

**T.C.  
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR KONTROLLÜ KARTEZYEN ROBOT**

**SEMİH ÖNGİR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
MAKİNE TEORİSİ VE KONTROL PROGRAMI**

**DANIŞMAN  
PROF. DR. GALİP CANSEVER**

**İSTANBUL, 2011**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BİLGİSAYAR KONTROLLÜ KARTEZYEN ROBOT**

Semih ÖNGİR tarafından hazırlanan tez çalışması 23.05.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı**

Prof. Dr. Galip CANSEVER

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri**

Prof. Dr. Galip CANSEVER

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Doç. Dr. Haluk GÖRGÜN

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

Yrd.Doç. Dr. Tuncay UZUN

Yıldız Teknik Üniversitesi

\_\_\_\_\_

## ÖNSÖZ

---

Bu projenin gerçekleştirilmesinde bana yardımcı olan, çalışma konumun seçim aşamasında beni cesaretlendiren ve çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen değerli hocam Prof.Dr. Galip CANSEVER'e, teşekkürü borç bilir ve saygılarımı sunarım.

Ayrıca çalışmamın gerçekleştirilmesi sırasında, bana her türlü desteğini esirgemeyen, iş hayatımın yoğunluğundan dolayı üniversitemize gelemeyecek durumda olduğum zamanlarda, kendi zamanını benim için kullanan ve bir çok bürokratik işlemi sayesinde çözdüğüm değerli arkadaşım Arş.Gör. Şaban ÇETİN'e, teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmanın temellerinin atıldığı yüksek lisans derslerim boyunca, bana bilgi ve birikimlerini aktaran, üzerimde emeği geçmiş tüm hocalarıma, ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs, 2011

Semih ÖNGİR

## İÇİNDEKİLER

---

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vi
KISALTMA LİSTESİ.....	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ .....	x
ÖZET .....	xi
ABSTRACT.....	xiii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1    Literatür Özeti .....	1
1.2    Tezin Amacı .....	5
1.3    Orijinal katkı .....	5
BÖLÜM 2	
MEKANİK TASARIM .....	6
BÖLÜM 3	
STEP MOTOR SÜRÜCÜ DEVRELERİ.....	16
3.1    L297 Entegresi Kullanım Şekli .....	16
3.2    L298 Entegresi Kullanım şekli .....	22
BÖLÜM 4	
KONTROL KARTI DEVRESİ.....	25
BÖLÜM 5	
PIC PROGRAMININ ÇALIŞMASI .....	33

5.1	Makine Hazır mı Alt Programı.....	37
5.2	Elle Kumanda Aç Alt Programı .....	38
5.3	Delme Modu Aç Alt Programı .....	40
5.4	Başlangıca Git Alt Programı .....	43
5.5	Kesme Alt Programı .....	44
5.6	Acil Durdurma Alt Programı.....	46
<b>BÖLÜM 6</b>		
EN KISA YOL ÇEVİRİMİNİN BULUNMASI .....		47
6.1	En iyi düğüm ilavesi yöntemi .....	48
6.2	En yakın nokta yöntemi .....	52
6.3	İkili optimizasyon yöntemi.....	53
6.4	En kısa Yol Çözümü İçin Hazırlanan Program ve Çalışması.....	56
<b>BÖLÜM 7</b>		
BİLGİSAYAR ARA YÜZ PROGRAMI .....		64
7.1	Port Ayarları Sekmesi.....	65
7.2	Makine Ayarları Sekmesi.....	66
7.3	Makine Kontrol Butonu .....	67
7.4	Dosya Aç Sekmesi .....	68
7.5	Elle Kumanda Sekmesi .....	70
7.6	Sıfıra Git Butonu.....	71
7.7	Başlat Butonu.....	72
7.8	Acil Stop Butonu .....	73
7.9	Çıkış Butonu .....	74
7.10	X Y Liste Penceresi.....	74
7.11	X-Y-Z Pozisyon Pencereleeri.....	74
7.12	Burasını Başlangıç Yap Butonu.....	74
7.13	Büyüteç Sekmesi .....	74
7.14	Bilgilendirme Sekmesi.....	74
7.15	İşlem Süresi Kutucuğu.....	74
<b>BÖLÜM 8</b>		
SONUÇ VE ÖNERİLER .....		75
KAYNAKLAR .....		79
EK-A		
STEP MOTOR SÜRÜCÜ ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİMLERİ .....		81
EK-B		
KONTROL KARTI ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİMLERİ .....		85
ÖZGEÇMİŞ .....		89

## SİMGE LİSTESİ

---

D	Diyot
F	Farad
Hz	Hertz
I	Elektrik akımı
I <sub>max</sub>	Maksimum akım
L	Endüktans
N	Negatif
Q	Mosfet transistör
P	Pozitif
R	Elektriksel direnç
R <sub>sens</sub>	Algılama direnci
T	Zaman
V	Voltaj
V <sub>kontrol</sub>	Kontrol voltajı
V <sub>ref</sub>	Referans voltajı
V <sub>x</sub>	Küçük voltaj değeri

## KISALTMA LİSTESİ

---

CLK	Saat (Clock)
CNC	Bilgisayar Numerik Kontrol (Computer Numerical Control)
CW	Saat Yönü (Clock Wise)
CCW	Saatın Ters Yönü (Counter Clock Wise)
DC	Doğru Akım (Direct Current)
FF	Flip-Flop
GND	Toprak (Ground)
IN	Giriş (Input)
INH	Inhibit
JP	Jumper
MCLR	Ana Reset (Master Clear)
MOSFET	Metal Oksit Alan Etkili Transistör (Metal Oxide Field Effect Transistor)
OSC	Osilatör (Oscillator)
OUT	Çıkış (Output)
SENS	Algılama (Sensitivity)
SW	Anahtar (Switch)
SYNC	Senkronizasyon (Synchronization)
PIC	Çevresel Arayüz Kontrolörü (Peripheral Interface Controller)
PLC	Programlanabilir Lojik Kontrolör (Programmable Logic Controller)
PWM	Puls Genişlik Modülasyonu (Pulse Width Modulation)

## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Prensip yapıları, kinematik yapıları ve çalışma alanları ile robot çeşitleri .... 3
Şekil 1.2	Kartezyen robot örnekleri..... 4
Şekil 2.1	Kartezyen robot genel görünümü..... 6
Şekil 2.2	Step motor genel görünümü ve sargılarının uçlarla bağlantı şekli ..... 8
Şekil 2.3	Step motor ile sonsuz vida arasındaki hareket aktarımı..... 8
Şekil 2.4	Eksenlerin doğrusal hareketi için kullanılan yardımcı malzemeler..... 9
Şekil 2.5	Doğrusal hareket için kullanılan yardımcı malzemelerin bağlantı şekli..... 10
Şekil 2.6	Y eksenli polietilen alt tabla taslak çizimi ..... 11
Şekil 2.7	Kartezyen robot izometrik görünüm ..... 12
Şekil 2.8	Makine çalışma bölgesi üst görünüm ..... 13
Şekil 2.9	Kartezyen robot ön görünüm ..... 14
Şekil 2.10	Kartezyen robot arka görünüm ..... 14
Şekil 2.11	Bilgisayar kontrollü kartezyen robot prensip bağlantı şeması ..... 15
Şekil 3.1	L297 entegresinin iç yapısı ..... 16
Şekil 3.2	L297 entegresinin uçlarının dağılımı ..... 17
Şekil 3.3	L297 entegresi enable bağlantısı ..... 18
Şekil 3.4	L297 entegresi kontrol girişi bağlantısı ..... 19
Şekil 3.5	L297 entegresi Vref ve Sens bağlantıları..... 20
Şekil 3.7	L297 entegresi senkronizasyon girişi bağlantısı..... 21
Şekil 3.8	L298 entegresinin iç yapısı ..... 22
Şekil 3.9	L298 entegresi uçlarının dağılımı ..... 23
Şekil 3.10	L298 entegresi çıkış bağlantıları ..... 24
Şekil 4.1	PIC 16F877A entegresi uçlarının dağılımı ..... 26
Şekil 4.2	PIC 16F877A entegresi reset bağlantısı ..... 26
Şekil 4.3	PIC 16F877A entegresi limit anahtar bağlantıları ..... 27
Şekil 4.4	L7805 entegresi ile oluşturulan güç kaynağı..... 28
Şekil 4.5	PIC 16F877A entegresi osilatör bağlantısı ..... 29
Şekil 4.6	PIC18F877A-MAX232 entegresi bağlantısı ..... 30
Şekil 4.7	16F877A entegresi kesme girişi bağlantısı..... 32
Şekil 5.1	Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı ..... 34
Şekil 5.1	Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı (devam)..... 35
Şekil 5.1	Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı (devam)..... 36
Şekil 5.4	Ara yüz programından gönderilen 4 byte'lık veri paketinin açılımı..... 39
Şekil 5.5	Ara yüz programından gönderilen 9 byte'lık veri paketinin açılımı..... 41

Şekil 5.6	Matkap z eksenli çalışma bölgeleri .....	41
Şekil 5.7	Ara yüz programından gönderilen 7 byte'lık veri paketinin açılımı.....	42
Şekil 5.8	Ara yüz programından gönderilen 10 byte'lık veri paketinin açılımı.....	44
Şekil 6.1	Rastgele seçilmiş beş noktanın koordinat düzleminde dağılımı.....	48
Şekil 6.2	Rastgele seçilen beş noktanın ağırlık merkezine olan uzaklıkları .....	49
Şekil 6.3	Rastgele seçilen beş noktanın ağırlık merkezine olan uzaklıkları .....	49
Şekil 6.4	Ağırlık merkezine en uzak üç noktanın birleştirilmesi .....	50
Şekil 6.5	Dört numaralı noktanın mevcut halkaya dahil edilebileceği tüm olasılıklar	50
Şekil 6.6	Dört numaralı nokta için en iyi düğüm ilavesi .....	51
Şekil 6.7	Beş numaralı noktanın halkaya dahil edilebileceği tüm olasılıklar .....	51
Şekil 6.8	Beş numaralı nokta için en iyi düğüm ilavesi.....	52
Şekil 6.9	En yakın nokta yöntemi ile noktaların sıralanması .....	53
Şekil 6.10	İki ile beş numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi .....	54
Şekil 6.11	İki ile üç numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi .....	54
Şekil 6.12	İki ile dört numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi .....	55
Şekil 6.13	İki ile bir numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi.....	55
Şekil 6.14	En kısa yol çözümü programı ana penceresi .....	56
Şekil 6.15	En kısa yol çözümü programı dosya açma penceresi .....	57
Şekil 6.16	En kısa yol çözümü programı açılan dosyadaki noktaların gösterimi.....	58
Şekil 6.17	En yakın nokta yöntemi ile noktaların birleştirilmesi .....	59
Şekil 6.18	En yakın nokta yöntemi üzerine ikili optimizasyon uygulaması .....	60
Şekil 6.19	En iyi düğüm ilavesi yöntemi ile noktaların birleştirilmesi .....	61
Şekil 6.20	En iyi düğüm ilavesi yöntemi üzerine ikili optimizasyon uygulaması.....	62
Şekil 6.21	Dosya kayıt penceresi .....	63
Şekil 6.22	Delik koordinatlarının yol yöntemleri ile sıralandıktan sonra kaydedilmesi	63
Şekil 7.1	Ara yüz programı ana pencere.....	64
Şekil 7.2	Port ayarları penceresi.....	66
Şekil 7.3	Ara yüz programı port ayarları penceresi .....	67
Şekil 7.4	Ara yüz programı haberleşme durumu uyarı penceresi .....	68
Şekil 7.5	Ara yüz programı dosya açma penceresi .....	68
Şekil 7.6	Ara yüz programı dosya boyutu uyarı penceresi .....	69
Şekil 7.7	Ara yüz programı, açılmış örnek delgi dosyası.....	70
Şekil 7.8	Ara yüz programı el ile kumanda penceresi .....	71
Şekil 7.9	Delme işlemi gerçekleşirken gösterilen örnek delgi dosyası .....	73

## ÇİZELGE LİSTESİ

---

	Sayfa
Çizelge 2.1 X ve Y eksenli step motorlarının özellikleri .....	7
Çizelge 2.2 Z eksenli step motoru özellikleri .....	7
Çizelge 2.3 Matkap motoru özellikleri .....	10
Çizelge 8.1 Farklı beş delgi dosyası için elde edilen sonuçlar .....	75
Çizelge 8.2 Benzer kartezyen robotlar ile özellik karşılaştırması .....	76
Çizelge 8.3 PLC ve mikrokontrolör maliyet karşılaştırması .....	77

## BİLGİSAYAR KONTROLLÜ KARTEZYEN ROBOT

Semih ÖNGİR

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Galip CANSEVER

Günümüzde endüstriyel kuruluşların tamamı, yaptıkları işlerde otomasyona yönelmektedir. Bu sayede maliyetler düşmekte, harcanılan zaman kısaltmakta ve üretilen ürün veya işin kalite seviyesi standartlaşmadan dolayı artmaktadır.

Projemizde, elektronik baskılı devre kartlarının delme işlemlerini gerçekleştirmek amacı ile kartezyen bir robotun mekanik tasarımı ve montajı yapılmıştır. Robotun eksenlerini hareket ettiren step motorlar için sürücü devreleri ve bu sürücülere kontrol sinyallerini gönderecek olan, mikroişlemci tabanlı kontrol kartı devresi tasarlanmış ve montajı gerçekleştirilmiştir. Robot ile kullanıcı arasındaki iletişim için bilgisayarda bir ara yüz programı hazırlanarak, bilgisayarın seri portu üzerinden, kontrol kartı ile seri haberleşme imkanı sağlanmıştır.

İşlem zamanının kısaltılması, endüstrinin bu tip projelerdeki beklentilerden biridir. Projemizde işlem zamanının kısaltılması için, delinecek noktaları toplamda en kısa mesafeyi oluşturacak şekilde matkap motorunun dolaşması gerekir ve delik sayısının artması bu problemdeki karmaşıklığı arttırmaktadır. Probleme yaklaşım metotları kullanılarak çözüm üretmek mümkündür. Literatürde “Gezgin Satıcı Problemi” diye bilinen bu problemin çözüm yaklaşımlarından üçü için “Visual Basic” yazılım dili kullanılarak bir bilgisayar programı hazırlanmış ve projemize uyarlanmıştır. Hazırlanan bu program, üç çözümün sonuçlarının birbirleri ile karşılaştırılmasına ve en iyi çözümün projemizde kullanılmasına imkan vermektedir.

İlk olarak projemiz için, üç eksenli step motorlarla hareket ettirilen, hareket eksenleri sonsuz vida kullanılarak gerçekleştirilen bir kartezyen robotun mekanik tasarımı

yapılmıştır. Malzeme işlenmesi ve montaj hatalarından kaynaklanacak olan mekanik kasıntıları en aza indirmek için hareket aktarma organı olarak kaplinler, mil yatakları için oynar başlıklı rulmanlar kullanılmıştır.

Step motorların çalışması için gerekli olan elektronik sürücü kartları önce şematik olarak tasarlanmış, ardından baskılı devreleri hazırlanmış ve elektronik devre elemanlarının montajı yapılarak önceden hazırlanmış olan mekanik düzenek üzerinde test edilmiştir.

Sonrasında bu sürücü kartlarını kontrol edecek olan, mikroişlemci tabanlı elektronik kontrol kartı tasarlanmıştır. Mikroişlemcinin programlanması için "assembler" yazılım dili kullanılmıştır. Program hazırlanırken açık çevrim olarak çalışacak olan step motorların yüksek hızlarda pozisyon kaçırmaması, düşük hızlarda rezonansa girmemesi için mekanik düzenek üzerinde motor hız testleri yapılmış ve güvenilir aralıklar tespit edilip kullanıcının bu aralıklarda hızları değiştirmesine olanak sağlanmıştır.

Kontrol kartı üzerinde programladığımız mikrokontrolör, program akışını, bilgisayardan seri port üzerinden aldığı ve bilgisayara yine seri port üzerinden gönderdiği bilgiler ile belirlemektedir. Bu alışverişin gerçekleşmesi içinde bilgisayar tarafında "Visual Basic" yazılım dili kullanılarak bir ara yüz programı oluşturulmuş ve kullanıcıya sunulmuştur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, baskılı devre deliklerini delerken izlenecek olan yol uzunluğu delik sayısına ve yerleşimine göre değişmekle birlikte ortalama %50 oranında kısaltılmıştır. Matkap motorunun delik koordinatlarını bulmadaki hassasiyeti 25µm'dir. Eksen motorları adım kaçırmadan 19mm/sn hızla güvenle hareket edebilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kartezyen robot, bilgisayar kontrolü, baskılı devre kart delme

**COMPUTER CONTROLLED CARTESIAN ROBOT**

Semih ÖNGİR

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Galip CANSEVER

In our project, a mechanical design and mechanical assembling of a cartesian robot has been made to purpose of drilling holes of electronics printed circuit boards. To control the stepper motors, stepper motor drive circuits cards and microcontroller based control circuit card, which sends control signals to the motor drives, are designed and assembled. An interface program has been prepared on the computer for making the communication possible between user and the cartesian robot. The interface program can communicate with the control circuit by means of serial port of the computer.

Most of the industrial companies begin to tend an automation at their productions. By means of this, costs are reduced, spending time is shortened. Depending on standardization, quality level of products and works are increased. So, they increased their profit.

Decreasing the process time, is one of the expectation in this kind of projects. This is a complicated problem when the number of holes increase in the project. So, we used the three solution methods, answering to this expectation and shortening the total way of drilling motor. Indeed, these are approaching methods to solve the problem. The problem known as TSP (Travelling Salesman Problem) is very popular problem in the science world and we used three solution methods in our project by preparing software with "Visual Basic" program. The prepared program give us an opportunity to compare these three solution results and to use the best of the solution in our project.

First of all, a mechanical design of a cartesian robot is made that its axis motions obtained by three stepper motor and its motion axis are created by screw balls. Couplings are used between stepper motors and screw balls to prevent the mechanical system from unwanted mechanical forces and to reduce its effect. Roller bearings are used to prevent the mechanical system from frictions of the moving parts.

Electronics driver cards, which are required to turn our stepper motors, are designed as schematic drawings. Then their printed circuit boards are prepared, after mounting of their electronics components, they are tested on the mechanical design which is prepared before.

After that, the electronic control card circuit has been designed which send data to stepper motor drivers. "Assembler" programming language is used to program a microcontroller which is mounted on the control card. While preparing the program, open loop system of stepper motor is taken into consideration. Speed tests of the motors are made on the mechanical system to prevent the step missing in high speeds and resonance occurring in lower speeds. An adjustable speed interval limits are defined, according to these limitations.

The microcontroller that has been programmed for electronics control card, determines flows of the program with data which are taken from a computer and data which are sent to the computer by serial port. Obtaining this data communication between control card and computer, we have designed an interface program at the computer side by using "Visual Basic" programming language.

In our project, shock drilling method is tried as a first time and its results are observed for quality of the drilled holes.

**Key words:** Cartesian robot, computer control, drilling printed circuit board

#### 1.1 Literatür Özeti

Bu çalışmada, elektronik baskılı devre kartlarının delinme işlemini gerçekleştirecek, bilgisayar kontrollü kartezyen bir robotun mekanik ve elektronik donanımı ile robot kontrolü için yazılım tasarımı yapılmış ve yapılan tasarımlar uygulamaya geçirilmiştir. Çalışma gerçekleştirilmeden önce piyasada kullanılmakta olan PCB CNC Router J-CUT 3030, 1212A, 4040 modelleri ile LPKF ProtoMat H100, E33, X60 modelleri incelenmiştir. Delme işleminin en kısa zamanda gerçekleştirilmesi için “Gezgin Satıcı Problemi” çözüm yaklaşımları incelenerek, yaklaşımların üçü için bir yazılım yapılmış ve projemizde kullanılması sağlanmıştır. Benzer projelerden farklı olarak, delme işlemi sırasında delgi matkabının delme hareketi, zaman aralıklı olarak delinecek nokta üzerine uygulanmış ve delgi kalitesindeki değişimler gözlemlenmiştir.

Günümüze gelinceye kadar robotlarla ilgili olarak bir çok tanımlama yapılmıştır. Bunların içerisinde yapılan en kapsamlı tanım ve robotların sınıflandırılması ISO 8373 standartlarında belirtilmiştir. Bu standarda göre robot; “Endüstriyel otomasyon uygulamalarında kullanım amaçlı olarak, otomatik olarak kontrol edilebilen, yeniden programlanabilen, çok amaçlı kullanılabilen, kullanım amacına göre sabitlenmiş veya hareket halinde, üç veya daha fazla eksene sahip programlanabilir manipülatördür.”

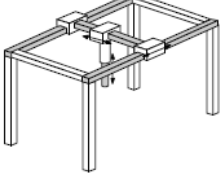
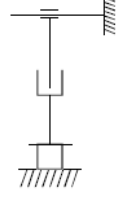
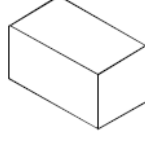
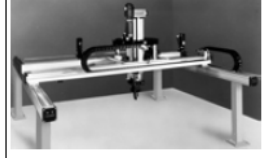
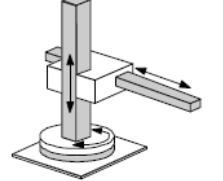
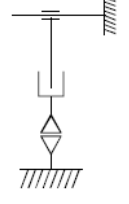


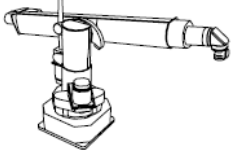
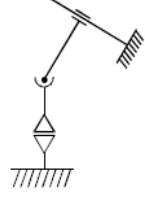


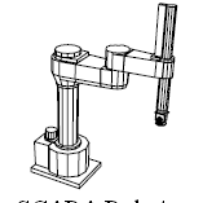
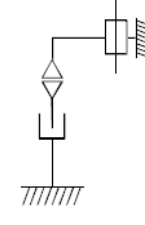
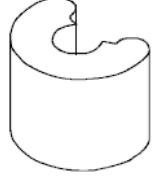

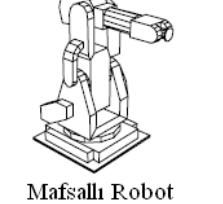
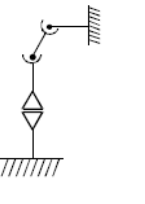


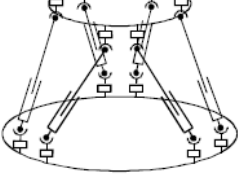
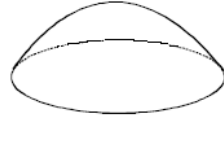

[1]

Bir robotta aranılan en temel özellikler, işlem yapma yeteneğinin olması, yaptığı işlemin sonucunu belirleme yeteneğinin olması ve işlem sonucuna veya dışarıdan gelecek bir etkiye bağlı olarak karar verme yeteneğinin olmasıdır.

Robotlar mekanik yapılarına, koordinat sistemlerine, kesinlik derecelerine, kullanılan tahrik sistemlerine, kontrol yöntemlerine, kontrol şekillerine ve bunun gibi bir çok özelliğe göre sınıflandırılabilirler. Örnek verecek olursak;

ISO 8373 standartlarında robotlar mekanik yapılarına göre, kartezyen robotlar, SCARA robotlar, mafsallı robotlar ve paralel robotlar olmak üzere dört gruba ayrılırlar. Koordinat sistemlerine göre incelersek, robotları kartezyen koordinat sistemine sahip robotlar, silindirik koordinat sistemine sahip robotlar, küresel koordinat sistemine sahip robotlar, döner koordinat sistemine sahip robotlar olarak dört gruba ayırabiliriz. Projemizde gerçekleştirdiğimiz robotumuz, mekanik yapısına göre kartezyen, koordinat sistemine göre kartezyen koordinat sistemine sahip olduğundan, kartezyen robot tipini detaylı inceleyeceğiz.

Şekil 1.1' de prensip yapıları, kinematik yapıları, çalışma alanları ve örnek fotoğraflarıyla birlikte temel robot örnekleri gösterilmektedir.

ROBOT		EKSENLER		ÖRNEK
Prensip Yapı	Kinematik Yapı	Çalışma alanı	Örnek Fotoğraf	
 <p>Kartezyen Robot</p>				
 <p>Silindirik Robot</p>				
 <p>Küresel Robot</p>				
 <p>SCARA Robot</p>				
 <p>Mafsallı Robot</p>				
 <p>Paralel Robot</p>				

Şekil 1.1 Prensip yapıları, kinematik yapıları ve çalışma alanları ile robot çeşitleri [2]

Kartezyen robotların eksenleri, bütün robot hareketlerini, kartezyen koordinat sisteminde birbirleri ile 90° açı yapacak şekilde gerçekleştirirler. Dolayısı ile çalışma

alanları kare veya dikdörtgenler prizması şeklindedir. Günlük hayatta sağa, sola, aşağı, yukarı, ileri ve geri şeklinde yaptığımız hareketlerin tümü kartezyen koordinat hareketleridir. Kartezyen robotlar X,Y, Z eksenlerinde doğrusal olarak hareket ederler. Sanayide tutma, taşıma işlerinde sıklıkla kullanılmakla birlikte uç elemanlarının özelliğine göre farklı amaçlar içinde kullanılabilirler. Diğer robotlara göre daha basit bir yapıya sahip olduklarından eksenlerin pozisyon kontrolü ve uç elemanlarının pozisyon hesaplamaları kolaydır.



Şekil 1.2 Kartezyen robot örnekleri

Yük taşıma kapasitesi, diğer tip robotlara göre daha büyüktür. Bu özelliklerinden dolayı özellikle insan gücünün taşıma kapasitesini aşan yükleme ve boşaltma işlerinde, ağır yüklerin taşınması amacı ile fabrikaların tavanlarına monte edilmiş şekilde kullanımları yaygındır. Tavana monte edilebilirlikleri, fabrika ortamlarında yerden de tasarruf edilmesini sağlamaktadır. Islak ve nemli ortamlarda çalışabilecek şekilde tasarlanabilirler. Küçük güç gerektiren uygulamalarda pnömatik ve düşük güçlü elektrik motorlu tahrik sistemleri ile büyük güç gerektiren yerlerde yüksek güçlü elektrik motorlu ve hidrolik tahrik sistemleri ile çalışan kartezyen robotlar kullanılırlar. Yatırım ve işletme maliyetleri aynı işi yapabilecek diğer robotlara göre daha düşüktür. Dayanıklılıkları ve hızları bakımından yine daha avantajlıdırlar. Dezavantajları ise çalışma alanlarının robotun yapısından küçük olması ve eğilme, bükülme gerektiren kompleks uygulamalarda kullanılamamalarıdır.

## **1.2 Tezin Amacı**

Bu çalışmada, kartezyen bir robotun mekanik tasarımı , elektronik kontrol kartlarının tasarımı ve kontrol kartları ile iletişim kurarak robotun hareketlerini kontrol edecek olan bilgisayar yazılımının gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.

