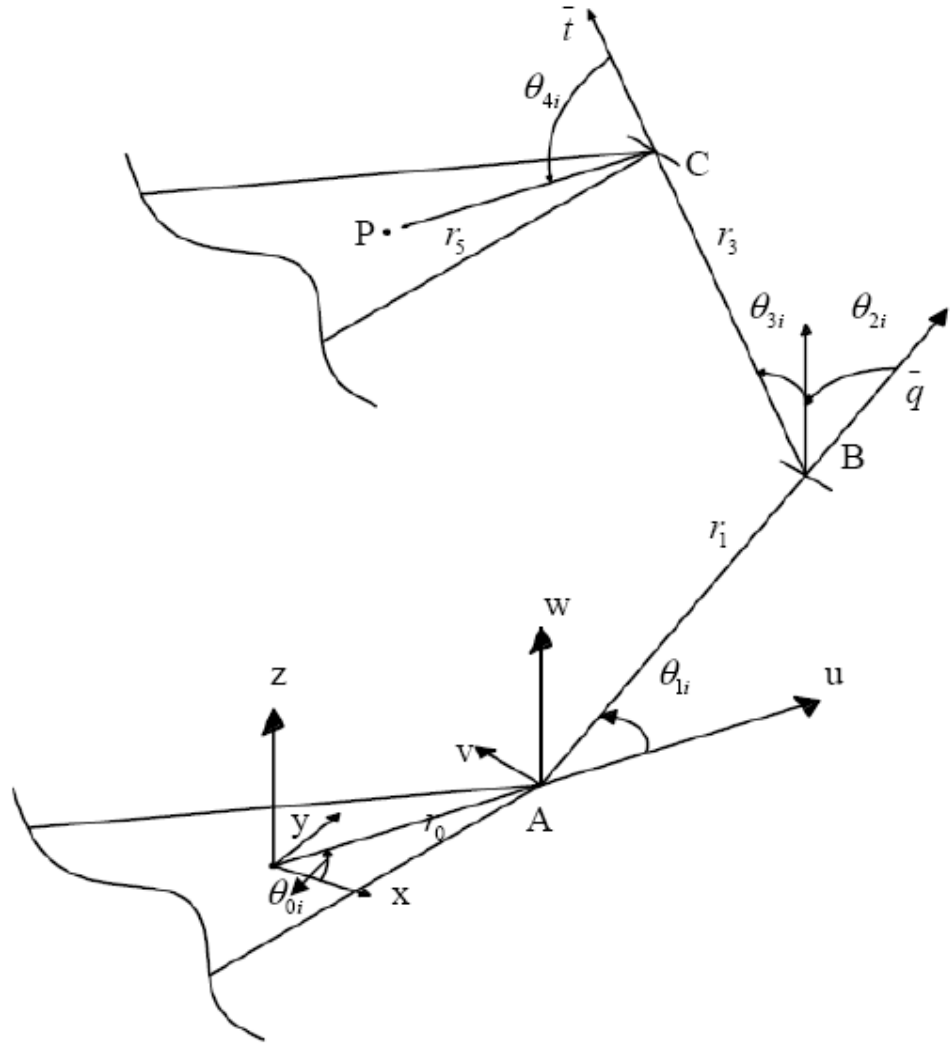
kol gurubuyla bağlanmıştır. Kol grupları alt ve üst kısımlardan oluşmaktadır. Üst kol sistem 4 adet koldan oluşan paralel bir yapısı vardır. Tüm bu uzuvlar Şekil 3.6'daki gibi numaralandırılmıştır. Sabit platform, ara uzuvlar ve hareketli platform birbirine paralel 3 adet döner mafsalsal tarafından bağlanmıştır.



Şekil 3.6. Paralel Mekanizma Taslağı

Herhangi bir i numaralı kol sistemi için Şekil 3.7'de bağlantı açıları ve kol uzunlukları gösterilmektedir. XYZ ve UVW koordinat düzlemleri sırasıyla O ve A noktalarında tanımlanmaktadır. $\bar{p}$, XYZ koordinat sisteminde P noktasının pozisyon vektörüdür. $\bar{u}$, A noktasındaki döner mafsalsalın dönme eksenine diktir.

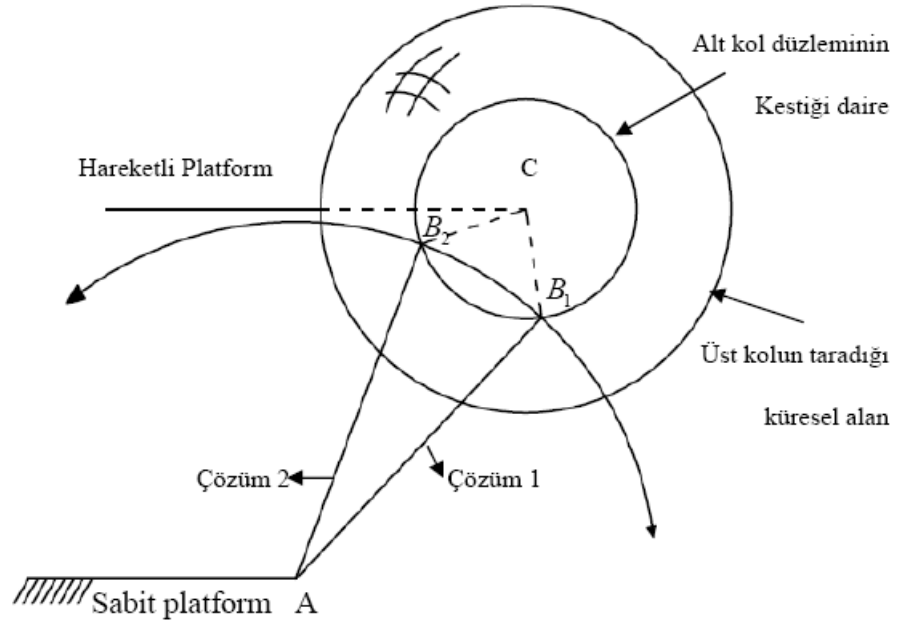
Burada manipülatörün pozisyonu ile ilgili 9 adet bağlantı açısı vardır. θ_{11} , θ_{12} ve θ_{13} harekete geçirici bağlantı açılarıdır.



Şekil 3.7. Bağlantı Açılı ve Kol Uzunluklarının Gösterimi

Ters Kinematik:

Ters kinematikler verilen sonlandırıcı konum ve yönelimi için gerekli eklem değişken değerlerini bulmak olarak tanımlanabilir. Ters kinematiğin amacı bir küme değerli dönüşüm fonksiyonu geliştirmek içindir. Bu fonksiyon; $f^{-1}: \bar{p} \rightarrow \bar{\theta}$ 'dur. Burada $\bar{\theta}$, 9 mafsal açısın içeren bir vektördür.



Şekil 3.8. Tek Uzun İçin İki Ters Kinematik Çözüm

Yukarıda şekle bakıldığında $\overline{CB}$ vektörünün tam alan hareketi bir yüzey meydana getirmektedir. Bu C noktası merkezli bir küredir. Aynı şekilde $\overline{AB}$ vektörü de A merkezli bir daire meydana getirmektedir. Ters kinematik probleminin çözümü küre ile dairenin kesişmesinde bulunmaktadır.

İ numaralı kol için ($i=1,2,3$) p noktasının pozisyon vektörü :

$$\bar{p}_i = [p_{xi}, p_{yi}, p_{zi}]^T \quad (3.4)$$

$$\bar{p}_i = R_i \bar{q}_i \quad (3.5)$$

Burada;

$$R_i = \begin{pmatrix} \cos(\theta_{0i}) & -\sin(\theta_{0i}) & 0 \\ \sin(\theta_{0i}) & \cos(\theta_{0i}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3.6)$$

$$\bar{q}_i = \begin{bmatrix} r_0 - r_5 + r_1 \cos(\theta_{1i}) + r_3 \cos(\theta_{3i}) \cos(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \\ r_3 \sin(\theta_{3i}) \\ r_1 \sin(\theta_{1i}) + r_3 \cos(\theta_{3i}) \sin(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

i= 1,2,3 için Eşitlik 3.5 şu şekilde de yazılabilir:

$$\bar{c}_i = \begin{bmatrix} r_1 \cos(\theta_{1i}) + r_3 \cos(\theta_{3i}) \cos(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \\ r_3 \sin(\theta_{3i}) \\ r_1 \sin(\theta_{1i}) + r_3 \cos(\theta_{3i}) \sin(\theta_{1i} + \theta_{2i}) \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Burada $\bar{c}_i = [c_{ui}, c_{vi}, c_{wi}]^T$, UVW koordinat düzlemindeki C noktasının pozisyon

vektörünü tanımlamaktadır. Buradan ;

$$\bar{c}_i = \begin{bmatrix} \cos(\theta_{0i}) & \sin(\theta_{0i}) & 0 \\ -\sin(\theta_{0i}) & \cos(\theta_{0i}) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \bar{p}_i + \begin{bmatrix} r_0 - r_5 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

olarak bulunur. Bunun sonucu olarak θ_{3i} , 3.8 eşitliğinin ikinci elementinin çözülmesiyle direkt olarak bulunur.

$$\theta_{3i} = \arcsin\left(\frac{c_{vi}}{r_3}\right) \quad (3.10)$$

θ_{3i} için iki mümkün çözüm ile sonuçlanmaktadır. θ_{3i} 'ün belirlenmesiyle, θ_{2i} 'nin çıkarılması ve c_{ui} ile c_{wi} 'nin eklemesiyle θ_{1i} 'li bir denklem türetilir:

$$r_3^2 \cos(\theta_{3i}) = [c_{ui} - r_1 \cos(\theta_{1i})]^2 + [c_{wi} - r_1 \sin(\theta_{1i})]^2 \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11.'de θ_{3i} 'nin değeri yerine koyulduğunda:

$$r_3^2 = c_{ui}^2 + c_{vi}^2 + c_{wi}^2 + r_1^2 - 2r_1 [c_{ui} \cos(\theta_{1i}) + c_{wi} \sin(\theta_{1i})] \quad (3.12)$$

3.12 eşitliğini çok değişkenli bir ifade haline getirmek için;

$$t_{1i} = \tan\left(\frac{\theta_{1i}}{2}\right) \quad (3.13)$$

yarım açı dönüşümü kullanılarak ve $\theta_{1i} \neq \pm\pi$ şartı göz önünde bulundurularak;

$$\sin(\theta_{1i}) = \frac{2t_{1i}}{1+t_{1i}^2} \text{ ve } \cos(\theta_{1i}) = \frac{1-t_{1i}^2}{1+t_{1i}^2} \quad (3.14)$$

eşitlikleri üretilir. 3.14 eşitlikleri, eşitlik 3.12.'de yerine konulduğunda aşağıdaki t_{1i} terimini içeren ikinci derecen denklem meydana gelmektedir:

$$a_i t_{1i}^2 + b_i t_{1i} + d_i = 0 \quad (3.15)$$

Burada:

$$a_i = c_{ui}^2 + c_{vi}^2 + c_{wi}^2 + r_1^2 - r_3^2 + 2r_1 c_{ui} , \quad (3.16)$$

$$b_i = -4r_1 c_{wi} , \quad (3.17)$$

$$c_i = c_{ui}^2 + c_{vi}^2 + c_{wi}^2 + r_1^2 - r_3^2 - 2r_1 c_{ui} \text{ ' dir.} \quad (3.18)$$

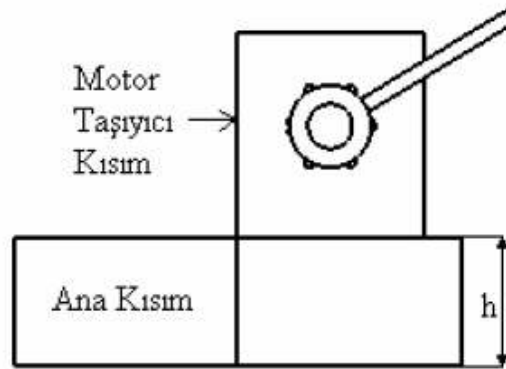
3.3. Boyutların Belirlenmesi

Bu tasarımın parçalarının temel parametrelerine, mevcut imkanlar doğrultusunda parçaların imal edilebilirliği göz önünde bulundurularak, bu konuda daha önce yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak ve bu çalışmalara ait veriler incelenerek karar verilmiştir.

3.3.1. Taban Kısımının Oluşturulması

Taban kısmının tasarımında önemli ilk faktör paralel mekanizmayı oluşturan kolların hareketinin sınırlanmamasıdır. İkinci önemli faktör ise, sistemin çalışması esnasında kararlı olması, hareket etmemesidir. Son derece hassasiyet ve kararlılık gerektiren durumlarda paralel mekanizma, gerekli geliştirilmeler yapıldıktan sonra çalışma masası üzerine sabitlenerek tam kararlı hale getirilebilir. Kararlılık, titreşimlerin iyi iletilmesi ve sistemin hassasiyeti bakımından son derece önemlidir.

Taban parçası iki kısımdan oluşmaktadır. İlk bölüm sistemin üzerinde konumlandığı parça, ikincisi ise paralel mekanizmada bulunan motorları taşıyan kısımdır. Bunlara ek olarak taban bölümünde montaj elemanları bulunmaktadır.



Şekil 3.9. Taban Bölümü

Ana kısımda dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta “h” yüksekliğidir. Eğer bu yükseklik gerektiği kadar fazla olmaz ise haptik arayüzün hareketi esnasında paralel mekanizmayı oluşturan kollar yer ile temas eder, bunun sonucunda da haptik arayüzün çalışma alanının sınırlanmasına neden olur.

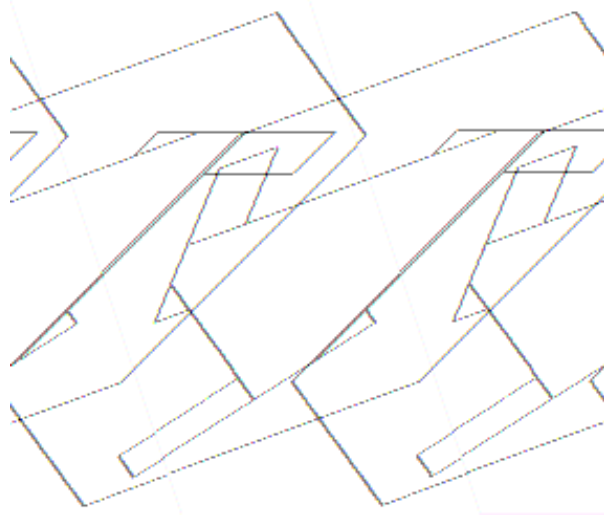
Diğer bir dikkat edilmesi gereken nokta ise ana kısmın şeklidir. Üstten bakıldığında altıgen olarak gözükür. Bunun da en büyük avantajlarından biri “h”

yüksekliğinde olduğu gibi çalışma alanıyla ilgilidir. Eğer ana kısım kare yada daire şeklinde olsaydı bu kolların hareket alanını sınırlayacaktı ve bu sınırlamaların engellenmesi için çeşitli tasarımlara ihtiyaç duyulacaktır. Altıgen kesite başka bir alternatif çözüm ise köşeleri kollara dik olan bir üçgen taban olabilir. Yalnız sistemin kararlılığı düşünüldüğünde değişken kuvvetler altında altıgen taban konumlayıcı olarak daha uygundur.

Motor taşıyıcı kısımlar üç adettir. Bu kısımlar tabanın ana kısmı üzerine aralarında eşit açılar olacak biçimde sabitlenmelidir. Bu sistemin verimli çalışmasını sağlamak ve parçalar arasında montaj sonrası çakışmaları önlemek açısından çok önemlidir. Bu kısımların üzerine kullanılacak olan motorun montajına uygun vida yuvaları ve motor milinden hareketin paralel mekanizmanın kollarına iletilmesini sağlayacak yuva açılmalıdır.

3.3.2. Sınırlandırıcı Delta Parça

Sınırlandırıcı parça, alt kolların hareketlerini kısıtlayarak, paralel mekanizmanın hareketi sırasında çakışmaları engellemektedir. Şekil 3.10'da görüldüğü gibi delta parça tabandaki motor taşıyıcı parçaların üzerine yerleştirilecektir.



Şekil 3.10. Sınırlayıcı Delta Parça

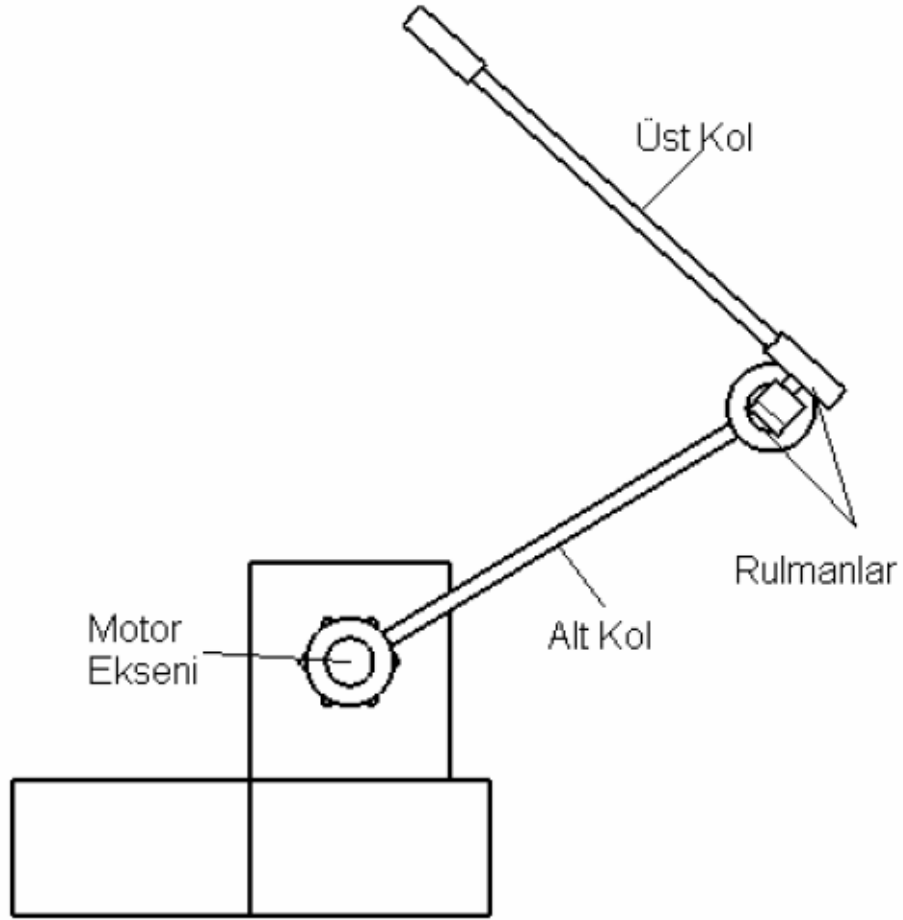
3.3.3. Mafsal Uzunluklarının Belirlenmesi

Haptik arayüz, operatörün direk erişebildiği, hafif, yüksek kararlılıkta ve geniş çalışma alanına sahip bir arayüzdür. Bu sistem geliştirilmiş bir konumlayıcı paralel mekanizmadan oluşmaktadır [Tsai , 1995].

