

**DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGAHI  
TASARIMI, PROTOTİPİ VE SİLİNDİRİK DİŞLİ  
UYGULAMALARI**

**2013  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA EĞİTİMİ**

**Serdar SEVİL**

**DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGAHI TASARIMI,  
PROTOTİPİ VE SİLİNDİRİK DİŞLİ UYGULAMALARI**

**Serdar SEVİL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Eğitimi Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK  
Nisan 2013**

Serdar SEVİL tarafından hazırlanan “DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGAHI TASARIMI, PROTOTİPİ ve SİLİNDİRİK DİŞLİ UYGULAMALARI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA

Tez Danışmanı, Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Bölüm Başkanı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makina Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 06/ 04/ 2013

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Cevdet GÖLOĞLU (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Süleyman SEMİZ (KBÜ)

...../...../2013

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

Prof. Dr. Nizamettin KAHRAMAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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

Serdar SEVİL

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGAHI TASARIMI, PROTOTİPİ VE SİLİNDİRİK DİŞLİ UYGULAMALARI**

**Serdar SEVİL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makina Eğitimi Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**Nisan 2013, 94 sayfa**

Bu çalışmada, dört eksenli masaüstü CNC freze tasarlanmış ve prototipi imal edilmiştir. Tasarlanan CNC freze tezgâhı üç eksen doğrusal X,Y,Z ve dördüncü eksen de dönel olmak üzere tasarlanmıştır. Tezgâh 670x910x660 mm (X,Y,Z) ölçülerinde olup, tezgâh kurs boyu 300x350x130 mm'dir. Dönel eksen(A-B)'ya Ø80x300 mm'ye kadar parça bağlanabilmektedir. Gövde aksamı sac ve sigma alüminyum profilden yapılmıştır. X ve Y eksen kızaklaması linear kızak ve araba, Z eksen kızaklamasında hassas mil ve doğrusal rulman kullanılmıştır. Eksen hareketinde vidalı bilyalı mil ve somun çifti, tahrikinde ise; adım (step) motor kullanılmıştır. Dördüncü eksen 80'lik torna aynası rulmanlar ile yataklanarak ve step motor ile tahrik edilerek dönme hareketi (divizör mantığı) sağlanmıştır.

Elektronik kontrol ünitesi; dört adet step motor sürücü, sürücü kontrol devresi, güç kaynağı ve inverterden oluşmaktadır. Tezgâh kontrol yazılımı olarak Mach3 CNC programı kullanılmıştır.

CNC Tezgâhın teorik hassasiyeti; 0,003125 mm'dir. Tezgâhının çalışma hassasiyetini belirlemek için MDF malzemeye kanal açılarak 64 adet kare elde edilmiştir. Elde edilen karelerden ölçü alınarak tezgâhın X ve Y eksen standart sapması hesaplanmıştır. Hesaplama; X eksen standart sapması 0,0176 mm. Y eksen standart sapması 0,0279 mm. bulunmuştur. Z eksen diklik, dördüncü dönel eksen salgı ve doğrusallık ölçümü komparatörle yapılmıştır. Düz, Helisel ve Sonsuz vida karşılık dişlisi işlenerek ölçümler alınmış ve işleme hata oranları hesaplanmıştır.

Geliştirilen dört eksen masaüstü CNC freze tezgâhında üç eksen CNC freze tezgâhı ile işlenemeyen parçalardan talaş kaldırılması mümkün hale gelmiştir. Dördüncü eksen çalışması olarak, ahşap veya strafor malzemesine yazı, şekil, dişli çeşitlerinden helisel, düz, sonsuz vida ve karşılık dişlisi işlemesi yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** : CNC freze tasarımı, CNC freze prototipi, dişli imalatı.

**Bilim Kodu** : 708.3.029

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **FOUR AXIS DESKTOP CNC MILLING MACHINE DESIGN, PROTOTYPE AND CYLINDRICAL GEAR APPLICATIONS**

**Serdar SEVİL**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Education**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA**

**April 2013, 94 pages**

In this study, a prototype of 4 axis desktop CNC milling machine was designed and manufactured. The designed CNC milling machine has four axes which are three linear axes of X, Y, Z and one rotary axis. The dimensions of the machine are 670 x 910 x 660 mm (X, Y, Z) and the length of the strokes 300 x 350 x 130 mm. The work piece which has a maximum 80 mm diameter and 300 mm length can be machined on rotary axis of CNC machine. Sheet material and aluminum sigma profile were used to build the body parts. Linear guideway and a carrier component were integrated for X and Y axes guideways, and sensitive shaft and bearing were applied for the Z axis guideways. The movement of the axes was provided with ball screw shaft and bolt, trigger of the axes was carried out by step motor. The lathe chuck that

is 80mm diameter was beared with bearings at the 4th axis. The rotary of lathe chuck was applied using step motor.

The electronic control unit consists of four major parts. These are step motors (4 pieces), step motor driver circuit, power supply and inverter. Mach3 program was used for controlling the CNC machine.

Theoretic processing sensitivity of the CNC milling machine is 0.003125 mm. 64 square shapes were machined as a canal on MDF material in order to determine of exact sensitivity. Obtained squares were measured and standard deviation of the CNC machine on X-Y axes was calculated. Standart deviation of X axis is 0.0176 mm and standart deviation of Y axis is 0.0279 mm Perpendicularity of Z axis, backlash and linearity of fourth axis were measured with comparator. Straight, spiral and worm gear samples were machined and measured. From these measuring, machine and machine errors were calculated.

The workpieces which can not be machined in three axes CNC milling machine were machined with new developed four axes CNC milling machine. In the experiments, using fourth axis of developed CNC machine, the shape of logo and picture were applied on a wood material. Besides, the gear types such as straight, spiral and worm gear were produced using wood and styrofoam materials.

**Key Word** : CNC milling design, CNC milling proteype, gear manufacturing.

**Science Code** : 708.3.029



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın Prof. Dr. Kerim ÇETİNKAYA' ya teőekkürlerimi sunarım.

CNC tezgâhlar üzerine yaptığı çalışmalar ile bilgilenmemizi sağlayan Doç. Dr. Cevdet GÖLOğLU' na, lisans tez çalıőmamda da katkıları olan Yrd. Doç. Dr. H. İbrahim Demirci' ye, Doç. Dr. Süleyman Semiz' e, Arő. Gör. Murat Aydın' a, CNC tezgâhları üzerine bilimsel yayın ve çalışmaları olan adlarını buraya yazmakla sığdıramayacağım ve ayrıca tez aşamasında destek olan birçok kiőiyeye teőekkürlerimi en içten duygularıyla sunarım.

Her türlü zorlukta daima yanımda olduklarını hissettiğim, maddi ve manevi olarak desteklerini esirgemeyen aileme ve tez çalışması sürecinde destek, sabır gösteren sevgili eőime teőekkürü borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET .....	iiv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR .....	viii
İÇİNDEKİLER.....	iix
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xvivi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
BÖLÜM 2 .....	10
CNC FREZE TEZGAHLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	10
2.1. TAKIM TEZGAHLARININ TARİHÇESİ VE GELİŞİMİ .....	10
2.2. MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGÂHLARI .....	11
2.2.1. Masaüstü CNC Freze Tezgâhlarının Özellikleri.....	12
2.2.2. Masaüstü CNC Freze Tezgâhlarının Mekanik Özellikleri.....	12
2.2.3. Masaüstü Köprü Tipi (Tabla Hareketli) CNC Freze Konstrüksiyonu ....	13
2.2.4. Masaüstü Portal Tip (Tabla Sabit) CNC Freze Konstrüksiyonu .....	13
2.2.5. Masaüstü Dik Freze Tipi CNC Freze Konstrüksiyonu .....	14
2.2.6. Üç Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı .....	14
2.2.7. Dört Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı.....	15
2.2.8. Beş Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı.....	15

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 3 .....	17
DİŞLİ ÇARKLAR .....	17
3.1. DÜZ, HELİSEL VE SONSUZ VİDA KARŞILIK DİŞLİSİ .....	17
3.1.1. Düz Dişli.....	17
3.1.2. Helisel Dişli .....	20
3.1.3. Sonsuz Vida- Karşılık Dişlisi .....	21
BÖLÜM 4 .....	23
TEZGAHIN TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI.....	23
4.1. TEZGAHIN TASARIMI .....	23
4.1.1. Mekanik Bölümün Tasarlanması .....	24
4.1.2 Adım (Step) Motorlar.....	27
4.1.3. Sistemde Kullanılan Adım Motor ve Özellikleri.....	28
4.1.4. Dördüncü (Dönel) Eksen.....	28
4.1.5. İş mili ve Kesici Takımlar .....	29
4.2. ELEKTRONİK BÖLÜMÜN TASARLANMASI .....	30
4.2.1. Elektronik Kontrol Ünitesi .....	30
4.2.2. Adım Motor Sürücü ve Kontrol Kartı.....	31
4.2.3. İnverter (Frekans Değiştirici) .....	32
4.3. KONTROL PROGRAMI VE PROGRAM AYARLARI.....	32
4.4. MEKANİK SİSTEM HASSASİYETİNİN HESAPLANMASI .....	35
4.4.1. Sistem Hassasiyeti.....	35
4.4.2. Doğruluk Kontrolleri.....	36
4.4.3. X ve Y Ekseninin Doğruluk Kontrolü .....	36
4.4.4. X Ekseninin Doğruluk Kontrolü.....	37
4.4.5. Y Ekseninin Doğruluk Kontrolü.....	40
4.4.6. X ve Y Ekseni Kesişim Açısı Kontrolü .....	41
4.4.7. Z Ekseni Diklik Kontrolü .....	42
4.5. DÖRDÜNCÜ EKSEN .....	43
4.5.1. Dönel Eksen Tasarımı- İmalatı ve Hassasiyet Hesaplamaları.....	43

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	49
5.1. DÖRDÜNCÜ EKSEN İLE İŞLEME ÇALIŞMALARI.....	49
5.1.1. Tezgahla Düz Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü.....	50
5.1.2. Tezgahla Helisel Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü ..	60
5.1.3. Sonsuz Vida Karşılık Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü .....	67
BÖLÜM 6 .....	73
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	73
6.1. SONUÇLAR .....	74
6.2. ÖNERİLER.....	76
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	81
EK AÇIKLAMALAR A. PROTOTİP İMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC TEZGAHININ FOTOĞRAFLARI.....	82
EK AÇIKLAMALAR B. PROTOTİP İMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC .....	85
EK AÇIKLAMALAR C. PROTOTİP İMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGAHININ MACH3 CNC ARAYÜZ PROGRAM AYARLARI .....	91

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil 2.1. Bilgisayar destekli M ve G kodlarının çıkartılarak CNC arayüz programına yüklenme süreci. ....	12
Şekil 2.2. Tabla hareketli masaüstü CNC freze.....	13
Şekil 2.3. Tabla sabit masaüstü CNC freze. ....	14
Şekil 2.4. Masaüstü dik freze tipi CNC freze. ....	14
Şekil 2.5. Üç eksen masaüstü CNC freze tezgâhı. ....	15
Şekil 2.6. Dört eksen masaüstü CNC freze tezgâhı. ....	15
Şekil 2.7. Beş eksenli masaüstü CNC freze ve beşik mekanizması. ....	16
Şekil 3.1. Dönen ve döndürülen dişli çifti. ....	17
Şekil 3.2. Düz dişli çark. ....	18
Şekil 3.3. Düz dişlide kullanılan teknik terimler. ....	19
Şekil 3.4. Helisel dişli çifti. ....	20
Şekil 3.5. Helisel dişli bölümleri. ....	20
Şekil 3.6. Sonsuz vida karşılık dişli bölümleri. ....	22
Şekil 4.1. Dört eksen masaüstü CNC freze tezhahının solidworks programında modellenmiş görüntüsü. ....	23
Şekil 4.2. Masaüstü CNC freze ölçüleri.....	24
Şekil 4.3. Alüminyum sigma profil ve gövde sacı.....	24
Şekil 4.4. Vidalı bilyalı mil ve somunu. ....	25
Şekil 4.5. Tezgah kızaklama elamanları. ....	25
Şekil 4.6. Triger kayış kasnak ve FL 15 yataklı rulman. ....	26
Şekil 4.7. Adım (Step) motor. ....	27
Şekil 4.8. Dördüncü dönel eksen (divizör çalışma mantığı). ....	29
Şekil 4.9. Kesici iş mili ve çeşitli pensler. ....	29
Şekil 4.10. Mekanik kısmın bilgisayar destekli modellenmesi ve imalattan sonraki görüntüsü. ....	30

## Sayfa

Şekil 4.11. CNC freze tezgahı kontrol ünitesi ve çalışma mantığı.....	30
Şekil 4.12. Adım motor kontrol kartı ve sürücüsü.....	31
Şekil 4.13. Frekans değiştirme cihazı (inverter).....	32
Şekil 4.14. Ölçü birimi seçimi.....	33
Şekil 4.15. Port seçimi ve eksen ayarı.....	34
Şekil 4.16. Mach 3 CNC arayüz programında pin ayarı.....	34
Şekil 4.17. Arayüz programında hız ve ivme ayarlarının yapılması.....	35
Şekil 4.18. Belirlenen kutuların işaretlenmesi.....	37
Şekil 4.19. Kare kanal ölçüsü.....	37
Şekil 4.20. Karelerin numaralandırılması ve talaş kaldırma işlemi.....	38
Şekil 4.21. X eksen yönünde ölçü alınması.....	38
Şekil 4.22. Y eksen yönünde ölçü alınması.....	40
Şekil 4.23. X ve Y eksen kesişim açısının ölçülmesi.....	41
Şekil 4.24. Komparatörle Z eksen işleme diklik hassasiyetinin ölçülmesi.....	42
Şekil 4.25. Dördüncü eksen bölümleri.....	44
Şekil 4.26. Mach 3 programı bölüntü, hız, ivme ayarı arayüzü.....	45
Şekil 4.27. Dördüncü eksen uygulama hassasiyeti kontrolü.....	45
Şekil 4.28. Dördüncü eksen uygulama hassasiyetinin farklı açılar girilerek kontrol edilmesi.....	46
Şekil 4.29. Komparatörle dördüncü eksenindeki salgının ölçümü.....	47
Şekil 4.30. Komparatörle dördüncü eksenindeki işleme doğrusallığının ölçümü.....	48
Şekil 5.1. Dördüncü eksen ile figür ve rakam işleme.....	49
Şekil 5.2. Düz dişli çifti modellemesi.....	50
Şekil 5.3. Mastercam X5 arayüzü.....	51
Şekil 5.4. Parça sıfır noktası tayini.....	52
Şekil 5.5. İşleme tipi ve kesme parametrelerinin seçilmesi.....	52
Şekil 5.6. Kesme çakısı ve işleme hızlarının ayarlanması.....	53
Şekil 5.7. Kesme metodunun belirlenmesi.....	54
Şekil 5.8. Yüzey işleme görüntüsü.....	55
Şekil 5.9. Backplot Selected ile işleme operasyon görüntüsü.....	55

## **Sayfa**

Şekil 5.10. Kesici takımın parçayı işleme görüntüsü.....	56
Şekil 5.11. M ve G kodlarının çıkarılması. ....	57
Şekil 5.12. Çıkarılan M ve G kodları. ....	57
Şekil 5.13. Tezgâha parça bağlama ve işleme görüntüsü.....	58
Şekil 5.14. Düz dişli işlenmiş görüntüsü.....	58
Şekil 5.15. Tasarlanan düz dişlinin ölçüleri. ....	59
Şekil 5.16. Kumpasla diş kalınlığının ölçülmesi. ....	59
Şekil 5.17. Mikrometre ile iki diş arası uzaklığın ölçülmesi.....	60
Şekil 5.18. Helisel dişli çifti modelleme görüntüsü.....	61
Şekil 5.19. Mastercam’da kesici takımın parçayı işleme görüntüsü.....	61
Şekil 5.20. Mastercam’da M-G kodlarının çıkarılması.....	62
Şekil 5.21. Helisel dişli M ve G kodlarının çıkarılmış görüntüsü. ....	62
Şekil 5.22. Helisel dişlinin tezgâhta işlenmesi. ....	63
Şekil 5.23. Helisel dişlinin bitmiş görüntüsü. ....	63
Şekil 5.24. Helisel dişli çiftinin bitmiş görüntüsü. ....	64
Şekil 5.25. Tasarlanan helisel dişlilerin ölçüleri.....	64
Şekil 5.26. Helisel diş kalınlığının kumpasla ölçümü.....	65
Şekil 5.27. Helisel iki diş arasındaki uzaklığın mikrometre ile ölçümü. ....	66
Şekil 5.28. Helisel diş kalınlığının kumpasla ölçümü.....	66
Şekil 5.29. Helisel iki diş arasındaki uzaklığın mikrometre ile ölçümü. ....	67
Şekil 5.30. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi modellemesi. ....	68
Şekil 5.31. Mastercam programında sonsuz vida ve karşılık dişlisinin operasyon görüntüsü.....	68
Şekil 5.32. Geliştirilen dört eksen CNC freze tezgahında sonsuz vida işleme uygulaması. ....	69
Şekil 5.33. Dört eksen CNC freze tezgahında karşılık dişlisi işleme uygulaması.....	69
Şekil 5.34. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi diş ölçüleri.....	70
Şekil 5.35. Kumpasla sonsuz vida diş kalınlığı ölçümü. ....	70
Şekil 5.36. Kumpasla sonsuz vida iki diş arası uzaklık ölçümü.....	71
Şekil 5.37. Kumpasla karşılık dişlisi diş kalınlığı ölçümü.....	71
Şekil 5.38. Kumpasla karşılık dişlisi iki diş arası uzaklığın ölçümü. ....	72

	<b><u>Sayfa</u></b>
Şekil EK A. 1. Fotoğraf 1.....	83
Şekil EK A. 2. Fotoğraf 2.....	83
Şekil EK A. 3. Fotoğraf 3.....	84
Şekil EK A. 4. Fotoğraf 4.....	84
Şekil EK B. 1. Dört eksen CNC freze tezgahı montaj resmi.....	86
Şekil EK B. 2. Dört eksen CNC freze tezgahı Y eksen montaj resmi.....	87
Şekil EK B. 3. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.....	88
Şekil EK B. 4. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.....	89
Şekil EK B. 5. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.....	90
Şekil EK C. 1. Ölçü biriminin seçilmesi.....	92
Şekil EK C. 2. Mach programı ile elektronik arayüz kartı haberleşme pin ayarları ve eksenlerin etkin hale getirilmesi.....	92
Şekil EK C. 3. X Eksen hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.....	93
Şekil EK C. 4. Y Eksen Hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.....	93
Şekil EK C. 5. Z Eksen hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.....	94
Şekil EK C. 6. A Eksen hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.....	94



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 3.1. Düz dişli hesaplama formülleri. ....	19
Çizelge 3.2. Helisel dişli hesaplama formülleri.....	21
Çizelge 3.3. Sonsuz vida- karşılık dişli formülleri. ....	22
Çizelge 4.1. CNC tezgâhımızda kullandığımız adım motor özellikleri. ....	28
Çizelge 4.2. X ekseninden alınan ölçüler.....	38
Çizelge 4.3. X Eksenine ait hesaplamalar. ....	39
Çizelge 4.4. Y Ekseninden alınan ölçüler. ....	40
Çizelge 4.5. Y Eksenine ait hesaplamalar. ....	40
Çizelge 4.6. Dördüncü eksen mekanik maliyeti. ....	43
Çizelge 5.1. Düz dişli bölüm ölçüleri. ....	50
Çizelge 5.2. Helis Dişli Ölçüleri.....	60
Çizelge 5.3. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi ölçüleri. ....	67
Çizelge 6.1. Prototip imalatı yapılan dört eksen CNC freze tezgahının teknik özellikleri. ....	73

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### KISALTMALAR

- CAD : Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)  
CAE : Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik)  
CAM : Computer Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli İmalat)  
CIM : Computer Integrated Manufacturing (Bilgisayarla Bütünleşik İmalat)  
CNC : Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Denetim)  
CMM : Coordinate Measuring Machine ( Koordinat Ölçme Aleti)  
DNC : Direct Numerical Control (Doğrudan Sayısal Kontrol)  
FMS : Flexible Manufacturing Systems (Esnek Üretim Sistemleri)  
DSP : Digital Signal Processing (Sayısal İşaret İşleme)  
NC : Nümerical Contral (Sayısal Kontrol)  
HSS : High Speed Steel (Yüksek hız çeligi)  
MCU : Machine Control Unit (Tezgâh kontrol ünitesi)  
MIT : Massachusetts Instute of Tecnnology (Massachusetts Teknoloji Enstitüsü)  
ROM : Read Only Memory (Salt okunur bellek)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde, bilgisayarlı sayısal denetim (CNC) sistemlerinin kullanımı sanayide ve eğitim alanında önemlidir. CNC Tezgâhlar; hızlı, doğru, hassas, güvenilir ve kullanıcı hatalarını en aza indirmesiyle sanayide her geçen gün daha fazla talep edilen makinelerdir. CNC tezgâhların kullanımının artması ile yetkin bir şekilde CNC kullanacak elemana ihtiyaç duyulmuştur. Bu çalışma ile; sanayi ve okullarda kullanılabilir, ekonomik dört eksenli masaüstü CNC freze tasarlanıp prototip (ilk örnek) imalatı yapılmıştır.

Çalışma, eğitim ve sanayiye ekonomik ve uygulanabilir bir CNC freze tezgâhı imalatı amacı taşımaktadır. Bugün bir endüstriyel CNC freze tezgâhı fiyatına bu çalışmada gerçekleştirilen CNC freze tezgâhından birçok sayıda yapılabilir. Böylelikle okullarda endüstriyel CNC freze tezgâhı alımı yerine bu tarz imalatı gerçekleştirilen CNC’ler alınarak o bütçeyle bilgisayar destekli imalat laboratuvarları kurulabilir ve daha fazla öğrenciye uygulama yapma imkanı sağlanabilir.

Yapılan bilimsel araştırmalar, uygulaması yapılan bilginin hatırdaki kalma oranının daha yüksek olduğunu göstermektedir. CNC ile uygulama yapabilen öğrenciler; CNC tezgâhına kod çıkarma, parça bağlama, parça sıfır ayarlama, uygun kesici takımı seçme, malzemeye göre devri ayarlama, ilerleme hızını, yanal ilerlemeyi, ince-orta-kaba talaş kaldırma gibi operasyonel işlemleri öğrenerek ve belirleyerek CNC imalat mantığını gerçekçi bir şekilde uygulayarak öğrenebileceklerdir. Mezun olduklarında daha nitelikli ve yetkin olarak CNC tezgâhı kullanım bilgisine sahip olabileceklerdir.

Tezgah, bilgisayar ortamında CAD programlarından yararlanılarak üç boyutlu olarak modellenmiştir. tasarlanan parça ve alt montajlar bilgisayar ortamında doğrulaması yapıldıktan sonra tezgâhın ana montaj tasarımı yapılmıştır. Tezgâhın tasarımında; zaman, maliyet ve hassasiyet gibi avantajlar sağladığı için olabildiğince standart malzeme kullanımı tercih edilmiştir. Tasarlanan bileşenlerin montaj, imalat teknik resimleri çıkarılmış ve hazırlanan teknik resme göre, tezgâhı oluşturan bileşenler imal edilerek veya satın alınarak tedarik edilmiştir. Tedarik edilen bileşenler gerçek ve bilgisayar ortamında test edilerek doğrulukları kontrol edilmiştir. Doğrulanmış parçalar birleştirilerek alt ve ana montaj imal edilmiştir. Dördüncü eksen imalatı için, 80'lik torna aynası rulmanlarla yataklanıp, step motor-kayış kasnak iletimi ile dönüş hareketi elde edilmiştir. Dördüncü eksen için arayüz programında girilmesi gerekli pin ve ayarlamalar girilerek bilgisayar kontrollü çalıştırılmıştır.

Çalışmada, eğitim alanında ve sanayide kullanılabilir dört eksen CNC freze tezgâhı tasarlanarak imal edilmiş ve düz, helisel, sonsuz vida- karşılık dişlisi işlenmiş, kare kutu şeklinde kanal işleme çalışmaları yapılmıştır. Talaş kaldırılan parçalar ölçülerek hassasiyetleri hesaplanmıştır. İmal edilen CNC tezgâhı ile hem düzlemsel parçalardan hem de dördüncü dönel (A-B) eksenini vasıtasıyla silindirik parçadan talaş kaldırılabilmiştir. Tezgâhta yumuşak metaller (bakır, alüminyum vb.) ile sert plastikler (polyamid, kestanid, teflon vb.) ve ahşap gibi malzemelerden rahatlıkla talaş kaldırılabilirdiği görülmüştür. Dördüncü eksen sayesinde üç eksen CNC tezgâhında üretilmeyen parçaların üretimi mümkün hale gelmiştir. Dördüncü eksen özelliği ile üç eksenli bir CNC freze tezgâhına göre; kullanım amacı ve kabiliyeti gelişmiş olduğundan daha geniş bir kullanım alanı ortaya çıkmıştır.

Çalışma, dördüncü eksen ile silindirik malzemeye düz, helisel, sonsuz vida- karşılık dişlisi işlenmiş ve ölçümler alınmıştır. Dördüncü eksen parça işlemek için modeller bilgisayar ortamında "Solidworks" bilgisayar destekli tasarım (CAD) programıyla modellenmiş, "Mastercam X5" bilgisayar destekli imalat (CAM) programında da M ve G kodları çıkartılmış ve kod çıkarma işlem aşamaları anlatılmıştır.

## 1.1. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Takım tezgahları alanında büyük sıçrama, tezgah denetiminin mekanik yöntemlerden sayı ve harflerden oluşan sayısal kodlara bıraktığı 1952 yılına rastlar. A.B.D’de Parsons şirketinin öncülüğünde 1949 yılında başlatılan ilk çalışmalar, M.I.T. (Massachusetts Institute of Technology) servomekanizmalar laboratuvarında Cincinnati Hydrotel dik frezesinin üç eksenle sayısal kodlu komutlarla denetlenebilmesiyle sonuçlanmıştır.

Sayısal denetimli tezgahlar (NC-Numerical Control) olarak adlandırılan bu tezgahların ortaya çıkmasında ve gelişmesinde ana etken, havacılık sektörünün karmaşık parça ihtiyacıdır. Bu parçalar ince ayrıntılara sahiptir. Örneğin ilk zamanlarda yapılan uçak kanatlarının yüzey şekli olarak parabolik yüzey tercih edilmekteydi. Sebebi, o zamanlar parabolün ikinci dereceden denkleminin çözümü kolayca yapılabiliyor ve parabolün yüzey şekli, o zamanki imalat teknolojisiyle elde edilebiliyordu. Aerodinamik alanında sağlanan ilerlemeler, uçak parçalarının yeniden tasarlanmasını gerektirdi. Talaşlı işleme açısından bu durum üretimin hızını düşürdüğü gibi ölçü ve geometri tamlığında da sorunlar çıkarmaktaydı [1].

Üretimin itici gücü teknoloji ve bunun temeli bilimdir. Üretim biliminin ve teknolojisinin başlıca uğraş alanı; seri, ucuz ve kaliteli üretim yapmanın yollarını aramaktır. Bu hususta 1950’lerde CNC tezgahların ve bilgisayarların ortaya çıkması üretim alanında bir devrim yaratmış, üretimde esnek (programa dayalı) otomasyon sağlamış ve bu sayede iletişim, ulaşım, tıp, savunma, bilimsel araştırma vb. insan faaliyetlerinin tüm alanlarında inanılması güç gelişmelere katkısı olmuştur. Sanayileşmiş batı ülkelerinin politik ve ekonomik güçleri, bu çeşit üretim teknolojilerine sahip olmalarından ileri gelmektedir [2].

Gülesin ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, makine imalatında kullanılan takım tezgâhları, ağaç işleme, kaynak, alevle kesme, tel ve dalma erezyon, enjeksiyonla şekillendirme gibi çok geniş İmalat işlemlerinde uygulanan bilgisayarlı sayısal denetim makinelerinin programlanması hakkında bilgi vermiştir [3].

Erer'in yaptğı çalışmada CNC takım tezgâhları hakkında genel bir açıklama yapılmış, CNC tezgâhların tanımı yapılarak endüstriye getirdiği kolaylıklardan ve gelişmesinde etkili olan teknolojik değişimin sebeplerinden bahsedilmiştir. CNC takım tezgâhlarının çalışma prensiplerinden ve sistemlerinden bahsedilerek kullanım kolaylığına dikkat çekilmiştir. Ayrıca, CNC tezgâhların ürettiği iş parçalarının universal ve diğer İmalat takım tezgâhlarına göre daha hassas ve standart oldukları üzerinde durularak gelecekte universal tezgâhların kullanımının azalacağından bahsedilmiştir [4].

Göloğlu ve Bunarbaşı'nın çalışmasında doğrusal hareket mekanizmalarının verimliliğine etki eden birçok etkenler araştırılmaktadır. Bu amaçla, değişik doğrusal hareket sistem kombinasyonları kullanılarak tasarım ve üretimi gerçekleştirilen üç eksenli bir doğrusal hareket mekanizmasının bileşenleri incelenmiştir. Kullanılan doğrusal hareket mekanizma ve yardımcı elemanları, dişli-dişli, kayış-kasnak, vida-somun ve kayıt-kızak (mil makara) çiftleridir. Sistem kombinasyonlarının farklılıklarını analiz etmek amacıyla prototipin, kuvvet, moment, sürtünme ölçüm ve hesaplamaları yapılmıştır. Gerek tasarım, imalat, montaj ve ayarlamalarında, gerekse deneme testlerinde karşılaşılan problemlere karşı çözüm önerileri geliştirilmiştir. Teorik hesaplamalarla bulunan rakamsal büyüklüklerin nasıl yorumlanması gerektiği ve uygulamalardaki gerçeklerle örtüşüp örtüşmediğinin araştırması yapılmıştır. Prototip üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı bileşenlerin uygulamada birçok parametreden etkilendiği anlaşılmış, elde edilen önemli bulgular özetlenmiştir [5].

