

**BRESENHAM ÇİZGİ ALGORİTMASI İLE**

**ÜÇ EKSENLİ KARTEZYEN ROBOT**

**TASARIMI VE UYGULAMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ramazan KURŞUN**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Uğur FİDAN**

**BİLGİSAYAR ANABİLİM DALI**

**Haziran, 2013**

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS**

**BRESENHAM ÇİZGİ ALGORİTMASI İLE ÜÇ EKSENLİ KARTEZYEN  
ROBOT TASARIMI VE UYGULAMASI**

**Ramazan KURŞUN**

**DANIŞMAN**

**Yrd. Doç. Dr. Uğur FİDAN**

**BİLGİSAYAR ANABİLİM DALI**

**Haziran, 2013**

## TEZ ONAY SAYFASI

Ramazan KURŞUN tarafından hazırlanan “Bresenham Çizgi Algoritması İle Üç Eksenli Kartezyen Robot Tasarımı Ve Uygulaması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ...../...../..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Bilgisayar Anabilim Dalı’nda**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Yrd.Doç.Dr. Uğur FİDAN

**Başkan** : Yrd.Doç.Dr. Ertuğrul ERGÜN

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Uğur FİDAN

**Üye** : Yrd.Doç.Dr. Uçman ERGÜN

**Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun**

...../...../..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

**Enstitü Müdürü**

**Prof. Dr. Mevlüt DOĞAN**

## **BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI**

### **Afyon Kocatepe Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

14.06.2013

Ramazan KURŞUN

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### BRESENHAM ÇİZGİ ALGORİTMASI İLE ÜÇ EKSENLİ KARTEZYEN ROBOT TASARIMI VE UYGULAMASI

Ramazan KURŞUN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Ana Bilim Dalı

**Danışman:** Yrd. Doç. Dr. Uğur FİDAN

Bu çalışmada üç eksenle hareket edebilen kartezyen bir robotun mekanik aksamı dışında kalan, elektronik kontrol devresi ve ara yüz programı gerçekleştirilmiş ve uygulanmıştır. Elektronik kontrol kartında mikrodenetleyici olarak ATMEL seçilmiştir. Step motorlar için ULN2003 entegresi kullanılmıştır. Ara yüz programı ise Borland C++ Builder 6 ile yazılmıştır.

Çalışmada mekanik aksamı hazır olan üç eksenli kartezyen bir robotun kontrol ünitesi yeniden tasarlanmış ve ara yüz programına uygun format geliştirilmiştir. Cihaz ile bilgisayar haberleşmesi Seri Port üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kontrol ünitesi üzerinden ISP ile mikrodenetleyici programlaması yapılmasına olanak sağlanmıştır. Step motorların kontrolü için Bresenham'ın Çizgi Algoritması kullanılmıştır.

Cihazın kullanımı için gerekli hazırlıklar yapılmış ve uygulamasında 0.1mm hassasiyet ile çizimler gerçekleştirilmiştir.

**2013, xii + 72 Sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Kartezyen robot, Step motor, C++ Builder 6, ATMEL, Step motor kontrolü, Bresenham Çizgi Algoritması

## **ABSTRACT**

M.Sc Thesis

### **DESIGN AND APPLICATION OF 3-AXES CARTESIAN ROBOT WITH BRESENHAM'S LINE ALGORITHM**

**Ramazan KURŞUN**

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Computer

**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Uğur FİDAN

In the study, by developing an electronic control circuit and driver program of a cartesian robot that can move to three axes, out of mechanical part, a user's interface program of the device has been performed and applied. ATMEL was chosen as microcontroller on electronic control card. For step motors, ULN2003 embedded computer system was used. Interface program was written with Borland C++ Builder 6.

The driver format developed was used in the interface program. The format was based on vector graphic format. All geometrical shapes were made to draw in line with vector graphic format. However, functions specific to basic geometrical shapes were developed in user's interface. With Teamviewer, toll desktop connecting program, the device was controlled and used via a different computer on the Internet. The communication between the device and the computer was obtained through Serial Port. Additionally, the programming of microcontroller could be performed with ISP through the control unit. Bresenham's line algorithm is used to control the stepper motors.

Necessary preparations were carried out to use the device, and drawings were conducted with fudge factor of 0.1mm.

**2013, xii + 72 pages**

**Key Words:** Cartesian robot, Step motor, C++ Builder 6, ATMEL, Control of step motor, Bresenham's Line Algorithm

## **TEŐEKKÖR**

Yapmıő olduėum bu yűksek lisans alıőmasında desteėini esirgemeyen, bilgi ve gűrűőlerini benimle paylaőan danıőman hocam Yrd. Do. Dr. Uėur FİDAN'a teőekkűr ve űűkranlarımı sunarım.

Ramazan KURŞUN

AFYONKARAHİSAR, 2013

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ</b> .....	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>x</b>
<b>RESİMLER DİZİNİ</b> .....	<b>xi</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2.GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>3</b>
2.1 Robot Kavramı.....	3
2.2 Robot Sistemleri .....	3
2.3 Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması .....	5
2.4. Kartezyen Robot .....	6
2.5. Brensenham'ın çizgi algoritması .....	8
2.6. Literatür Araştırması.....	9
<b>3.MATERYAL ve METOT</b> .....	<b>12</b>
3.1 Materyaller.....	12
3.1.1 Step (Adım) Motorları.....	12
3.1.1.1 Step (Adım) Motor Çeşitleri.....	14



3.1.1.2 Step (Adım) Motorlarının Bağlantı Şekilleri.....	18
3.1.1.3 Step (Adım) Motorlarına Ait önemli Parametreler .....	18
3.1.1.4 Step (Adım) Motorlarının Kontrolü .....	20
3.1.1.5 Step (Adım) Motorlarının Sürülmesi .....	21
3.1.2 L293D Entegresi .....	22
3.1.3 Max232 Entegresi .....	23
3.1.4 78XX Güç Regülatör Entegresi .....	23
3.1.5 Zener Diyot .....	24
3.1.6 Atmel Serisi Mikrodenetleyiciler .....	25
3.1.7 C++ Programlama Dili.....	27
3.1.8 CodeVision Avr .....	28
3.1.9 ISP Donanım ve Yazılım Mimarisi.....	28
3.2 Metot.....	29
3.2.1 Üç Eksenli Kartezyen Robot.....	29
3.2.2 Kontrol Kartının Geliştirilmesi ve Uygulanması .....	29
3.2.3 Sürücü yazılımının Geliştirilmesi ve Uygulanması .....	33
3.2.4 Haberleşme Protokolü.....	34
3.2.5 Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi ve Uygulanması .....	34
3.2.5.1. Dosya Menüsü.....	36
3.2.5.2 Düzenle Menüsü.....	36
3.2.5.3 Araçlar Menüsü .....	37
3.2.5.4 Görünüm Menüsü.....	38

3.2.5.5 Ayarlar Menüsü .....	39
3.2.5.6 Durum Çubuğu .....	39
3.2.5.7 Kısayol Çubuğu .....	40
3.2.5.8 Özellikler Penceresi .....	40
3.2.5.9 Manuel Kontrol Penceresi .....	41
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>42</b>
4.1 Bresenham Çizgi Algoritmasının Step Motorlara Uygulanması .....	42
4.2 Çizgi Uygulaması .....	45
4.3 Dörtgen Uygulaması .....	48
4.4 Çember Uygulaması .....	51
4.5 Elips Uygulaması .....	53
4.6 Yay Uygulaması .....	57
4.7 Bezier Eğrisi Uygulaması .....	60
4.8 Karışık Geometrik Şekillerin Uygulanması .....	65
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....</b>	<b>67</b>
<b>6. KAYNAKLAR .....</b>	<b>69</b>
6.1 İnternet Kaynakları .....	71
ÖZGEÇMİŞ .....	72

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

<b>CNC</b>	Computer Numerical Control (Bilgisayarlı Sayısal Kontrol)
<b>CAD</b>	Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
<b>CAM</b>	Computer-Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
<b>CAE</b>	Computer Aided Engineering (Bilgisayar Destekli Mühendislik Yazılımı)
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
<b>ROM</b>	Random Only Memory (Salt Okunur Bellek)
<b>IEEE</b>	Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>DC</b>	Direct Current (Doğru Akım)
<b>PWM</b>	Pulse-Width Modulation (Darbe Genişlik Modülasyonu)
<b>TTL</b>	Transistor to Transistor Logic (Transistör Transistör Lojik)
<b>RAM</b>	Random Access Memory (Rastgele Erişimli Bellek)
<b>ISP</b>	In System Programming (Sistem Programlama)
<b>JTag</b>	Joint Test Action Group (Ortak Testi Eylem Grubu)
<b>ID</b>	Identity (Kimlik)
<b>LAN</b>	Local Area Network (Yerel Ağ Bağlantısı)
<b>EEPROM</b>	Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory (Elektronik Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek)
<b>USB</b>	Universal Serial Bus (Evrensel Seri Veri Yolu)
<b>RX-TX</b>	Receive X – Transmit X (Alıcı X – Verici X )

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1 Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması	6
Şekil 2.2 Kartezyen robot modeli	7
Şekil 3.1 Sabit mıknatıslı adım motorunun yapısı	15
Şekil 3.2 Değişken relüktanslı adım motorunun yapısı	15
Şekil 3.3 Hibrit adım motorunun yapısı	16
Şekil 3.4 Unipolar adım motorunun yapısı	17
Şekil 3.5 Bipolar adım motorunun yapısı	17
Şekil 3.6 Bağlantı şekillerine göre hız – tork eğrileri	17
Şekil 3.7 Adım motorları bağlantı şekilleri	18
Şekil 3.8 Sürekli rejimde ve kalkışta maksimum yük momenti/hız eğrileri	20
Şekil 3.9 L293D entegresi iç yapısı	22
Şekil 3.10 Max232 Entegresi	23
Şekil 3.11 78XX entegresi ayak bağlantısı	24
Şekil 3.12 Zener diyot sembolleri	25
Şekil 3.13 MCS-51 core mimarisinin blok diyagramı	27
Şekil 3.14 ATMEGA32 ayak bağlantı şeması	30
Şekil 3.15 Sistemin işleyiş şeması	35
Şekil 4.1 Çizgi oluşturmak için akış şeması	48
Şekil 4.2 Dörtgen çizimi örneği	49

<b>Şekil 4.3</b> Dörtgen oluşturmak için akış şeması	50
<b>Şekil 4.4</b> Çemberde yay uzunluğuna göre $\alpha$ açısının bulunması	51
<b>Şekil 4.5</b> Çemberin çizim örneği	52
<b>Şekil 4.6</b> Çember oluşturmak için akış şeması	53
<b>Şekil 4.7</b> Elips çizim örneği	54
<b>Şekil 4.8</b> Elips oluşturmak için akış şeması	56
<b>Şekil 4.9</b> Yay çizim örneği	57
<b>Şekil 4.10</b> Yay oluşturmak için akış şeması	60
<b>Şekil 4.11</b> Bezier eğrisi örneği	61
<b>Şekil 4.12</b> Bezier eğrisi oluşturmak için akış şeması	65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Çizelge 2.1</b> Bresenham Çizgi Algoritması	8
<b>Çizelge 3.1</b> Step (Adım) Motorlarının Sürülmesi	21
<b>Çizelge 3.2</b> Değişik 78XX regülatörleri	24
<b>Çizelge 3.3</b> Kontrol ünitesindeki mikrodenetleyici ayak bağlantıları	31
<b>Çizelge 3.4</b> Bir noktanın oluşumu için gerekli veri paketi içeriği	34
<b>Çizelge 3.5</b> Örnek nokta için oluşturulan veri paketinin açılımı	34

## RESİMLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Resim 2.1</b> Graphtec MP5300 pen plotter	7
<b>Resim 2.2</b> Bresenham Algoritması ile örnek bir çizgi ve eksen noktaları	9
<b>Resim 3.1</b> Step (Adım) Motor	12
<b>Resim 3.2</b> Üç eksenli kartezyen robot	29
<b>Resim 3.3</b> Kontrol kartı üzerindeki LCD panel	32
<b>Resim 3.4</b> Çalışma için düzenlenen kontrol kartı	33
<b>Resim 3.5</b> Kullanıcı ara yüzü ekranı	35
<b>Resim 3.6</b> Dosya menüsü	36
<b>Resim 3.7</b> Düzenle menüsü	37
<b>Resim 3.8</b> Araçlar menüsü	38
<b>Resim 3.9</b> Görünüm menüsü	38
<b>Resim 3.10</b> Ayarlar menüsü	39
<b>Resim 3.11</b> Durum çubuğu	39
<b>Resim 3.12</b> Kısayol çubuğu	40
<b>Resim 3.13</b> Özellikler penceresi	40
<b>Resim 3.14</b> Manuel kontrol penceresi	41
<b>Resim 4.1</b> Bresenham Çizgi Algoritması ile doğru için gerekli noktaların hesap edilmesi	43
<b>Resim 4.2</b> Örnek için oluşturulan noktaların oluşturduğu doğru örneği	43
<b>Resim 4.3</b> Farklı yay açısına göre çizilmiş çemberler	44

<b>Resim 4.4</b> Örnek çemberlerin MsOffice Excel grafik yardımı ile çizimi	45
<b>Resim 4.5</b> Arayüz programında çizgi uygulaması	46
<b>Resim 4.6</b> Cihaz ile çizgi uygulamasının gerçekleştirilmesi	46
<b>Resim 4.7</b> Arayüz programında dörtgen uygulaması	49
<b>Resim 4.8</b> Cihaz ile dörtgen uygulamasının gerçekleştirilmesi	50
<b>Resim 4.9</b> Arayüz programında çember uygulaması	52
<b>Resim 4.10</b> Cihaz ile çember uygulamasının gerçekleştirilmesi	52
<b>Resim 4.11</b> Arayüz programında elips uygulaması	55
<b>Resim 4.12</b> Cihaz ile elips uygulamasının gerçekleştirilmesi	55
<b>Resim 4.13</b> Arayüz programında yay uygulaması	58
<b>Resim 4.14</b> Cihaz ile yay uygulamasının gerçekleştirilmesi	58
<b>Resim 4.15</b> Arayüz programında bezier eğrisi uygulaması	62
<b>Resim 4.16</b> Cihaz ile Bezier eğrisi uygulamasının gerçekleştirilmesi	63
<b>Resim 4.17</b> Karmaşık çizim uygulaması -1	65
<b>Resim 4.18</b> Karmaşık çizim uygulaması -2	66
<b>Resim 4.19</b> Karmaşık çizim uygulaması -3	66



## 1.GİRİŞ

İnsan gücünü ve üretim maliyetlerini azaltmak, yüksek kaliteli seri üretimi gerçekleştirebilmek için teknoloji hızlı bir şekilde gelişmektedir. Teknolojinin gelişimini sağlamak için uzun süren araştırma ve geliştirme faaliyetleri en son teknolojik ürünlerin maliyetlerini artırmaktadır. Kendi teknolojisini üretebilen ülkeler endüstriyel alanda her zaman bir adım daha önde olarak üretimde maliyetlerini daha düşük seviyelerde tutabilmektedirler. Fakat bu teknolojiye sahip olamayan ülkeler ise ayrıca bu teknoloji için yüksek miktarda bütçeler ayırmak zorunda kalmaktadır.

Ülkemize baktığımızda bu alanda endüstriyel alanda dışa bağımlılığımız oldukça fazladır. Gelişmiş ülke olmak, teknolojiyi takip etmek değil, teknolojiyi üretmek ve gelişmesine katkı sağlamaktır. Dışa bağımlılığın azalması ve sanayide özgür olabilmek için robot teknolojisine önem vermemiz gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında ülkemizde CNC router olarak bilinen birçok alanda faaliyet alanı olan üç eksenli kartezyen robotlar üzerinde geliştirme ve uygulama çalışması yapılmıştır. Yapılan çalışmada internet üzerinden kontrol edilebilen üç eksenli kartezyen bir robotun kontrol ve uygulama arayüzü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Daha önceden çizici plotter olarak kullanılan bir kartezyen robotun mekanik aksamı ve motorları hariç tüm elektronik aksamı çıkarılmıştır. Cihazın kontrol kartı yeniden tasarlanmış ve kart üzerinde bulunan mikrodenetleyici için yeni bir yazılım geliştirilmiştir. Cihaz ile bilgisayar bağlantısı seri port üzerinden kurularak robotun kontrol arayüz programı Borland C++ Builder 6 ile yazılmıştır.

Bu çalışmada ucuz maliyetli kontrol kartı imal edilmiş ve kartı kontrol edecek yazılım geliştirilerek bu konuda dışa bağımlılık asgari düzeye düşürülmek istenmiştir. Çalışmada ortaya konulan kontrol kartı ve yazılımı, herhangi bir üç eksenli robota uygulandığı zaman başarılı sonuçlar alınacak düzeye getirilmeye çalışılmıştır. Uzak masaüstü bağlantı programları ile geliştirilen arayüzün kurulu olduğu bilgisayara uzak masaüstü bağlantısı yapılarak internet üzerinden cihazın kontrolü ve kullanımı sağlanmıştır. Sanayide kullanılan birçok değişik üç eksenli kartezyen robotlarda Z eksenine ucuna değişik aparatlar takılarak örneğin; lazer ünitesi ile lazer kesim, plazma

ünitesi ile plazma kesim, spindle motor ile ahşap plastik ve alüminyum işleme, tutucu manipülâtör ile cisim taşıma gibi işlevleri yerine getirebilecektir. (Aktan 2012).

Tez çalışmasının gerçekleşmesi için izlenen işlem basamakları bölümlere göre aşağıda verilmiştir.Bunlar;

Bölüm 2’de robot kavramı, robot sistemleri, endüstriyel robotlar, Bresenham algoritması ve literatür bilgileri anlatılmıştır.

Bölüm 3’de çalışma için kullanılan materyal ve metotlardan bahsedilmiştir.

Bölüm 4’de çalışmanın uygulama kısmı anlatılmıştır. .

Bölüm 5’de uygulamanın sonuçları ve çalışma ile ilgili öneriler yer almaktadır.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1 Robot Kavramı

Robot, insanın yapabileceği işi hızlı ve hatasız yapabilen makinelerdir. Kontrol yazılımları ile kendisine ne yapacağı söylenen ve kontrol kartları sayesinde de söylenenleri anlayabilmektedirler. ISO 8373 Standardına göre belirlenmiş endüstriyel robot tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması şöyledir: "Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, uzayda sabitlenmiş veya hareketli manipülatördür." (Bingül 2009).

Tanımdaki terimlerin detaylı olarak açıklamaları aşağıdaki gibidir:

*Yeniden Programlanabilir:* Fiziksel değişiklikler olmadan, programlanmış hareketleri veya yardımcı fonksiyonları değiştirilebilen.

*Çok Amaçlı:* Fiziksel değişikliklerle farklı bir uygulamaya adapte edilebilme yeteneği.

*Fiziksel Değişiklikler:* Programlama kasetleri, ROM'lar vb. gibi değişiklikler hariç mekanik yapının veya kontrol sisteminin değiştirilmesi.

*Eksen:* Lineer veya dönel (rotasyonel) modda robot hareketini belirtmek için kullanılan yön.

Robot teknolojisi sanayi devriminden sonra hızla gelişmiş ve günümüzde de gelişimini hızlı bir şekilde sürdürmektedir. Üretimde insana bağımlılığı azaltmış, ürünlerde tek düzen bir standardı sağlayarak sıfır hatayla çalışan sistemler haline gelmiştir (Çetinkaya 2009).

### 2.2. Robot Sistemleri

Endüstriyel uygulamalarda robotlar, her zaman daha büyük bir sistemin parçası olmak durumundadırlar. Böyle bir sistemde robotun yanında düşünülmesi gereken diğer parametreler, tanımlanması gereken hedefler, sistemin sağlaması gereken şartlar ve gerekli bileşenler belirlenmelidir. Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü'nün

(IEEE) tanımına göre sistem, “Birbiriyle etkileşim içerisinde bulunan farklı yapılardan veya alt bileşenlerden meydana gelen ve bir bütünlük oluşturan tümleşik yapıdır”. Diğer bir görüş açısına göre ise sistem belli bir amaca hizmet eden, yapısı ve sınırları tanımlanmış bir varlıktır. Birlikte çalışan alt sistemlerin veya parçaların toplamı sistem olarak tanımlanabilir. Sistemler bazı özel fonksiyonları gerçeklemek için alt sistemlerden oluşabilirler. Robotlu sistemler için bunlar denetim, görüntü algılama, konveyör vs. gibi alt sistemler olabilir. Alt sistemler kendi içlerinde bir bütün olmakla birlikte daha büyük bir sistemin parçasıdırlar. Alt sistemler, sistem hiyerarşisi içinde birden fazla sistemin parçası olabilirler (Craig 1989).

Robotlu sistem planlanırken, birinci adım daima sistemin sağlanması gereken amaçların belirlenmesidir. Sonraki adım, amaçların analizi sonucunda, sistemin istenen hedeflere ulaşması için gerekli olan şartların tanımlanmasıdır. Sistem gerekliliklerinin belirlenmesi için incelenmesi gerekli olan konuları ana başlıklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- *Sistemin Kurulacağı Çevre Şartları:* Robotun hangi şartlardaki bir ortamda çalışacağı incelenmelidir. Ortamın sıcak, nemli veya tozlu olup olmadığı, robot kollarının serbest olarak hareket imkânına sahip olup olmadığı, diğer ekipmanlar ve araçlar tarafından sınırlanıp sınırlanmadığı belirlenmelidir.
- *Hareket Alanı:* Kol hareketiyle ilgili aralıklar genelde şu şekilde belirlenir; 300 mm 'den küçük, 300–1000 mm arası, 1000–3000 mm arası ve 3000 mm 'den büyük. Bütün robotun hareketli (mobil) olmasının gerekli olup olmadığı, sadece kol hareketinin yeterli olup olmayacağı incelenmelidir.
- *Çalışma Hızı:* Kol, bilek, gripper ya da robotun diğer parçaları ne kadar hızlı olmalıdır? mm/s cinsinden lineer hareketler ve derece/s cinsinden dönel hareketler dikkate alınmalıdır. Burada hız aralıkları şu şekilde düşünülebilir:

*Düşük Hız:* 300 mm/s 'den veya 60 derece/s 'den daha küçük

*Orta Hız:* 300–1500 mm/s veya 60–180 derece/s

*Yüksek Hız:* 1500 mm/s 'den veya 360 derece/s 'den daha büyük

- **Gerekli kontrol tipi:**

*Basit Kuvvet Kontrolü:* Tek eksen boyunca kuvvetin algılanması

*Karmaşık Kuvvet Kontrolü:* İki ya da daha fazla eksendeki kuvvetin algılanması

*Yüksek Konum Hassasiyet:* 0,5 mm

*Hassas (kesin) Konumlama:* 0.05 mm


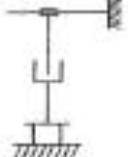


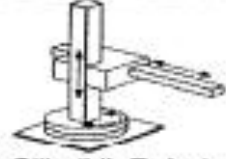



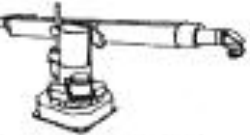



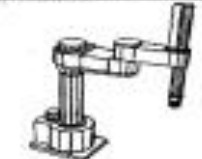
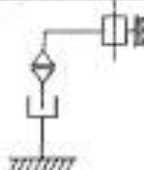



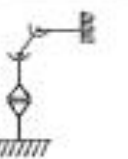






*Sensörlü Kontrol:* Görüntü, dokunma ya da kuvvet sensörleri kullanarak

*Sensör Gereklilikleri:* Yaklaşım sensörleri, kontak sensörleri, basit ve karmaşık görüntü işleme aygıtları

*Diğer Ekipmanlarla Etkileşimler:* Birçok uygulamada, robotun parça taşıyan konveyörle senkronize olması, preslerde olduğu gibi, bir başka makinenin işini veya başka bir robotla senkronize hareket etmesi gerekebilir.

### **2.3 Endüstriyel Robotların Sınıflandırılması**

Robotlar, farklı özelliklerine (eksen sayıları, kontrol çeşitli ve mekanik özelliklerine) göre sınıflandırılabilirler. Şekil 2.1'de robotların mekanik özelliklerine göre yapılmış bir sınıflandırma gösterilmektedir (Groover 1986).

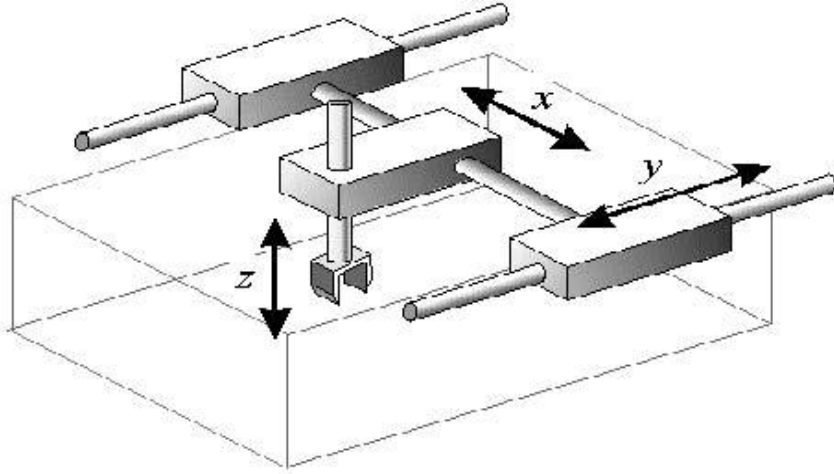
Robot	Eksenler		Örnekler
Prensip	Kinematik Yapı	Çalışma Alanı	Resim
 Kartezyen Robot			
 Silindirik Robot			
 Küresel Robot			
 SCARA Robot			
 Mafsallı Robot			
 Paralel Robot			

Şekil 2.1 Endüstriyel robotların mekanik yapılarına göre sınıflandırılması

## 2.4 Kartezyen Robot

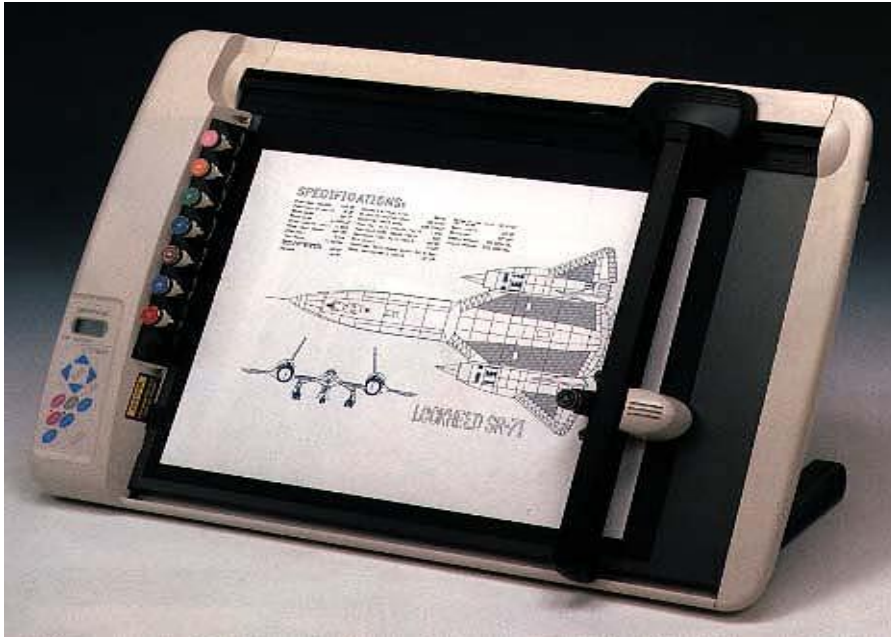
Temel kontrol eksenleri birbirine dik ve lineer olan, yani dönmek yerine düz bir çizgide hareket eden endüstriyel robotlar kartezyen robot olarak adlandırılır. Bakım kolaylığı ve tekrarlanabilirlik özelliklerinin yüksek olmasının yanı sıra, matematik modelleme ve

hesaplamalarının da kolay olması bu tip robotların avantajlarından. Hareketli kısımlar X, Y ve Z kartezyen koordinat sistemi eksenlerine paralel hareket ederler. Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir. Şekil 2.2’de kartezyen bir robotun eksenleri ve hareket yönleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Kartezyen robot modeli

Bu çalışmada kartezyen robot özelliğinde olan bir plotter (çizici) kullanılmıştır. Resim 2.1’de kullanılan Graphtec marka Mp5300 modeli kalem çizici gösterilmiştir.



