

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

6 SERBESTLİK DERECELİ ENDÜSTRİYEL SERİ ROBOT
TASARIMI VE İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER İNCEOĞLU

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI



6 SERBESTLİK DERECELİ ENDÜSTRİYEL SERİ ROBOT
TASARIMI VE İMALATI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CANER İNCEOĞLU

DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024

**Bu tez alışması BAP Koordinasyon Birimi tarafından 2011FBE080
nolu proje ile desteklenmiştir.**

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

CANER İNCEOĞLU

ÖZET

**6 SERBESTLİK DERECELİ ENDÜSTRİYEL SERİ ROBOT TASARIMI VE
İMALATI
YÜKSEK LİSANS TEZİ
CANER İNCEOĞLU
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. ERDİNÇ ŞAHİN ÇONKUR)
DENİZLİ, AĞUSTOS - 2024**

Bu tezde altı serbestlik dereceli endüstriyel seri robot kolu tasarımı ve imalatı yapılmıştır. İmalatı yapılan robot kolunun kontrolü için hareket algoritmaları oluşturulmuş ve bu algoritmalar Visual C#, WPF-HelixToolkit dilinde laboratuvarımızda geliştirilmiş programa entegre edilmiştir. Kontrol tarafında mikrokontrolör olarak STM firmasının geliştirdiği STM32F407VGT6 modeli kullanılmış olup hareket mekanizmasında adım motorlar tercih edilmiştir. Adım motorlara uygun sürücüler seçilmiş ve tüm bağlantıları yapılarak çalışır hale getirilmiştir. Robot üzerinde kullanılacak redüktörler tarafımızca tasarlanmış, dişli kısımları yurtdışından sipariş edilerek getirilmiş, gerekli diğer parçalarının imalatı yaptırılmış ve redüktörlerin montajı tamamlanmıştır. Bu redüktörler, tasarımı ve imalatı bizim tarafımızdan yapılan robot üzerinde kullanılmıştır.

Tezimiz için geliştirilen yazılımın amacı öncelikle offline olarak robotun yapacağı işe göre bütün değerlerinin hesaplanması ve ekranda simüle edilmesidir. Ayrıca hesaplanan robot açıları ve hız değerlerinin robotun alt-seviye kısmı olan mikroişlemci tarafına bu değerleri yollanması ile robotun gerçek çalışma ortamında görevini yapması sağlanmıştır. Geliştirdiğimiz yazılımda robot kolunu üç boyutlu olarak simüle ederek robotun hareket kabiliyetini geliştirmeyi ve boyutsal hataları mümkün olduğunca en aza indirmeyi hedefliyoruz. Bu simülasyon bize robotun gerçek ve simüle edilmiş performanslarını karşılaştırma fırsatı vermekte ve mekanik sorunlara ışık tutmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER: 6 Serbestlik Dereceli Serbestlik Endüstriyel Seri Robot Kolu, Seri Robot, Konstrüksiyon, Mafsal, Kinematik, WPF, Helixtoolkit

ABSTRACT

6 DEGREES OF FREEDOM INDUSTRIAL SERIAL ROBOT DESIGN AND MANUFACTURING

MSC THESIS

CANER İNCEOĞLU

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

MECHANICAL ENGINEERING

(SUPERVISOR: PROF. DR. ERDİNÇ ŞAHİN ÇONKUR)

DENİZLİ, AUGUST 2024

In this thesis, a six degree of freedom industrial series robot arm is designed and manufactured. Motion algorithms are created for the control of the robot arm, and these algorithms are integrated into the program developed in Visual C# (WPF-HelixToolkit language) in our laboratory. STM32F407VGT6 model developed by STM company is used as a microcontroller on the control side, and stepper motors are preferred in the movement mechanism. Drives suitable for stepper motors are selected and operationalized by making all connections. We design the gearboxes to be used on the robot. The gear parts are ordered from abroad while other necessary parts are manufactured and the assembly is completed. These gearboxes are used on the robot designed and manufactured by us.

The main objective of the software developed for our thesis is to calculate all the values of the robot according to the work to be done offline and simulate them on the screen. Furthermore, the calculated robot angles and speed values are sent to the microprocessor side of the robot, which is the lower-level part of the robot, so that the robot can perform its task in the real environment. By simulating the robot arm in three dimensions in our developed software, we aim to improve the mobility of the robot and to minimize the dimensional errors as much as possible. This simulation gives us the opportunity to compare the real and simulated performances of the robot, which sheds light on mechanical problems.

KEYWORDS: 6 DOF Industrial Series Robot Arm, Serial Robot, Construction, Articulation, Kinematic, WPF, Helixtoolkit

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
ÖNSÖZ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Robot Kolları.....	2
1.2 Robot Kolu Türleri	3
1.3 Serbestlik Derecesi	6
1.4 Robot Kolunun Endüstrideki Faydaları.....	7
1.5 Robot Kolunun Çalışma Alanı	7
2. ROBOT KOLUNUN TASARIMI VE İMALATI	8
2.1 Robotun Sınıfının Belirlenmesi.....	8
2.2 Robotun Ön Tasarımı ve Çalışmalar	11
2.3 Robotun Bileşenlerinin İmalata Yönelik Tasarımı.....	13
2.3.1 Tedarik Edilecek Ürünlerin Seçimi.....	13
2.3.2 Redüktörlerin Tasarımı	18
2.3.1 Robotun Ana Bileşenlerinin Tasarımı.....	33
2.4 Robotun Bileşenlerinin İmalatı ve Montajı	67
3. ROBOT KOLUNUN KONTROLÜ VE YAZILIMI	79
3.1 Robotun Kinematiği	79
3.2 Robotun Üst Seviye Yazılımı.....	90
3.3 Robotun Alt Seviye Yazılımı ve Elektroniği	93
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	98
5. KAYNAKLAR	99
6. EKLER	101
EK A Oluşturulan Modelin Solidworks Programında Yapılan Analizi	101
7. ÖZGEÇMİŞ	102

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1: Robotların yapılarına göre sınıfları.	5
Şekil 2.1: Seri robot.	8
Şekil 2.2: Paralel robot.	9
Şekil 2.3: Dönel robot ve çalışma alanı.	10
Şekil 2.4: Ön tasarımda baz alınacak katı model.	11
Şekil 2.5: Nema 17 step motor modelleri ve ölçüleri.	14
Şekil 2.6: Nema 23 step motor modelleri ve ölçüler.	15
Şekil 2.7: Hassas sonsuz dişli seçimi.	16
Şekil 2.8: AXK6590 iğneli rulman.	17
Şekil 2.9: 629-2Z/C3 rulman.	17
Şekil 2.10: 625-2RS1 rulman.	17
Şekil 2.11: Küçük redüktör gövdesi.	18
Şekil 2.12: Küçük redüktör kapağı.	19
Şekil 2.13: Küçük redüktör mili2.	20
Şekil 2.14: Kama.	21
Şekil 2.15: Küçük redüktör iç mili.	22
Şekil 2.16: Küçük redüktör plakası.	23
Şekil 2.17: Nema 17 step motor dişlisi.	24
Şekil 2.18: Nema 17 motor redüktör grubu.	25
Şekil 2.19: Redüktör gövdesi.	26
Şekil 2.20: Büyük redüktör mili.	27
Şekil 2.21: Kama2.	28
Şekil 2.22: Büyük redüktör mili2.	29
Şekil 2.23: Redüktör kapağı.	30
Şekil 2.24: Büyük redüktör.	31
Şekil 2.25: Nema 23 motor redüktör grubu.	32
Şekil 2.26: Alt sabitleyici.	33
Şekil 2.27: Birinci uzuv.	34
Şekil 2.28: İkinci uzuv.	35
Şekil 2.29: Üçüncü uzuv.	36
Şekil 2.30: Dördüncü uzuv.	37
Şekil 2.31: Beşinci uzuv.	38
Şekil 2.32: Silindirik şase.	39
Şekil 2.33: Silindirik şase kapağı.	40
Şekil 2.34: 80x80 köşebent.	41
Şekil 2.35: Uzuv1 orta mil parçası.	42
Şekil 2.36: Uzuv1 yan destek1.	43
Şekil 2.37: Birinci uzuv perspektif görünüş.	44
Şekil 2.38: Birinci uzuv montajı.	45
Şekil 2.39: İkinci uzuv perspektif görünüşü.	46
Şekil 2.40: Uzuv2 yan destek1 parça teknik resmi.	47
Şekil 2.41: Uzuv2 alt ara bağlantı parça teknik resmi.	48
Şekil 2.42: Uzuv2 üst ara bağlantı parçası teknik resmi.	49
Şekil 2.43: İkinci uzuv montaj resmi.	50
Şekil 2.44: Üçüncü uzuv perspektif görünüş.	51

Şekil 2.45: Üçüncü uzuv montaj resmi.....	52
Şekil 2.46: Uzuv3 mil yataklaması parça teknik resmi.	53
Şekil 2.47: Uzuv3 orta ara destek parça teknik resmi.	54
Şekil 2.48: Uzuv3 yan destek1 parça teknik resmi.....	55
Şekil 2.49: Uzuv3 yan destek2 parça teknik resmi.....	56
Şekil 2.50: Dördüncü uzuv perspektif görünüş.	57
Şekil 2.51: Uzuv4 montaj resmi.	58
Şekil 2.52: Uzuv4 yan destek1 parça teknik resmi.....	59
Şekil 2.53: Uzuv4 yan destek2 parça teknik resmi.....	60
Şekil 2.54: Uzuv4 ara destek parça teknik resmi.....	61
Şekil 2.55: Beşinci uzuv perspektif görünüş.	62
Şekil 2.56: Uzuv5 montaj resmi.	63
Şekil 2.57: Uzuv5 yan destek1 parça teknik resmi.....	64
Şekil 2.58: Uzuv5 yan destek2 parça teknik resmi.....	65
Şekil 2.59: Uzuv5 ara destek parça teknik resmi.....	66
Şekil 2.60: Silindirik şase-1.....	67
Şekil 2.61: Silindirik şase-2.....	67
Şekil 2.62: Silindirik şase kapağı-1.	68
Şekil 2.63: Silindirik şase kapağı-2.	68
Şekil 2.64: Birinci uzuv orta destek parçası.	69
Şekil 2.65: Birinci uzuv yan destek parçası.....	69
Şekil 2.66: İkinci uzuv montaj-1.	70
Şekil 2.67: İkinci uzuv montaj-2.	71
Şekil 2.68: Redüktör.	72
Şekil 2.69: Redüktör plakası.....	72
Şekil 2.70: Redüktör plakası montajlı hali.	73
Şekil 2.71: Üçüncü uzuv orta destek parçası.	73
Şekil 2.72: Üçüncü uzuv mil yataklama parçası.....	74
Şekil 2.73: Üçüncü uzuv montaj.....	74
Şekil 2.74: Dördüncü uzuv yan destek parçası.....	75
Şekil 2.75: Dördüncü uzuv yan destek2 parçası.....	75
Şekil 2.76: Beşinci uzuv montaj-1.....	76
Şekil 2.77: Beşinci uzuv montaj-2.....	76
Şekil 2.78: Beşinci uzuv montaj-3.....	77
Şekil 2.79: Robot kolunun son hali.	78
Şekil 3.1: 4x4 Homojen transformasyon matrisinin şematik gösterimi.	80
Şekil 3.2: C# 4x4 Homojen transformasyon matris tanımı.	80
Şekil 3.3: Koordinat eksen takımlarının uzuvlara tutturulması.	81
Şekil 3.4: 6 eksen robot kolun koordinat eksen takımlarının gösterimi.	82
Şekil 3.5: Robotun uzuvlarının koordinat sistemlerinin gösterimi.....	83
Şekil 3.6: Robotun uzuvlarının koordinat sistemlerinin gerçek robot şekli üzerinde gösterimi.	84
Şekil 3.7: Düz ve ters kinematik analiz.	84
Şekil 3.8: Robotun düz kinematik programlama kodu.	85
Şekil 3.9: Robotun ters kinematik programlama kodu birinci kısım.....	86
Şekil 3.10: Robotun ters kinematik programlama kodu ikinci kısım.	87
Şekil 3.11: Robotun ters kinematik programlama kodu üçüncü kısım.....	87
Şekil 3.12: Robotun ters kinematik programlama kodu dördüncü kısım.	88
Şekil 3.13: Robotun ters kinematik programlama kodu beşinci kısım.....	88

Şekil 3.14: Robotun ters kinematik hesaplamaları için uzuv değişkenlerinin tanımlanması.	89
Şekil 3.15: Robotun ters kinematik hesaplamaları için uzuv ilk üç uzuv değişkenlerinin detaylarının gösterilmesi.....	89
Şekil 3.16: Robotun yazılımının arayüzünün görünümü.	90
Şekil 3.17: Robotun yazılımının arayüzünün görülen robotun dikdörtgen çubuklarıyla gösterilmiş ve koordinat eksenleri eklenmiş hali.	92
Şekil 3.18: Robotun yazılımının ara yüzünün görülen robotun koordinat eksenleri eklenmiş hali.	92
Şekil 3.19: STM32F4 discovery board.	94
Şekil 3.20: Robotun kontrol sistemi.	95
Şekil 3.21: Robotun kontrol ünitesi.	96
Şekil 3.22: Step motor sürücü bağlantıları.	97

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 3.1: 6 eksen robot kolun her bir bağlantı noktasına gelen DH parametre değerleri.....	82
Tablo 3.2: Seçilen Nema 17 ve Nema 23 step motorların teknik özellikleri.....	95

SEMBOL LİSTESİ

a_{i-1}	: Uzunluk
BAP	: Bilimsel Araştırma Projesi
DC	: Doğru Akım
DH	: Denavit Hartenberg
DOF	: Serbestlik Derecesi
d_i	: Uzunluk
PPP	: Prismatic Prismatic Prismatic (Prizmatik-Prizmatik-Prizmatik)
RPP	: Revolute Prismatic Prismatic (Döner-Prizmatik-Prizmatik)
RRP	: Revolute Revolute Prismatic (Döner-Dönel-Prizmatik)
SCARA	: Selective Compliant Articulated Robot for Assembly (Seçilebilir Esneklikli Montaj Robot Kolu)
SRK	: Sıfır Referans Konum
TPS	: Tam ve Parametrik olarak Sürekli
α_{i-1}	: Uzunluk Bükülme Açısı
θ_i	: Eklem Açısı

ÖNSÖZ

Tez konusunun belirlenmesinde tezin son aşamasına gelene kadar bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen akademik kariyerime başladığım günden beri tecrübesiyle bana ışık tutan, olumlu ve yapıcı eleştirileriyle beni yönlendiren değerli hocam Prof. Dr. Erdinç Şahin ÇONKUR'a, Makina Yüksek Mühendisi iş ve yol arkadaşım Emrah ERDOĞAN'a, hayatım boyunca her konuda olduğu gibi kariyerim noktasında da en büyük destekçilerim olan eşim Miray İNCEOĞLU, annem Ayşe İNCEOĞLU ve babam Mustafa İNCEOĞLU'na, ayrıca tezin tamamlanması noktasındaki finansal ve lojistik destekleri için Mihrican ZENGİN ve Kitabiyeye ZENGİN'e teşekkür ederim. Son olarak bu tezin, yazım sürecinde olanca ilgisi ve merakı ile tüm süreci izleyen canım oğlum Aybars Can İNCEOĞLU'nun ve bu tezi okuyan herkesin gelecek eğitim hayatlarına katkı sunmasını temenni ederim.

1. GİRİŞ

İnsanlık, doğada var olduğu en eski çağlardan beri alet yapımı ile uğraşmaktadır, bu özelliği insanoğlunu diğer canlılardan ayırmakta ve onu ön plana çıkarmaktadır. Alet yapma çabası insanların yaşam şeklini etkilemiş, daha verimli tarım yapmaya başlamalarına akabinde ticaret yapmalarına sebep olmuş ve bunların sonucu olarak iş bölümü yapabilme yeteneklerini arttırmıştır. Aletlerin üretilmesi insanların temel ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli olan zamanı da kısaltmış, bu durum onların başka amaçlara yönelmelerini sağlamıştır. Böylece kültür de bilim de ve teknolojik gelişmelerde çok hızlı yol alınmıştır.

Şehirlerde karşımıza çıkan ve modern yaşamın parçaları olarak nitelendirdiğimiz, kitle ulaşımı, iletişim ve bilgi ağı, yüksek standartlarda yaşama olanağı sağlayan konutlar, tüm bunları destekleyen bilimsel ve teknolojik gelişmeler, alet yapımının ortaya çıkması sayesinde olmuştur. Robotik ise alet yapımının en gelişmiş seviyesini temsil etmektedir. Gelecek tarihlerde insanın bedensel gücünü harcayarak sarf ettiği emeğin yerini komple endüstriyel otomasyon, robotlar ve makinaların fiziksel emeği alması beklenmektedir. Bu duruma rağmen insan emeği komple ortadan kalmayacak daha nitelikli eğitim alacak olan insanoğlu kendisine daha çok yakışan uğraşlar içerisinde olacaktır. Hatta gelişen dünyada, robotik bilimi o kadar hızlı ilerletmekte ve aynı zamanda yaygınlaşmaktadır ki temel düzeyde veya hobi amaçlı robotik ürünler üretebilme yaşı oldukça aşağılara düşmüştür.

Mekanik, elektronik, bilgisayar bilimlerinin ve mekatronik disiplinin gelişmesi sayesinde de bileşen temelli robotik yapıları yaygınlaşmaktadır. Böylece yakın zamanda küçük yaş grupları hobi amaçlı robotlar ile çalışılabilmenin de ötesine geçerek endüstriyel bir robotun üzerinde çalışabilir hale geleceklerdir. Hatta yine yakın zamanda, endüstriyel robotları kısmen üretebilmek ya da profesyonelce kullanabilmek bile bu konuda uzmanlaşmış kişilerin uğraşı olmaktan çıkmaya başlayacaktır.

Bu yolda öğrencilerin gelişimi için eğitim amaçlı endüstriyel robot prototipleri üretilmeli, öğrencilerin yerli ve kısıtlamasız ara yüze sahip açık kaynak kodlu yazılımlara erişiminin kolaylaştırılması gerekmektedir. Hatta bu yazılımlar üzerine

kısmı eklentiler geliştirerek fiziki robotlar üzerinde denemeler yapabilmelilerdir. Bu nedenle bu tez eğitim amaçlı bir robot kolunun tasarım ve imalat sürecini, kendini sektörde ispatlamış firmaların kullandığı benzeşim ara yüzüne benzer tarafımızca yazılmış bir kontrol algoritmasını ve imal ettiğimiz robotun ilgili ara yüz ile çalıştırılarak yapılan denemelerinden çıkan sonuçları içermektedir.

1.1 Robot Kolları

Robot kolları, insan koluna benzer işlevlere sahip, genellikle programlanabilen bir tür mekanik parçalardır; bu parçalar mekanizmanın toplamı olabileceği gibi daha karmaşık bir robotun parçası da olabilir. Böyle bir manipülatörün bağlantıları, dönme hareketine (mafsallı bir robotta olduğu gibi) veya öteleme (doğrusal) yer değiştirmeye izin veren eklemler şeklindedir. Manipülatörün bağlantıları kinematik bir zincir oluşturmakta ve bu kinematik zincirinin ucunda insan eline benzeyen bir uç efektör bulunmaktadır (Wikipedia 2024).

Endüstriyel robot kolları farklı birçok sektörün üretim aşamasında “vazgeçilmez mekanizmalar” konumuna yükselmiştir. İlk dönemlerde otomotiv endüstrisinde yalnızca belirli, temel görevler için kullanılmış olsalar da teknolojik gelişmeler bunların farklı endüstriyel alanlarda da kullanılmasına olanak kılmıştır.

Robot kolları, otomatik olarak hareketleri kontrol edilen, büyük hacimli alanlarda tekrar edilen mekanik görevleri yüksek hassasiyetle ve sabit bir şekilde gerçekleştirecek şekilde tasarlandıklarından, endüstride mükemmele yakın işçilik ve üretim hassasiyeti sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca bu robotlar bağımsız olarak çalışabilecekleri gibi insanlardan oluşan ekiplerle veya diğer robotlarla iş birliği içinde çalışabilme yeteneğine de sahiptirler.

Endüstri robotları daha çok monoton ve tehlikeli işleri görmek için kullanılmaktadır. Robotlar ayrıca, etraflarındaki diğer araç gereçlerle uygun çalışabildiklerinde, uzun süreli çalışmalar için ideal görev makinalarını oluşturmaktadırlar (Kurtoğlu 2011).

1.2 Robot Kolu Türleri

Günümüzde endüstriyel robot kolları, eklemlerinin şekli ve tasarımına, hareket kabiliyetine ve gerçekleştirebilecekleri fonksiyonlara göre sınıflandırılmaktadır. En yaygın olan sınıflandırma yöntemi yapılarına göre sınıflandırmadır. Aşağıda robot kolları yapılarına göre sınıflandırılmış ve incelenmiştir.

- *Kartezyen Yapılı Robot Kolu:* Kartezyen robot iki veya üç eksenle oluşur ve adını René Descartes'ın Kartezyen koordinat sisteminden alır. Hareketlilik açısından üç eksen X-Y-Z yönünde hareket ettirilebilir. Ayrıca dönme hareketini sağlayan ek bir ekleme vardır. Bu robot vidalama, kaynaklama, sızdırmazlık ve muayene için kullanılır.
- *Silindirik Yapılı Robot Kolu:* Bu robot, bir döner ekleme ve iki prizmatik eklemden oluştuğu için silindirik hareketler gerçekleştirebilmektedir. Birlikte merkezi eksen etrafında dönmeye izin verirler. Genellikle montaj ve kaynak işlerinde kullanılır.
- *Mafsallı Tip Robot Kolu:* Bu, kendi etrafında dönen en az üç ekleme olan ve karmaşık görevleri yerine getirmesine olanak tanıyan bir robot türüdür. Daha fazla hassasiyetle dönebilmektedir ve bu nedenle sıklıkla kaynak ve boyama için kullanılır. Mafsallı otomat otomotiv endüstrisinde çok yaygındır.
- *SCARA Tip Robot Kolu:* SCARA robotu, X-Y-Z hareketlerine ve Z eksenini etrafında dönüşe sahip 4 eksene sahip olduğundan çok yönlülüğe sahiptir. Yüksek hızda çalıştığı için araç üretiminden ilaç dağıtımına kadar pek çok farklı sektörde kullanılmaktadır.
- *Küresel/Polar Yapılı Robot Kolu:* İlk modern endüstriyel robot olarak kabul edilen bu robot, basit bir tasarıma sahiptir ve silindirik robotlara çok benzemektedir; yalnızca dikey doğrusal eksenin yerini ek bir döner eksen almıştır. Bu robot dikey olarak dönebilir ve basit görevler için tasarlanmıştır.
- *Paralel/Üçgen Yapılı Robot Kolu:* Paralel robot, yüksek hızlara ulaşmasını sağlayan benzersiz bir tasarıma sahiptir. Paralelkenarla yapılandırılmış, merkezi bir tabana bağlanan birkaç hareketli kolla karakterize edilir. Montaj veya paketleme gibi düşük taşıma kapasiteli uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Ön koluna ve bileğine karşılık gelen üç konumsal eklemin altında

inşa edilmiştir. Sağlamlığı sayesinde operatörlerle iş birliği içinde çalışmayı iyi bir tamamlayıcıdır.



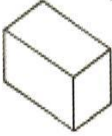

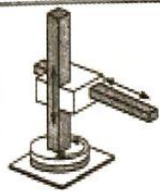


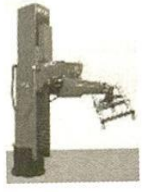
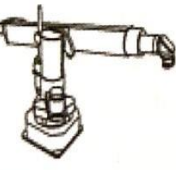



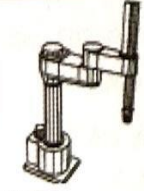
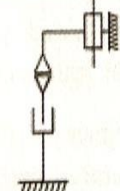
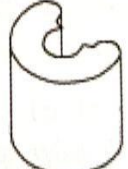






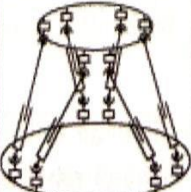

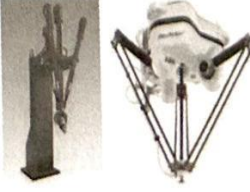
- *Antropomorfik Robot*: İnsan eline benzeyen, yani bağımsız parmak ve başparmaklara sahip olan bir robottur.

Bizim tezimizde küresel yapıları bir robot kol tasarlanacak olup çalışmamızın temel amacı; çok kuvvet gerektirmeyen taşıma işlemleri hakkında deneyler gerçekleştirerek mekanik, yazılım, benzeşim programı ve elektronik sistemler üzerinde incelemeler yapabilmektir. Bilgisayar ortamında simüle ettiğimiz robotun reel ortamdaki davranışlarını gözlemlemek ve oluşması muhtemel hatalar üzerinden yorumlar çıkararak revizyonları gerçekleştirmekte temel hedefler arasındadır.

2010 yılından sonra düşük maliyetli robotik kolların bulunabilirliği önemli ölçüde artmıştır. Bu tür robotik kollar çoğunlukla hobi veya eğitim amaçlı cihazlar olarak pazarlansa da otomatik numune alma cihazı olarak kullanımları gibi laboratuvar otomasyonunda uygulamalar önerilmiştir. Aşağıdaki tabloda yapılarına göre robot kolları türleri, hareket eksenleri ve çalışma alanları detaylı şekilde gösterilmiştir.

Robotların Yapılarına Göre Sınıflara Ayrılması

Mekanik yapılarına göre robotlar aşağıdaki sınıflara ayrılırlar:

ROBOT	Hareket eksenleri		
	Mekanik yapı	Çalışma uzayı	
 Kartezyen (gantry) r			
 Silindirik			
 Küresel			
 SCARA			
 Artiküle			
 Paralel			

Şekil 1.1: Robotların yapılarına göre sınıfları (Kurtoglu 2011).

1.3 Serbestlik Derecesi

Seri bir robot kolu, motorlar tarafından çalıştırılan eklemler tarafından hareket ettirilen bir bağlantı zinciri olarak tanımlanabilir. Zincirin ucuna robot eli olarak da adlandırılan bir uç efektör de takılabilir. Diğer robotik mekanizmalar gibi robot kolları da genellikle serbestlik derecesi sayısına göre sınıflandırılır. Genellikle serbestlik derecesinin sayısı robot kolunun bağlantılarını hareket ettiren eklemlerin sayısına eşittir. Robot elinin üç boyutlu uzayda keyfi konuma ve yönelime ulaşabilmesi için en az altı serbestlik derecesi gereklidir. Ek serbestlik dereceleri, robot elini aynı pozda tutarken koldaki bazı bağlantıların konfigürasyonunu (örneğin dirsek yukarı/aşağı) değiştirmeye olanak tanır. Ters kinematik, üç boyutlu uzayda robot elinin istenen duruşu göz önüne alındığında, bir kolun konfigürasyonunu tipik olarak eklem açıları cinsinden hesaplamaya yönelik matematiksel bir işlemdir (Çamoğlu 2015).

Yukarıda açıklanan robot kolunun uç efektörünün, üç boyutlu uzayda keyfi konuma ve yönelime ulaşabilmesi için en az altı serbestlik derecesi olması gerekliliğinden dolayı BAP proje ile desteklenen dört serbestlik dereceli robot kolumuzdan sonra altı serbestlik dereceli bir robot kolu daha imal etme ve yazdığımız algoritmayı bu robot üzerinde de deneme fikri oluşmuştur.

Seri bir robot kolu, motorlar tarafından çalıştırılan eklemler tarafından hareket ettirilen bir bağlantı zinciri olarak tanımlanabilir. Zincirin ucuna robot eli olarak da adlandırılan bir uç efektör de takılabilir. Diğer robotik mekanizmalar gibi robot kolları da genellikle serbestlik derecesi sayısına göre sınıflandırılır. Genellikle serbestlik derecesinin sayısı robot kolunun bağlantılarını hareket ettiren eklemlerin sayısına eşittir. Üç boyutlu uzayda herhangi bir noktaya herhangi bir yönelimle ulaşmak için altı serbestlik derecesi yeterlidir. Buna karşın, serbestlik derecesi altıdan fazla olan robotlarda artıklık (redundancy) durumu oluşur (Birgül ve Küçük 2015). Eksenlerin ve onları oluşturan mafsalların hareket yeteneğine serbestlik derecesi (DOF – Degrees Of Freedom) denir (Çamoğlu 2015).

Yukarıda açıklanan robot kolunun uç efektörünün, üç boyutlu uzayda keyfi konuma ve yönelime ulaşabilmesi için en az altı serbestlik derecesi olması gerekliliğinden dolayı BAP proje ile desteklenen dört serbestlik dereceli robot kolumuzdan sonra altı serbestlik dereceli bir robot kolu daha imal etme ve yazdığımız algoritmayı bu robot üzerinde de deneme fikri oluşmuştur.

1.4 Robot Kolunun Endüstrideki Faydaları

Farklı robot kol türleri, yalnızca üretim verimliliğini artırmakla kalmayıp aynı zamanda vasıflı işgücü ihtiyacını da azaltarak endüstriyel çalışmalara birçok fayda sağlar.

Otomatik sistemler şirketlerin üretim sırasındaki her türlü güvenliğini artırarak işçilerin daha az tehlikeli bir ortamda çalışmasına yardımcı olur. Tekrarlayan mekanizmaları sayesinde üretim hattının gün boyu bakıma alınmasına olanak sağlar, çünkü bu aletler insanlardan farklı olarak yorulmazlar.

Öte yandan robot kollarının bileşenleri daha tutarlı ve hassas görevlere olanak sağlarlar. Bu, otomotiv endüstrisi gibi sektörlerde çok önemli bir avantajdır çünkü zayıf hassasiyet, parçaların olası korozyonuna veya güvenlik sistemlerinde sorunlara yol açabilir.

1.5 Robot Kolunun Çalışma Alanı

Bir robotun bitiş efektörünün erişilebilir çalışma alanı, erişilebilir çerçevelerin oluşturduğu çalışma uzayıdır. Çalışma alanındaki elverişsiz alanlar robotun o noktada tam tanjant alanına yayılan hızları üretebildiği erişilebilir çalışma alanının noktalarından oluşur. Başka bir deyişle üzerinde çalışacağı nesneyi üç serbestlik derecesine çevirebilir ve nesneyi üç eksendeki dönme özgürlüğü ile döndürebilir.

Robot tarafından tutulan nesnenin eklem uzayı ve kartezyen uzay koordinatları arasındaki ilişkiler genel olarak çok değerlidir. Seri robot kol tarafından aynı pozisyona, her biri farklı eklem koordinatları kümesiyle farklı şekillerde ulaşılabilir. Dolayısıyla robotun ulaşılabilir çalışma alanı, kinematik ilişkilerin yerel olarak bire bir olduğu konfigürasyonlara bölünmüştür. Çalışma uzayı robotun içinde hareket ettiği üç boyutlu uzayı temsil ederken, konfigürasyon uzayı robotun mümkün olan bütün konfigürasyonlarını temsil eder. Robotun çalışma uzayındaki yörünge planlaması konfigürasyon uzayında bir noktanın yörünge planlamasına indirgenir (Amato ve Wu 1996).

2. ROBOT KOLUNUN TASARIMI VE İMALATI

2.1 Robotun Sınıfının Belirlenmesi

Mekanik tasarımının oluşturulabilmesi için ilk olarak çalışmamızda kullanılacak robot kolunun türünün belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle ilk olarak robotların sınıflandırılma türleri incelenmiştir. Robotların temel olarak Şekil 2.1 ve Şekil 2.2’de görüldüğü gibi seri ve paralel robotlar olarak iki temel gruba ayrıldığı görülmüştür. Seri robotlar bir dizi eklemler ve bu eklemleri birbirine bağlayan uzuvlardan oluşur. Seri robotlar geniş bir çalışma uzayına ve az sayıda mekanik parçaya sahiptir.



Şekil 2.1: Seri robot.

Paralel robotlar ise ana çerçeve ile uç işlevcisi arasında birden fazla paralel uzuvlardan bir araya gelmiştir. Paralel robotlar seri robotlara göre çok sağlam bir mekanik yapıya sahiptir. Bu iki robot türü taşıyacakları kütlelerin mekanik yapılarının kütlelerine oranı bakımından karşılaştırıldıklarında bu oran seri robotlarda çok küçük, paralel robotlarda ise çok büyüktür. Kısacası seri robotlar küçük kütleli işlerde, paralel robotlar ise büyük kütleli işlerde kullanılır.



Şekil 2.2: Paralel robot.

Biz çalışmamızda imal edeceğimiz robotu genel olarak geliştireceğimiz programı doğruluk kontrolü amaçlı kullanacağımız için çok küçük kütleler üzerinde çalışacağımız varsayılmıştır. Ayrıca mekanik tasarımın hem bütçemiz hem de imalat şartları açısından çıkacak zorluklarının azaltılması amacı ile robotun seri robot olması kararlaştırılmıştır.

Robotlar bu temel sınıflandırma dışında serbestlik derecelerine, eklemlerin döndürülmesinde kullanılan güç kaynağına ve kontrol yöntemlerine göre de sınıflandırılabilirler.

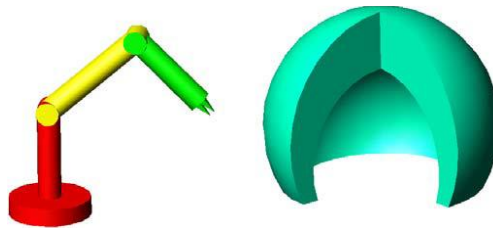
Tüm bu sınıflandırma türleri içerisinde robotumuzun sınıfına karar verebilmek adına, daha önce çalıştığımız konular ve bizim tezimize temel oluşturan yazılımsal ve fiziki alt yapı baz alınmıştır. Bu durumda robotumuzun kullanacağı tahrik elemanı elektrik motoru olacak, kontrol yöntemi ise sürekli yörünge kontrolü olacaktır. Daha önceki çalışmalarımızın bir kısmı servo motor kullanılarak yapılmasına rağmen hem bütçeden dolayı hem de motor türü değişikliğinde oluşabilecek öngörülemeyen problemlerin tespiti açısından altı eksenli robot kolunda eyleyicinin step motor olarak tercih edilmesi kararlaştırılmıştır.

Serbestlik derecesine göre sınıflandırma ise mekanik tasarımın geliştirilmesi için en belirleyici etkidir. Çünkü serbestlik derecesi bize robotun uzuv sayısını, gerekli elektrik motoru sayısını belirleyecektir. Tüm bu veriler netleştiğinde motorların uzuvları uzaktan mı tahrik edeceği ya da direk olarak mı tahrik edeceğine karar verilir. Çünkü bir uzvun diğer uzvu direk tahrik etmesi için motorun uzuv üzerine yerleştirilmesi gerekecek, bu durumda uzvun uç kısmında ekstra bir yük oluşacak ve bir önceki motorun bu yükü kaldıracak torka sahip olup olmayacağı kontrol edilecektir. Bu noktada biz daha önceki deneyimlerimize de dayanarak motorun tahrik gücünün kendi ağırlığına yakın bir yükü direk kaldıramayacağını zaten biliyoruz. Bu

nedenle redüksiyon yapma gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Motorları direk tahrik edeceksek redüksiyonu redüktörler ile yapmamız gerekmektedir. Pozisyon kontrolü yapan mekanizmalarda hassasiyet önem taşıdığı için redüktörlerin hassas ve boşluksuz olması gerekliliği de unutulmamalıdır. Tezimizde kullanılacak redüktörler daha önce çalıştığımız BAP projesinden farklı olarak kendi tasarımı olarak tasarlanacak ve imal edilecektir. Buradaki redüktör içerisindeki sonsuz çark ve sonsuz vida mili hassas işlem gerektirdiği için yurt dışından tedarik edilecektir. Robot kolunun uzunlarındaki ağırlığı arttırmamak adına Nema 17 ve Nema 23 flanşa sahip step motor tiplerinden düşük torka sahip olan motorlar seçileceği için redüksiyon oranı 1/30 olarak tercih edilecektir. Bu nedenle sonsuz çark ve sonsuz vida mili için yurt dışından yapılan tedarik çalışmalarında bu orana sahip bir ürün araştırılmış direkt bulunamayınca yurt dışında özel imal ettirilip tedarik edilmiştir.

Endüstride kullanılan robotlar genellikle altı serbestlik derecesine sahip robotlardır. Robotlar serbestlik derecesine göre sınıflandırılırken ilk üç uzvun ekleme özelliğine bakılır. Örneğin ilk üç uzvun prizmatik ekleme sahipse bu robota kartezyen (Prismatic Prismatic Prismatic – PPP), ilk uzvun döner ikinci ve üçüncü uzvun prizmatik ekleme sahipse bu robota silindirik (Revolute Prismatic Prismatic – RPP), ilk iki uzvun döner üçüncü uzvun prizmatik ekleme sahip ve bütün eklemler birbirine paralelse bu robota SCARA (RRP), ilk iki uzvun döner ve üçüncü uzvun prizmatik ekleme sahipse bu robota küresel robot denir. Ayrıca ilk üç uzvun döner ekleme sahipse bu robota da dönele robot denir. Görüldüğü üzere robotların serbestlik derecesine göre sınıflandırılmasında eklemler türlerinden ilk uzvun oluşacak kurgu önemlidir.

Bu sınıflandırma türleri incelendiğinde tezimiz için en uygun olanın dönele robot (Şekil 2.3) olacağı görülmektedir. Bunun sebebi; çok esnek, hızlı olmalarının yanında tamamının dönele eklemlerden oluşması ve dönele eklemlere hareket aktarmamızın kolaylığıdır.

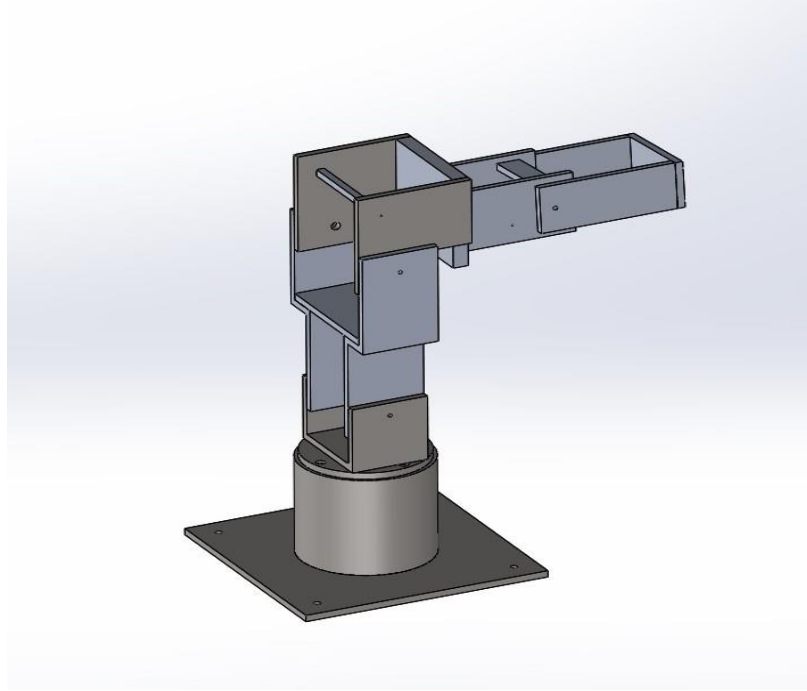


Şekil 2.3: Dönele robot ve çalışma alanı.

Bu noktadan sonraki tüm tasarım süreci kararlaştırıldığı gibi dönel robot olarak tasarlanacak, tahrik elemanı olarak DC step motorlar kullanılacak ve sürekli yörünge kontrollü olacaktır.

2.2 Robotun Ön Tasarımı ve Çalışmalar

Robotun ön tasarımı katı model referans alınarak yapılacaktır. Robot ön tasarımında katı modelin referans alınmasının sebebi ileride açıklanacak kinematik denklemlerin ön hesaplarının öngördüğümüz uzuv ölçüler üzerinden hesaplanmış olmasıdır.



Şekil 2.4: Ön tasarımda baz alınacak katı model.

Ön tasarım olarak alt tutucu tablanın silindirik şaseye yataklık yapması ve şasenin devrilmemesi için tablaya montajlanabilir olması düşünülmüştür. Ayrıca alt tabla üzerine deliklerle tabanında başka bir ortama sabitlenmesi için yuvalar oluşturulacaktır.

Silindirik şase üzerine motor ve redüktör grubu ile birinci uzvun tahriğinin bu motordan verilmesi böylelikle motor ve redüktör grubunun ağırlığının şase üzerinde bırakılarak sisteme yük olarak bindirilmesinin önüne geçilmesi hedeflenmiştir. Motor grubunun silindirik şasenin içinde bulunmasından dolayı şase üzerine hem motorların

havalandırılması hem de motor kablolarının dışarıya çıkarılması için geniş slot kanalı açılması düşünülmüştür. Ayrıca silindirik şasenin üst kapağının ayrı tasarlanması kararlaştırılmıştır. Bu kapak üzerinde, birinci uzvun silindir şase üzerinde 360 derece dönmesi hedeflendiğinden şase üzerine binecek eksenel yüklerin alınması için tercih edilecek rulmana yataklık yapılması düşünülmüştür.

Birinci uzuv ölçülerinde tasarlanacak, kendi üzerinde herhangi bir yük bulundurmuyacak ve hafif olması için gerekli önlemler alınacaktır. Ayrıca üzerinde birinci uzuv ve ikinci uzvun yataklanması için gerekli rulmanları barındıracaktır.

İkinci uzuv üzerinde kendi tahriğini sağlayacak motor redüktör grubunu barındıracak ve üçüncü uzva mesnet oluşturacak şekilde tasarlanacaktır. İkinci uzuv üzerinde üçüncü uzvun yataklanması için rulmanları barındıracaktır.

