

**BİLGİSAYAR DESTEKLİ SAYISAL KONTROL TEZGAHININ DONANIM VE YAZILIM
TASARIMI**

Kemal POLAT

**Yüksek Lisans Tezi
Kontrol Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT**

EKİM-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLGİSAYAR DESTEKLİ SAYISAL KONTROL TEZGAHININ DONANIM VE
YAZILIM TASARIMI

Anabilim Dalı: Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi
Programı: Kontrol Eğitimi

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Kemal POLAT
(112131103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 22.10.2014

Tezin Savunulduğu Tarih: 10.10.2014

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hüseyin ALTUN

Yrd. Doç. Dr. Cafer BAL

EKİM-2014

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması boyunca; engin tecrübesini, değerli zamanını, fikir ve düşüncelerini benden hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. Muammer GÖKBULUT' a sonsuz teşekkürü borç bilirim. Aynı zamanda projemin hazırlanmasında her zaman yanımda olan Sayın Arş. Gör. Deniz KORKMAZ' a teşekkür ederim. Ayrıca her zaman desteğini ve ilgisini gördüğüm Aileme ve değerli arkadaşım Sayın Arş. Gör. Mücahit YILMAZ' a teşekkür ederim.

Bu tezin hazırlanmasında maddi desteğini esirgemeyen, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi ve emeği geçen tüm çalışan personellerine teşekkürlerimi sunarım.

Kemal POLAT

ELAZIĞ - 2014

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	VII
TABLolar LİSTESİ.....	X
KISALTMALAR LİSTESİ.....	XI
1.GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Araştırması.....	2
1.2 Tezin Amacı.....	4
1.3 Tezin Yapısı.....	5
2. CNC' NİN GELİŞİMİ.....	7
2.1 CNC' nin Genel Tanımı.....	7
2.2 CNC Tezgahların Bölümleri.....	8
2.2.1 Bilgisayar Sistemi.....	8
2.2.2 Tasarım Yazılımları.....	8
2.2.3 Üretim Yazılımları.....	8
2.2.4 Hareket Kontrolörü (G Kodu Yorumlayıcı).....	8
2.3 Masaüstü CNC Freze Tezgahlarının Özellikleri.....	8
2.4 Freze Tezgahın Mekanik Kısımları.....	10
2.5 CNC Tezgah Eksenleri.....	12
2.6 CNC Frezede Programlama.....	13
2.6.1 CNC Programlama Yapısı	13
2.6.2 Programlamada Kullanılan Teknolojik Bilgiler (F, S).....	13
2.7 CNC Tezgahlarda Kullanılan G ve M Kodları.....	14
2.8 M Kodları (Yardımcı Fonksiyonlar).....	16
2.9 Bir Program Satırında Yazılması Gereken Değerler ve Anlamları.....	17
3. ADIM MOTORLARI.....	18
3.1 Adım Motorunun Çalışma Prensibi.....	19
3.2 Adım Motorlarının Genel Yapısı.....	20
3.3 Adım Motor Çeşitleri.....	22

3.3.1 Değişken Relüktanslı Adım Motorları.....	22
3.3.2 Kalıcı Mıknatıslı Adım Motorları.....	23
3.3.3 Hibrid Yapılı Adım Motorları.....	24
3.4 Adım Motoru Sargıları.....	25
3.4.1 Bipolar Sargılar.....	25
3.4.2 Unipolar Sargılar.....	30
3.5 Adım Motor Sürücüleri.....	31
3.5.1 Tek Kutuplu Sürme.....	32
3.5.2 Çift Kutuplu Sürme.....	33
3.5.3 İki Gerilim Düzeyli Sürme.....	34
3.5.4 L/R Sürücü Devresi.....	34
3.5.5 Kısıcılı Sürme Devresi.....	35
3.6 Hibrid Adım Motorunun Matematiksel Denklemleri.....	36
3.7 Adım Motorunun Matlab Simulasyonu.....	36
3.8 Simulasyon Sonuçları.....	38
4. SPINDLE MOTOR.....	41
4.1 Spindle Motorların Genel Yapısı.....	43
4.1.1 Spindle Motorların İki Faz Sargı Yapıları.....	44
4.2 Spindle Motorların İnverter Sürücü Devresi.....	46
4.3 İki Fazlı Spindle Motorun Matematiksel Modeli.....	47
4.4 Spindle Motorun Matlab Simulasyonu.....	49
4.5 Simulasyon Sonuçları.....	51
5. CNC TEZGAHININ DONANIM VE YAZILIM TASARIMI.....	53
5.1 Sistemde Gerçekleştirilen Uygulamalar.....	59
5.2 Uygulama 1.....	68
5.3 Uygulama 2.....	69
5.4 Uygulama 3.....	71
5.5 Uygulama 4.....	73
5.6 Uygulama 5.....	75
6. SONUÇ.....	77
KAYNAKLAR.....	79
EKLER.....	83
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ÖZET

Bilgisayarlı (ya da Bilgisayar Destekli) Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control) olarak adlandırılan CNC tezgahlarında, programlanabilen CNC kontrol üniteleri aracılığı ile iş parçaları otomatik olarak işlenebilmektedir. Dolayısıyla bir CNC tezgahına, iş parçalarının seri üretimi, iş parçası programlarının saklanması, programda gerekli değişikliklerin kolayca yapılabilmesi, parça üretiminin herhangi bir aşamasında programın durdurulup kalınan yerden programın tekrar başlatılabilmesi gibi çeşitli fonksiyonel özellikler kazandırılmıştır.

Bir CNC tezgahı; bilgisayar destekli kontrol ünitesi ve yazılımı, elektrik motorları, motor sürücüler ve yapılacak işe uygun mekanik aksam olmak üzere 4 temel birimden meydana gelir. Bir iş parçasının programlanmasına bağlı olarak kontrol ünitesi, motor sürücüler aracılığı ile elektrik motorlarının konum kontrolünü gerçekleştirerek tezgah üzerindeki mekanik aksamların arzu edilen X-Y ve Z koordinatlarına konumlanmasını sağlar.

Bu tez çalışmasında üç eksenli bir CNC tezgahının donanımı hazırlanmış ve mekanik aksamın X, Y ve Z koordinatlarında konumlanabilmesi için adım motorları ve iş parçasının işlenmesi için ise yüksek hızlı spindle motor kullanılmıştır. CNC kontrol ünitesi, Mach3 programı ve ArtCAM ile programlanmıştır. Tez çalışmasında öncelikle adım motorları ile spindle motorun konum kontrol yöntemleri incelenmiş ve simülasyon sonuçları ile konum kontrol performansları gösterilmiştir. Uygulama çalışmaları olarak, CNC tezgahında işlenmiş çeşitli iş parçaları ve resimler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: CNC tezgahı, Konum Kontrolü, Adım motorları, Spindle motor, Mach3.

SUMMARY

COMPUTER NUMERICAL CONTROL MACHINE HARDWARE AND SOFTWARE DESIGN

In CNC router which is called as computer (or Computer Aided) Numerical Control (CNC), work pieces can be automatically produced by means of programmable CNC control units. Hence, some functional properties such as series production of work pieces, saving the programs, doing easily some changes in the programs, pause the program at any time of manufacturing and then restarting the program, make CNC machines valuable.

A CNC machine tool consists of four basic units such as computer aided numerical control unit, software, servo motor, motor drivers and suitable mechanical devices. Depending on program of work pieces, control unit provides that the mechanical systems can be positioned in the X, Y and Z coordinates, by implementing the position control of electrical drives.

In this thesis, a three axis CNC Router is set up and step motors are used for positioning the mechanic units in X, Y and Z coordinates and a high speed spindle motor is used for processing of the work pieces. CNC control unit is programmed with Mach 3 and ArtCAM. In the thesis, firstly position control methods of step and spindle motors are analyzed and simulation results showing the position control performances are given. Then, the processed work pieces and pictures produced in CNC machines are given as application examples.

Keywords: CNC router, Position Control, Step motors, Spindle motor, Mach3.

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 Tabla hareketli masaüstü CNC freze.....	9
Şekil 2.2 Bilgisayar destekli M ve G kodlarının çıkartılacak CNC ara yüz programına yüklenme süreci.....	10
Şekil 2.3 Freze tezgah gövdesi.....	10
Şekil 2.4 Sistemde kullanılan lineer kızak örneği.....	11
Şekil 2.5 Bilyalı vidalı mil ve somun.....	11
Şekil 2.6 Rulman.....	12
Şekil 2.7 Makine eksenleri.....	12
Şekil 3.1 Adım motorları.....	18
Şekil 3.2 Basit bir adım motorunun tasarım şekli.....	20
Şekil 3.3 Tipik adım motorlarının yapısı.....	21
Şekil 3.4 Değişken relüktanslı adım motoru.....	22
Şekil 3.5 Kalıcı mıknatıslı adım motorları.....	23
Şekil 3.6 Dört fazlı kalıcı mıknatıslı adım motoru.....	24
Şekil 3.7 Statoru dört kutuplu ve rotoru beş kutuplu olan hibrid adım motorunun kutup görünüşü ve sabit mıknatısın armatürlere yerleştirilmesi.....	25
Şekil 3.8 30° lik adımlarla hareket eden bir adım motoru.....	25
Şekil 3.9 Stator sargı bağlantı şekli.....	26
Şekil 3.10 Dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu.....	27
a) Dalga sürücü için akım darbeleri.....	27
b) Akımlara bağlı bir şekilde her adımdaki manyetik akının pozisyonu.....	27
Şekil 3.11 Dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu.....	28
a) Normal sürücü akım darbeleri.....	28
b) Akımlara bağlı olarak her adımdaki manyetik akının pozisyonu.....	28
Şekil 3.12 Yarım dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu.....	29
a) Yarım dalga akım pulsleri.....	29
b) Akımlara bağlı olarak her adımdaki manyetik akının pozisyonu.....	29
Şekil 3.13 Tek kutuplu adım motorunun sargı yapısı.....	30
Şekil 3.14 Tek kutuplu sürücü devre şeması.....	32
Şekil 3.15 Çift kutuplu sürme devre şeması.....	33
Şekil 3.16 İki gerilim düzeyli sürücü devre şeması.....	34
Şekil 3.17 L/R sürücü devre şeması.....	34

Şekil 3.18 Kısıcılı sürücü devre şeması.....	35
Şekil 3.19 İki fazlı bir hibrid adım motorunun modeli.....	37
Şekil 3.20 Adım motorunun matlab simulinkteki simulasyon sonucunun gösterimi.....	38
Şekil 3.21 Adım motorunun matlab simulinkteki simulasyon sonucunun ayrıntılı olarak gösterimi.....	39
Şekil 4.1 Spindle motor.....	41
Şekil 4.2 Tipik bir spindle model gösterimi.....	42
Şekil 4.3 Spindle motorun sargı yapısı ve kısımları.....	43
Şekil 4.4 İki fazlı spindle motorun 12-slot/ 18- kutup şeklinin gösterimi.....	44
Şekil 4.5 İki fazlı spindle motorun çapraz bağlantı ve kare bağlantı şekilleri.....	45
Şekil 4.6 Adım komitasyonun iletim sırası.....	45
Şekil 4.7 İnverter sürücü devresi.....	46
Şekil 4.8 Üç fazlı inverter sürücü devrenin prensip şeması.....	47
Şekil 4.9 İki fazlı spindle motorun matlab simulasyonu.....	50
Şekil 4.10 İki fazlı spindle motorun hız zaman grafiği.....	51
Şekil 4.11 İki fazlı Spindle motorun EM' torkunun zamana göre değişimi.....	52
Şekil 5.1 Çalışılan sistemin görüntüsü.....	53
Şekil 5.2 CNC Tezgahın gövde yapısı.....	53
Şekil 5.3 Lineer kızaklar.....	54
Şekil 5.4 Vidalı miller.....	54
Şekil 5.5 Rulman.....	55
Şekil 5.6 Adım motoru.....	55
Şekil 5.7 Spindle motor.....	56
Şekil 5.8 Adım motor sürücüleri.....	56
Şekil 5.9 Spindle motor inverter sürücü.....	57
Şekil 5.10 USB tipi CNC kontrol kartı.....	58
Şekil 5.11 Güç kaynağı.....	58
Şekil 5.12 ArtCAM çizim programında çizilebilecek farklı şekil türleri.....	59
Şekil 5.13 ArtCAM çizim programında çizilen geometrik şekiller.....	60
Şekil 5.14 Geometrik şekiller üzerinde yapılacak işlemler.....	61
Şekil 5.15 Şekillerin kaydedilme görüntüsü.....	62
Şekil 5.16 CNC dosyasının Mach3 programına aktarılması.....	63
Şekil 5.17 Mach3 programı üzerinde yapılan simulasyonun görüntüsü.....	64
Şekil 5.18 Mach3 programı üzerinde yapılan eksen ayarları.....	65

Şekil 5.19 Input pins menüsü ayarları.....	66
Şekil 5.20 X ekseninde hareket eden adım motorunun ayarı.....	67
Şekil 5.21 Parçanın işlenme anı.....	68
Şekil 5.22 İşlenen parçanın görüntüsü.....	69
Şekil 5.23 ArtCAM’de delik delme uygulama işlemi.....	70
Şekil 5.24 Delik delme uygulamasının sonucu.....	70
Şekil 5.25 İşlenecek özel parçanın ArtCAM’deki görüntüsü.....	71
Şekil 5.26 Uygulama 3’ ün Mach3 programındaki simulasyonun görüntüsü.....	72
Şekil 5.27 İşlenen parçanın görüntüsü.....	72
Şekil 5.28 İşlenecek özel parçanı ArtCAM’ deki görüntüsü.....	73
Şekil 5.29 Uygulama 4’ ün Mach3 programındaki simulasyon görüntüsü.....	74
Şekil 5.30 İşlenen parçanın görüntüsü.....	74
Şekil 5.31 İşlenecek özel parçanın ArtCAM’ deki görüntüsü.....	75
Şekil 5.32 Uygulama 5’ in Mach3 programındaki simulasyon görüntüsü.....	75
Şekil 5.33 İşlenen parçanın görüntüsü.....	76
Şekil 6. Mach3 programı ile motorların kontrolü.....	78

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. G kod ve fonksiyonları.....	14
Tablo 2. M kodları ve fonksiyonları.....	16
Tablo 3. Dalga sürücüye uygulanan anahtarlama sırası.....	26
Tablo 4. Normal sürücüye uygulanan anahtarlama sırası.....	27
Tablo 5. Yarım dalga sürücüye uygulanan anahtarlama sırası.....	28
Tablo 6. Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun her an için bir sargının yarı bobininin enerjilendirilmesi şartıyla bir tur hareketinde uygulanacak kontrol sinyalinin uygulanma sırası.....	30
Tablo 7. Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun her an için iki sargının yarı bobinini enerjilendirilmesi şartıyla bir tur hareketinde uygulanacak kontrol sinyalinin uygulanma sırası.....	31
Tablo 8. Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun iki enerjilendirme durumu bir araya getirildiğinde, yarım adımlar ile bir turluk hareketi için uygulanması gereken kontrol sinyali.....	31
Tablo 9. Hibrid adım motoruna girilen parametre değerleri.....	37
Tablo 10 Spindle motorun parametre değerleri.....	50

KISALTMALAR LİSTESİ

CNC	: Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrol
DNC	: Doğrudan Sayısal Kontrol
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim
NC	: Sayısal kontrol
USB	: Evrensel Seri Veri yolu
MCU	: Mikro İşlemci Kontrol Ünitesi
DIR	: Yön Giriş Referansı
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
DC	: Doğru Gerilim
V	: Gerilim
RPM	: Dakikadaki Devir Sayısı
EMF	: Elektromotor Kuvveti
BLDC	: Fırçasız DC Motor
EM	: Elektro Manyetik
CPC	: Sürekli Yol Kontrol
ATC	: Otomatik Takım Değişirme

1. GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar; teknolojiyi takip eden, teknolojiye yatırım yapıp, teknolojiyle birlikte ilerleyen devletler gelişmiş, diğerleri ise sürekli tüketici olmaktan kurtulamamış ve aynı zamanda ekonomik bağımsızlıklarını kaybetmişlerdir.

Bilgisayarların kayda değer bir şekilde gelişmesinin sonucunda; tasarımlar çok hızlı bir şekilde değişmekte, otomobil gibi çok karmaşık olan makineler de her an yeni tasarımlarla karşımıza çıkmaktadırlar. Gelişmekte olan bu teknolojiyle birlikte imalat da bu hıza ayak uydurmaya çalışmış ve CNC (Computer Numerical Control) makinelerini de günümüzde yaygınlaştırmaya başlamıştır [1].

Yüksek kesme ve delme kapasitesi, hızlı, hassas ve verimli çalışması ve uzun ömürlü olması gibi özellikleri ile CNC tezgahları, sektörün olmazsa olmazı arasına girmiştir. Bu tezgahlar sanayide sıkça tercih edilmesine rağmen bu sektör için yetişmiş eleman ihtiyacına gereksinim duyulmaktadır. Geleneksel tezgah operatörlüğü için daha önceleri sadece temel frezecilik veya tornacılık bilgisine ihtiyaç duyulurdu. Ancak günümüzde ise NC (Numerical Control) ve CNC tezgahlarında operatörlük için, bu temel becerilerin yanı sıra bilgisayar bilgisi, CNC kodu yazma, okuma ve yorumlama becerisi ve hatta daha karmaşık olan bir cihazı kullanabilmesi gibi bazı beceriler de gerekmektedir [1-2].

NC tezgahların bilgisayarla donatılması, CNC ve DNC (Direct Numerical Control) tezgahlarını meydana getirmiş ve kişisel bilgisayarların kullanılmasıyla beraber bu tezgahlarla istenilen işlem en uygun şekilde yapılmaya başlanmıştır. Tezgahların bu gelişmelerine paralel olarak imalat sisteminde de büyük gelişmeler olmuştur. Bununla beraber, bilgisayarların yardımı ile ayrı ayrı yapılan Bilgisayar Destekli Tasarım CAD (Computer Aided Design) ve Bilgisayar Destekli İmalat CAM (Computer Aided Manufacturing) işlemleri birleştirilerek CAD-CAM yapısı ortaya çıkmıştır. Bunun beraberinde; adım motorları da son yıllarda CNC teknolojisinin gelişimiyle birlikte, günümüzde önemli bir aşama kaydetmiştir [3].

Adım motorlarının günümüzde vazgeçilmez bir motor türü olarak konum (pozisyon) kontrol sistemlerinde kullanılmasının temel amacı; iyi pozisyon alabilmesi, dijital sinyallerle çalışabilmesi, ayarlanabilen frekansı ile orantılı bir şekilde devir sayısının

istenildiği gibi kontrol edilebilmesi, genellikle geri besleme kontrol ünitesine ihtiyaç duymaması, rotor durduğu zaman yüksek tutma momenti vermesi, alternatif çözümlerle karşılaştırıldığında daha ucuz olması v.b özelliklere sahip olduğu için uygulama alanlarında geniş bir şekilde kendisine yer bulmuştur.

Adım motorları, sürekli dönme hareketi yapmak yerine eşit büyüklükte ayırık açısal hareketler yapabilen elektromekanik sistemlerdir. Adım motorunun sürücüsüne uygulanan bir darbe (pulse) sinyali motorun belirli bir adım açısıyla hareket etmesine neden olur. Böylelikle adım motorunda bir dönme hareketi meydana gelecektir [4].

1.1 Literatür Araştırması

CNC teknolojisinin son yıllarda büyük bir aşama kaydetmesi nedeniyle, bu alanda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunlardan bazılarını aşağıda değinilmiştir.

Yapılmış olan bir çalışmada, eski bir CNC tezgahına iki adet servo motor eklenmesiyle beraber, iki eksenli bir dik işleme tezgahı haline getirilmiştir. Siemens' in Simotion D425 adlı servo motor kontrol ünitesi, bu üniteye bağlı iki adet CUA31 servo güç yükselticisi ve iki adet servo motor kullanılmıştır. Bu ürünün dik işleme tezgahı şeklinde çalışabilmesi için, motorları kontrol etmekte kullanılan Siemens Scout adlı programın içerisinde yer alan Structed Text adlı programlama dilinde, temel hareket fonksiyonları tanıtılmıştır [5].

[6]' da, CNC freze tasarımı, adım motor sürücülerini araştırılmış ve mikro adım sürücüler kullanılarak yüksek hızda performansları incelenmiş ve çalışma sonuçları değerlendirilmiştir [6].

[7]' de, Bilgisayar Destekli Tasarım ve Bilgisayar Destekli İmalat arasında bir ara yüz kullanmak için parça tanıma tabanlı bir veri tabanı geliştirilmiştir. Bilgisayar Destekli Tasarım modeller, geliştirilen program aracılığıyla tanınabilmekte ve tanınan modellere ait işleme parametreleri ve CNC kodları bilgisayar ortamında düzenli olarak saklanabilmektedir [7].

Yapılmış olan farklı bir uygulamada, CNC hareket kontrolü için bir elektrik sürücü sistemi tasarlanmıştır. Modern elektrik motor sürücülerinin üzerinde yapılan araştırmalar; motor sürücülerinin akım kontrollü voltaj kaynağı ve bir veya birden fazla mikroişlemci/mikrodenetleyici ve ya sayısal sinyal işlemcilerle (DSPs) sahip güçlü hareket

denetleyicilerle donanmış olduklarını göstermiştir. Motor sürücü kontrolü, sayısal hareket denetleyicileri tarafından sağlanır [8].

[9]' da, üç eksenli masaüstü CNC freze tasarlanmış ve prototipi imal edilmiştir. İmal edilen CNC' nin hassasiyet ve doğruluk değerlerinin tespiti için deneyler yapılmıştır. Bu çalışmada 460, 320, 120 mm (X, Y, Z) eksen kurs boylarına sahip adım motorlar ile tahrik edilen köprü tipi bir CNC freze tezgahı tasarlanmıştır. CNC' nin gövdesi sac ve sigma profillerle destekli üretilmiştir. Eksenleri lineer bilyeli kızaklar ile yataklanmış ve hareket organı olarak bilyeli vidalı miller kullanılmıştır. Elektronik kontrol ünitesinde SLA 7062 tek kutuplu adım motor kontrol entegreli kontrol devresi tercih edilmiş ve CNC Mach2 kontrol programı ile çalıştırılmıştır [9].

[10]' da, yurt dışında ithal edilen eğitim tipi CNC torna ve freze tezgahlarının çok maliyetli olduğunu saptayarak, eğitim çalışmalarında kullanmak üzere bilgisayar denetimli bir freze tezgahı tasarlanmıştır. Öğrencileri birçok kuru teorik bilgidan kurtardığını ve öğrencinin programı makineye yükler yüklemes sonucunu hemen görebildiğini ve böylece öğrencinin talaş kaldırma işlemlerini daha kolay anlayacağını ve uygun takım ve alet seçme yeteneklerini geliştireceğini düşünmektedir [10].

[11]' de, eğitim amaçlı masaüstü üç eksen CNC freze tasarımı, prototip imalatı ve hassasiyet kontrolünü gerçekleştirilmiştir. Tezgah tablası sabit olup, kesici takımı taşıyan köprü tipindeki başlık Y ekseninde tezgah tablası boyunca hareketlidir. X ve Z eksenleri sanayide Router olarak bilinen tezgah tipindedir. Kontrol devresinde Toshiba T66560 entegreli sürücü kart kullanılmıştır. Ara yüz programı olarak Mach3 programı kullanılmıştır. CAD programında modellenen ve CAM programında işleme programı çıkartılan örnek uygulama parçaları, prototipi yapılan üç eksen masaüstü CNC frezede işlenmiştir [11].

Yapılan bir başka çalışmada, üç eksenli masa tipi CNC freze tezgahı ve imalatı için gerekli olan statik ve dinamik hesaplamalar yapılmıştır. Yapılmış olan hesaplamalar sonucunda parçaların CAD programında sistemin modellemesi gerçekleştirilmiştir. Modeli ile tasarımı gerçekleştirilen sistemin üç eksenli masa tipi CNC freze tezgahı metal parçaları talaşlı üretim tezgahlarında işlenmiştir. Tezgahın eksen sistemlerindeki hareketleri iletecek ve yönlendirecek yataklama sistemleri hazır olarak satın alınmıştır. Mekanik parçaların montajı gerçekleştirilerek sistem hazır duruma getirilmiştir. Tezgah eksenindeki tahrik sistemi adım motorlarıyla uygulanmıştır. Üç eksenli masa tipi CNC freze tezgahının

elektronik kontrolü adım motor sürücü ve sürücü kontrol kartı yardımıyla gerçekleştirilmiştir [3].

Adım motorlarıyla ilgili de geçmişten günümüze yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu yapılan çalışmalardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Yapılan bir çalışmada, Kartezyen robotun hareketleri adım motorları yardımıyla gerçekleştirilmiştir [12].

[13]' de, bir torna tezgâhını bilgisayar kontrollü bir CNC tezgahına dönüştürürken X ve Z koordinatlarındaki hareketi sağlayan adım motorlarının seçimi ile ilgili bir çalışma yapılmıştır [13].

Yapılmış olan farklı bir uygulamada ise, bütün parçaları üçtaş (cız) oyunu oynayan bir robot yapılmıştır. Hareket sistemi tahtalar üzerine kurulmuştur. Hareketi misina sarımları üzerinde bulunan adım motorları gerçekleştirmektedir. Robotun hareket alanı üç boyutlu Kartezyen koordinat sistemidir. Robotun hareketlerini PIC16F877 ile sağlanmıştır [14].

Yapılan bir başka benzer uygulamada ise, metal işleme üzerine kurulan bir torna tezgahının eeprom kontrollü seri üretim için modernizasyonu sağlanmıştır. Adım motorlarının X ve Y eksenindeki hareketini, eeprom hafızasındaki bilgiler kullanılarak otomatik bir şekilde işlemi gerçekleştirilmiştir [13].

[15]' de, adım motorundaki her bir sargı akımını sürekli olarak denetlemeye dayalı ve gürültü sorununu çözmekle birlikte duyarlılık ve çözünürlükte artış sağlayan mikro-adımlama kullanılarak bir adımlı motor sürücünün tasarımı gerçekleştirilmiştir [15].

Bir başka çalışmada ise, Bilgisayar destekli fotolüminesans ölçüm sisteminin kritik bileşenlerinden olan monokromatörün bilgisayar kontrollü otomasyonunun sağlanması için özgün gömülü yazılım içeren özgün bir elektronik devre tasarımı amaçlanmıştır. Tasarımın gerçekleştirilmesinde popüler mikrodenetleyicilerden olan PIC18F4550 ve adım motor kullanılmıştır. Bilgisayar haberleşmesinde uyumluluğu ve esnekliği arttırmak için standart seri haberleşme protokolleri kullanılmıştır. Mikrodenetleyici gömülü yazılım, C dilinde yazılmıştır [16].

1.2 Tezin Amacı

Bu tezin genel amacı; CNC mekanik aksam üzerinde (Router), motorların konum ve hız kontrolünü gerçekleştirmektir.

Yapılan uygulamalarda, öncelikle işlenecek olan malzeme ArtCAM veya AutoCAD programında çizimi yapılmıştır. Bu çizimler, AutoCAD’ de DXF dosya uzantılı olarak kaydedildikten sonra, ArtCAM programına tanıtılmıştır. Daha sonra bu çizimler Mach3 programına aktarılmıştır. Mach3 programı da, USB (Universal Serial Bus) kontrol kartıyla aracılığıyla motorların kontrolü program üzerinden gerçekleştirilmiştir. Sistemde kullanılan G kodları da, CAD/CAM dönüşümü yapıldıktan sonra kullanılmıştır. Eksenlerde kullanılan adım motorları, sürücülerden alınan darbelerle belli adım hareketlerini gerçekleştirip, lineer kızaklar vasıtasıyla X, Y ve Z eksenler de hareket yapılmıştır. İşleme özelliğine sahip olan spindle motor da yine inverter sürücüsünden alınan pulslerle veya bu sürücü üzerindeki frekans artırılarak, bu motorun kontrolü yapılmıştır. Sistem üzerinde farklı uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalar, aşağıda bahsedilmiştir.

Uygulama 1 de, basit geometrik şekillerin (kare, üçgen ve altıgen) ahşap malzeme üzerinde işlenmesi hedeflenmiştir.

Uygulama 2 de, ahşap malzeme üzerinde delik delme işlemi gerçekleştirilmiştir.

Uygulama 3 de, özel bir tasarım işlemi ahşap bir malzeme üzerinde işlenmiştir.

Uygulama 4 de, yine özel bir tasarım işlemi ahşap malzeme üzerinde işlenmesi planlanmıştır.

Uygulama 5 de, bir insan resminin görüntüsünün, ahşap malzeme üzerine işlenmesine yönelik bir başka uygulama gerçekleştirilmiştir.

1.3 Tezin Yapısı

Tezin ilk bölümünde; CNC’ nin tarihi, gelişimi ve günümüze ulaşması hakkında genel bilgilerden bahsedilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde; CNC’ nin genel tanımı, yapısı, CNC de kullanılan G ve M kodları ve CNC’ nin programlanması hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde; adım motorları hakkında genel bilgiler verilmiş, adım motorlarının yapısı, çalışma prensibi, çeşitleri, matematiksel denklemlerinden bahsedilmiş ve adım motorunun kontrolü Matlab Simulink ortamında yapılmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde; spindle motor hakkında genel bilgiler verilmiş, spindle motorların iki fazlı sargı yapıları, matematiksel denklemleri, Matlab simülasyonu ve inverter sürücü devresinden bahsedilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde; sistemi oluşturan mekanik ve elektronik donanımlar ayrıntılı olarak açıklandıktan sonra, sistem üzerinde istenilen uygulamalar gerçekleştirilmiş ve bu uygulamalardan alınan sonuçlar bu bölümde gösterilmiştir.

Tezin son bölümünde ise; uygulamalardan elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirilmiştir.

2. CNC' NİN GELİŞİMİ

Nümerik kontrol II. Dünya savaşının sonlarına doğru ABD hava kuvvetlerinin gereksinimi olan uçak parçalarının üretilmesi amacıyla ortaya çıkmıştır. Çünkü bu tür parçaların o günkü şartlarda üretilmesi mümkün değildi. Bunun gerçekleştirilebilmesi için PARSONS CORPORATION ve MIT (Massachusetts Institute of Technology) ortak çalışmalara başlamıştır. 1952 yılındaki ilk gelişme CINCINNATI-HYDROTEL freze tezgahını Nümerik Kontrol ile teçhiz ederek bu alandaki ilk başarılı çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Bu tarihten itibaren birçok takım tezgah üreticisi Nümerik Kontrollü tezgah üretimine başlamıştır. İlk zamanlarda NC takım tezgahlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, karmaşık kontrol ara yüzleri kullanıldı. Ancak bunların bakımları ve hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Buna karşın bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayısal kontrollü sistemleri de beraberinde getirmiştir. Günümüz teknolojisinde artık NC tezgahlar daha ileri seviyeye gelmiş olan entegre devre elemanları, düşük maliyetli ve güvenilir donanımlarla birlikte kullanılmaktadır. Bu gelişmelerin beraberinde, CNC' nin günümüze kadar ulaşmasına ortam hazırlamıştır. CNC daha sonraları torna, freze vb. takım tezgahlarında yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır [2,17].

