

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

ALTI SERBESTLİK DERECELİ HAPTİK
ARAYÜZ UYUMLU MEKANİZMA
TASARIMI VE İMALATI

Mine İDİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

GEBZE
2009

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

ALTI SERBESTLİK DERECELİ HAPTİK
ARAYÜZ UYUMLU MEKANİZMA
TASARIMI VE İMALATI

Mine İDİN
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
YRD. DOÇ. DR. İLYAS KANDEMİR

GEBZE

2009



**GEBZE YÜKSEK
TEKNOLOJİ
ENSTİTÜSÜ**

MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JÜRİ ONAY FORMU

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 02.07.2009 tarih ve 2009 / 15 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 23.09.2009 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Mine İDİN'in tez çalışması Makine Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

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

ÜYE : Prof. Dr. Muammer KALYON

ÜYE : Yrd. Doç. Dr. Erkan ZERGEROĞLU

ONAY

G.Y.T.E. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../2009 tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

ÖZET

TEZİN BAŞLIĞI : ALTI SERBESTLİK DERECELİ HAPTİK ARAYÜZ UYUMLU MEKANİZMA TASARIMI VE İMALATI

YAZAR ADI : Mine İDİN

Dokunma hisli (haptik) sistemlerin gelişimi geçmişten günümüze uzun bir yol katetmiştir. Kuvvet geri beslemeli altı serbestlik dereceli haptik arayüz sanal gerçeklik ve uzaktan operasyonlarda kullanılmak üzere dizayn edilmiştir.

Bu çalışmada, haptik arayüz tasarımı yapılmış, bütün parçalarının Catia V5 programı kullanılarak katı modelleri ve teknik resimleri elde edilmiş, aynı yazılım üzerinde parçalar monte edilerek robotun komple katı modeli oluşturulmuştur.

Bu tezde ilk olarak haptik arayüz'ün ne olduğu, tarihçesi ve kullanım alanları konularında literatür araştırması yapılmıştır.

SUMMARY

THESIS TITLE : DESIGN AND MANUFACTURING OF SIX DEGREE OF FREEDOM MECHANISM COMPATIBLE WITH HAPTIK INTERFACE

AUTHOR NAME : Mine İDİN

Haptic systems took a long way of evolution from past to present. A six degree of freedom haptic with force-feedback capabilities have designed for the use as an interface in virtual environments and teleoperators.

In this study, the design of a six degree of freedom haptic interface is done and its solid model and drafting are obtained. Designed parts of the haptic interface is assembled and controlled if they are working properly using a commercial software.

A survey on haptic interface, its history and classification of haptic interfaces are presented firstly.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca desteğini benden esirgemeyen ve tez çalışmam sırasında benden yardımını eksik etmeyen Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. İlyas KANDEMİR'e çok teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca bütün imkânlarını sunan ve bugünlere gelmemde büyük payı olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Mine İDİN

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
 1. GİRİŞ	 1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	2
2.1. Haptik Nedir?	2
2.2. Haptik Tarihçesi	4
2.3. Haptik kullanım Alanları	8
2.3.1. Tıp	9
2.3.2. Eğlence	11
2.3.3. Eğitim	12
2.3.4. Endüstri ve Mühendislik	13
2.3.5. Üretim	13
2.3.6. Grafik Sanatları ve Sanal Gerçeklik	14
2.3.7. Rehabilitasyon	14
3. TASARIM	15
3.1. Dizayn Hedefleri	15
3.1.1. Dizayn Kriterleri	16
3.1.2. Çalışma Uzayı	17
3.1.3. Dinamik	18
3.1.4. Ergonomi	18

3.2. Yapısal Düzenleme	18
3.2.1. Seri Mekanizmalar	19
3.2.2. Paralel Mekanizmalar	20
3.2.3. Seri ve Paralel Mekanizmaların Karşılaştırılması	20
3.3. Sistemin Kinematik Yapısı	23
3.4. Kol Uzunluklarının Belirlenmesi	23
3.5. Mafsal Bağlantı Şekli	25
3.6. L Parçaların Bağlantı Şekli	25
3.7. Paralel Kolların Birbirine Bağlanması	26
3.8. Motor Seçimi	28
3.9. Rulman Seçimi	31
4.HAPTİK ARAYÜZÜN BİLGİSAYAR ORTAMINDA TASARIMI	32
4.1. Parçaların Modellenmesi	35
4.1.1. Catia V5 Programında Parça Modelleme	35
4.1.2. Taban Katı Modellemesi	36
4.1.3. Yan Sabitlerin Modellemesi	37
4.1.4. Motorların Katı Modellemesi	39
4.1.5. Motor Tablasının Modellemesi	40
4.1.6. Motor Sabitleyicileri Modellemesi	41
4.1.7. Kol Ara Parça I Modellemesi	42
4.1.8. Kol Ara Parça II Modellemesi	43
4.1.9. Kol Ara Parça III Modellemesi	43
4.1.10. L parçaların Modellemesi	45
4.1.11. Mafsalların Modellemesi	46
4.1.12. Bayrak Modellemesi	47
4.1.13. Dik Ara Parça Modellemesi	48
4.2. Montaj Modelleme	49
4.2.1. Catia V5 Programında Montaj Modelleme	49
4.2.2. Parçaların Montajı	50
4.3. Çalışma Uzayı Analizi	52
5. İMALAT	57

6. SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	60
ÖZGEÇMİŞ	63
EK 1: Üretilen 6 Serbestlik Dereceli Haptik Arayüz Uyumlu Mekanizmanın Teknik Resimleri	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
DOF	Degree of Freedom
CAD	Computer Aided Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
θ_r	x eksenindeki dönme
θ_p	y eksenindeki dönme
θ_y	z eksenindeki dönme

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Raymond Goertz- Master-slave E-1	5
2.2. Moleküler Modelleme İçin Yapılan Grope IIb Projesi North Carolina Üniversitesi [Brooks et al.,1988]	6
2.3. Thomas Zimmerman ve Data Eldiven	6
2.4. PHANTOM Omni Cihazı	7
2.5. PHANTOM Premium 6DOF Cihazı	8
2.6. DaVinci Sistemi Ameliyatta Kullanımı	10
2.7. DaVinci Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar	10
2.8. Logitech Force-Feedback Direksiyon	11
2.9. Logitech Extreme 3DPro Joystick	11
2.10. Uçuş Eğitim Simülatörü	12
2.11. 3D Modelleme (MicroScribe, Immersion Corp.)	13
2.12. Haptik Arayüz ile 3D Boyama	14
3.1. Beş Serbestlik Dereceli Twin Pantograph Haptik Arayüz	15
3. 2. 5-DOF-Haptic-Wand	15
3. 3. 5-Dof Haptik ile Operasyon Denemesi	16
3.4. a) Kuka-160 seri robot b) Puma tipi seri robot c) Adept Scara tip seri robot	19
3.5. Kinematik Yapı	23
3.6. Seri Bağlı Kollar	24
3.7. Mafsal Bağlantı Şekli	25
3.8. L Parçaların Bağlantı Şekli	26
3.9. Paralel Kolların Bağlantı Şekli	27
3.10. DC Motor yerleri	28

3.11. Rotor Üzerine Yerleştirilmiş Eğimli Mıknatıslar	29
3.12. Maxon DC Motor	31
3.13. İğneli Rulman	31
4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Tekniklerinin Ürünün Meydana Getirilmesi Basamaklarına Uygulanması	33
4.2. Catia V5 Parça Modelleme Modülüne Giriş	36
4.3. Taban Katı Modeli	37
4.4. Yan Sabitler Katı Modeli	38
4.5. Yan Sabitler Teknik Resmi	38
4.6. Motorların Katı Modellemesi	39
4.7. Motor Tablası Katı Modeli	40
4.8. Motor Sabitleyicilerin Katı Modeli	41
4.9. Kol Ara Parça I Katı Modeli	42
4.10. Kol Ara Parça II Katı Modeli	43
4.11. Kol Ara Parça III Katı Modeli	44
4.12. L Parça Katı Modeli	45
4.13. Kol Bağlantıları Katı Modeli	46
4.14. Kol Bağlantıları Teknik Resmi	47
4.15. Bayrak Katı Modeli	47
4.16. Dik Ara Parça Katı Modeli	48
4.17. Montaj Modelleme Modülüne Giriş	49
4.18. Haptik Arayüz Üst Görünüş	50
4.19. Haptik Arayüz Yan Görünüş	51
4.20. Haptik Arayüz İzometrik Görünüş	51
4.21. Haptik Arayüz Patlatılmış Görüntü	52
4.22. Mafsallar Arası Çakışma	53
4.23. Haptik Arayüz Çakışmalar	54
4.24. Kolların X Doğrultusunda Max. Hareketi	55
4.25. Kolların Y Doğrultusunda Max. Hareketi	55
4.26. Kolların Z Doğrultusunda Max. Hareketi	56
5.1. Parça Listesi	57

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Haptik Sistem	3
Tablo 2.2. Operatör-Haptik Arayüz Döngüsü [Gupta,2004]	4
Tablo 3.1. Seri ve Paralel Mekanizmaların Karakteristiği	22

1. GİRİŞ

Robot, mekanik sistemleri ve bunlarla ilişkili kontrol ve algılama sistemleriyle bilgisayar algoritmalarına bağlı olarak akıllı davranan makinelerdir. Genel bir enstitü tarafından ise robot şu şekilde tanımlanmaktadır: Robot yeniden programlanabilen; maddeleri, parçaları, aletleri, programlanmış hareketlerle yapılacak işe göre taşıyan veya işleyen çok fonksiyonlu makinelerdir [Robot Institute of America, 1979].

Günümüzde robotların en büyük kullanım alanı endüstriyel üretimdir. Özellikle otomotiv endüstrisinde çok sayıda robot kullanılır. Bunların çoğu kol şeklindeki robotlardır. Bunlar parçaları monte eden, birleştiren, kaynak ve boya yapan robotlardır. Haptik teknolojisi ile robotlara hissetme ve hissettirme özellikleri kazandırılmıştır.

Bu tezde altı serbestlik dereceli haptik (dokunma hisli) arayüz tasarımı ve analizi yapılması hedeflenmiştir. Haptik kelimesi Yunanca'dan gelmektedir, insan-bilgisayar arabirimlerinde kuvvet geri beslemeli robotik arabirimlerin kullanılmasından söz eden dokunmak, temas etmek anlamına gelmektedir.

Günümüzde haptik, sanal veya gerçek ortamlardaki dokunmayla ilgili bilimin adı halini almıştır.

Haptik (dokunma hisli) sistemlerin gelişimi, 1950'lilerdeki açık döngülü uzaktan komutalı sistemlerden bugünkü modern dokunsal öğretim ve cerrahi destek tertibatlarına kadar süren uzun bir yol kat etmiştir. Uygulama alanları minimal invaziv cerrahiden astronotlar için uzay eğitim sistemlerine kadar uzanmakta olup, yine de gelişme için geniş bir alan bulunmaktadır. Çeşitli alanlarda gelişen uygulamalar dokunma hisli ara yüzler için birçok talep ortaya koymaktadır.

Çalışmada önce literatür taraması yapılarak haptik arayüzler hakkında bilgi toplandı daha sonra haptik arayüz tasarımı yapılarak analiz edildi.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Haptik Nedir?

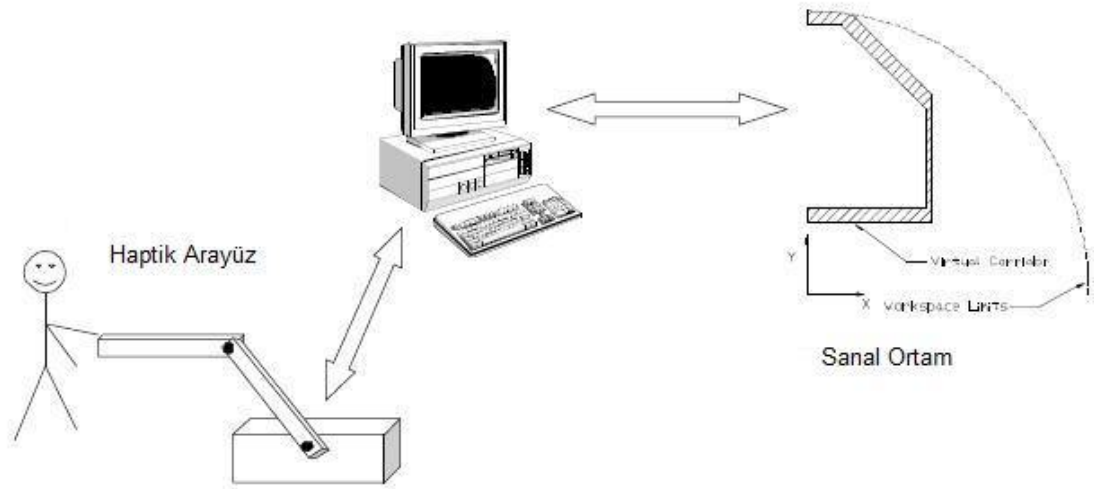
Haptik kelimesi Yunanca'dan gelmektedir, insan-bilgisayar arabirimlerinde kuvvet geri beslemeli robotik arabirimlerin kullanılmasından söz eden dokunmak, temas etmek anlamına gelmektedir.

Haptik arabirimler insan ve makine iletişimini dokunma yolu ile mümkün kılar ve çoğunlukla bunu kullanıcının hareketlerine karşılık olarak yapar. Haptik arabirimler, insanın hareket ve dokunma kanallarını uyaran mekanik sinyaller üretirler, ayrıca insanlara onların ortamında hareket etme imkanı sağlarlar [Hayward et al., 2004].

Haptik kelimesi dokunma yolu ile doğal veya yapay mekanik ortamı hissetme yeteneği anlamına gelmektedir. Haptikler, hareket duygusu ve birinin vücut ağırlığını, hareketini ve pozisyonunu algılama yeteneği olan proprioception duygusunu da kapsarlar. Haptiklerin sensör ve motor parçalarını ortak olarak adlandırmak için “Haptik kanal” dan bahsetmek sıkça rastlanan hale gelmiştir. Çünkü belirli anatomik parçalar (özellikle el) dünyayı algılayan ve buna göre hareket eden birimsel organlardır, bunlar beraber harekete geçirilirler. Örneğin, bilinmeyen bir objeyi yakalamak aktif olarak ellerimiz ile araştırmayı kapsar. Dokunma ve hareket kanalları insanlara ortamda hareket etme ve algılamayı sağlamak için birlikte çalışırlar [Hayward et al., 2004].

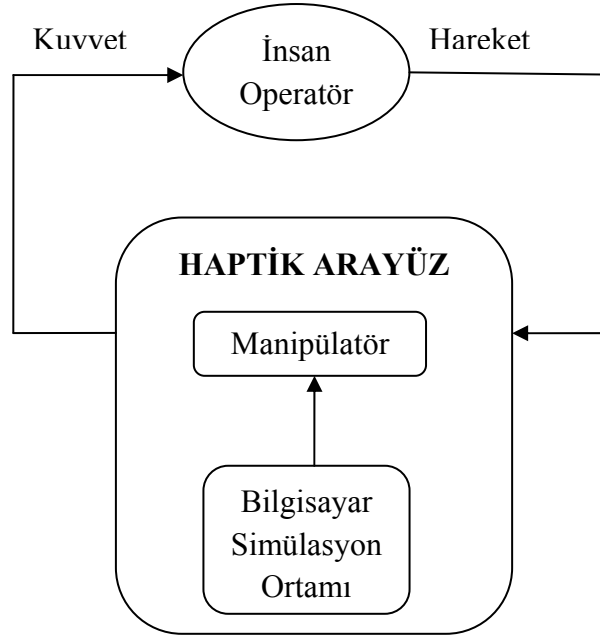
Haptik’lerden efektif performans alabilmek için, çalışılan ortamdan detaylı bir geri bildirim alınması operatör için önemlidir. Bu nedenle, kullanıcı üzerindeki uyarıcı unsuru devamlı bir şekilde tekrar üretilmesi gereklidir, böylece kullanıcı doğal ve sezgisel olarak işini yapması için yeterli bilgiye sahip olacaktır.

Tablo 2.1.’de görülen resimde haptik sistemin kolay anlaşılabilmesi için basitçe bir tasvir yapılmıştır.



Tablo 2.1. Haptik Sistem

Tablo 2.2.'de tipik bir haptik sistem döngüsü görülmektedir. Bir haptik arayüz, haptik cihaz ve sanal ortamın bilgisayar simülasyonundan oluşmaktadır. Kontrol süresince, kullanıcı haptik cihaza hareketi uyguladığında, insan- robot arayüzündeki kuvvet bilgisayar simülasyonu tarafından uygulanmaktadır. Cihazın hareketi kullanıcı tarafından kontrol edilmektedir. Cihaz üzerindeki sensörler pozisyonu ölçer ve pozisyon sinyalleri sanal ortamda değişiklikleri hesaplamak için kullanılır. Haptik arayüz sanal ortamda belirlenen sınırlamalara bağlı olarak insan-makine arayüzündeki kuvvetleri kontrol etmektedir [Burns,1996].



Tablo 2.2. Operatör-Haptik Arayüz Döngüsü [Gupta,2004]

2.2. Haptik Tarihçesi

20. yüzyılın başlarından beri haptik terimi insanların gerçek objelere dokunma aktivite çalışmaları için psikologlar tarafından kullanılmıştır.

Haptik araştırmaları 1947 yılında, Argonne National Laboratuvar'ında Amerika'da Raymond Goertz yönetiminde başlatılmıştır. 1948 yılında, bugün tüm master-slave sistem ailesinin atası olan ilk mekanik manipulator M-1 geliştirilmiştir.

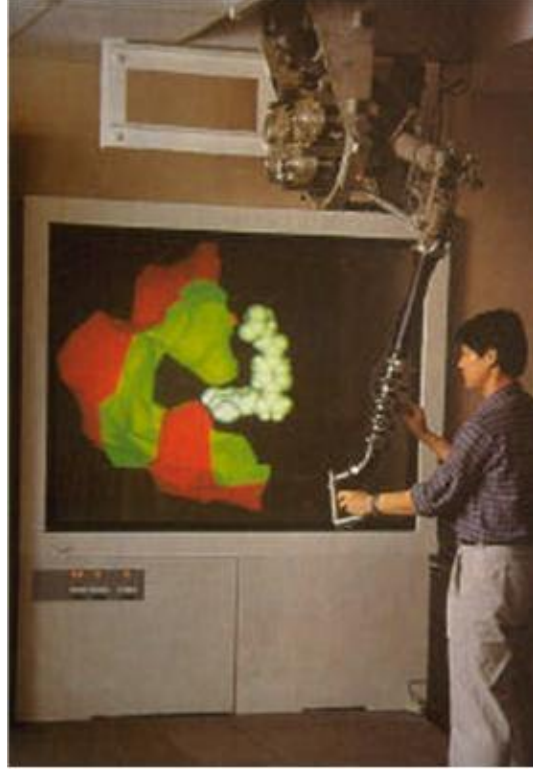
1954 yılında ise ilk elektrikselsel aktuator ve servo kontrol ile master-slave manipulator olan E-1 Goertz tarafından sunulmuştur [<http://hapticshistory.chc61.uci.cu>]. Şekil 2.1.'de Master-slave E-1 görülmektedir.



Şekil 2.1. Raymond Goertz- Master-slave E-1

1960’larda, denizaltı uygulamalarda (daha sonra uzayla ilgili uygulamalarda), özellikle kameraların ve diğer cihazların dahil olması nedeniyle çok çok karmaşık hale gelen sistemlerde operatörün kullanımını kolaylaştırmak için araştırmalar genişletilmiştir [<http://haptichistory.chc61.uci.cu>].

1967 yılında Force-Feedback projesi North Carolina Üniversitesinde başlamıştır. Bilimsel molekülleri göz önünde canlandırma ve harekete geçirme simülasyonu yaratılmaya çalışılmıştır, 1980’lerin sonunda proje bitmiştir.



Şekil 2.2. Moleküler Modelleme İçin Yapılan Grope IIb Projesi North Carolina Üniversitesi [Brooks et al.,1988]

1978 yılında Thomas Zimmerman Virtual gitar çalımı için data eldiven (DataGlove) yapmıştır. Aşağıdaki resimde Thomas Zimmerman data eldiveni giyerken görülmektedir.



Şekil 2.3. Thomas Zimmerman ve Data Eldiven

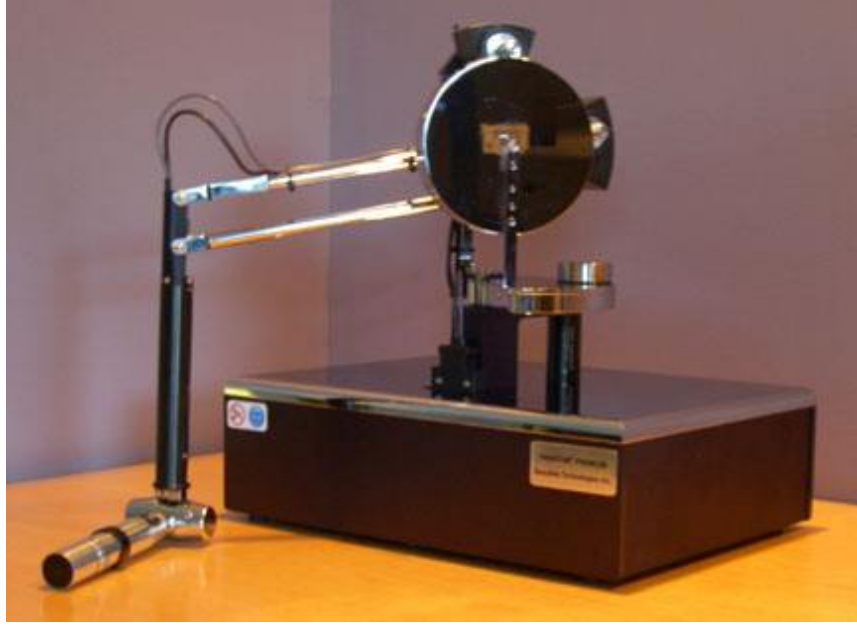
1970 – 1980 yılları arasında kuvvet-geribesleme (Force-Feedback) geliştirilmiştir.

1990 – 2000 yılları arasında Haptikler özgür araştırma alanı haline gelmiştir.

1993 yılında SensAble Device and Immersion Corporatoin şirketi kurulmuştur ve Thomas Massie ve Dr. Kenneth Salisbury çok popüler olan Phantom’u tasarlamış ve üretmiştir. Şekil 2.4.’te görülen Phantom Omni cihaz altı serbestlik derecelidir. Şekil 2.5.’te Phantom Premium 6 DOF Cihazı görülmektedir.



Şekil 2.4. PHANTOM Omni Cihazı



Şekil 2.5. PHANTOM Premium 6DOF Cihazı

2004 – 2006 yılları arasında birçok haptik software kütüphaneleri kurulmuştur. Bunlardan bazılarına ücretsiz internet üzerinden ulaşılabilir. Örneğin Haptik Library ve Computer Haptics & Active Interfaces (CHAI 3D).

Günümüzde de haptik teknolojisi ile ilgili araştırmalar hızla sürmektedir.