Üçüncü uzuv robotun hedeflenen çalışma uzayına tam anlamıyla erişebilmesi için ilk iki uzvun eksen yönüne göre 90° açı yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca üzerinde hem kendi tahriğini veren hem de bir sonraki uzva tahrik verecek olan eyleyiciyi barındıracaktır. Ayrıca üçüncü uzuv üzerine dördüncü uzvun yataklanması için gerekli rulmanları da bulunacaktır. Bu uzvun çift motor redüktör grubunu barındırmasından dolayı uzuv için yan destek parçalarının mukavemetin diğer uzuvlardan daha yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle üçüncü uzuv için malzeme çeşidi olarak kesinlikle çelik olması kararlaştırılmıştır.

Dördüncü uzvun kendi eksenini etrafında 360° dönecek şekilde tasarlanması kararlaştırılmıştır. Bu uzuv, bir üst uzvun motor redüktör grubunu ve yine aynı uzvun yataklanması için gerekli rulmanları üzerinde barındıracaktır.

Beşinci uzuv üzerinde ise altıncı uzva tahrik verecek motor ve redüktör grubu bulunacaktır.

Silindir şase üzerinde bulunacak motor ve birinci uzvun üzerinde bulunacak motorların sistemin diğer uzuvlar üzerinden bulunacak diğer motorlardan daha fazla yük taşıyacak olmasından dolayı daha fazla dönme momentine maruz kalacaktır. Bu nedenle bu motorların tutma torklarının daha yüksek olan motorlar arasından seçilmesi gerekmektedir. Bu noktada daha önce tamamladığımız BAP projesi tecrübelerimize dayanarak Nema 23 flanşa sahip 2.3 Nm tork a sahip bir step motor seçilmesi diğer motorlarında taşıyacağı yüklerin nispeten daha düşük olmasından dolayı Nema 17 flanşa sahip 0.6 Nm step motor olması kararlaştırılmıştır. İlgili tutma torklarının

ihtiyacımız olan torka redükte edilebilmesi için 1/30 çevrim oranına sahip redüktör gerekmektedir. Bu redüktörlerin robotumuzun mekanik sistemi içerisinde konumlandırılmasını düşündüğümüz pozisyonlara sığabilmesi ve maliyetin minimize edilebilmesi için redüktör gruplarımızın tarafımızca tasarlanması karar verilmiştir.

Bu redüktörlerin robot kolu üzerinde kullanılacağı için hassasiyet oranlarının oldukça yüksek olması gerekeceğinden ötürü, sonsuz dişli redüktör olarak tasarlanmasına karar verilmiştir. Gerekli hassasiyetteki ve istediğimiz ebatlardaki sonsuz dişli grubunun imalatının zor olmasından dolayı yurtdışından tedarik edilecektir. Sonsuz dişliyi muhafaza edecek gövde ve kapak tasarımını kendimiz tasarlayacağız. Motor ve redüktörlerin birbirine nasıl montajlanacağı üzerine tasarım geliştirilecek, ayrıca bu montajın sisteme tutturulması için farklı bir çalışma yapılacaktır. Redüktör ile uzvun tahrik alacağı noktalar arasındaki bağlantının 1/1 oranında kayış-dişli mekanizması olmasına ve hareketin bu şekilde aktarılmasına kararlaştırılmıştır.

2.3 Robotun Bileşenlerinin İmalata Yönelik Tasarımı

Robot bileşenlerinin imalat tasarımları yapılırken üst başlıkta açıkladığımız hususlar dikkate alınmıştır. Bu hususlar çerçevesinde mühendislik açısından geliştirmeler düşünülmüş ve alt sabitleme tablası silindirik şase ve üçüncü uzvun St37 çelik, geri kalan uzuvların ise 5083 alüminyum olarak tasarlanması kararlaştırılmıştır. Bu noktada tasarıma başlangıç ihtiva edecek dört temel ölçü gerekmektedir. Bunlar flanş nitelikleri Nema 17 ve Nema 23 olarak belirlenen motorların gerçek ebatları ve redüktörlerin son tasarım ölçüleridir.

Bu nedenle öncelikle motor tercihleri gibi yapılacak. Akabinde redüktör tasarımı gerçekleştirilecektir. Redüktör tasarımı içerisinde kullanılacak sonsuz dişli grubu yurt dışından tedarik edileceği için öncelikle alımı gerçekleştirilecektir.

2.3.1 Tedarik Edilecek Ürünlerin Seçimi

Uzuvlara tahrik verecek motorların step motor olarak kararlaştırılmış olmasından ve flanş özelliklerinin Nema 17 ve Nema 23 olarak belirlenmiş olmasından

dolayı ilgili motorların katalogları bulunmuş ve model seçimleri yapılmıştır (Şekil 2.5 ve Şekil 2.6 üzerinden motor tercihleri yapılmıştır.).

Datasheet of CM Series Stepper Motor

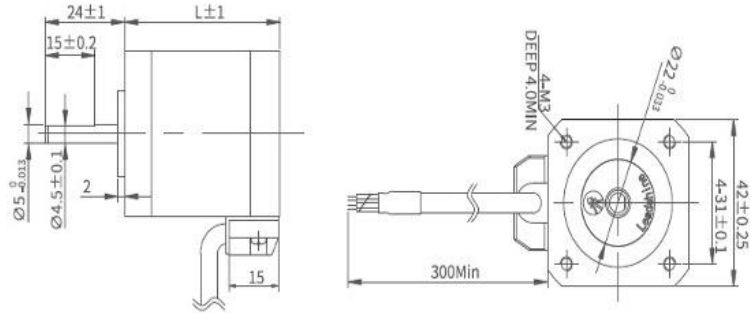
NEMA 17 (42mm)

Standard Model :



Model	Uzunluk (mm)	Tutma Torku (N.m)	Anma Akımı (A)	Direnç (Ω)	İndüktans (mH)	Atalet (Kg.cm ²)	Eşleşen Sürücüler
42CM02-1A	33	0.21	1	4.5	6.5	0.035	EM415S
42CM02		0.21	1.5	1.4	1.4	0.035	EM422S
42CM04-1A	40	0.4	1	4.0	7.9	0.054	EM415S
42CM04		0.4	1.5	2.3	4.3	0.054	EM422S
42CM06-1A	47	0.6	1.5	2.2	4.5	0.072	EM422S
42CM06		0.6	2.5	0.9	1.6	0.072	EM532MINI
42CM08-1A	60	0.8	1.5	3.0	6.9	0.110	EM422S
42CM08		0.8	2.5	1.0	2.4	0.110	EM532MINI

Birim: mm 1inch=25.4mm



Şekil 2.5: Nema 17 step motor modelleri ve ölçüleri (SEGA 2013).

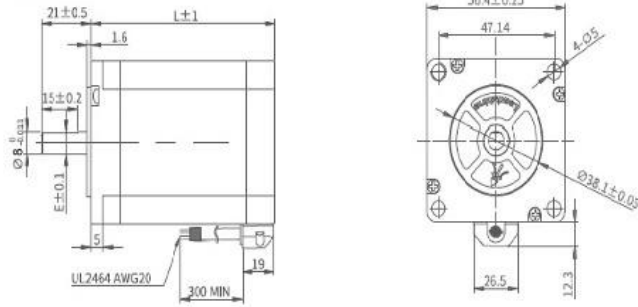
NEMA 23 (57mm)



Standard Model :

Model	Uzunluk (mm)	Tutma Torku (N.m)	Anma Akımı (A)	Direnç (Ω)	İndüktans (mH)	Sıkma Torku	Atalet (Kg.cm ²)	Eşleşen Sürücüler
57CM06	41	0.6	3	0.7	1.4	0.02	0.12	EM542S
57CM13-3A	55	1.3	3	0.8	2.8	0.04	0.3	EM542S
57CM13		1.3	4	0.42	1.6			EM542S/EM556S
57CM12X		1.2	4	0.6	1.4			EM542S/EM556S
57CM21X	76	2.1	4	0.6	2.4	0.07	0.48	EM542S/EM556S
57CM23-3A		2.1	3	1.1	4.2			EM542S
57CM23-4A	76	2.3	4	0.5	2	0.07	0.48	EM542S/EM556S
57CM23		2.3	5	0.38	1.75			EM556S
57CM22X	80	2.2	5	0.34	1.74	0.07	0.5	EM556S/EM870S
57CM26-4A	85	2.6	4	0.8	3.2	0.08	0.52	EM542S/EM556S
57CM26		2.6	5	0.44	2			EM556S/EM870S

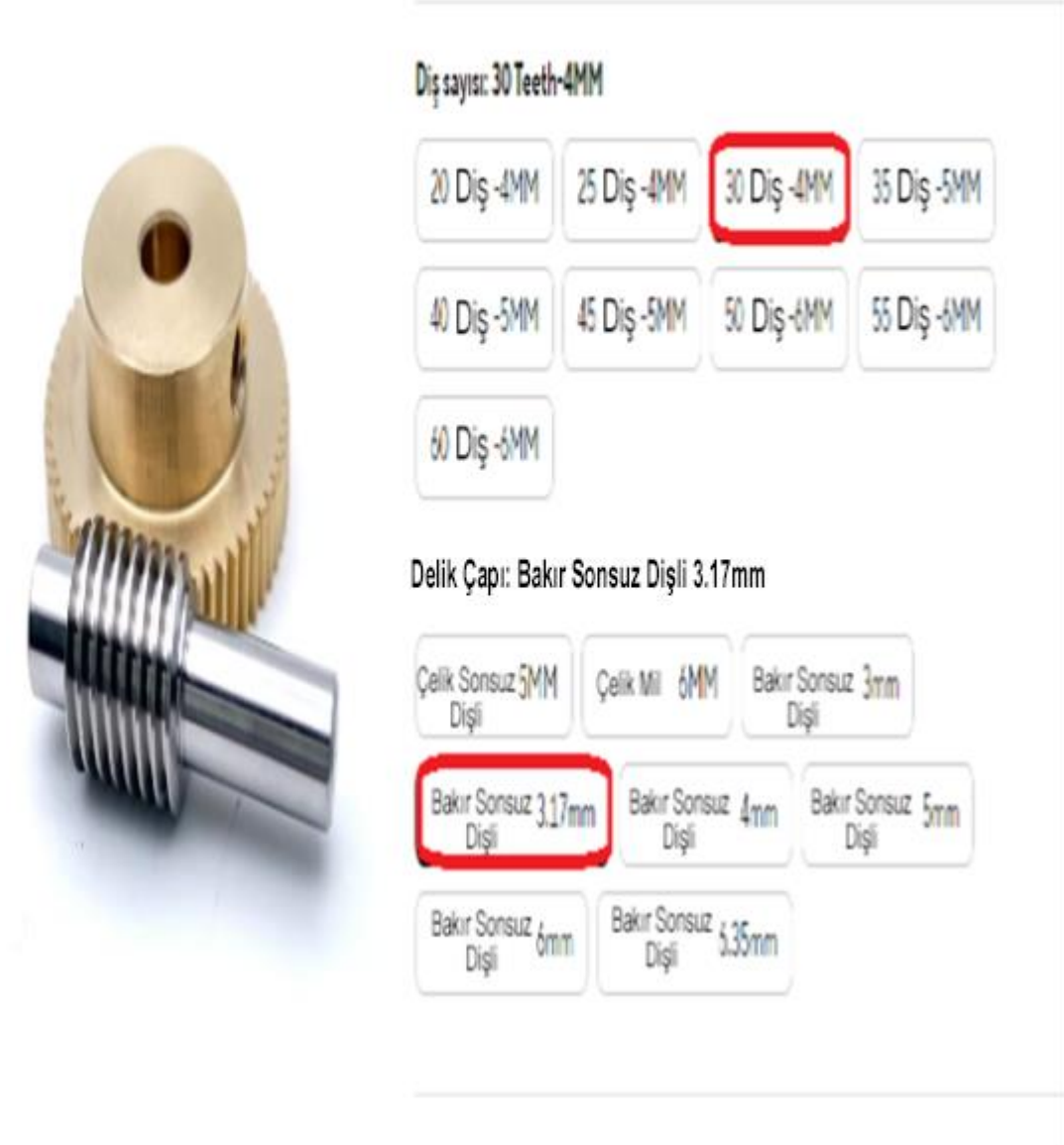
Birim: mm 1inch=25,4mm



Şekil 2.6: Nema 23 step motor modelleri ve ölçüler (SEGA 2023).

Akabinde redüktörlerin tasarlanabilmesi için sonsuz dişli gruplarının tedarik edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle araştırmalar yapılmış ve her redüktör için aşağıda resmi verilen sonsuz dişli grubunun alınmasına karar verilmiştir.

0.5M hassas sonsuz dişli redüktör çelik mil bakır solucan 20/25/30/35/40/45/50/55/60 diş redüktör parçaları



Şekil 2.7: Hassas sonsuz dişli seçimi (AliExpress 2024).

Şekil 2.7'den görüleceği üzere sonsuz dişli 4 mm ve 30 diş olarak seçilmiş ayrıca delik çapı 3,17 mm olarak tercih edilmiştir. Eş zamanlı olarak alımı gerçekleştirilmiştir.

Sistemde kullanılacak rulmanlar ise AKX6590 iğneli rulman, 629-2Z/C3 rulman ve 625-2RS1 rulmandır.



Diameter mm	Bearing Designation	mm			C _r Dynamic N		Oil rpm	Washer	Shaft Loc. Washer	Washer Shaft
		d	D	Dw	C _r Dynamic	C _r Static				
65	AXK6590	65	90	3	45800	254600	3000	A5 6590	G5 811 13	WS 811 13

Şekil 2.8: AXK6590 iğneli rulman (SFKa 2024).



SKF 629-2Z/C3 RULMAN 9*26*8

İç Çap (mm.)	:	9
Dış Çap (mm.)	:	26
Kalınlık (mm.)	:	8
Keçe / Kapak Tipi	:	Çift taraftan metal kapaklı (ZZ)
Radyal İç Boşluk / Ön Yükleme Sınıfı	:	CNH
Yağlayıcı	:	Gres
Dış Bilezik Segman Kanalı	:	Yok
Net Ağırlık (Kg.)	:	0.02

Şekil 2.9: 629-2Z/C3 rulman (SFKb 2024).



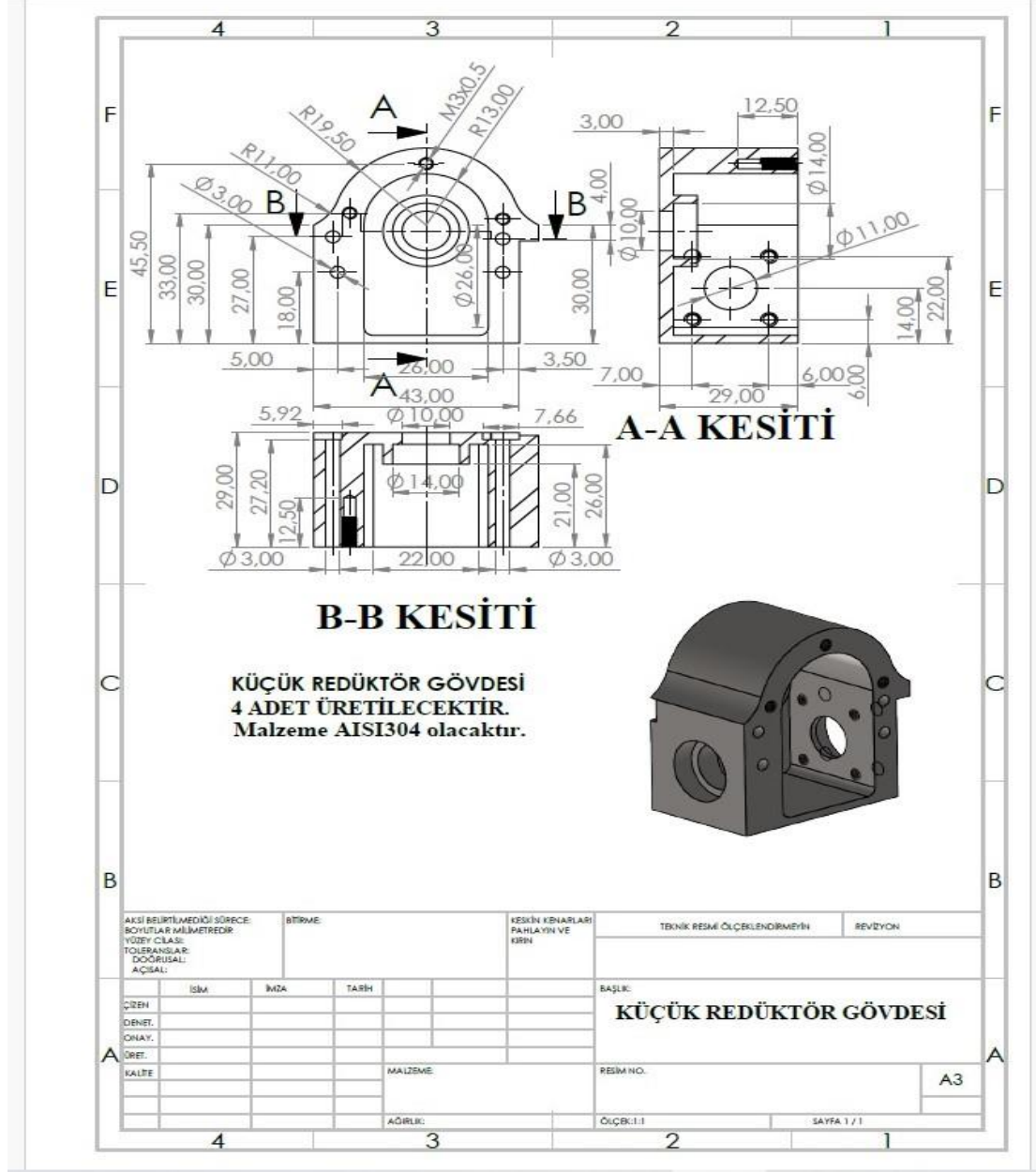
SKF 625-2RS1 RULMAN 5*16*5

İç Çap (mm.)	:	5
Dış Çap (mm.)	:	16
Kalınlık (mm.)	:	5
Keçe / Kapak Tipi	:	Çift taraftan plastik kapaklı
Radyal İç Boşluk / Ön Yükleme Sınıfı	:	CN
Yağlayıcı	:	Gres
Dış Bilezik Segman Kanalı	:	Yok
Net Ağırlık (Kg.)	:	0.004

Şekil 2.10: 625-2RS1 rulman (SFKc 2024).

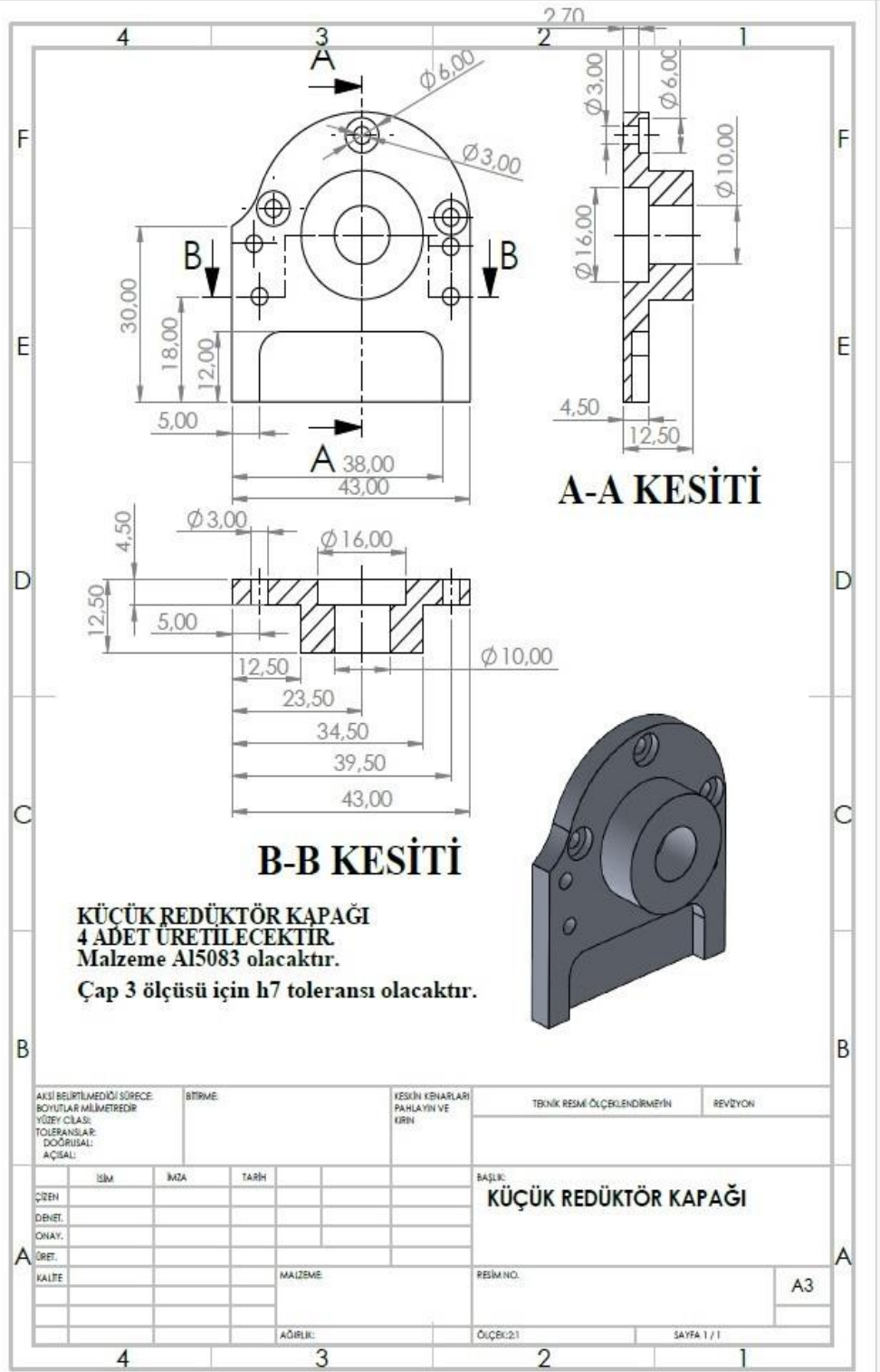
2.3.2 Redüktörlerin Tasarımı

İki tip redüktör tasarlanmıştır. Bir tanesi Nema 23 step motor için tasarlanmıştır. Nema 23 için olan redüktörden 2 adet üretilecektir. Diğeri ise Nema 17 step motor için tasarlanmıştır. Nema 17 için olan redüktörden 4 adet üretilecektir.



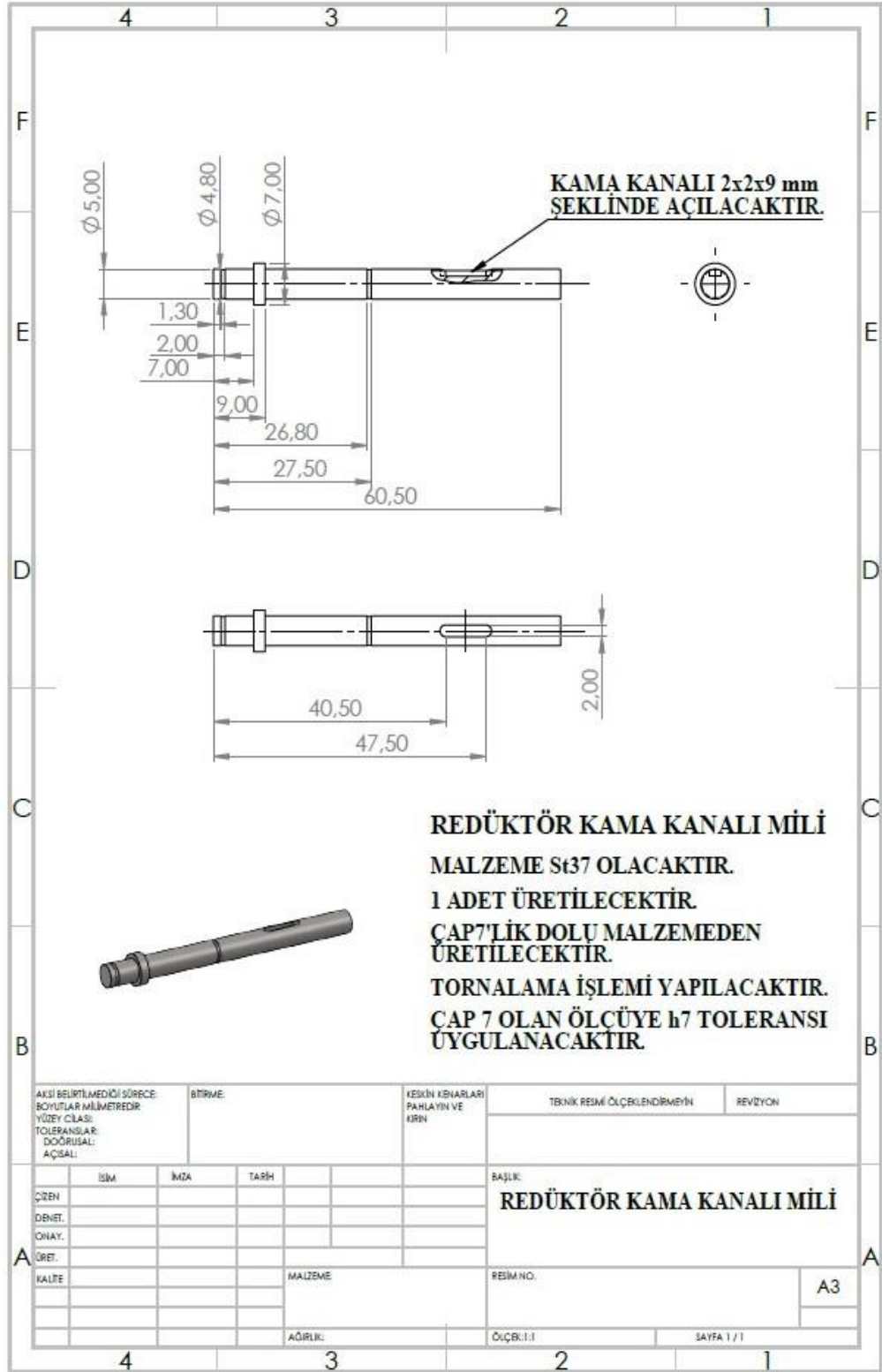
Şekil 2.11: Küçük redüktör gövdesi.

Redüktör gövdesi 45x50x30 mm metal plaka plazma kesimde kesilecektir. Freze tezgahında kanal açma işlemi uygulanacaktır. M3x0.5 delik delme işlemi yapılacaktır. Dört adet küçük redüktör gövdesi üretimi yapılacaktır (Şekil 2.8).



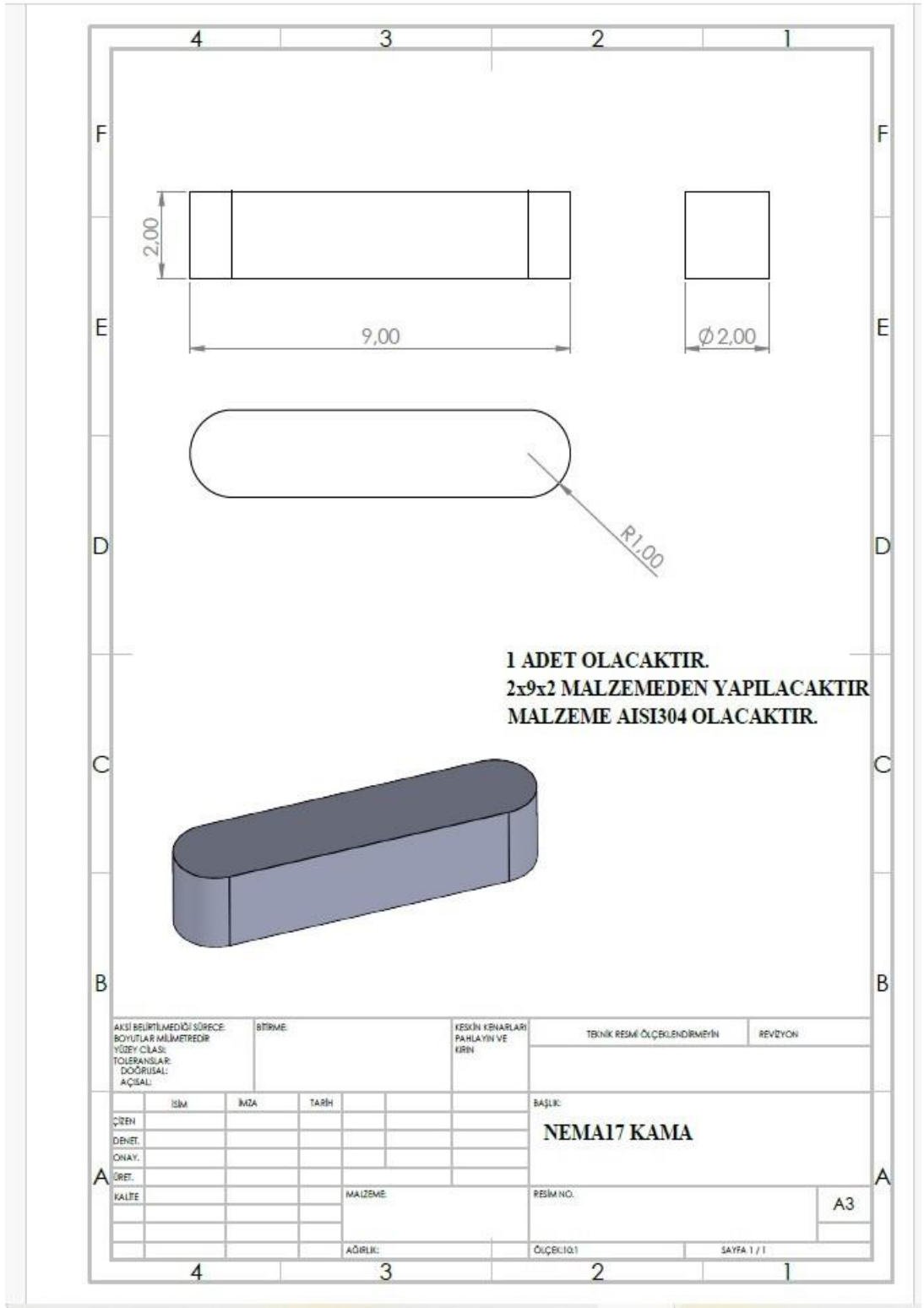
Şekil 2.12: Küçük redüktör kapağı.

Küçük redüktör kapağı 50x45x12,5 mm metal plaka plazma kesimde kesilecektir. Freze tezgahında talaş kaldırma işlemi uygulanacaktır. Matkap ile 10 mm ve 16 mm çapında delik delme işlemi yapılacaktır. Bu parçadan dört adet üretilcektir (Şekil 2.4).



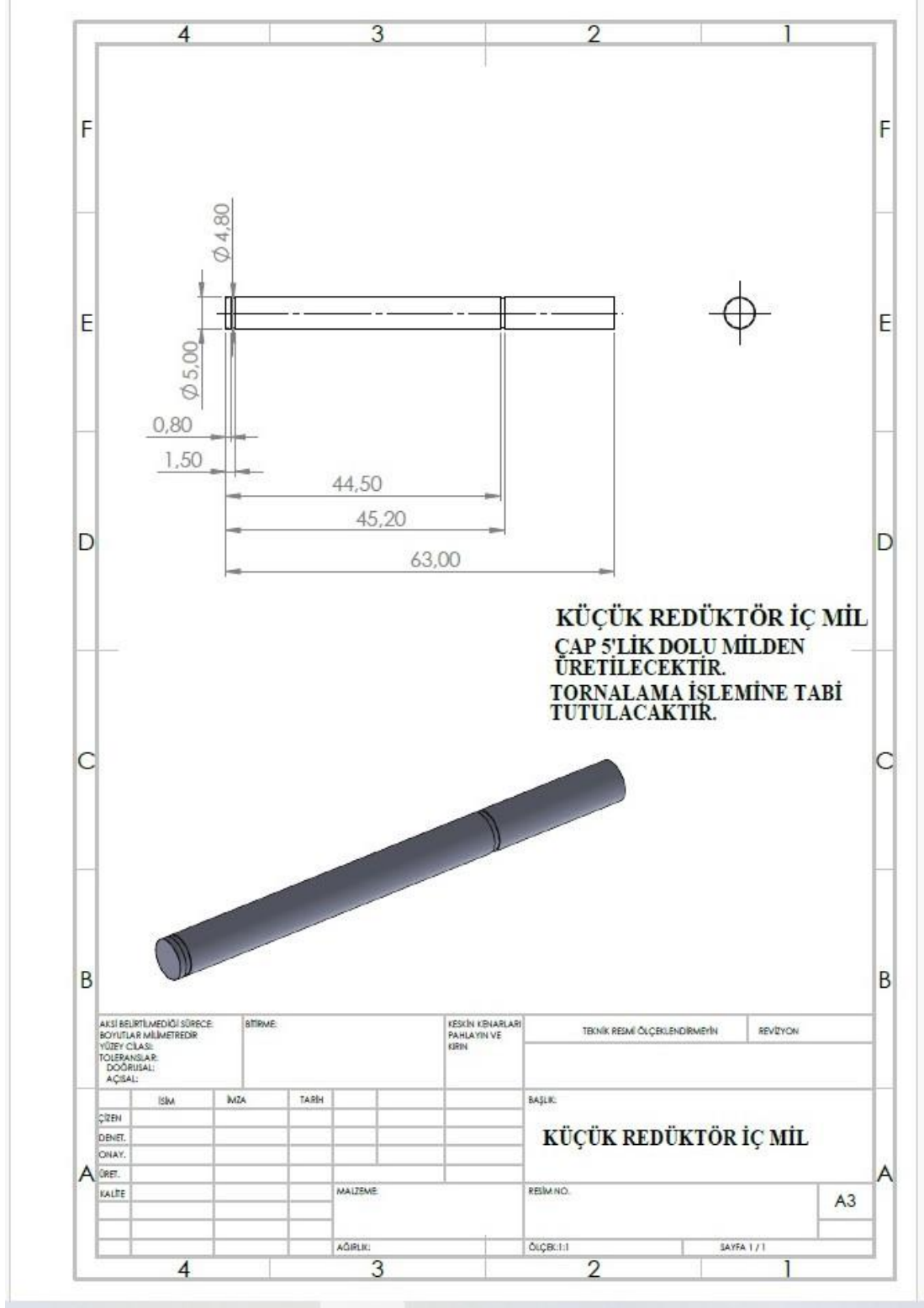
Şekil 2.13: Küçük redüktör mili2.

Küçük redüktör mili2 parçası 5 mm çapındaki dolu milden üretilcektir. Torna tezgahında talaş kaldırılarak teknik resimdeki ölçüler uygulanacaktır. Segman yuvası açılacaktır (Şekil 2.13).



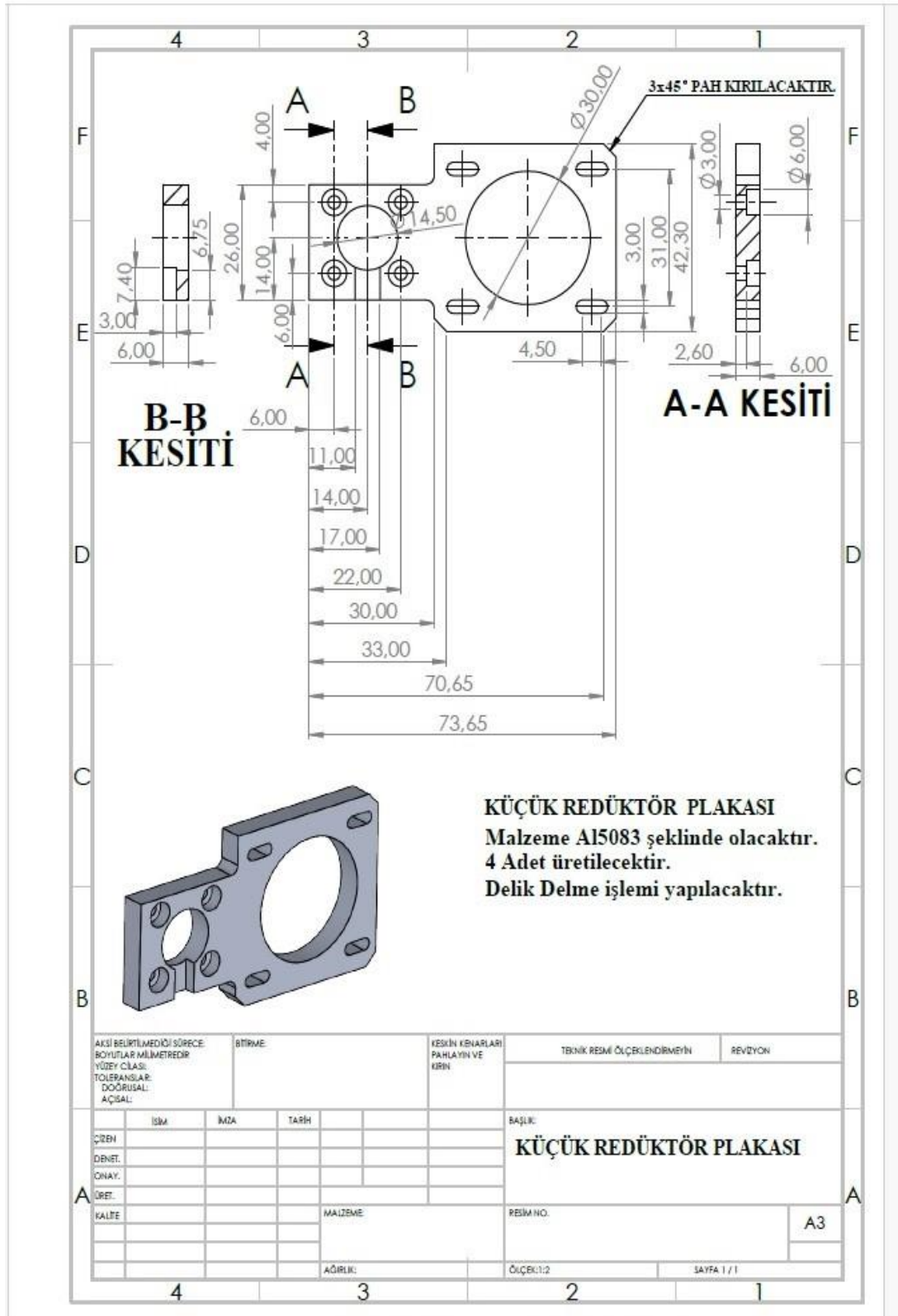
Şekil 2.14: Kama.

9x2x2 ebatlarında çelik parçadan kama temin edilecektir (Şekil 2.14).



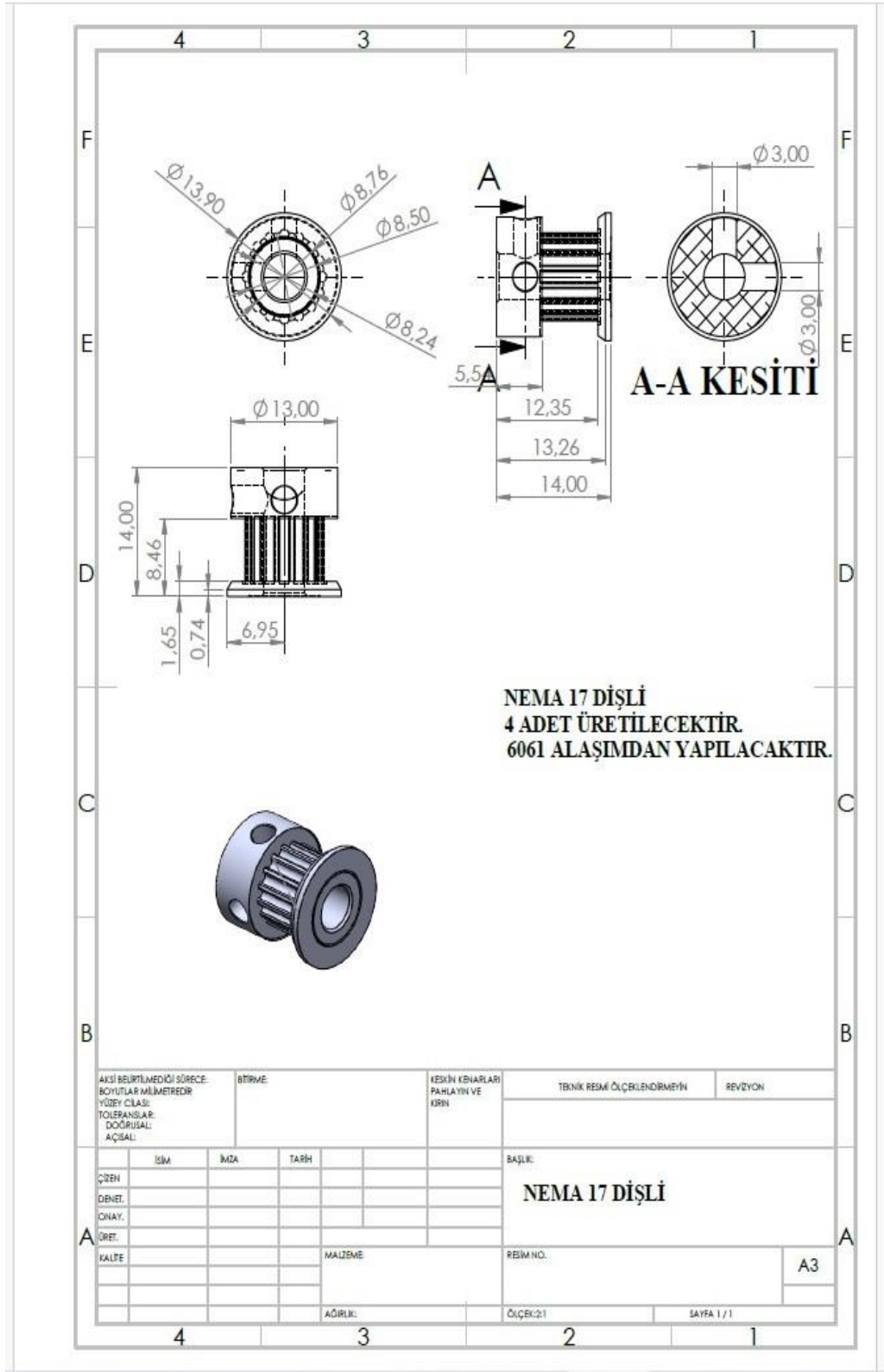
Şekil 2.15: Küçük redüktör iç mili.