2.1 CNC' nin Genel Tanımı

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (Computer Numerical Control) en genel ifadesiyle takım tezgahlarının sayı, harf vb. sembollerden oluşan ve belirli bir mantığa göre kodlanmış komutlar sayesinde işlenebilmesi ve Tezgah Kontrol Ünitesinin (MCU) parça programıyla kontrol edilmesidir.

CNC' de tezgah kontrol ünitesinin kompütürize edilmesiyle, programların korumasının yanında parça üretiminin her kademesin de programı durdurma, programda istenilen değişiklikleri yapabilme, programa istediğimiz yerden tekrar devam edebilme ve programı son şekliyle hafızada saklamak mümkündür. Bu nedenle programı kontrol ünitesine bir kez yüklemek yeterlidir [1].

2.2 CNC Tezgahların Bölümleri

CNC ya da Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrollü tezgahlar modern üretimin ana temelini oluşturmaktadır. CNC tezgahı basit bir şekilde ifade edilirse; bilgisayar, tasarım yazılımları, üretim yazılımları ve hareket kontrol sistemlerinden oluşmaktadır [3].

2.2.1 Bilgisayar Sistemi

CNC’ deki bilgisayar sistemi; iş parçası programlarının yapılmasına, tasarımlarının oluşturulmasına ve hatta geliştirilmesine imkan sağlar.

2.2.2 Tasarım Yazılımları

CNC tezgahlarda kullanılan tasarım programı, yapılan tasarımların düzgün bir şekilde çizilmesine, sonradan program üzerinde kolayca değişiklik ve yeni eklentiler yapılmasına ve buna ek olarak bir sonraki parça ve montaj üretimi için kütüphaneler oluşturulmasına imkan sağlar. Tasarım programları arasında kullanılan CAD programlarına örnek olarak AutoCAD, DesignCAD, SolidWorks ve Inventor verilebilir.

2.2.3 Üretim Yazılımları

Bilgisayar Destekli Üretim (CAM), bir CAD yazılımında tasarlanmış olan parçaların takım yollarının oluşturulmasında ve bu oluşturulan takım yollarının G kodlarına dönüştürerek CNC tezgahlara iletilme sürecinde kullanılan bir programdır. Üretim yazılımları içerisinde kullanılan CAM programları arasında MasterCAM, SurfCAM, EdgeCAM ve MillCAM en yaygın olarak kullanılan programlar arasında yerini almıştır.

2.2.4 Hareket Kontrolörü (G Kodu Yorumlayıcı)

G kodları paralel bağlantı noktasından gönderilen hareket sinyallerinin bir bilgisayar yardımıyla, ara yüz yazılımlarının geliştirilmesiyle CNC tezgahlarında kullanılabilir. Endüstriyel CNC tezgahlarında kullanılan ara yüz programları G kodlarını seri haberleşme bağlantısı üzerinden yazı şeklinde alınır ve üretilen bu hareket sinyalleri, bir mikroişlemci yardımıyla G kodlarına dönüştürülür [3].

2.3 Masaüstü CNC Freze Tezgahların Özellikleri

CNC freze tezgahları diğer tezgahlara göre operasyon çeşitliliği bakımından en çok işlem kabiliyetine sahip olan tezgahlardır. Bu tür tezgahlar en az üç olmak üzere, dört, beş hatta daha fazla eksenle işlem yapabilme özelliklerine sahiptirler. Bu tezgahların bütün

çeşitleri sürekli iz kontrol (Continuous Path Control) ile donatılmıştır. Kesici takımlarını otomatik (Automatic Tool Change) değiştirme özelliğine sahiptirler.

Klasik tezgahlarda olduğu gibi CNC freze tezgahlarında da en ağır parça iş parçasının sabitlendiği kısımdır. Tabla malzemesi olarak piyasada, dökme demir yaygın olarak kullanılmaktadır. Çelik ve ya alüminyum da en yaygın kullanılanlara örnek verilebilir [18].



Şekil 2.1 Tabla hareketli masaüstü CNC freze [19]

CNC freze tezgahlarında, kesici takımları hareket ettiren ve iş parçasından talaş kaldıran dönme hareketini üreten yüksek frekanslı motora spindle (iş mili) motor denir. İş mili motoru, dönme hızını ve yönünü belirten komutu bilgisayarlı kontrol ünitesinden alır. Şekil 2.1’ de tabla hareketli masaüstü CNC freze görülmektedir [18].

Masaüstü CNC freze tezgahlar; endüstriyel CNC freze tezgahlar ile benzer özellikte çalışır. Bu tezgahlarda diğer CNC tezgahlar gibi sayı, simge ve rakamlar (M ve G kodları)’ dan aldığı komutlar yardımı ile otomatik işleme yapabilen tezgahlardır.

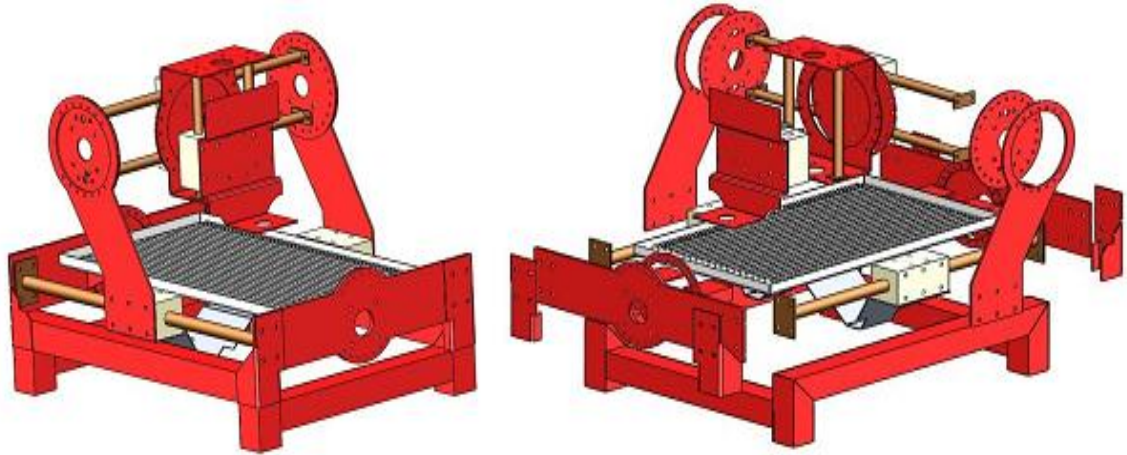
CNC tezgahlarında parça işlemenin ilk şartı; işlenecek parça ya da parçadaki kısmın öncelikle çizilmesi veya modellenmesi gerekir. Üç boyutlu model veya iki boyutlu çizim CAM programına bildirilerek işleme parametreleri girilir. CAM programında G-M kodları çıkarılıp CNC makinesine yüklenir. Şekil 2.2’ de M ve G kodlarının CNC arayüz programına yüklenme süreci gösterilmiştir [19].



Şekil 2.2 Bilgisayar destekli M ve G kodlarının çıkartılacak CNC ara yüz programına yüklenme süreci [19]

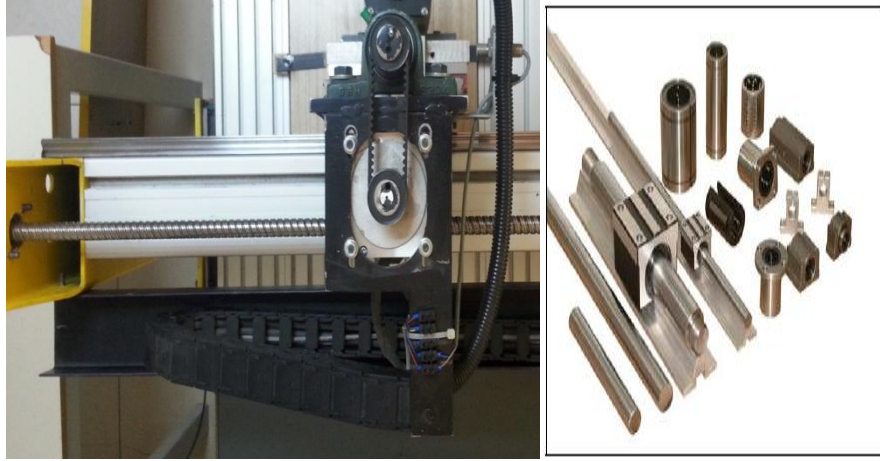
2.4 Freze Tezgahın Mekanik Kısımları

Tezgah gövdesi sistemin hareket elemanlarının montajının yapıldığı bölümdür. Mekanik sistem; gövde, vidalı mil ve tahrik elemanları, lineer kızak, hareket elemanlarını tahrik eden step (adım) motorları ve iş milini gerçekleştiren spindle motordan oluşmaktadır [11].



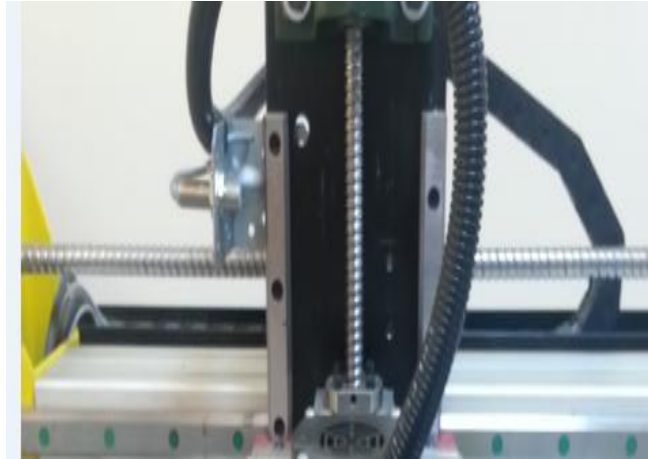
Şekil 2.3 Freze tezgah gövdesi [11]

Lineer kızaklar, tabla ve eksenlerin doğrusal bir şekilde yataklanmalarını gerçekleştiren parçalardır. Genellikle CNC tezgahlarda lineer bilyeli kızak ve mil sistemleri veya lineer bilyeli araba ray sistemleri kullanılır. Şekil 2.3' de freze tezgah gövdesinin şekli görülmektedir [20].



Şekil 2.4 Sistemde kullanılan lineer kızak örneği [20]

Vidalı mil ve somunlar, yataklanmış olan kızaklarla birlikte diğer eksenlerin hareket etmesini sağlayan parçalardır. Tasarlanmış olan CNC yapısına göre vidalı mil, ya triger kayışı ya da kremayer sistemlerinden herhangi birini kullanma olanağı sağlar. Sistemde kullanılan lineer kızaklar Şekil 2.4’ de görülmektedir.



Şekil 2.5 Bilyalı vidalı mil ve somun

Tezgahlarda yüksek kararlılık ve hassasiyet için vidalı millerin başı ve sonu çok iyi bir şekilde yataklanır. Yataklanmalar vidalı milin dönerken salınım yapmasını engeller. Yataklar sürtünmeden dolayı aşınmaması için periyodik olarak yağlanır. Vidalı milin sabit yataklama yapılan tarafında daha fazla rulman yataklanması vardır. Vidalı mil başı yatak sadece döner harekete izin verir. Yatak rulmanı vidalı milin yatak içi eksenel ileri geri hareketine izin vermez. Vidalı milin çalışma sırasında ısınıp genişlemesinin sebebi ile mil sonu yatak, rulmanın yatak içi bu hareketine izin verir. Şekil 2.5’ de bilyalı vidalı mil ve somun, Şekil 2.6’ da ise rulman görülmektedir [18].

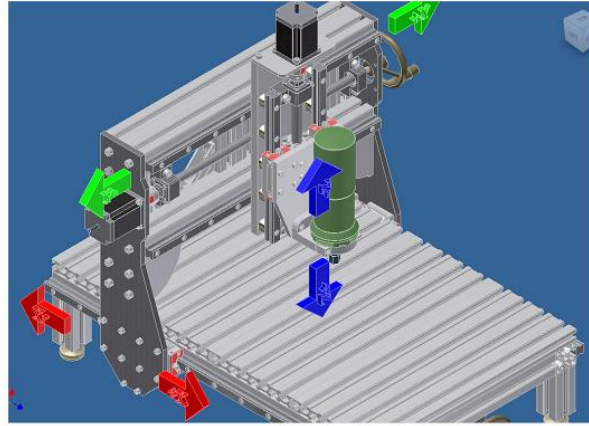


Şekil 2.6 Rulman

2.5 CNC Tezgah Eksenleri

Koordinat sistemi ile uzaydaki herhangi bir referans noktasının yerini belirlemek mümkün olabilir. Bunun için birbirine dik eksenlerden faydalanılır.

CNC takım tezgahlarında Kartezyen koordinat sistemi kullanılır. Bu sistemde eksenler büyük X, Y, Z harfleriyle gösterilir. Takım tezgahlarında eksenler enine, boyuna ve dik harekete göre sınıflandırılır.



Şekil 2.7 Makine eksenleri [18]

Şekil 2,7' de, kırmızı oklarla boyuna hareketi X eksenini, yeşil oklarla gösterilen enine hareketi Y eksenini, mavi oklarla gösterilen dikine hareket ise Z eksenini tanımlanmaktadır. Bunun yanı sıra eksen üzerindeki hareketi de tanımlamak gerekir. Hareket yönü, belirlediğimiz tezgah noktasının referans olarak belirttiğimiz noktadır. Herhangi bir hareket sırasında eksen yönlerimiz $+X -X$, $+Y -Y$ ve $+Z -Z$ şeklinde standartlaşmıştır [18,21].

2.6 CNC Frezede Programlama

2.6.1 CNC Programlama Yapısı

Bir makine elemanlarındaki parçaların hedefe yönelik bir şekilde işlenebilmesi için gerekli bilgileri tam olarak içeren komutlara program denir. Bu işlem genellikle bilgisayar yardımıyla tezgahın kontrol ünitesine gönderilir. Program, yan yana yazılan harf, rakam, matematiksel işleç ve noktalama işlemlerinden oluşmaktadır.

Endüstride farklı şekillerde programlama prensipleri kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak; FANUC, SIEMENS, BOSCH, MAZATROL, OKUMA, MITSUBISHI gibi programlar verilebilir. Örnek verilen bu programlar arasında temel bazı farklılıklar olabilir. Ancak CNC' nin temel programlama mantığı, genel itibarıyla birbiriyle aynı özellik gösterir [22].

2.6.2 Programlamada Kullanılan Teknolojik Bilgiler (F, S)

F- İlerleme Hızı Kodu: Pozisyonda hızlı ilerleme sırasında (G00) satırında F kodu kullanılmaz. G01 doğrusal ve dairesel hareketler de istenilen ilerleme hızı F koduyla verilir. Verilen değer mm/dak veya mm/dev şeklinde ifade edilir.

Örneğin, ilerlemenin 100 mm/dak olması isteniyorsa, programda F100 şeklinde gösterilir [22].

S-Kesme Hızı/ Devir Sayısı Kodu:

Sabit kesme hızını ya da iş mili devir sayısını gösterir. 5 basamağa kadar değer verilebilir. S fonksiyonu yalnız başına değil, mutlaka M03 veya M04 kodlarıyla birlikte verilmelidir.

Örneğin, iş milinin 1000 dev/dak hızla dönmesini istenilirse S1000 şeklinde yazılır. Buna ilave olarak dönüş yönünün belirlenmesi gerekir. Bunlar aynı satırda olmak zorundadır. Yani,

S1000 M03 iş milinin saat ibresi yönünde ve 1000 dev/dak ile dönebileceğini gösterir.

S1000 M04 iş milinin saat ibresi tersi yönünde ve 1000 dev/dak ile dönebileceğini gösterir [22].

2.7 CNC Tezgahlarda Kullanılan G ve M Kodları

CNC programlamada kullanılan bu kodlar makineye yaptırılmak istenen işlemin makine tarafından tanınması için kullanılan bir programlama dilidir. G kodlarının temel görevi makineye yapılması gereken işi makinenin yapması için ona yol gösterir. G kodlama dili endüstride en fazla FANUC marka kontrol üniteli CNC tezgahlar da kendisine yer bulmuştur [3].

G kodları temel olarak bir hazırlık fonksiyonudur. Bu kodlar kesicinin doğrusal hareketini ya da dairesel hareketini, çevrim uygulamalarını, çalışma düzenini ve ölçü birimi seçimini bekleme süresini vb. kapsar [3].

Tüm kontrol uygulamalarında aynı anlama gelen G kodları olduğu gibi veya farklı anlamlara sahip olan G kodları ile birlikte G kod boş alanları da vardır. Örneğin; CNC tezgahları torna, freze, delme işlemlerini de yapabilen işleme merkezleri, tel erozyon, taşlama tezgahı şeklinde yapılabilir. Kontrol sisteminin tezgahın amacına uygun olarak tasarlanmış olması arzu edilen bir durumdur. Bu bakımdan torna ve freze tezgahı için bir hazırlık fonksiyonu olarak tanımlanan G kodları farklı anlamlar taşıyabilir. Tablo 1’ de en çok kullanılan G kodları verilmiştir [3].

Tablo 1: G kod ve fonksiyonları [3]

G KODU	FONKSİYONLARI
G00	Pozisyona hızlı hareket
G01	Doğrusal kesme
G02	Saat yönünde dairesel kesme
G03	Saat tersi yönünde dairesel kesme
G17	XY düzlemi
G18	ZX düzlemi
G20	İnç programlama
G21	Metrik programlama
G27	Referans noktasına dönüş kontrolü
G28	Referans noktasına gönderme
G29	Referans noktasına dönüş

G30	2.3. ve 4. referans noktasına gönderme
G31	Atlama fonksiyonu
G40	Takım yarıçap telafisi
G41	Sol Takım yarıçap terapisi
G42	Sağ Takım yarıçap terapisi
G49	Takım boy telafi iptali
G52	Koordinat sistemi kaydırma
G53	Makine koordinat sistemini seçme
G54	1. İş parçası sıfırı seçme
G55	2. İş parçası sıfırı seçme
G56	3. İş parçası sıfırı seçme
G57	4. İş parçası sıfırı seçme
G58	5. İş parçası sıfırı seçme
G59	6. İş parçası sıfırı seçme
G68	Koordinat sistemi çevirme
G69	Koordinat sistemi çevirme iptali
G80	Çevrim iptali
G90	Mutlak sistem
G91	Artımsal sistem
G92	İş parçası sıfırı değiştirme
G94	İlerleme mm/dk.
G95	İlerleme mm/dev.
G98	Çevrim sonrası Z noktasına dönme
G99	Çevrim sonrası R emniyet noktasına dönme

2.8 M Kodları (Yardımcı Fonksiyonlar)

Kod şeklinde olan başka bir fonksiyon türü de M kodudur. M kodu CNC tezgah sistemlerinin çalışmasını kontrol eder. M kodu, G kodundan farklı olarak daha çok aç/kapa (on/off) şeklinde işlemini gerçekleştirir. Örneğin iş milinin dönmesi ya da durması; kesme sıvısının açması veya kapanması programın sonlanması gibi farklı örnekler verilebilir.

Bu kodlar makinenin çalışmasında ve yardımcı komutların uygulanmasında kullanılır. Tablo 2’ de en çok kullanılan M kodları verilmiştir [3].

Tablo 2: M kodları ve fonksiyonları [3]

M KODLARI	FONKSİYONLARI
M00	Program Durdurma
M01	İsteğe bağlı olarak program durdurma
M02	Program sonu
M03	Saat yönünde fener mili çevirme
M04	Saatın tersi yönünde fener mili çevirme
M05	Fener mili durdurma
M06	Takım değiştirme
M08	Soğutma sıvısı açma
M09	Soğutma sıvısı kapatma
M10	Z eksen kilitlemeyi kaldırma
M11	Z eksen kitleme
M12	Döner tabla pnömatik sıkma
M13	Döner tabla pnömatik sıkma iptali
M16	Takım içinden soğutma sıvısı verme
M17	Takım içinden soğutma sıvısı kapatma
M19	Fener mili pozisyonlandırma
M29	Rijit kılavuz çekme

M30	Program sonu başa dön
M32	Programlanabilir hava üfleme açma
M33	Programlanabilir hava üfleme kapatma
M70	Ayna görüntüsü iptali
M71	X ekseninde ayna görüntüsü
M72	Y ekseninde ayna görüntüsü
M74	4. ayna görüntüsü
M98	Yardımcı program çağırma
M99	Yardımcı program sonu

2.9 Bir Program Satırında Yazılması Gereken Değerler ve Anlamları

CNC programları bir mantık sırası izlenerek satır, satır yazılır. CNC satırlarına blok da denir. Komutları tanımlamada kullanılan harflere adres denir. Bu programlamada en çok kullanılan adresler aşağıda verilmiştir [23].

N G F S T M X Y Z

N = Satır numarası

G = Hazırlayıcı fonksiyon (kesici, takım yolu)

F = Kesici ilerleme hızı (mm/dk)

S = Kesme hızı

T = Takım fonksiyonu

M = Yardımcı fonksiyonu

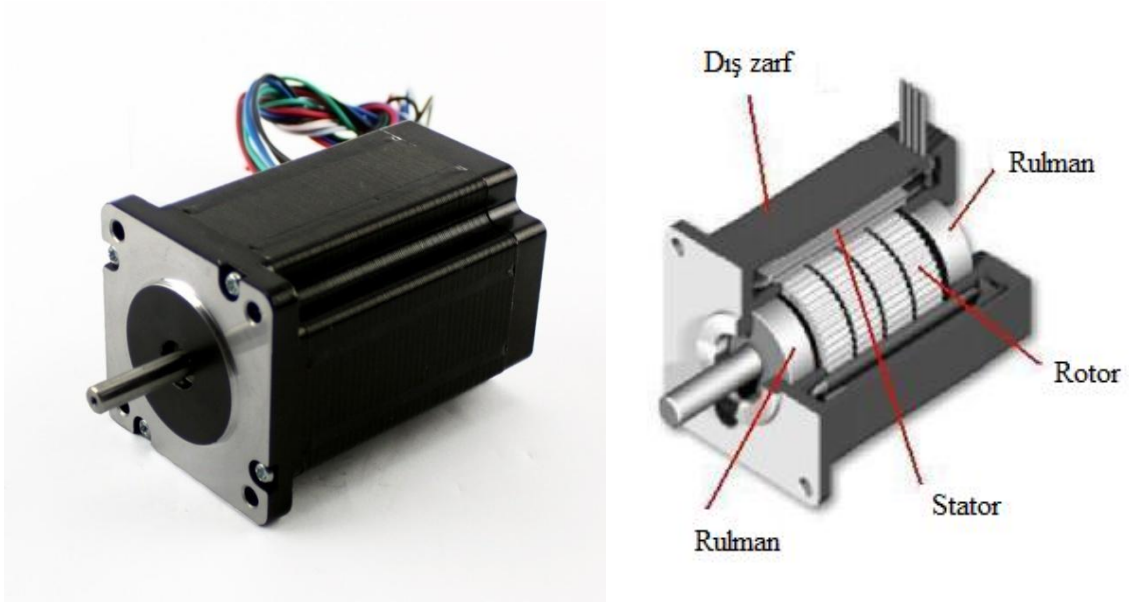
X = Gidilecek noktanın (X) ordinat değeri

Y = Gidilecek noktanın (Y) ordinat değeri

Z = Gidilecek noktanın (Z) ordinat değeri

3 ADIM MOTORLARI

Adım motorları, hareket ve konumun hassas bir şekilde kontrol edilmesi arzu edilen uygulamalarda kullanılan özel tip motorlardır. Endüstride kullanılan adım motorları, Şekil 3.1’ de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Adım motorları [24]

Adından da anlaşılacağı gibi, belli bir adıma göre dönme hareketini gerçekleştirirler. Bu adımlar, motor sargılarından herhangi birisine uygulanan darbe gerilimiyle kontrol edilebilirler. Motorun tasarımına göre adım motoru 90° , 45° , 18° veya daha küçük açı adımlarıyla dönebilirler. Adım motorlarının darbe oranlarını değiştirsek, motorun bir adımlık hareketini çok yavaşlatabileceğimiz gibi, 5000 d/dk ya kadar da yükseltme imkanımız vardır. Adım motorları saat ibresi yönünde (SİY) veya saat ibresi tersi yönünde (SİTY) dönebilirler.

Adım motorunun davranışı motoru süren güç kaynağına bağlıdır. Güç kaynağından elde edilecek darbeler bilgisayar ya da mikroişlemciler ile kontrol edilebilirler. Darbe işlemleri saat yönünde ise (+), saat yönünün tersinde ise (-) olarak işlem görürler. Sonuç olarak her zaman adım sayıları bilinmektedir. Adım sayıları kesin olarak bilindiği için devir sayıları da tam olarak bilinmektedir [25].

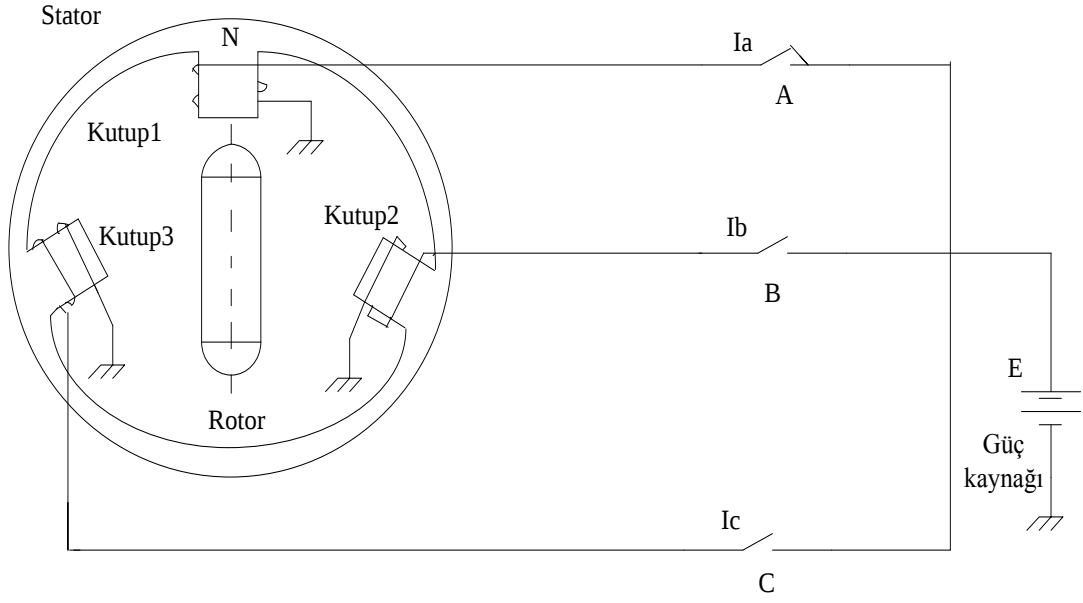
Adım motorlarında mevcut olan bazı özellikler aşağıda verilmiştir;

- 1) Fırçasız olmaları: Adım motorlarında fırçalar mevcut değildir. Genellikle elektrik motorlarında bulunan fırça ve komütatör elemanlarının bulunması elektriksel arka sebep olmaktadır. Bu da motorun çalıştığı ortama bağlı olarak çevrede tehlike riskini arttırmaktadır.
- 2) Yükten bağımsız olmaları: Adım motorunda bulunan yük momenti anma momentini geçmediği sürece yer değiştirme hareketi yükten bağımsız olacaktır.
- 3) Açık çevrimle konum almaları: Adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Motor momenti müsaade edilen sınırlamalar içerisinde hareket etmesi durumunda, anlık olarak motor milinin konumu, bir geri besleme kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymayacaktır.
- 4) Tutma momentinin bulunması: Adım motorları, motor milinin sabit bir şekilde konum alma özelliğine imkan tanıyabilmektedir.
- 5) Kontrol cevabının iyi olması: Adım motorları yol alabilmesi, durabilmesi ve ters yönde dönebilmesine karşı çok iyi cevap vermektedir [13].

3.1 Adım Motorunun Çalışma Prensibi

Çok basit bir adım motoru Şekil 3.1’ de gösterilmiştir. Adım motorunun statoru, sac nüve üzerine sarılmış olan bobin gruplarından oluşmuştur, rotoru ise doğal mıknatıs veya ferromanyetik malzemelerden yapılmıştır. Adım motorlarının hareketini sağlayan en temel özellik stator ve rotor kutuplarının birbirinden farklı olmasıdır.

Şekil 3.2’ deki devre şeması üzerinde adım motorunun çalışma prensibini incelemek, bizim için anlaşılma yönünden daha kolay ve daha verimli olacaktır. İlk durumda anahtarların hepsi açık olduğunu varsayarsak rotor herhangi bir konumu almış olabilir. Ancak A anahtarı kapatıldığı zaman, kutup 1 tarafından üretilen manyetik akı rotoru çekecektir. A anahtarı açılır açılmaz B anahtarı kapatılırsa rotor kutup 2 ile aynı eksene gelecektir. Aynı işlem tekrar uygulanırsa yani B anahtarı açılır C anahtarı kapatıldığı zaman rotor kutup 3 eksenine doğru hareket edecektir. Böylelikle rotor 60° lik açılarla dönme hareketini gerçekleştirecektir. Anahtarlar sürekli olarak A B C şeklinde açılıp kapatılmaya devam edilirse rotor saat yönünün tersinde dönme hareketini gerçekleştirecektir. Rotoru saat yönünde dönme hareketini gerçekleştirilmek istenilirse anahtarların açma kapama sırasını A C B şeklinde değiştirilmesi gerekir [25-26].