2.3. Haptik Kullanım Alanları

Haptik kullanım alanları hızla büyümektedir. Robotik, deneysel psikoloji, biyoloji, bilgisayar bilimi, sistemler ve kontrol gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca haptik simulatörler medikal simülasyonlar ve pilot eğitimi için uçuş simulatörleri olarak ta kullanılmaktadır.

Aşağıdaki alt bölümlerde faaliyet alanları açısından uygulamalar gözden geçirilmiştir.

1. Tıp
2. Eğlence
3. Eğitim

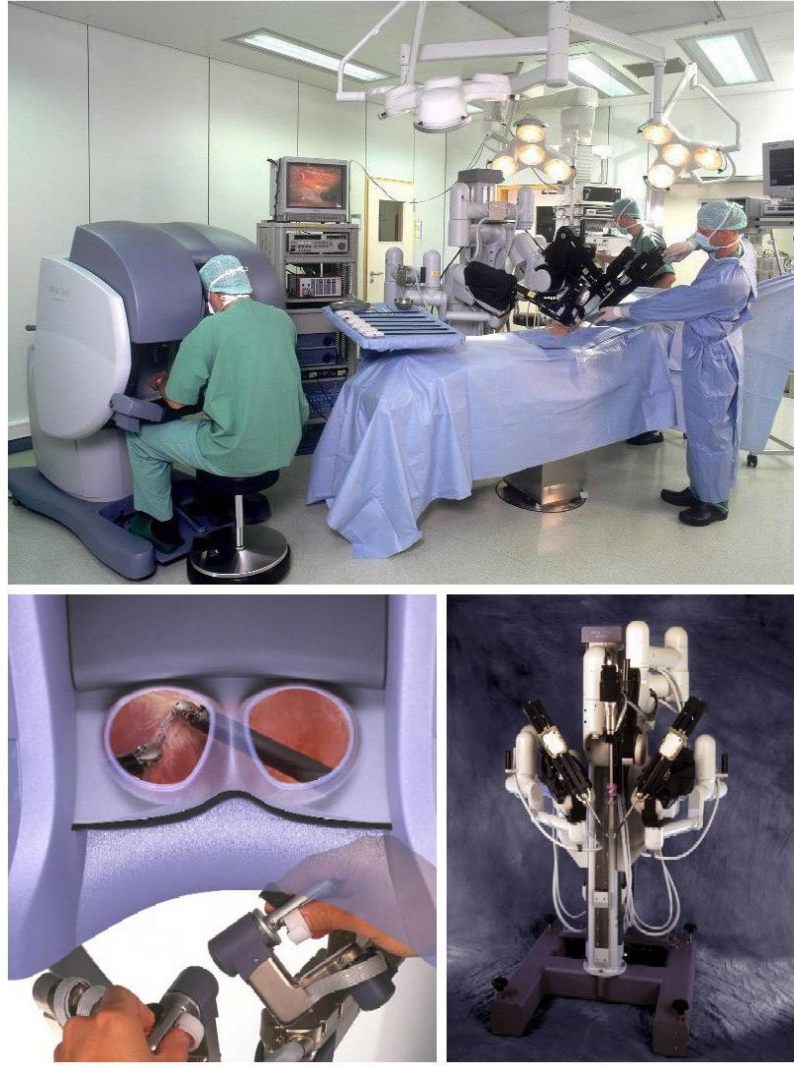
4. Endüstri ve Mühendislik
5. Üretim
6. Grafik sanatları ve sanal gerçeklik
7. Rehabilitasyon

2.3.1. Tıp

Minimal invaziv ameliyatlar için micro ve macro robotların el ile kontrolünde, “Uzaktan Tıp” anlamına gelen telemedicine için uzaktan teşhislerde, engellilere yardım için; örneğin görme engelliler için haptik arayüzler gibi uygulamalarda kullanılmaktadır [Srinivasan].

Ayrıca doktorlara hastalarıyla aynı ortamda bulunmasalar bile ameliyat etme imkanı sağlamaktadır.

Aşağıdaki şekil 2.6.’da DaVinci sisteminin ameliyat ta kullanımı ve şekil 2.7.’de ise DaVinci sisteminde kullanılan ekipmanlar görülmektedir.



Şekil 2.6. DaVinci Sistemi Ameliyatta Kullanımı



Şekil 2.7. DaVinci Sisteminde Kullanılan Ekipmanlar

2.3.2. Eğlence

Kullanıcıya sanal katıları, sıvıları, araçları ve avatları hissetmesini sağlayan simülatörler ve video oyunlarında kullanılmaktadır [Srinivasan].

Bazı basit haptik cihazlar oyun kontrollerinde özellikle joystick ve direksiyon olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Şekil 2.8.'deki taklit otomobil direksiyonu yolu hissetmeyi sağlamak için programlanmıştır. Kullanıcı dönüş veya hız yaparken, direksiyon dönüşe direnerek veya belli etmeden kontrolden çıkarak cevap vermektedir. Şekil 2.9.'da Logitech Extreme 3Dpro Joystick görölmektedir.



Şekil 2.8. Logitech Force-Feedback Direksiyon



Şekil 2.9. Logitech Extreme 3Dpro Joystick

2.3.3. Eğitim

Fizik derslerinde elektromanyetik ve mekanik kuvvetlerin açıklanmasından, kimyasal moleküllerin etkileşim kuvvetlerinin simülasyonuna kadar bir kaç uygulamada kullanılmaktadır.

Gerçek koşullarda eğitim pahalı veya tehlikeli olduğundan eğitimlerde simülasyonlar kullanılmaktadır. Örneğin arazi mayını temizleme eğitimlerinde haptikler kullanılmaktadır.

Ayrıca haptikler pilot eğitimi için uçuş simülatörleri olarakta kullanılmaktadırlar. Aşağıdaki resimde Amerikan hava güçlerinin kullandığı uçuş eğitim simülatörü görülmektedir. Bu eğitimde pilot bir başlık giymemektedir, bunun yerine çok büyük ekranlar kokpitin etrafını sararak pilotun görebileceği gerçekçi görüntü sağlamaktadırlar. Kokpit ise gerçek bir uçağın birebir kopyasıdır.



Şekil 2.10. Uçuş Eğitim Simülatörü

2.3.4. Endüstri ve Mühendislik

Birçok ürün bilgisayar yardımıyla dizayn edilmektedir. CAD sistemleriyle haptiklerin bütünleşmesiyle birlikte tasarımcılar sanal ortamda montajın mekanik parçalarını özgürce hareket ettirebilmektedirler [Srinivasan].

Tasarımcılar farklı parçalar arasındaki sürtünme ve kuvvetlerin ürüne etkisini parçayı yapmadan önce kontrol edebilmektedirler.

Şekil 2.11’de üç boyutlu modellemede kullanılan ölçüm cihazı olan, beş serbestlik dereceli, Immersion Corp. firması tarafından üretilen MicroScribe görülmektedir.



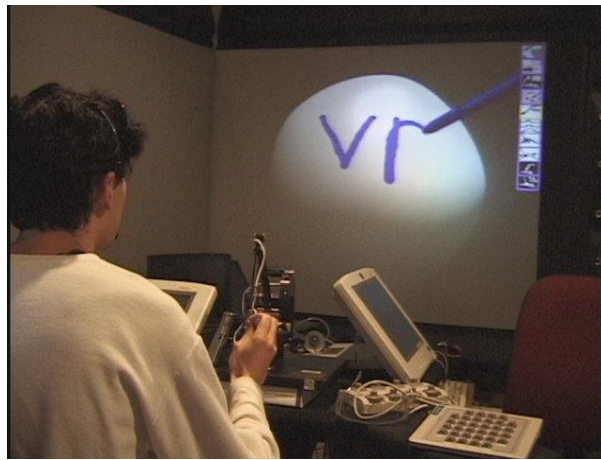
Şekil 2.11. 3D Modelleme (MicroScribe, Immersion Corp.)

2.3.5. Üretim

Üretimde birçok fırsatlar vardır. Örneğin, haptikler, protatiplere olan ihtiyacı azaltmak açısından montaj da dizayna yardımcı olabilmektedirler. Ayrıca karmaşık sistemlerde üretmeden önce değerlendirme yapmaya olanak sağlamaktadırlar [McNeely et al., 1999].

2.3.6. Grafik Sanatları ve Sanal Gerçeklik

Grafik dizayn / animasyon veya ses sentezi gibi sanal sanatlarda haptikler yaygın olarak kullanılır. Haptik cihazlar sanatçıya gerçek ses ve görüntü üretebilen sanal enstrümanlara direkt dokunabilme olanağı sağlamaktadır. Örneğin, keman teli simülasyonunda sanatçı tarafından tutulan haptik cihaza uygulanan basınç ile teller gerçek titreşimler üretirler. Bu fiziksel modelleme sentezi ile yapılabilmektedir. Şekil 2.12.'de haptik arayüz ile üç boyutlu boyama görülmektedir.



Şekil 2.12. Haptik Arayüz ile 3D Boyama

2.3.7. Rehabilitasyon

Haptik cihazların ilk kullanım amaçlarından biride hastaların rehabilitasyonudur. Durumlarını geliştirmek için kuvvet simülasyonunu hissetmeye ihtiyacı olan özürlü insanlar vardır. Haptikler ayrıca, görme zayıflığı olan insanlar için okumayı ve dünyayı algılamayı kolaylaştırmak için kullanılmaktadırlar.

3. TASARIM

3.1. Dizayn Hedefleri

Bu çalışmada beş serbestlik dereceli bir haptik cihaz örnek alınarak altı serbestlik dereceli olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.1.'de British Columbia Üniversitesinden Prof. Tim Salcudean tarafından geliştirilen beş serbestlik dereceli Haptic-Wand görülmektedir. Daha sonra bu haptik arayüz Quanser firması tarafından geliştirilerek satışa sunulmuştur. Bu cihaz üç eksende yer değiştirme ve iki eksen de dönme hareketlerini yapabilmektedir. Şekil 3.2.'de beş serbestlik dereceli Haptic-Wand görülmektedir.



Şekil 3.1. Beş Serbestlik Dereceli Twin Pantograph Haptik Arayüz



Şekil 3.2. 5-DOF-Haptic-Wand

Bu tür beş serbestlik dereceli olan haptik cihaz ile muz üzerinde cerrahi operasyon denemeleri yapılmıştır. Şekil 3.3.'te operasyon denemesinden bir görüntü görülmektedir.



Şekil 3.3. 5-Dof Haptik ile Operasyon Denemesi

3.1.1. Dizayn Kriterleri

Haptik arayüzler, kullanım alanlarına göre çok farklı özellik ve kapasitelerde tasarlanabilmektedirler. Tasarımı yapılacak olan haptik arayüzün diğerlerine göre daha hızlı ve çalışma uzayının daha geniş olması gerekmektedir.

Yüksek performanslı haptik arayüz tasarımında aşağıdaki özellikler önem göstermektedir.

1. Altı serbestlik dereceli olmalı
2. Üretimi kolay olmalı
3. Kullanıcı elini rahatça hareket ettirebilmeli
4. Geniş çalışma uzayı olmalı
5. Mekanik özellikleri temas hissini etkili bir şekilde hissettirebilmelidir.

3.1.2. Çalışma Uzayı

Performanstan fedekarlıkta bulunmaksızın en geniş çalışma uzayını sağlamak önemlidir [Burns,1996].

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 şarttır. Çalışma uzayı, hareketli platformdaki eksen takımı merkezinin ulaşabileceği bölge olarak tanımlanabilir [Anlı ve ark.,2005].

İnsanlar için en kullanışlı çalışma uzayı göğüs hizasında gövdenin önündeki hacim mesafesidir. Birçok görevde objeye yalnızca önden değil yandan, yukarıdan ve aşağıdan dokunmak gerekmektedir. Bu yüzden çalışma uzayının limitleri önem taşımaktadır [Burns,1996].

Sanal ortamda daha geniş alanda çalışmak için kullanıcının çalışma alanı içerisinde bir bilgisayar faresinin hassasiyeti arttırıldığı gibi haptik cihazında hassasiyeti yazılımlarla arttırılabilir [Özkan,2007].

Literatürden görüleceği gibi çalışma uzayı konusunda yapılan araştırmalar iki ana grupta toplanmıştır. Bunlardan birincisi hareketli platformun belli bir yönelmede sabit tutulup x , y ve z eksenlerinde yapabileceği ötelemelerin sınırlarını gösteren konumsal çalışma uzayı analizidir [Synman et al., 2000]. İkinci grup ise incelenen hareketli platformun ağırlık merkezi sabit bir noktada tutulup x , y ve z eksenlerine göre yapabileceği yönelmelerin sınırlarını gösteren yönelme çalışma uzayıdır. Genel olarak çalışma uzayı analizi yapılırken yalnızca ötelenme veya dönme serbestliğine sahip yapılar incelenmektedir. Çünkü altı yönde hareket etmesi istenilen bir paralel mekanizma, biri yalnızca öteleme diğeri yalnızca dönme hareketi yapan iki adet paralel mekanizmanın [Lee and Park, 2000] seri bağlanması ile elde edilebilir. Son yıllarda yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğu yönelme çalışma uzayı [Bonev and Ryu, 2001] üzerinedir. Yönelme çalışma uzayı analizinin hesaplanmasında

kullanılan yöntemler üç ana grupta [Gosselin,1990] sınıflandırılmıştır. Ayırıklaştırma yöntemi, Geometrik yöntem ve Jakobyen yöntemidir. Genel olarak konumsal çalışma uzayı analizinde geometrik yöntem [Merlet, 1995] kullanılmaktadır. Bununla birlikte birçok mühendislik uygulamalarında yönelme çalışma uzayı analizi göz önüne alınmak zorundadır. Çünkü birçok uygulamada örneğin uçak simülatörleri, metal işleme v.b.hareketli platform yönelme hareketine maruz kalmaktadır [Alp,2008].

3.1.3. Dinamik

Paralel mekanizmaların dinamik problemi, giriş kuvvet ve momentleri ile uçtaki hareketli platformun hareketi arasındaki ilişkiyi inceler. Düz dinamik problemi, eklem konumu, hızı, momenti ve sistemin kütle dağılımı verildiğinde hareketli platformun ivmesini bulmayı amaçlarken, ters dinamik problemi ise uçtaki platformun ivmesi, eklemlerin konumu, hızı, momenti ve sistemin kütle dağılımı verildiğinde bu ivmeyi sağlayacak eklem kuvvet ve momentlerini bulmayı amaçlar. Paralel mekanizma dinamiğinde izlenebilecek iki ana yol Newton-Euler metodu ve Lagrange metodudur. Dikkat edilmesi gereken nokta, hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, aynı dinamik denklem sisteminin elde edileceğidir [Anlı ve ark.,2005].

3.1.4. Ergonomi

Tasarlanan haptik 'in ergonomisi kullanıcı için önem taşımaktadır. Eğer kullanıcı cihaz ile uzun süre çalışacak olur ise konfor eksikliği hissetmemelidir. Bu çalışmadaki haptik cihaz ameliyat gibi dikkat ve konfor gerektiren bir görev için tasarlandığından operatörün kendini rahat hissetmesi ve yorulmaması son derece önemlidir.

3.2. Yapısal Düzenleme

Hareket eden mekanizmalarda iki temel bağlantı biçimi vardır, bunlar seri ve paralel bağlantılardır. Seri düzenlemede bağlantıların birbirine mafsallar ile arka arkaya bağlandığından ve bağlantının işi yaptığından söz edilebilir. Paralel düzenlemede ise son bağlantı birden fazla ve her biri ayrı kontrol edilebilen bağlantılarla birleşmektedir. Benzeşim yaparsak, seri düzenlemeyi uzun vücutlu bir

solucana, paralel düzenlemeyi ise birçok bacağı olan örümceğe benzetebiliriz. Bu düzenlemelerin birbirine üstün yanları yoktur çünkü her biri farklı uygulamalar için kullanılmaktadırlar [Burns,1996].

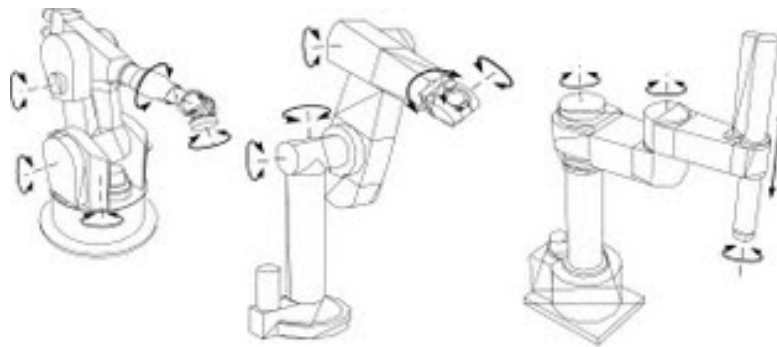
3.2.1. Seri Mekanizmalar

Uç işlevcinin birden fazla ve birbiri ardına bağlandığı hareket elemanlarının oluşturduğu kinematik yapıya seri mekanizma adı verilir.

Paralel mekanizmalarla karşılaştırıldığında seri mekanizmaların gerek çalışma uzayı bakımından ve gerekse kontrol kolaylığı bakımından avantajı fazladır. Yapılan kinematik hesaplamalardan seri mekanizmaların düz kinematiği gerek işlem yükü bakımından gerekse sonuca gitmek bakımından paralel mekanizmalara nazaran daha kolaydır.

Antromorfik yapıda olmaları, başka bir deyişle omuz, dirsek, bilek eklemlerinin bulunması seri robotların uzaysal hareket yeteneğini artırmaktadır. Bu eklemlerde uygun yataklar kullanılarak serbestlik derecesi artırılabilir. Yük taşıma kapasitelerine göre ağırlıklarının az olması ise paralel mekanizmaların avantajlarından biridir.

Seri mekanizmalar en basitinden en karmaşığına kadar endüstriyel alanda, askeri alanda ve sağlık alanında yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Şekil 3.4’de bazı seri mekanizmalar verilmiştir [Mechatronic Arts,2007].



Şekil 3.4 a) Kuka-160 seri robot b) Puma tipi seri robot c) Adept Scara tip seri robot

3.2.2. Paralel Mekanizmalar

Paralel mekanizmalar, hareketli platformu sabit platforma en az iki noktada birbirinden bağımsız kinematik bağlantı elemanlarıyla bağlayan kapalı çevrimli yapılar olarak tanımlanmaktadır [Alp,2008].

Teknolojideki son gelişmeler ile birlikte yüksek hassasiyet gerektiren birçok endüstriyel uygulamalarda paralel mekanizmalar seri mekanizmaların yerine geçmiştir. Paralel mekanizmalar aşırı yük taşıma kapasitesi, yüksek dayanım, yüksek doğruluk, kararlılık, yüksek hız uygulamalarında çalıştırılabilirlik, iyi bir dinamik performans, hassas konumlanma ve kolay kontrol edilmesi (Dasgupta vd., 2000) gibi özellikleri son yıllarda birçok araştırmacı tarafından ortaya konmuştur ve bu özelliklerinden dolayı seri mekanizmalara karşı tercih edilen mekanizmalardır. Paralel mekanizmaların sık kullanıldığı başlıca alanlar aşağıdaki gibidir [Alp,2008]:

- Talaşlı imalat
- Tıbbi operasyonlar
- Robot kol uç organı
- Oyun simülatörleri
- Petrol platformları
- Ağır yük taşımacılığı (helikopterle)
- Hafif metal işleme
- Cilalama
- Kesme
- Şekil verme ve montaj işlemleri
- Uçuş simülatörleri

3.2.3. Seri ve Paralel Mekanizmaların Karşılaştırılması

Paralel ve seri mekanizmalar karşılaştırıldığında her iki sistemin de avantajlara ve dezavantajlara sahip olduğu görülür. Seri bağlı mekanizmaların uzanabildikleri mesafe ve çalışma uzayları paralel mekanizmalardan daha yüksek olmasına rağmen

dinamik özellikleri karşılaştırıldığında paralel bağluların daha üstün oldukları görülür [Ünsal,2007].

Tekillikler çalışma uzayı içinde mekanizmanın kontrol edilemediği konumlar şeklinde ifade edilir. Seri mekanizmalarda tekillik serbestlik derecesi azalmasında ve kısmi kilitlenmelerde meydana gelir. Bunlara ilave olarak seri mekanizmalarda açık döngülü yapılarından dolayı eyleyici hataları toplanarak uca doğru büyük bir hata verir. Öte yandan seri mekanizmalar fazla rijit değildir ve düşük doğal frekanslara sahiptir. Bu özelliklerinden dolayı yüksek hızda ve yüksek yükler altındaki performansları düşüktür [Ünsal,2007].

Seri mekanizmalarda zemine bağlı bağlardan uca doğru tüm bağlar, hem kendinden önceki bağ ve motorların ağırlığını taşıyabilecek kadar büyük olmalı, hem de istenilen hassasiyeti sağlamalıdır. Seri mekanizmalar ağır yüklerde ve hızlı titreşimlerde burkulma eğilimindedirler [Ünsal,2007].

Yapılan araştırmalarda paralel mekanizmaların üstünlükleri ile ilgili birçok bilgi verilmiştir. Rijitlik ve hassasiyet bakımından daha üstün oldukları için ve doğal frekansları ile kuvvet/ağırlık oranları yüksek olduğundan dinamik yüklemenin yüksek, hız ve hassasiyetin önemli durumlarda paralel mekanizmalar tercih edilir [Ünsal,2007].

Farkları özetlemek gerekirse, kapalı döngü yapıdan dolayı paralel mekanizmalar aynı boyut ve ağırlığındaki seri mekanizmalara göre daha rijittir. Bütün bu özellikler göz önüne alındığında paralel mekanizmaların simülatörlerde kullanımının son derece uygun olduğu görülür. Bunun karşılığında ise paralel mekanizmaların çalışma uzayı küçüktür, tasarımı, kinematığı ve kontrolü karmaşıktır. Dasgupta ve Mruthyunjaya (1998) yüksek yük taşıma ve hassasiyet gereken uygulamalarda paralel mekanizma kullanımının biyolojik hayatta da yer aldığını söyleyerek bu tezlerine örnekler vermişlerdir. Buna göre, yük taşımacılığında kullanılan hayvanların ikiden fazla ayağı vardır, böylece iki ayaklı insanlara göre daha kararlıdır, ağır yük taşımak gerektiğinde insanlar iki kollarını birden kullanırlar ve yazı yazarken gereken hassasiyetten dolayı parmaklar paralel çalışırlar [Ünsal,2007].

Paralel mekanizmaların avantajları yüksek katılık, hassasiyet, doğruluk, yük taşıma kapasitesi ve yüksek hız uygulamalarında çalışabilme olarak sıralanabilir. Fakat çalışma uzayları seri mekanizmalara göre daha küçüktür [Alp,2008].