Küçük redüktör iç mili parçası 5 mm çapındaki dolu milden üretilecektir. Torna tezgahında talaş kaldırılarak teknik resimdeki ölçüler uygulanacaktır. Segman yuvası açılacaktır (Şekil 2.15).



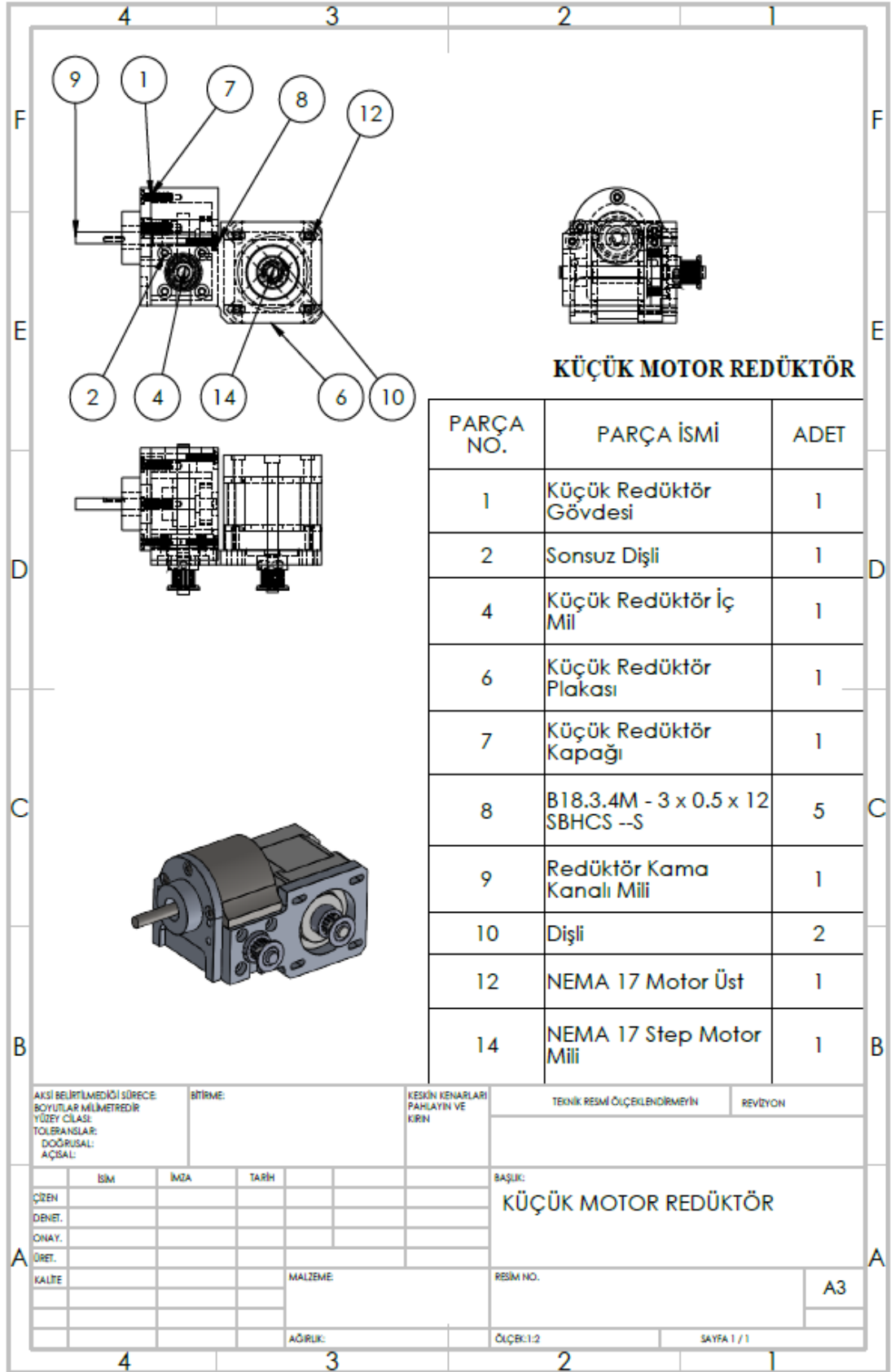
Şekil 2.16: Küçük redüktör plakası.

Küçük redüktör plakası 75x45x6 ölçülerindeki alüminyum plakadan üretilecektir. Matkapla 30 mm ve 14.50 mm çaplarında delik açma işlemi yapılacaktır. Teknik resme göre havşa başlı vida delikleri açılacaktır (Şekil 2.16).

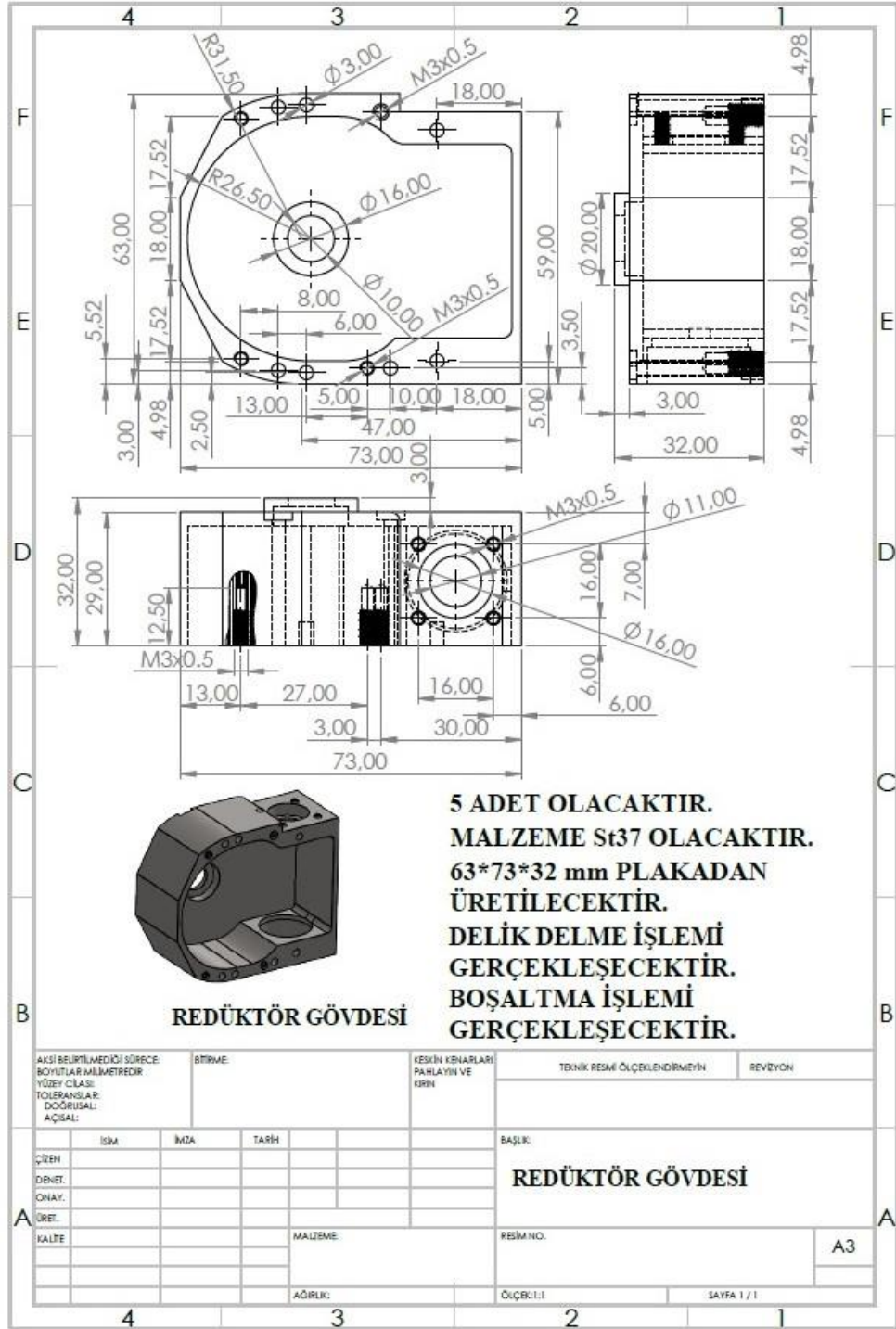


Şekil 2.17: Nema 17 step motor dişlisi.

Teknik resimdeki ölçülerdeki dişli temin edilecektir (Şekil 2.17).

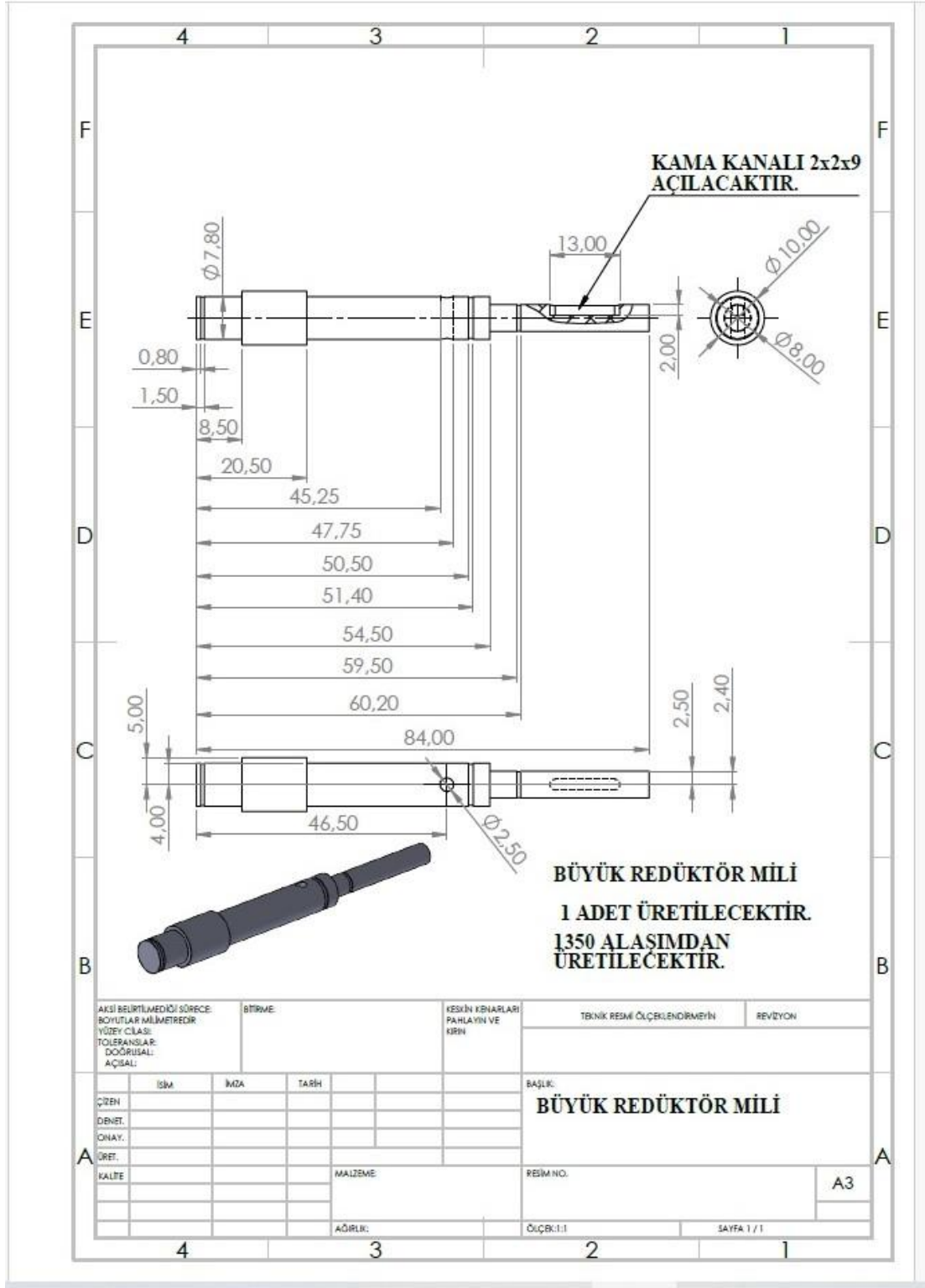


Şekil 2.18: Nema 17 motor redüktör grubu.



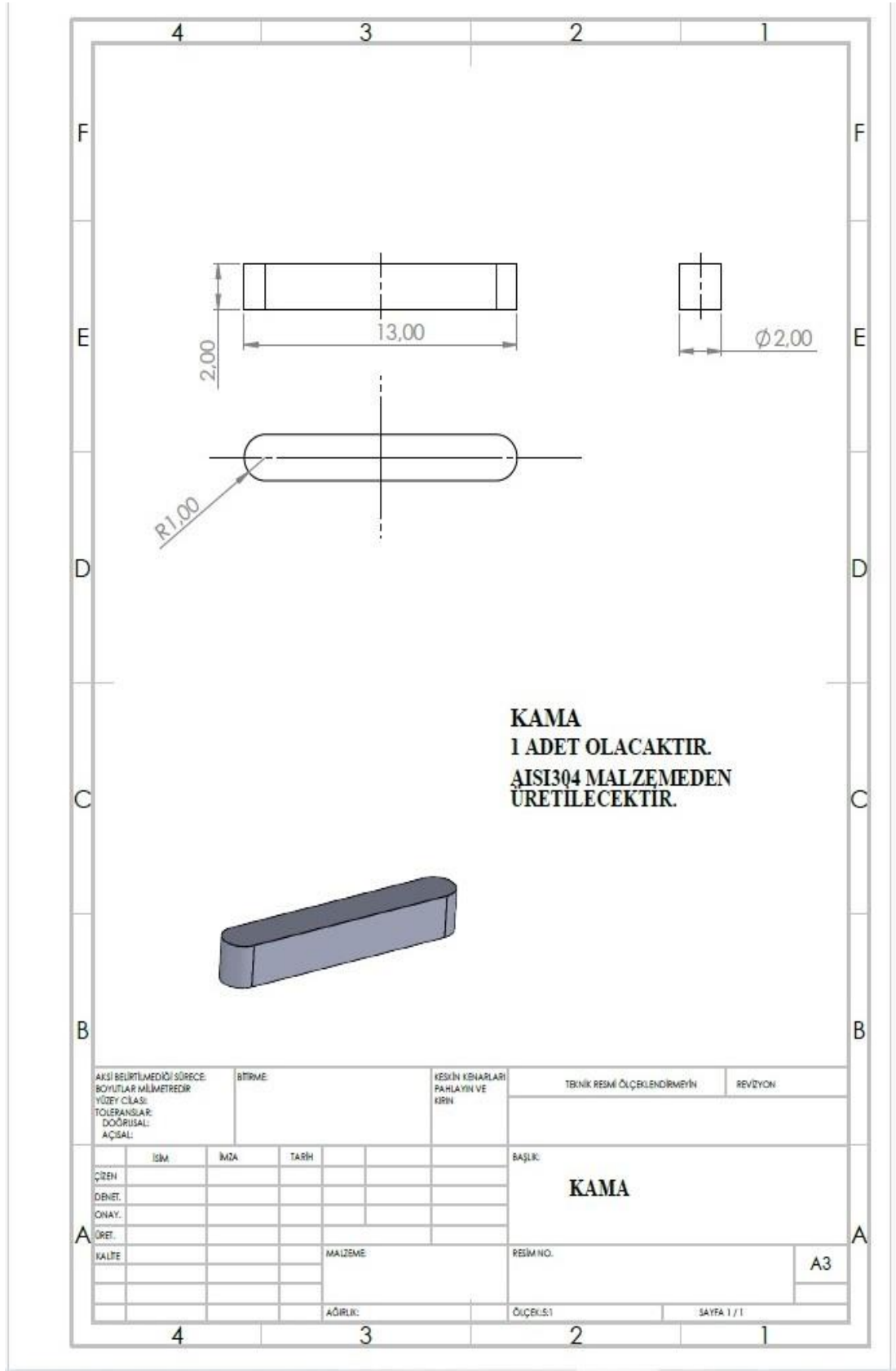
Şekil 2.19: Redüktör gövdesi.

Redüktör gövdesi 63x73x32 mm metal plaka plazma kesimde kesilecektir. Freze tezgahında kanal açma işlemi uygulanacaktır. M3x0.5 delik delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.19).



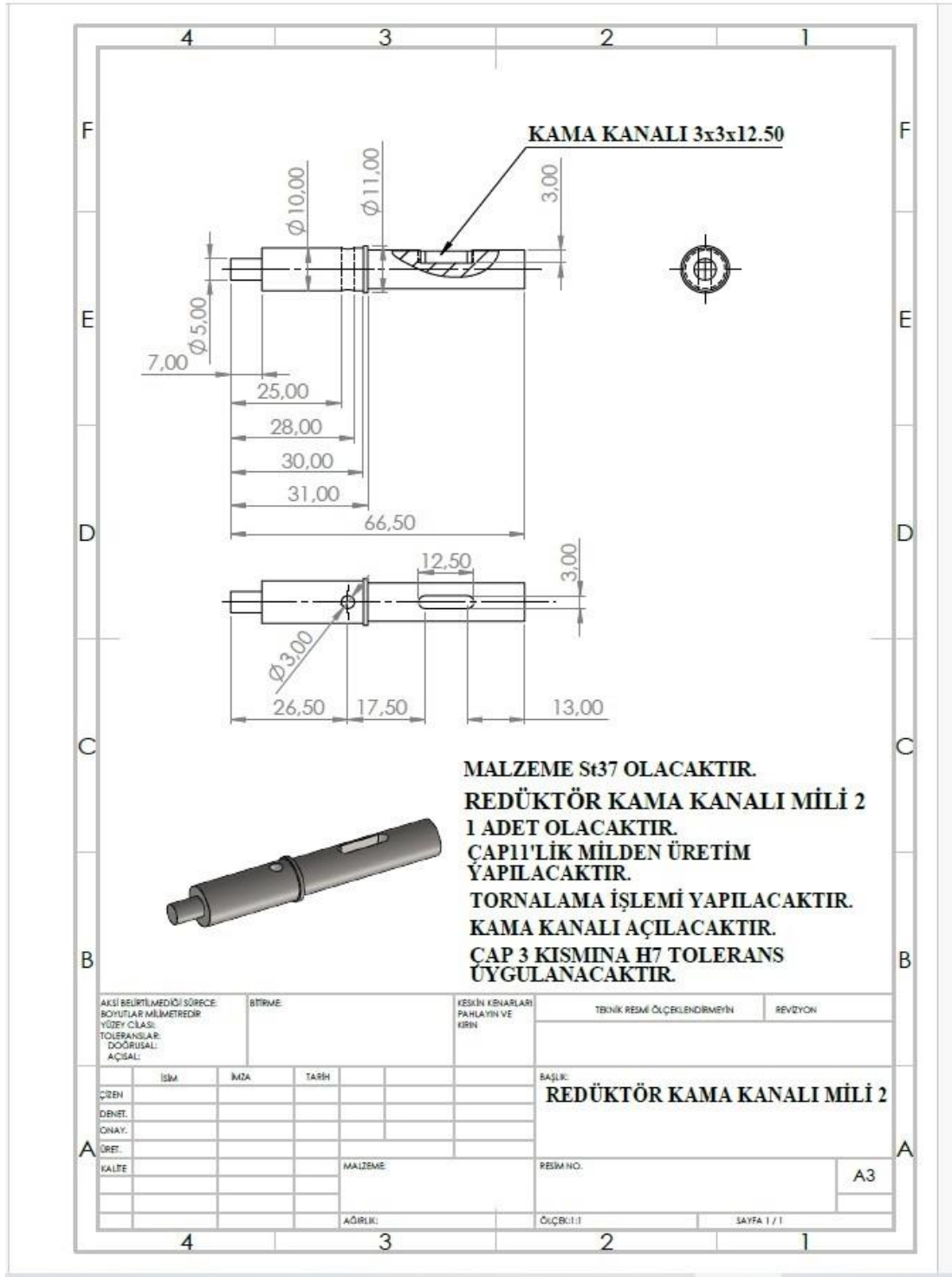
Şekil 2.20: Büyük redüktör mili.

Büyük redüktör mili parçası 10 mm çapındaki dolu milden üretilcektir. Torna tezgahında talaş kaldırılarak teknik resimdeki ölçüler uygulanacaktır. Matkap ile 2.5 mm delik delme işlemi yapılacaktır. Frezede kama kanalı açılacaktır (Şekil 2.20).



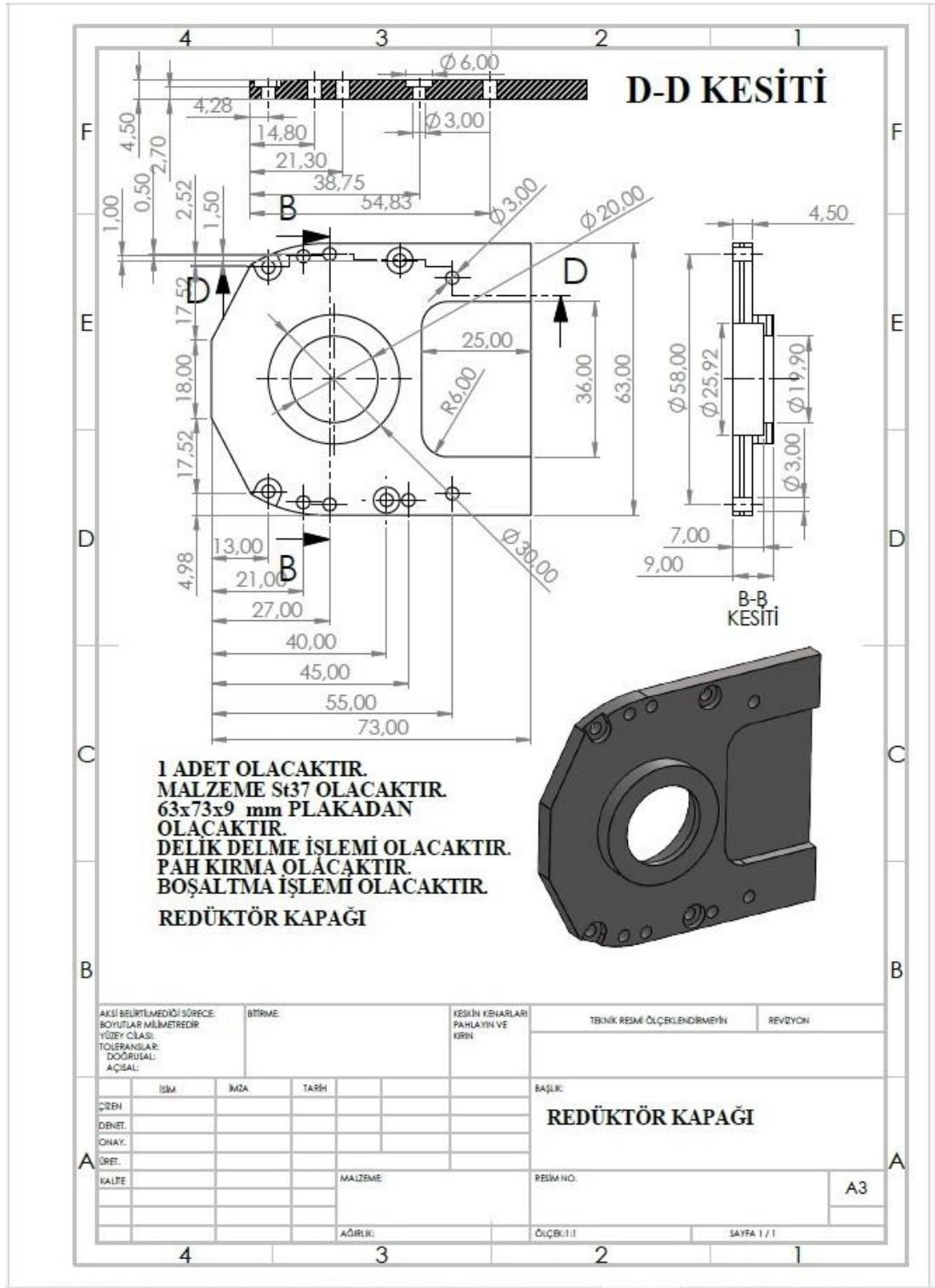
Şekil 2.21: Kama2.

13x2x2 ebatlarında çelik parçadan kama temin edilecektir (Şekil 2.21).



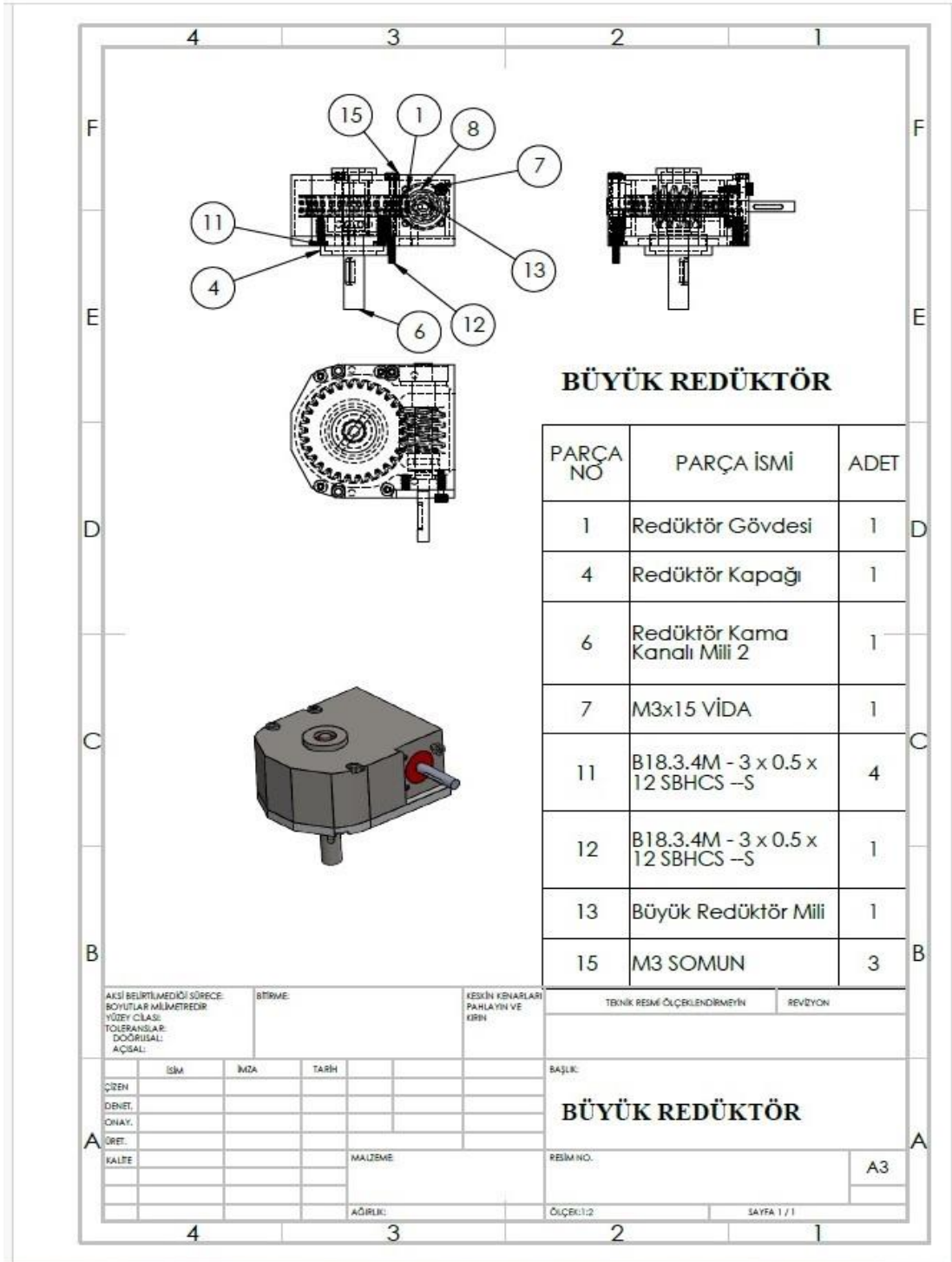
Şekil 2.22: Büyük redüktör mili2.

Büyük redüktör kama kanalı mili2 parçası 10 mm çapındaki dolu milden üretilecektir. Torna tezgahında talaş kaldırılarak teknik resimdeki ölçüler uygulanacaktır. Matkap ile 3 mm delik delme işlemi yapılacaktır. Frezede kama kanalı açılacaktır (Şekil 2.22).



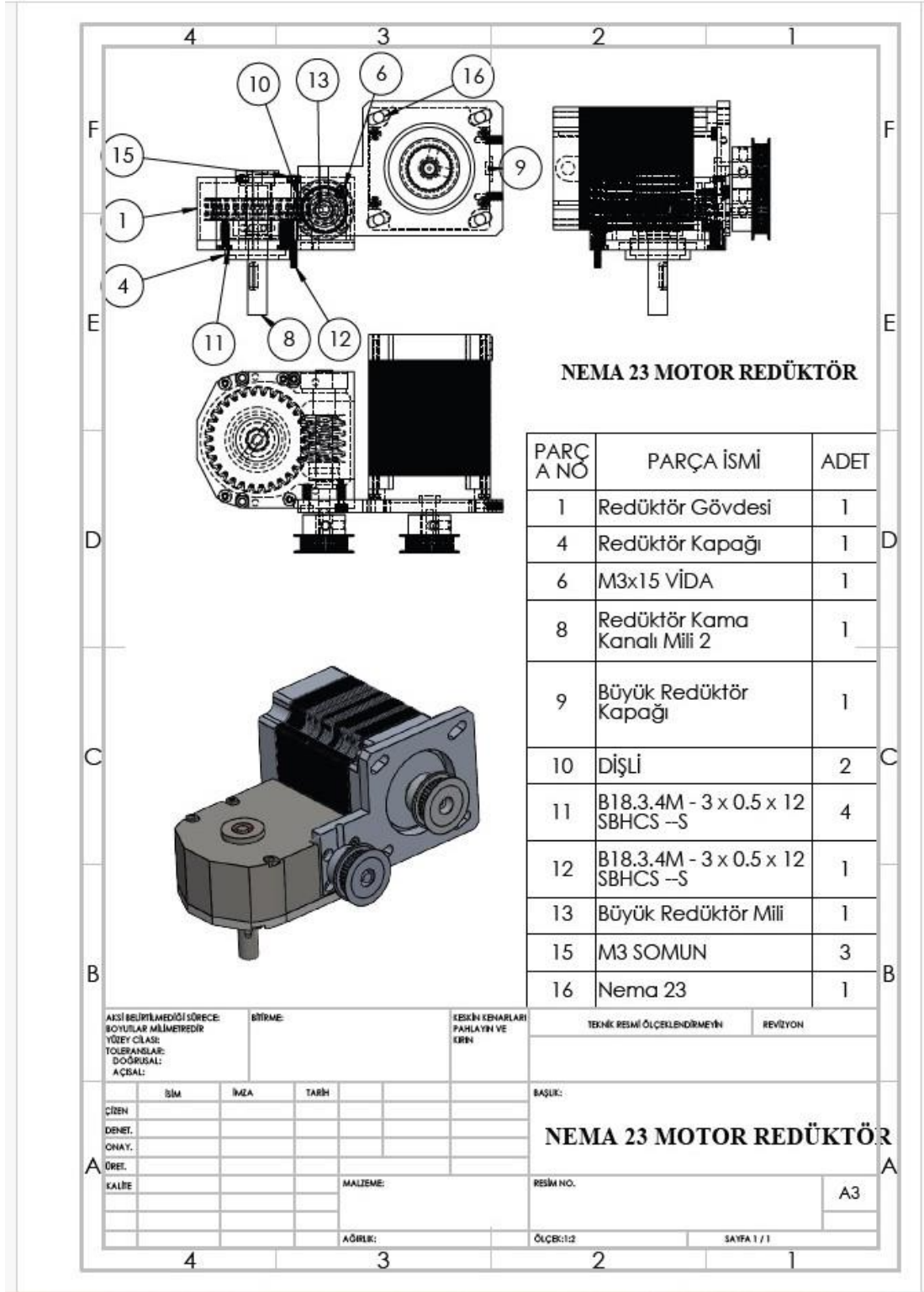
Şekil 2.23: Redüktör kapağı.

Redüktör kapağı 63x73x9 mm metal plaka plazma kesimde kesilecektir. Freze tezgahında 25x36 mm ölçülerinde talaş kaldırma işlemi uygulanacaktır. Matkap ile 3 mm çapında delik delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.23).



Şekil 2.24: Büyük redüktör.

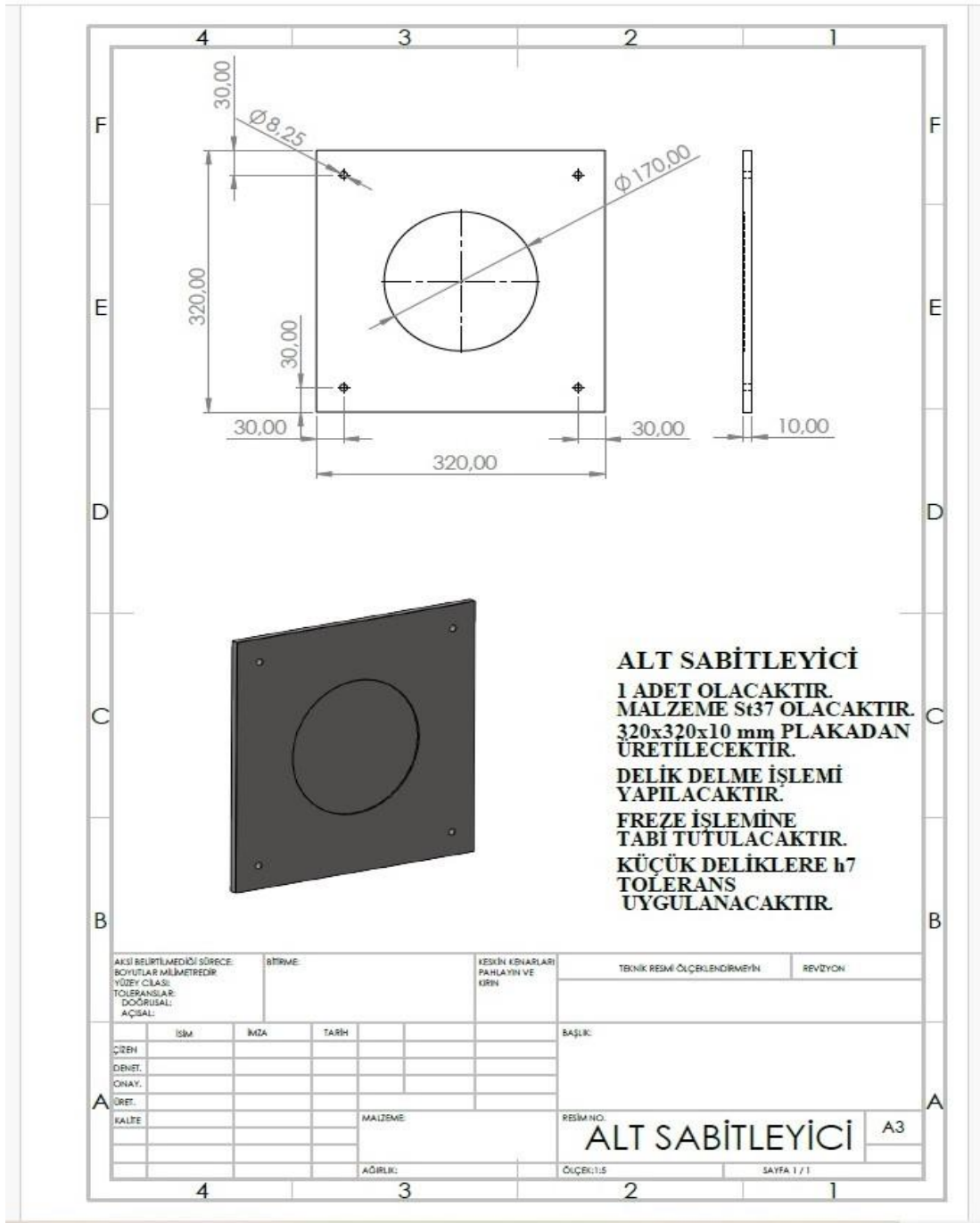
Büyük redüktörün gövdesi içerisine sonsuz vida ve dişli grupları yerleştirildikten sonra rulmanlar ile iki taraflı redüktör mili yataklanacaktır. Redüktör kapağı kapatılıp vidalama işlemi yapılacaktır (Şekil 2.24).



Şekil 2.25: Nema 23 motor redüktör grubu.

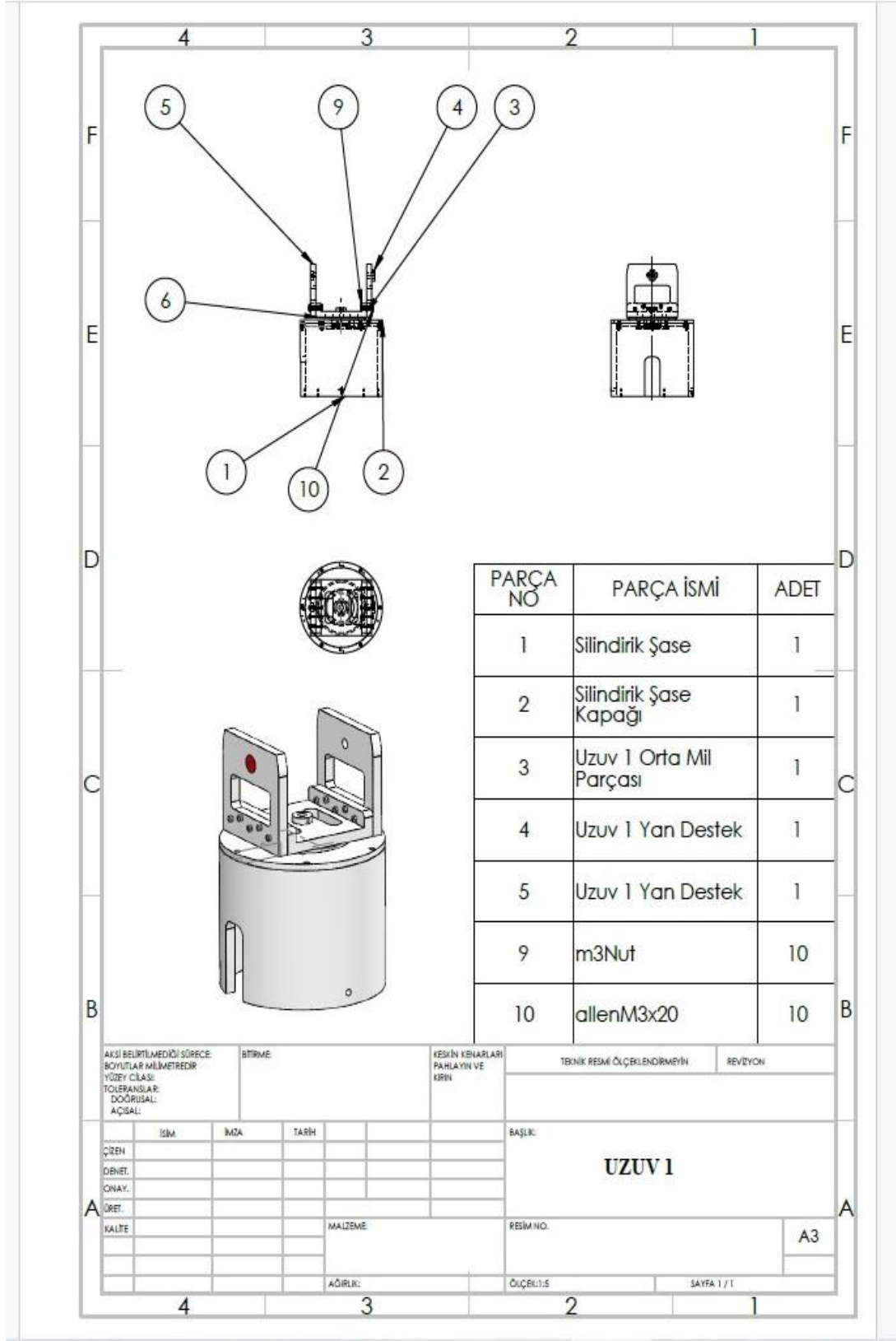
Nema 23 step motor ile büyük redüktör grubu ara plaka bağlantı parçası ile bağlanacaktır. Motor ile redüktör arasında dişliler ile hareket aktarımı olacaktır (Şekil 2.25).