Şekil 3.2 Basit bir adım motorunun tasarım şekli [25]

Adım motorlarının adım açısı (θ_s); stator kutup sayısı (N_s) ve rotor kutup sayısı (N_r) kullanılarak hesaplanır [11]:

$$\theta_s = \frac{N_s - N_r}{N_s N_r} 360^\circ \text{ (derece)} \quad (3.1.1)$$

Rotorun bir devrindeki yapması gereken adım sayısı (S):

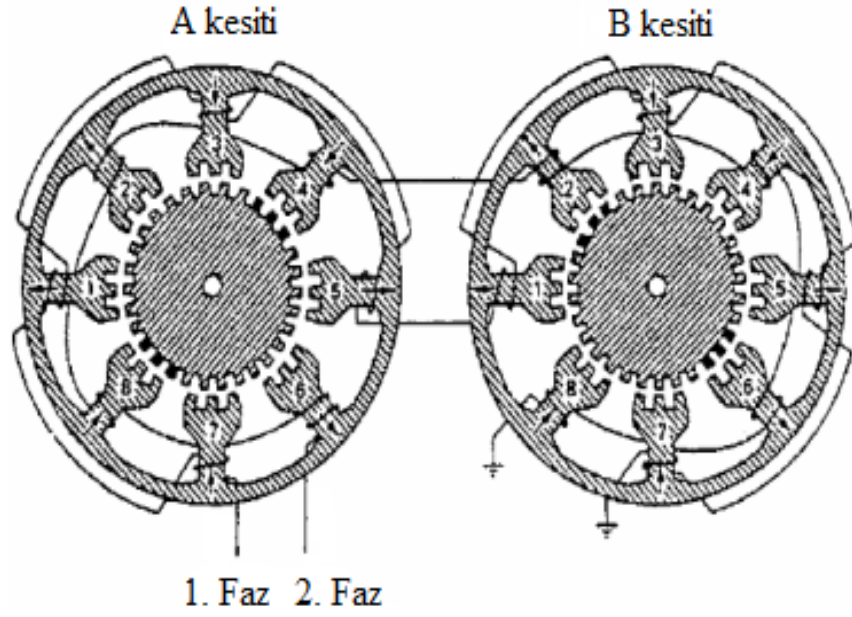
$$S = \frac{360^\circ}{\theta_s} \quad (3.1.2)$$

Rotorun hızı (n):

$$n = \frac{60f}{S} \text{ (d/dk)} \quad (3.1.3)$$

3.2 Adım Motorlarının Genel Yapısı

Adım motorlarının statorunda birçok kutup bulunmaktadır. Bu kutupların polaritesi elektronik anahtarlar yardımıyla değiştirilmektedir. Anahtarlama yapıldığı zaman statorun güney (S) ve kuzey (N) kutupları döndürülmektedir. Rotorda bulunan mıknatıs, sürekli bir mıknatıs ya da dış uyartım metotlarıyla oluşturulabilir. Bu nedenle sürekli mıknatısın etkisi görülmektedir. Adımların hareket etmesiyle birlikte stator alanı döner ve rotorda aynı şekilde benzer adımlarla statoru takip eder. Seçiciliğin daha iyi olması istenilirse rotor ve stator üzerine küçük dişler yapılmalıdır. Şekil 3.3' de tipik bir adım motorunun yapısı verilmiştir [27].



Şekil 3.3 Tipik adım motorların yapısı [27]

Adım motorların avantajları;

- Sürücüleri basit ve ucuzdur.
- En önemli avantajlarından bir tanesi, girişine uygulanan darbelere karşı istenilen konumlara gidebilir ve geri beslemesiz olarak uygulamalarda kullanılabilir.
- Geri besleme uygulanmadan, girişine uygulanan darbeler arasındaki süre ayarlanarak hız kontrolü yapılabilir.
- Bilgisayar ya da mikroişlemciler yardımıyla çok basit bir sürücü devresiyle sürülebilme imkanlarına sahiptirler.
- Mekanik yapıları basittir. Sürtünmeyle ilgili herhangi bir problemle karşılaşmadıkları için bakım gerektirmezler.

Dezavantajları olarak;

- Hareketleri sürekli değildir, adım adımdır. Titreşime sebep olabilirler.
- Çok yüksek hızlarda adım kaçırabilirler ve açık çevrim olarak kullanıldıklarından dolayı hataya neden olabilirler [26].

3.3 Adım Motor Çeşitleri

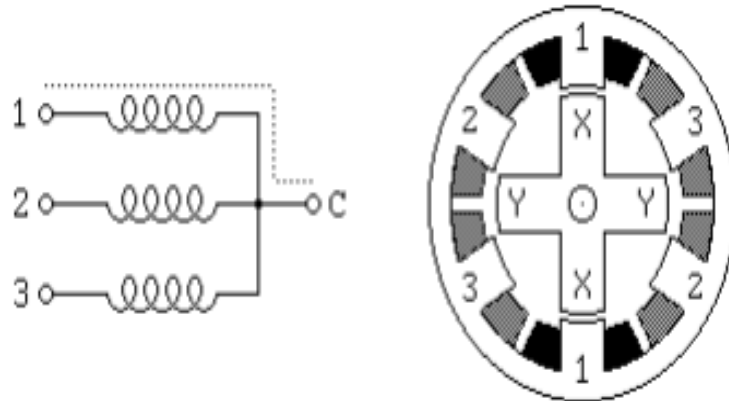
Adım motorlarının üç farklı çeşidi vardır. Bunlardan aşağıda bahsedilmiştir [25].

- 1) Değişken relüktanslı adım motorları (VR)
- 2) Kalıcı (sabit) mıknatıslı adım motorları (PM)
- 3) Hibrid (karışık) yapılı adım motorları

3.3.1 Değişken Relüktanslı Adım Motorları

Değişken relüktanslı adım motorlarının sabit mıknatıslı adım motorlarından ayıran en önemli farkı çekirdek yapıya sahip olmasıdır. Değişken relüktanslı adım motorunun statoru bir yığın çelik levhadan inşa edilmiş bir manyetik çekirdeğe sahiptir.

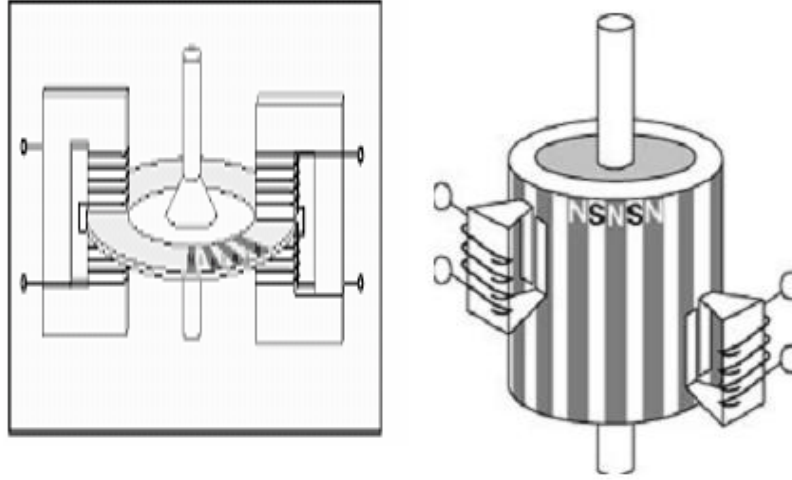
Şekil 3.4' de değişken relüktanslı bir adım motorunun statorundaki üç faz sargısının kesiti gösterilmiştir. Şekil 3.4' de görüldüğü gibi motorun rotorunda dört diş ve statorunda ise altı kutup bulunmaktadır. Bu motorun statorunda bulunan her bir sargı karşısında bulunan sargı üzerine sarılmıştır. X ile belirtilen rotor dişleri, 1 numaralı faz sargısını enejiendirdiğimiz takdirde birinci sargıya doğru yönelirler. Rotor dişlerinin birinci sargıya çekilmesinin temel sebebi stator ve rotor etrafında meydana gelen manyetik akıdır. 1 no' lu sargının enerjisi kapatılıp 2 no' lu sargının enerjisini açık tutulursa motor saat yönünde hareket etmeye başlayacaktır. Sonuç olarak, y ile belirtilen rotor dişleri 2 no' lu sargıya doğru hareketini gerçekleştirecektir. Y ile belirtilen rotor dişleri 2 no' lu sargının tam karşısına geldiği zaman motor saat yönünde 30° bir açısal mesafe kat edecektir. Bu hareketin saat yönünde sürekliliğini sağlamak istiyorsak, stator etrafında bulunan sargıların enerjileri sıralı bir şekilde açılıp kapatılması gerekmektedir [13,28].



Şekil 3.4 Değişken relüktanslı adım motoru [28]

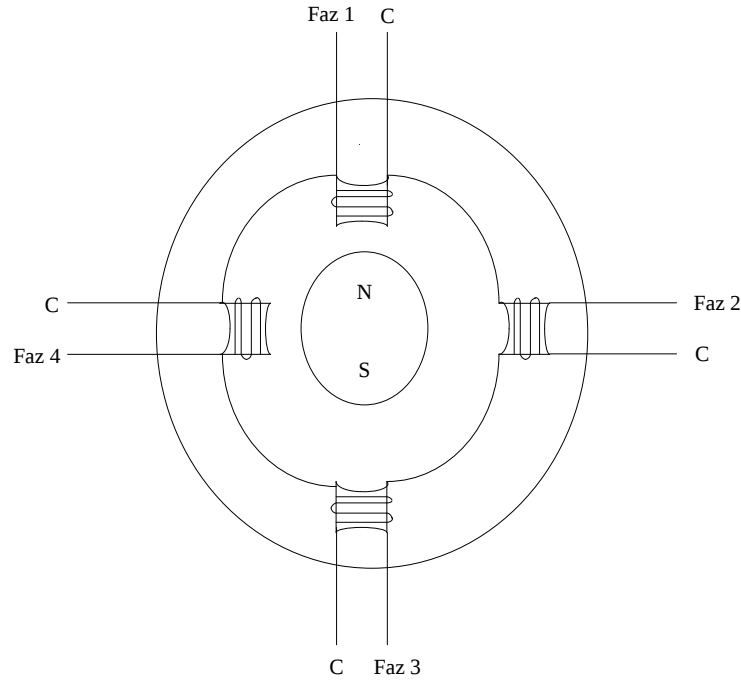
3.3.2 Kalıcı Mıknatıslı Adım Motorları

Bu tip motorlar değişken relüktanslı motorlara benzemektedir. Stator yapıları, değişken relüktanslı adım motorlarının stator yapılarıyla aynı özelliğe sahiptirler. Ancak, bu tip motorların rotorları N ve S olmak üzere kalıcı mıknatıslı kutuplara sahiptirler. Şekil 3.5’ de kalıcı mıknatıslı adım motorlarının şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.5 Kalıcı mıknatıslı adım motorları [29]

Basit bir dört fazlı sabit mıknatıslı bir adım motoru örneği Şekil 3.6’ da gösterilmiştir. İki kutuplu sabit mıknatıslı rotor dört kutuplu stator içinde döner. Şekilde C ile belirtilen terminal, her bir fazın birer uçlarını birbirine bağlanarak güç kaynağının pozitif ucuna bağlanılan ortak uçtur. Fazlar sırasıyla (1,2,3,4) uyarıldığı zaman rotor saat yönünde dönme hareketini gerçekleştirecektir. Bu motorun adım açısının 90° olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Küçük boyutlu kalıcı mıknatıslı rotorda kutup sayısı oluşturmanın bir sınırı olduğu için bu tip motorların adım aralığı 30-90 derece aralığındadır [17,25,29].

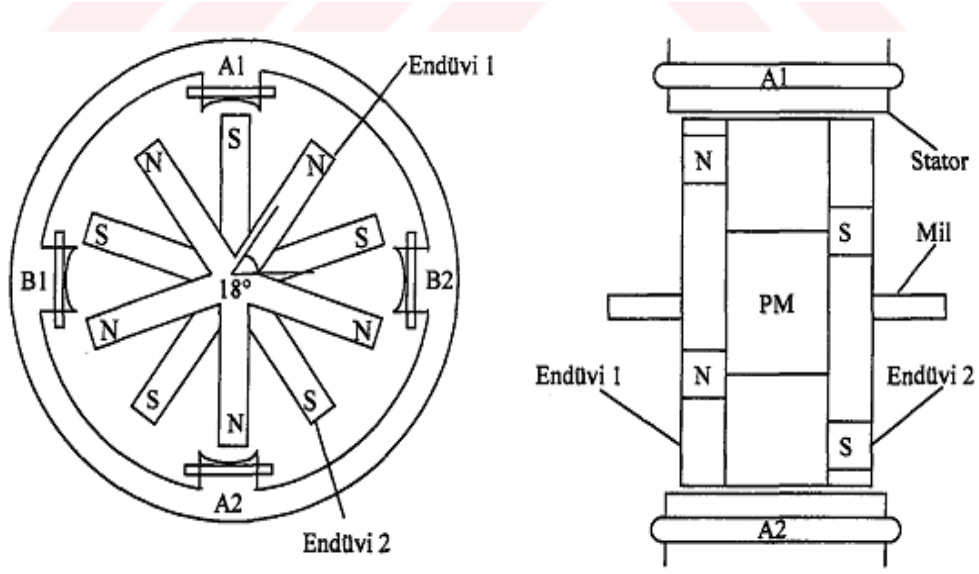


Şekil 3.6 Dört fazlı kalıcı mıknatıslı adım motoru [29]

3.3.3 Hibrid Yapılı Adım Motorları

Hibrid adım motorları, hem kalıcı mıknatıslı adım motorlarının hem de değişken relüktanslı adım motorlarının özelliğini taşımaktadır. Bu motor çeşidine hibrid denmesinin temel sebebi budur. Bu tip motorlar aynı mil üzerine monte edilmiş birbirine benzer özellik gösteren iki yumuşak demir endüviye sahiptir. Şekil 3.7’ de, endüvilerin her biri beş kutba sahip olup, dört kutuplu stator tarafından sürülmektedir. Ayrıca, iki endüvi arasına sandviç şeklinde yerleştirilmesi yine Şekil 3.7’ de gösterilmiştir. Kalıcı mıknatıslar, manyetik akıyı kendilerine dik ekseninde üretirler. Sonuç olarak endüvi 1 üstündeki tüm kutuplar N kutbu ile, endüvi 2 üstünde bulunan tüm kutuplar ise S kutbuyla yüklenmektedir. Şekil 3.7 (a) da gösterilen statorun A1 ve A2 aynı zamanda B1 ve B2 sargıları birbirlerine seri bağlanmışlardır [13].

Hibrid adım motorunun rotoru, aynı şekilde değişken relüktanslı adım motorundaki gibi çok dişli bir yapıya sahiptir. Ayrıca, hibrid adım motorunda bulunan rotor milinin çevresinde aksenal yol boyunca sabit mıknatıs bulunmaktadır [13,26].



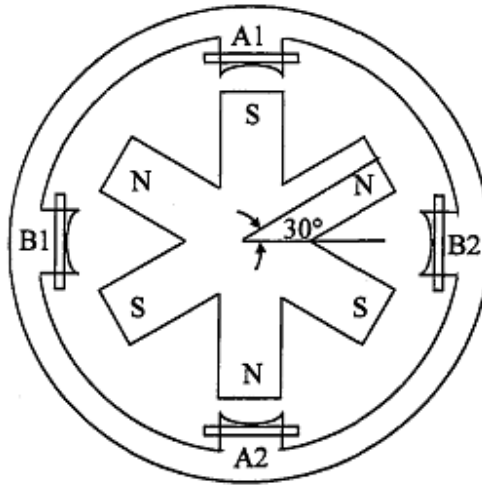
Şekil 3.7 Statoru dört kutuplu ve rotoru beş kutuplu olan hibrid adım motorunun kutup görünüşü ve sabit mıknatısın armatürlere yerleştirilmesi [13]

3.4 Adım Motoru Sargıları

Adım motorlarında iki farklı sargı çeşidi vardır. Bunlar bipolar (çift kutuplu) ve unipolar (tek kutuplu) sargılardır.

3.4.1 Bipolar Sargılar

Şekil 3.8’ de gösterilen dört kutuplu bir statorda iki kutuplu sargı tipi A1-A2 ve B1-B2 sargılarından oluşmuştur. A sargısındaki I_a akımı periyodik olarak ters çevrilir. Yani işaret değiştirir. Aynı durum B sargısından akan I_b akımı içinde geçerlidir.

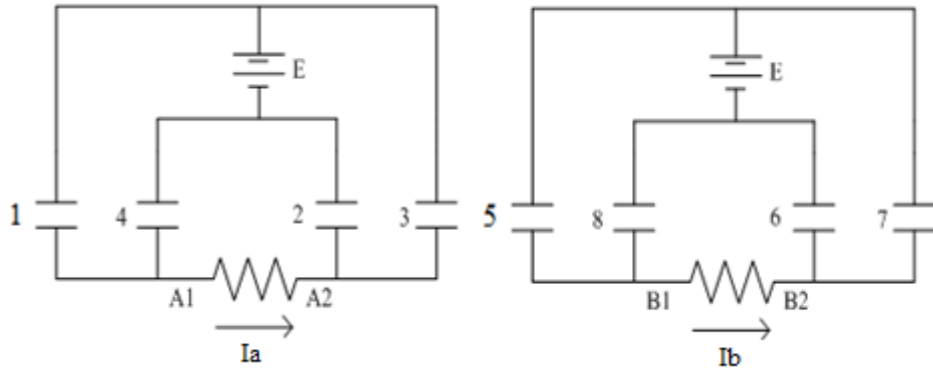


Şekil 3.8 30° lik adımlarla hareket eden bir adım motoru [13]

Sargıların uyarılması ortak bir DC kaynak tarafından gerçekleştirilir. Bu tip motorlarda ortak uç bulunmadığı için her bobin grubuna 1 veya 0 mantığından oluşan ‘on-off’ pulse uygun bir şekilde doğrudan verilir. Sargılar üç şekilde uyarılır. Bunlar;

- Dalga sürücü
- Normal sürücü
- Yarım dalga sürücü

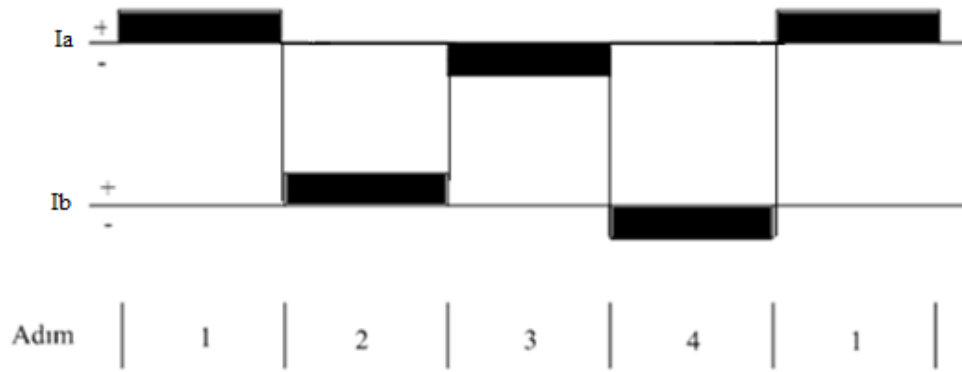
Dalga sürücüde, bobinlerin yalnızca belirli bir grubu uyarılırlar. Saat yönünde hareket ettirmek için Tablo 3’ de anahtarlama sırası gösterilmiştir. Akımlar tarafından yani I_a ve I_b üretilen manyetik akının her adımda 90° olduğunu, Şekil 3.10’ da verilmektedir. Şekil 3.9’ da stator sargı bağlantı şekli gösterilmiştir [4,13,25].



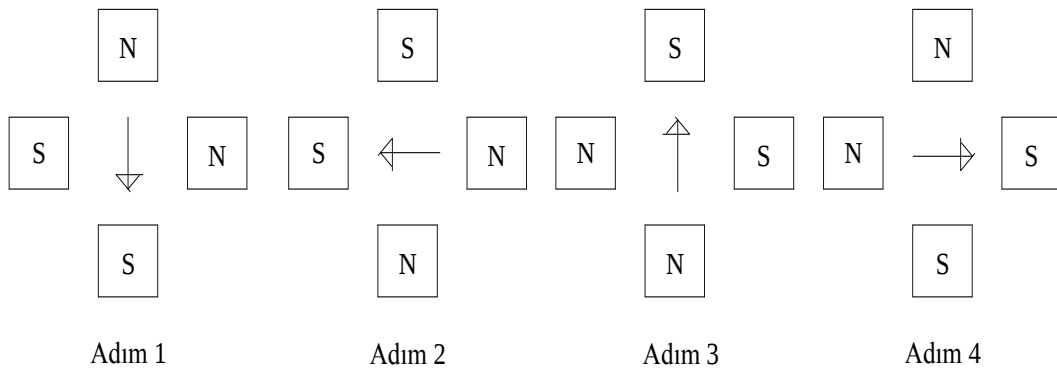
Şekil 3.9 Stator sargı bağlantı şekli [4]

Tablo 3 Dalga sürücüye uygulanan anahtarlama sırası [25]

Adım		1	2	3	4	1
1	2	0	1	1	1	0
3	4	1	1	0	1	1
5	6	1	0	1	1	1
7	8	1	1	1	0	1



(a) Dalga sürücü için akım darbeleri [25]



(b) Akımlara bağlı bir şekilde her adımdaki manyetik akının pozisyonu

Şekil 3.10 Dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu [25]

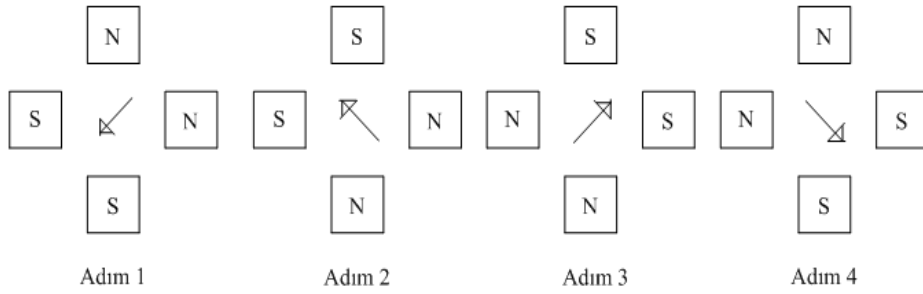
Normal sürücüde ise, her iki bobin grubu aynı anda uyarılabilme imkanı sağlar. Saat yönünde hareket için anahtarlama sırası Tablo 4’ de verilmiştir. Manyetik akının her bir adımında benzer şekilde 90° dönme hareketi gerçekleştirir. Ancak kutuplar arası dönme hareketini gerçekleştirdiği net bir şekilde görülmüştür [4,25].

Tablo 4 Normal sürücüye uygulanan anahtarlama sırası [25]

Adım		1	2	3	4	1
1	2	0	1	1	0	0
3	4	1	0	0	1	1
5	6	0	0	1	1	0
7	8	1	1	0	0	1



(a) Normal sürücü akım darbeleri



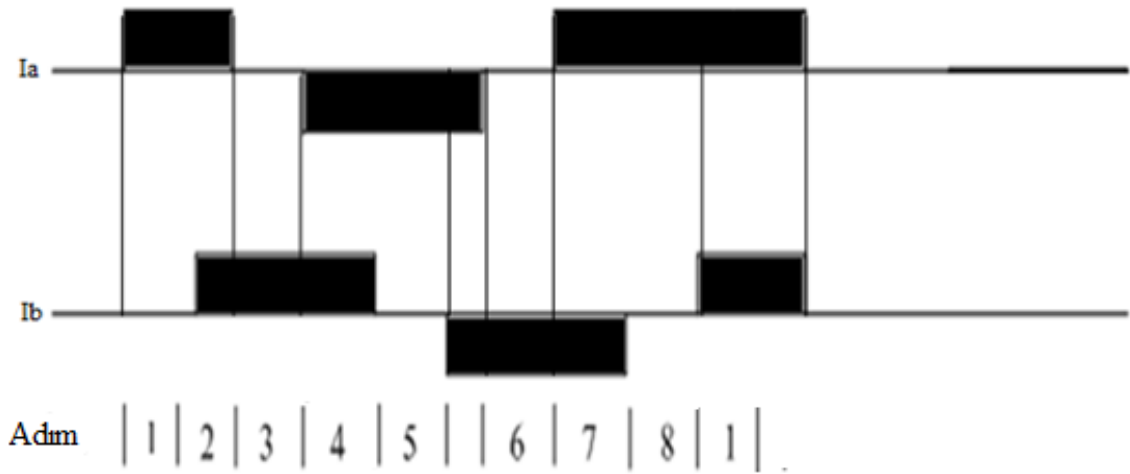
(b) Akımlara bağlı olarak her adımdaki manyetik akının pozisyonu

Şekil 3.11 Dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu [25]

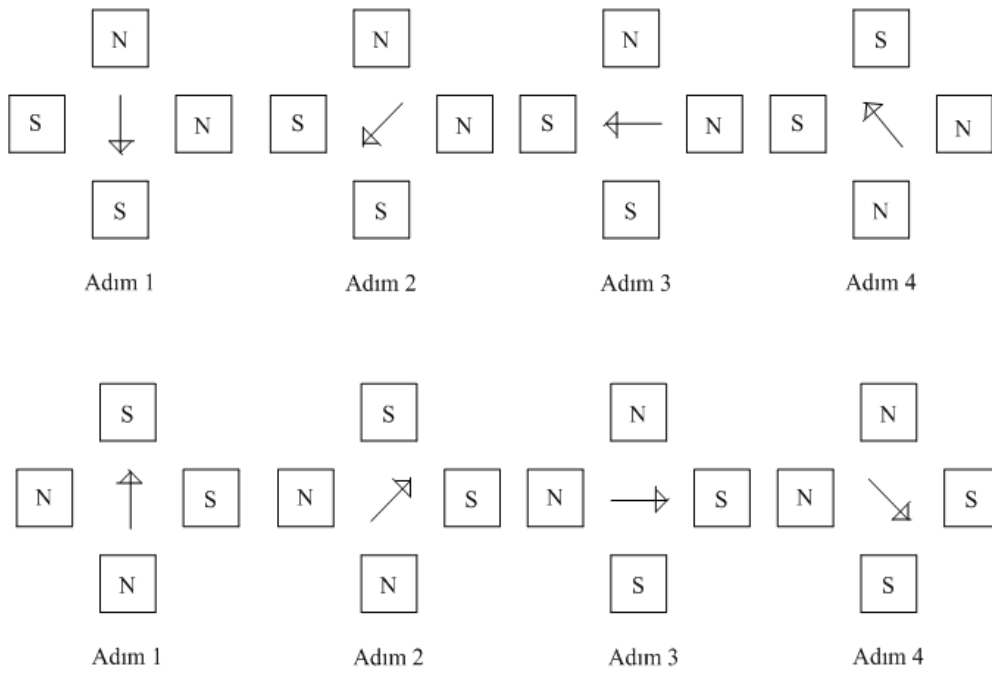
Yarım dalga sürücüsü, dalga sürücü ve normal sürücünün birleşiminden oluşur. Saat yönündeki hareketi için anahtarlama sırası Tablo 5’ de açıkça gösterilmiştir. Şekil 3.12 (a)’ da Ia ve Ib akımlarının dalga şekilleri gösterilmiştir. Manyetik akının değişimi ise Şekil 3.12 (b)’ de gösterilmiştir. Aynı zamanda manyetik akının değişiminin saat yönünde 45° adımlarla hareket ettiği açıkça Şekil 3.12 (b)’ de görülmüştür.

Tablo 5 Yarım dalga sürücüye uygulanan anahtarlama sırası [25]

Adım	1	2	3	4	5	6	7	8	1
1 2	0	0	1	1	1	1	1	0	0
3 4	1	1	1	0	0	0	1	1	1
5 6	1	0	0	0	1	1	1	1	1
7 8	1	1	1	1	1	0	0	0	1



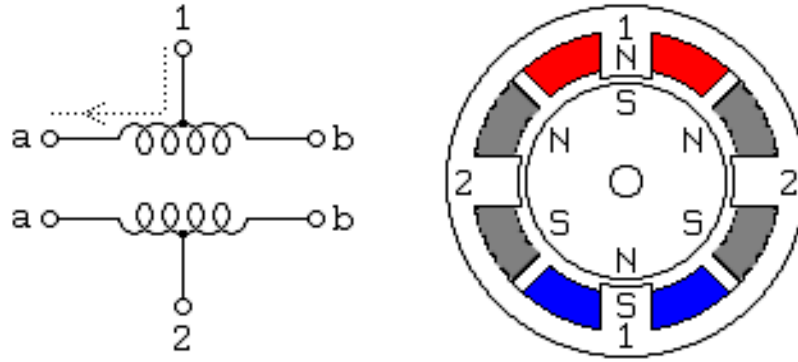
a)Yarım dalga akım pulsleri



b) Akımlara bağılı olarak her adımdaki manyetik akının pozisyonu

Şekil 3.12 Yarım dalga sürücüsü için akım pulsleri ve manyetik akının pozisyonu [25]

3.4.2 Unipolar Sargılar



Şekil 3.13 Tek kutuplu adım motorunun sargı yapısı [30]

Unipolar adım motorlarının merkezinde her biri orta uçlu olmak üzere iki faz sargısı bulunur. Bu sargıların merkezi üzerinde pozitif gerilimli bir sargı yapısı mevcuttur. Oysa bu alan yönüne zıt olarak her bir sargının iki ucunun da topraklanması gerekmektedir. Bu motor 30° lik adım aralıklarıyla hareket etmektedir.

Şekil 3.13' de adım açısı 30° olan bir unipolar adım motorunun bir kesiti şekil üzerinde gösterilmiştir. 1 no' lu sargı, yarı bobini statorun üst kısmına sarılmıştır, diğer yarı bobini ise sağ stator kutbu üzerine sarılmıştır. 2 no' lu sargıda ise yarı bobin sol stator kutbu üzerine ve diğer yarı bobini sağ stator kutbu üzerine sarılmıştır. Bu adım motorunun rotorunda altı adet sabit kutbu bulunmaktadır [25,30,31].

Tablo 6 Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun her an için bir sargının yarı bobininin enerjilendirilmesi şartıyla bir tur hareketinde uygulanacak kontrol sinyalinin uygulanma sırası

Sargı 1a	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
Sargı 1b	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
Sargı 2a	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
Sargı 2b	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1

Zaman $\dashrightarrow$

Tablo 6 ve Tablo 7 de, adım motorunun saat yönünde bir tur hareketi için 12 adım veya bir tur hareket ettirecektir.

Tablo 7 Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun her an için iki sargının yarı bobini enerjilendirilmesi şartıyla bir tur hareketinde uygulanacak kontrol sinyalinin uygulanma sırası

Sargı 1a	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0
Sargı 1b	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
Sargı 2a	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0
Sargı 2b	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1

Zaman ---->

Yukarıda verilen iki durum bir araya getirilerek motorun yarım adımlarla hareketini gerçekleştirilebilir. Bu durumda motor saat yönünde bir tur attığında 12 adım değil, 24 adımlık bir hareket yapmış olacaktır.

Tablo 8 Adım açısı 30° olan unipolar adım motorunun iki enerjilendirme durumu bir araya getirildiğinde, yarım adımlar ile bir turluk hareketi için uygulanması gereken kontrol sinyali [25,30,31]

Sargı1a	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
Sargı1b	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
Sargı2a	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
Sargı2b	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0

Zaman ---->

3.5 Adım Motor Sürücüleri

Bir adım motorunun çalışabilmesi için fazlarına uygulanacak pulslerin belli bir mantığa göre uygulanmalıdır. Aynı zamanda gönderilecek pulslerin sırasına da dikkat edilmelidir. Fazlara uygulanacak pulsler bir kontrol devresi tarafından üretilmektedir. Kontrol devresi, lojik yapılardan ve programlanabilen entegre devrelerden elde edilir.