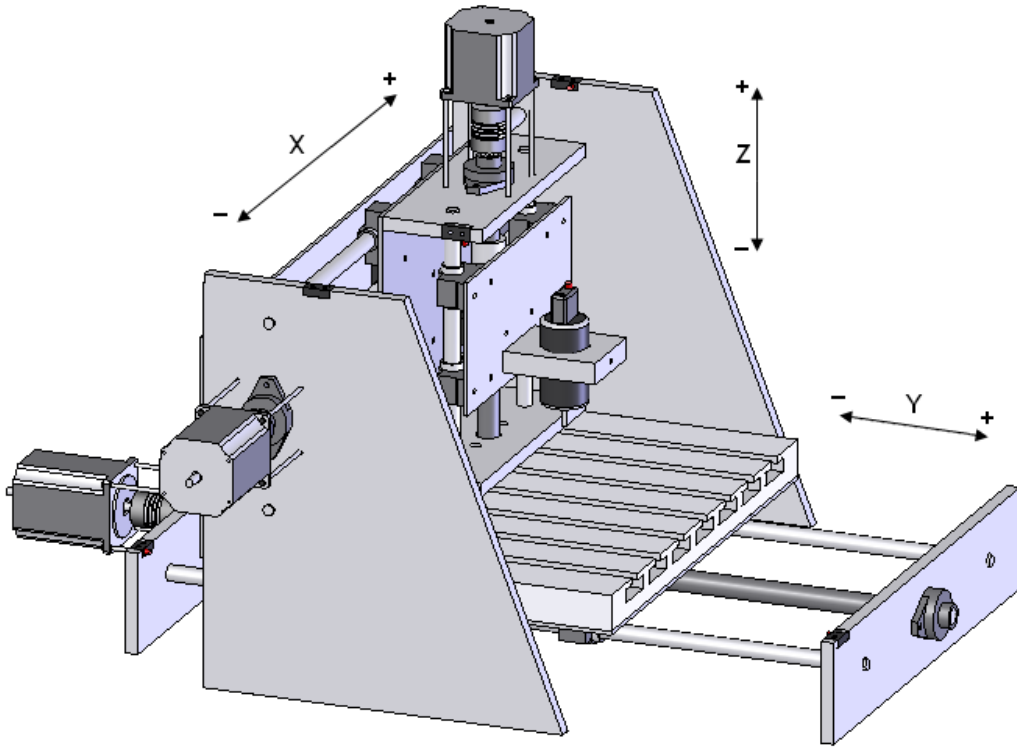
Tasarlanan robot elektronik baskı devre kartlarının delinmesi için düzenlenmiş, benzer elektronik baskı devre kartı delen robotlardan farklı olarak, delinecek noktaların en kısa sürede robot tarafından delinmesi için, gezgin satıcı problemi çözüm yöntemleri incelenmiş, hazırlanan yazılım ile delme işlemi süresinin azaltılması hedeflenmiştir.

Delme işlemi sırasında, matkap ucunun baskı devre kartı üzerinde oluşturduğu çapak miktarının azaltılması amacı ile, matkabın darbeli çalışma şekli, robotun kumanda yazılımı içerisine yerleştirilmiştir.

## **1.3 Orijinal katkı**

Gerçekleştirilen çalışmada, gezgin satıcı problemi çözüm yöntemleri, baskı devre delme amaçlı oluşturulan kartezyen robot için uygulanmış ve delme süresinde azalma sağlanmıştır. Oluşturulan yazılım, robotun kumanda yazılımından ayrı hazırlanarak, endüstride kullanılan ve bu özelliğe sahip olmayan robotlarda da uygulanabilirliği sağlanmıştır.

Matkabın delme işlemi sırasında, darbeli matkap çalışma şekli step motor kumanda devresinde simüle edilerek delinen yüzeylerdeki çapak miktarının azaldığı görülmüştür.



Şekil 2.1 Kartezyen robot genel görünümü

Şekil 2.1 de projemizde gerçekleştirdiğimiz kartezyen robotun mekanik tasarımı ana hatlarıyla gösterilmektedir. X, Y ve Z eksenlerinin, kontrol kartı için yazılan PIC programı ve bilgisayar ara yüz programında kabul edilen pozitif ve negatif yönleri şekil üzerinde gösterilmiştir. Eksenlerin tümü, tam bir turu 200 adıma karşılık gelen step motorlar ile hareket etmektedir. Çizelge 2.1' de X ve Y eksenlerinin hareketi için kullanılan step motorların tutma torku, adım açısı, faz gerilimi, faz akımı, faz direnci, faz endüktansı,

flanş boyutu, bağlantı uç sayısı, rotor momenti, kütlesi gibi özelliklerinin değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 X ve Y eksenli step motorlarının özellikleri

Tutma torku : 1,27 N.m	Faz endüktansı : 2,2 mH
Adım açısı : 1,8 <sup>0</sup>	Flanş boyutu : 56 mm <sup>2</sup>
Faz gerilimi : 2,75 V	Bağlantı şekli : 6 uçlu
Faz akımı : 3 Amp	Rotor momenti : 0.36 kg.m <sup>2</sup>
Faz direnci : 0,9 Ω	Kütle : 0,98 kg

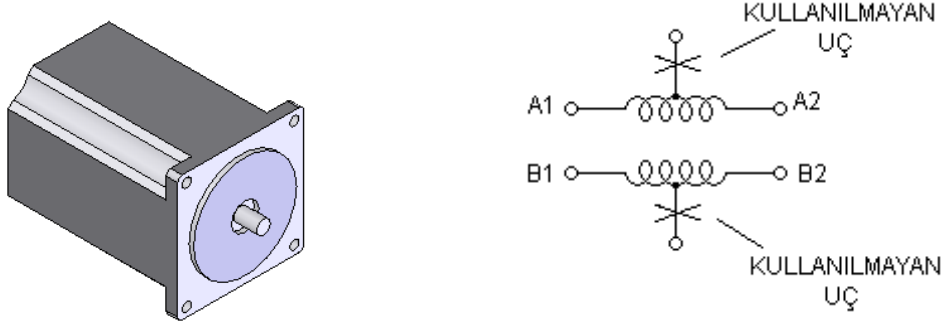
Çizelge 2.2' de Z ekseninin hareketi için kullanılan step motorun tutma torku, adım açısı, faz gerilimi, faz akımı, faz direnci, faz endüktansı, flanş boyutu, bağlantı uç sayısı, rotor momenti, kütlesi gibi özelliklerinin değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 2.2 Z eksenli step motoru özellikleri

Tutma torku : 0,83 N.m	Faz endüktansı : 3,8 mH
Adım açısı : 1,8 <sup>0</sup>	Flanş boyutu : 56 mm <sup>2</sup>
Faz gerilimi : 3,2 V	Bağlantı şekli : 6 uçlu
Faz akımı : 2 Amp	Rotor momenti : 0.21 kg.m <sup>2</sup>
Faz direnci : 1,6 Ω	Kütle : 0,65 kg

Akım sınırlarını aşmamak koşulu ile motorlara 50V ta kadar gerilim uygulanabilmektedir. Uygulanan gerilimin değeri arttıkça motorlardan elde edilen tork değeri de aynı oranda artmaktadır. Projemizde gerçekleştirilen step motor sürücü devreleri ile motorlara 35V motor besleme gerilimi uygulanmakta ve her eksen yaklaşık olarak 0,5A akım çekmektedir.

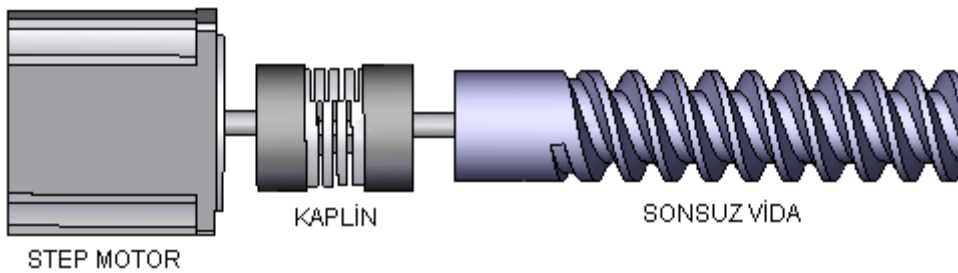
Şekil 2.2'de kullandığımız step motorların genel dış görünümü ile beraber, prensip olarak bobin sargılarının, motordan çıkan uçlarla olan bağlantısı gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Step motor genel görünümü ve sargılarının uçlarla bağlantı şekli

Projemizde kullanılan step motorlar 6 uçlu unipolar step motor olmalarına rağmen, daha fazla tork elde edilmesi açısından, sürücüleri bipolar olarak tasarlanmış ve unipolar step motorların bobin sargılarının ortasından çıkan uçlar kullanılmayarak, motorlar bipolar motor gibi sürülerek çalıştırılmıştır.

Step motorlar dönme hareketini birer kaplin aracılığı ile bağlı oldukları sonsuz vidaya aktarırlar. Hareket aktarma organı olarak kaplin kullanılmasıdaki amaç, mekanik düzenek oluşturulurken meydana gelebilecek, motor mili ile sonsuz vida arasındaki eksen kaçıklıklarının mekanik düzende kasıntıya sebebiyet vermesini engellemektir. Şekil 2.3'te projemizde kullanılan step motorların sonsuz millere hareket aktarımının kaplin aracılığı ile yapılması gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Step motor ile sonsuz vida arasındaki hareket aktarımı

Motorlardan elde edilen dönme hareketi, sonsuz mil üzerine yerleştirilen bilyeli bir arabada doğrusal harekete dönüşmüş olur.

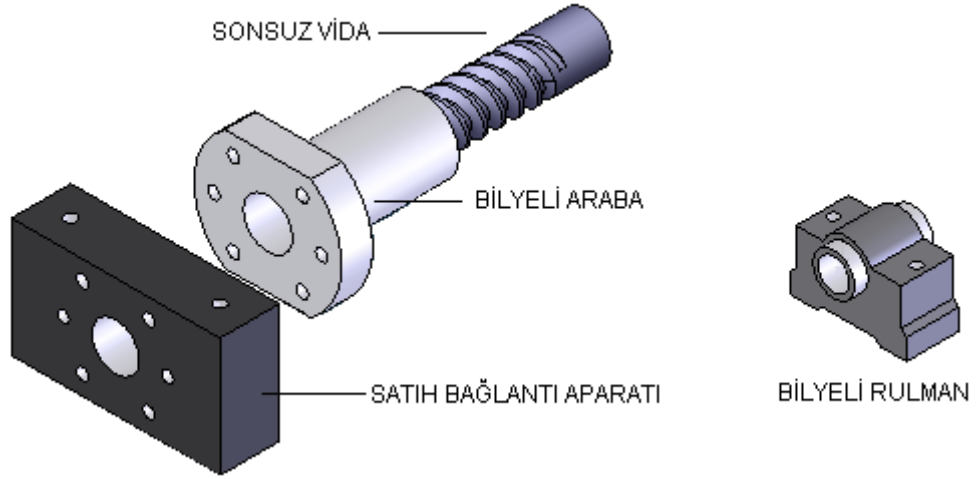
Sonsuz millerin vida adım mesafesi 5 mm' dir. Sonsuz milin tam bir turunda elde edilecek olan 5 mm' lik bu mesafe, step motorların 200 adım dönmesiyle elde

edilmektedir. Tam adım sürme yöntemi kullanılan step motorlara, yaptırabileceğimiz en küçük ilerleme değeri 1 step motor adımı olduğundan teorik hassasiyetimiz 0,25 mikrondur. Mekanik dizayndan kaynaklanabilecek sapmalar gözle görülemeyecek seviyededir.

Eksenler boyunca hareket eden tüm satırlar, delrinden yapılmış bir satır bağlantı aparatı aracılığı ile sonsuz vida üzerinde gezen bilyeli bir arabaya merkezinden bağlanmıştır. Ayrıca her bir satır, sonsuz vidaya paralel iki adet mile, her birinde iki adet olmak üzere toplamda dört adet bilyeli rulman ile bağlanarak yataklanmışlardır.

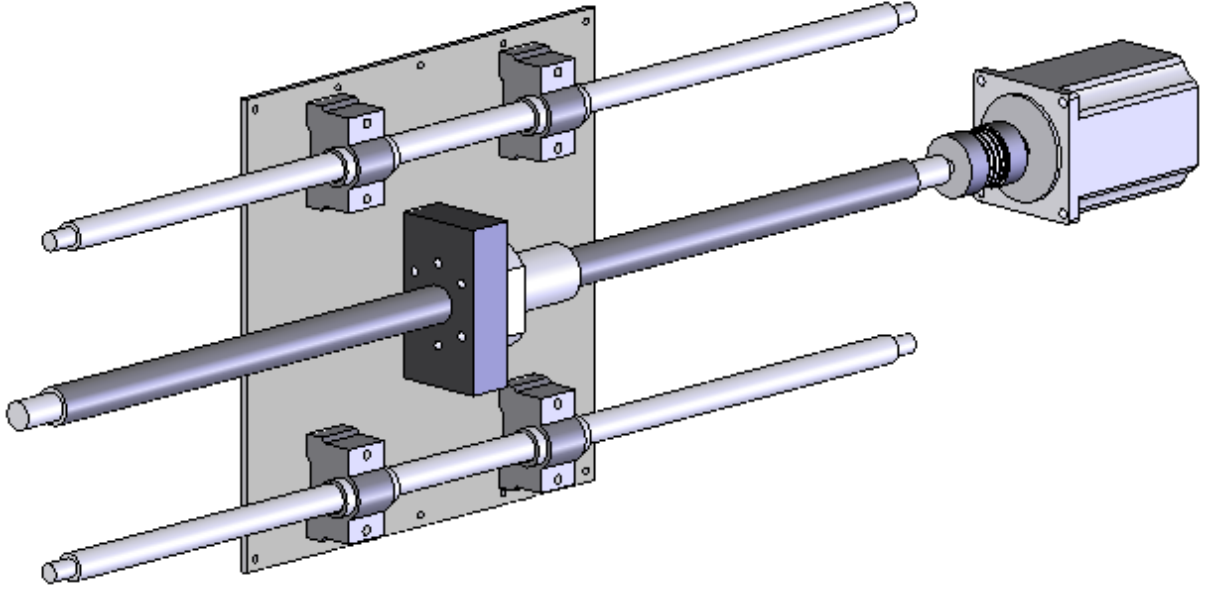
Doğrusal hareket sırasında sonsuz vida ile taşıyıcı araba ve miller ile bilyeli rulmanlar arasındaki sürtünmenin azaltılması için, robotun kullanım sıklığına bağlı olarak, periyodik olarak gres yağlaması yapılması gerekmektedir.

Şekil 2.4'te eksenlerin doğrusal hareketinde kullanılan yardımcı malzemelerin prensip çizimleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Eksenlerin doğrusal hareketi için kullanılan yardımcı malzemeler

Şekil 2.5'te eksenlerin doğrusal hareketi için kullanılan yardımcı malzemelerin, hareket ettirilecek olan parçalara bağlantı şekli gösterilmektedir. Üç eksen içinde bağlantı şekli prensip olarak birbirinin aynıdır. Örnek olarak yalnızca X ekseninin çizimi verilmiştir.



Şekil 2.5 Doğrusal hareket için kullanılan yardımcı malzemelerin bağlantı şekli

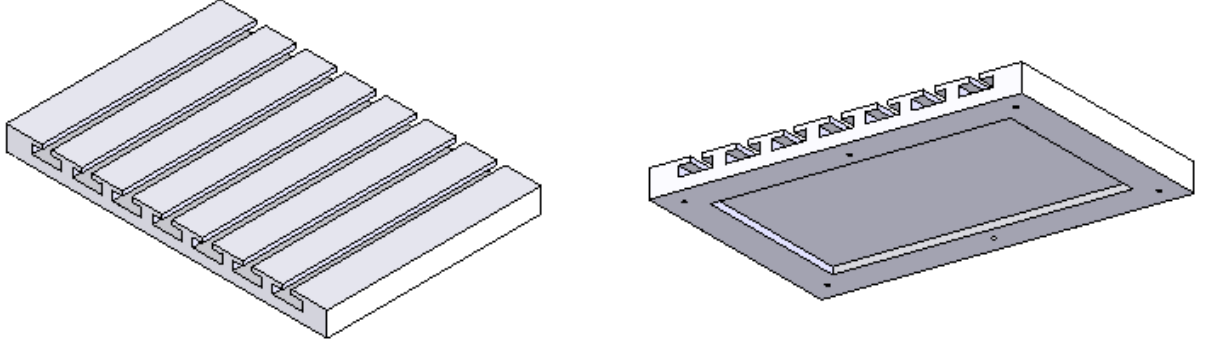
Çizelge 2.3'te Deliklerin delme işlemini gerçekleştirecek olan matkap motorunun yüksüz hız değeri, çalışma gerilimi,giriş güç değeri ve ağırlık bilgileri verilmektedir. Matkap motorunun hız değeri verilen aralıklarda ayarlanabilir.

Çizelge 2.3 Matkap motoru özellikleri

Çalışma gerilimi : 230 VAC
Giriş gücü : 90 W
Yüksüz hız değeri : 8000 – 27000 d/d
Ağırlık : 400 gr

Makine üzerinde sonsuz vida ve yataklamada kullanılan miller, paslanmaz çelik malzemedir, Y eksenini boyunca hareket eden ve delinecek olan elektronik baskı devre plakasına zemin oluşturacak alt tabla ile matkap motorunun tutturulduğu kare parça polietilenden, makinenin geriye kalan levha şeklindeki parçaları ise alüminyumdan yapılmıştır.

Şekil 2.6'da Y eksenini olarak hareket edecek olan ve üzerine delinecek kartın konulacağı tablanın taslak çizimi gösterilmektedir.

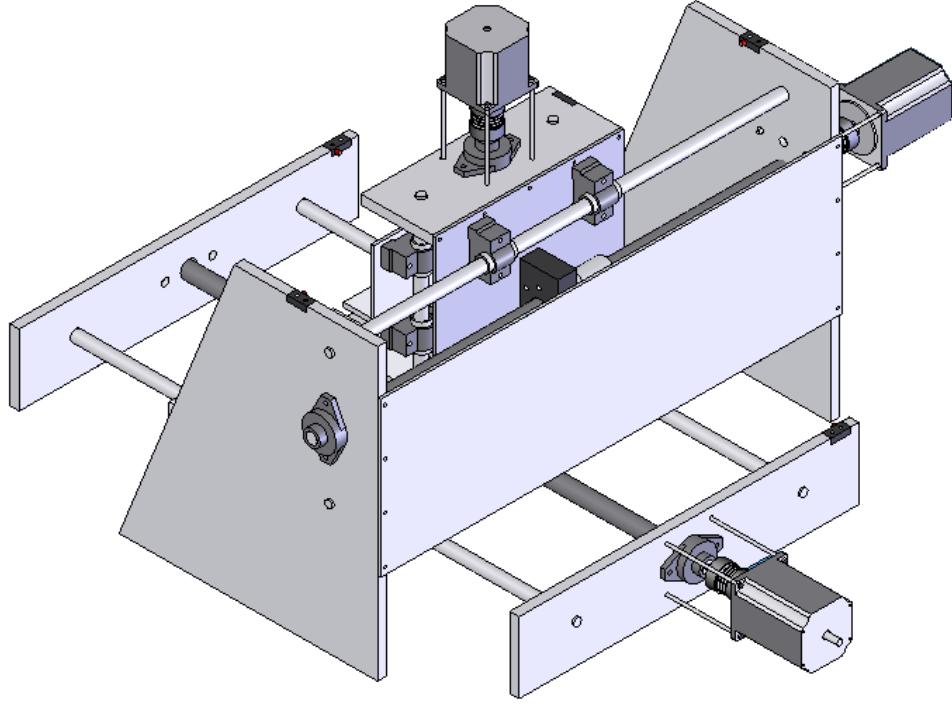


Şekil 2.6 Y eksenli polietilen alt tabla taslak çizimi

Tabla üzerinde açılan tesr “T” şeklindeki kanallar, elektronik baskı devre plakasını tabla üzerine sabitlemekte kullanılacak olan civata ve somun çiftleri için kullanılmaktadır. Delinecek olan kart, tabla üzerine yerleştirildikten sonra kanallara civatalar başları ters çevrilerek geçirilirler ve elektronik kart, tabla ile civatanın diğer tarafından takılan somunlar ile sabitlenirler.

Sonsuz vidaların her iki ucunda, mekanik dizayndan kaynaklanabilecek kasıntıları alacak oynar başlıklı rulman kullanılmıştır. Sonsuz vidaya paralel olarak kullanılan miller ise her iki uçlarından bağlandıkları plakalara sıkı geçme olacak şekilde hazırlanmış ve plakanın diğer tarafından segman ile tutturulmuşlardır.

Şekil 2.7’de rulman ve yataklamaların daha belirgin olarak görülebilmesi için, robotumuz için “Solid Work” programı ile yapılan çiziminin izometrik görünümü verilmiştir. Mekanik tasarımda kullanılmış tüm parçaların tek tek ölçülendirilmiş solid work çizimleri CD’de kaydedilmiş şekilde ek olarak verilmiştir.

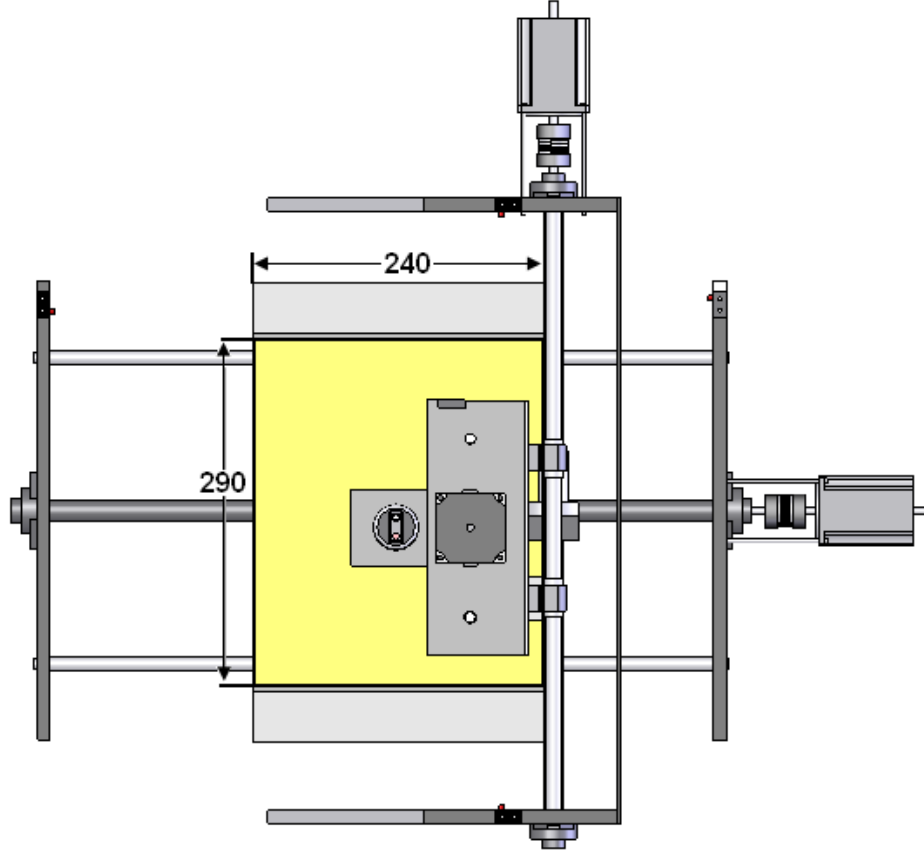


Şekil 2.7 Kartezyen robot izometrik görünüm

Mekanik yapının sağlamlığı için X ekseninin millerinin bağlı bulunduğu alüminyum yan plakalar, ayrıca bir 2mm kalınlığında bir plaka ile birbirine tutturulmuştur. Aynı işlem 3mm kalınlığında bir plaka ile Z eksenini için yapılmıştır. Y ekseninin millerinin bağlı bulunduğu yan alüminyum plakalar ise Kartezyen robotumuza zemin teşkil eden MDF den yapılmış zemine tutturulmuştur.

Matkabın altına delinmesi için konulacak olan elektronik baskılı devre plakasının boyutları projemizde en fazla 290mm x 240mm olabilmektedir. Pratikte bu değerlerin üzerinde plakalar çok nadir bulunmaktadır. Dolayısı ile yapılan tasarım ihtiyaçların büyük bir çoğunluğunu karşılayacak niteliktedir.

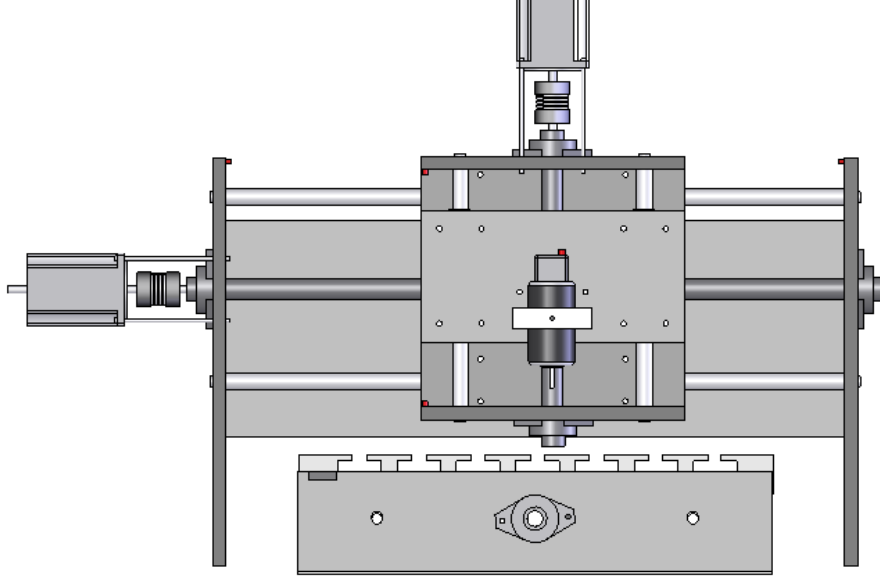
Şekil 2.8'de verilen, makinenin üstten görünüşü ile birlikte, delinebilecek plaka alan genişliği de gösterilmektedir.



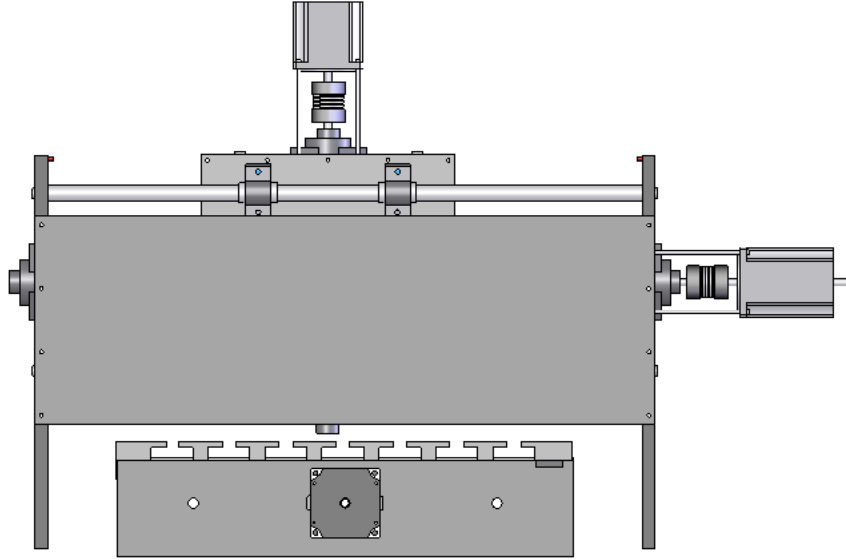
Şekil 2.8 Makine çalışma bölgesi üst görünüm

Daha büyük ebatlardaki kartların delinmesi istendiğinde konstrüksiyonun izin verdiği ölçüler dahilinde X ve Y ekseninde kullanılan sonsuz millerin ve yataklama millerinin boylarının uzatılması yeterlidir. Diğer mekanik parçalar aynı şekilde kullanılabilir. Her üç ekseninde de sonsuz millere kaplinler aracılığı ile bağlanan step motorlar, dört köşesinden 70 mm uzunluğundaki metrik 3 civatalar ile gövdeye sabitlenmişlerdir. Civatalar motor tarafında ve gövde tarafında somunlar ile desteklenmişlerdir.