Büyükşahin'in yaptığı çalışmada üç eksenli CNC freze tezgâhı, onu oluşturan parça ve malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. CNC seçim kriterlerine değinilmiş ve yeni bir CNC freze tezgâhı tasarlanmıştır. Gövdenin konstrüksiyonu üç boyutlu çizilmiş, Visual Nastran programı kullanılarak gerilme ve sehim analizleri yapılmış, ayrıca sayısal hesaplamalarla desteklenmiştir. Her üç eksen için de gerekli olan vidalı millerin modelleri saptanmış, tezgâha bir çalışma süresi hedeflenmiş ve vidalı mil ile arabaların bu süreyi sağlayıp sağlayamadıkları kontrol edilmiş ve sağladıkları görülmüştür. Ayrıca tezgâhın üzerine binen tüm kuvvet ve momentler tespit edilip, tüm eksen elemanları için etkileri kontrol edilmiştir. Her eleman üzerine binen

yüklerden yola çıkılarak elemanların rijitlikleri hesaplanmıştır. Her eksen için gerekli olan servo motor güçleri hesaplanmış ve motorların seçimi yapılmıştır. Güvenilir bir tasarıma ulaşılmca makine imal edilmiştir ve makine başarıyla çalıştırılmıştır. Makinenin imalatı sırasında karşılaşılan maliyetler verilmiştir [6].

Kutlu'nun yaptığı bu çalışmada, üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı tasarım ve imalatı için gerekli tasarım parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler çerçevesinde tezgâhın tasarımı ve imalatı için gerekli olan statik ve dinamik hesaplamalar yapılmıştır. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda parçaların CAD programında modellemeleri yapılmıştır. Modeli ve tasarımı yapılan üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı metal parçaları endüstride bulunan talaşlı üretim tezgâhlarında işlenmiştir. Tezgâhın eksen sistemindeki hareketleri iletecek ve yönlendirecek yataklama sistemleri hazır olarak satın alınmıştır. Mekanik parçaların montajı yapılarak sistem hazır hale getirilmiştir. Tezgâhın eksenlerinin tahrik sistemi step motorlarla sağlanmıştır. Üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhının elektronik kontrolü step motor sürücü ve sürücü kontrol kartı yardımıyla yapılmıştır [7].

Uyanık'ın yaptığı çalışmada; Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü Robotik Laboratuvarında atıl durumda bulunan; TERCO firmasına ait, 3 eksenli, bir yüzey işleme tezgâhı yeniden yapılandırılarak eğitime kazandırmıştır. Bu çalışmada, tezgâh ünitesi dışındaki tüm üniteler yeniden tasarlanmıştır. Yüzey işleme tezgâhı (takım tezgâhı) bilgisayar kontrollü hale getirilmiştir. G kodlarını kullanan eğitim amaçlı görsel parça işleme yazılımı geliştirilmiştir. Doğrusal ve dairesel interpolasyon hareketlerini gerçekleştirebilmek için, iki ayrı sürücü algoritması geliştirilmiştir. Ayrıca, takım tezgâhı tasarlanan bir kabin içine yerleştirilerek, orijinal bir eğitim seti oluşturulmuştur [8].

Yılmaz bu çalışmada; robot kolları, step motorları ve kontrol yöntemleri hakkında genel bilgiler vermiş ve iki eksenli robot kol mekanik aksamı tasarlamıştır. Robot kolun hareketini sağlayan step motorlar için sürücü devreleri yapmıştır. Bilgisayarda hazırlanan program yardımıyla robot kolun paralel port üzerinden kontrolü

sağlanmıştır. Koldaki uç eleman için kullanılan step motorun kontrolü PIC ile tasarlanan bir devre ile yapılmıştır. Ayrıca kullanılan step motorun Matlab Programında benzetimi yapılmış ve gerçek değerlerle karşılaştırma imkânı elde edilmiştir [9].

Saygılı bu çalışmada, Scara tipi bir robotun tasarımını yapmış, bütün parçalarının Solidworks programı kullanarak katı modellerini elde etmiş ve aynı yazılım üzerinde parçalar monte edilerek robotun komple katı modeli oluşturmuştur. Robotun eklemlerinden verilen açısal konumlar sonucu gerçekleşen hareket, Gifmax programı vasıtasıyla düzenlenmiş, parça tasıma ve hareket şekli canlandırılmıştır. Düz ve ters kinematik analiz yapılmış, kinematik analiz verileri kullanılarak, Matlab programı vasıtasıyla robotun animasyonunu gerçekleştirmiştir [10].

Alan'ın yaptığı çalışmada, üretilen CNC Eğitim Seti, yazılım bölümü ve donanım bölümünden oluşmaktadır. Donanım bölümü normal fonksiyonlara sahip, Türkçe olarak hazırlanmış bir mini CNC tezgâh fonksiyonlarına sahiptir. Yazılım bölümü ise; tezgâhın mekanik bölümüne yerleştirilecek bir bilgisayarda çalışacak olan yazılımlar oluşturmaktadır. Bu çalışmada CNC ile her türlü bilgiye ulaşma imkanı sağlayan bir arabirim ekranı mevcuttur [11].

Özyalçın'ın yaptığı çalışmada, gelişmiş ülkelerdeki imalat sistemleri incelenmiş ve buralarda otomasyon teknolojilerinin ve robot manipülatörlerin yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür. Bu sistemler içerisinde en önemli otomasyon grubu açık yapılı uyarlanabilir olanlardır. Ancak günümüzde robot üreticileri ürettikleri sistemlerin mimari yapılarını kapalı tutarak hem teknolojilerini korumakta hem de robotların kullanım alanlarını sınırlamaktadırlar [12].

Köbeloğlu yaptığı çalışmada, eğitim amaçlı iki eksen masaüstü CNC torna tasarlamış ve prototipini imal etmiştir. Tasarladığı CNC torna gövdesinde işlenebilirliği kolay bir malzeme olan kestamit kullanılmıştır [13].



Babaoğlu'nun çalışmasında, mekanik sistemlerin analizinde önce yükün sürtünme ve eylemsizlik etkileri, daha sonra yk momentleri belirlenmiştir. Bu çalışmada hareket ve konumlama sağlayan dört temel sürme sistemi ele alınmış ve bu sistemlerle ilgili eylemsizlik, sürtünme, ivmelenme ve yk moment bağıntıları enerji ve g eşitliklerinden faydalanılarak elde edilmiştir. İkinci adım olarak elde edilen bağıntılarla hesaplanan motor moment değeri ile motor, motor gücü ile de sürücü seçimi yapılmıştır. Motor ve sürücü seçimi sırasında motor hareketindeki salınımlara bağlı asımları ve titreşimleri etkileyen yk ile motor arasındaki eylemsizlik oranı özel olarak incelenmiştir. Motor ısınma koşuluna ilişkin ısıl dengeyi belirlemek için etkin moment değeri belirlenmiştir [14].

Bayboğan'ın yaptığı çalışmada bir masa üstü torna tezgâhının belirlenen tezgâh parametrelerine uygun olarak tasarlanmıştır. Tezgâh için belirlenen temel kıstaslar; en büyük parça boyu 550 mm, en büyük parça çapı 90 mm ve is parçası malzemesi olarak ST70 seçilmiştir. Yukarıda belirtilen temel kıstaslar ışığında tezgâh için kesme kuvveti hesaplanmış, bulunan kesme kuvveti değeriyle tezgâh üzerinde kullanılan tüm hareket mekanizmaları tasarlanmış ve standart parçaların seçimi yapılmıştır [15].

Aydemir'in yaptığı çalışmada talaş kaldırma ile başarılı bir İmalat yapmanın temel şartlarından biri olan isleme şartlarına uygun kesici takım seçimi yapılmıştır. Bu çalışmada, kesici takım seçimini etkileyen faktörler dikkate alınarak, torna ve freze tezgâhlarında kullanılan kesici takımları seçebilen, Visual Basic 6.0 dilinde bilgisayar programı hazırlanmıştır. KTS V.1.0 ismi verilen bu programla; isleme şartlarına uygun ve kesici takım siparişinde de kullanılabilen kesici takım seçimi, çok kısa sürede yapılabilmektedir. Bununla birlikte program farklı malzeme türleri için kesme parametreleri tavsiye etmektedir. Bu sayede işlemeye kolay ve çabuk bir şekilde başlanabilmektedir. Bu alışma ile kesici takım seçim sürecinde yapılan hataları en aza indirmek, uygulamada seçim işlemini basitleştirmek ve yapılacak işlemin süresini kısaltmak amaçlanmıştır [16].

Tseng ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, eğitim amaçlı küçük boyutlarda 3 eksenli bir CNC tezgâhı tasarlamış ve imalatını gerçekleştirmişlerdir. Tezgâhın kontrolü için mikroişlemci destekli kontrol ünitesi ve kontrol yazılımı tasarlayıp üretmişlerdir [17].

Kwon ve arkadaşları çalışmalarında, CutPro frezeleme simülasyon yazılımı eşliğinde bir dizi kesme parametreleri oluşturarak deneyler yapmışlardır. Parça boyutu doğruluk kontrolü koordinat ölçme makineleriyle gerçekleştirilmiştir. Deneylerde kullanılan üç farklı malzeme üzerinden koordinat ölçme makinesi ve prob ile ölçümler yapılmıştır. Deneyler sonucu işleme esnasında kesme kuvvetleri ve oluşan titreşimlerin ölçü doğruluğuna etkileri belirlenmeye çalışılmıştır [18].

Suh ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, konik helisel dişli imalatının dört eksenli bir CNC freze tezgahında nasıl yapılabileceği gösterilmiştir. Ayrıca, imalat işlemleri için konik helisel dişli geometrik modellemesi, NC’de işleme yöntem ve takım planlaması olmak üzere üç aşamalı bir algoritma geliştirmişlerdir [19].

Zaitsev’in yaptığı çalışmada, dişli çark imalatı için kullanılan kesicilerin, kesici ağız ve geometrik şekillerine bağlı olan kesme parametrelerinin diş yüzeyleri üzerindeki etkisi incelenmiştir [20].

Çoğun ve Özses’in yaptığı çalışmada, bilgisayar sayısal denetimli (BSD) tezgahlarda değişik işleme koşulları ile işlenmiş parçaların yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişim deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler, Cincinnati Avenger 200 MT ve Topper TNL 100 BSD torna, Cincinnati Lancer 1500 BSD dik işleme merkezi ve Defum DBN 100N BSD borverg tezgahlarında gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri olarak, fabrikanın olağan üretim planında yer alan partilerden seçilen parçalar kullanılmıştır. Deneylerde, takım ilerleme hızı, iş parçası/takım dönme hızı, tabla ilerlemesi ve paso derinliği gibi işleme parametreleri değiştirilmiş ve ortalama yüzey pürüzlülüğünün gösterdiği değişim incelenmiştir. Fener mili/iş mili dönme hızı arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün iyileştiği, takım ilerlemesi/tabla ilerlemesi arttırıldığında yüzey pürüzlülüğünün kötüleştiği görülmüştür [21].

Fetvacı ve İmrak'ın yaptığı çalışmada asimetrik evolvent profilli düz dişli çarkların bilgisayar simülasyonu için matematik modellenmesi ele alınmaktadır. Kesici takımın denklemleri, koordinat dönüşüm, diferansiyel geometri ve yuvarlanma prensipleri uygulanarak asimetrik evolvent düz dişli çarkın matematik modeli verilmiştir. Takım ucunun trokoidal yörüngesi de incelenmiştir. Matematiksel ifadeler programlanarak asimetrik dişlilerin bilgisayar simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar grafikler ile gösterilmiştir [22].

## BÖLÜM 2

### CNC FREZE TEZGAHLARI HAKKINDA GENEL BİLGİLER

#### 2.1. TAKIM TEZGAHLARININ TARİHÇESİ VE GELİŞİMİ

CNC işlemenin temelleri İkinci Dünya Savaşı'nın sonlarına doğru atılmıştır. Bu dönemde uçak ve füze yapımında klasik işleme yöntemlerinin ihtiyaca yeterince cevap verememesi CNC işlemenin geliştirilmesine neden olmuştur. Amerikan ordusuyla bir anlaşma yapan Parsons Corporation, verimliliği en üst düzeye çıkaracak olan ve detaylara özel önem vererek istenen hassaslığın elde edilebilmesini sağlayacak esnek bir üretim sisteminin geliştirilmesi için bir proje başlatmıştır. Parsons şirketi MIT Üniversitesi ile 1952'de bir anlaşma yaparak, bir bilgisayardan alınan çıktılara göre bir mili belli bir yüzey boyunca hareket ettirecek bir kontrol sistemi tasarlamasını istedi. MIT Üniversitesi talep edilen sistemi üretti ve 1952' de Cincinnati Hydrotel isimli freze makinesini tanıttı. Bu makine Sayısal Kontrol (NC) adı verilen yeni bir teknoloji ile donatılmıştı. 1952' den beri dünyanın birçok yerinde makine parçası üreten firmalar üretimlerini sayısal kontrollü olarak yeniden düzenlemişlerdir [23].

Takım tezgahlarının bu gelişmelerine paralel olarak imalat sistemlerinde de büyük gelişmeler olmuştur. 1947 yılında ortaya atılan otomasyona dayalı imalat sistemi genişletilerek optimizasyon devrine geçilmiş, robotların kullanımı gittikçe artarak günümüzde robot fabrikaları ve robot tesisatları kurulmuştur. Ayrıca bilgisayarların yardımı ile ayrı ayrı yapılan bilgisayar destekli tasarım ve bilgisayarlı imalat işlemleri birleştirilerek CAD/ CAM ve bunların CNC ve DNC tezgahlarının birleşmesi ile Esnek İmalat Sistemleri (FMS; Flexible Manufacturing System) ortaya atılmıştır. İmalatı yansıtan FMS ile fabrikanın kalite kontrol, stok kontrol, muhasebe alım satım ve yönetim gibi diğer kısımları bilgisayar kontrolü altında birleştiren

Bilgisayarla Tümüleşik İmalat (CIM; Computer Intemated Manufacturing) devri başlamıştır. Bu gelişmeler imalat teknolojisinde, takım ve tezgah konstrüksiyonundabüyük gelişmeler meydana getirmiştir. Talaş kaldırma ve takım tezgahı alanındaki gelişmeler, ulaşım, haberleşme, uzay, enerji alanlarındaki gelişmelere büyük katkı sağlamıştır [24].

## 2.2. MASAÜSTÜ CNC FREZE TEZGÂHLARI

Günümüzde CNC tezgâhlarının sanayide kullanımı, getirdiği kolaylıklar ve seri üretim için sağladığı avantajlardan dolayı giderek artmaktadır. Masaüstü CNC tezgâhları da büyük tip endüstriyel CNC'ler ile aynı mantıkta çalışmakta, ancak üretim ve işleme kabiliyeti sınırlı kalmaktadır. Masaüstü CNC freze tezgâhlarında paslanmaz çelik, çelik, dökme demir gibi sert malzemeler dışındaki; ahşap ve çeşitleri, sert plastik türleri (polyamid, teflon, kestamid vb. pleksiglas), strafor ve çeşitleri, alüminyum, bakır vb. malzemeler işlenebilir. Bu tezgâhları genellikle;

- Modelciler; ahşap, strafor, alüminyumdan vb. malzemelerden model,
- Reklamcılar; pleksiglas, ahşap, alüminyumdan kesim,
- Kalıpcılar; kalıpların üzerine küçük yazıların yazılması, küçük alüminyum kalıpların yapılması, vb. işlerde,
- Tekstil yedek parça üreticileri; tekstil makinelerinde kullanılan küçük parçaların üretiminde,
- Makine imalatçıları, yumuşak metallere talaş kaldırılması, standart seri halde üretilecek olan bir işe talaşlı imalat yapılması (delik, kama kanalı, s kanalı vb.),
- Mermer işi ile uğraşanlar; mermere yazı, şekil, vb. işlemlerin yapılması,
- Prototip yapım yerleri; ahşap, sert plastik, strafor, alüminyum gibi malzemelerden istenilen parçaların İmal edilmesi için kullanırlar.

CNC freze tezgâhı yukarda belirtilen iş kollarının haricinde başka iş alanlarında da kullanılabilir. Bu tezgâhların kabiliyeti tezgâh kabiliyet sınırlarının yanında kullanıcının kabiliyeti ve yaratıcılığına da bağlıdır. Masaüstü CNC freze

tezgâhlarında sanayi için birçok gerçekçi işler yapılmakta ve insanlar bu yolla maddi kazanç elde edebilmektedirler.

### 2.2.1. Masaüstü CNC Freze Tezgâhlarının Özellikleri

Masaüstü CNC freze tezgâhlar; endüstriyel CNC freze tezgâhlar ile aynı mantıkta çalışır. Bu tezgâhlar da diğer CNC freze tezgâhları gibi sayı, simge ve rakamlar (M ve G kodları)'dan aldığı komutlar ile otomatik işleme yapan tezgâhlardır. Yalnız bu tezgâhların işleme alanı ve kabiliyeti kısıtlıdır.

CNC tezgâhlarında parça işleyebilmenin birinci yolu; işlenecek parça ya da parçadaki kısmın öncelikle çizilmesi veya modellenmesi gerekir. Üç boyutlu model ya da iki boyutlu çizim CAM programına aktarılarak işleme parametreleri girilir. CAM programında M-G kodları çıkarılıp CNC makinesine yüklenir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Bilgisayar destekli M ve G kodlarının çıkartılarak CNC arayüz programına yüklenme süreci.

İkinci yol olarak, genellikle basit parçaların M ve G kodları CNC programcısı tarafından elle yazılarak CNC'ye yüklenir.

### 2.2.2. Masaüstü CNC Freze Tezgâhlarının Mekanik Özellikleri

Masaüstü CNC freze tezgâhı şase konstrüksiyonuna göre, tabla hareketli- tabla sabit, olarak ve eksen sayısına göre sınıflandırılır. CNC tezgâhların hareketleri doğrusal ve dairesel olabilir.

### 2.2.3. Masaüstü Köprü Tipi (Tabla Hareketli) CNC Freze Konstrüksiyonu

Tabla hareketli(Köprü tipi) masaüstü CNC freze konstrüksiyonda X ve Z ekseninde iş mili takımı ile Y ekseninde tabla hareketlidir (Şekil 2.2). Bu tip konstrüksiyonun yapımı diğer tip konstrüksiyonlara göre görece daha kolay ve ekonomiktir. Ancak, tabla hareketli olduğundan tablaya ağır malzeme bağlanması hareket halindeyken tablanın değişken yük gerilmelerine maruz kalmasına sebep olmaktadır.



Şekil 2.2. Tabla hareketli masaüstü CNC freze [25].

### 2.2.4. Masaüstü Portal Tip (Tabla Sabit) CNC Freze Konstrüksiyonu

Tabla sabit masaüstü CNC freze (Şekil 2.3) konstrüksiyon tipinde; X, Y, Z iş mili hareketli olup, tabla hareketsizdir. Bu tezgâh konstrüksiyon tipi; ağır malzemelerin işlenmesinde, işlenecek parçanın tabla ölçüleri boyutunda bağlanabilmesi, ilave eksen eklenmesi durumunda avantajı vardır. Ancak, Y eksen hareketli olduğundan ve Y eksen iş milini taşıdığından tasarıma, yataklama eleman seçimine dikkat etmek gerekmektedir.



Şekil 2.3. Tabla sabit masaüstü CNC freze [26].

### 2.2.5. Masaüstü Dik Freze Tipi CNC Freze Konstrüksiyonu

Bu tezgâhta iş mili dik durumdadır (Şekil 2.4) X ve Y ekseni tablayı, Z ekseni iş milini hareket ettirir. Yapımında diğerlerine göre daha çok işçilik gereklidir. Bu nedenle, genellikle hazır halde satın alınan küçük frezelere motor takılarak CNC freze haline getirilir.



Şekil 2.4. Masaüstü dik freze tipi CNC freze [27].

### 2.2.6. Üç Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı

Üç eksen masaüstü CNC freze tezgâhların X,Y,Z eksenleri eş zamanlı hareket etme yeteneğine sahiptir (Şekil 2.5).





Şekil 2.5. Üç eksen masaüstü CNC freze tezgâhı [28].

### 2.2.7. Dört Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı

Dört eksen masaüstü CNC tezgâhta dört eksen eş zamanlı hareket etme yeteneğine sahiptir (Şekil 2.6). X, Y, Z eksenini doğrusal hareket halinde, dördüncü eksen ise dairesel hareket yapar. Dördüncü eksen; X eksenine paralel dönüyorsa A eksenini, Y eksenine paralel dönüyorsa B eksenini, Z eksenine paralel dönüyorsa C eksenini olarak adlandırılır.

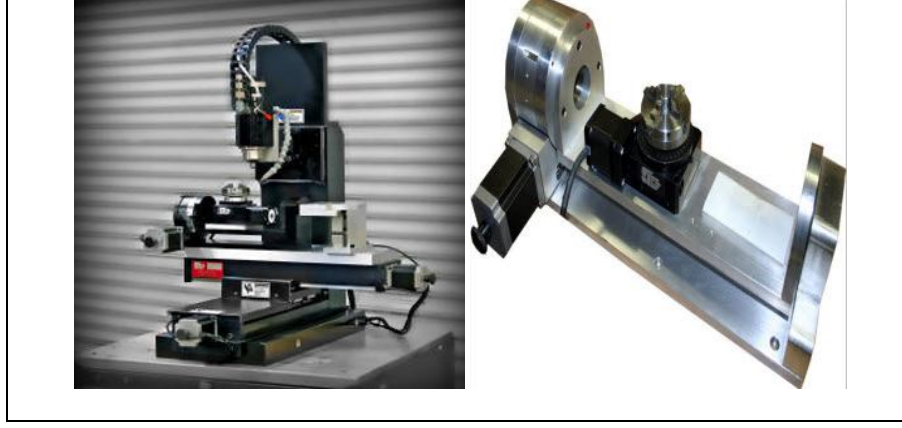


Şekil 2.6. Dört eksen masaüstü CNC freze tezgâhı [29].

### 2.2.8. Beş Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgâhı

Beş eksenli CNC tezgâhta beş eksen eş zamanlı hareket etme yeteneğine sahiptir. Bu hareketlerin tamamı iş milinden olacağı gibi, tabla ve iş mili hareketiyle de elde

edilebilir. Genellikle üç eksenli CNC freze tezgâhını beş eksen CNC freze tezgâhına çevirmenin en kolay yolu beşik mekanizması kullanmaktır (Şekil 2.7).



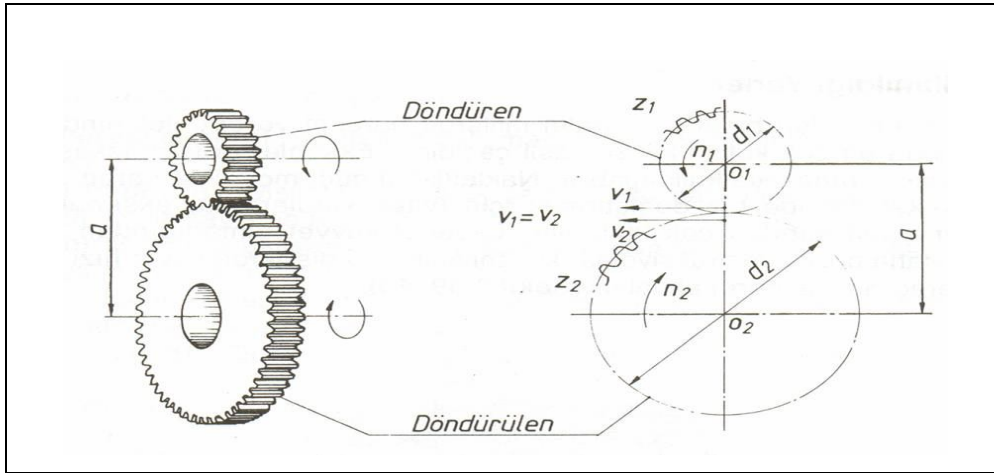
Şekil 2.7. Beş eksenli masasütü CNC freze ve beşik mekanizması [30].

## BÖLÜM 3

### DIŞLİ ÇARKLAR

#### 3.1. DÜZ, HELİSEL VE SONSUZ VİDA KARŞILIK DIŞLİSİ

Hareket ve güç iletiminde kullanılan, üzerinde özel profilli girinti ve çıkıntı bulunan silindirik veya konik yüzeyli elemanlara dişli denir. Dişli mekanizmasının çalışmasında en az iki dişli olması gerekir. Dişli de döndüren dişliye pinyon, döndürülen dişliye dişli çark denir (Şekil 3.1). Dişli seçiminde kuvvetten kazanç (tork), yoldan kayıp elde edilmek isteniyorsa pinyon, dişli çarktan daha küçük (pinyon < döndürülen) olmalıdır.



Şekil 3.1. Dönen ve döndürülen dişli çifti [31].

#### 3.1.1. Düz Dişli

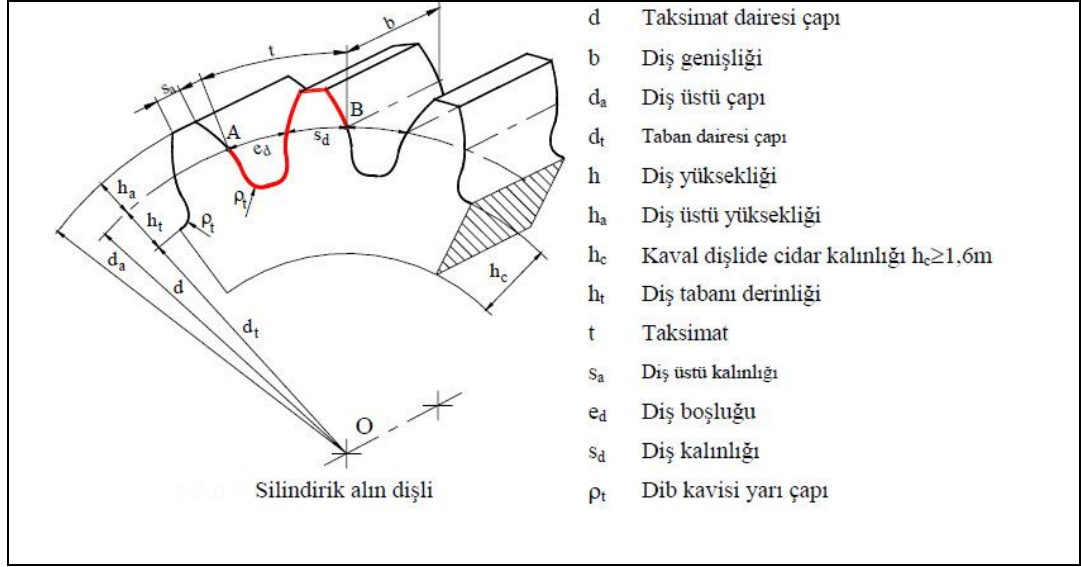
Düz dişli çarklar adından da anlaşılacağı gibi dişlerin eksenine çalışma eksenine düz, diş  $\beta$  açısı sıfırdır (Şekil 3.2). Düz dişlilerin İmalatı, kontrolü, tamir edilebilirliği, helisel dişlilere göre daha kolaydır.

Helisel dişli çarklar ile kıyaslandığında en dezavantajlı yanı kavrama sürecidir. Düz dişli çarklarda bir eş dişli çiftinin teması kendi bütün uzunlukları boyunca ani olarak meydana gelir. Bu nedenle herhangi bir taksimat (diş boşluğu) hatası gürültüye sebep olmaktadır. Genellikle taksimat hattı hızının 10m/s'den küçük olduğu ve düşük yük taşıyan uygulamalarda kullanılır [32].



Şekil 3.2. Düz dişli ark.

Dişli arklarla çalışmak için dişli boyutlarını, toleranslarını ve çeşitli temel büyüklükleri bilmek gereklidir. Dişli ve diş açma takımları için referans profili seçilmelidir Düz dişli hesaplamak için bazı bölümlerin teknik terimlerin (Şekil3.3) ve formüllerinin bilinmesi gerekir [33].



Şekil 3.3. Düz dişlide kullanılan teknik terimler [33].

Düz dişli formüllerinde bilinen değerleri kullanarak bilinmeyen değerleri hesaplarız (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Düz dişli hesaplama formülleri.