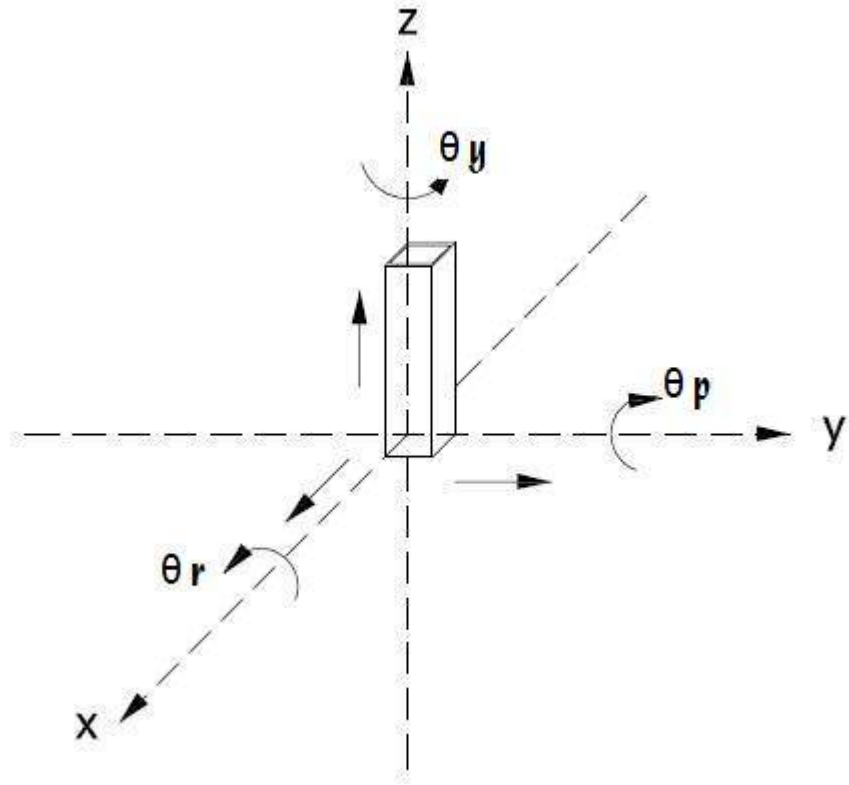
Seri mekanizmalardaki düz kinematik analiz kolay sayılabilecekken ters kinematik denklemlerin çözümü nonlineer sistemlerin çözümünü zorunlu kıldığından oldukça zordur. Buna karşılık paralel sistemlerde ters kinematik denklemlerin çözümü kolayken düz kinematik denklemlerin çözümü karmaşıktır. Statik durumda olay tam terstir. Düz kuvvet çevrimi paralel mekanizmalarda kolayken ters kuvvet çevrimi oldukça zordur. Aynı mantık seri mekanizmalar içinde yürütülürse ters kuvvet çevrimi seri mekanizmalar için kolayken düz kuvvet çevrimi zordur.

Aşağıdaki tabloda iki düzenlemeninde karakteristiği görülmektedir [Burns,1996].

Karakteristiği	Seri Mekanizma	Paralel Mekanizma
Çalışma uzayı	Geniş	Küçük
Düz Kinematiğin Hesaplanabilirliği	Basit	Karmaşık
Ters Kinematiğin Hesaplanabilirliği	Karmaşık	Basit
Katılık	Düşük	Yüksek

Tablo 3.1. Seri ve Paralel Mekanizmaların Karakteristiği

3.3. Sistemin Kinematik Yapısı



Şekil 3.5. Kinematik Yapı

Haptik arayüz tasarımı Haptic-Wand 'ın daha gelişmiştir. Şekil 3.5.'te el ile tutularak hareket ettirilen parçanın hareket yönleri gösterilmektedir. Bizim cihazımız üç ekseninde (x, y ve z eksenleri) yer değiştirme ve üç ekseninde de dönme hareketlerini yapabilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi sistem x ekseninde θ_r , y ekseninde θ_p ve z ekseninde θ_y dönmelerini gerçekleştirmektedir. Böylece çalışma uzayı genişlemektedir ve bu özellik haptik arayüzler için önemli bir opsiyondur.

3.4. Kol Uzunluklarının Belirlenmesi

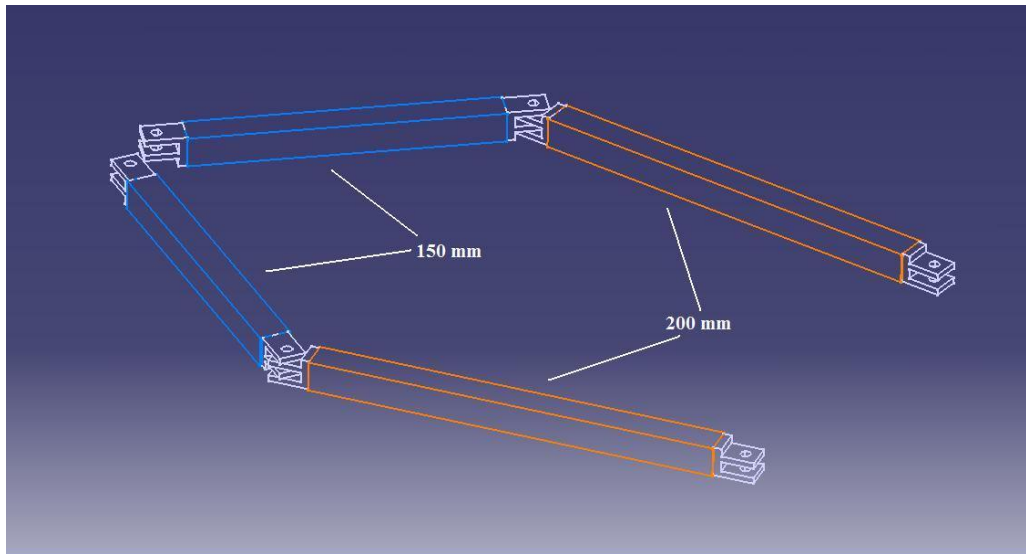
Haptik arayüz, operatörün direkt ulaşabileceği, hafif, yüksek kararlılıkta ve geniş çalışma alanına sahip bir arayüzdür. Bu sistem birbirine seri bağlı kolların birbirine paralel bağlanmasıyla oluşmaktadır.

Paralel mekanizmayı oluşturan kolların ince ve hafif olması gerekmektedir. Aynı zamanda bu incelik sistemin kararlılığını ve bir bütün olarak sertliğini engellememelidir. Ayrıca operatörün arayüze erişebilirliği ve rahat kullanımı bakımından kolların uzunluğu önemlidir.

Bu nedenlerden dolayı kolların tasarımında;

- 1) Operatörün kullanım kolaylığı,
- 2) Sistemin kararlılığı,
- 3) Çalışma alanı düşünülmelidir.

Yukarıdaki faktörler düşünülerek birbirine seri bağlı kol boyları 150mm ve 200mm olarak ve hafif olmaları amacıyla malzeme olarak içi boş 1mm et kalınlığında kare alüminyum profil seçilmiştir. Şekil 3.6.'da seri bağlı kollar görülmektedir.



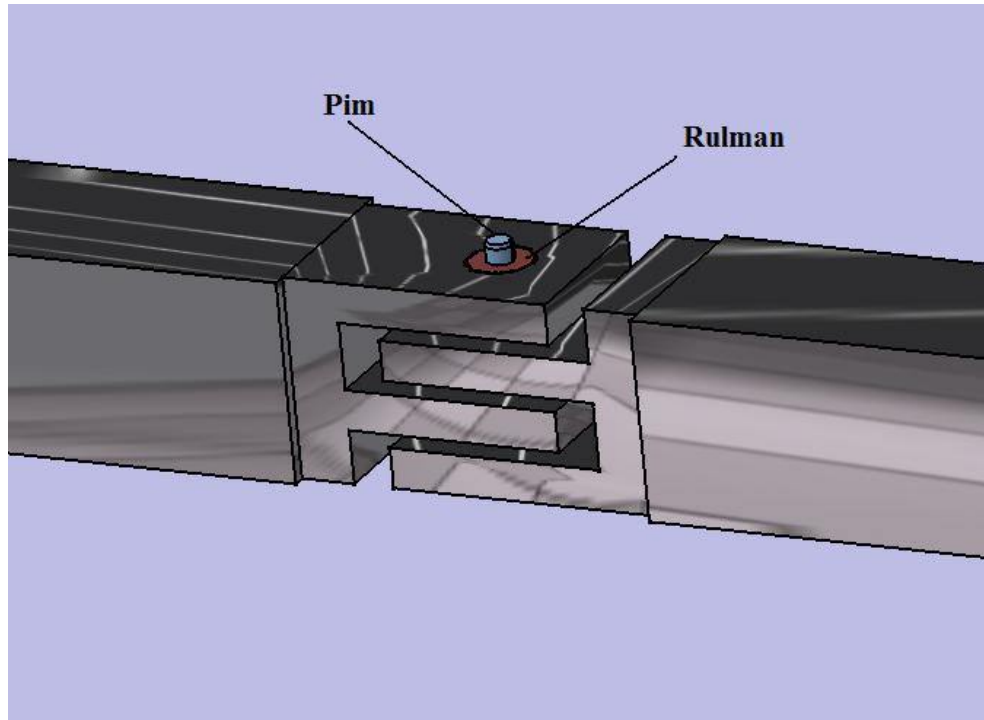
Şekil 3.6. Seri Bağlı Kollar

Mekanizmayı dört adet küçük DC motorlara bağlı 150mm'lik kollar , bu kollara seri bağlı dört adet 200mm'lik kollar, dört adet L parça, L parçaları birbirine eş merkezli olarak bağlayan iki adet ara parça ve paralel kolları birbirine bağlayan ve tutma yeri olarak adlandırdığımız dik ara parça oluşturmaktadır.

Alt ve üst seri bağı kolları montaj edilen rulman sayısı eşittir. Her bağlantıda iki adet rulman bulunmaktadır.

3.5. Mafsal Bağlantı Şekli

Mekanizmada bütün kollar birbirlerine mafsallarla bağlanmaktadır. Mekanizmadaki toplam mafsal sayısı otuz iki adettir. Mafsallar birbirlerine iki adet rulman ve bir adet pim ile bağlanmışlar ve aralarında birbirlerine sürtünmelerini engellemek için 1mm' lik mesafe bırakılmıştır. Şekil 3.7.'de mafsal bağlantı şekli görülmektedir.



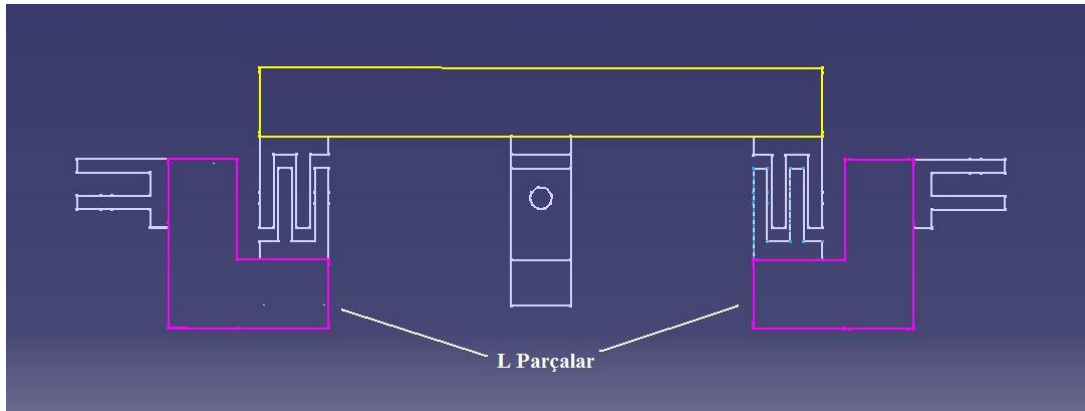
Şekil 3.7. Mafsal Bağlantı Şekli

3.6. L Parçaların Bağlantı Şekli

Mekanizmanın üstte iki adet ve altta iki adet olmak üzere birbirine seri bağı olan kollarını birleştirmek için bir ara parça ve iki adet L parça düşünülmüştür. L parçaların tasarım amacı bütün bağlantıların merkezlerini aynı eksen üzerine toplayabilmektir. Böylece farklı moment oluşumlarından kaçınılması

amaçlanmaktadır. L parçalar boyut olarak birbirlerinin aynısıdır. Parçalar üzerine mafsalların monte edilebilmesi için 13x13mm uzunluğunda iki adet kare kanallar açılmıştır. Mafsallar bu kanallara sıkı geçme olarak monte edilmiştir. L parçaların konumları ve montaj şekli şekil 3.8.'de açıkça görülmektedir.

Bu parçalarda seri kollarda olduğu gibi hafif olmaları amacıyla malzeme olarak 1mm et kalınlığında içi boş kare alüminyum profil seçilmiştir.

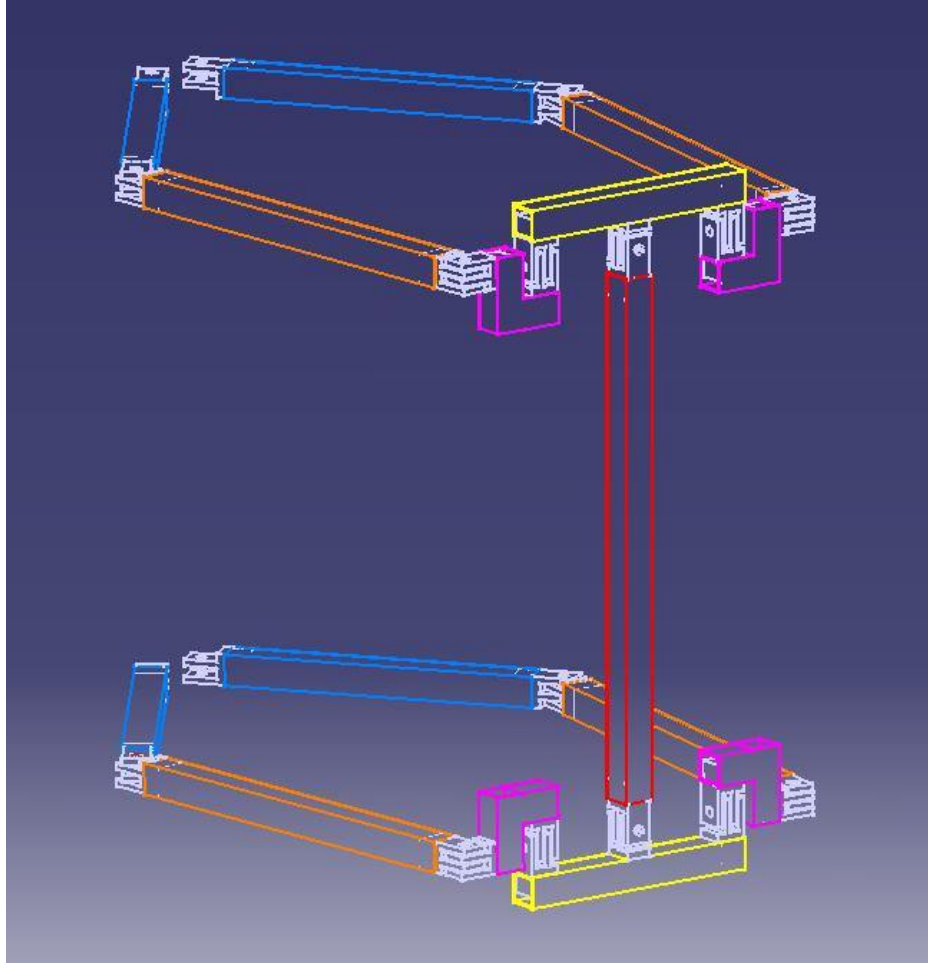


Şekil 3.8. L Parçaların Bağlantı Şekli

3.7. Paralel Kolların Birbirine Bağlanması

Küçük motor millerine bağlı olan alt ve üst seri kollar birbirlerine paralel olarak bir ara parça ile bağlanacaklardır. Ara parça boyu insan elinin tutmasına müsaade edecek uzunlukta olmalı ve kullanıcıya rahat tutma imkânı vermelidir.

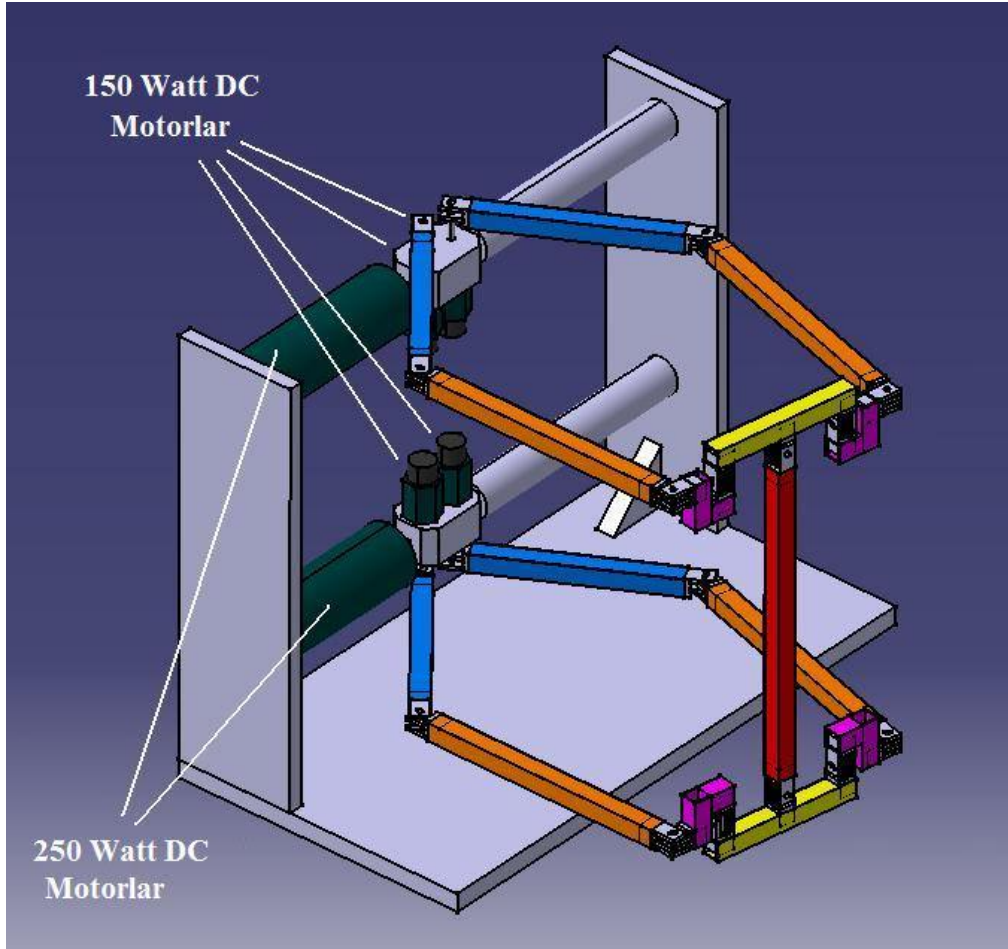
Şekil 3.9.'da paralel kolların bağlantı şekli gösterilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi L parçaları birbirine bağlayan ara parçalar arasında bulunan dik ara parça paralel kolları birbirine bağlamaktadır.



Şekil 3.9. Paralel Kolların Bağlantı Şekli

6-Dof Haptik cihazımız iki paralel koldan oluşmaktadır. Her bir kolda iki DC motor bulunmaktadır, bir tanesi omuz kısmında diğeri ise bel kısmında bulunmaktadır ve daha güçlüdür.

Şekil 3.10.'da DC motor yerleri gösterilmiştir. Kollar birbirine seri çubuklardan oluşmaktadırlar. Bu iki kol birbirine paralel olarak dik bir çubukla bağlanmaktadır. Daha iyi anlaşılması için aşağıdaki şekilde mekanizmanın kolları ve bağlantı şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.10. DC Motor Yerleri

3.8. Motor Seçimi

Haptik cihazlarda kullanıcının tuttuğu kısım kullanıcı tarafından hareketlendirildiği için cihaz çok düşük hızlarda çalışmaktadır. Haptik cihazlarda motorlar tarafından gerçekleştirilen asıl iş, kullanıcının eline önceden tanımlanmış noktalarda direnç göstermektir [Balkan ve ark., 2008].

Haptik arayüz tasarımında bir motor seçerken birkaç faktöre değinilmelidir. Bunlar şöyledir;

- 1) Motor kontrol metodu,
- 2) Doldurma (cogging),
- 3) Eylemsizlik,

- 4) Pozisyon bildirim algılayıcıları,
- 5) Ölçüler,
- 6) Güç çıkışı,
- 7) Gerekli tork. [Kapuscinski,1997]

Herhangi bir motor için karakteristik özelliklerden 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 [Kapuscinski,1997].

Motor kontrol methodu gibi doldurmada güç dalgalanmasını etkilemektedir. Bir diğer önemli faktör olan doldurma güç azalmasının ilk tekniği bobin sargısı ve mıknatıs demetinden birinin yada her ikisinin eğilmesiyle gerçekleştirilebilir. Şekil 3.11.'de doldurma sorununu engellemek için rotor üzerine yerleştirilmiş eğimli mıknatıslar görülmektedir [Kapuscinski,1997].



Şekil 3.11. Rotor Üzerine Yerleştirilmiş Eğimli Mıknatıslar

Rotor üzerine sabitlenmiş mıknatıslar fırçasız motorlarda kullanılmaktadır. Bir başka çeşit olan fırçalı motorlarda ise neodim (Neodymium- (NdFeB)) mıknatıslar kullanılarak yüksek performans elde edilebilmektedir. Demir nüvesiz motorlar, rotor da bobin dışında bir ağırlık taşımadıkları için demirsiz bobinin ürettiği manyetik alan demirli bobinden az olduğu için ivmelerini koruyamazlar. Bunun anlamı demirsiz motorların torkunun düşük olacağıdır. Buna karşılık üretilen iş gücü pasif bir demir elemanı taşımaya harcanmadığı için, standart motorlardan çok daha yüksek devirlere çıkabilirler [Özkan,2007].

Bütün bu kriterler göz önünde bulundurularak, Maxon firması tarafından üretilmiş demir nüvesiz ve grafit fırçalı DC motoru tercih edilmiştir.

Demir Nüvesiz Fırçalı DC Motor seçenekleri şöyledir;

- Ø 6 – 75 mm
- 0.3 – 250 Watt
- RE-, S-, A- ve F-Serisi

Haptik arayüzde kullanılacak motorlar Maxon DC motor RE serisinden seçilmiştir. Motorlar RE 40 ve RE 65 olarak seçilmiştir. RE 40 özellikleri Ø40 mm ve 150 watt, RE 65 özellikleri Ø65 mm ve 250 watt'tır.

Maxon firmasının demir nüvesiz fırçalı DC motor özellikleri şöyledir:

- Mekanik Komutasyon (grafit veya gümüş fırçalar)
- NdFeB, AlNiCo ve Ferrit mıknatıslar
- En yüksek verimlilik
- Düşük endüktans
- “Magnetic cogging” yok
- Düşük atalet sayesinde yüksek ivmelenme
- Düşük elektromanyetik girişim (EMI)
- Lineer karakteristik

Şekil 3.12.’de Maxon DC motor görülmektedir.



Şekil 3.12. Maxon DC Motor

3.9. Rulman Seçimi

Haptik arayüz tasarımıımız beş serbestlik dereceli Haptic-Wand'in geliştirilmiş olanıdır. Haptik arayüzde mafsallı bağlantılar birbirlerine iki adet rulman ve pim ile bağlanmaktadır.