Şekil 2.9 ve şekil 2.10 da robotumuzun sırası ile ön ve arka plandan görüşleri verilmiştir.



Şekil 2.9 Kartezyen robot ön görünüm

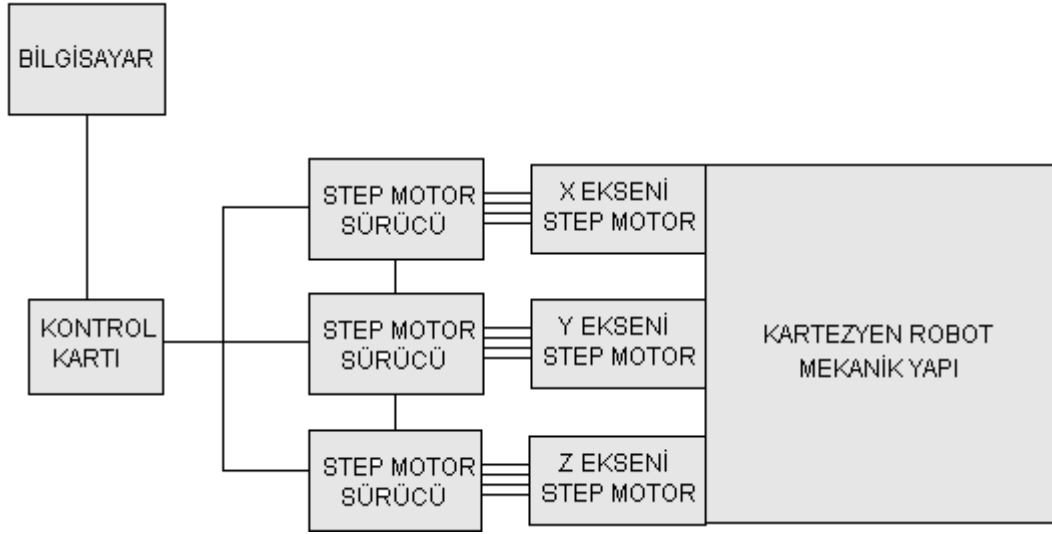


Şekil 2.10 Kartezyen robot arka görünüm

Makine üzerindeki motorların ve eksenlerin her iki tarafında bulunan limit anahtarlarının elektrik kablolarının sabitlenebilmesi için, makinenin arka tarafında kalan ve X eksen millerinin yan duvarlarını birbirine bağlayan 170mm x 490mm x 2mm

boyutlarında alüminyum levha kullanılmıştır. Elektrik kablolarının bir arada tutulması için PE kablo bağı, plaka üzerine tutturulması için yapışkanlı PE kroşe kullanılmıştır.

X ekseninin hareketi 290mm ile sınırlı olduğu için kablo taşıyıcı palet kullanma ihtiyacı duyulmamıştır. Şekil 2.11’de kartezyen robotumuzun, elektronik kartlar ve bilgisayar ile olan bağlantısının prensip şeması gösterilmektedir.

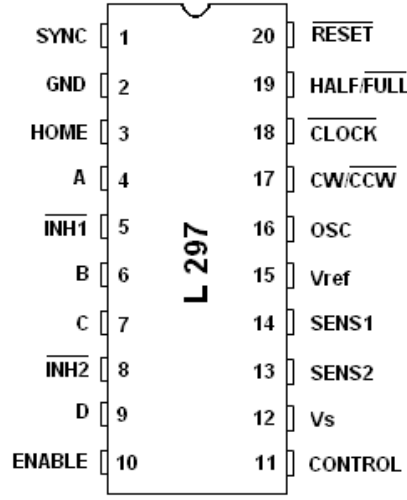


Şekil 2.11 Bilgisayar kontrollü kartezyen robot prensip bağlantı şeması

Bilgisayar ile kontrol kartı arasında standart RS-232 seri haberleşme kablosu kullanılmıştır. Kontrol kartı ile step motor sürücü kartları arasında, her iki ucunda soketler ile kolay takılıp çıkartılabilen yassı çoklu kablolar kullanılmıştır. Step motor sürücü kartlarından, motorlara giden kabloların bağlantısı da aynı şekilde soketli yapıdadır. Bu sayede arıza durumlarında kartların değişimi ve arıza tespiti kolaylaştırılmıştır.



Şekil 3.2’de L297 entegresinin uçlarının dağılımı gösterilmektedir. Her bir tasarladığımız step motor sürücü devresindeki görevi sırasıyla açıklanmaktadır.



Şekil 3.2 L297 entegresinin uçlarının dağılımı

SYNC : Kırpma sinyalinin osilatör devresinin çıkışıdır. Eğer birden fazla L297 entegresi bir arada kullanılacak ise, tüm entegrelerin 1 numaralı uçları birbirlerine bağlanır ve yalnızca 1 entegreden üretilen kırpma sinyali tüm entegreler için eş zamanlı olarak kullanılmış olur. Yaptığımız çalışmada tasarlanan sürücüden üç adet kullanıldığından üç sürücüdeki L297 entegresinin 1 numaralı uçları birbirleri ile bağlanmıştır.

GND : Toprak ucudur. Devreyi besleyen güç kaynağının (-) ucuna bağlanmıştır.

HOME : L297 entegresinin ABCD çıkışları için başlangıç konumunda olduğunu, yani lojik olarak 0101 olduğunu gösteren açık kolektör çıkış ucudur. Sinyal aktif olduğunda, bu uca entegre içerisinde bağlı olan transistör açık durumdadır. İhtiyaç olmadığından devre tasarımıımızda kullanılmamıştır.

A : Güç bölümü için motor fazı A çıkış ucudur.

INH1 : Sürücünün A ve B faz durumlarının kontrolü için kullanılır, sıfır aktiftir. Bipolar sürücü için köprü devresi kullanıldığında motor sargıları enerjisini kaybettiğinde yük akımının hızlıca sıfıra çekilmesi için kullanılır. Kontrol giriş ucu sıfır iken ve kırpma devrede iken yük akımının regülasyonu için kullanılır.

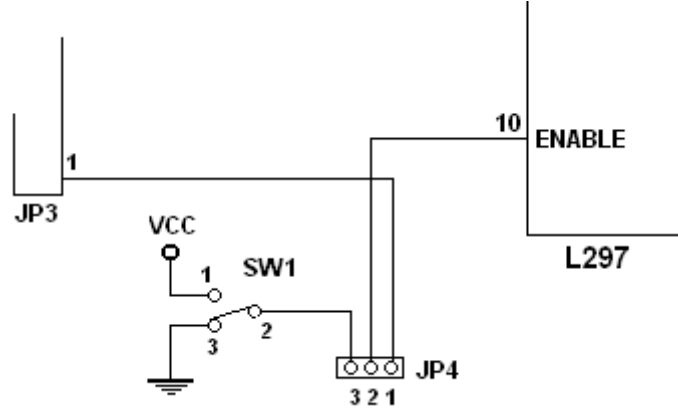
B : Güç bölümü için motor fazı B çıkış ucudur.

C : Güç bölümü için motor fazı C çıkış ucudur.

INH2 : Sürücünün C ve D faz durumlarının kontrolü için kullanılır. INH1 ile aynı özelliklere sahiptir.

D: Güç bölümü için motor fazı D çıkış ucudur.

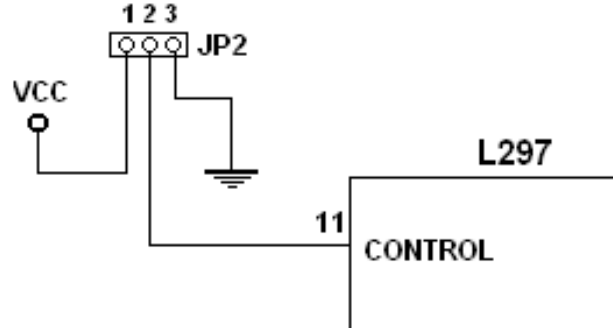
ENABLE : Yol verme giriş ucudur. Değeri "0" olduğunda A,B,C,D,INH1 ve INH2 çıkışları "0" olur. Sürülecek olan motorun tüm bobin uçlarının enerjisi kesilmiş olur.



Şekil 3.3 L297 entegresi enable bağlantısı

Şekil 3.3'te L297 entegresinin çıkışlarının aktif veya pasif hale gelmesini belirleyen 10 numaralı ucunun tasarladığımız sürücü devresindeki bağlantı şekli gösterilmiştir. JP4 konnektörüne bağlanmıştır. JP4 konnektörünün 1 ve 2 numaralı uçları kısa devre edildiğinde yol verme bilgisi JP3 konnektörünün 1 numaralı ucundan gelir. Bu uca da, kontrol kartında bulunan PIC in ilgili eksenin yol verme çıkışı bağlıdır. JP4 konnektörünün 2 ve 3 numaralı uçları kısa devre edildiğinde yol verme bilgisi SW1 bas-çek butonundan gelir. SW1 butonunun 1 ve 2 numaralı uçları kısa devre konumunda iken +5V olan VCC gerilimi L297 entegresinin 10 numaralı ucuna gelmiş olur ve sürücü çıkışları aktif konuma getirilmiş olur. Eğer 2 ve 3 numaralı uçlar kısa devre konumunda ise yol verme girişine lojik 0V geldiğinden sürücü çıkışları pasif duruma geçmiş olur. SW1 in ve JP4 ün kullanılma amacı sürücü kartını, kontrol kartından bağımsız olarak test edebilmektir.

CONTROL : Kırpma devresinin durumunu belirleyen giriş ucudur. Lojik olarak "0" olduğunda kırpma işlemi INH1 ve INH2 çıkışlarına, lojik olarak "1" olduğunda kırpma işlemi A,B,C,D çıkışlarına uygulanır.



Şekil 3.4 L297 entegresi kontrol girişi bağlantısı

Tasarladığımız devrede bu seçimi JP2 konnektörü ile sağlarız. Şekil 3.4'te kontrol ucunun tasarladığımız devredeki bağlantı şekli gösterilmektedir. JP2 konnektörünün 1 ve 2 numaralı uçları kısa devre konumunda ise kontrol girişindeki seviye +5V değerindeki VCC gerilimi ile lojik "1" , 2 ve 3 numaralı uçları kısa devre konumunda ise şase bağlantısı aracılığı ile lojik "0" olmuş olur.

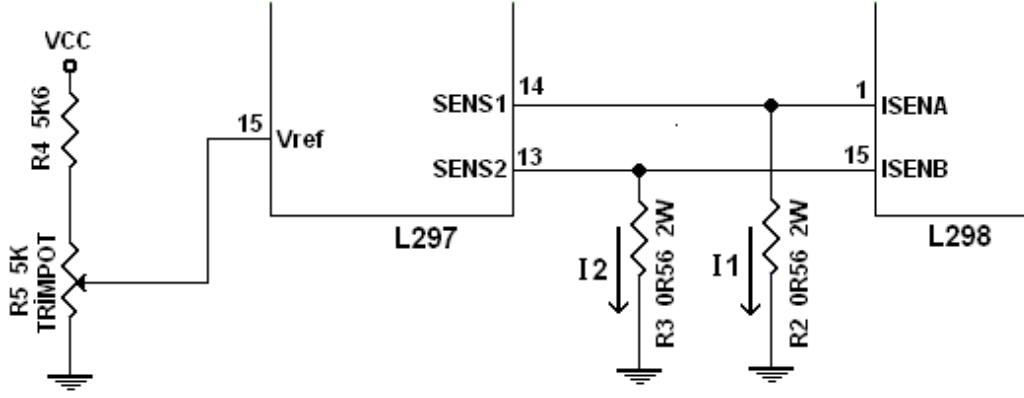
Vs : +5V besleme ucu

SENS2 : Güç devresinin C ve D fazlarındaki aşırı akımı tespit eden voltaj giriş ucu.

SENS1 : Güç devresinin A ve B fazlarındaki aşırı akımı tespit eden voltaj giriş ucu.

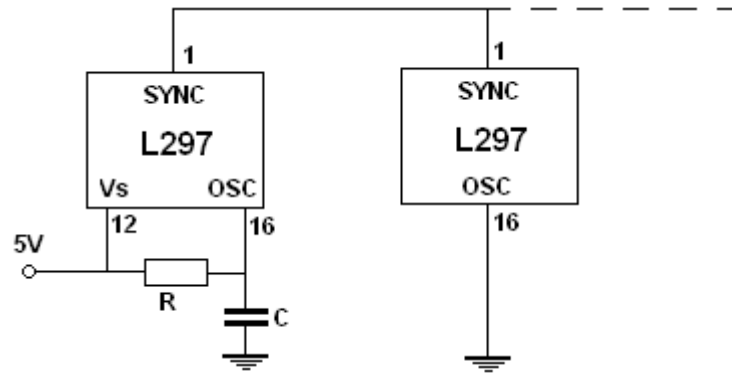
Vref : Kırpma işlemi için referans voltajın uygulandığı giriş ucudur. Uygulanan referans voltaj ile hangi akım değerinden sonra kırpma işleminin başlayacağı belirlenmiş olur. Devre tasarımıımızda L297 entegresinin 15 nolu ucu ~~5V~~ değerindeki aya rlanabilir R5 direncinin orta ucuna bağlanmıştır. VCC gerilimimiz +5V tur ve R5 üzerinde yaklaşık 2,36V değerinde bir gerilim düşümü olmaktadır. Bu da Vref referans gerilimimizi 0V ile 2,36V arasında ayarlayabilmemizi sağlamaktadır. Bu sayede hangi frekansın altında kırpma işleminin başlayacağını belirleme şansımız olur. Step motorların sürülmesi için uygulanan adım frekansına göre, SENS1 ve SENS2 uçlarına bağlı R2 ve R3 dirençleri üzerinden akan akım değişmektedir. Frekans ne kadar düşük ise bu dirençler üzerinden akan akım o kadar fazla olur. R2 ve R3 dirençleri üzerinden akan akımlar bu dirençler üzerinde bir gerilim düşümü oluştururlar. Eğer oluşturulan bu gerilim referans değerini

geçer ise kırpma işlemi devreye girer. Bu da step motor sargılarının fazla akım çekmesini engeller. R2 ve R3 dirençlerinin üzerinden akacak olan akımın ısınmaya yol açıp dirençleri yakmaması için R2 ve R3 2W gücünde kullanılmıştır. Şekil 3.5'te Vref ve Sens uçlarının tasarlanan devre içindeki bağlantı şekli gösterilmektedir.



Şekil 3.5 L297 entegresi Vref ve Sens bağlantıları

OSC : Kırpma frekansının belirlendiği RC devresinin bağlandığı osilatör giriş ucudur. Birbirine seri olarak bağlanmış bir direnç ve kondansatörün bağlandıkları uç OSC ucuna , direncin diğer ucu VCC voltaj hattına, kondansatörün diğer ucu ise toprak hattına (şaseye) bağlanır. Birden fazla L297 kullanılarak eş zamanlı çalıştırılıyor ise yalnızca L297 entegrelerinin bir tanesinin OSC ucuna RC devresi bağlanır. Diğer L297 entegrelerinin OSC uçları toprak hattına bağlanır. OSC ucu toprak hattına bağlanan L297 entegreleri, kırpma işlemi için gerekli olan osilasyonu RC devresi olan entegrenin SYNC ucu ile kendi SYNC ucu arasında olan bağlantıdan alırlar. Şekil 3.6'da tasarımı yaptığımız devrede OSC uçlarının ve SYNC uçlarının bağlantı şekli gösterilmektedir.

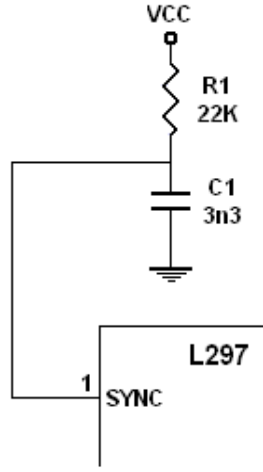


Şekil 3.6 L297 entegreleri arası senkronizasyon bağlantıları

Yaptığımız çalışmada X,Y,Z eksenlerini süren üç adet step motor sürücü devresinin arasında bu bağlantı şekli kullanılmıştır. RC devresi yalnızca X ekseninin sürücü devresinde mevcuttur. Eşitlik 3.1 ile kırpma devresi için osilasyon frekansı hesaplanabilir.

$$f \cong 1 / 0.69 R.C \quad (3.1)$$

3.7’de sürücü devrelerinde kullanılan RC elemanlarının tasarladığımız devredeki bağlantısı gösterilmektedir. R1 direnci 22K ve C1 kondansatörü 3,3nF olarak seçilmiştir. Bu değerleri eşitlik 3.1’de yerine koyduğumuzda, kırpma frekansımızın yaklaşık olarak 20KHz olduğunu görürüz.



Şekil 3.7 L297 entegresi senkronizasyon giriş bağlantısı

CW/CCW : Yön belirleme girişidir. Ayrıca sürücüye bağlanacak step motorun dönüş yönü, motor sargılarına olan bağlantılara göre de değişmektedir. Tasarımımızda motor sargısı bağlantı uçları bu giriş lojik “0” olduğunda motorun saat yönünde, lojik “1” olduğunda saatin tersi yönünde dönecek şekilde ayarlanmıştır. L297 entegresi içinde adım sinyalleri ile yön belirleme girişinin eş zamanlı olarak çalışması sağlandığından, herhangi bir anda motorun yön değiştirme sinyali entegreye gönderilebilir.

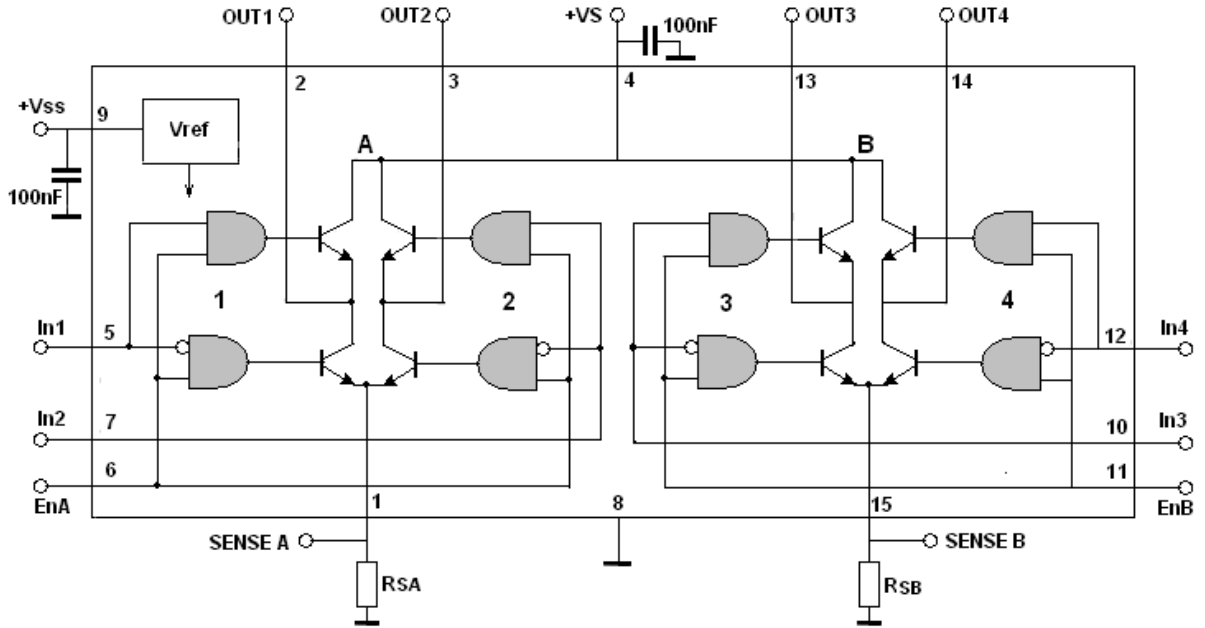
CLOCK : Adım bilgisi girişidir. Lojik “0” aktiftir. Sinyal her lojik “1” seviyesinden, lojik “0” seviyesine çekildiğinde motor 1 adım ilerler.

HALF/FULL : Motorun yarım adım mı yoksa tam adım mı olarak sürüleceğini belirleyen giriştir. Lojik "1" seviyesinde motor yarım adım, lojik "0" seviyesinde ise tam adım olarak sürülür.

RESET : Lojik "1" seviyesinden lojik "0" seviyesine çekildiğinde çıkış konumlarını ABCD = 0101 konumuna getirir. Tasarladığımız devrede böyle bir işleme gerek duyulmadığından bu uç +5V değerindeki VCC gerilimine bağlanarak sürekli lojik "1" seviyesinde kalması sağlanmıştır.

### 3.2 L298 Entegresi Kullanım Şekli

Şekil 3.8'de sürücü devrelerinde kullandığımız L298 entegresinin iç yapısı gösterilmektedir.



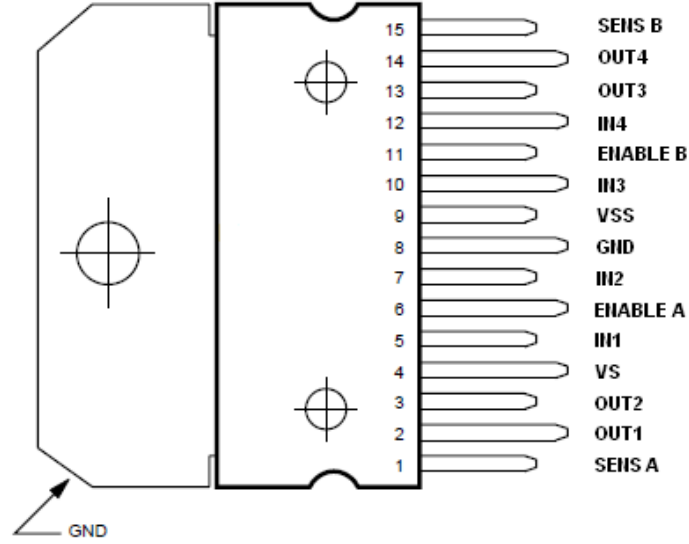
Şekil 3.8 L298 entegresinin iç yapısı

SENS A : Bu uç ile toprak arasına yük akımını kontrol etmek için direnç bağlanmaktadır. Bağlanan direnç üzerinden geçen akımın oluşturduğu gerilim, referans bir gerilim ile karşılaştırılarak tasarladığımız sürücü devresinde kırpma işleminin devreye ne zaman gireceğini belirlemek amacı ile kullanılmıştır.

OUT1 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 1. çıkış ucudur.

OUT2 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 2.çıkış ucudur. Akım 1. ve 2. çıkış ucu arasına bağlanan yük üzerinden akar ve akan akımın kontrolü 1 numaralı pin ile yapılır.

Şekil 3.9'da sürücü devrelerinde kullandığımız L298 entegresinin uçlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 3.9 L298 entegresi uçlarının dağılımı

VS : Sürücü devremizin çıkışlarına bağlanacak olan step motorlarımızın sargılarına uygulayacağımız besleme gerilimidir. Bu gerilim makinemizin her üç eksenindeki step motor için yaklaşık olarak DC 35V tur.

IN1 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 1.giriş ucudur.

ENABLE A : A köprüsünü aktif etme girişidir.

IN2 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 2.giriş ucudur.

GND : Toprak ucudur, devremizde tüm besleme gerilimlerinin (-) uçlarının ortak bağlandığı şaseye bağlanır.

VSS : L298 entegresinin +5V' luk besleme gerilimidir.

IN3 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 3.giriş ucudur.

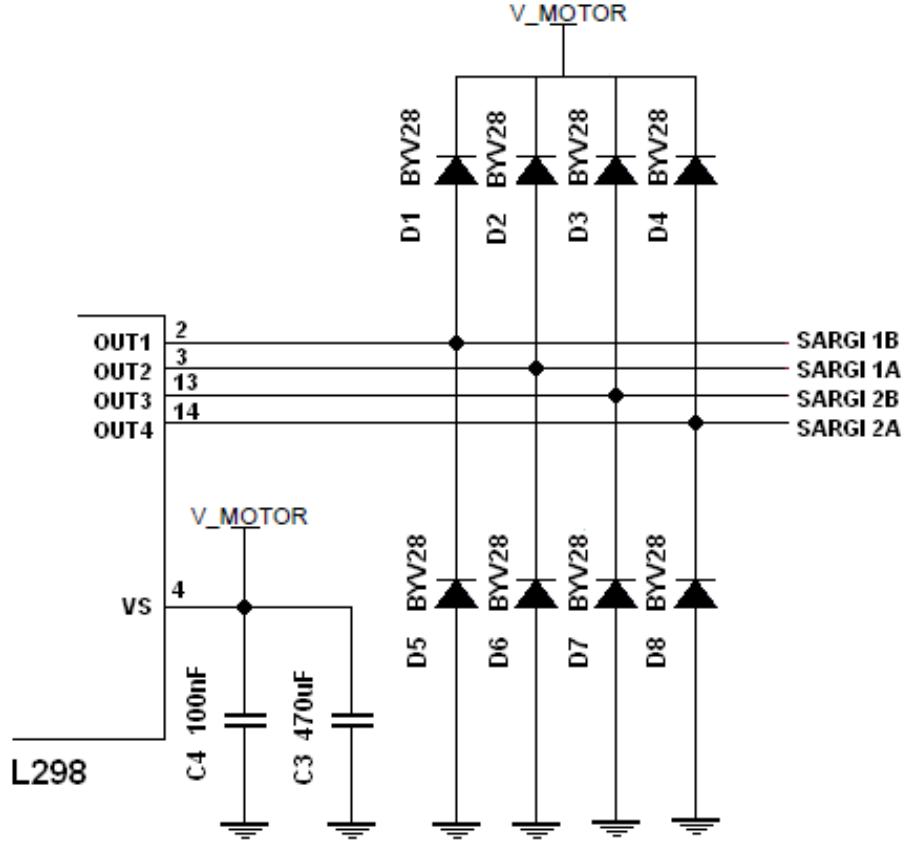
ENABLE B : B köprüsünü aktif etme girişidir.

IN4 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen A köprüsünün 4.giriş ucudur.

OUT3 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen B köprüsünün 1.çıkış ucudur.

OUT4 : L298 entegresinin iç yapısında gösterilen B köprüsünün 2.çıkış ucudur.

SENS B : SENS A ile aynı özelliklere sahiptir.