Resim 2.1 Graphtec MP5300 pen plotter

## 2.5 Bresenham'ın Çizgi Algoritması

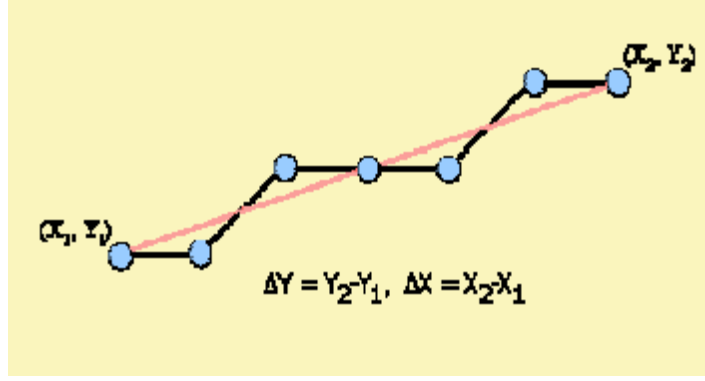
Bilgisayar grafiklerinde kullanılan temel “çizgi çizim” algoritması Bresenham Algoritması; dijital yazıcılarda çizgiler çizmek için geliştirilmiş fakat bilgisayar grafiklerinde daha yaygın olarak kullanılmıştır. Algoritma tam sayılarla hızlı hesaplamalar ve uygulamalar geliştirmek için basit bir algoritmadır. (Joy 1999)

Bresenham çizgi algoritması Amerikalı bilgisayar mühendisi Jack Bresenham tarafından 1960'lı yıllarda IBM için doğrunun bilgisayar ekranına çizimi için geliştirilen bir algoritmadır. Çizelge 2.1'de Bresenham Algoritmasının temel hali verilmiştir. Çeşitli zamanlarda bu algoritma optimize edilerek değişik geometrik şekillere uygulanmıştır. Bir çizginin örnek noktaları ve Bresenham algoritması ile çizimi Resim 2.2'de gösterilmiştir.

**Çizelge 2.1** Bresenham Çizgi Algoritması (İnt.Kyn.1)

```
dx = x2 - x1
dy = y2 - y1
E = 2 * dy - dx
Dn = E + dx = 2dy
Dp = E - dx = 2dy - 2dx
x = x1
DO WHILE x <= x2
  IF E < 0 THEN
    E = E + Dn
    /* y = y + 0 */
  ELSE
    E = E + Dp
    y = y + 1
  END IF
  x = x + 1
  DrawPoint (x, y)
LOOP
```





**Resim 2.2** Bresenham Algoritması ile örnek bir çizgi ve eksen noktaları

Bresenham Algoritması, Digital Differential Analyzer doğru çizme algoritmasına göre daha hızlıdır, çünkü Digital Differential Analyzer algoritmasının aksine ondalıklı sayılarla (float) işlem yapılmaz. Bresenham algoritması tam sayılarla(int) toplama, çıkarma ve ikiyle çarpma işlemlerini içerir. İkiyle çarpma işlemi shift Operasyonu ile Assembler düzeyinde çok hızlı yapılabildiğinden, Bresenham algoritması oldukça verimli bir algoritmadır. (İnt.Kyn.1)

Üç boyutlu CNC tezgâhlar için kullanılan step motorlarda Bresenham algoritmasının başarı ile uygulandığını belirtmiştir. (Chiang 1994)

Sonuç olarak Bresenham Algoritması çizgi çizimlerinde başarılı olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada tüm çizimler bu algoritma üzerine kurularak gerçekleştirilmiştir.

## 2.6 Literatür Araştırması

Literatür incelendiğinde CNC ve kartezyen koordinatlı robot sistemleri teknolojisinde yurtiçi ve yurtdışında çok çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu bölümde bu çalışmalardan bir kısmı incelenmiştir.

Tsen ve arkadaşları (1989) yaptıkları çalışmada üç adet doğrusal eksene sahip, mikroişlemci kontrollü bir tezgah imal etmişlerdir. Bu çalışmadaki genel amaçları, tezgâh üzerinde yeni teknolojiler denemek, özellikle de eğitim amaçlı uygulamalarda

kullanmak olmuştur. Sistem genel olarak basit sayılabilecek bir programa ve küçük boyutlara sahiptir. Ekonomiklik de bir diğer hedefleri olmuştur (Tseng, vd. 1989).

Kim ve arkadaşları (1991) yaptıkları çalışmada CNC teknolojisinin hızla gelişmesine paralel olarak, Kore'deki mühendislerin de bu hıza ayak uydurabilmeleri için CNC eğitim kalitesinin artırılması gerektiğini savunmuşlardır. Bu gereksinimden yola çıkarak, ucuz CNC prototipi tasarlayıp üretmişlerdir. 0,5 KW enerji tüketen bu tezgah, mikroişlemci, sürücü, step motor ve güç kaynağına sahiptir (Kim, vd. 1991).

Lee ve arkadaşları yaptıkları çalışmada CAD/CAE/CAM entegre sistemi geliştirmişlerdir. Robotun pozisyon analizi için Denavit Hartenberg metodunu kullanmışlardır. Bu entegre sistemin bilgisayar destekli mekanizma tasarımı derslerinde destekleyici bir eğitim aracı olarak kullanılabilceğini de belirtmişlerdir (Lee, vd. 2003).

Kaygısız (2010) yaptığı yüksek lisans çalışmasında yüksek maliyetli endüstriyel CNC tezgâhlarından hiçbir farkı bulunmayan CNC tezgahları eğitim amaçlı düşük bütçeli meslek okullarının atölye ve laboratuvarlarında imal edilebilir (Kaygısız 2010).

Köbeloğlu (2011) yaptığı yüksek lisans çalışmasında mesleki ve teknik okullarda bilgisayar destekli imalat derslerinde kullanılmak üzere CNC tezgah tasarlamış ve gerçekleştirmiştir. Bu tezgah sanayi tipi CNC tezgahlar ile karşılaştırıldığında fiyatı oldukça düşüktür (Köbeloğlu 2011).

Eğilmez (2005) yaptığı yüksek lisans çalışmasında elektronik ve mekanik aksamı çalışma dahilinde oluşturulan bilgisayar kontrollü kartezyen kaynak robotu elle yada otomatik araba ile yapılan kaynak işleminden daha sağlıklı yapılabilmektedir (Eğilmez 2005).

Kutlu (2006) yaptığı yüksek lisans çalışmasında ülkemizde üç eksenli kartezyen robot tipi CNC tasarlayan firmalar bulunmaktadır. Bu firmalar cihaz gövdelerini kendileri yapmalarına rağmen gerek yazılım gerek elektronik donanımı dışarıdan aldıkları için maliyetlerin yüksektir. Bu sebeple sanayide küçük işletmelere hitap edememektedirler (Kutlu 2006).

Yazıcı ve arkadaşları (2003) yaptıkları çalışmada step motorlar için geliştirilen program endüstride ihtiyaca yönelik birçok makinenin tasarımında kullanılmak üzere geliştirilebilir. Step motorların yazılım sayesinde tam adım veya yarım adım hareketi sayesinde mesafe hassasiyeti ayarlanabilir (Yazıcı, vd. 2003).

Bakery Holdings LLC'da her eksenin bağımsız olarak kontrol edildiği ve robot merkez hattı boyunca kuvvet uygulandığı; iki eksen, iki sürücü mekanizması ve iki kayıştan oluşan bir kartezyen robot tasarlamıştır. Bu benzersiz tasarım çok eksenli hareket kontrolcüsünün gereksiz oluşunun söylenmesinden beri düşük maliyetli bir kontrol sistemi kullanımına izin vermektedir (Richmond, VA 2002).

Lianqiang ve HaiWen (2009) yaptıkları çalışmada Bresenham çizgi algoritması temel alınarak geliştirilen yeni algoritma 3 kat daha hızlıdır. Veri hazırlamada işlemlerin tam sayılarla yapılması uygun görülmektedir (Lianqiang ve HaiWen 2009).

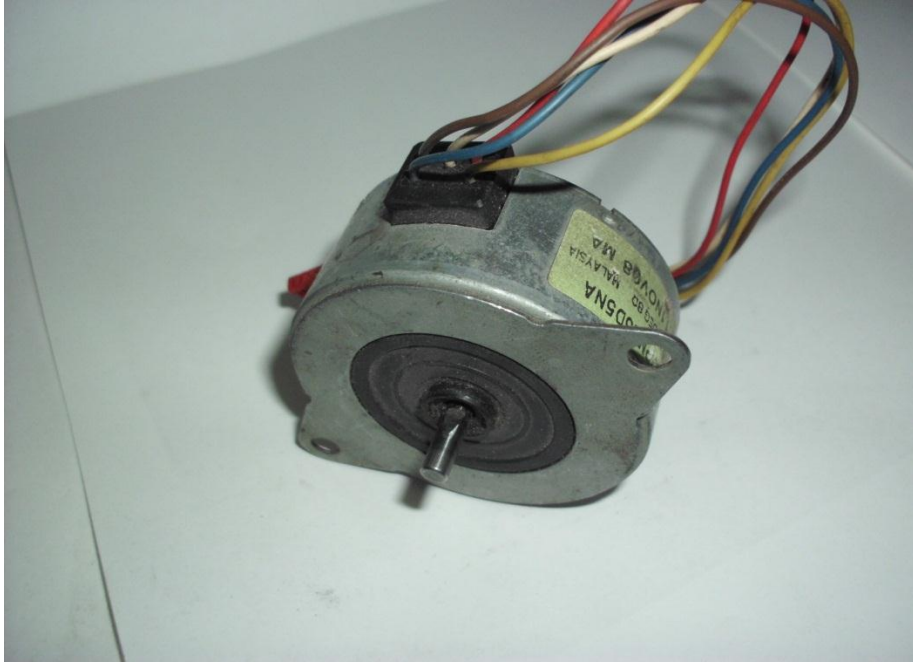
Boyer ve Bourdin (2000) yaptıkları çalışmada Auto Adaptive Step Straight algoritması ile Bresenham çizgi algoritması ve DDA grafik algoritmaları karşılaştırılmıştır. Kullanılan yeni algoritmanın teorik hesaplamalar ile yapılan bu çalışmada bu iki tip algoritmadan daha verimli olduğu görülmüştür (Boyer ve Bourdin 2000).

### 3. MATERYAL ve METOT

#### 3.1 Materyaller

##### 3.1.1 Step (Adım) Motorlar

Adım motorları hassas hareket ve konum kontrolü yapılmak istenen yerlerde kullanılan özel motorlardır. İsminden de anlaşıldığı gibi adım motorları belirli adımlarla dönerler. Bu adımların kontrolü, motor sargılarına gönderilen uygun sinyallerle yapılır. Her bir uyardıda motorun yapacağı hareketin miktarı motorun adım açısına göre değişir. Motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 1,8° gibi değerlerde adım açısına sahip motorlar bulunmaktadır. Resim 3.1’de örnek bir step motor resmi gösterilmiştir.



**Resim 3.1** Step (Adım) Motor

Adım açısı, bir tam dönüş için kaç tane adım atılacağını belirler. Örneğin 1,8° adım açısına sahip bir motor, şaftın bir tam dönüş yapması için 200 darbe ile tahrik edilmelidir ( $360 / 1,8 = 200$ ). Sürücü devreye bağlı olarak motor adımlarının arasında da konumlama yapmak mümkün olabilmektedir. Sürücü devrenin bu özelliğine microstep adı verilir. Sürücü devreye ve bu devre üzerindeki motor sürücü entegresine bağlı olarak  $1/2$ ,  $1/4$ ,  $1/16$ ... gibi değerlerde microstep işlemi yapılabilir. Örneğin  $1/16$  microstep özelliğine sahip bir sürücü ile motor adımı 16 parçaya bölünebilir. Bu sayede daha

hassas hareket ve pozisyonlama yapılabilir. Tezgah düzeneğine ve istenilen hassasiyete göre microstep tercihi yapılır. Adım açısının küçülmesi motorun hassasiyetini artırmaktadır fakat adım motorlarının saniyede kabul edebilecekleri darbeler için bir üst sınır vardır. Ağır iş motorları saniyede 200 - 300 darbe oranına sahiptir, yani yüksek hızlarda dönmektedirler (dakikada 60 - 180 tam tur). Daha küçük bazı adım motorlar saniyede 1000 ve üzeri darbe alabilir fakat yüksek tork üretmediğinden sürme ve dümenleme motorları için uygun değildir. Motorun hızı uygulanan sinyallerin frekansı ile kontrol edilir. Darbe oranı değiştirilerek motorun bir adımlık hareketi çok yavaşlatılabileceği gibi yüksek hızlara (3000 - 4000 devir/dakika) da çıkarılabilir.

Adım motorlarının bobinleri belirli voltajlara göre üretilmiştir. Bobinler üzerlerine gerilim uygulandığında indüktör gibi davranır. Öyle ki, aniden en yüksek akım değerlerini yansıtamadıkları gibi, yüksek step frekanslarında bu en üst değere ulaşamayabilirler. Bobinler tarafından üretilen manyetik alan, akım miktarı ile orantılıdır. Elektromanyetik alan ne kadar büyük olursa, motorların tork üretme potansiyelleri de o kadar fazla olur. Torku yükseltmenin yolu bobinlerin her adımda en yüksek akım değerine ulaşmasından geçer. Bir yükü süren adım motoru dururken aniden bir sonraki yüksek bir konum değerine geçemez. Aynı şekilde yüksek devirde dönerken de aniden durdurulamaz. Bunun anlamı, motorun hızı değiştirilmek istendiğinde bu işlemin kademeli olarak yapılmasının gerekliliğidir.

Motorun devir sayısının artırılmasının veya azaltılmasının kademeli olarak yapılması işlemine rampalama denilmektedir. Rampalama süresi genellikle saniyenin küçük aralıklarında tamamlanabilir. Adım motorlarında bir sarım aktif edildiğinde shaft bir adım ilerler. Akım verilmeye devam edilirse motor dönmez, fren uygulanmış gibi kilitlenir. Bu kilitlenme özelliği sayesinde adım motorlarına ayrıca bir frenleme sistemi uygulanmasına gerek kalmaz. Bir adım motorunun frenleme gücünün büyüklüğü, tutma torku olarak adlandırılır.

Adım motorunun davranışı motoru süren güç kaynağına bağlıdır. Güç kaynağından elde edilecek darbeler mikro işlemci veya bilgisayar tarafından kontrol edilirler. Darbeler bilgisayar tarafından sayılır ve saklanırlar. Saat yönündeki darbeler (+) iken ters yöndeki darbeler (-) olarak işlem görürler. Sonuç olarak her zaman için adım sayıları bilinmektedir. Adım aralıkları da tam olarak bilindiğinden devir sayısı da hassas olarak

bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü gereken cihazlarda (çizici, teypler, valfler ve yazıcılar, robot sistemleri gibi) tercih edilmektedirler. Adım motorlarının geniş kullanım alanına sahip olmalarının nedeni çeşitli avantajlara sahip olmalarıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir: (İnt.Kyn.2).

- Geri beslemeye gerek duymazlar. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden mikro işlemci, bilgisayar vb. elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler.

Adım motorlarının bu avantajları yanında bazı dezavantajları da aşağıdaki gibi sıralanabilir:

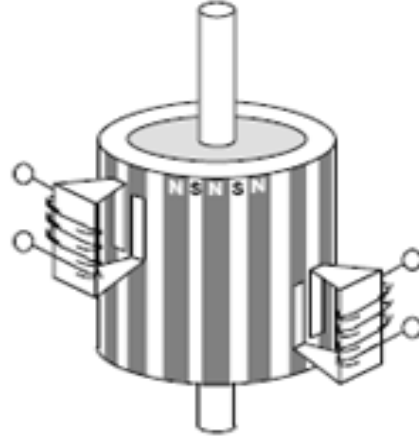
- Adım açıları sabit olduğundan hareketleri sürekli değil darbelidir.
- Sürtünme kaynaklı yükler, açık döngülü kontrolde konum hatası meydana getirirler.
- Elde edilebilecek güç ve moment sınırlıdır.

### **3.1.1.1 Step (Adım) Motor Çeşitleri**

#### *Sabit Mıknatıslı Adım Motorları*

Bu tip adım motorların motor kısmında sabit mıknatıslar bulunur. Mıknatıs kutupları rotor miline paralel şekilde dizilmiştir. Voltaj uygulanması ile sabit mıknatıslı adım motorlar statordaki bobinlerden geçen akımın yönüne göre dönme hareketi sağlar. Rotor kutupları manyetik akımının yoğunluğunun artmasından dolayı sabit mıknatıslı adım motorları, değişken relüktanslı adım motorlara göre gelişmiş bir tork özelliğine sahiptirler. Stator sargılarından geçen akımın değeri yükseldikçe oluşan elektromanyetik alan ve buna bağlı olarak tork artar. Adım açısının artması manyetik kutup sayısı ve stator üzerinde bulunan dişlerin sayısına bağlıdır. Kutup sayısı ve stator dişleri

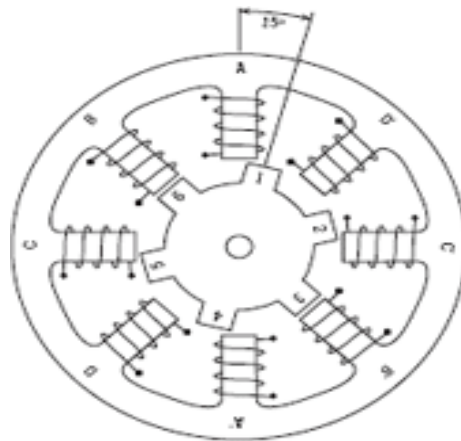
azaldıkça adım sayısı da azalır ve bundan dolayı adım açısı artmaktadır. Şekil 3.1’de sabit mıknatıslı adım motor görülmektedir.



**Şekil 3.1** Sabit mıknatıslı adım motorunun yapısı

#### *Değişken Relüktanslı Adım Motorları*

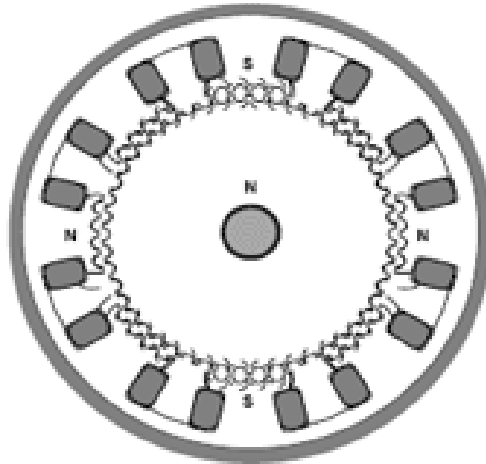
Adım motorlar içinde en basit donanımlı olanıdır. Değişken relüktanslı adım motorların yapısı rotoru yumuşak metal ve çevresinde silindir eksenine paralel dişler bulunur. Adım hareketi, stator dişlerine uygulanan DC akım ile mıknatıslanan kutupların stator dişlerinin rotor dişlerini çekmesi ile gerçekleşir. Sabit mıknatıslı step motorlara göre daha küçük ve hafif rotorlara sahip olması nedeni ile bu tip motorlara göre daha hızlıdır. Şekil 3.2’de değişken relüktanslı adım motor görülmektedir.



**Şekil 3.2** Değişken relüktanslı adım motorunun yapısı

### *Hibrit Adım Motorları*

Sabit mıknatıslı step motorlara göre adım kararlılığı, tork ve hız yönlerinden daha iyi bir yeterliliğe sahip oldukları için daha pahalıdır.  $0,9^\circ$  ile  $3,6^\circ$  arasında değişik adım açlarına sahip hibrit adım motorları bulunmaktadır. Hibrit adım motorları Sabit mıknatıslı ve değişken relüktanslı step motorların verimli yönlerine sahiptir. Değişken relüktanslı adım motorları gibi rotorları çok dişli ve mil etrafında magnetize olmuş eşmerkezli bir mıknatıs içerir. Rotor çevresindeki dişler hava boşluğunda manyetik akının istenilen pozisyona gelebilmesi daha iyi bir yol sağlar. Bu sayede sabit mıknatıslı step motorlara ve değişken relüktanslı step motorlara göre tutunma ve dinamik tork daha yüksek olur. Kullanımda tercih edilen step motorlar hibrit step motorlar ve sabit mıknatıslı step motorlardır. Şekil 3.3’de hibrit adım motor görülmektedir.

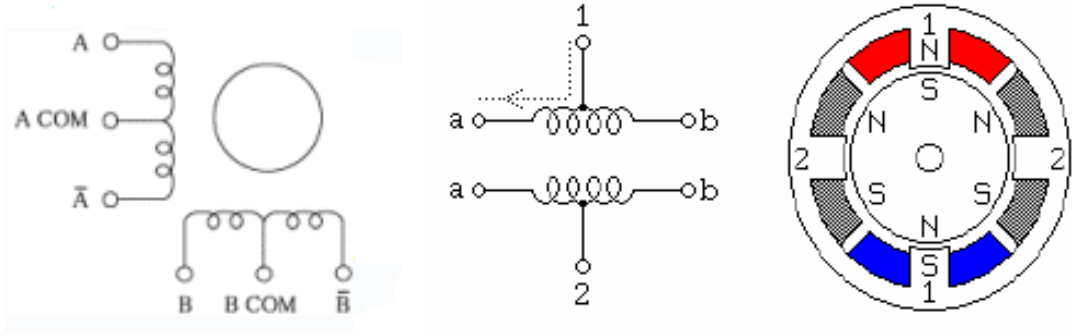


**Şekil 3.3** Hibrit adım motorunun yapısı

### *Bobin Tahrikli Adım Motoru Tipleri*

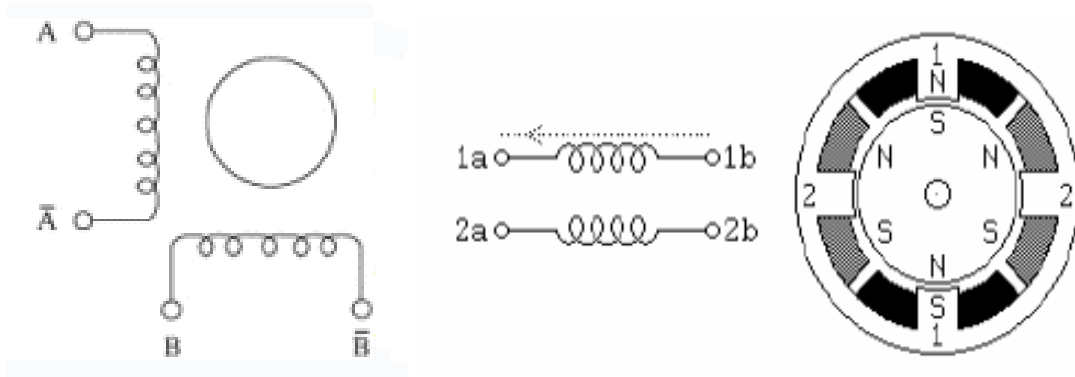
*Unipolar Adım Motorları:* Faz başına çift sargı içeren step motorlarıdır. Sargılardan biri akım yönü için ayrılmıştır. Böylelikle manyetik kutuplar akım yönü değişmeden terslenebilir. Bu sayede motorun kullanımı basit bir şekilde sağlanmaktadır. Unipolar step motorlarda her sarım için ortak bir uç ve her faz içinde 3 uç bulunur. İki fazlı unipolar bir step motorda 6 uç vardır. Çoğunlukla bu iki fazın ortak uçları birleştirilerek 5 kablo ucu oluşturulur. Şekil 3.4’de unipolar bir step motorun iç yapısı gösterilmiştir.



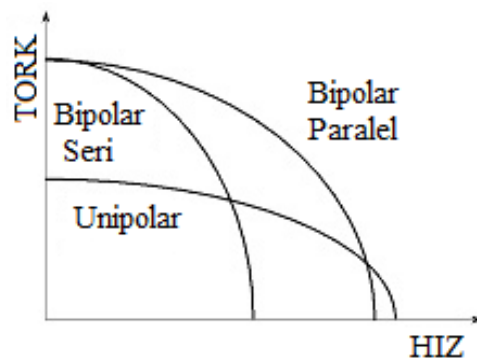


Şekil 3.4 Unipolar adım motorunun yapısı

*Bipolar Adım Motorları:* Faz başına tek sargı içeren step motorlardır. Bipolar step motorlarda manyetik kutbu terslemek için sarımdaki akımın yönünü değiştirmek gerektiğinden sürücü devreleri unipolar step motorlara daha kompleks yapıdadır. Sürücü devreleri yapımında genellikle H köprüsü devreleri kullanılmaktadır. Faz başına iki ucu olan bipolar step motorlarda ortak üç bulunmamaktadır. Bipolar adım motorlarında sarımlar daha kolay kullanıldığından aynı ağırlıktaki unipolar adım motora göre daha yüksek tork elde edilir.