Rulmanlar, dış çapı 5mm ve iç çapı 2mm olan Timken marka iğneli rulman olarak seçilmiştir. Ayrıca bu rulmanlara uygun, çapı 2mm ve boyu 18mm'lik pim kullanılmıştır.

İğneli rulmanların ilk patentini Almanlar almıştır. Bu rulmanlar 3-4 mm çapında ve yaklaşık olarak 20-35 mm uzunluğunda ince iğne şeklindeki makaralardan meydana gelir. Bu rulmanlarda devir sayısı 10.000 dev/dak'ya ulaşır.

Şekil.3.13'te iğneli rulman görülmektedir.



Şekil 3.13. İğneli Rulman

4. HAPTİK ARAYÜZÜN BİLGİSAYAR ORTAMINDA TASARIMI

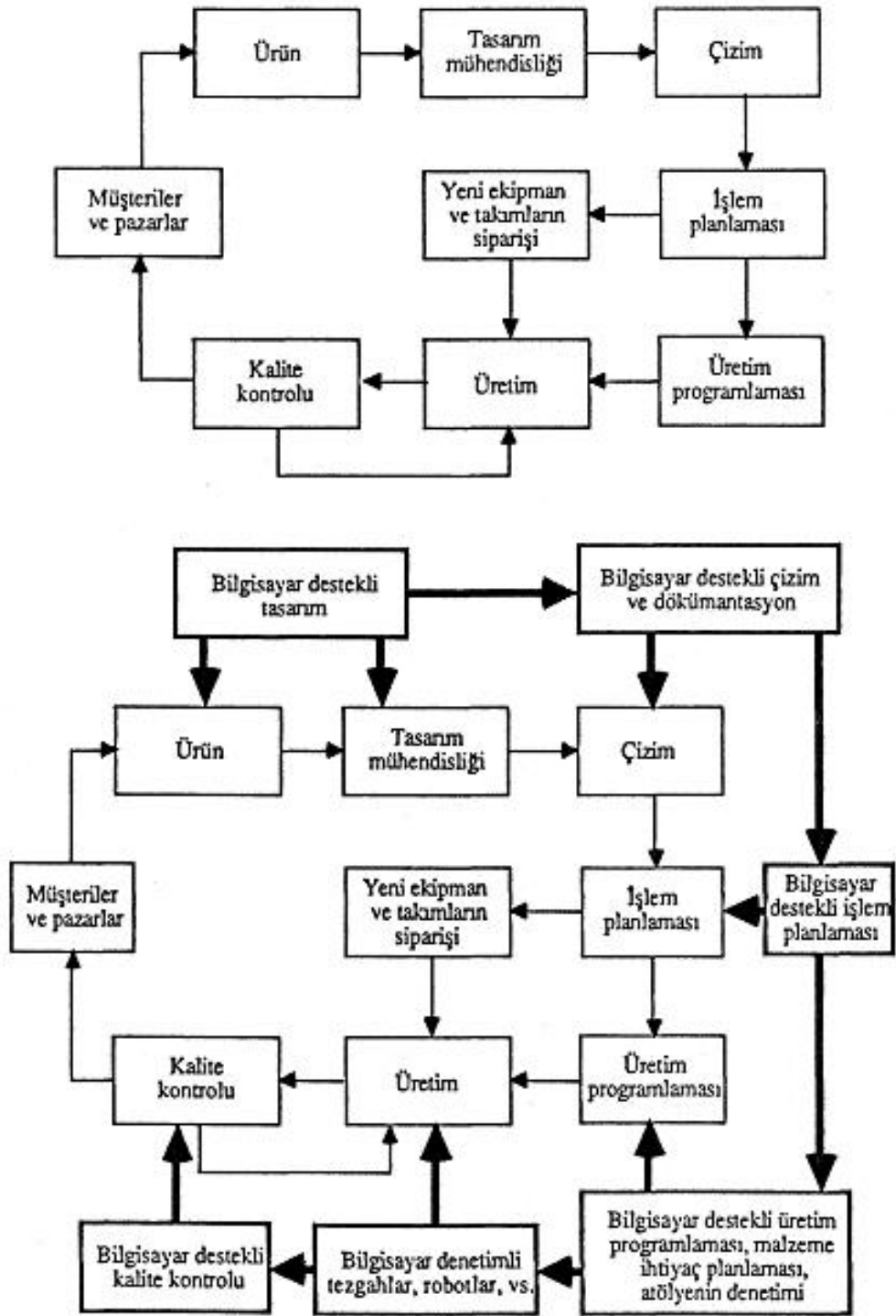
CAD (Computer-Aided Design; Bilgisayar Destekli Tasarım), CAM (Computer-Aided Manufacturing; Bilgisayar Destekli Üretim), çizimin bilgisayar destekli CNC makineleri ile bir projeyi uygulamanın ilk aşamasına geçirme, şekil verme işlemidir. Bilgisayar Destekli Uygulamalar genel olarak Bilgisayar Destekli Mühendislik (CAE), Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ve Bilgisayar Destekli Üretim (CAM) başlıkları altında ele alınır. Bu uygulamalar bilgisayar ile mühendislik uygulamalarının bütünleşmesine imkân sağlar. Bilgisayar Destekli Tasarıma kısaca, imalatı düşünülen parçanın ilk olarak bilgisayar ortamında oluşturulmasıdır [<http://tr.wikipedia.org/wiki/CAD/CAM>].

Bilgisayar Destekli Üretim (CAM – “Computer Aided Manufacturing”), bilgisayar sisteminin bir üretim sisteminin planlanması, yönetilmesi ve denetimi işlerinde doğrudan veya dolaylı olarak kullanılması olarak tanımlanabilir. Bilgisayar sisteminin bu işler için kullanılması iki değişik şekilde olabilir.

1. Bilgisayar ile izleme ve denetim : Bu tip uygulamalarda, bilgisayar izleme ve denetim amacı ile üretim sistemine doğrudan bağlanmaktadır.

2. Üretim destek uygulamaları : Bu tip uygulamalarda ise bilgisayar üretim desteklemek için kullanılmakta ve bilgisayar üretim sistemi arasında doğrudan bir bağlantı bulunmamaktadır [Arıkan].

Şekil 4.1.’de bilgisayar destekli tasarım ve üretim tekniklerinin ürünün meydana getirilmesi basamaklarına uygulanması görülmektedir.



Şekil 4.1. Bilgisayar Destekli Tasarım ve Üretim Tekniklerinin Ürünün Meydana Getirilmesi Basamaklarına Uygulanması

Bu çalışmada tasarım programı olarak Catia V5 kullanılmıştır. Catia, bir bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayar destekli imalat (CAD/CAM) yazılımıdır. Catia açılımı “ Computer Aided Three-Dimensional Interactive Application” olup Bilgisayar Destekli Üç Boyutlu Interaktif Uygulama olarak çevrilebilir.

Fransız Dassault Systemes şirketi tarafından üretilen bir profesyonel CAD/CAM tabanlı yazılımdır. Özellikle uçak üretim ve diğer simülasyon sektöründe, ProEngineer, Unigraphics ve I-DEAS yazılımlarının yanında bir standart yazılımdır.

Autocad yalnızca CAD türü uygulamalardan daha pratik olarak değerlendirilebilir. Fakat tasarım işine üretim girdiğinde Catia daha fazla fonksiyonel (işlevsel) denilebilir.

Catia, Autocad uygulamasına göre daha pahalı bir sistemdir. Lisansın pahalı olması nedeniyle pek çok eğitim kurumunda resmi ders müfredatında yer almasında zorluklar bulunmaktadır. Yazılım interaktif uygulamalarda oldukça iyidir.

Bu bölümde, parçalar bilgisayar ortamında tasarlanıp montajı yapılmıştır.

Hapik arayüzün parça listesi şöyledir ;

1. Taban
2. Yan sabitler (2 adet)
3. 250 watt DC motorlar (2 adet)
4. 150 watt DC motorlar (4 adet)
5. Motor tablası (2 adet)
6. Motor sabitleyicileri (2 adet)
7. Kol ara parça I (4 adet)
8. Kol ara parça II (4 adet)
9. Kol ara parça III (2 adet)
10. L parça (4 adet)
11. Dik ara parça (1 adet)
12. Mafsallar-Jointler (32 adet)

- 13. Bayrak (2 adet)
- 14. M4x35 ISO 1207 vida (4 adet)
- 15. Rulmanlar (34 adet)
- 16. Rulman pimleri (18 adet)

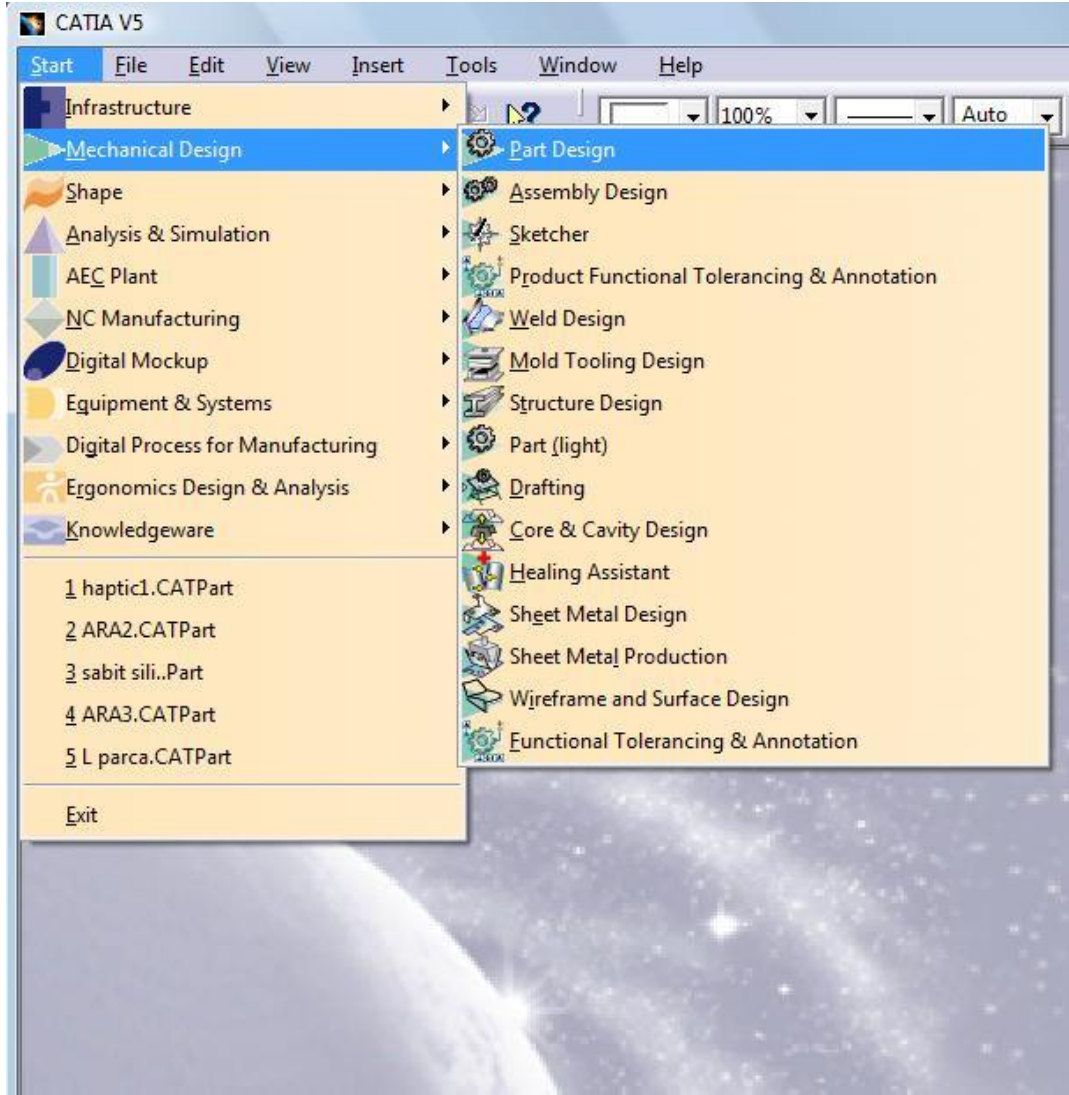
4.1. Parçaların Modellenmesi

Üretilcek parçalarda sorun ile karşılaşmamak için bilgisayar ortamında modelleme yapmak günümüzde kaçınılmaz hale gelmiştir.

Bu tür çizim programlarında parçalar tek tek çizildikten sonra montajları da yapılabilmektedir. Bu işlemler tasarımcının işini oldukça kolaylaştırmaktadır. Bu sayede tasarım sırasında hatalar belirlenebilmekte ve kolayca düzeltilebilmektedir. Böylece hem zamandan hemde parça israfından kaçınılabilir.

4.1.1. Catia V5 Programında Parça Modelleme

Catia V5 Programından parça modelleme (part design) modülüne şekil 4.2.'de görüldüğü gibi girilir ve taslak (sketcher) modülünde çizilen profillere uygun komutlar kullanılarak parça üç boyutlu modellenir.

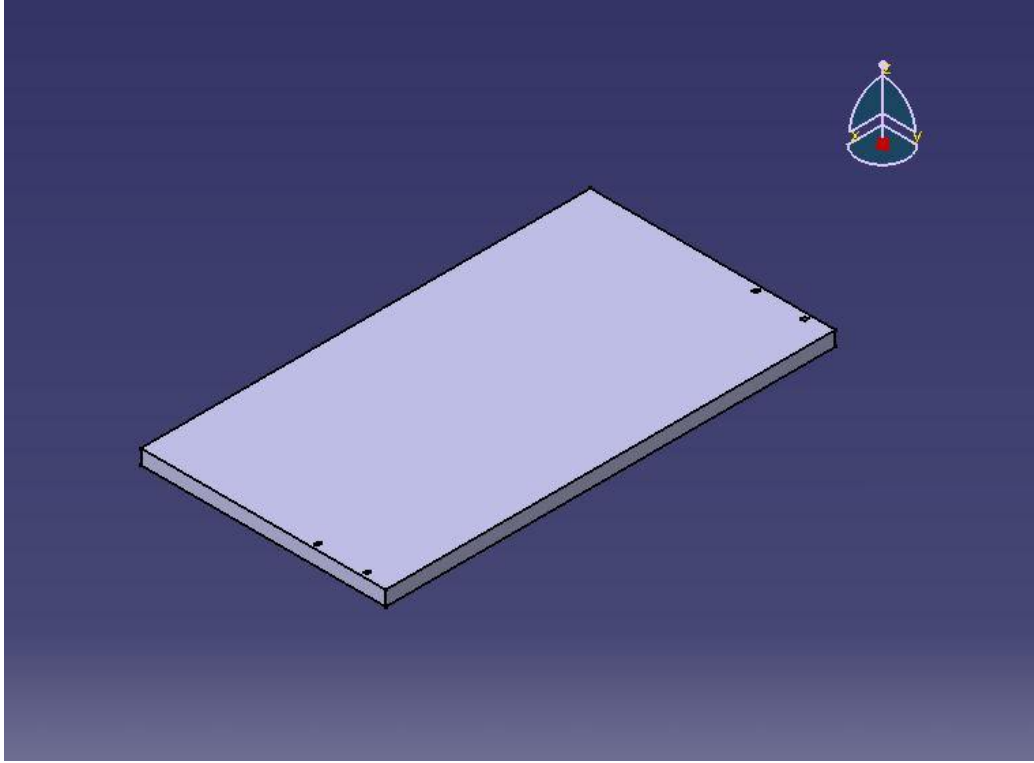


Şekil 4.2. Catia V5 Parça Modelleme Modülüne Giriş

Haptik arayüzün tüm parçaları Catia V5 ortamında çizilerek, montajı yapılmıştır. Üretilcek parçaların teknik resimleri oluşturulmuş ve ölçülendirmeleri yapılmıştır.

4.1.2. Taban Katı Modellemesi

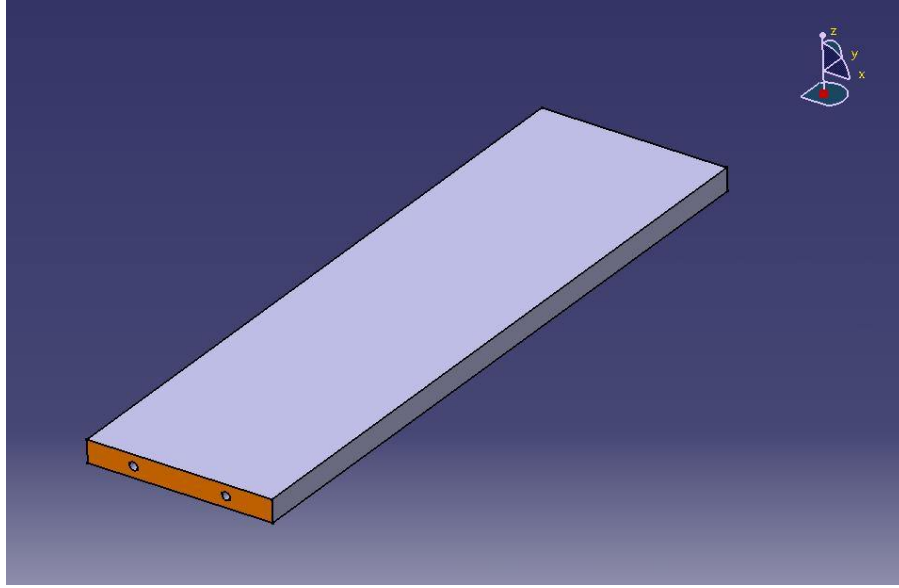
Taban tek parçadan oluşmaktadır ve dikdörtgen şeklindedir. Taban üzerine iki tane yan sabitler montajlanacaktır. Yan sabitleri monte edebilmek için vida kanalları açılmıştır. Taban katı modeli şekil 4.3.'de görülmektedir.



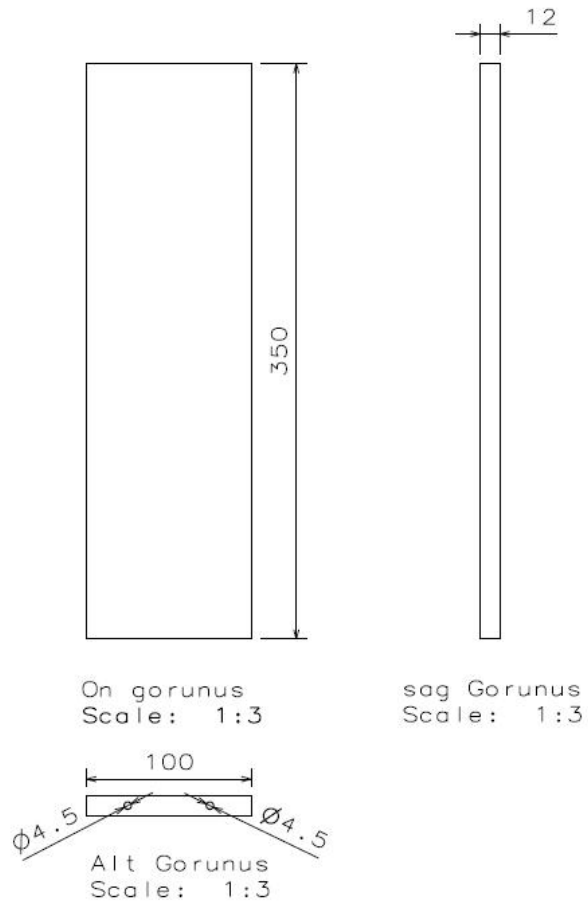
Şekil 4.3. Taban Katı Modeli

4.1.3. Yan Sabitlerin Modellemesi

Yan sabitler birbirinin aynı ve iki adettir. Tabana sabitleyebilmek için vida kanalları açılmıştır. Sağ yan sabit üzerine iki tane büyük motor monte edilecektir. Sol yan sabit üzerine ise iki adet sabitleyici parçalar monte edilecektir. Şekil 4.4.'te yan sabitlerin katı modellemesi görülmektedir. Şekil 4.5.'te yan sabitin teknik resmi görülmektedir.



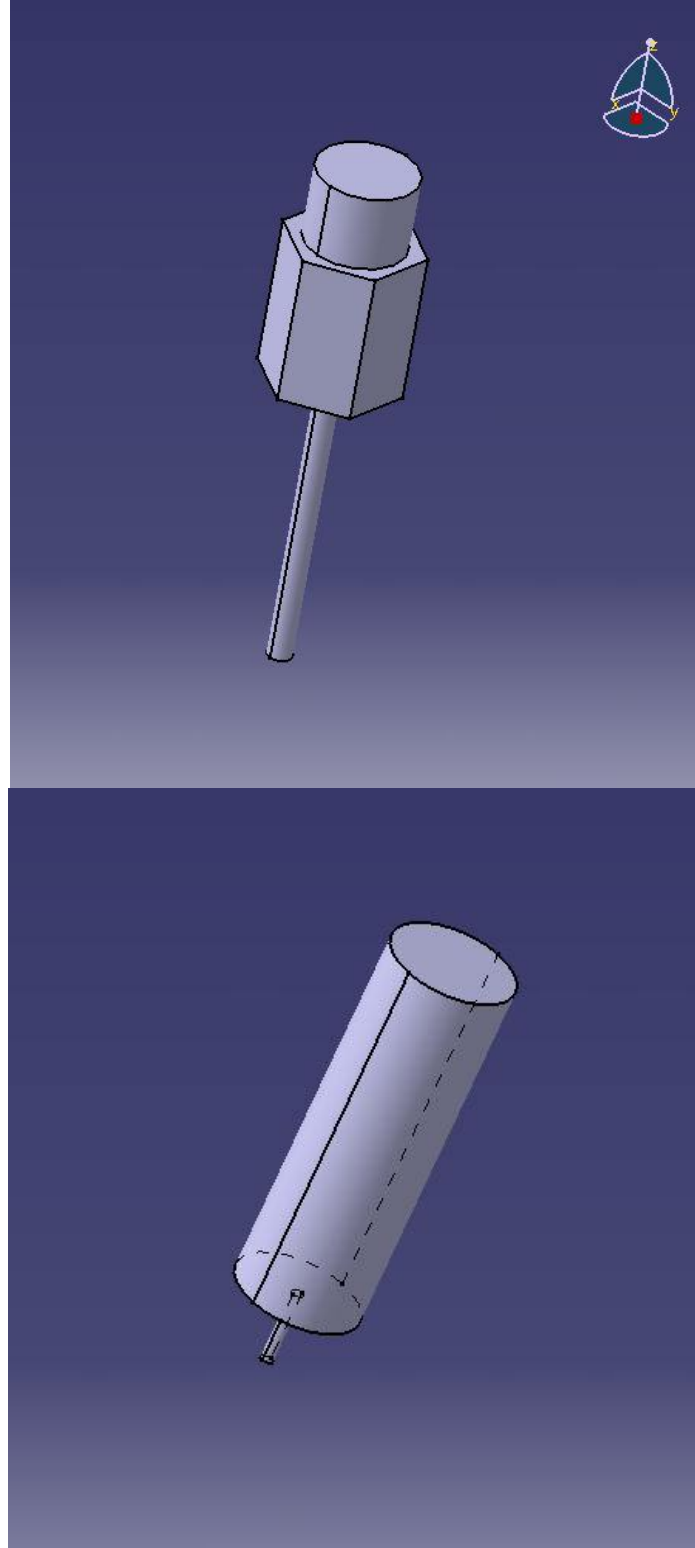
Şekil 4.4. Yan Sabitler Katı Modeli



Şekil 4.5. Yan Sabitler Teknik Resmi

4.1.4. Motorların Katı Modellemesi

Motorların katı modellemesi şekil 4.6.'da görüldüğü gibi yapılmıştır.