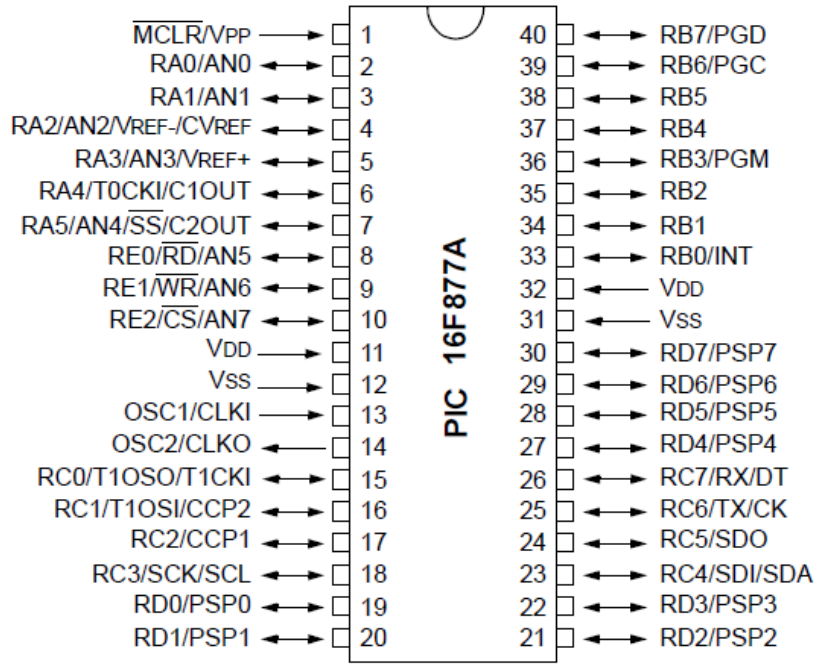


Şekil 3.10 L298 entegresi çıkış bağlantıları

Şekil 3.10'da L298 entegresinin çıkışlarına, step motor sargılarının bağlanma şekli gösterilmiştir. Entegrenin 4 numaralı ucuna bağlanan VS gerilimi 100nF ve 470µF'lık kondansatörler ile şaseye bağlanarak C4 ile istenmeyen parazitler elemine edilmiş, C3 ile de gerilimin dalga şeklinin bozulmaması yönünde katkı sağlanmıştır. Çıkışlara bağlanmış olan D1 ile başlayıp D8 e kadar devam eden diyotlar, motor sargılarını koruma amaçlı konulmuş diyotlardır.

### KONTROL KARTI DEVRESİ

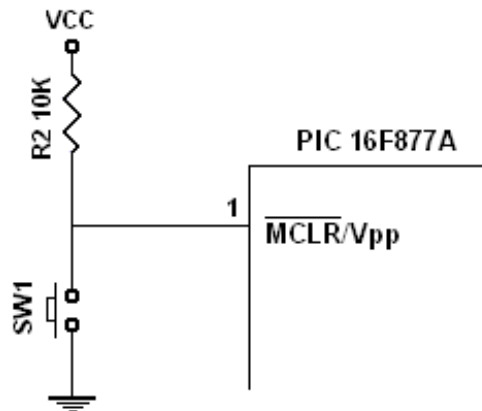
Step motor sürücü devrelerine yön bilgisi, adım bilgisi, sürücünün aktif olup olmayacağı bilgisi ve sürme şekli bilgisi kontrol kartı tarafından bildirilir. Kontrol kartının en önemli elektronik devre elemanı PIC 16F877A mikrokontrolörüdür. PIC , bilgisayar ara yüz programı ile olan bilgi alışverişini, bilgisayarın RS 232 seri portu üzerinden gerçekleştirir. Bu bilgi alışverişini yolu üzerinde, bilgisayar ile mikrokontrolörün kullandıkları voltaj seviyesini birbirlerine uygun hale getiren MAX232 entegresi kullanılmıştır. Kontrol kartında kullanılan entegrelerin besleme voltajı +5V değerindedir ve bu değer elde edilmesi için L7805 regülatör entegresi kullanılmıştır. Eksenlerin her iki yönde de, mekanik düzeneğin el verdiği limitler dışında hareket etmesi durumunda mekanik aksamın zarar görmemesi açısından eksen sonlarına limit anahtarları konulmuştur. Normalde açık kontak olan bu anahtarların her biri PIC için harici kesme oluşturacaktır ve PIC üzerinde fiziksel olarak bir tek harici kesme girişi bulunduğundan, toplamda altı adet olan bu anahtarların her biri, dört girişli iki adet "VE" kapısından oluşan 7421 entegresine giriş olarak bağlanmıştır. Entegrenin çıkışı ise, optik yalıtıcı entegresi olan 4N25 entegresi ile PIC' in harici kesme girişine bağlanmıştır. Şekil 4.1'de kontrol kartı devresinde kullanılan PIC 16F877A mikrokontrolör entegresinin uçlarının dağılımı gösterilmektedir.



Şekil 4.1 PIC 16F877A entegresi uçlarının dağılımı

Kullanılan 16F877A mikrokontrolörünün 33 adet ucu, kullanım amacına bağlı olarak program içerisinde giriş veya çıkış olarak yapılandırılabilir. Tasarlanan kontrol kartında uçların işlevleri sırasıyla aşağıda yazıldığı şekildedir.

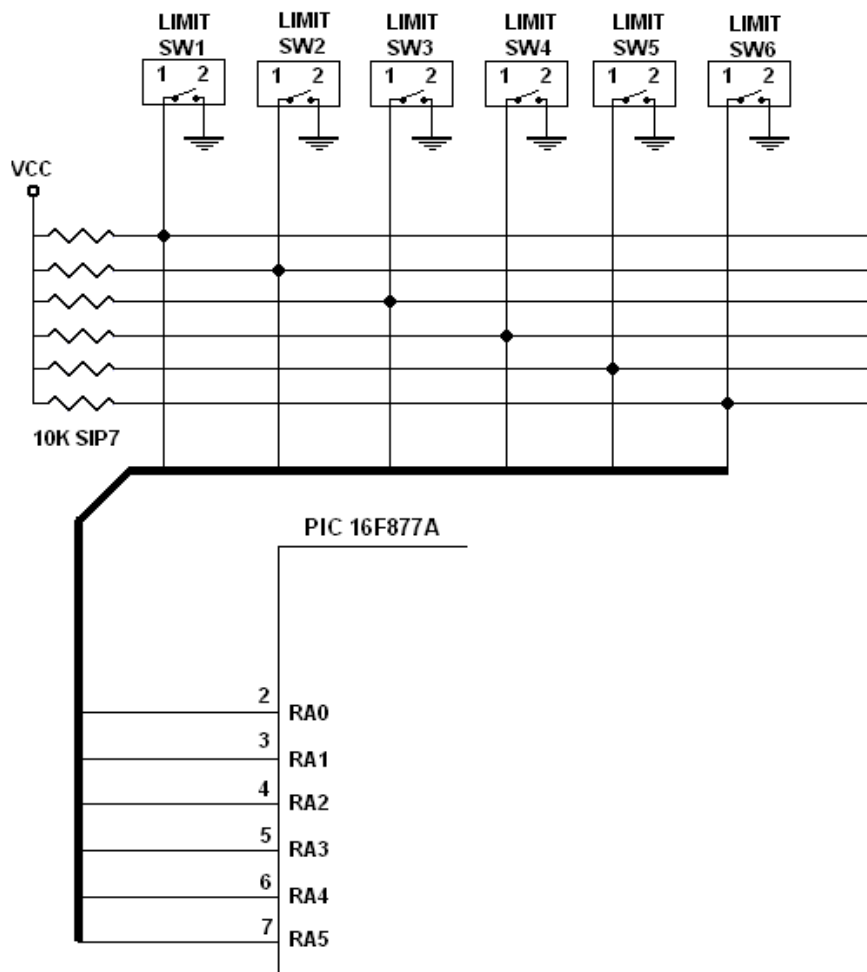
MCLR/Vpp : PIC'in resetlenmesi amacı ile kullanılır.  $10k\Omega$  bir direnç ile +5V değerindeki Vcc gerilimine bağlanmıştır. Resetlenmenin gerçekleşmesi, PIC'in 1 numaralı ucu ile şase arasına bağlanan ve normalde açık kontak konumunda bekleyen SW1 anahtarına basılması ile gerçekleşir.



Şekil 4.2 PIC 16F877A entegresi reset bağlantısı

SW1 anahtarına basıldığında 1 numaralı giriş lojik olarak "0" olur ve PIC resetlenerek program baştan başlatılmış olur. PIC içerisindeki tüm kaydediciler temizlenir.

RA0 : Normalde açık kontak olan LIMIT SW1 anahtarının bir ucuna  $\approx 10K$  'luk bir direnç ile +5V değerindeki Vcc gerilimine bağlanmıştır. PIC programında lojik "0" aktif olarak çalışan bir giriş olarak yapılandırılmıştır. LIMIT SW1 anahtarının diğer ucu şaseye bağlıdır. Matkabın, X ekseninin pozitif yönünde, fiziksel olarak öngörülenden daha fazla bir hareket gerçekleşirse LIMIT SW1 anahtarına basılmış olur ve girişimiz aktif hale gelir. PC tarafında kullandığımız ara yüzde "X EKSENİ POZİTİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" şeklinde bir uyarı yazısı çıkar ve sistemin mekanik olarak zorlanmış pozisyonda kalmaması için, hareketin tersi yönünde X eksenini hareket ettiren step motor 200 adım (doğrusal olarak 5mm) hareket eder ve matkabın işleyişi durdurulur.



Şekil 4.3 PIC 16F877A entegresi limit anahtar bağlantıları

RA1 : Yapılandırılması PIC in 2 numaralı ucu ile aynı şekildedir. Limit anahtarı olarak LIMIT SW2 ye bağlanmıştır. Lojik olarak "0" değerini aldığıında aynı işlemleri yapar. Uyarı yazısı olarak PC ekranında "X EKSENİ NEGATİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" görülür.

RA2 : Yapılandırılması PIC in 2 numaralı ucu ile aynı şekildedir. Limit anahtarı olarak LIMIT SW3 e bağlanmıştır. Lojik olarak "0" değerini aldığıında aynı işlemleri yapar. Uyarı yazısı olarak PC ekranında "Y EKSENİ POZİTİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" görülür.

RA3 : Yapılandırılması PIC in 2 numaralı ucu ile aynı şekildedir. Limit anahtarı olarak LIMIT SW4 e bağlanmıştır. Lojik olarak "0" değerini aldığıında aynı işlemleri yapar. Uyarı yazısı olarak PC ekranında "Y EKSENİ NEGATİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" görülür.

RA4 : Yapılandırılması PIC in 2 numaralı ucu ile aynı şekildedir. Limit anahtarı olarak LIMIT SW5 e bağlanmıştır. Lojik olarak "0" değerini aldığıında aynı işlemleri yapar. Uyarı yazısı olarak PC ekranında "Z EKSENİ POZİTİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" görülür.

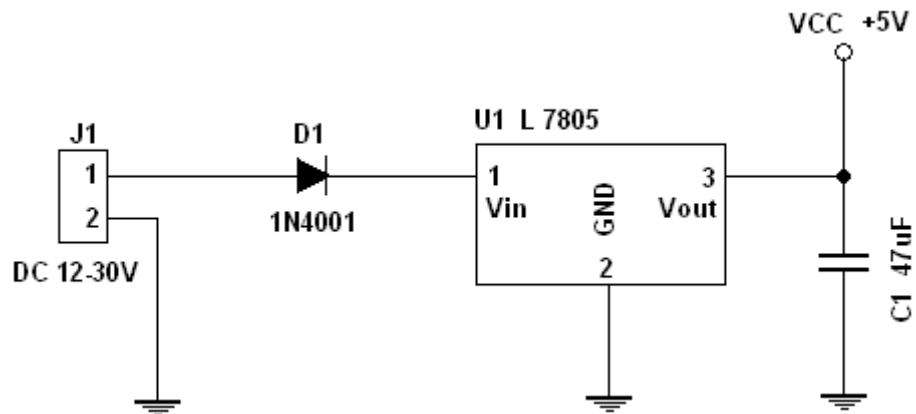
RA5 : Yapılandırılması PIC in 2 numaralı ucu ile aynı şekildedir. Limit anahtarı olarak LIMIT SW6 ya bağlanmıştır. Lojik olarak "0" değerini aldığıında aynı işlemleri yapar. Uyarı yazısı olarak PC ekranında "Z EKSENİ NEGATİF YÖNDE LİMİT AŞIMI" görülür.

RE0 : Kullanılmamıştır.

RE1 : Kullanılmamıştır.

RE2 : Kullanılmamıştır.

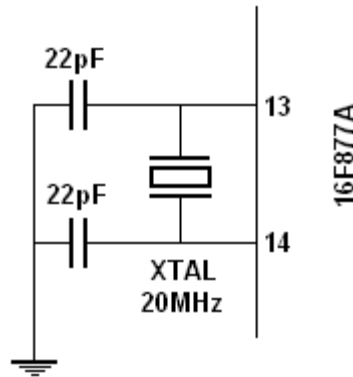
VDD : +5V besleme ucudur, L7805 entegresi ile regülasyonu yapılmış olan +5V luk VCC gerilimine bağlanır. Lojik olarak "1" seviyesidir.



Şekil 4.4 L7805 entegresi ile oluşturulan güç kaynağı

VSS : Toprak ucudur. Projede kullanılan tüm besleme gerilimlerinin (-) uçları birbirine bağlanmıştır ve VSS ucu da buraya bağlanır. Lojik olarak "0" seviyesidir.

OSC1/CLKIN : PIC in çalışma frekansını belirlemek amacı ile harici bir kristalden osilatör sinyalini alan uçtur. Bu uca bağlı olan kristalin çalışma frekansı 20MHz'dir.



Şekil 4.5 PIC 16F877A entegresi osilatör bağlantısı

OSC2/CLKOUT : Çalışma frekansını belirleyen kristalin, diğer ucuna bağlanmıştır. Kristale bağlanmış olan 22pF değerindeki kondansatörlerin görevi, kristalden elde edilecek sinyal şeklinin daha düzgün olması içindir.

RC0 : Kullanılmamıştır.

RC1 : Kullanılmamıştır.

RC2 : İhtiyaç durumunda, step motorlara giden adım çıkışlarında PWM oluşturmak üzere yedek olarak tutulmuştur. Step sürücülerin kendi devrelerinde PWM mevcut olduğundan PIC için yapılan programa dahil edilmemiştir.

RC3 : Kullanılmamıştır.

RD0 : X eksenini kontrol eden step motorun tam adım mı yoksa yarım adım mı sürüleceğini belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor tam adım, "1" olduğunda yarım adım olarak sürülecek demektir.

RD1 : X eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne adım bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Motor, bu uçtan gelen adım sinyalinin sayısı kadar adım atarak dönmektedir.

RD2 : X eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne yön bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor saat yönünde (CW), "1" olduğunda saatin tersi yönünde (CCW) dönecek demektir.

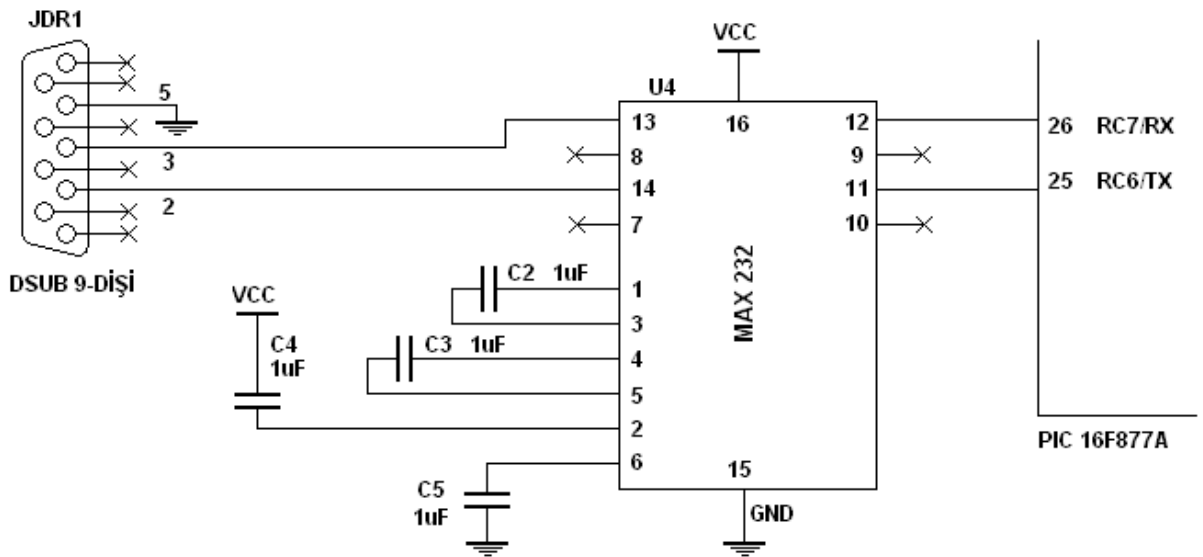
RD3 : X eksenini kontrol eden step motorun aktif olup olmayacağını belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor hareketine izin verilmez, "1" olduğunda yön, adım ve sürme modu bilgisine göre motor hareket edebilir durumdadır.

RC4 : Kullanılmamıştır.

RC5 : Kullanılmamıştır.

RC6 : Bilgisayar ile PIC arasındaki seri haberleşmede, PIC ten bilgisayara bilgilerin gönderildiği uçtur. PIC ile bilgisayarın arasında MAX232 entegresi kullanılmıştır. Şekil 4.6'da entegrenin tasarladığımız kontrol kartı devresindeki bağlantı şekli gösterilmektedir.

RC7 : Bilgisayar ile PIC arasındaki seri haberleşmede, bilgisayardan PIC e bilgilerin alındığı uçtur.



Şekil 4.6 PIC16F877A-MAX232 entegresi bağlantısı

RD4 : Y eksenini kontrol eden step motorun tam adım mı yoksa yarım adım mı sürüleceğini belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik

olarak "0" olduğunda motor tam adım, "1" olduğunda yarım adım olarak sürülecek demektir.

RD5 : Y eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne adım bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Motor, bu uçtan gelen adım sinyalinin sayısı kadar adım atarak dönmektedir.

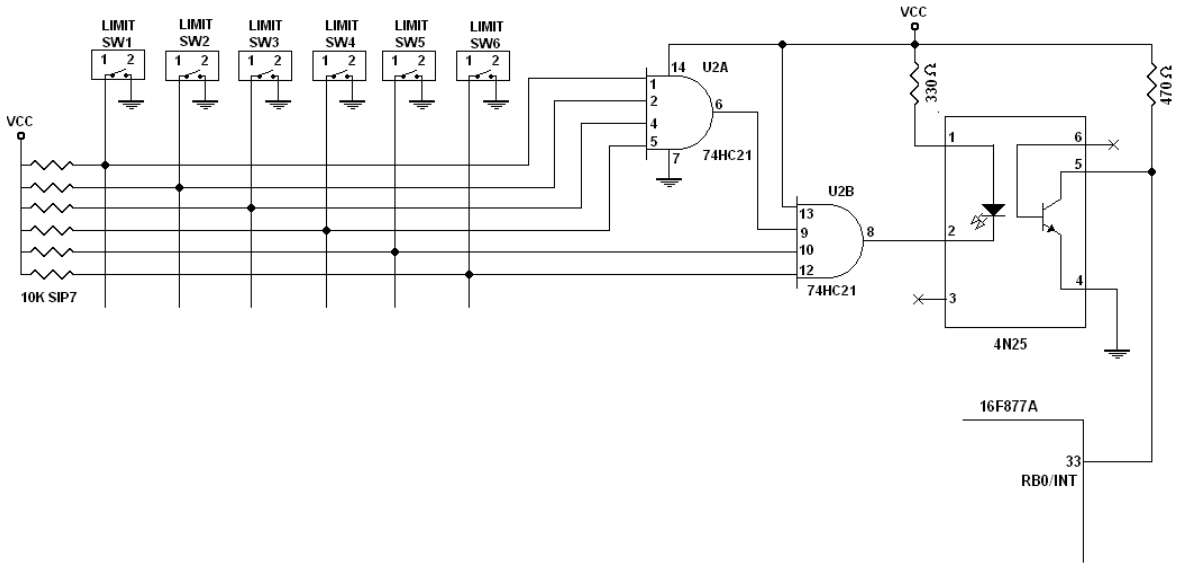
RD6 : Y eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne yön bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor saat yönünde (CW), "1" olduğunda saatin tersi yönünde (CCW) dönecek demektir.

RD7 : Y eksenini kontrol eden step motorun aktif olup olmayacağını belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor hareketine izin verilmez, "1" olduğunda yön, adım ve sürme şekil bilgisine göre motor hareket edebilir durumdadır.

VSS : 12 numaralı uç ile beraber toprak ucudur. Lojik olarak "0" seviyesidir.

VDD : 11 numaralı uç ile beraber +5V besleme ucudur.VCC ye bağlanır.

RBO : Hareket eksenlerinin limit anahtarlarının herhangi birinden gelecek olan kesme sinyali için, programda kesme girişi olarak yapılandırılmıştır. PIC 16F877A entegresinde kesme girişi olarak kullanılabilecek bir adet uç bulunduğundan, limit anahtarlarının her biri VE kapısı olan 7421 entegresi ile bir araya getirilip, 4N25 optik yalıtıcı entegresinden geçirilerek, kesme girişine uygulanmıştır.En az bir adet limit anahtarından sinyal gelmesi kesmenin oluşması için yeterlidir. Kesme girişimiz lojik "0" aktif olarak çalışmaktadır. 4N25 entegresinin kullanılmasının amacı ise, limit anahtarlarından kontrol kartına kadar çekilen kabloların, parazit sinyal oluşturup kesme girişini etkilenmesini engellemektir.



Şekil 4.7 16F877A entegresi kesme girişi bağlantısı

RB1, RB2, RB3 : Kullanılmamıştır.

RB4 : Z eksenini kontrol eden step motorun tam adım mı yoksa yarım adım mı sürüleceğini belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor tam adım, "1" olduğunda yarım adım olarak sürülecek demektir.

RB5 : Z eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne adım bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Motor, bu uçtan gelen adım sinyalinin sayısı kadar adım atarak dönmektedir.

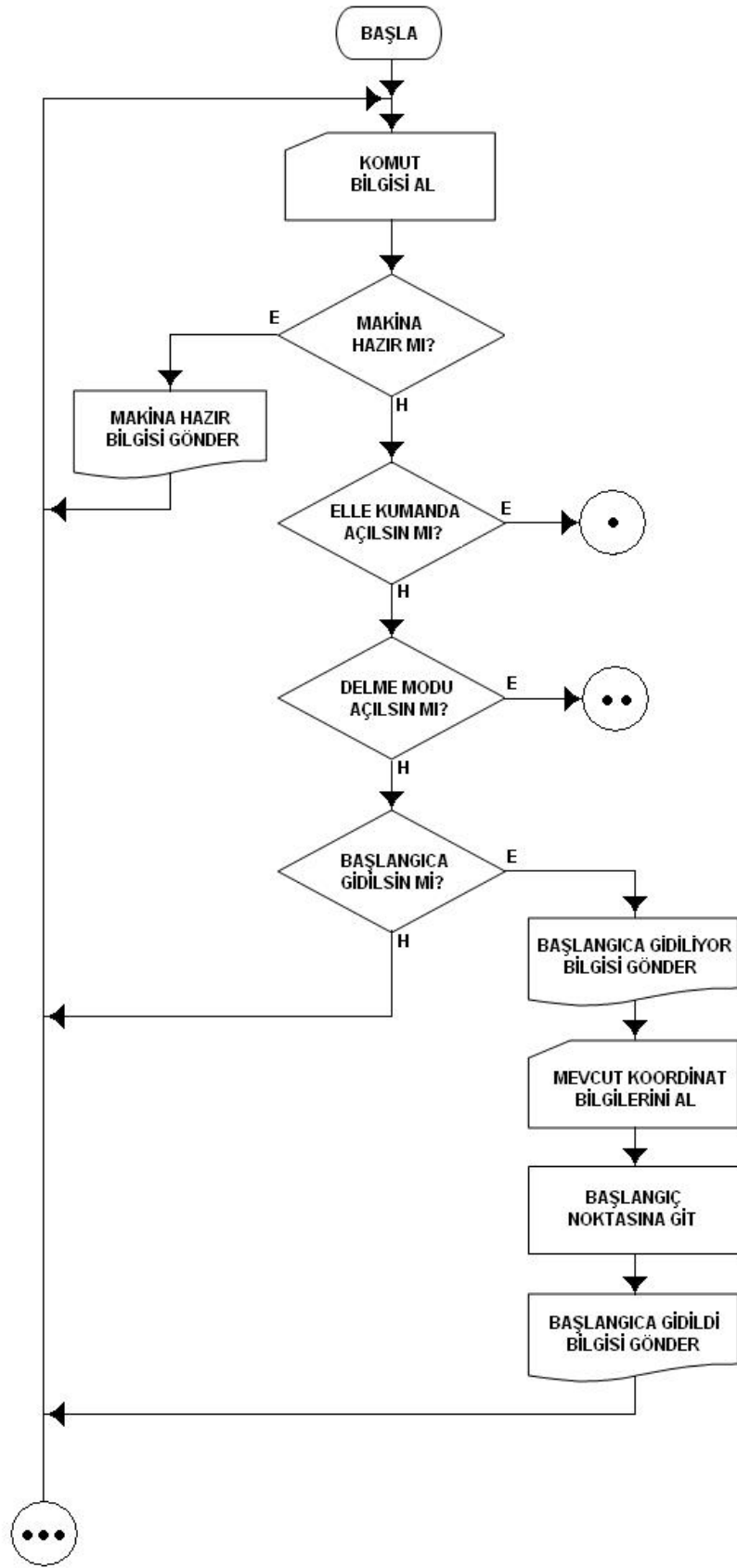
RB6 : Z eksenini kontrol eden step motor sürücüsüne yön bilgisini göndermek üzere programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor saat yönünde (CW), "1" olduğunda saatin tersi yönünde (CCW) dönecek demektir.

RB7 : Z eksenini kontrol eden step motorun aktif olup olmayacağını belirlemek amacı ile programda çıkış olarak yapılandırılmıştır. Çıkış lojik olarak "0" olduğunda motor hareketine izin verilmez, "1" olduğunda yön, adım ve sürme şekil bilgisine göre motor hareket edebilir durumdadır.