Kompakt bir haptik arayüz oluşturabilmek için konumlayıcı paralel mekanizmanın da kompakt olması zorunludur. Paralel mekanizmayı oluşturan taşıyıcı kolların ince olması gerekmektedir. Aynı zamanda da bu incelik sistemin kararlılığını, bir bütün olarak sertliğini engellememelidir. Ayrıca kompakt, masaüstü kullanım için tasarlanan bu arayüzün masa başında oturan bir operatör düşünüldüğünde, operatörün erişebilirliği ve kullanım rahatlığı bakımından da taşıyıcı kolların uzunluğu önemlidir.

Bu nedenlerden dolayı taşıyıcı kolların tasarımında aşağıdaki faktörler göz önünde bulundurulmalıdır:

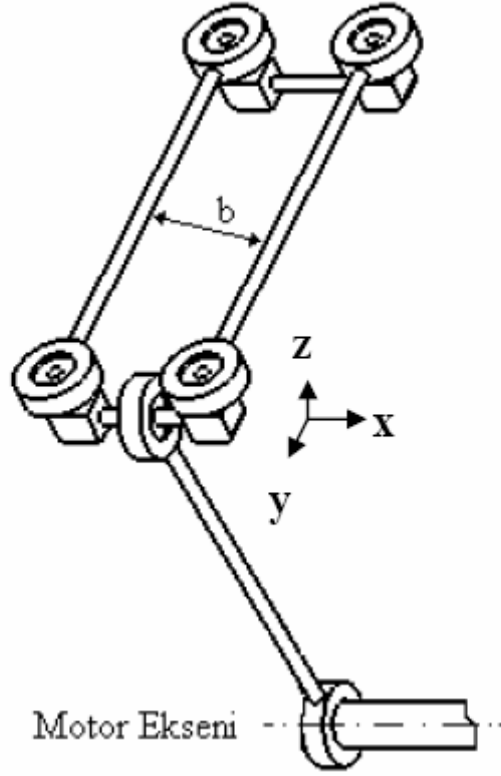
- Masaüstü kullanım kolaylığı düşünölmeli,
- Sistemin kararlılığını bozmayacak derecede ince olmalıdır.



Şekil 3.11. Taşıyıcı Kollar Yan Görünüm

Alt kol ile üst kolun boylarının uzunlukları yukarıdaki faktörler düşünöldüğünde her biri 120mm olarak belirlenmiştir. Bu oryantasyon için yeterli çalışma alanını sağlamaktadır. Mekanizmayı üç adet, alt motorlara bağılı olan alt kollar ve her grupta paralel yapıya sahip 4 adet kol bulunan üst kol sisteminden oluşmaktadır.

Alt kol ile üst kol arasında üzerlerine montaj edilen rulman sayısı bakımından farklılık vardır. Alt kolun bir ucu motor miline sabitleneceği için sadece bir rulman taşımaktadır. Üst kolda ise iki rulman bulunmaktadır.

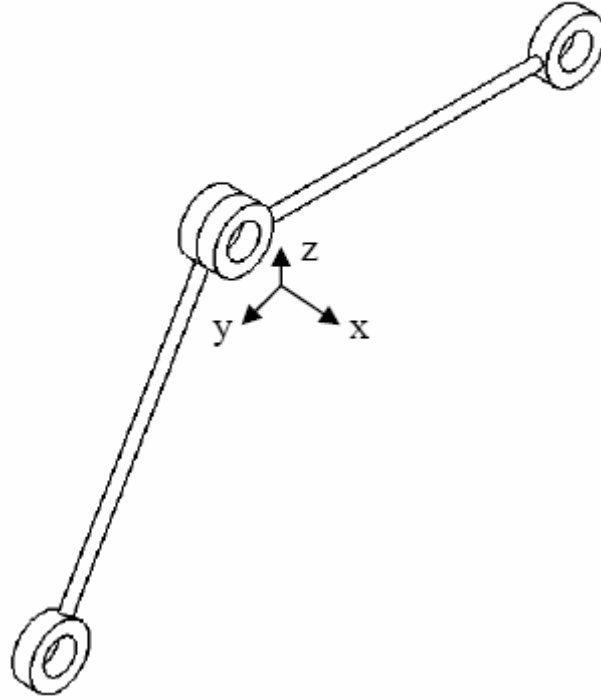


Şekil 3.12. Taşıyıcı Kollar İzometrik Görünüş

Şekil 3.12’de görüldüğü üzere üst grup iki adet uzun koldan ve iki adet kısa koldan oluşmaktadır. Bu kollar sistemin kararlı olması yani bütün olarak sertliği açısından birbirine paralel olmalıdır. Aralarındaki “b” mesafesi hareketi sınırlamayacak ve çakışmaları önleyecek şekilde belirlenmelidir.

Alt motor miline tek olarak bağlanan kol üst kısma bağlantıda iki adet kullanılarak bir paralel sistem oluşturulmuştur. Bu sistemin x, y, z eksenlerinde hareket etmesini sağlamaktadır. Eğer Şekil 3.13’de gösterildiği gibi bu kollar seri

olarak, üst kol sisteminde paralel bir sistem oluşturulmadan bağlanırsa sistem sadece z yönünde hareket edecektir.

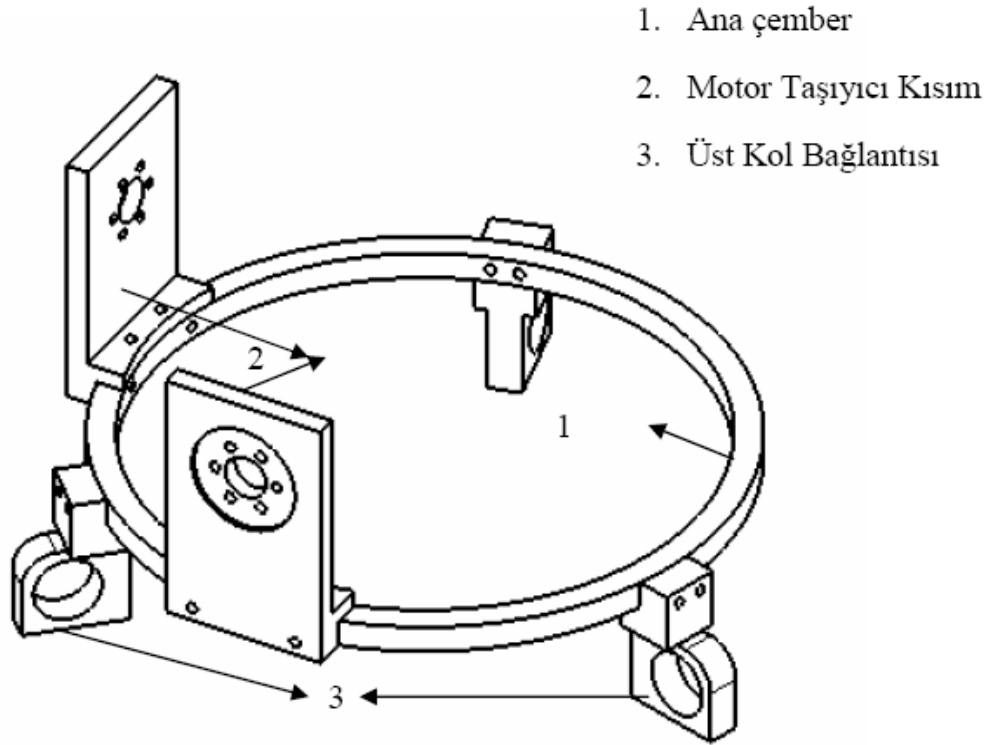


Şekil 3.13. Seri Bağlantılı Kollar

3.3.4. Hareketli Üst Kısım

Hareketli üst kısım, paralel mekanizma ile yalpa mekanizmasının birleşiminde paralel mekanizmanın üzerinde bulunan yalpa mekanizmasının konumlandığı bölümdür.

Şekil 3.14’de görüldüğü üzere hareketli üst kısım üç farklı parçadan oluşmaktadır. Bunardan ilki diğer kısımların üzerinde bulunduğu ana çember, ikincisi alt kısım ile bağlantının sağlandığı üst kol sistemini tutan kısım ve sonuncu parçada üst motorları taşıyan parçadır.



Şekil 3.14. Hareketli Üst Kısım

Hareketli üst kısmın tasarımını yaparken dikkat edilmesi gereken önemli noktalardan bir tanesi ağırlıktır. Eğer bu kısım ağır olursa operatörü kontrol esnasında yoracaktır ve sistemin hassasiyetini etkileyecektir. Bir diğer önemli noktada ana çemberin çapıdır. Bu çap kontrol alanını kısıtlamayacak ölçülerde olmalıdır.

Genel olarak hareketli üst sistem ne uzaysal yalpa mekanizmasının hareketini kısıtlayacak kadar küçük tasarlanmalı, nede çok büyük tasarlanıp alt motorları zorlamamalıdır.

3.3.5. Uzaysal Yalpa Mekanizması

Yalpa mekanizması yönelim hareketini gerçekleştirmektedir. Paralel mekanizmanın üzerine yerleştirilmiştir.

Yalpa mekanizması, Şekil 3.15’de belirtildiği gibi altı ana parçadan oluşmaktadır. Bu parçalara ek olarak motor milleri için ek miller tasarlanmıştır. İç çember, dış çember ve u parça oryantasyonu sağlayan ana elemanlardır. Bu parçaların boyutları birbiriyle çakışmayacak ve paralel mekanizmanın üst kısmında rahat hareket edecek şekilde olmalıdır. Çemberlerin üzerine, ağırlıklarını azaltmak için kanallar açılmıştır.

1.İç Çember

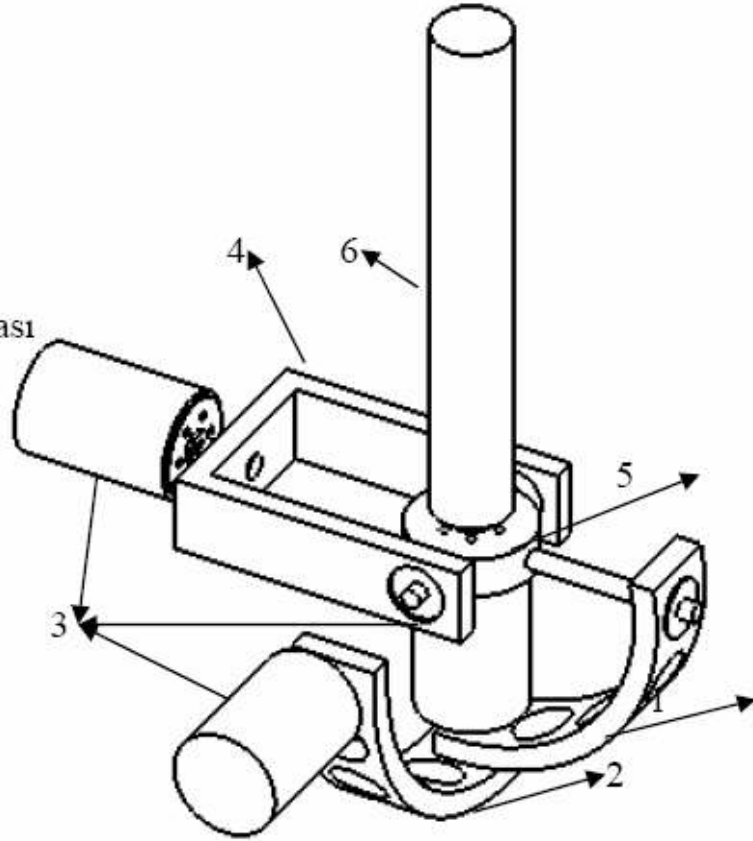
2.Dış Çember

3.Motorlar

4.U Parça

5.Orta Motor Yuvası

6.Kontrol Kolu



Şekil 3.15. Uzaysal Yalpa Mekanizması

Kontrol kolu operatörün haptik arayüze hakim olmasını sağlayan, cihaz hareketlerini yönettiği koldur. Hareketi ve titreşimleri direk iletebilmesi açısından tokluğu düşük malzeme kullanılmalıdır.

Operatörün rahat bir şekilde kavrayabileceği, kullanım sırasında tepkileri rahatlıkla hissedebileceği, tutuş anında elden kaymayacak şekilde tasarlanmıştır. Boyu yetişkin elinin rahatça kavrayabileceği 90mm, çapı ise 16mm olarak belirlenmiştir.

3.4. Motor seçimi

Haptik arayüz tasarım sürecinde seçilen motorlar anahtar eleman konumundadırlar. Eylemsizliği büyük olan yada yüksek “cogging” yani düşük hızlarda verimsiz olan motorlar haptik arayüzün gerçek ortamdaki simülasyonunun geçerliliğini azaltabilirler.

Haptik arayüzler için motor seçerken birçok faktör etkili olmaktadır. Bunlar:

- Motor Kontrol metodu,
- Doldurma (Cogging)
- Eylemsizlik,
- Pozisyon bildirim algılayıcıları,
- Ölçüler,
- Güç çıkışı,
- Ve gerekli tork.

Herhangi bir motor için karakteristik özelliklerinden önemli bir tanesi güç dalgalanmasıdır. Güç dalgalanması istenen çıkış gücündeki istenmeyen değişimlerdir. Güç dalgalanması motorun tasarımı ve sistemin kontrolünden meydana gelebilmektedir. Güç dalgalanmasını azaltmak için rotor üzerindeki mıknatıslara meyil verilerek tasarlanabilirler.

Bir diğ er önemli faktör olan doldurma güç azaltılmasının ilk tekniğ i bobin sargısı ve mıknatıs demetinden birinin yada her ikisinin eğilmesiyle gerçekleştirilebilir. Ş ekil 3.16’da doldurma sorununu engellemek için rotor üzerine yerleştirilmiş eğilmiş mıknatıslar görölmektedir.



Ş ekil 3.16. Rotor Üzerine Yerleştirilmiş Eğilmiş Mıknatıslar

Rotor üzerine sabitlenmiş mıknatıslar fırçasız motorlarda kullanılmaktadır. Bir başka çeş it olan “coreless” yani çekirdeksiz motorlarda ise mıknatısın rotorun etrafında olmadığı bir sistem kullanılmaktadır. Ç ekirdeksiz motorlar, rotor da bobin dışında bir ağırlık taşımadıkları ve demirsiz bobinin ürettiğ i manyetik alan demirli bobinden az olduğ u için ivmelerini koruyamazlar. Bunun anlamı coreless-demirsiz motorların torkunun düşük olacağıdır. Buna karş ılık üretilen iş gücü pasif bir demir elemanı taşımaya harcanmadığı için, standart motorlar dan çok daha yüksek devirlere çıkabilirler.

Bütün bu kriterler göz önünde bulundurulduğ unda genellikle bu sorunlar fırçasız motorlarda meydana geldiğ i için kopakt, güçlü, hafiflik gibi özelliklerde düşünöldüğ unde Faulhaber firması tarafından üretilmiş çekirdeksiz DC mikro motorlar tercih edilmiştir.

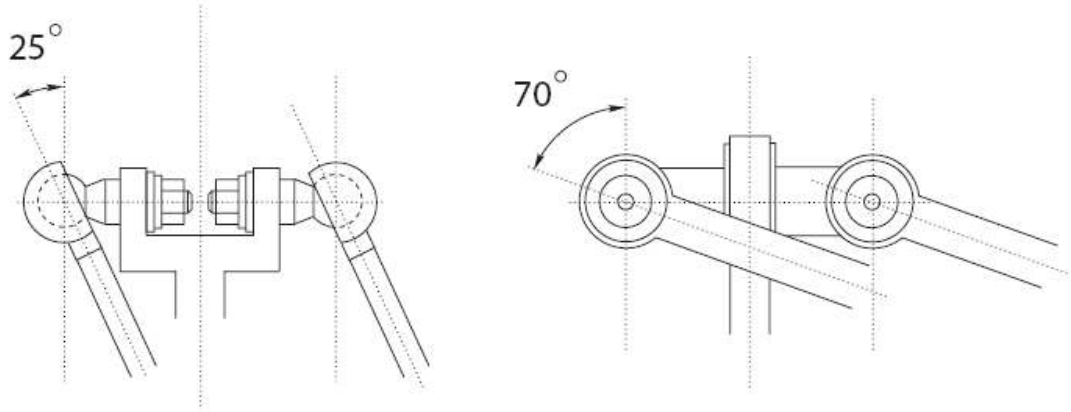
Uzaysal yalpa mekanizmasında kullanılacak motorlar DC mikro-motor 2232 serisinden seçilmiştir. Paralel delta mekanizmasında kullanılacak mortorlar ise DC mikro-motor 3863 serisinden seçilmiştir.

Faulhaber firmasının çekirdeksiz motorların özellikleri aşağıda verilmiştir:

- Metal ağırlıktan kaynaklanan kayıplar yoktur,
- Son derece düşük akım tüketimi,
- Düşük başlangıç voltajı,
- Son derece çabuk ivmelenme ve frenleme için düşük rotor eylemsizliği,
- Hafif ve kompak,
- Akıcı ve hassas hız, pozisyon ve güç kontrolü ,
- Diğer DC motor teknolojilerine göre yüksek güç hacmi,
- Tüm ölçülerde yüksek hassasiyette aktarım mevcuttur,
- Tüm ölçülerde geribildirim elemanları mevcuttur,
- Tüm motor serilerinde motor kontrol elektroniği mevcuttur.

3.5. Rulman Seçimi

Haptik arayüzde kullanılan paralel mekanizma geleneksel paralel mekanizma geleneksel paralel mekanizmanın geliştirilmiş halidir. Geleneksel paralel mekanizmada bağlantı noktalarından bilyalı mafsallar kullanılmıştır. Bu paralel mekanizmanın hafif tasarlanmasına olanak vermiştir. Fakat bilyalı mafsallar hareket yörüngesindeki mekanik limitler nedeniyle paralel mekanizmanın çalışma alanında kısıtlamalara neden olmaktadır. Bu nedenle geliştirilmiş paralel mekanizmada bilyalı mafsal yerine rulman kullanılmaktadır [Tsumaki et al. , 1998].