3.5.2 Çift Kutuplu Sürme

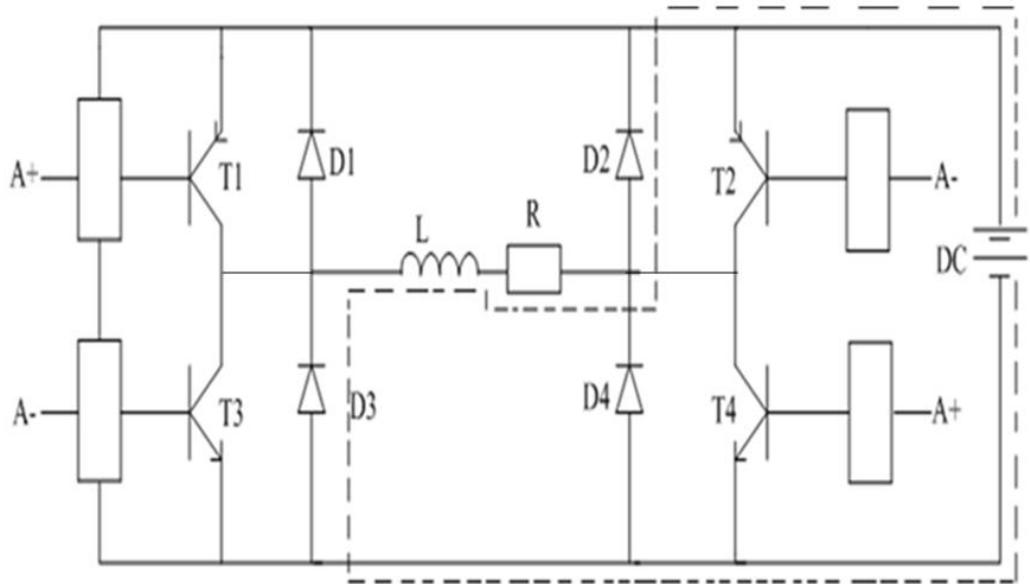
Hibrid veya sabit mıknatıslı adım motorlarının sürülmesinde kullanılan devrenin bir fazı için gerekli donanımı Şekil 3.15’ de gösterilmiştir.

Şekil 3.15’ de gösterilen, R direncinin görevi zaman sabitini küçültmektir. Bu devrede kullanılan dört transistör akımın yönünü değiştirmek için kullanılır. Aynı anda transistörlerin yalnız ikisi doyum bölgesinde çalışmaktadır. Eğer akımın yönünü değiştirmek istersek, kesimde olan transistörleri doyuma doyumda olan transistörleri ise kesim moduna geçirmemiz gerekir.

Aynı zamanda, çift kutuplu sürmede söndürme akımı tek kutupluya göre daha hızlı akar ve söndürme direnci bağlanmasına ihtiyaç duymaz [4].

Akım kontrol devrelerine göre sınıflandırma yaparsak;

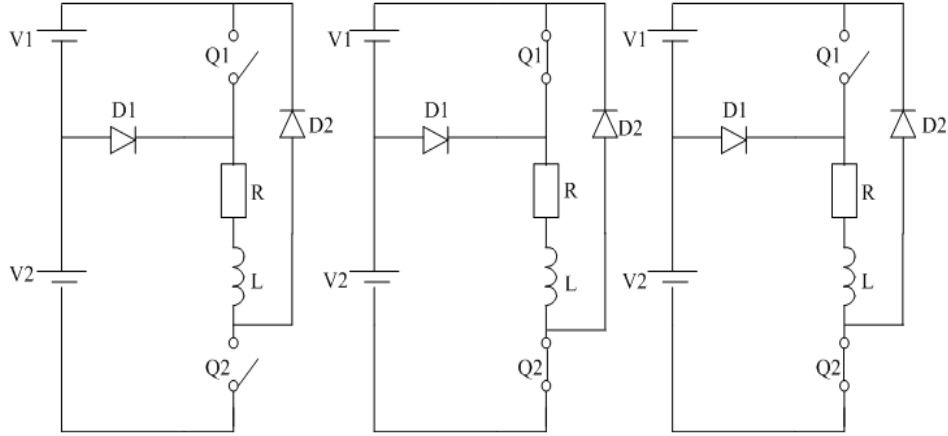
- İki gerilim düzeyli sürme
- L/R sürme
- Kıyıcı sürme



Şekil 3.15 Çift kutuplu sürme devre şeması [4]

3.5.3 İki Gerilim Düzeyli Sürme

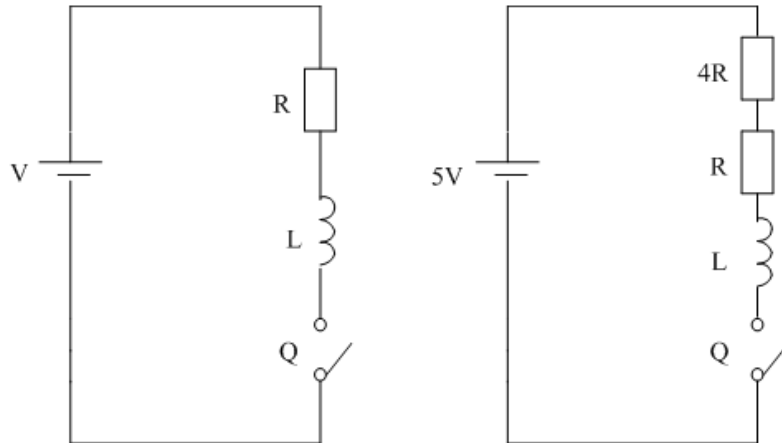
Şekil 3.16' da verilmiş olan; İki gerilim düzeyli sürme devresinde, sargılar nominal gerilim değerinin çok üstünde ($V1 \gg V2$) bir gerilim ($V1+V2$) ile doyuma ulaştırılabilir. Aynı zamanda anahtarlama elemanı (Q1) sayesinde gerilimin değeri ($V2$) nominale ulaşır ve sargı doyumda tutulur.



Şekil 3.16 İki gerilim düzeyli sürücü devre şeması [18]

3.5.4 L/R Sürücü Devresi

Şekil 3.17' deki L/R sürme devresinde, sargı direncinin katları şeklinde bir zorlama direnci eklenerek sargıya uygulanan gerilimi aynı oranda yükseltir. Öte yandan bu direnç sargı bobininin zaman sabitini küçültür. Gerilimin artması ve zaman sabitinin küçülmesi sürücünün performansını artırır. Böylece, yüksek hızlarda yüksek tork elde edilmesine imkan verir [18].

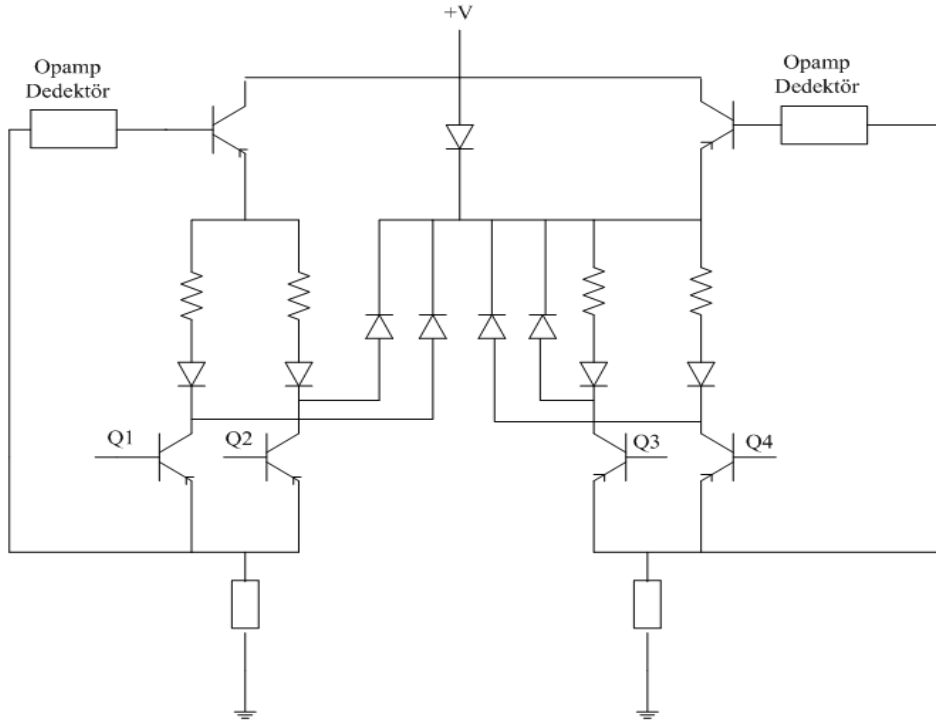


Şekil 3.17 L/R sürücü devre şeması [18]

3.5.5 Kıyıcı Sürme Devresi

Şekil 3.18’ deki kıyıcı sürme devresinde; adım motorunun sargısının ortalama akımını, darbe genişlik ya da frekans modülasyonu kullanılarak kontrol edilebilen bir örnek sürücü devredir. Bu devrede yüksek gerilim anahtarlayan transistör akım sezici devre tarafından kontrol edilebilmektedir. En basit kontrol şekli, istenilen akım değerine ulaşıldığı zaman transistörlerin kesime girmesi ve akımın azaldığı anda ise transistörlerin iletme girmesidir. Bu sonuçla arzu edilen ortalama akım değeri elde edilebilir. Bu kıyıcının frekansını değiştirmek istiyorsak, sargı endüktansı ve zıt emk’sını değiştirmemiz gerekir.

Kıyıcıda meydana gelecek önemli gelişmelerden bir tanesi, gerilim kaynağında olabilecek herhangi bir değişme veya sargı direncinin değişmesi iyileştirilebilir [4].



Şekil 3.18 Kıyıcı sürücü devre şeması [4]

3.6 Hibrit Adım Motorunun Matematiksel Denklemleri

Hibrid adım motorunun matematiksel denklemleri aşağıda verilmiştir [33]:

$$U_a = R \cdot \dot{I}_a + L \frac{d\dot{I}_a}{dt} - \omega \cdot K_m \cdot \sin(N\theta) \quad (3.6.1)$$

$$T_e = K_m (\dot{I}_b \cdot \cos(N\theta) - \dot{I}_a \cdot \sin(N\theta)) \quad (3.6.2)$$

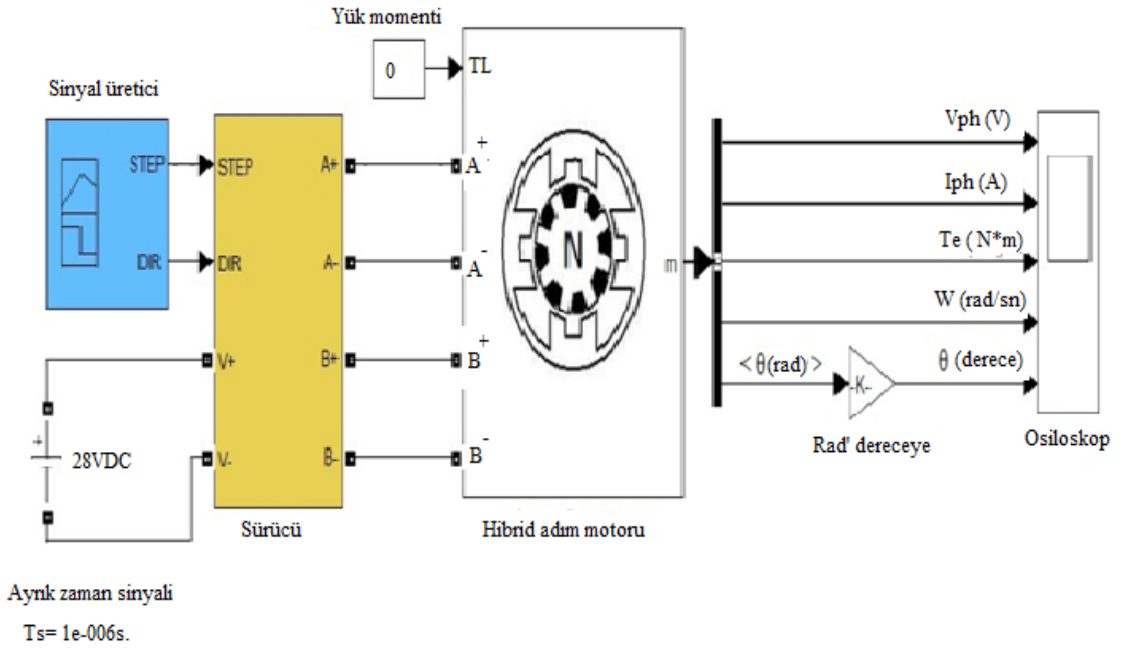
$$J \cdot \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L - B_m \cdot \omega \quad (3.6.3)$$

$$N = \frac{360}{2 \cdot P \cdot \theta_s} \quad (3.6.4)$$

Yukarıda verilen denklemlerde; R: Faz sargısının direnci, L: Faz sargısının indüktansı, K_m : Tork sabiti, J: Eylemsizlik momenti, B_m : Sürtünme katsayısı, θ_s : Mekanik adım açısı derecesi, P: Fazların numarası, N: Rotor üzerindeki diş sayısı, T_e : Elektromanyetik tork, T_L : Yük torku, U_a : A fazının gerilimi, I_a : A fazının akımı, I_b : B fazının akımını, ω : Açısal frekansı ve θ ise konumu ifade eder.

3.7 Adım Motorunun Matlab Simulasyonu

Şekil 3.19’ da iki fazlı hibrid adım motorunun modeli görülmektedir. Motor fazlarından her biri 28 V’ luk bir DC gerilim kaynağına bağlanmış olup iki H köprü mosfet yapısı ise, PWM (Pulse With Modulation) dönüştürücüler tarafından beslenir. Motor faz akımları kendi referansları ile ölçülen akımları karşılaştırır, öte yandan iki tabanlı mosfet sürücü sinyalleri ise histerisiz kontrolörler tarafından kontrol edilebilir. Kare dalga akım referansları, mevcut genlik ve adım frekansı parametreleri tarafından üretilir. Adım sürücünün hareketi girişe uygulanan STEP ve dışarıdan alınan DIR (Direction Input Reference) sinyalleri tarafından kontrolü gerçekleştirilebilir [34].

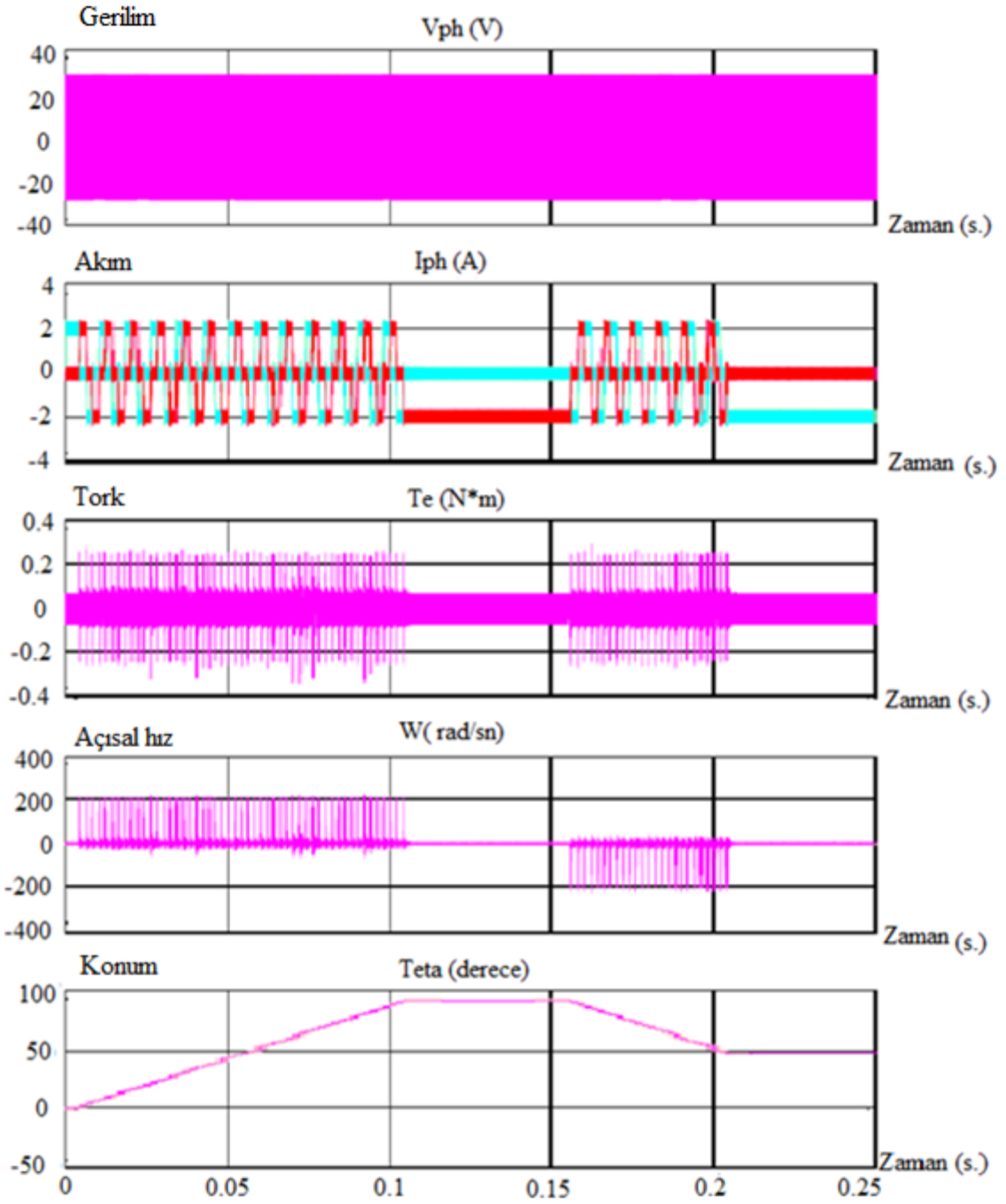


Şekil 3.19 İki fazlı bir hibrid adım motorunun modeli [34]

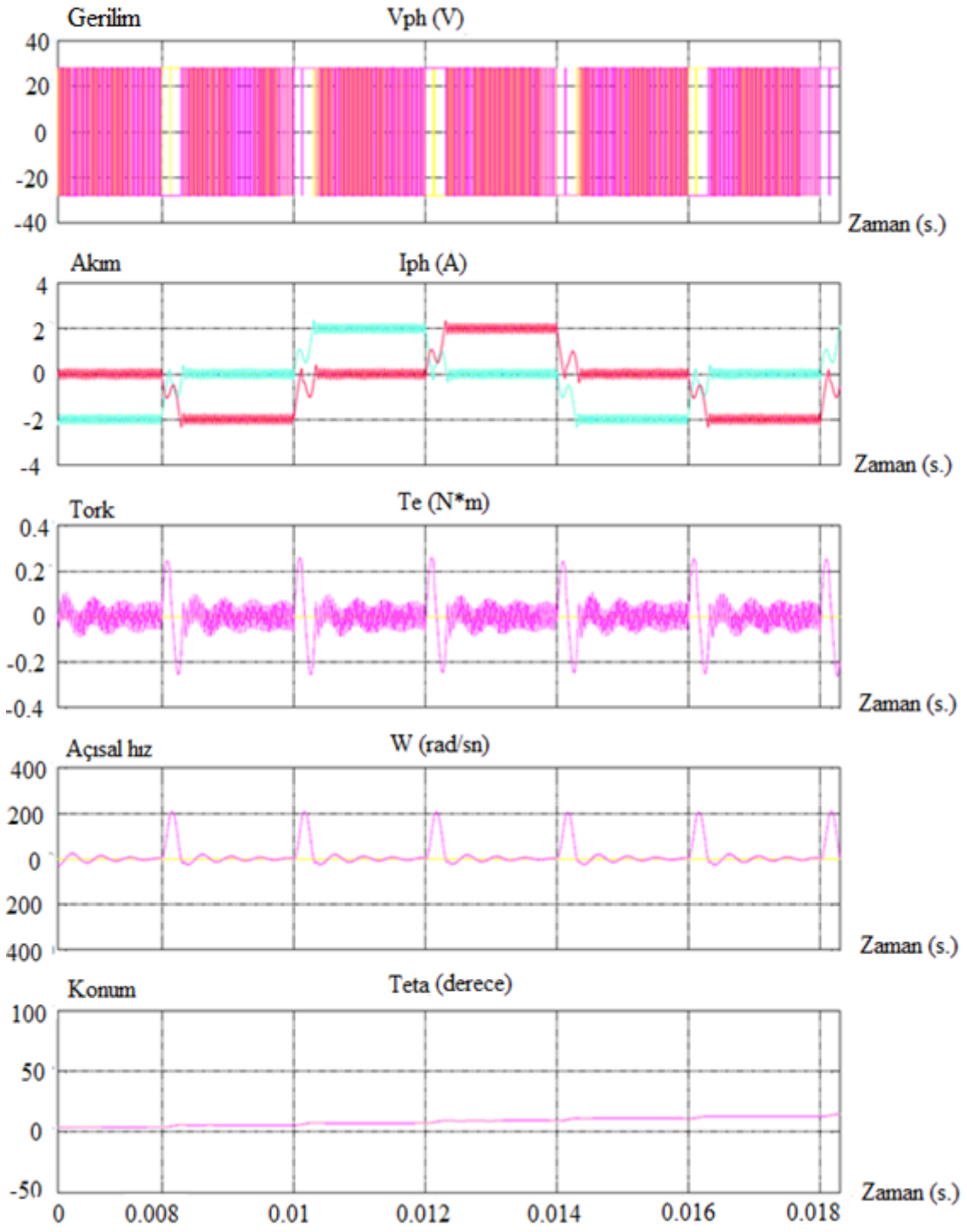
Tablo 9 Hibrid adım motoruna girilen parametre değerleri [34]

Motor çeşidi	Hibrit adım motoru
Faz sayısı	2
Sargı indüktansı (mH)	1.6
Sargı direnci (ohm)	0.4
Adım açısı (derece)	1.8°
Maksimum akı miktarı (Vs)	0.005
Maksimum dönme momenti (N.m)	0.002
Toplam atalet (kg.m.m)	$1.2e-7$
Toplam sürtünme (kg.m/s)	$1e-7 * 1000$
Başlangıç hızı (rad/sn)	0
Başlangıç konumu (derece)	0
Örnekleme zamanı	-1

3.8 Simulasyon Sonuçları



Şekil 3.20 Adım motorunun matlab simulinkteki simulasyon sonucunun gösterimi [34]



Şekil 3.21 Adım motorunun matlab simulinkteki simulasyon sonucunun ayrıntılı gösterimi

Şekil 3.20 ve 3.21’ de, adım motorunun gerilim, akım, moment, açısal hız ve konum bilgileri simulasyon sonucunda elde edilen dalga şekillerinden açıkça görülmüştür. Bu adım motoru, 0.1 saniye pozitif yönde hareketini sürdürecektir. Daha sonra 0.05 sn. ters yönde hareket ettikten sonra durur. Adım motorunun 0.25 sn. çalışma periyodunda nasıl davrandığı simulasyon sonucundan görülmektedir. Buna ek olarak, Şekil 3.21’ de sümulayonun dalga şekli ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir [34].

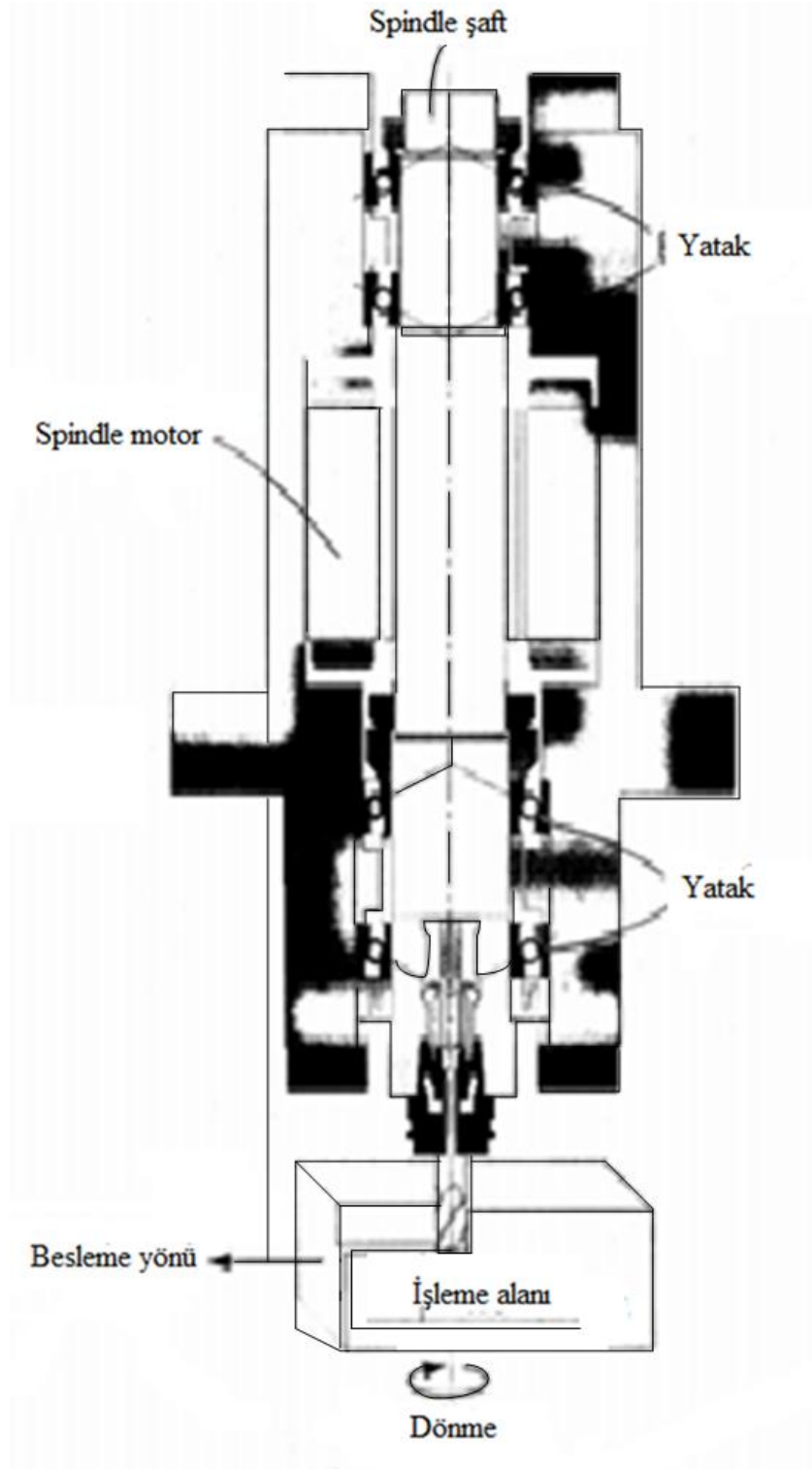
4. SPINDLE MOTOR

Endüstride kullanılan makinelere her geçen gün daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlardan biriside çok yüksek devirlerde hareket edebilen spindle motorlardır. Spindle motor, Şekil 4.1’ de gösterilmiştir. Bu motorlar çok yüksek devirlerde dönme özelliğine sahip oldukları için, özellikle CNC’ lerin işlenmesinde (ağaç, metal, cam, vb.) yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Bu motorlar 8.000 rpm (Revolution Per Minute), 12.000 rpm, 18.000 rpm ve 24.000 rpm gibi çok yüksek devirlerde dönme hareketlerini gerçekleştirme özelliğine sahiptirler [35].

Bu motorlar genel olarak freze tezgahlarda; dönme, delme ve kesme işlemlerini gerçekleştirebilirler. Bu makinenin uç kısmında bulunan mil makinenin en önemli kısımlarından biri olarak düşünülebilir ve spindle motor dönme hareketini gerçekleştirmesiyle beraber bu mil kendi görevini yerine getirir. Şekil 4.2’ de spindle motorun parça üzerindeki işlemini, parçayı nasıl doğrudan etkilediğini ve parça üzerinde nasıl işlenebildiği gösterilmiştir.