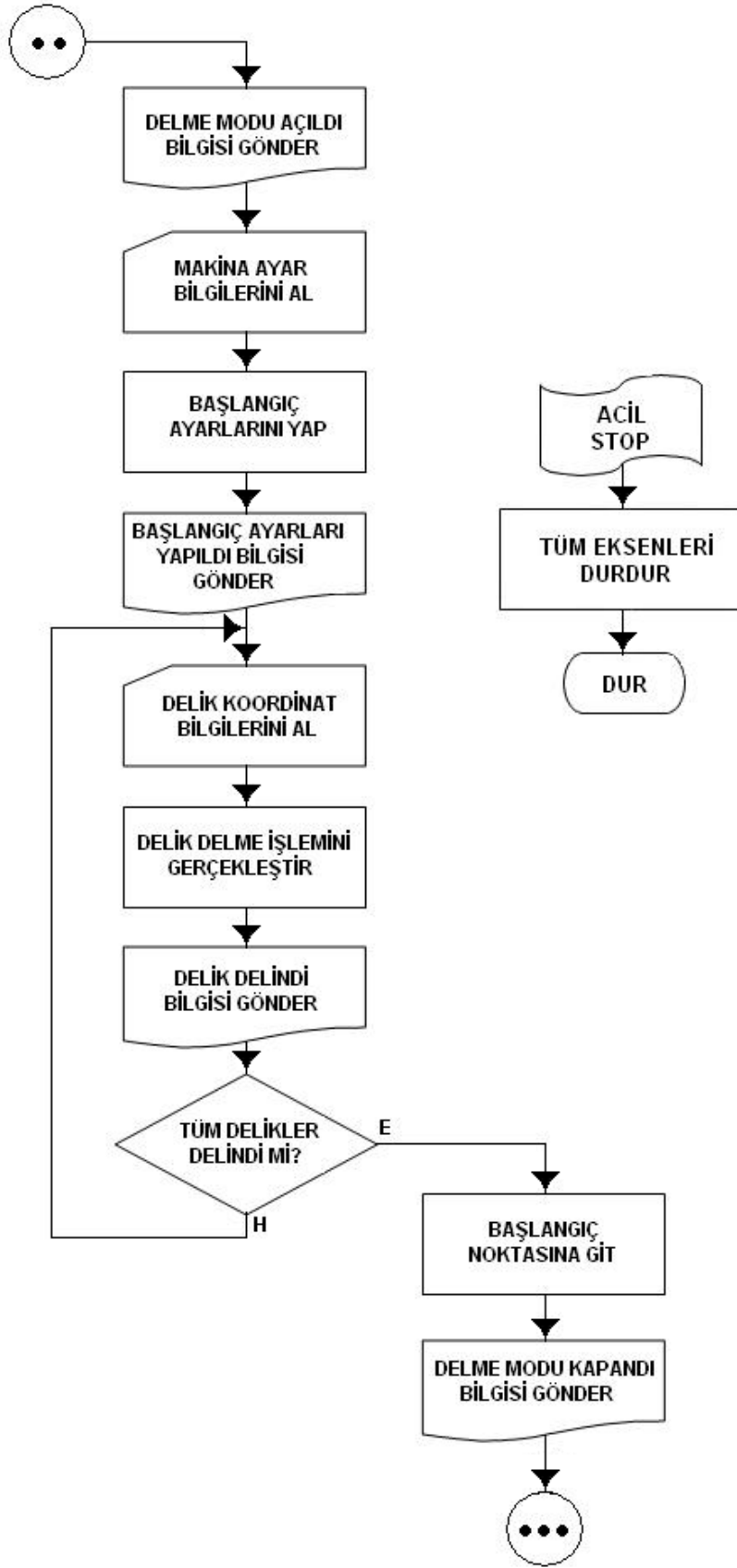
## **BÖLÜM 5**

---

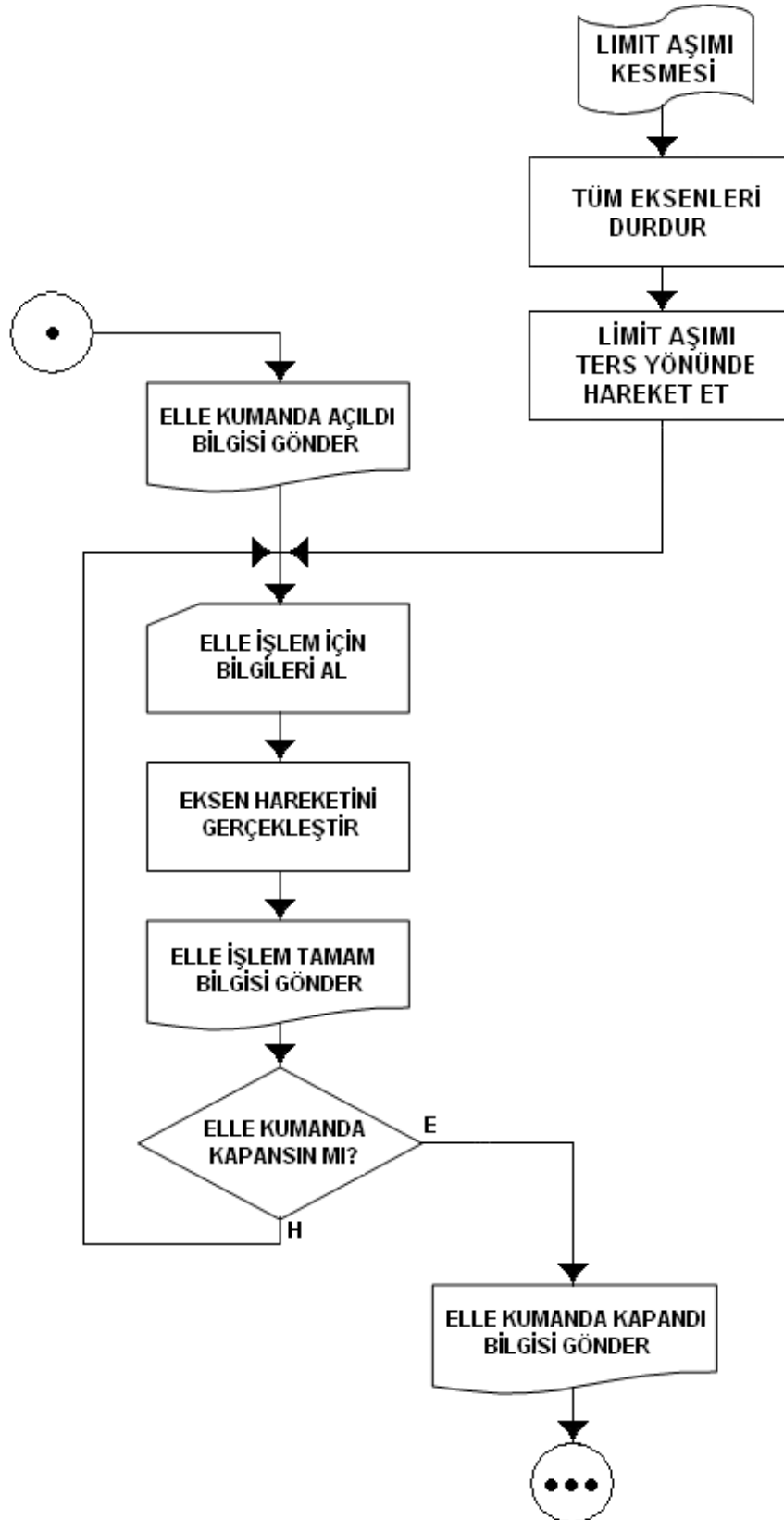
### **PIC PROGRAMININ ÇALIŞMASI**



Şekil 5.1 Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı



Şekil 5.1 Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı (devam)



Şekil 5.1 Mikrokontrolördeki ana programının akış diyagramı (devam)

Bilgisayar tarafındaki ara yüz programı ile veri alışverişinde bulunarak, step motor sürücü kartlarına eksenlerin hareketleri için gerekli sinyalleri gönderen ve eksen hareketlerinde oluşabilecek limit aşımı yada durdurma butonuna basıldığında eksen motorlarını durduran kontrol kartımızın üzerinde, bu işlemlerin yapılmasında en büyük görevi taşıyan bir PIC 16F877A mikrokontrolörümüz bulunmaktadır. PIC in bu işlevlerini gerçekleştirebilmesi için görev içeriğine bağlı olarak programlanması gerekir. Çalışmamızda bu programlama işini gerçekleştirirken “Assembler” programlama dili kullanılmıştır. Şekil 5.1’de programın akış diyagramı gösterilmektedir.

İlk olarak PIC için konfigürasyon ayarları yapılmıştır. Program içerisinde sık kullanılacak olan adreslerin ve fiziksel giriş-çıkış uçlarının tanımlamaları yapılmıştır. Daha sonra yine program içerisinde kullanılacak olan zaman gecikme döngüleri yazılmış, bilgisayar ile seri olarak yapılacak haberleşme için veri alma ve gönderme alt programları hazırlanmıştır. PIC başlangıç ayarları yapılarak ana programın çalışacağı iskelet yapı oluşturulmuş ve bu yapı üzerinden programın diğer alt programları hazırlanmıştır. Yazılan program Ek 3’te verilmiştir.

Programın çalışmasını ana programın iskeleti üzerinden ele aldığımızda dört ana alt programdan oluştuğu görülmektedir. Bu alt programlar sırası ile “MAKİNE HAZIR MI” , “ELLE KUMANDA AÇ”, “DELME MODU AÇ” VE “BAŞLANGICA GİT” alt programlarıdır. Bu alt programların haricinde, makinenin eksen hareketlerinin limit dışına çıkması durumunda, PIC in programın normal akışını keserek dallanacağı “KESME” alt programı ve hareket esnasında herhangi bir sebepten dolayı ara yüz programı üzerinden acil durdurma butonuna basılması durumunda programın dallanacağı “ACİL DURDURMA” alt programı mevcuttur.

### **5.1 Makine Hazır mı Alt Programı**

Bilgisayar ara yüz programı ile kontrol kartı arasındaki seri haberleşmenin kurulup kurulmadığının anlaşılması için, tüm bağlantılar yapıldıktan sonra ara yüz programından PIC’ e 1 byte uzunluğunda bir sorgu verisi gönderilir. Programda bu 1 byte’lık veri decimal “d01” olarak belirlenmiştir. Ara yüz programından veri gönderildikten sonra 2 sn içerisinde PIC in makine hazır anlamında yine 1 byte’lık bir

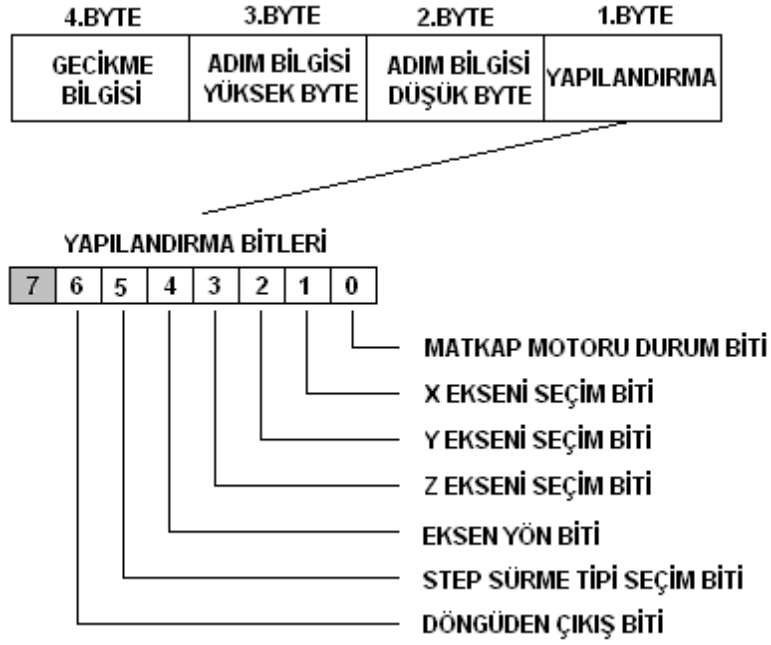
veri ile cevap göndermesi beklenir. Programda verilecek olan cevap decimal "d11" olarak belirlenmiştir.

Eğer sorunsuz şekilde bağlantının kurulduğu onaylanmış ise, ara yüz programı tarafından PIC e gönderilecek olan diğer veriler değerlendirilebilecektir. Aksi durumda bağlantı sağlanana kadar PIC, ara yüz programından "d01" makine hazır mı sorgusunu bekler. Ara yüz programı yazılırken PIC ten "d11" makine hazır cevabı gelmeden diğer sorgu verilerinin gönderilmesi engellenmiştir.

## **5.2 Elle Kumanda Aç Alt Programı**

Makinenin hazır olduğu bilgisi ara yüz programı tarafından alındıktan sonra PIC in değerlendirmeye alacağı 1 byte'lık komut verilerinden biri "Elle kumanda aç" verisidir. Programımızda bu veri decimal "d02" olarak tanımlanmıştır. PIC bu komutu aldıktan sonra ana program döngüsünde "Elle kumanda aç" alt programını çağırır. Ardından ara yüz programına elle kumandanın açıldığına dair decimal "d21" cevabını gönderir. Bu cevabın gönderilmesinden sonra PIC, elle kumanda edilerek hangi eksenin hangi yöne doğru , hangi hızla, ne kadar mesafe hareket edeceği, step motorların sürülme şeklinin ne olacağı, matkap motorunun çalışıp çalışmayacağı ve elle kumandanın kapatılıp kapatılmayacağı bilgisini içeren 4 byte'lık veri paketini beklemeye başlar.

Şekil 5.4'te ara yüz programından gelecek olan 4 byte'lık veri paketinin açılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.4 Ara yüz programından gönderilen 4 byte'lık veri paketinin açılımı

PIC gelen veri paketinde ilk olarak yapılandırma byte'ının 6. bitine bakar. Eğer bu bit "1" ise diğer bilgiler değerlendirmeye alınmadan elle kumanda kapatılır. Ara yüz programına elle kumandanın kapatıldığına dair decimal "d22" sayısı 1 byte olarak gönderilir ve tekrar ara yüz programından gelecek olan 1 byte'lık komut verisi ana döngü içerisinde beklenilmeye başlanır.

Döngüden çıkış biti "0" ise PIC programı tarafından matkap motorunun çalışıp çalışmayacağı bilgisi değerlendirilir. Ardından hangi eksenin hareket edileceği tespit edilir. Elle kumanda kısmında aynı anda birden fazla eksenin hareketine izin verilmemiştir ve ara yüz programı tarafında da aynı anda birden fazla eksenin seçilmesi engellenmiştir. Dolayısı ile yapılandırma byte'ında X, Y, Z eksen seçme bitlerinden sadece bir tanesi "1" olacaktır. "1" olan eksen hareket ettireceğimiz eksenidir. Eksenin belirlenmesinden sonra PIC programı eksen yön bitini kontrol eder. Bu bit "0" ise hareket edecek eksene ait step motorun dönüş yönü saat yönünde, "1" ise saat dönüş yönünün tersinde olacaktır. Saat dönüş yönü çalışmamızda pozitif ilerleme yönü olarak kabul edilmiştir. Yön tespitinin ardından step sürme tipi seçim bitine bakılır.

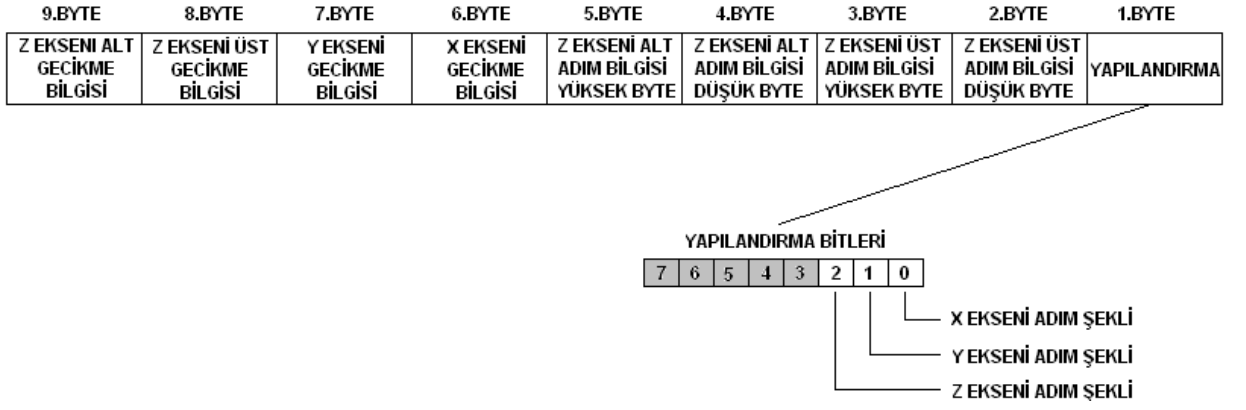
Çalışmamızda kullandığımız step motorlar ve sürücüleri tam adım olarak yapılandırıldığından bu bit ara yüz programı tarafından daima “0” olacak şekilde ayarlanmıştır. “0” olması step motorlarımızın tam adım olarak sürüleceği anlamını taşır. Yapılandırma bitleri kontrolü tamamlandıktan sonra PIC gönderilen veri paketindeki adım ve gecikme byte’larını değerlendirmeye alarak seçilen eksenin hareketini sağlayan verileri step motor sürücü kartına gönderir. Adım bilgisi, matkabımızın hareket alanının büyüklüğü göz önüne alınarak 2 byte şeklinde taşınmaktadır. Makine hareket haline geçtiği anda programdaki tüm kesmeler aktif haldedir. Hareket tamamlandıktan sonra kesmeler pasif hale alınır. Ayrıca hareketin tamamlanmasının ardından PIC tarafından ara yüz programına “elle işlem tamam” manasında 1 byte’lık decimal “d23” sayısı gönderilir. PIC tekrar ara yüz programından gelecek olan 4 byte’lık veri paketini beklemeye başlar.

### **5.3 Delme Modu Aç Alt Programı**

PIC programı ana döngüsü içerisinde iken, ara yüz programından gelebilecek olan bir diğer 1 byte lık komut verisi “delme modu aç” tır. Programda bu veri decimal “04” olarak tanımlanmıştır. PIC bu komutu aldıktan sonra ana program döngüsünde “Delme modu aç” alt programını çağırır.

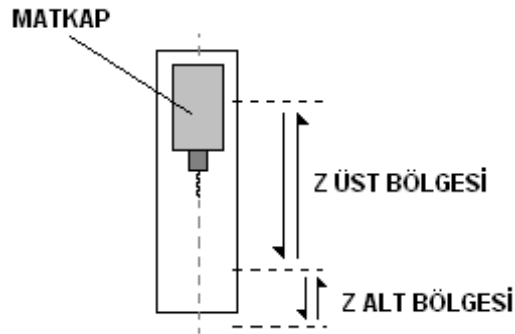
Ardından ara yüz programına delme modunun açıldığına dair decimal “d31” cevabını gönderir. Bu cevabın gönderilmesinden sonra PIC, eksenlerin adım, hız ve yapılandırma bilgilerini içeren 9 byte lık veri paketini beklemeye başlar.

Şekil 5.5'te ara yüz programından gelecek olan 9 byte lık veri paketinin açılımı gösterilmektedir. Bu paketin alınmasının ardından program tarafından başlangıç ayarları yapılacaktır.



Şekil 5.5 Ara yüz programından gönderilen 9 byte'lık veri paketinin açılımı

Z ekseninin hareketi delme modunda üst ve alt olarak ikiye ayrılmıştır. Bu ayırım otomatik delme işlemi başlatıldığında, matkap motorunun bağlı bulunduğu Z ekseninin başlangıç pozisyonundan delme noktasına kadar hızlı inmesini ve bu noktadan sonra hareket hızının yavaşlatılarak delme işlemlerini gerçekleştirmesini sağlamak amacı ile yapılmıştır. Bu sayede zamandan tasarruf sağlanmış olacaktır. Hızlı hareket edilen bölge "üst", yavaş hareket edilerek delme işleminin gerçekleştirildiği bölge "alt" olarak isimlendirilmiştir. Şekil 5.6'da tanımlanan bölgeler gösterilmiştir.



Şekil 5.6 Matkap z eksen çalışma bölgeleri

Bu iki bölgedeki adım ve hız bilgileri birbirinden bağımsız olarak gönderilen 9 byte'lık veri paketinde tanımlanmıştır. X ve Y eksen için ise yalnızca hız bilgileri tanımlanmıştır. X ve Y ekseninin gecikme bilgilerine bakılarak her iki eksenin ortak olarak hareket edeceği hız bilgisi belirlenir. Ortak hareket hangi eksen diğerinden yavaş ise, onun hızı ile gerçekleştirilir. Gecikme bilgisi büyük olanın hızı yavaştır. 9 byte'lık veri paketi kullanılarak gerekli ayarlar yapıldıktan sonra PIC tarafından ara yüz programına "başlangıç ayarları yapıldı" anlamında decimal "d33" olarak 1 byte'lık veri gönderilir. Ardından PIC, ara yüz programı tarafından gönderilecek olan, X ve Y eksenlerinin adım ve yön bilgilerini, adımların birbirlerine göre farkını belirten bilgiyi ve delme modundan çıkılıp çıkılmayacağını belirten bilgiyi taşıyan 7 byte'lık veri paketini beklemeye başlar. Şekil 5.7'de 7 byte'lık veri paketinin açılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.7 Ara yüz programından gönderilen 7 byte'lık veri paketinin açılımı

Programda yapılandırma bitlerine bakılarak gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra ilk olarak Z ekseninin üst diye tanımladığımız bölgedeki hareketi başlar. Z ekseninin adım ve hız bilgileri, X ve Y ekseninin yalnızca hız bilgileri için, daha önce PIC tarafından değerlendirmeye alınan 9 byte'lık veri paketindeki değerler kullanılır. Matkap Z eksenin hareketi ile delme noktasına kadar ilerledikten sonra ilk delinecek deliğin koordinatlarına gitmek için yeni alınmış olan 7 byte'lık veri paketindeki X ve Y ekseninin adım bilgileri kullanılır. X ve Y ekseninin ortak hareket edeceği mesafe, adım bilgisi az olan ekseninki kadardır.

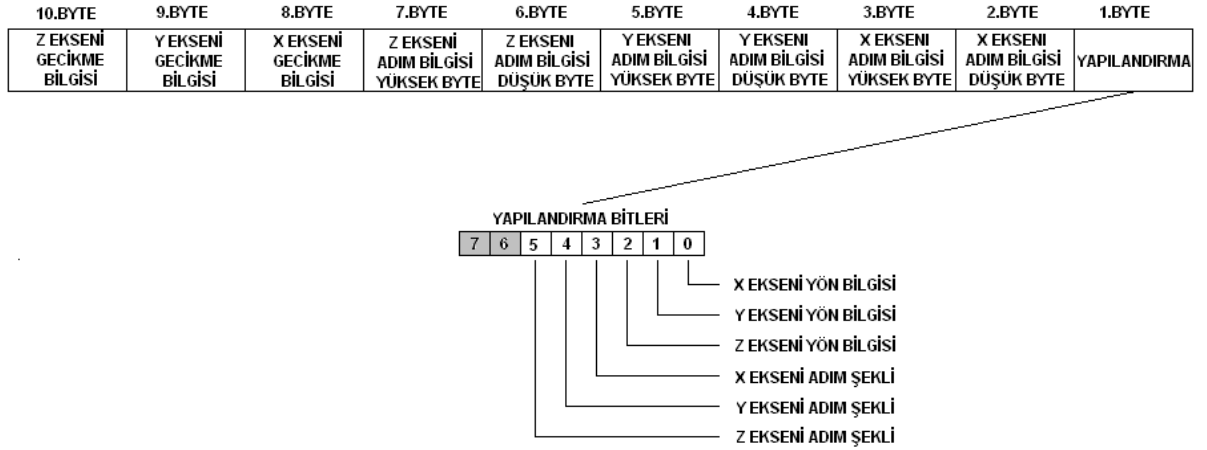
Ortak hareket tamamlandıktan sonra, hala gidecek mesafesi olan eksenin kalan adımları, ortak harekette kullanılan hız ile tamamlattırılır. Delinecek olan deliğin koordinatına gelinmiştir ve bu aşamada Z ekseninin alt bölgesi için tanımlanmış hız ve adım ile matkap hareketini devam ettirir ve deliği deler. Delik delindikten sonra Z eksenini aynı mesafede ters yönde hareket ederek matkap ucunu delinmekte olan elektronik baskı devre plaketinden kurtarır. Bir delik delindikten sonra PIC tarafından bilgisayar ara yüz programına “bir delik delindi” anlamında decimal olarak “d32” sayısı 1 byte olarak gönderilir ve yeni gelecek olan 7 byte’lık veri paketi beklenir. Bu işlem tüm deliklerin delme işlemi tamamlanıp gelen veri paketinin yapılandırma byte’ındaki 7.bit olan “delme devam biti “1” olana kadar devam eder. Bu bitin kontrolü PIC programı tarafından, gelen veri paketindeki koordinat delindikten sonra yapılır.

Eğer tüm delikler delinmiş ise, matkap motoru durdurulur. PIC programı tarafından sırasıyla Z, X ve Y ekseninin başlangıç pozisyonuna dönmesini sağlayan “başlangıca git” alt programı çağırılarak, eksenler başlangıç noktasına gönderilir. Emniyet açısından ilk hareket ettirilen eksen olarak Z eksenini seçilmiştir. Eksenlerin biri başlangıç değerine vardığında, diğeri hareketine başlayacaktır. Başlangıç noktasına gidilmesi için gerekli olan bilgiler “başlangıca git” alt programının açıklamasında detaylı olarak verilmiştir. Delme modu sonrası başlangıca döndükten sonra PIC tarafından ara yüz programına “delme modu kapandı” anlamında 1 byte’lık decimal “d34” sayısı gönderilir. Ardından PIC programı ana döngüsüne geri dönerek tekrar ara yüz programından gelecek olan 1 byte’lık komut verisini beklemeye başlar.

#### **5.4 Başlangıca Git Alt Programı**

PIC programı ana döngüsü içerisinde iken, ara yüz programından gelebilecek olan bir diğer 1 byte’lık komut verisi “Başlangıca git” tir. Programda bu veri decimal “08” olarak tanımlanmıştır. PIC bu komutu aldıktan sonra ana program döngüsünde “Başlangıca git” alt programını çağırır. Ardından PIC tarafından ara yüz programına “başlangıca gidiliyor” anlamında decimal “d41” cevabı gönderilir. Bu cevabın gönderilmesinden sonra PIC, eksenlerin hareket edeceği adım, hız ve yapılandırma bilgilerini içeren 10 byte’lık veri paketini beklemeye başlar.

Şekil 5.8’de ara yüz programından gelecek olan 10 byte’lık veri paketinin açılımı gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Ara yüz programından gönderilen 10 byte’lık veri paketinin açılımı

Gelen veri paketindeki yapılandırma bilgileri PIC tarafından değerlendirilir. Ardından ilk olarak Z eksenini başlangıcına gider. Sırası ile X ve Y eksenini de başlangıç noktalarına dönerler. Tüm eksenleri yerini bulduktan sonra PIC tarafından ara yüz programına “matkap başlangıç noktasında” anlamında decimal “d42” sayısı 1 byte olarak gönderilir. Sonrasında PIC programı yine ana döngüsüne dallasacak ve ara yüz programından gelecek olan 1 byte’lık komut verisini beklemeye başlayacaktır.

Dikkat edilmesi gereken bir nokta, başlangıca git alt programı delme modu sonunda PIC programı içerisinde delinen deliklerin bitmesinin ardından otomatik olarak çağırılmış ise, başlangıca gidilme işleminden sonra ara yüz programına gönderilecek olan 1 byte’lık bilginin decimal “d42” sayısı yerine, delme modu kapandı anlamındaki decimal “d34” sayısı olacaktır.

## 5.5 Kesme Alt Programı

PIC programında “Kesme” alt programının çağırılması için PIC in kesme girişinin lojik “0” seviyesine getirilmesi yeterlidir. Çalışmamızda bu durumun oluşabilmesi için eksenlerden herhangi birinin, herhangi bir yönde hareket ederken fiziksel olarak izin

verilenden daha fazla ilerlemeye çalışıp, eksen başlarında ve sonlarında bulunan limit anahtarlarından birine temas edilmesi gerekmektedir. Eksenler hareket halinde değil iken limit anahtarları kesme oluşturmazlar. Kesmenin oluşabilmesi için eksenlerden en az bir tanesinin hareket halinde olması gerekmektedir.

Kesme oluştuğunda PIC teki program akışı anında kesilerek “Kesme” alt programı çağırılır. Kesme alt programında ilk olarak bütün step motorların enerjisi kesilir. Ardından hangi eksenin, hangi yönünde limit aşımı olduğu program tarafından kontrol edilir. Hangi eksen ve yönde limit aşımı olmuşsa, o eksenin step motorunun enerjisi verilerek, ters yönde 200 adım hareket etmesi sağlanır ve tekrar motorun enerjisi kesilir. Bu işlemlerin gerçekleşmesinden sonra hangi eksen, hangi yönde limit aşımı olduğu PIC tarafından, ara yüz programına 1 byte’lık bilgi olarak gönderilir. Bu bilgiler eksenlere ve yönlerine göre decimal olarak şu şekilde kodlanmıştır.