2.3.1 Robotun Ana Bileşenlerinin Tasarımı

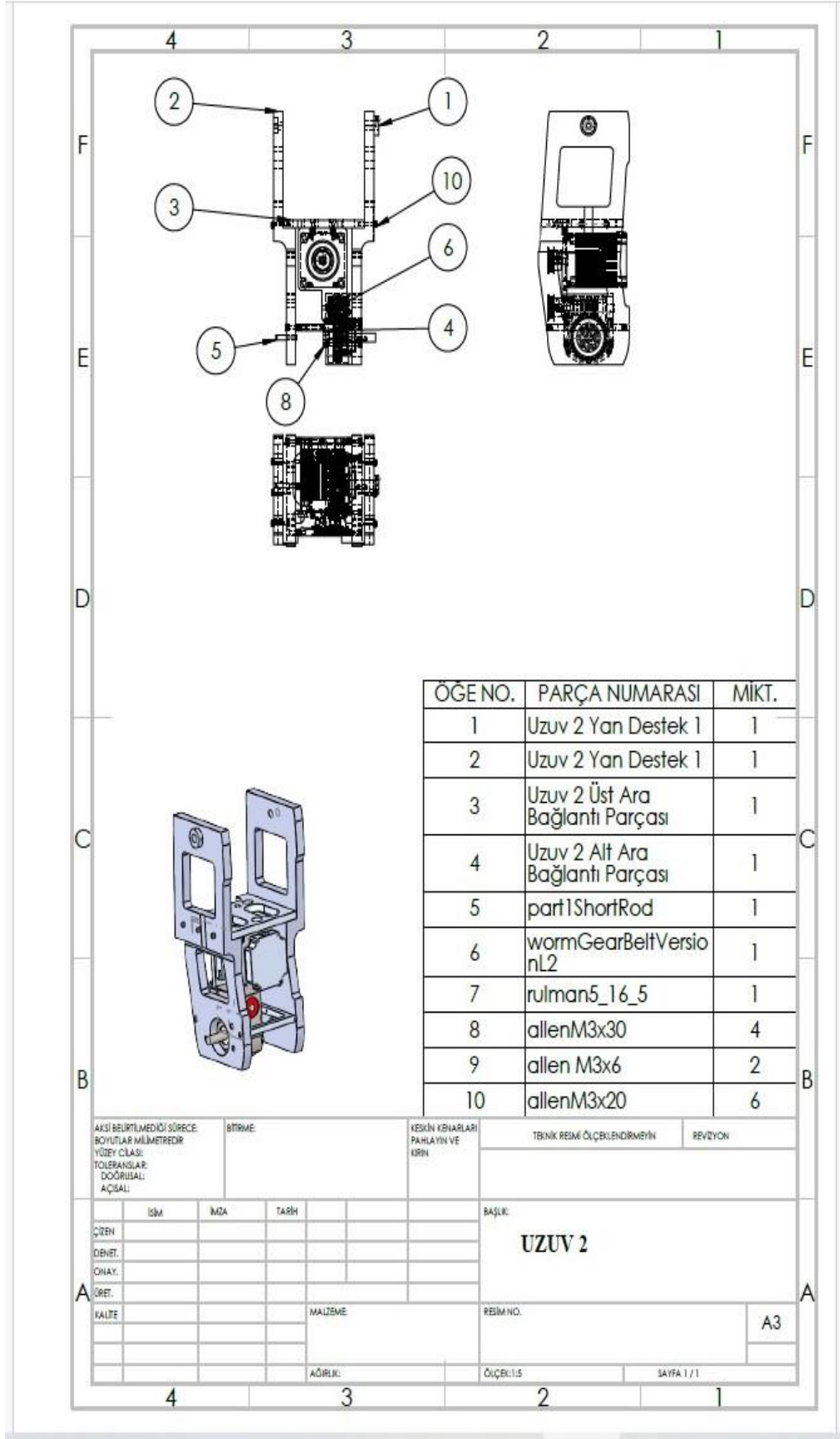


Şekil 2.26: Alt sabitleyici.

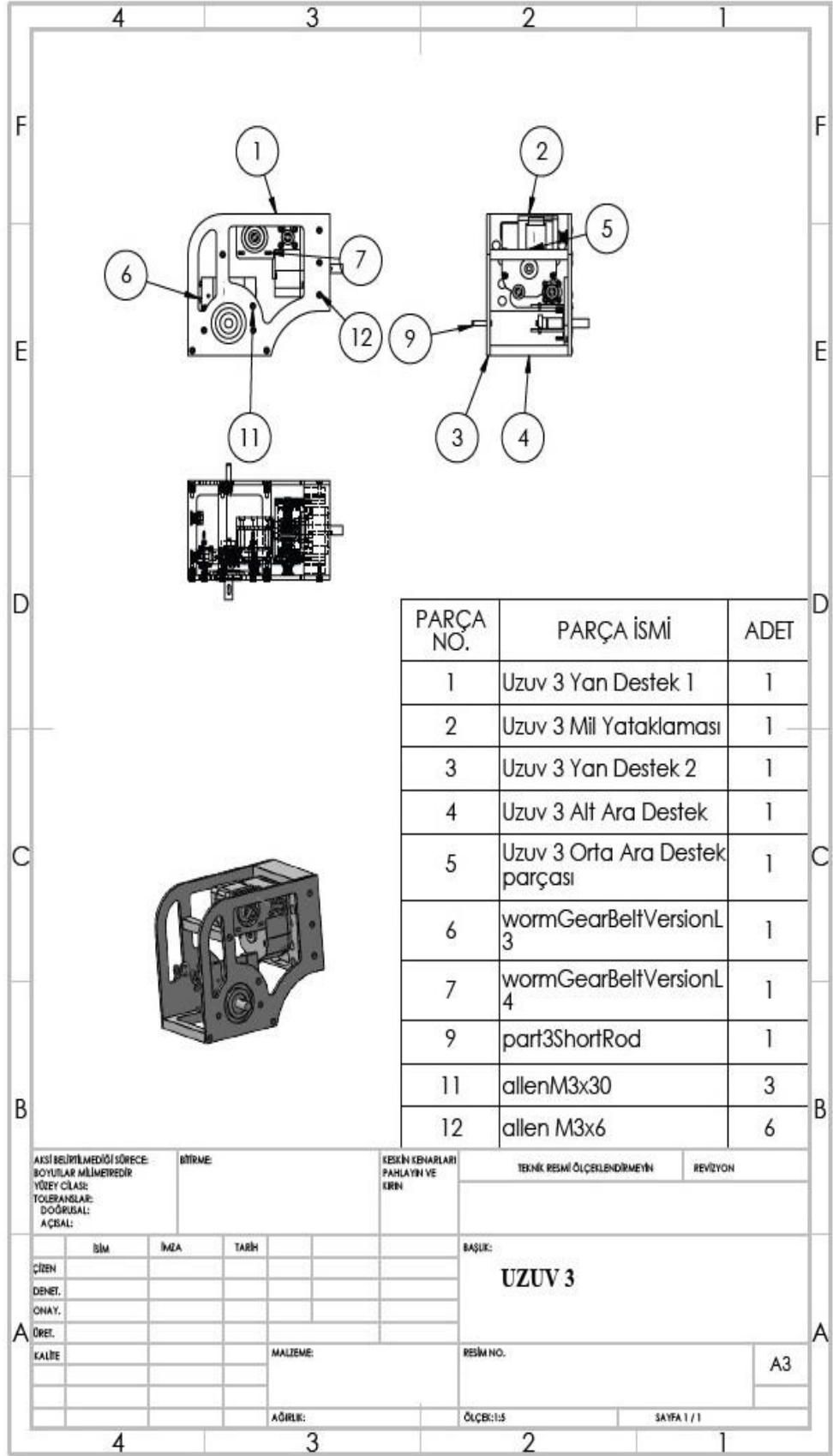
Alt sabitleyici parçası 320*320*10 mm ebatlarında olan plakadan S235JRG2 malzemeden üretilen olacaktır. Çelik plaka plazma kesiminde gerekli ebatlarda kesilecektir. Plakaya matkapla 8.25 mm çapında delik delme işlemi uygulanacaktır. M5 altıgen başlı havşa ile birlikte delme işlemine tabi tutulacaktır. Alt sabitleyici parça sabit bir yere ya da masa üzerine vidalı bağlantı ile bağlanacaktır (Şekil 2.26).



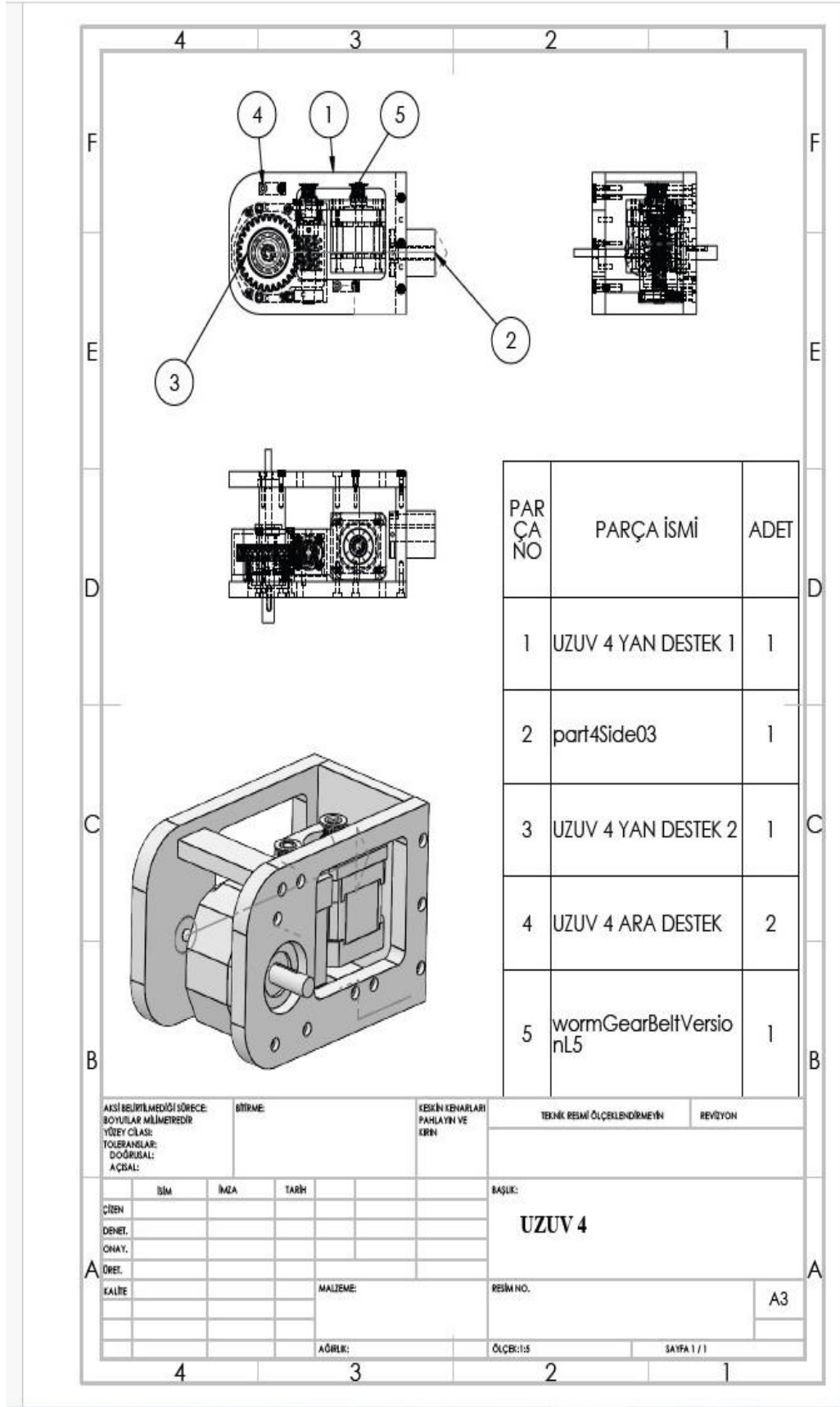
Şekil 2.27: Birinci uzuv.



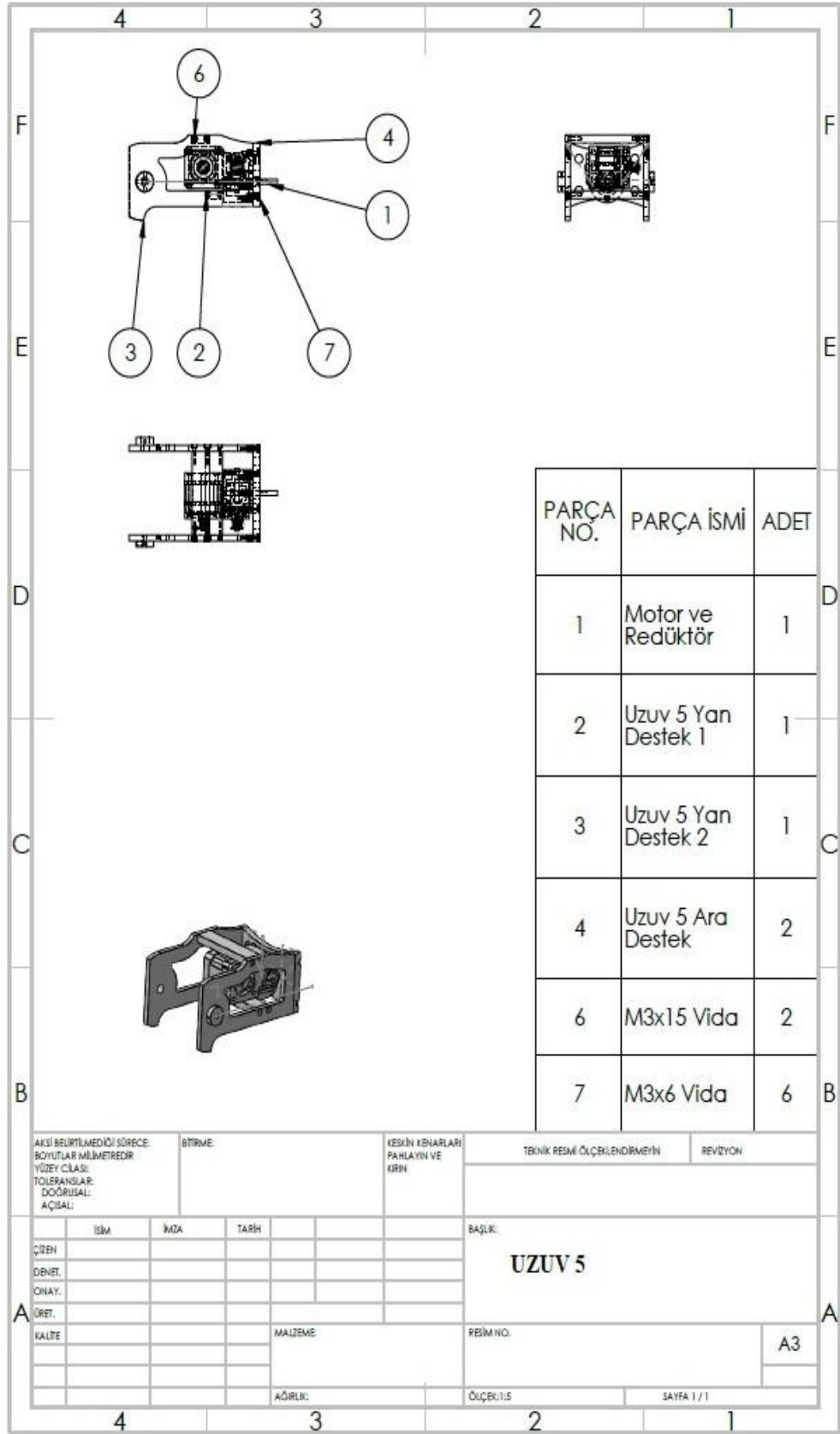
Şekil 2.28: İkinci uzuv.



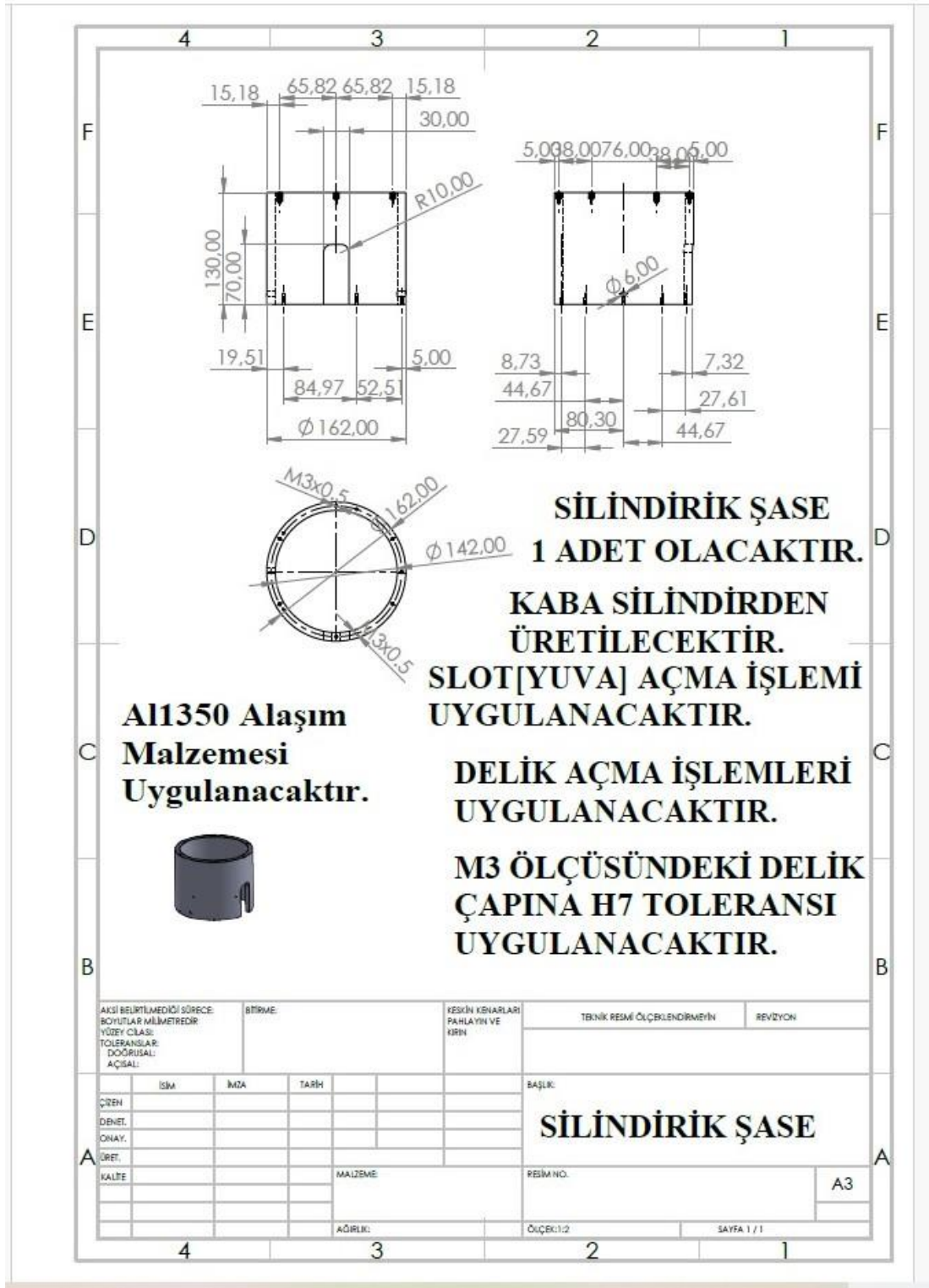
Şekil 2.29: Üçüncü uzuv.



Şekil 2.30: Dördüncü uzuv.

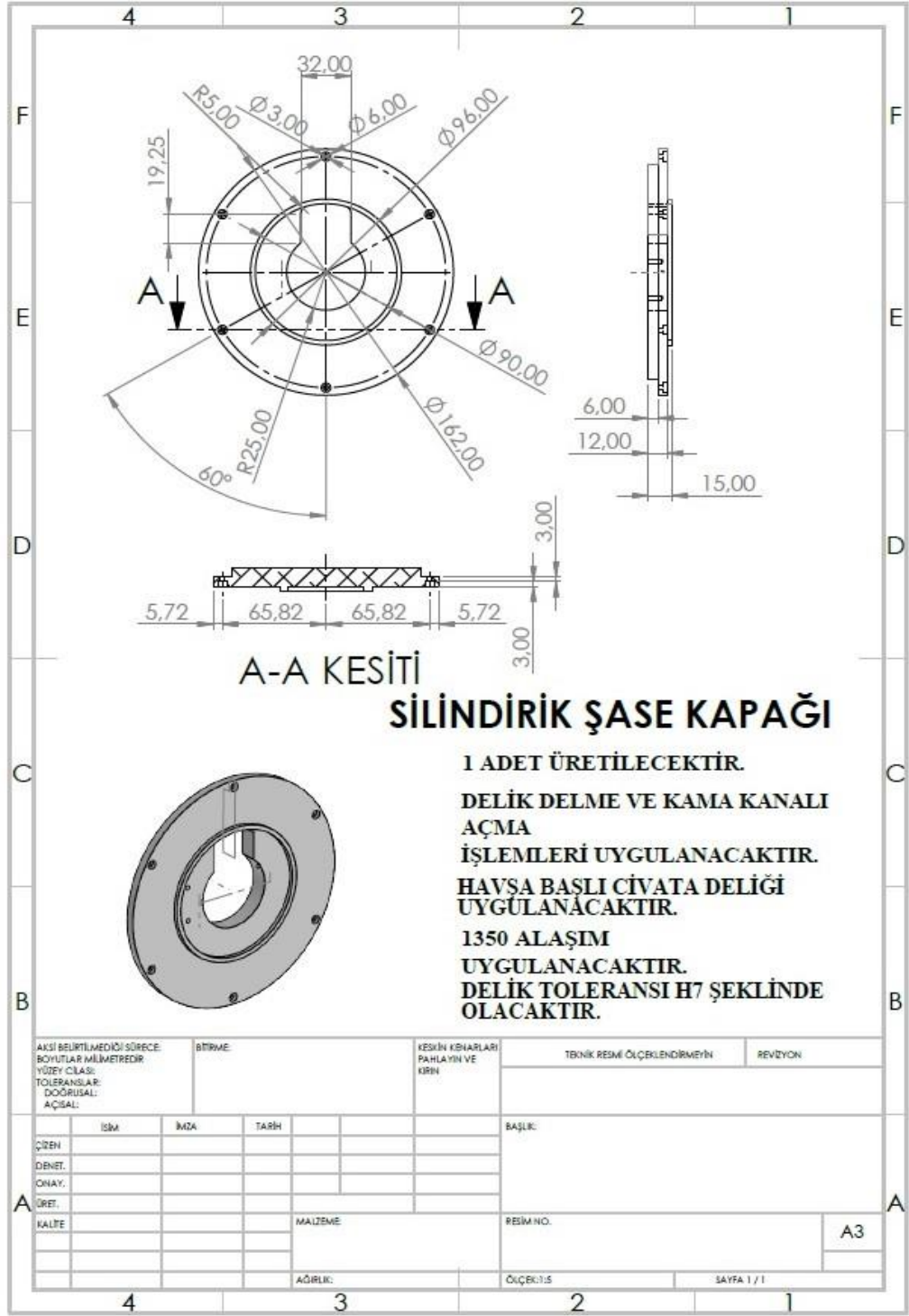


Şekil 2.31: Beşinci uzuv.



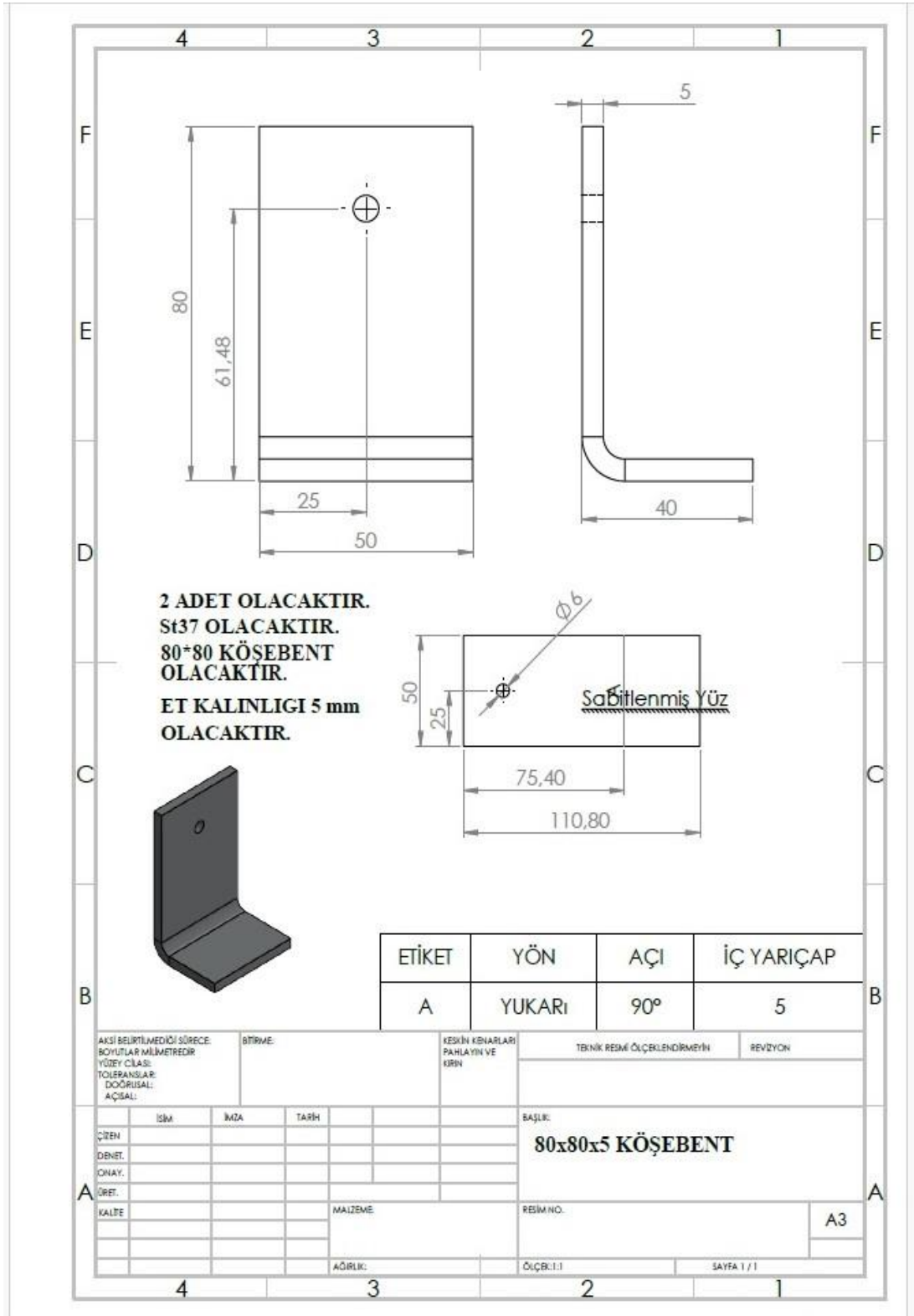
Şekil 2.32: Silindirik şase.

Silindirik şase parçası çap 162 mm olan borudan üretim yapılacaktır. Et kalınlığı 10 mm olacaktır. Frezeleme ile yuva açma işlemine tabi tutulacaktır. Üst kısma M3x0.5 delik delme işlemi matkap ile delme işlemi yapılacaktır. Yan kısımlarına çap 6 mm delik delinerek işlem tamamlanacaktır (Şekil 2.32).



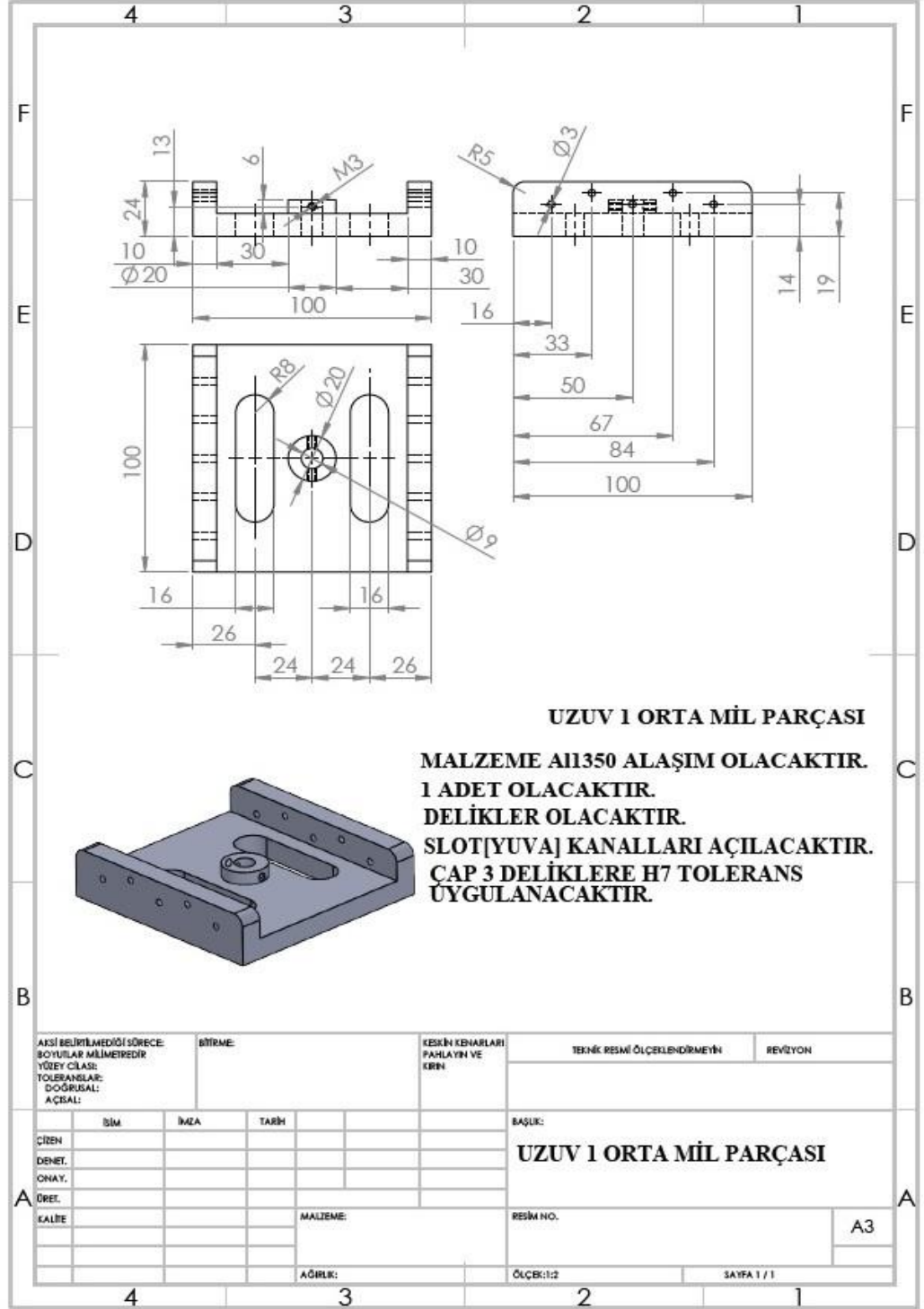
Şekil 2.33: Silindirik şase kapağı.

Silindirik şase kapağı parçası 162 mm çapında olan dolu malzemeden üretilecektir. Tornalama işlemine tabi tutulacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi matkap ile yapılacaktır. Kanal açma işlemi gerçekleştirilecektir. M3x0.5 delik delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.33).



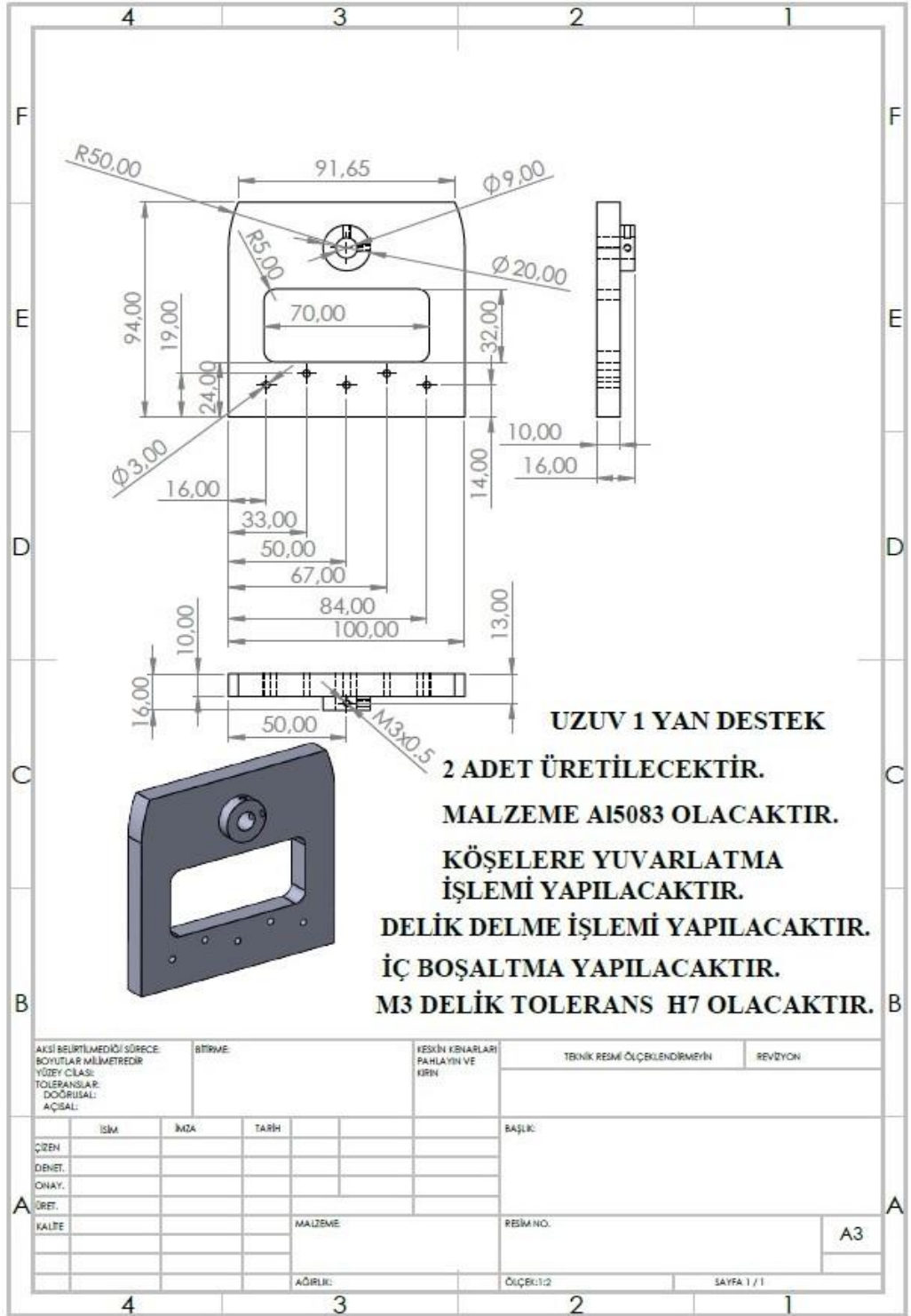
Şekil 2.34: 80x80 köşebent.

80*80*5 mm köşebent alt sabitleyici ile silindirik şaseyi birbirine bağlamak için kullanılmıştır. Köşebent abkant işlemine tabi tutulup bükülme işlemi yapılacaktır. Bükülen parçaya matkap ile delik delme işlemi yapılacaktır. Bu köşebentten iki adet üretilacaktır (Şekil 2.34).



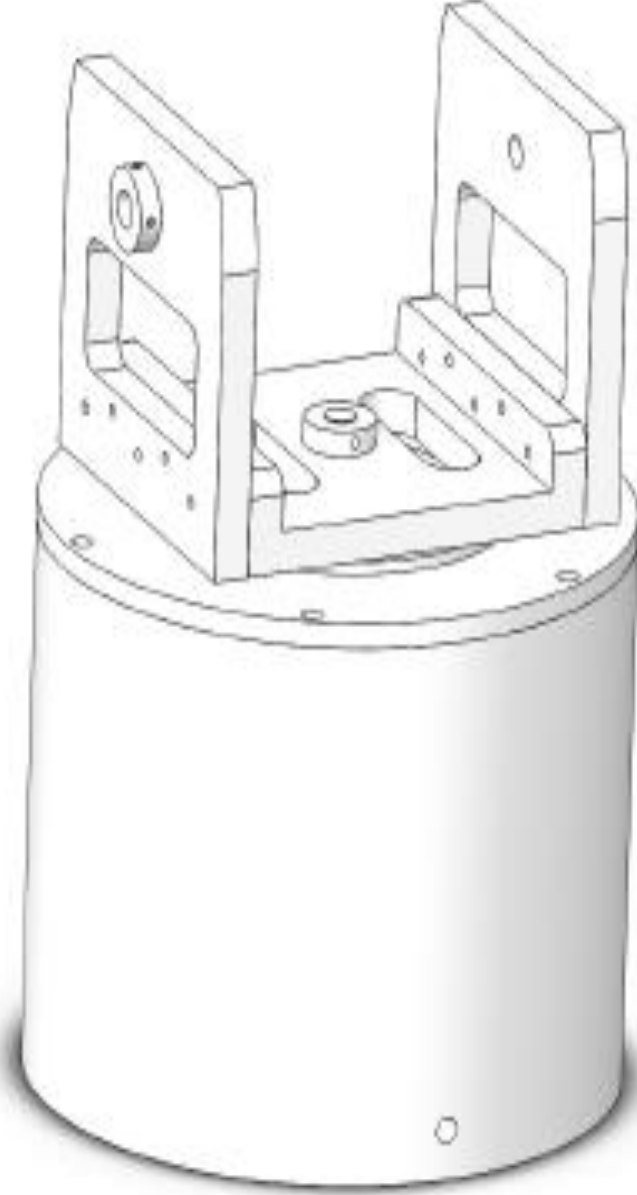
Şekil 2.35: Uzuv1 orta mil parçası.

Birinci uzuv orta mil parçası 100x100 mm Aİ1350 malzemeden üretilecektir. Yuvarlatma işlemine ve ardından boşaltma işlemine tabi tutulacaktır. 3 mm çapında delikler delinecektir (Şekil 2.35).



Şekil 2.36: Uzuv1 yan destek1.

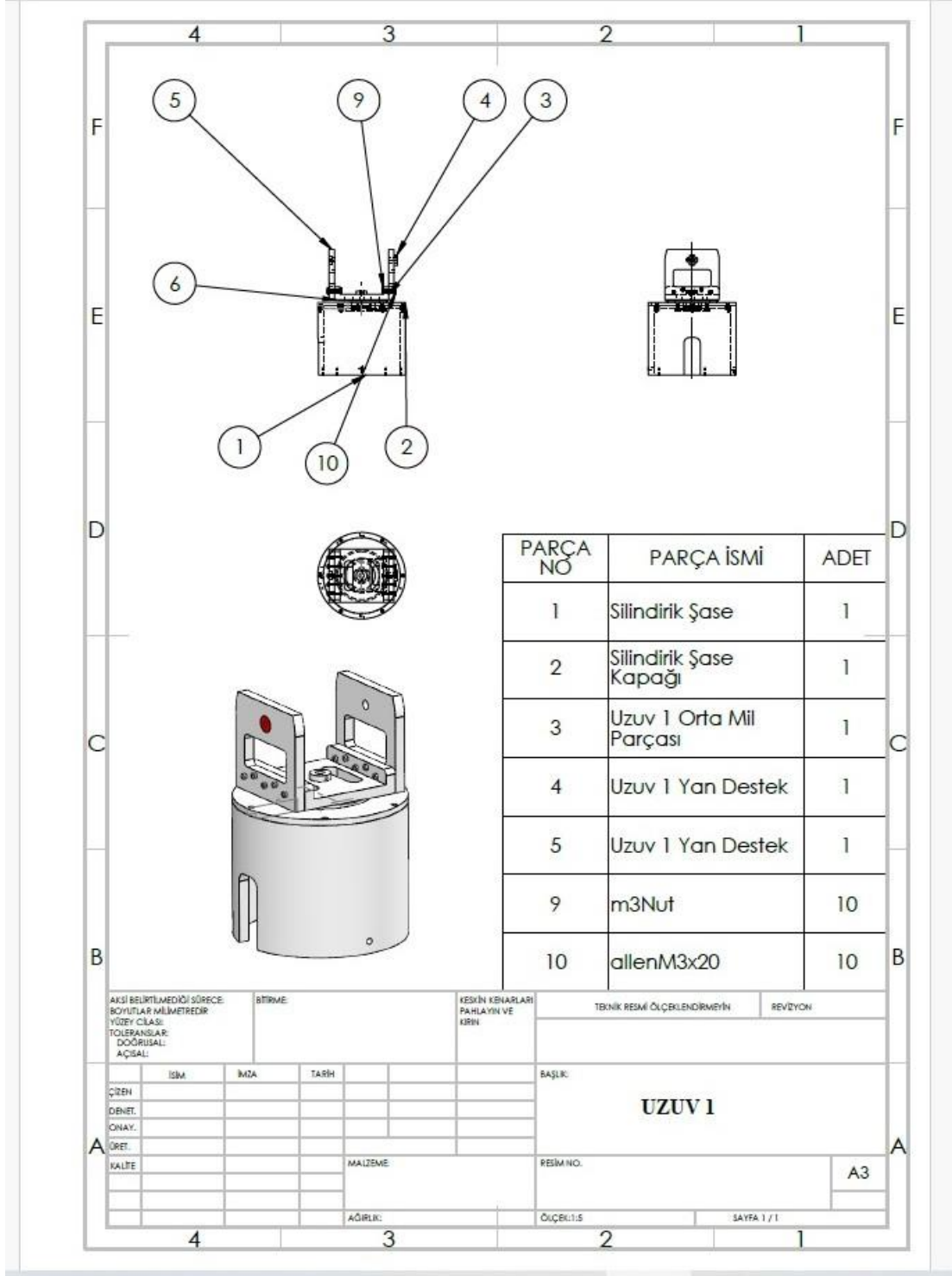
Birinci uzuv orta yan destek parçası 100x94 mm AI5083 malzemedan üretilecektir. Yuvarlatma işlemine ve ardından boşaltma işlemine tabi tutulacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi yapılacaktır. Frezeleme ile yuva açma işlemine tabi tutulacaktır. 3 mm ve 2.5 mm çapında delikler açılacaktır (Şekil 2.36).