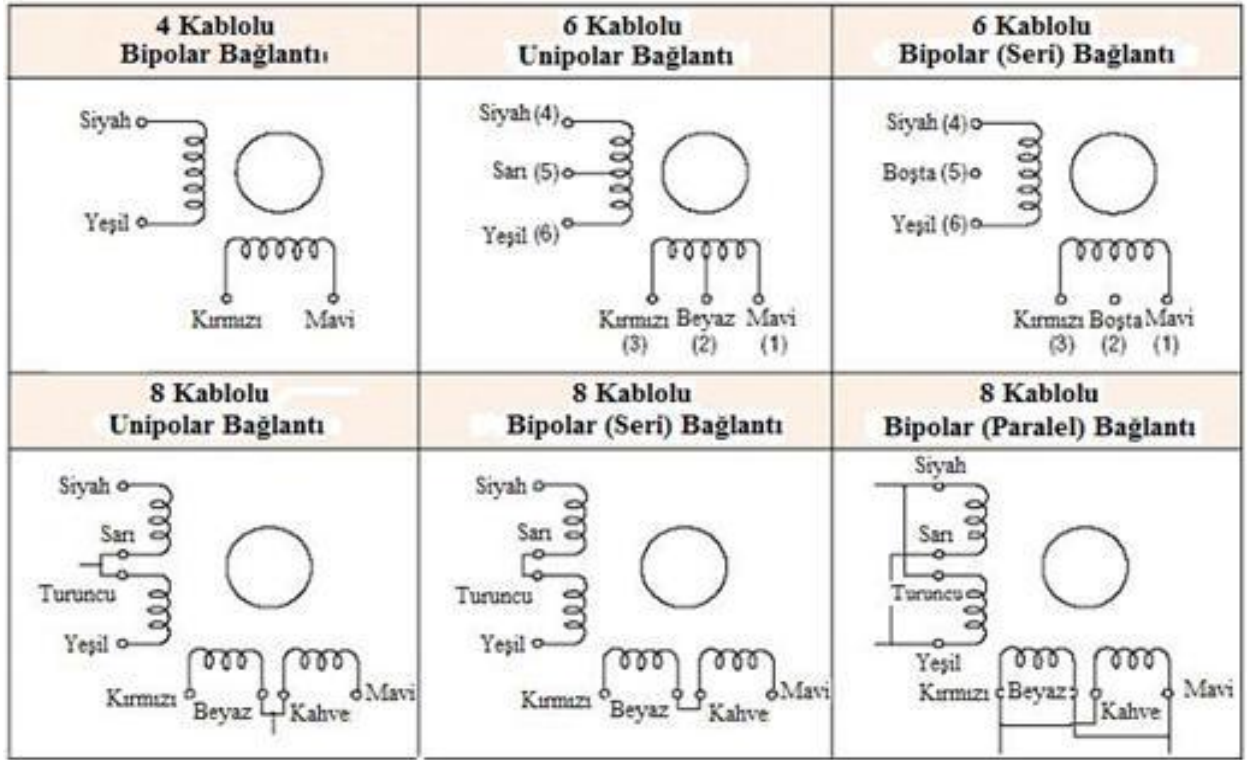
Şekil 3.5 Bipolar adım motorunun yapısı



Şekil 3.6 Bağlantı şekillerine göre hız – tork eğrileri

### 3.1.1.2 Step (Adım) Motorlarının Bağlantı Şekilleri

Unipolar adım motorları bipolar şekilde bağlanabilir. Şekil 3.7'de çeşitli bağlantı şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.7 Adım motorları bağlantı şekilleri

### 3.1.1.3 Adım Motorlarına Ait önemli Parametreler

**Çözünürlük:** Step motorun bir adımdaki açı miktarı veya bir devirdeki adım sayısıdır. Bu değerler motorun imalatı esnasında sabit olarak belirlenmektedir. Step motorların adım büyüklüğü redüktör düzenekleri ya da kayış kasnak mekanizmaları ile değiştirilebilir. Ayrıca step motorun yarım adım sürülmesi ile hassasiyeti artırılabilir.

**Doğruluk:** Bir adım motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında bir araya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki toleranslar ve dâhili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olurlar. Bu durum adım motorunun doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade

edilmiş halidir. Klasik adım motorlarında bu hata  $\% \pm 1$  ile  $\% \pm 5$  arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan, daha az veya çok olabilen rasgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir.

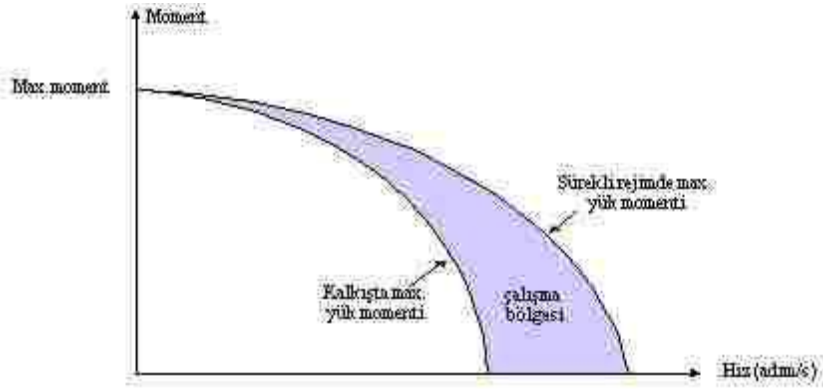
*Tutma Momenti:* Bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyarılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri, rotor adım pozisyonundan uzaklaştırılırsa, motorda indüklenerek olan ve rotoru sıfır momentli adım pozisyonuna geri getirmeye çalışan momentin (tutma momenti) yönünü ve miktarını verir. Tutma momenti eğrisi, motorun tüm rotor konumları ve statik uyarma koşullarındaki ani momentini tam olarak tanımlamak için gereklidir. Diğer moment karakteristikleri (statik ve dinamik) bu eğri baz alınarak elde edilebilir.

*Tek Adım Tepkisi:* Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa motor bir adım atacaktır. Rotor konumunun zamana göre bu değişimi tek adım tepkisi olarak tanımlanır. Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin aşım ve salınım miktarını, adım açısının hassaslığını veren önemli bir karakteristiktir. Adım motorlarından maksimum performans elde edebilmek için tek adım tepkisindeki aşım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi adım motorlarının kontrolünde çok büyük öneme sahiptir.

*Sürekli Rejimde Maksimum Yük Momenti Eğrisi:* Sürekli rejimde maksimum yük momenti / hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan senkronizasyonunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir. Bu moment aynı zamanda, söz konusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir. Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini

kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıktığında bu durum değişebilir.

*Kalkışta Maksimum Yük Momenti Eğrisi:* Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyarım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır. Şekil 3.8 'de sürekli rejimde maksimum yük momenti ve kalkışta maksimum yük momenti eğrileri gösterilmiştir.



Şekil 3.8 Sürekli rejimde ve kalkışta maksimum yük momenti/hız eğrileri

#### 3.1.1.4 Adım Motorlarının Kontrolü

*Açık Çevrim Kontrol:* Adım motorlarına kontrol sinyalleri bir mikrodenetleyici tarafından gönderilebilir. Denetleyici akımı yetersiz olacağından step motor ve mikrodenetleyici arasında sürücü entegreleri kullanılır. Seçilen motorun tipine göre (unipolar ya da bipolar) uygun sürüş yöntemi uygulanır. İstenildiği takdirde tam adım ya da yarım adım yöntemlerinden biri uygulanır. Bu seçim kullanılacak sisteme göre yapılır. Açık çevrim kontrol sisteminde uyarılar motora gönderildikten sonra herhangi bir kontrol ve geri besleme yapılmaz. Bu tip sistemlerde sürücü veya kontrol devrelerinden kaynaklanan herhangi bir hatada adım kaçırma olayı yaşanabilir ve bunun sonucunda hatalı konumlama ortaya çıkabilir.

*Kapalı Çevrim Kontrol:* Kapalı döngü sistemlerde ani rotor konumu sezilerek denetim birimine iletilir. Her adım komutu için bir önceki komutun gerçekleştirildiği adım bilgisi alınarak uygulanır. Bu nedenle motor ile denetleyici arasında herhangi bir adım kaybı olmaz.

### 3.1.1.5 Step (Adım) Motorlarının Sürülmesi

Seçilen step motorun tipine göre (unipolar yada bipolar) tek fazlı yada çift fazlı sürüş şekli uygulanabilir. Unipolar step motorlarda tam adım sürümde her bobinin bir fazına gerilim uygulanırken bipolar step motorlarda bobinlere sırayla gerilim uygulanır. Ayrıca yarım adım sürümde ardışık iki bobine gerilim uygulanarak tork artırılır ve hareket miktarı yarıya indirilebilir. 7.5°'lik bir bipolar step motor yarım adım sürüş yöntemi ile 3.75°'lik adımlar elde edilebilir.

Aşağıdaki tablolar adım motorlarının nasıl sürüldüğünü göstermektedir.

**Çizelge 3.1** Step (Adım) Motorlarının Sürülmesi

Unipolar Tek Fazlı Sürme Tablosu				
Adım	A1	B1	A2	B2
1	1	0	0	0
2	0	1	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	0	1

Unipolar İki Fazlı Tam Adım Sürme Tablosu				
Adım	A1	B1	A2	B2
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	1

Unipolar İki Fazlı Yarım Adım Sürme Tablosu				
Adım	A1	B1	A2	B2
1	1	0	0	1
2	1	1	0	0
3	0	1	0	0
4	0	1	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	1
7	0	0	0	1
8	1	0	0	1

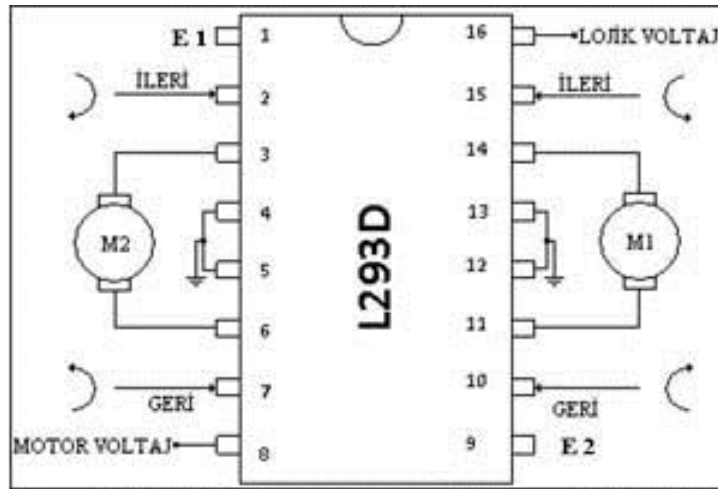
### 3.1.2 L293D Entegresi

Herhangi bir motoru doğrudan kontrol etmek için mikrodenetleyicilerin çıkış akımları yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle motorların kontrol edilebilmesi için mikrodenetleyiciden gelen sinyal akımının güçlendirilmesi gerekmektedir. Bunun için motor sürücü devreleri gerekmektedir. Motor sürücü devreleri transistör kullanılarak H köprüsü ya da benzeri bir şekilde kurulabilir. Kolaylık bakımından sürücü devreleri yerine motor sürücü entegreleri kullanmak daha kullanışlı olması açısından tercih edilmektedir.

Mekatronik sistemlerde çoğunlukla kullanılan motor sürücü entegreleri L293D, L293B ve L298 motor sürücü entegreleridir. Bu entegrelerin seçiminde entegrenin kullanım gerilimi ve akımı gibi özellikler göz önünde tutulur (İnt.Kyn.3).

L293D ve L293B motor sürücü entegreleri içlerinde iki adet H köprüsü barındıran 16 bacaklı motor sürücü entegrelerdir. Genellikle DC motor kontrolünde tercih edilen motor sürücü entegreler olan L293D ve L293B ile iki motor birbirinden bağımsız olarak çift yönlü kontrol edilebilmektedir. Ayrıca L293 motor sürücü entegrelerin enable bacaklarının kullanılmasıyla PWM kontrolü de yapılabilmektedir.

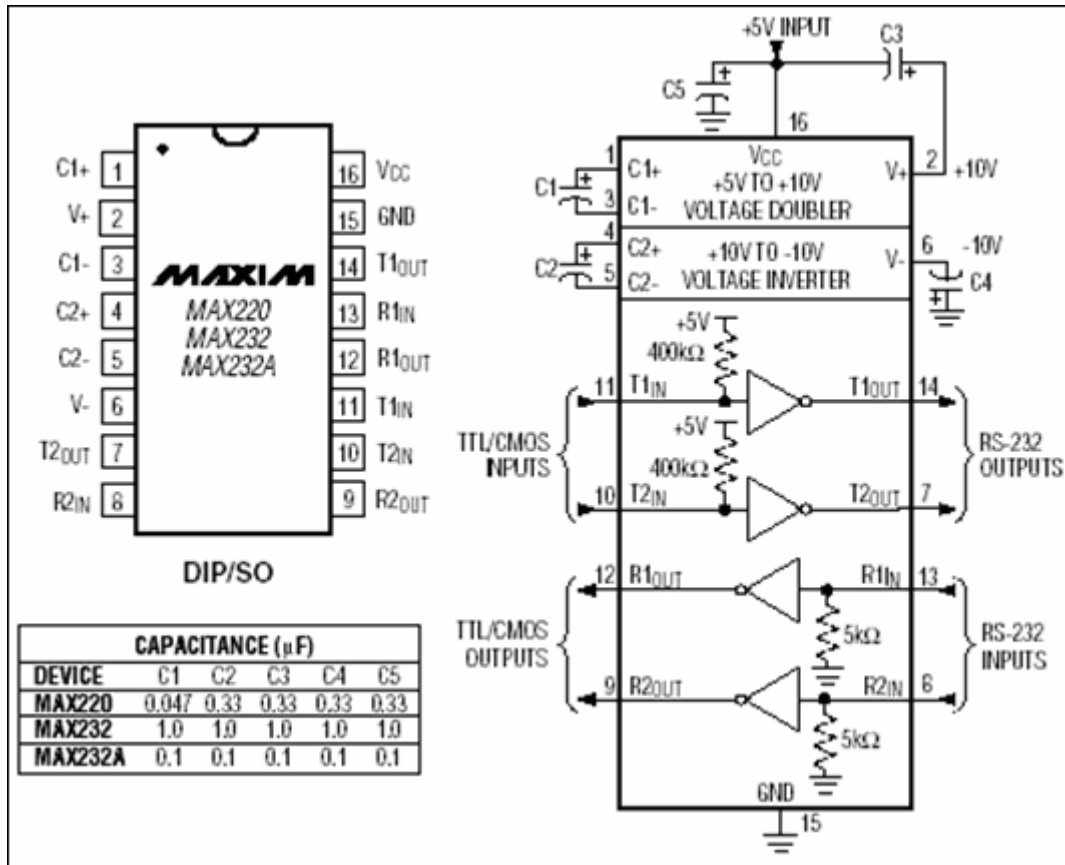
L293D motor sürücü entegresi 4,5 V ile 36 V aralığında maksimum 600 mA akım sınırına kadar kullanılabilir. L293B motor sürücü entegrenin ise aynı voltaj aralığında, maksimum 1 A akım sınırına kadar kullanılması mümkündür. (İnt.Kyn.3 )



Şekil 3.9 L293D entegresi iç yapısı

### 3.1.3 Max232 Entegresi

Bilgisayardan dış dünyaya açılan haberleşme birimlerinden biri olan seri portta gerilim seviyeleri +15V -15V arasında değişmektedir, bu seviyeler TTL seviyesinde(0V – 5 V) haberleşen devrelerde (örneğin mikrodenetleyici kullanılan devrelerle) uyumsuzdur, max232 seri port buffer diye anılan entegre aracılığıyla bilgisayarın seri portunu TTL(transistor to transistor logic) seviyesindeki devrelerle haberleşmeyi kolaylaştırmaktadır. Böylece mikrodenetleyici kullanılan devrelerin bilgisayar ile haberleştirmiş olunur.(İnt.Kyn.4) Şekil 3.10'da max232 entegresi bacak ve iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Max232 Entegresi (İnt.Kyn.4)

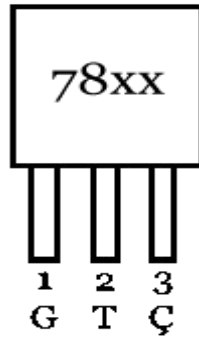
### 3.1.4 78XX Güç Regülatör Entegresi

Güç regüle entegresinin en önemli özellikleri küçük hacimli olmaları ve değişik giriş gerilimlerinde değişik çıkış gerilimi verebilmeleridir. Birçok cihazı beslemede

kullanılan 78xx serisi regüle entegreleri piyasada yoğun olarak kullanılmaktadır. Çok az yan eleman ile kullanabilen bu eleman son derece başarılı regülasyon yapabilmektedir. Gerek adaptör yapımlarında gerek ise mevcut adaptörlerden farklı bir voltaj elde etmek için kullanabilmektedir. Farklı voltajlar için farklı 78xx gurubu entegre kullanılmaktadır. örneğin 5 volt için 7805, 9 volt için 7809, 24 volt için 7824 gibi. Çizelge 3.2’de farklı 78XX entegrelerine ait giriş ve çıkış gerilimleri verilmiştir (İnt.Kyn.5). Şekil 3.11’da 78XX entegresi için bacak bağlantıları gösterilmiştir.

**Çizelge 3.2** Değişik 78XX regülatörleri(İnt.Kyn.5)

Entegre 78XX	7805	7805A	7806	7806A	7808	7808A
Giriş gerilimi (V)	10	10	11	11	14	14
Çıkış gerilimi (V)	5	5	6	6	8	8
Çıkış akımı (A)	0,5	1	0,5	1	0,5	1
Entegre 78XX	7812	7812A	7815	7815A	7818	7824
Giriş gerilimi (V)	19	19	23	23	27	33
Çıkış gerilimi (V)	12	12	15	15	18	24
Çıkış akımı (A)	0,5	1	0,5	1	1	1



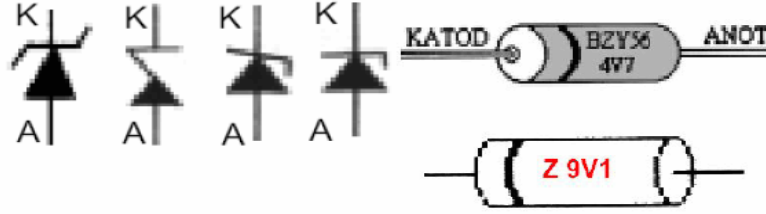
**Şekil 3.11** 78XX entegresi ayak bağlantısı

### 3.1.5 Zener Diyot

Zener diyotlar doğru polarmada normal diyot gibi davranırlar. Zener diyotlar elektronik devrelerde kullanılırlarken daima ters polarmada çalışırlar. Yani anotlarına gerilim



kaynağının negatif gerilimi, katotuna pozitif gerilimi uygulanır. Zener diyotun sembolleri Şekil 3.12’de gösterilmiştir. (İnt.Kyn.6)



**Şekil 3.12** Zener Diyot Sembolleri

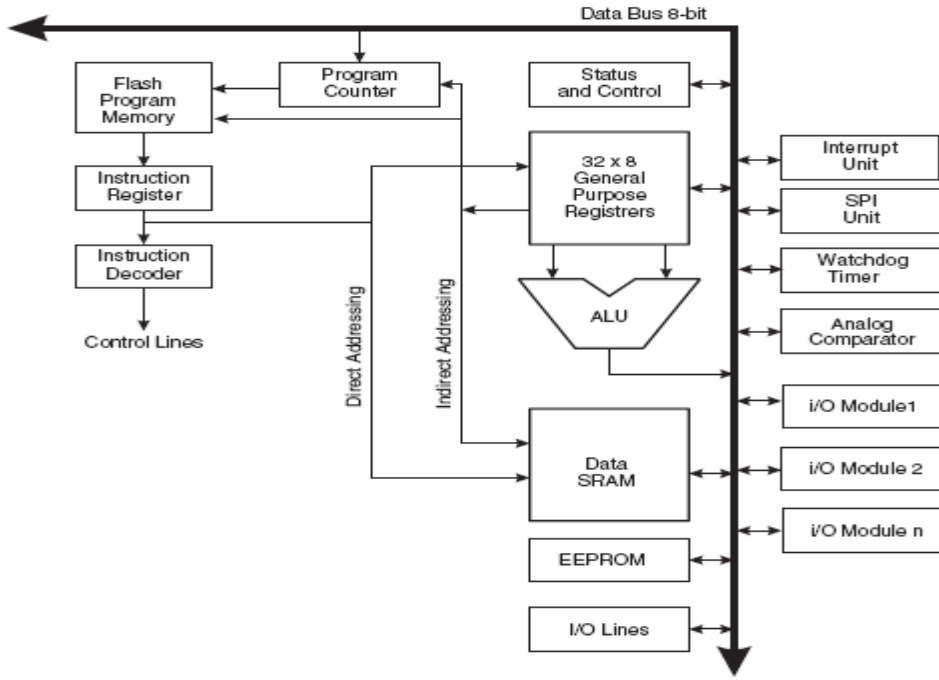
Zener diyotlar devrede belli gerilim değerine kadar yalıtkan, bu gerilim değeri aşıldıktan sonra iletken durumundadırlar. Zener diyot iletken durumuna geçtiğinde yani ters polarmadaki gerilim değeri aşıldıktan sonra zener diyottan büyük bir akım geçmeye başlar. Bu aşamadan sonra zener diyodun üstünden ne kadar akım geçerse geçsin uçlarındaki voltaj değeri aynı kalır. Bu voltaja zener voltajı yada zener gerilimi denir. Bu yüzden zener diyotların diğer adıda gerilimi sabitleyici diyottur. Bunu bir örnekle açıklayacak olursak; bir devrede kullanılan zener diyotun değeri 12 volt ise devrede zener diyoda 15 volt uygulansa bile zener diyodun uçları arasında 12 volt görülecektir. İşte zener diyotlar bu özellikleri sebebiyle yani gerilim sabitleyici olduklarından güç kaynağı devrelerinde kullanılırlar. (İnt.Kyn.6)

### **3.1.6 Atmel Serisi Mikrodenetleyiciler (Korona,2006)**

Atmel firmasının ürettiği Atmega mikrodenetleyicileri sanayi otomasyonu için günümüzde mevcut olan mikroişlemciler ve microdenetleyiciler arasında en uygunlardan birisi MCS-51 ailesinden olan microdenetleyicilerdendir. Bu microdenetleyicilerin çekici tarafı, bu aileden olan her bir microdenetleyicinin çok küçük boy bir bilgisayar olması ile birlikte içermekte olduğu giriş çıkış potlarının her birinin ve diğer önemli fonksiyon registerlerin (Special Function Registers SFR) büyük çoğunluğunun üzerinde bayt ve bit maniplasyonu yapmaya direkt imkan sağlamasıdır.

MCS-51 ailesinden olan microdenetleyici tabanlı kontrol kartına sanayi otomasyonuna yönelik küçük boy bilgisayar özelliği kazandırmaya imkan sağlayan özellikler sadece bir çip içerisinde yer alan aşağıdaki mimari özelliklerdir.

- 8/16/32 bit RISC merkezi işlem birimi (CPU),
- Dahili EEprom
- Dahili Flash Rom
- Harici veya dahili olarak seçilebilen osilatör,
- Bayt veya bit olarak düzenlenebilen, pull-up dirençleri aktif veya pasif yapılabilen
- Giriş / Çıkış portları,
- Static RAM bellek (İç Ram),
- Dış program/veri belleği (Bazı microdenetleyicilerde),
- 8/16 bit Zamanlayıcı/Sayaç/Pwm,
- İç ve dış kaynaklara hizmet edebilen, farklı vektörlere sahip kesme (Interrupt) sistemi,
- Seri Port,
- ISP Port,
- JTag Port,
- Security bitler aracılığı ile program ve verinin korunabilmesi,
- Watch dog timer, Brown-out dedektör,
- Analog-Digital çevirici (Avc)
- 20 MHz kadar çalışma frekansı,
- Çalışma frekansına bağımlı (MIPS) çalışma performansı



Şekil 3.13: MCS-51 core mimarisinin blok diyagramı

### 3.1.7 C++ Programlama Dili

C Makine Dili üst düzey programlama dili arasında olan son derece esnek kullanımlı bir programlama dilidir. Esnek olması yazacağınız programda daha dikkatli olmanız gerektiği anlamına gelir. Unutulacak bir işaret belki derleyici hatasına neden olmayacaktır ancak programınızı da doğru çalıştırmayacaktır. Genel amaçlı, oldukça çok sayıda ifade, denetim komutları bulduran, güçlü veri yapılarına sahip olan bir programlama dilidir. İlk başlarda UNIX üzerinde tasarlanıp geliştirilen bu dil şimdi tüm işletim sistemlerin de yaygın olarak kullanılmakta ve diğer bazı programlama dillerinde olduğu gibi modernlik kavramını yitirmemektedir.

"Bir Assembler derleyicisinin sağladığı esneklik ve gücü sağlarken üst düzey bir programlama dilinin sağladığı kolay anlaşılabilirlik özelliğini de sunmaktadır" (İnt.Kyn.7).

### **3.1.8 CodeVision Avr**

Genel olarak bir programlama dilinde program yazılırken, programı basit bir metin editöründe yazılır ve daha sonra derleyiciye girdi olarak verilir ve derleyici de programın hedefine göre bir çıktı oluşturur. Hedef bir işletim sistemi olabileceği gibi olduğu üzere bir mikroişlemci de olabilir. CodeVision AVR (CAVR) gibi profesyonel programların kendi içlerinde IDE'leri (Integrated Development Environment - Program Geliştirme Ortamı) vardır ve bu IDE'ler sayesinde pek çok şey görsel olarak yapılır: Editör, derleyici ve hata ayıklayıcı (debugger) hepsi bir aradadır.