X Eksen pozitif yönde limit aşımı anlamında d'81'

X Eksen negatif yönde limit aşımı anlamında d'82'

Y Eksen pozitif yönde limit aşımı anlamında d'83'

Y Eksen negatif yönde limit aşımı anlamında d'84'

Z Eksen pozitif yönde limit aşımı anlamında d'85'

Z Eksen negatif yönde limit aşımı anlamında d'86'

Bu bilgilerin PIC tarafından gönderilmesinin amacı , ara yüz programı aracılığı ile kullanıcıyı bilgilendirmektir. Gönderilen bilginin anlamı ara yüz programında yazı ile gösterilir. Kesme oluştuktan ve tüm bu işlemler gerçekleştikten sonra PIC programı elle kumanda alt programına satar ve ara yüz programından gelecek olan 4 byte’lık veri paketini beklemeye başlar. Elle kumanda alt programına sapılmasının nedeni, eksenlerin pozisyon bilgisinin yitilmesinden dolayıdır. PIC ten limit aşım bilgisini alan ara yüz programı otomatik olarak elle kumanda penceresini kullanıcı ekranına açar. Elle kumanda penceresi ile eksenlere yeniden başlangıç noktası tanıtılır. Bu işlem ara yüz programının kullanımında detaylı olarak anlatılmıştır.

## 5.6 Acil Durdurma Alt Programı

Acil durdurma alt programı eksenlerin hareket halinde iken makineye veya kullanıcıya bir zarar gelme durumuyla karşılaştığında, eksen hareketlerini durdurabilmek ve oluşabilecek zararı en aza indirmek için hazırlanmıştır. Eksenlerin her birinin hareketinde PIC in seri port üzerinden veri aldığı, alma kaydedicisinde taşma olup olmadığı kontrol edilir. Eğer bir taşma olmuş ise PIC programı acil durdurma alt programını çağırır ve tüm step motorların enerjisini keser.

PIC in alma kaydedicisinde taşma meydana gelmesi, PIC'in beklediğinden daha büyük bir veri paketi alması ile gerçekleştirilir. Bu işlemin gerçekleştirilebilmesi için, ara yüz programının ana penceresine ve elle kumanda penceresine birer adet acil durdurma butonu konulmuştur. Bu butonlardan birine kullanıcı tarafından basıldığında PIC'e 7 byte uzunluğunda içeriği önemli olmayan bir bilgi paketi gönderilir. Eksenler hareket halinde iken PIC bilgi beklemediğinden alma kaydedicisinde taşma meydana gelir. Acil durdurma alt programına dallanan PIC programı ise eksenlerin hareketini sonlandırdıktan sonra, ara yüz programına 1 byte'lık "Makine durduruldu" anlamında decimal "d70" sayısını gönderir.

Acil durdurma sonrasında makine ile yeniden işlem yapılabilmesi için PIC in, kontrol kartı üzerinde bulunan reset butonu ile donanımsal olarak resetlenmesi ve ara yüz programının kapatılarak yeniden çalıştırılması gerekmektedir.

### EN KISA YOL ÇEVİRİMİNİN BULUNMASI

Baskılı devre tasarım programlarından, delinecek olan deliklerin koordinatları text dosyası şeklinde elde edilebilmektedir. Projemizde hazırlamış olduğumuz ara yüz programı bu text dosyalarından faydalanarak delik koordinatlarını belirlemekte ve text dosyasında yazılı olan sıra ile delikleri sırası ile delmektedir. Baskılı devre programının ürettiği text dosyasında delik koordinatları sıralanırken, delikler baskılı devre tasarımı yapılırken hangi sıra ile yerleştirilmiş ise, koordinatlarda text dosyasına aynı sıra ile yerleştirilir. Bu yerleşim ne kadar dağınık olarak yapılmış ise, delikleri deler iken eksen motorlarımız o kadar fazla yol kat edecek demektir. Bu da gereksiz zaman kayıplarına neden olacaktır. Ara yüz programı hazırlarken kullandığımız “Visual Basic” programının özelliklerinden yararlanarak koordinat listesinin X veya Y eksenlerini küçükten büyüğe doğru sıralamak mümkündür. Fakat bu işlem ile elde edilen zaman tasarrufu tatmin edici boyutlarda değildir.

Deliklerin delinmesi sırasında mümkün olan en kısa zamanı elde etmek için, matkap motorumuzun başlangıç noktasından yola çıkıp, tüm delikleri deldikten sonra tekrar başlangıç noktasına dönmesi sırasında kat ettiği mesafeyi en aza indirgememiz gerekmektedir. Başlangıç noktasından yola çıkarak her bir delik noktasına bir kez uğrayarak tekrar başlangıç noktasına dönülmesi için çizilebilecek tüm alternatif yolların sayısı, toplam nokta sayısının faktöriyelidir. Delik sayısı arttıkça bu hesabın yapılması ve içlerinden en kısa yolun seçilmesi, hızlı işlemcilerle sahip bilgisayarlar için bile çok uzun zamanlar gerektirmektedir.

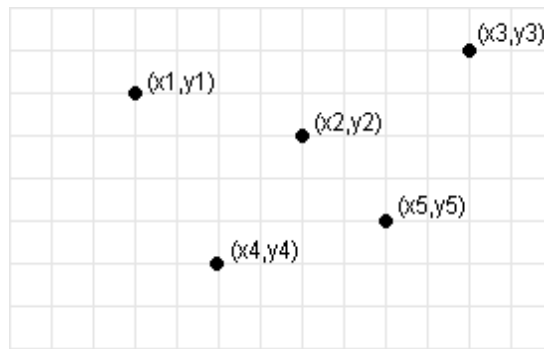
Bu yüzden en kısa yol çevriminin bulunması için, hesaplanması kısa süren ve en iyi çözüme çok yakın değerlerin elde edilebildiği, yaklaşım yöntemleri kullanılmaktadır. Karşımıza çıkan bu problem literatürde “Gezgin Satıcı Problemi” olarak adlandırılır.

Bilim dünyasının popüler problemleri arasında olan gezgin satıcı problemine çözüm olarak sunulan yöntemler, GSM operatörlerinin baz istasyonlarının yerlerinin belirlenmesi, ulaşım ve lojistik firmalarının güzergah belirlemesi, posta dağıtım güzergahlarının belirlenmesi, hava, kara ve deniz araçlarının rotalarının belirlenmesi, internet üzerinden paketlerin dağıtım sırasının belirlenmesi gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Problemin çözümü için genetik algoritmalar, karınca kolonisi optimizasyonu, yapay sinir ağları, ikili ve üçlü nokta optimizasyonu, tabu arama, en iyi düğüm ilavesi gibi çeşitli yaklaşım yöntemleri geliştirilmiştir.

Projemizde bu yöntemlerden en iyi düğüm ilavesi yöntemi ve en yakın nokta yöntemi kullanılmış, elde edilen çözümler üzerinde, ikili optimizasyon yöntemini kullanılarak daha iyi çözümler elde etmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır.

### 6.1 En iyi düğüm ilavesi yöntemi

En iyi düğüm ilavesi yönteminin temel prensibi, beş noktanın bulunduğu bir örnek üzerinden detaylı olarak incelenecektir. Koordinat düzleminde şekil 6.1’de gösterildiği gibi, rastgele beş nokta belirlemiş olalım ve her bir noktaya rastgele  $(x_1, y_1)$ ’ den başlayarak  $(x_5, y_5)$ ’ e kadar isim verelim.

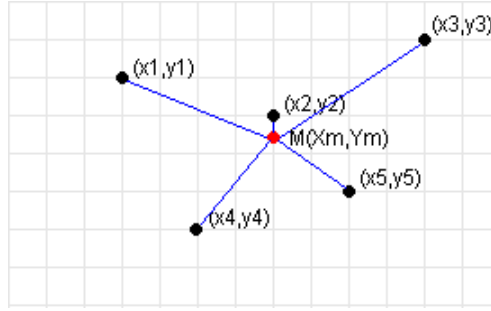


Şekil 6.1 Rastgele seçilmiş beş noktanın koordinat düzleminde dağılımı

İlk olarak yapılacak olan işlem noktaların ağırlık merkezini bulmaktır. Ağırlık merkezi eşitlik 6.1’de verilmiştir.

$$M(X_m, Y_m) = \left( \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \right) \quad (6.1)$$

Ağırlık merkezinin koordinatları belirlendikten sonra her bir noktanın ağırlık merkezine olan uzaklığı hesaplanır.



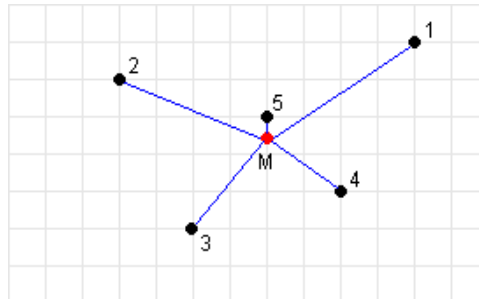
Şekil 6.2 Rastgele seçilen beş noktanın ağırlık merkezine olan uzaklıkları

Noktaların ağırlık merkezine olan uzaklıkları hesaplanırken eşitlik (6.2) kullanılır.

$$|Mesafe|_i = \sqrt{(X_m - X_i)^2 + (Y_m - Y_i)^2} \quad (6.2)$$

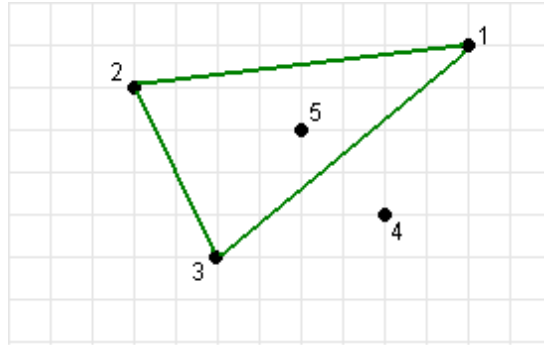
$i = 1 \dots \dots \dots n$

Ağırlık merkezine olan uzaklıklar hesaplandıktan sonra, merkeze olan uzaklığı en büyük olan noktadan, en küçük olana doğru tüm noktalar "1" den başlayarak numaralandırılır. Şekil 6.3' te örneğimizdeki 5 noktanın numaralandırılması gösterilmektedir. M noktası ağırlık merkezidir.



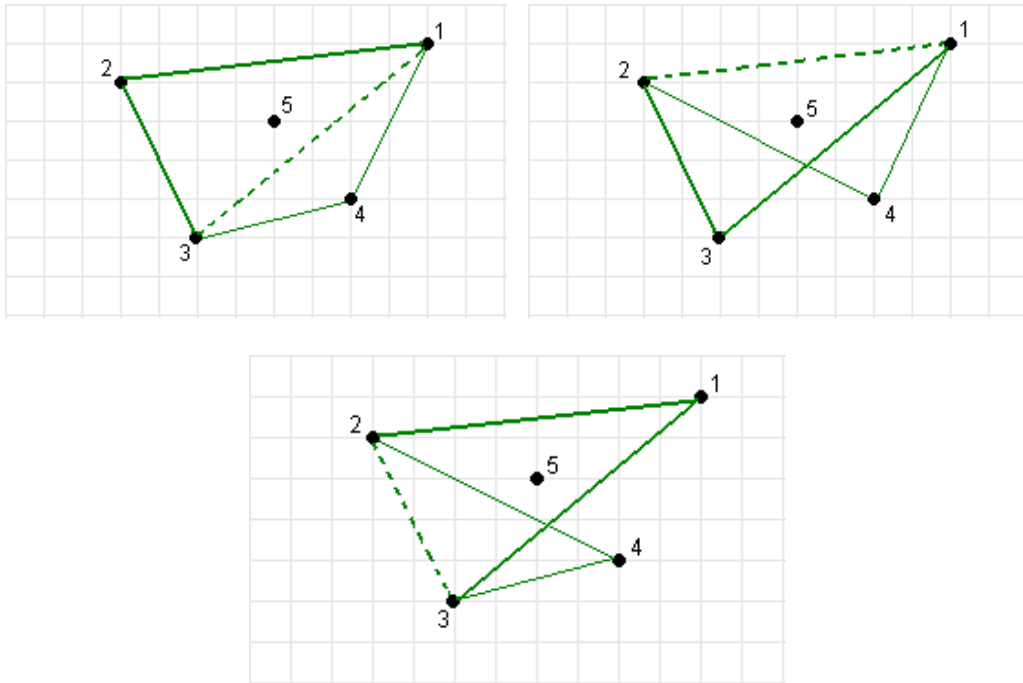
Şekil 6.3 Rastgele seçilen beş noktanın ağırlık merkezine olan uzaklıkları

Numaralandırma işlemi tamamlandıktan sonra ağırlık merkezi noktasının görevi tamamlanmış olur. Yapılan numaralandırma işlemindeki merkeze olan uzaklığı en büyük olan 1,2 ve 3 numaralı üç nokta birleştirilir.



Şekil 6.4 Ağırlık merkezine en uzak üç noktanın birleştirilmesi

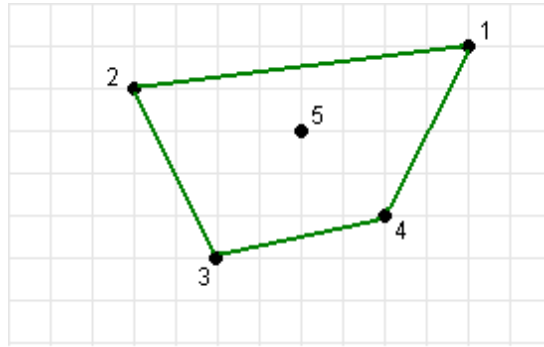
Bundan sonra yapılacak olan işlem, bu üç noktadan sonra merkeze olan uzaklığı en büyük olan 4 numaralı noktayı, üç nokta üzerinden çizilen halkanın içerisine dahil etmektir.



Şekil 6.5 Dört numaralı noktanın mevcut halkaya dahil edilebileceği tüm olasılıklar

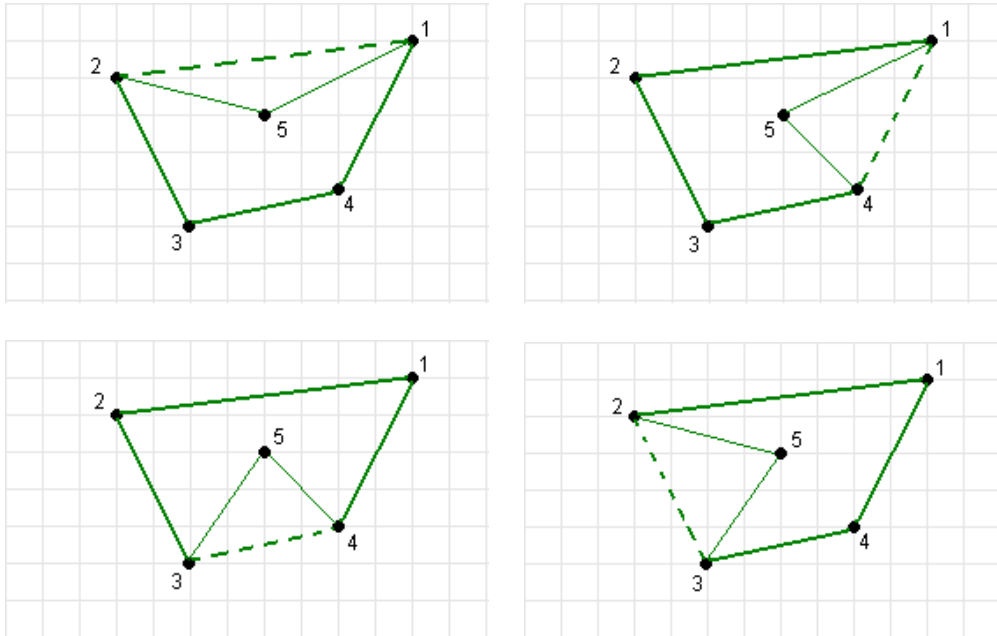
“4” numaralı noktayı mevcut olan halkanın içersine dahil etmek için , halka içersinde bulunan ve birbirine doğrudan bağlı iki nokta arasındaki çizgi kaldırılarak, kaldırılan çizgilerin bağlı bulunduğu noktalar ile “4” numaralı nokta birleştirilir.

Bu işlem birbirine doğrudan bağlı her nokta çifti için tekrarlanır ve “4” numaralı nokta ile beraber yeni oluşturulan halkanın toplamdaki uzunlukları karşılaştırılır. Toplam uzunluğu en kısa olan halka, içinde “4” numaralı noktanın da dahil olduğu yeni halkamızdır. Şekil 6.6’da “4” numaralı nokta için en iyi düğüm ilavesi gösterilmektedir.



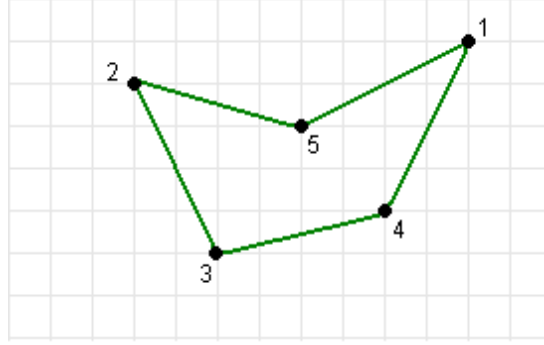
Şekil 6.6 Dört numaralı nokta için en iyi düğüm ilavesi

Aynı işlemleri bu kez “5” numaralı noktayı halkanın içersine dahil etmek için yaparız.



Şekil 6.7 Beş numaralı noktanın halkaya dahil edilebileceği tüm olasılıklar

Şekil 6.8’de “5” numaralı nokta için işlemlerin tamamlanmasından sonra elde edilen en kısa çözüm gösterilmektedir.



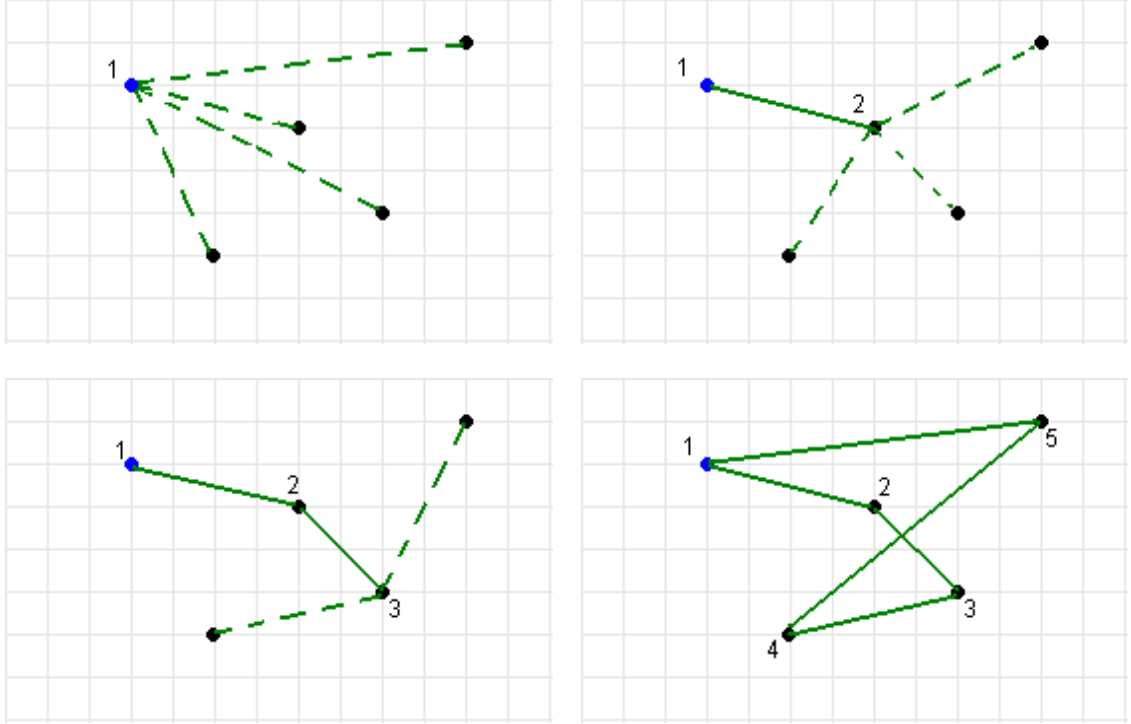
Şekil 6.8 Beş numaralı nokta için en iyi düğüm ilavesi

Başlangıç noktası olarak, halka içindeki noktalardan herhangi birini seçmek mümkündür. Örneğin “2” numaralı nokta başlangıç noktası olarak seçilmiş olsun. Noktaların koordinatlarının 2-5-1-4-3 olarak veya 2-3-4-1-5 olarak sıralattırıp, projemizde eksenleri bu sıra ile dolaşabiliriz. Ağırlık merkezine olan en uzak üç noktanın birleştirilmesi ile başlayan bu işlem, merkeze uzaklığı en kısa olan üç noktanın birleştirilmesi ve diğer noktaların merkeze olan mesafe kısalığı sırası ile halkaya dahil edilmesi ile de gerçekleştirilebilir.

## 6.2 En yakın nokta yöntemi

En yakın nokta yönteminin temel prensibi, başlangıç olarak bir nokta seçip, bir sonraki gidilecek olan nokta için bu noktaya en yakın noktayı bulmaktır. Yeni gidilen nokta için aynı işlem tekrarlanacak ve bu şekilde tüm noktalara ulaşıldıktan sonra başlangıç noktasına dönülerek işlem tamamlanacaktır.

En iyi düğüm ilavesinde kullandığımız örnek üzerinde bu yöntemi uygulamak için, kendimize bir başlangıç noktası seçmemiz gerekmektedir. Bu nokta için matkap motorumuzun bulunduğu noktaya en yakın noktayı seçeriz.



Şekil 6.9 En yakın nokta yöntemi ile noktaların sıralanması

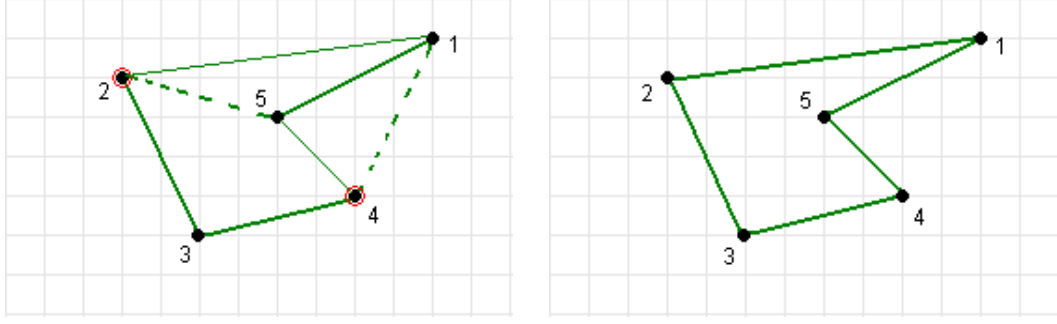
Şekil 6.9’da en yakın nokta yöntemi ile noktaların sıralanması gösterilmektedir. Başlangıç noktası olarak seçilen nokta mavi renk ile gösterilmiştir ve “1” numaralı nokta olarak belirlenmiştir. Bu noktaya en yakın mesafede bulunan noktaya “2” numaralı noktadır. İşlemlerin tamamlanmasından sonra tüm noktalar kendilerine ait numaraları alırlar ve matkap motorumuzun çizileceği yol belirlenmiş olur.

En iyi düğüm ilavesi yöntemi ile karşılaştırıldığında çoğunlukla daha kötü sonuçlar elde edilmesine rağmen, noktaların yerleşimine göre zaman zaman daha iyi sonuçlar verebilmektedir. Bu sebepten projemizde bu yönteme de yer verilmiş ve yöntemin gerektirdiği işlemlerin yapılabilmesi için program yazılımı gerçekleştirilmiştir.

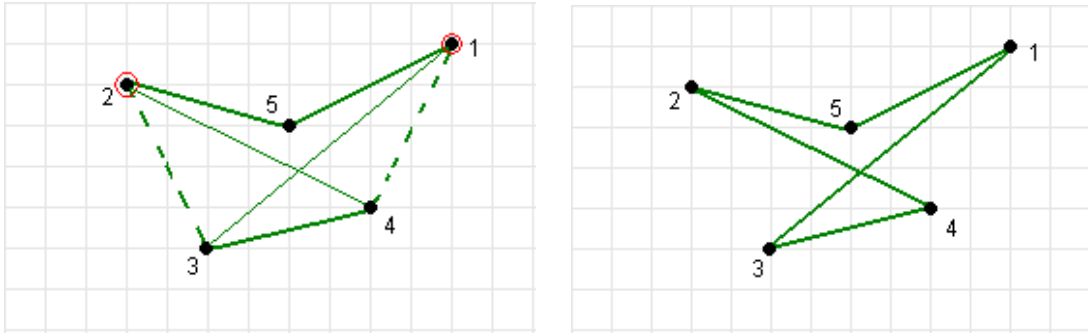
### 6.3 İkili optimizasyon yöntemi

En iyi düğüm ilavesi ve en yakın nokta yöntemi ile elde edilen çözüm üzerine, ikili optimizasyon yöntemini uygulayarak, toplam yol olarak daha kısa mesafeler elde etmek mümkün olabilmektedir. Projemizde noktaların sırasını belirlerken mevcut noktalara önce en iyi düğüm ilavesi veya en yakın nokta yöntemi daha sonra ikili optimizasyon yöntemi uygulanmıştır.





Şekil 6.12 İki ile dört numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi

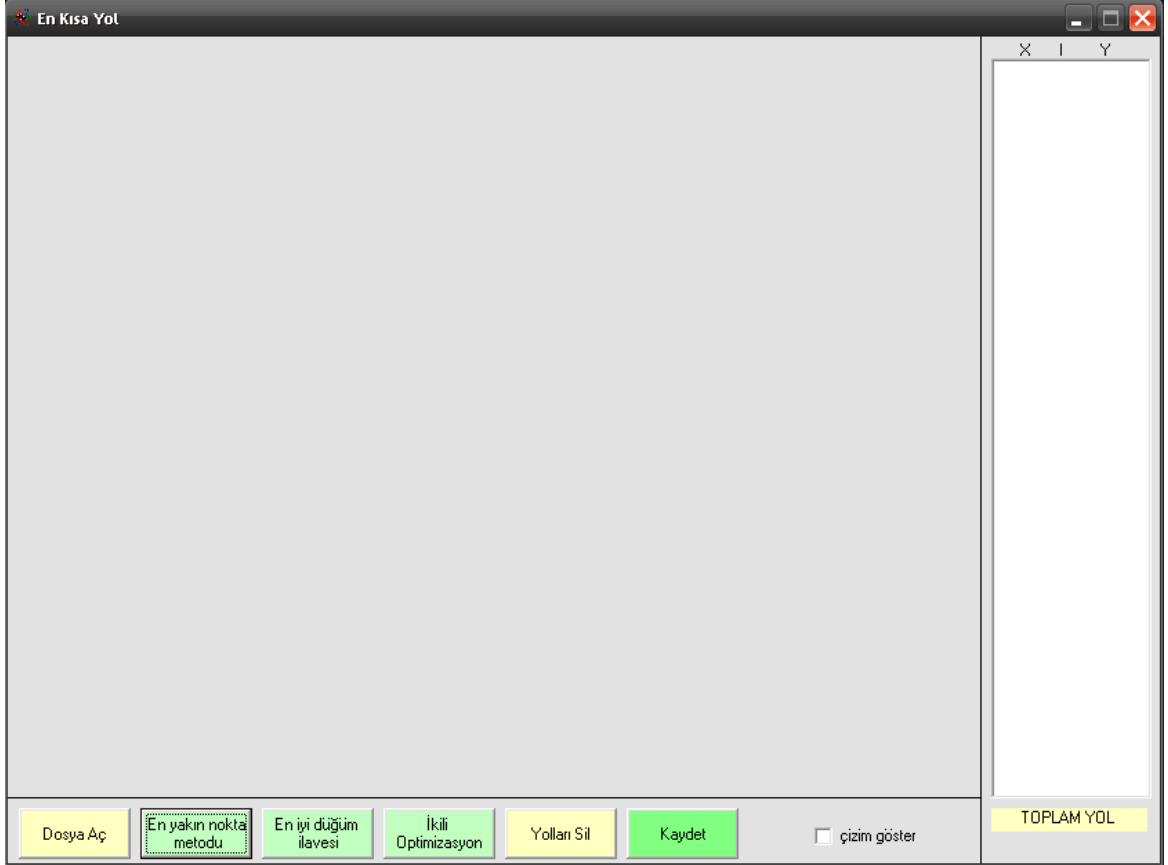


Şekil 6.13 İki ile bir numaralı nokta arasındaki ikili optimizasyon denemesi

“2” numaralı nokta ile diğer noktalar arasında ikili optimizasyon denemesi yapılmış ve yeni oluşan halkaların toplam yol uzunluklarına bakılmıştır. Örneğimizde daha iyi bir sonuç elde edilemediğinden geçerli çözüm, yine en iyi düğüm ilavesi ile elde ettiğimiz sonuç olarak kalmıştır. Nokta sayısı az olduğunda ikili optimizasyona gerek kalmadan en iyi çözüme ulaşılsa da, nokta sayısının artması ile birlikte ikili optimizasyon ile daha iyi sonuçların elde edildiği görülecektir. Projemizde ikili optimizasyon, her bir nokta için kendisine en yakın beş nokta ile yapılmaktadır. Bu sayı artırılarak ta denemeler yapılmış fakat sonuçlarda iyileşme görülmemiştir. Bilgisayara işlem yükü oluşturmamak için bu sayı “5” ile sınırlandırılmıştır. İkili optimizasyon tüm noktalar için uygulandıktan sonra, daha iyi bir sonuç elde edilmiş ise, elde edilen sonucun üzerinden ikili optimizasyon tekrar gerçekleştirilir ve bu tekrarlama işlemi daha iyi bir sonuç elde edilemeyinceye kadar sürdürülür.