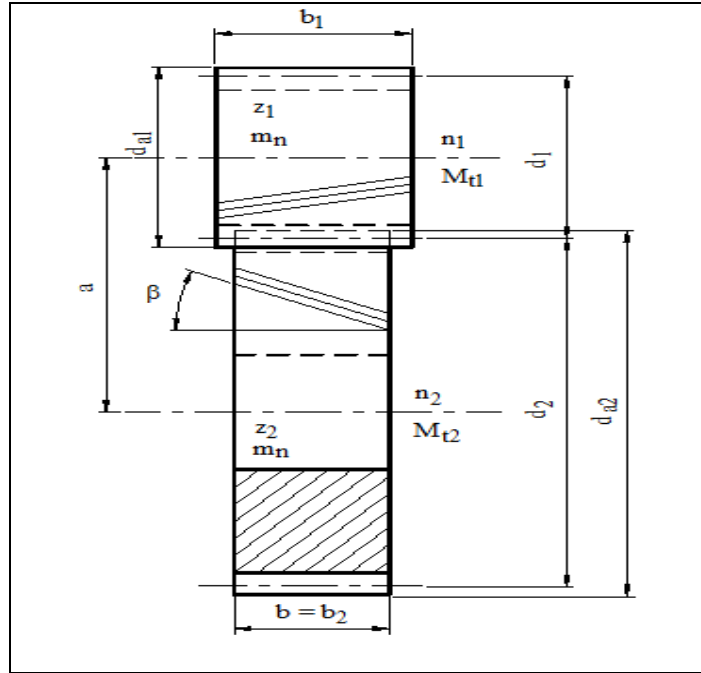
Adı	Sembol	Formül	
		Tezgâhta açılan dişliler için	Modeli yapılan dişliler için
Modül	m	$\frac{p}{\pi} = \frac{d}{z} = \frac{da}{z+2}$	$\frac{p}{\pi}$
Hatve (adım)	p	$m \cdot \pi = \frac{d \cdot \pi}{z} = \frac{da \cdot \pi}{z+2}$	$m \cdot \pi$
Diş sayısı	z	$\frac{d}{m} = \frac{d \cdot \pi}{p} = \frac{da - 2m}{m}$	$\frac{d}{m}$
Bölüm dairesi çapı	d	$z \cdot m = \frac{p \cdot z}{\pi} = da - 2m$	$z \cdot m$
Diş üstü çapı	da	$d + 2m = m(z + 2)$	$m \cdot (z + 1,9)$
Diş dibi çapı	df	$d - 2,332m = da - 2h$	$m \cdot (z - 2,5)$
Diş yüksekliği	h	$m \frac{13}{6} = 2,166m$	$0,7p = 2,20m$
Diş başı yüksekliği	ha	$m = \frac{p}{\pi}$	$0,3p = 0,95m$
Diş dibi yüksekliği	hf	$\frac{7}{6} m = 1,166m$	$0,4p = 1,25m$
Diş dolusu	s	$\frac{p}{2}$	$p \cdot \frac{19}{20}$ veya $\frac{39}{80} p$
Diş boşluğu	e	$\frac{p}{2}$	$\frac{21}{40} p_1$ $\frac{41}{80} p_2$
Diş genişliği	b	Az yük gelenlere (6-8) Çok yük gelenlere (8-12)	-
Merkezler arası	a	$\frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m(z_1 + z_2)}{2}$	-

### 3.1.2. Helisel Dişli

Helisel dişlide dişlere helis açısı verilmiştir. Helisel açı ve diş profil yapısından dolayı aynı anda iki-üç diş birbirini kavrayarak çalışır. Bu durum, helisel dişlinin tedrici (aşama aşama) çalışmasını sağlar ve böylelikle düz dişliye göre daha sessiz bir çalışma gerçekleşir. Düz dişliye göre İmalatı uzun zaman alır. Karşılıklı çalışan helis dişli çiftinde helis açısı birbirinin tersidir (Şekil3.4).



Şekil 3.4. Helisel dişli çifti.



Şekil 3.5. Helisel dişli bölümleri.

Helisel dişli hesabını yapabilmek için helisel dişli bölümlerini (Şekil 3.5) ve helisel dişlide kullanılan formülleri bilmek gerekir (Şekil3.6). Bu formüller aracılığıyla bilinenlerden yararlanılarak bilinmeyen bölümleri hesaplayabiliriz.

Çizelge 3.2. Helisel dişli hesaplama formülleri.

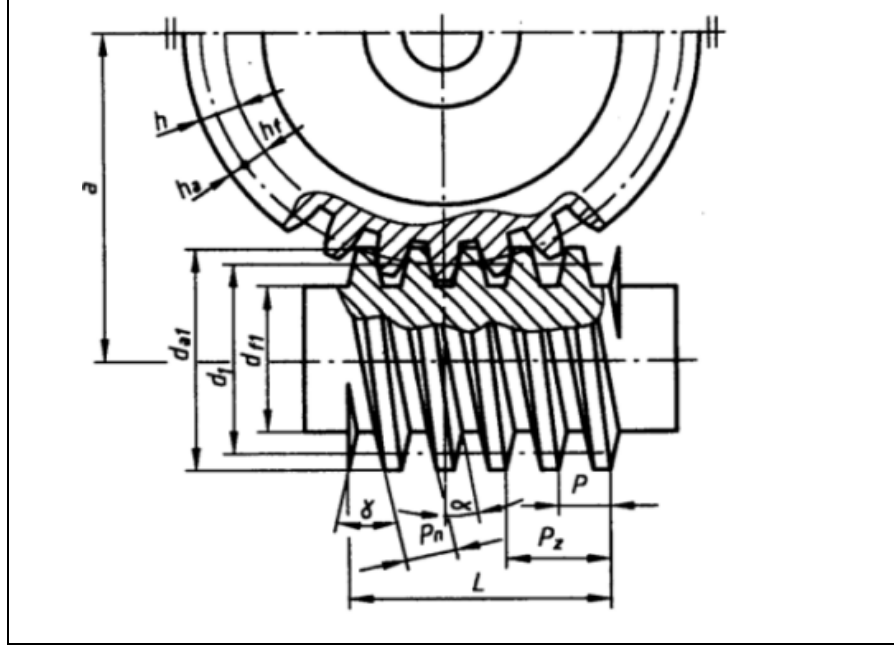
ADI	SEMBOLÜ	FORMÜLLERİ
Normal Modül	Mn	$\frac{P}{\pi}$
Alın Modülü	Mt	$\frac{Mn}{\cos \beta}$
Normal Adım	Pn	Mn * $\pi$
Alın Adımı	Pt	Mt * $\pi$
Diş Sayısı	Z	$\frac{d}{Mt}$
Bölüm Dairesi Çapı	d	Mt * Z
Diş Üstü Çapı	da	d + (2 * Mn)
Diş Dibi Çapı	df	da - (2 * h)
Helis Adımı	H	$\frac{\pi * d}{\tan \beta}$
İdeal Diş Sayısı	Zi	$\frac{Z}{\cos^3 \beta}$
Diş Yüksekliği	h	2,166 * Mn
Dişli Çark Genişliği	b	$\cong 10 * Mn$
Eksenler Arası Uzaklık	a	$\frac{d1 + d2}{2}$ veya $\frac{Mt * (Z1 + Z2)}{2}$
Delikli ayna çevirme Oranı	nk	$\frac{K}{Z}$

### 3.1.3. Sonsuz Vida- Karşılık Dişlisi

Sonsuz vida ve dişlisi bir mekanizma olup, eksenleri birbirine dik veya çapraz olan bir sonsuz vida ile bir sonsuz vida karşılık dişli çarkından oluşan dişli çiftidir (Şekil 3.6). Sistem, bir vidalı mil ile somundan meydana gelmiş kabul edilebilir. Bir vidalı mil, eksensel ilerleme yapmaksızın dönebilecek ve somunun da dönemeyecek şekilde emniyete alındığı kabul edilirse, bu durumda somun bir öteleme (eksensel ilerleme) hareketi yapar [34].

Sonsuz vida yüksek hızlı mil üzerinde bulunarak almiş olduğu hareketi karşılık dişli çarkına ileterek dönme hareketini belirli oranlarda yavaşlatmaya yarar. Sonsuz vida

bir devir yaptığında karşılık dişlisi,  $1/Z$  oranında döner. Veya sonsuz vida  $Z$  (diş sayısı) defa döndüğünde karşılık dişlisi bir devir yapar [35].



Şekil 3.6. Sonsuz vida karşılık dişli bölümleri.

Sonsuz vida karşılık dişlisini hesaplamak için Çizelge 3.3.' teki formüller kullanılabilir.

Çizelge 3.3. Sonsuz vida- karşılık dişli formülleri.

SONSUZ VİDA	
Normal Modül	$m_n = \frac{P_n}{\pi}$
Normal Adım	$P_n = \pi \cdot m_n$
Diş Modülü	$m = \frac{P}{\pi} = \frac{m_n}{\cos \alpha}$
Diş adımı	$P = \pi \cdot m = \frac{\pi \cdot m}{\cos \alpha} = \frac{P_z}{z_1}$
Helis Adımı	$P_z = z_1 \cdot P = \pi \cdot d_1 \cdot \tan \alpha$
Ağız Sayısı	$z_1 = \frac{P_z}{P} = \frac{n_2}{n_1} \cdot z_2$
Helis Açısı	$\cos \alpha = \frac{P_n}{P} = \frac{m_n}{m}; \tan \alpha = \frac{P_z}{\pi \cdot d_1}$
Bölüm Dairesi Çapı	$d_1 = \frac{P_z}{\pi \cdot \tan \alpha}$
Diş Üstü çapı	$d_{a1} = d_1 + 2 m_n$
Diş Dibi Çapı	$d_{f1} = d_1 - 2,33 \cdot m_n$
Diş Profil Açısı	$\gamma = 30^\circ$
Vida Uzunluğu	$L = 2 \cdot m_n \cdot (\sqrt{z_2 + 1})$
Eksenler Arası	$a = \frac{d_1 + d_2}{2}$

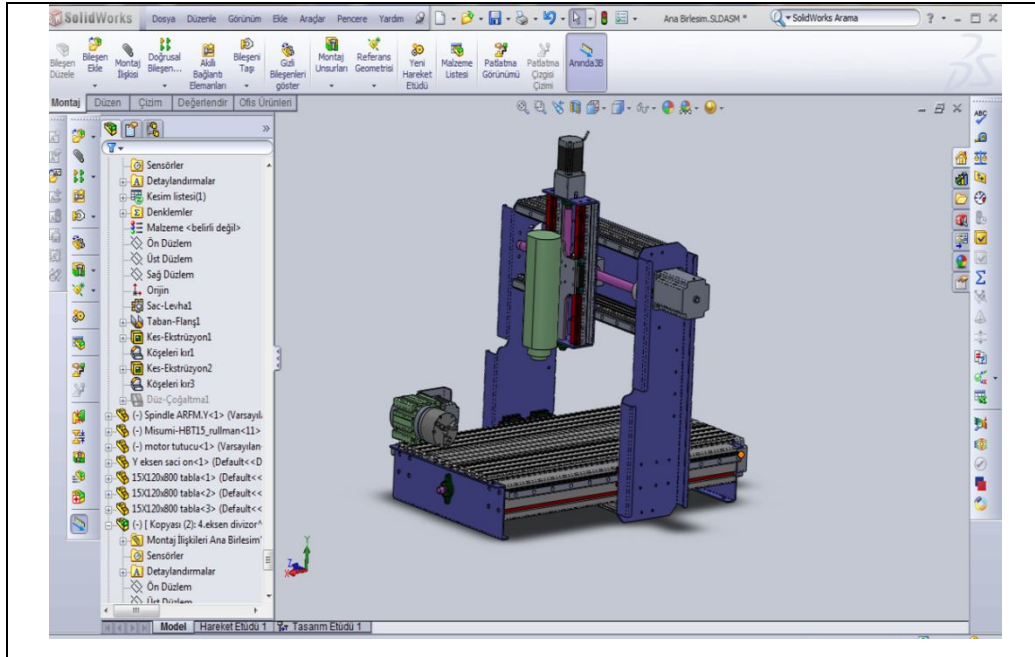


## BÖLÜM 4

### TEZGAHIN TASARIMI VE PROTOTİP İMALATI

#### 4.1. TEZGAHIN TASARIMI

Dört eksenli masaüstü CNC freze çalışmamız için birçok tasarım çalışması yapılmış olup bunlar içerisinde eğitime ve sanayiye yönelik kullanılabilir tasarım belirlenip imal edilmiştir. CNC freze tezgâhın mekanik tasarımı Solidworks CAD programında modellenmiştir (Şekil 4.1). CNC freze tezgâhın tasarım aşaması ikiye ayrılmaktadır;

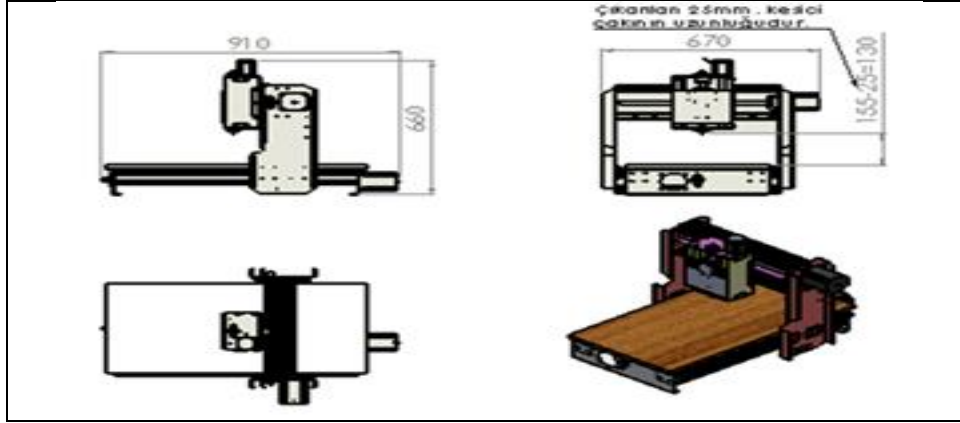


Şekil 4.1. Dört eksen masaüstü CNC freze tezgahının solidworks programında modellenmiş görüntüsü.

- Mekanik Bölümün Tasarlanması,
- Elektronik Bölümün Tasarlanması.

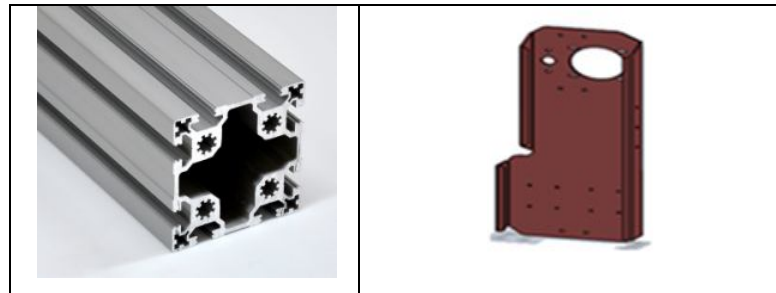
#### 4.1.1. Mekanik Bölümün Tasarlanması

İmal edilen CNC freze tezgâh ölçüsü 670x910x660 (XYZ)'dir (Şekil 4.2). Tezgâh kurs boyu 300x350x130 mm' dir. Dönel eksen (A-B)'e Ø40x300 mm' ye kadar parça bağlanabilmektedir.



Şekil 4.2. Masaüstü CNC freze ölçüleri.

CNC gövde sigma alüminyum profil ve sac kısımdan oluşmaktadır. Gövdede 3 mm kalınlığında ST 37 sac kullanılmıştır (Şekil 4.3). Daha önce yaptığımız çalışmada aynı kalınlıkta sac kullanılmıştır ancak; büküm yapılmamış sacın, bu ebatta bir tezgâh için dayanımının düşük olduğu tecrübe edilmiştir. Kullanılan sacın dayanımını arttırmak için saca büküm yapılmıştır. CNC gövde saclarını korozyondan korumak ve görsellik sağlamak için elektro statik boyama yöntemiyle boyama işlemi yapılmıştır.



a) Alüminyum Sigma Profil      b) Büküm yapılan gövde sacı

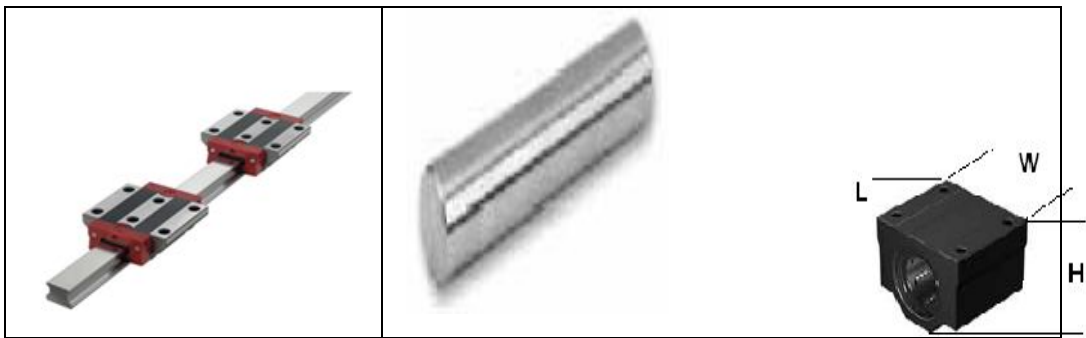
Şekil 4.3. Alüminyum sigma profil ve gövde sacı.

Eksen hareketinde; lineer bilyeli mil ve somun kullanılmıştır (şekil 4.3). Vidalı bilyeli mil  $\text{Ø}20$  ve 5mm hatvedir. Vidalı Bilyeli mil ve somun arasında bilye olduğundan sũrtũnme dũřũktũr. Bundan dolayı endũstriyel tip CNC' lerde sıklıca kullanılmaktadır.



şekil 4.4. Vidalı bilyalı mil ve somunu.

CNC tezgâhın eksen kızaklaması X ve Y ekseninde 20'lik doğrusal ray ve araba, Z ekseninde ise sertleştirilmiş hassas mil ve doğrusal rulman kullanılmıştır (şekil 4.5). Bu ebatlarda bir tezgâh için 15'lik doğrusal ray ve araba çifti kullanımı da uygundur ancak; çalışmada, tezgâhın sağlamlık ve hassasiyetini ũst seviyelere çıkarmak ve daha bũyũk ölçũde tezgâh yapımında tecrũbe kazanmak için (20'lik ray ve arabanın hareket hassasiyetinin belirlenmesi için) 20'lik doğrusal ray ve araba çifti kullanılmıştır.



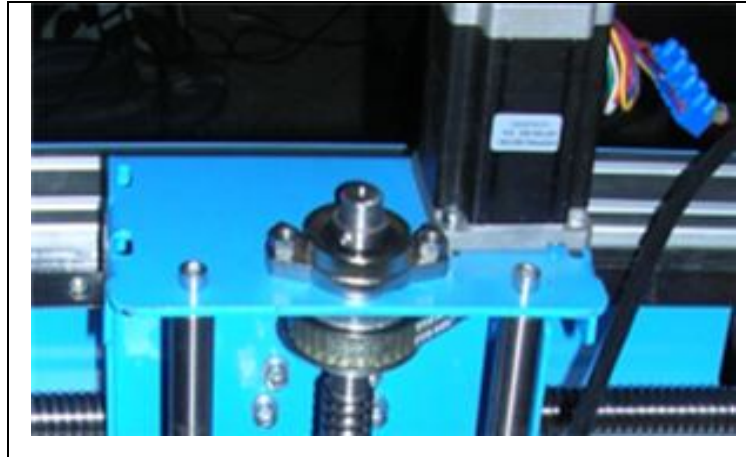
a) Doğrusal Ray ve Araba

b) Hassas mil ve lineer rulman

şekil 4.5. Tezgah kızaklama elamanları.

Bilyeli vidalı mil-somun ve doğrusal ray-araba çiftleri pahalı olmasına karşın hareket hassasiyeti ve doğruluk istenen yerlerde sıkça kullanılır. Bugün sanayide kullanılan endüstriyel CNC'lerin hareket mekanizması bu malzemelerle yapılmaktadır. Sertleştirilmiş hassas mil ve doğrusal rulman, doğrusal ray-araba çiftine göre ekonomik olmasına karşın o düzeyde hareket hassasiyeti sağlamamaktadır..

Geliştirilen tezgâhda, bilyeli vidalı mili yataklamak için FL (Ø15) rulman kullanılmıştır. Step motordan vidalı bilyeli mile hareket aktarımı triger kayış kasnakla yapılmıştır (Şekil 4.6). Karabük Üniversitesi'nde daha önce yapılan Kaygısız [36] ve Kabaş'ın [37] CNC freze çalışmaları incelenmiştir. Her iki çalışma kendi alanında özgün olmakla birlikte X ve Y eksen hareketleri sırasında millerde kasılma olduğu görülmüştür. Bu iki çalışmada da milin kasılma nedeninin servo boşluksuz kaplin ve kaplinin doğru yataklanmamasından kaynaklı olduğu görülmüştür. Bu çalışmalar incelendikten sonra, hareket aktarımı  $\frac{1}{2}$  iletim oranında triger kasnak kayış sistemiyle yapılmış ve herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Kaygısız daha sonra yaptığı çalışmada CNC freze makinesindeki servo boşluksuz kaplini çıkartmış yerine triger kasnak takmıştır. Aynı makine triger kasnağı çalıştırıldığında ise güç aktarımı sırasında milde kasılma görülmemiştir.



Şekil 4.6. Triger kayış kasnak ve FL 15 yataklı rulman.

#### 4.1.2 Adım (Step) Motorlar

Step motorlar (adım motorları), girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık, analog dönme hareketi yapabilen elektromagnetik elemanlardır. Adım motorlar, bilgisayarlar, mikroişlemciler programlanabilir kontrolörler tarafından doğrudan kontrol edilebilir (Şekil 4.7). Adım motorların diğer motorlardan farklı özelliği, çıkış şaftının seri ayırık açısall aralıklarda veya adımlarda dönmesidir, her komut darbesi alınışında, adım motor, bir adım döner. Belirli sayıda darbe sağlanmış olduğunda, şaft, bilinen bir açı kadar dönmüş olacaktır ve bu, motorun ideal olarak açık döngü konum kontrolü için uygun olmasını sağlar [38].



Şekil 4.7. Adım (Step) motor.

### 4.1.3. Sistemde Kullanılan Adım Motor ve Özellikleri

Eksenlerin hareketinde kullanılan adım motorlar aşağıda gösterilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. CNC tezgâhımızda kullandığımız adım motor özellikleri.

Teknik	Y Eksen	X Eksen	Z Eksen	4. Eksen
Step Açısı	1,8°	1,8°	1,8°	1,8°
Nema	34	34	24	23
Amper	6A	4,2A	2,8A	2,8A
İndüktans	6mH	6,76mH	7,5 mH	3,6 mH
Rezistans	0,5 ohms	0,775 ohms	1,5 ohms	1,1 ohms
Tutma torku	8,5 N.m	4,5 N.m	3,1 N.m	1,8 N.m
Faz	2	2	2	2
Ağırlık	3,8 kg.	2,3 kg.	1,4 kg.	1,1 kg.
Uzunluk	118 mm.	75 mm.	88 mm.	76 mm.
Tel sayısı	8	8	8	8

### 4.1.4. Dördüncü (Dönel) Eksen

Dört eksen masaüstü CNC freze çalışmamızda X,Y,Z doğrusal eksenlerine ilave olarak dördüncü dönel eksen eklenmiştir (Şekil 4.8). CNC Tezgâhın eksen sayısının artması tezgâhın işleme yeteneğinin artması demektir. Dördüncü eksenin çalışma mantığı divizörle aynıdır. Dördüncü dönel eksen ile üç eksen CNC frezede tek bağlamayla talaş kaldıramayacağımız silindirik ve eksantrik parçaları işleyebiliriz. Yapılabilecek işlemler; silindirik parçaya birden fazla kama kanalı açılması, S kanalı, şekil, simge, yazı, rakam işleme ile ekzantrik mil, krank mili, düz, helisel, sonsuz vida karşılık dişlisi vb. yapılabilir. Güllü ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada klasik divizörlere göre elektronik divizörlerin %260-%350 arasında zaman tasarrufu sağladığı tespit edilmiştir [39]. Dördüncü eksen İmali için Ø80'lik torna aynası düz ve konik bilyalı rulmanla yataklanmıştır. Yataklanan mil step motor- triger kayış kasnak iletimi ile hareket ettirilir.



a) Dördüncü (dönel) eksen modeli.

b) Dördüncü (dönel) eksen resmi.

Şekil 4.8. Dördüncü dönel eksen (divizör çalışma mantığı).

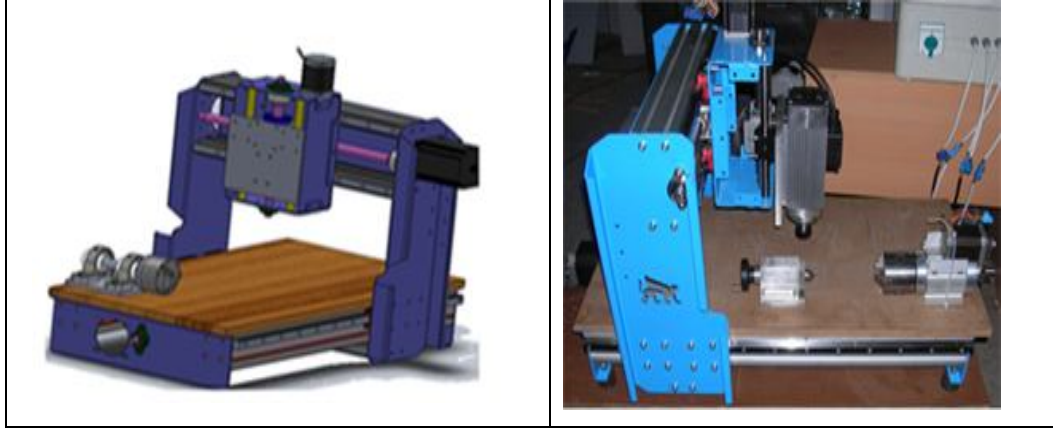
#### 4.1.5. İş Mili ve Kesici Takımlar

Tasarımını ve imatını gerçekleştirdiğimiz CNC tezgâhında Arel marka kesici iş mili (spindle) kullanılmaktadır. Kesici iş mili 1,4 KW gücünde ve 50-18000 d/dk hızında dönebilmektedir. Pens olarak ER-20 modeli kullanılmaktadır. Pense 1-13 mm. çapında kesici çakılar bağlanabilmektedir. Kesici iş mili ve pens çeşitleri (4.9)'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Kesici iş mili ve çeşitli pensler.

Dört eksen CNC freze çalışmasının mekanik kısmının bilgisayarda modellenmesi ve imalattan sonraki resmi aşağıda görülmektedir (Şekil 4.10).



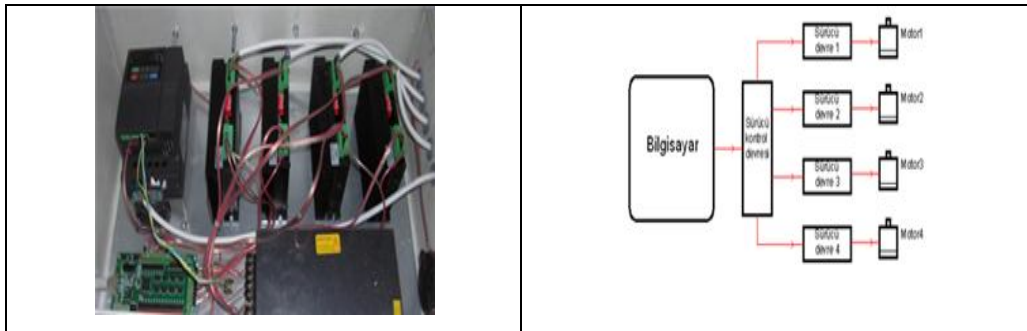
- a) Mekanik kısmın bilgisayar destekli model resmi.      b) Mekanik kısmın imalattan sonraki resmi.

Şekil 4.10. Mekanik kısmın bilgisayar destekli modellenmesi ve imalattan sonraki görüntüsü.

## 4.2. ELEKTRONİK BÖLÜMÜN TASARLANMASI

### 4.2.1. Elektronik Kontrol Ünitesi

Tezgaah elektronik kontrol ünitesi, bilgisayardan gönderilen komutları yorumlayarak step motora gönderir. Bilgisayardan gönderilen sinyalde step motorun hangi yöne ve kaç adım atacağı bellidir. Kontrol ünitesinde; USB'li step motor sürücü kontrol devresi, dört adet sürücü, güç kaynağı ve frekans değiştirme cihazı (inverter) bulunmaktadır. Kontrol ünitesi ve çalışma mantığı aşağıdaki şekilde gösterilmektedir (Şekil 4.11).



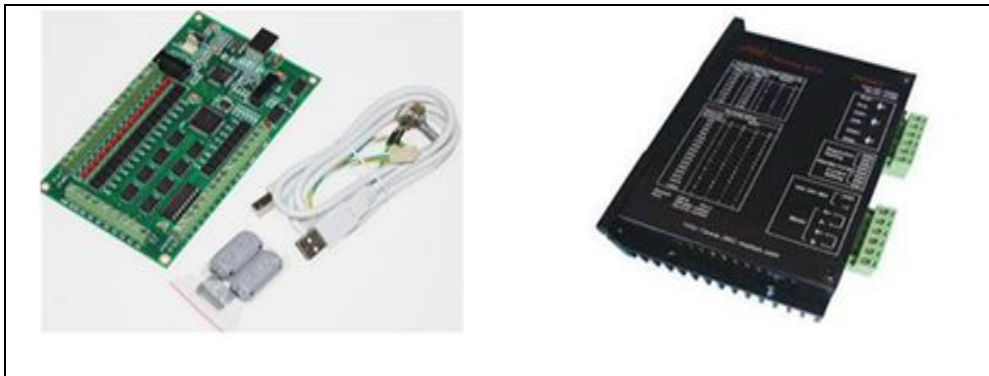
Şekil 4.11. CNC freze tezgahı kontrol ünitesi ve çalışma mantığı.



#### 4.2.2. Adım Motor Sürücü ve Kontrol Kartı

Sürücü kontrol devresi; bilgisayar ve sürücü devreler arasında bilgi kontrolünü sağlar. Sürücü devreleri kontrol ederek bilgisayardan aldığı komuta göre hangi motorun ya da motorların kaç adım çalıştırılacağı, dönme yönü sürücü devrelere iletilir. Adım motorları istenilen yönde ve hızda çalıştırmak istendiğinde sargılarına belli bir sırada darbeler uygulanmalıdır. Adım motorun kaç adım atacağı uygulanan darbelere bağlıdır. Fazlara uygulanacak darbeler (palsler-gerilimler) basit olarak bir anahtarlama sistemi ile yapılabilir. Bu işlemi yapan devrelere sürücü devresi veya kontrolör denir. Günümüzde elektronik devreler ile bu işlem çok kolay bir şekilde yapılmaktadır. Adım motorların ve kullanılacak yerin özelliğine göre hazırlanmış mikroişlemci kontrollü sürücü kartları mevcuttur. Bu kartlar sayesinde adım motorların istenilen hızda ve istenilen hassasiyette çalıştırmak mümkündür. Adım motorların sürülebilmesi için 2 temel noktaya dikkat etmek gerekmektedir. Bunlardan birincisi motorun bağlanacağı sürücü devresinin olmasıdır (Şekil 4.12). İkincisi ise bu sürücü devresi yardımıyla motorun doğru sargılarına gerekli tetiklemeleri gönderebilmektir. [40].