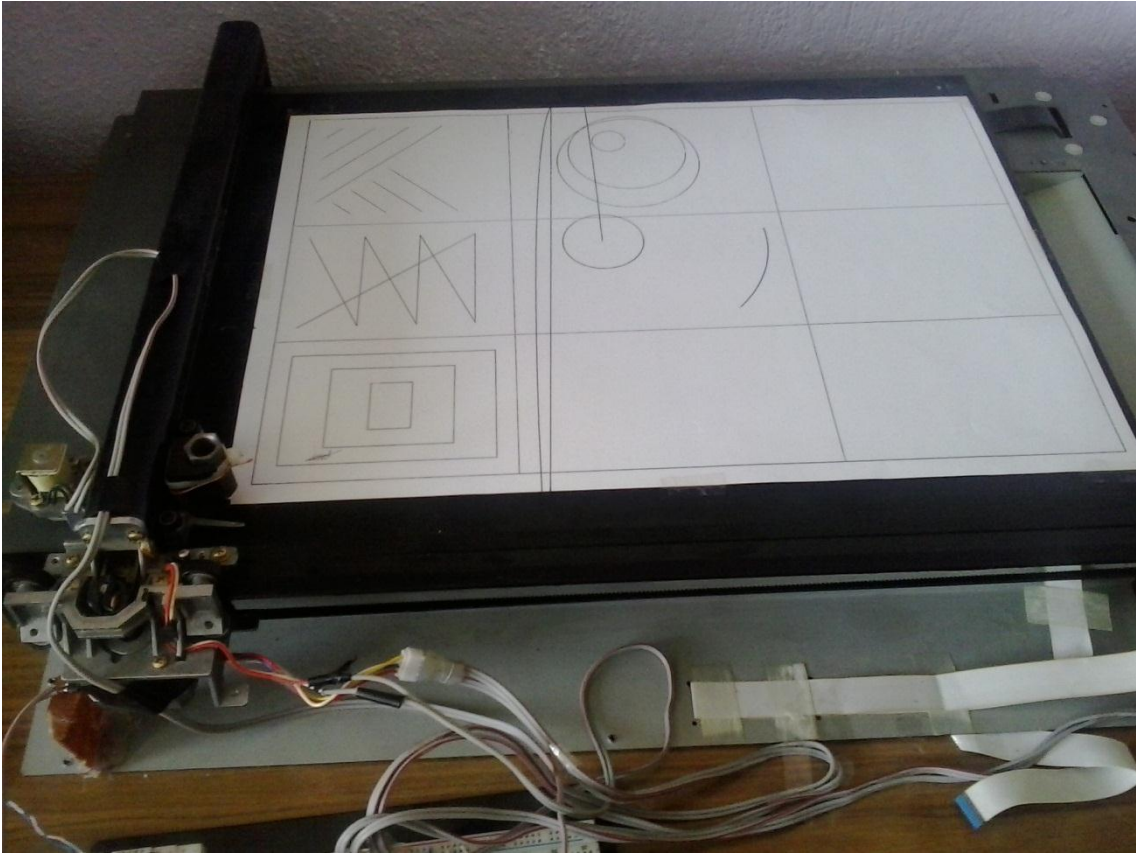
### **3.1.9 ISP Donanım ve Yazılım Mimarisi**

ISP (InSystemProgrammer) mikrodeneleyiciyi devreden sökmeden, direk devre üzerinde programlama yapmaya olanak sağlar. ISP yapılacak mikrodeneleyicinin ISP için gerekli bacaklarından (bu her entegre için farklılık gösterir) gerekli bilgileri göndererek programlama yapılabilmektedir. Böylece işlemciyi sök- programla-tekrar yerine tak derken ve bu işlem bazen onlarca defa tekrarlanırken önemli bir zaman kaybı olmaktadır. ISP bu zaman kaybını ve entegreyi tak-çıkarmakla meydana gelebilecek donanımsal zararları ortadan kaldırmaktadır (İnt.Kyn.8).

## 3.2 Metot

### 3.2.1 Üç Eksenli Kartezyen Robot

Bu tez çalışmasında çizici (plotter) olarak imal edilmiş üç eksenli kartezyen bir robot kullanılmıştır. Çizici üzerindeki tüm elektronik aksam çıkartılarak sadece X ve Y eksenlerine ait kayışlar ve dişliler, bu eksenleri hareket ettiren step motorlar, sınır anahtarları ile birlikte Z ekseninde hareketi sağlayan elektromanyetik mıknatıs kalmıştır. Cihaz üzerinde  $0,9^\circ$  adımlı 9 V ile çalışan bipolar step motor bulunmaktadır. Resim 3.2’de bu çalışma için kullanılan üç eksenli kartezyen robot gösterilmiştir.



**Resim 3.2** Üç eksenli kartezyen robot

### 3.2.2 Kontrol Kartının Geliştirilmesi ve Uygulanması

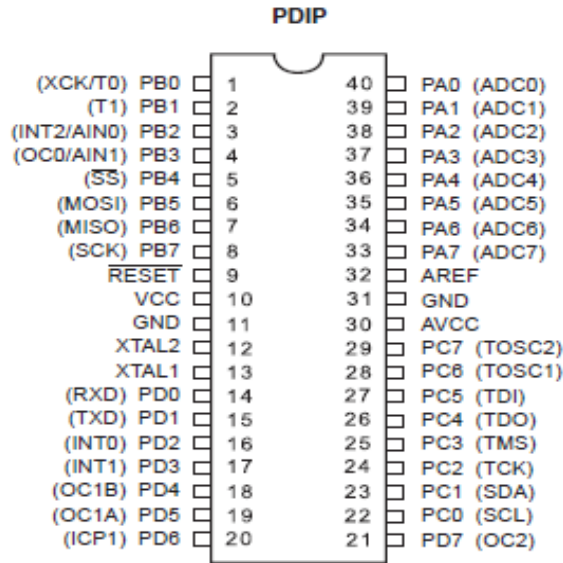
Geliştirilen kontrol kartı üzerinde;

- Cihazı kontrol edecek mikrodenetleyici (ATMEGA32),
- Step (adım) motor sürücülerini için L293D entegresi (3 adet),

- 2x16 LCD Panel,
- 4.0 Mhz kristal,
- Cihaz ve kontrol kartı besleme gerilimi için 7805 ve 7809 güç regülatör entegreleri,
- Zener diyot (gerilim düzeltmesi için),
- Çeşitli LED'ler, dirençler ve kondansatörler

kullanılmıştır.

Kontrol kartı için mikrodenetleyici olarak ATMEL'in ATMEGA32 mikrodenetleyicisi seçilmiştir. Dip soket 40 ayaklı olan bu mikrodenetleyici 2x16KB program hafızasına, 1KB EEPROM belleğe, 2KB RAM bellek, SPI ara yüze sahiptir. SPI özelliği 8 bit uzunluğundaki verinin aynı anda senkronize olmasına olanak sağlamaktadır. Şekil 3.14'de ATMEGA için ayak bağlantı şeması görülmektedir.



**Şekil 3.14** ATMEGA32 ayak bağlantı yapısı

X ve Y eksenlerindeki hareketi sağlayan bipolar step (adım) motorlarını; X eksenini için hareketi sağlayan A portunun ilk 4 bitine, Y eksenini için hareketi sağlayan A portunun son dört bitine bağlanmıştır. A portu ADC bağlantısı için ayrılmıştır. Uygulamada ADC dönüşümüne ihtiyaç olmamasından bu port X ve Y eksenlerinin hareketini sağlamak için seçilmiştir. Bipolar step motorlar 4 kablolu olduklarından 1 port iki motoru sürmek

için yeterli olmaktadır. Atmega mikrodenetleyicisinin çıkış akımı 0.20 mA olduğundan bu akımı yükseltmek için step motorlar L293D entegresi ile sürülmüştür. Kart üzerinden programlama yapmak için B portu tamamen ISP programlama için ayrılmıştır. D portunda bulunan RX ve TX pinleri seri port üzerinden kontrol kartı ile bilgisayar arasındaki haberleşmeyi sağlamaktadır. Mikrodenetleyicinin 18. ve 19. ayakları ise X ve Y eksenleri için limitleri belirlemek için kullanılmıştır. 20. ayağa bağlı Z ekseninde bulunan elektromanyetik kafanın hareketi için L293D ile kontrol sağlanmıştır. Çizelge 3.3’de Atmega32’nin kontrol kartı üzerindeki ayak bağlantıları verilmiştir.

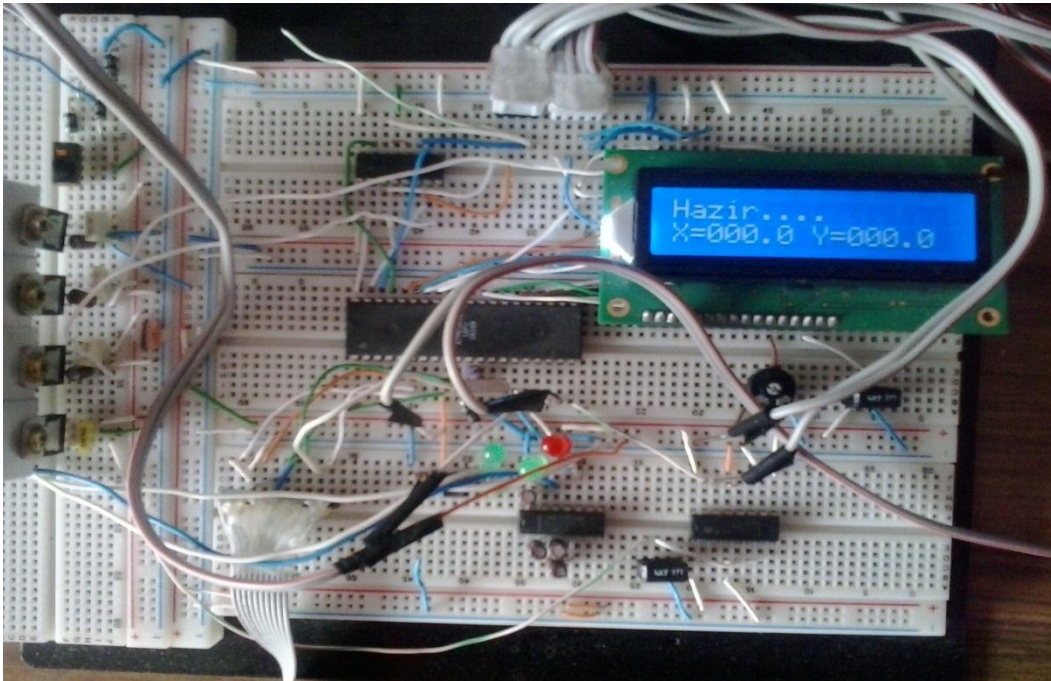
**Çizelge 3.3** Kontrol ünitesindeki mikrodenetleyici ayak bağlantıları

(XCK/T0) PB0	1	ISP PROGRAMLAMA	X MOTOR PİN1	40	PA0 (ADC0)
(T1) PB1	2	ISP PROGRAMLAMA	X MOTOR PİN2	39	PA1 (ADC1)
(INT2/AIN0) PB2	3	ISP PROGRAMLAMA	X MOTOR PİN3	38	PA2 (ADC2)
(OC0/AIN1) PB3	4	ISP PROGRAMLAMA	X MOTOR PİN4	37	PA3 (ADC3)
(SS) PB4	5	ISP PROGRAMLAMA	Y MOTOR PİN1	36	PA4 (ADC4)
(MOSI) PB5	6	ISP PROGRAMLAMA	Y MOTOR PİN2	35	PA5 (ADC5)
(MISO) PB6	7	ISP PROGRAMLAMA	Y MOTOR PİN3	34	PA6 (ADC6)
(SCK) PB7	8	ISP PROGRAMLAMA	Y MOTOR PİN4	33	PA7 (ADC7)
RESET	9	RESET		32	AREF
VCC	10	+5V		31	GND
GND	11	GND		30	AVCC
XTAL2	12	KRİSTAL	LCD PİN1	29	PC7 (TOSC2)
XTAL1	13	KRİSTAL	LCD PİN2	28	PC6 (TOSC1)
(RXD) PD0	14	DATA RX	LCD PİN3	27	PC5 (TDI)
(TXD) PD1	15	DATA TX		26	PC4 (TDO)
(INT0) PD2	16		LCD DATA1	25	PC3 (TMS)
(INT1) PD3	17		LCD DATA2	24	PC2 (TCK)
(OC1B) PD4	18	X EKSENİ LİMİT	LCD DATA3	23	PC1 (SDA)
(OC1A) PD5	19	Y EKSENİ LİMİT	LCD DATA4	22	PC0 (SCL)
(ICP1) PD6	20	KAFA		21	PD7 (OC2)

Kontrol kartı üzerinde her eleman için ayrı besleme gerilimleri sağlanmıştır. Girişe gelen gerilimin yön değişikliğinden etkilenmemesi için Zener diyotlar ile düzeltme devresi kurulmuştur. Kontrol kartı devresinin beslemesi için 7805 güç regüle entegresi ile sürücü kartının beslenmesi sağlanmıştır. Step (adım) motorlar ve kafa üzerinde bulunan elektromanyetik mıknatıs için ise 9V’luk bir gerilim sağlamak için 7809 güç regüle entegresi kullanılmıştır. Bu elemanların aşırı ısınmalarını engellemek için bu entegreler ayrıca soğutucu bağlanmıştır.

Kontrol kartı ile bilgisayar arasındaki bağlantı USB to SerialCom ile sağlanmıştır. Bilgisayar ile kart arasındaki bağlantı hızı 9600 baudrate olarak seçilmiştir. ATMEGA32'nin teknik özelliklerine bakıldığında veri kaybının yaşanmaması ve hataların oluşmaması için en uygun haberleşme hızı 9600 baudrate olarak belirlenmiştir.

LCD panel ile kontrol kartı üzerinden; cihaz ve bilgisayar bağlantı ayarları ve Z ekseninin aktif konumu okunabilmektedir. Örneğin ekrandaki "Hazır" yazısı ile cihazın açık olduğu ve X-Y koordinatlarının 0,0 konumunda olduğunu belirtmektedir. Ayrıca çizim esnasında başlangıç ve bitiş koordinatları okunabilmektedir. Resim 3.3'de LCD panel üzerinde aktif konum ve cihaz durumu görülmektedir.

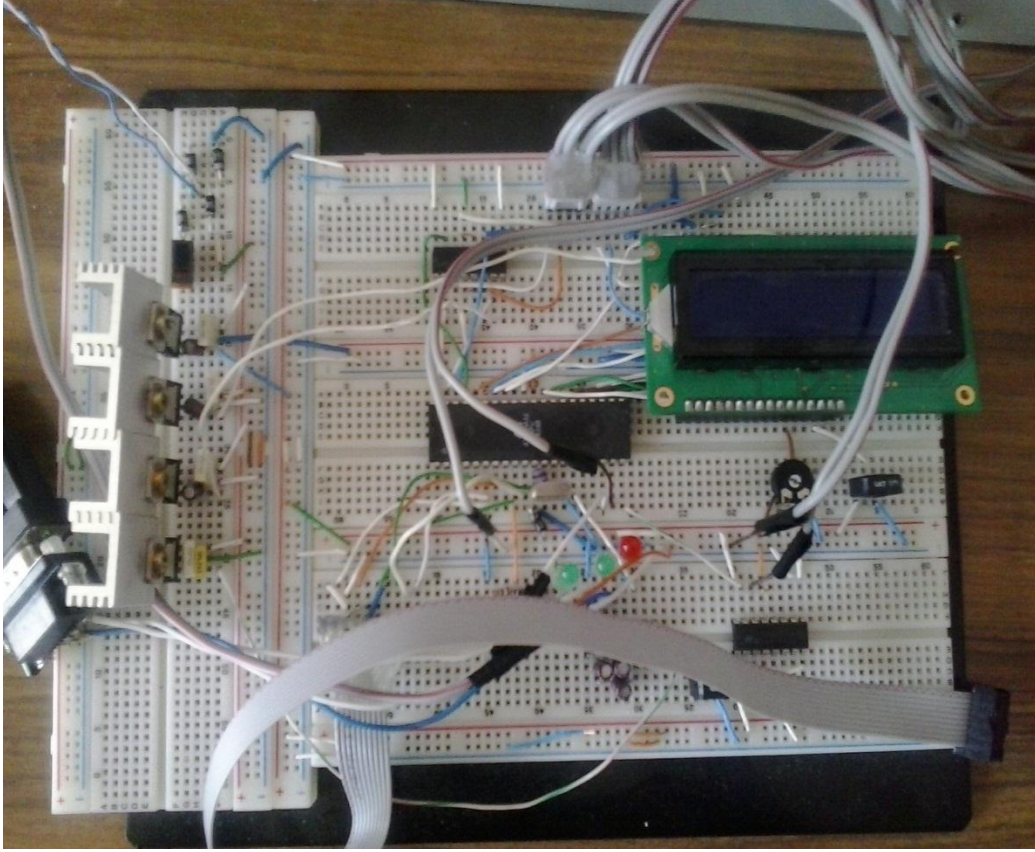


**Resim 3.3** Kontrol kartı üzerindeki LCD panel

Bilgisayar ile sürücü kart arasındaki veri alışverişinin takip edilmesi açısından ayrıca mikrodenetleyici üzerindeki RX ve TX ayaklarına LED'ler takılarak bu konuda kontrol sağlanmıştır.

Cihaz ile bilgisayar arasındaki bağlantıyı sağlayan kontrol kartı Resim 3.4'de gösterilmiştir.





**Resim 3.4** Çalışma için düzenlenen kontrol kartı

### 3.2.3 Sürücü Yazılımının Gerçekleştirilmesi ve Uygulanması

Piyasada çeşitli kontrol kartları bulunmaktadır. Bunlar genellikle MACH3 ara yüzü ile çalışan G kodları işleyen kartlardır. Bu çalışmada kontrol kartı geliştirilerek çalışmaya özgü bir çizim formatı oluşturulmuştur. Kullanıcı ara yüzünden gelen veriler kart üzerinde bulunan mikrodenetleyici tarafından işlenerek step motorlara hareketi sağlayan sinyallere dönüştürülmüştür. Mikrodenetleyicinin programlanmasında CodeVision Art platformu kullanılmış ve C dilinde yazılım gerçekleştirilmiştir.

Sürücü yazılımı Bresenham'ın çizgi algoritması üzerine kurulmuştur. Bu algoritma vektörel grafiklerin çizimi için doğru sonuçlar vermektedir. Buna göre geliştirilen haberleşme protokolüne uygun olarak yeni konuma ait bilgi geldiğinde çizici asıl bulunduğu konumdan bu yeni konuma bu algoritmaya göre ilerlemektedir. Z eksenini bilgisine bağlı olarak bu noktaya çizerek ya da çizmeden gider.

### 3.2.4 Haberleşme Protokolü

Bilgisayar ile kontrol kartı arasında seri port üzerinden haberleşme sağlanmaktadır. Arayüzden çizdir komutu verildiğinde bilgisayar işlemciye çizime başlanacağını belirten bir komut gönderir. Kontrol kartı bu komutu aldığı anda gerekli hazırlıkları yaparak hazır olduğunu belirten bir mesaj gönderir. Bu mesajdan sonra bilgisayar ilk noktanın koordinatlarını gönderir. Kontrol kartı bu verileri işledikten sonra yeni veriler için hazır olduğunu belirten mesajı tekrar gönderir. Bu işlem çizim dosyası bitene kadar tekrar edilir. Çizimin bittiğini gösteren son veri kontrol kartı gönderildiğinde cihaz başlangıç konumuna geri döner.

Arayüz programından kontrol kartına gönderilecek 5 byte'lık veri paketinin açılımı çizelge 3.4'de gösterilmiştir. Örnek olarak X= 269, Y=90, Z=0 noktaları için oluşturulan veri paketinin açılımı çizelge 3.5'de gösterilmiştir.

**Çizelge 3.4** Bir noktanın oluşumu için gerekli veri paketi içeriği

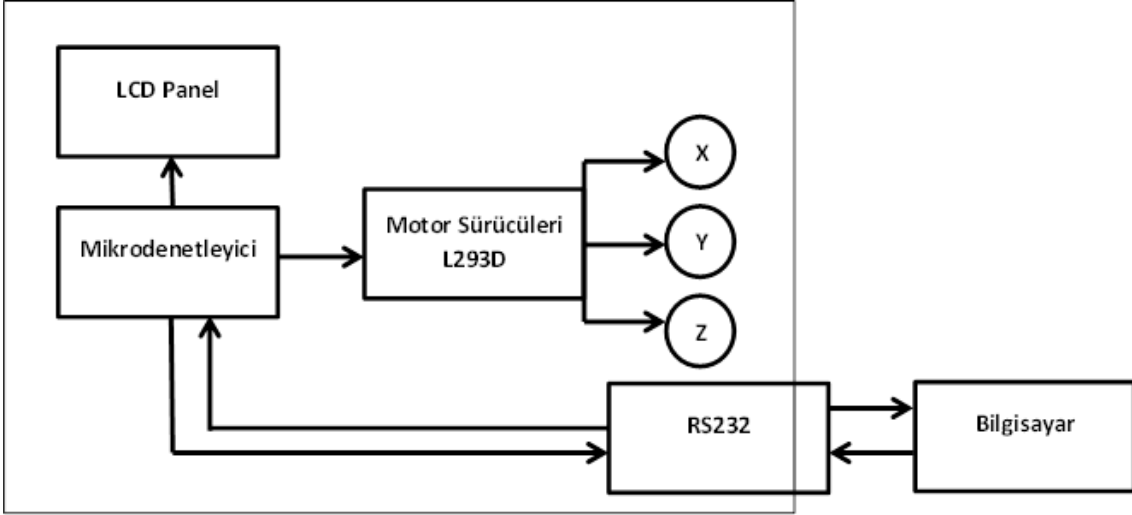
1.Byte	Z eksen bilgisi	Cihazın kafa bilgisini içerir ve çizimin yapıp yapılmayacağını belirler
2.Byte	X eksen bilgisi	X eksen koordinatı 2 byte'lık veri halinde cihaza gönderilir
3.Byte		
4.Byte	Y eksen bilgisi	Y eksen koordinatı 2 byte'lık veri halinde cihaza gönderilir
5.Byte		

**Çizelge 3.5** Örnek nokta için oluşturulan veri paketinin açılımı

Z Bilgisi	Xh Bilgisi	Xl Bilgisi	Yh Bilgisi	Yl Bilgisi
0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 1	0 0 0 0 1 1 0 1	0 0 0 0 0 0 0 0	0 1 0 1 1 0 1 0

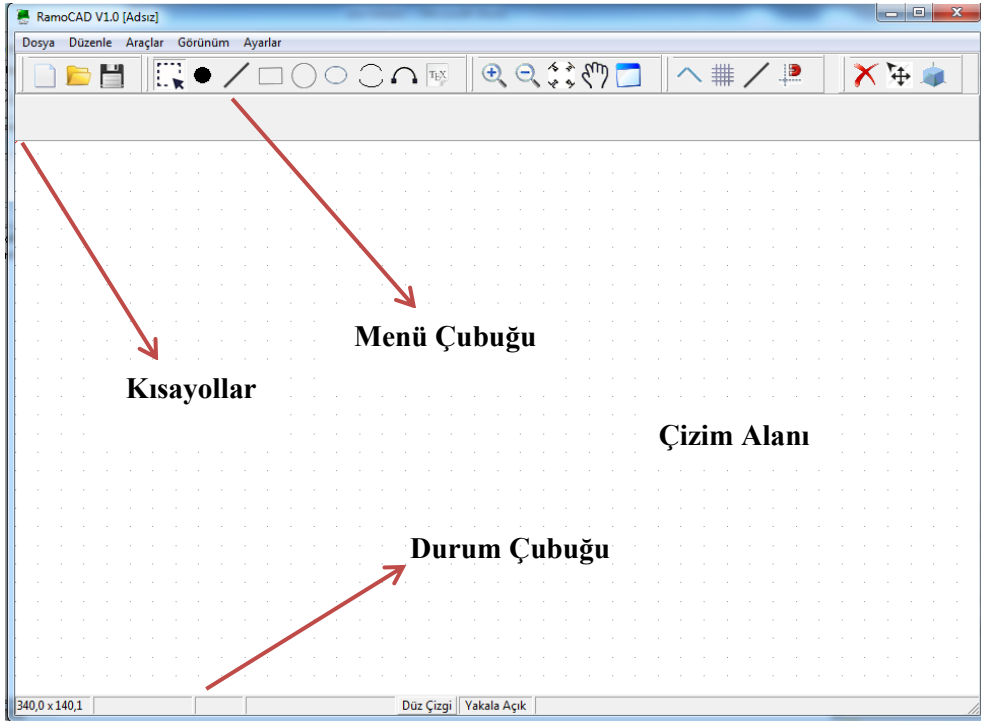
### 3.2.5 Kullanıcı Arayüzünün Geliştirilmesi ve Uygulanması

Cihazın kullanılabilmesi için kullanıcı arayüzü Borland C++ Builder 6 yazılım platformunda geliştirilmiştir. Sistemin çalışması Şekil 3.15 blok diyagramda gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Sistemin işleyiş şeması

Kullanıcı arayüzü daha önce bilinen çizim programlarına benzerlik göstermektedir. Menü, kısayollar, çizim alanı ve durum çubuğundan oluşan program Resim 3.5’de gösterilmiştir. Teamviewer uzak masaüstü programı yardımı ile internet üzerinden arayüze erişim sağlanabilmektedir. Bu sayede cihazın kontrolü internet ortamında başka bilgisayarlar tarafından da gerçekleştirilmektedir.



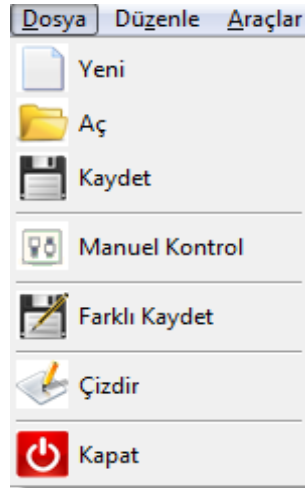
Resim 3.5 Kullanıcı arayüzü ana ekranı

### 3.2.5.1 Dosya Menüsü

Dosya menüsü altında bulunan komutlar ve görevleri şunlardır;

- *Yeni* : Yeni bir çizim dosyası açar.
- *Aç* : Daha önceden kaydedilmiş bir çizim dosyasını açar.
- *Kaydet* : Çizim dosyasını kaydeder.
- *Manuel Kontrol* : Cihazın elle kontrol edilmesini sağlar.
- *Farklı Kaydet* : Çizim dosyasını farklı ad ile farklı alana kaydeder.
- *Çizdir* : Ekranda bulunan çizimi cihaza gönderir.
- *Kapat* : Programın kapatılmasını sağlar.

Resim 3.6’de dosya menüsü ve alt komutları gösterilmiştir.



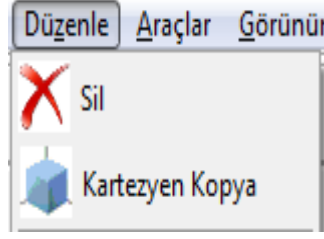
**Resim 3.6** Dosya Menüsü

### 3.2.5.2 Düzenle menüsü

Düzenle menüsü altında bulunan komutlar ve görevleri şunlardır;

- *Sil* : Seçili öğeyi siler.
- *Kartezyen Kopya*: Seçili olan nesneyi yada nesneleri, x eksenini, y eksenini yada her iki eksen doğrultusunda kopyalar.

Resim 3.7’de düzenle menüsü ve alt komutları gösterilmiştir.



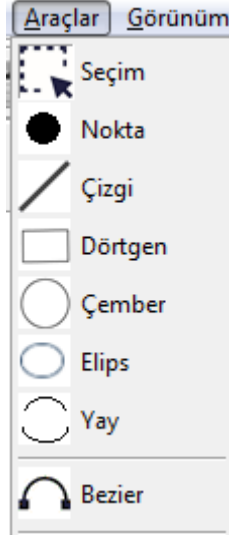
**Resim 3.7** Düzenle menüsü

### 3.2.5.3 Araçlar Menüsü

Araçlar menüsü ile çizim araçları kullanılmaktadır. Araçlar menüsü altında bulunan komutlar ve görevleri şunlardır;

- *Seçim* : Ekranda bulunan herhangi bir çizimi seçer.
- *Nokta* : Çizim alanına nokta işareti çizer.
- *Çizgi* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre değişik uzunlukta ve açıda çizgi çizer. Çizgi komutu iptal edilene kadar uç uca çizgileri birleştirerek çizer.
- *Dörtgen* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre değişik boyutlarda dörtgen çizer.
- *Çember* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre değişik çapta çember çizer.
- *Elips* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre değişik çaplarda elips çizer.
- *Yay* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre değişik açı ve büyüklükte yay çizer.
- *Bezier Eğrisi* : Çizim alanına kullanıcının çizimine göre bezier eğrisi çizer.