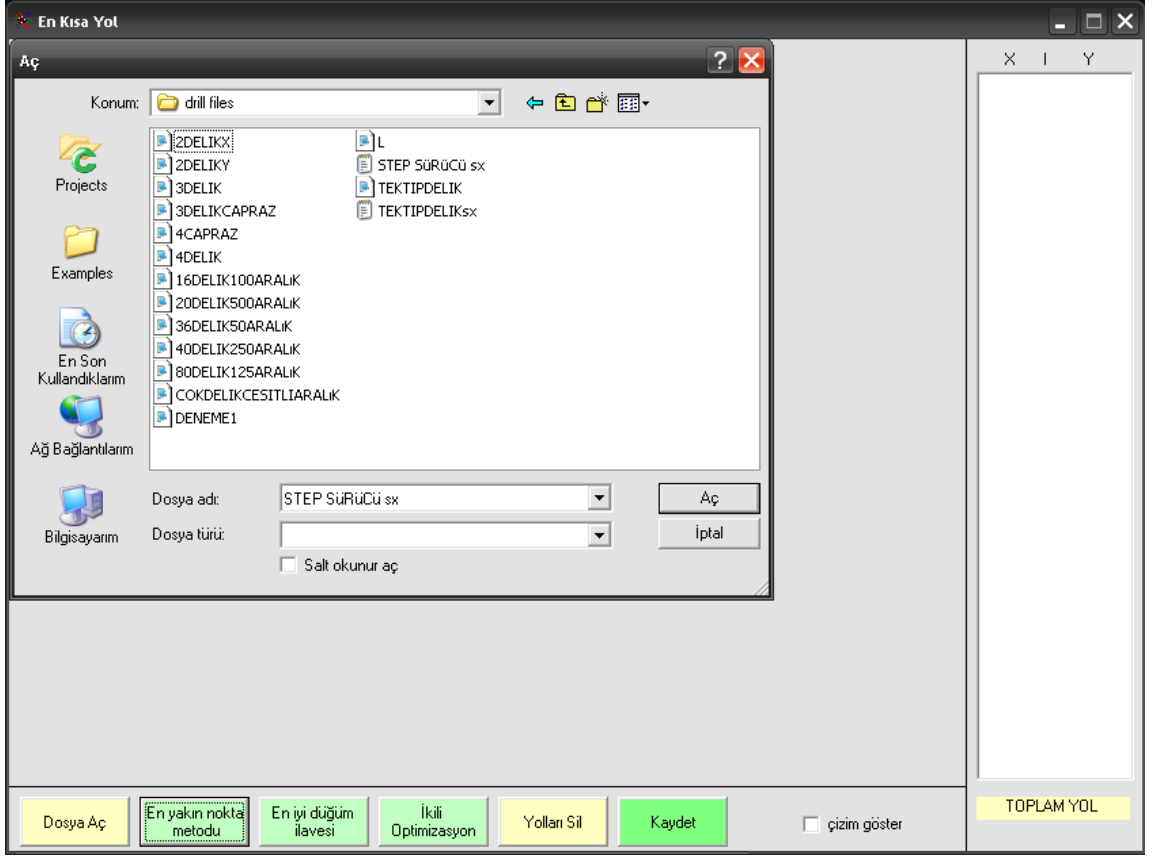
#### 6.4 En kısa Yol Çözümü İçin Hazırlanan Program ve Çalışması

Baskılı devre programlarından üretilen delik koordinatlarının hangi sırayla en kısa sürede dolaşabileceğini belirlemek amacı ile “VISUAL BASIC” programı kullanılarak, yol çözüm programı oluşturulmuştur. Program çalıştırıldığında PC ekranında şekil 6.14’te görülen en kısa yol çözümü programının ana penceresi açılır.



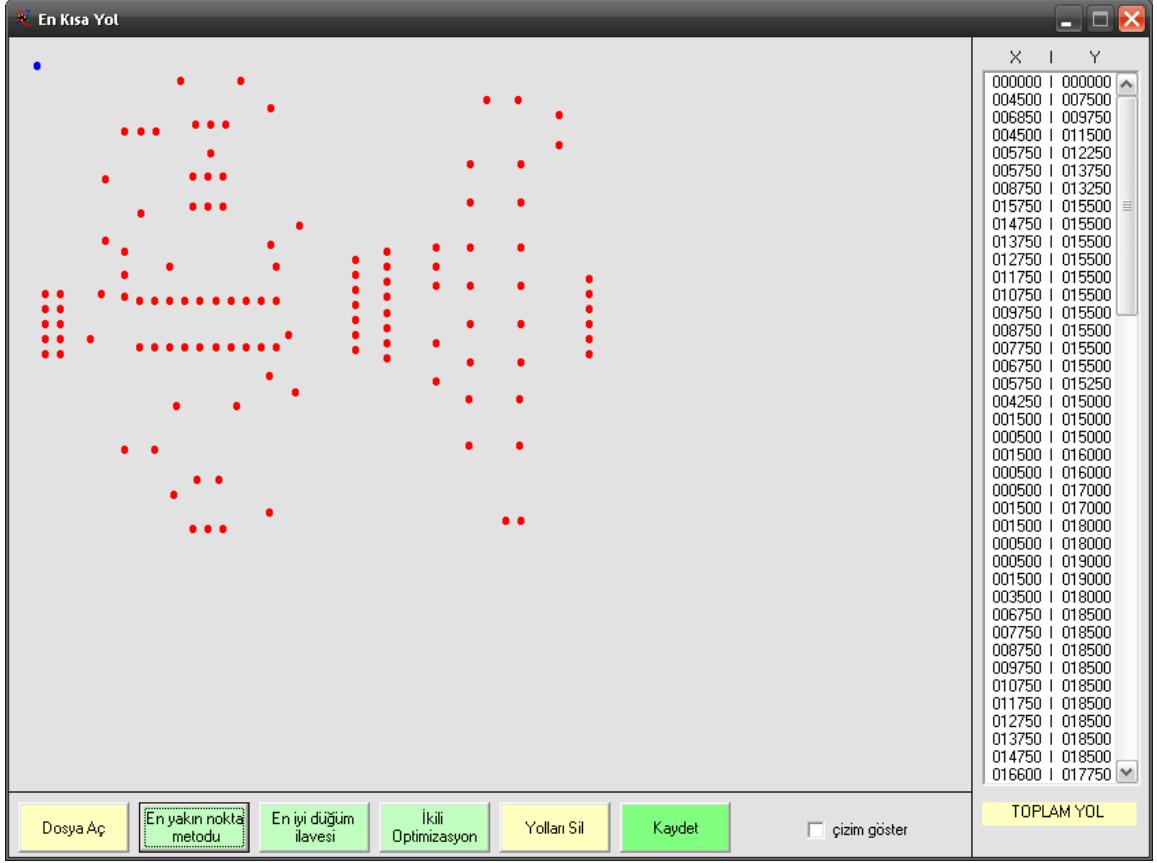
Şekil 6.14 En kısa yol çözümü programı ana penceresi

Dosya Aç butonu delinecek noktaların koordinatlarının bulunduğu text dosyasını açmak amacı ile kullanılır. Bu butona basıldığında standart dosya açma penceresi ekrana gelir ve açılan yeni pencereden text dosyası seçilerek onay verilir.



Şekil 6.15 En kısa yol çözümü programı dosya açma penceresi

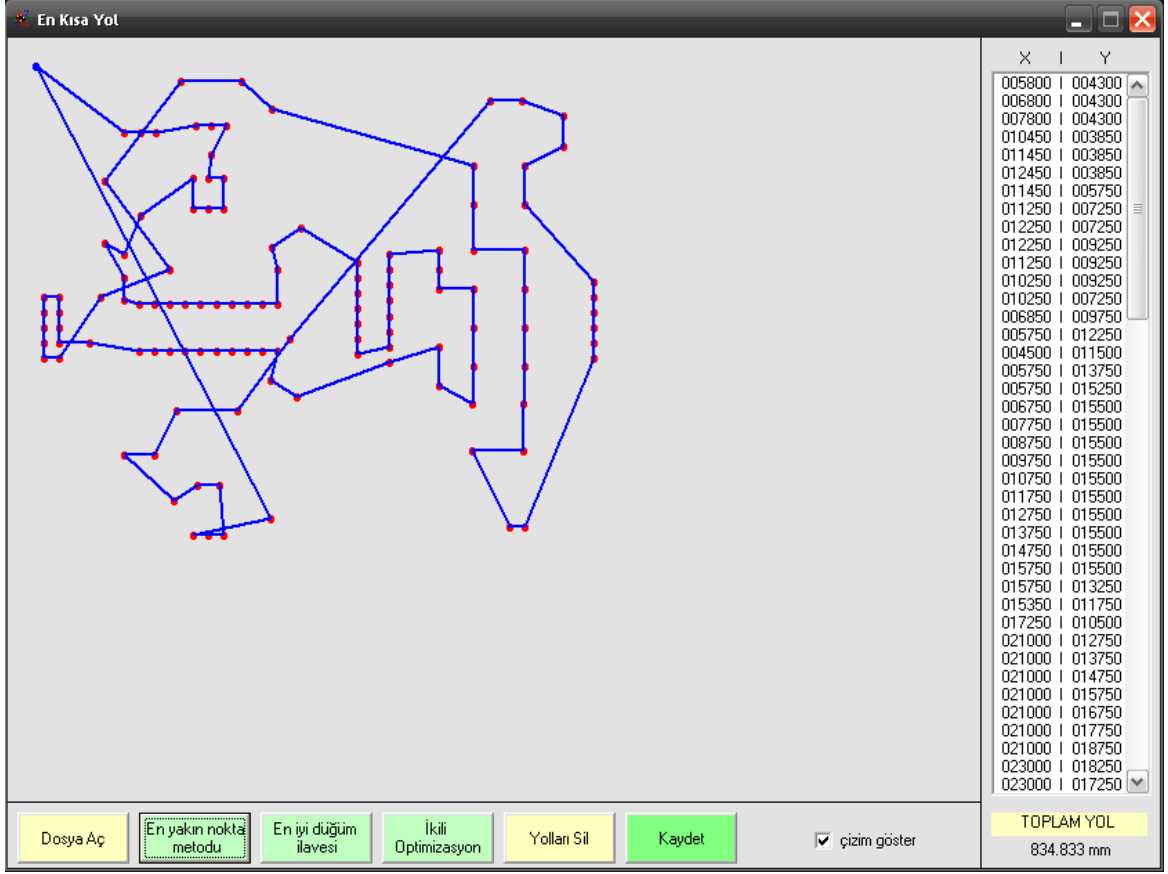
Açılan dosyadaki noktaların koordinatları şekil olarak programın ana penceresinde gösterilir ve aynı zamanda açılan text dosyasındaki sıra ile pencerenin sağındaki liste kutusunun içerisine yazdırılır. Başlangıç noktası olarak kullanılacak nokta penceredeki çizimde mavi renk ile, diğer noktalar kırmızı olarak çizilmişlerdir.



Şekil 6.16 En kısa yol çözümü programı açılan dosyadaki noktaların gösterimi

Matkap motorumuzun noktaları en kısa sürede dolaşabilmesi için en iyi düğüm ilavesi ve ardından uygulayacağımız ikili optimizasyon yöntemiyle beraber aradaki farkın görülmesi amacıyla sık olarak kullanılan yöntemlerden biri olan “En yakın nokta metodu” da hazırladığımız programa dahil edilmiştir. En yakın nokta metodunda, matkap kendisine en yakın noktayı bir sonraki hedef noktası olarak belirleyecek ve delme işlemini gerçekleştirecektir. Tüm noktalar delindikten sonra matkap son geldiği noktadan başlangıç noktasına geri dönecektir. Örnek olarak delik koordinat listesini ve çizimini gösterdiğimiz delgi dosyası, projemizde kullandığımız step motor sürücü devresine aittir. Bu dosya üzerinden tüm yöntemleri kullanarak, tüm noktaların delinmesi sırasında kat edilecek mesafeleri karşılaştırabiliriz.

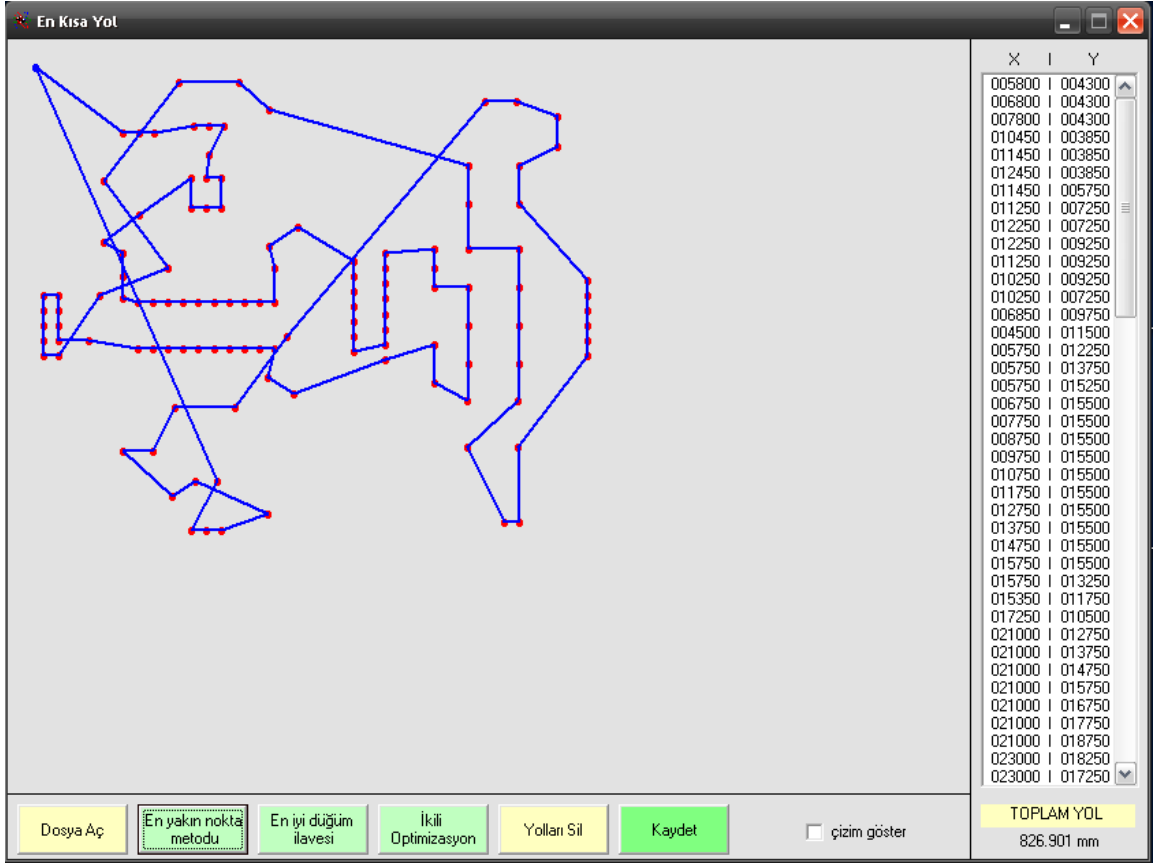
En yakın nokta butonuna basıldığında noktalar, başlangıç noktasından itibaren sürekli kendisine en yakın noktaya geçilecek şekilde birleştirilir.



Şekil 6.17 En yakın nokta yöntemi ile noktaların birleştirilmesi

Butona basıldığında noktalar şekil6.16'da gösterilen en yakın nokta yöntemi ile birleştirilirler. Çizilen yolların toplam uzunluğu, pencerenin sağ alt köşesinde "Toplam Yol" etiketinin altında 834,833 mm olarak hesaplanmıştır.

"İkili optimizasyon" butonuna basılarak en yakın nokta yöntemi ile elde edilen sonucun üzerine ikili optimizasyon uygulanır. İki kez ikili optimizasyon yapıldığında elde edilen iyileşme yaklaşık 8 mm oluşmuştur. Üçüncü düzeltme denemesinden daha iyi bir sonuç elde edilememiştir, dolayısı ile daha fazla düzeltme butonuna basılması daha iyi bir sonuç vermeyecektir. Elde edilen en iyi sonuçta toplam mesafe 826,901 mm ye kısalmıştır.

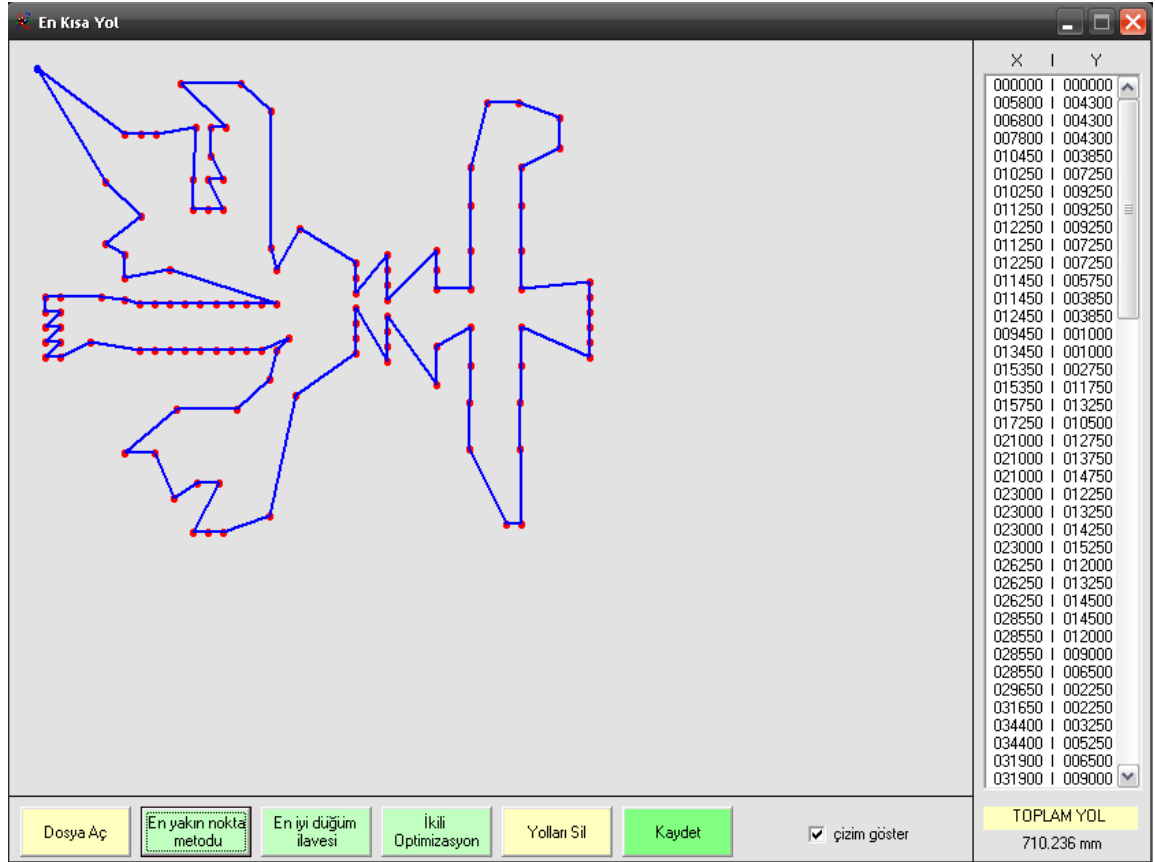


Şekil 6.18 En yakın nokta yöntemi üzerine ikili optimizasyon uygulaması

Programda elde edilen sonuçlara göre, pencerenin sağındaki liste içerisindeki koordinatların sıralaması otomatik olarak değişmektedir.

Mevcut noktalara en iyi düğüm ilavesi yöntemini uygulamak için “En iyi düğüm ilavesi” butonuna basılır ve noktaların birleştirme işlemi en iyi düğüm ilavesi yöntemi bölümünde açıklandığı şekilde program tarafından yapılır.

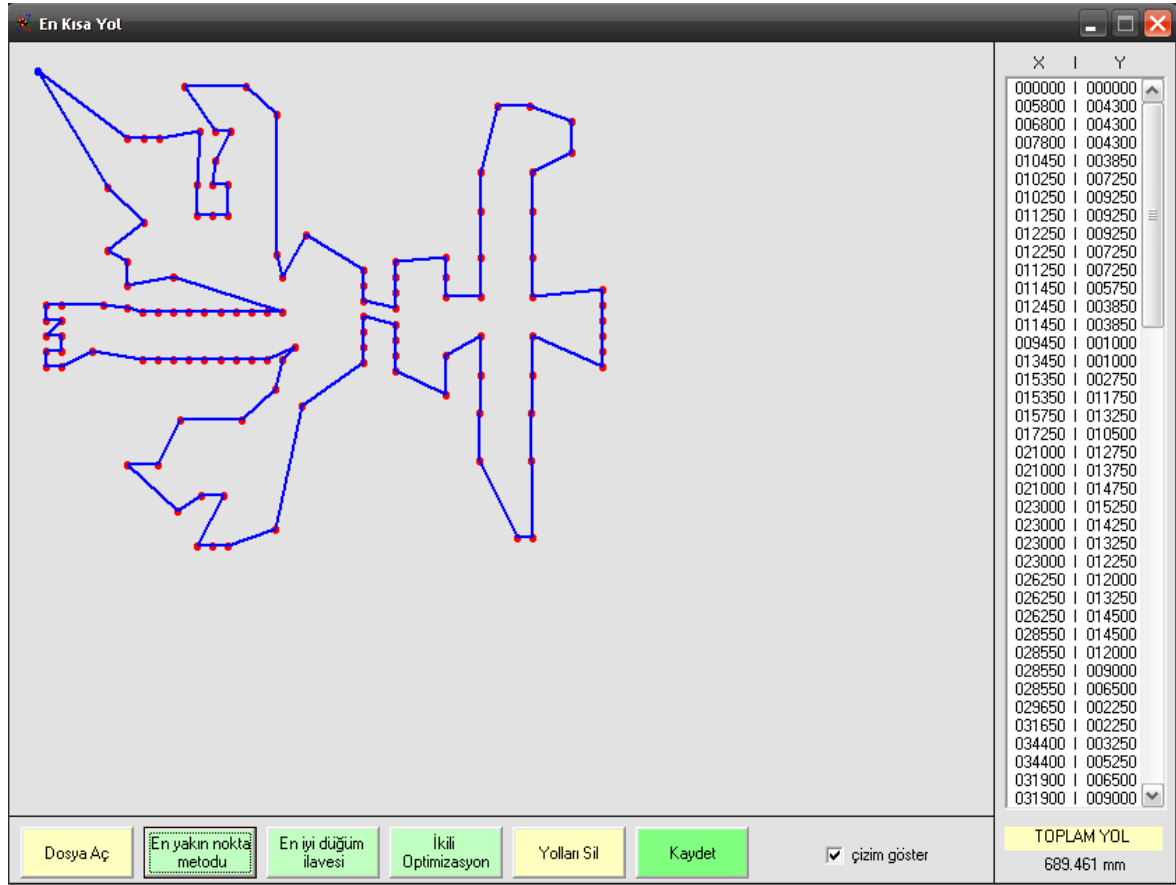
Örnek olarak açılan delgi dosyasına bu işlem uygulandığında, noktaların birleştirilmesi şekil 6.19'da gösterilen penceredeki şekliyle oluşur.



Şekil 6.19 En iyi düğüm ilavesi yöntemi ile noktaların birleştirilmesi

Elde edilen toplam yol uzunluğu, en iyi düğüm ilavesi yöntemi ile 710,236 mm'dir. Bu sonuç en yakın nokta metodu ve en yakın nokta metodunun üzerine uygulanmış olan ikili optimizasyon yöntemi ile elde edilen çözümden de daha iyi bir sonuçtur.

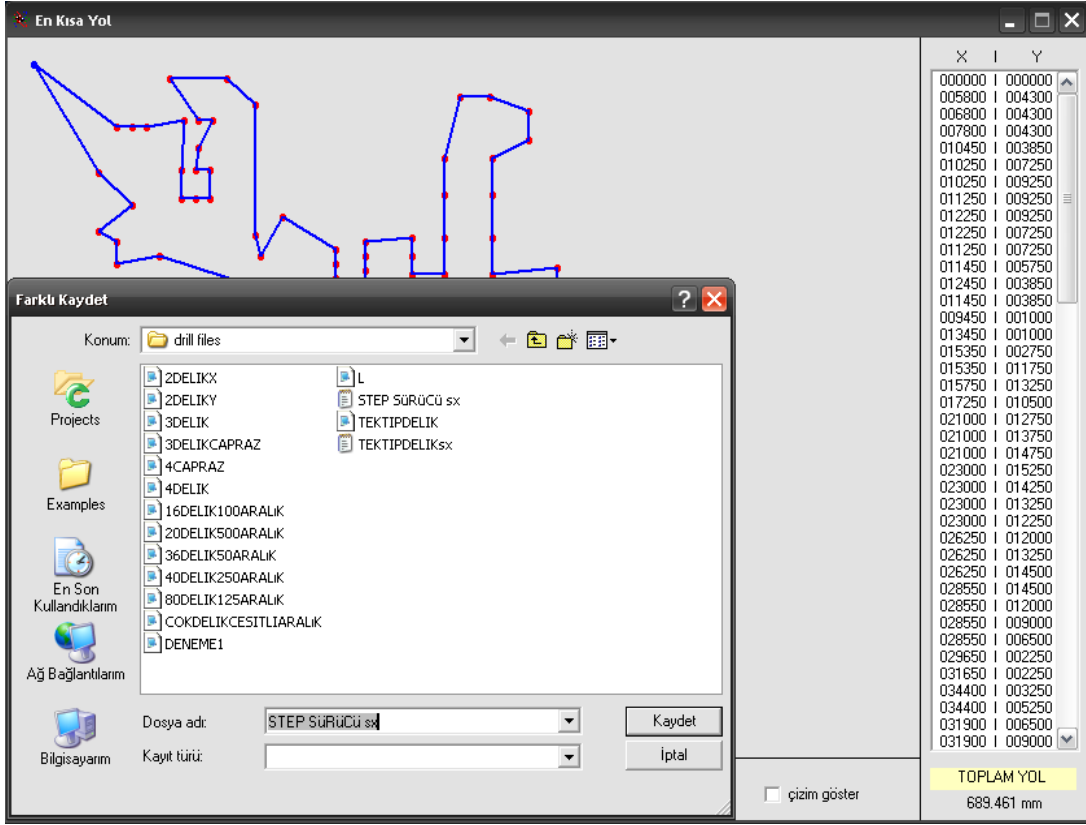
En iyi düğüm ilavesi ile elde edilen çözüme “İkili optimizasyon” butonuna basarak ikili optimizasyon yöntemini bir kez uyguladığımızda, çözüm şekil 6.20’de gösterildiği gibi iyileşme gösterir.