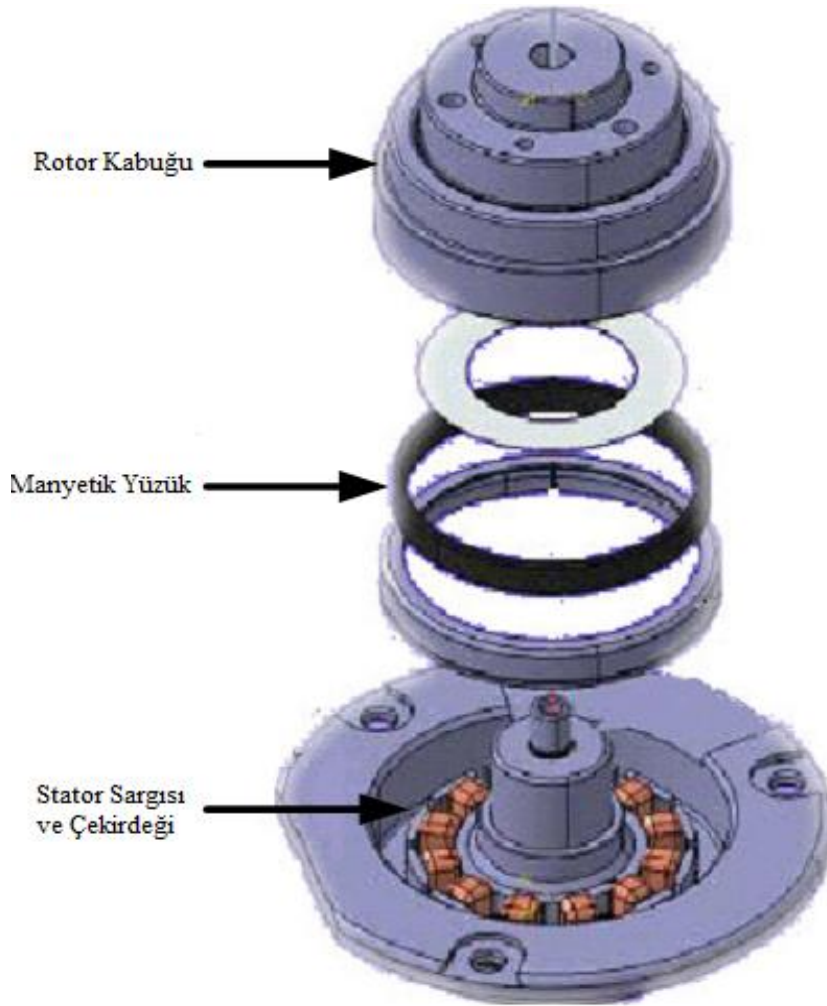
Şekil 4.1 Spindle motor [36]



Şekil 4.2 Tipik bir spindle model gösterimi [37]

4.1 Spindle Motorların Genel Yapısı

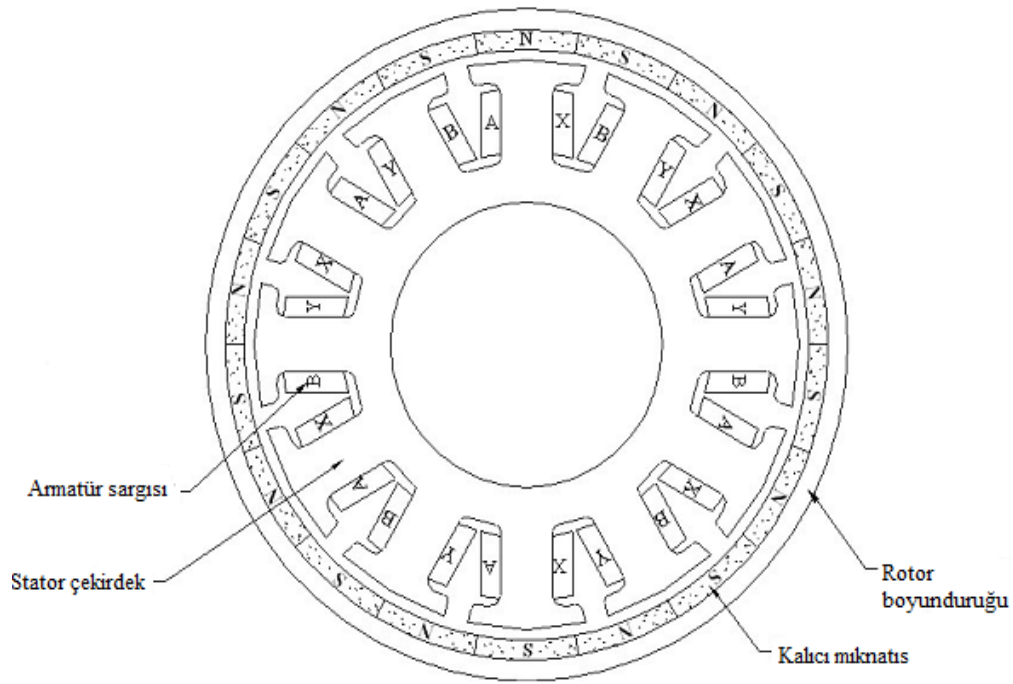
Şekil 4.3' de spindle motorun temel yapısı ve üzerinde bulunan kısımları açık bir şekilde gösterilmiştir. Genellikle spindle motorların armatür sargıları üç fazlı yapıya sahip olup, dış rotor ve yüzeyi ise kalıcı mıknatıstan oluşmaktadır. Bu spindle motorların türleri arasında; sinüzoidal dalgaya yakın EMF (Electromotive Force), küçük indüktans ve zayıf endüvi reaksiyonu şeklinde söylenebilir. Genel olarak spindle motorlar hem hızlı dinamik yanıt hem de yüksek verimlilik ve aynı zamanda istikrarlı bir hız aralığına sahiptirler. Spindle motorlar genellikle sensörsüz BLDC (Brushless Direct Current) modunda sürülürler [38].



Şekil 4.3 Spindle motorun sargı yapısı ve kısımları [38]

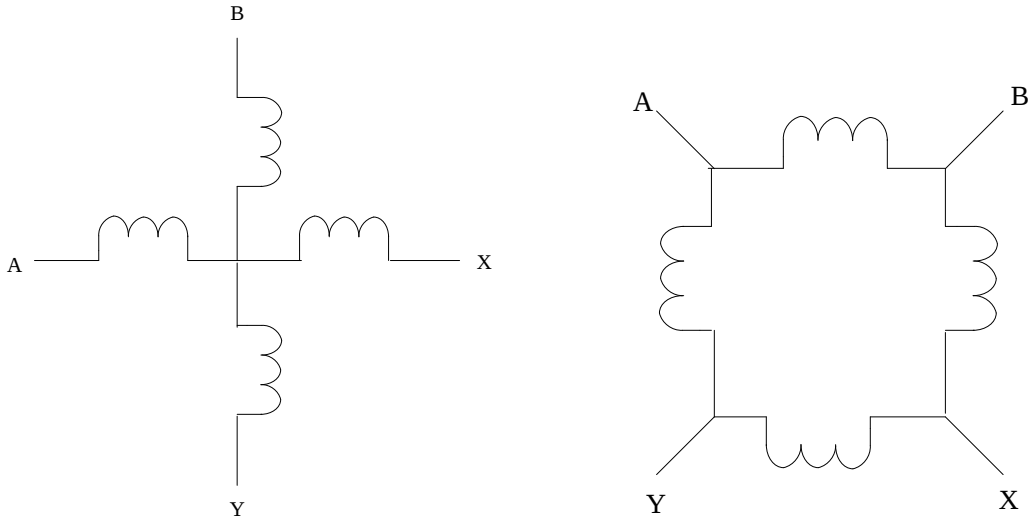
4.1.1 Spindle Motorun İki Faz Sargı Yapıları

Spindle motorların stator sargı yapıları genel olarak üç fazlı sargı yapısına sahiptir. Bu kısımda iki fazlı sargının yapısı hakkında bilgi verilmiştir. İki fazlı sargı yapısı ile üç fazlı sargı yapısını kıyaslama yapacak olursak, genel olarak birbiriyle benzer özellik gösterdiği için iki fazlı sargı yapısından bahsedilmiştir. Şekil 4.4’ de görüldüğü gibi spindle motorun statoru on iki slottan oluşmuştur. Bu iki fazlı motorda bir EM (Electro Magnetic) halka oluşturmak için, dört slottan faydalanılır. Eğer EM alanın temel bileşeninden faydalanacak olursak, bu motorun statorundaki on iki slot ve altı kutupla gerçekleştirebiliriz. Ancak bu iki fazlı spindle motorun stator sargılarında, herhangi bir harmonik oluşmaz. Armatür sargılarında bulunan on iki slot tarafından üretilen EM üç ana harmonik içerir. Böylece bu harmonikler hava aralığı etkili bir manyetik alan oluşturmak için kullanılır. Her bir dört slot üç çift kutup veya altı kutup, on iki slotlu spindle motor için ise dokuz çift kutup veya alanın on sekiz kutbu Şekil 4.4’ de gösterilmiştir [38].



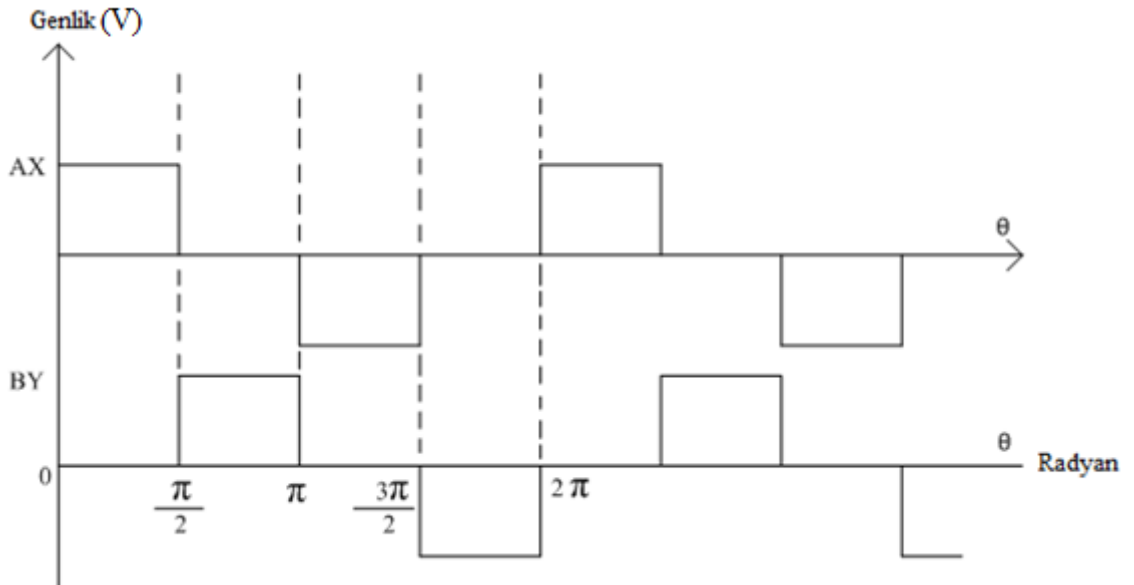
Şekil 4.4 İki fazlı spindle motorun 12-slot/ 18-kutup şeklinin gösterimi [38]

Şekil 4.5’ de iki fazlı spindle motorun çapraz bağlantı ve kare bağlantı şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.5 İki fazlı spindle mortun çapraz bağlantı ve kare bağlantı şekilleri

Her bir faz sargısı iki iletim durumuna sahiptir. Örneğin; faz AX, ve XA iletkene durumuna sahiptir. Böylece iki fazlı spindle motor genellikle dört adım modunda çalışır. Bu fazların sırası AX- BY-XA-YB Şekil 4.6’ da verilmiştir [38].



Sıra	1	2	3	4
Adım	AX	BY	XA	YB

Şekil 4.6 Adım komütasyonunun iletim sırası

4.2 Spindle Motorların İnverter Sürücü Devresi

Spindle motorun inverter sürücü devresi Şekil 4.7' de verilmiştir. Bu inverter sürücü, spindle motorun giriş hızındaki komutları alır ve daha sonra bu motorun çıkışına bir yön verir. İnverter sürücüler, motorun doğru bir şekilde çalışmasını amaçlar. Bu sürücü, motorun hızının ve yönünün yanı sıra çıkış akımını da izler. Bu bilgiyi alır ve motorun sorunsuz çalışması için, çıkışta düzenlemeler yapar [39].



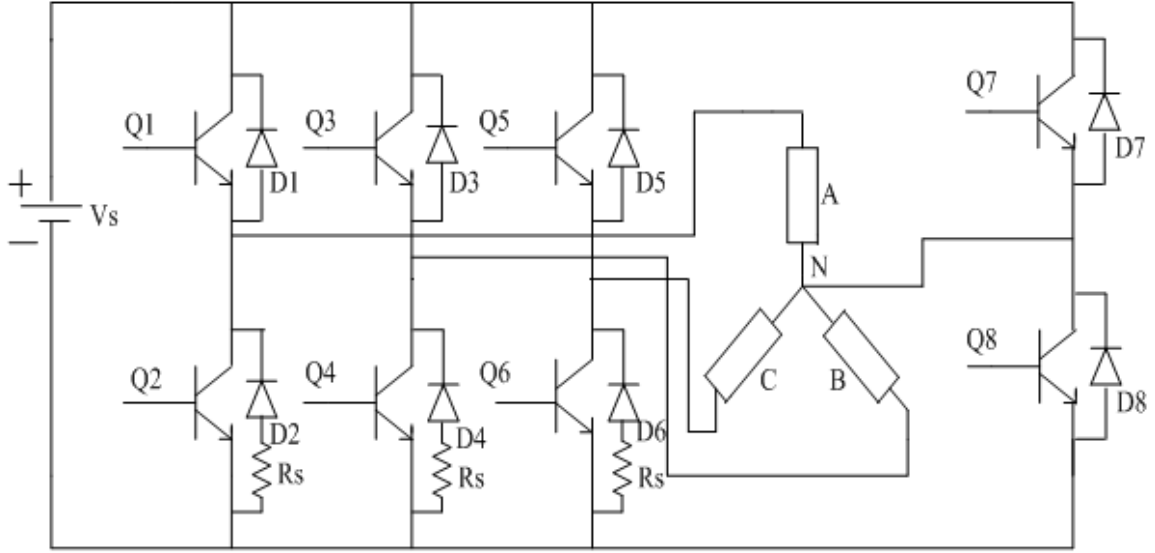
Şekil 4.7 İnverter sürücü devresi [39]

Şekil 4.8' de inverter sürücü devresinin prensip şeması verilmiştir. Bu sürücü devresi çift kutuplu sürücü veya tek kutuplu sürücü modunda çalışabilir. BLDC motorun üç fazı üç bacağına bağlanmıştır, ve nötr noktası dört bacağına bağlanmıştır. Bu devrede sekiz tane transistör ve üç tane direnç mevcuttur. Bu dirençler (R_s), inverterin alt kısmında bulunan her bir anahtar diyot ile birbirine seri bağlıdır.

Çift kutup modlu sürücü çalıştırmak için, Şekil 4.7' de ki inverter devresindeki Q7 ve Q8 anahtarları kesim moduna getirilmelidir. Rotor pozisyonunu 0° - 60° yapılmasıyla, Q1 ve Q4 anahtarları iletime Q5 anahtarı ise kesim moduna geçer. A fazı pozitif yönde iletime girerken B fazı ise negatif yönde iletime girer. Rotor pozisyonunun sonraki aralığında ise, (60° - 120°) Q4 anahtarı kesimde iken Q6 anahtarı iletimdedir. Bu çalışma modu, aşağıdaki denklemlerle ifade edilebilir [40].

$$V_s = R(\dot{I}_a - \dot{I}_b) + L \frac{d}{dt} (\dot{I}_a - \dot{I}_c) + e_a - e_c \quad (4.2.1)$$

$$0 = R(\dot{I}_a - \dot{I}_b) + L \frac{d}{dt} (\dot{I}_a - \dot{I}_b) + e_a - e_b \quad (4.2.2)$$



Şekil 4.8 Üç fazlı inverter sürücü devrenin prensip şeması [40]

Burada R , L her bir faza ait sargı parametreleri, e_a, e_b ve e_c her bir fazın EMF' leri, $\dot{I}_a$, $\dot{I}_b$ ve $\dot{I}_c$ faz akımları ve V_{dc} ise DC gerilim kaynağıdır. Denklem 4.2.2' de $\dot{I}_b = 0$ değeri için, D3 diyotu ileri yönde akım taşıyabilir [40].

4.3 İki Fazlı Spindle Motorun Matematiksel Modeli

İki fazlı spindle motorun performansını değerlendirmek için, matematiksel modeli elde edilmiştir [28].

$$U_k = R_k \cdot i_k + \frac{d}{dt} (\sum_l L_{kl} \cdot i_l) + e_k \quad (4.3.1)$$

Burada $k = 1, 2, \dots, m$; $l = 1, 2, \dots, m$ faz numarasıdır. u_k , k fazının gerilimidir. R_k , k fazının direncidir; i_k , k fazının akımı; L_{kl} , k fazı ile l fazı arasındaki indüktans, e_k ise k fazının EMF' si dir.

İki fazlı spindle motorun faz sargı yapısı kareleme özelliğine sahip olduğu için, bu nedenle iki faz arasındaki indüktansın ortak değeri sıfırdır. Bu ifade aşağıda verilen denklem 4.3.1' de gösterilmiştir [38].

$$u_{AX}(\theta) = R_{AX} \cdot i_{AX}(\theta) + L_{AX} \frac{di_{AX}(\theta)}{dt} + e_{AX}(\theta) \quad (4.3.2)$$

$$u_{BY}(\theta) = R_{BY} \cdot i_{BY}(\theta) + L_{BY} \frac{di_{BY}(\theta)}{dt} + e_{BY}(\theta) \quad (4.3.3)$$

Yukarıda verilen denklemlerde u_{AX} ve u_{BY} faz gerilimleri; i_{AX} ve i_{BY} faz akımları; R_{AX} ve R_{BY} faz dirençleri, L_{AX} ve L_{BY} indüktans değerleri; e_{AX} ve e_{BY} geri EMF' si; θ ise rotorun konumunu ifade eder.

BY fazı, AX fazından 90° gecikmelidir ve bu iki fazlı spindle motorun geri EMF' si sinisoidal bir yapıya sahip olup, faz açısı ve tepe değeriyle ifade edilebilir [28].

$$e_{AX}(\theta) = E_m \cdot \sin\theta = K_E \cdot \omega_m \sin\theta \quad (4.3.4)$$

$$e_{BY}(\theta) = e_{AX}(\theta - \frac{\pi}{2}) = E_m \cdot \sin(\theta - \frac{\pi}{2}) = K_E \cdot \omega_m \cos\theta \quad (4.3.5)$$

Yukarıda verilmiş olan denklem 4.3.4 ve 4.3.5' de, iki fazlı spindle motorun faz açısı $-\frac{\pi}{2}$ olduğu görülmektedir. Faz BY, faz BX ten 90° gecikmeli olduğu denklemlerde görülmektedir. E_m geri- EMF' nin genliğidir ve o rotorun açısal hızı ile orantılıdır. K_E gerilim sabiti ve ω_m rotor hızının mekanik açısidir. Bu hız, rotorun elektriksel açıyla şu şekilde ifade edilebilir [38].

$$\omega_m = \frac{1}{P_p} \frac{d\theta}{dt} \quad (4.3.6)$$

Burada P_p , rotorun çift kutup sayısıdır.

Genel olarak, motorun denklemi :

$$T_{EM}(\theta) = J \frac{d\omega_m}{dt} + T_l \quad (4.3.7)$$

Burada T_{EM} , spindle motor tarafından üretilen EM torkudur. J , sistemin eylemsizliğidir. T_l yük torku, aynı zamanda çekirdek kaybına neden olan torkdur. Motor sabit hızda çalıştığı zaman, T_l değeri sabit bir değer olarak ayarlanılır.

Aynı zamanda elektriksel açısal hızı ω (rpm), aşağıdaki denklemlere göre hesaplayabiliriz [38].

$$\omega = P_p \cdot \omega_m \quad (4.3.8)$$

$$n = \frac{60\omega_m}{2\pi} \quad (4.3.9)$$

Motorun güç denklemi :

$$P_{EM}(\theta) = T_{EM}(\theta) \cdot \omega_m = \sum_{k=1}^m e_k(\theta) \cdot i_k(\theta) \quad (4.3.10)$$

O zaman, denklem 4.3.8 ve denklem 4.3.10, denklemlerinden yola çıkarak EM tork hesabını yapabiliriz.

$$T_{EM}(\theta) = \frac{P_{EM}(\theta)}{\omega_m} \quad (4.3.11)$$

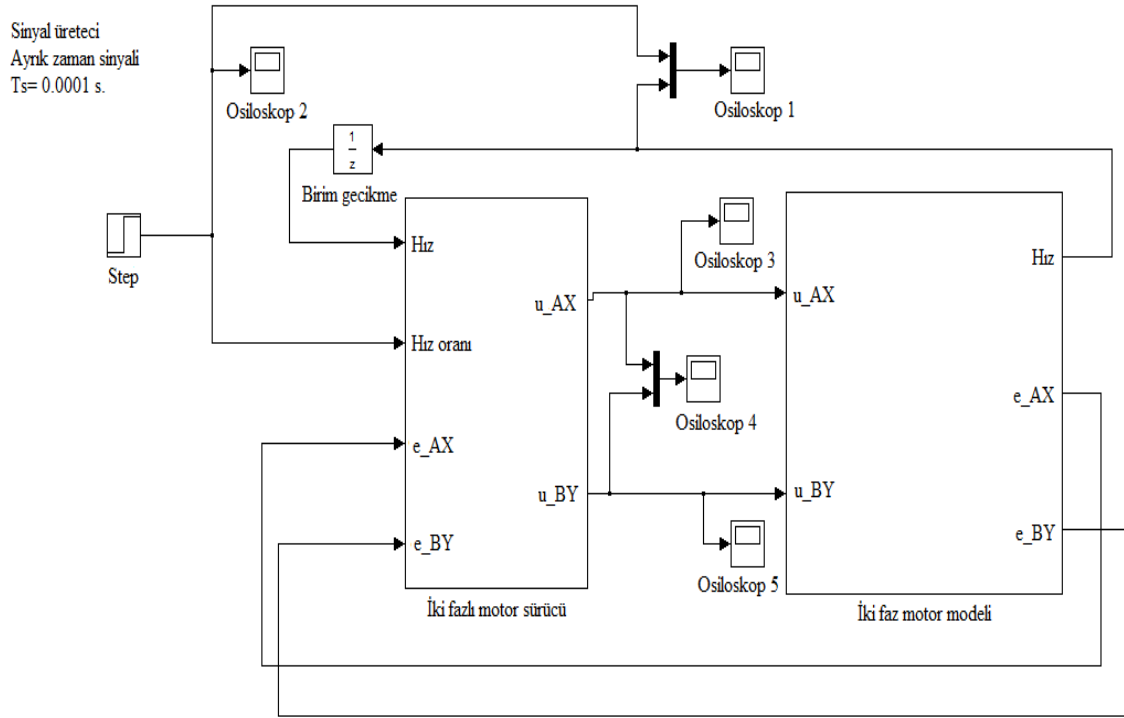
İki fazlı spindle motorda, EM tork üretilmiştir.

$$T_{EM}(\theta) = \left[[P_p \cdot [e_{AX}(\theta) \cdot i_{AX}(\theta) + e_{BY}(\theta) \cdot i_{BY}(\theta)]] / \omega_m \right] \quad (4.3.12)$$

Sonuç olarak; iki fazlı spindle motorun matematiksel modeli, denklem 4.3.2, denklem 4.3.9 ve denklem 4.3.12 denklemlerini kullanılarak elde edilmiştir [38].

4.4 Spindle Motorun Matlab Simulasyonu

Spindle motorlar genel itibariyle, sabit gerilimli sürücü modunda veya sabit gerilimli PWM modunda çalışırlar. Şekil 4.9' da, iki fazlı sensörsüz BLDC spindle motorun matlab simulink' te simulasyonu yapılmıştır. Genel olarak bu model iki kısımdan oluşmuştur. Bu kısımlar, İki fazlı spindle motor ve iki fazlı motor sürücüdür. İki fazlı motor sürücü sisteminin tüm diyagramı Şekil 4.9' da verilmiş olup, aynı zamanda bu sistemin davranışı incelenmiştir [38].



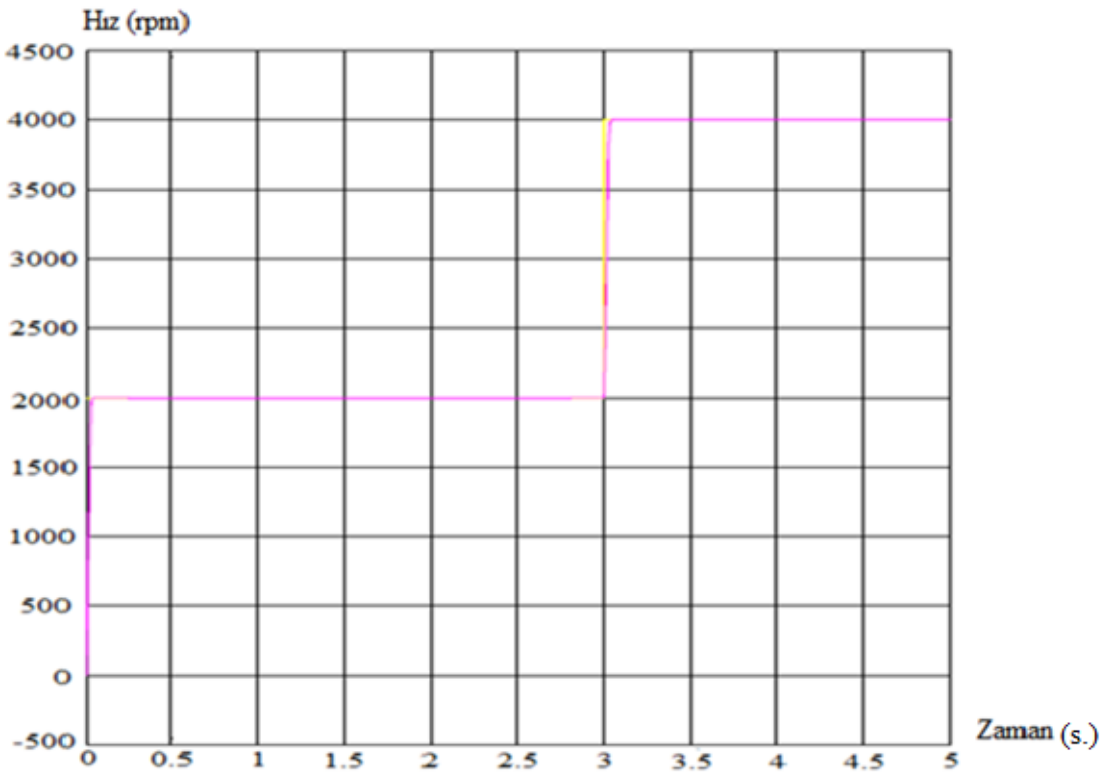
Şekil 4.9 İki fazlı spindle motorun matlab simulasyonu [38]

Tablo 10 Spindle motorun parametre değerleri [38]

Sistem parametreleri	Semboller	Değerler
Faz direnci	R	4.5 (ohm)
Faz indüktansı	L	0.7 mH
Motor eylemsizliği	J	$2.2 \cdot 0.00001 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$
Sabit gerilim	C_E	0.0024 V/ (rad/s.)
Yük torku	T_l	$9.8 \cdot 0.00001 \text{ N} \cdot \text{m}$
Hız oranı	n	4200 (rpm)
Çift kutup sayısı	P_p	4
Oransal katsayı	K_p	50
İntegral katsayısı	K_i	$3 \cdot 1000$
Türev katsayısı	K_d	0

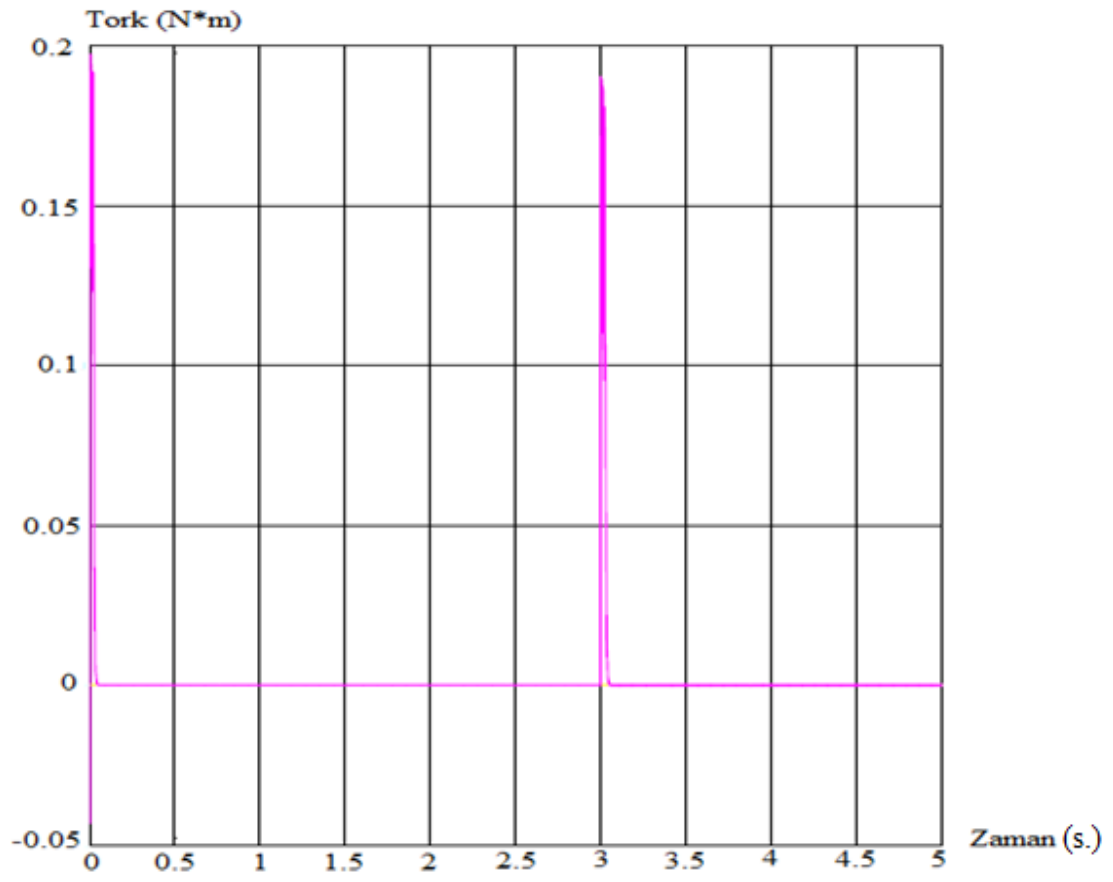
4.5 Simulasyon Sonuçları

Şekil 4.10’ da rotorun hızı verilmiştir. Rotor hızı başlangıçta belli bir değere ulaştıktan sonra, belli bir süre hareketini sabit olarak devam ettirip, daha sonrada tekrar devrini yükseltip 4000 rpm seviyesine ulaşmıştır. Bu sonuç, Şekil 4.10’ da açık bir şekilde görülmektedir. Bu motor step sürücü modunda çalışmaya başlar ve EMF fazının genliği yeterince büyük bir değere ulaştıktan sonra, BLDC sürücü moduna geçer. Hız nominal değere ulaştıktan sonra, bu sistem kapalı çevrimle kontrol edildiği için, birkaç sönümlü hareketin devamında denge moduna geçecektir [38].



Şekil 4.10 İki fazlı spindle motorun hız zaman grafiği

Spindle motor çalışırken hızına karşılık gelen EM torkunun zamana göre değişimi, simulasyon sonuçlarından elde edilen verilere dayanılarak bu veri Şekil 4.11’ de gösterilmiştir [38].



Şekil 4.11 İki fazlı spindle motorun EM' torkunun zamana göre değişimi

5. CNC TEZGAHININ DONANIM VE YAZILIM TASARIMI

Şekil 5.1’ de çalışılmış sistem tanıtılmıştır. Bu sistem, mekanik donanım ve elektronik donanım olmak üzere iki bölümden oluşmaktadır. Bu sistemin mekanik donanımında belirteceğimiz kısımlar; CNC Tezgah, lineer kızaklar, vidalı miller, rulman, hareket elemanların tahrik eden adım motorları ve iş mili özelliği gören spindle motordan oluşmaktadır.