Sistemimizde kullandığımız sürücü kontrol devresi usb girişli olduğundan dizüstü bilgisayar ile de çalıştırılabilmektedir.



Şekil 4.12. Adım motor kontrol kartı ve sürücüsü.

### 4.2.3. İverter (Frekans Değiştirici)

Geliştirilen CNC tezgâhta kullanılan kesici iş mili (spindle) devrini azaltıp artırmak amacıyla Delta marka VFD-EL serisi inverter kullanılmıştır. İverter; iş milinin hızını elektronik olarak değiştirmeyi sağlar. İş mili devir hızı arttırılıp azaltıldığında, inverter bu işlemi elektrik akımıyla değil de elektrik frekansını değiştirerek yaptığından iş mili torku değişmez (şekil 4.13). İverter olmayan iş millerinin dönme devri akımla kontrol edildiğinden düşük devirde dönme kuvveti (torku) düşer. Bu durum, iş milinin zorlandığında durmasına sebep olur.



şekil 4.13. Frekans değiştirme cihazı (inverter).

### 4.3. KONTROL PROGRAMI VE PROGRAM AYARLARI

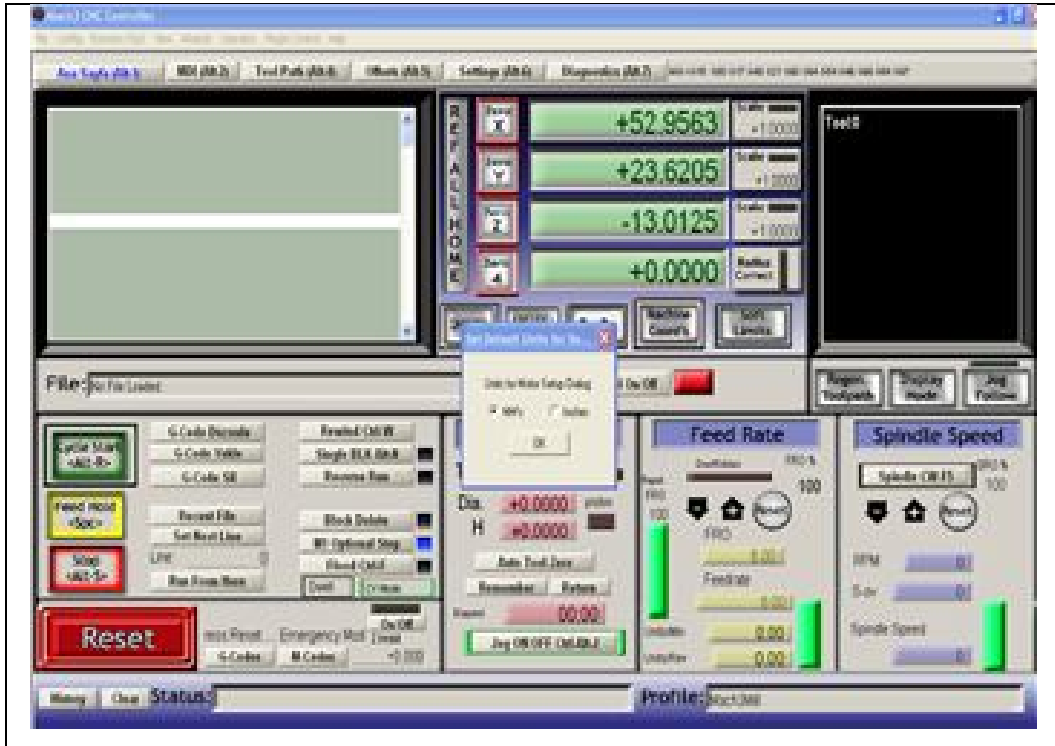
Geliştirilen CNC freze tezgâhının kontrol programı Mach 3'tür. Mach 3 kullanım kolaylığı, birçok gelişmiş özelliği ve ekonomik olmasından dolayı dünya genelinde birçok kullanıcısı vardır [41]. Mach 3 özellikleri;

- 6 eksene kadar kontrol desteği sağlar.
- G kodu ve işlem yapılacak parça ekranda görülür.
- Mach 3'le beraber isteğe göre beraber yüklenen LazyCam programı ile vektörel dosya olarak dxf, Wmf, Hpgl, Plt, Cmx dosyaları ile resim dosyalarından Jpeg ve Bitmap dosyalarını doğrudan çağırabilir.

- Router kullanımında iş mili (spindle) devrini ve tezgâh ilerleme hızını arttırıp azaltabilirsiniz.
- Röle kontrolü yapabilir (Su aç, hava aç vb.).
- Tam ekran çalıştırılmaya uyumludur.
- Mach 3 programı ile; frezeleme, tornalama, plazma ve bir çok özelleşmiş iş yapılabilir.

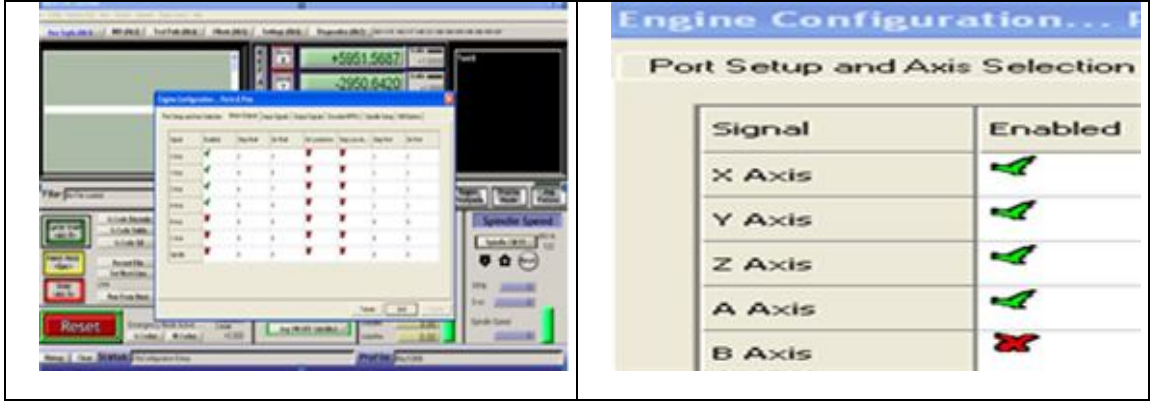
Kontrol programı ile kontrol kartının uyumu için bazı ayarlamalar yapmak gerekir;

- Config \Select Native Units menüsünden kullanılacak olan ölçü birimi belirlenir (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Ölçü birimi seçimi.

- Config\Ports and Pins\ Port Setup and Axis Selection ve Motor Outputs menüsünde kullanacak eksenler ve Port seçimi gerçekleştirilir. Burda dikkat edeceğimiz nokta; dört eksenli bir tezgâhı kontrol edeceğimiz için Motor outputs'dan X, Y, Z ile A eksenini de seçilmelidir (4.15).



a) Eksen ve port seçimi.

b) A eksenini seçiminin yapılması.

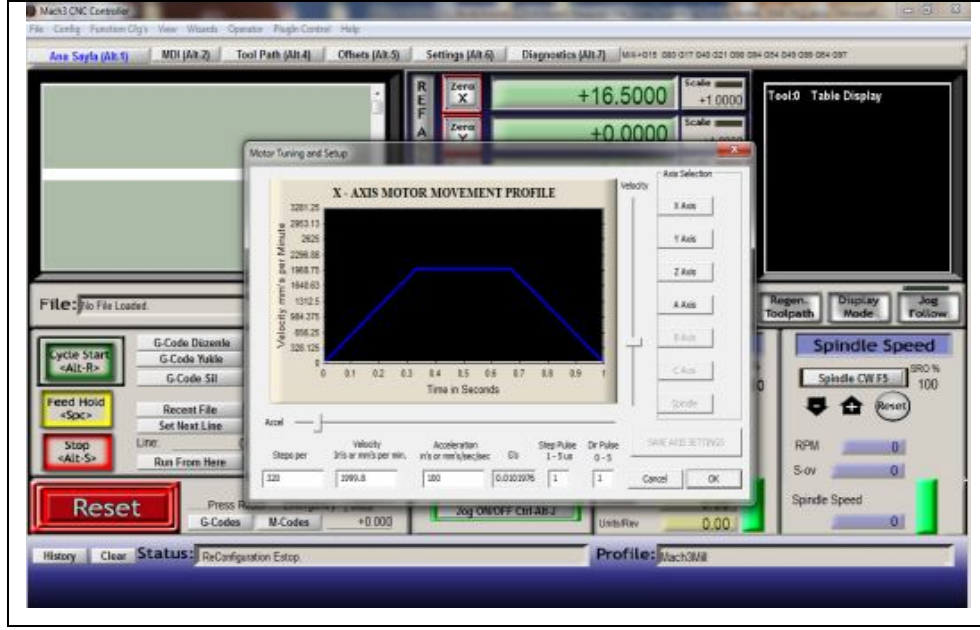
Şekil 4.15. Port seçimi ve eksen ayarı.

- Config\Ports and Pins\Input Pins menüsünden hangi pinin, hangi eksenini yönlendireceği ayarlanır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. Mach 3 CNC arayüz programında pin ayarı.

- Config \Motor Tuning menüsünden eksenlerin hız ve ivme ayarları yapılır (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Arayüz programında hız ve ivme ayarlarının yapılması.

## 4.4. MEKANİK SİSTEM HASSASİYETİNİN HESAPLANMASI

### 4.4.1. Sistem Hassasiyeti

Tezgahta hassasiyet; tezgâhın hareket sınırları içinde komut olarak verilen pozisyona gitme kabiliyetidir. Buna göre hassasiyetin matematiksel hesabı;

Tezgâhın teorik hassasiyeti= Hatve (Birim doğrusal ilerleme)/ Motorun birim adım sayısı bu durumda;

Mil hatvesi: 5mm.

Adım motorlarının adım sayısı( $1,8^\circ$ ): 200 adım.

Adım motorları sürüş tekniği: 1/8 (Mikrostep özelliğidir. Adımları böler.) Bu çalışmada 1/8 adım bölme yöntemiyle kontrol edeceğiz. Kullandığımız step motor sürücülerini motoru 1/256 mikrostep olarak sürme özelliğine sahiptir.

Motorun bir tur dönmek için attığı adım(MTA):  $200 \times 800 = 1600$

Hassasiyet= Hatve/MTA=  $5/1600 = 0,003125$  mm 'dir.

Bu ölçü; 3,125 mikron'a karşılık gelmektedir.

#### 4.4.2. Doğruluk Kontrolleri

Teorik hesaplama; imal edilen bir sistemin gerçek değerini yansıtmaz. Elde edilen teorik değerleri; imalat hataları, üretici firma hataları, tezgâhın bulunduğu yüzey, zamanla malzemelerde oluşan hatalar etkiler. Tezgâhın gerçek hassasiyet değeri; tezgâhta parçalar işleyerek ve işlenen parçalardan ölçü alıp bilimsel olarak hesaplayarak ortaya çıkar. X, Y Eksenindeki hassasiyeti ölçmek için kanal açılıp işlenmiş, dördüncü (A-B) eksen hassasiyet test çalışmaları sürmektedir.

#### 4.4.3. X ve Y Ekseninin Doğruluk Kontrolü

X ve Y eksenlerinin standart sapmasını bulmak için; X ve Y eksenlerinde 8'er adet olmak üzere 64 adet eşit ölçüde kare oluşturulmuştur. 64 adet karenin hesabı uzun zaman alacağından sistematik örnekleme yöntemine göre ölçü alınarak kareler belirlenmiştir.

Sistematik örneklemede;  $k=N/n$  ifadesi ile örnekleme oluşturacak birimler arasındaki uzaklık hesaplanır. 1 ile k arasından bir tam sayı (a) seçilir. Daha sonra, (a)'dan başlayarak k' lı aralıklarla seçilir.

Bu durumda ;

$N$  (Evren Büyüklüğü)= 64

$N$  (örnekleme=kısmi sayım)= 5

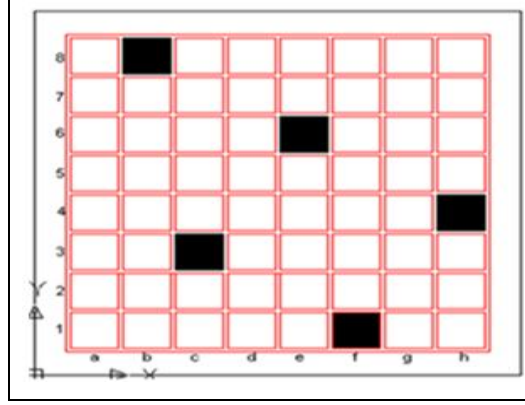
$k=N/n=64/5=12,8$  yuvarlama yaparsak  $k= 13$  çıkar.

1 ile 13 arasında 6 sayısını seçerek;

İkinci kutu= $6+k=6+13=19$ ; Üçüncü kutu= $19+13=32$ ; Dördüncü kutu= $32+13=45$ ;

Beşinci kutu = $45+13=58$  bulunur.

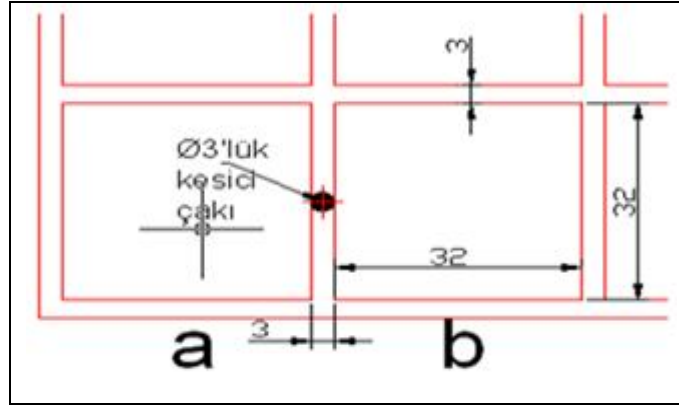
Örnekleme kümesi; 6,19,32,45,58 numaralı kutu (sayı)' dan oluşmaktadır. Belirlenen kareler siyah zemin rengiyle işaretlenmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Belirlenen kutuların işaretlenmesi.

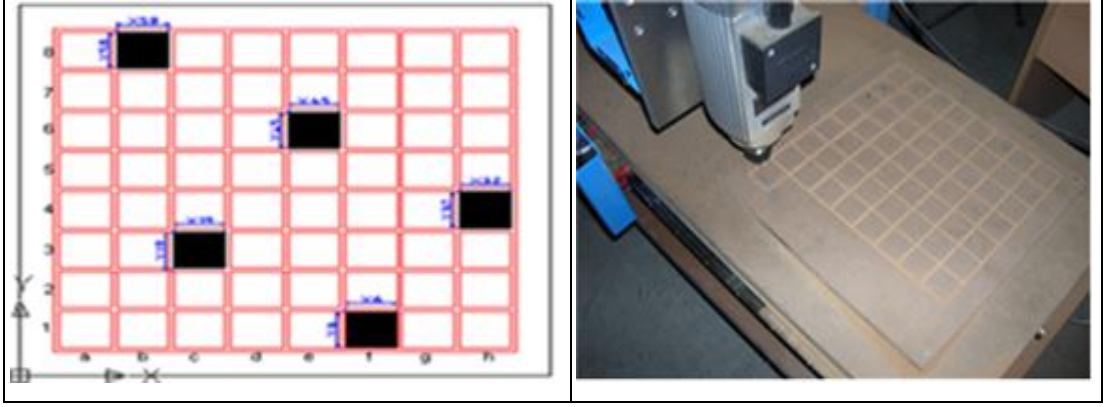
#### 4.4.4. X Ekseninin Doğruluk Kontrolü

Geliştirilen sistemde eksen hassasiyetini bulmak için malzemesi mdf olan kare malzemeden talaş kaldırılarak 64 adet küçük kare elde edilmiştir ve sistematik örnekleme yöntemiyle ölçüleri alınacak kareler belirlenmiştir. Oluşturulan her bir karenin ölçüsü 32x32 mm' dir (Şekil 4.19).



Şekil 4.19. Kare kanal ölçüsü.

Sistematik örneklem yöntemiyle seçilen 5 adet kare X yönünde; X6, X19, X32, X45, X58 olarak numaralandırılmış ve ardından talaş kaldırma çalışması yapılmıştır (Şekil 4.20).



a) Numaralanmış kareler

b) Talaş kaldırma işlemi

Şekil 4.20. Karelerin numaralandırılması ve talaş kaldırma işlemi.

Geliştirilen tezgâhta daha önce 32x32 mm olarak CAM kodlarını çıkarttığımız kare parçanın ölçümü yapılmıştır (Şekil 4.21).



Şekil 4.21. X ekseni yönünde ölçü alınması.

Ölçülen değerler Çizelge 4.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2. X ekseninden alınan ölçüler.

Ölçüm Numarası	Ölçülen Değer (mm.)
X6	31,95
X19	31,94
X32	31,96
X45	31,95
X58	31,98



Eksenlerdeki hata miktarlarının tespiti için numunelerden alınan ölçüm değerlerinin istatistiksel analizi yapılarak standart sapmaları hesaplanmıştır. Standart sapma bir çalışma grubundaki her bir verinin ortalamaya göre ne kadar uzaklıkta olduğunu, bir diğer deyişle dağılımın ne yaygınlıkta olduğunu göstermektedir [42]. Varyans;

$$Var(X) = \sum \frac{((X_i - (Ortalama)))^2}{n - 1} \quad (4.1)$$

formülüyle hesaplanır ve varyans'ın karekökü standart sapmayı verir. X eksenine ait standart sapma hesabı yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3. X Eksenine ait hesaplamalar.

Ölçüm Numarası	Ölçülen Değer (mm.)	(X- Ortalama)	(X-Ortalama) <sup>2</sup>
X6	31,95	-0,006	0,00036
X19	31,94	-0,016	0,000256
X32	31,96	0,004	0,000016
X45	31,95	-0,006	0,000036
X58	31,98	0,024	0,000576
		<b>Toplam</b>	<b>0,001244</b>

Ortalama =31,956

Varyans =0,001244 / 4 = 0,000311

Standart Sapma = $\sqrt{0,000311}$  = 0,0176mm.

Güven aralığı;

Kitle ortalama için güven aralığı;

Alt sınır = (ortalama) - (tablo değeri) x (standart sapma) (4.2)

Üst sınır = (ortalama) + (tablo değeri) x (standart sapma) (4.3)

Tablo değeri örneklem sayısı küçük olduğundan t dağılımı kullanılır.

T4;0,05 = 0,841

Alt sınır = 31,956 – (0,841) x 0,0176 = 31,941

Üst sınır = 31,956 + (0,841) x 0,0176 = 31,970

Gözlemlerin ortalamasının belirlenen güven aralığının içinde olması gerekir.  $\mu_x$  için hesaplanan %95 güven aralığı (31,941;31,970) olarak bulunur.

#### 4.4.5. Y Ekseninin Doğruluk Kontrolü

Y eksenine için ölçü alınan kareler gösterilmiştir (Şekil 4.22). Karelerin Y yönündeki uzunlukları ölçülerek kaydedilmiştir (Çizelge 4.4).



Şekil 4.22. Y eksenine yönünde ölçü alınması.

Çizelge 4.4. Y Ekseninden alınan ölçüler.

Ölçüm Numarası	Ölçülen Değer (mm.)
Y6	31,96
Y19	31,96
Y32	32,01
Y45	32,02
Y58	31,98

Y eksenine ait standart sapma hesabı yapılmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. Y Eksenine ait hesaplamalar.

Ölçüm Numarası	Ölçülen Değer	(X- Ortalama)	(X-Ortalama) <sup>2</sup>
Y6	31,96	-0,026	0,000676
Y19	31,96	-0,026	0,000676
Y32	32,01	0,024	0,000576
Y45	32,02	0,034	0,001156
Y58	31,98	-0,006	0,000036
		<b>Toplam</b>	<b>0,00312</b>

Ortalama =31,986  
Varyans =0,00312/4 = 0,00078  
Standart Sapma = $\sqrt{0,00078}$  = 0,0279  
Güven aralığı;

Kitle ortalama için güven aralığı;

Alt sınır = (ortalama) - (tablo değeri) x (standart sapma)

Üst sınır = (ortalama) + (tablo değeri) x (standart sapma)

Tablo değeri örneklem sayısı küçük olduğundan t dağılımı kullanılır.

T<sub>4;0,05</sub> = 0,841

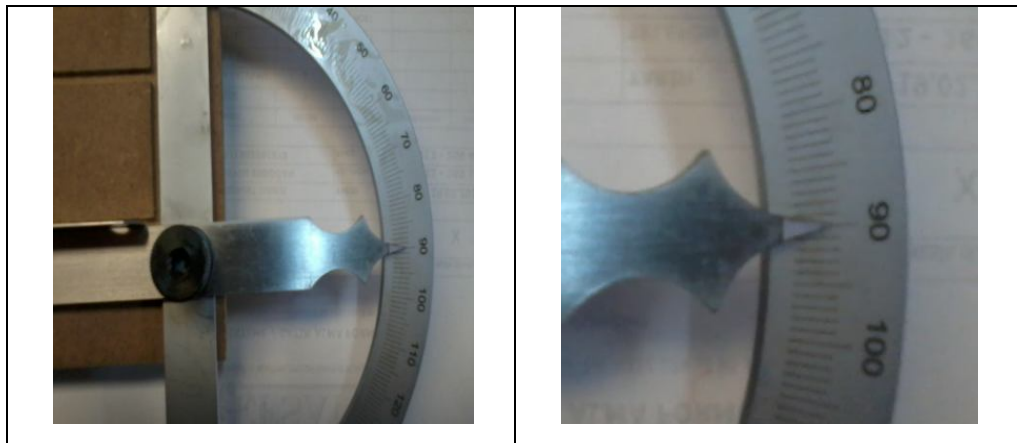
Alt sınır = 31,986 – (0,841) x 0,0279 = 31,962

Üst sınır = 31,986 + (0,841) x 0,0279 = 32,025

Gözlemlerin ortalamasının belirlenen güven aralığının içinde olması gerekir.  $\mu_y$  için hesaplanan %95 güven aralığı (31,962; 32,025) olarak bulunur.

#### 4.4.6. X ve Y Eksenini Kesişim Açısı Kontrolü

X ve Y açılan kanal ölçülerinin standart sapma değerlerini bulduktan sonra X ve Y eksenini arasındaki açı kontrolü yapılmıştır (Şekil 4.23). Açı ölçerinin hassasiyet oranı bir derecedir.



a) Açı ölçümü yapılması

b) Açı ölçümünün okunması.

Şekil 4.23. X ve Y eksen kesişim açısının ölçülmesi.

#### 4.4.7. Z Eksenli Diklik Kontrolü

Z eksenindeki diklik kontrolünü ölçmek için 0,01 hassasiyetinde kumpasla ölçüm yapılmıştır. Z eksenindeki dikliği ölçebilmek için elde bulunan en uzun kesme çakı boyunda derinlik açılmış ve bu derinlikten komparatörle ölçüm alınmıştır (Şekil 4.24). Z eksenindeki en fazla salgı komparatör saat yönünün tersi yönünde 0, 17 mm bulunmuştur.



a) Komparatörle Z eksenli diklik ölçümü ayarlamaları.



b) Komparatörle diklik ölçümü.

Şekil 4.24. Komparatörle Z eksenli işleme diklik hassasiyetinin ölçülmesi.

#### 4.5. DÖRDÜNCÜ EKSEN

İmal edilen masaüstü CNC freze tezgâhı üç eksen doğrusal (x,y,z) ve bir eksen dönel (A veya B) olarak çalışmaktadır. Tezgâh işleme kabiliyeti ile eksen sayısı doğru orantılıdır. Çok eksenli (üç eksenden fazla) CNC freze tezgâhlarında üç eksende üretilmeyen ya da üretilmesi zor olan parçalar üretilebilir. Yalnız bu tezgâhlarda eksen sayısı fazlaştıkça tezgâh karmaşıklaşır. Çok eksenli bir tezgâhı kullanmak için önce üç eksenli bir tezgâhın çalışma mantığını ve cam kodunun çıkarılmasını öğrenmek tezgâhı çalıştırırken ve cam kodlarını çıkarırken kolaylık sağlar.

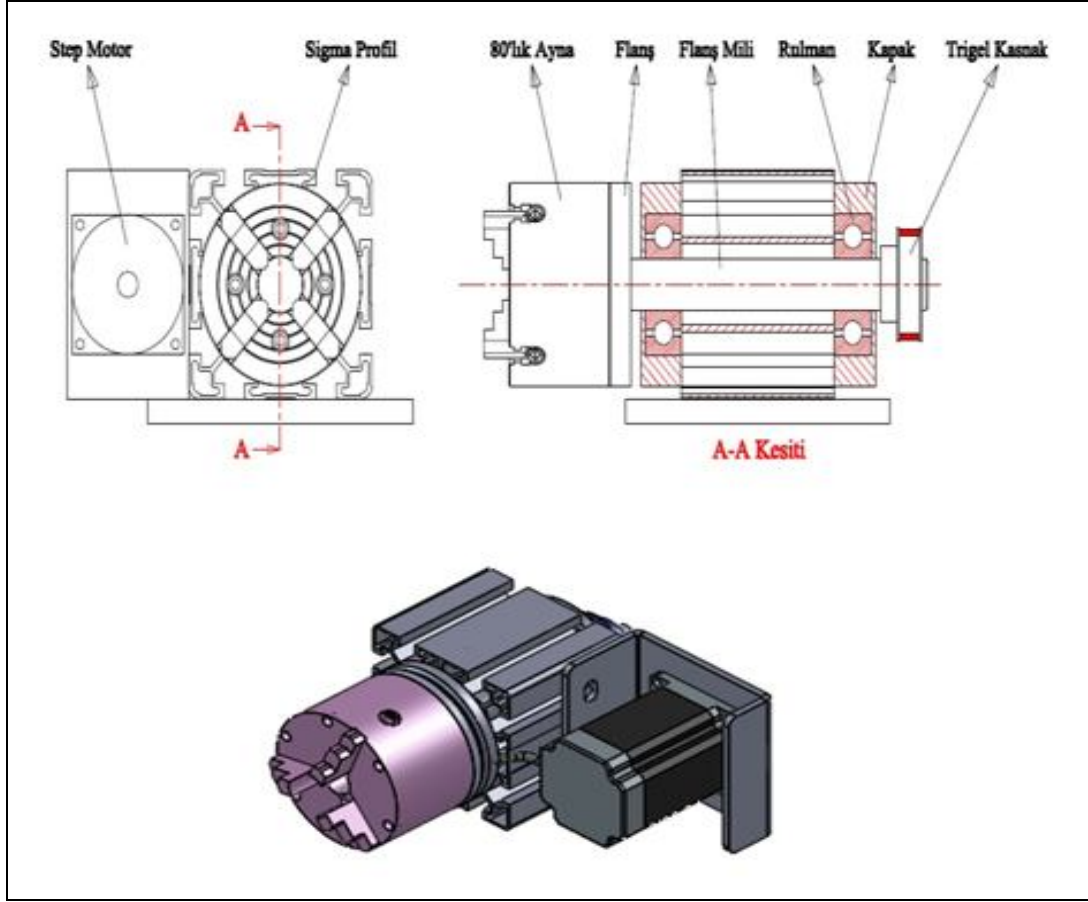
##### 4.5.1. Dönel Eksen Tasarımı- İmalatı ve Hassasiyet Hesaplamaları

Öncelikli olarak üç eksenli tezgâhın imalatı tamamladıktan sonra dördüncü dönel eksenini imal etmeye başladık. Dördüncü eksenini tasarlarken özgün, ekonomik, taşınabilir olmasına dikkat ettik. Dördüncü eksen mekanik maliyeti 265 TL olmuştur (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6. Dördüncü eksen mekanik maliyeti.

Malzeme İsmi	Adet	Birim Fiyat(TL)	Toplam(TL)
80'lik Divizör	1	110	110
Rulman	2	10	20
90x90 Al. Sigma Profil	1	15	15
Talaşlı İmalat işi	1	70	70
Triger kayış kasnak seti	1	30	30
Step motor (İkinci el)	1	20	20
Genel Toplam			265 TL.

Bu maliyet; üç eksen tezgâhı olan eğitim kurumları ve sanayi de imalat yapan kobiler için sağladığı; yararlar göz önüne alındığında oldukça makuldür. Dördüncü eksen mekanik imalatında kullanılan malzemeler ve bilgisayar destekli tasarımı görülmektedir (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Dördüncü eksen bölümleri.

Dördüncü eksen teorik hassasiyeti ;

Adım motorunun adım sayısı( $1,8^\circ$ ): 200 adım.

Adım motorları sürüş tekniği: 1/8 (Mikrostep özelliğidir. Adımları böler.) Bu çalışmada 1/8 adım bölme yöntemiyle kontrol edeceğiz. Kullandığımız step motor sürücülerini motoru 1/256 mikrostep olarak sürme özelliğine sahiptir.

Triger kayış kasnak iletim oranı: 1/2

Motorun bir tur dönmek için attığı adım(MTA)= Adım sayısı x sürüş hassasiyeti x triger kayış kasnak iletim oranı=  $200 \times 8 \times 2 = 3200$ 'dür.