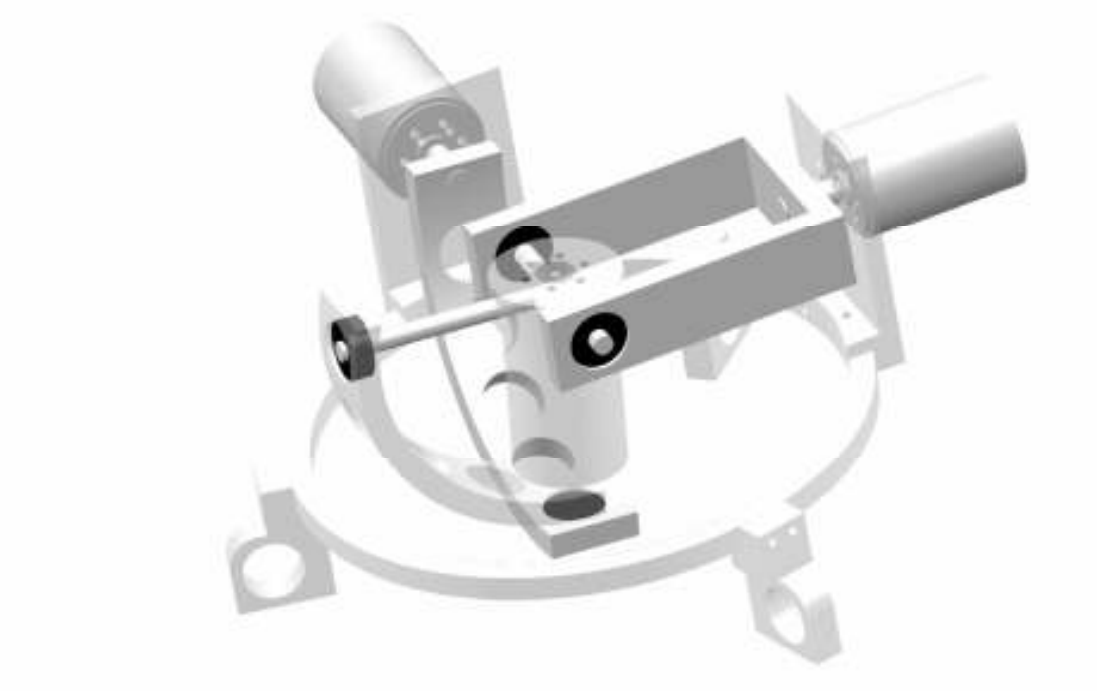


Şekil 3.17. Bilyalı Mafsal ile Rulman Hareket Limitleri [Tsumaki et al. , 1998]

Şekil 3.17’de bilyalı mafsal ile rulmanın hareket limitleri görülmektedir. Genelde bilyalı mafsalın eğim açısı ± 25 derecedir. Buna karşın rulman kullanımında ise bu açı ± 70 dereceye kadar çıkmaktadır. Geniş bir çalışma alanı elde edilebilmesi için rulmanların sayısı az olmalıdır.

Sistemin hafifliği ve kompaktlığı göz önünde bulundurulduğunda kullanılacak rulmanlarında hafif ve kompakt olması gerekmektedir. Sonuçta sistemimizde 4mm genişliğinde 12 mm dış çapında ve 4mm iç çapı olan 604 Z serisi mikro rulmanlar kullanılmıştır. Bu rulmanlar bilyalı rulmandır. Bilyalı rulmanlar, yüklerin hafif, hızların yüksek olduğu yerlerde kullanılırlar.

Seçilen bu minyatür rulmanlar alt kol ile üst kol arasında ve üst kol ile hareketli üst kısım arasındaki bağlantıyı sağlamak için ve uzaysal yalpa mekanizmasında dönme hareketlerine izin vermek için aşağıdaki Şekil 3.18’de belirtilen yerlerde kullanılmıştır.



Şekil 3.18. Yalpa Mekanizmasında Rulmanların Kullanımı

4. HAPTİK ARAYÜZÜN BİLGİSAYAR ORTAMINDA TASARIMI

Günümüzde üretim teknolojilerinin gelişmesine paralel olarak ürün şekilleri de daha bir karmaşıklaşmaktadır. Her geçen gün tasarımcıların eline daha karmaşık , üretimi daha zor parçalar gelmektedir. Tasarım sonrası hataların en aza indirilmesindeki avantajları nedeni ile bilgisayar ortamında tasarım kaçınılmaz olmaktadır. Yazılım sektöründeki hızlı büyüme ve tasarım sektöründeki gelişmelere paralel olarak tasarım programlarının sayısı ve çeşitliliği artmaktadır. Bu çalışmada tasarım programı olarak Catia V5 kullanılacaktır.

Bölüm 3’te haptik arayüzü oluşturan parçaların genel bir değerlendirmesi yapılmıştır. Bu bölümde, belirlenen kriterlere göre parçalar bilgisayar ortamında tasarlanıp montajı yapılacaktır.

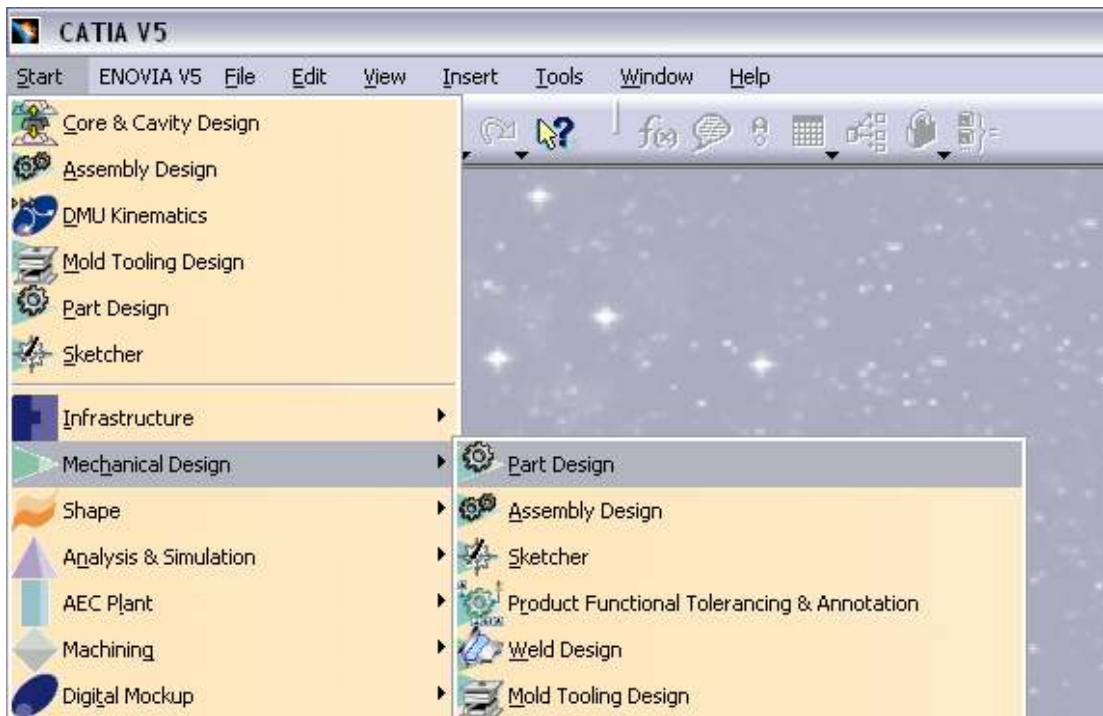
Haptik arayüzün ana parçaları aşağıda listelenmiştir:

1. Taban
2. Taşıyıcı Kollar
3. Hareketli Üst Kısım
4. Uzaysal Yalpa Mekanizması
5. Rulmanlar
6. Sabitleme Elemanları
7. Motorlar
8. Motor Milleri

4.1. Parça Modelleme

4.1.1. Catia V5 Programında Parça Modelleme

Catia v5 Programından parça modelleme (part desing) modülüne Şekil 4.1’de görüldüğü gibi girilir.

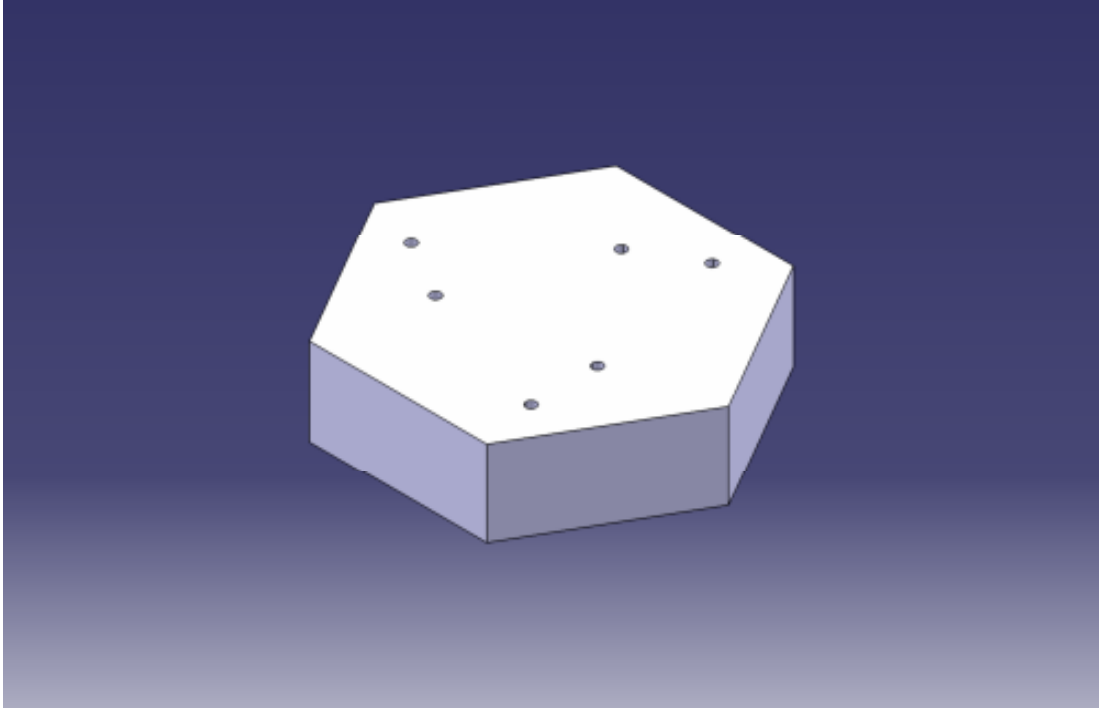


Şekil 4.1. Catia V5 Parça Modelleme Modülüne Giriş

Buradan taslak (sketcher) modülünde çizilen profillere araç çubuklarından uygun işlemler uygulanarak tasarladığımız parça modellenir.

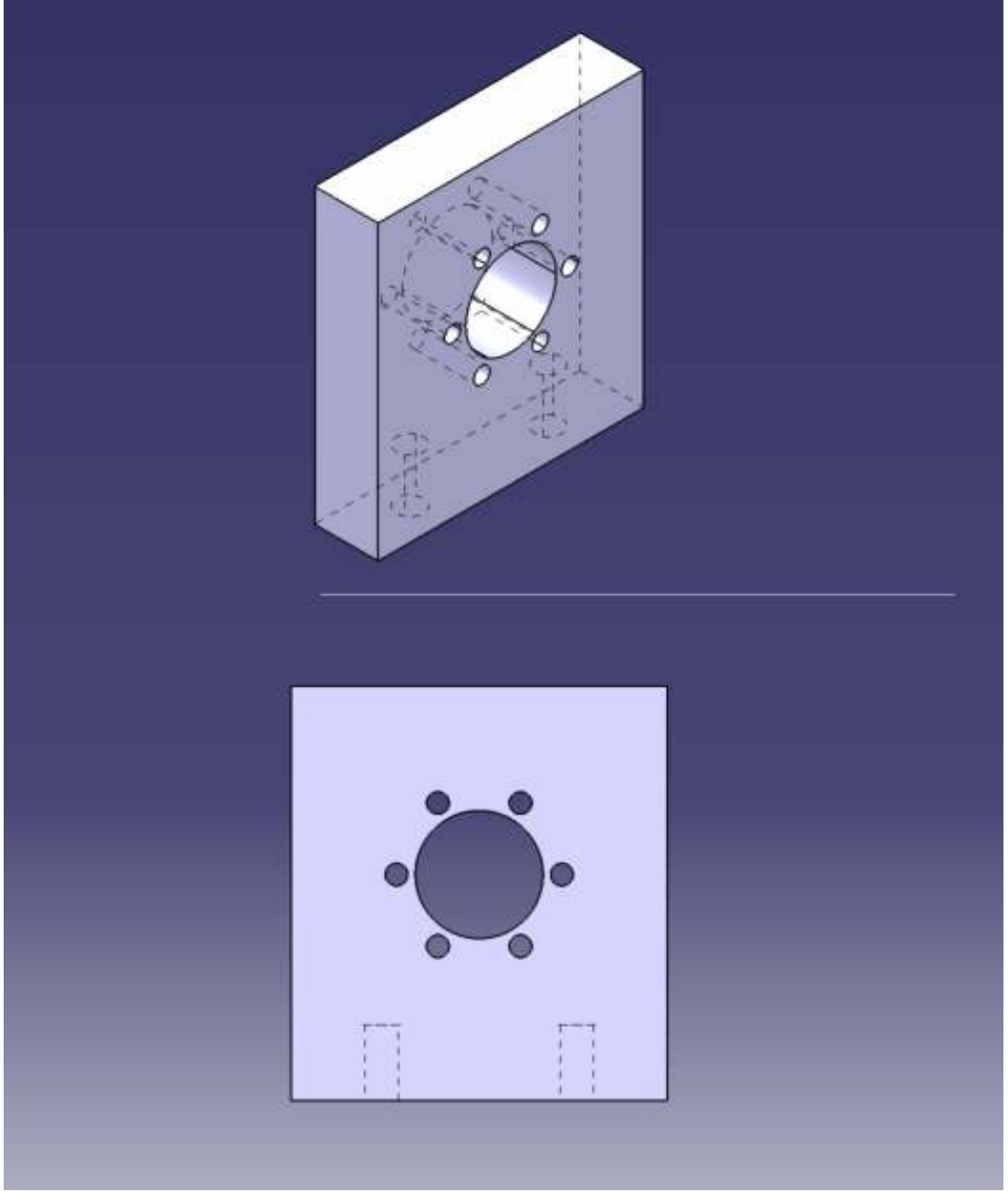
4.1.2. Taban Katı Modellemesi

Taban bölümü iki parçadan oluşmaktadır. İlk Parça ana kısımdır. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi bu parça altıgen şeklindedir. Üzerine motor taşıyıcı parçaları sabitleyebilmek için vida kanalları açılmıştır.

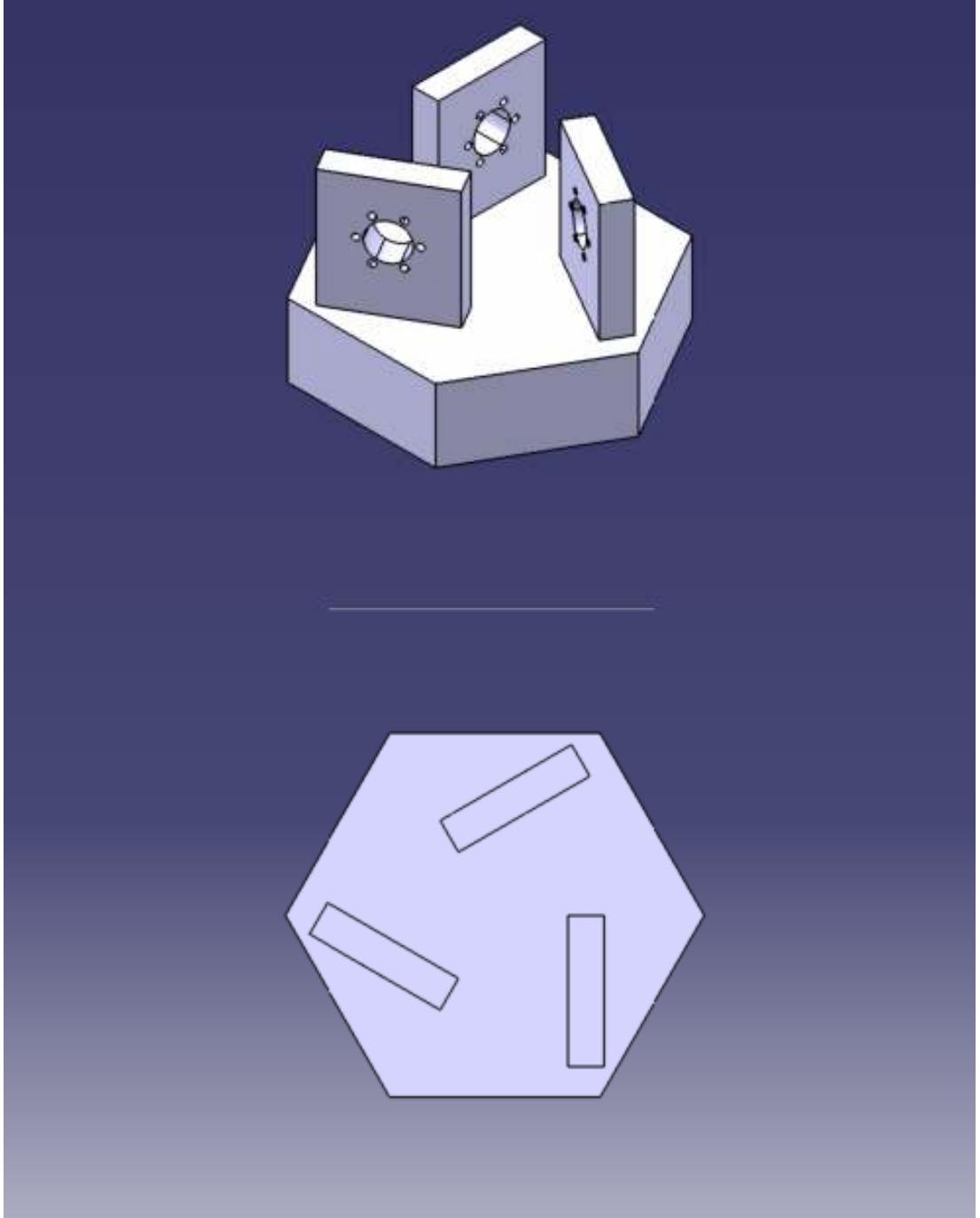


Şekil 4.2. Taban Altıgen Parça Katı Modeli

Tabanı oluşturan ikinci parça motor taşıyıcı parçalardır. Şekil 4.3’de görüldüğü üzere motor taşıyıcı parçalar üzerine motorun üzerindeki standart vida yuvalarına karşılık gelecek şekilde yuvalar açılmıştır. Bunların tam ortasına motor milinin hareketini engellemeyecek şekilde mil kanalı açılmıştır.