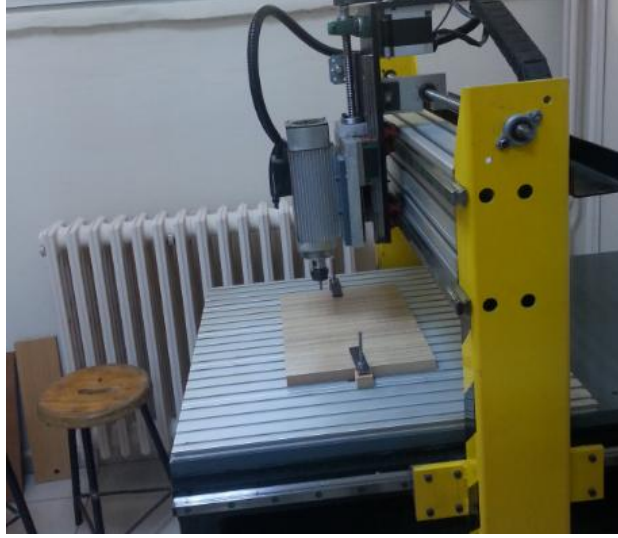
Şekil 5.1 Çalışılan sistemin görüntüsü

Şekil 5.2’ den görüldüğü gibi CNC Tezgahın gövde kısmı Alüminyum sacdan yapılmıştır. Bu Tezgah, 600mm-600mm işleme alanına sahiptir.



Şekil 5.2 CNC Tezgahın gövde yapısı

Daha önce belirttiğimiz gibi lineer kızaklar, tabla ve eksenlerin doğrusal bir şekilde yataklanmalarını sağlayan elemanlardır. Lineer kızaklar vasıtasıyla, X, Y ve Z eksenlerindeki tablanın hareketi gerçekleşmiş olur. Kullanmış olduğumuz sistemdeki lineer kızaklar, lineer bilyeli araba ray sisteminden oluşmaktadır. Şekil 5.3’ de sistemde kullanmış olduğumuz lineer kızaklar görülmektedir.



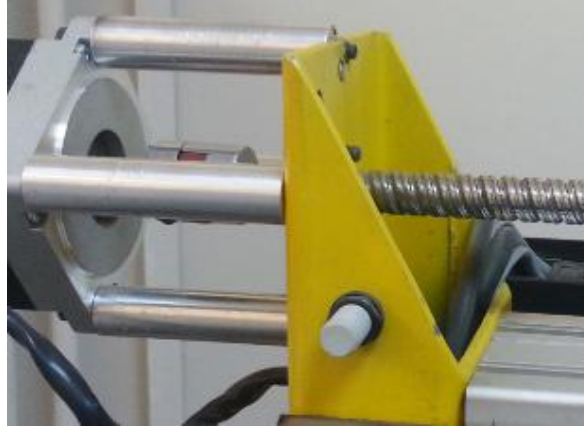
Şekil 5.3 Lineer kızaklar

Vidalı mil ve somunlar, yataklanmış olan kızaklarla birlikte diğer eksenlerin hareket etmesini sağlayan kısımlardır. Tasarlanmış olan CNC yapısına göre vidalı mil, ya trigger kayışı ya da kremayer sistemlerinden herhangi birini kullanma olanağı sağlar. Özellikle bu tür çalışılan sistemlerde vidalı milin etkisi çok önemlidir. Çünkü vidalı miller sistemin hassasiyeti üzerinde etkisi vardır. Şekil 5.4’ de sistemiz de kullanılan vidalı miller verilmiştir.



Şekil 5.4 Vidalı miller

Rulmanın sistem üzerindeki etkisi ise, eksenlerin doğrusal hareketi rulmanlar tarafından yapılır. Şekil 5.5’ de sistemde kullanılan rulman verilmiştir.



Şekil 5.5 Rulman

Sistemin X eksenindeki hareketini gerçekleştiren adım motoru Şekil 5.6’ da verilmiştir. Bu adım motoru, 1.8° lik adım açılarıyla hareket etme özelliğine sahiptir. Bu motor iki fazlıdır ve hibrid yapılı bir motordur. Bu motor 4.5 N.m torka, 0.4 ohm’ luk sargı direncine ve maksimum 5.6 amper akım çekme özelliklerine sahiptir. Bu sistemin; Y ve Z eksenlerinde de aynı özelliklere sahip olan, adım motorları kullanılmıştır.



Şekil 5.6 Adım motoru

Sistemde kullanılan spindle motor, 3 fazlı, 300 hz (frekans), 1.4 KW (kilo watt), maksimum 4.6 amper, 1.9 Hp (beygir), dakikada 18000 d/ dak ve 4.95 kilogram, gibi özelliklere sahiptir. Yukarıdaki verilmiş olan özellikler bakarak, bu motor çok büyük

güçlerde ve yüksek frekanslarda çalışma özelliğine sahiptir. Bu motor, sistemde iş mili özelliği görür. Şekil 5.7’ de spindle motor görülmektedir.



Şekil 5.7 Spindle motor

Sistemin elektronik donanımları ise, adım motor sürücü, spindle motor inverter sürücü ve USB kontrol kartından oluşmaktadır. Bunlardan aşağıdaki kısımda bahsedilmiştir.

Şekil 5.8’ de eksenlerde kullanılan adım motorlarının sürücüleri verilmiştir. Şekil 5.8’ de, en soldaki sürücü Z eksenindeki motorun sürücüsü, ortadaki Y ekseninin sürücüsü, en sağdaki ise X ekseninde hareket eden motorun sürücüsüdür. Bu sürücülerin teknik özellikleri bakımından adım motorlarıyla uyumluluğu esastır. Bu sürücülerden gelen darbeler sayesinde, adım motorları istenilen düzeyde hareketi gerçekleştirir.



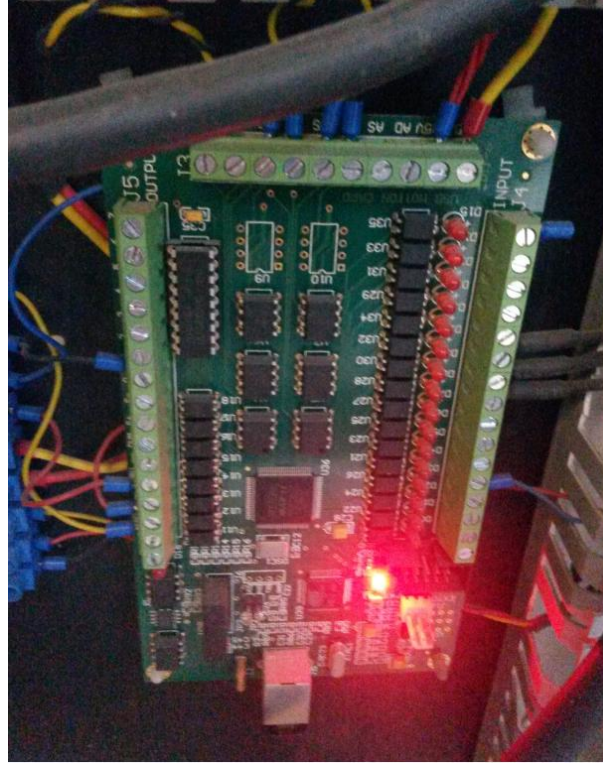
Şekil 5.8 Adım motor sürücüleri

Şekil 5.9’ da spindle motorun inverter sürücüsü gösterilmiştir. Bu sürücünün frekansı ayarlanarak motorun istenilen devirde yol alması sağlanabilir. Bu sürücü 0-300 Hz aralığında çalışır. Frekans arttırılarak, spindle motoru çok yüksek hızlarda işlevini gerçekleştirmesine neden olur. Bu sürücünün teknik özellikleri bakımından spindle motorla uyumluluğu esastır.



Şekil 5.9 Spindle motor inverter sürücü

Şekil 5.10’ da, USB tipi CNC kontrol kartının görüntüsü verilmiştir. Bu kartın üç eksenle kontrolü yapılabilir. Bu kartın Mach3 kontrol yazılımıyla, adım motorlarıyla ve servo motorlarla uyumluluğu esastır. Bu kart Windows XP, Vista, Windows 7 (32 veya 64 bit) herhangi bir masaüstü veya dizüstü bilgisayarla kullanılabilir. Maksimum 100 Khz’ lik bir pulse çıkış frekansına sahiptir. Bu kart sayesinde, programı durdurma ve programa istenilen yerden devam edilebilir. Her eksen için iki tane (+ -) jog butonu girişleri vardır. Yine her eksen için iki tane (+ -) limit switch girişleri bulunur. SolidCAM, ArtCAM, MasterCAM ve VECTRİC gibi programlarla uyumluluğuna sahiptir. Bu kartın aracılığıyla sistemdeki motorların kontrolü gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.10 USB tipi CNC kontrol kartı

Şekil 5.11’ de güç kaynağı görülmektedir. Bu güç kaynağı 48V’ luk bir gerilime sahip olup, sistemi beslemek için kullanılmıştır.

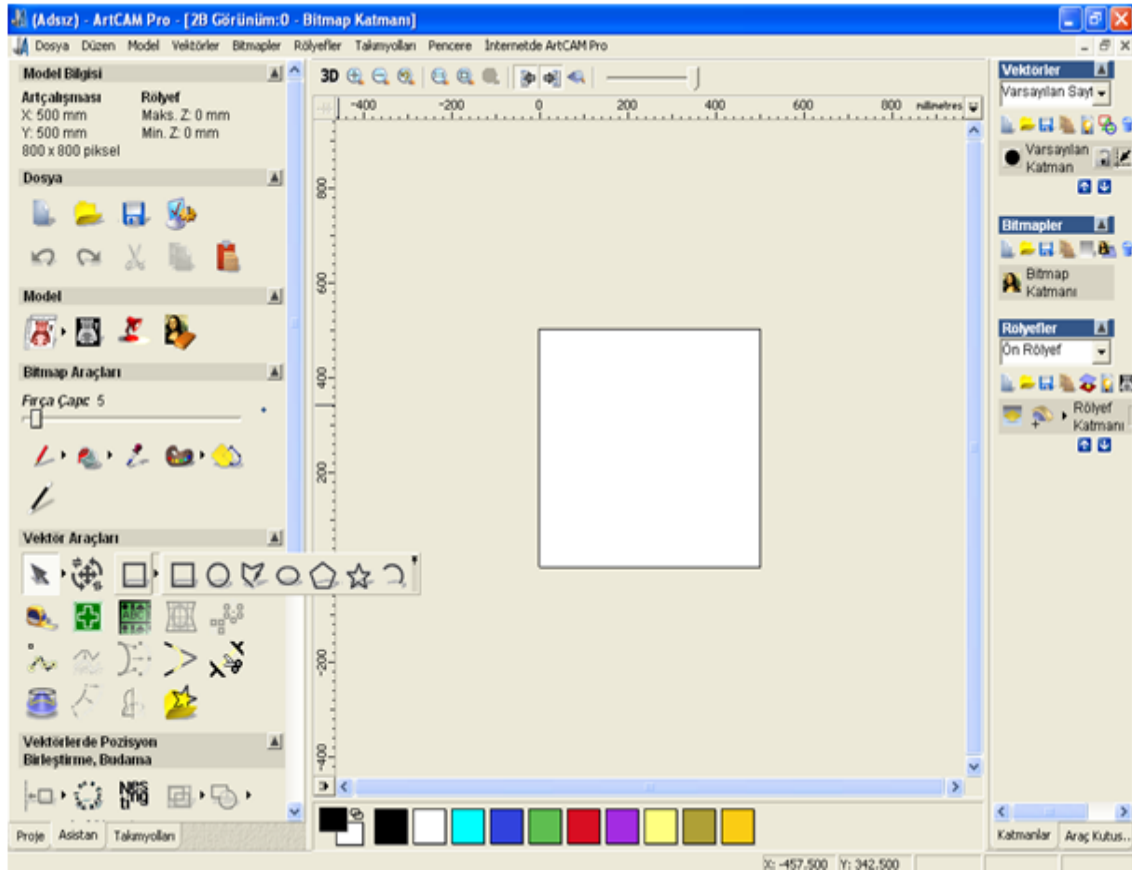


Şekil 5.11 Güç kaynağı

5.1 Sistemde Gerçekleştirilen Uygulamalar

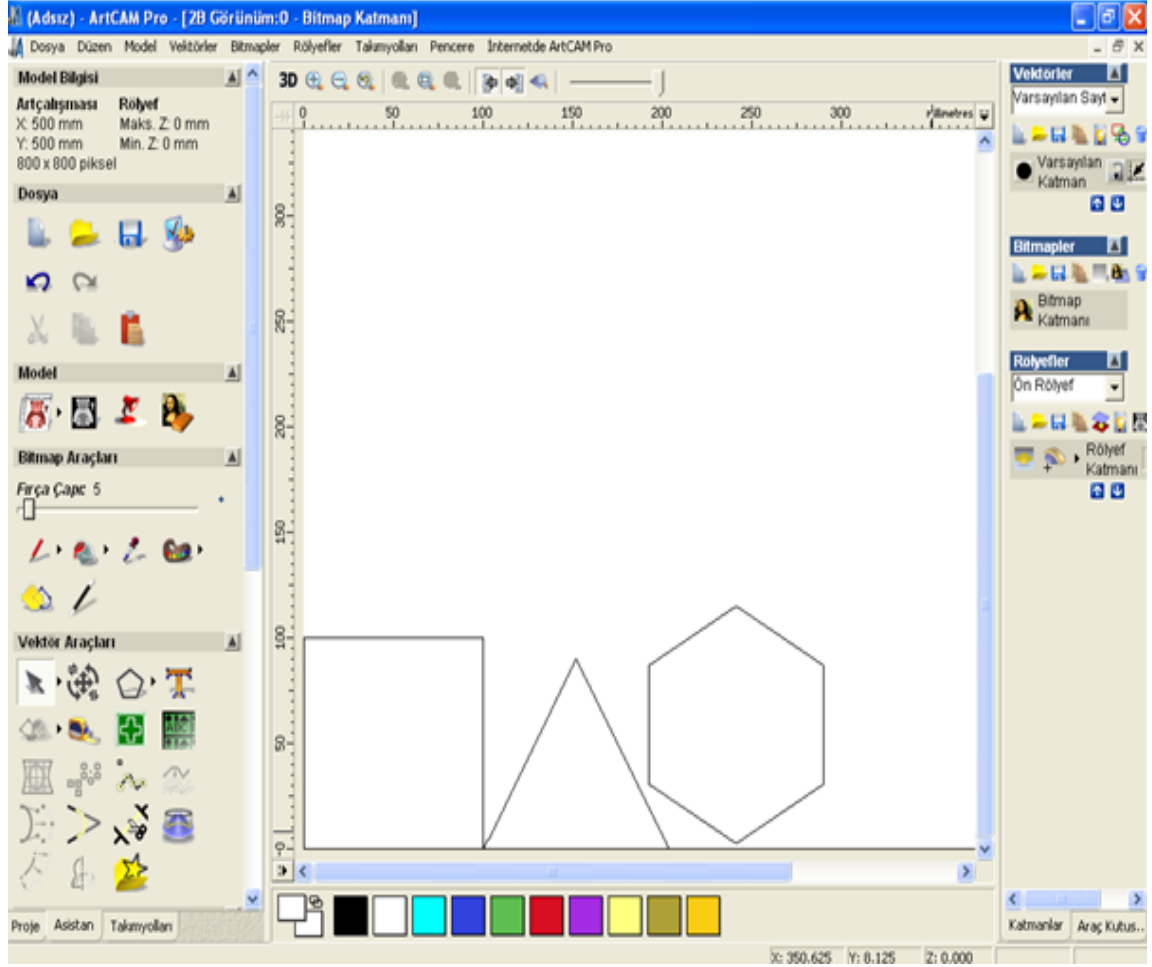
Bu tezde adım motorlarıyla gerçekleştirilen hareket sonucunda dik işleme tezgahında örnek birkaç uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu gerçekleştirilen uygulamaların işlem adımları aşağıda sırasıyla gösterilmiştir.

CNC Tezgah üzerinde işlenen parça şekilleri, öncelikle ArtCAM çizim programında çizilip, daha sonra Mach3 ara yüzü olarak kullanılan programa yüklenmiştir. Bu işlem adımları sırasıyla gösterilmiştir.



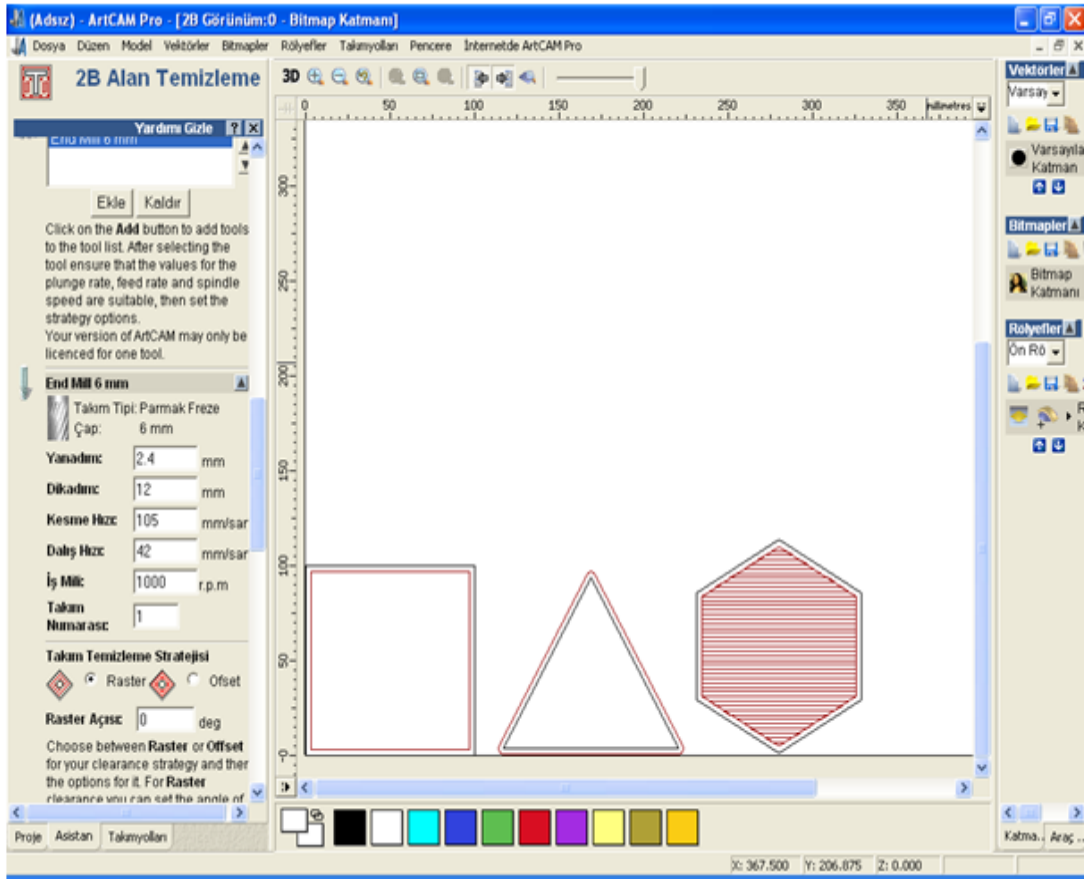
Şekil 5.12 ArtCAM çizim programında çizilebilecek farklı şekil türleri

Şekil 5.12' de gösterilen şekilde değişik şekillerde çizimler yapılabilir. Bu yapılan çizimler Şekil 5.12' deki vektör araçları kısmından arzu edilebilecek şekillerin çıkartılması mümkündür.



Şekil 5.13 ArtCAM çizim programında çizilen geometrik şekiller

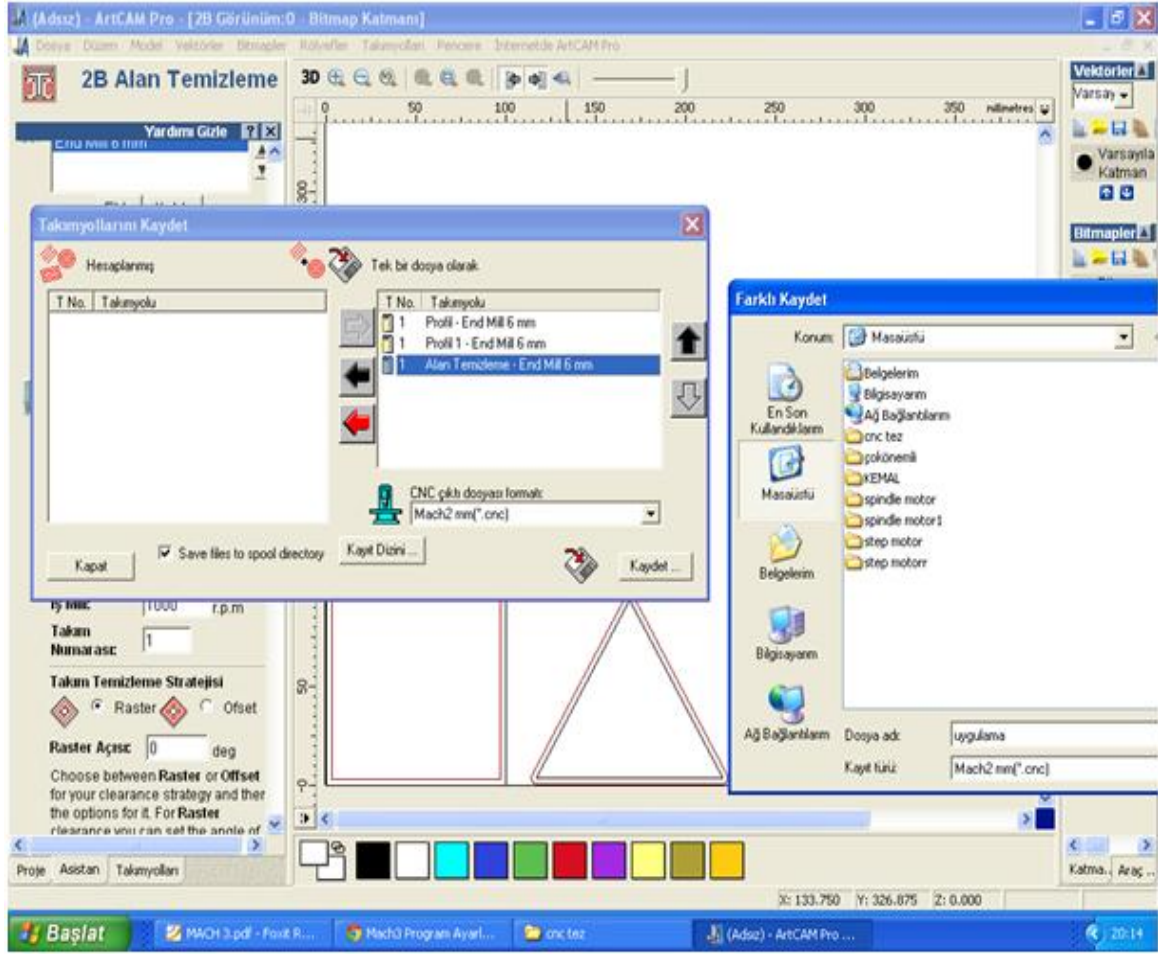
Yukarıda gösterilen şekil 5.13’ de geometrik şekil olarak kare, üçgen ve altıgenin çizimi gerçekleştirilmiştir. Bu yapılan işlemler adım adım gösterilmiştir. Bu geometrik şekiller çizildikten sonra, bu şekiller üzerinde istenilen işlemler yapılabilir.



Şekil 5.14 Geometrik şekiller üzerinde yapılacak işlemler

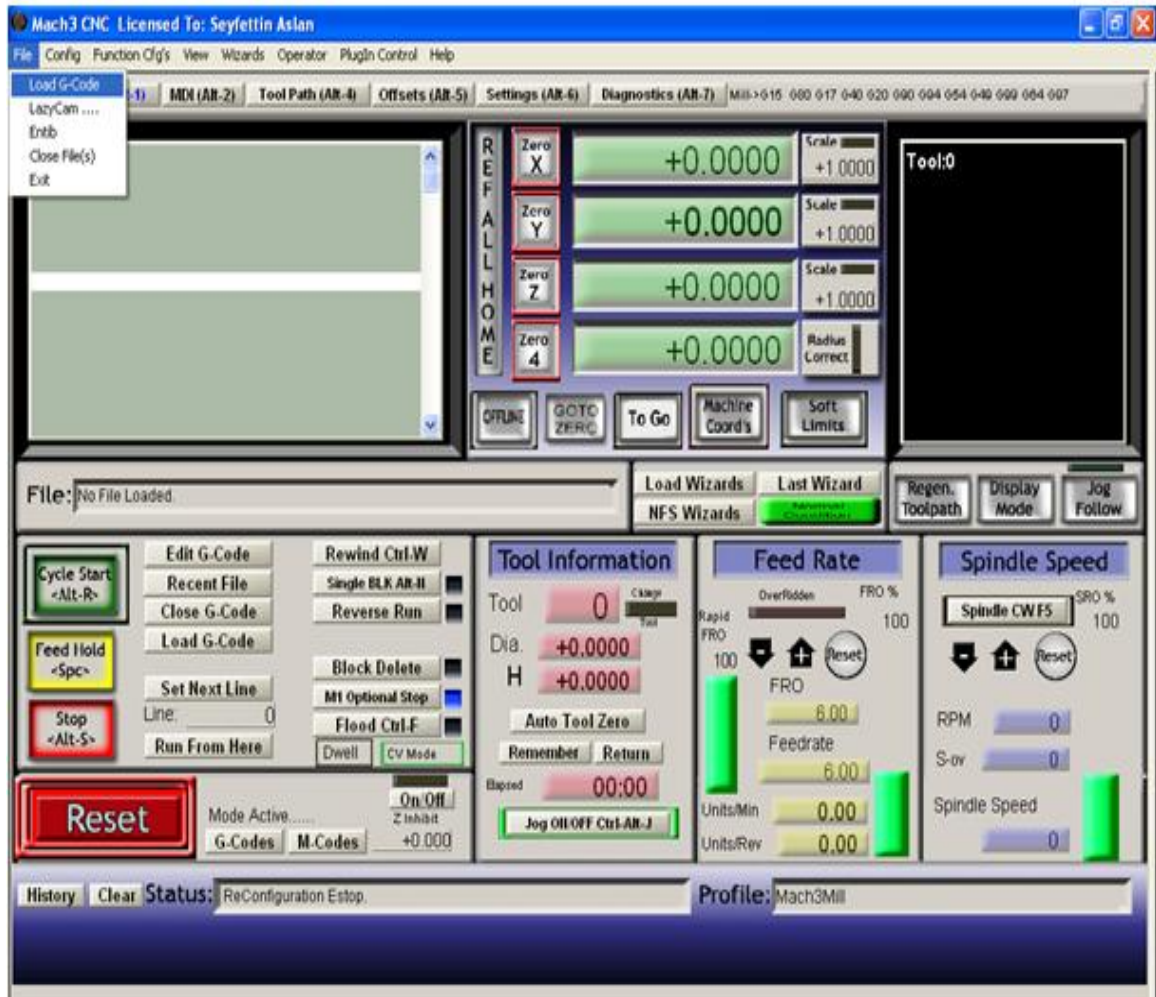
Şekil 5.14’ de çizilen geometrik şekiller üzerinde yapılan işlemler bu kısımda gösterilmiştir. Şekil 5.14’ deki kare olarak çizilen şekle, 2B takım yollarından 2B profil temizleme vektörü seçilmiştir. Bu şekle dış kesim işlemi yaptırılmıştır. Yani, elimizde bir parça olduğunu varsayalım. Eğer parçanın iç kısmı bize lazım olacaksa bu durumda dış kesim yapmamız gerekecektir. Çünkü eğer iç kesim yapacak olursak, bıçağın çapını ihmal etmiş oluruz. Bu da bize çok küçükte olsa bir hata yaptırma imkanı verir. Şekil 5.14’ deki üçgen üzerinde ise iç kesim işlemi yaptırılmıştır. Yukarıda iç kesim ile dış kesim arasındaki farktan bahsedilmiştir.

Yukarıda verilen Şekil 5.14’ de ise 2B takım yollarından alan temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Buradaki amaç altıgeninin iç kısmını örneğin bir kül tablası gibi içini boşaltma işlemi yapılmıştır.