Resim 3.8’de araçlar menüsü ve komutlarının resmi gösterilmektedir.



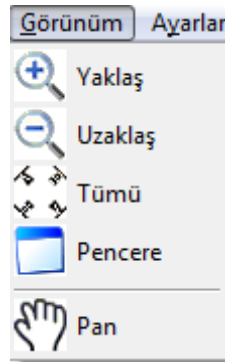
**Resim 3.8** Araçlar menüsü

### 3.2.5.4 Görünüm Menüsü

Görünüm menüsü ile program ekranı üzerinde değişiklikler yapılabilmektedir. Görünüm menüsünün altında bulunan komutlar şunlardır;

- *Yaklaş* : Çizim alanını yakınlaştırır.
- *Uzaklaş* : Çizim alanını uzaklaştırır.
- *Tümü* : Çizimin tamamını ekrana sığacak şekilde gösterir.
- *Pencere* : Seçilen dörtgen alanı yakınlaştırır.
- *Pan* : Çizim alanını mouse yardımı ile kaydırır.

Resim 3.9'de araçlar menüsü ve komutlarının resmi gösterilmektedir.



**Resim 3.9** Görünüm menüsü

### 3.2.5.5 Ayarlar Menüsü

Ayarlar menüsünde bulunan komutlar ve görevleri şunlardır;

- *Özellikler* : Seçili bir nesnenin özelliklerini verir.
- *Grid* : Ekranda grid çizgilerini gösterir ya da gizler.
- *Düz Çizgi* : Çizgi komutu seçili iken yatay ya da dikey çizgi çizilmesini sağlar. İptal edilmediği sürece uç uca çizgiler çizer.
- *Grid Yakala* : Ekrandaki grid noktalarını yakalar ve çizimi bu noktalardan başlatır.
- *Kağıt Tipleri* : Standart ya da özel kağıt boyutunun seçilmesini sağlar.

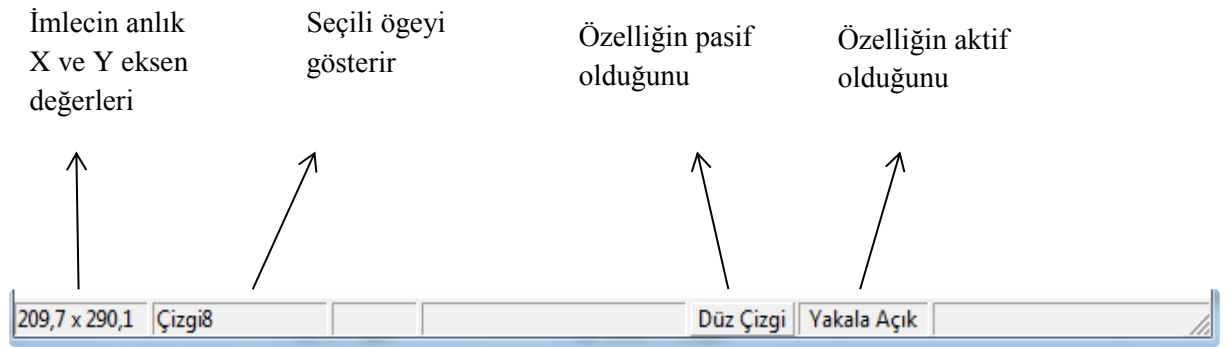
Resim 3.10'de ayarlar menüsü ve komutlarının resmi gösterilmektedir.



**Resim 3.10** Ayarlar menüsü

### 3.2.5.6 Durum Çubuğu

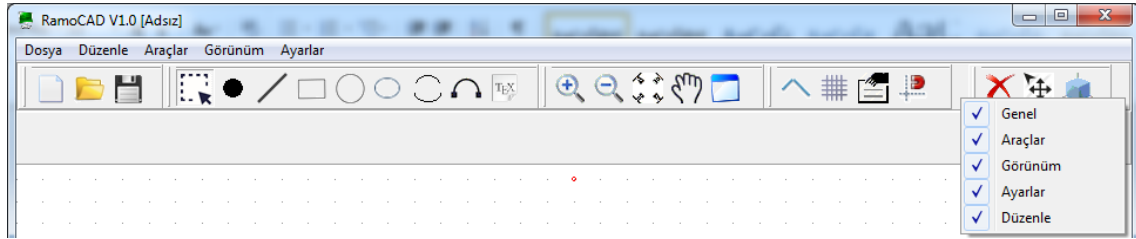
Durum çubuğu ekranın en altında bulunmaktadır. İmlecın ekrandaki anlık X ve Y eksenleri üzerinde bulunduğu konumu, Düz çizgi ve grid yakala özelliğinin aktif yada pasif olduğunu gösterir. Resim 3.11'de durum çubuğunun resmi gösterilmektedir.



**Resim 3.11** Durum çubuğu

### 3.2.5.7 Kısayol Çubuğu

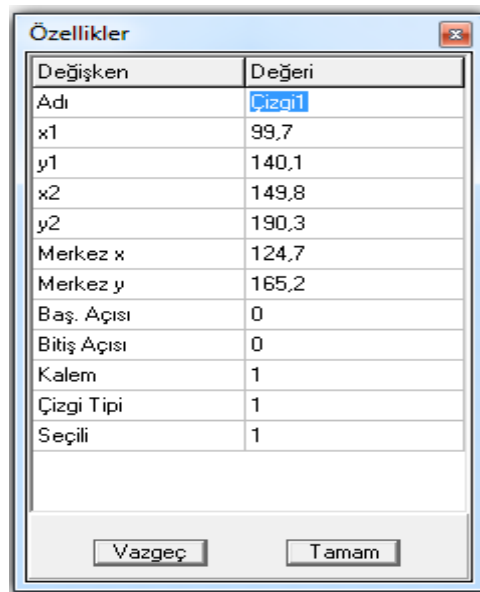
Kısayol çubuğu menüleri ulaşmadan çizim ekranı üzerindeki komutlardır. Her komut bulunduğu menüye göre gruplandırılmıştır. Kısayol çubuğu sağ tıklanarak özelleştirilebilmektedir. İstenilen kısayol çubuğu aktif yapılarak arayüz penceresinde görünür ya da pasif özellik seçilerek ekranda görünmez yapılabilir. Resim 3.12’de kısayol çubuğu gösterilmiştir.



Resim 3.12 Kısayol çubuğu

### 3.2.5.8 Özellikler Penceresi

Özellikler penceresi; ekranda seçili nesnenin özelliklerini vermektedir. Pencere üzerinde X ve Y eksen değerleri okunabilmekte ve bu değerler değiştirilerek nesne yeniden tanımlanabilmektedir. Tüm nesneler için ortak olan özellikler penceresi Resim 3.13’de gösterilmektedir.

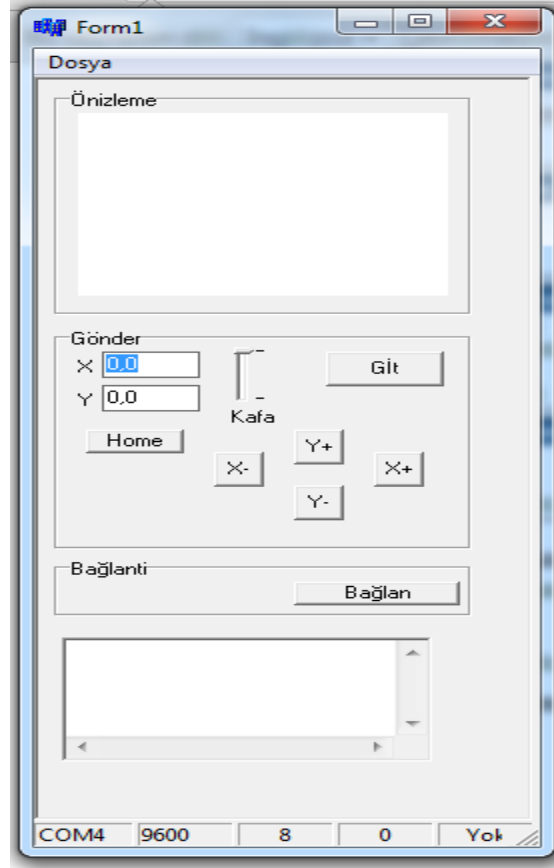


Resim 3.13 Özellikler Penceresi



### 3.2.5.9 Manuel Kontrol Penceresi

Dosya menüsü altında bulunan bu pencere cihazın eksenlerinin manuel olarak kullanılmasına olanak sağlar. X ve Y eksenlerine değerler verilerek eksenler aynı anda hareket ettirilebilir. Eksenlere girilen değerlerden sonra “Git” butonu ile eksenler girilen değerler boyunca hareket eder. Z eksenini kafa olarak tanımlanmış ve cihaz üzerinde çizim yapmak için “scrollbar” aşağı yada yukarı getirilerek eksenler ile birlikte kafanın durumuna bağlı olarak çizim oluşursa bu “Önizleme” ekranında görülebilmektedir. “X-”, “X+”, “Y-” ve “Y+” butonları ile eksenler adım adım hareket ettirilmektedir. “Bağlan” butonu ile cihaza bağlantı sağlanır ve ekranın altında durum çubuğunda bağlantı durumu gösterilir. Resim 3.14’de manuel kontrol penceresi gösterilmektedir.



**Resim 3.14** Manuel kontrol penceresi

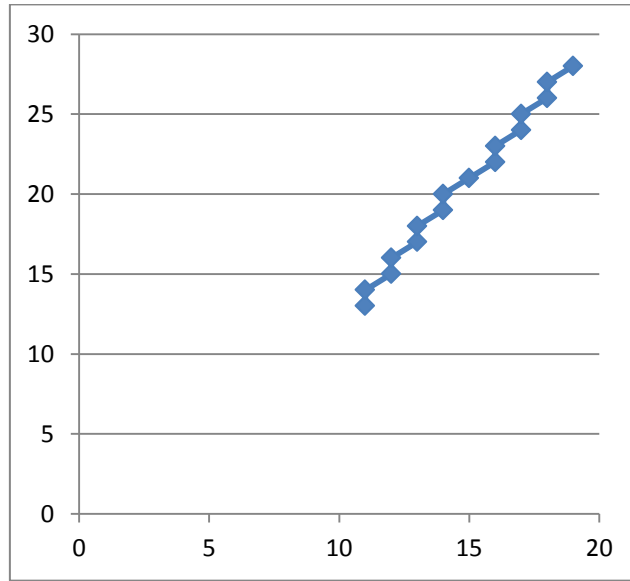
## 4. BULGULAR

Gerçekleştirilen bu tezde tüm çizimler vektör grafik olarak çizilmiştir. Uygulamada Bresenham Çizgi Algoritması geliştirilmiş ve çalışmaya uygulanmıştır. Bu bölümde geliştirilen kullanıcı ara yüzü ile çizim için kullanılan temel geometrik şekillerden çizgi, dörtgen, çember, elips, yay ve bezier eğrileri başarı ile uygulanmıştır. Bölüm sonunda temel geometrik şekiller ile karmaşık çizim uygulamaları yapılarak cihazdan başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

### 4.1. Bresenham Çizgi Algoritmasının Step Motorlara Uygulanması

Bresenham Çizgi Algoritması bilgisayar ekranına doğrunun çizimi için geliştirilmiş bir algoritmadır. Burada doğrunun ekran üzerinde hangi piksellerden geçeceğini hesaplayan bu algoritma bu çalışmada üç eksenli kartezyen robot üzerinde X ve Y eksenlerindeki hareketin koordinat noktalarını hesaplamak için kullanılmıştır. Bu algoritma yardımı ile X ve Y eksenlerinde bulunan step motorların bir sonrakini adımının hesap edilerek step motorların adımı için gerekli adımı bulmaktadır. Buna göre X ya da Y eksenlerinde bulunan step motorların hangisinin çalışacağı bilgisi bu algoritmaya göre bulunmaktadır. 45°'lik eğimli bir doğruya her iki eksen de aynı anda çalışabilmektedir. Fakat bu eğimin bu açıdan farklı olması durumunda Bresenham Çizgi Algoritmasına göre koordinatların bir sonraki değeri hesap edilerek step motorlar çalışmaktadır. 10,12 noktasından 19,28 noktasına çizilecek bir doğru bu algoritma yardımı ile 16 noktadan geçeceği hesap edilir. Bu noktalar birleştirildiğinde doğru testere şeklinde görülmektedir. Resim 4.2'de bu noktaların MsOffice Excel yardımı ile nasıl bir doğruyu ifade ettiği gösterilmektedir. Fakat bu step motorların hassasiyetinin verdiği ölçüde bir doğruymuş gibi algılanacaktır. Resim 4.1'de verilen bu iki nokta arasında doğruyu oluşturan noktalar Bresenham çizgi algoritmasına göre hesap edilmesi gösterilmektedir.

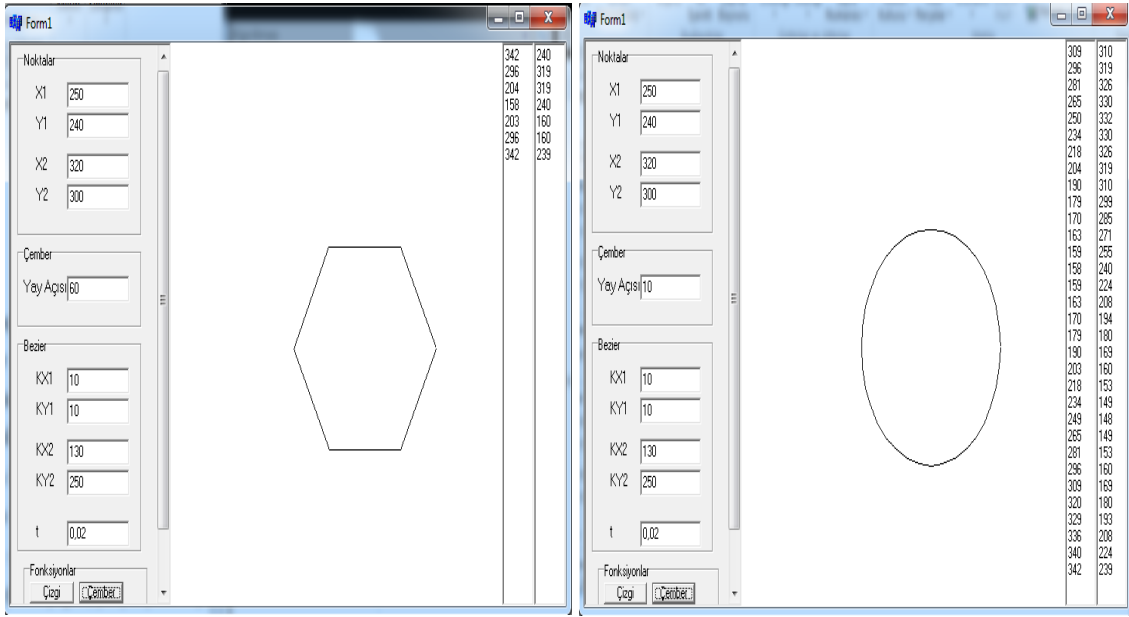
**Resim 4.1** Bresenham Çizgi Algoritması ile doğru için gerekli noktaların hesap edilmesi



**Resim 4.2** Örnek için oluşturulan noktaların oluşturduğu doğru örneği

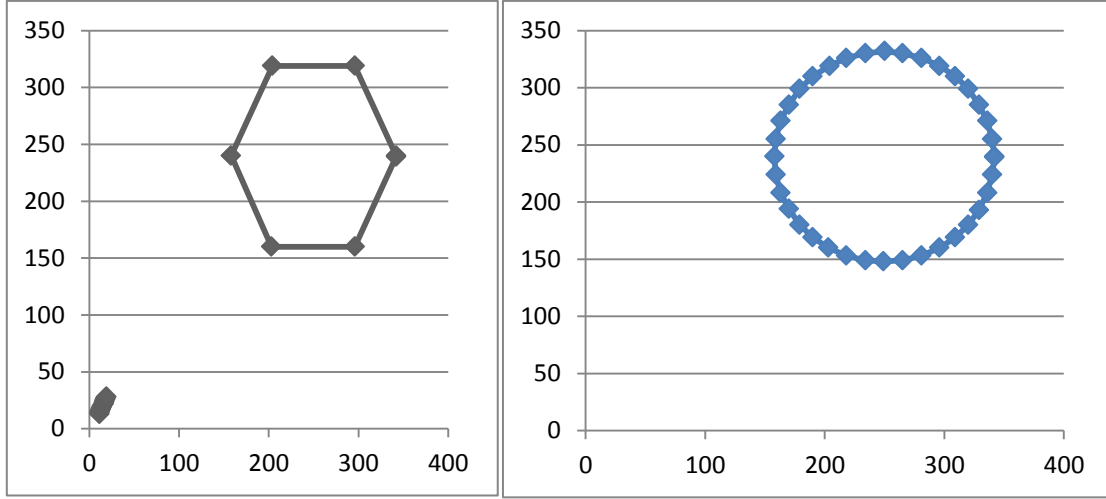
Yapılan bu tez çalışmasında tüm geometrik şekillerin çiziminde step motorların hareketi Bresenham Çizgi Algoritması temel alınarak geliştirilen kontrol programı ile sağlanmıştır. Çember için belirlenen noktalardan sonra çember çizimi step motorların hassasiyetine göre doğru parçalarına bölünerek doğruların birleşerek oluşturduğu bir çokgen olarak çizilmektedir. Çemberi oluşturacak doğruları gören yay açısı hesap edilerek çemberin ne kadar hassas çizileceği belirlenmektedir. Çemberi oluşturan

doğruların noktaları sırasıyla kontrol kartına gönderilerek bu noktalardan doğruların oluşum noktaları yine Bresenham çizgi algoritmasında belirlenerek bu doğrular oluşturularak çember çizimi gerçekleştirilmiştir. Resim 4.3’de 60° yay açısı hassasiyetli ve 10° derece hassasiyetli iki çemberin oluşumu gösterilmiştir. Yine basit bir hesaplama ile 60°’lik yay hassasiyetine sahip çember  $360^{\circ}/60^{\circ}$  6 doğrudan, 10°’lik yay hassasiyetine sahip çember  $360^{\circ}/10^{\circ}$  36 doğrudan oluşacaktır. Bu açı daha da düşürülerek çemberin benzediği çokgenin köşe noktaları gözle görünmeyecek şekilde azaltılabilmektedir.



**Resim 4.3** Farklı yay açısına göre çizilmiş çemberler

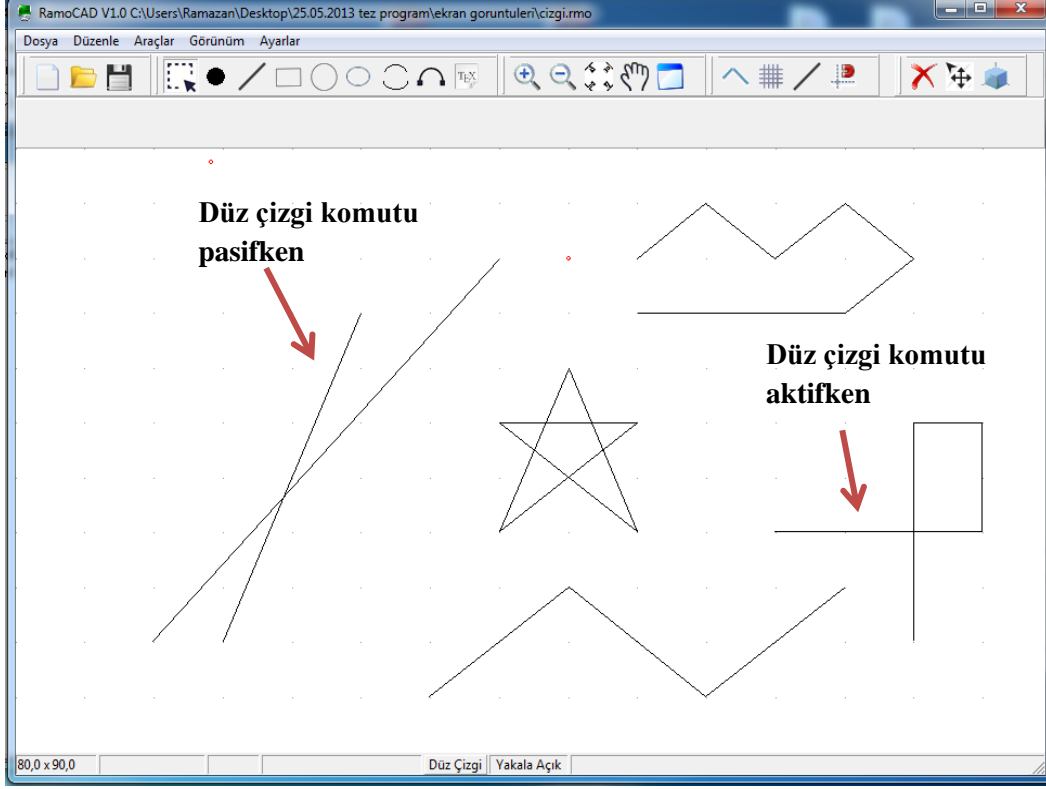
Çemberi oluşturan bu doğrular geliştirilen kullanıcı arayüz programı ile sırasıyla kontrol kartına gönderilerek Bresenham çizgi algoritmasına göre işlenerek bu doğruların oluşturulan noktaların hesap edilmesiyle geometrik şekil ortaya çıkarılmaktadır. Örnekte verilen 60°’lik ve 10°’lik yay açısına sahip çemberlerin oluşumu için gerekli noktaların MsOffice Excel’in grafik özelliği ile birleştirilerek çizimi Resim 4.4’de verilmiştir. Bu doğruların oluşum noktaları ise yine Bresenham çizgi algoritması ile hesap edilerek doğru çizilerek çember elde edilmektedir.



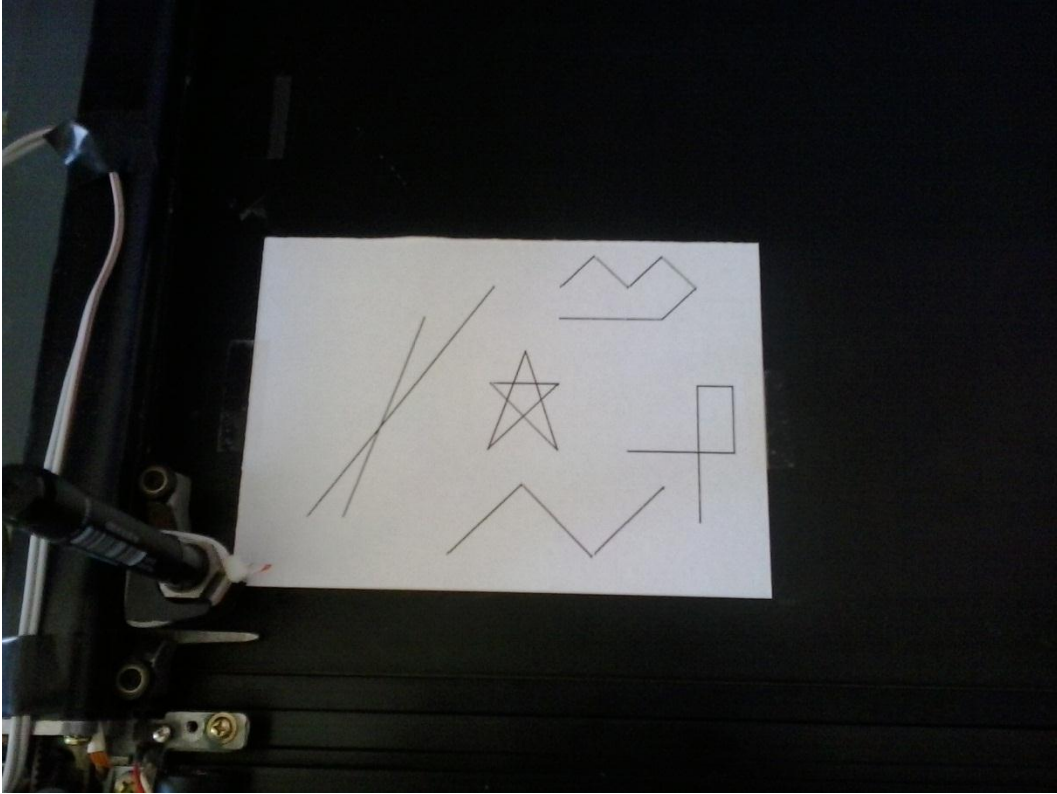
**Resim 4.4** Örnek çemberlerin MsOffice Excel grafik yardımı ile çizimi

## 4.2 Çizgi Uygulaması

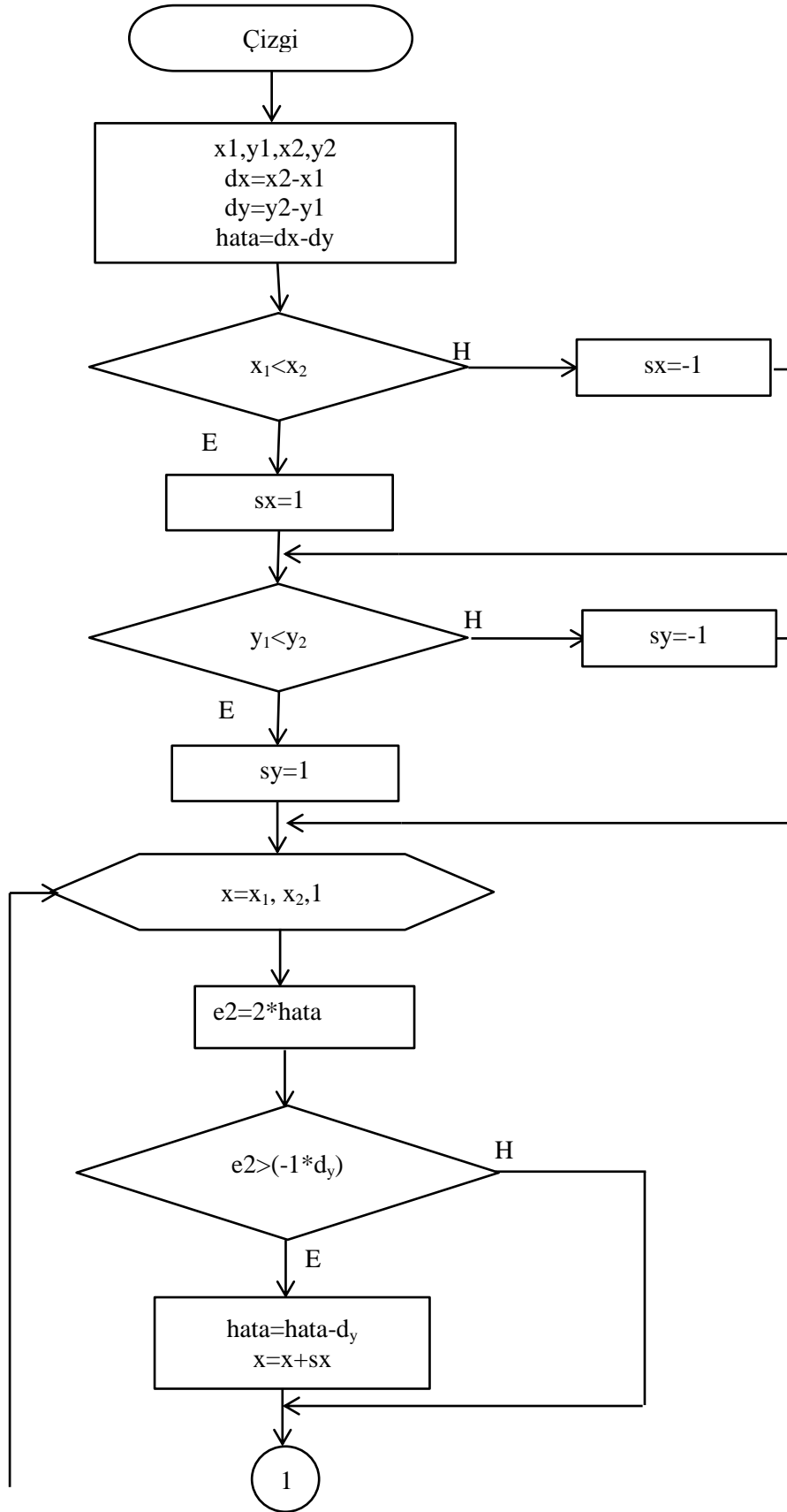
Geliştirilen kullanıcı arayüz programından araçlar menüsünden çizgi komutu seçilir. Çizim esnasında mouse imleci artı işaretine dönüşerek çizime hazır olduğunu göstermektedir. Arayüz programı, çizgi için çizim alanında ilk tıklama ile bir başlangıç noktası seçer ve mouse imleci hareket ettirilerek ikinci tıklamaya kadar istenilen çizginin ayarlanmasını bekler. İkinci tıklama ile çizginin oluşması için ikinci nokta belirlenmiş olur ve ekrana çizgi çizilir. Çizim işlemi sağ tıklanarak açılan pencerede “Bitir” komutu seçilmediği sürece uç uca çizgilerle devam etmektedir. Durum çubuğundaki “Düz Çizgi” komutu aktif ise çizilen çizgiler, yatayda ya da düşeyde herhangi bir eksen ile  $0^\circ$  açı yapacak şekilde düz çizgi halinde çizilir. Eğer bu komut pasif ise çizilen çizgiler yatayda veya düşeyde belirli açı yapacak şekilde çizilir. Resim 4.5’de kullanıcı ara yüzünde çizilen örnek çizgiler gösterilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şeklindeki çizgilerin cihaz üzerinde gerçekleştirilmesi ise Resim 4.6’de gösterilmiştir. Çizginin oluşturulması için yazılan fonksiyonda Bresenham Çizgi algoritması temel alınmıştır. Şekil 4.1’de çizgi için geliştirilen akış diyagramı gösterilmiştir.