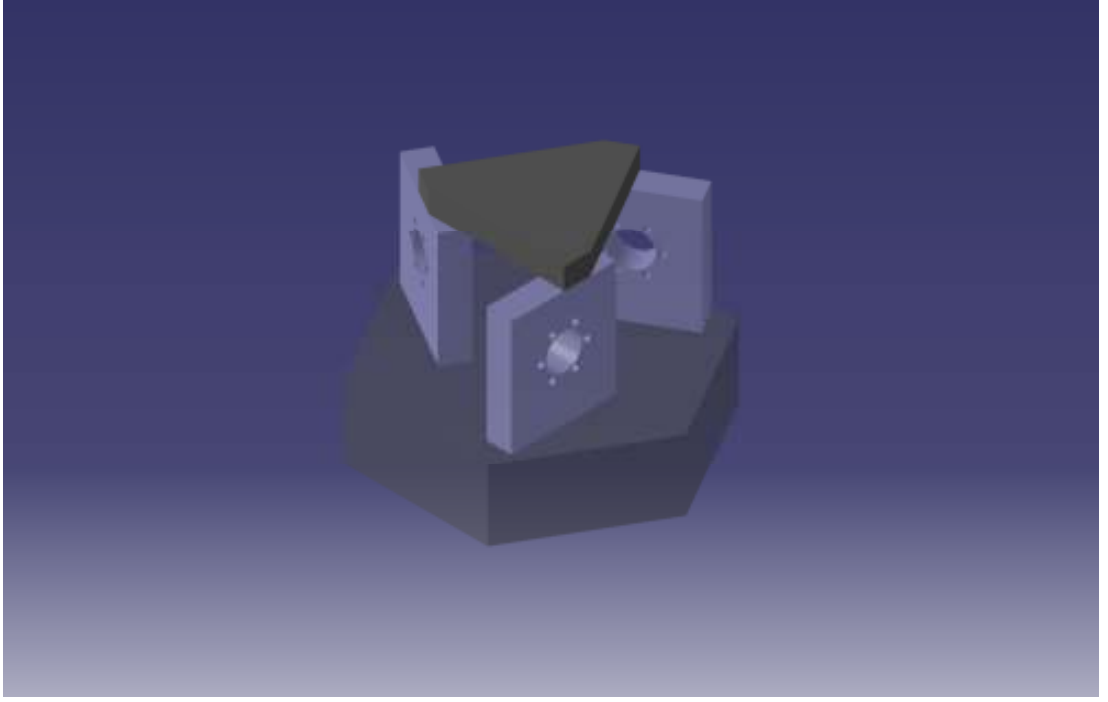
Şekil 4.3. Taban Motor Taşıyıcı Parça Katı Modeli



Şekil 4.4. Taban Katı Modeli

4.1.3. Sınırlayıcı Delta Parça

Sınırlayıcı delta parça tabandaki motor taşıyıcı parçaların boyutları ve yerleşimleri göz önünde bulundurularak Şekil 4.5’deki gibi tasarlanmıştır.

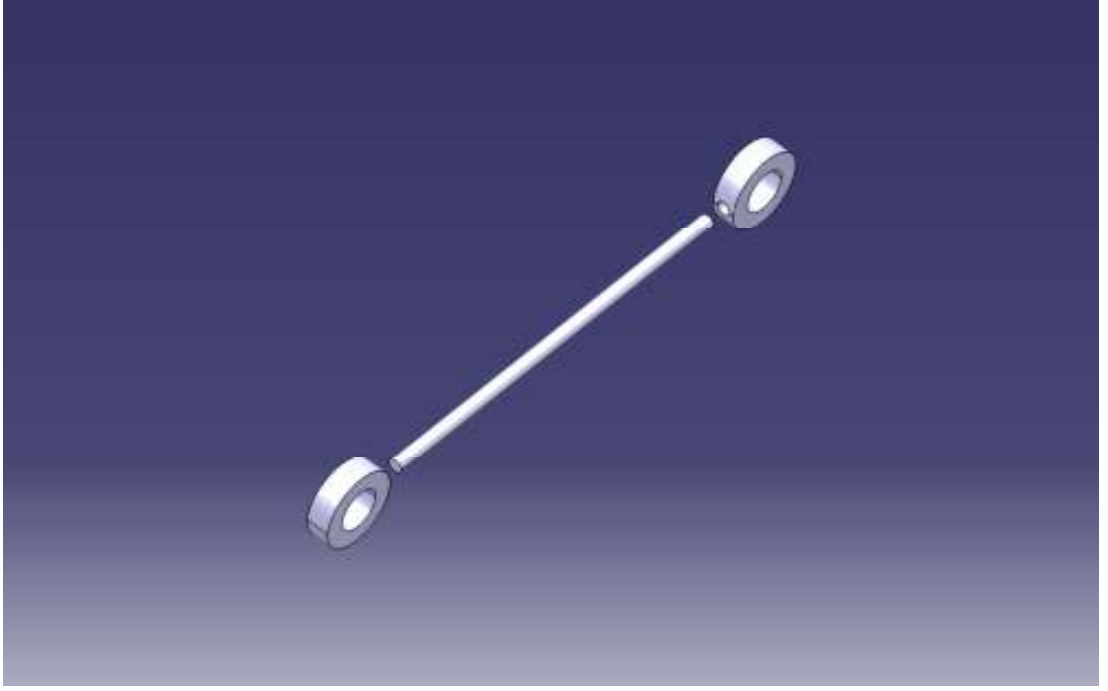


Şekil 4.5. Sınırlandırıcı Delta Parça

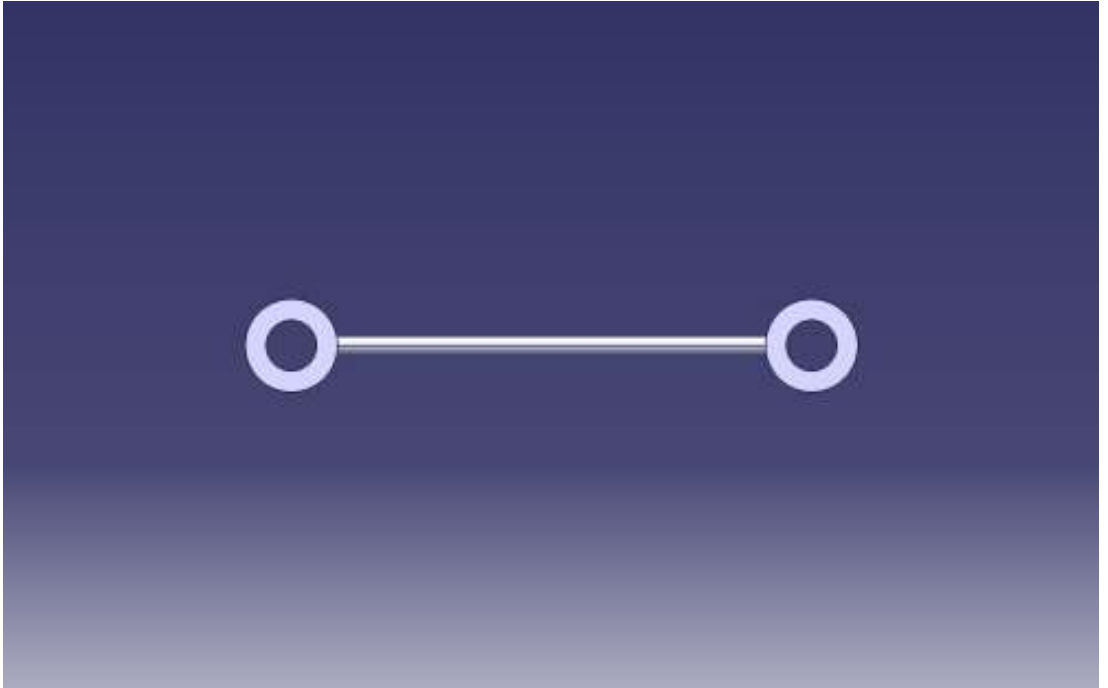
4.1.4. Taşıyıcı Kolların Katı Modellemesi

Paralel mekanizmada alt ve üst kollar taban ile hareketli üst kısım arasında bağlantı görevi yapmaktadırlar. Bu parçalar ince ve hafif olmalıdır. Alt ve üst kol aynı boyutlarda tasarlanacaktır. Alt ve üst kol arasındaki tek fark taşıdıkları rulman sayısıdır.

Şekil 4.6’da görüldüğü üzere taşıyıcı kol iki kısımdan oluşmaktadır. Birincisi rulman yuvası, ikincisi ise çubuk parçadır.



Şekil 4.6. Taşıyıcı Kol Parçaları Ayırıştırılmış Modeli



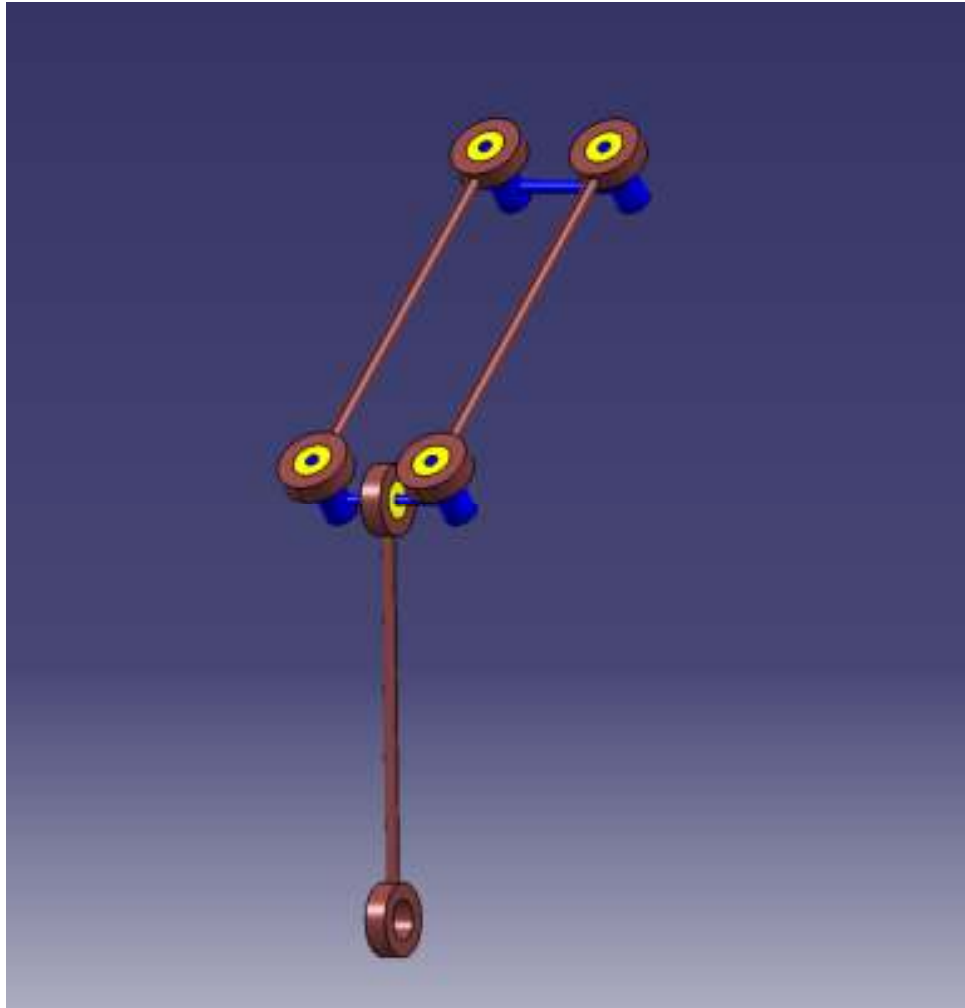
Şekil 4.7. Taşıyıcı Kol Katı Modeli

Bölüm 3.2.3’de vurgulanan üst kol sisteminin paralelliğini sağlamak için Şekil 4.8’de gösterilen u şeklindeki tasarım kullanılmıştır.



Şekil 4.8. U Mafsal Katı Modeli

Şekil 4.9’da taşıyıcı kollarda kullanılan u mafsalının görevi daha ayrıntılı görülebilmektedir.

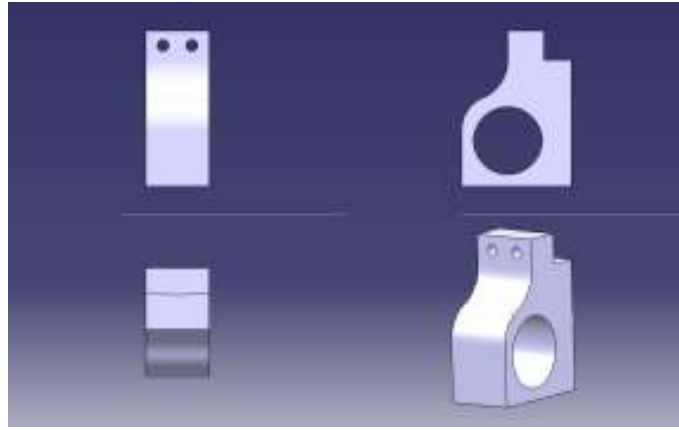


Şekil 4.9. Taşıyıcı Kol Sistemi Montaj Modeli

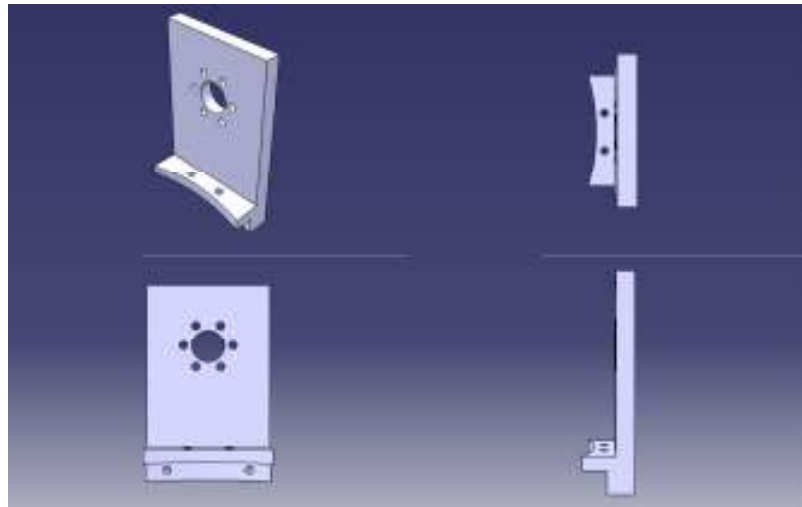
4.1.5. Hareketli Üst Kısım Katı Modellemesi

Şekil 4.12’de görüldüğü üzere hareketli üst kısmın imal edilebilirliğini kolaylaştırmak için üç parça olarak tasarlanmıştır.

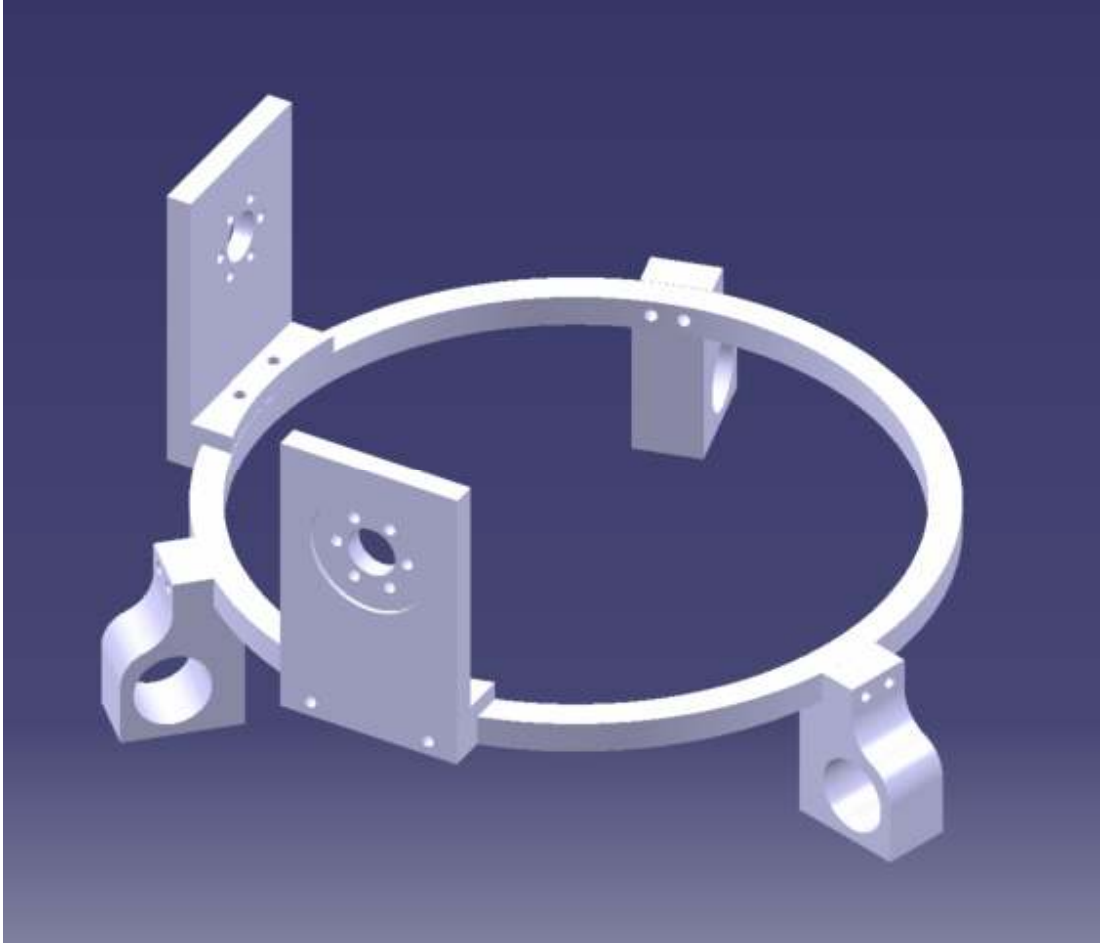
Ana parça 5mm kalınlığına sahip çemberdir. Bu parçanın üzerine Şekil 4.10’da gösterilen üst kol bağlantıları ve Şekil 4.11’de gösterilen motor taşıyıcılar montaj edilecektir.



Şekil 4.10. Üst Kol Bağlantısı Katı Modellemesi



Şekil 4.11. Üst Motor Taşıyıcı Katı Modellemesi



Şekil 4.12. Hareketli Üst Kısım Katı Modellemesi

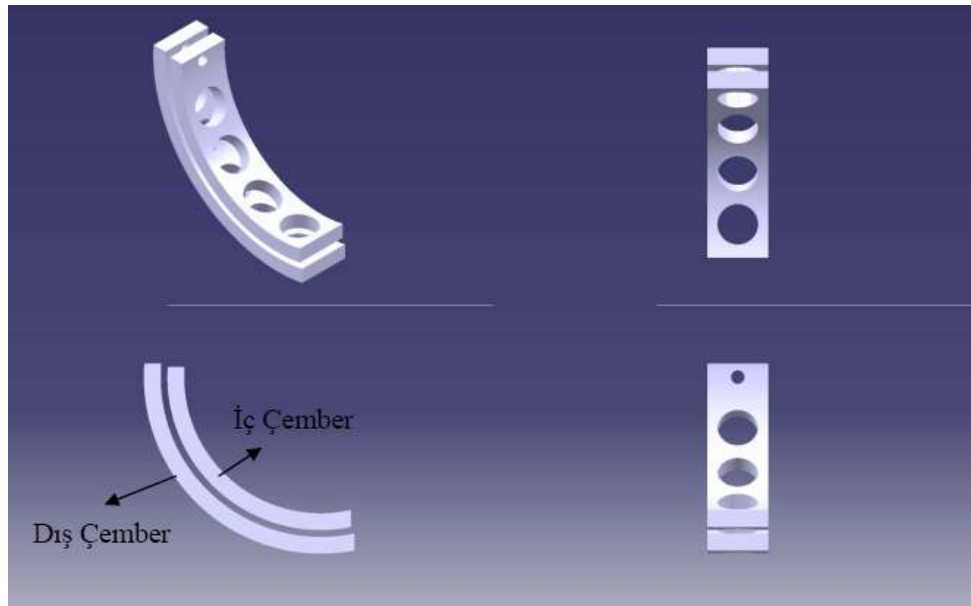
4.1.6. Uzaysal Yalpa Mekanizması Katı Modellemesi

Uzaysal yalpa mekanizması altı ana parçadan oluşmaktadır. Bunlar aşağıda listelenmiştir.