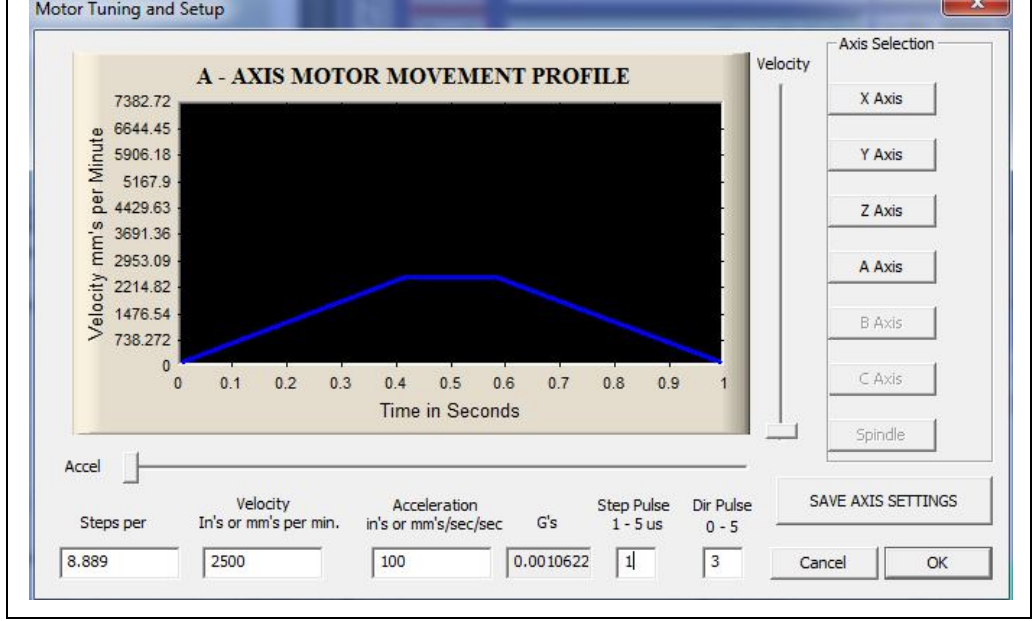
Dördüncü eksenin teorik hassasiyeti = Derece/MTA=  $360^\circ / 3200 = 0,1125$  derecedir.

Dördüncü eksenin Mach 3 programında bölüntü ayarları şu formülle hesaplanır;

Bölüntü= Step Per Unit= Motoru bir derece döndürmek için gerekli darbe sayısı;  
 $3200 / 360^\circ = 8,889$ 'dur.

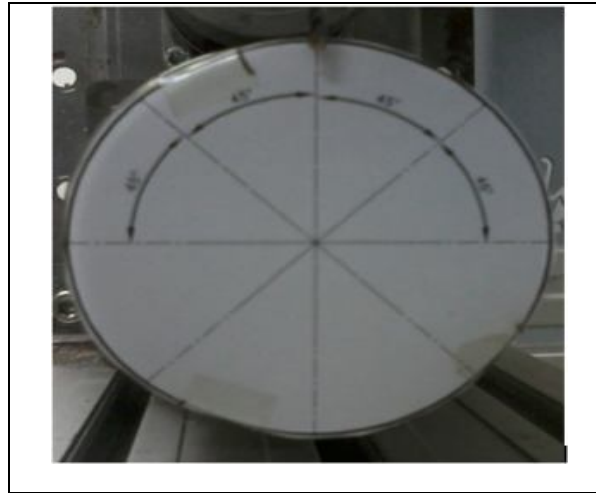
Bu hesaplamayı Mach 3 programında Step Per Unit kısmına girilir.

Step Per Unit değerini girmek için; Config\Motor Tuning\ Motor Tuning and setup arayüzü açılır (Şekil 4.26). Bu arayüzde görülen hız ve ivme değerleri ise tezgâh kabiliyetine ve sınırlarına göre belirlenir.



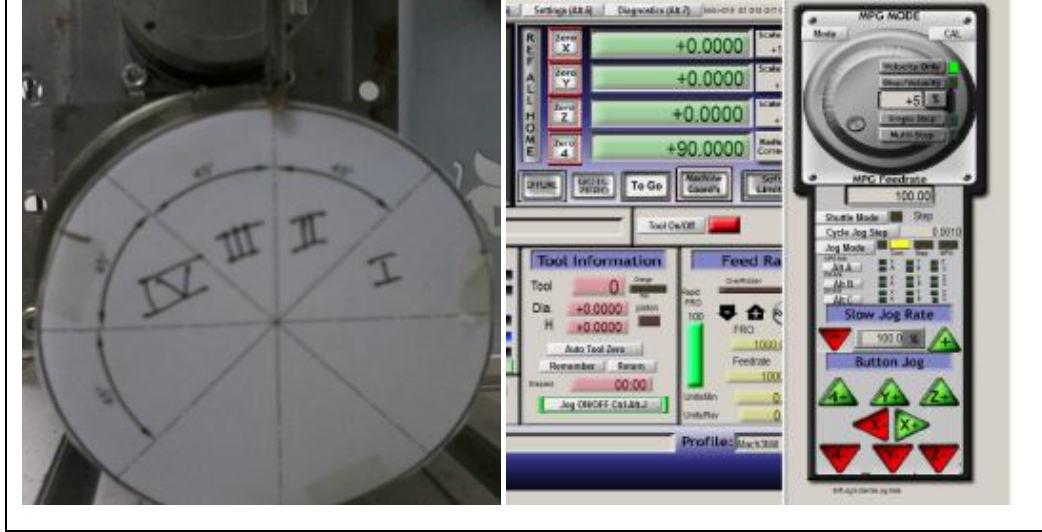
Şekil 4.26. Mach 3 programı bölüntü, hız, ivme ayarı arayüzü.

Dördüncü eksen hassasiyetini tezgâhta da görmek için dördüncü eksen torna aynasına açı değerlerini gösteren silindirik bir malzeme bağlanmıştır (Şekil 4. 27).



Şekil 4.27. Dördüncü eksen uygulama hassasiyeti kontrolü.

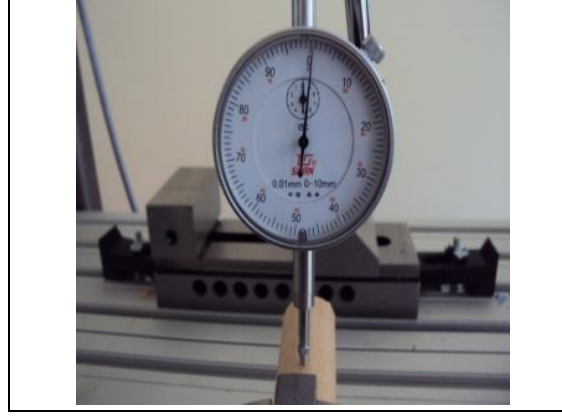
Kesici takım ucu derece çizgisi ortalanarak çeşitli derecelerde (45, 90, 135, 180, 225, 270, 360) döndürüldü. Bilgisayarda girilen dereceler ile tezgâh dördüncü eksen dönme dereceleri kontrol edildi ( Şekil 4.28).



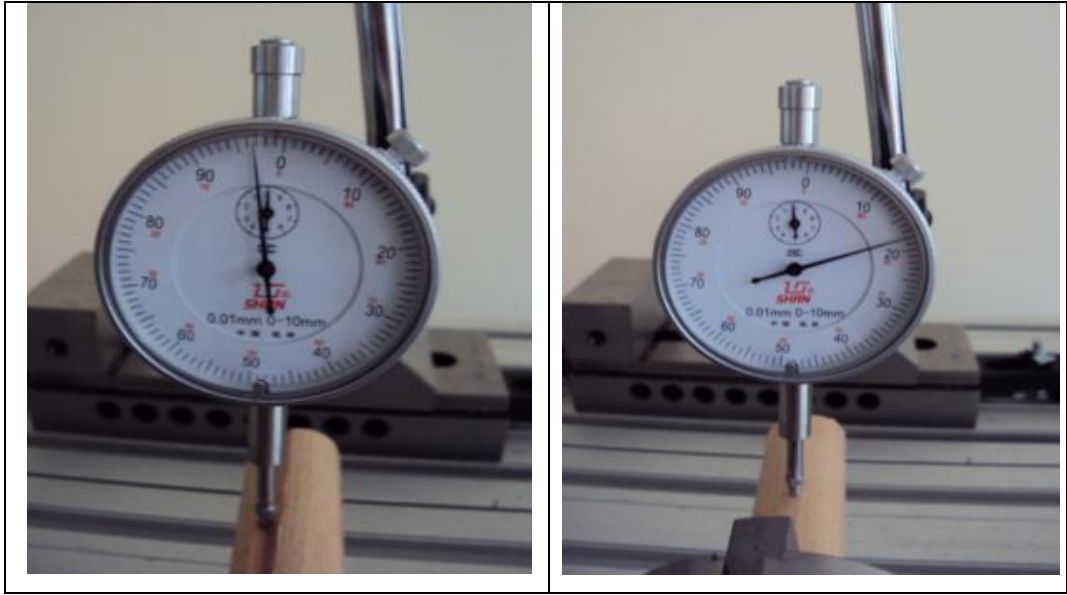
Şekil 4.28. Dördüncü eksen uygulama hassasiyetinin farklı açılar girilerek kontrol edilmesi.

Dördüncü eksen aynasındaki salgıyı ölçebilmek için torna aynasına silindirik ahşap bağlanıp 360° döndürülerek komparatörle ölçüm alınmıştır (Şekil 4.29). 0,01 mm hassasiyetindeki komparatörle yapılan ölçüme göre en fazla salgı komparatör saat yönü 0,18 (b) + ve komparatör saat yönü tersi 0,07 (c) olarak toplamda 0,25 mm bulunmuştur.





a) Komparatörle dördüncü eksendeki salgıyı ölçüm ayarlaması.

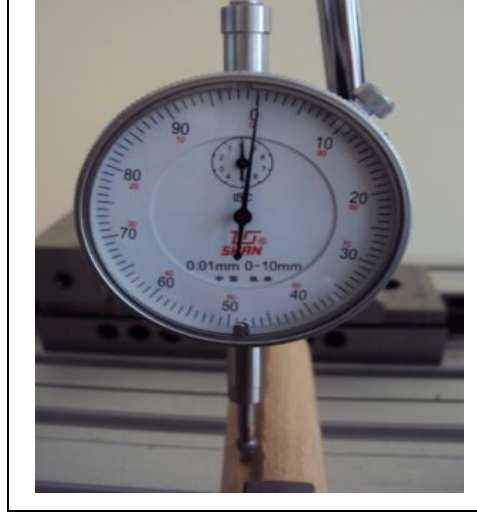


b) Komparatörle ölçüm alınması

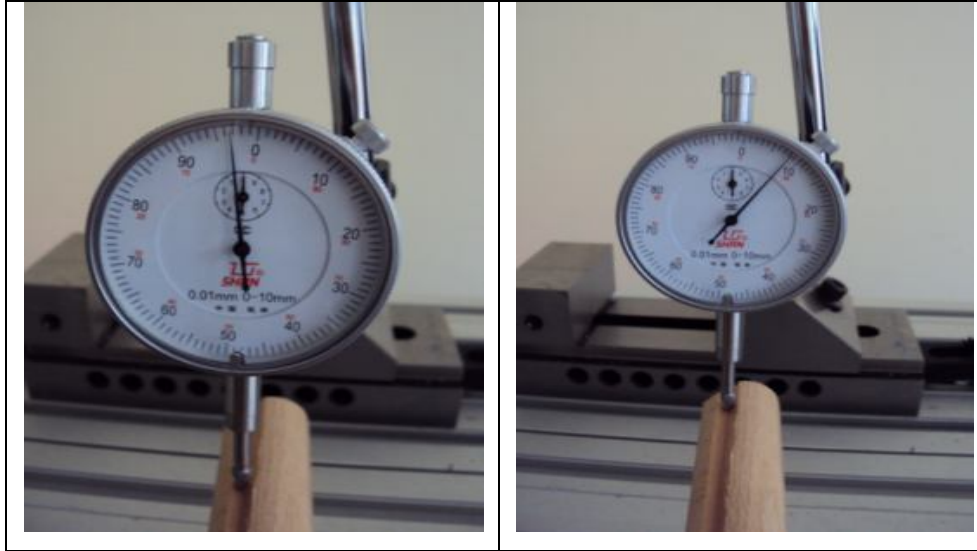
c) Komparatörle ölçüm alınması

Şekil 4.29. Komparatörle dördüncü eksendeki salgının ölçümü.

Dördüncü eksende işlenen parçanın doğrusallığını ölçmek için silindirik ahşap malzeme üzerinde doğrusal kanal açılmış ve açılan kanal 0,01 mm hassasiyetindeki komparatör ile ölçülmüştür (Şekil 4.30) . 0,01 mm hassasiyetindeki komparatörle yapılan ölçüme göre en fazla salgı komparatör saat yönü tersi 0,03 (b) + ve komparatör saat yönü 0,09 (c) olarak toplamda 0,12 mm bulunmuştur.



a) Komparatörle dördüncü eksendeki doğrusallığı ölçüm ayarlaması.



b) Komparatörle ölçüm alınması.

c) Komparatörle ölçüm alınması.

Şekil 4.30. Komparatörle dördüncü eksendeki işleme doğrusallığının ölçümü.

## BÖLÜM 5

### 5.1. DÖRDÜNCÜ EKSEN İLE İŞLEME ÇALIŞMALARI

Dördüncü eksen ile ahşap veya strafor xps malzemesine çeşitli işleme çalışmaları yapılmıştır. Parça modellemeleri Solidworks programında, CAM kodu ise Mastercam X5 programında çıkarılmıştır. Mastercam X5 programı, Cad ve Cam desteği sunan bir programdır [43]. İki programda ülkemiz sanayi ve teknik eğitim kurumlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dört eksenli CNC freze tezgahı ile ilk temel çalışmalarımızda, dördüncü dönel eksenini kullanarak ahşap üzerine figür ve rakam işleme yapılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Dördüncü eksen ile figür ve rakam işleme.

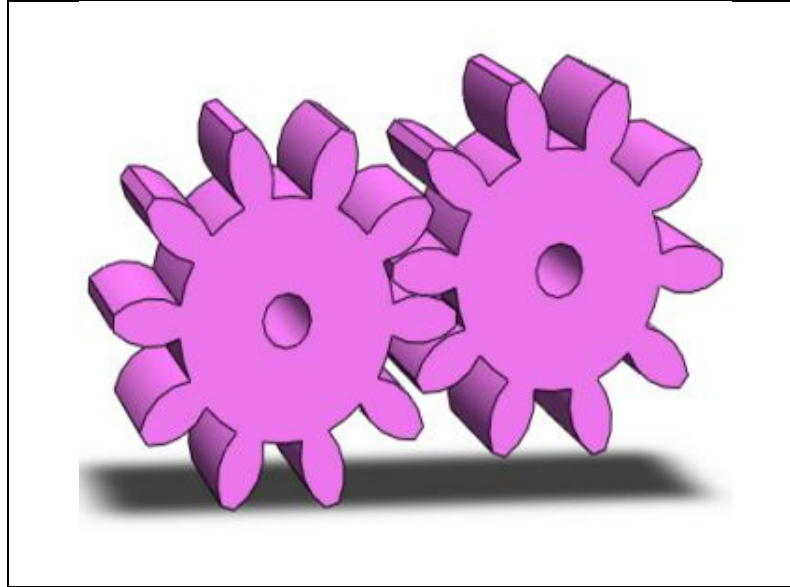
### 5.1.1. Tezgahla Düz Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü

Cam kodu çıkarmayı ilerlettikten sonra düz dişli işleme çalışması yapılmıştır. Modellemesi yapılan düz dişli bölüm ölçüleri çizelge 5.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Düz dişli bölüm ölçüleri.

Modül (m)	3mm
Diş sayısı (z)	10
Taksimat Dairesi Çapı (d)	30 mm
Diş Üstü Çapı (da)	36 mm
Diş Yüksekliği (h)	6,5 mm
Diş Dibi (df)	22,5 mm

Yapılan dişli hesaplamalarının ardından düz dişli çiftinin üç boyutlu modellemesi yapılmıştır (Şekil 5.2).

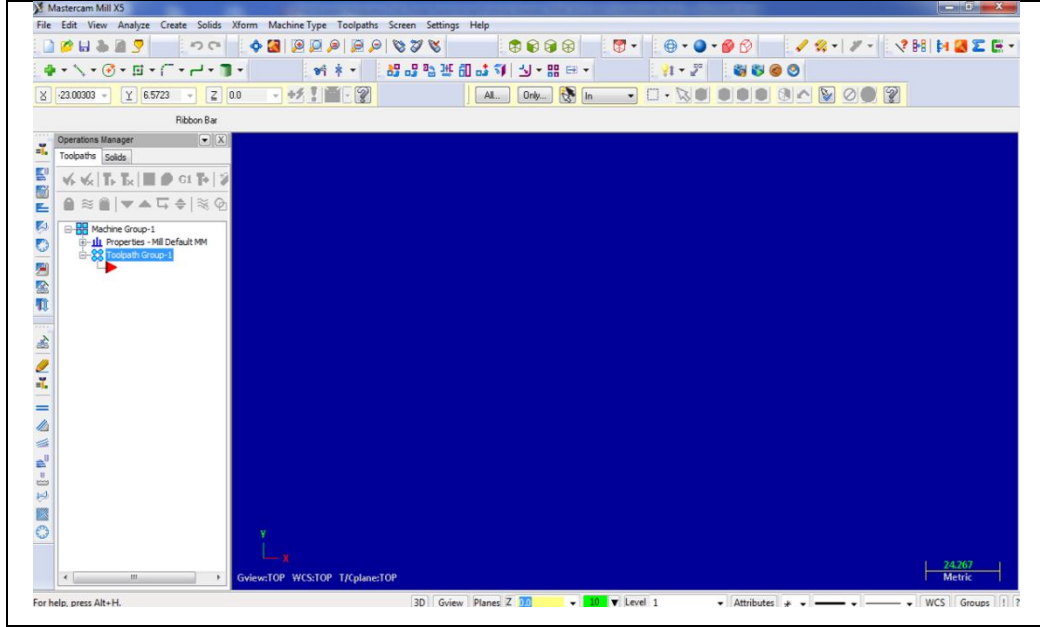


Şekil 5.2. Düz dişli çifti modellemesi.

Dişlilerin CAM kodları Mastercam programında yapılacaktır (5.3). Mastercam’da dişli CAM kodu çıkarmak için öncelikle CNC freze tezgâh tipi seçilir. Tezgâh

seçiminde eksen sayısına dikkat etmek gerekir. Bunun için Mastercam'da izlenecek yol;

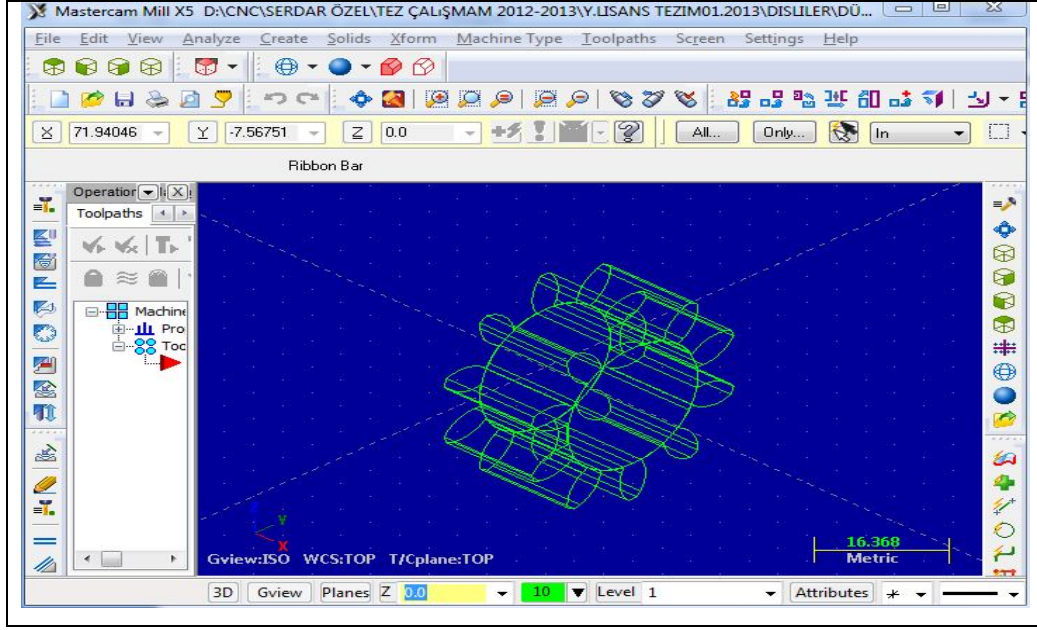
- “Machine Type\Mill\Manage List\MILL 4- AXIS VMC.MMD-5” seçilir.



Şekil 5.3. Mastercam X5 arayüzü.

Modellenen düz dişli Mastercam programı ortamına alınır. Bunun için;

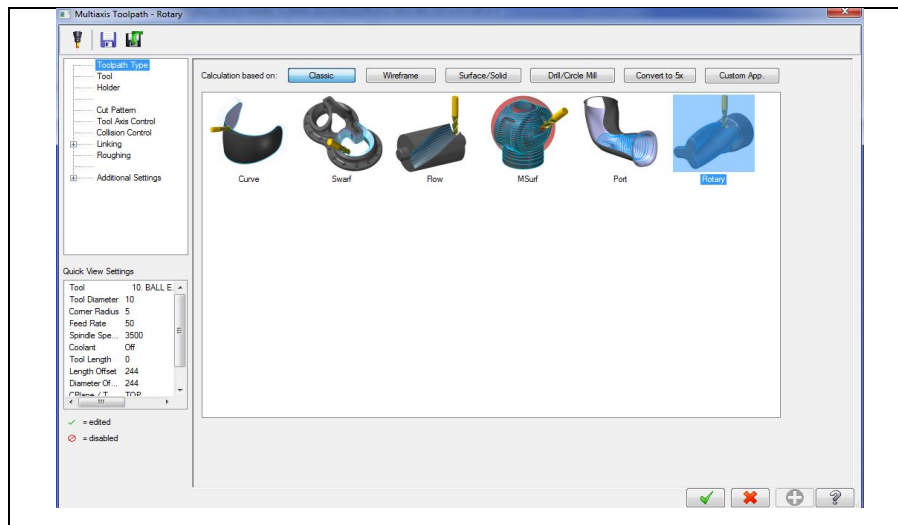
- File\Open\Dosya ismi.uzantı
- Ortama gelen dişlinin sıfır noktasını görmek için; klavyeden “alt” tuşu ve “G” tuşuna aynı anda basılır (Şekil 5.4).



Şekil 5.4. Parça sıfır noktası tayini.

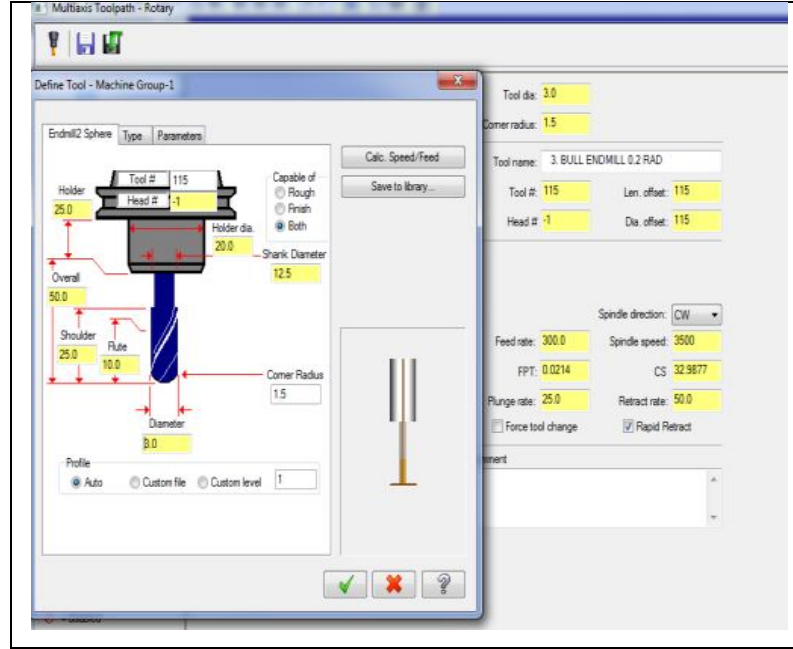
Artık modelimiz hazırdır. Bundan sonraki aşamada işleme tipi ve kesme parametrelerini belirleyeceğiz. Bunun için;

- Toolpats\Multiaxis\Rotary seçilir (Takım yolları\Çoklu eksen\Sarmal). Ekranı gelen arayüz görüntüsünün solunda kesme parametrelerinin bulunduğu menüler bulunmaktadır(Şekil 5.5).



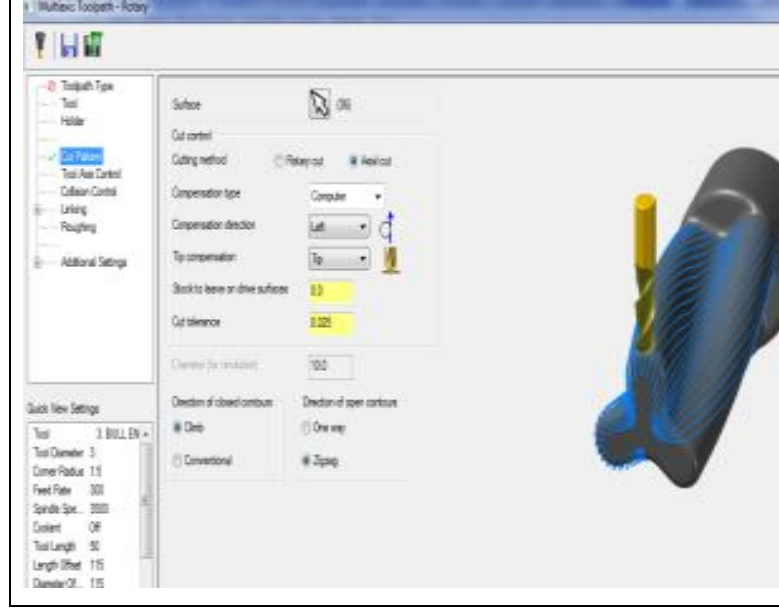
Şekil 5.5. İşleme tipi ve kesme parametrelerinin seçilmesi.

- Tool: Takım menüsüdür. Bu menü de kesme çakısı tipi ve boyutları ile spindle hızı, kesme hızı, spindle dönüş gibi parametrelerde bulunur (Şekil 5.6).



Şekil 5.6. Kesme çakısı ve işleme hızlarının ayarlanması.

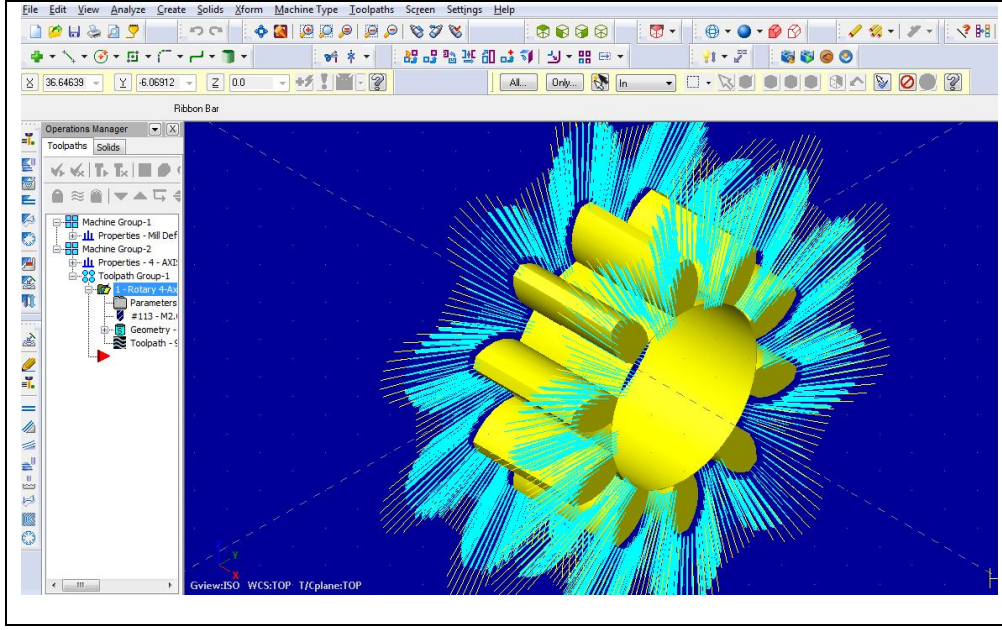
- Cut Pattern : Bu menüde;
- Surface : İşleme yapılacak yüzeyler seçilir.
- Cutting method : Kesme metodu belirlenir. Rotay cut'ta dönerek ilerler keser, axil cut'ta aksenal ilerleyerek keser. Seçimimizi axial cut yaptık. Diğer bölümlerde değiştirme yapılmadı (Şekil 5.7).



Şekil 5.7. Kesme metodunun belirlenmesi.