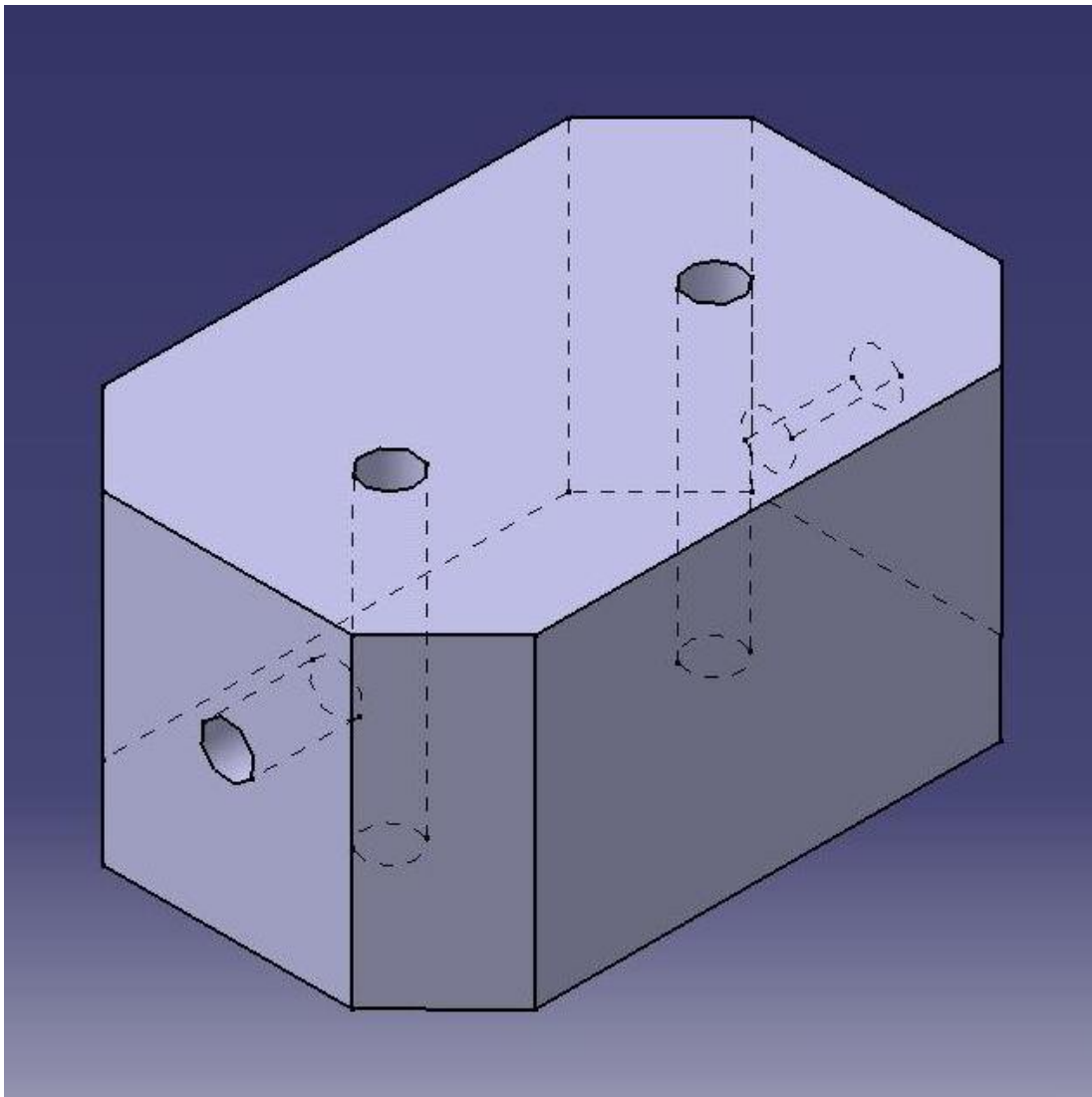


Şekil 4.6. Motorların Katı Modellemesi

4.1.5. Motor Tablasının Modellemesi

Motor tablası, küçük motorları taşımak için gerekli parçadır. Küçük motorları üzerine monte edebilmek için vida kanalları açılmıştır. Sol yan taraftaki vida kanalına büyük motorun mili geçirilecektir, sağ yan taraftaki kanala da sabitleyici parçanın mili geçirilecektir.

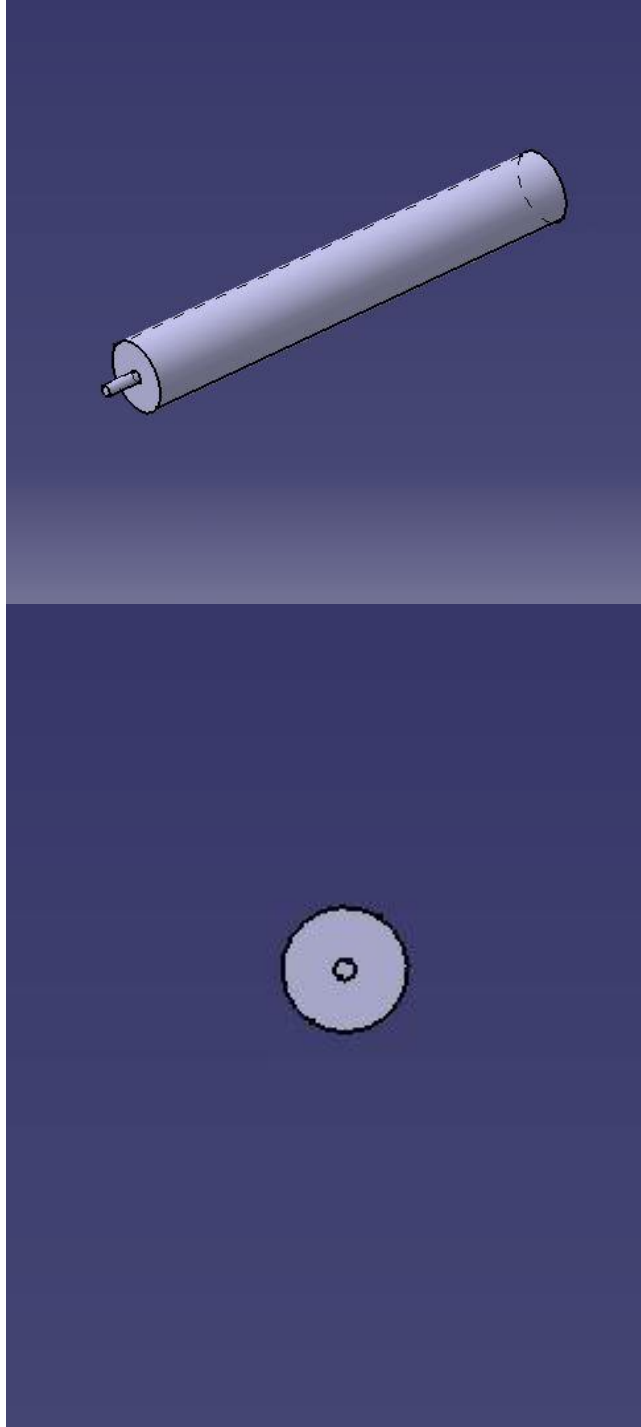
Motor tablasının katı modellemesi şekil 4.7.'de görülmektedir.



Şekil 4.7. Motor Tablası Katı Modeli

4.1.6. Motor Sabitleyicilerinin Modellemesi

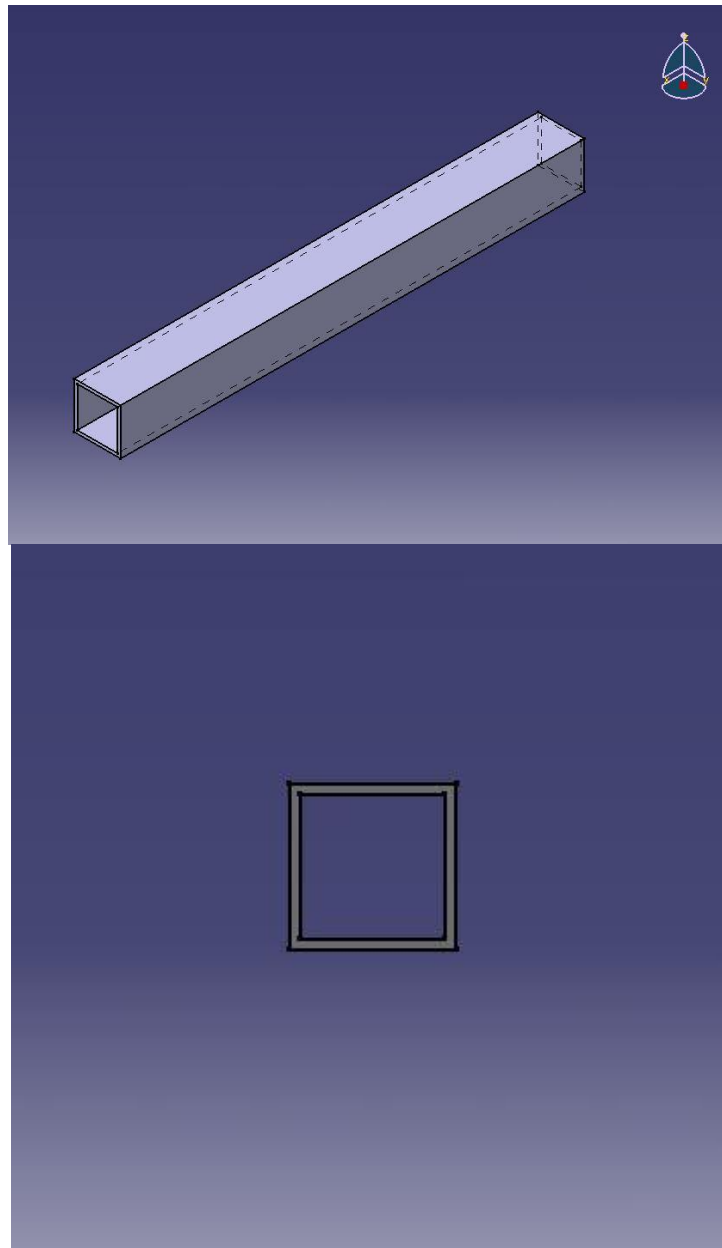
Motor sabitleyiciler motor tablasına ve yan sabitlere bağlanacaklardır. Motor sabitleyicilerin katı modellemesi şekil 4.8.'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Motor Sabitleyicilerin Katı Modeli

4.1.7. Kol Ara Parça I Modellemesi

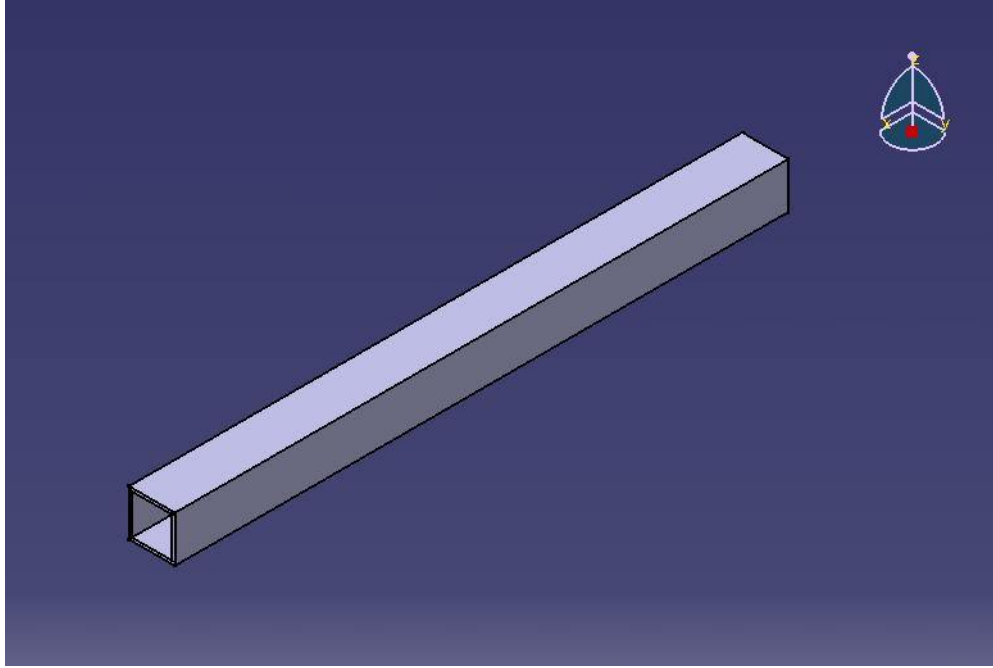
Kolları oluşturan ara parçaların modellemesi aşağıdadır. Bu parçalar dört adetten oluşmaktadır ve boyut olarak birbirinin aynıdır. Uzunlukları daha önceki bölümde belirlediğimiz gibi 150mm'dir. Kollar bağlantı parçalarıyla birbirine rulmanlar ve pim aracılığıyla bağlanacaklardır. Bu parçalar alüminyum profilden kesilerek elde edilmişlerdir. Kol ara parça I katı modellemesi şekil 4.9.'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Kol Ara Parça I Katı Modeli

4.1.8. Kol Ara Parça II Modellemesi

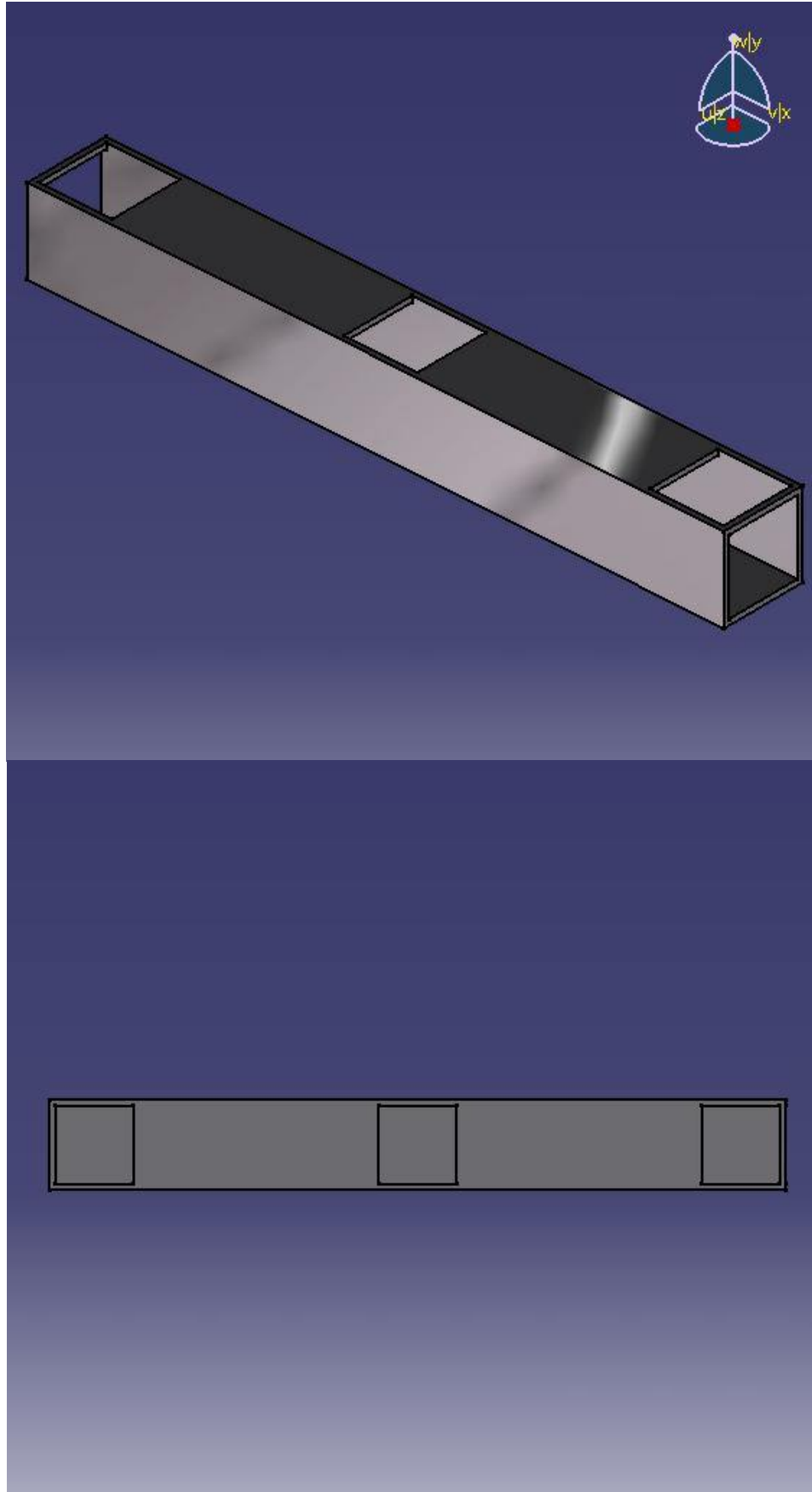
Kol ara parça II dört adetten oluşmaktadır. Kol ara parça I'den farkı uzunluğudur. Uzunlukları 200mm olarak belirlenmiştir. Bu parçalar alüminyum profilden kesilerek elde edilmişlerdir. Kol ara parça II katı modellemesi şekil 4.10.'da görülmektedir.



Şekil 4.10. Kol Ara Parça II Katı Modeli

4.1.9. Kol Ara Parça III Modellemesi

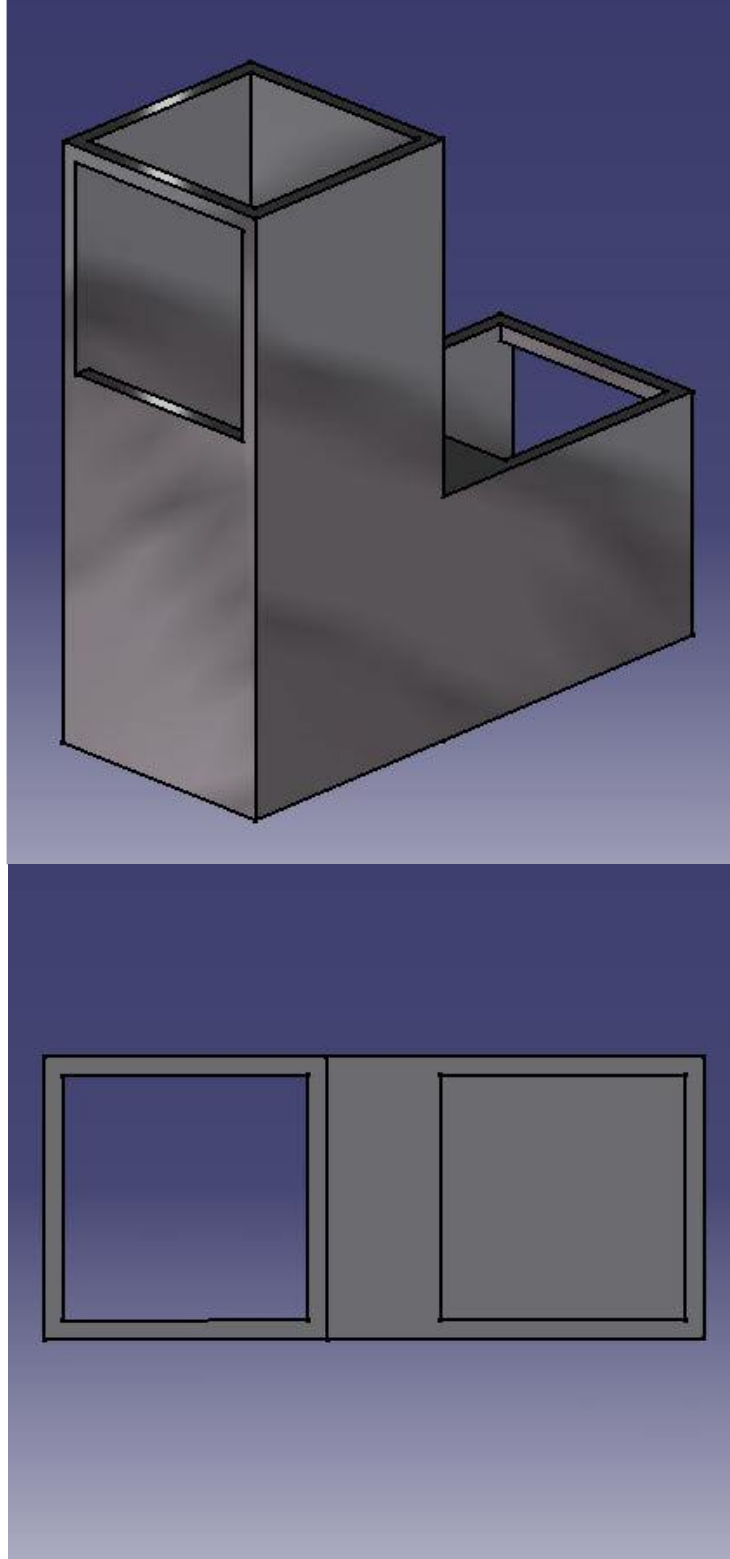
Seri bağlanmış kolları birbirine bağlamak için kullanılan parçadır. İki adet üretilmiştir. Üzerinde L parçalarla bağlantıyı sağlayabilmek için iki adet ve dik ara parça ile bağlantıyı sağlayabilmek için bir adet kare boşluk açılmıştır. Bu boşluklara mafsallar sıkı geçme şeklinde monte edilecektir. Alüminyum profilden imal edilmişlerdir. Kol ara parça III katı modellemesi şekil 4.11.'de görülmektedir.