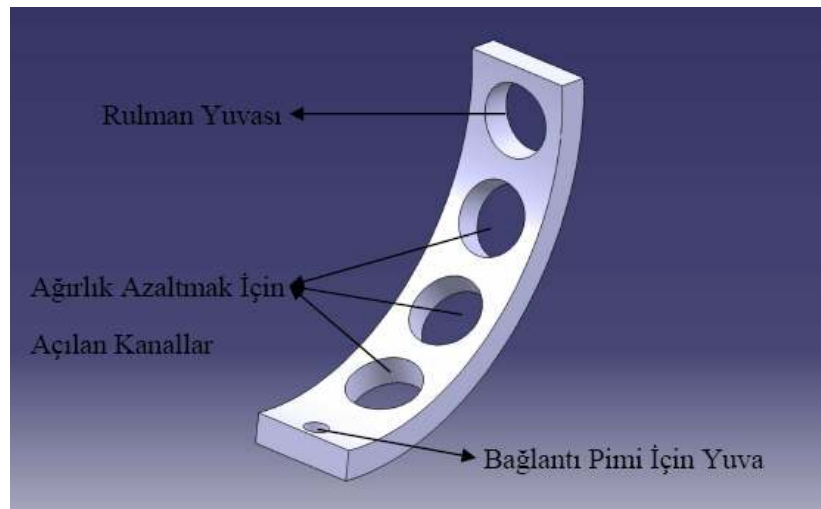
- 1.İç Çember
- 2.Dış Çember
- 3.Motorlar
- 4.U Parça
- 5.Orta Motor Yuvası
- 6.Kontrol Kolu

İç Çember , Dış Çember :

İç ve dış çember tasarımı Şekil 4.13’de görüldüğü gibi benzer yapıdadırlar. Şekil 4.14’de gösterildiği gibi çemberlerin üzerinde ağırlığı azaltmak kanallar açılmış ve birbirleri ile montaj edildiğinde hareketi kısıtlamamak için rulman yuvaları bulunmaktadır.



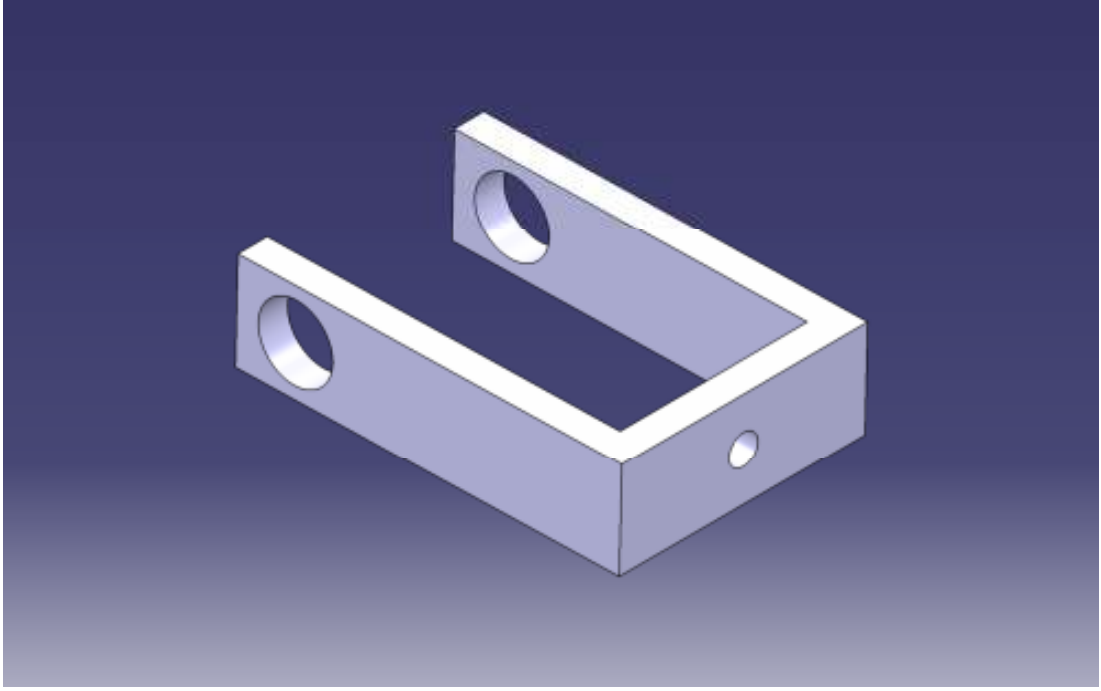
Şekil 4.13. İç ve Dış Çemberin Katı Modellemesi



Şekil 4.14. Çember Yapısı

U Parça:

Parça üzerinde motor mili ve iki adet aynı eksene yerleştirilmiş rulman için yuva açılmıştır.

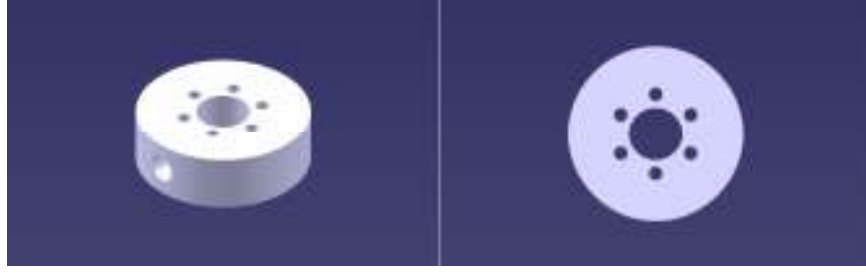


Şekil 4.15. U Parça Katı Modellemesi

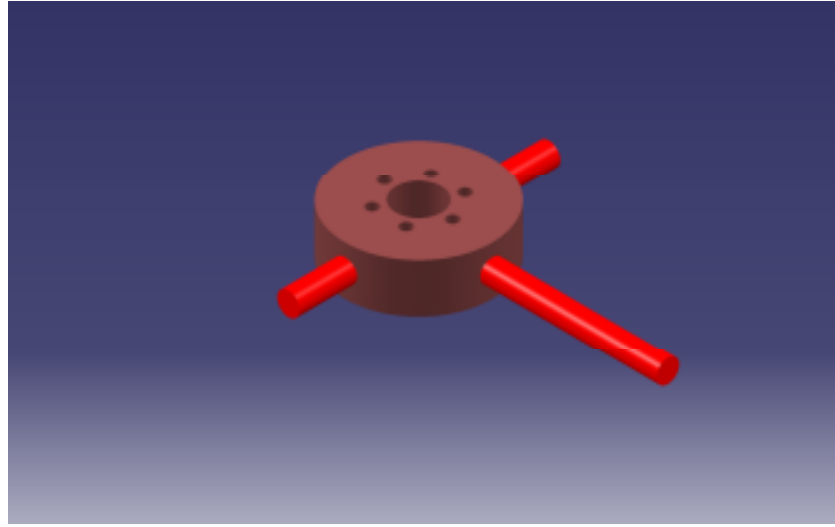
Orta Motor Yuvası:

Motoru istenen pozisyonda tutmak ve gücün kontrol koluna iletilmesini engellemeyecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 4.16’de görüldüğü gibi üzerinde kullanılacak olan motorun vida yuvalarına denk gelecek ve motor milinin hareketini engellemeyecek şekilde kanal açılmıştır.

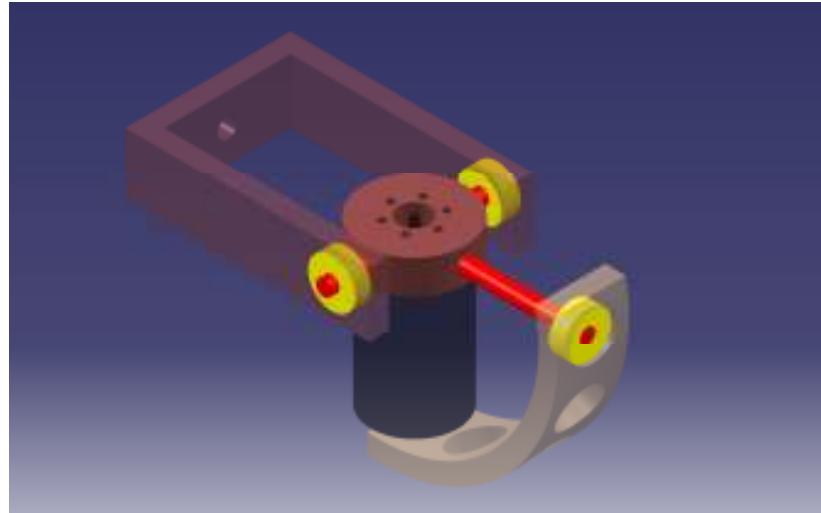
Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de belirtildiği gibi bu kanallara uygun miller ile u parça da ki rulmanlara ve iç çembere sabitlenecektir.



Şekil 4.16. Orta Motor Yuvası Katı Modellemesi



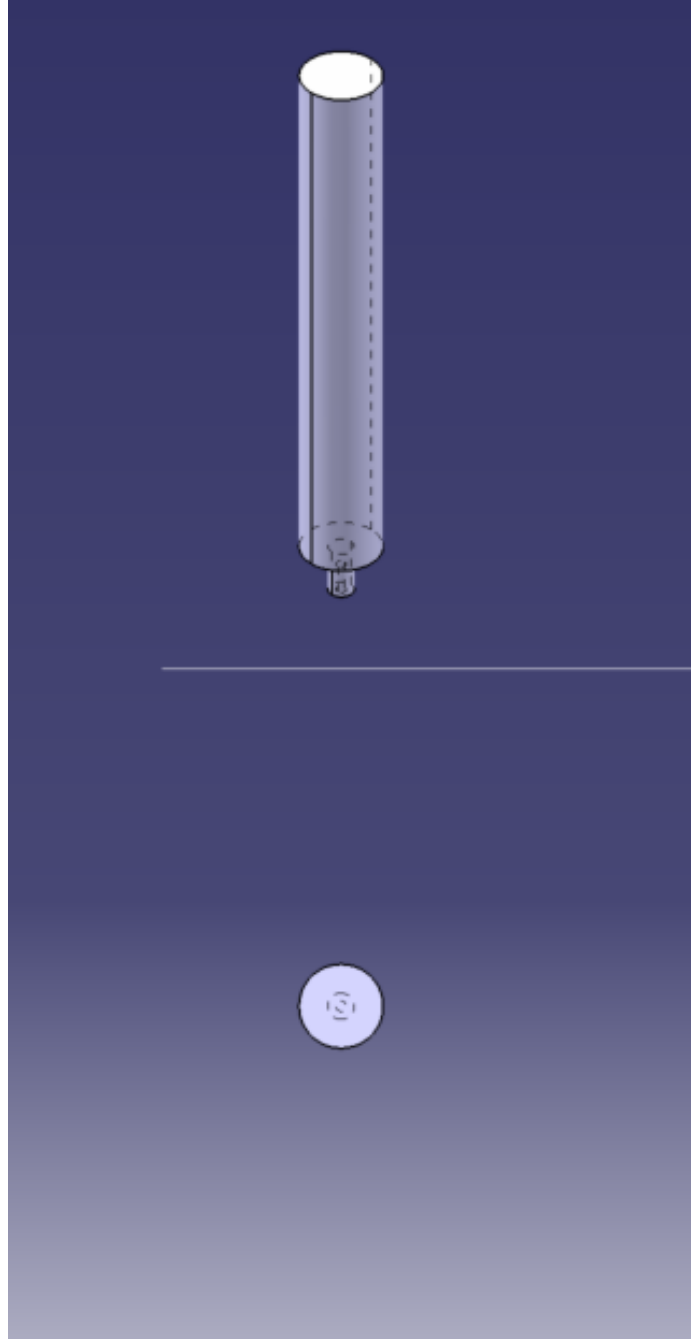
Şekil 4.17. Orta Motor Yuvası Katı Modellemesi



Şekil 4.18. Orta Motor Yuvası Bağlantıları

Kontrol Kolu:

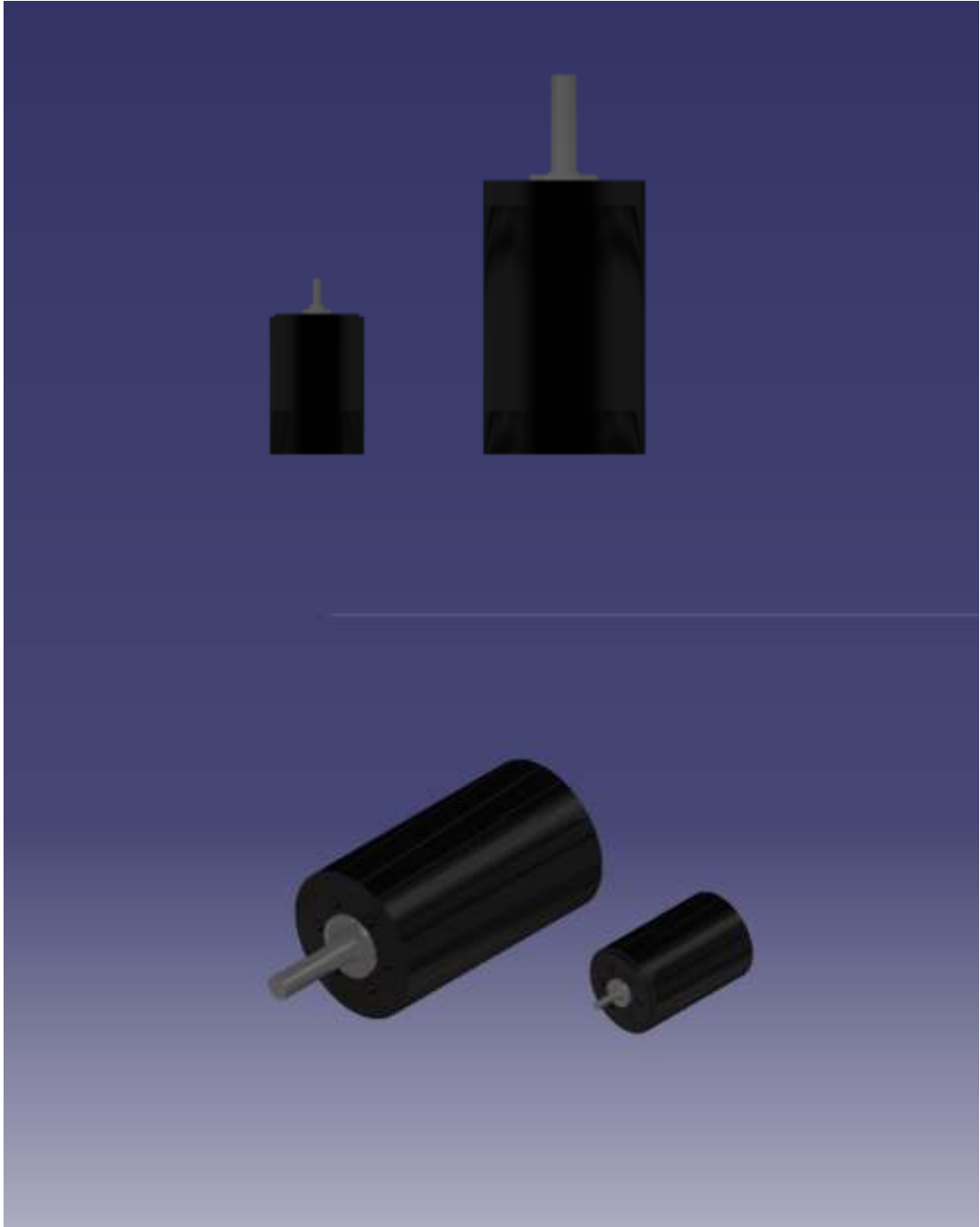
Kontrol kolu operatörün hükmedebileceği şekilde ergonomik olmalıdır. Alt kısımda motordan alınan hareketi hissedebilmesi için mil yuvası vardır.



Şekil 4.19. Kontrol Kolu Katı Modellemesi

4.1.7. Motorların Katı Modellenmesi

Motorların Şekil 4.20’de görüldüğü gibi katı modelleri yapılmıştır.

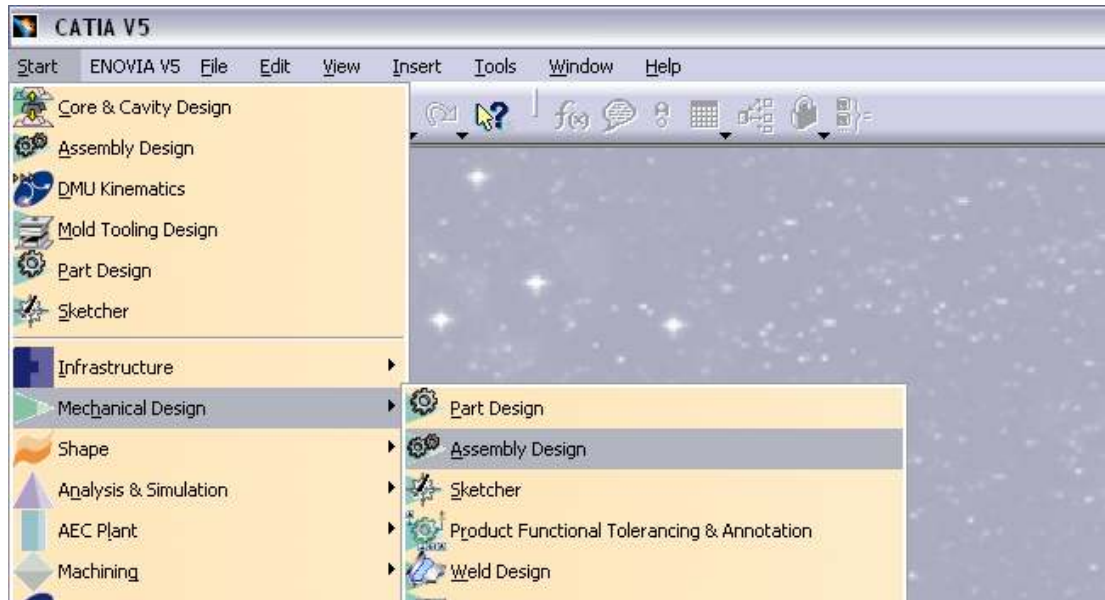


Şekil 4.20. Motorların Katı Modellemesi

4.2. Montaj Modelleme

4.2.1. Catia V5 Programında Montaj Modelleme

Bu bölümde catia v5 programında modellenen parçaların montajı yapılacaktır. Programın montaj modelleme (assembly desing) modülü kullanılacaktır. Bu modüle “start” menüsünden Şekil 4.21’de gösterilen menü kullanılarak veya  “new” komutu kullanılarak ulaşılır.