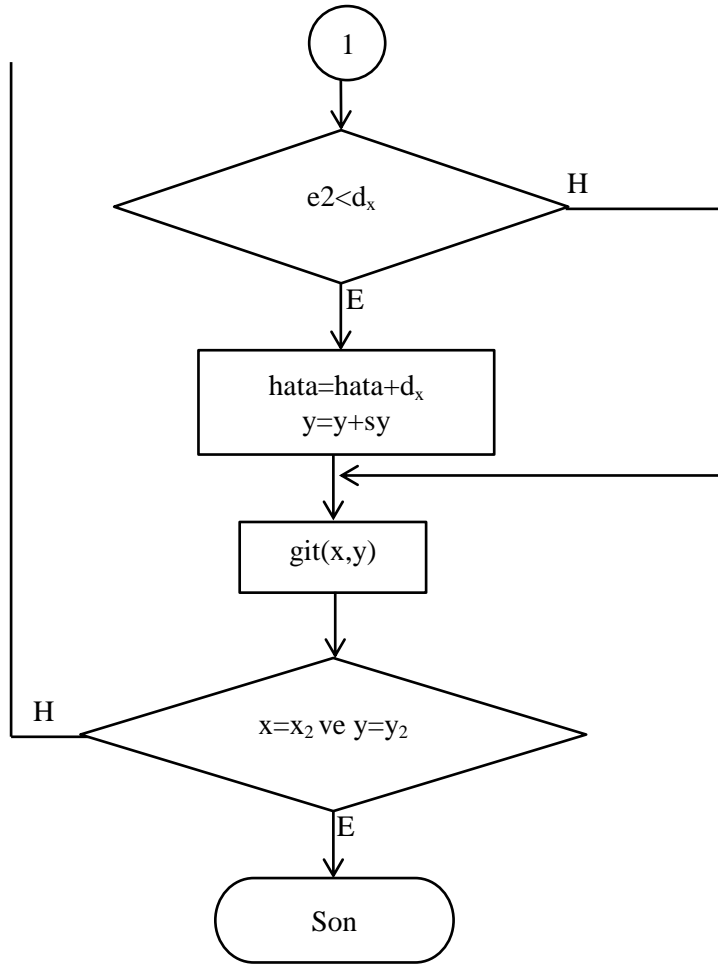


**Resim 4.5** Çizgi uygulaması



**Resim 4.6** Cihaz ile gerçekleştirilen çizgi uygulaması





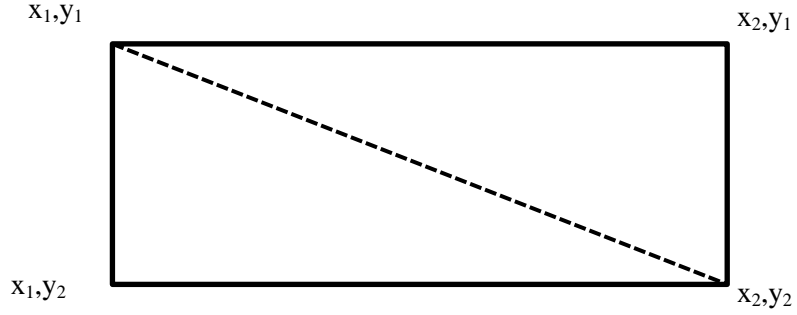
Şekil 4.1 Çizgi Oluşturmak için akış şeması

### 4.3 Dörtgen Uygulaması

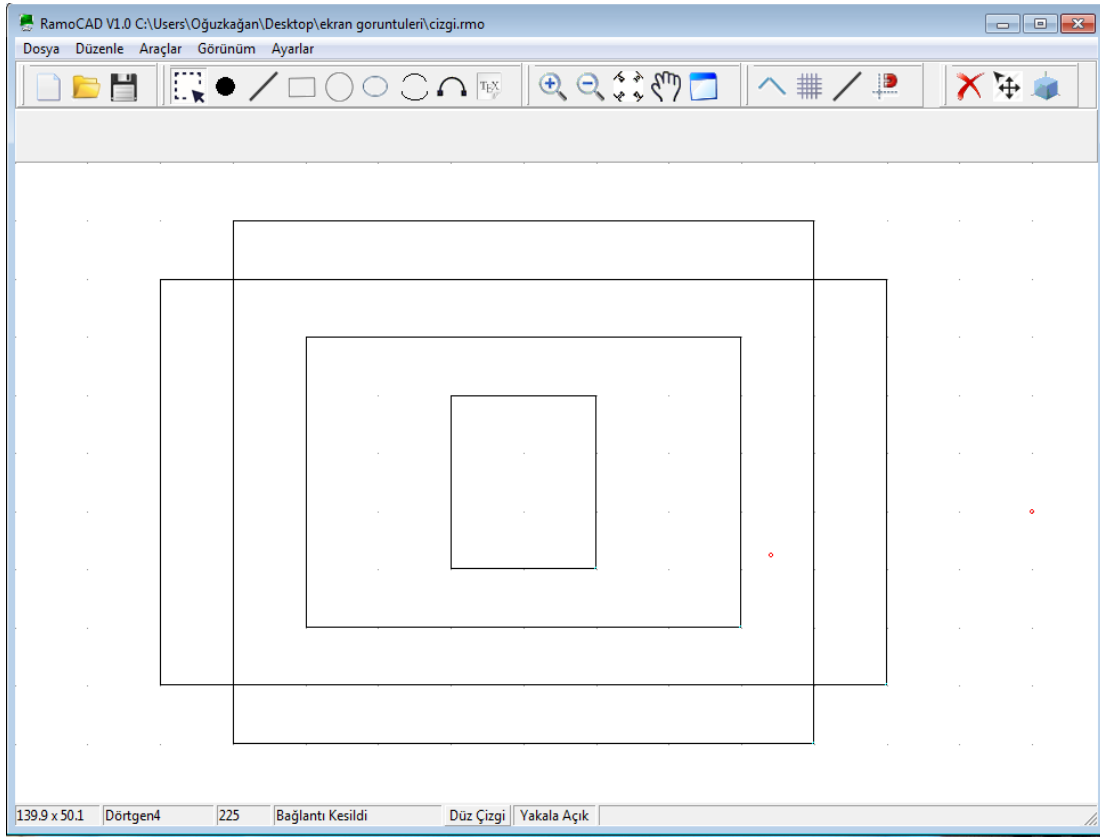
Dörtgen çizmek için araçlar menüsünden dörtgen komutu seçilir. Dörtgen çizimi için iki noktaya ihtiyaç vardır. Bu iki nokta dörtgeni oluşturan köşegen noktaları olacaktır. Şekil 4.2’de dörtgenin oluşumu gösterilmektedir. Çizim alanında ilk tıklama ile köşegenin başlangıç noktası  $X_1, Y_1$  seçilir. Dörtgenin büyüklüğü ayarlandıktan sonra ikinci tıklama ile köşegenin bitiş noktaları  $X_2, Y_2$  noktaları belirlenmiş olur. Bu noktalar dörtgenin köşe noktaları olacaktır. Dörtgen fonksiyonu ile belirlenen bu köşegen noktalarından oluşturulan dörtgenin diğer köşegen noktaları hesaplanır ve bu hesaplanan koordinatlardan dörtgen oluşturulur. Resim 4.7’de geliştirilen arayüzde dörtgenin çizimi gösterilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şekildeki dörtgenlerin cihaz üzerinde



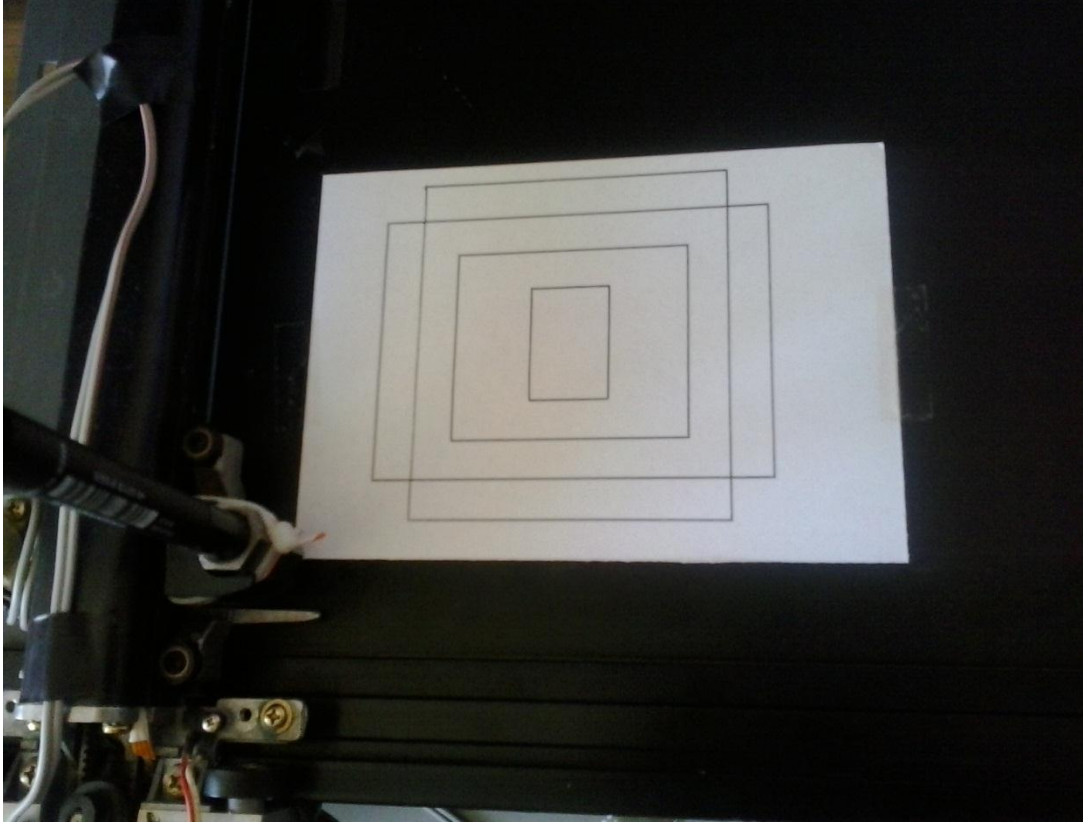
gerçekleştirilmesi ise Resim 4.8’de gösterilmiştir. Arayüzde dörtgen çizimi için gerekli olan akış şeması Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



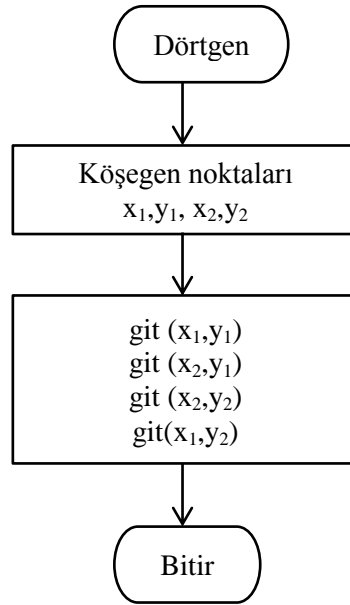
Şekil 4.2 Dörtgen çizim örneği



Resim 4.7 Arayüzde dörtgen uygulaması



**Resim 4.8** Cihaz ile gerçekleştirilen dörtgen uygulaması



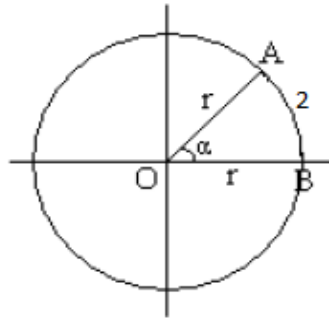
**Şekil 4.3** Dörtgen oluşturmak için akış şeması

#### 4.4 Çember Uygulaması

Çember çizmek için araçlar menüsünden çember komutu seçilir. Geliştirilen ara yüz ve kontrol sürücü kartında tüm işlemler vektör grafik olarak uygulanmaktadır. Çemberde, geliştirilen arayüzde bir çok çizgiden oluşmaktadır. Çemberin çapına göre bu çizgilerin sayısı değişmektedir. Çemberin çapı büyüdükçe çember daha çok çizgiden oluşmaktadır. Aşağıda verilen formüle göre;

$$step(açı \alpha) = \frac{2}{r} \quad (4.1)$$

bir çemberin oluşması için arayüzde yay büyüklüğü 2mm alınmış ve çemberin çapına göre merkezden bu yayı görecek açı hesap edilmiştir. Bu açı kadar artışla (step) çizgiler oluşturularak çember meydana getirilmiştir. Şekil 4.4’de bu hesaplama gösterilmiştir.



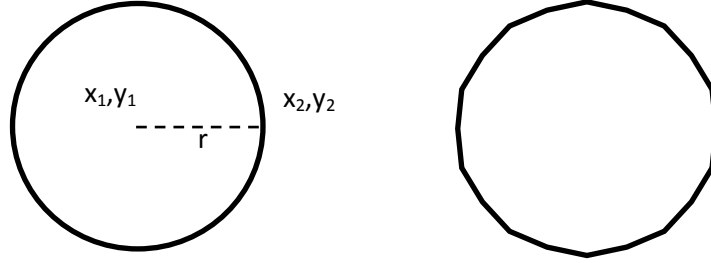
Şekil 4.4 Çemberde yay uzunluğuna göre  $\alpha$  açısının bulunması

Arayüzde çemberin çizimi için merkez noktası  $X_1(m_x)$  ve  $Y_1(m_y)$  noktalarını belirlenmektedir. Daha sonra ikinci tıklama ile  $X_2$  ve  $Y_2$  noktaları belirlenerek öncelikle çemberin yarıçapı hesaplanmaktadır. Çemberin yarıçapının hesaplanması için;

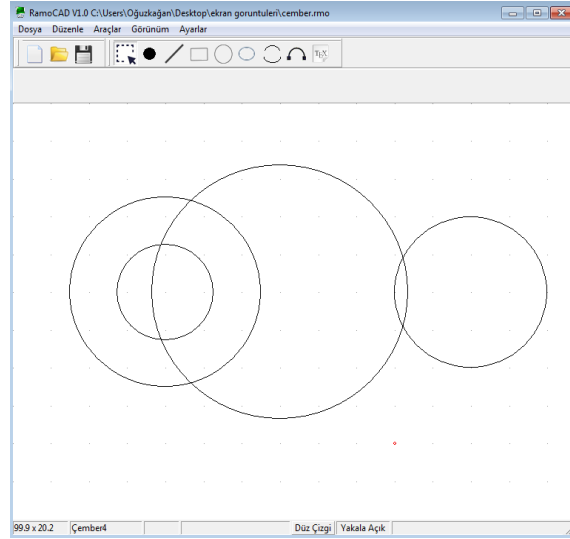
$$r = \sqrt{(x_2 - m_x)^2 + (y_2 - m_y)^2} \quad (4.2)$$

bağıntısı kullanılmıştır. Çemberin yarıçapı belirlendikten sonra çemberi oluşturacak çizgilerin belirlenen artış açısına göre bir döngü içerisinde çemberi oluşturan çizgilerin uç noktaları belirlenir. Çember gözle görülmeyecek kadar hassasiyette çokgen bir yapıdan oluşur. Şekil 4.5’de iki çember gösterilmiştir. Soldaki çember çizim ekranında ve arayüzdeki hassasiyete göre çizilmiş bir çemberi, sağdaki çember ise çemberin küçük çizgilerden meydana geldiğini göstermektedir. Resim 4.9’de geliştirilen arayüzde

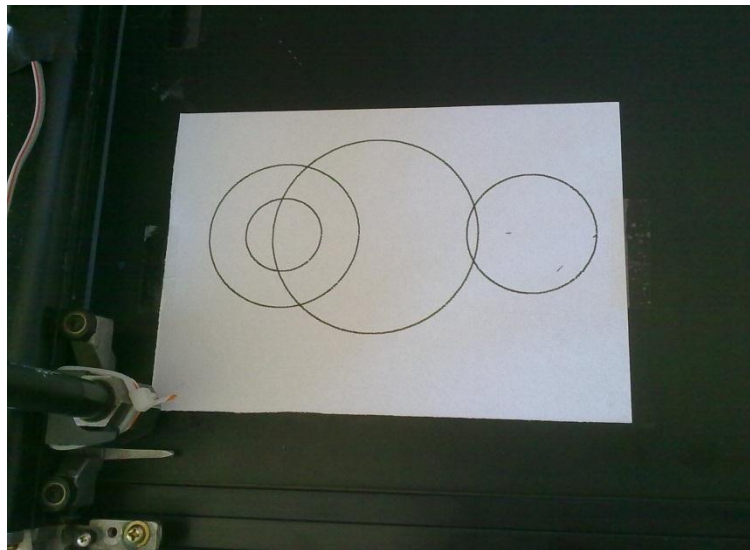
çemberin çizimi gösterilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şekildeki çemberlerin cihaz üzerinde gerçekleştirilmesi ise Resim 4.10'da gösterilmiştir. Şekil 4.6 arayüzde çember oluşturmak için geliştirilen çember fonksiyonunun akış şemasını göstermektedir.



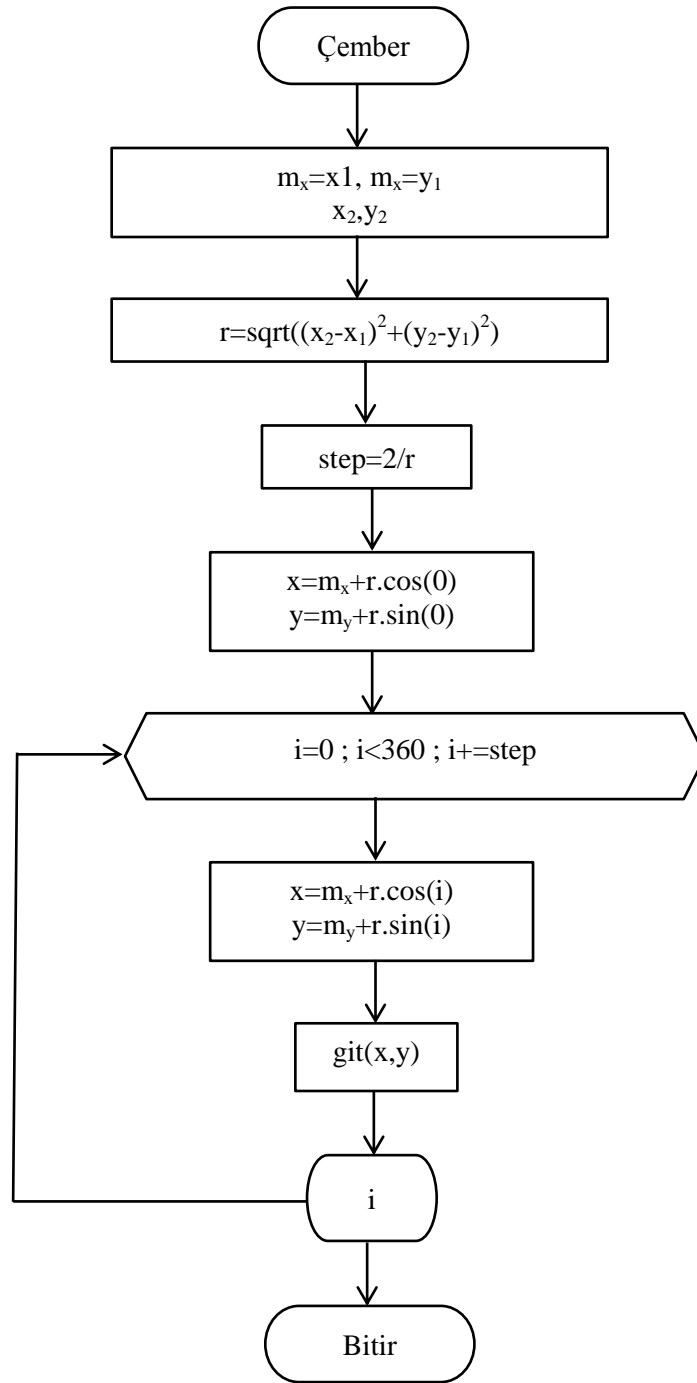
Şekil 4.5 Çemberin çizim örneği



Resim 4.9 Arayüzde çember uygulaması



Resim 4.10 Cihaz ile gerçekleştirilen çember uygulaması



Şekil 4.6 Çember oluşturmak için akış şeması

#### 4.5 Elips Uygulaması

Elips çizmek için araçlar menüsünden elips komutu seçilir. Elips çizimi çember çizimi ile benzer özellik göstermektedir. Tek fark x eksenini için  $r_x$ , y eksenini için ise  $r_y$

yarıçaplarının hesaplanmasıdır. Arayüz çizim ekranında ilk tıklama ile merkez noktaları  $m_x(x_1)$  ve  $m_y(y_1)$  seçilir. İkinci tıklama ile de elipsin sınırları için  $x_2$  ve  $y_2$  noktaları belirlenir. Eksenler için yarıçapların hesaplanması;

$$r_x = |x_2 - m_x| \quad (4.3)$$

$$r_y = |y_2 - m_y| \quad (4.4)$$

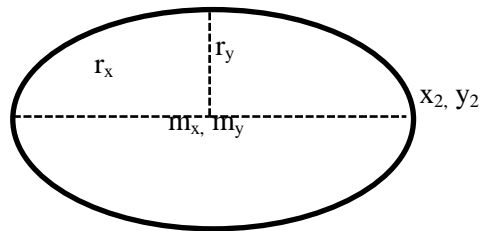
formüllerine göre bulunur. Elipsi oluşturan yayların göreceği açığı bulmak için  $r_x$  ve  $r_y$  yarıçaplarından bileşke yarıçap hesaplanır. Bu hesaplama;

$$r_{bileşke} = \sqrt{r_x^2 + r_y^2} \quad (4.5)$$

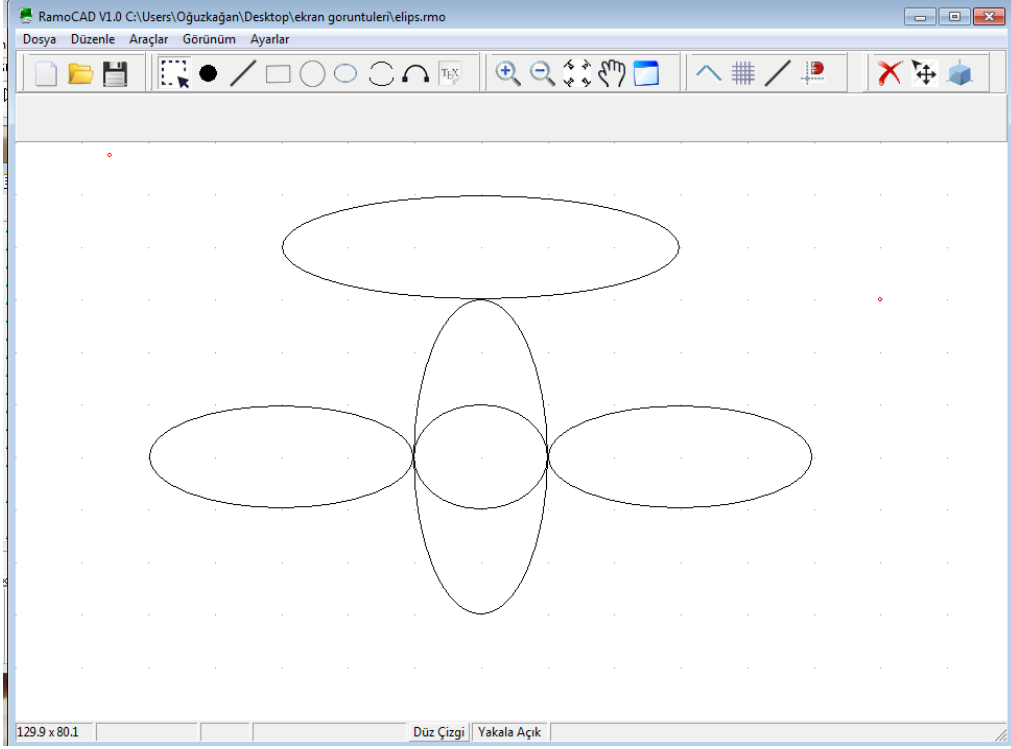
formülüne göre bulunur. Elipsin büyüklüğüne göre ayarlanacak artış açısı bu bileşke yarıçap ile hesaplanır.

$$step(\text{açı } \alpha) = \frac{2}{r_{bileşke}} \quad (4.6)$$

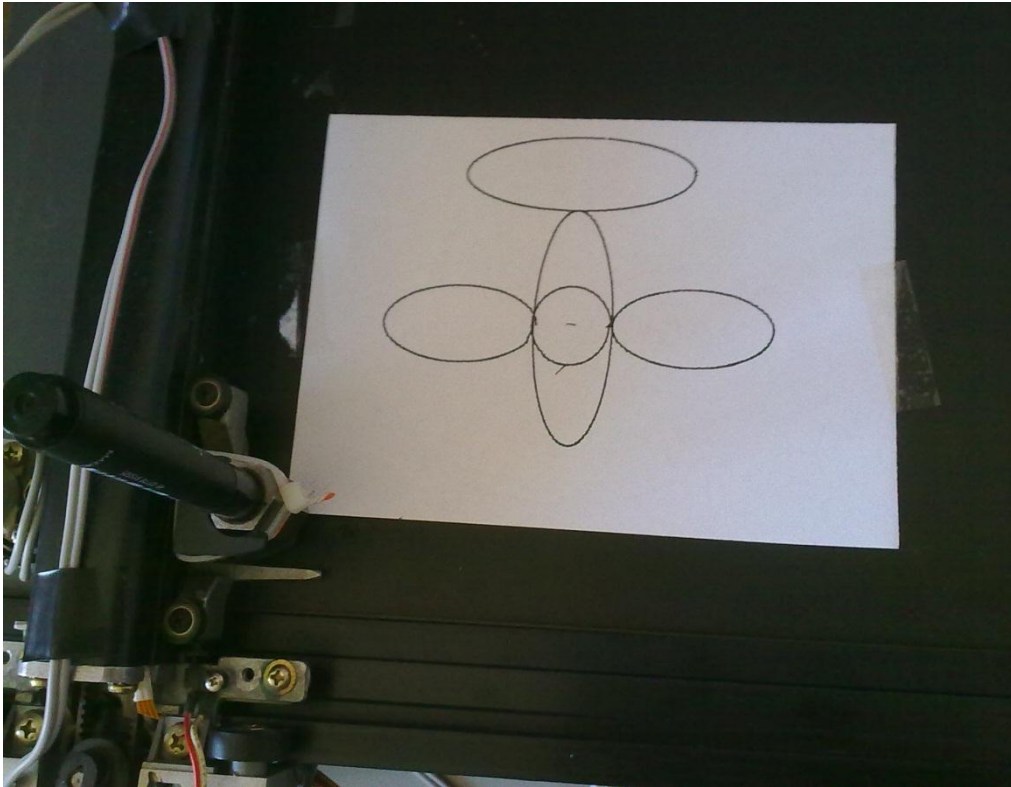
Hesaplanan  $step$  ( $\alpha$  açısı) ile  $360^\circ$ 'ye kadar döngüden elde edilen düz çizgiler ile elips çizilmiş olur. Şekil 4.7'de elips çizim örneği gösterilmiştir. Resim 4.11'de geliştirilen kullanıcı ara yüzünde elips çizimleri gösterilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şekildeki elipslerin cihaz üzerinde gerçekleştirilmesi ise Resim 4.8'da gösterilmiştir. Şekil 4.12'de elips oluşturmak için kullanılan fonksiyonun akış şeması verilmiştir.