Şekil 4.11. Kol Ara Parça III Katı Modeli

4.1.10. L parçaların Modellemesi

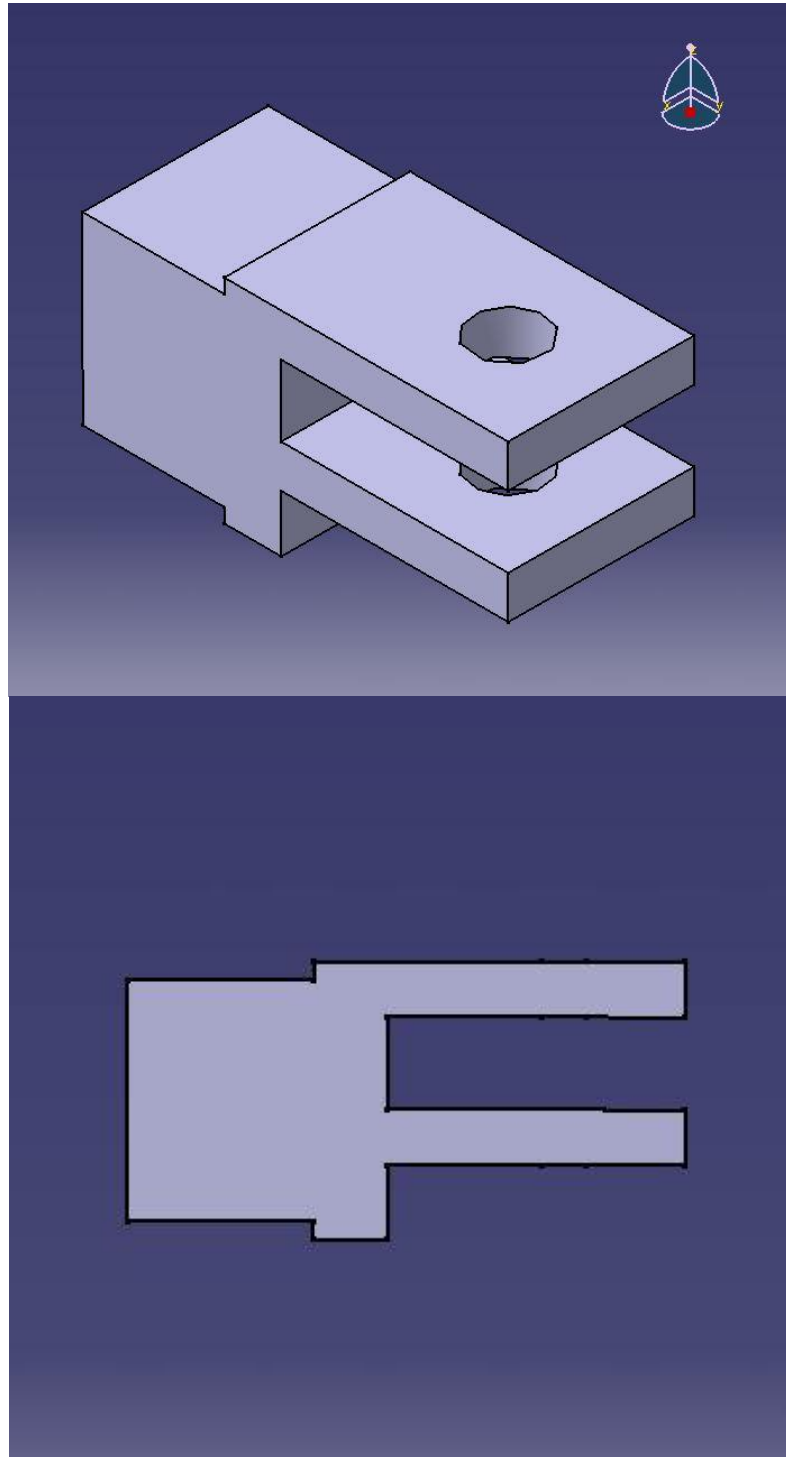
L parçaların katı modelleri şekil 4.12.'de görüldüğü gibi yapılmıştır.



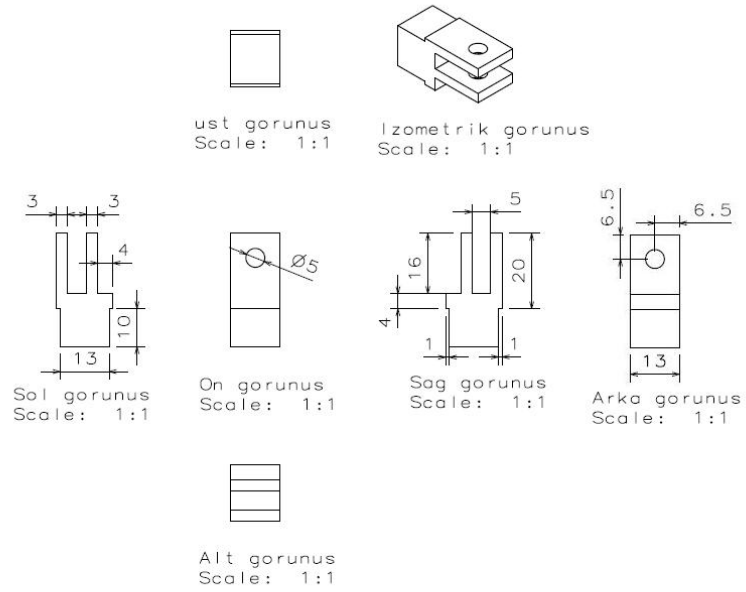
Şekil 4.12. L Parça Katı Modeli

4.1.11. Mafsalların Modellemesi

Bu parçalar kolları birbirine bağlamak için tasarlanmış olup yirmi sekiz adet üretileceklerdir. Mafsalların katı modellemesi şekil 4.13.'te görülmektedir. Mafsalların teknik resmi şekil 4.14.'de görülmektedir.



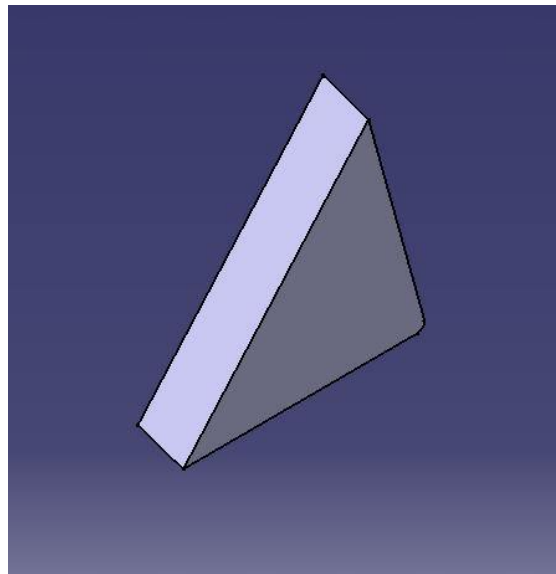
Şekil 4.13. Kol Bağlantıları Katı Modeli



Şekil 4.14. Kol Bağlantıları Teknik Resmi

4.1.12. Bayrak Modellemesi

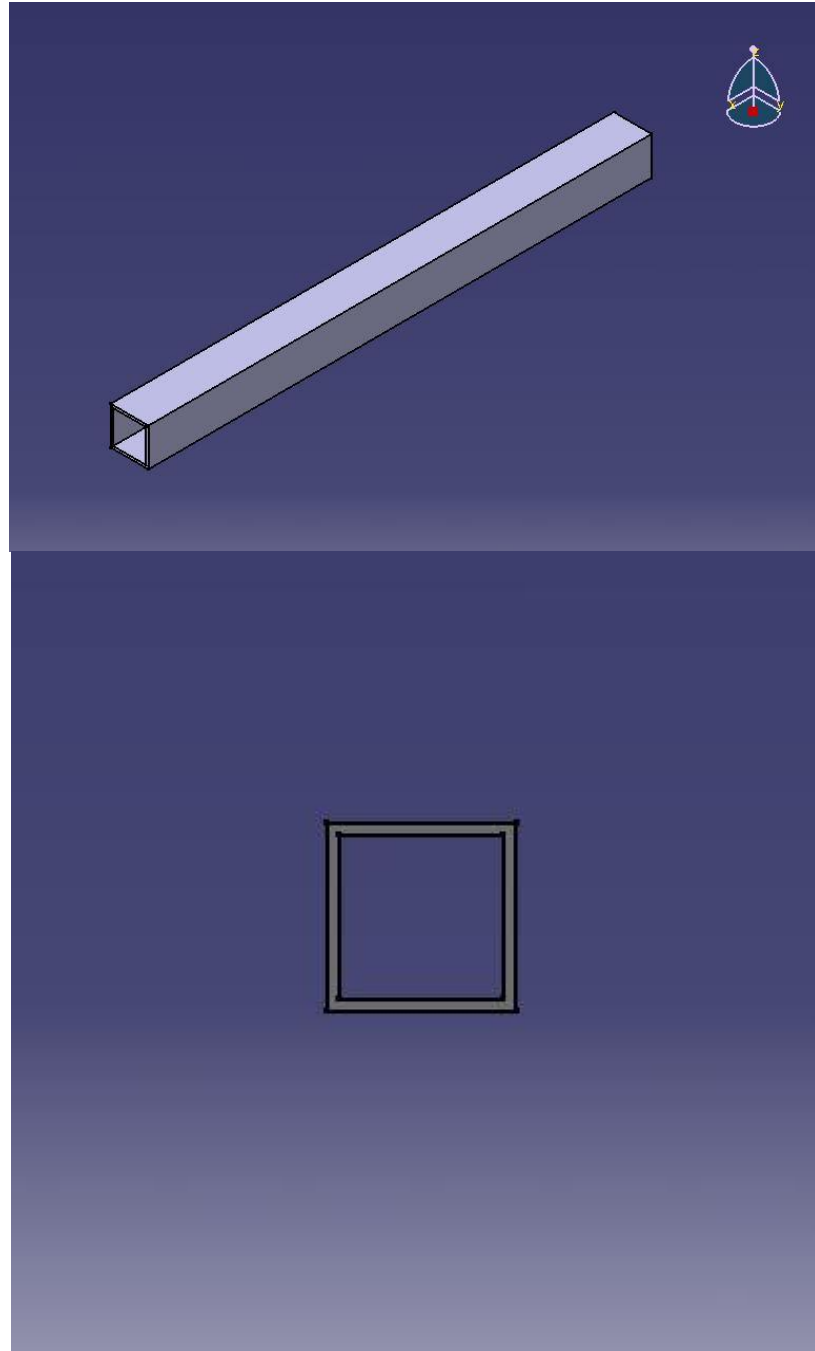
Bayrak, taban ve yan sabitleri bir arada tutmaya yardımcı parçadır. Bayrak katı modellemesi şekil 4.15.'te görülmektedir.



Şekil 4.15. Bayrak Katı Modeli

4.1.13. Dik Ara Parça Modellemesi

Paralel kolları birbirine bağlayan dik ara parçasıdır. Ayrıca operatör bu parçayı kullanarak haptik cihazı kullanacaktır. Bu parça da alüminyum profilden kesilerek elde edilecektir. Dik ara parça katı modellemesi şekil 4.16.'da görülmektedir.

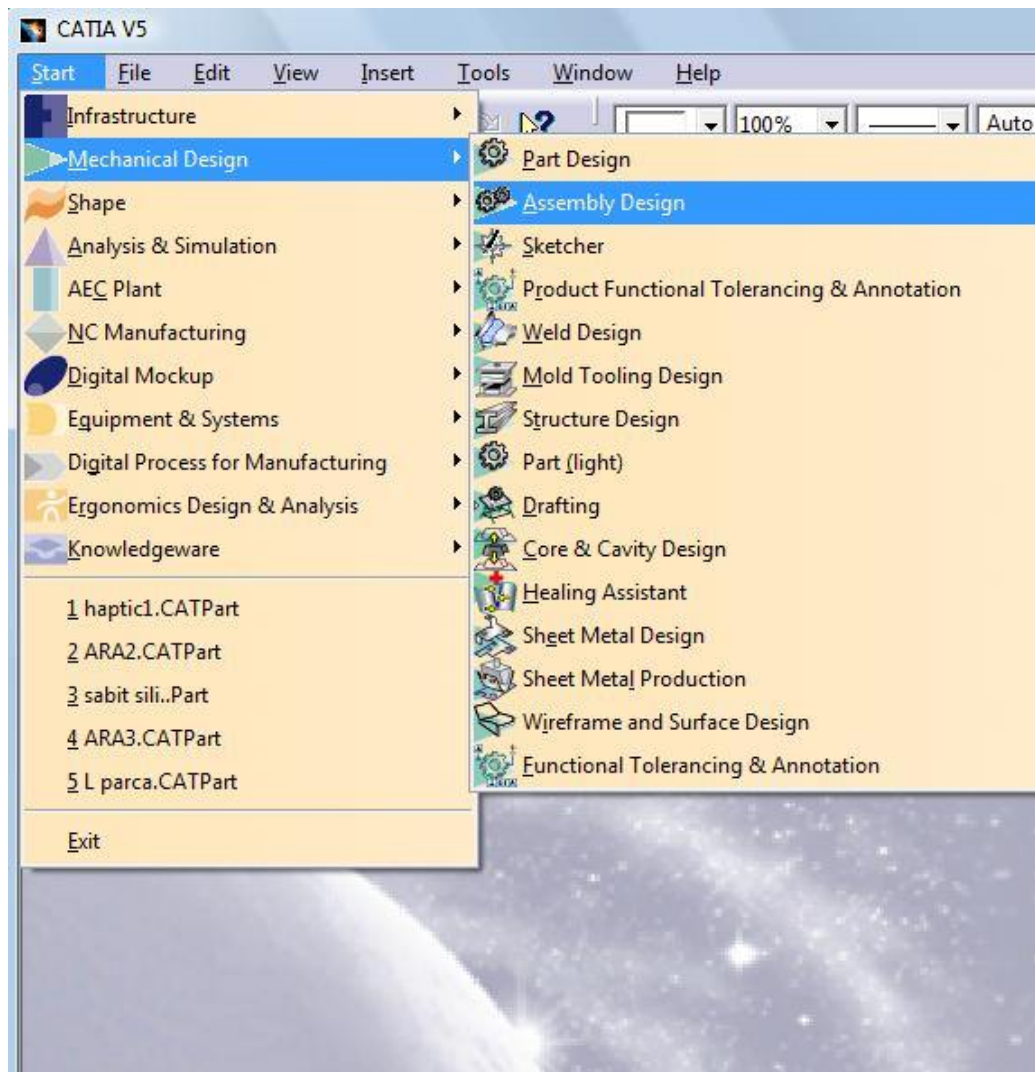


Şekil 4.16. Dik Ara Parça Katı Modeli

4.2. Montaj Modelleme

4.2.1. Catia V5 Programında Montaj Modelleme

Bu bölümde Catia V5 programında modellenen parçaların montajı yapılacaktır. Bunun için programın montaj modelleme (assembly design) modülü kullanılacaktır. Bu module programın start menüsünden şekil 4.17.'de gösterildiği menü kullanılarak ulaşılır.



Şekil 4.17. Montaj Modelleme Modülüne Giriş

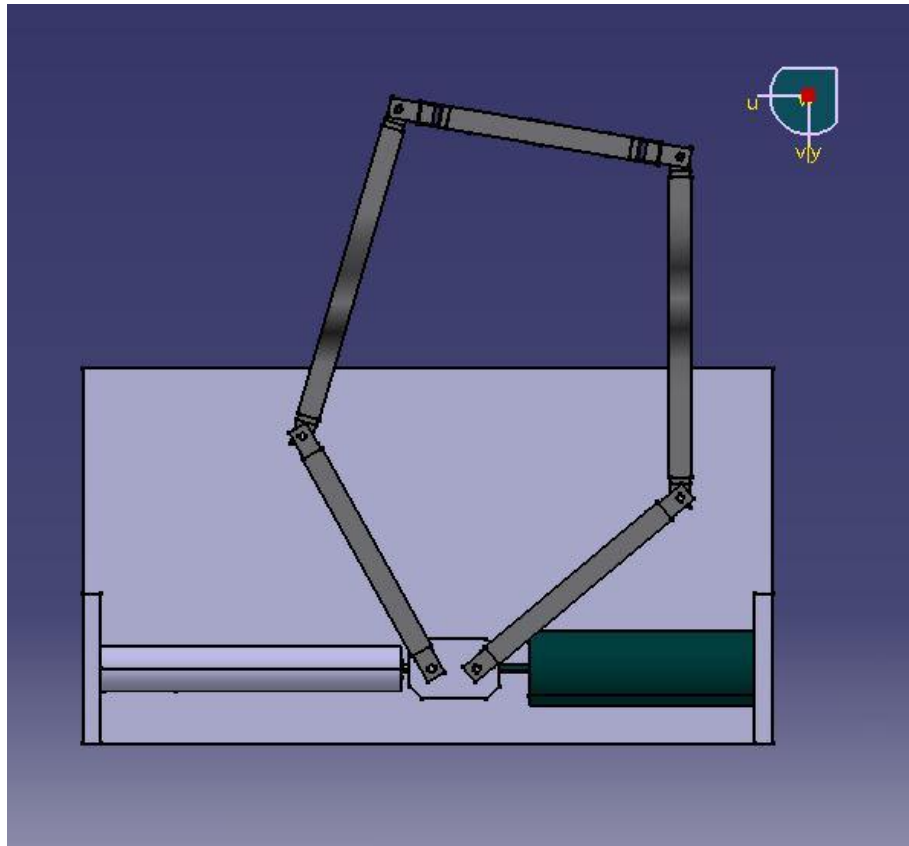
Montaj modelleme bölümünde iken ürün ağacından “product” seçilir ve “product structure tools” araç çubuğundan “existing component” komutu seçilir. Açılan pencereden montajını gerçekleştireceğimiz parçalar aynı işlemler

tekrarlanarak çağrılır. Çağrılan parçalar arasındaki bağlantılar ve sınırlamalar “constraints” komutu kullanılarak oluşturulur ve montaj modellemesi yapılır.

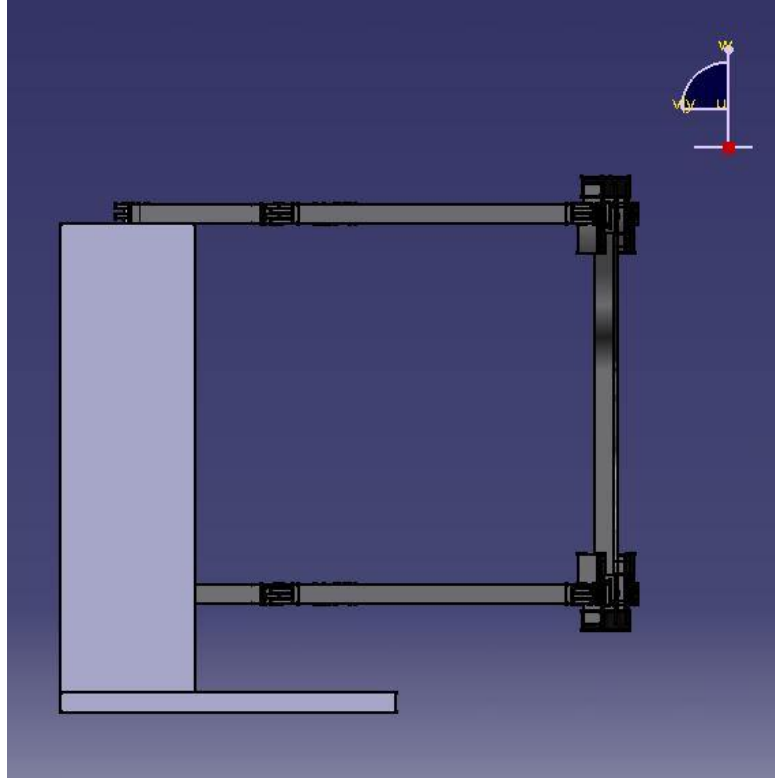
4.2.2. Parçaların Montajı

Bir önceki bölümde anlatılan tüm parçalar programın montaj modelleme modülünde montajlanmıştır.

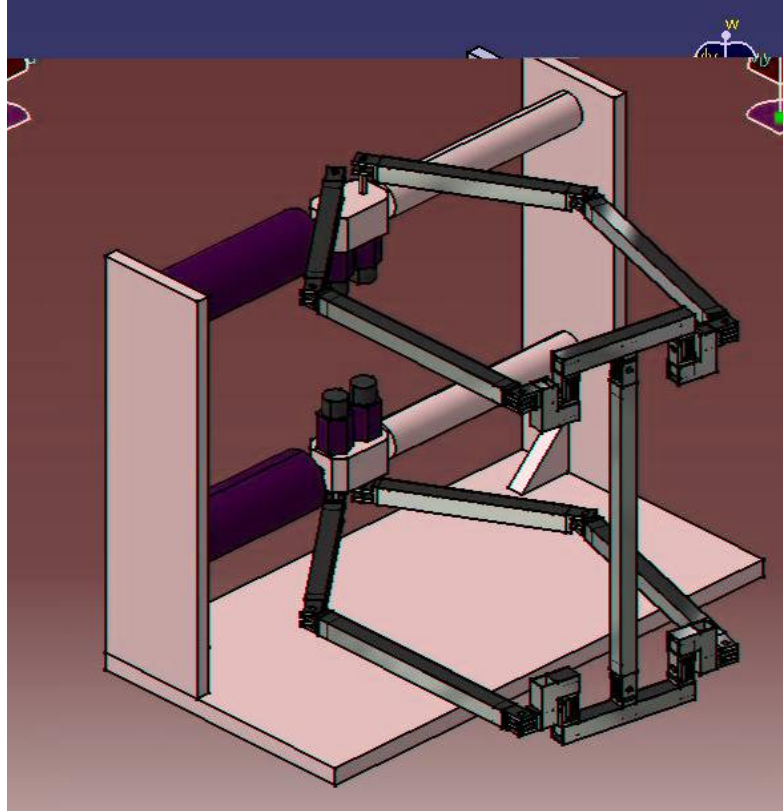
Montaj görünümüleri aşağıdaki gibidir. Şekil 4.18.’de haptik arayüz üst görünümü, şekil 4.19.’da haptik arayüz yan görünümü, şekil 4.20.’de haptik arayüz izometrik görünümü yer almaktadır. Şekil 4.21.’de haptik arayüz patlatılmış görüntü görülmektedir.