Şekil 4.21. Montaj Modelleme Modülüne Giriş

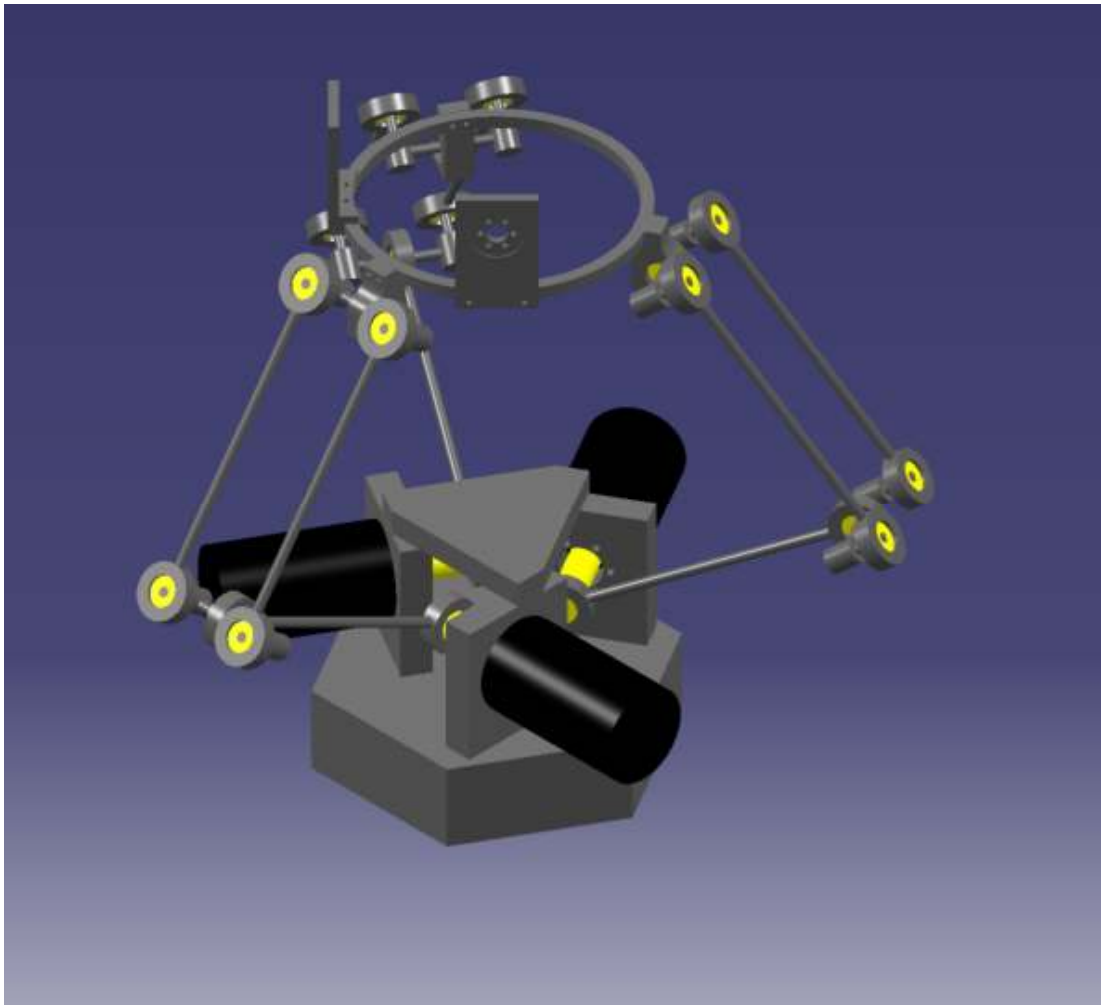
Daha sonra “Product structure Tools” araç çubuğundan “Existing Component” komutu seçilerek tasarım ağacından “product” üzerine tıklanır. Açılan pencereden montajını gerçekleştireceğimiz parçalar aynı işlemler tekrarlanarak çağırılır.

Sonraki işlemde ise çağırılan parçalar arasındaki bağlantı seçeneklerini “constraints” menüsünden belirlenir ve montaj modellemesi yapılır.

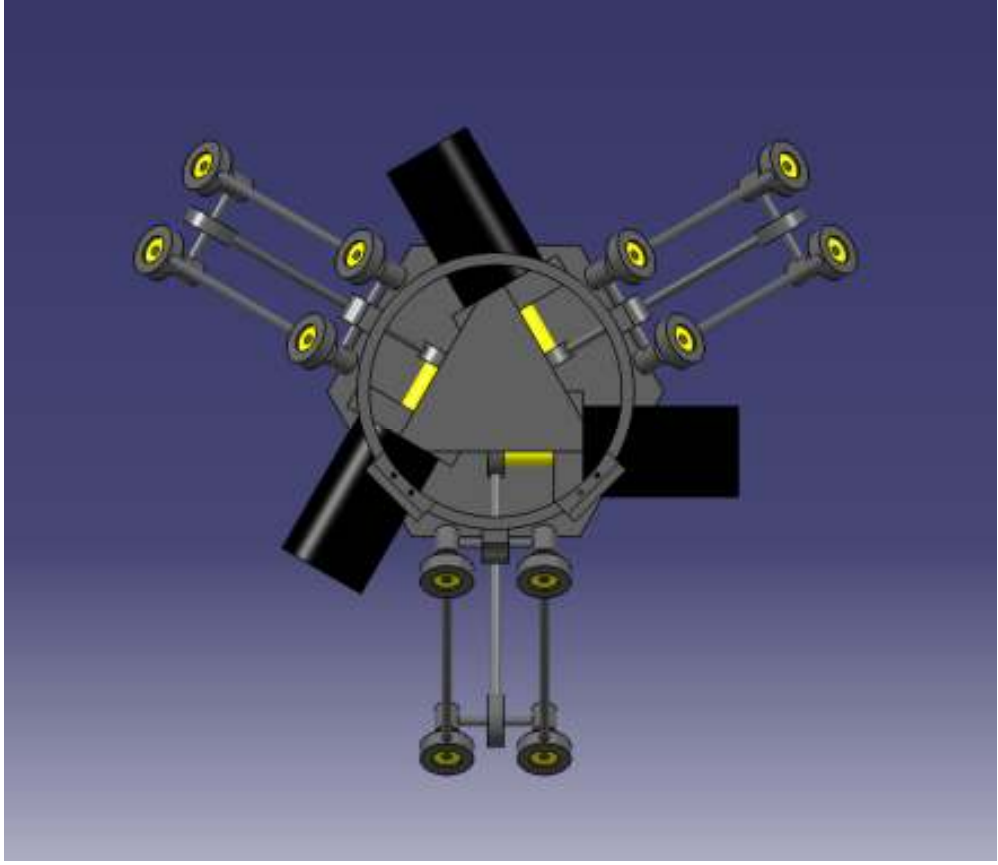
4.2.2. Haptik Arayüzün Modellenmesi

Paralel Mekanizma:

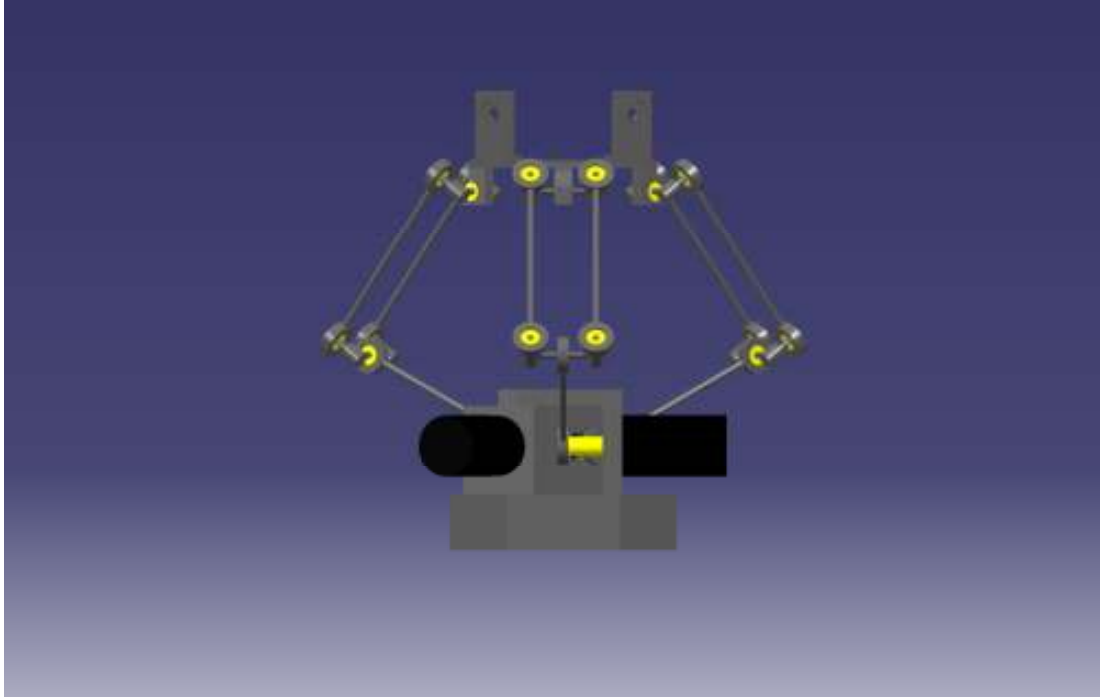
Paralel mekanizmaya ait montaj modellemesi Şekil 4.22’de görülmektedir. Şekil 4.23’de paralel mekanizmanın üst görünümü, Şekil 4.24’de ise paralel mekanizmanın yandan görünümü gösterilmektedir.



Şekil 4.22. Paralel Mekanizma Montaj Modeli



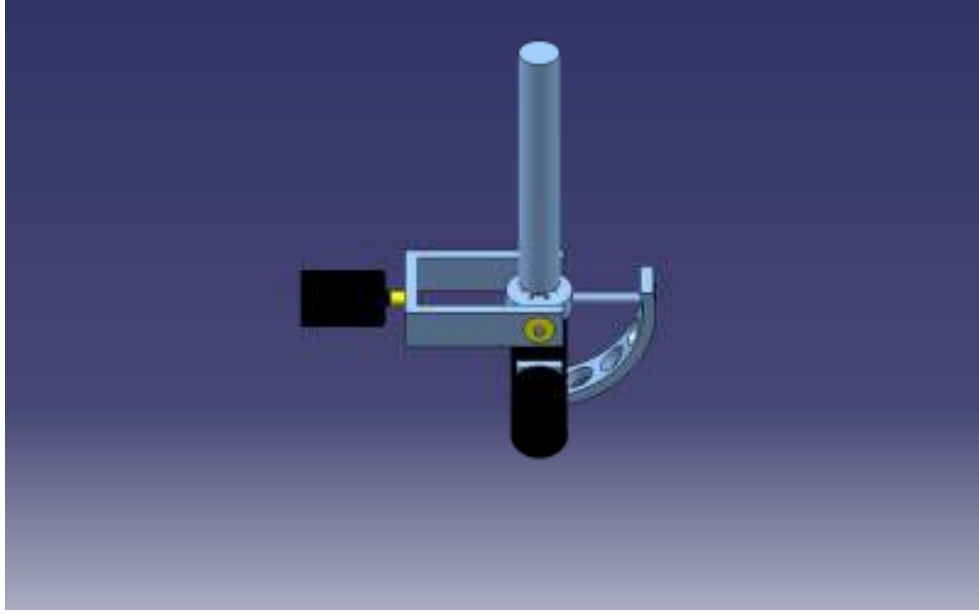
Şekil 4.23. Paralel Mekanizma Üst Görünüş



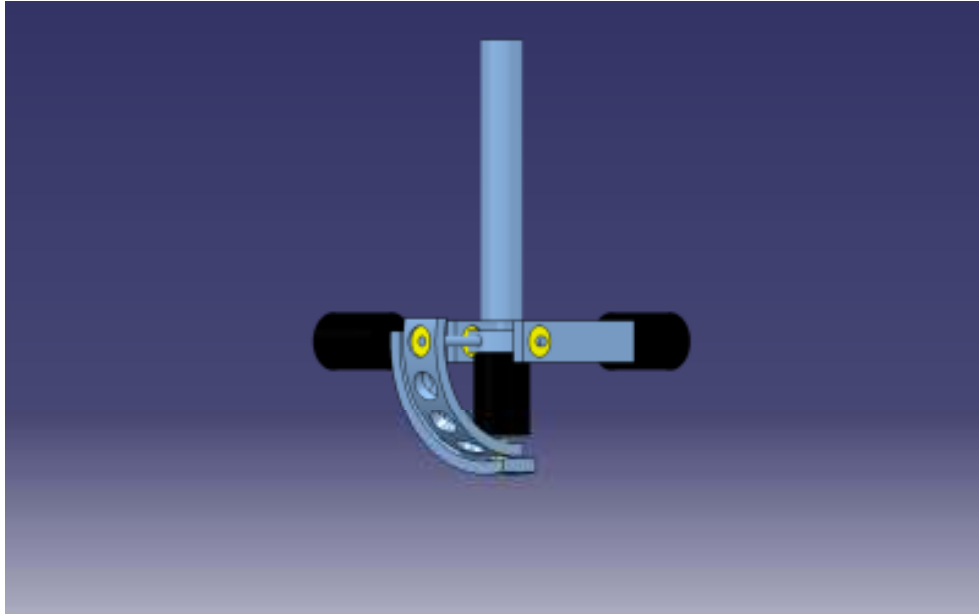
Şekil 4.24. Paralel Mekanizma Yan Görünüş

Yalpa Mekanizması:

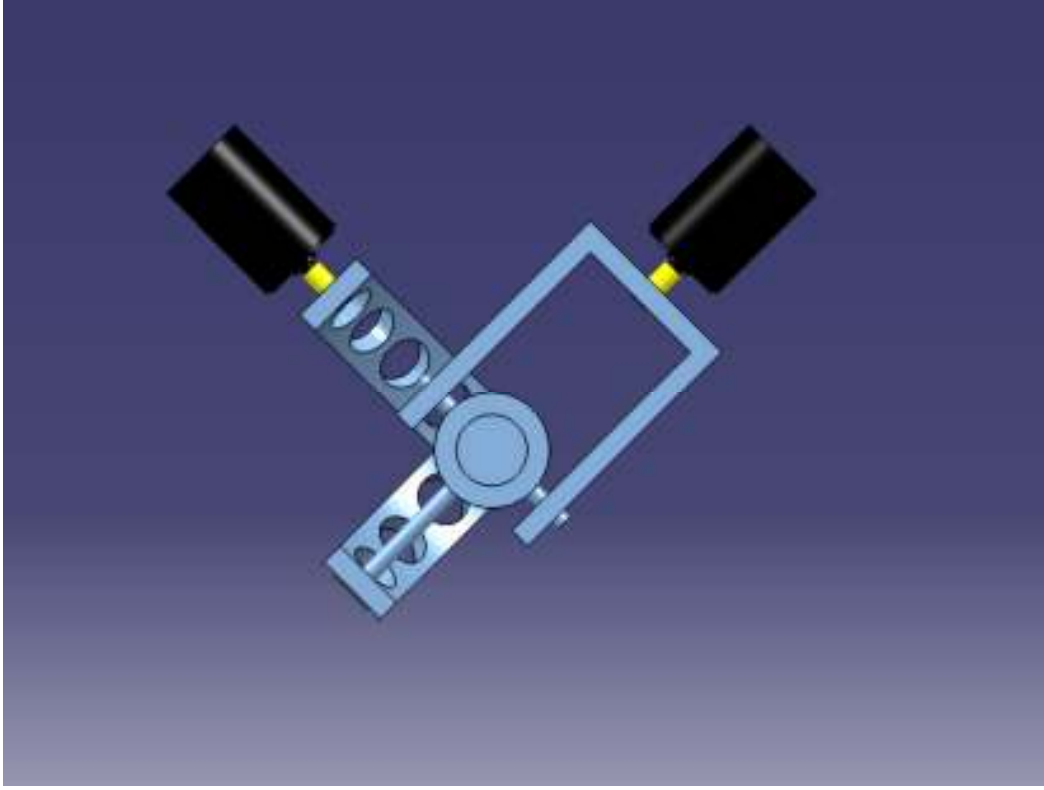
Yalpa mekanizmasına ait montaj modellemesi Şekil 4.25’de görülmektedir. Şekil 4.26’da yalpa mekanizmasının ön görünüşü ve Şekil 4.27’de yalpa mekanizmasının üst görünüşü görülmektedir.