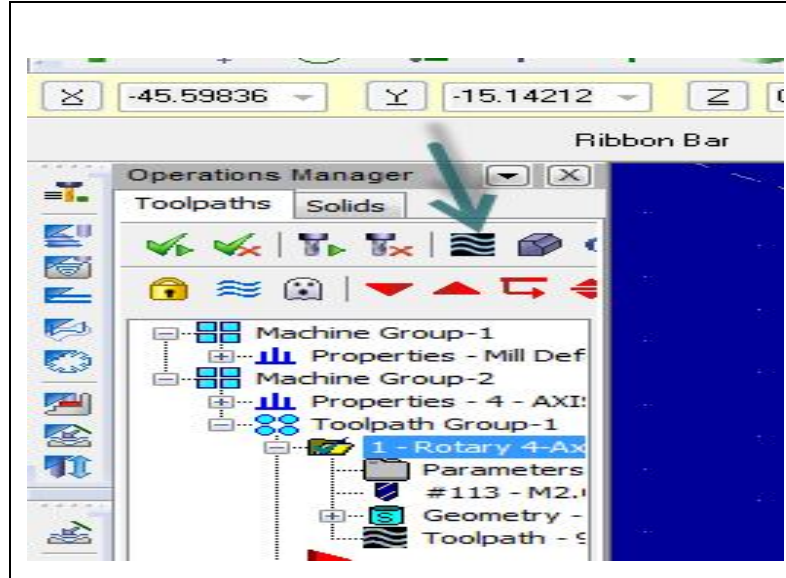
- Tool axis control : Bu menü de parçanın sıfır noktası ve talaş kaldırma miktarları belirlenir.
- 4 axis point : Parça sıfır noktası seçilir.
- Rotary axis : Dördüncü eksenimiz hangi eksene paralel dönüyorsa o eksen seçilir. Bizim tezgâhımızda dördüncü eksen dönme yönü X eksenidir.
- Maximum Angle increment : En yüksek açısal ilerlemedir. Bu değer küçük alınması parça işleme hassasiyetini artırır.
- Start Angle : Başlama açısıdır.
- Sweep Angle : Dönme açısıdır.
- Linking : Bu menüde kesme çakısının parçaya yaklaşma mesafeleri girilir. Bu aşamalardan sonra dişlinin seçilen yüzeylerinin Mastercam'da işleme görüntüsü gelir(Şekil 5.8).





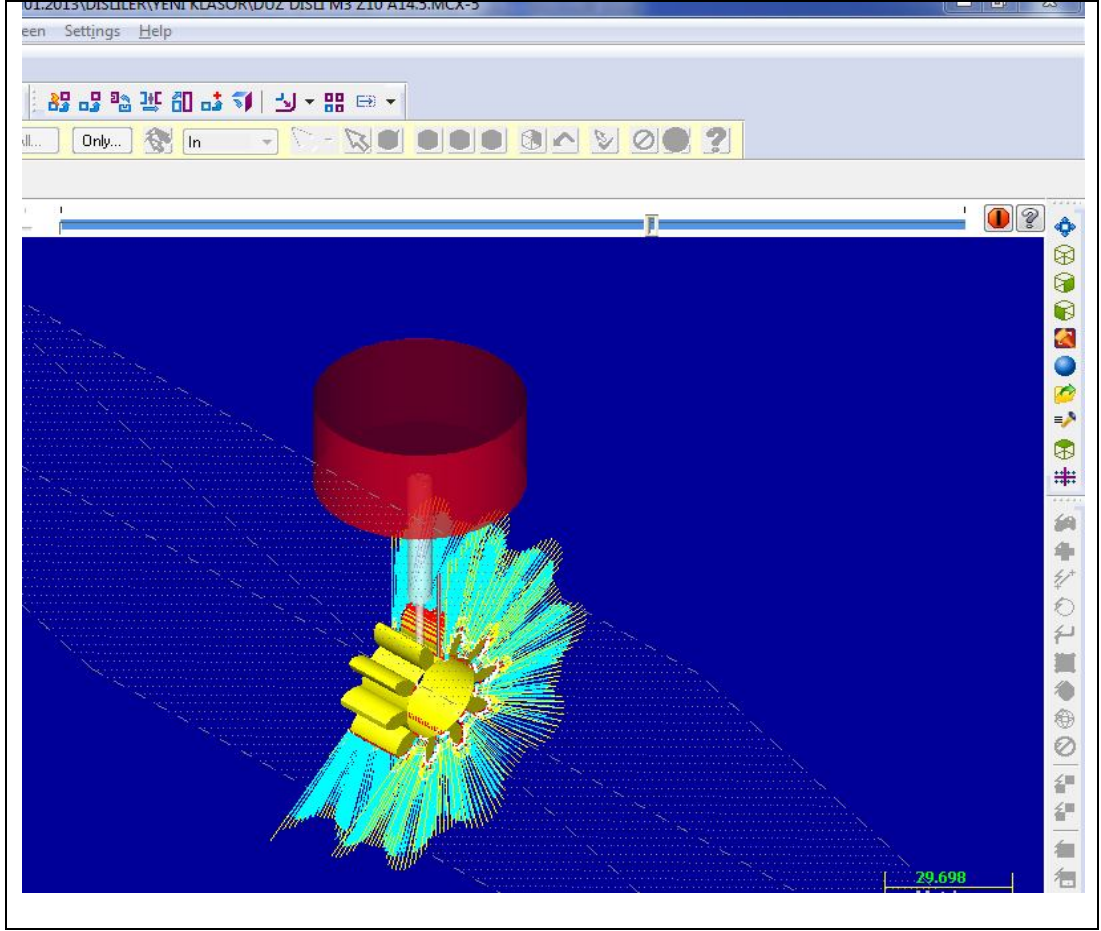
Şekil 5.8. Yüzey işleme görüntüsü.

- Parçanın kesici takımla işleme görüntüsünü görmek için sol köşede bulunan “operations manager”’dan “backplot selected operations” seçilir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. Backplot Selected ile işleme operasyon görüntüsü.

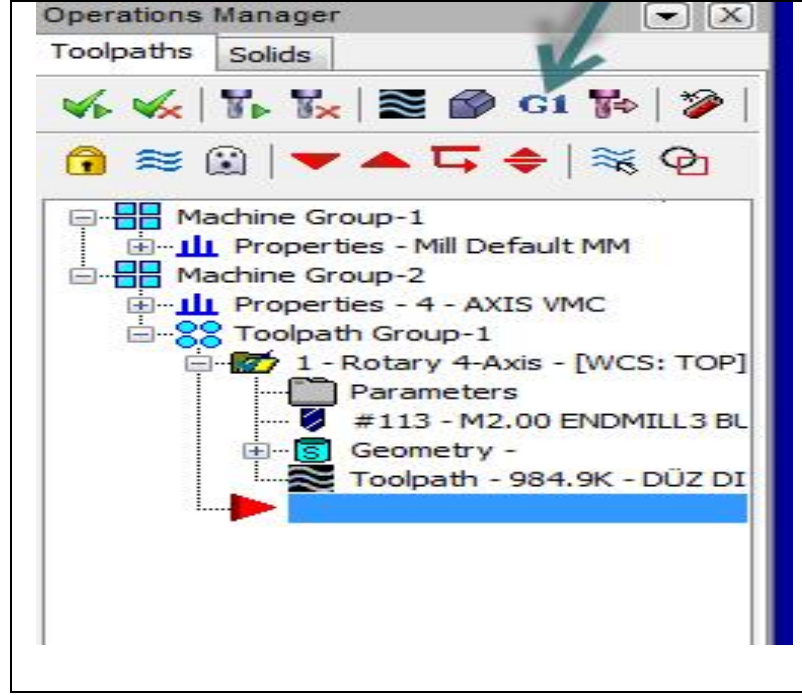
Backplot Selected’i tıklayarak kesme çakısının işleme görüntüsü, tahmini ne kadar sürede işleneceğini, kesme çakılı görüntü gibi birçok özellik görülebilir(Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Kesici takımın parçayı işleme görüntüsü.

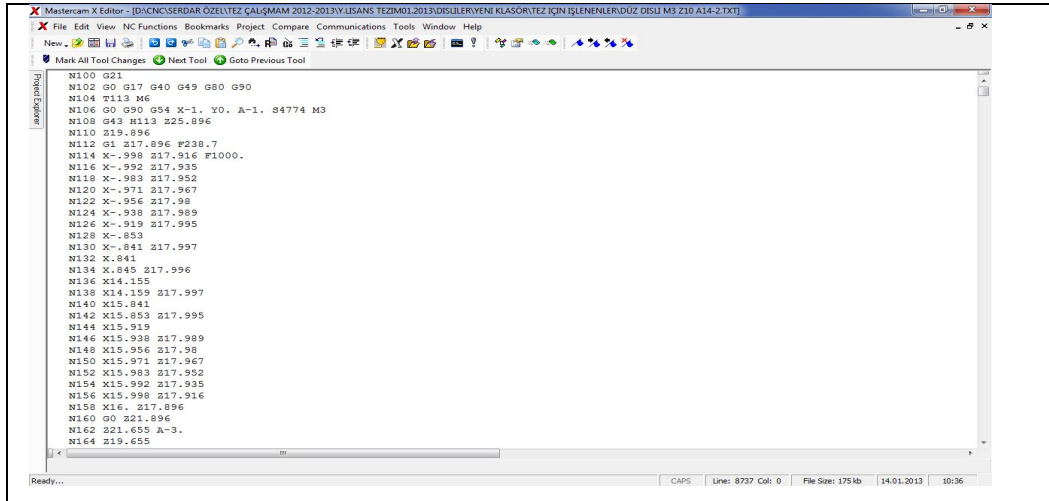
Artık CNC makinemize yükleyeceğimiz M ve G kodlarını çıkarmaya geldi. Bunun için ;

- “operations manager”dan “post selected operations” seçilir(Şekil 5.11)



Şekil 5.11. M ve G kodlarının çıkarılması.

Çıkarılan M ve G kodları CNC'ye yüklenir.



Şekil 5.12. Çıkarılan M ve G kodları.

CNC'ye parça bağlanarak tezgâh ayarları yapılır. Mach programına M-G kodları yüklenir ve parça sıfırı ayarlanır. Ardından tezgâh çalıştırılarak parça işlenir (Şekil 5.13).



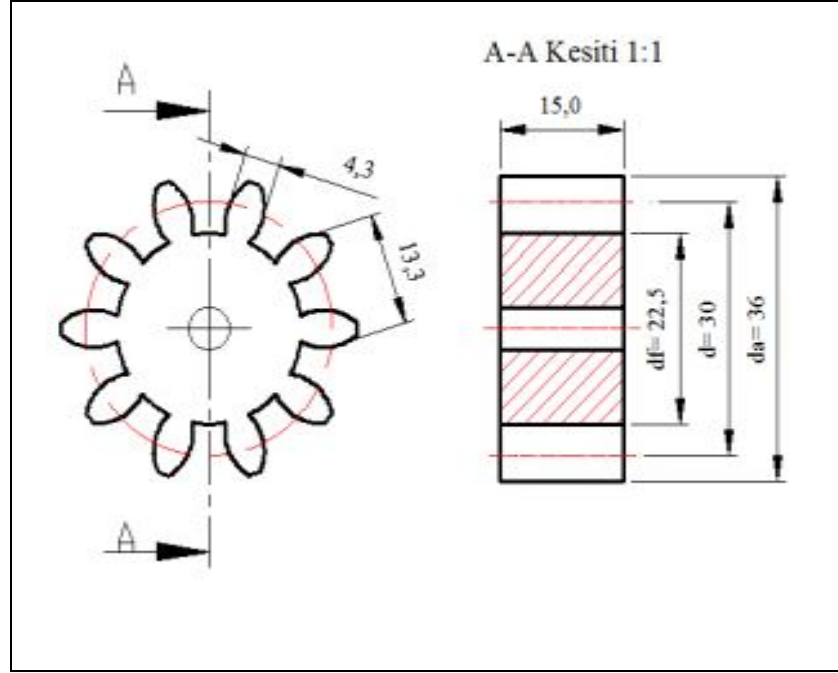
Şekil 5.13. Tezgâha parça bağlama ve işleme görüntüsü.

İşlenen düz dişlinin bitmiş hali görülmektedir (Şekil 5.14).



Şekil 5.14. Düz dişli işlenmiş görüntüsü.

Tasarlanan düz dişlinin teknik resmi çıkartılarak ölçülendirme yapılmıştır (Şekil 5.15). Tasarlanan dişli ölçüleri ile imal edilen dişli arasındaki ölçü farkı hesap edilerek aradaki sapma bulunacaktır.



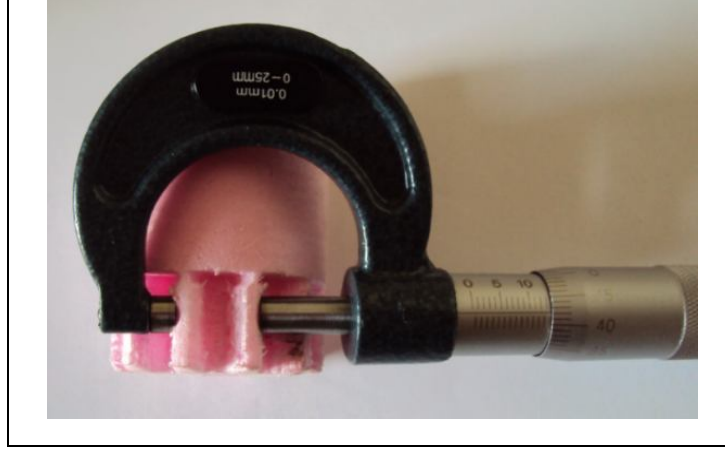
Şekil 5.15. Tasarlanan düz dişlinin ölçüleri.

İmalatı yapılmış olan düz dişlinin diş kalınlığı 4,3 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonraki ölçümde 4,39 mm olarak  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla ölçülmüştür (Şekil). Diş kalınlığı ölçümü sonucunda;  $4,3x X/100 = 0,08$  ise hata oranı  $X = \% 1,86$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.16. Kumpasla diş kalınlığının ölçülmesi.

İmalatı yapılmış olan düz dişlinin iki diş arası uzaklığı 13,3 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonra,  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde mikrometre ile 13,43 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.17). Helisel dişli iki diş arasında;  $13,3x X/100 = 0,9$  ise hata oranı  $X = \% 0,677$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.17. Mikrometre ile iki diş arası uzaklığın ölçülmesi.

### 5.1.2. Tezgahla Helisel Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü

Düz dişli işlemeyi tamamladıktan sonra helisel (sarmal) dişli çifti imalatı yapılacaktır. Yapılacak helisel dişlilerin ölçüleri çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

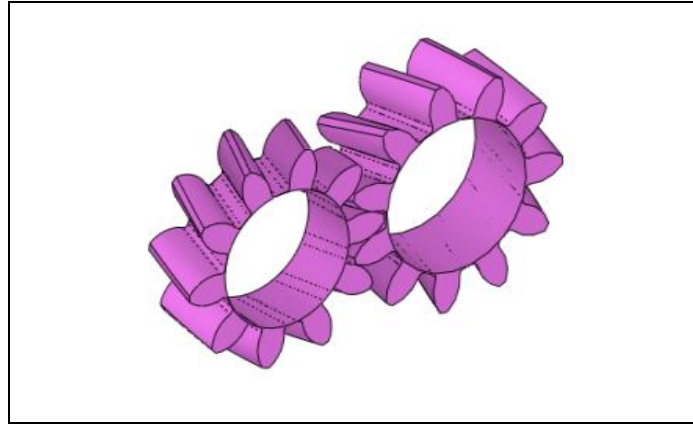
Çizelge 5.2. Helis dişli ölçüleri.

Helis dişli 1		Helis dişli 2	
Modül(mn)	:3mm.	Modül(mn)	:3mm.
Diş sayısı(z1)	:10	Diş sayısı(z2)	:11
Helis ayar açısı( $\beta$ )	:15°	Helis ayar açısı( $\beta$ )	:15°
Diş yönü	:sağ	Diş yönü	:sol

olarak modellenmiştir. Helisel dişli sayısını birbirine yakın almamızın sebebi straför XPS malzemesinin boyutlarının sınırlı olmasıdır. Helisel dişli çiftinde Z1 ve Z2 diş sayıları tek ve çift (10 diş ve 11 diş) olarak seçilerek dişli çiftinde aynı dişlilerin

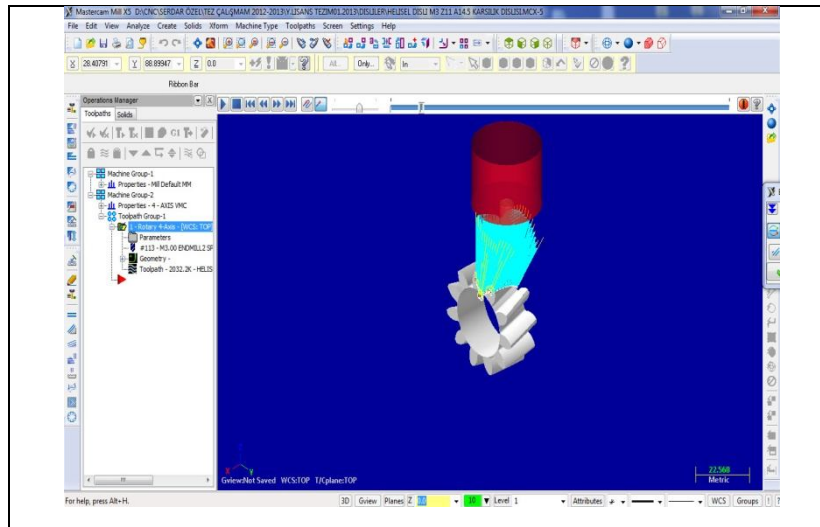
çalışma esnasında karşılaşma tekrarı azaltılır. Bu durum; dişli çiftinde dişlerin çalışma esnasında farklı dişlerle karşılaşmasını sağlayarak dişlilerin daha uzun süre dayanmasını sağlar.

Helisel dişlilerin bilgisayar ortamında modellemesi yapılarak montaj edildi (Şekil 5.18).



Şekil 5.18. Helisel dişli çifti modelleme görüntüsü.

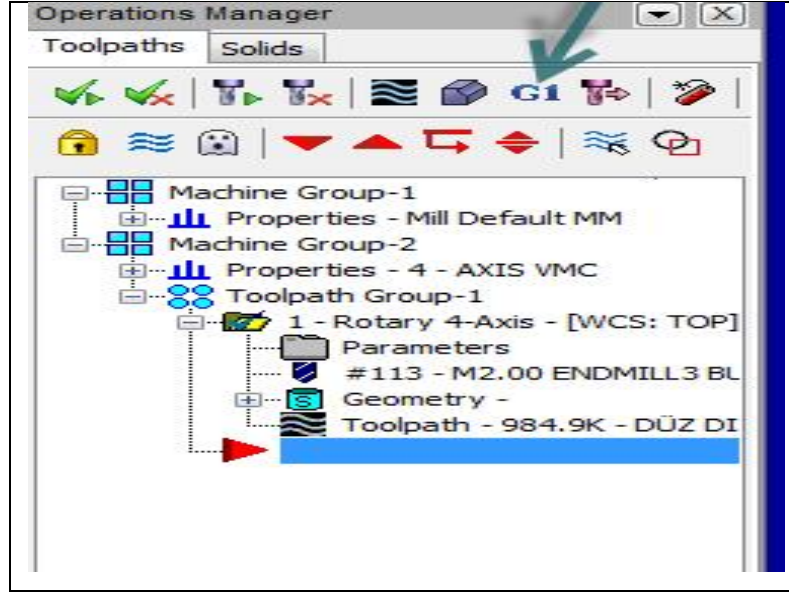
Modellenen helisel dişlilerin Mastercam X5 programında CAM kodları çıkarılmıştır. CAM kodları çıkarma işleminde düz dişli için anlatılan CAM kodu çıkarma işlemi tekrar edilmiştir (Şekil 5.19).



Şekil 5.19. Mastercam'da kesici takımın parçayı işleme görüntüsü.

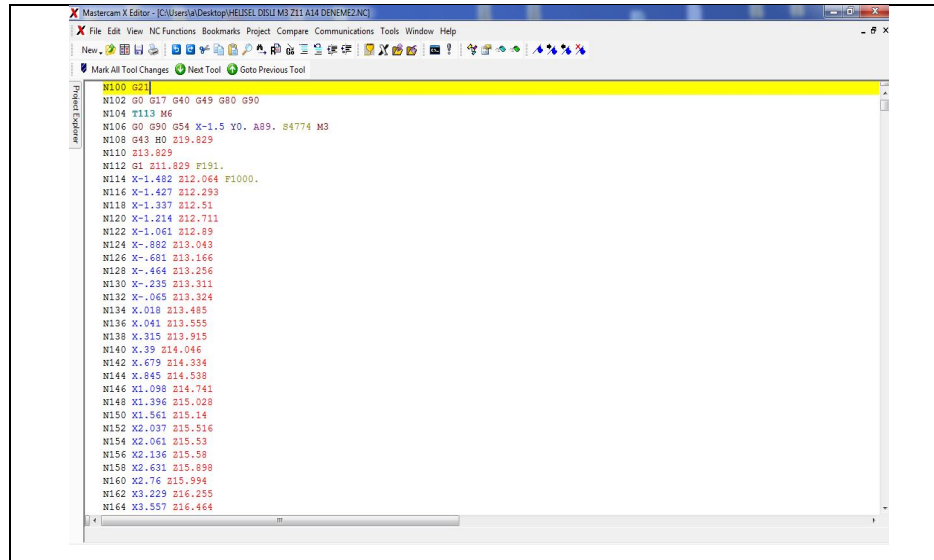
CNC makinemize yükleyeceğimiz M ve G kodlarını çıkarmaya geldi. Bunun için ;

- “operations manager”dan “post selected operations” seçilir (Şekil 5.20)



Şekil 5.20. Mastercam’da M-G kodlarının çıkarılması.

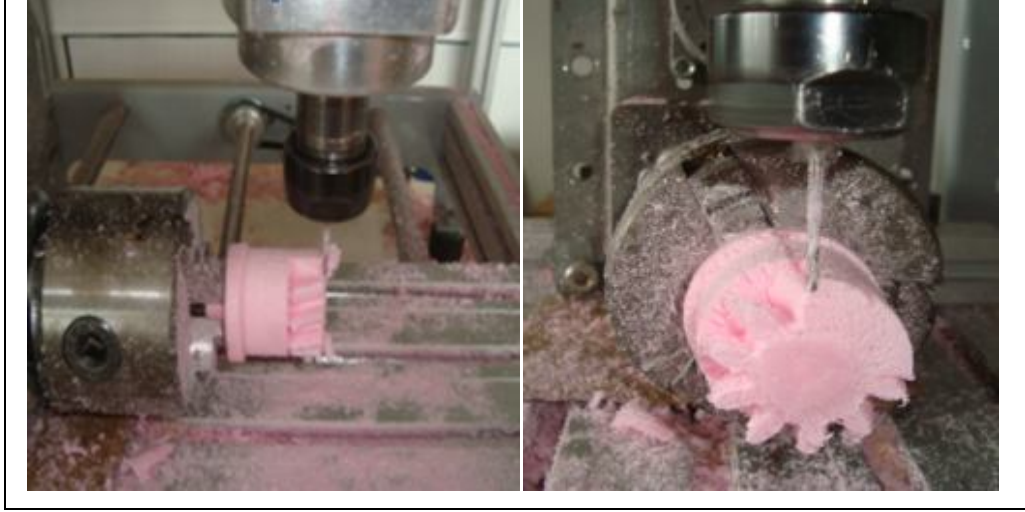
Mastercam programında çıkarılan M ve G kodlarının verileri kontrol edilir (Şekil 5.21).



Şekil 5.21. Helisel dişli M ve G kodlarının çıkarılmış görüntüsü.



Çıkarılan M ve G kodları kullanılan CNC arayüz programına (Mach 3) yüklenir. M-G kodlarını çıkararak tezgâh arayüz programına yüklenir. Tezgâhın ayar ve parça ayarını yaptıktan sonra birinci helisel dişlilerin işlenmesi yapılacaktır (Şekil 5.22).



Şekil 5.22. Helisel dişlinin tezgâhta işlenmesi.

Helisel dişlinin tamamlanmış görüntüleri görülmektedir(Şekil 5.23).



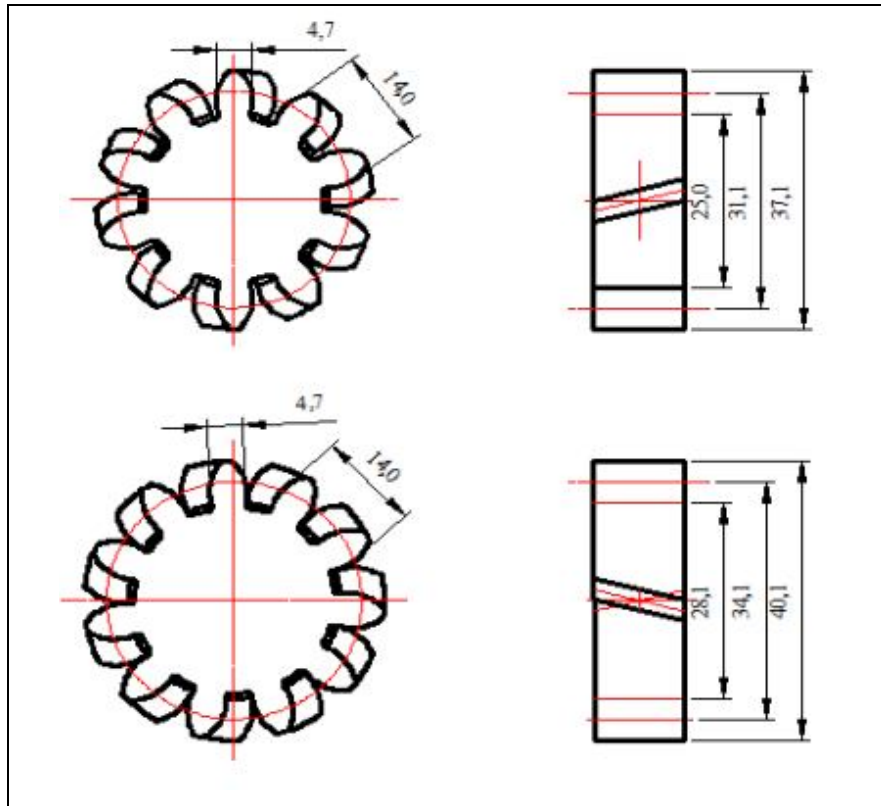
Şekil 5.23. Helisel dişlinin bitmiş görüntüsü.

Tezgâhta işlenen helisel dişli çifti (z1 ve z2) görülmektedir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Helisel dişli çiftinin bitmiş görüntüsü.

Tasarlanan helisel dişlinin teknik resmi çıkartılarak ölçülendirme yapılmıştır (Şekil 5.25). Tasarlanan helisel dişli ölçüleri ile imal edilen dişli arasındaki ölçü farkı hesap edilerek aradaki sapma bulunacaktır.



Şekil 5.25. Tasarlanan helisel dişlilerin ölçüleri

İmalatı yapılmış olan helisel dişlinin diş kalınlığı 4,7 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonraki ölçümde 4,78 mm olarak  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla ölçülmüştür (Şekil 5.26). Diş kalınlığı ölçümü sonucunda;  $4,3x X/100 = 0,07$  ise hata oranı  $X = \% 1,627$  olarak hesaplanmıştır.



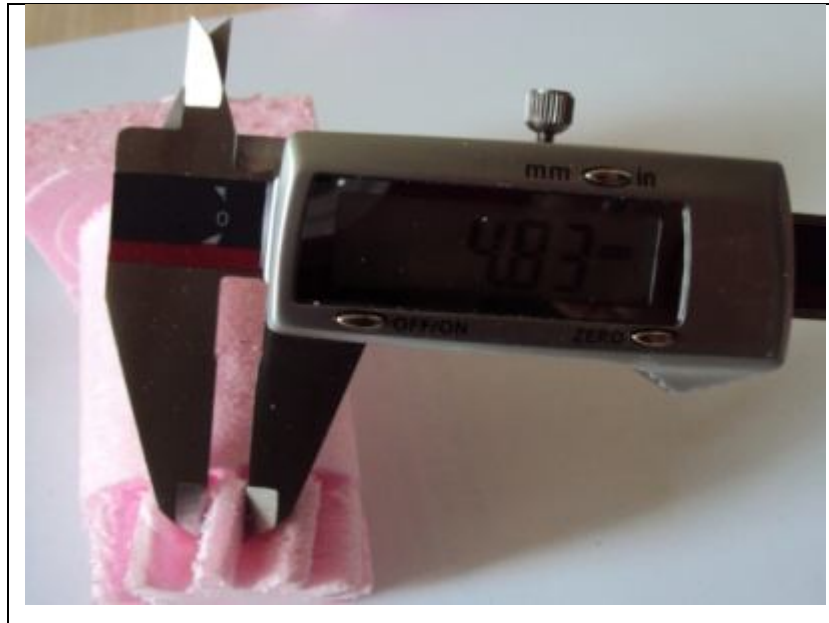
Şekil 5.26. Helisel diş kalınlığının kumpasla ölçümü.

İmalatı yapılmış olan helisel dişlinin iki diş arası uzaklığı 14 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonra,  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde mikrometre ile 13,68 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.27). Helisel dişli iki diş arasında;  $14x X/100 = 0,31$  ise hata oranı  $X = \% 2,21$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.27. Helisel iki diş arasındaki uzaklığın mikrometre ile ölçümü.

İmalatı yapılmış olan ikinci helisel dişlinin diş kalınlığı 4,7 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonraki ölçümde 4,83 mm olarak  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla ölçülmüştür (Şekil 5.28). Diş kalınlığı ölçümü sonucunda;  $4,7x X/100 = 0,12$  ise hata oranı  $X = \% 2,553$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.28. Helisel diş kalınlığının kumpasla ölçümü.

İmalatı yapılmış olan ikinci helisel dişlinin iki diş arası uzaklığı 14 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonra,  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde mikrometre ile 13,81 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.29). Helisel dişli iki diş arasında;  $14x X/100 = 0,18$  ise hata oranı  $X = \% 1,285$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.29. Helisel iki diş arasındaki uzaklığın mikrometre ile ölçümü.