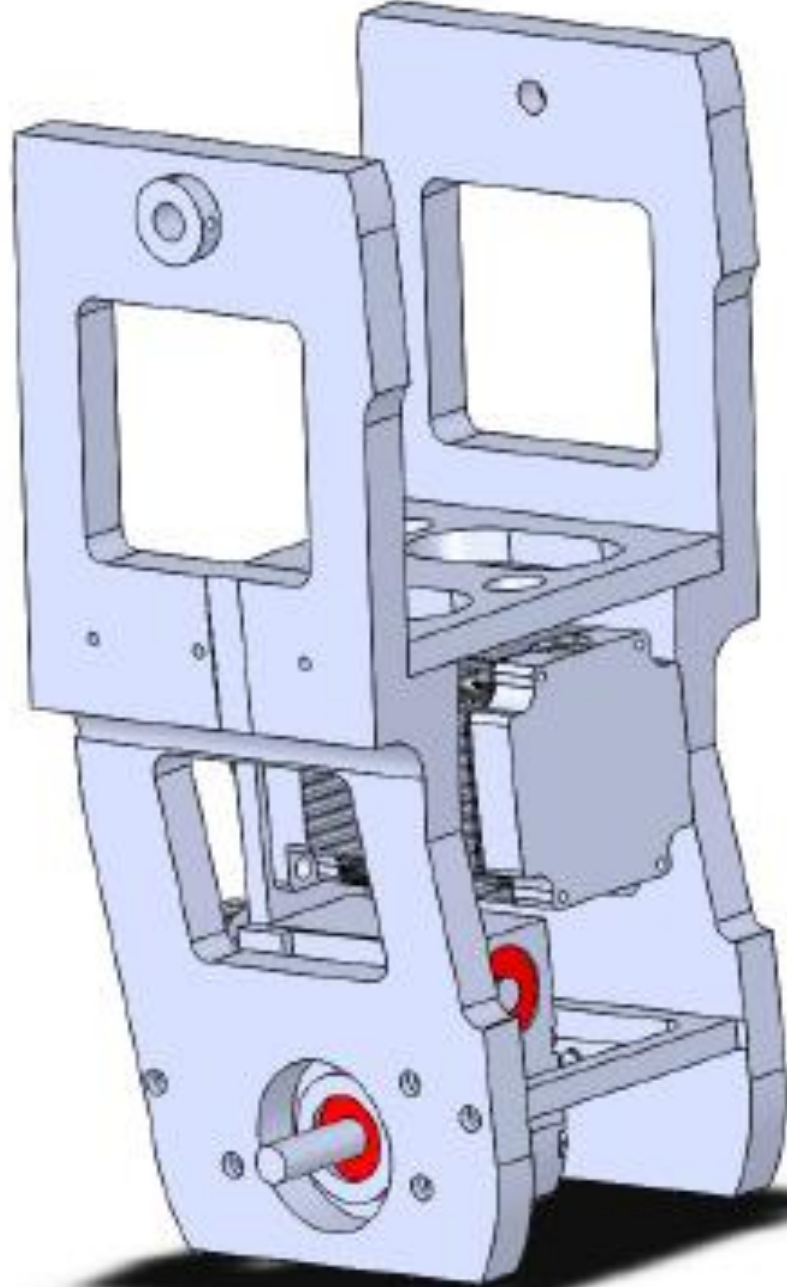
Şekil 2.37: Birinci uzuv perspektif görünüş.

Robot kolunun uzuv1'deki alt sabitleyici, silindirik şase, silindirik şase kapağı ve uzuv3'teki yan kapaklar ST37 çelik malzemeden üretilmiş olup diğer parçalar hafif olması için 5083 alüminyum malzemeden üretilmiştir.

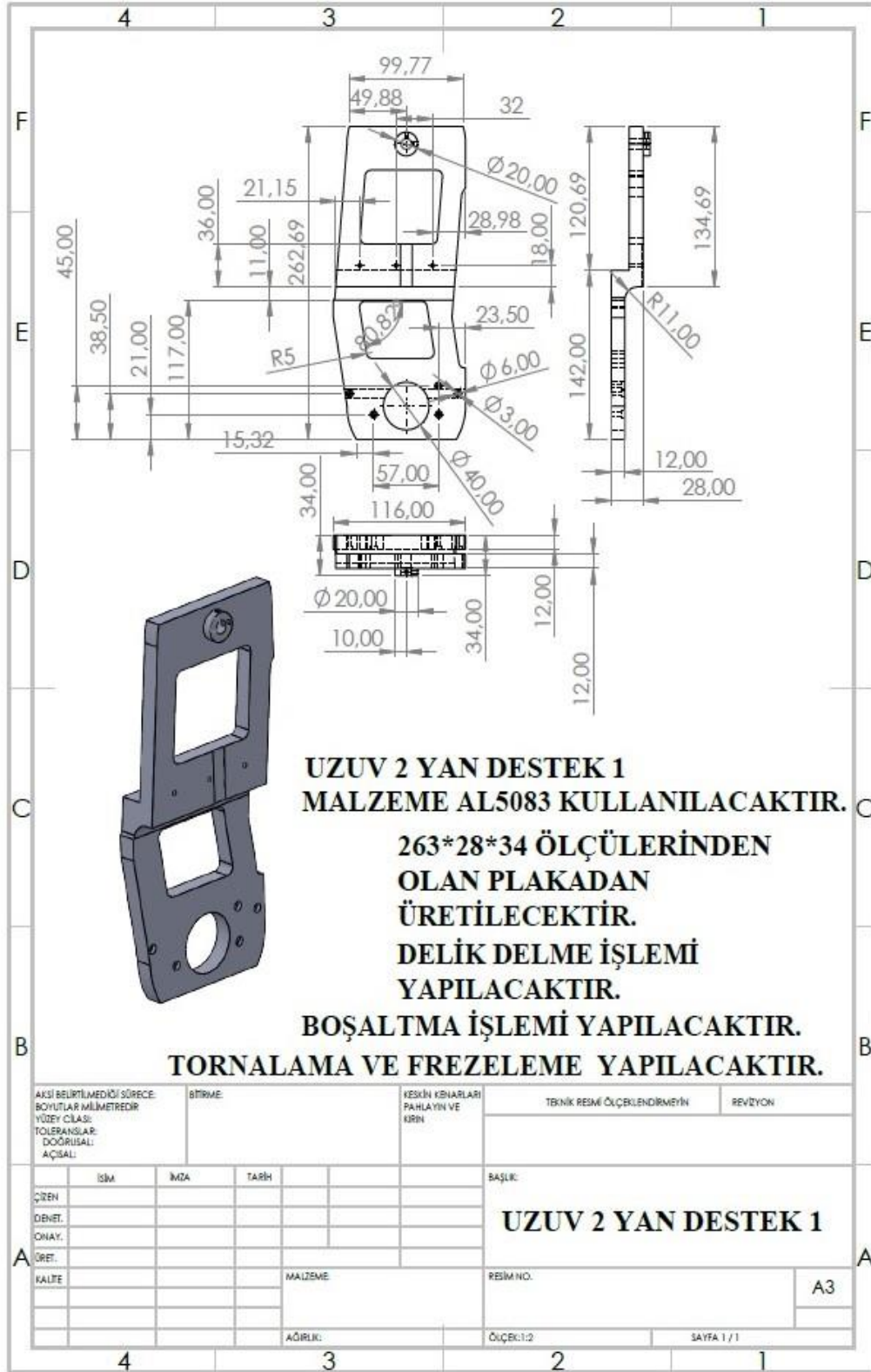
İkinci uzuv yan destek parçaları alüminyum 5083 alaşımından yapılacaktır. 265x120x28 mm plakadan üretim yapılacaktır. Parça içini boşaltma işlemi ile parçanın ağırlığı azaltılması sağlanacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi yapılacaktır. 5 mm ve 3 mm delik delme işlemi yapılacaktır. Yuvarlatma işlemine tabi tutulur (Şekil 2.9).



Şekil 2.38: Birinci uzuv montajı.

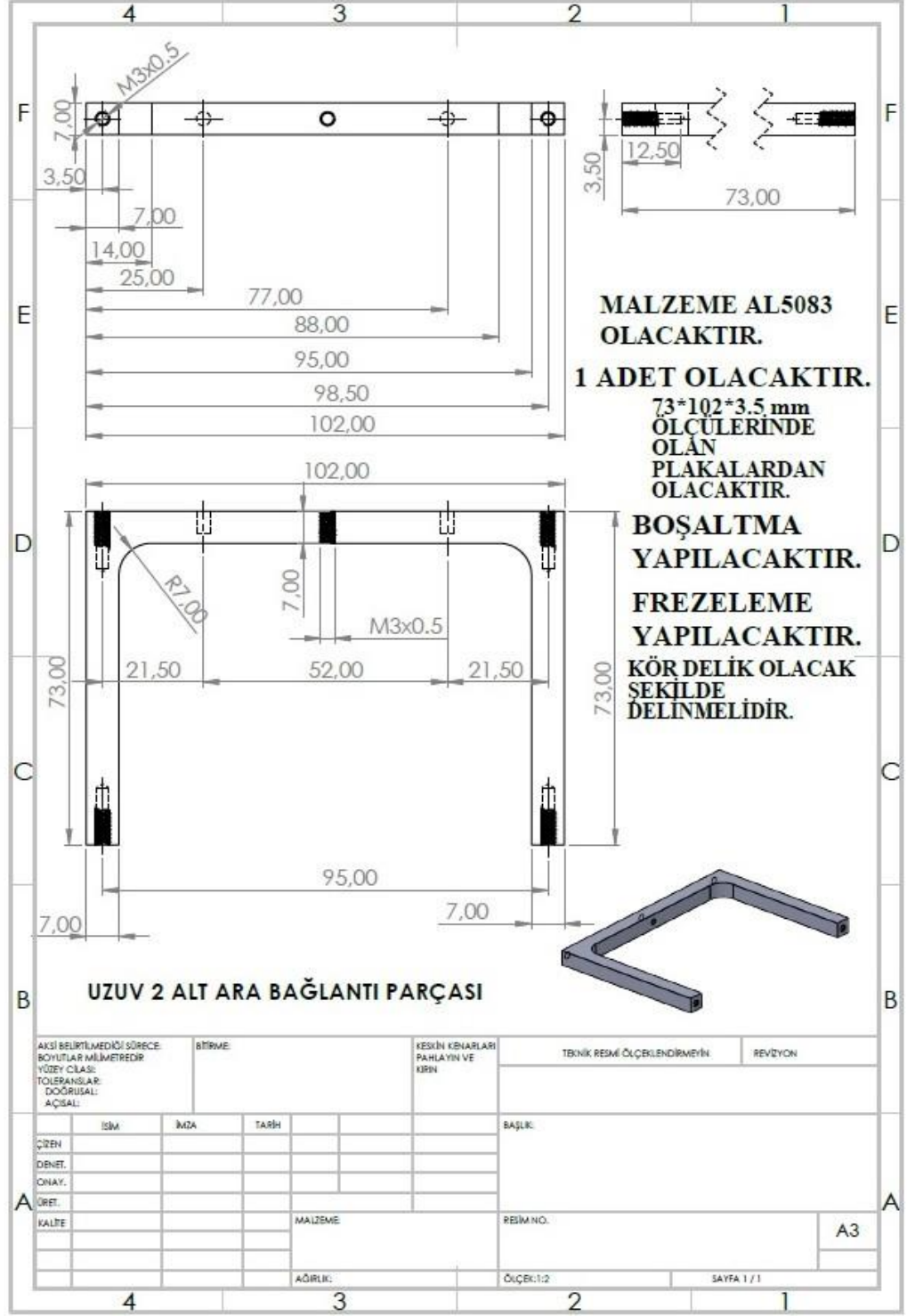


Şekil 2.39: İkinci uzuv perspektif görünüşü.



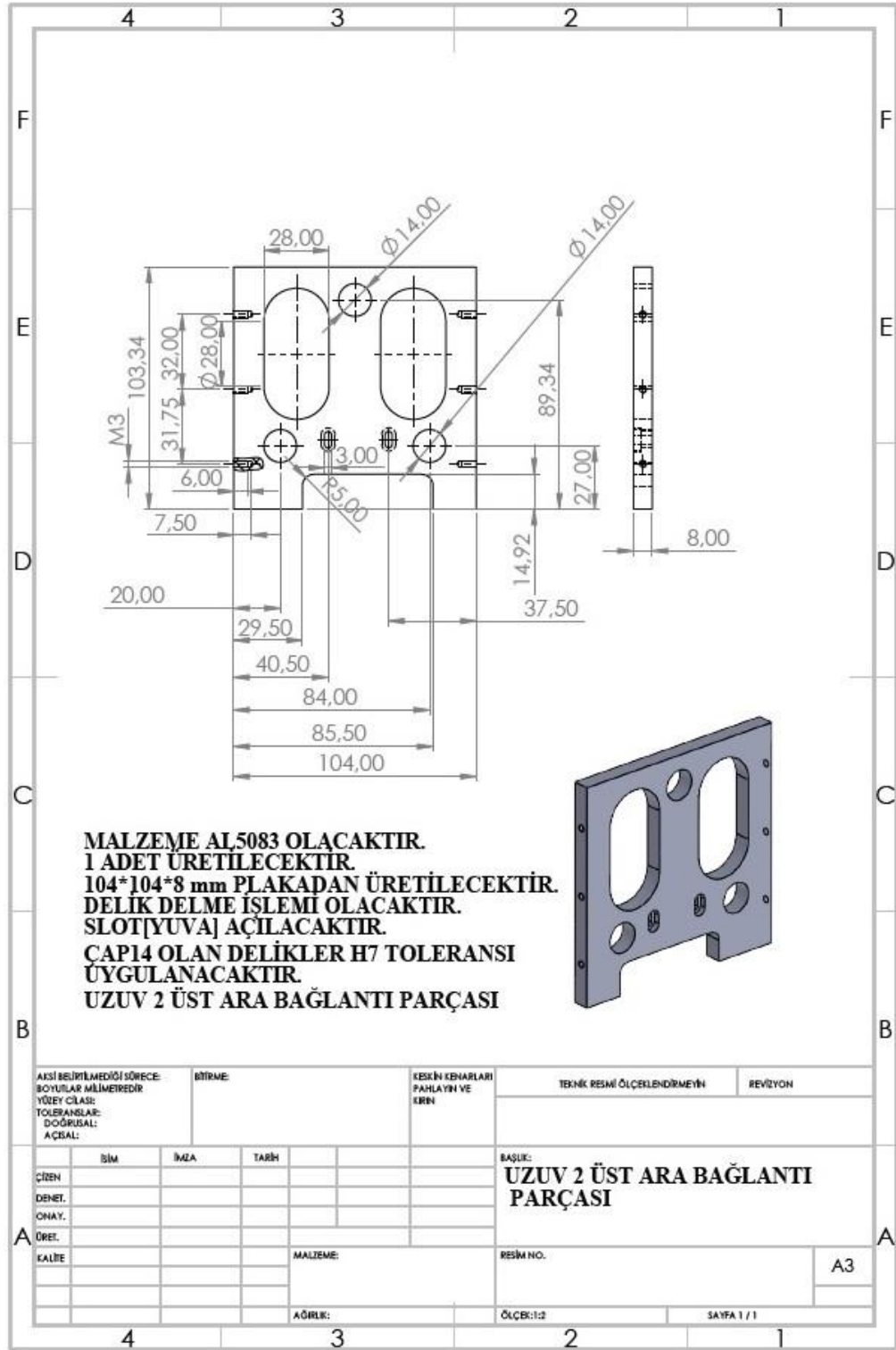
Şekil 2.40: UzuV2 yan destek1 parça teknik resmi.

İkinci uzuv alt ara bağlantı parçası 73x102x7 mm olan plakadan üretimi yapılacaktır. Kanal içi boşaltma işlemi yapılacaktır. Yuvarlatma işlemi yapılacaktır. M3x0.5 delik delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.40).



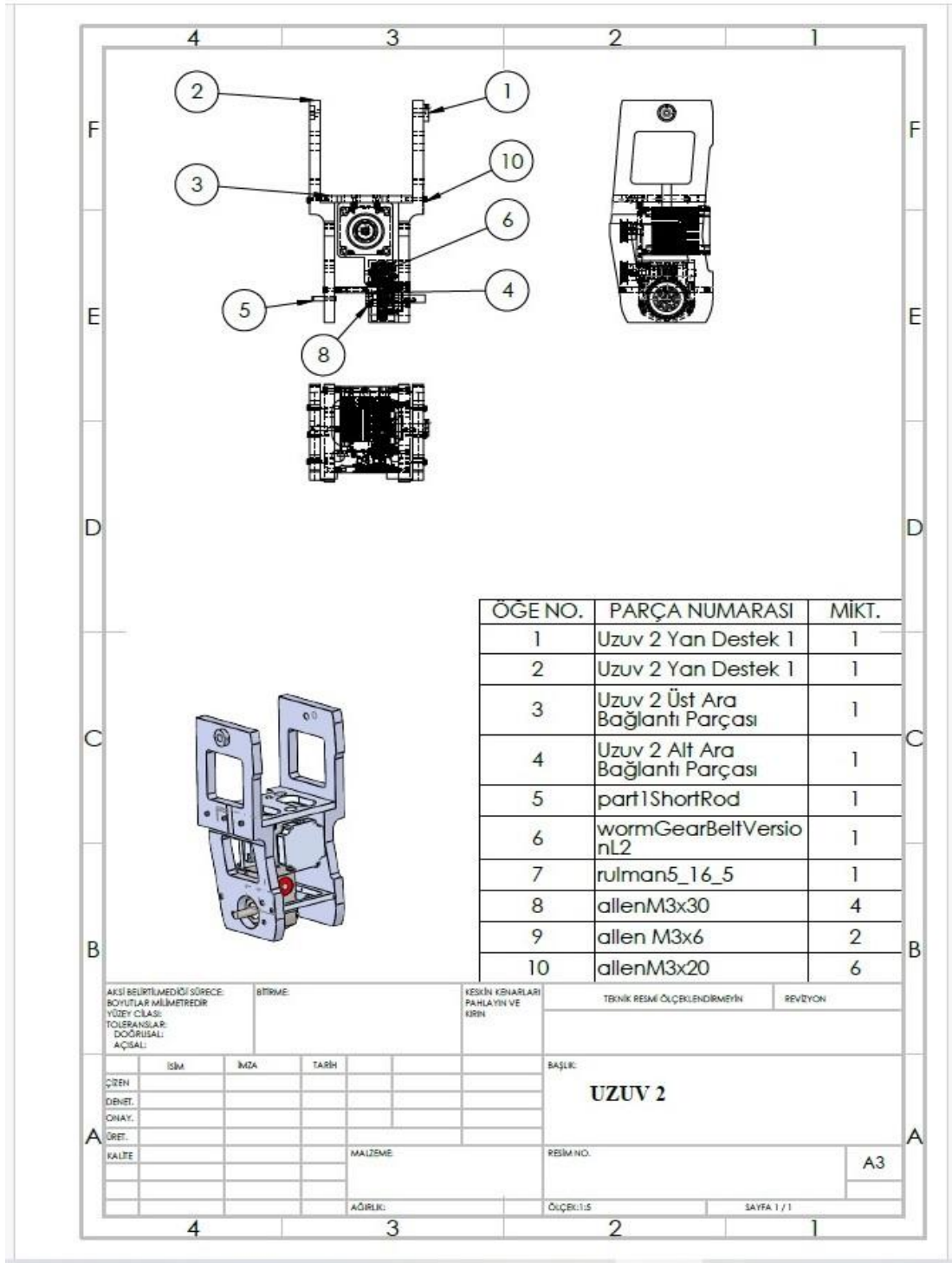
Şekil 2.41: Uzuv2 alt ara bağlantı parça teknik resmi.

İkinci uzuv üst ara bağlantı parçası 104x104x8 mm ölçülerinde olan plakadan üretilacaktır. 2.5 mm çapında olacak şekilde delik delme işlemi yapılacaktır. 14 mm olacak şekilde delik delme işlemi yapılacaktır. Yuva açma ve yuvarlatma işlemi yapılacaktır (Şekil 2.41).



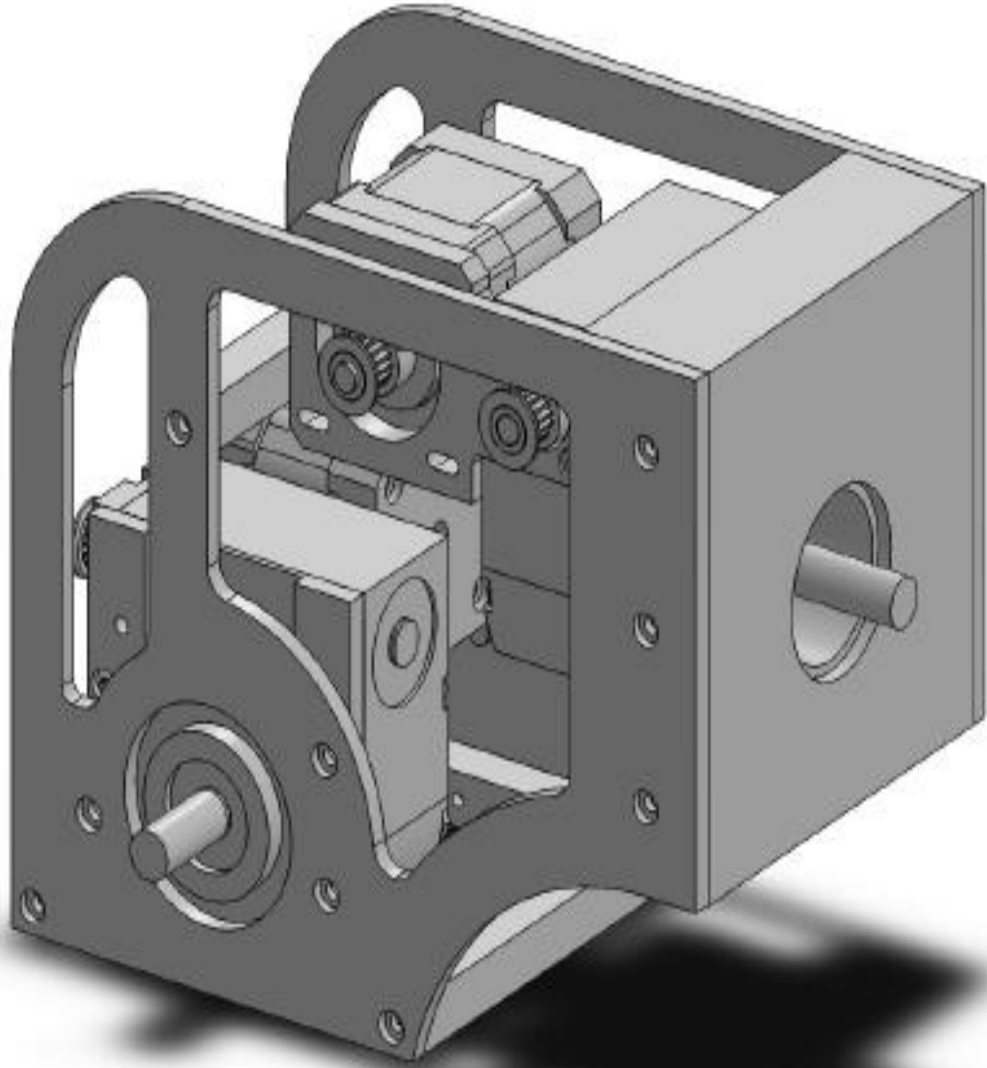
Şekil 2.42: UzuV2 üst ara bağlantı parçası teknik resmi.

12 mm çapındaki dolu milden kademeli mil olarak bir tarafı 5 mm çapında bir tarafı 9 mm çapında torna tezgahında mil işlenecektir. UzuV2 yan destek parçası redüktör çıkış milinden uzuV1 yan parçası deliklerinden geçirilerek takılacaktır (Şekil 2.42).



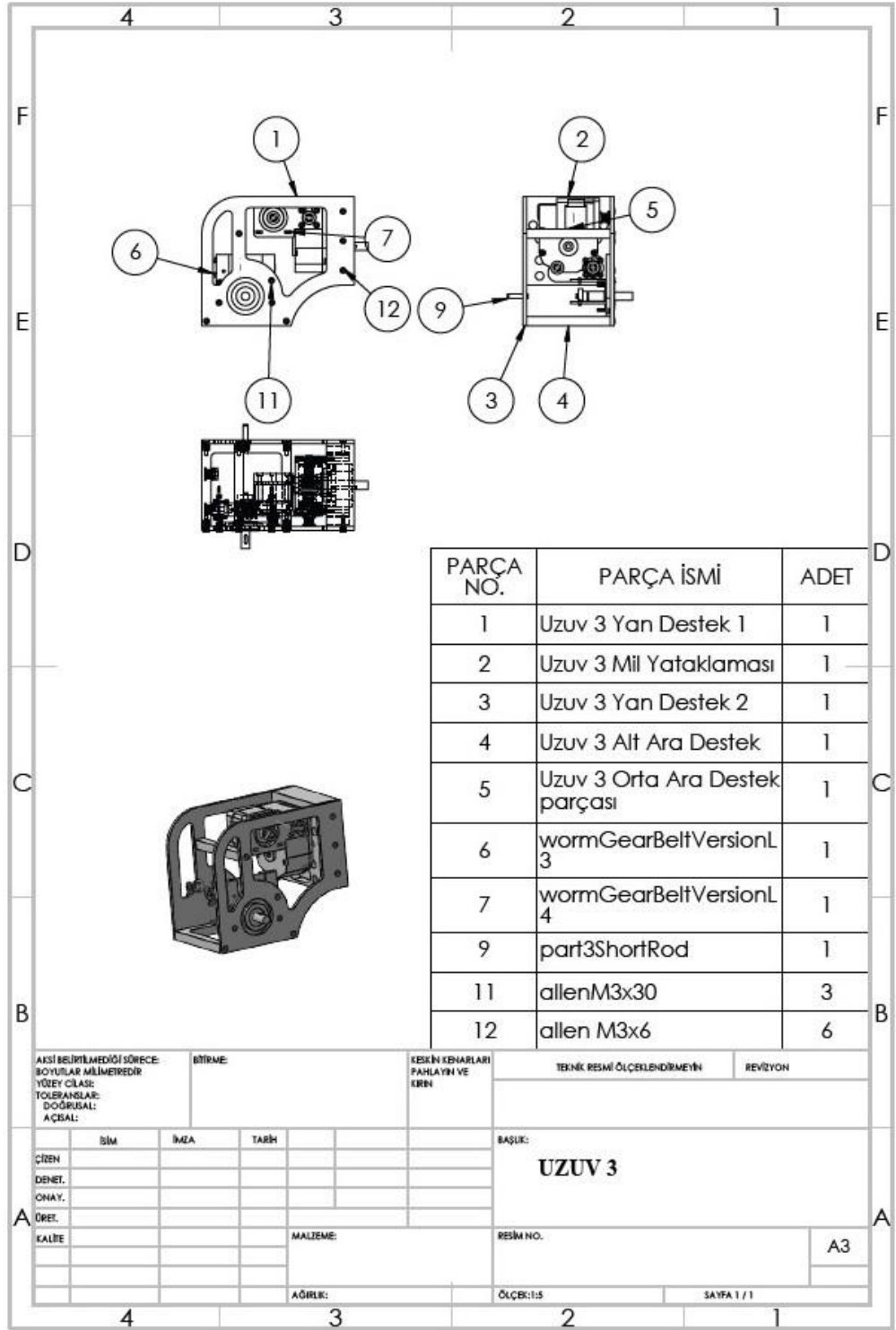
Şekil 2.43: İkinci uzuv montaj resmi.

5 mm çapındaki dolu milden torna tezgahında mil işlenecektir. Milin her iki tarafına segman kanalı açılacaktır. Uzuv2 yan destek parçasına uzuv1 yan parçası deliklerinden 5 mm çapındaki mil geçirilerek iki ucuna segmanlar takılacaktır (Şekil 2.43).

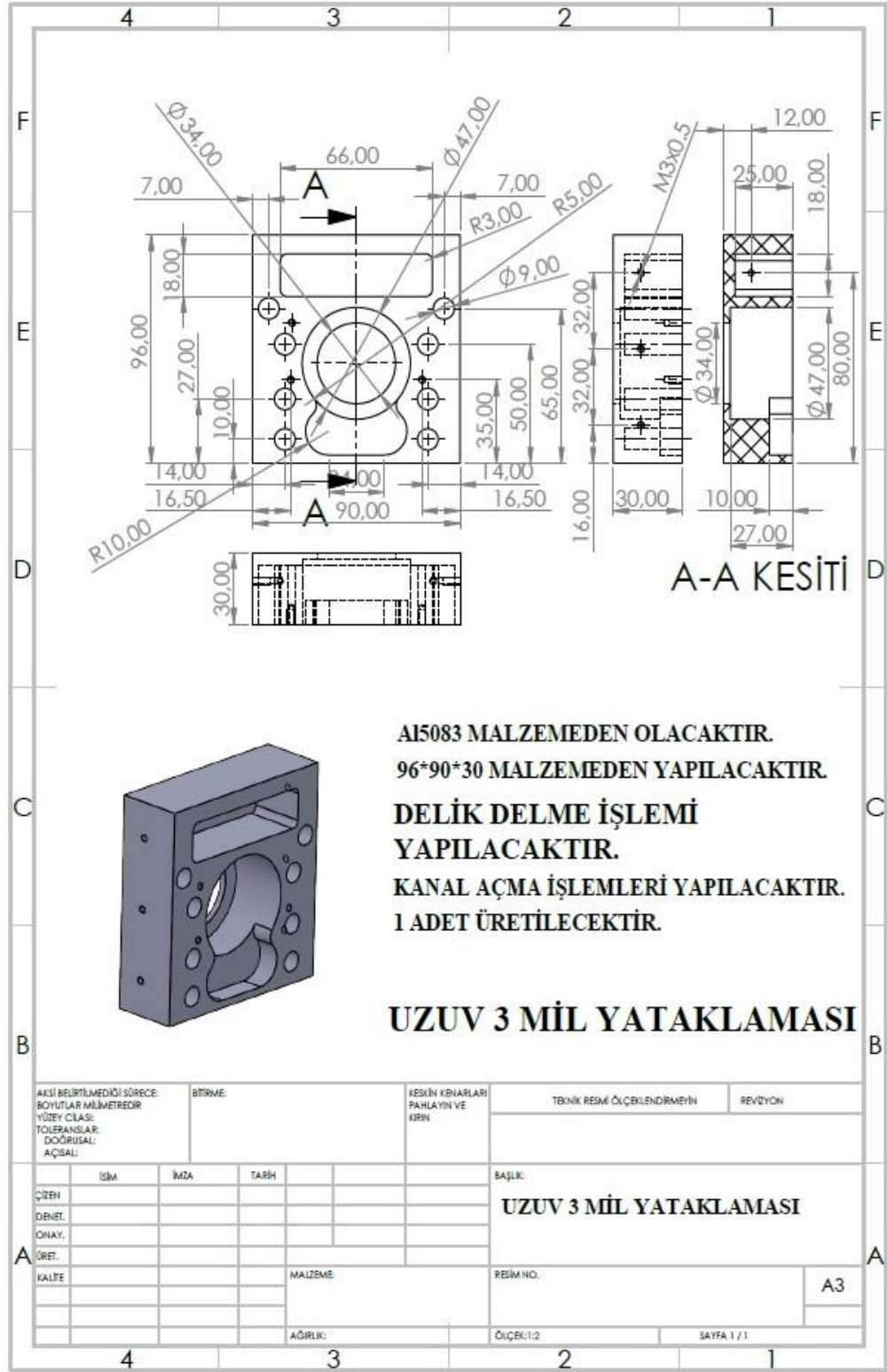


Şekil 2.44: Üçüncü uzuv perspektif görünüşü.

Üçüncü uzuv iki adet yan destek parçası ara destek parçaları ile birleştirilecektir. Diğer uzuvlardan farklı olarak üçüncü uzuv, iki adet motor ve iki adet redüktör grubunu içermektedir. Üçüncü uzuv mil yataklama parçasına redüktör çıkış mili merkezlenecek şekilde montajlanacaktır. Motor redüktör grubunda redüktör plakası yardımı ile birbirine bağlantısı yapılacaktır. Motor ile redüktör arasında hareket aktarımı yapılacaktır.

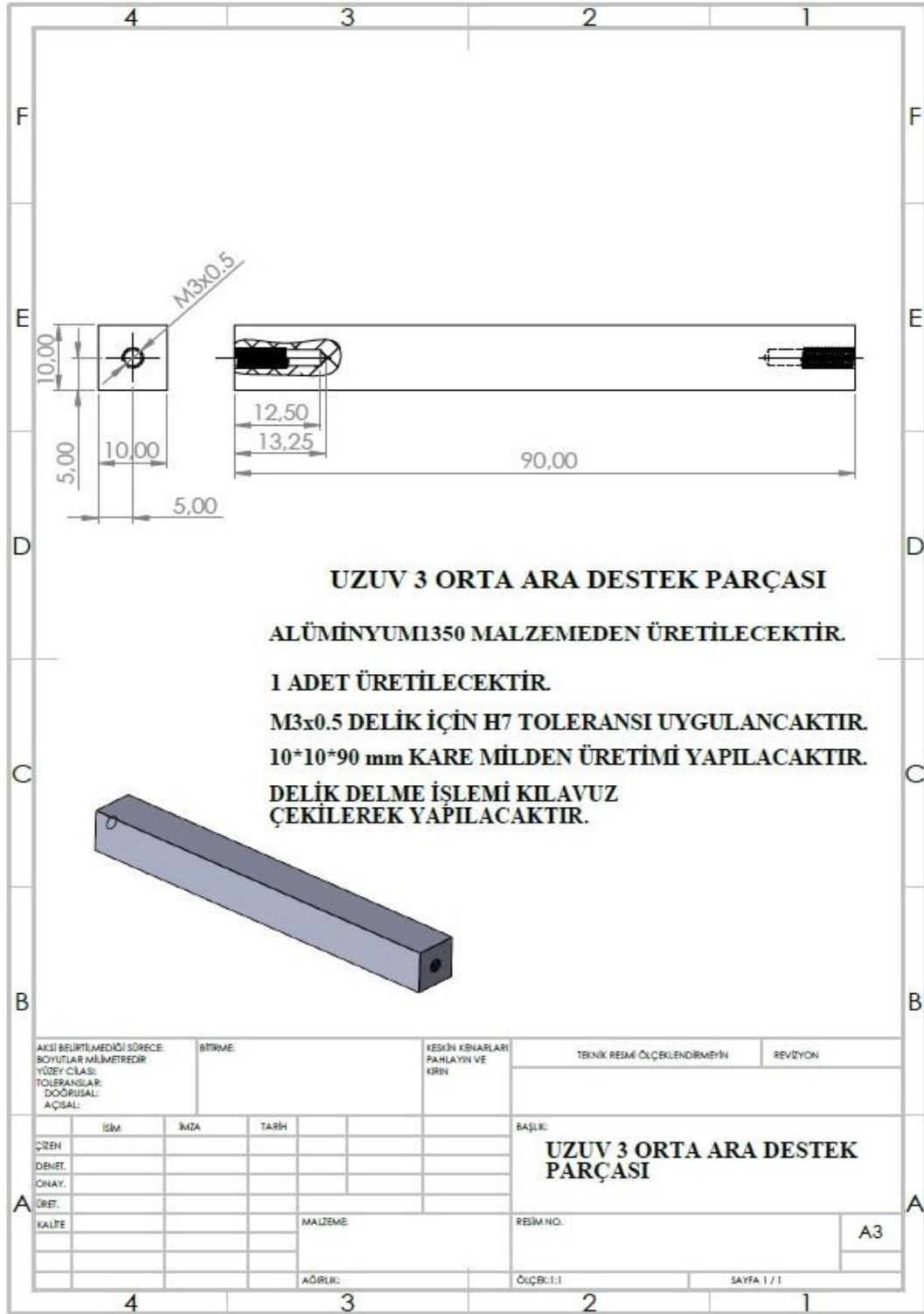


Şekil 2.45: Üçüncü uzuv montaj resmi.



Şekil 2.46: Uzu3 mil yataklaması parça teknik resmi.

Üçüncü uzuv mil yataklaması parçası 90x96x20 mm ölçülerinde alüminyum malzemeden üretimi yapılacaktır. M3x0.5 delik delme işlemi yapılacaktır. Parça içi boşaltma işlemi yapılacaktır (Şekil 2.46).



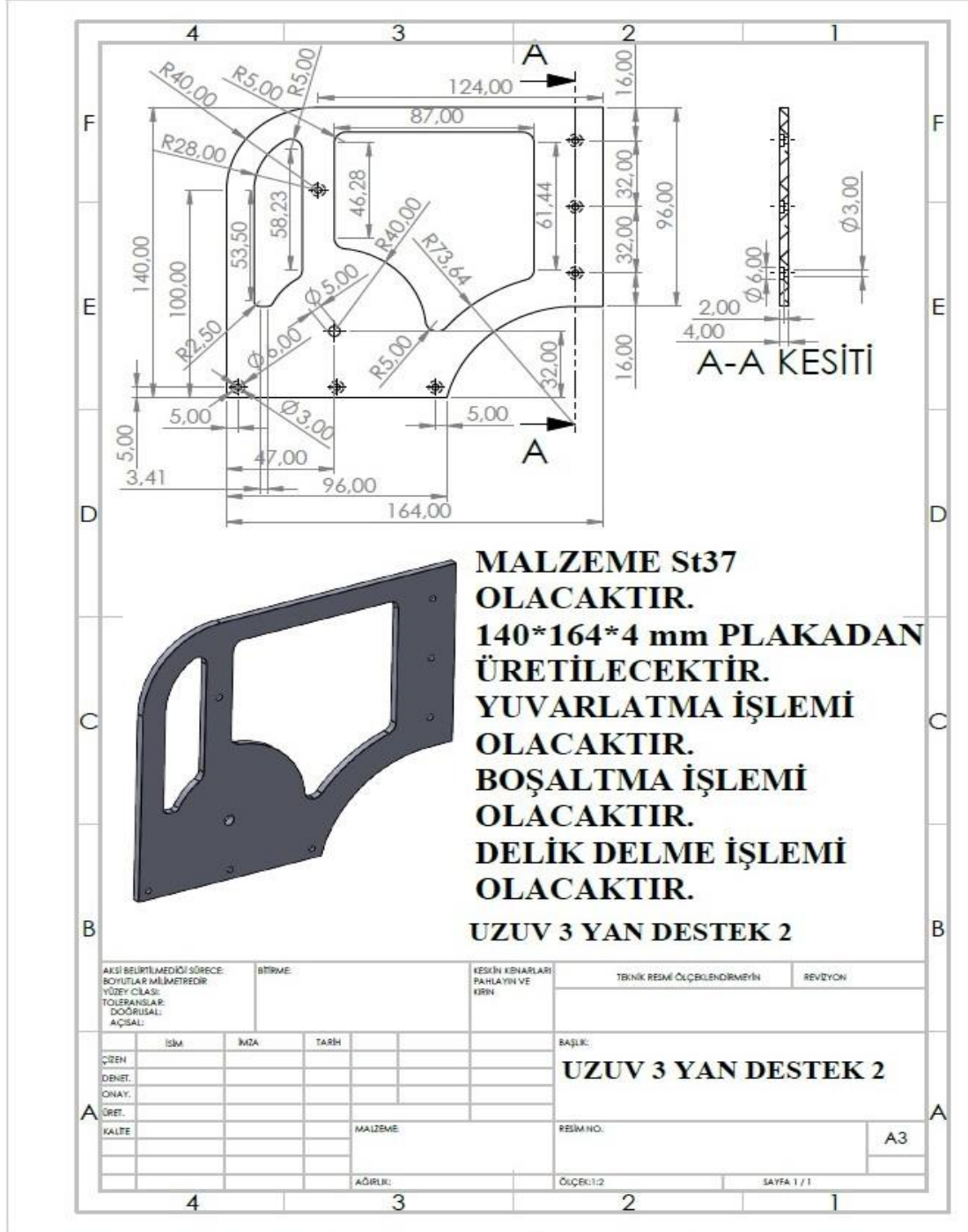
Şekil 2.47. UzuV3 orta ara destek parça teknik resmi.

Üçüncü uzuv orta ara destek parçası 10x10x90 mm ölçülerinde alüminyum malzemeden üretimi yapılacaktır. Kare kesit olan bölgeye sol-sağ olacak şekilde M3x0.5 delik açılacaktır (Şekil 2.47).