Şekil 4.25. Yalpa Mekanizması Montaj Modellemesi



Şekil 4.26. Yalpa Mekanizması Montaj Modeli Ön Görünüşü

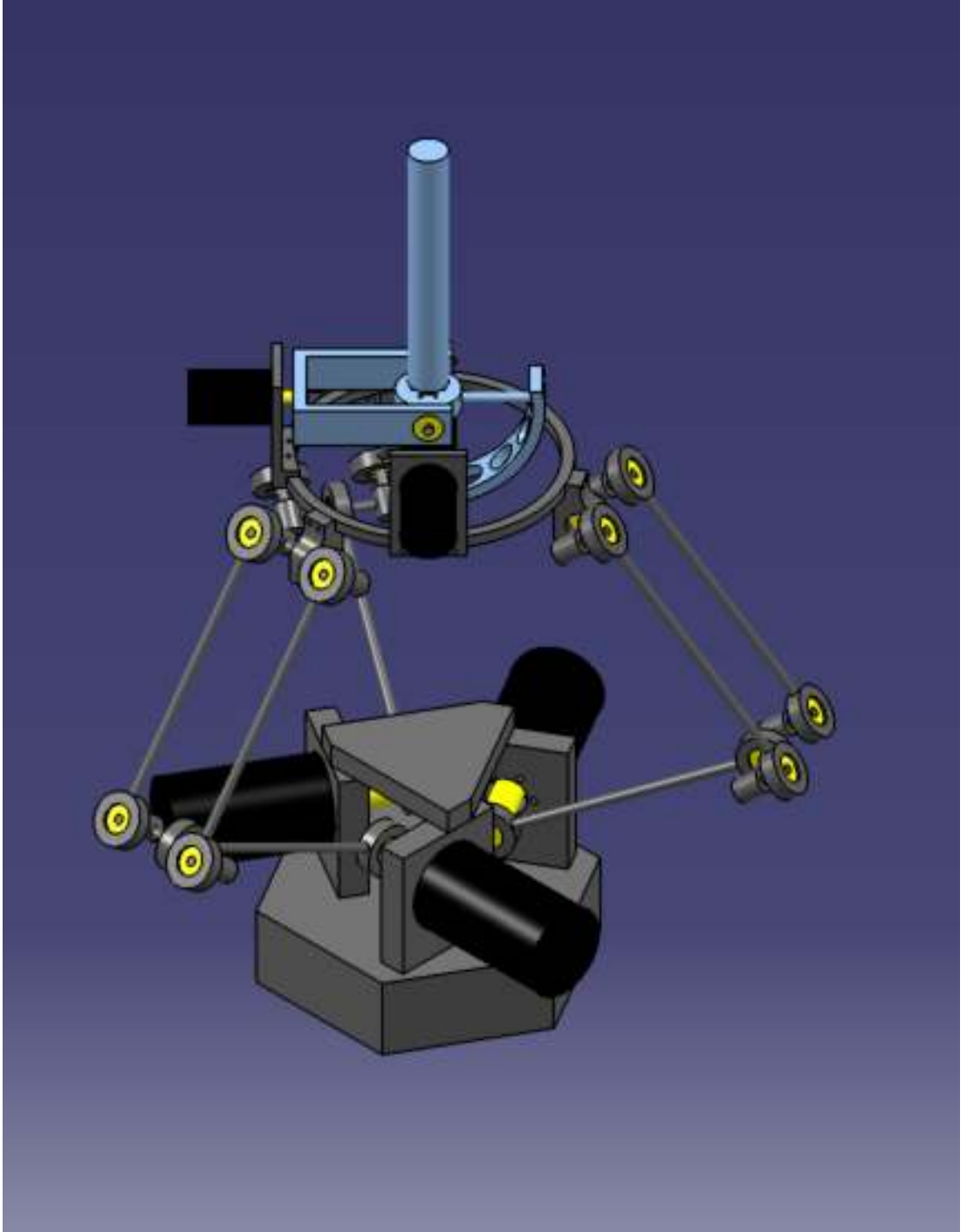


Şekil 4.27. Yalpa Mekanizması Montaj Modeli Üst Görünüş

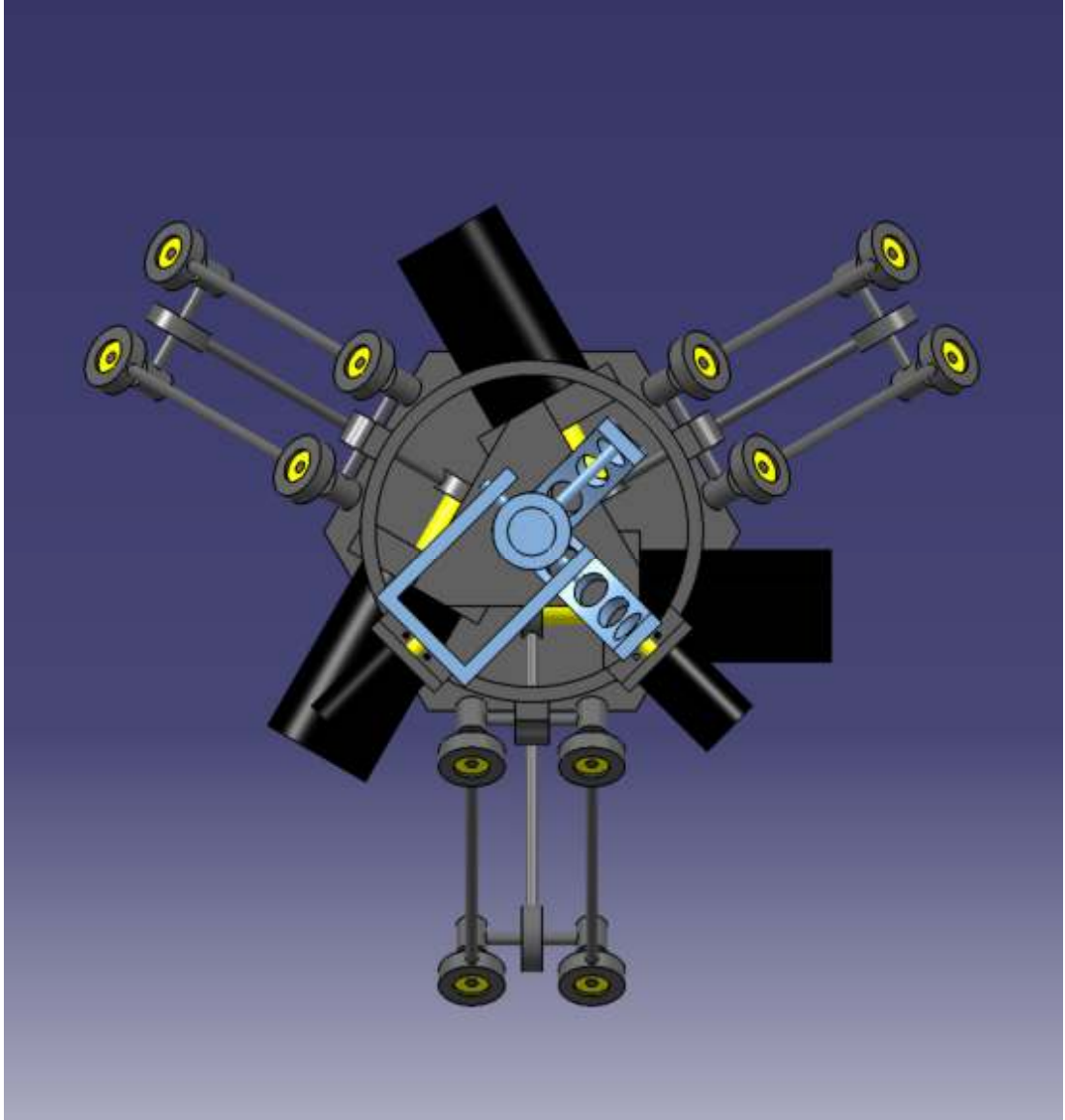
Haptik Arayüz:

Haptik arayüz, paralel mekanizma üzerine konumlanmış yalpa mekanizmasından meydana gelmektedir.

Haptik arayüzün montaj modellemesi Şekil 4.28’ de görülmektedir. Şekil 4.29’de haptik arayüz montaj modellemesi üst görünümü vardır.



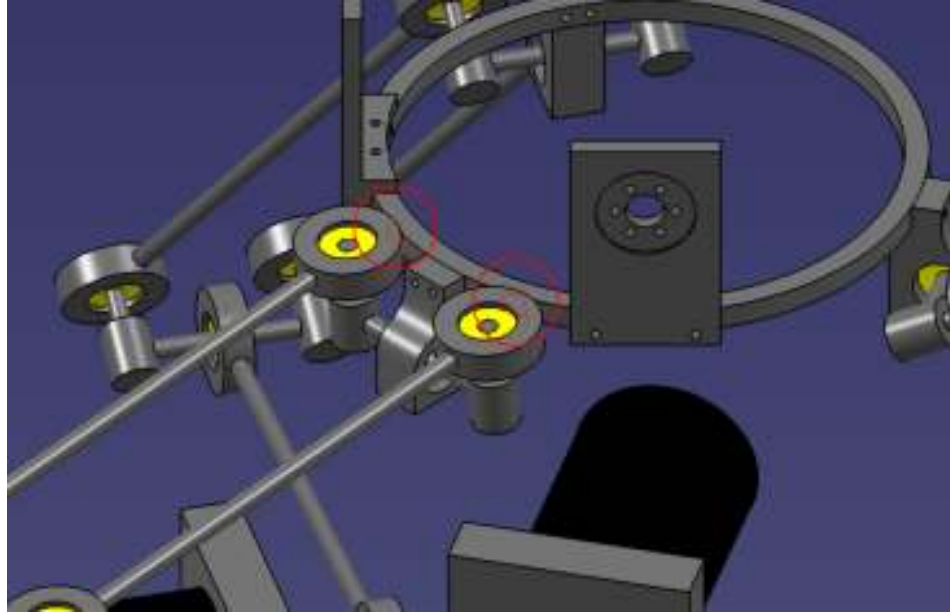
Şekil 4.28. Haptik Arayüz Montaj Modellemesi



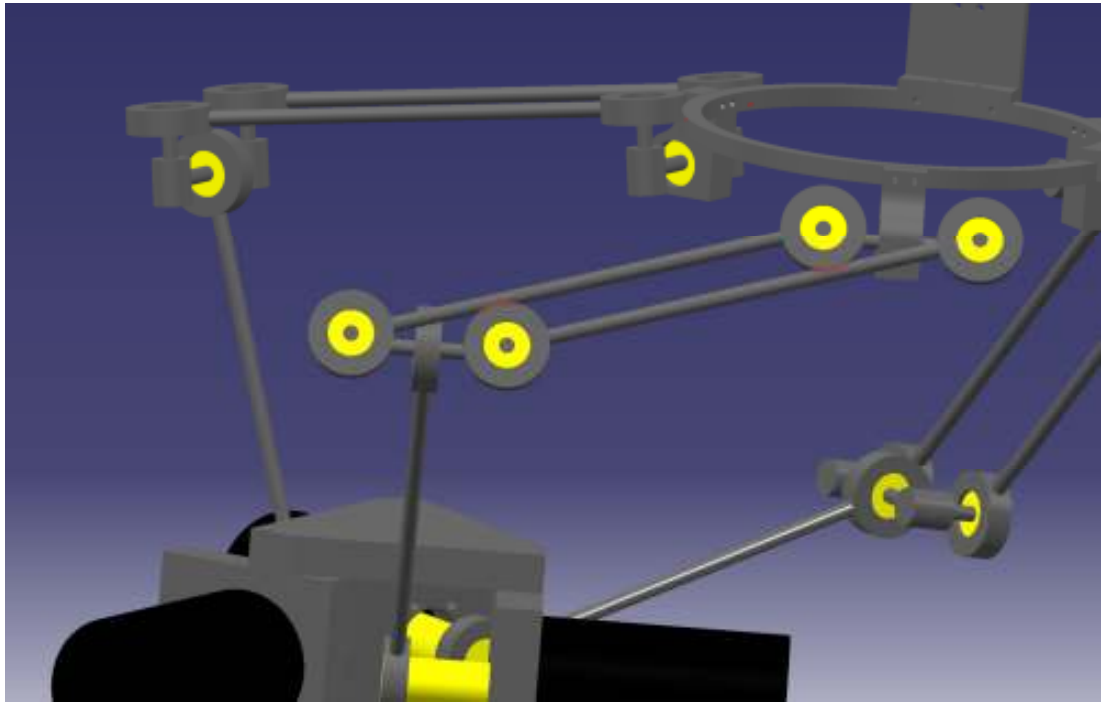
Şekil 4.29. Haptik Arayüz Montaj Modeli Üst Görünüş

4.9. Çalışma Alanı Analizi

. Mekanizmanın yapısındaki mekanik kısıtlamalar nedeniyle çalışma uzayı kısıtlanmaktadır. Şekil 4.30’da görüldüğü üzere üst kollar ile hareketli kısım arasındaki çakışma nedeniyle mekanizmanın x ve y eksenlerindeki hareketi kısıtlanmaktadır. Yine aynı biçimde Şekil 4.31’de görüldüğü gibi üst kolların çakışması nedeniyle sistemin hareketi kısıtlanmaktadır.

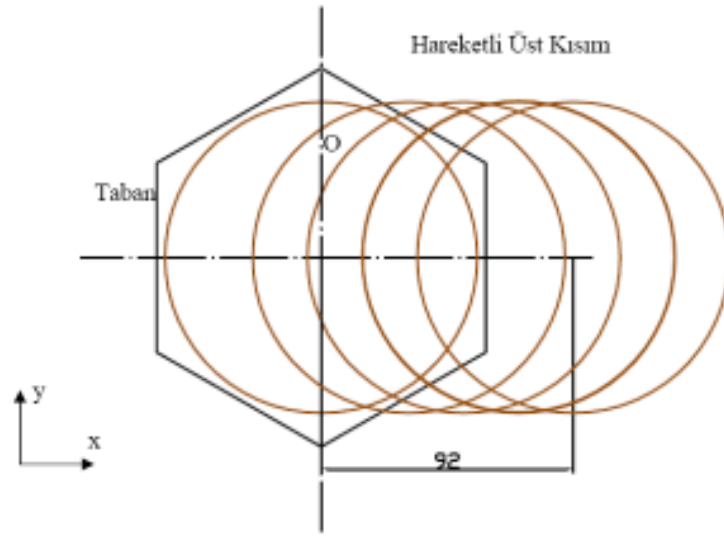


Şekil 4.30. Üst Kollar İler Hareketli Kısım Arasındaki Çakışma

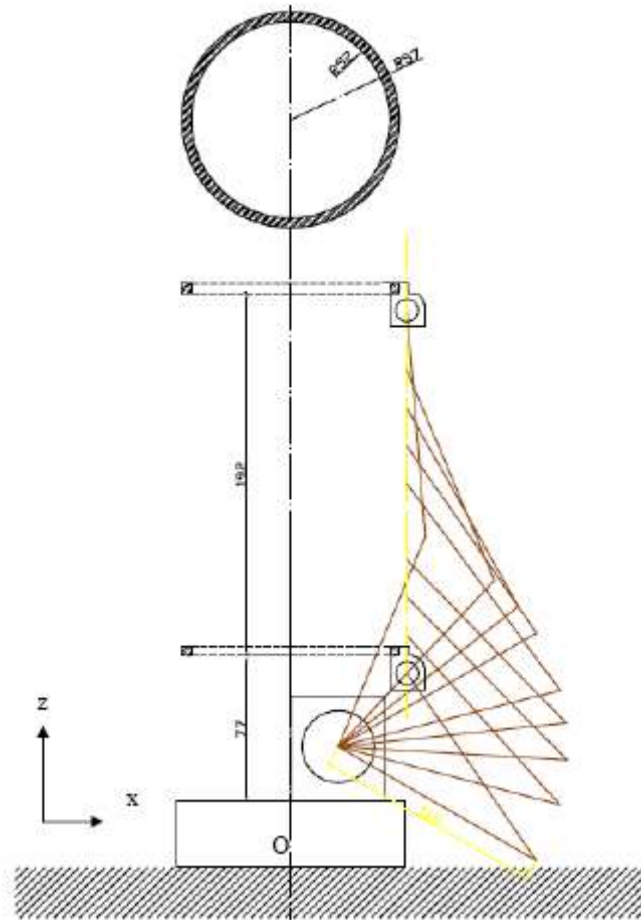


Şekil 4.31. Üst Kolların Çakışması

Şekil 4.32’de haptik arayüzün x eksenindeki çalışma aralığı, Şekil 4.33’de ise haptik arayüzün z eksenindeki çalışma aralığı görülmektedir.