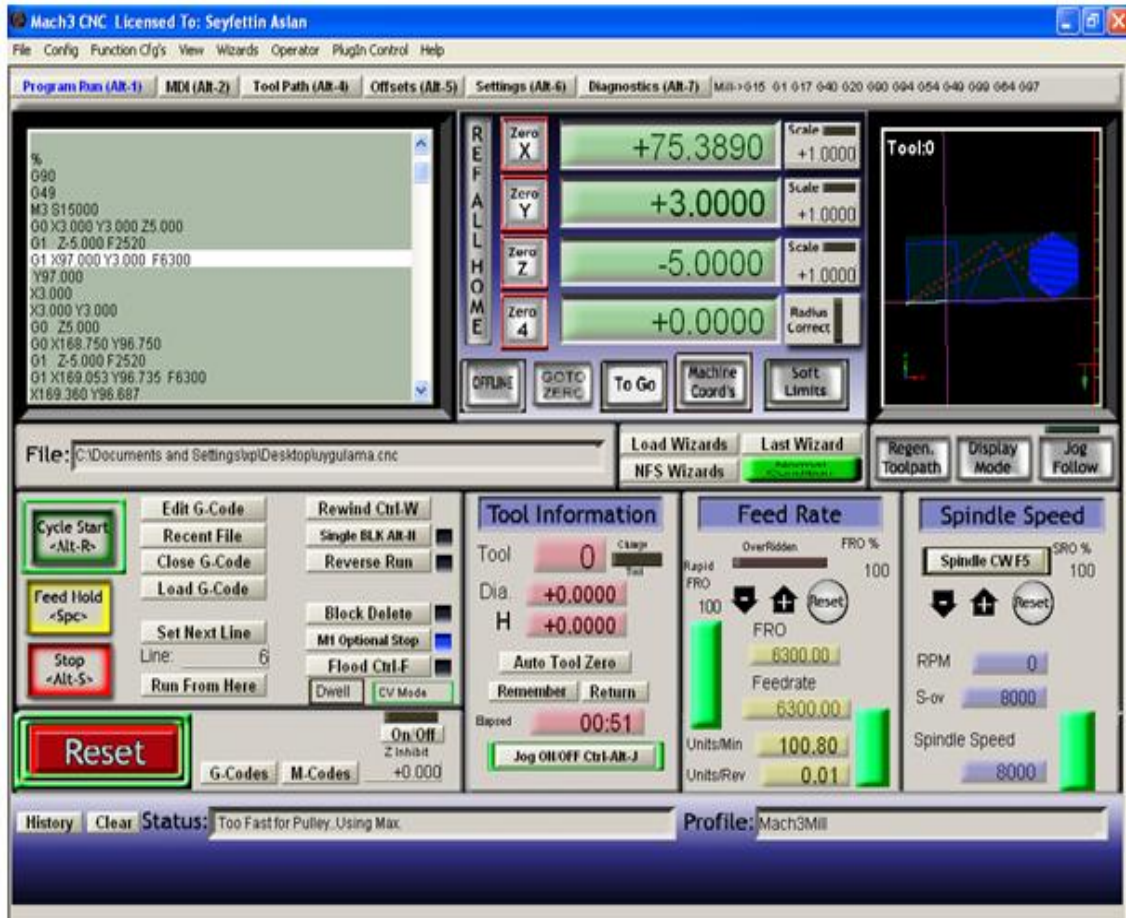


Şekil 5.15 Şekillerin kaydedilme görüntüsü

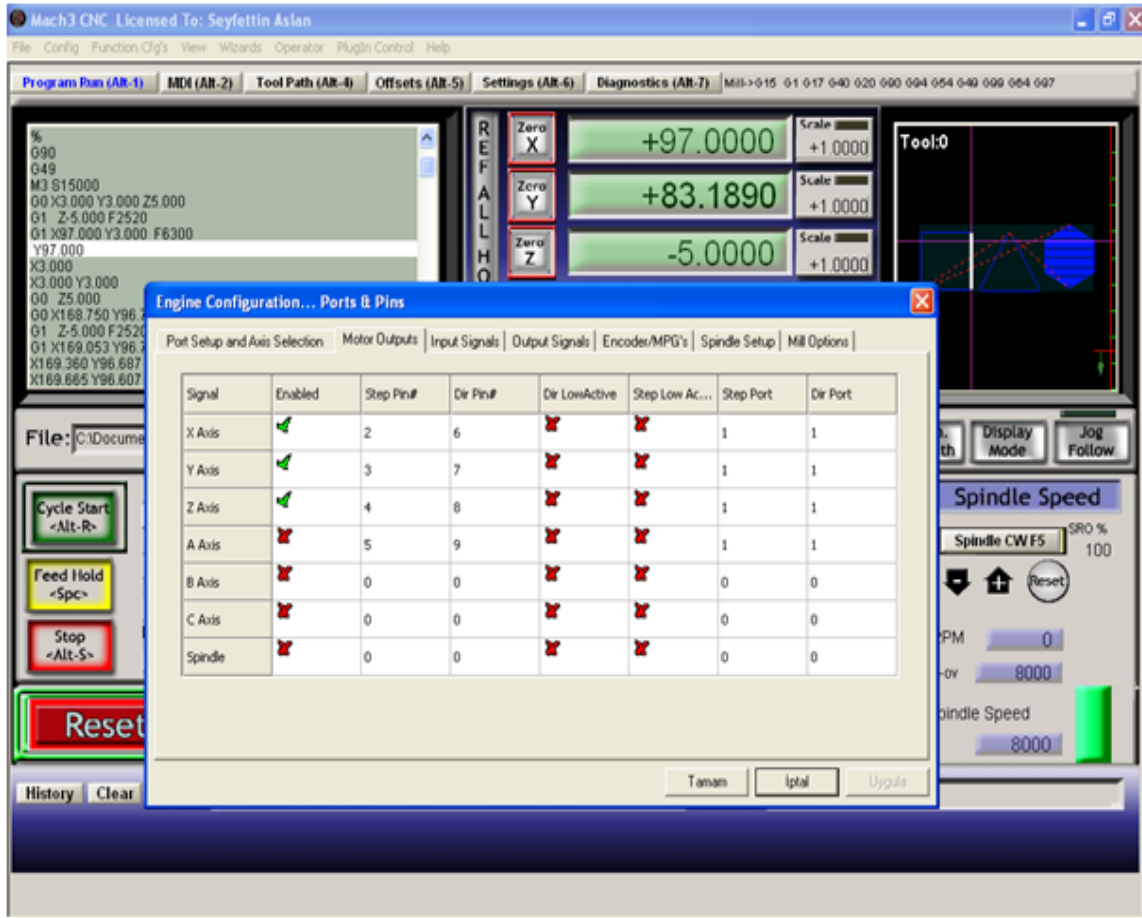
Şekil 5.4’ deki gösterilen şekli, takım yolları penceresinden takım yollarını kaydetme işlemini yaptığımız zaman bu dosya bir CNC dosyası olarak kaydedilmiş olacaktır. Bu kaydetme işlemi gerçekleştirildikten sonra Mach3 programına bu dosyanın nasıl aktarıldığı Şekil 5.15’ te gösterilmiştir.



Şekil 5.16 CNC dosyasının Mach3 programına aktarılması

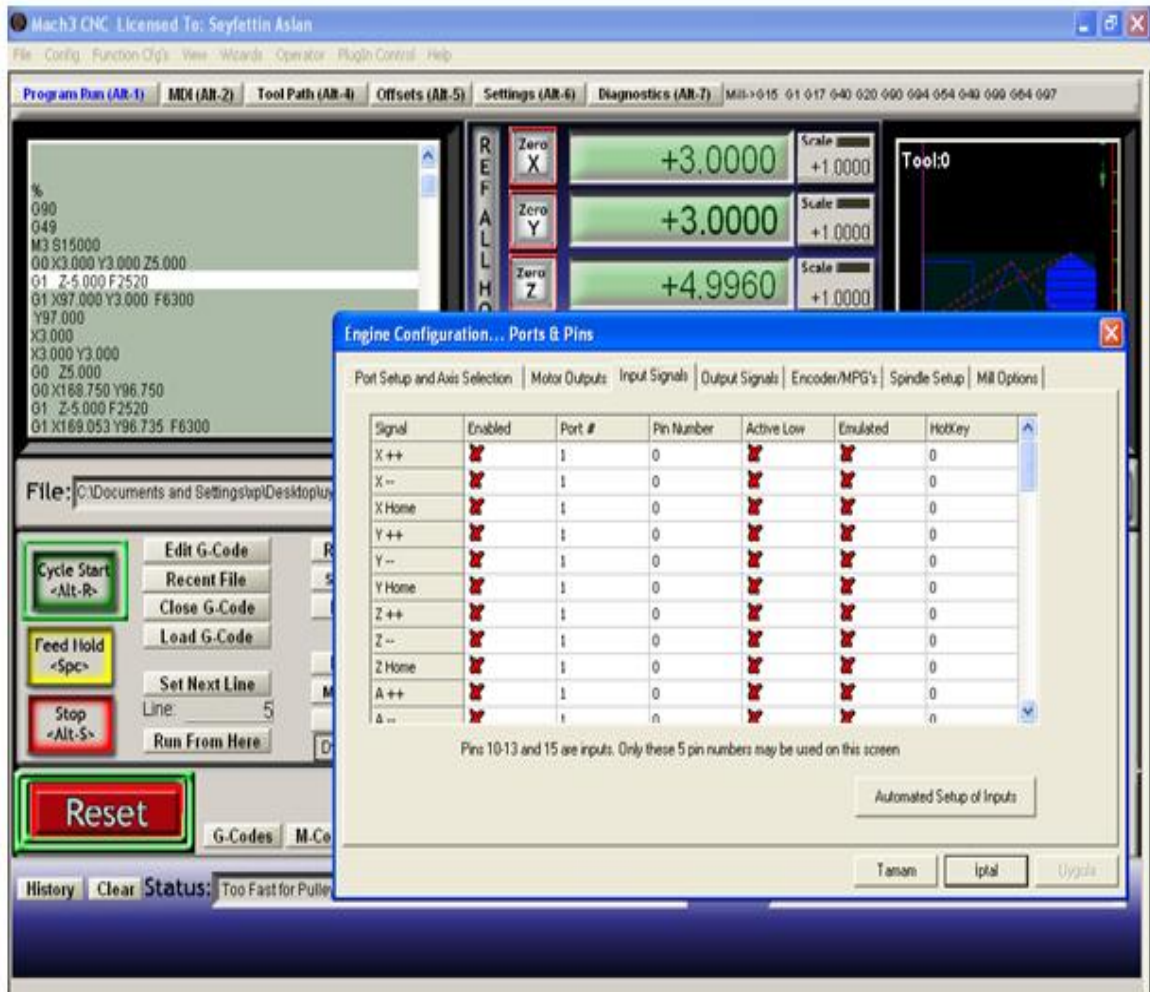


Şekil 5.17 Mach3 programı üzerinde yapılan simulasyonun görüntüsü



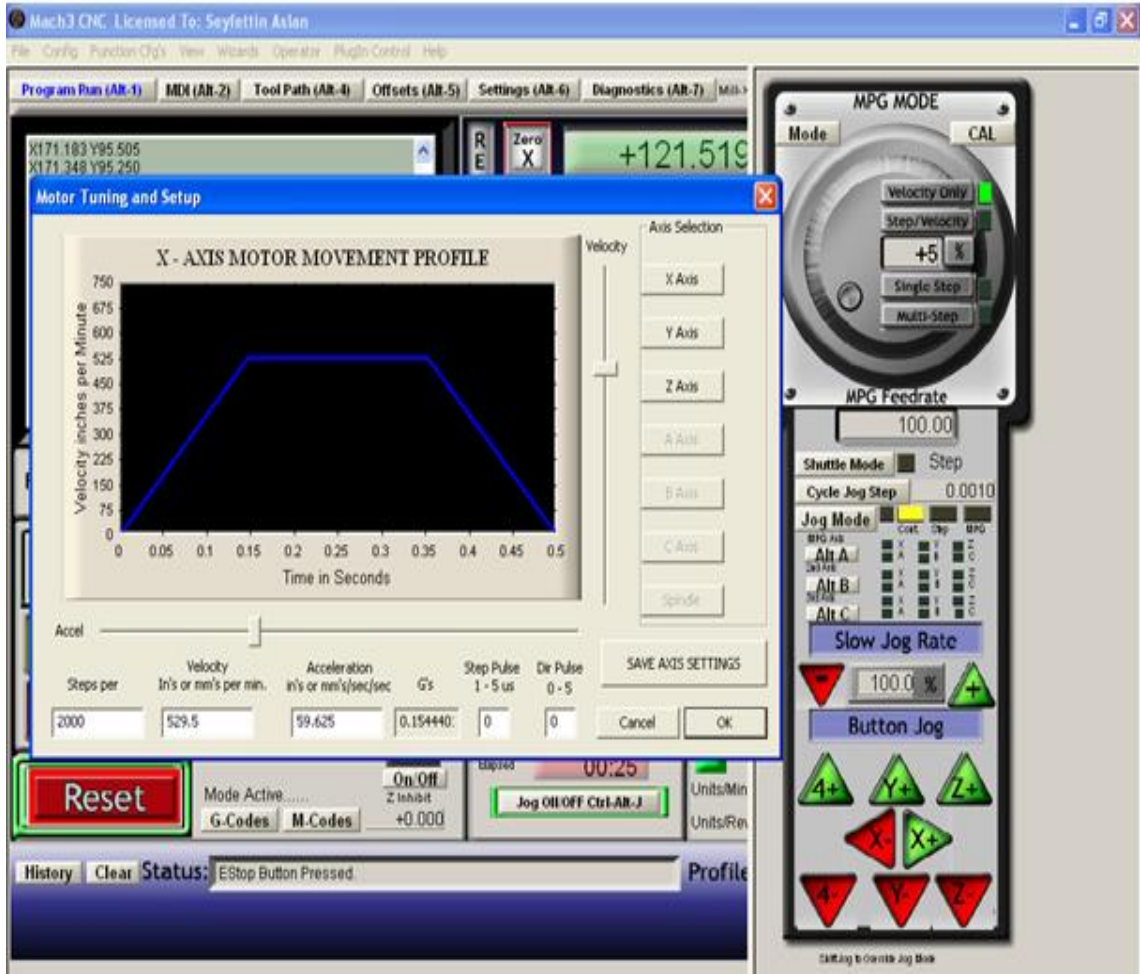
Şekil 5.18 Mach3 programı üzerinde yapılan eksen ayarları

Config/ Port and Pins / Port Setup and Axis Selection/ Motor Output menülerinden kullanılacak eksenler ve sinyallerin gönderileceği port seçimleri işlemlerini gerçekleştirmek mümkündür. Şekil 5.18’ de bu işlemler açık bir şekilde gösterilmiştir. Dikkat etmek gerekirse yapılan tezde üç eksenle işlemler yapılmıştır. Eğer daha fazla eksen kullanma ihtiyacı olursa, örneğin dördüncü eksenini kullanma ihtiyacı görürsek Şekilde de görüldüğü gibi A eksenini aktif hale getirmemiz yeterli olacaktır.



Şekil 5.19 Input pins menüsü ayarları

Config/ Port and Pins / Input pins menüsündeki limit ve home sensörleri kısmından port adres değerleri girilebilir.



Şekil 5.20 X ekseninde hareket eden adım motorunun ayarı

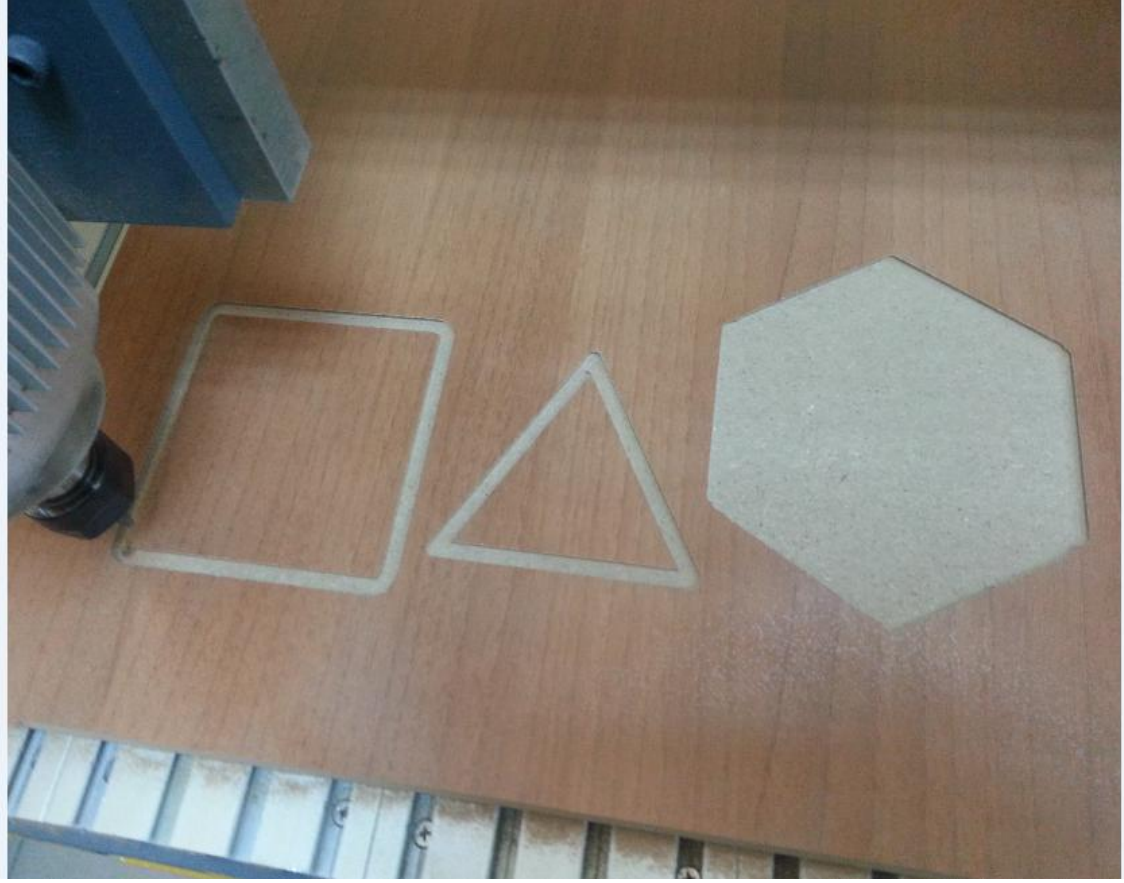
Yukarıda verilen Şekil 5.20’ de X ekseninde hareket eden adım motorunun hız ayarı yapılmıştır. Aynı şekilde Y ve Z eksenlerdeki motorların ayarlarını da yapmak mümkündür. Ekranın sol köşesinde gösterilen steps per kısmında var olan değer üzerinde bir değişiklik yapmıyoruz. Velocity kısmında yer alan değeri ise, motorumuzun max eksenler üzerinde hareket edebileceği değerdir. Eğer motorların parametre değerleri maksimum değerden fazla girilirse, motorlar zarar görebilir. Parametre olarak girdiğimiz değer bir dakikada alabileceği mesafenin milimetre cinsinden değeridir. Bu girdiğimiz değer motorların eksenler üzerinde birkaç farklı değer girilerek, motorların hedefe ulaşmada sorunsuz çalıştığı görülmüştür.

5.2 Uygulama 1

Daha öncede bahsettiğimiz gibi, uygulama 1’ de geometrik şekiller (kare, üçgen ve altıgen) üzerine farklı uygulamalar yapılmıştır. Kare üzerine dış kesim işlemi, üçgen üzerine iç kesim işlemi, altıgen üzerine ise alan boşaltma işlemi gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.21’ de ahşap malzemenin işlenme aşamasındaki görüntüsü, Şekil 5.22’ de ise ortaya çıkan geometrik şekillerin görüntüsü verilmiştir.



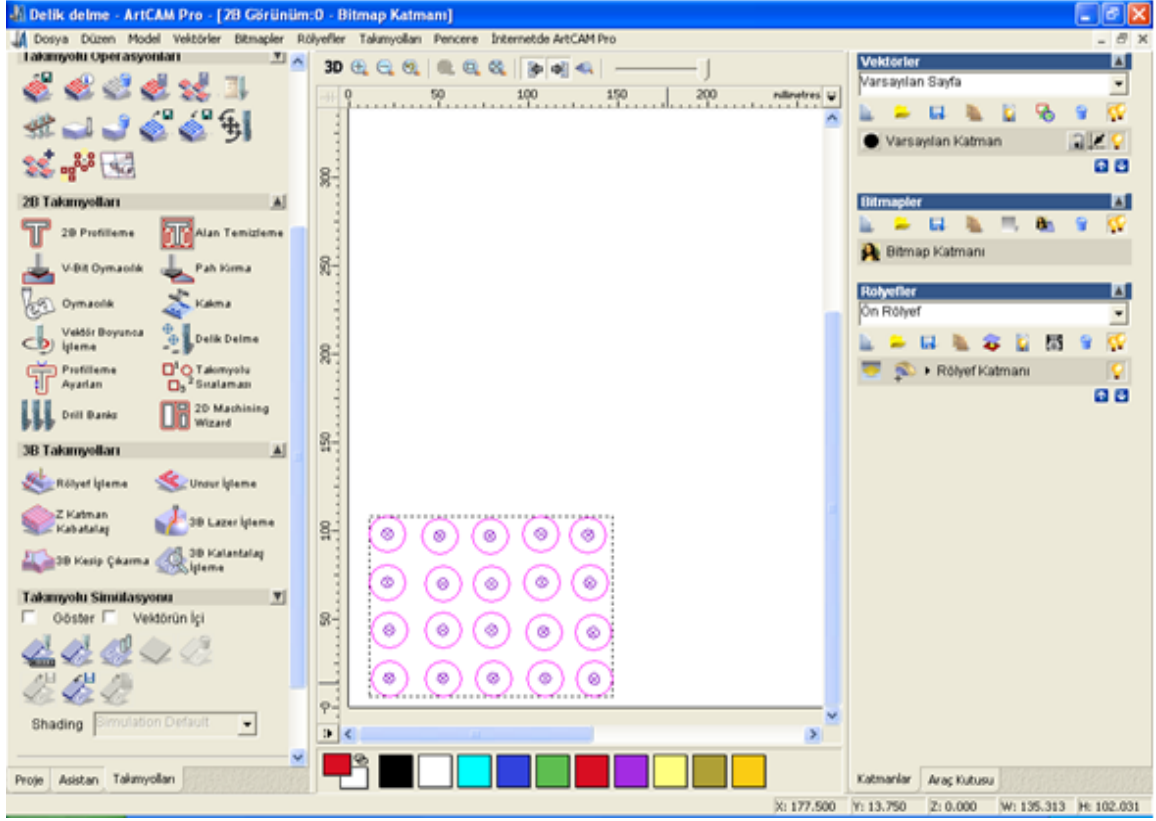
Şekil 5.21 Parçanın işlenme anı



Şekil 5.22 İşlenen parçanın görüntüsü

5.3 Uygulama 2

Geliştirilen delme kontrol sistemi için ArtCAM ortamında tasarlanan çizim çalışması Şekil 5.23’ de görülmektedir. Çizim dört satır, beş sütundan oluşan yirmi tane delikten oluşmaktadır. Delme işlemi CNC dosya uzantısı olarak kaydedildikten sonra, Mach3 yazılım programına aktarılmıştır. Mach3 CNC tezgah ile bilgisayar arasında bilgi alışverişi gerçekleştiren bir kontrol yazılım türüdür. Bu işlemler gerçekleştirildikten sonra Şekil 5.24’ de görüldüğü gibi parça üzerinde yirmi tane delik delme uygulaması yapılmıştır.



Şekil 5.23 ArtCAM’ de delik delme uygulama işlemi

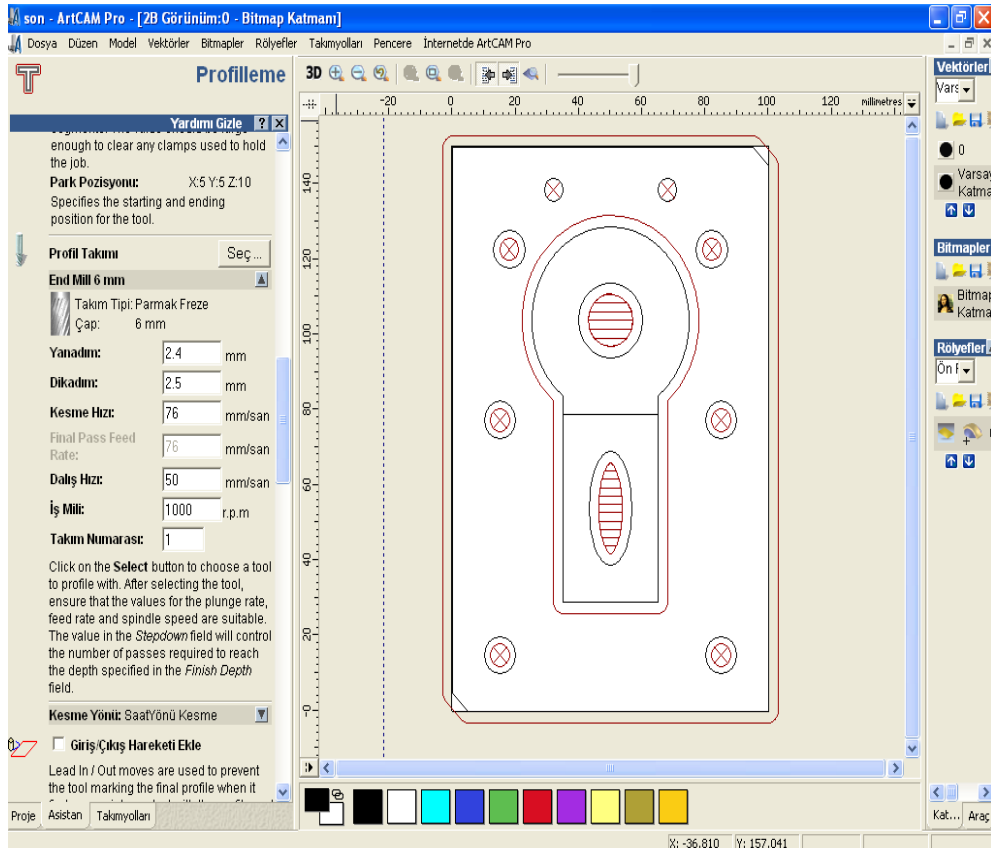


Şekil 5.24 Delik delme uygulamasının sonucu

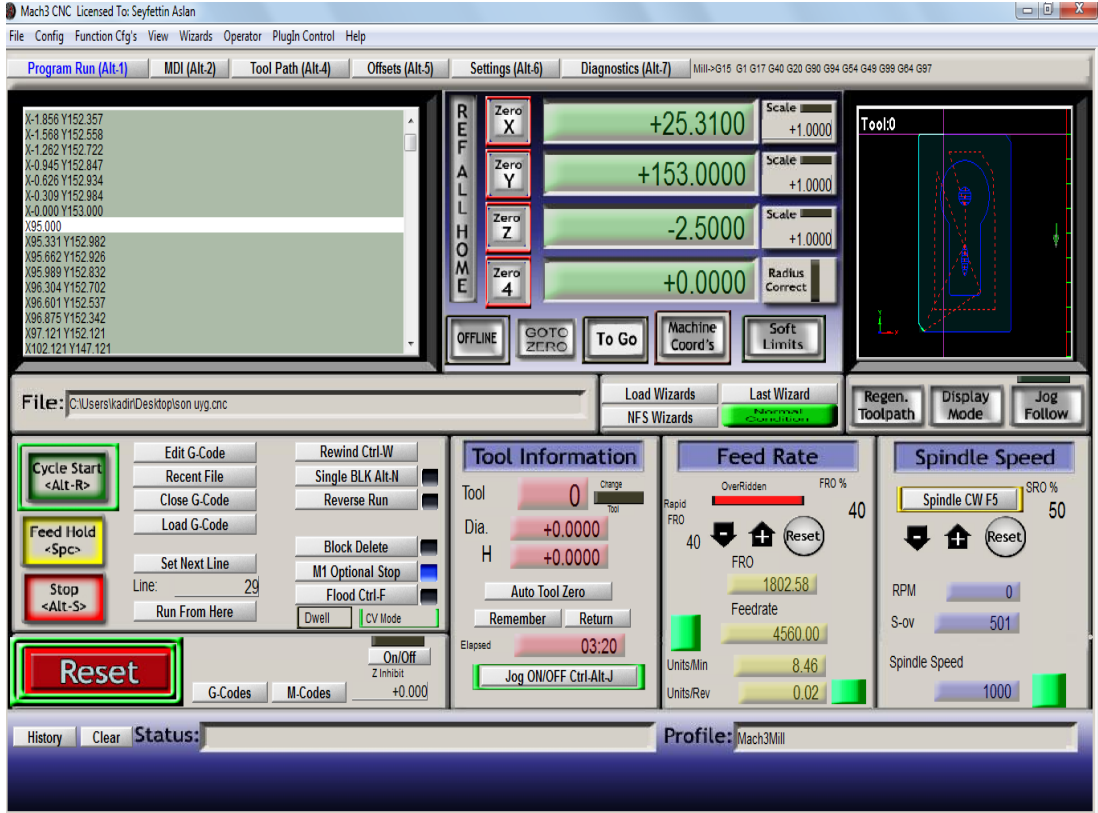
5.4 Uygulama 3

Şekil 5.25’ de verilen bu özel tasarım; AutoCAD programında çizimi gerçekleştirildikten sonra, DXF dosya uzantılı olarak kaydedilmiştir, daha sonra bu dosya uzantısı Artcam programında tanıtılmıştır. Şekil 5.26’ da Mach 3 pogramında simülasyon görüntüsü görülmektedir. Şekil 5.27’ de ise, ortaya çıkan tasarım işlemi gösterilmiştir.

Bu parçanın AutoCAD programında çizilmesinin temel sebebi, ArtCAM programında çok özel tasarımların gerçekleştirilmesi mümkün değildir. ArtCAM programında sadece basit geometrik şekiller ve buna benzer bazı uygulamalarla kısıtlı olduğu için uygulama 3 deki parçanın çizimi AutoCAD programında tasarlanmıştır. Görüldüğü gibi sistemde üç tane uygulama gerçekleştirilmiştir. Eğer istenilirse çok özel tasarımlar gerçekleştirilebilir. Bu işlemler uygulama 3 ve uygulama 4 de sırasıyla gösterilmiştir.