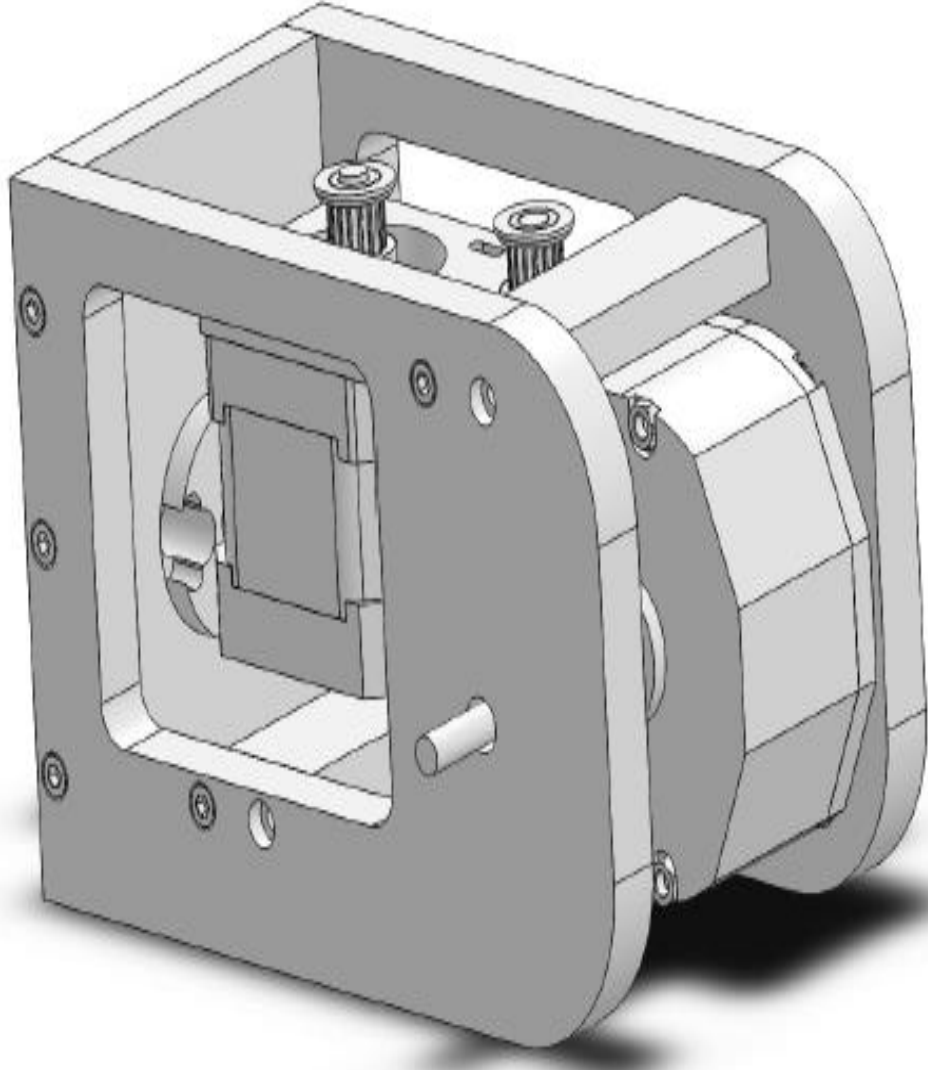
Şekil 2.48. Uzuv3 yan destek1 parça teknik resmi.

Üçüncü uzuv yan destek parçasından simetrik olarak iki adet 164x140x4 mm ölçülerindeki malzemedan üretim yapılacaktır. Boşaltma işlemi ve yuvarlatma işlemi yapılacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.48).



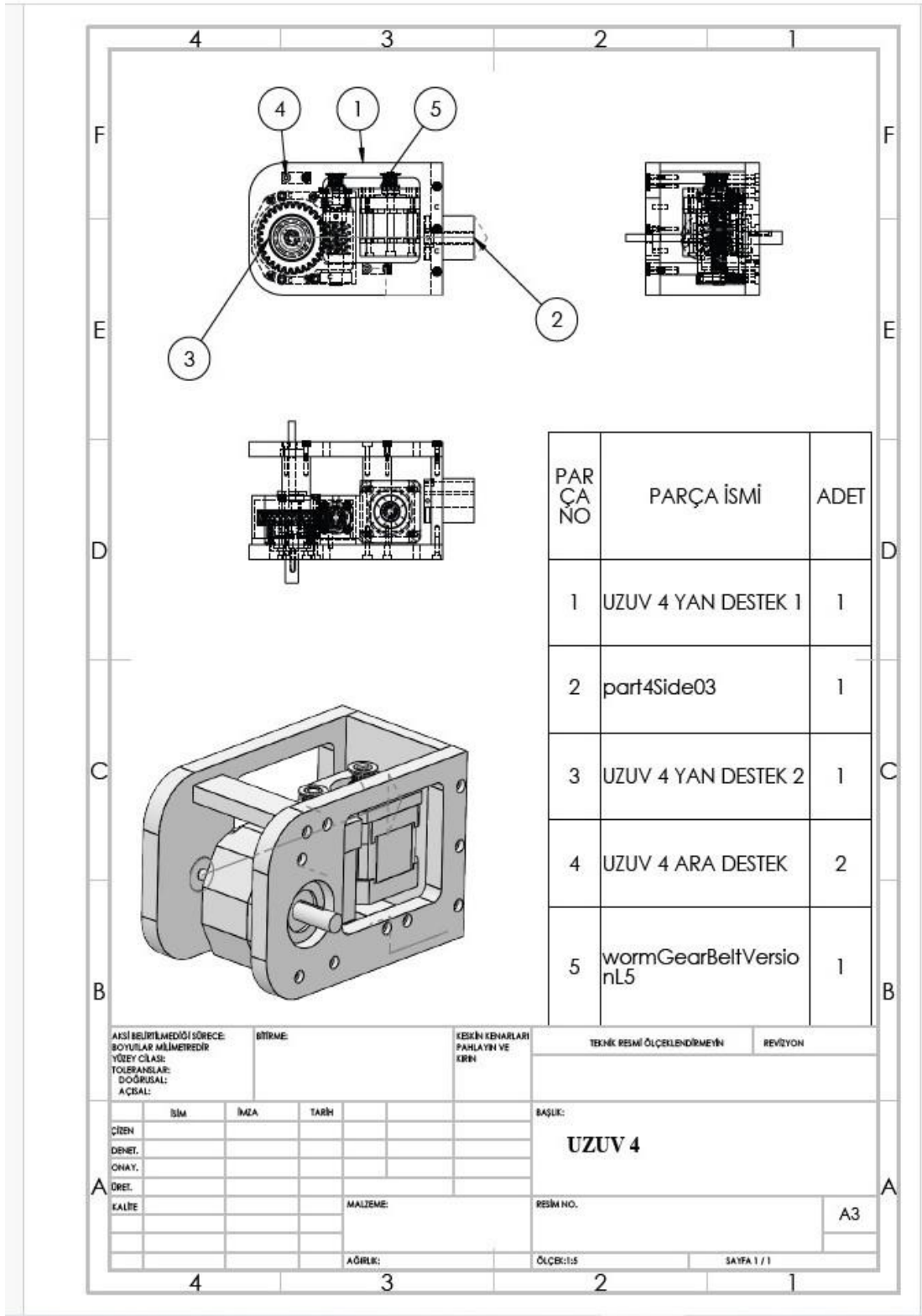
Şekil 2.49: Uzu3 yan destek2 parça teknik resmi.

Üçüncü uzuv üst ara destek 90x96x30 mm ölçülerinde alüminyum malzemeden üretimi yapılacaktır. Matkapla 2.5 mm çapında delikler delinecektir. Matkapla 47 mm çapında iç boşaltma işlemi yapılacaktır. Matkapla 9 mm çapında sekiz adet delik delinecektir. Yuvarlak olacak şekilde boşaltma yapılacaktır. 66x18 mm ebatlarında boşaltma işlemi tornalama şeklinde yapılacaktır. Boşaltma olacak yerlerin köşelerine yuvarlatma yapılacaktır (Şekil 2.49).

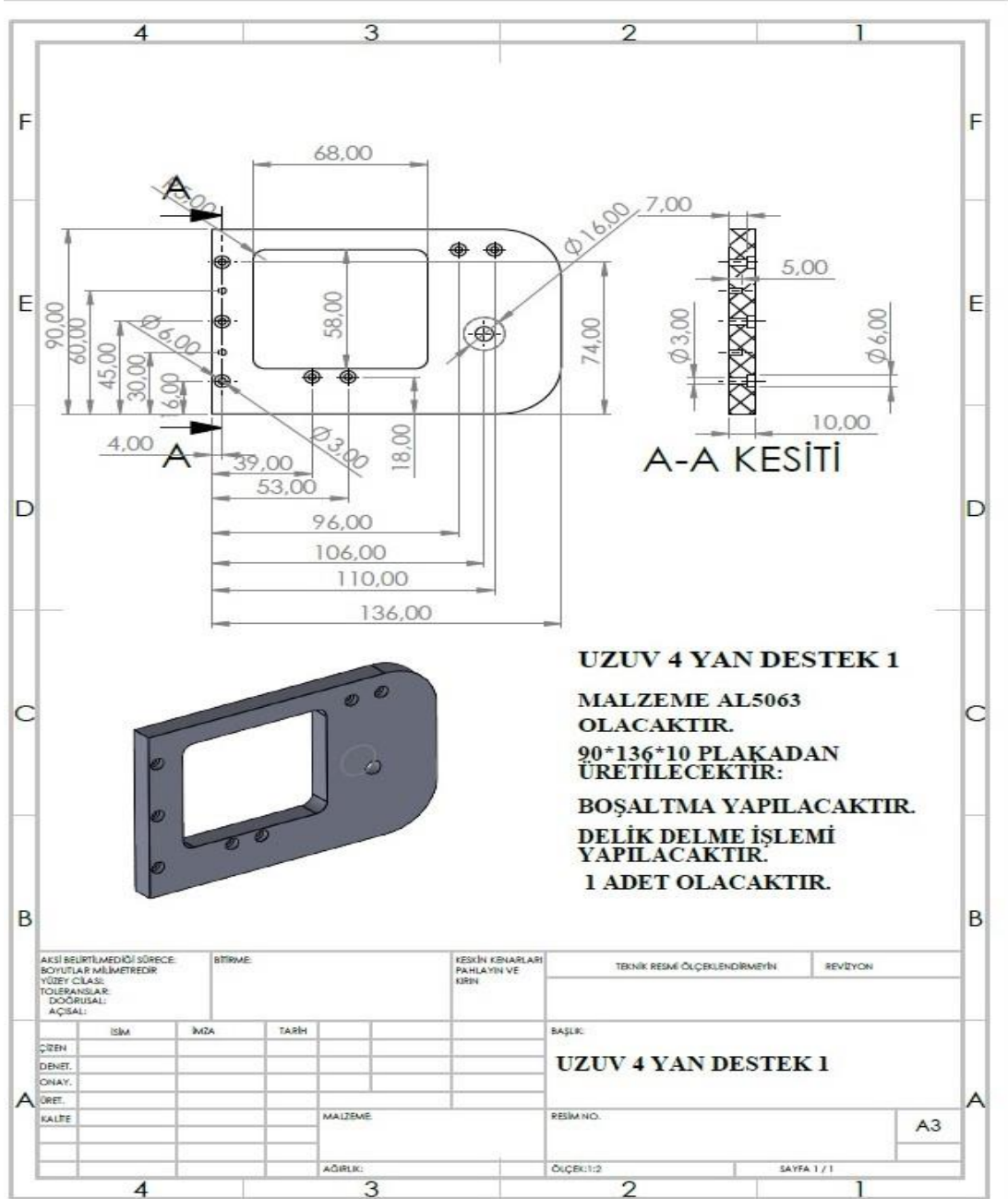


Şekil 2.50: Dördüncü uzuv perspektif görünüş.

Dördüncü uzuv iki adet yan destek parçası ve iki adet ara destek parçası ile birleştirilecektir. Üçüncü uzuv mil yataklama parçasına geçecek olan dördüncü uzuv alt ara bağlantı parçası mil ile bağlantısı yapılacaktır. Motor redüktör grubunda redüktör plakası yardımı ile birbirine bağlantısı yapılacaktır. Motor ile redüktör arasında hareket aktarımı yapılacaktır (Şekil 2.50).

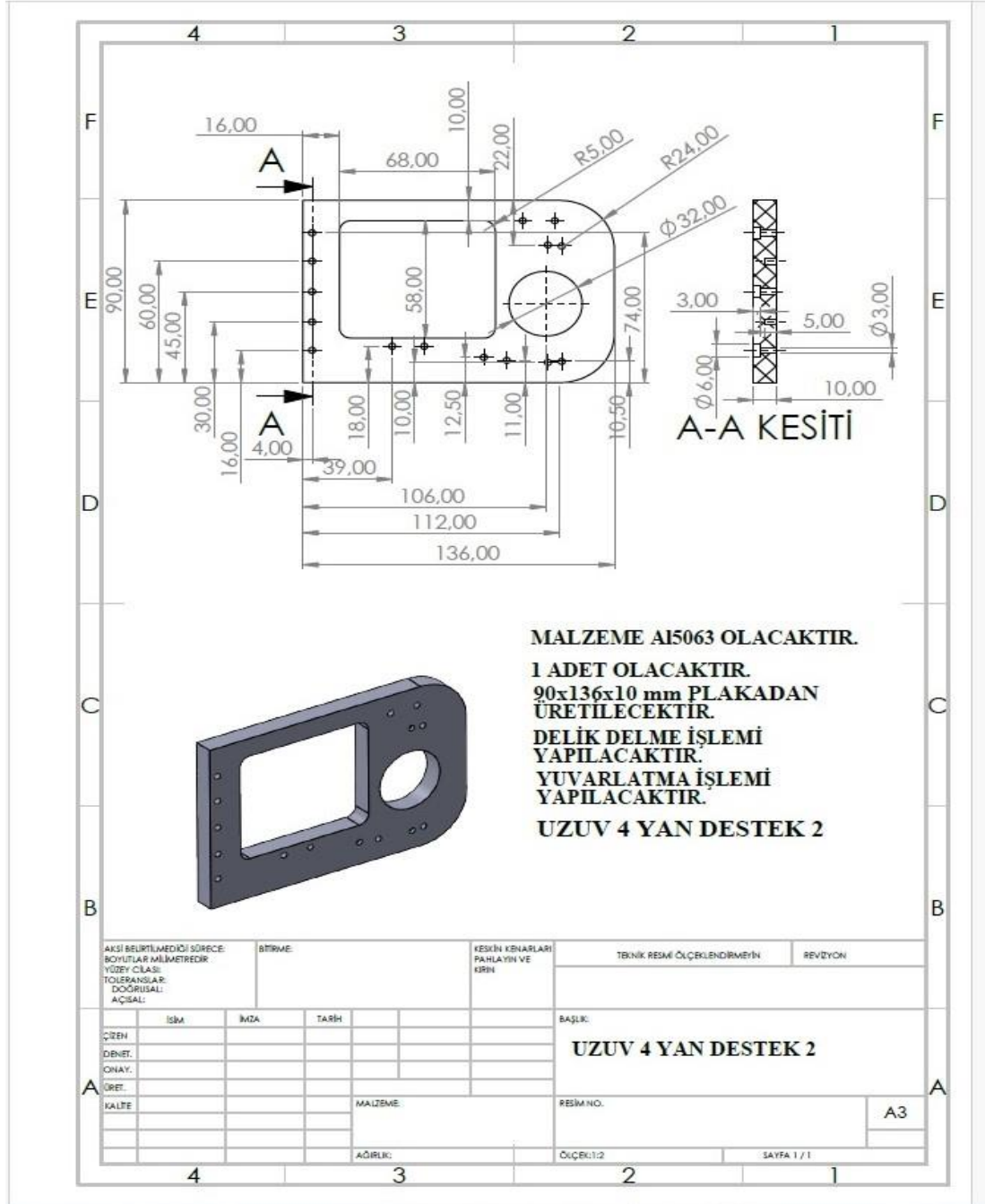


Şekil 2.51: UzuV4 montaj resmi.



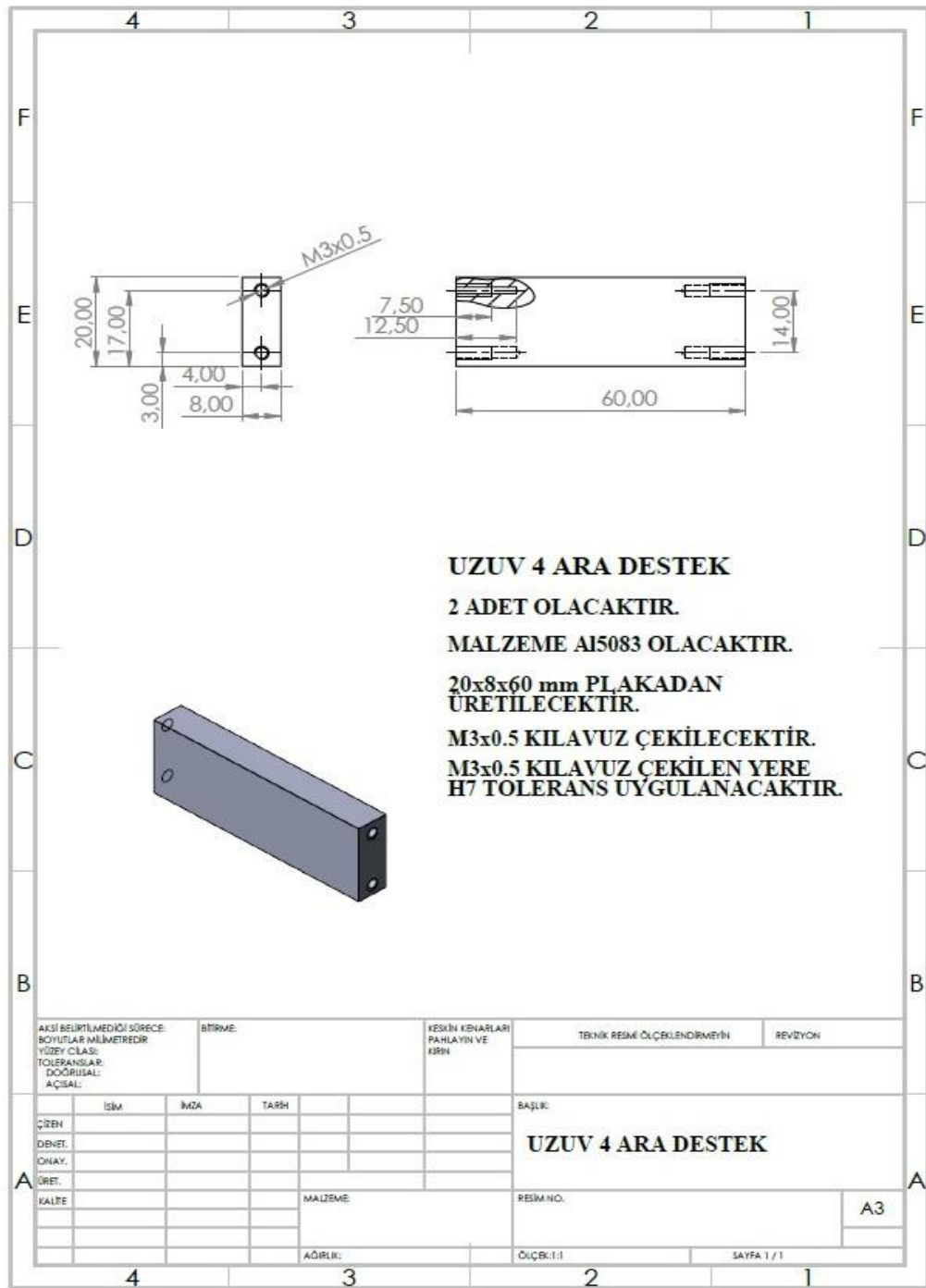
Şekil 2.52: Uzuv4 yan destek1 parça teknik resmi.

Dördüncü uzuv yan destek parçası 90x136x10 mm ebatlarında olan alüminyum plakadan üretilen parçadır. Matkap ile teknik resimdeki ölçülerde delik işlemi yapılacaktır. Plaka içerisindeki 68x58 mm ölçülerinde dikdörtgen olacak şekilde boşaltma frezede yapılacaktır. Köşelerine yuvarlatma işlemi frezede yapılacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi matkap tezgahında yapılacaktır (Şekil 2.52).



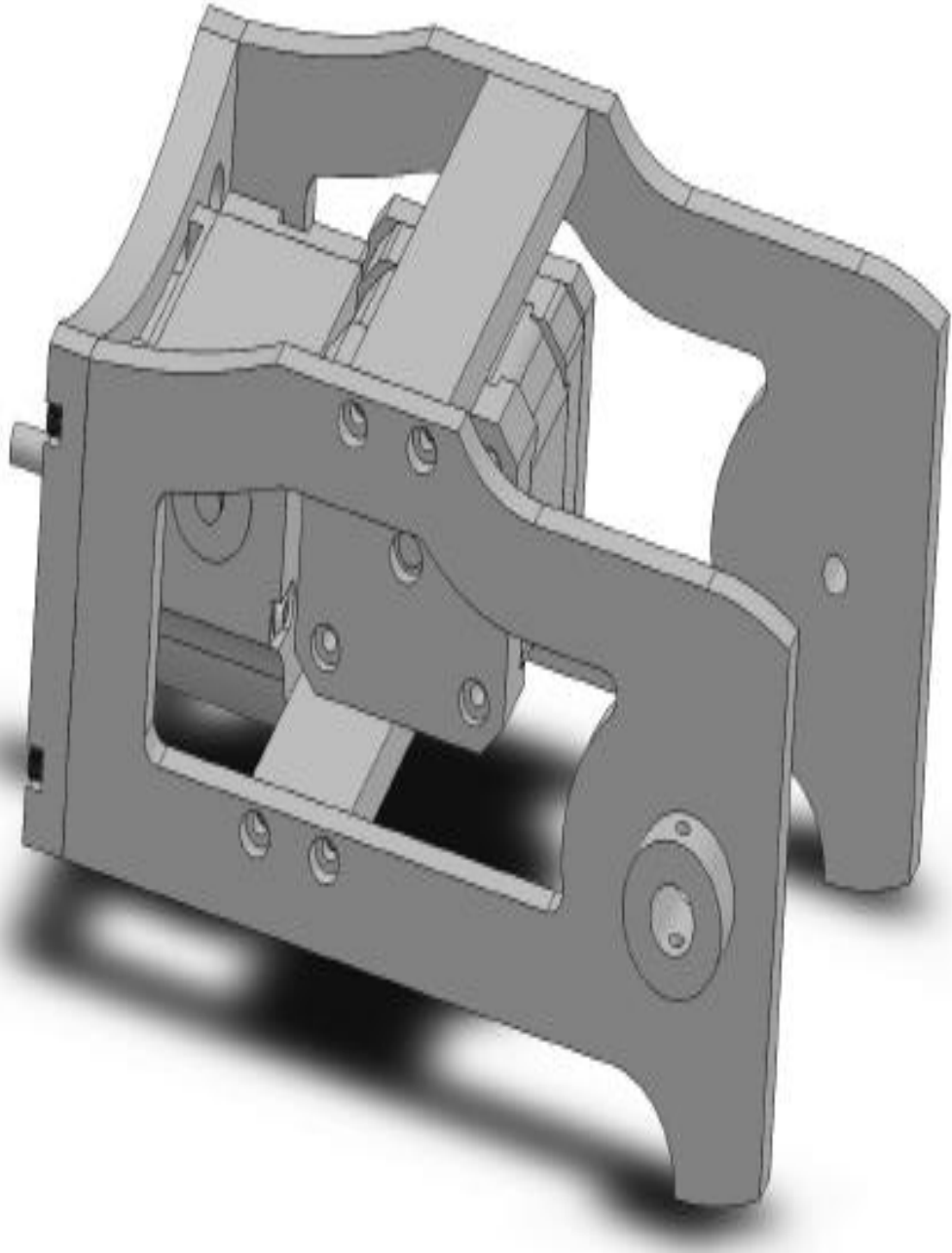
Şekil 2.53: Uzu4 yan destek2 parça teknik resmi.

Dördüncü uzuv yan destek parçası 90x136x10 mm ebatlarında olan alüminyum plakadan üretilen parçadır. Matkap ile teknik resimdeki ölçülerde delik işlemi yapılacaktır. Plaka içerisindeki 68x58 mm ölçülerinde dikdörtgen olacak şekilde boşaltma frezede yapılacaktır. Köşelerine yuvarlatma işlemi frezede yapılacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi matkap tezgahında yapılacaktır (Şekil 2.53).



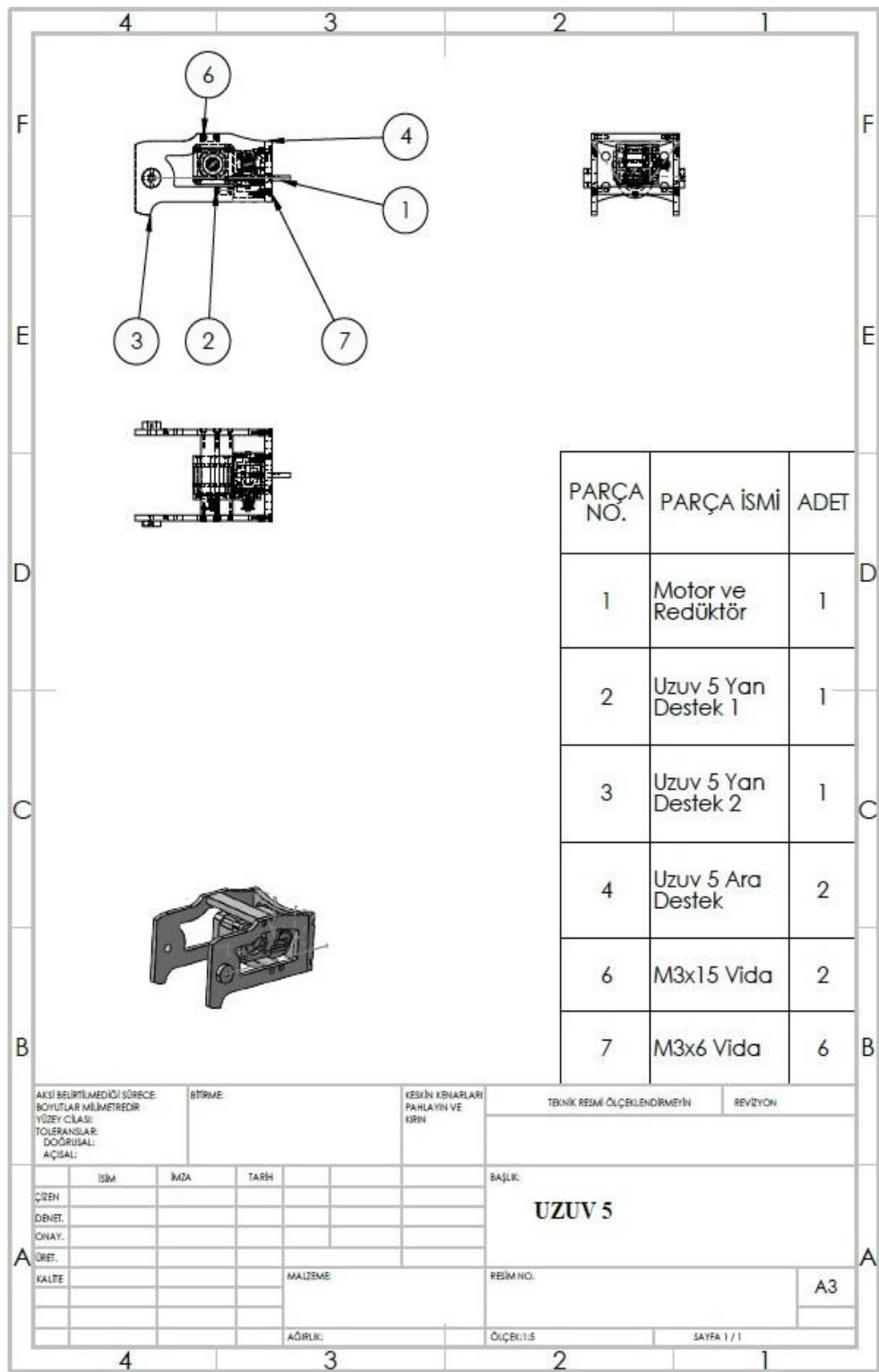
Şekil 2.54: Uzun4 ara destek parça teknik resmi.

Dördüncü uzuv ara destek parçası 60x20x8 mm olan alüminyum plakadan üretimi yapılacaktır. Dikdörtgen kesit olan kısımlara sol-sağ olacak şekilde havşa başlı delik matkap ile açılacaktır. Bu parçadan iki adet üretilenektir (Şekil 2.54).

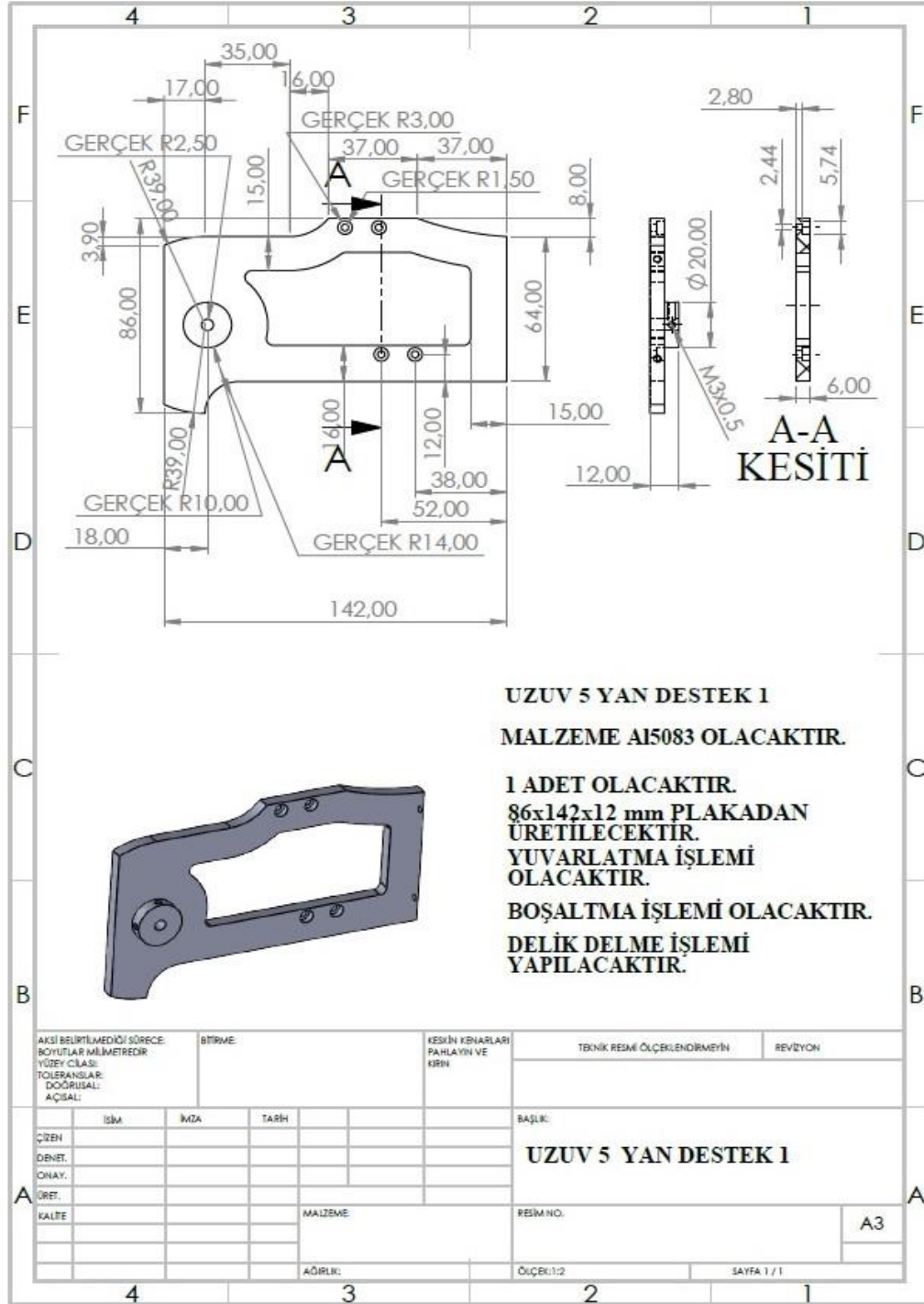


Şekil 2.55: Beşinci uzuv perspektif görünüş.

Beşinci uzuv iki adet yan destek parçası ve iki adet ara destek parçası ile birleştirilecektir. Dördüncü uzuv redüktör mil çıkışından beşinci uzva mil ile bağlantısı yapılacaktır. Motor redüktör grubunda redüktör plakası yardımı ile birbirine bağlantısı yapılacaktır. Motor ile redüktör arasında hareket aktarımı yapılacaktır (Şekil 2.55).

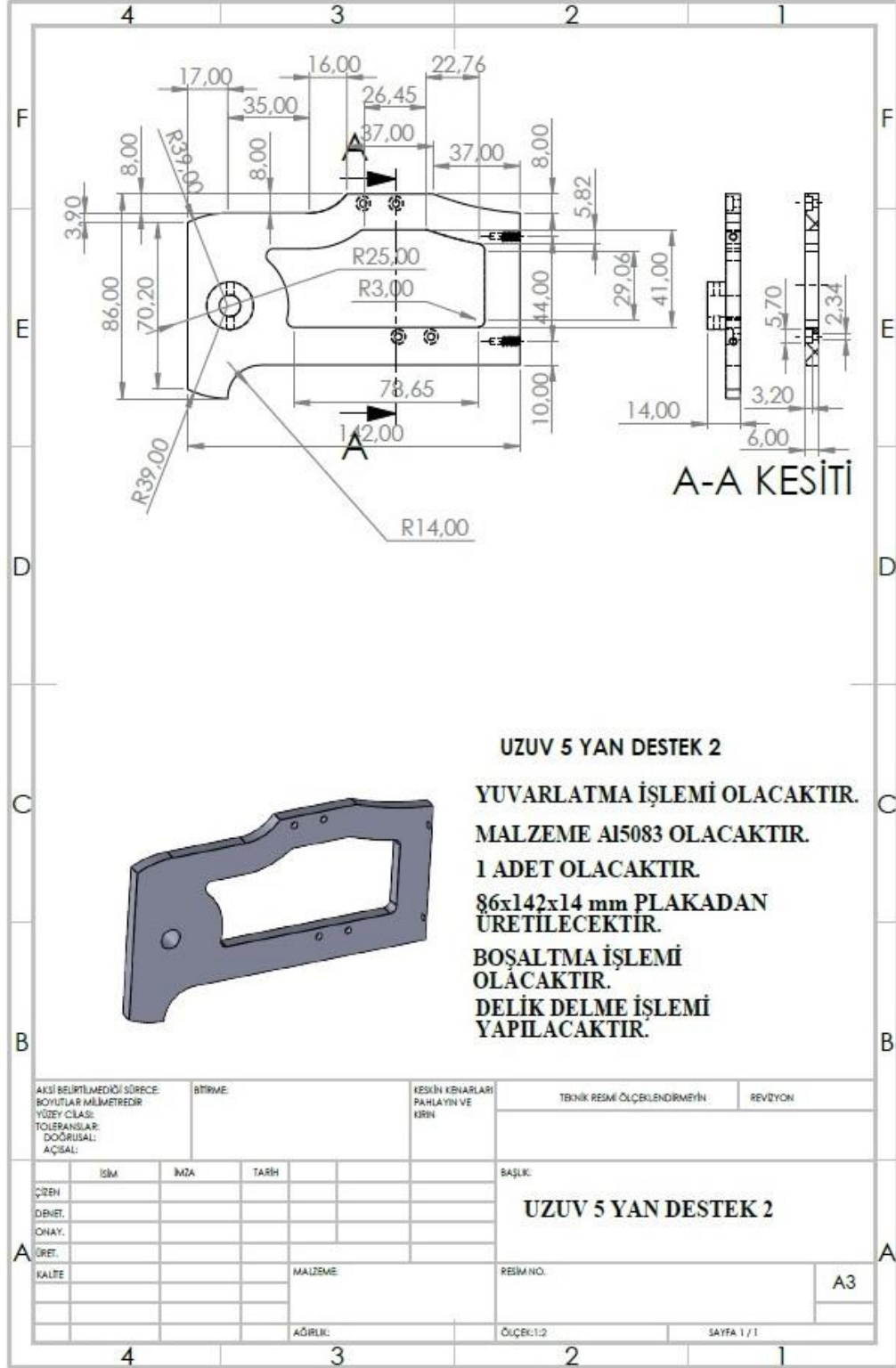


Şekil 2.56: Uzuv5 montaj resmi.



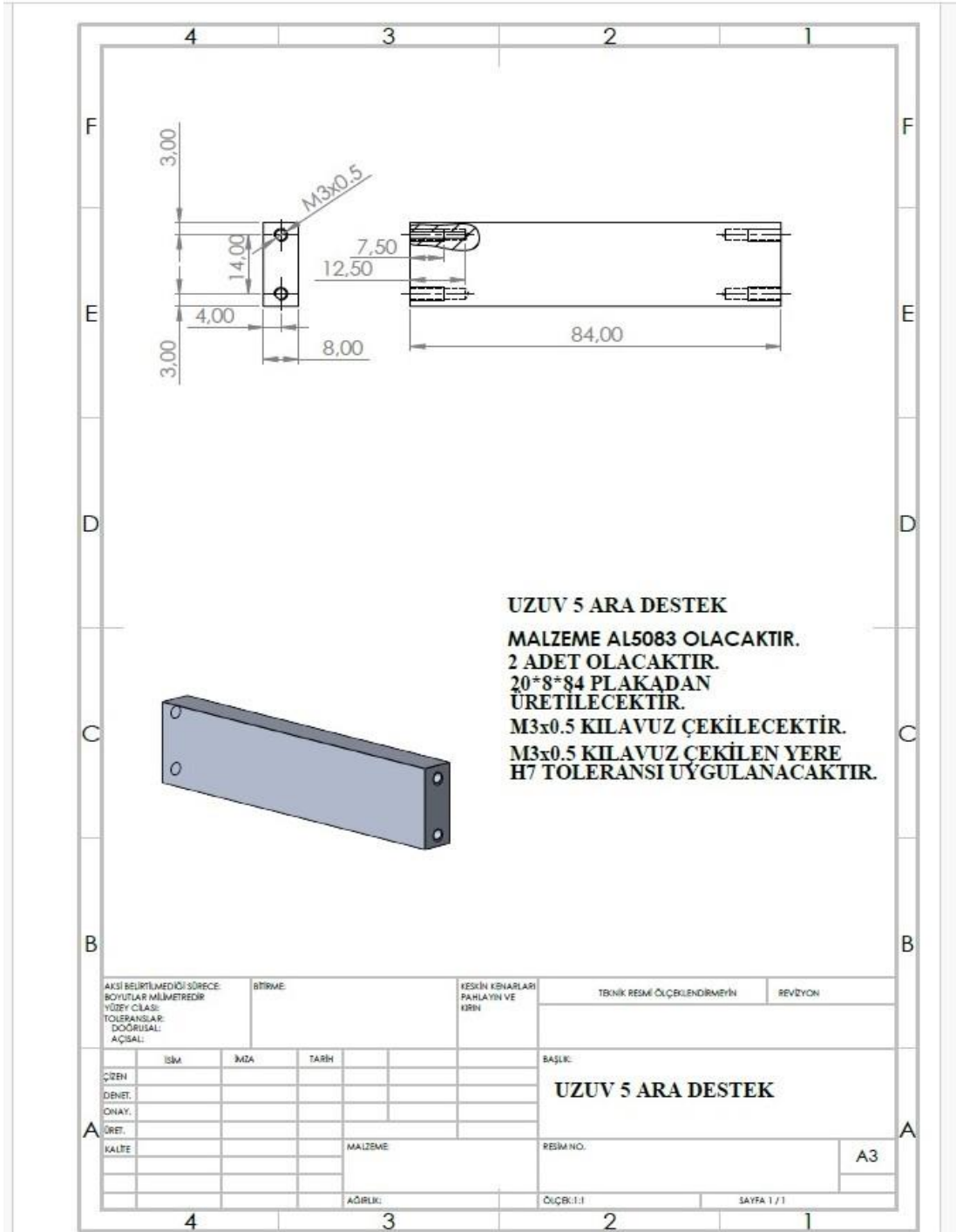
Şekil 2.57: UzuV5 yan destek1 parça teknik resmi.

Beşinci uzuv yan destek parçası olarak 142x86x12 mm olan plakadan üretim yapılacaktır. Parçanın ağırlığını azaltmak için boşaltma işlemi frezeleme ile yapılacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi matkap ile yapılacaktır. 3 mm çapında olacak şekilde matkap ile delme işlemi yapılacaktır (Şekil 2.57).



Şekil 2.58: Uzuv5 yan destek2 parça teknik resmi.

Beşinci uzuv yan destek1 parçasının simetrisi olarak üretilecektir (Şekil 2.58).



Şekil 2.59: Uzun5 ara destek parça teknik resmi.

Beşinci uzva destek parçası 20x84x8 mm dikdörtgen plakadan yapılacaktır. Dikdörtgen kesit olan kısımlarına M3x0.5 olacak şekilde kılavuz çekilecektir. 3 mm çapında olacak şekilde matkap ile delik delme işlemi yapılacaktır. İki adet üretilecektir (Şekil 2.59).

2.4 Robotun Bileşenlerinin İmalatı ve Montajı

Seri robot olarak tasarlanan robot kolunun Nema 23 motor ve redüktör grubunu içerisinde barındıracak şekilde tasarlanan silindirik şasenin kapak montajı için üzerine altı adet vida deliği açılmıştır (Şekil 2.60).