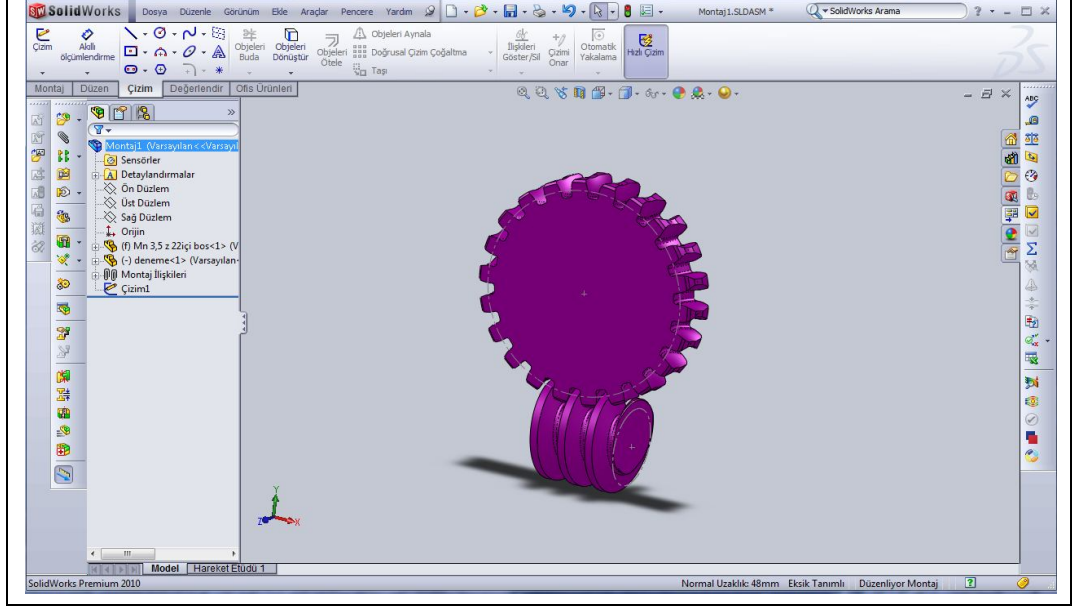
### 5.1.3. Sonsuz Vida Karşılık Dişli Uygulaması ve İşleme Hassasiyetinin Ölçümü

Tasarlanan tezgah ile sonsuz vida karşılık dişli çalışması için belirlenen ölçüler çizelge 5.3'te görülmektedir.

Çizelge 5.3. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi ölçüleri.

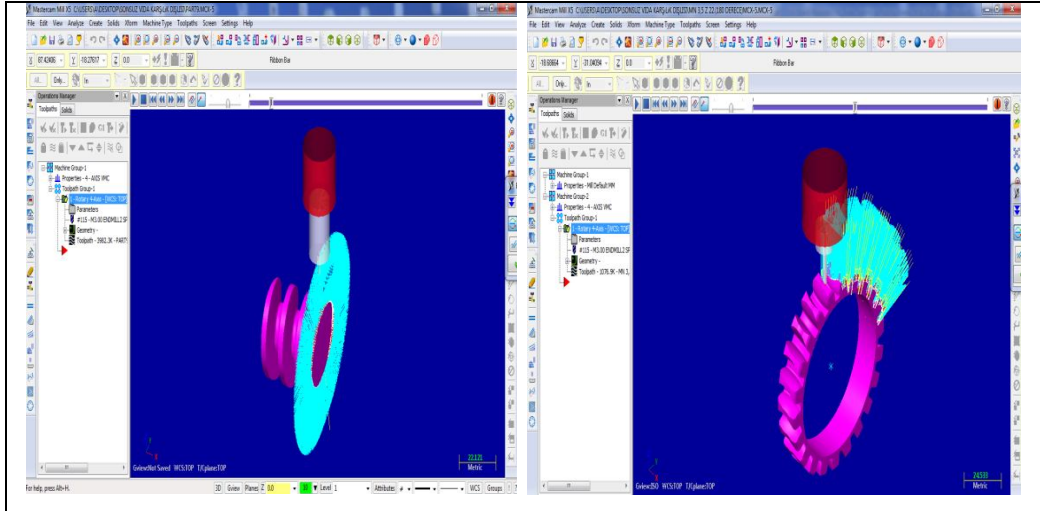
Sonsuz Vida		Karşılık Dişlisi	
Normal modül (mn)	:3mm	Normal modül (mn)	:3mm
Diş sayısı (z1)	:2	Diş sayısı (z1)	:22
Helis açısı ( $\alpha$ )	:4,9°	Pah açısı ( $\beta$ )	:20°
Normal adım (pn)	:11 mm	Normal adım (pn)	:11 mm
Vida bölüm d. çapı (d1)	:29mm	Bölüm dairesi çapı (d2)	:77mm
Diş üstü çapı (da1)	:36 mm	Diş üstü çapı (da2)	:84 mm

Yapılan hesaplamalara göre sonsuz vida ve karşılık dişlisi Solidworks programında [44] modellenmiştir (Şekil 5.30).



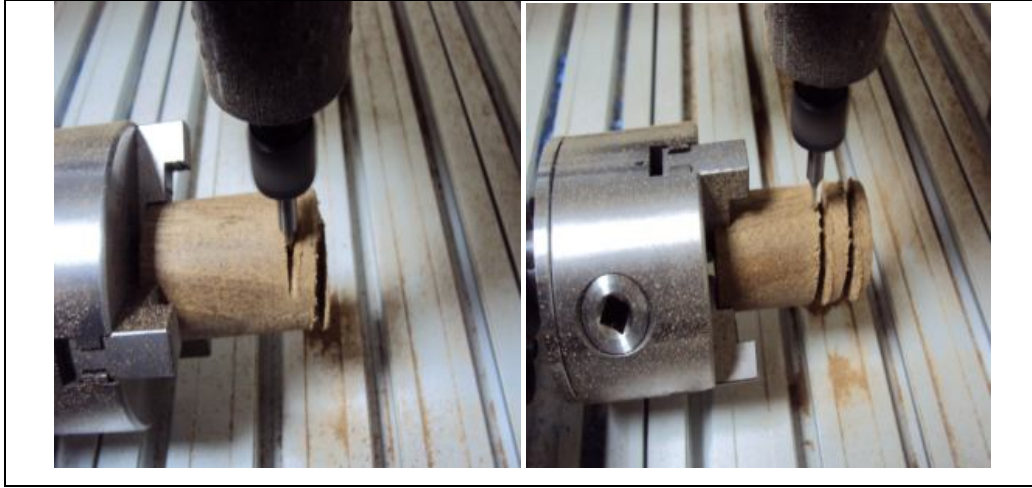
Şekil 5.30. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi modellemesi.

Modellenen sonsuz vida karşılık dişlisinin Mastercam programında kesme parametreleri belirlenmiş ve operasyonel çalışması görülmüştür (Şekil).



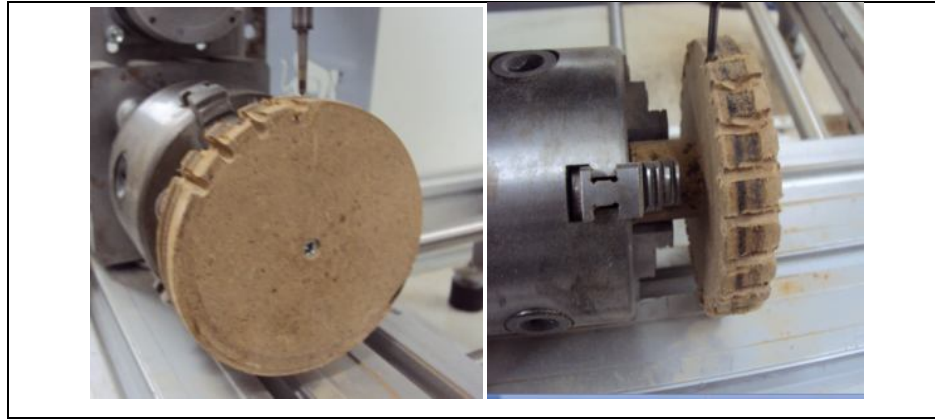
Şekil 5.31. Mastercam programında sonsuz vida ve karşılık dişlisinin operasyon görüntüsü.

Operasyonel görüntüler kontrol edilerek işleme işleminin doğruluğuna emin olunduktan sonra CAM kodları çıkarma işlemine başlanmıştır. CNC freze tezgahımızın dördüncü eksenine silindirik ahşap parça bağlanmış ve öncelikli olarak sonsuz vidanın çıkarılan CAM kodları CNC arayüz programı Mach 3'e yüklenmiştir. CNC tezgah ayarları ve parça sıfırı alındıktan sonra tezgah çalıştırılarak sonsuz vida işleme yapılmıştır (Şekil 5.32).



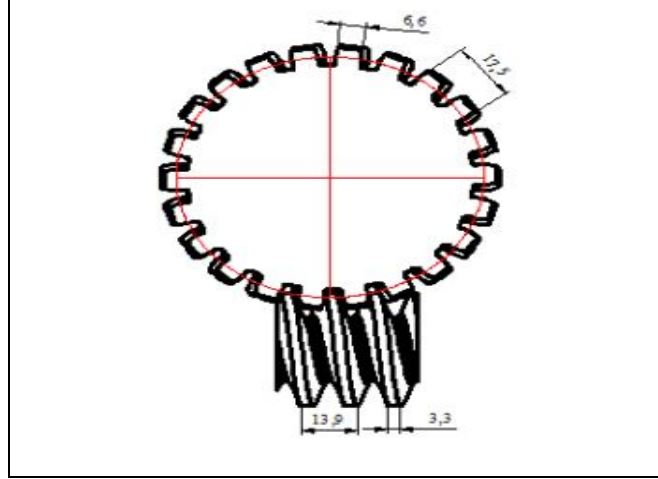
Şekil 5.32. Geliştirilen dört eksen CNC freze tezgahında sonsuz vida işleme uygulaması.

Sonsuz vida işleme tamamlandıktan sonra üretilen tezgahta karşılık dişlisini işlemek için gerekli ayarlar yapılmış ve karşılık dişlisinin M-G kodları Mach 3 programına yüklenerek işleme işlemi başlatılmıştır (Şekil 5.33).



Şekil 5.33. Dört eksen CNC freze tezgahında karşılık dişlisi işleme uygulaması.

Tasarlanan sonsuz vida karşılık dişlisinin teknik resmi çıkartılarak diş kalınlıkları ve iki diş arasındaki uzaklığı gösteren ölçülendirme yapılmıştır (Şekil 5.34). Tasarlanan sonsuz vida ve karşılık dişlisi ölçüleri ile imal edilen dişli arasındaki ölçü farkı hesap edilerek aradaki sapma bulunacaktır.



Şekil 5.34. Sonsuz vida ve karşılık dişlisi diş ölçüleri.

İmalatı yapılmış olan sonsuz vida dişlinin diş kalınlığı 3,3 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonraki ölçümde 3,44 mm olarak  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla ölçülmüştür (Şekil 5.35). Diş kalınlığı ölçümü sonucunda;  $4,3x X/100 = 0,13$  ise hata oranı  $X = \% 3,024$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.35. Kumpasla sonsuz vida diş kalınlığı ölçümü.



İmalatı yapılmış olan sonsuz vidanın iki diş arası uzaklığı 13,9 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonra,  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla 14,27 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.36). Helisel dişli iki diş arasında;  $13,9x X/100 = 0,36$  ise hata oranı  $X = \% 2,589$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.36. Kumpasla sonsuz vida iki diş arası uzaklık ölçümü.

İmalatı yapılmış olan karşılık dişlisinin diş kalınlığı 6,6 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonraki ölçümde 6,84 mm olarak  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasla ölçülmüştür (Şekil 5.37). Diş kalınlığı ölçümü sonucunda;  $6,6x X/100 = 0,23$  ise hata oranı  $X = \% 3,48$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.37. Kumpasla karşılık dişlisi diş kalınlığı ölçümü.

İmalatı yapılmış olan sonsuz vidanın iki diş arası uzaklığı 17,50 mm olarak çizilmiştir. İmalattan sonra,  $\pm 0,01$  mm hassasiyetinde kumpasa 17,87 mm olarak ölçülmüştür (Şekil 5.38). Helisel dişli iki diş arasında;  $17,50 \times X/100 = 0,36$  ise hata oranı  $X = \% 2,057$  olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.38. Kumpasla karşılık dişlisi iki diş arası uzaklığın ölçümü.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile; mesleki eğitime ve sanayi kullanımına yönelik dört eksen masaüstü CNC freze tezgâhı tasarlanmış ve prototip imalatı yapılmıştır. Tezgahın teknik özellikleri Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.1. Prototip imalatı yapılan dört eksen CNC freze tezgahının teknik özellikleri.

<b>Teknik Özellikler</b>	<b>Prototipi İmal Edilen CNC</b>
<b>Makine Ölçüleri</b>	670x910x660 mm
<b>Çalışma Alanı (X, Y, Z - A)</b>	300x350x130 mm- Ø80x300 mm
<b>Eksen Hassasiyeti (X,Y,Z)</b>	0,003125 mm
<b>Dördüncü Eksen Hassasiyeti</b>	0,1125 °
<b>Boşta ilerleme hızı</b>	8m/dk.
<b>Max. Kesme Hızı</b>	6m/dk.
<b>Ağırlık</b>	90 kg.
<b>Spindle Motor</b>	1,4 KW 50- 18000 dev/ dk (inventer kontrollü)
<b>İşlevleri</b>	2 ve 3 boyutlu işleme, yüzey işleme, kesme, delme frezeleme, dördüncü eksen ile silindirik ve ekzantrik parça işleyebilme.
<b>Kontrol Ünitesi</b>	Mach 3
<b>Çalıştığı Dosyalar</b>	NC kod (ISO), dxf, Wmf, Hpgl, Plt, Cmx ,jpeg, Bitmap...
<b>İşlediği Malzemeler</b>	Ahşap, Alüminyum, Bakır, Sert plastikler (polyamid, kstamid, delrin vb.) pleksiglas, kompozit malzeme.
<b>Soğutma Sıvısı</b>	Yok.

## 6.1. SONUÇLAR

- Prototipi imal edilen dört eksen masaüstü cnc freze ile üç eksen cnc freze tezgahında imal edilemeyecek düz dişli, helisel dişli, sonsuz vida ve karşılık dişlisi işlenebilmiş ve işlenen parçalardan kumpas ve mikrometre ile ölçümler alınarak hassasiyetleri hesaplanmıştır.
- Bu çalışma ile mesleki eğitim veren kurumlar ve sanayiye yönelik dört eksenli bir CNC freze tezgâhı tasarlanmış ve imal edilmiştir. Geliştirilen tezgâhın iş mili (spindle) devir hızı frekans değiştirici (inverter) ile kontrol edilmektedir ve her step motor için ayrı sürücü vardır. Kullanılan step motor sürücüleri step motor adımını 1/256'a kadar bölebilmektedir.
- Sistem teorik hassasiyeti 0,003125 mm. x eksenini standart sapması 0,0176mm. ve Y eksenini standart sapması 0,0279 mm bulunmuştur. X ve Y ekseninin kızaklamasında doğrusal ray ve araba kullanılmıştır, Z ekseninde ise doğrusal rulman kullanıldığından işleme sırasında yüksek hız ve zorlanma karşısında düşük miktarda titreşim olduğu görülmüştür.
- Tezgah ile X ve Y eksen standart sapmasını bulmak için MDF malzemeye kanal açılmış ve ölçüler alınarak standart sapmaları hesaplanmıştır. X ve Y eksenini arasındaki diklik açısı açılı gönye ile, Z eksenini diklik ölçümü, dördüncü eksen dönel salgı ve dördüncü eksene bağlanıp işlenen parçanın doğrusallığının ölçümü komparatörle yapılmış ve hata oranı hesaplaması yapılmıştır.
- Düz, helisel dişli ve sonsuz vida- karşılık dişlisi işlenebilmiştir ancak, geleneksel işleme yöntemlerine göre işleme süresi uzun olmuştur. Masaüstü CNC freze tezgahı ile seri üretim dişli imalatı değil de adet sayısı az prototip yapıda dişli imalatı gerçekleştirilmesi daha uygun görülmektedir.

- Prototipi yapılan tezgahta, ekonomik ve kullanışlı olacak şekilde dördüncü eksen (divizör) tasarlanmış ve imal edilmiştir. Böylelikle; üç eksenli bir tezgâh, ekonomik olarak dört eksenli bir tezgâh haline getirilebileceği görülmüştür. Dördüncü eksen (divizör) maliyeti çıkarılmıştır.
- Tezgah civata ile birleştirilme olduğundan sert malzeme işlemede düşük oranda titreşim görülmüştür. Bu nedenle; tezgah ile işlemede strafor köpük ve ahşap seçilmiştir.
- CNC tezgahlarında yapılabilecek ilk tezgah eğitimlerinde, öğrenen, kendi tasarladığı parçayı üretip eline aldığı parçadan üretimle ilgili geri bildirim almış olabilecektir. Böylelikle, operasyonel uygulamaları daha çabuk kavrayabilecektir. Ayrıca, bu tezgahların ekonomik yapıda olması, bozulsa dahi küçük atölye imkanlarında kolay ve ekonomik bir şekilde tamir edilmesi kullanıcının ilk CNC tezgah eğitimi sırasında daha rahat bir şekilde çalışmasını sağlayabilecektir.

## 6.2. ÖNERİLER

- Masaüstü CNC freze tezgâh gövdesinin alüminyum dökümden yapılmasıyla sağlamlık, üretim zamanından tasarruf, standart ürün elde etme ve sert parçaları daha hassas işleme gibi avantajlar sağlanabilir.
- Tezgah ile sert malzemeli parçaları (alüminyum, bakır vb.) rahat ve yüzey kalitesi iyi bir şekilde işleyebilmek için soğutma sıvısı ve/veya işirto-hava sistemi eklenebilir.
- Prototip imalatı yapılan CNC freze tezgâhı çok eksen (3 eksen den fazla eksenli olan, multiaxis) özelliğindedir. Eğitim kurumlarında çok eksenli CNC çalıştırma ve parça işleme eğitimlerinin artırılması ile bu alanda yetişmiş iş gücünde artış sağlanabilir. Sanayide, özellikle ileri teknoloji üretimi yapan savunma, medikal, enerji alanlarında çok eksenli tezgahlar için CAM kodu çıkarabilen ve parça işleyebilen çalışana ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışma ile geliştirilen CNC Freze tezgahı, çok eksen bir tezgahın çalışma mantığını ve çıkarılan kodların parça işleme esnasında durumlarını anlayabilmek için temel ve ekonomik bir çözüm olarak görülebilir.
- Eğitim alanında yapılan çalışmalar, uygulama yapılan çalışmaların öğrenmede diğer öğrenme yöntemlerine (okuyarak, duyarak, görerek vb.) oranla daha yüksek düzeyde öğrenme sağladığını göstermiştir. Her bir ya da iki öğrenciye çok eksenli bir masaüstü CNC freze tezgâhı olacak şekilde bir uygulama laboratuvarı oluşturulursa öğrenciler CNC tezgâhında daha fazla uygulama fırsatını bulacaklar ve böylelikle çok eksenli CNC tezgâhın çalışma mantığı ve cam kodu çıkarmayı öğrenebileceklerdir.

## KAYNAKLAR

1. Özdeveci, M., “Eğitim tipi CNC frezesinin tasarımı ve imalatı” Y. Lisans Tezi, *Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2 – 4 (2001).
2. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Bilimi Ve Teknolojisi- CNC Takım Tezgahları ve Üretim Otomasyonu”, *Birsen Yayınevi*, Ankara, 1 – 3 (2012).
3. Gülesin, M., Güllü, A., Avcı, Ö. ve Akdoğan, G., “CNC Torna ve Freze Tezgâhlarının Programlanması”, *Asil Yayın Dağıtım*, Ankara, 10 – 45 (2007).
4. Erer, H., “CNC takım tezgâhlarının gelişimi”, *TMMOB Makina Mühendisleri Odası Mühendis ve Makina Dergisi*, 486: 37 – 40, Temmuz (2000).
5. Göloğlu, C. ve Bunarbaşı, İ., “Üç eksenli doğrusal hareket mekanizması tasarımı ve imalatı”, *Z.K.Ü. Teknoloji Dergisi*, 7 (3) : 507-515, (2004).
6. Büyükşahin, U., “Üç eksenli CNC freze tasarımı ve uygulaması”, Y. Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2 – 130 (2005).
7. Kutlu, M., “Üç eksenli masa tipi CNC freze tezgâhı tasarım ve imalatı”, Y. Lisans Tezi, *Afyonkarahisar Kocatepe Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon, 36 – 61 (2006).
8. Uyanık, A. S., “Üç eksenli terco yüzey işleme tezgâhının bilgisayar ile kontrolü” , Y. Lisans Tezi, *Marmara Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 32 – 99 (2006).
9. Yılmaz, M., “Step motor ile iki eksen robot kol tasarımı”, Y. Lisans Tezi, *Yüzüncü yıl Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Van, 6 – 65 (2006).
10. Saygılı, Ç., “Scara tipi bir robotun tasarımı ve animasyonu”, Y. Lisans Tezi, *Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 37 – 51 (2006).
11. Alan, S., “CNC Eğitim seti tasarımı”, Y. Lisans Tezi, *Selçuk Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 49 – 70 (2006).
12. Özyalçın, İ., “Kartezyen robot tasarımı”, Y. Lisans Tezi, *Mustafa Kemal Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Antakya, 4 – 65 (2006).

13. Köbeloğlu, A., “Eğitim amaçlı iki eksenli masaüstü CNC torna tasarımı ve prototipi”, Y. Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 14 – 23 (2011).
14. Babaoğlu, G., “Çok eksenli hareket kontrol uygulamalarında sürücü boyutlandırma”, Y. Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4 – 71 (2007).
15. Bayboğan, M., “Bir masaüstü torna tezgâhının sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak tasarlanması”, Y. Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 4 – 41 (2006).
16. Aydemir, A. O., “Torna ve freze tezgâhında bilgisayar destekli takım seçiçi”, Y. Lisans Tezi, *Gazi Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 52 – 74 (2006).
17. Tseng A., Kolluri S.P., and Radhakrishnan P., “A CNC machining system foreducation”, *Journal of Manufacturing Systems*, 8 (3): 207-214 (1989).
18. Kwon Y., Tseng T., and Ertekin Y., “Characterization of closed loopmeasurement accuracy in precision cnc milling”, *Robotic and Computer-Integrated Manufacturing*, 22: 288-296 (2006).
19. Suh, S. H., Jih, W. S., and Hong, D. H., “Sculptured surface machining of spiral bever gears with CNC milling”, *Machine Tool Manufacture*, 41: 833-850, (2001).
20. Zaitsev, V. V., “Calculation of the geometrical parameters of the gear cutting heads”, *Sovier Engineering Research*, 7 (7): 70,71, (1987).
21. Çoğun, C. ve Özses, B., “Bilgisayar sayısal denetimli takım tezgahlarında değişik işleme koşullarının yüzey pürüzlülüğüne etkisi” *Gazi Üniversitesi Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 17 (1): 59-75 (2002).
22. Fetvacı, M. C. and İmrak, C. E., “Mathematical modeling and cutting simulation of involute spur gears with asymmetric teeth”, *Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 25 (4): 329-337 (2008).
23. İnternet: Dincel, M., “CNC Takım Tezgahları”, <http://www.turkcadcaml.net/rapor/cnc-md/index.html>, (2009).
24. Pehlivanoğlu V. ve Batı M., “CNC takım tezgahları ve DNC”, *TurkCADCAM.net Dergisi*, 1: 45-51 (2006).
25. İnternet: Shanghai Tirui International Trade Co., Ltd., “Desktop CNC Router Micro Engraver Engraving Mini Milling Machine” (TR2518), <http://signtide.en.made-in-china.com/product/RMznOKrvlbWd/China-Desktop-CNC-Router-Micro-Engraver-Engraving-Mini-Milling-Machine-TR2518-.html>, (2013).



26. İnternet: Mercant Dice Ltd., “3 and 4 Axis Milling Machine” <http://www.marchantdice.com/>, (2013).
27. İnternet: Microkinetics Corp., “4 Axis CNC Machining Center”, <http://www.microkinetics.com/4axis.htm>, (2013).
28. İnternet: Us Mekatronik, “Masaüstü CNC Freze Tezgahları” [http://www.usmekatronik.com/3-eksen-partal-tip-masaustu CNC-sistem-3.html](http://www.usmekatronik.com/3-eksen-partal-tip-masaustu-CNC-sistem-3.html), (2013).
29. İnternet: Aliexpress, “Desktop CNC Machining”, <http://www.aliexpress.com/item/mini-CNC-3040CH80-4-axis-Engraving-milling-and-drilling-machine-with-800W-water-cooling-spindle-motor/598487931.html>, (2013).
30. İnternet: Minitex Machinery Corporatin, “Step1 Mill Frame” [www.minitex.com](http://www.minitex.com), (2013).
31. Özkan, S., “Mesleki tasarım uygulamaları, konuların web tabanlı eğitimi” Lisans tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Makine Eğitimi A.B.D.*, Karabük, 22 (2007)
32. Fetvacı, C., “Sınıflandırma ve imal metotları”, Ders notları, *İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü*, İstanbul, (2011).
33. İnternet: Kutay, M. K., “Silindirik Alın Dişlilerin Hesabı”, [www.guvenkutay.ch](http://www.guvenkutay.ch), (2013).
34. Şen, İ. Z. ve Özçilingir, N., “Makine resmi temel bilgiler”, *Deha Yayıncılık*, İstanbul, 216 (2005).
35. İnternet: MEB Megep Makine Teknolojisi, “2006 Sonsuz Vida ve Karşılık Dişlisi Açma”, Ankara, [www.megep.com.tr](http://www.megep.com.tr), (2012).
36. Kaygısız, H. ve Çetinkaya, K., “CNC freze eğitim seti tasarımı ve uygulaması” *International Journal of Technologic Sciences Dergisi*, Isparta, 27 – 43 (2010).
37. Kabaş, K., “Sıvı soğutma sistemli masaüstü CNC freze tezgahı tasarımı ve prototip imalatı”, Y. Lisans Tezi, *Karabük Üniv. Fen Bilimleri Enst.* Karabük, 27 – 33 (2011).
38. Şen, D. K., “Beş eksenli CNC freze tasarımı ve kontrolü”, Y. Lisans Tezi, *DEÜ Fen Bilimleri Enst.*, İzmir, 29 – 31 (2010).
39. Güllü, A., Kaya, S., ve Pınar, A. M., “Freze tezgahı için geliştirilen PLC tabanlı divizör” *S.D.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10 (2): 311-316, (2006).

40. İnternet: MEB Megep Elektrik Elektronik Teknolojisi, “2007 Step Motor ve Sürülmesi”, [www.megep.com.tr](http://www.megep.com.tr), Ankara, (2012).
41. İnternet: Machsupport, “Machsupport.”, <http://www.machsupport.com/forum/index.php>, USA, (2012).
42. Özbek, H. ve Keskin, S., “Standart sapma mı yoksa standart hata mı?”, *Van Tıp Dergisi*, 14 (2): 64-67 (2007).
43. İnternet: Mastercam, “CNC Software Inc”., <http://www.Mastercam.com/products/default.aspx>, USA, (2012).
44. İnternet: Solidworks, “3D CAD Design Software”, [www.solidworks.com](http://www.solidworks.com), USA, (2013).

## ÖZGEÇMİŞ

Serdar Sevil 1982 yılında Kırıkkale’de doğdu. İlk ve orta öğretimini Ankara’da tamamladı. 2004 yılında kazandığı ZKÜ Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Tasarım ve Konstrüksiyon Öğretmenliği’nden 2008 yılında mezun oldu. Halen; 2009 yılında başlamış olduğu yüksek lisans programını, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Anabilim Dalı altında sürdürmektedir.

### ADRES BİLGİLERİ

Adres : Argeteknolab Mekatronik ve Tıbbi Cihazlar Ltd. Şti.  
İTÜ Maslak Ayazağa Kampüsü İTÜ Lojmanları Vadi blokları2 A2  
blok Kat2 Ofis: 12 Sarıyer/ İstanbul

Tel : 0505 696 69 51

E-posta : serdar.sevil@gmail.com

**EK AÇIKLAMALAR A.**

**PROTOTİP İMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE  
TEZGAHININ FOTOĞRAFLARI**



Şekil EK A.1. Fotoğraf 1.



Şekil EK A.2. Fotoğraf 2.