Şekil 5.25 İşlenecek özel parçanın ArtCAM’ deki görüntüsü



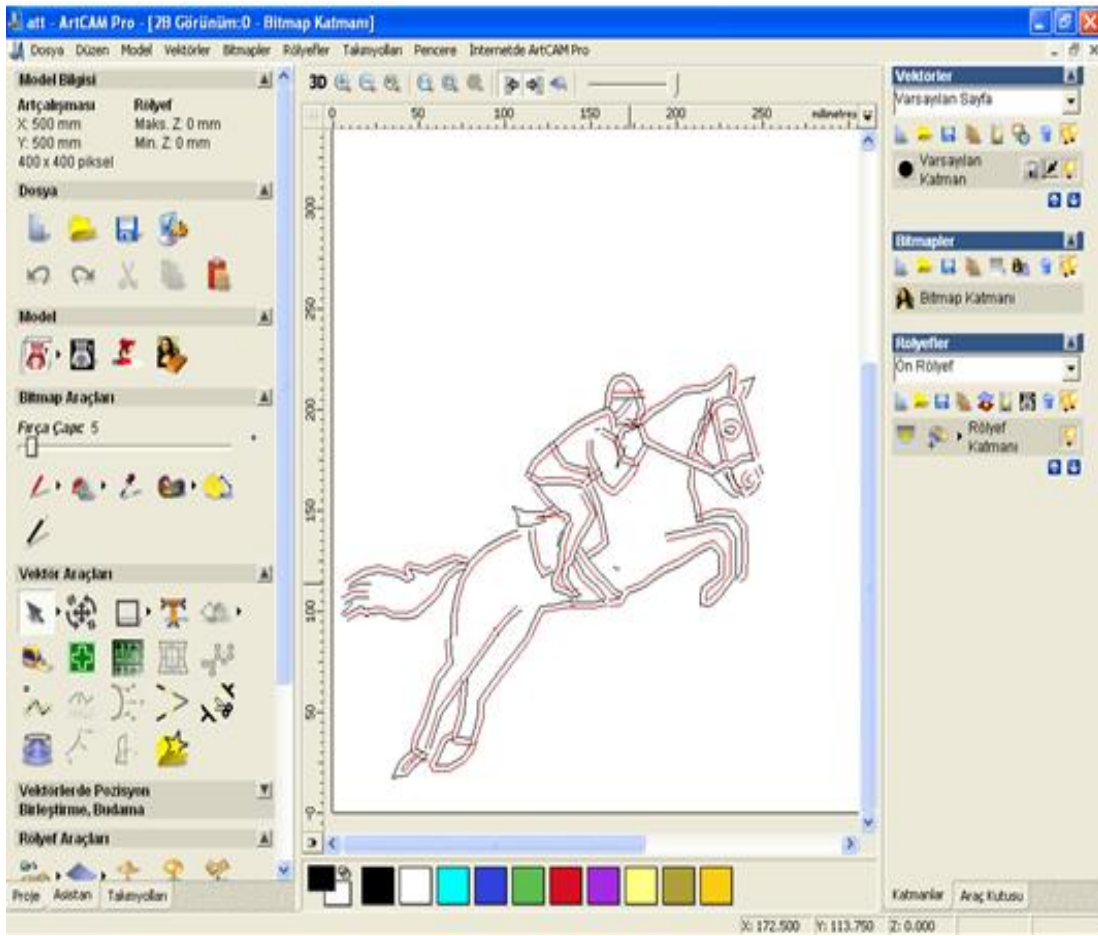
Şekil 5.26 Uygulama 3' ün Mach3 programındaki simülasyonun görüntüsü



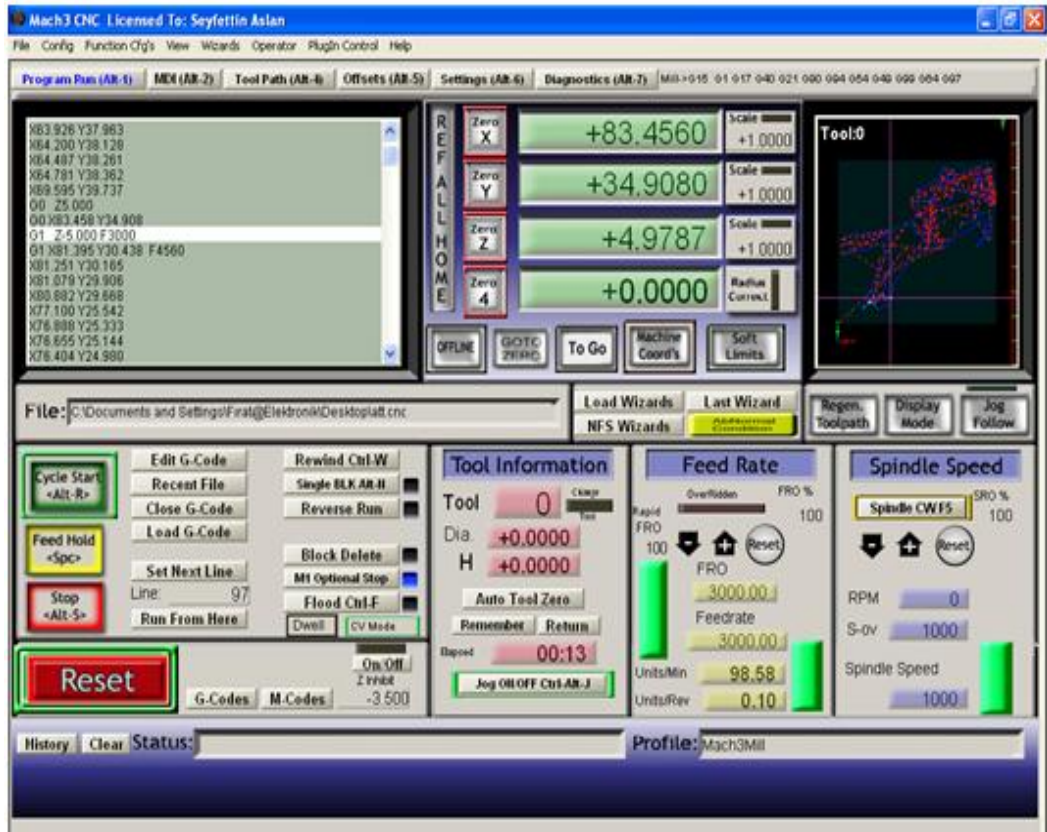
Şekil 5.27 İşlenen parçanın görüntüsü

5.5 Uygulama 4

Uygulama 4 de, uygulama 3 de olduğu gibi özel bir tasarım işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu özel tasarım AutoCAD programında çizimi yapılmıştır, bu çizim DXF. dosya uzantılı olarak kaydedildikten sonra ArtCAM programına atılmıştır. Bu çizim, Şekil 5.28’ de açıkça görölmektedir. Daha sonra ArtCAM programında gerekli işlemler yapıldıktan sonra, CNC dosya uzantılı olarak kaydedilip, Mach3 programına atılmıştır. Uygulama 4’ ün Mach3 programındaki simülasyonun görüntüsü Şekil 5.29’ da görölmektedir. Son olarak da Şekil 5.30’ da işlenen parça gösterilmektedir.



Şekil 5.28 İşlenecek özel parçanın ArtCAM’ deki görüntüsü



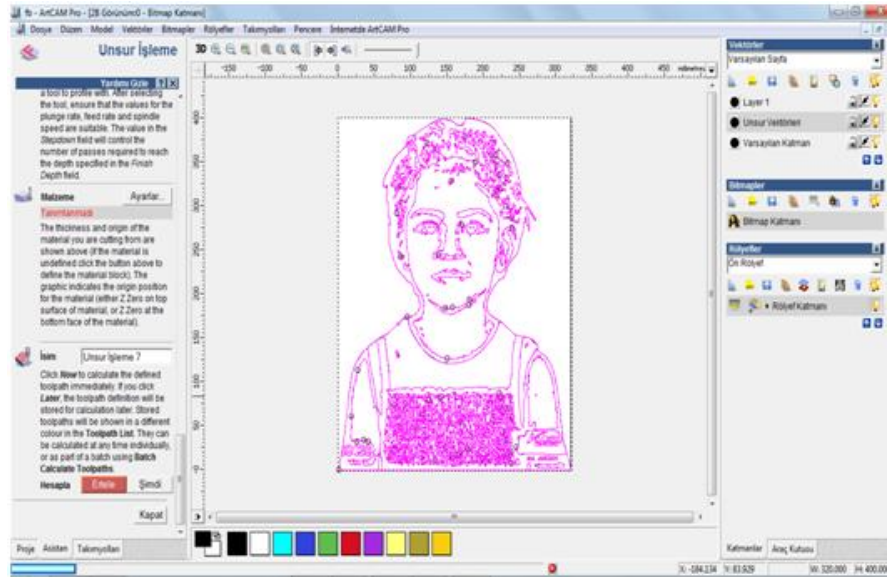
Şekil 5.29 Uygulama 4' ün Mach3 programındaki simulasyon görüntüsü



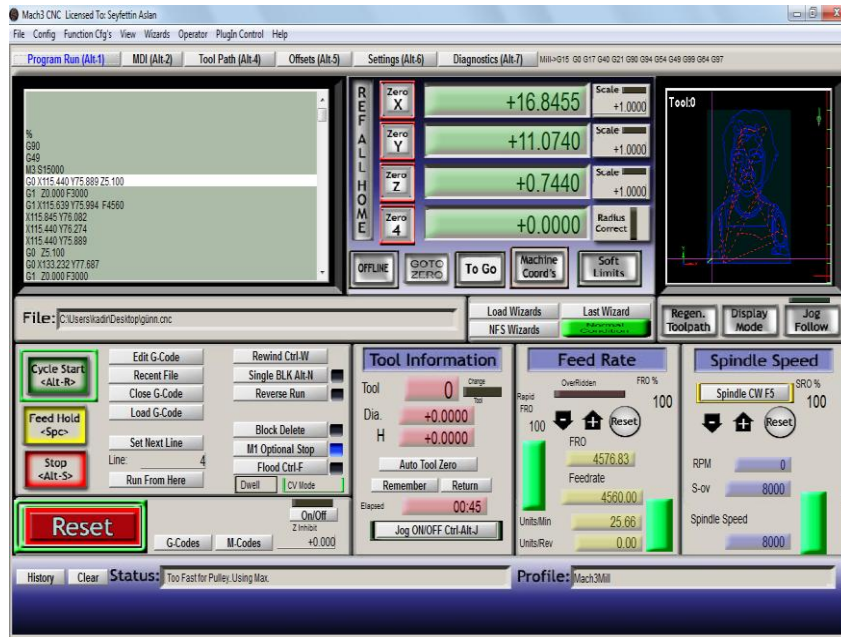
Şekil 5.30 İşlenen parçanın görüntüsü

5.6 Uygulama 5

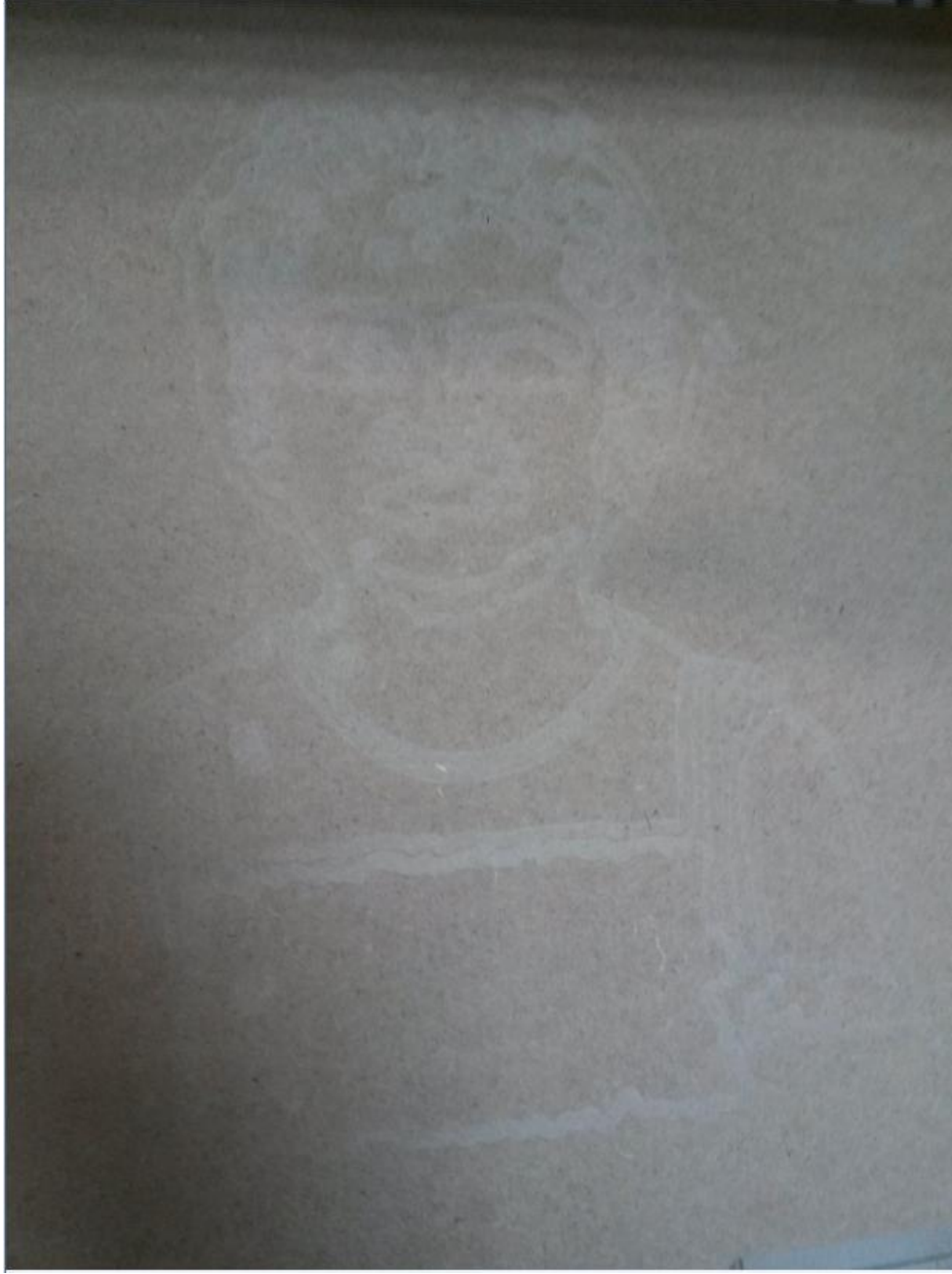
Uygulama 5’ de, şuna kadar yapılmış olan uygulamalardan farklı olarak bir insan resmi bilgisayar ortamında taratılıp, bu resmin yüz hatlarını ise PhotoShop ve CorelDraw programları kullanılarak yüz hatları tam olarak belirgin hale getirilmiştir. Daha sonra ise, yapılmış olan uygulamalardaki işlemler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.31’ de, bu tasarımın ArtCAM’deki görüntüsü, Şekil 5.32’ de Mach3 programındaki simulasyon görüntüsü, son olarak Şekil 5.33’ de ise işlenen parçanın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.31 İşlenecek özel parçanın ArtCAM’deki görüntüsü



Şekil 5.32 Uygulama 5’ in Mach3 programındaki simulasyon görüntüsü



Şekil 5.33 İşlenen parçanın görüntüsü

6. SONUÇ

Gelişen teknolojinin beraberinde, adım motorları son yıllarda uygulama alanlarında önemli bir aşama katetmiştir. Çünkü hassasiyetlerinin oldukça artması, özellikle hassas konum gerektiren uygulamalarında tercih edilmesi ve aynı zamanda açık çevrim olarak kullanılması ne kadar önemli bir yere sahip olduğunun göstergesidir. Aynı zamanda maliyet anlamında diğer elektrik motorlarına göre daha uygun olması piyasada çok tercih edilmesinin bir başka göstergesidir. Adım motorları, dijital (1, 0) mantığına göre çalışır ve kontrolü bir bilgisayar yardımıyla kolay bir şekilde yapılabilir. Bu avantajlı özelliklere sahip oldukları için de, günümüzde CNC tezgah uygulamalarının vazgeçilmez bir motor türü olarak örnek gösterebiliriz.

Bu çalışmada, CNC mekanik aksam üzerinde beş tane farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalarda, ArtCAM çizim programında çizilen şekiller Mach3 programında tanıtılmıştır. Bu Mach3 yazılımlı olarak kullanılan programda elde edilen G kodlarının nasıl oluştuğundan bahsedilmiştir.

Yazılım olarak piyasada kullanılan Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD) ya da Bilgisayar Destekli üretim (CAM) seçilebilir. Önemli olan G kodlarının nasıl üretildiğidir. AutoCAD, MasterCAM, SolidCAM, ArtCAM vb. programlara örnek verilebilir. Bu yapmış olduğumuz çalışmada USB kontrol kartı, Mach3 yazılımlı programla uyumluluğu esastır. Bilgisayar kontrol programı üç adımdan oluşur. Tasarım programı, Takım yollarını oluşturma ve Makine kontrol programıdır. Bilgisayar destekli tasarım programına çizdiğimiz model, takım yolları programları derlendikten sonra G ve M kodları makine çıktısına gönderilir. Makine kontrol programı ise, bu kodları inceledikten sonra mikro işlemcilerden oluşan motor, adım motor sürücüsüne paralel porttan adım ve yön bilgileri gönderilerek çalışmaktadır [41].

Bu tez çalışmasında; X, Y ve Z eksenlerinde kullanılan adım motorunun ve işleme özelliği olarak kullanılan spindle motorun kontrolü, Mach3 yazılım olarak kullanılan program yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Mach3 programında; X ekseninde hareket eden motorun kontrolünü klavyenin sağ sol yön tuşlarıyla, Y ekseninde hareket eden motorun kontrolünü klavyenin yukarı aşağı yön tuşlarıyla, Z ekseninde hareket eden motorun kontrolünü ise klavyenin pageup- pagedown tuşlarıyla kontrolü gerçekleştirilebilir.

Yapılmış olan uygulamalarda, özellikle uygulama 3, uygulama 4' ve uygulama 5' den görüldüğü gibi çok özel tasarımlar yapmak mümkündür.

Sonuç olarak bu tez çalışmasında, Mach3 programı yardımıyla sistemde kullanılmış olan motorların hız ve konum kontrolleri sorunsuz bir şekilde yapılmıştır. Çalışılan sistemdeki motorların arzu edilen hassasiyette hareketlerini gerçekleştirdiği yapılan uygulamalar sonucunda görülmüştür. Eğer bu işlemler çok hassas bir şekilde yapılmak isteniyorsa, adım motorları yerine servo motorlar tercih etmek daha mantıklı olacaktır. İmkanların kısıtlı olması nedeniyle, servo motorlar bu sistemde kullanılamamıştır.



Şekil 6. Mach3 Programı ile motorların kontrolü

KAYNAKLAR

- [1] **Büyüksahin, U.**, 2005. 3 Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [2] **Alan, S.**, 2006. CNC Eğitim Seti Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
- [3] **Kutlu, M.** 2006. Üç Eksenli Masa Tipi CNC Freze Tezgâhı Tasarım ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar Kocatepe Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- [4] **Apaydın, H.**, 2006. Adım Motorlarının Karakteristikleri ve Bilgisayar ile Konum Kontrolü Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [5] **Demirel, K.**, 2012. Bilgisayar Kontrollü Dik CNC Freze Tezgahı Modernizasyonu Ve Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- [6] **Kavalaşen, D.**, 2010. Beş Eksenli CNC Tezgah Tasarımı Ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- [7] **Kabaş, K.**, 2011. Sıvı Soğutma Sistemli Masaüstü CNC Freze Tezgahı Tasarımı Ve Prototip İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- [8] **Ay, M. G.**, 2004. High Precision CNC Motion Control, In Partial Fulfillment For The Requirements Of The Degree Of Master Of Science In Mechanical Engineering, Middle East Technical University, Ankara
- [9] **Kaygısız, H.**, 2010. Eğitim Amaçlı Masaüstü Üç Eksenli CNC Freze Tasarımı Ve Prototipi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- [10] **Cevindik, M.**, 2009. Üç Eksenli CNC ile Mermer İşlemede Elektrik Enerji Tüketimine Etki Eden Parametreler, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar
- [11] **Koleri, A. ve Çetinkaya K.** Masa Üstü CNC Freze Tezgâh Tasarımı ve Prototip imalatı, Araştırma Makalesi, Karabük Üni. Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük

- [12] **Yazıcı Ş., A., Kılıvan M., Ertunç, H.M., Erol M.C.,** 2003. Bilgisayar Kontrollü Kartezyen Robot Tasarımı, Elektrik- Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, TMMOB, İstanbul
- [13] **Çelikel, R.,** 2005. PIC Mikrodenetleyici Yardımı ile Adım Motorunun Konum Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ
- [14] **Tiftikçi, S., Varol, A., Şengür, A.,** 2006 Düşünen Tahta Robotu, II. Ulusal Mühendislik Kongresi, Zonguldak Karaelmas Üni. Zonguldak, 11-13 Mayıs, S.393-400
- [15] **Ateş H, E.,** 2011. Design And Realization Of A Step Motor Driver With Micro-Stepping Capability, In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Science Electirical And Electronics Engineering, Middle East Technical University, Ankara
- [16] **Kelek, F.,** 2008. Bilgisayar Destekli Fotoluminesans Ölçüm Sisteminde Monokromatörün Mikrodenetleyici Ve Adım Motor İle Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum
- [17] **Şenol, S.,** 2009. CNC Tezgahı ile Kesim ve Desen Çıkarma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli
- [18] **Karaçam, S.,** 2009. Adım Motor Kontrollü Hızlı CNC Freze Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya
- [19] **Sevil, S.,** 2013. Dört Eksen Masaüstü CNC Freze Tezgah Tasarımı, Prototipi ve Silindirik Dişli Uygulamaları, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük
- [20] **Kaygısız, H. ve Çetinkaya K.** 2010. CNC Freze Eğitim Seti Tasarımı ve Uygulaması, International journal of technologic sciences, **3**, 53-71
- [21] **Uyanık, A.S.,** 2006. Üç Eksenli TERCO Yüzey İşleme Tezgahının Bilgisayar ile Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [22] <http://hbogm.meb.gov.tr/> 2006. CNC Frezede Programlama, Mesleki Eğitim ve Öğretim Sisteminin Güçleştirilmesi Projesi, Ankara
- [23] www.CNCTornaTezgahi.com 30.08.2014
- [24] www.automationtechnologiesinc.com , 05.07.2014

- [25] **Bal, G.**, 2011. Özel Elektrik Marinaları, Seçkin Yayıncılık, Ankara
- [26] **Gökmen, Ü.**, 2008. Bir Eğitim Simülatöründeki Çok Sayıda Adım Motorunun PC İle Hız ve Konum Kontrolünün Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- [27] **Yılmaz, S.**, 2006. Bir Robot Kolu Mekanizmasında Adım Motorları Vasıtasıyla, Verilen Koordinatlara Hareketin Gerçekleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya
- [28] **Shah, C.**, 2004. Sensorless Control of Stepper Motor Using Kalman Filter, Doctoral dissertation, Cleveland State University.
- [29] **Eksen, S.**, 2006. Satranç Hamlelerini Gerçekleştiren, Bilgisayar Destekli Robot Düzeneginin Tasarımı ve Gerçeklenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun
- [30] **Khan, S.W, Zamulabideen, O.J**, PC Based Wireless Stepper Motor Control, Degree of Bachelor of Science in Electrical Engineering, www.google.com.tr/#q=PC+Based+Wireless+Stepper+Motor+Control, 12. 07. 2014
- [31] **Jones, D. W.**, 1990. Control of Stepping Motors, The Universty of Low a Department of Computer Science.
- [32] **Türkay, Y.**, 1991. Mikroişlemci' ler Yardımı ile Step Motor Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri
- [33] **Khalilian, M., Abedi, A., Zadeh, A.D.**, 2011. Published by Elsevier Ltd. Selection and/or peer-review under responsibility of the organizing committee Of 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE)., Iran
- [34] www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/steppermotor.html , 16.08.2014
- [35] <http://www.inverter-plc.net/> , 25.07.2014
- [36] www.poysanotomasyon.com , 19.07.2014
- [37] **Maeda, O.**, 1996. Expert Spindle Design System, Kobe University, A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirements For The Degree Of Master Of Applied Science In The Faculty Of Graduate Studies Mechanical Engineering, Japan

- [38] **Eng, B.**, 2004. Analysis And Application Of Two- Phase Spindle Motor Driven By Sensorless BLDC Mode, Huazhong Uni. , A Thesis Submitted For The Degree Of Master Of Engineering Department Of Electrical And Computer Engineering, Singapore
- [39] www.Spindle.Drivers.Systems , 2003. Spindle Drive Systems, 30. 07. 2014
- [40] **Narasimham, P. V. R. L., Sarma, A. V. R. S., & Srinivasarao, D.** 2010. A novel low cost bipolar-starting and unipolar-running converter to drive spindle motor at high speed with high starting torque. In Industry Applications (INDUSCON), 9th IEEE/IAS International Conference on, pp. 1-4.
- [41] **Karaca, L., Ö., ve diğerleri**, 2012. Bilgisayar Kontrollü CNC Sistemi, Proje Tabanlı Mekatronik Eğitim Çalıştayı, Dokuz Eylül Üniversitesi İzmir, 25-27 Mayıs 2012

EKLER

Ek 1



Şekil A Sistemin elektronik donanımı

Ek 2



Şekil B Çalışılan sistemin görüntüsü

Ek 3

Parça işleme sırasında, Mach3 programında kullanılan G kodları aşağıda verilmiştir.

Uygulama 1

%

G90

G49

M3 S15000

G0 X3.000 Y3.000 Z5.000

G1 Z-5.000 F2520

G1 X97.000 Y3.000 F6300

Y97.000

X3.000

X3.000 Y3.000

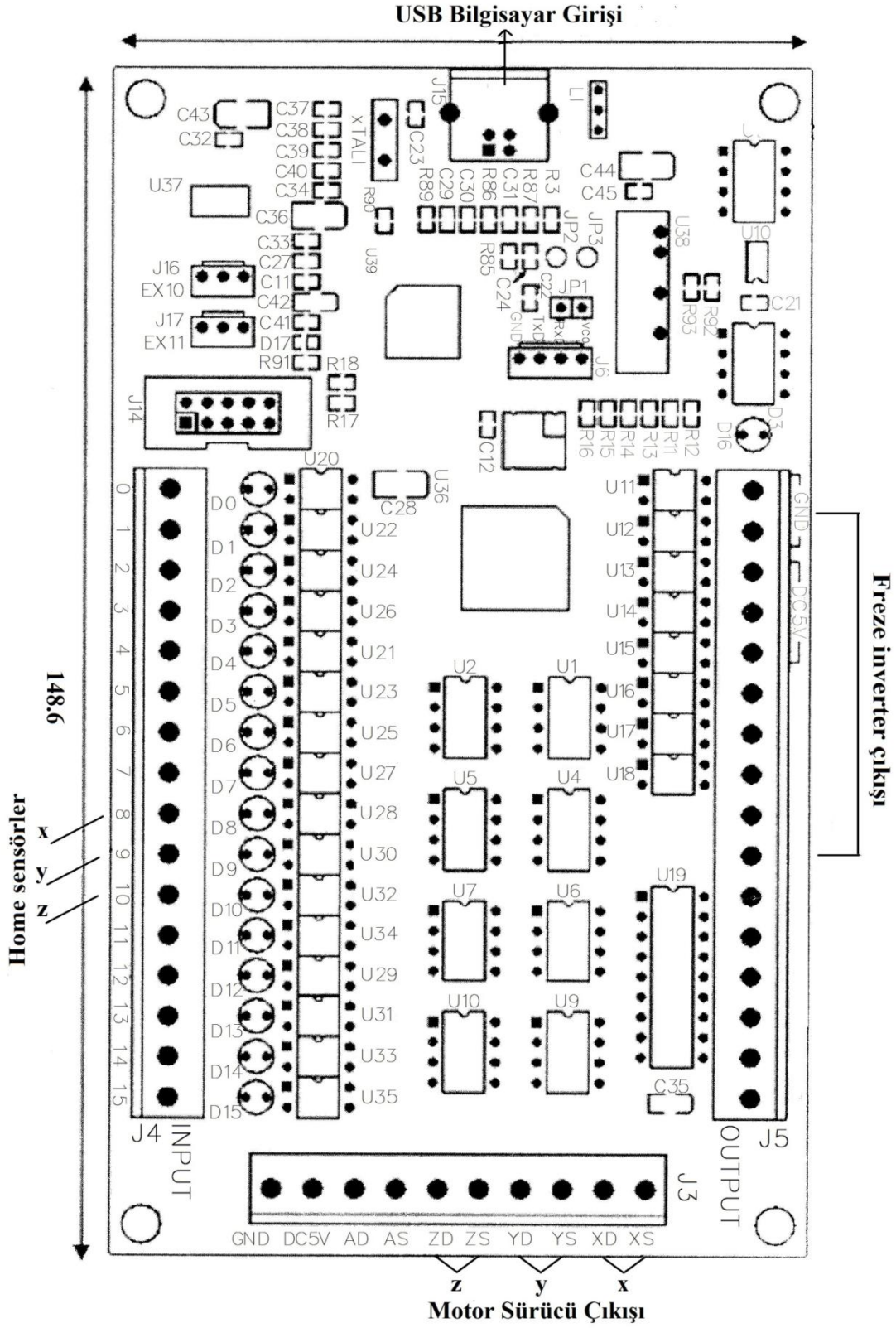
G0 Z5.000
G0 X168.750 Y96.750
G1 Z-5.000 F2520
G1 X169.053 Y96.735 F6300
X169.360 Y96.687
X169.665 Y96.607
X169.964 Y96.494
X170.250 Y96.348
X170.519 Y96.173
X170.767 Y95.971
X170.989 Y95.747
X171.183 Y95.505
X171.348 Y95.250
X223.310 Y5.250
X223.438 Y5.001
X223.548 Y4.727
X223.633 Y4.431
X223.689 Y4.114
X223.711 Y3.781
X223.695 Y3.437
X223.638 Y3.089
X223.538 Y2.745
X223.396 Y2.411
X223.214 Y2.095
X222.996 Y1.805
X222.747 Y1.546
X222.474 Y1.322
X222.185 Y1.137
X221.885 Y0.989
X221.583 Y0.879
X221.284 Y0.805
X220.992 Y0.763
X220.712 Y0.750
X116.788 Y0.750

X116.508 Y0.763
X116.216 Y0.805
X115.917 Y0.879
X115.615 Y0.989
X115.315 Y1.137
X115.026 Y1.322
X114.753 Y1.546
X114.504 Y1.805
X114.286 Y2.095
X114.104 Y2.411
X113.962 Y2.745
X113.862 Y3.089
X113.805 Y3.437
X113.789 Y3.781
X113.811 Y4.114
X113.867 Y4.431
X113.952 Y4.727
X114.062 Y5.001
X114.190 Y5.250
X166.152 Y95.250
X166.317 Y95.505
X166.511 Y95.747
X166.733 Y95.971
X166.981 Y96.173
X167.250 Y96.348
X167.536 Y96.494
X167.835 Y96.607
X168.140 Y96.687
X168.447 Y96.735
X168.750 Y96.750
G0 Z5.000
G0 X279.834 Y4.810
G1 Z-5.000 F2520
G1 X280.166 Y4.810 F6300

X283.990 Y7.017
X276.010 Y7.017
X271.688 Y9.513
X288.312
X292.467 Y11.912
X267.533 Y11.912
X263.377 Y14.312
X296.623 Y14.312
X300.779 Y16.711
X259.221 Y16.711
X255.065 Y19.110
X304.935
X309.091 Y21.510
X250.909 Y21.510
X246.753 Y23.909
X313.247 Y23.909
X317.402 Y26.308
X242.598 Y26.308
X238.442 Y28.708
X321.558 Y28.708
X325.714 Y31.107
X234.286 Y31.107
Y33.506
X325.714 Y33.506
Y35.906
X234.286
Y38.305
X325.714 Y38.305
Y40.704
X234.286 Y40.704
Y43.104
X325.714 Y43.104
Y45.503
X234.286 Y45.503

Y47.903
X325.714 Y47.903
Y50.302
X234.286 Y50.302
Y52.701
X325.714 Y52.701
Y55.101
X234.286 Y55.101
Y57.500
X325.714 Y57.500
Y59.899
X234.286 Y59.899
Y62.299
X325.714 Y62.299
Y64.698
X234.286
Y67.097
X325.714
Y69.497
X234.286
Y71.896
X325.714
Y74.296
X234.286
Y76.695
X325.714
Y79.094
X234.286
Y81.494
X325.714
Y83.893
X234.286
X238.442 Y86.292
X321.558

X317.402 Y88.692
X242.598
X246.753 Y91.091
X313.247
X309.091 Y93.490
X250.909
X255.065 Y95.890
X304.935
X300.779 Y98.289
X259.221
X263.377 Y100.688
X296.623
X292.467 Y103.088
X267.533
X271.688 Y105.487
X288.312
X284.322 Y107.791
X275.678
X279.834 Y110.190
X280.166
X280.000 Y110.286
X234.286 Y83.893 s
X234.286 Y31.107
X280.000 Y4.714
X325.714 Y31.107
Y83.893
X280.166 Y110.190
G0 Z5.000
G0 X0.000 Y0.000
G0Z5.000
X0.000Y0.000
M05
M02
%



Şekil C USB kontrol kartının sistem üzerindeki bağlantısı

ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Elazığ da doğdu. İlköğrenimini Elazığ da tamamladı. Orta Öğrenimini Elazığ Endüstri Meslek Lisesinin Elektrik Bölümünden mezun oldu. Yüksek Öğrenimini ise 2007 ile 2011 yılları arasında Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği bölümünden mezun oldu. Ayrıca Mühendislik tamamlama eğitimini Fırat Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliğinde devam ettirmektedir. Şu anda ise Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitiminde Yüksek Lisansa devam etmektedir.