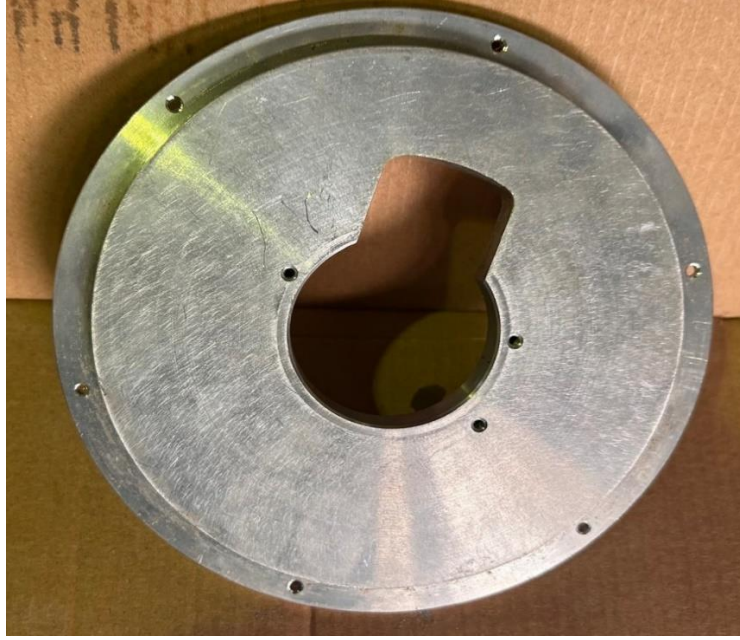
Şekil 2.60: Silindirik şase-1.

Kabloların bağlantısı için silindirik taraftan oyuk açılacaktır (Şekil 2.61).



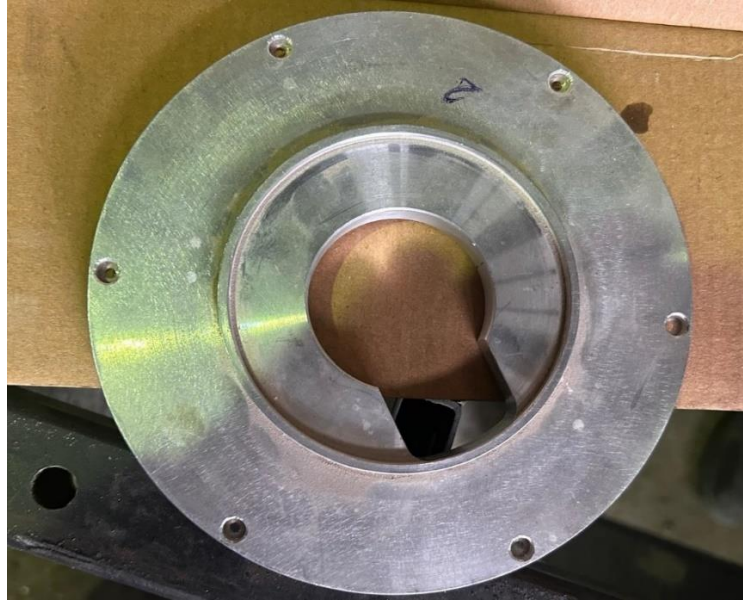
Şekil 2.61: Silindirik şase-2.

Büyük redüktör gövdesi ve kapağını silindirik şase kapağına montajlayabilmek için kapağın iç tarafından vida delikleri açılmıştır (Şekil 2.63).



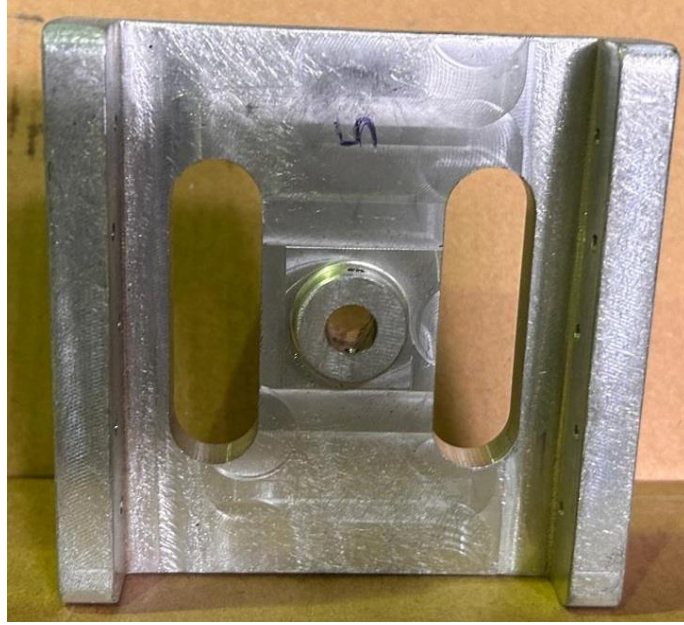
Şekil 2.62: Silindirik şase kapağı-1.

Robotun kendi eksenini etrafında 360° dönebilmesi için sistem üzerine binecek yükleri aksenal olarak karşılanmasını sağlayacak silindirik şase kapağı üzerinde bulunacak olan AKX6590 iğneli rulmana yataklık yapacak oyuk tasarlanmış ve imal edilmiştir (Şekil 2.62).



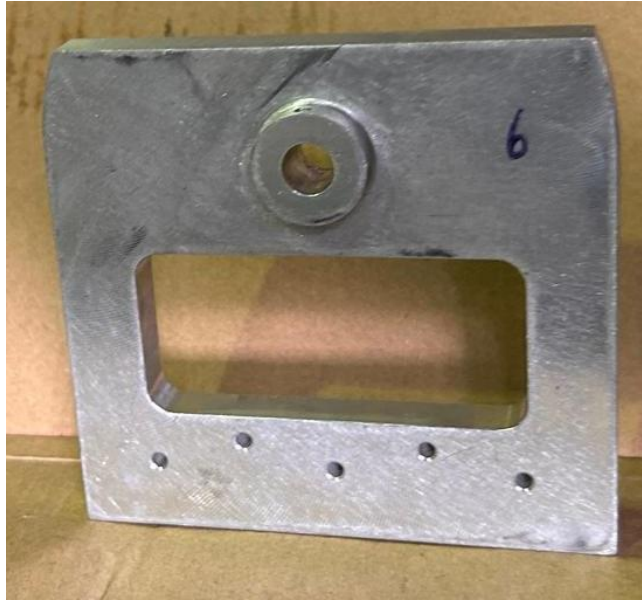
Şekil 2.63: Silindirik şase kapağı-2.

AKX6590 iğneli rulman üzerinde büyük redüktörün çıkış milinden hareket alarak robot kolunun dönmesini sağlayacak birinci uzvun orta destek parçası imal edilmiştir (Şekil 2.64).



Şekil 2.64: Birinci uzuv orta destek parçası.

Birinci uzuv ile ikinci uzuv arasında mil yatağından millerin montajı ile bağlantısını gerçekleştirecek birinci uzuv yan destek parçası imal edilmiştir (Şekil 2.65).



Şekil 2.65: Birinci uzuv yan destek parçası.

İkinci uzuv Nema 23 motor ve redüktör grubunu içerisinde barındıracak şekilde iki adet yan destek parçası imal edilmiştir (Şekil 2.66).



Şekil 2.66: İkinci uzuv montaj-1.

İkinci uzvun ara bağlantı parçaları imal edilerek yan destek parçaları arasına montajlanır (Şekil 2.71).



Şekil 2.67: İkinci uzuv montaj-2.

Sonsuz vida dişli grubunu içerisinde barındıran mil eksenlerini 90° çevirip hareketi aktarmaya yarayan gövde ve kapaktan oluşan redüktör parçası üretilip montajlanmıştır (Şekil 2.72).



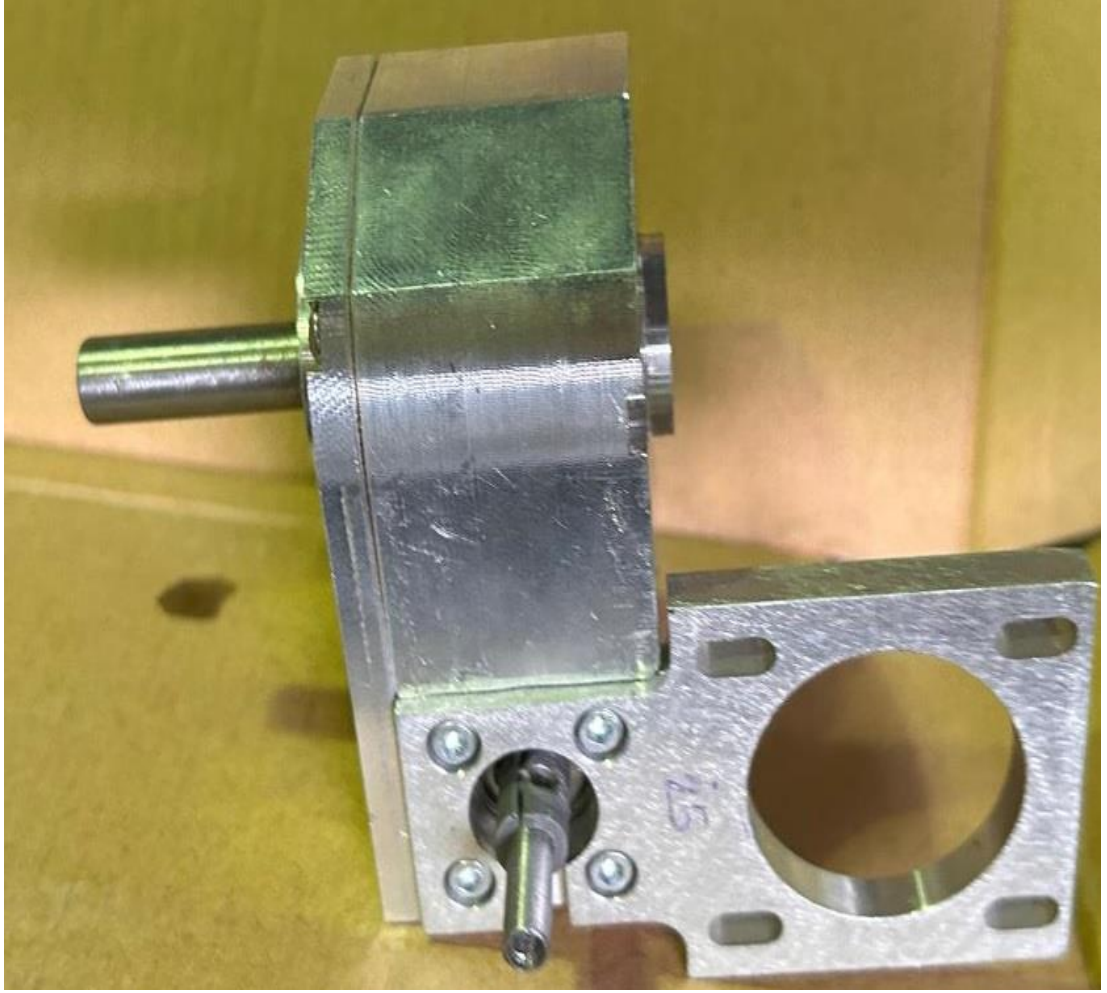
Şekil 2.68: Redüktör.

Redüktör plakası motor üzerine redüktörü monte etmeye yarayan vida delikleri açılmıştır (Şekil 2.68).



Şekil 2.69: Redüktör plakası.

Motor ve redüktör grupları vidalı bağlantı ile bir plaka yardımı ile birbirine bağlanır (Şekil 2.39).



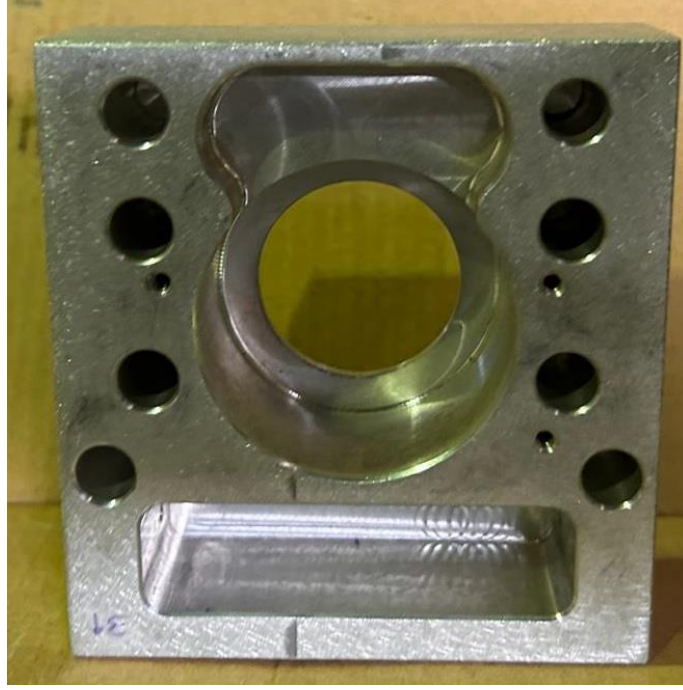
Şekil 2.70: Redüktör plakası montajlı hali.

Üçüncü uzuv yan destek parçaları çelik malzemedен iki adet üretilmiştir. Bu parçalardan bir tanesi redüktörün kapak tarafından motor ile redüktörün plakalı halde montajlı halini taşıyacak şekilde vidalı bağlantı şeklinde bağlanacaktır. Üçüncü uzvun alt ve orta ara destek bağlantı parçaları vidalı bağlantı ile birleştirilecektir (Şekil 2.40).



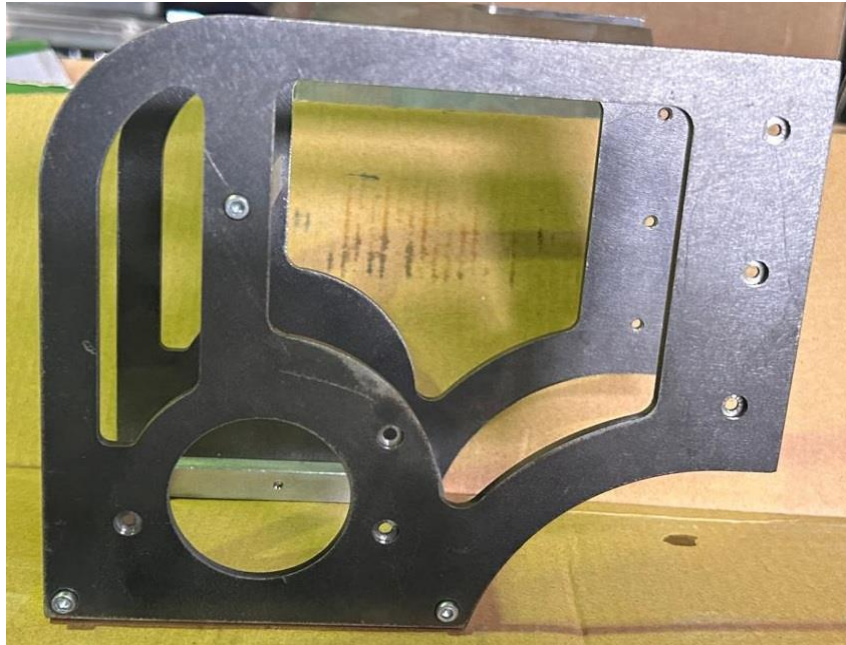
Şekil 2.71: Üçüncü uzuv orta destek parçası.

Üçüncü uzvun dördüncü uzva hareketi aktaracak redüktör çıkış milinin yataklanmasını sağlayacak parça imal edilmiştir (Şekil 2.72).



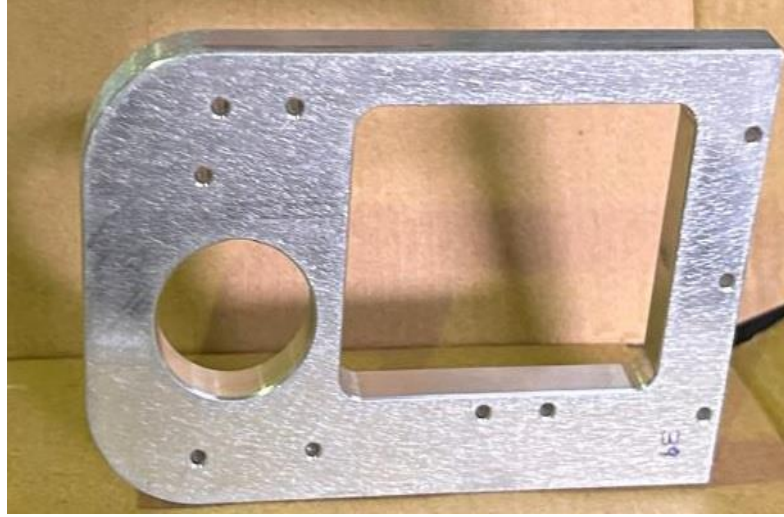
Şekil 2.72: Üçüncü uzuv mil yataklama parçası.

Üçüncü uzvun yan destek parçaları birleştirilerek montajı tamamlanacaktır (Şekil 2.73).



Şekil 2.73: Üçüncü uzuv montaj.

Dördüncü uzuv yan destek parçası alüminyum plakadan dikdörtgen olacak şekilde boşaltma frezede talaş kaldırma işlemi ile içi boşaltılacaktır. Havşa başlı delik delme işlemi matkap tezgahında yapılacaktır (Şekil 2.74).



Şekil 2.74: Dördüncü uzuv yan destek parçası.

Dördüncü uzuv yan destek parçasına iki adet ara destek parçası vida yerlerinden sıkılarak montajlanacaktır (Şekil 2.75).



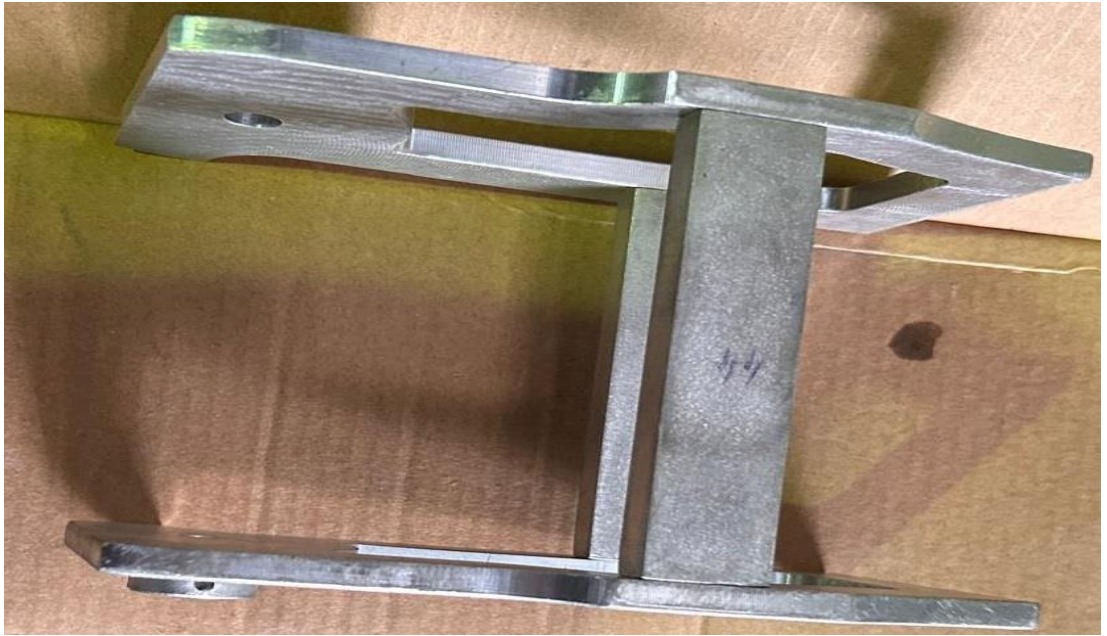
Şekil 2.75: Dördüncü uzuv yan destek2 parçası.

Redüktör motor bağlantısı plaka yardımı ile birbirine bağlandıktan sonra yuvarlak delikten milin merkezi ile ortalanmış şekilde montajlanacaktır. Bu çıkış milinden beşinci uzva hareket aktarılacaktır.

Beşinci uzuv yan destek parçaları ile ara destek parçaları birbirine vidalı bağlantı ile bağlanacaktır (Şekil 2.76 – 2.78).



Şekil 2.76: Beşinci uzuv montaj-1.



Şekil 2.77: Beşinci uzuv montaj-2.



Şekil 2.78: Beşinci uzuv montaj-3.

Robot kolunu oluşturan beş adet uzuv uç uca eklenerek seri robot montajı elde edilecektir. Motorların gerekli elektronik kablo bağlantıları ve yazılım yardımıyla robot ęalıřır hale getirilecektir (şekil 2.48).



şekil 2.79: Robot kolunun son hali.

3. ROBOT KOLUNUN KONTROLÜ VE YAZILIMI

3.1 Robotun Kinematığı

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

Kinematik bilimi zaman içerisinde konum değiştirerek yani devinimiyle ilgilenen bir hareket bilimidir. Robot kinematığı ile robotun hız kuvvet ve ivme analizleri yapılır. Eklem ve hareket eksenleri bağlantı noktaları arasındaki ilişkileri tanımlar. Dönme hareketinden gerçekleşen yer değiştirmeye eklem açısı, bağlar arasında yer değiştirmeden dolayı oluşan ötelemeye ise eklem kayması denir (Shahinpoor ve diğ. 1986).

Üç boyutlu uzayda bir nesnenin yönelimini ve konumunu tanımlamak için o nesnenin merkezine bir koordinat sistemi yerleştirilir. Robotlarda da robotun eklemlerine ve çalışma alanındaki nesnelere koordinat sistemleri yerleştirilir. Yerleştirilen bu koordinat sistemleri vasıtasıyla robotla çalışma alanındaki nesnelere arasında yönelim ve konum ilişkisi tanımlanır (Shahinpoor ve diğ. 1986).

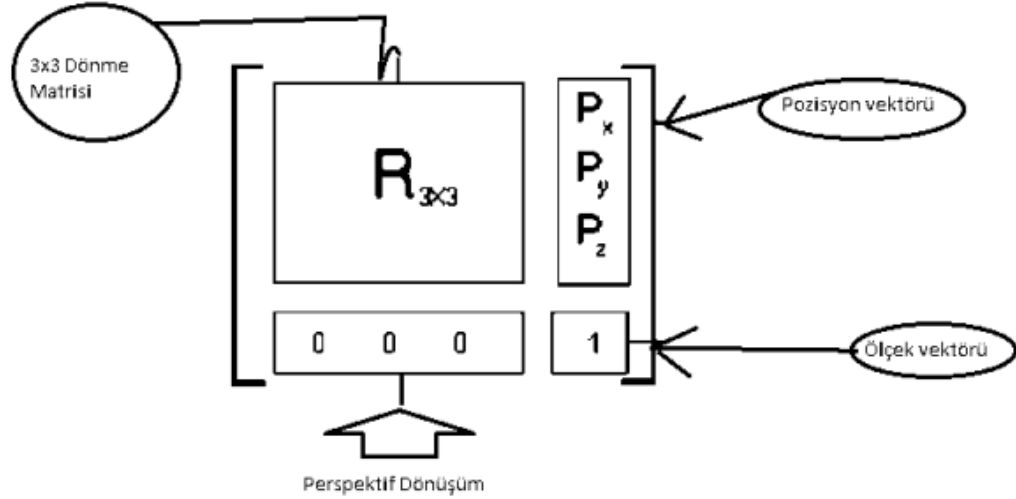
Robotlarda kinematik analiz iki şekilde tanımlanır:

- 1) İleri kinematik
- 2) Ters kinematik

Robotların Kartezyen uzayda kinematik modelini çıkarmak için başlıca beş yöntem kullanılmaktadır. Bu beş yöntem: Homojen dönüşüm yöntemi, Üssel yöntem, SRK (Sıfır Referans Konum) yöntemi, Pieper-Roth yöntemi ve TPS (Tam ve Parametrik olarak Sürekli) yöntemleridir (Flanders ve Kavanagh 2015).

Denavit Hartenberg gösteriminde, her bir uzva bağlı bir koordinat sistemi bulunur. Bu yaklaşımda 4x4 homojen transformasyon matrisi, mafsallardaki her bir

uzvun koordinat sistemini bir önceki uzvun koordinat sistemine göre belirtir (Flanders ve Kavanagh 2015).



Şekil 3.1: 4x4 Homojen transformasyon matrisinin şematik gösterimi (Flanders ve Kavanagh 2015).

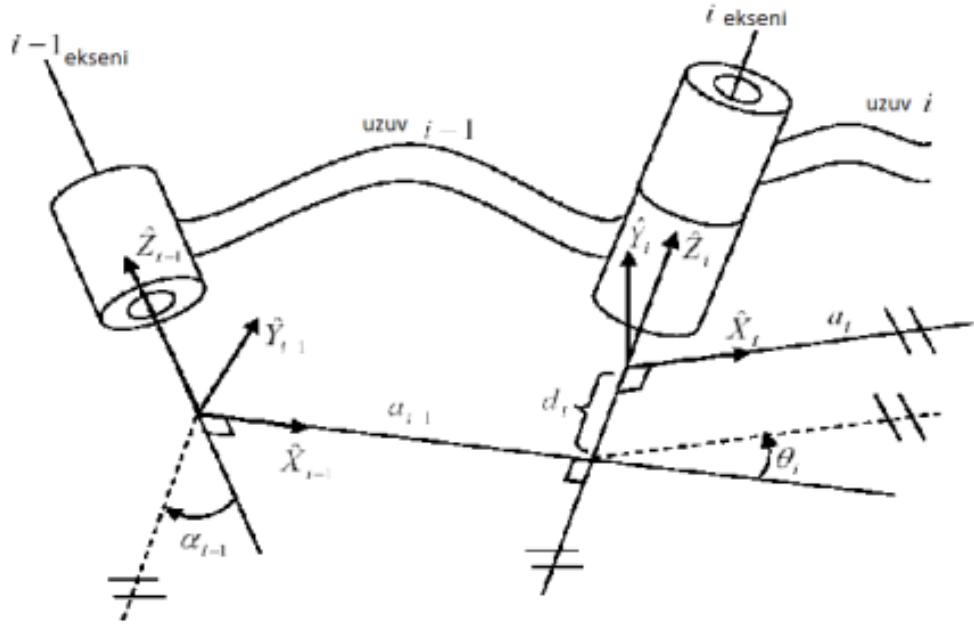
```
Matrix customMatrix = new Matrix(
    float m11, float m12, float m13, float m14,
    float m21, float m22, float m23, float m24,
    float m31, float m32, float m33, float m34,
    float m41, float m42, float m43, float m44);
```

Şekil 3.2: C# 4x4 Homojen transformasyon matris tanımı.

Homojen transformasyon matrisi C# programlama dilinde hazır olarak vardır ve Şekil 3.2’de görüldüğü gibi tanımlanmıştır. Burada işi biraz zorlaştıran kısım yukarıdaki gibi robot kitaplarında verilen matris tanımı değil onun transpozunu kullanmasıdır. Bu yüzden örneğin robotun pozisyon vektörü [m14 24 34] değil [m41 m42 m43] olmaktadır.

Ardışık transformasyon ile el koordinatlarının transformasyonu yapılarak, el koordinatlarının taban koordinatları cinsinden ifade edilir. Bu durumda her bir mafsala, (xi, yi, zi) şeklinde bir koordinat sistemi yerleştirilir. Burada i = 1,2,3,4,...n olabilir. n serbestlik derecesidir. n serbestlik dereceli bir robot için n+1 koordinat sistemi tanımlıdır. “Denavit Hartenberg” ilkesi ile robotun uç uzvunda belirlenen bir noktanın pozisyonundaki değişim, eklemlere yerleştirilen koordinat sistemleri vasıtası ile taban sabit referans eksen takımına bağlı olarak ifade edilebilir ve tanımlanabilir (Flanders ve Kavanagh 2015).

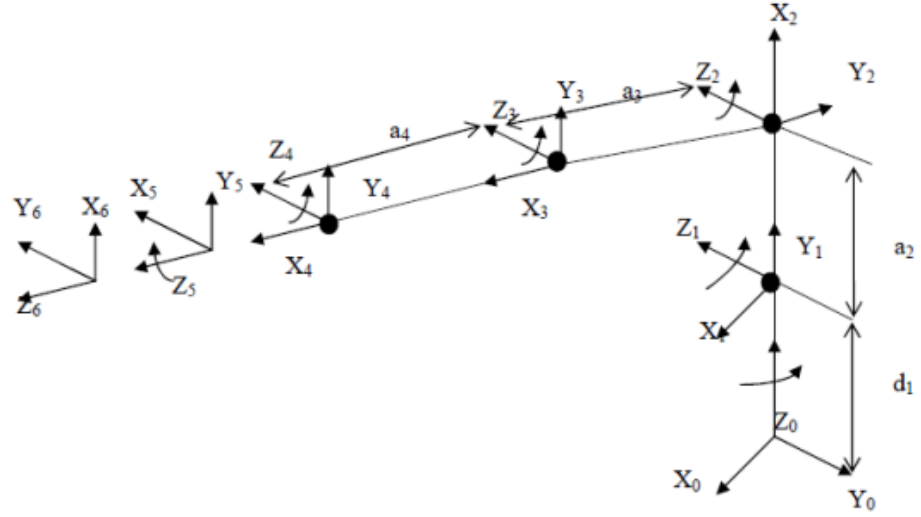
Robotların kinematik modelini çıkartmak için her bir eksene bir koordinat eksen takımı yerleştirilir. Koordinat eksen takımı belirlenirken döner eksenler için dönme yönü Z, buna dik olan bağ uzunluğu X eksenini kabul edilir. Y eksenini ise sağ el kuralına göre bulunur (Flanders ve Kavanagh 2015).



Şekil 3.3: Koordinat eksen takımlarının uzuvlara tutturulması (Flanders ve Kavanagh 2015).

Uzayda iki eksenin (burada eklem eksenleri) birbirine göre tanımlanması için uzuv uzunluğu (a_{i-1}) ve uzuv bükülme açısının (α_{i-1}) bilinmesi gerekmektedir. Uzuv uzunluğu iki eklem eksenini arasındaki mesafedir. Bu mesafe, her iki eksene karşılıklı olarak dik olan doğru boyunca alınır. Bükülme açısı ise şöyle tarif edilir. Normal doğrusu, daha önce tarif edilen iki eksen arasındaki karşılıklı dik doğru olan bir düzlem ele alınsın. Her iki eksenin bu düzlem üzerindeki izdüşümleri alınır ve bunlar arasındaki açı ölçülürse bükülme açısı bulunmuş olur. Bu açı ölçümü $i-1$ ekseninden i eksenine doğru yapılır (Flanders ve Kavanagh, 2015).

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



Şekil 3.4: 6 eksen robot kolun koordinat eksen takımlarının gösterimi (Flanders ve Kavanagh 2015).

Tablo 3.1: 6 eksen robot kolun her bir bağlantı noktasına gelen DH parametre değerleri (Koyuncu ve Güzel 2015).

Joint(i)	Θ_i	α_{i-1}	a_{i-1}	d_i
1	Θ_1	0	0	0
2	Θ_2	$-\pi/2$	0	0
3	Θ_3	0	α_2	d_3
4	Θ_4	$-\pi/2$	α_3	d_4
5	Θ_5	$\pi/2$	0	0
6	Θ_6	$\pi/2$	0	0

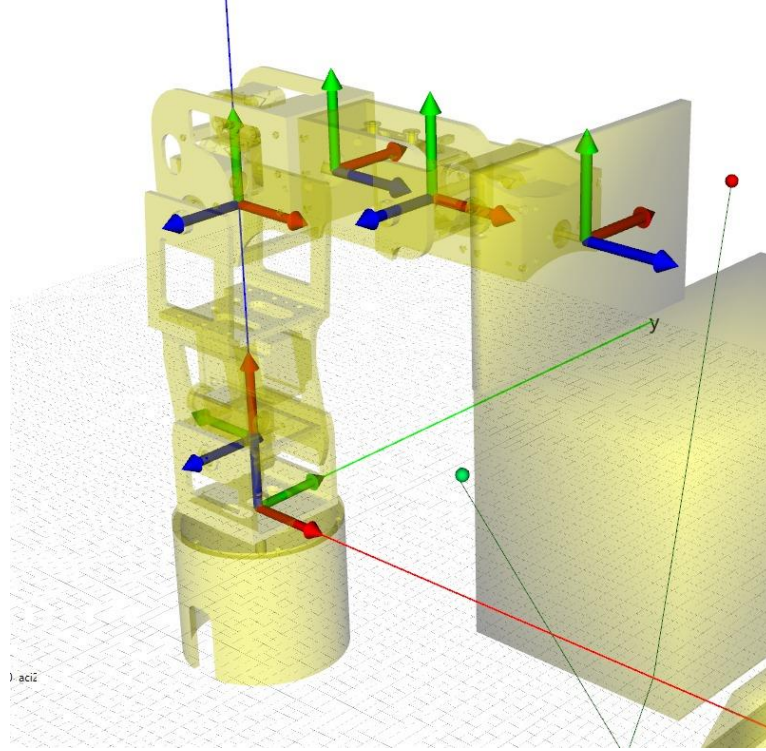
$${}^{i-1}T_i = \begin{bmatrix} c\theta_i & -s\theta_i & 0 & \alpha_{i-1} \\ s\theta_i & c\theta_i\alpha_{i-1} & -s\alpha_{i-1} & \alpha_{i-1}d_i \\ s\theta_i\alpha_{i-1} & c\theta_i\alpha_{i-1} & c\alpha_{i-1} & \alpha_{i-1}d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$${}^0T_1 = \begin{bmatrix} c\theta_1 & -s\theta_1 & 0 & 0 \\ s\theta_1 & c\theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^1T_2 = \begin{bmatrix} c\theta_2 & -s\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_2 & -c\theta_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^2T_3 = \begin{bmatrix} c\theta_3 & -s\theta_3 & 0 & \alpha_2 \\ s\theta_3 & c\theta_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$${}^3T_4 = \begin{bmatrix} c\theta_4 & -s\theta_4 & 0 & \alpha_3 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_4 & -c\theta_4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^4T_5 = \begin{bmatrix} c\theta_5 & -s\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ s\theta_5 & c\theta_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, {}^5T_6 = \begin{bmatrix} c\theta_6 & -s\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -s\theta_6 & -c\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad (3.2)$$

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

olması uzuvlar açısından dikdörtgen prizması ile temsil edilmiştir. Şekil 3.6’da ise robot uzuvlarının koordinat sistemleri gerçek robot geometrisi üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Robotun uzuvlarının koordinat sistemlerinin gerçek robot şekli üzerinde gösterimi.



Şekil 3.7: Düz ve ters kinematik analiz.

```

#region forwardKin
1 reference
public static void forwardKin(MainWindow mw) {
try {
MatrixTransform3D m00 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.trans(30000,250,50));
m.arM[7].Transform=m00; transXYZArrow(0,m00,scar);
MatrixTransform3D m000 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.trans(50000,-100,-200)); //s forwardKin
m.arM[8].Transform=m000; transXYZArrow(0,m000,scar);

MatrixTransform3D m0 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotZ(angle[0]));
m.arM[0].Transform=m0; transXYZArrow(0,m0,scar);

MatrixTransform3D m1 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotZ(angle[1])*m.rotX(90)*m.trans(0,0,sc*arL[0])*m.sca(1/sc)*m0.Matrix);
m.arM[1].Transform=m1; transXYZArrow(1,m1,scar);

MatrixTransform3D m22 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotZ(angle[2])*m.trans(sc*arL[1],0,0)*m.sca(1/sc)*m1.Matrix);
m.arM[2].Transform=m22; transXYZArrow(2,m22,scar);

MatrixTransform3D m2 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.trans(0,sc*offset2,0)*m.sca(1/sc)*m22.Matrix); // transXYZArrow(3,m2,scar);

MatrixTransform3D m3 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotZ(angle[3])*m.rotY(90)*m.trans(sc*arL[2],0,0)*m.sca(1/sc)*m2.Matrix);
m.arM[3].Transform=m3; transXYZArrow(3,m3,scar);

MatrixTransform3D m4 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotZ(angle[4])*m.rotY(-90)*m.trans(0,0,sc*arL[3])*m.sca(1/sc)*m3.Matrix);
m.arM[4].Transform=m4; transXYZArrow(4,m4,scar);

MatrixTransform3D mt1 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotY(90)*m.trans(sc*arL[4],0,0)*m.sca(1/sc)*m4.Matrix);

MatrixTransform3D m7 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.trans(0,-sc*offsetTipVertical,0)*m.sca(1/sc)*mt1.Matrix);
transXYZArrow(5,m7,scar);
MatrixTransform3D m0000 = new MatrixTransform3D(m.sca(sc)*m.rotX(-angle[5])*m.rotX(90)*m.rotY(90)*m.trans(0,0,-5)*m7.Matrix);
m.arM[5].Transform=m0000; /* transXYZArrow(7,m0000,scar); */
xo=m7.Matrix.OffsetX; yo=m7.Matrix.OffsetY; zo=m7.Matrix.OffsetZ;
double aci = Math.Atan2(m7.Matrix.M12,m7.Matrix.M11).toDeg();
xo=m7.Matrix.OffsetX; yo=m7.Matrix.OffsetY; zo=m7.Matrix.OffsetZ;
mw.labelCoorOfTip.Content=string.Format("{0} / {1}\n X Y Z\n{2:f2} {3:f2} {4:f2}",nu,point.arPath.Count,xo,yo,zo);
mw.textBlock1.Text=string.Format(" x {0:f2} {1:f2} {2:f2} {3:f2}\n"+
" y {4:f2} {5:f2} {6:f2} {7:f2}\n"+
" z {8:f2} {9:f2} {10:f2} {11:f2}\n",m7.Matrix.M11,m7.Matrix.M12,m7.Matrix.M13,m7.Matrix.M14,
m7.Matrix.M21,m7.Matrix.M22,m7.Matrix.M23,m7.Matrix.M24,
m7.Matrix.M31,m7.Matrix.M32,m7.Matrix.M33,m7.Matrix.M34);

if(man.boolAnglePressed||ki.boolFollowPath||boolSW)
} catch(Exception ex) { f.m(ex.ToString()); }
}
#endregion

```

Şekil 3.8: Robotun düz kinematik programlama kodu.

Şekil 3.8’de forwardKin (MainWindowmw) fonksiyonu robotun uzuvlarının teta açlarına (angle[i]) verilen değerlere göre robotun uç noktasının koordinatlarını ve oryantasyonunu hesaplamaya yarar. Homojen transformasyon matrisleri C# dilinde hazır olarak bulunduğundan doğrudan bu fonksiyonlar kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

```

#region inverseKin
14 references
public static double[] inverseKin(vec vend,double A,double Z,double ang6) {//s inverseKin
    //double[] angle = new double[6];
    vec vl = new vec();
    vl.dz=offsetTipVertical*Math.Cos(vec.toRad(Z));
    vl.dxy=offsetTipVertical*Math.Sin(vec.toRad(Z));
    vl.dx=-vl.dxy*Math.Cos(vec.toRad(A));
    vl.dy=-vl.dxy*Math.Sin(vec.toRad(A));
    vl.gL(); vl.ua();
    v5=new vec(vend.x+vl.dx,vend.y+vl.dy,vend.z+vl.dz);//determines the position of m5
    vec vu = new vec();
    vu.dz=arL[4]*Math.Sin(vec.toRad(Z));
    vu.dxy=arL[4]*Math.Cos(vec.toRad(Z));
    vu.dx=vu.dxy*Math.Cos(vec.toRad(A));
    vu.dy=vu.dxy*Math.Sin(vec.toRad(A));
    v4=new vec(v5.x-vu.dx,v5.y-vu.dy,v5.z-vu.dz);//determines the position of m4
    double z44 = v4.z-arL[0], L1 = f.L(v4.x,v4.y);
    double angleOut = 0;
    if(boolGetAngle) {
        if(isNaN(vec.atan2(v4.y,v4.x),out angleOut)) {
            replaceAngles();
            boolGetAngle=false;
        }
        else angle[0]=angleOut;//angle[0]
    }
    double L = arL[1], M = f.L(offset2,arL[2]+arL[3]), N = f.L(z44,L1);
    double beta1 = vec.atan2(z44,L1);
    double beta2 = vec.acos(M,L,N);
    double beta3 = vec.acos(N,L,M); double anglee = vec.atan2(offset2,arL[2]+arL[3]); double anglee1 = vec.atan2D(offset2,M);
    double teta2 = -(Math.PI-(beta3-anglee)); double teta2D = vec.toDeg(teta2);
    double teta1 = beta1+beta2;
    if(boolGetAngle) {
        if(isNaN(teta1,out angleOut)) {
            replaceAngles();
            boolGetAngle=false;
        }
        else angle[1]=angleOut;//angle[1]
    }
}

```

Şekil 3.9: Robotun ters kinematik programlama kodu birinci kısım.