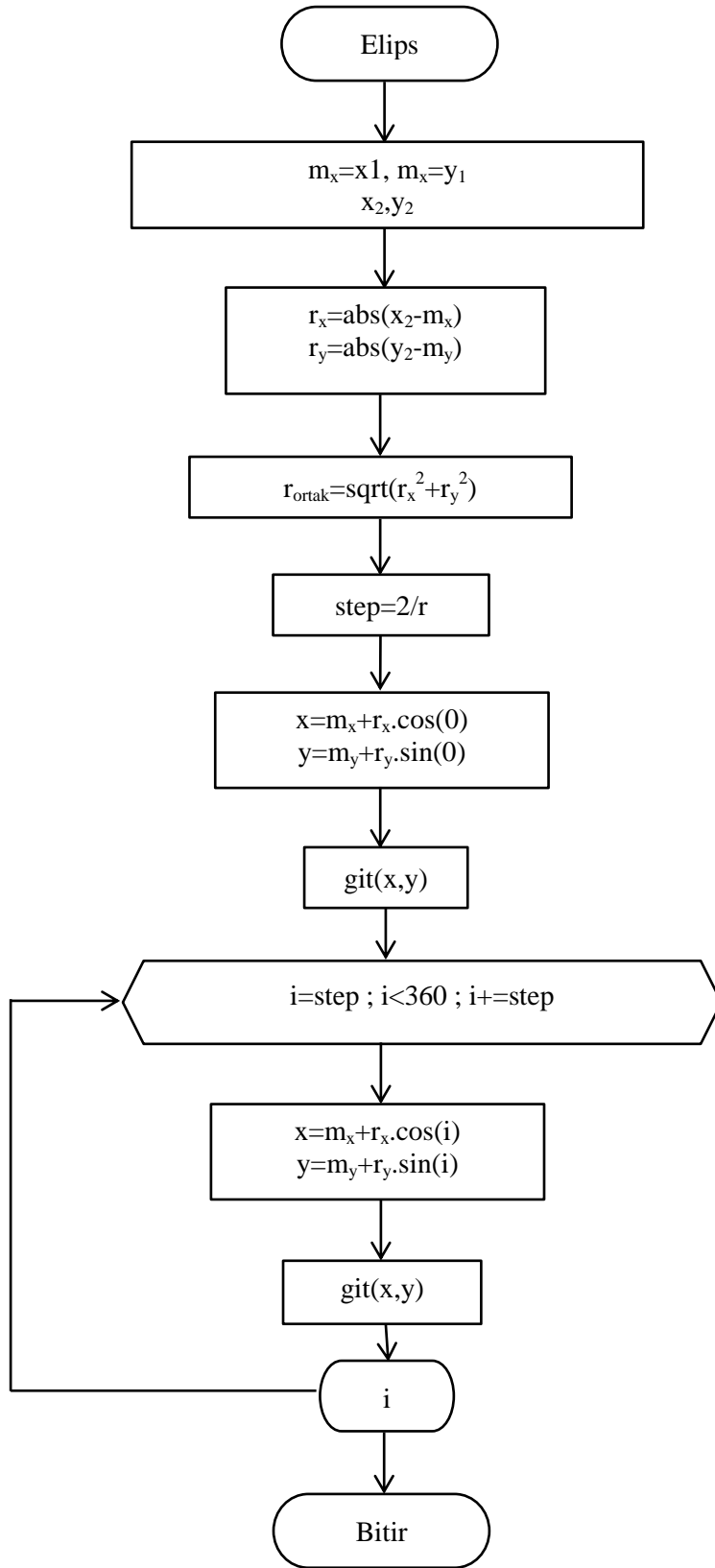
Şekil 4.7 Elips çizim örneği



**Resim 4.11** Arayüzde elips uygulaması



**Resim 4.12** Cihaz ile gerçekleştirilen elips uygulaması



Şekil 4.8 Elips oluşturmak için akış şeması



## 4.6 Yay Uygulaması

Yay çizmek için araçlar menüsünden yay komutu seçilir. Yay çizmek için üç nokta belirlenmelidir. Bu noktalar;

- İlk tıklama : Yay için merkez noktaları  $x_1$  ve  $y_1$ ,
- İkinci tıklama : Yayın başlangıç noktaları  $x_2$  ve  $y_2$  ile yarıçaplar  $r_x$  ve  $r_y$ ,
- Üçüncü tıklama : Yayın bitiş noktaları  $x_3$  ve  $y_3$

oluşturulur. Yay elipsin bir parçası olarak düşünüldüğünde yayı çizmek için  $r_x$  ve  $r_y$  yarıçapları hesaplanmalıdır. Bu hesaplama;

$$r_x = |x_2 - m_x| \quad (4.7)$$

$$r_y = |y_2 - m_y| \quad (4.8)$$

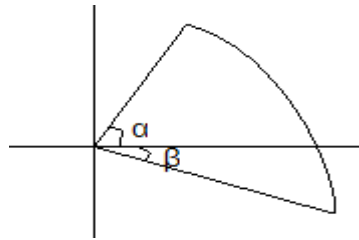
formülüne göre bulunur. Yay başlangıç açısı  $\alpha$  olsun. Bu açığı bulmak için ise;

$$\alpha = \arctan \frac{r_x}{r_y} \quad (4.9)$$

formülü kullanılır. Yay başlangıç noktalarından  $y_2 < m_y$  ise  $\alpha$  açısı  $\alpha = \alpha \cdot (-1)$  olmaktadır. Yay bitiş açısı  $\beta$  olsun.  $\beta$  açısı için ise;

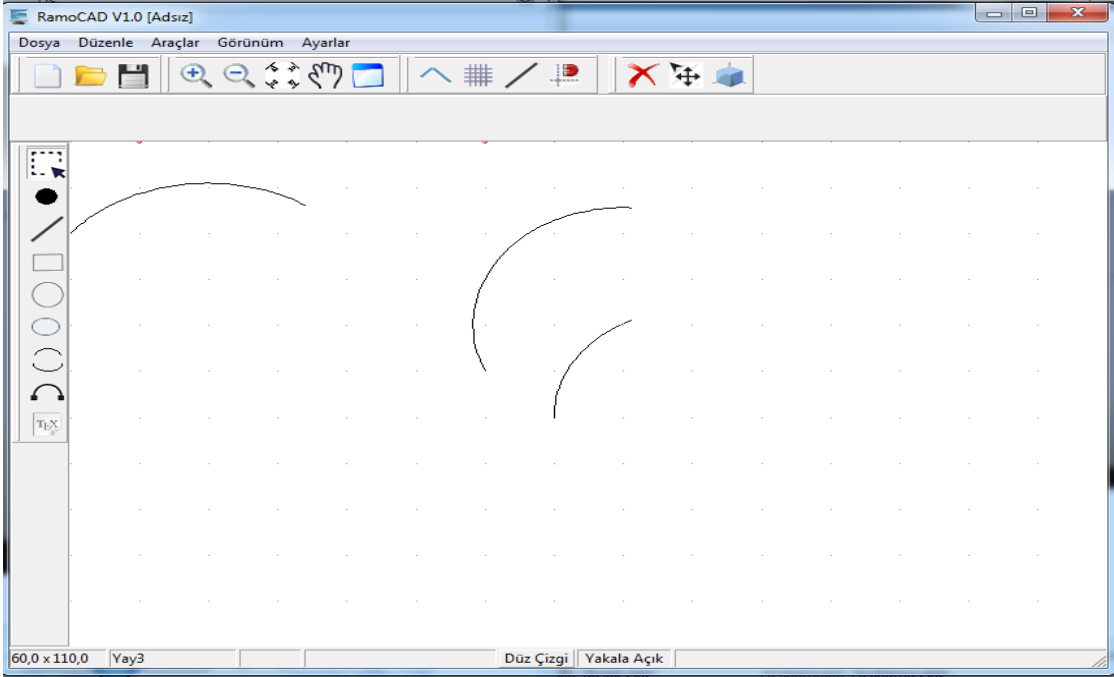
$$\beta = \arctan \frac{|y_3 - m_y|}{|x_3 - m_x|} \quad (4.10)$$

formülü kullanılır. Açı hesaplamaları örnek olarak Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Hesaplanan bu açılardan herhangi biri negatif ise bu açı  $360^\circ$ 'den çıkartılarak pozitif değeri bulunur. Negatif açılar çizimi ters yönde tamamlar.

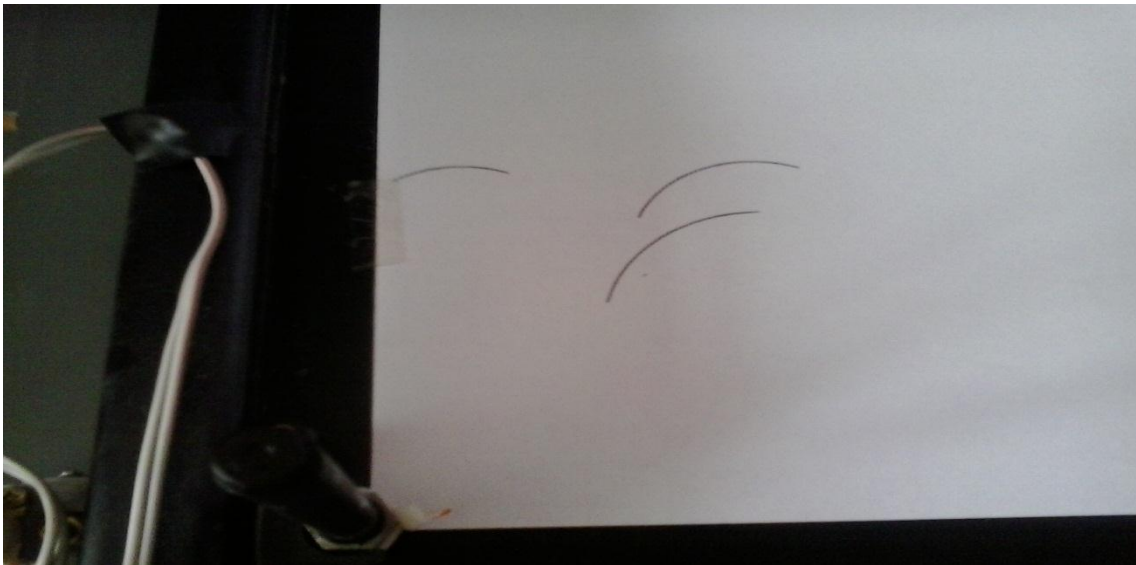


Şekil 4.9 Yay çizim örneği

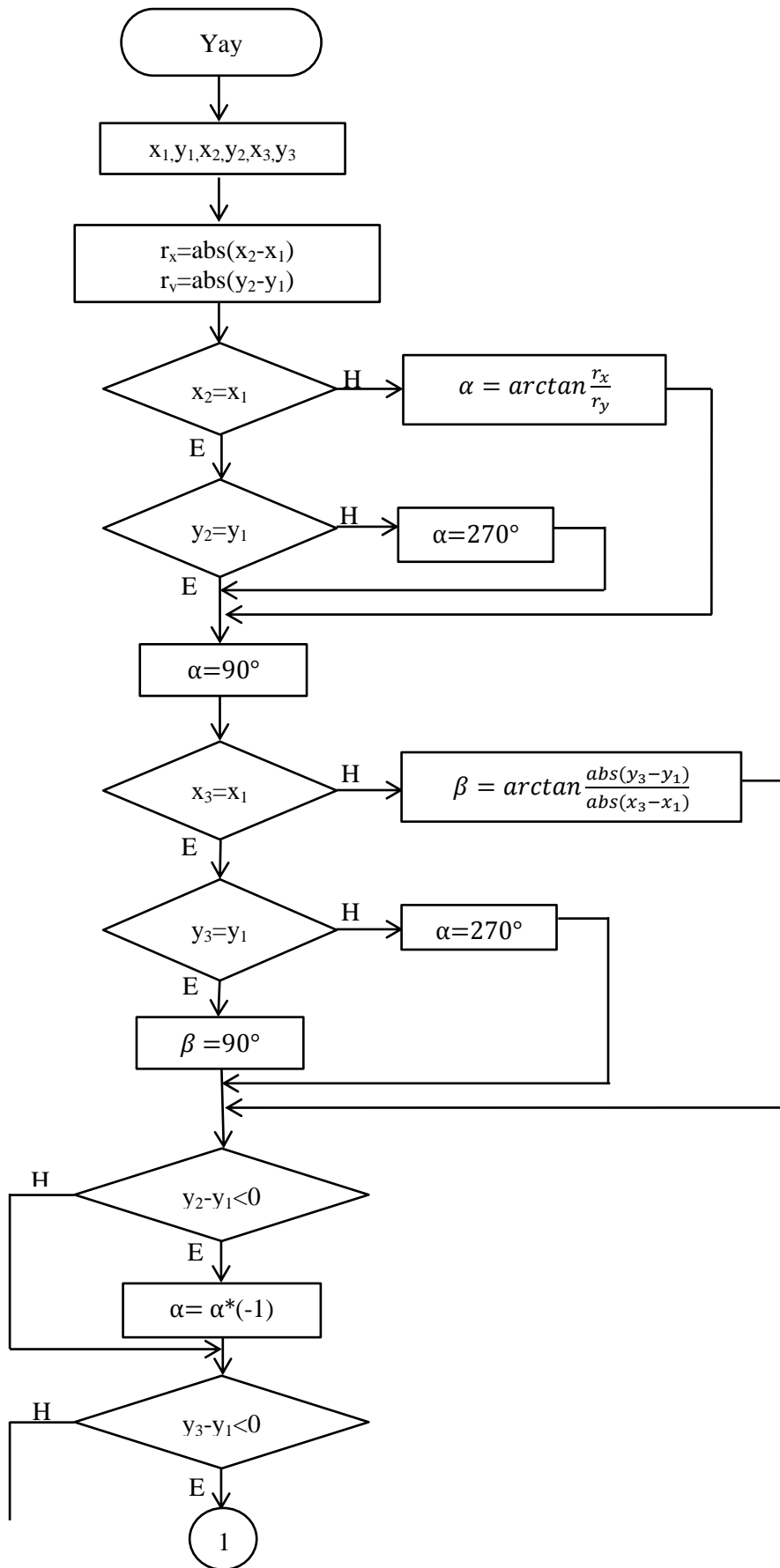
Bulunan başlangıç açısından bitiş açısına kadar olan dögüden elde edilen çizgilerle arayüz programında elde edilen yay örnekleri Resim 4.13’da gösterilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şekildeki yayların cihaz üzerinde gerçekleştirilmesi ise Resim 4.10’da gösterilmiştir. Şekil 4.14’da ise arayüzde yay çizmek için kullanılan fonksiyonun akış şeması verilmiştir.

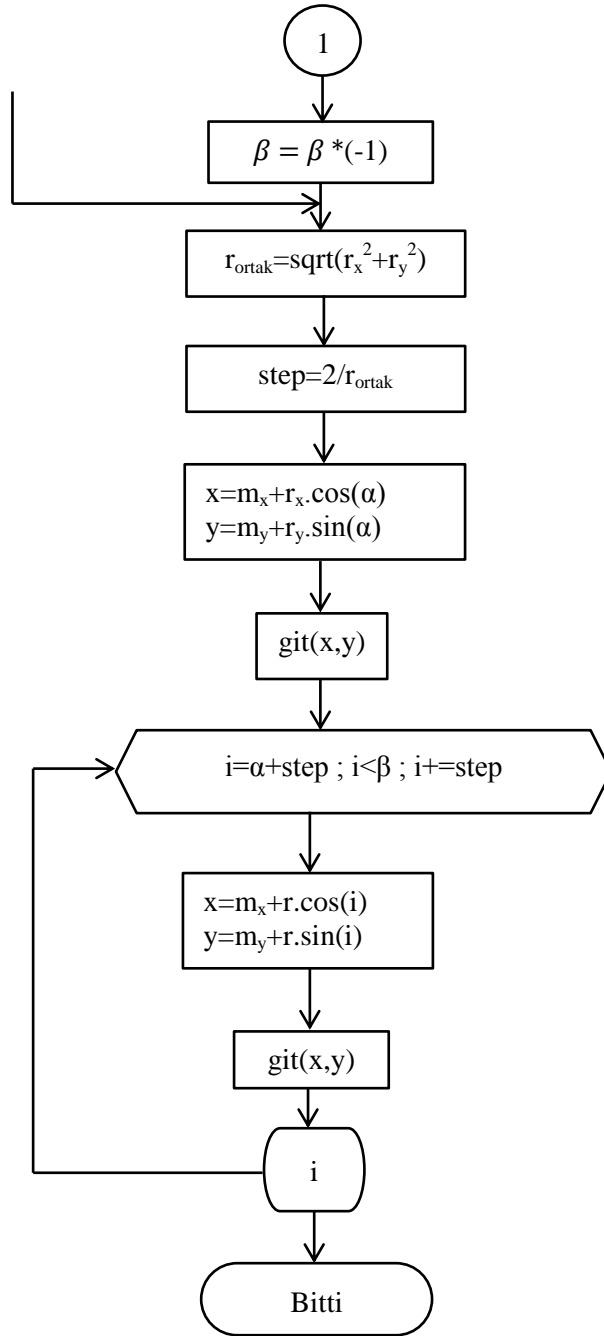


**Resim 4.13** Arayüzde yay uygulaması



**Resim 4.14** Cihaz ile gerçekleştirilen yay uygulaması





Şekil 4.10 Yay oluşturmak için akış şeması

#### 4.7 Bezier Eğrisi Uygulaması

Bezier eğrileri,  $(V_0, \dots, V_n)$  şeklinde sıralı olarak verilen kontrol noktaları veya kontrol köşelerini kullanarak bir eğri yaklaşımı yapar. Bu noktalar oynanarak istenilen şekle

haiz bir nesne oluşturulabilir. Bezier eğrileri, serbest şekilli eğrilerin gösterimi olan çokterimli fonksiyonlara dayanır.  $n$ . dereceden bir Bezier eğrisi,  $n+1$  kontrol noktası olan aşağıdaki gibi bir parametrik fonksiyondur;

$$Q(t) = \sum_{i=0}^n V_i B_{i,n}(t) \quad (4.11)$$

Burada  $V_i$ ,  $n+1$  kontrol noktasını belirten vektör ve  $B_{i,n}$  ise Bernstein çok terimliliği olarak bilinen Bezier geçiş fonksiyonlarıdır. Burada Bernstein çokterimliliği;

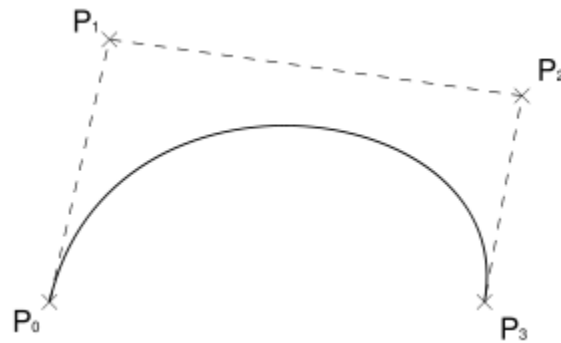
$$B_{i,n}(t) = \binom{n}{i} t^i (1-t)^{n-i} \quad 0 \leq t \leq 1 \quad \binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!} \quad (4.12)$$

olarak verilmektedir. Bu geçiş fonksiyonları aşağıdaki şartları sağlamaktadır,

- Bütün  $i$  değerleri için  $B_{i,n}(t) \geq 0 \quad 0 \leq t \leq 1$
- $\sum_{i=0}^n B_{i,n}(t) = 1 \quad 0 \leq t \leq 1$

Burada verilen ikinci şart ‘Normalleştirme Özelliği’ olarak bilinir. Bu şartlar oluşturulan eğrinin bir içbükey alan içerisinde kalmasını sağlar. Burada kontrol noktalarının oluşturduğu poligonalsal bölge Dışbükey Kaburga/Kabuk (Convex Hull) olarak isimlendirilir.

Bu çalışmada Bezier eğrisi elde etmek için 4 nokta kullanılmıştır. Örnek bir Bezier eğrisi Şekil 4.11’deki gibi  $P_0$  ve  $P_3$  noktaları eğrinin uç noktalarını,  $P_1$  ve  $P_2$  noktaları ise eğrinin kontrol noktalarını göstermektedir (İnt.Kay.10).