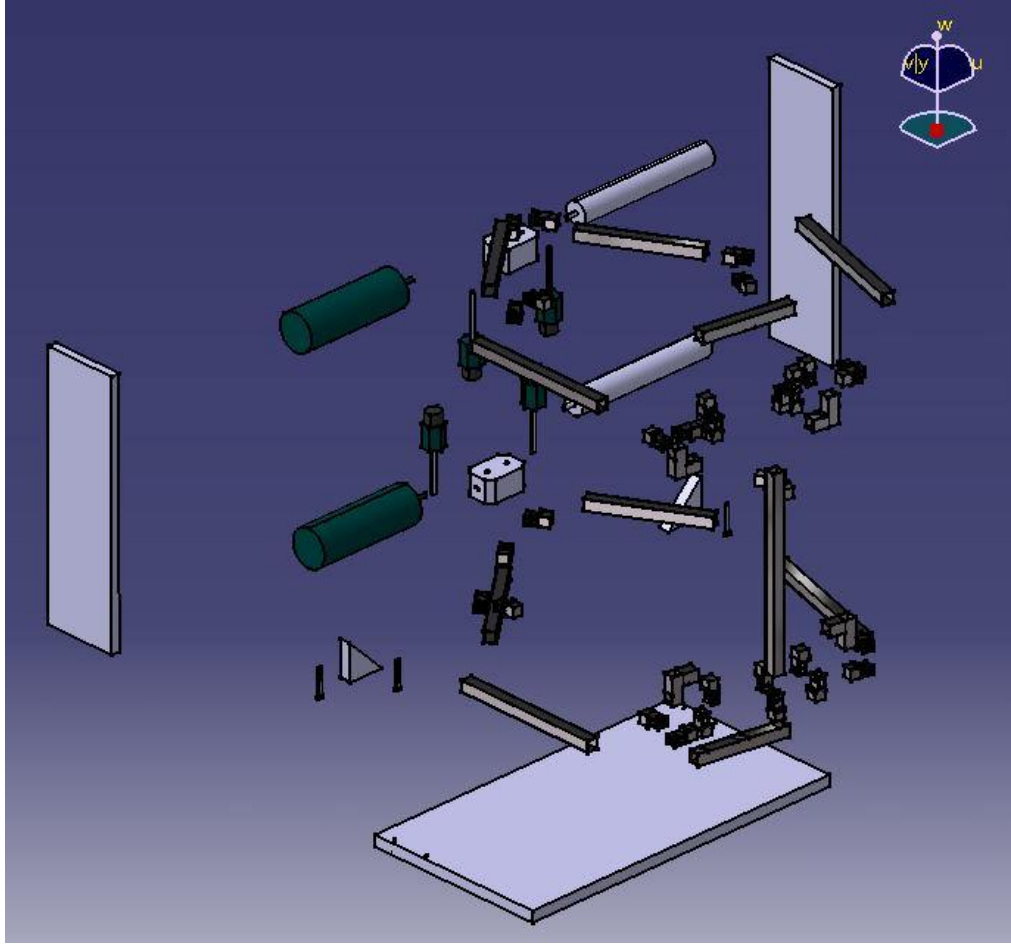
Şekil 4.18. Haptik Arayüz Üst Görünüş



Şekil 4.19. Haptik Arayüz Yan Görünüş



Şekil 4.20. Haptik Arayüz İzometrik Görünüş

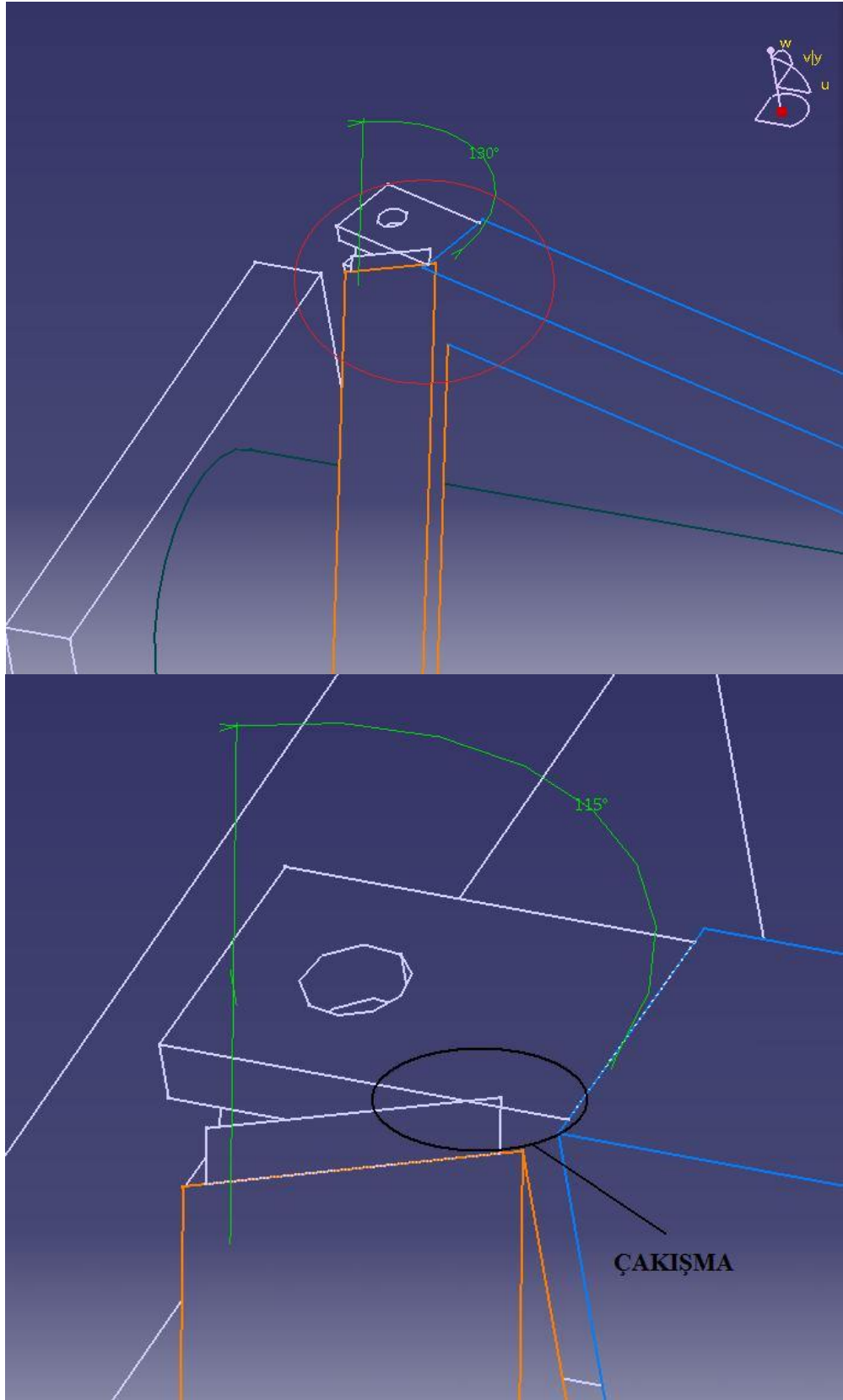


Şekil 4.21. Haptik Arayüz Patlatılmış Görüntü

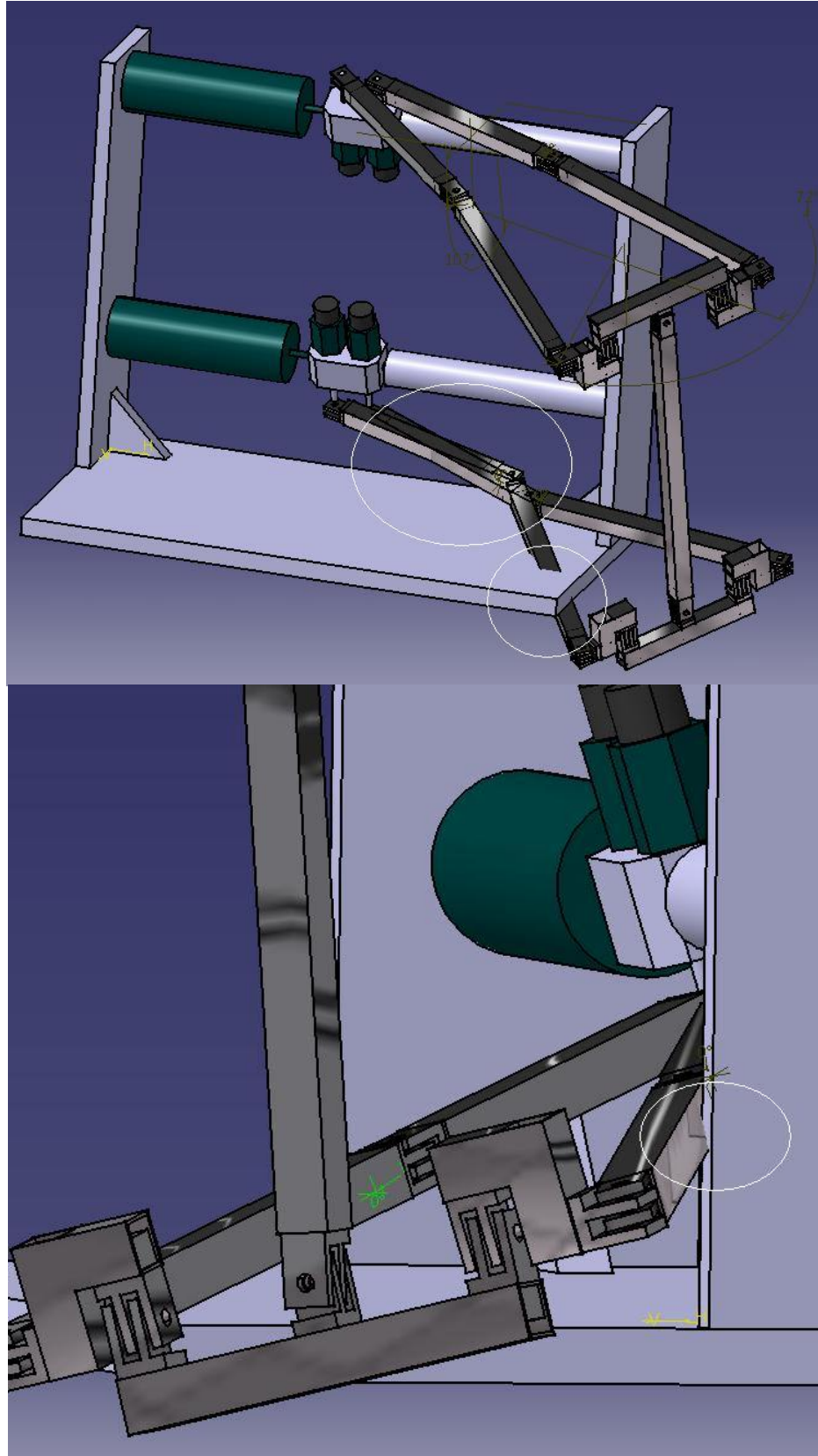
4.3. Çalışma Uzayı Analizi

Genel olarak çalışma uzayı bir paralel manipülatör için hareketli platformun ağırlık merkezine seri manipülatör için ise uç organına yerleştirilen koordinat sisteminin merkezinin uzayda ulaşılabilceği noktalar kümesi veya bölge diye tanımlanır. Çalışma uzayı büyüklüğü bir paralel veya seri mekanizmanın performansını [Synman et al., 2000] belirlemedeki en önemli kriterlerden biridir [Alp ve Özkol, 2008].

Haptik arayüzün yapısındaki mekanik kısıtlamalar nedeni ile çalışma uzayı kısıtlanmaktadır. Zaman zaman mafsallar arasında, kollar arasında yada diğer sabitler ile kollar arasında çakışmalar meydana gelmektedir. Şekil 4.22.'de mafsallar arası çakışma görülmektedir. Şekil 4.23.'te ise kollar arasında ve yan sabit ile olan çakışmalar gösterilmektedir.

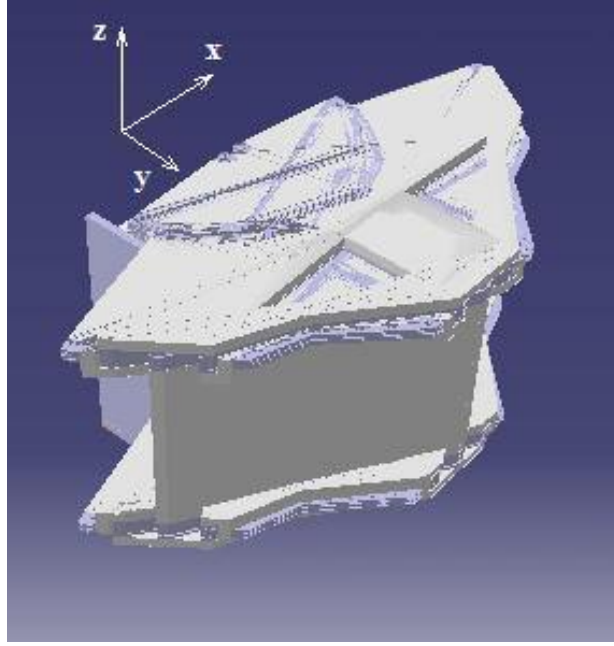


Şekil 4.22. Mafsallar Arası Çakışma

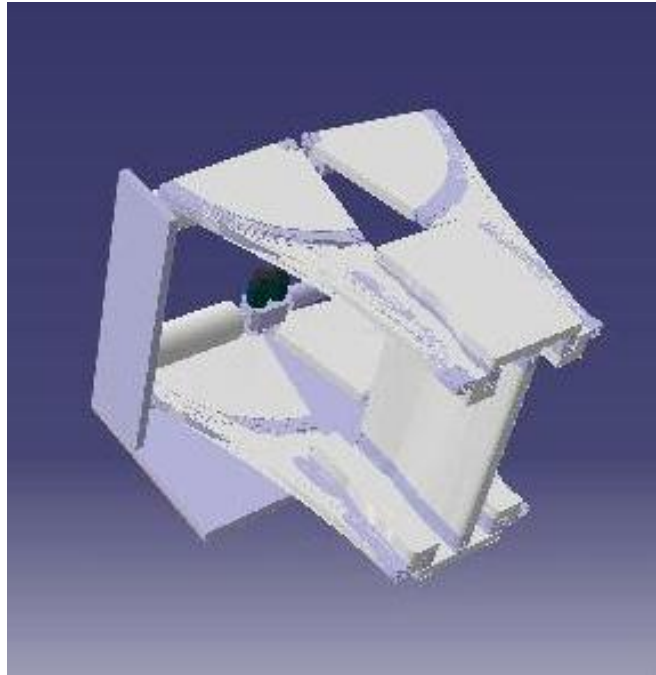


Şekil 4.23. Haptik Arayüz Çakışmalar

Mekanizmanın maksimum hareket noktalarına ulaşması sağlanarak, mekanizmanın çalışma hacmi elde edilmiştir. Şekil 4.24.'te haptik arayüzün x ekseninde, şekil 4.25.'te y ekseninde yaptığı yer değiştirmenin oluşturduğu hacimler görülmektedir.

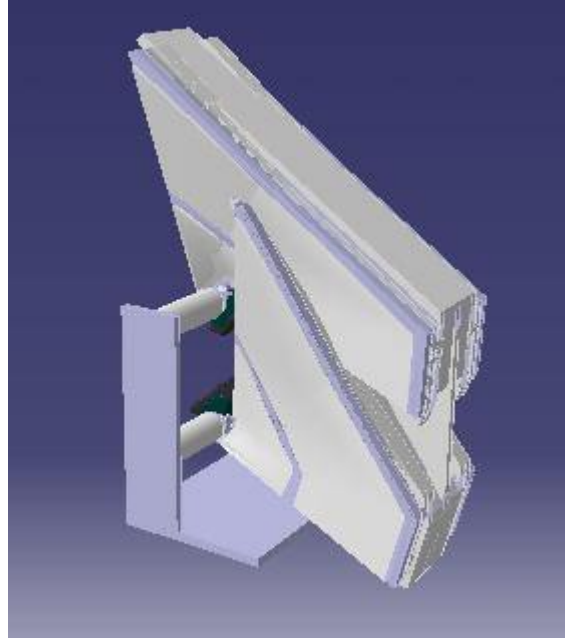


Şekil 4.24. Kolların X Doğrultusunda Max. Hareketi



Şekil 4.25. Kolların Y Doğrultusunda Max. Hareketi

Şekil 4.26.'da z ekseninde yapabildiği yer değiştirmenin oluşturduğu hacim görülmektedir. Bu hacimler mekanizmanın kolları hareket ettirilerek çakışma olmadan yapabildiği en uç konumlar tespit edilerek programın swept komutu kullanılarak oluşturulmuştur.



Şekil 4.26. Kolların Z Doğrultusunda Max. Hareketi

Haptik arayüz tasarımıımız x doğrultusunda (şekil 4.24.'te görülen) 702mm, y doğrultusunda (şekil 4.25.'te görülen) 175mm, z doğrultusunda (şekil 4.26.'da görülen) 450mm yer değiştirme yapabilmektedir.

5. İMALAT

Haptik arayüzün tasarlanan parçalarının üretimi Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü cad/cam laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Parçalar alüminyum malzemeden üretilmiştir. Parçaların listesi, program çıktısı olarak aşağıdaki gibidir.

```
=====
= Bill of Material: Haptic interface
=====
```

Quantity	Part Number	Type
32	joint	Part
2	Buyuk motor	Part
2	Kucuk motor tablası	Part
4	Kucuk motor	Part
2	Motor sabiti	Part
4	ARA PARCA1	Part
4	ARA PARCA2	Part
2	ARA PARCA3	Part
1	TutmaYeri	Part
2	Yan sabit	Part
1	Taban	Part
2	Bayrak	Part
4	L parca	Part
4	ISO 1207 SCREW M4x35	Part

```
=====
= Recapitulation of: Haptic interf=
= Different parts: 14             =
= Total parts: 67                 =
=====
```

Quantity	Part Number
32	joint
2	Buyuk motor
2	Kucuk motor tablası
4	Kucuk motor
2	Motor sabiti
4	ARA PARCA1
4	ARA PARCA2
2	ARA PARCA3
1	TutmaYeri
2	Yan sabit
1	Taban
2	Bayrak
4	L parca
4	ISO 1207 SCREW M4x35

Şekil 5.1. Parça Listesi

Bu malzemelere ek olarak 28 adet rulman ve 14 adet rulman pimi kullanılmıştır. L parçalar oluşturulurken kesilen iki parça birbirine lehimleme işlemi ile birleştirilmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında beş serbestlik dereceli bir haptik model alınarak serbestlik derecesi altıya çıkarılmış ve çalışma hacminin genişletilmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen mekanizmanın bilgisayar destekli tasarımı yapılmış, bütün parçaların birbirine uygunluğu sağlanmıştır. Tasarlanan parçalar yine bilgisayar ortamında montajlanmış, aynı programın kinematik arayüzü kullanılarak hareket kazandırılmış ve mekanizmanın simülasyonu elde edilmiştir. Simülasyonda çalışma uzayı belirlenmiş, nerelerde çakışma meydana geldiği imalat yapılmadan saptanabilmiştir.

Mekanizmayı oluşturan parçalar mümkün olduğu kadar basit ve kolay imal edilebilir olması amaçlanarak tasarlanmıştır. Bir çok parça üretmek yerine birbirinin aynı parçaların kullanılması imalat açısından kolaylık sağlamıştır.

Parçaların tümü hassas makinelerde üretilsede montajları elle yapılmaktadır. Bu sebeple montaj hatalarından mümkün olduğunca kaçınmak gerekir, çünkü yapılan hatalar sistemin hassasiyetini etkileyecektir.

Çeşitli alanlarda gelişen uygulamalar dokunma hisli ara yüzler için birçok talep ortaya koymaktadır. Bu talep var oldukça haptik teknolojisinin gelişimi hızlı bir şekilde devam edecektir.

KAYNAKLAR

1. Alp H. ve Özkol İ., “6 Serbestlik dereceli 6-3, özel yapı 6-3 ve 6-4 paralel mekanizmaların genişletilmiş çalışma uzayı analizi”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojisi Programı, İTÜ dergisi mühendislik Cilt: 7, Sayı:4, 3-14 Ağustos 2008
2. Anlı E., H. Alp, S.N. Yurt, İ. Özkol, “Paralel Mekanizmaların Kinematiği, Dinamiği ve Çalışma Uzayı”, Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, Ocak 2005, Cilt 2 Sayı 1 (19-36)
3. Arıkan M. A. Sahir, “Bilgisayar Destekli Üretim (CAM)” Makine Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi, CAD/CAM Merkezi Uzmanı ,Orta Doğu Teknik Üniversitesi
4. Balkan T., Konukseven İ., Koku A. B., Baser Ö. ve Bideci S., Proje No: 104M425- “Haptic” Dokunma Hisli ve Kuvvet Geri Beslemeli Arayüz Sistem Tasarımı” , 2008
5. Bonev, I. A., Ryu, J., (2001). A new approach to orientation workspace analysis of 6-DOF parallel manipulators, Mechanism and Machine Theory, 36, 15-28.
6. Burns David T., “Design Of A Six Degree Of Freedom Haptic Interface”, Northwestern University, 1996
7. Gosselin, C., (1990). Determination of workspaces of 6-dof parallel manipulators, Transactions of ASME Journal of Mechanical Design, 112, 331-336
8. Gupta Abhishek , “Design and Control of a Haptic Arm Exoskeleton” , Master of Science, Rice University, (2004).
9. Hayward V and et al. Tutorial “Haptic interfaces and devices” Sensor Review Volume 24 · Number 1 · (2004), · pp. 16–29
10. Kabadayı Ş., “Design Of A Six Degrees Of Freedom Haptic Device”, Sabancı Üniversitesi,2006
11. Kapuscinski C. L., “Motor Selection and Damper Design For A Six Degree of Freedom Haptic Display”, Master of Science in Department of Mechanical Engineering, Northwestern University, March 1997

12. Kothari C. G., “Robust Control Design of Remote Catheter Insertion Mechanism With Haptic Feedback”, Sardar Patel University, India, (2002).
13. Lee, M. K. ve Park, K. W., (2000). Workspace and Singularity Analysis of a Double Paralel Manipulator, IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 5(4), 367-374.
14. Merlet, J.-P., (1995), “Determination of the orientation workspace of parallel manipulators”, Journal of Intelligent Robotics Systems, 13, 143-160.
15. Oh K. Won, D. Kim and et al. (Korea University), Jong-Hyup Park and et al. (Naekyung Engineering Co., Ltd.) “Design Of a Haptic Device For Excavator Equipped with Crusher”, The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, (2008)
16. Özkan M.M., “Bir Haptik arayüz yapısal analizi ve imalatı”, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, (2007).
17. Robot Institute of Amerika, 1979
18. Rovers A.F., “Design of a robust master-slave controller for surgery applications with haptic feedback”, Eindhoven University, (2003).
19. Stone Robert J., “Haptic Feedback: A Potted History, From Telepresence to Virtual Reality”
20. Srinivasan Mandayam A, “What is Haptics? ”, Laboratory for Human and Machine Haptics: The Touch Lab Massachusetts Institute of Technology
21. Synman, J.A. , Du Plessis, L.J. and Duffy, J., (2000), “An optimization approach to the determination of the boundaries of manipulator workspaces”, Journal of Mechanical Design ,ASME, 122, 447-456.
22. Tyapın I., G. Hovland, T. Brogardh, “A Geometrical Method for Calculating the Unreachable Workspace of the 3-DOF Gantry-Tau Parallel Manipulator”
23. Ünsal A., “Farklı Yapıdaki Stewart Platform Mekanizmalarının Düz ve Ters Kinematik analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2007
24. Web: <http://tr.wikipedia.org/wiki/CAD/CAM>
25. Web: “Machine Haptics-Gestation” <http://hapticshistory.chc61.uci.cu>
26. Web: “Mechanical Engineering Online Resources” <http://library.csus.edu/guides/kochism/mechmain.htm>
27. Web: <http://mechatronicarts.blogspot.com/2007/08/seri-mekanizmalar.html>
“Mechatronic Arts, Seri Mekanizmalar”, 2007

28. Web:<http://www.timken.com/en-us/products/bearings>

ÖZGEÇMİŞ

Mine İdin 24.06.1981 tarihinde Bandırma’da doğmuştur. Edincik İlköğretim Okulu ve Bandırma Şehit Mehmet Gönenç Lisesi mezunudur. Kocaeli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü’nden Şubat-2006 yılında mezun olmuştur. 07.2006 - 07.2007 yılları arasında California - ABD ’de Aupair olarak çalışmıştır. 2007 yılının Eylül ayında Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.

EK 1

Üretilen 6 Serbestlik Dereceli Haptik Arayüz Uyumlu Mekanizmanın Teknik Resimleri

A vertical rectangle is shown. Below the rectangle, a horizontal line segment is drawn, with the number 15 written below it.

A diagram of a rectangular plate. The length is labeled as 150 and the width is labeled as 15.