Şekil 3.9’da inverseKin (vecvend, double A, double B, double Z, double ang6) fonksiyonu robotun uç koordinat değerleri ve A ve Z oryantasyon açıları verildiğinde robotun teta değerlerinin (angle[i]) hesaplanması işlemini yapar. Robotun bilgisayar ekranında simülasyonunu yapmak için önce ters kinematik hesaplanır. Sonra bu değerle kullanılarak düz kinematik vasıtasıyla robot ekrana çizilir.

```

if(boolGetAngle) {
    if(isNaN(teta2,out angleOut)) {
        replaceAngles();
        boolGetAngle=false;
    }
    else angle[2]=angleOut; // _____ angle[2]
}
}
po1:
Matrix3D m0 = m.rotZ(angle[0]); //0
Matrix3D m1 = m.rotZ(angle[1])*m.rotX(90)*m.trans(0,0,sc*arL[0])*m0; //1
Matrix3D m22 = m.rotZ(angle[2])*m.trans(sc*arL[1],0,0)*m1; //2
Matrix3D m2 = m.trans(0,offset2,0)*m22;

if(true) // _____
{
    double ddarL = arL[2]+arL[3]+arL[4];
    double ddx = v5.x-(m2.OffsetX+m2.M11*ddarL);
    double ddy = v5.y-(m2.OffsetY+m2.M12*ddarL);
    double ddz = v5.z-(m2.OffsetZ+m2.M13*ddarL);
    vec v0 = new vec(ddx,ddy,ddz,true);
}
}

```

Şekil 3.10: Robotun ters kinematik programlama kodu ikinci kısım.

```

if(boolGetAngle) {
    if(isNaN(-vec.acos(v0.L,arL[4],arL[4]),out angleOut)) {
        replaceAngles();
        boolGetAngle=false;
        goto po1;
    }
    else angle[4]=angleOut; // _____ angle[4]
}
}
vec a = new vec(m2.M11,m2.M12,m2.M13,true); //unit vector along direction x
double ha = arL[4]*Math.Cos(vec.toRad(angle[4])); //component length of link length 4 on unit vector direction
h=new vec(ha*a.dx,ha*a.dy,ha*a.dz,true); //component vector of link length 4 on unit vector direction

double ddLe = arL[2]+arL[3];
double ddx = m2.OffsetX+m2.M11*ddLe+h.dx;
double ddy = m2.OffsetY+m2.M12*ddLe+h.dy;
double ddz = m2.OffsetZ+m2.M13*ddLe+h.dz;
vO=new vec(ddx,ddy,ddz,true); // absolute position of point O

vo=new vec(v5.x-vO.dx,v5.y-vO.dy,v5.z-vO.dz,true);
hh=new vec(-vo.L*m2.M21,-vo.L*m2.M22,-vo.L*m2.M23,true); // o noktasındaki aşağıya doğru dik vektör // mLine1.a

v=new vec(h.dx+hh.dx,h.dy+hh.dy,h.dz+hh.dz,true); //başlangıç vektörü
u=new vec(h.dx+vo.dx,h.dy+vo.dy,h.dz+vo.dz,true); //dönme vektörü
if(boolGetAngle) {
    if(isNaN(getAngleAroundAnArbitraryAxis(a,v,u),out angleOut)) {
        replaceAngles();
        boolGetAngle=false;
        goto po1;
    }
    else angle[3]=angleOut; // _____ angle[3]
}
}
}

```

Şekil 3.11: Robotun ters kinematik programlama kodu üçüncü kısım.

```

Matrix3D m3 = m.sca(sc)*m.rotZ(angle[3])*m.rotY(90)*m.trans(sc*arL[2],0,0)*m.sca(1/sc)*m2;
Matrix3D m4 = m.sca(sc)*m.rotZ(angle[4])*m.rotY(-90)*m.trans(0,0,sc*arL[3])*m.sca(1/sc)*m3;
Matrix3D mt1 = m.rotZ(0)*m.rotY(90)*m.trans(f.si(arL[4]),0,0)*m4;
Matrix3D m_ = m.trans(0,-offsetTipVertical,0)*mt1;

double a1 = Math.Atan2(m_.M12,m_.M13).toDeg();
double a2 = Math.Atan2(m_.M23,m_.M22).toDeg();

Vector3D v1 = new Vector3D(m_.M11,m_.M12,m_.M13);
Vector3D v2 = new Vector3D(0,1,0);
double aci1 = Vector3D.AngleBetween(v1,v2);
v1=new Vector3D(m_.M21,m_.M22,m_.M23);
double aci2 = Vector3D.AngleBetween(v1,v2);
v1=new Vector3D(m_.M31,m_.M32,m_.M33);
double aci3 = Vector3D.AngleBetween(v1,v2);
mw.textOrMatrix1.Text=string.Format(" aci1= {0:f2} aci2={1:f2} aci3={2:f2}",aci1,aci2,aci3);

```

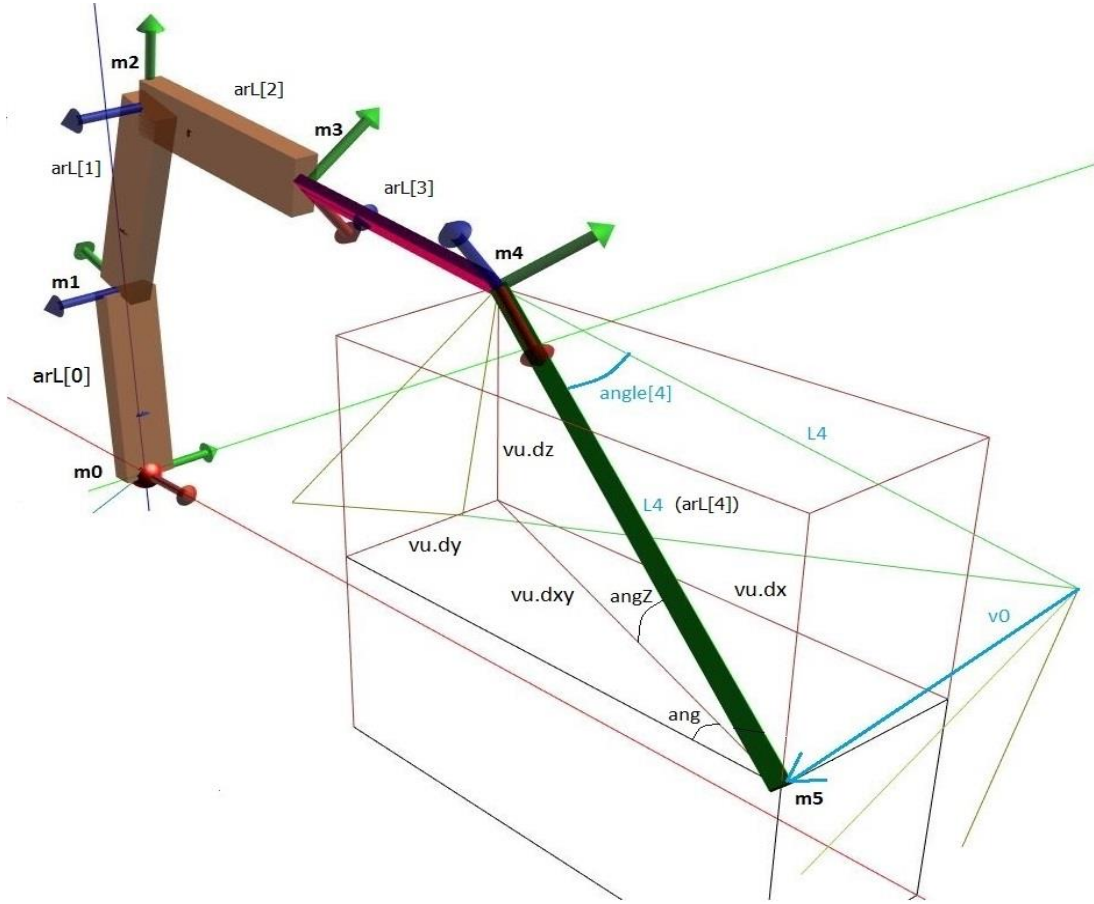
Şekil 3.12: Robotun ters kinematik programlama kodu dördüncü kısım.

```

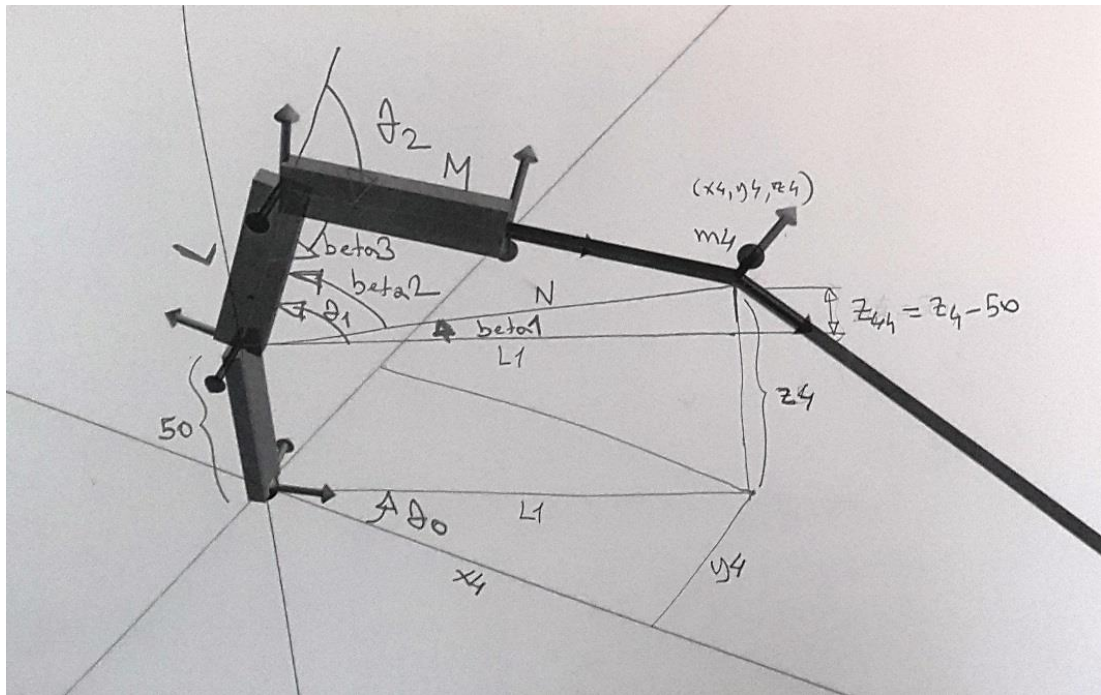
angle[5]=ang6;
boolGetAngle=true;
//axang.arTeach.Add(new axang(angle,vend.x,vend.y,vend.z));
double[] arrayR = new double[6]; angle.CopyTo(arrayR,0);
return arrayR;
}

```

Şekil 3.13: Robotun ters kinematik programlama kodu beşinci kısım.

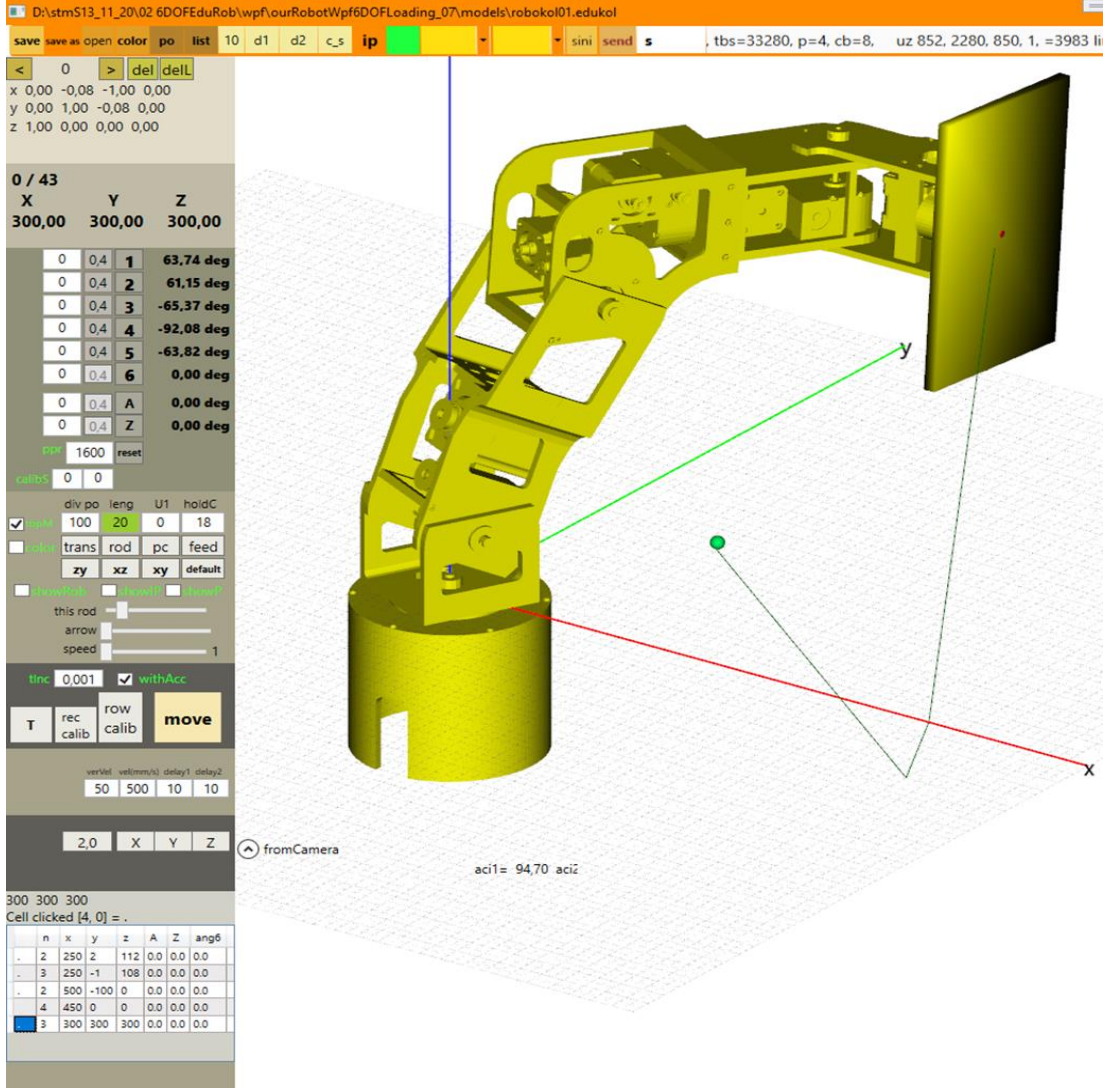


Şekil 3.14: Robotun ters kinematik hesaplamaları için uzuv değişkenlerinin tanımlanması.



Şekil 3.15: Robotun ters kinematik hesaplamaları için uzuv ilk üç uzuv değişkenlerinin detaylarının gösterilmesi.

3.2 Robotun Üst Seviye Yazılımı

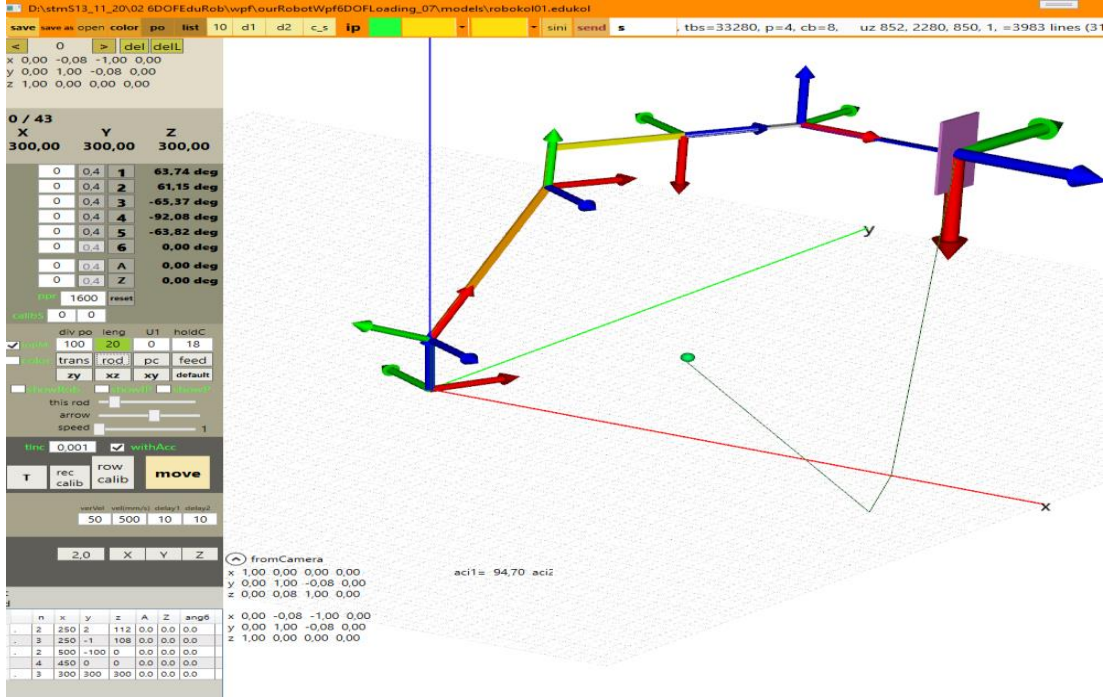


Şekil 3.16: Robotun yazılımının arayüzünün görünümü.

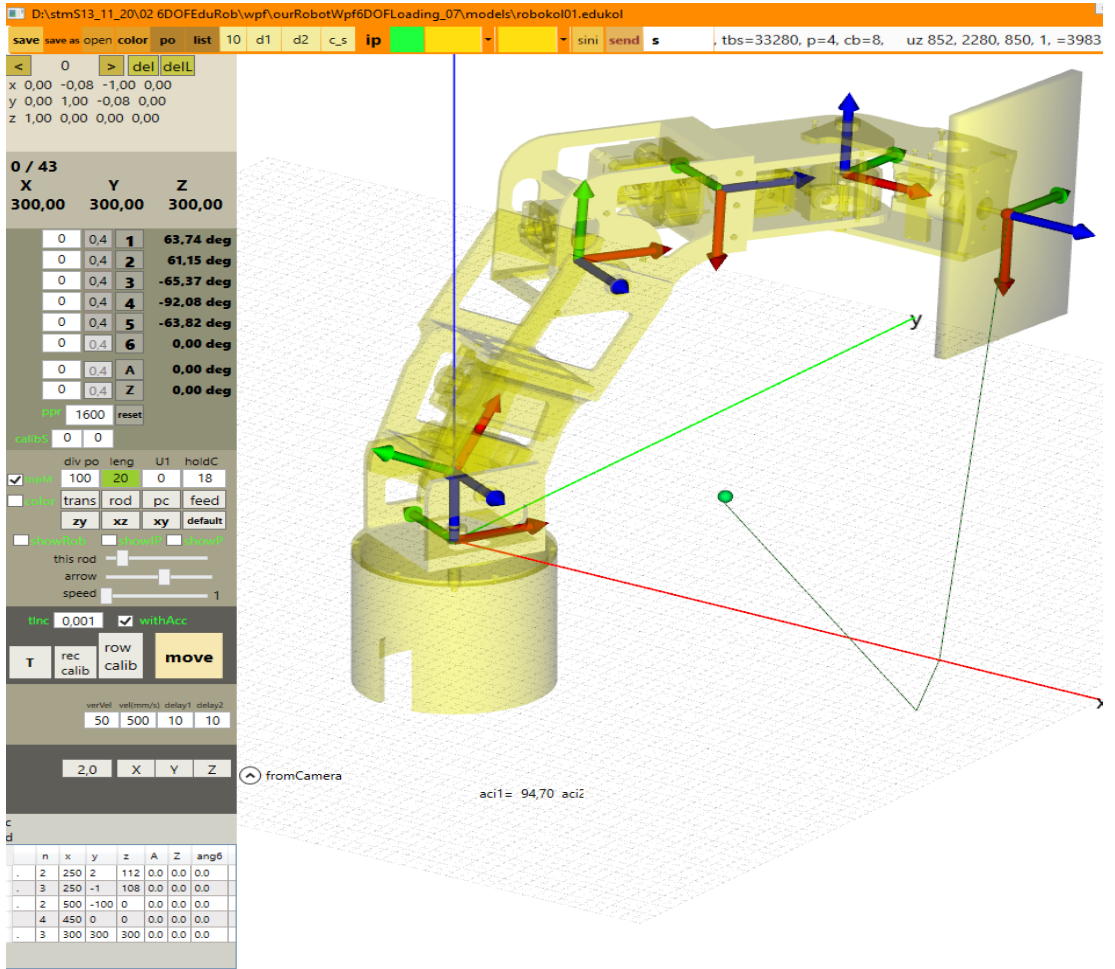
Şekil 3.16'da ara yüzü görülen yazılım, robotun hareket planlama algoritması için Visual C#, WPF - HelixToolkit dilinde laboratuvarımızda geliştirilmiş bir yazılımdır. Yazılım robotun üst-seviye hesaplamalarını yapar. Başka bir deyişle, yazılımın amacı öncelikle off-line olarak robotun yapacağı işe göre bütün değerlerinin hesaplanması ve ekranda simüle edilmesidir. Yazılımın ikinci görevi ise hesaplanan robot açıları ve hız değerlerinin robotun alt-seviye kısmı olan mikroişlemci tarafına bu değerleri yollayarak robotun gerçek çalışma ortamında görevini yapmasını sağlamaktır.

Yazılımın temel özellikleri aşağıda verilmiştir;

1. Yörünge bölüm sayısı girilir.
2. 3D ayarları yapılır.
3. Animasyon çalışırken o anki geçerli noktayı gösterir.
4. Animasyon çalışırken robotun uç noktasının koordinatlarını gösterir.
5. Robotun 6 ekseninin ve uç noktanın açıları ayarlanır.
6. Yörünge noktaları girilebilir.
7. Robotun uç noktası X, Y, Z eksenleri boyunca hareket ettirilebilir.
8. Bölünen noktaların 6 ekseninin hız ve puls değerleri hesaplanır.
9. Robotun her nokta için 32 bit hız ve puls değerleri USB'ye veya seriport'a yollanır.
10. 3D ayarları yapılır.
11. Animasyon çalışırken o anki geçerli noktayı gösterir.
12. Animasyon çalışırken robotun uç noktasının koordinatlarını gösterir.
13. Robotun 6 ekseninin ve uç noktanın açıları ayarlanır.
14. Yörünge noktaları fare ile girilebileceği gibi buradan da girilebilir.
15. Robotun uç noktası eksenler boyunca hareket ettirilebilir.
16. Robotun her nokta için 32 bit hız ve puls değerleri USB'ye veya seriport'a yollanır.
17. Bölünen noktaların 6 eksen hız ve puls değerleri hesaplanır.



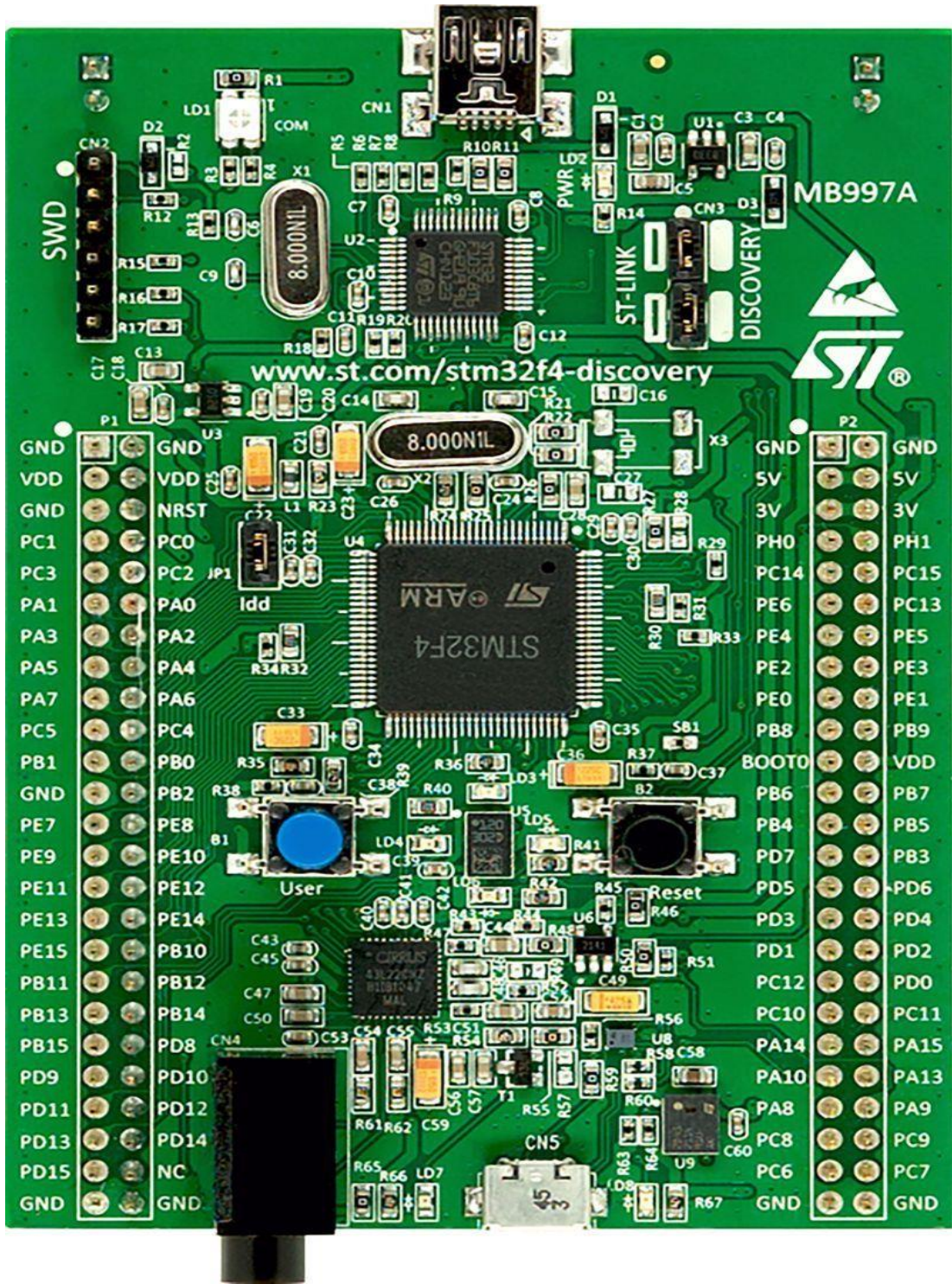
Şekil 3.17: Robotun yazılımının ara yüzünün görülen robotun dikdörtgen çubuklarıyla gösterilmiş ve koordinat eksenleri eklenmiş hali.



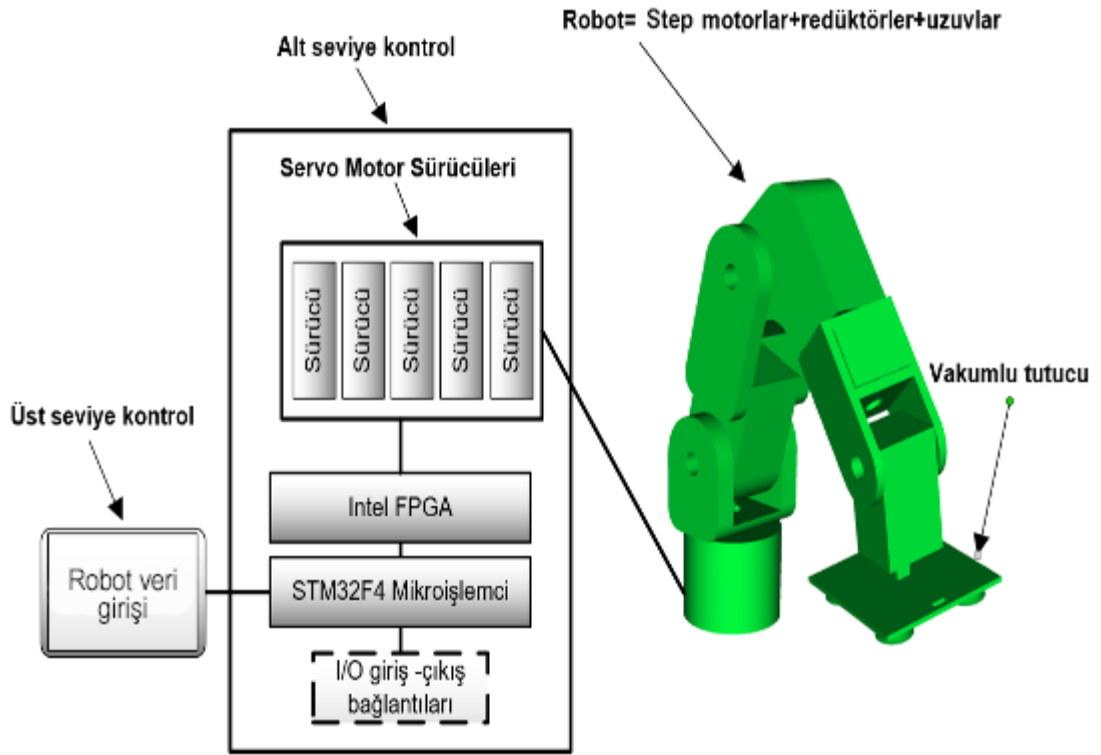
Şekil 3.18: Robotun yazılımının ara yüzünün görülen robotun koordinat eksenleri eklenmiş hali.

3.3 Robotun Alt Seviye Yazılımı ve Elektronik

Robotumuzda kullanılan STM firmasının geliştirdiği STM32F407VGT6 mikrokontrolörü 168 MHz hıza ve motor için istenen adım miktarı üreten timer'lara sahiptir. Bir turda 10000 adım içeren enkodere sahip standart bir step motorun 3000 dev/dk dönebilmesi için 500 KHz adım oranı gerekmektedir. Fakat robotun modüllerinin hızına bağlı olarak 80-160 KHz yetecektir. Ayrıca hız step sürücüden bir turdaki adım sayısı azaltılarak da arttırılabilir. Bununla ilgili yazılımı C dilinde KeilUVision ile geliştirilmiştir. Elektronik kartlar KiCad programında tasarlanmıştır.



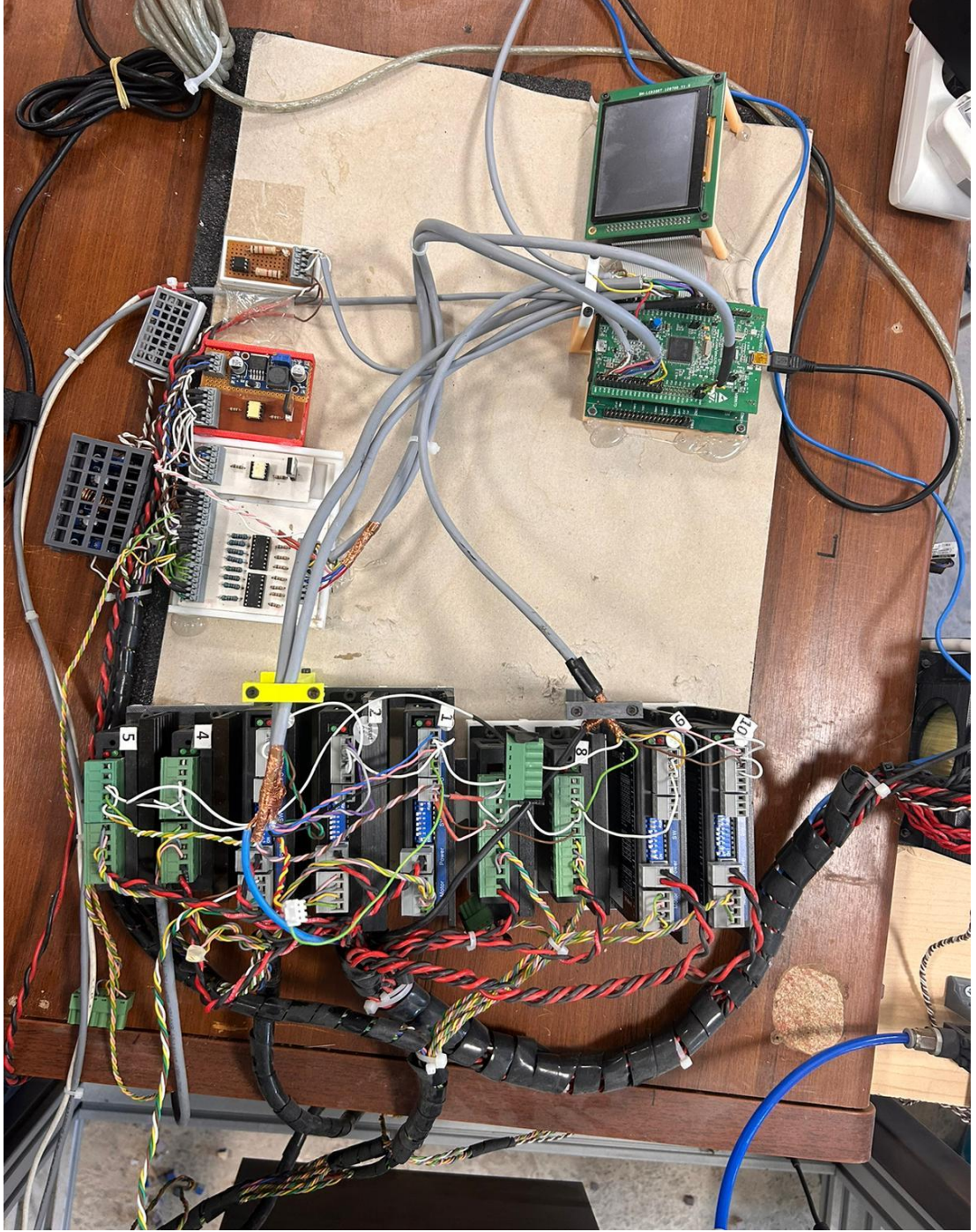
Şekil 3.19: STM32F4 discovery board.



Şekil 3.20: Robotun kontrol sistemi.

Tablo 3.2: Seçilen Nema 17 ve Nema 23 step motorların teknik özellikleri.

	Nema 17	Nema 23
Tutma Torku (N.M)	0,4	2,3
Anma Akımı (A)	1,5	4
Direnç (Ω)	2,3	0,5
İndüktans (mH)	4,3	2
Atalet ($Kgcm^2$)	0,054	0,48

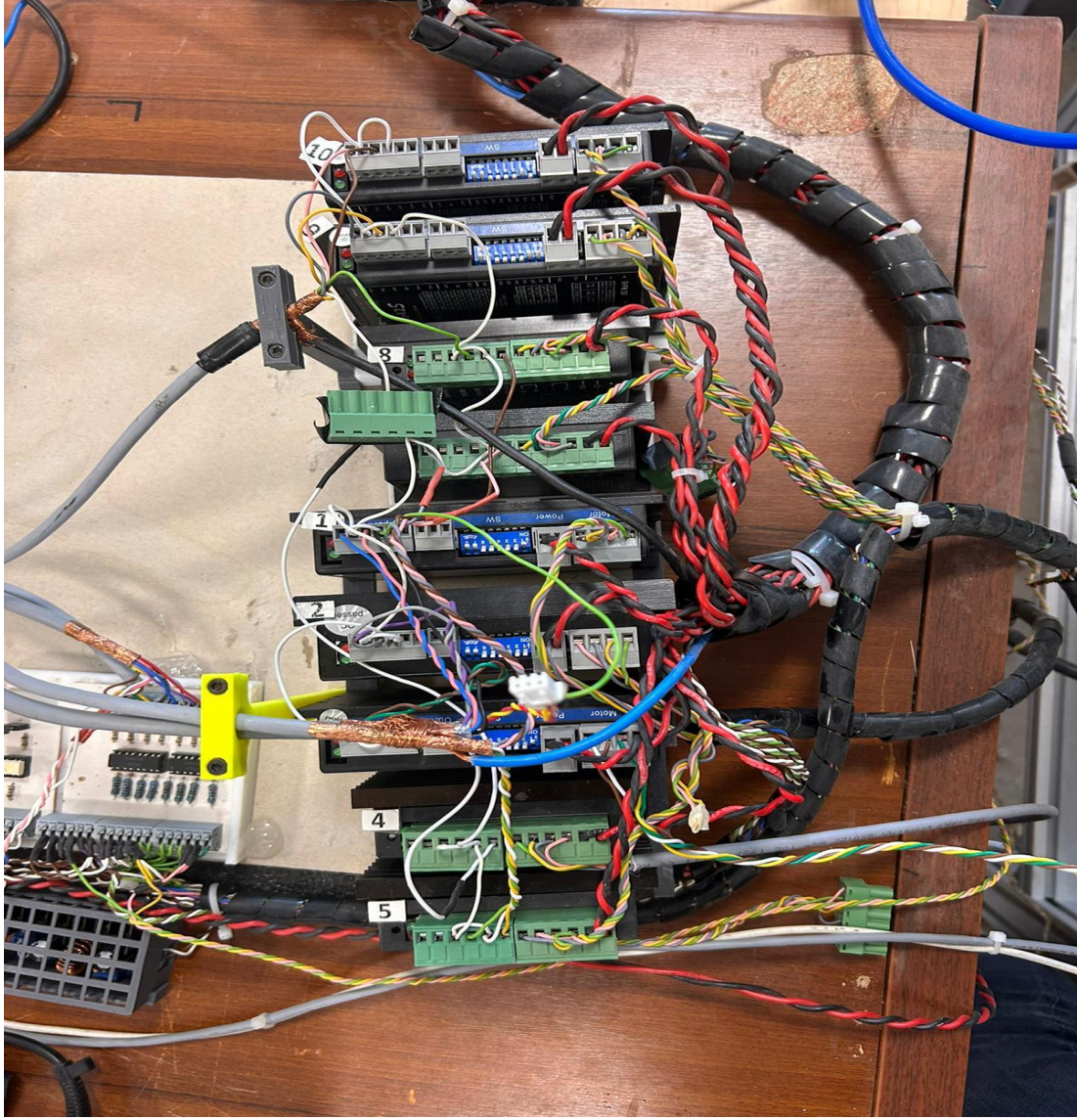


Şekil 3.21: Robotun kontrol ünitesi.

Tezimizin hedefi, üst seviye yazılımını içeren pendantı, mikrokontrolörü, step sürücülerini, giriş-çıkışları içeren kontrol panosu, 6 DOF seri robotun mekaniği ve robotun vakumlu tutucu sistemi olarak dört alt modülden oluşan robotik yükleme sisteminin tasarlanıp, üretilip çalışır hale getirilmesidir.

Tezimizde 1 ve 2 numaralı modüllerdeki çalışmaların bir kısmı daha önceden yapılmış olduğu için teze özel çalışmalar düşünülmüştür. Tez süresince 3 ve 4

numaralı modüllerdeki robotun ve tutucunun mekanik tasarımı sıfırdan yapılmış akabinde imalatı gerçekleştirilmiştir. Robot kolu 0,7 – 1 m boyunda ve 5 kgf yük taşıyacak şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 3.22: Step motor sürücü bağlantıları.

Tez sonucunda geliştirilen sistemin denenmesi için ilk aşamada tasarım ve yazılım çalışmaları yapılmış, sonra da prototip üretilmiştir.

Robotun alt seviye yazılımı ve elektronik mikro kontrolörün yaptığı ana iş “pulse + direction” olarak isimlendirilen kare dalgayı üretmesidir. Dalganın frekansı motorun hızını, periyot sayısı da motorun dönme açısını verir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez sonucunda imalatını gerçekleştirdiğimiz altı serbestlik dereceli robot kolu yazdığımız kontrol algoritması ile entegre edilip robotun kontrolü sağlanmıştır. Robotun yazılan ara yüz üzerinden verilen noktalar arasındaki simüle davranışının aynısının fiziki robotta uygulandığı görülmüş ufak konum hataları dışında ciddi bir hata oluşmamıştır. Buradan imal ettiğimiz robotun deney amaçlı laboratuvarlarda veya çok yüksek konum hassasiyeti gerektirmeyen al koy gibi işlemlerde rahatlıkla çalıştırılabileceği anlaşılmıştır. Ayrıca step motorlar kullanılarak ve kendimiz tarafından imal edilecek bir redüktör ile beklenenden daha iyi sonuçlar alınmış, tarafımızca yazılan ara yüzün birçok robot firmasının çok yüksek rakamlara sattığı benzetim programlarına yakın sonuç vermesi de bu ara yüz ile rahatlıkla öğrencilere eğitim verilebileceği veya endüstriyel amaçlı kullanılabileceği sonucu çıkarılmıştır.

5. KAYNAKLAR

AliExpress. “2 adet/grup 0.5M 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 diş piriñç adım Spur dişli delik 3/4/5/6/mm [online]”, (06 Eylül 2024), <https://www.kisa.link/CxAtk>, (2024).

Amato, N. and Wu, Y. “A randomised roadmap method for path and manipulation planning”, IEEE International Conference on Robotics and Automation 113-120, (1996).

Bingül, Z. ve Küçük, S., *Robot Kinematığı*, 1, İstanbul: Yazın Basın Yayın Matbaacılık, (2015).

Çamoğlu, D., *Bilgisayar Kontrollü Robotik*, 4, İstanbul: Dikey Eksen Yayın Dağıtım, (2015).

Driels, M. R. and Pathre, U. S. “Robot manipulator kinematic compensation using a generalized jacobian formulation”, Journal of Robotic Systems, 4, 259-280, (1987).

Flanders, M. and Kavanagh, R. C. “Build-A-Robot: Using virtual reality to visualize the Denavit–Hartenberg parameters”, Computer Applications in Engineering Education, Ireland, 23, 846–853, (2015).

Koyuncu, B. and Güzel, M. “Software Development for the Kinematic Analysis of a Lynx 6 Robot Arm” World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering, 1(6), (2007).

Kurtoğlu, A., *Robot Tekniğı*, 1, İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, (2011).

SEGA. “Leadshine 2 Fazlı (CM) Step Motorlar”, Sega Lineer Otomasyon [online], (06 Eylül 2024), [https://www.segaotomasyon.com/urundetay.520.Leadshine%20%20Fazlı%20\(CM\)%20Step%20Motorlar.html](https://www.segaotomasyon.com/urundetay.520.Leadshine%20%20Fazlı%20(CM)%20Step%20Motorlar.html), (2013).

SFKa. “AXK 6590 İğneli makara ve baskı kafesi grubu” [online], (10 Eylül2024), <https://www.skf.com/tr/productinfo/productid-AXK%206590>, (2024).

SFKb. “629-2Z/C3 Keçeli veya kalkanlı sabit bilyalı rulman” [online], (10 Eylül2024), <https://www.skf.com/tr/productinfo/productid-629-2Z%2FC3>, (2024).

SFKc. “W 625-2RS1 Entegre keçelere sahip paslanmaz elik sabit bilyalı rulman” [online], (10 Eylül2024), <https://www.skf.com/tr/productinfo/productid-W%20625-2RS1>, (2024).

Shahinpoor, M., Jamshidi, M. and Kim, Y. T. “Exact solution to the inverse kinematics problem of a standard 6-axis robot manipulator”, Journal of Robotic Systems, 3, 259-280, (1986).

Wikipedia. Robot kol. https://tr.wikipedia.org/wiki/Robot_kol, (2024)

6. EKLER

EK A Oluşturulan Modelin Solidworks Programında Yapılan Analizi