**Şekil 4.11** P kontrol noktaları kullanılarak oluşturulan Bezier Eğrileri (İnt.Kay.10)

Geliştirilen arayüzde araçlar menüsünden Bezier komutu seçilir. Çizim için ekran üzerinde iki nokta belirlenerek eğrinin uzunluğu belirlenir. Daha sonra eğri için

oluşturulan doğrunun etrafında eğri noktaları belirlemek için çizim imleci tıklanır. Bezier eğrisi için geliştirilen

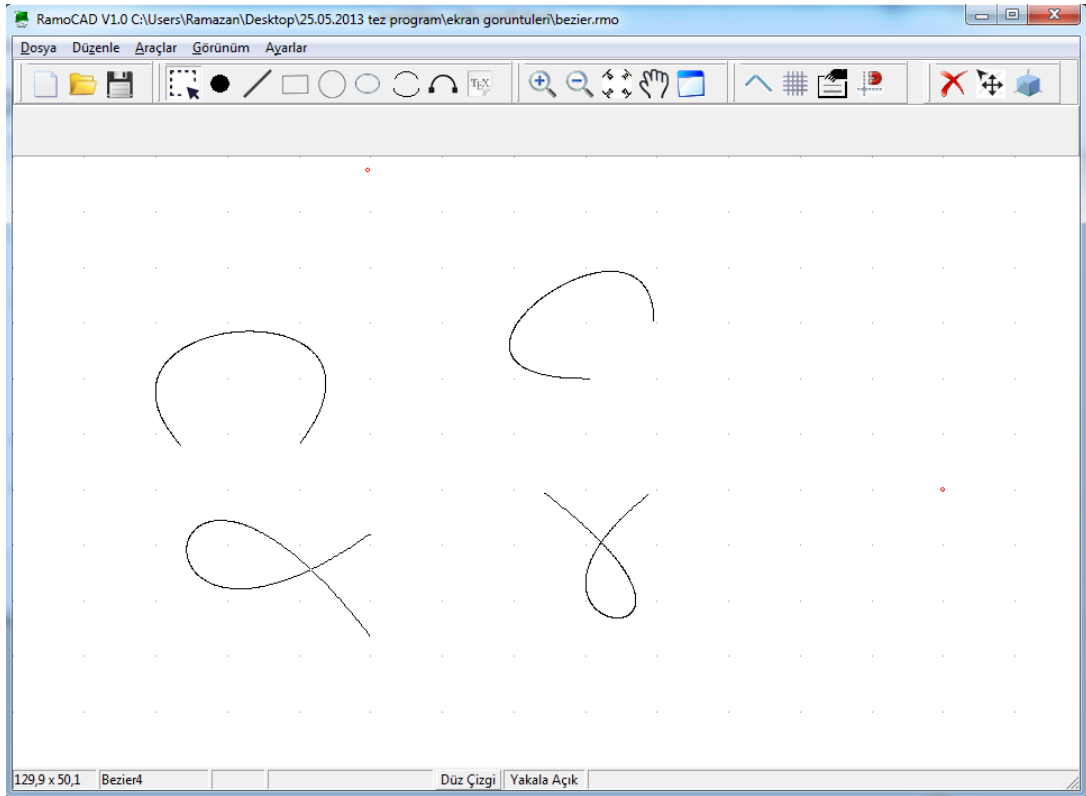
$$\text{Bezier Eğrisi} = \frac{n!}{i!(n-i)!} t^i \cdot (1-t)^{n-i} \cdot P_{i-1} \quad (4.13)$$

formüle göre eğriyi oluşturan noktalar hesaplanır. Eğriyi oluşturacak çizgilerin noktaları ise;

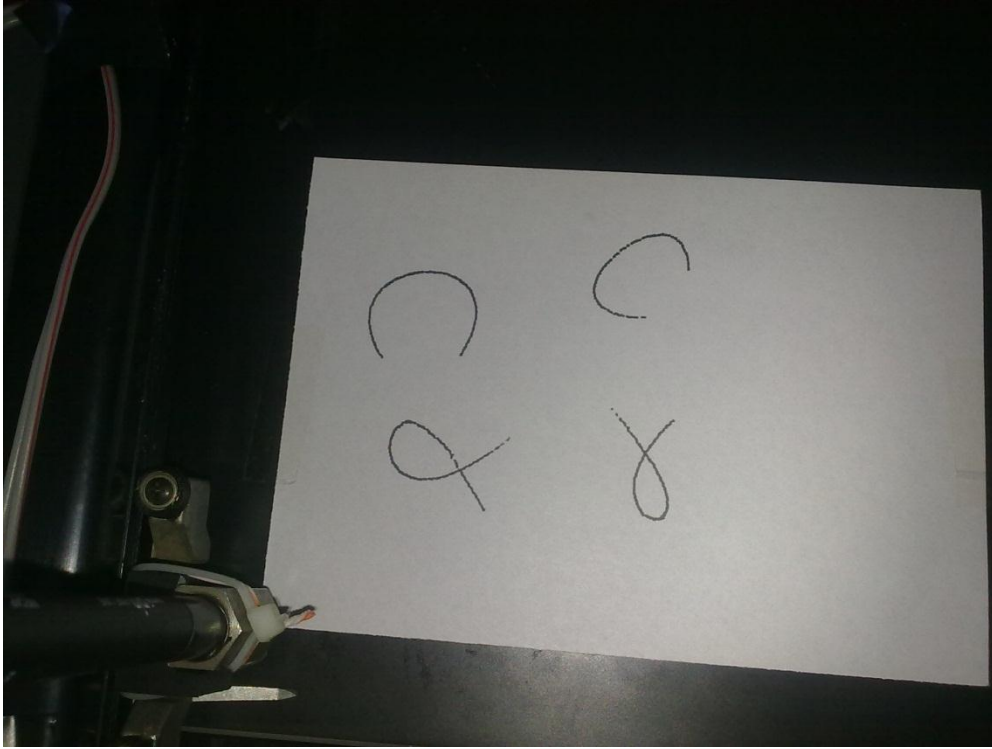
$$x=x+\text{Noktalar}[i].x.\text{Bezier Eğrisi}(t,n,i) \quad (4.14)$$

$$y=y+\text{Noktalar}[i].y.\text{Bezier Eğrisi}(t,n,i) \quad (4.15)$$

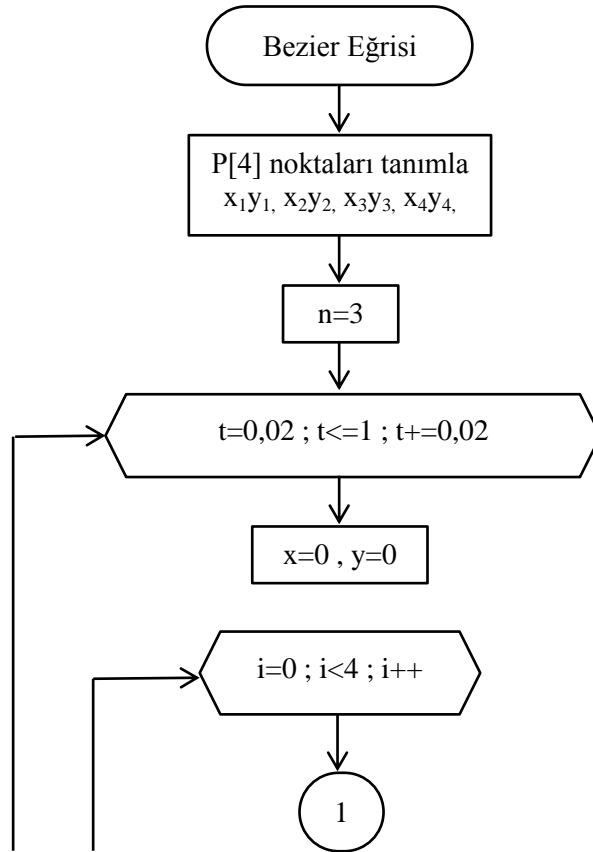
Arayüz üzerinde Bezier eğrisi uygulaması Resim 4.15’de verilmiştir. Arayüzde çizilen değişik şekildeki Bezier eğrilerinin cihaz üzerinde gerçekleştirilmesi ise Resim 4.16’da gösterilmiştir. Şekil 4.12’da ise arayüzde Bezier eğrisi çizmek için kullanılan fonksiyonun akış şeması verilmiştir.

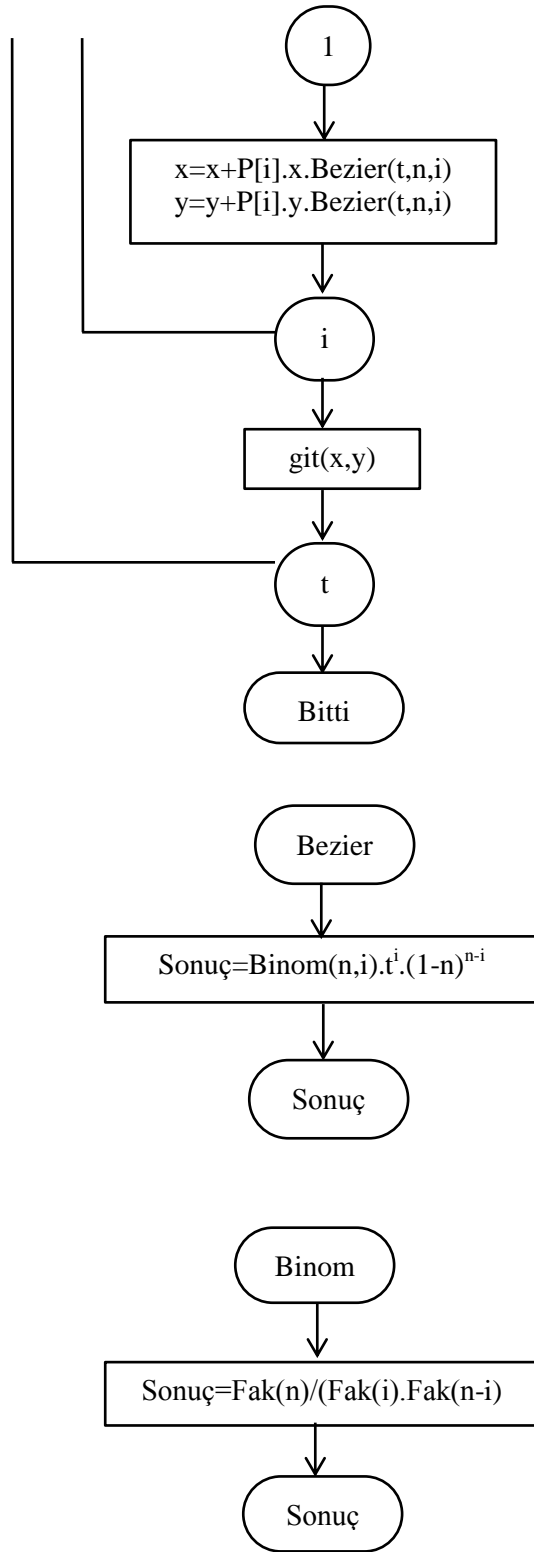


**Resim 4.15** Arayüzde Bezier eğrisi uygulaması

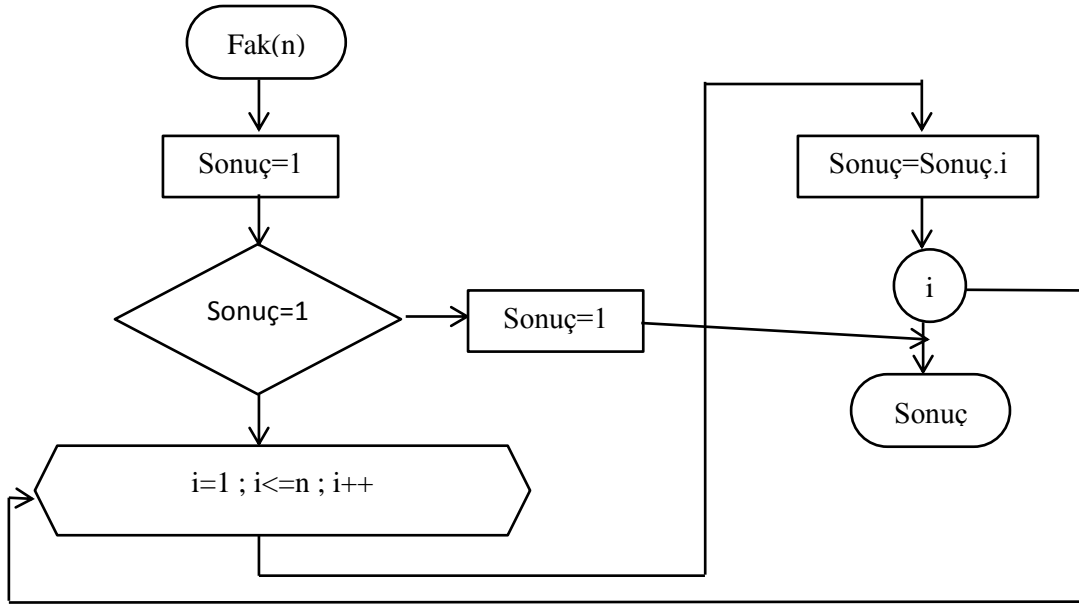


Resim 4.16 Cihaz ile gerçekleştirilen Bezier eğrisi uygulaması





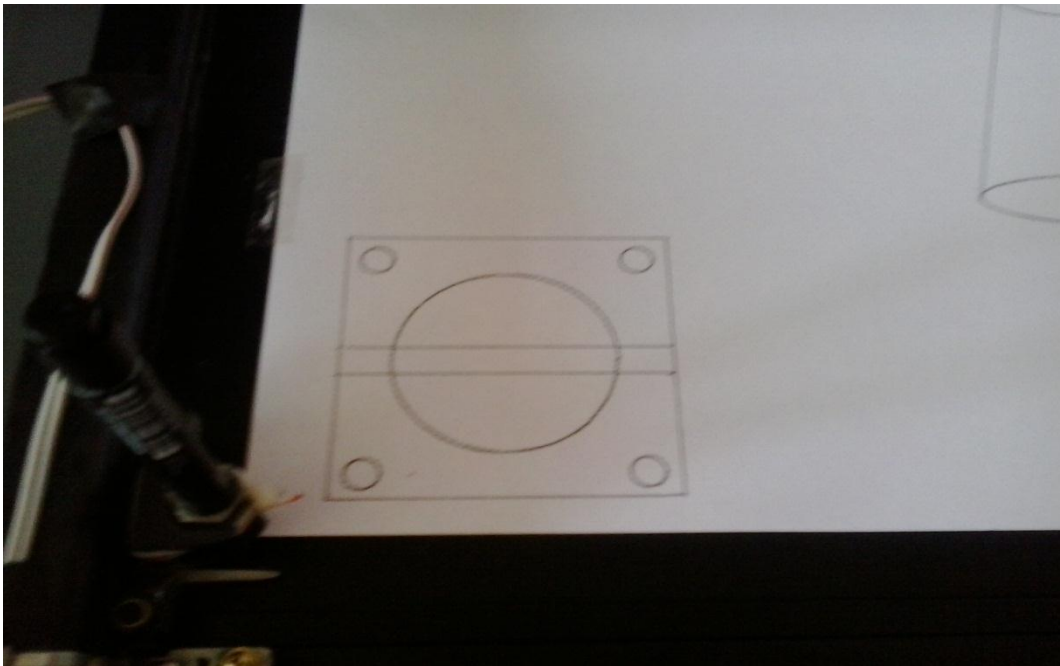




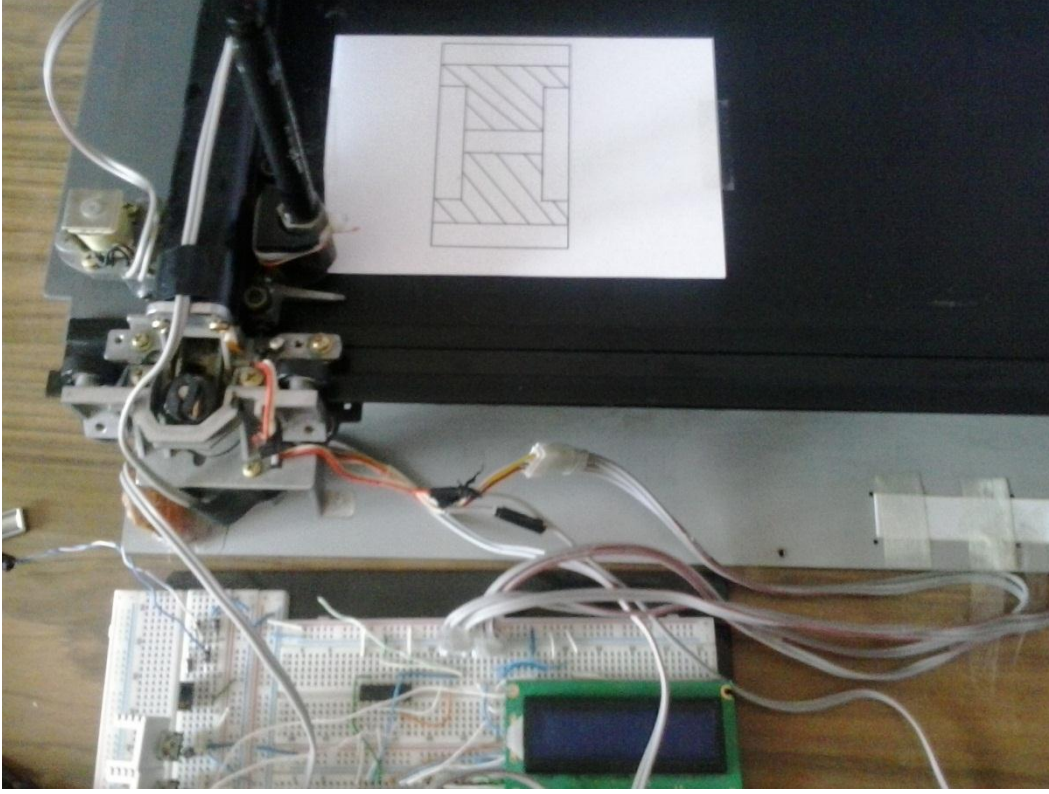
Şekil 4.12 Bezier eğrisi oluşturmak için akış şeması

#### 4.8 Karışık Geometrik Şekillerin Uygulanması

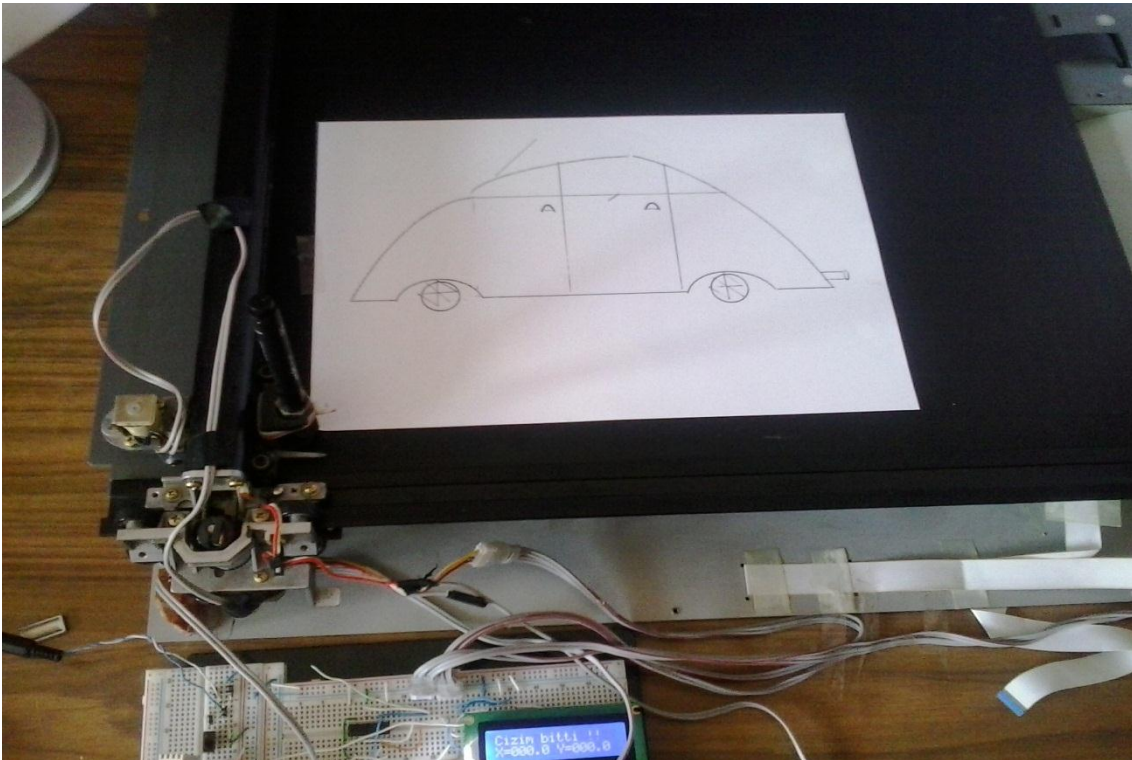
Kullanıcı arayüzü üzerinde temel geometrik nesnelere birleştirilerek karmaşık çizimler oluşturulabilmektedir. Kullanıcı arayüzü üzerinde oluşturulan bu çizimler cihaz üzerinden başarı ile uygulaması gerçekleştirilmiştir. Resim 4.17, Resim 4.18 ve Resim 4.19'de karmaşık çizimler gösterilmektedir.



Resim 4.17 Karmaşık çizim uygulaması -1



**Resim 4.18** Karmaşık çizim uygulaması -2



**Resim 4.19** Karmaşık çizim uygulaması -3

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan bu çalışmada üç eksenli kartezyen bir robotu kontrol edecek sürücü tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Bu sürücü geliştirilen arayüz ile plotter üzerinde test edilerek başarılı olduğu görülmüştür. Çizim hassasiyet 0.1mm olarak elde edilmiştir. Elde edilen hassasiyet step motorların tam adım sürülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Step motorlar yarım adım sürülerek hassasiyet 0.05mm'ye indirilebilirdi. Ancak bu hassasiyet kullanılan sistem için gereksiz olduğundan ve hızdan kaybetmemek için tercih edilmemiştir.

Sürücü devresi ATMEGA32 mikrodenetleyici üzerine kurulmuştur. Step motorları sürmek için mikrodenetleyicinin çıkış akımı yetersiz kaldığından L293D sürücü entegrasyonu her üç eksen için ayrı ayrı kullanılmıştır. Sürücü yazılımı C dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yazılımın temeli Bresenham'ın çizgi algoritması üzerine kurulmuştur. Vektörel grafiklerde bu algoritma oldukça başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bilgisayar ile kontrol kartı arasındaki haberleşme Seri port üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Bresenham'ın çizgi algoritması ile step motor kontrolü sağlandığı ve sonuçların başarılı görülmüştür. Ekranı doğru çizdirmek için kullanılan bu algoritmanın step motorlarla mekanik hareketler içinde başarılı sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Cihazın test edilmesi için vektör grafik çizim arayüz programı geliştirilmiştir. Yazılımın gerçekleştirilmesinde C++ platformu kullanılmıştır. Yazılım temel geometrik nesnelere vektör grafik kullanarak gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen tasarım seri port üzerinden sürücü kartına gönderilerek tasarlanan grafik başarılı bir şekilde cihazdan alınmıştır. Uzak masaüstü programları ile internet üzerinden uzak bilgisayarlardan da arayüz ve cihaz kullanılabilir.

Driver üzerinde ilave RAM kullanılmadığından arayüzde elde edilen tasarım cihaza parça parça gönderilmektedir. Bu durumda bilgisayarda çizim bitene kadar cihaz ile birlikte çalışması gerekmektedir.

Arayüz programının ileri düzeyde geliştirilmesi mümkündür. Yazı fonksiyonları ve farklı çizgi tiplerinin eklenmesi mümkündür. Cihaz hareketli parçalar geliştirilerek çizim esnasında oluşan titreşimler giderilebilir. Ayrıca çizim ucu (kalemi) değiştirilerek farklı kalınlıklarda çizgi tipleri elde edilebilir.

Çalışmada kullanılan üç eksenli kartezyen robotun mekanik aksamından dolayı çizimde titremeler oluşmuştur. Bu titremeler Z ekseninde bulunan hareketi sağlayan elektromıknatısa bağlı kalemin ağırlığının tam olarak yayın gücünü sağlayamadığından görölmüştür. Z ekseninde elektromıknatıs yerine step motor kullanılarak kalem sabitlenerek çizimde oluşacak titremeler giderilebilir.

Geliştirilen sürücü ve kullanıcı arayüzü herhangi bir üç eksenli kartezyen robota uygulanarak bu tip robotların kontrolü ve kullanımına uygundur. Sanayinin farklı ihtiyaçlarına göre desen işleme, kaynak yapma, sac kesimi gibi alanlarda kullanılabilir.

## 6. KAYNAKLAR

- Aktan, M.E. (2012). Çok Amaçlı 3 Eksen Kartezyen Robot Sisteminin Tasarımı Ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Anabilim Dalı, İstanbul.
- Bingül, Z. ve Küçük, S. (2009). Robot Kinematiği, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Boyer, V. and Bourdin, J.-J. (2000). Auto-Adaptive Step Straight-Line Algorithm , Computer Graphics and Applications, IEEE (Volume:20 , Issue: 5 ): 67-69.
- Chiang, L. E. (1994). 3-D CNC trajectory interpolation using Bresenham's algorithm , Industrial Electronics, 1994. Symposium Proceedings, ISIE '94., 1994 IEEE International Symposium : 264 - 268 .
- Craig, J. (1989). Introduction to Robotics, Mechanics and Control, Addison Wesley Editions, Boston, ABD.
- Çetinkaya, Ö. (2009). Bir Kolun Hareketini Takip Eden Dört Dönel Mafsallı Robot Kolu Tasarımı Ve Deneysel Araştırması, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Eğilmez, M.M. (2005). Kartezyen Koordinatlı Kaynak Robotu, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Groover, M. (1986). Industrial Robotics, McGraw-Hill Company International Editions, Singapore.
- Joy, K. I. (1999). Bresenham's Algorithm, On-Line Computer Graphics Notes, California, ABD.
- Kaygısız, H. (2010). Eğitim Amaçlı 3 Eksenli Masaüstü Cnc Freze Tasarımı Ve Prototipi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kim, J. and Kim, M. (1991). A Study On The Design Of Cnc Lathe For Education And Application, International Journal of Production Economics,: 169-180.

- Korona, İ. (2006). Atmel Atmega8 Mikrodenetleyici Ve Assembler, Konya.
- Köbeloğlu, A. (2011). Eğitim Amaçlı Masaüstü CNC Torna Tezgahı Tasarımı Ve Prototipi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Kutlu, M. (2006). Üç Eksenli Masa Tipi CNC Freze Tezgahı Tasarım Ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Lee, H.S. and Chang, S.L. (2003). Development of a CAD/CAE/CAM System For A Robot Manipulator, Journal of Materials Processing Technology, s: 100-104.
- Lianqiang, N. and HaiWen, F. (2009). A Line Segments Approximation Algorithm of Grating Lines, Computer Science-Technology and Applications, 2009. IFCSTA '09. International Forum on (Volume:2 ): 34-37.
- Lomerson, Jr.; Roland (Bradenton, FL); Parnel; Geoffrey James (Midlothian,VA); Dye; Richard Douglas (Chesterfield, VA); Prill; James (Richmond,VA), Bakery Holdings LLC (Richmond, VA), June 24, 2002.
- Tseng, A.A. and Kolluri, S.P.(1989). A CNC Machining System for Education, Journal of Manufacturing Systems Volume 8/No. 3: 207-214.
- Yazıcı, S., Kılıvan, M. ve Ertunç, H.M. (2003). Bilgisayar Kontrollü Kartezyen Robot Tasarımı, Elektrik -Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, :205-208

## 6.1 İnternet Kaynakları

1. [http://tr.wikipedia.org/wiki/Bresenham'%C4%B1n\\_%C3%A7izgi\\_algoritmas%C4%B1](http://tr.wikipedia.org/wiki/Bresenham'%C4%B1n_%C3%A7izgi_algoritmas%C4%B1)  
Erişim Tarihi : 10/05/2013
2. <http://www.teknomerkez.net/sayfa.php?git=92>  
Erişim Tarihi: 26/05/2013
3. [http://www.robotiksistem.com/motor\\_surucu\\_entegreler.html](http://www.robotiksistem.com/motor_surucu_entegreler.html)  
Erişim Tarihi: 14/05/2013
4. <http://www.fatiherdem.net/max232-li-seri-port-buffer-baski-devresi/>  
Erişim Tarihi: 14/05/2013
5. [http://www.silisyum.net/htm/guc\\_kaynaklari/entegre\\_gerilim\\_regulatorleri.htm](http://www.silisyum.net/htm/guc_kaynaklari/entegre_gerilim_regulatorleri.htm)  
Erişim Tarihi: 14/05/2013
6. <http://www.elektroloji.com/elektronik-devre-elemanlari/diyot/92-zener-diyodun-calisma-prensibi.html>  
Erişim Tarihi: 14/05/2013
7. [http://web.inonu.edu.tr/~tozceyhan/pdfs/CDERS\(Belge\).pdf](http://web.inonu.edu.tr/~tozceyhan/pdfs/CDERS(Belge).pdf)  
Erişim Tarihi: 15/05/2013
8. [http://forum.donanimhaber.com/m\\_1497872/tm.htm](http://forum.donanimhaber.com/m_1497872/tm.htm)  
Erişim Tarihi: 15/05/2013
9. <http://www.gulozturk.com/teamviewer-nedir-nasil-kullanilir.html>  
Erişim Tarihi: 25/05/2013
10. <http://www.be.itu.edu.tr/~hamdi.tural/web/courses/hbm512/project.pdf>  
Erişim Tarihi: 26/05/2013

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ramazan KURŞUN  
Doğum Yeri ve Tarihi : Sarayönü – 1983  
Yabancı Dili : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : rkursun@selcuk.edu.tr

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Konya Gazi Lisesi (2001)  
Lisans : Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği (2006)

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Uşak Üniversitesi 2009-2011  
Selçuk Üniversitesi 2011- ...