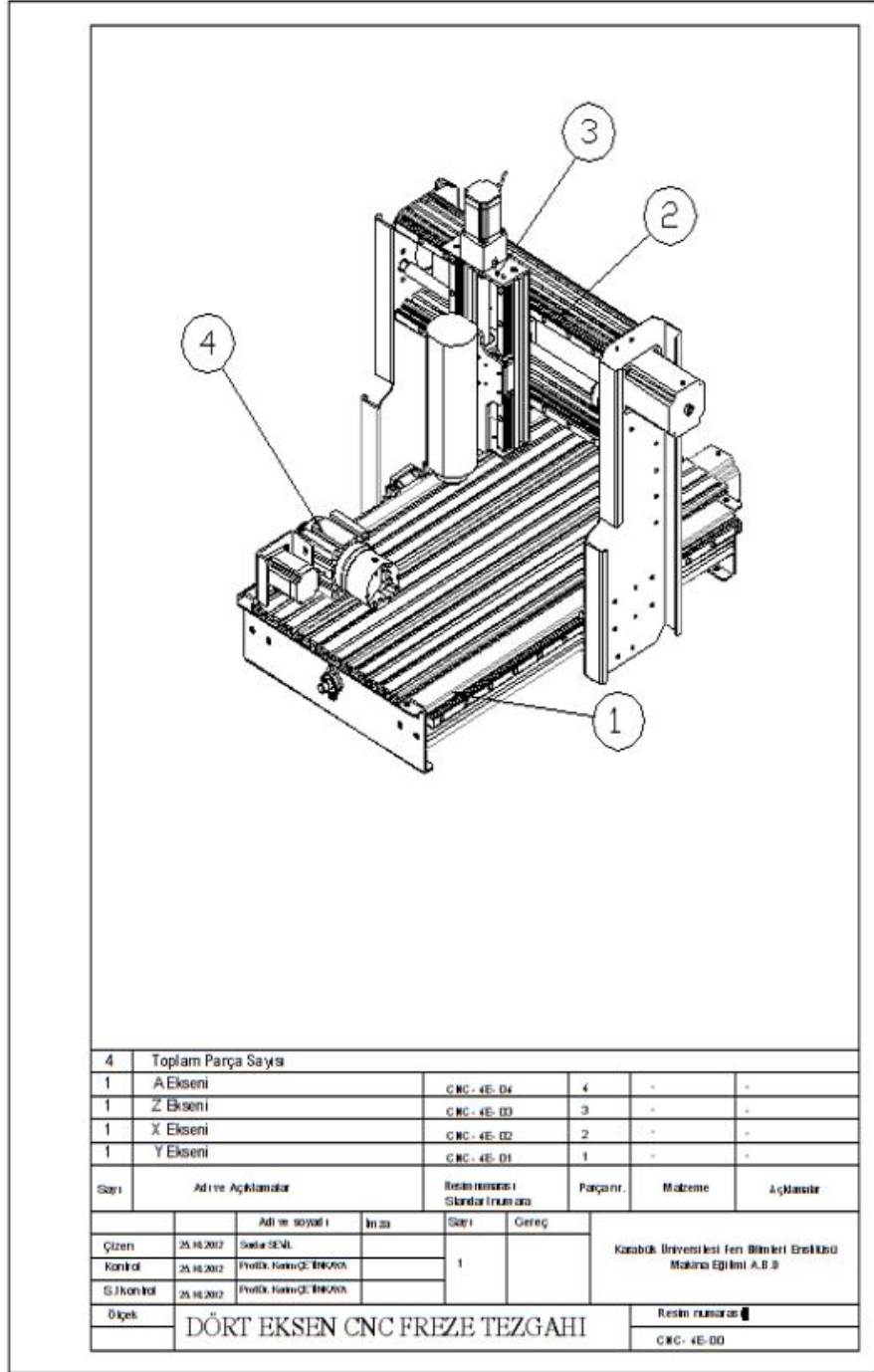


Şekil EK A.3. Fotoğraf 3.



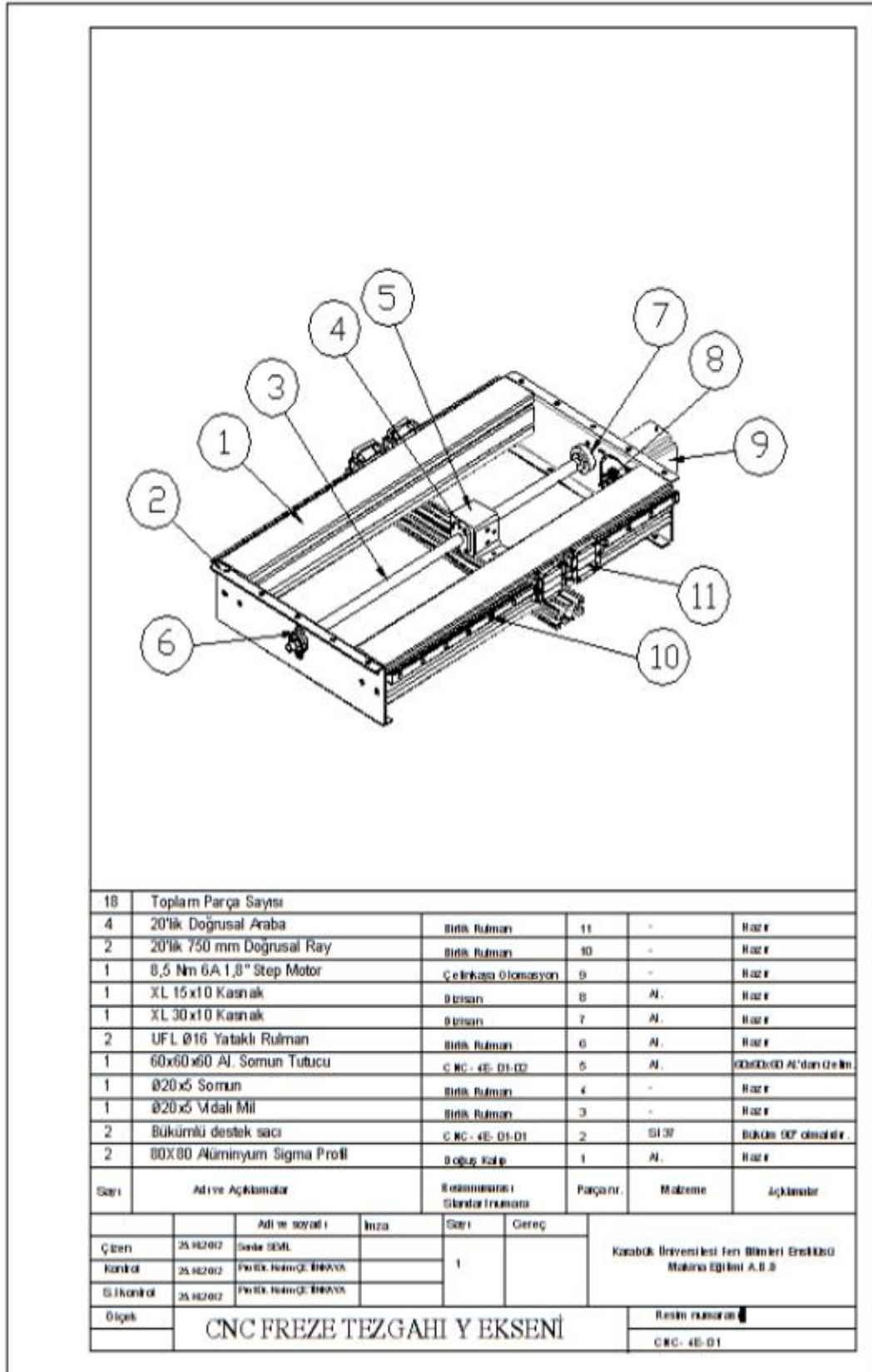
Şekil EK A.4. Fotoğraf 4.

**EK AÇIKLAMALAR B.**  
**PROTOTİPİMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE**  
**TEZGAHININ MONTAJ RESİMLERİ**

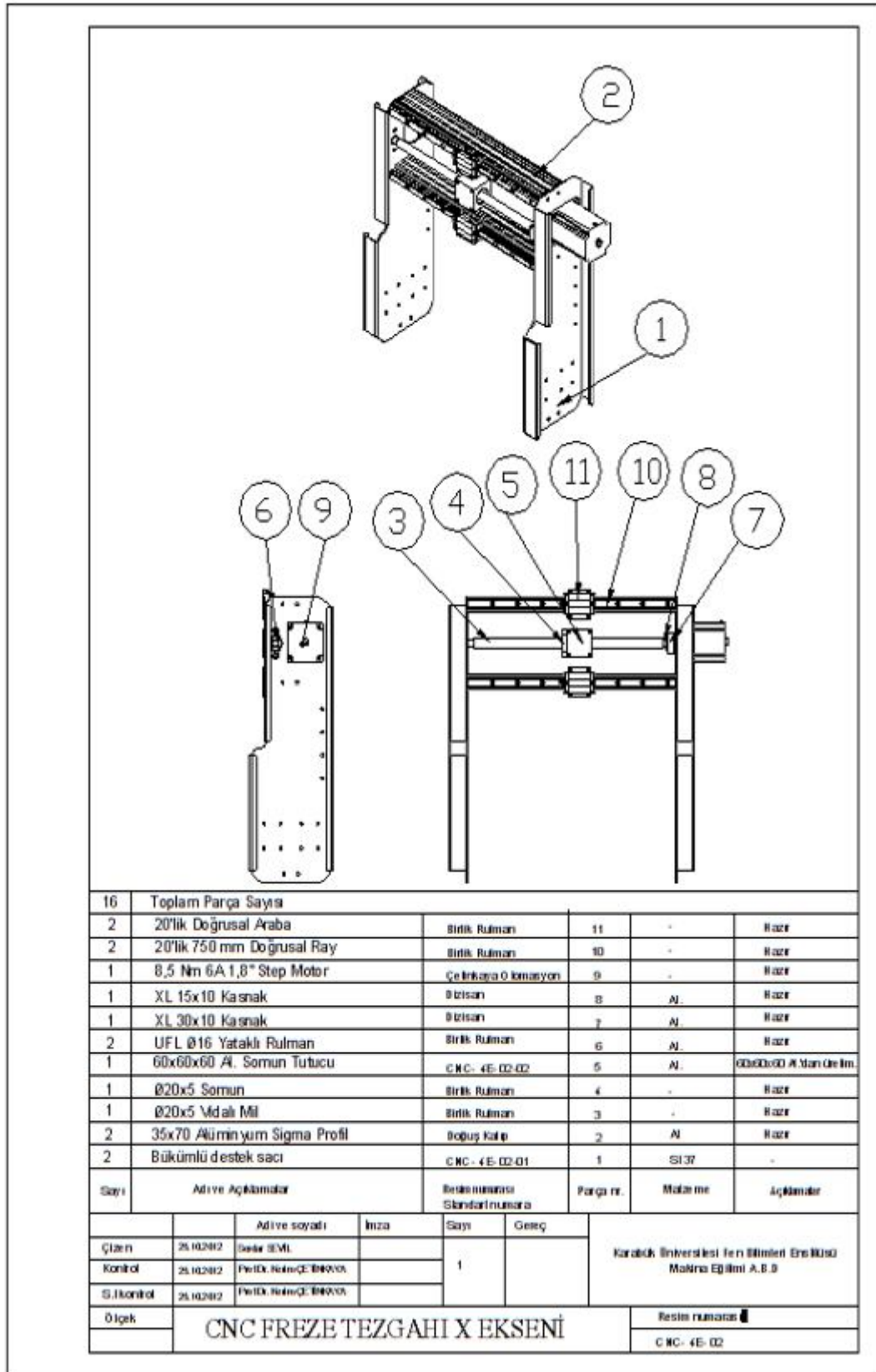


Şekil EK B.1. Dört eksen CNC freze tezgahı montaj resmi.

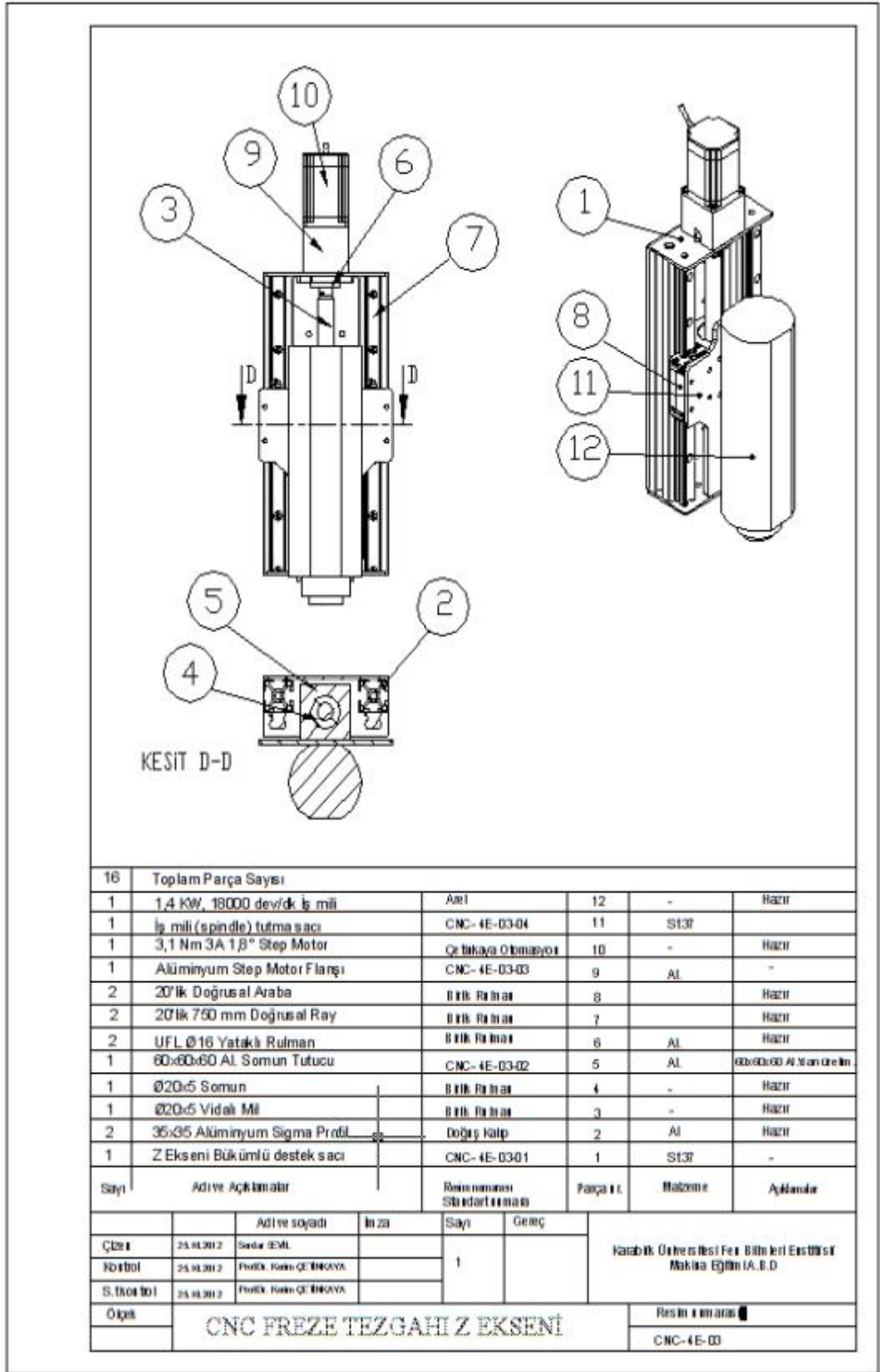




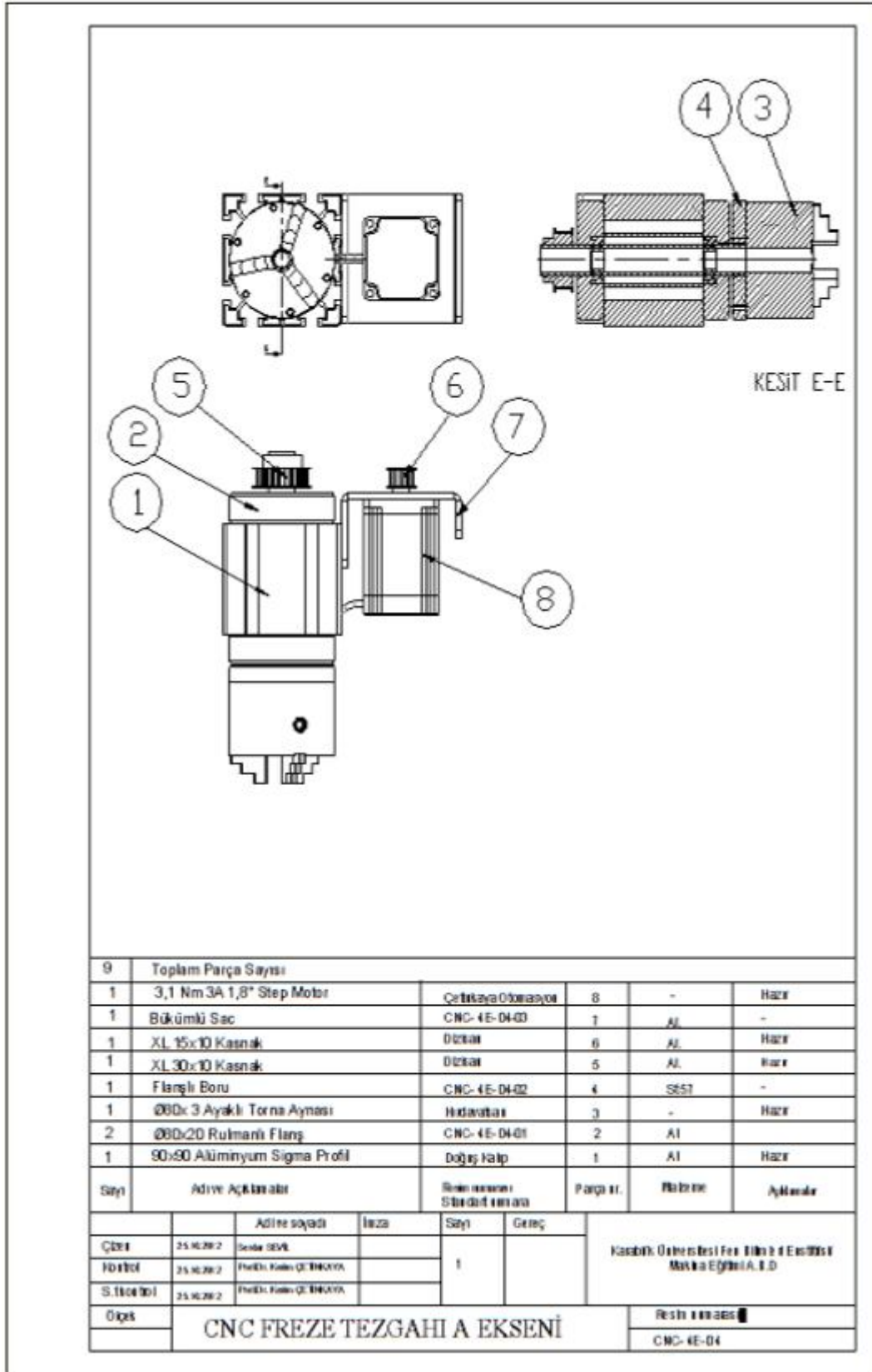
Şekil EK B.2. Dört eksen CNC freze tezgahı Y eksen montaj resmi.



Şekil EK B.3. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.



Şekil EK B.4. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.



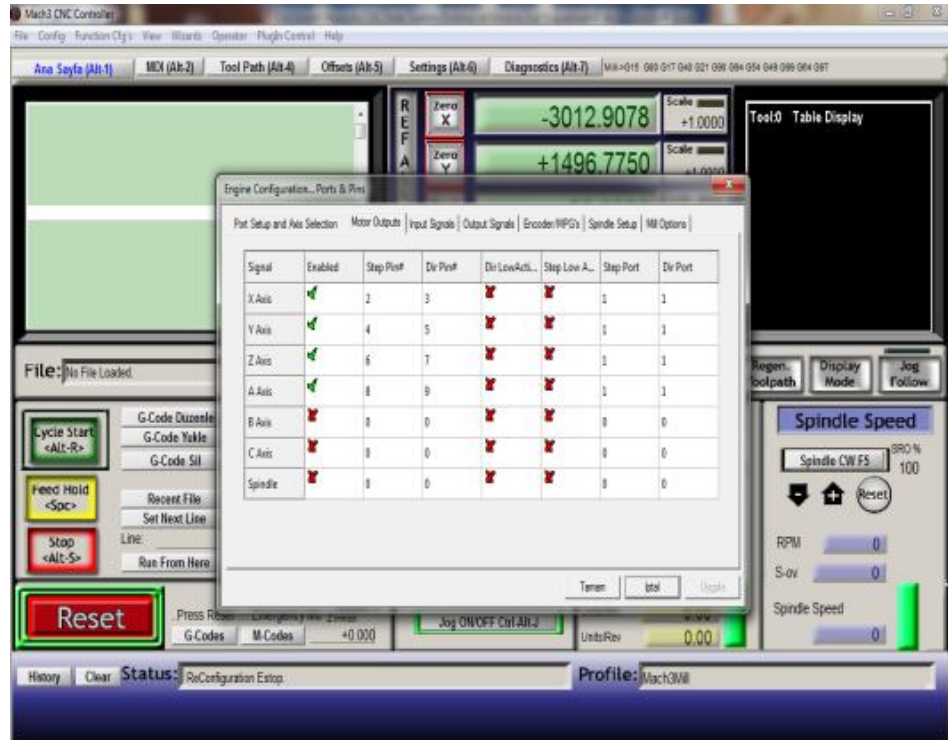
Şekil EK B.5. Dört eksen CNC freze tezgahı X eksen montaj resmi.

**EK AÇIKLAMALAR C.**

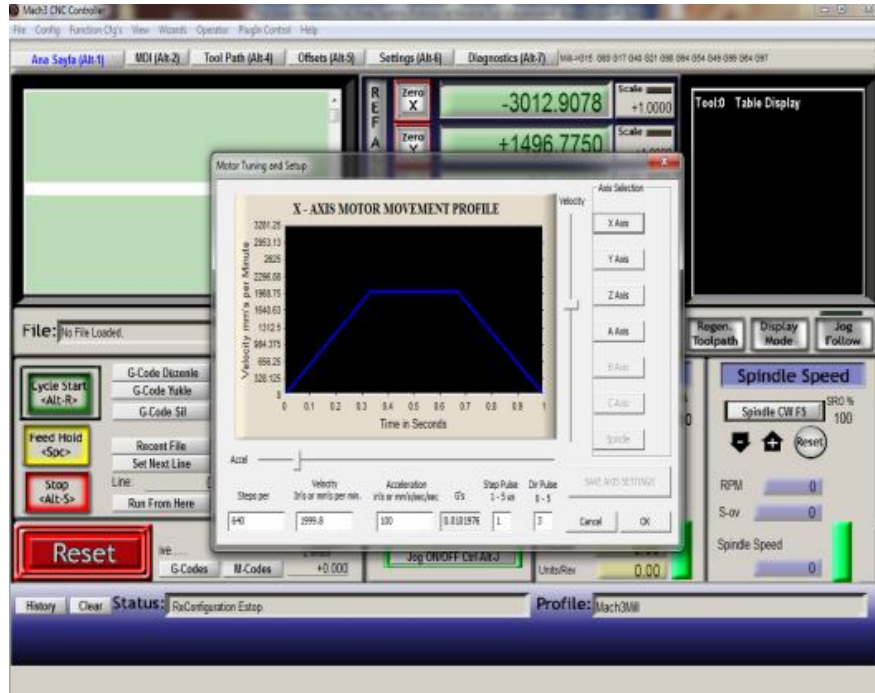
**PROTOTİP İMALATI YAPILAN DÖRT EKSEN MASAÜSTÜ CNC FREZE  
TEZGAHININ MACH 3 CNC ARAYÜZ PROGRAM ARAYARLARI**



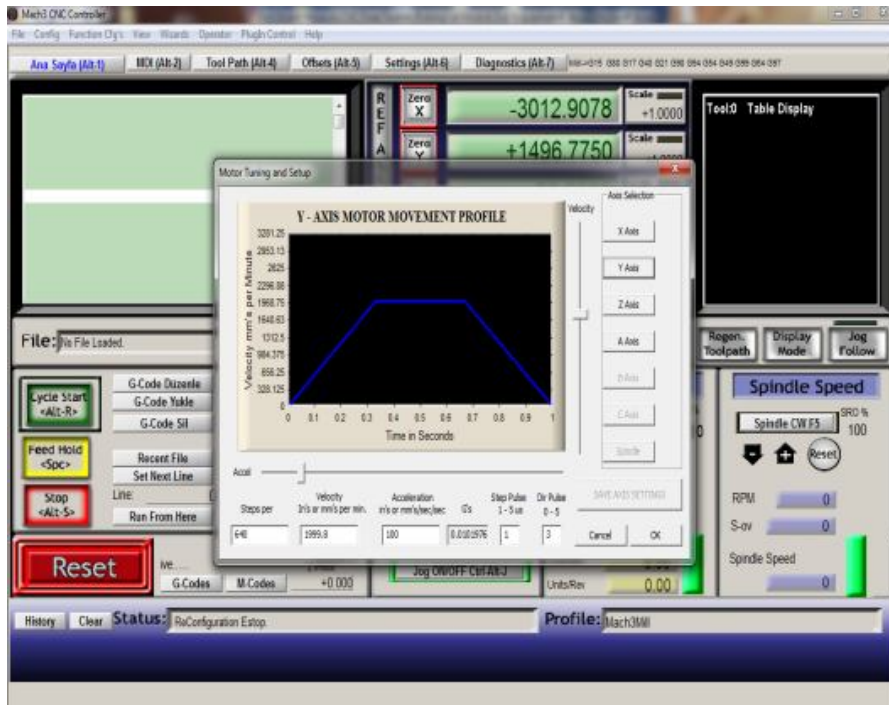
Şekil EK C.1. Ölçü biriminin seçilmesi.



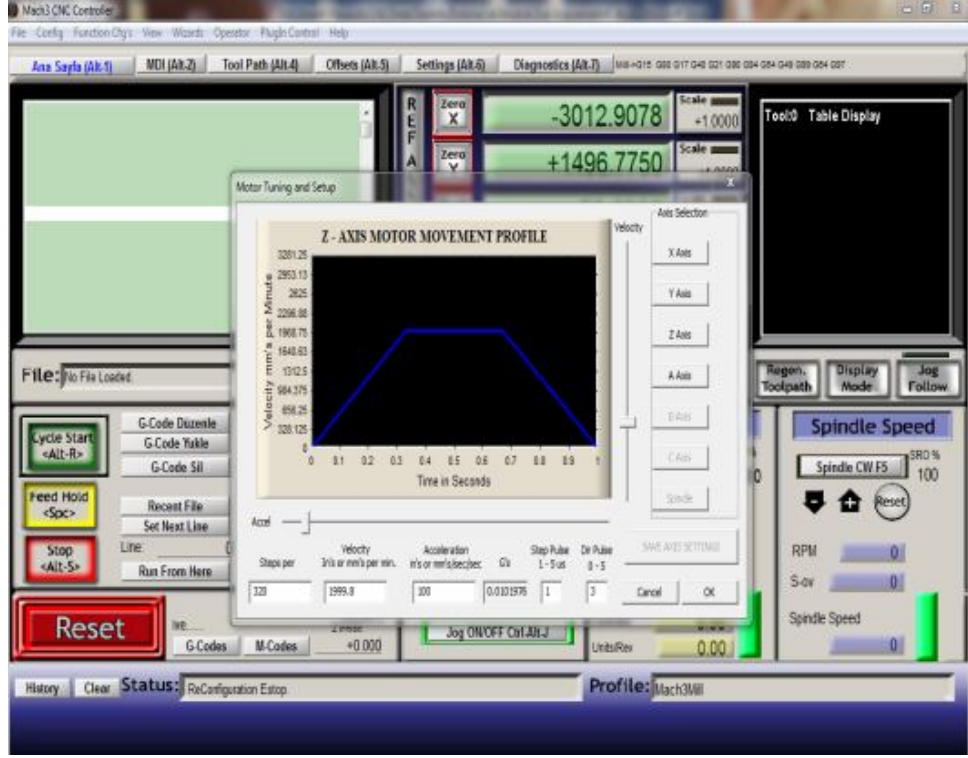
Şekil EK C.2. Mach programı ile elektronik arayüz kartı haberleşme pin ayarları ve eksenlerin etkin hale getirilmesi.



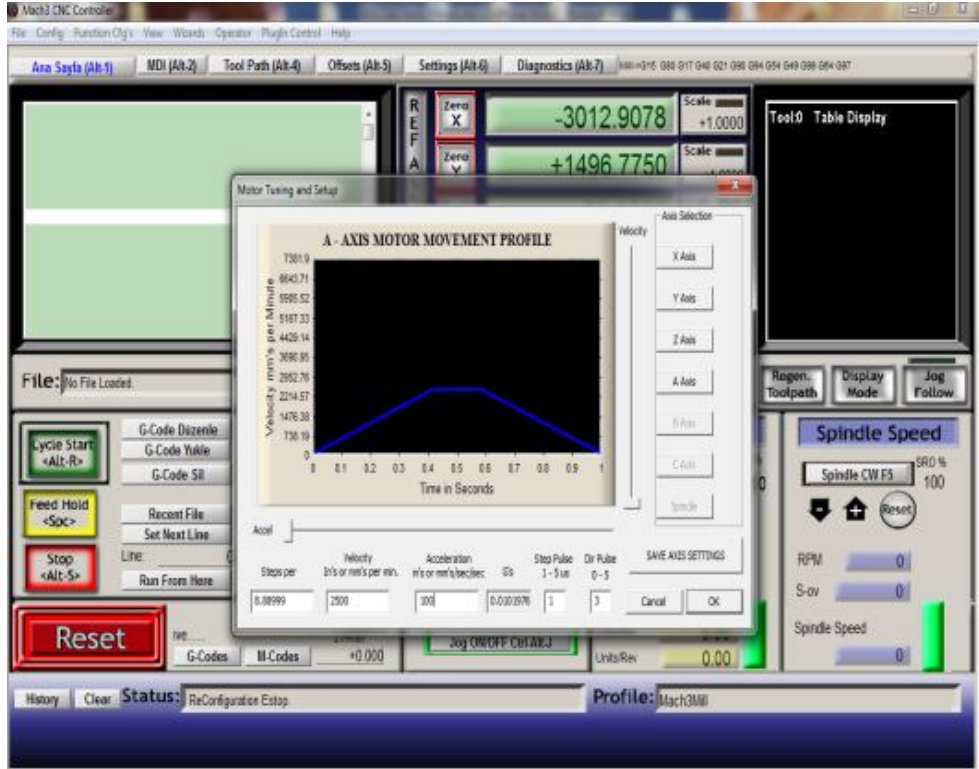
Şekil EK C.3. X Eksenli hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.



Şekil EK C.4. Y Eksenli Hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.



Şekil EK C.5. Z Eksenli hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.



Şekil EK C.6. A Eksenli hız ve bölüntü değerlerinin girilmesi.