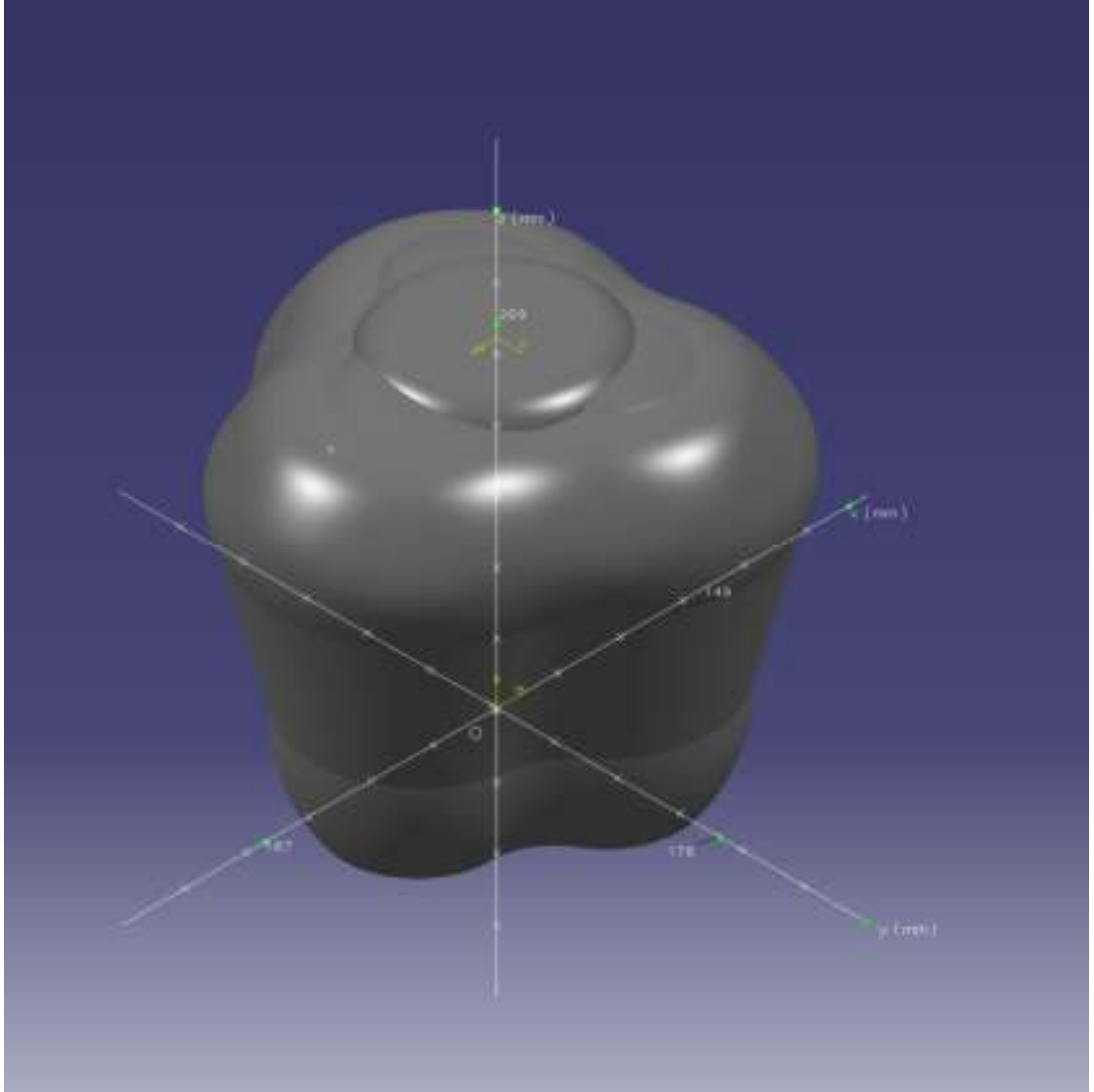


Şekil 4.32. Haptik Arayüz x Ekseninde Çalışma Aralığı

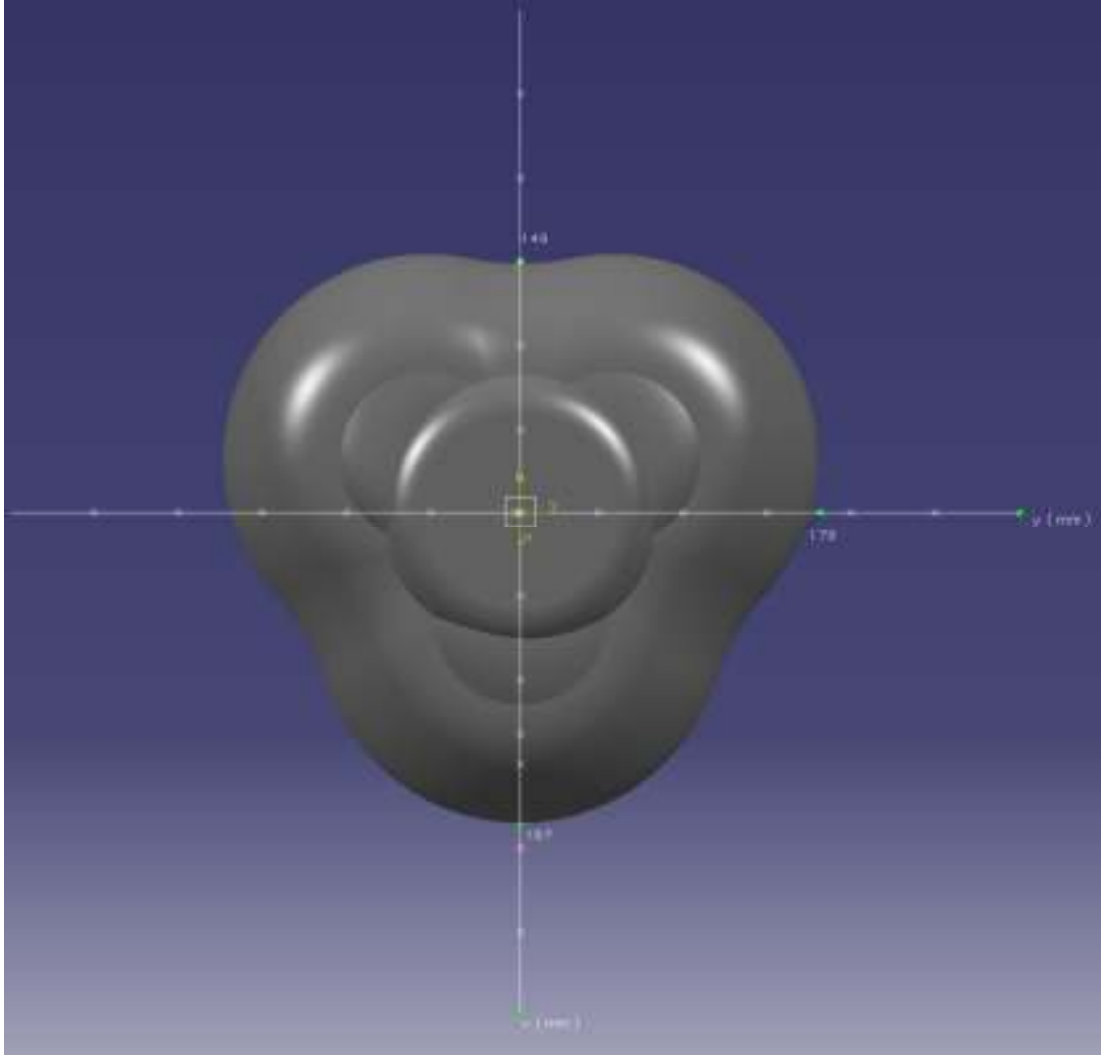


Şekil 4.33. Haptik Arayüz z Eksenindeki Çalışma Aralığı

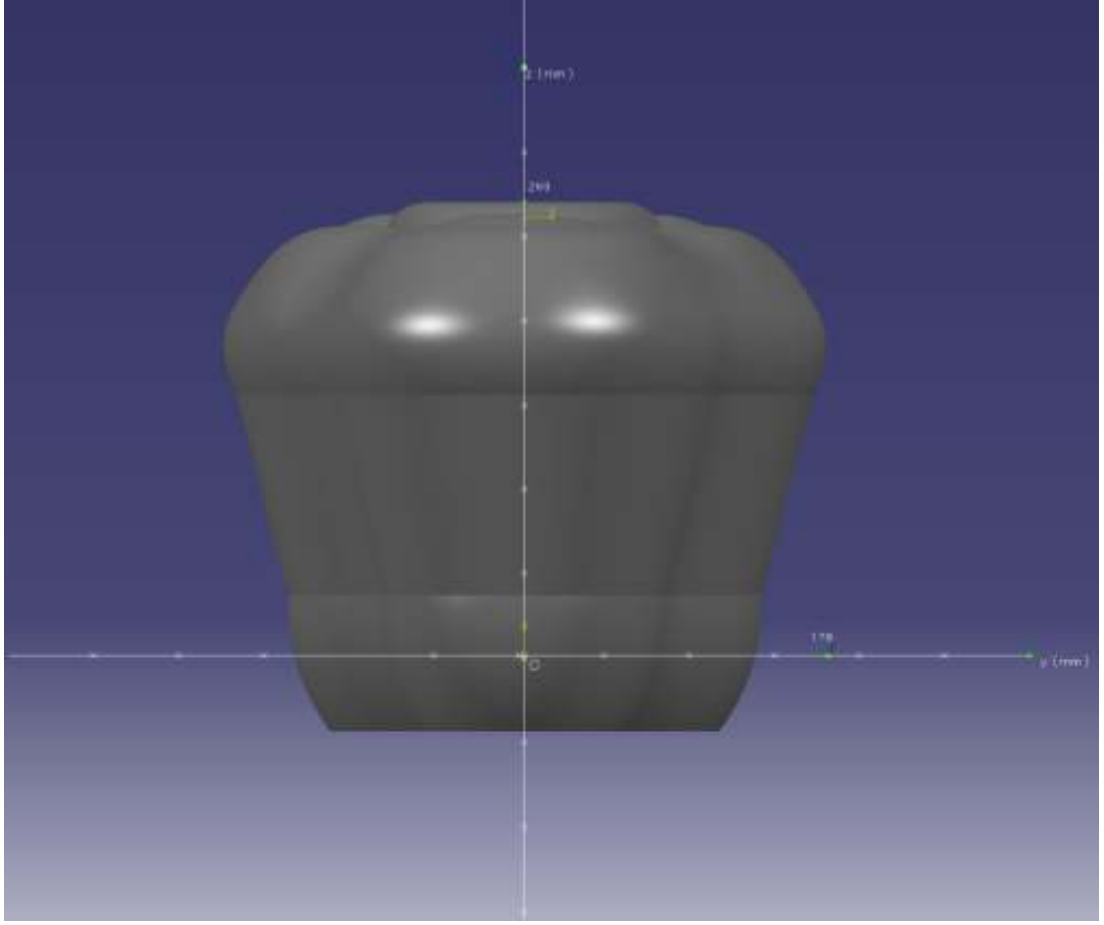
Catia V5 programında mekanizmanın maksimum hareket noktalarına ulaşması sağlanmış ve bu noktalar belirlenerek sistemin çalışma uzayı oluşturulmuştur. Şekil 4.34'de sistemin çalışma uzayı görülmektedir. Yine aynı şekilde, Şekil 4.35'de sistemin x-y eksenindeki çalışma alanı ve Şekil 4.36'da z-y eksenindeki çalışma alanı görülmektedir.



Şekil 4.34. Çalışma Uzayı



Şekil 4.35. x-y Eksenlerindeki Çalışma Alanı



Şekil 4.36. z-y Eksenlerindeki Çalışma Alanı

5. İMALAT

Tasarlanan parçaların üretimi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği cad/cam laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Taşıyıcı kollar çelik malzeme ve diğer parçalar alüminyum malzemeden üretilecektir. Üretilen parçaların ve kullanılan malzemelerin listesi aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir.

Haptik Arayüz Parça Listesi:

Paralel Mekanizmada Kullanılan Parçalar

No	Parça İsmi	Malzeme	Adet
1	Taban	Alüminyum	1
2	Taban Motor Taşıyıcı	Alüminyum	3
3	Sınırlayıcı Delta Parça	Plastik	1
4	Taşıyıcı Kol	Alüminyum+Çelik	9
5	Taşıyıcı Kol U Parça	Alüminyum	6
6	Motor Milleri	Alüminyum	3

Uzaysal Yalpa Mekanizmasında Kullanılan Paçalar

No	Parça İsmi	Malzeme	Adet
1	Çember	Alüminyum	1
2	Rulman Tutucu	Alüminyum	3
3	Üst Motor Tutucu	Alüminyum	2
4	İç çember	Alüminyum	1
5	Dış Çember	Alüminyum	1
6	Kontrol Kolu	Alüminyum	1
7	Orta Motor Tutucu	Alüminyum	1
8	Motor Milleri	Alüminyum	3

Bu malzemelere ek olarak hazır olarak alınan motorlar, rulmanlar ve montaj sırasında parçaların sabitlenmesi için farklı boyutlarda vidalar kullanılmıştır. Ayrıca vida bağlantılarının gevşemezliğini sağlamak için gevşeme önleyici yapıştırıcı malzeme kullanılmıştır.

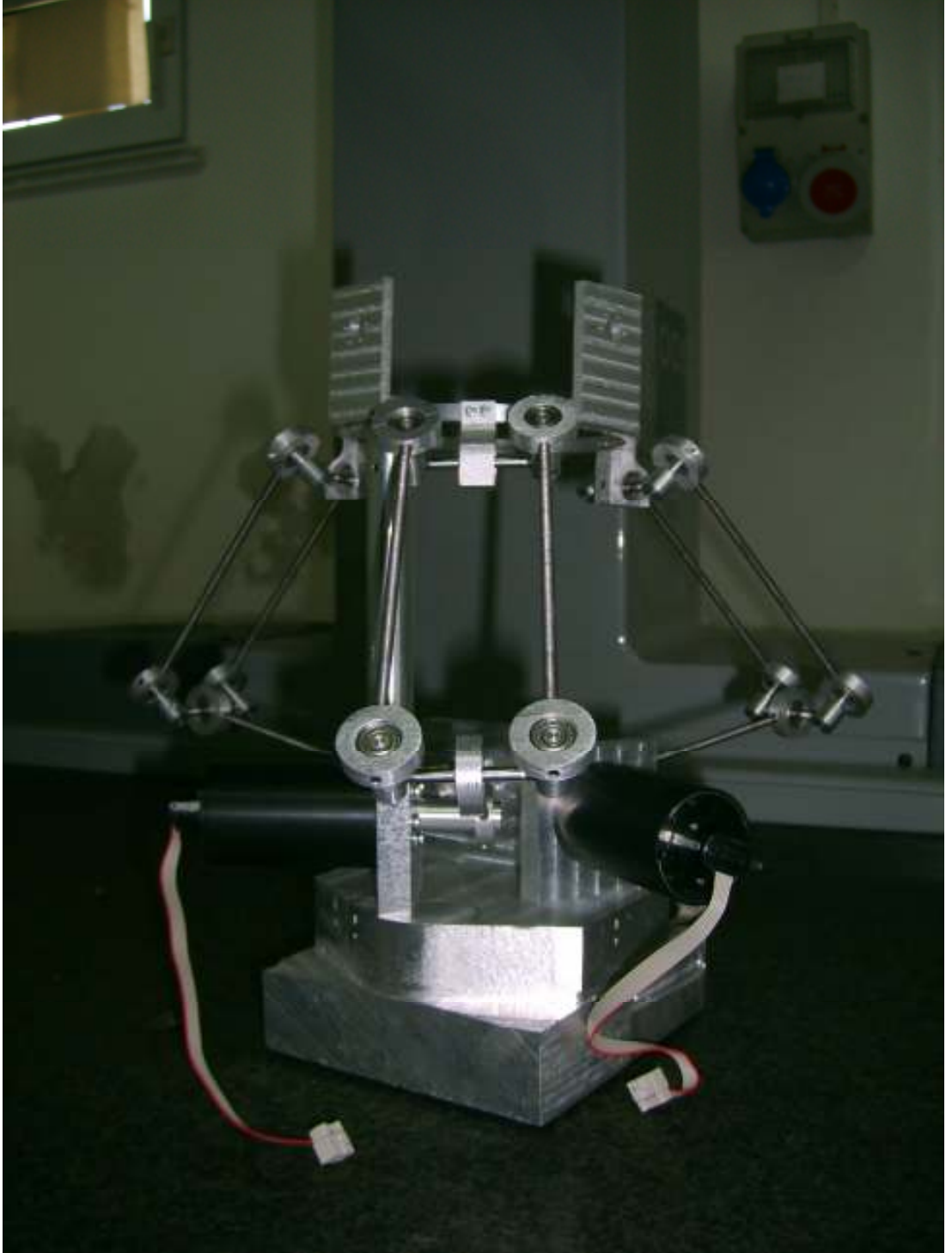
Aşağıdaki resimlerde montaj işlemi gerçekleştirilen mekanizma gösterilmektedir. Şekil 5.1’de görüldüğü gibi sınırlayıcı delta parça yapıştırıcı malzeme yardımıyla taban bölümüne sabitlenmiştir.



Şekil 5.1. Sınırlayıcı Delta Parça



Şekil 5.2. Uzaysal Yalpa Mekanizması



Şekil 5.3. Paralel Mekanizma



Şekil 5.4. Haptik Arayüz

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, 6 serbestlik dereceli haptik arayüzün tasarımı ve imalatı, ileride yapılacak haptik çalışmalarda kullanılmak üzere bir altyapı gibi düşünülmüştür. Çalışmaların sonucu olarak, Tsumaki ve arkadaşları tarafından geliştirilen haptik arayüz, kolay imalat teknikleriyle üretilmiştir. Bilgisayar destekli tasarım sayesinde, imalat sonrası; parçaların çakışması, montaj zorlamaları, uyumsuzluk gibi hatalar ortadan kalkmıştır.

Haptik arayüzün uzunlukları artırılan taşıyıcı kolları sayesinde z yönünde daha geniş bir çalışma alanına ulaşılmıştır. Kullanılan motorların referans çalışmadakinden daha küçük olmaları sayesinde hafiflik ve kompaktlık sağlanmıştır.

Bu çalışmada, imalatı kolaylaştırabilmek için bazı parçalar bölümlere ayrılmasıyla çok parçalı olarak üretilmesi sağlanmıştır.

Bu sonuçlara karşılık parçaların tekparça olarak üretilmemesi sonucunda sistemin kararlılığını kontrol etmek zorlaşmıştır. Her ne kadar parçalar ileri teknoloji makinelerde üretilseyse de, montaj işlemi elle gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucu olarak montaj işleminde yapılan hatalar sistemin hareket kabiliyetini ve hassasiyetini etkileyecektir. İşte bu nedenlerden dolayı montaj işlemi çok önemlidir.

Tüm bunlar göz önünde bulundurularak mekanizmanın imalatında mümkün olduğunca parça sayısı az tutulmalı eğer çok parçalı üretilmesi gerekiyor ise de parçalar çok küçük hassasiyet sınırlarında üretilerek, montaj aşamasında azami derecede çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Sabit platform ile taşıyıcı platform arasındaki bağlantıyı sağlayan kolların tek parça olarak üretilmesi sistemin hassasiyetini artıracaktır.

Gelecekte sadece dokunma hisli değil hem işitsel hemde görsel sistemlerin bir arada sunulduğu çok çeşitli teknikler kullanılacaktır. Teknolojinin ilerlemesiyle mobil, her yerde kullanabileceğimiz sistemler meydana getirilecektir. Cihazlar çok farklı kişilere hitap edeceğinden dolayı kontrolleri kolay olmalıdır.

Bundan sonraki çalışmalarda tasarımda iyileştirmeler yapılarak, ileri imalat yöntemleri kullanılarak ve gelişen motor teknolojisiyle daha verimli haptik cihazlar üzerine daha iyi deneyimler elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

1. Robot Institute of America, 1979
2. R.C. Goertz, “ Fundamentals of General-Purpose Remote Manipulators,” Nucleonics, Vol. 10, No. 11, pp. 36-42, 1952.
3. Y. Tsumaki, H. Naruse, D. N. Nenchev and M. Uchiyama, “Design of a Compact 6-DOF Haptic Interface,” Proc. of the 1998 IEEE Int. Conf. On Robotacs and Automataon, pp. 2580-2585, 1998.
4. V. Hayward et al. , “Haptic Interfaces and Devices,” Sensor Rev. , vol. 24, no. 1, 2004, pp. 16-29.
5. Y. Tsumaki, H. Naruse, D. N. Nenchev and M. Uchiyama, “Design of a Compact 6-DOF Haptic Interface,” Proc. of the 1998 IEEE Int. Conf. On Robotacs and Automataon, pp. 2580-2585, 1998.
6. Brooks, F.P., Ouh-Young, M., Batter, J.J. and Kilpatrick, P.J. (1990), “Project GROPE: haptic displays for scientific visualization”, Computer Graphics: Proc. SIGGRAPH’90, pp. 177-185.
7. MacLean, K.E., Roderick and Jayne, B. (1999), “Smart tangible displays in the everyday world: a haptic door knob”, Proc. IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM’99).
8. Payette, J., Hayward, V., Ramstein, C. and Bergeron, D. (1996), “Evaluation of a force-feedback (haptic) computer pointing device in zero gravity”, Proceedings Fifth Annual Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environments and Teleoperated Systems, ASME, DSC, Vol. 58, pp. 547-553.
9. Nahvi, A., Nelson, D., Hollerbach, J.M. and Johnson, D.E. (1998), “Haptic manipulation of virtual mechanisms from mechanical CAD designs”, Proc. IEEE Int. Conf. On Robotics and Automation, pp. 375-380.

10. McNeely, W., Puterbaugh, K. and Troy, J. (1999), "Six degree-of-freedom haptic rendering using voxel sampling", Proc. of ACM SIGGRAPH, pp. 401-408.
11. Delp, S.L., Loan, J.P., Basdogan, C. and Rosen, J.M. (1997), "Surgical simulation: an emerging technology for emergency medical training", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, Vol. 6, pp. 147-159.
12. Tang, J. , Carignan, C. and Gattewar, S. (2005) "Virtual Environment for Robotic Tele-Rehabilitation", Proc. IEEE 9th Int. Conf. on Rehabilitation Robotics pp. 365-369.
13. Hogan, N., Kay, B.A., Fasse, E.D. and Mussa-Ivaldi, F.A. (1990), "Haptic illusions: experiments on human manipulation and perception of 'virtual objects'", Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology, Vol. 55, pp. 925-993.
14. Bayraktar, E. , Kaleli, F. (2007), "Sanal Gerçeklik Ve Uygulama Alanları", Akademik Bilişim2007 Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
15. J. P. Merlet, "Direct Kinematics of Parallel Manipulators", IEEE Transactions on Robotics and Automation, 9(6), pp. 842-846 (1993).
16. Massie, T.H. and Salisbury, K. The Phantom Haptic Interface: A Device for Probing Virtual Object. In Proceeding of the ASME Winter Annual Meeting, Symposium on Haptic Interface For Virtual Environments and Teleoperator Systems, Pages: 295-301,1994
17. B. Dasgupta ve T.S. Mruthyunjaya, Mechanism and Machine Theory, 35, 15-40, 2000.
18. Y. Ikei, K. Wakamatsu and S. Fukuda, "Texture Presentation by Vibratory Tactile Display," Proc. 1997 IEEE Virtual Reality Annual Znt. Symp., Albuquerque, New Mexico, pp. 199-205, 1997.
19. L. W. Tsai: "Multi-degree-of-freedom mechanisms for machine tools and the like," U. S. Patent Pending, No. 08/415, 851, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa Metehan Özkan 13 Mart 1982 tarihinde Kastamonu’da doğmuştur. Liseyi Kastamonu Kuzeykent Lisesinde okumuştur. 2000 yılında Mustafa Kemal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümüne girmiştir. 2004 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır. Lisans eğitimini tamamladıktan sonra Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Tasarım ve İmalat Mühendisliği bölümünde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. İş hayatına ise Makine Mühendisleri Odası Kastamonu Şube’sinde teknik görevli olarak başlamış ve sonrasında Gebze’de bulunan Kartallar Isı Sistemleri’nde proje mühendisi olarak çalışmıştır.