GE88ZE
YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

ARA PARCA1

20.08.2009

DATE _____

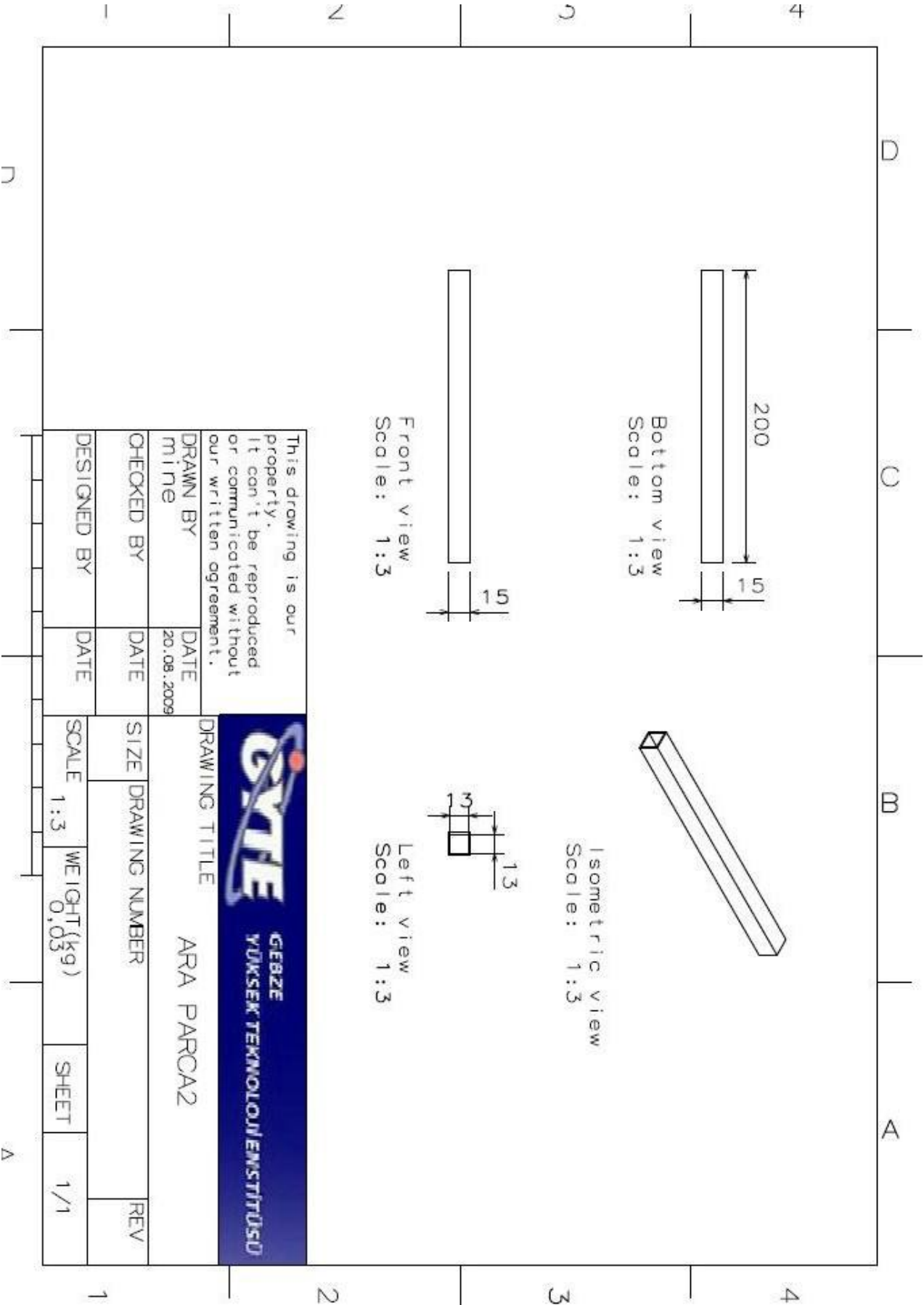
REV

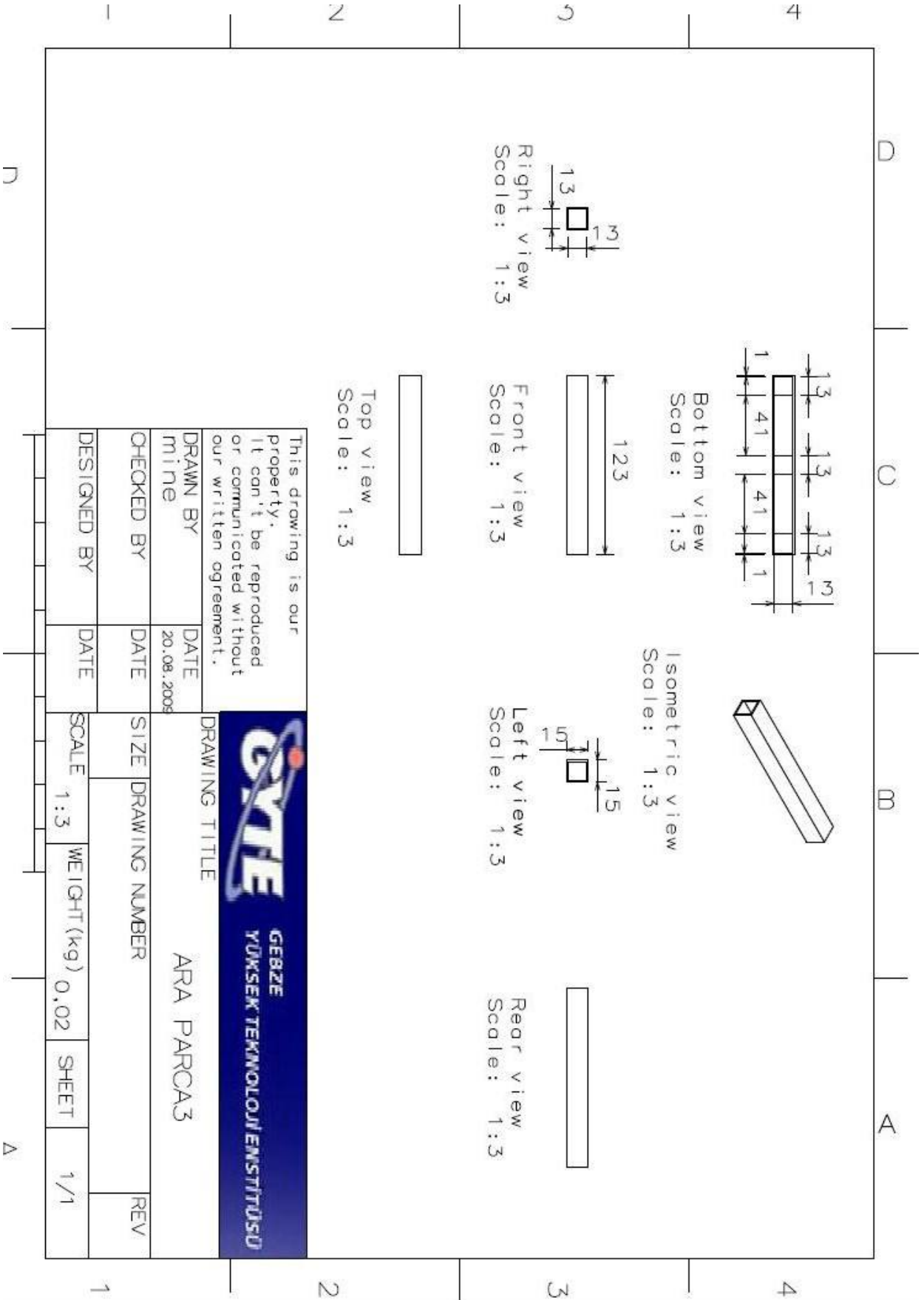
DATE _____

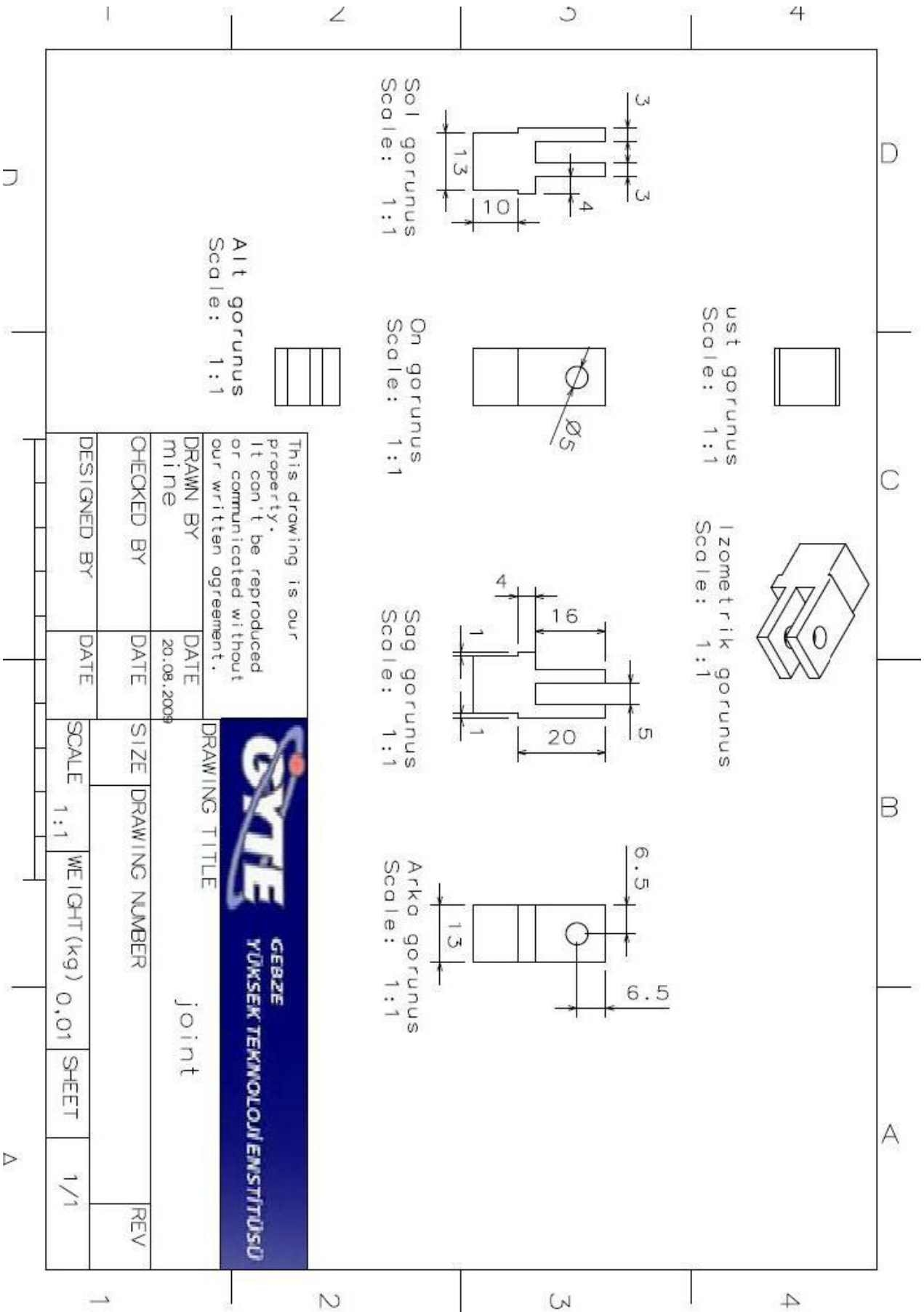
١٠٠

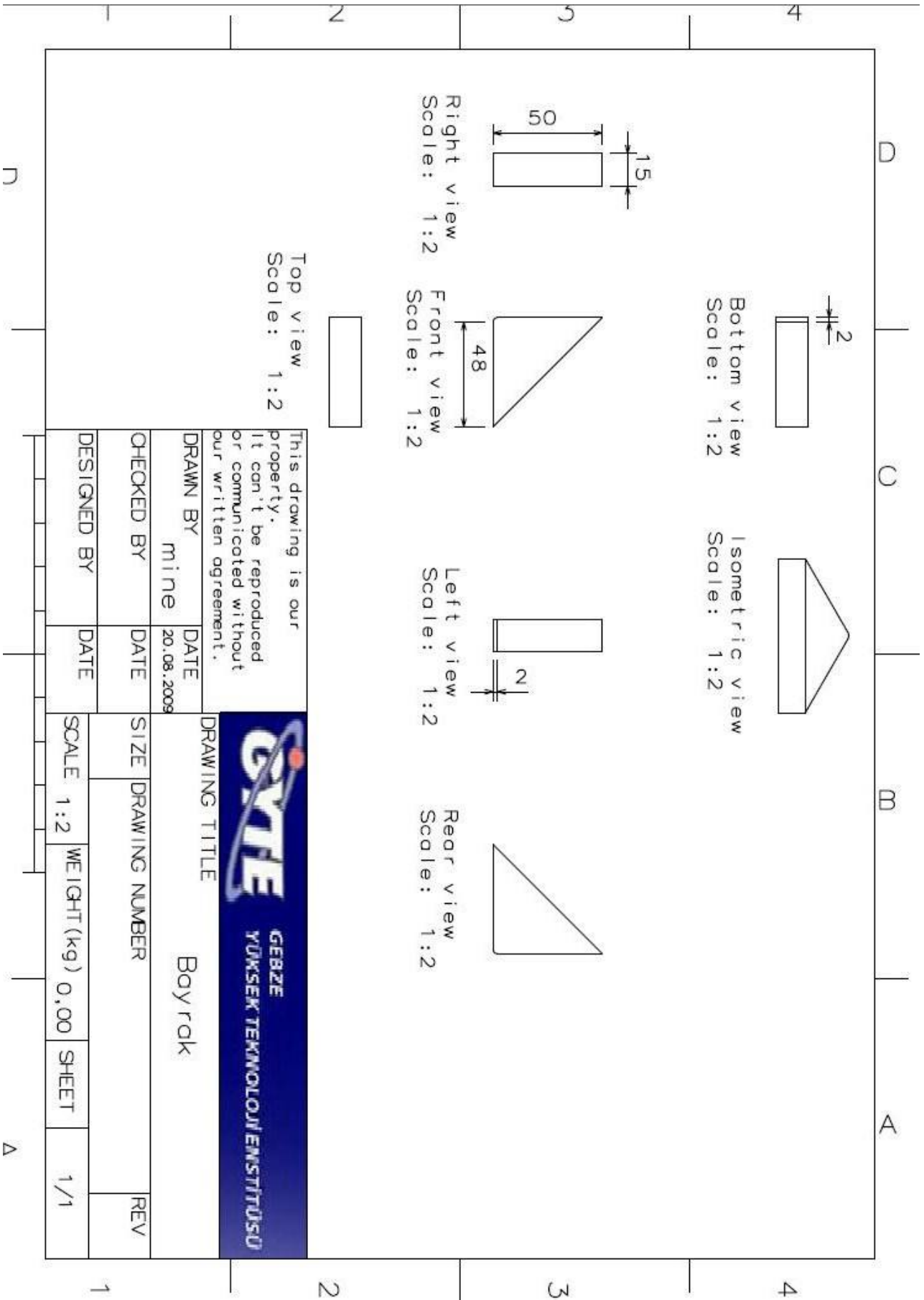
SHEET

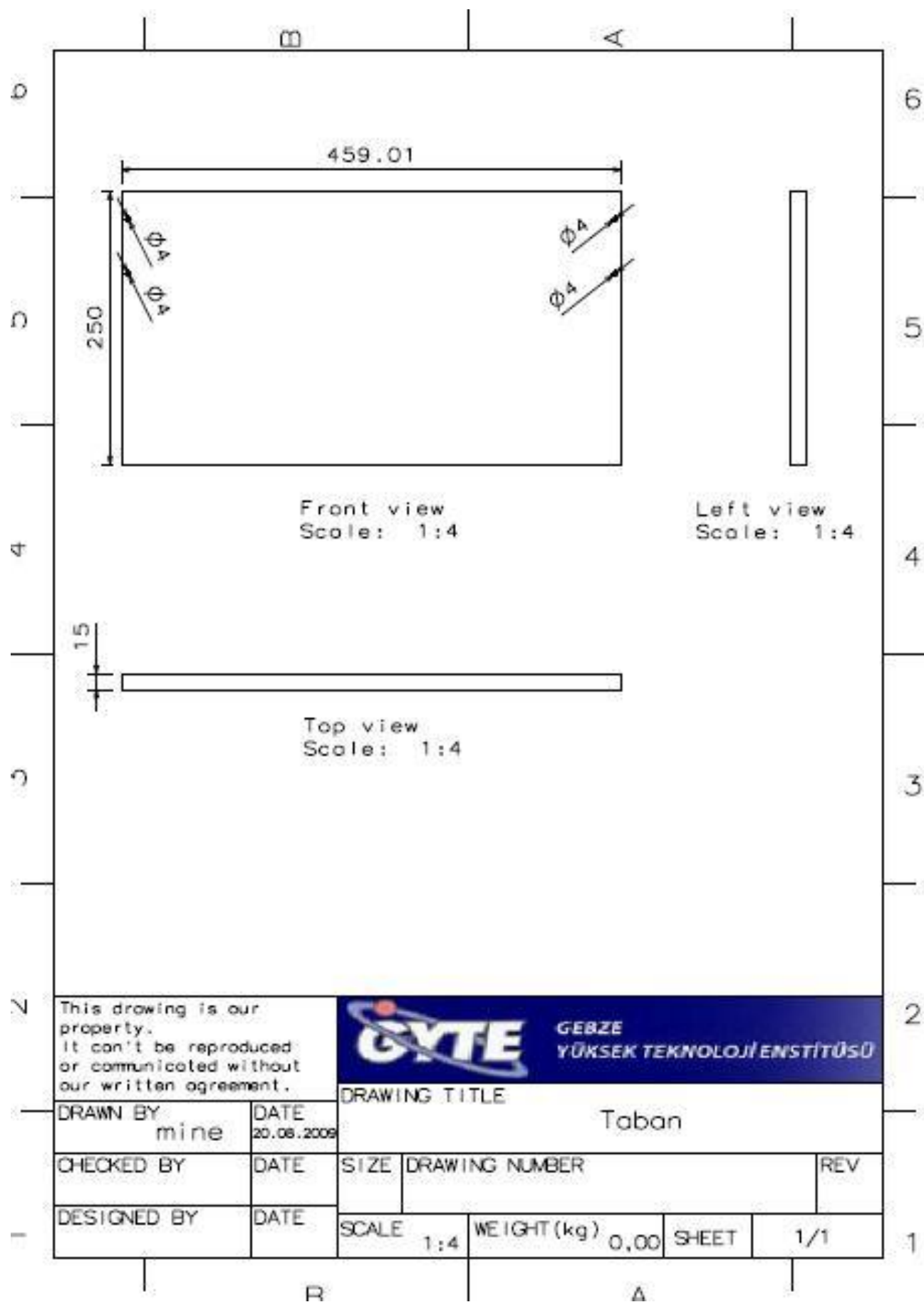
1/1

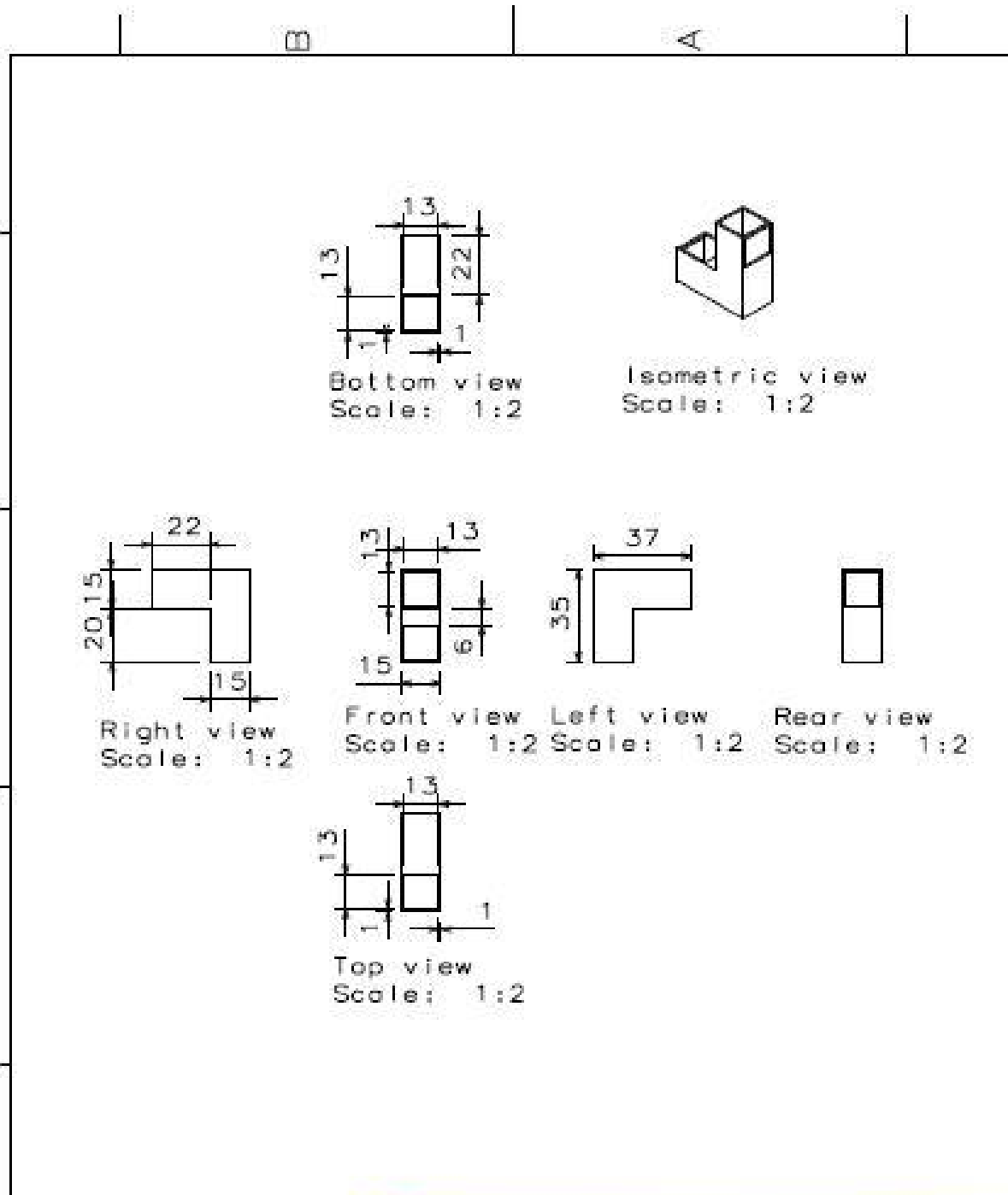












This drawing is our property. It can't be reproduced or communicated without our written agreement.



GERZE
YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ

DRAWING TITLE

L parca

DRAWN BY mine DATE 30.08.2009

CHECKED BY DATE

SIZE DRAWING NUMBER REV

DESIGNED BY DATE

SCALE 1:2 WEIGHT(kg) 0,01 SHEET 1/1