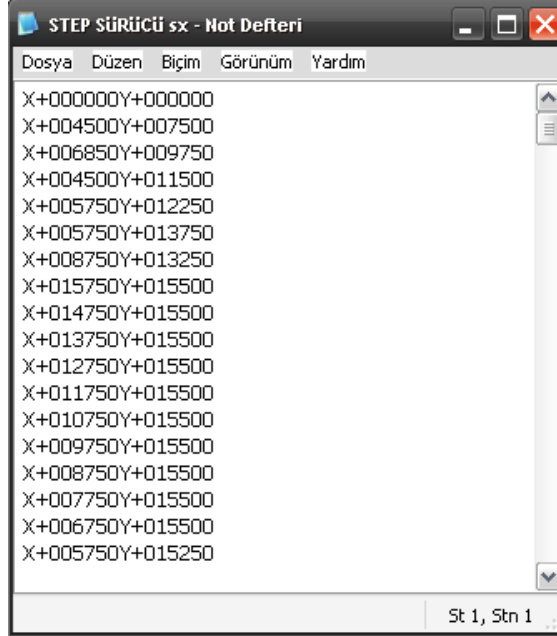
Şekil 6.20 En iyi düğüm ilavesi yöntemi üzerine ikili optimizasyon uygulaması

Elde edilen toplam yol uzunluğu 689,461 mm ye düşmüştür. Uygulanan yöntemlerle bu örnek için elde edilen en iyi sonuç budur ve en iyi düğüm ilavesi yönteminin ardından ikili optimizasyon yönteminin uygulanması ile elde edilmiştir. Bu sonuca göre sıralanmış olan koordinat listesini farklı bir dosya olarak kaydetmek için “Kaydet” butonuna basılır ve ekranda standart dosya kaydetme penceresi açılır. Oluşturulan yeni listeyi PC içerisinde istediğimiz yere, .txt veya .drl dosya uzantısıyla kaydedebiliriz.

Şekil 6.21’de dosya kayıt penceresi gösterilmektedir.



Şekil 6.21 Dosya kayıt penceresi

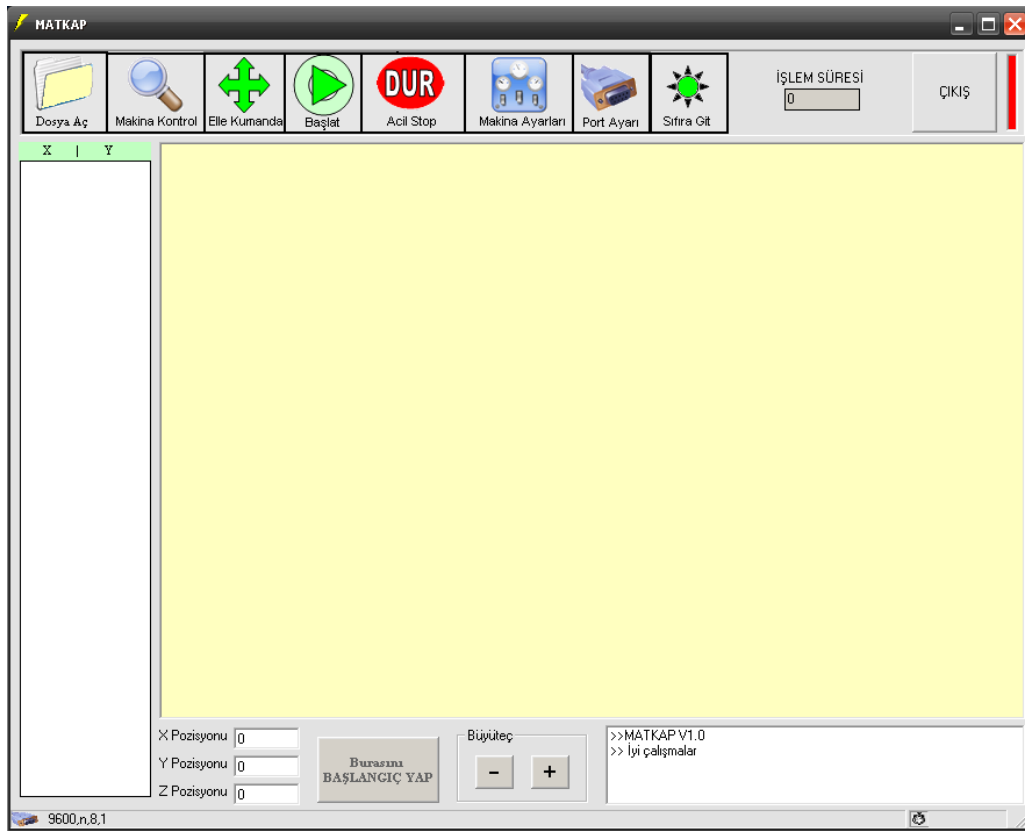


Şekil 6.22 Delik koordinatlarının yol yöntemleri ile sıralandıktan sonra kaydedilmesi

## BÖLÜM 7

### BİLGİSAYAR ARA YÜZ PROGRAMI

Bilgisayar ara yüz programının hazırlanması için “Visual Basic” programlama dili kullanılmıştır. Yüksek seviye programlama dili olan “Visual Basic” windows iletişim sistemi ile çok uyumlu olması ve görsel yapıların çok kolay oluşturulabilir olmasından dolayı tercih edilmiştir. Ara yüz programı çalıştırıldığında bilgisayar ekranında şekil 7.1’de gösterilen kullanıcı için açılan pencere gösterilmektedir.

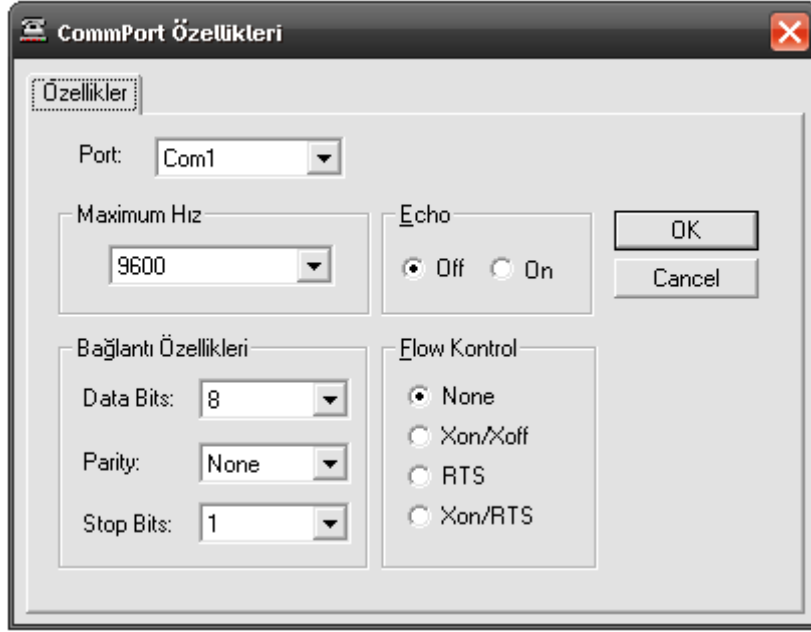


Şekil 7.1 Ara yüz programı ana pencere

Ekranda açılan pencerenin üst tarafında kullanıcının hizmetine sunulmuş (Dosya Aç, Makine Kontrol, Elle Kumanda, Başlat, Acil Stop, Makine Ayarları, Port Uyarı, Sıfıra Git) 8 adet buton vardır ve üzerlerinde bilgisayar faresinin bir kez tıklanması ile çalıştırılabilir şekilde yapılandırılmışlardır. Butonlarından bazılarının çalışması koşullara bağlıdır ve her bir buton anlatılırken bu koşullar açıklanacaktır. Programın kapatılması için pencerenin sağ üst köşesine bir adet "ÇIKIŞ" butonu yerleştirilmiştir. Pencerenin sağ tarafına dayalı olarak bulunan "X | Y" penceresinde, açılacak olan delgi dosyasındaki X-Y koordinatları tutulmaktadır. Pencerenin ortasındaki geniş alanda ise, açılacak olan delgi dosyasındaki X-Y koordinatlarının şekilsel olarak gösterimi yapılmaktadır. Pencerenin alt tarafında X-Y-Z koordinatlarının aktif olarak bulunduğu yerleri gösteren 3 adet bilgi kutucuğu ( X pozisyonu, Y pozisyonu, Z pozisyonu ) bulunur. Bu kutucukların hemen sağında matkabın mevcut pozisyonunun "0" noktası olarak kabul edilmesini sağlayan " Burasını BAŞLANGIÇ YAP" butonu, pencerenin ortasındaki geniş alanda gösterilecek olan delik şekillerinin boyutunun değiştirilmesini sağlayan büyüteç butonları ve kullanıcıyı bilgilendirmek amacıyla yapılan işlemleri ekrana yazan bir bilgilendirme kutucuğu bulunmaktadır. En altta sol köşede port ayarlarını gösteren bir bilgilendirme yazısı ve sağ alt köşede bir zaman sayacı bulunmaktadır.

### **7.1 Port Ayarları Sekmesi**

Bilgisayar ile kontrol kartı arasındaki seri haberleşmenin sağlanabilmesi için, ara yüz programı açıldıktan sonra yapılacak ilk iş port ayarlarını kontrol etmektir. Port ayarları butonuna bastığımızda karşımıza şekil 7.2'de gösterilen port ayarları penceresi gelir.

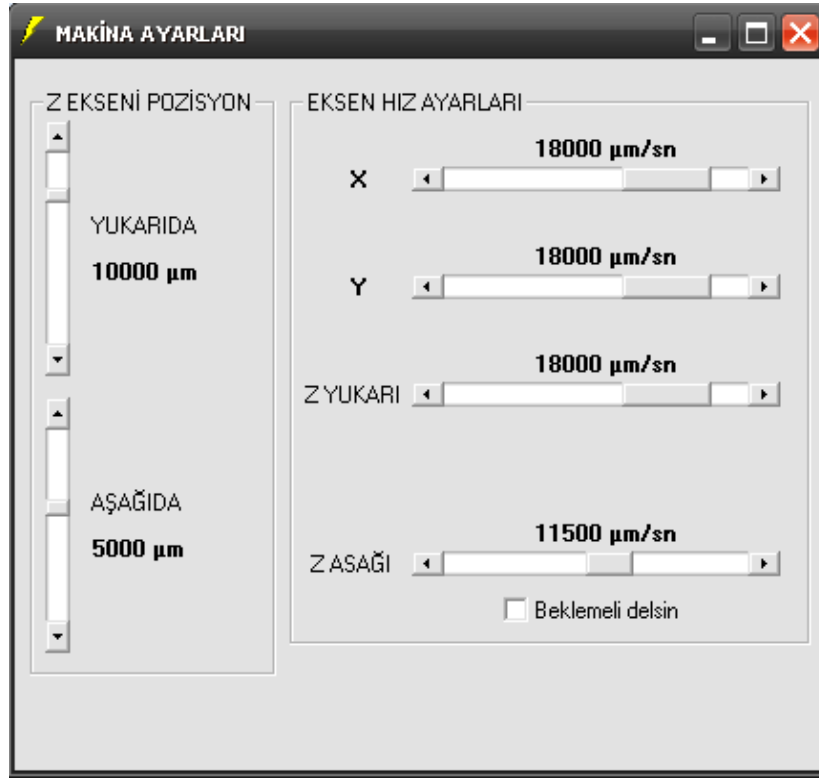


Şekil 7.2 Port ayarları penceresi

Karşımıza gelen penceredeki seçili olan değerler projemiz için kullanılacak olan kabul edilen değerlerdir. Kullanıcı ara yüz programı ilk açıldığında bu değerler sırası ile açılan pencerenin en alt sağ köşesinde de gösterilmektedir.

## 7.2 Makine Ayarları Sekmesi

Makine ayarları , kontrol edeceğimiz X,Y,Z eksenlerinin hız ayarlarının yapılması, Z ekseninin gideceği mesafe bilgilerini ve delme şeklinin beklemeli olup olmayacağını belirlemek için kullanılır. Dikey eksende hareket eden Z eksenin hareketi ikiye ayrılmıştır. Otomatik delme işlemi sırasında Z eksen, delinecek olan kartın yerleştirilmesinden sonra, sıfır noktasından belli bir mesafeye kadar delme işlemi başlangıcında indirilir ve bu noktadan referans ile tüm delikler delinir. Delme işleminin bitmesinden sonra Z eksen tekrar sıfır noktasına çekilir. Bu işlem sayesinde zamandan tasarruf edilmiş olunur. Bu sebepten dolayı Makine ayarları penceresinde Z eksen için , “YUKARIDA” ve “AŞAĞIDA” olmak üzere iki pozisyon bilgisi seçme bölümü, iki adette Z YUKARI , Z AŞAĞI şeklinde hız seçme bölümü konulmuştur. Şekil 7.3'te makine ayarları penceresi gösterilmektedir.



Şekil 7.3 Ara yüz programı port ayarları penceresi

Hız birimi olarak  $\mu\text{m/sn}$  , eksen hareket mesafe birimi olarak  $\mu\text{m}$  kullanılmaktadır. Pencere ekrana geldiğinde üzerindeki değerler makinemiz için kabul edilen değerlerdir. Pozisyon ve hız bilgilerinin değişimi sürgü üzerindeki oklar veya değiştirilmek istenen yönde sürgü üzerine fare tıklaması ile gerçekleştirilir.

Makine ayarları bölümünde yapılan ayarlar , elle kumanda kısmında yaptırılacak hareketler için geçerli değildir.

### 7.3 Makine Kontrol Butonu

Makine kontrol butonu , bilgisayar ile kontrol kartı arasında haberleşmenin sağlanıp sağlanmadığını kontrol etmek amacı ile kullanılır. Eğer haberleşme sağlandı ise bilgilendirme ekranında makine hazır yazısı çıkacaktır ve kullanıcı ekranının sol üst köşesindeki kırmızı kutucuk yeşile dönecektir. Eğer makine kontrol butonuna basıldıktan sonra 2 sn içerisinde haberleşme sağlanamaz ise ekrana şekil 7.4'te gösterilen, haberleşmenin sağlanamadığına dair bir uyarı yazısı gelecektir.

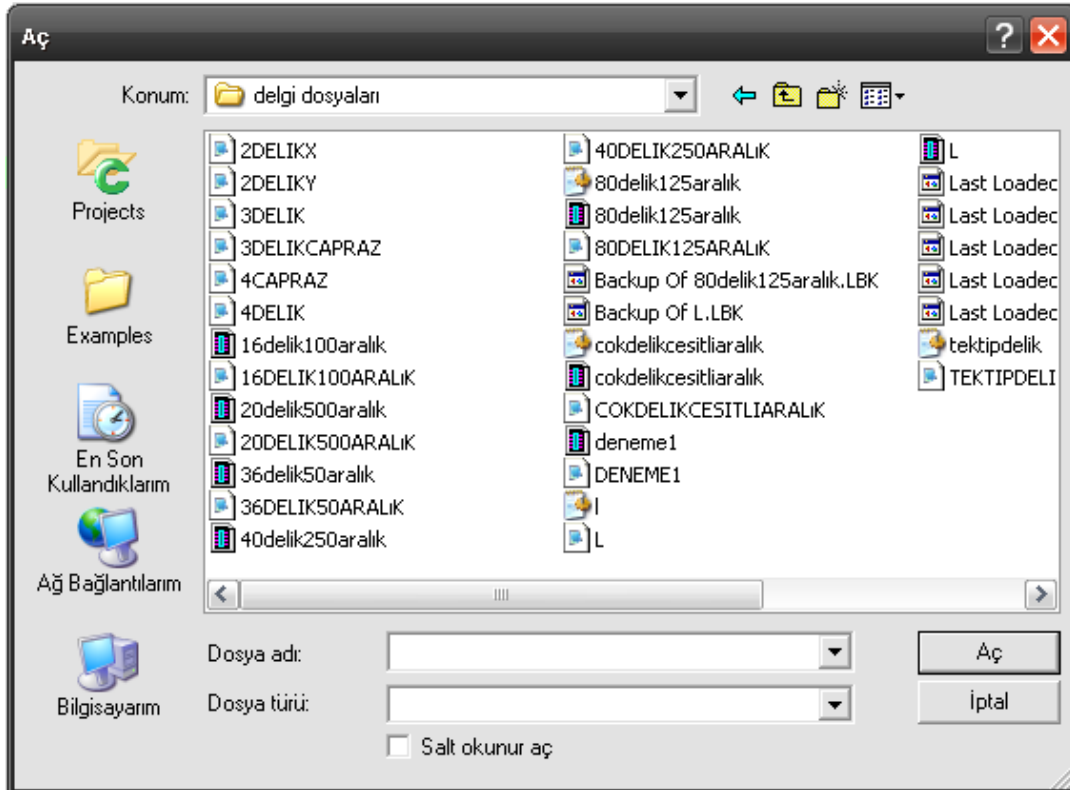


Şekil 7.4 Ara yüz programı haberleşme durumu uyarı penceresi

Haberleşmenin sağlanamamasının sebebi, port ayarlarının yanlış olması, bilgisayar ile kontrol kartı arasındaki seri port bağlantı kablosunun problemlili olması, bağlantı soketlerinin birbirine düzgün bağlanamaması, bilgisayarın portunun arızalı olması, kontrol kartının arızalı olması gibi problemler olabilir. Problemi gidermek için kontroller yapıp tekrar deneme yapılmalıdır.

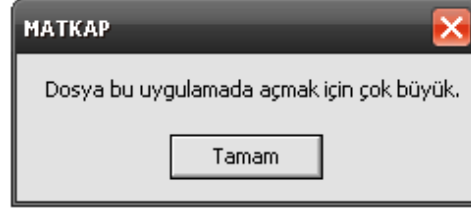
#### 7.4 Dosya Aç Sekmesi

Dosya aç butonuna basıldığında , windows işletim sisteminde varsayılan olan ve şekil 7.5'te gösterilen dosya açma penceresi karşımıza gelecektir.



Şekil 7.5 Ara yüz programı dosya açma penceresi

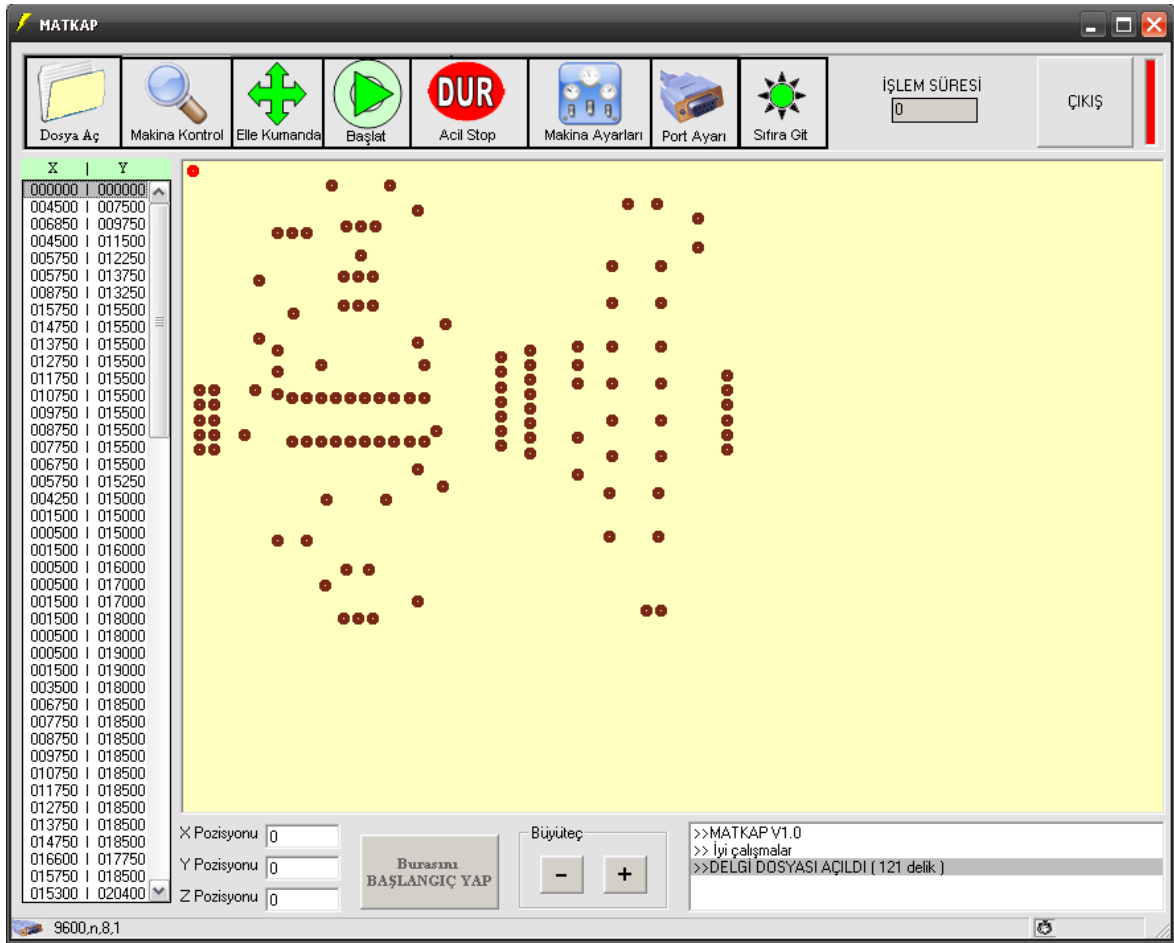
Bilgisayar ara yüz programımızda açılacak olan dosyanın , baskı devre çizim programlarından oluşturulmuş olan ve çizimde kullanılan deliklerin koordinatlarını gösteren text uzantılı delgi dosyaları olması gerekmektedir. Projemiz için, “Proteus” baskı devre çizim programından üretilmiş delgi dosyaları kullanılmıştır. Eğer yanlış bir dosya veya boyutu ara yüz programımızda açılmayacak kadar büyük bir dosya seçilir ise, ekranda şekil 7.6’da gösterilen uyarı penceresi açılır.



Şekil 7.6 Ara yüz programı dosya boyutu uyarı penceresi

Bu durumda “Tamam” tıkanıp yeniden dosya açma işlemi gerçekleştirilmelidir. Yalnızca elle kumanda bölümünden işlem yaptırılacak ise, herhangi bir dosya açmanın gereği yoktur.

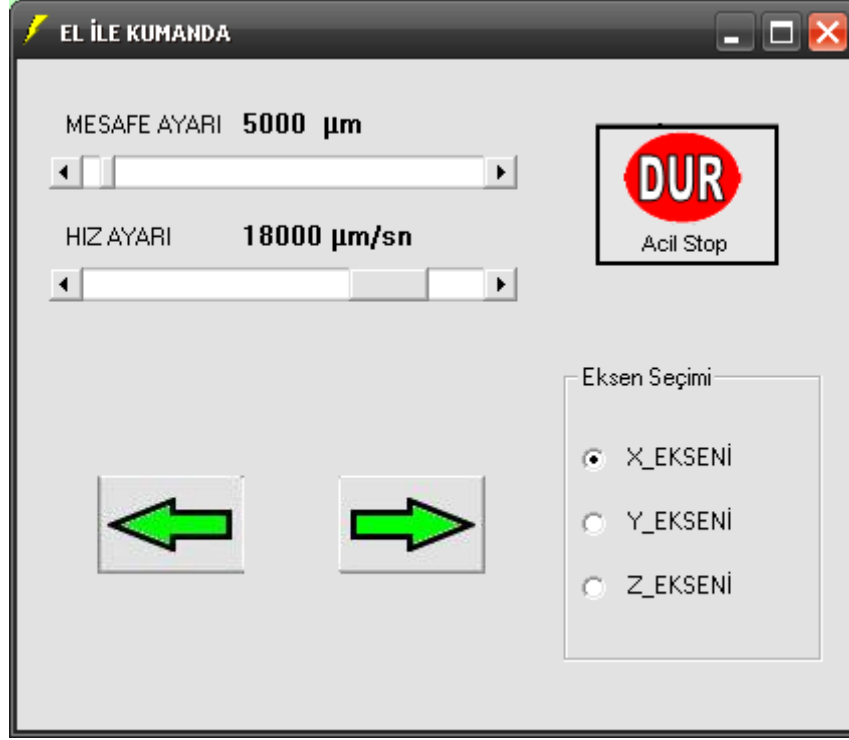
Uygun dosyalardan biri açıldıktan sonra delik koordinatları açılan dosyadan okunur ve deliklerin koordinatları sayısal olarak X | Y sütunlarına yazılır. Aynı zamanda koordinatları verilen deliklerin yerleşimi kullanıcı programının ortasındaki geniş alanda şekilsel olarak ta gösterilir. Açılan dosyada kaç adet delik olduğu sağ alt köşedeki bilgilendirme ekranında kullanıcıya yazılı olarak bildirilir. Şekil 7.7’de örnek olarak açılmış bir dosyanın kullanıcı programında gösterimi verilmiştir.



Şekil 7.7 Ara yüz programı, açılmış örnek delgi dosyası

## 7.5 Elle Kumanda Sekmesi

Elle kumanda butonunun aktif olarak kullanılabilmesi için , önce makine kontrol butonu aracılığıyla bilgisayar ile kontrol kartı arasında haberleşmenin olup olmadığı sorgusu yapılmalıdır. Eğer haberleşme sağlanmış ise elle kumanda butonu kullanılabilir hale gelir. Elle kumanda butonu fare ile tıklandığında ekrana şekil 7.8’de gösterilen el ile kumanda penceresi açılacaktır.



Şekil 7.8 Ara yüz programı el ile kumanda penceresi

Elle kumanda penceresi açıldığında varsayılan değer olarak X eksen seçilidir. Ok tuşları ile , bu pencerede belirtilmiş olan hız ile yine bu pencerede belirtilmiş olan mesafe kadar eksene hareket yaptırılır. Eksenleri, hareket hızını, hareket mesafesini, matkap motorunun çalışıp çalışmayacağını bu pencereden değiştirebilme yetisi kullanıcıya sunulmuştur. Açılan pencerede, ana pencerede olduğu gibi bir acil stop butonu bulunmaktadır.

Makine ayarlarından yapılan hız ve pozisyon bilgileri bu pencere açık iken geçerli değildir. Elle kumanda penceresi , delinecek kart matkabın altına yerleştirildikten sonra , eksenlerin sıfır noktasının tespiti için kullanılır. Deliklerin doğru olarak delinebilmesi için, baskı devre çizim programında belirlenen sıfır noktası ile , matkabın X-Y eksenlerinin sıfır noktası aynı olmalıdır.

## 7.6 Sıfıra Git Butonu

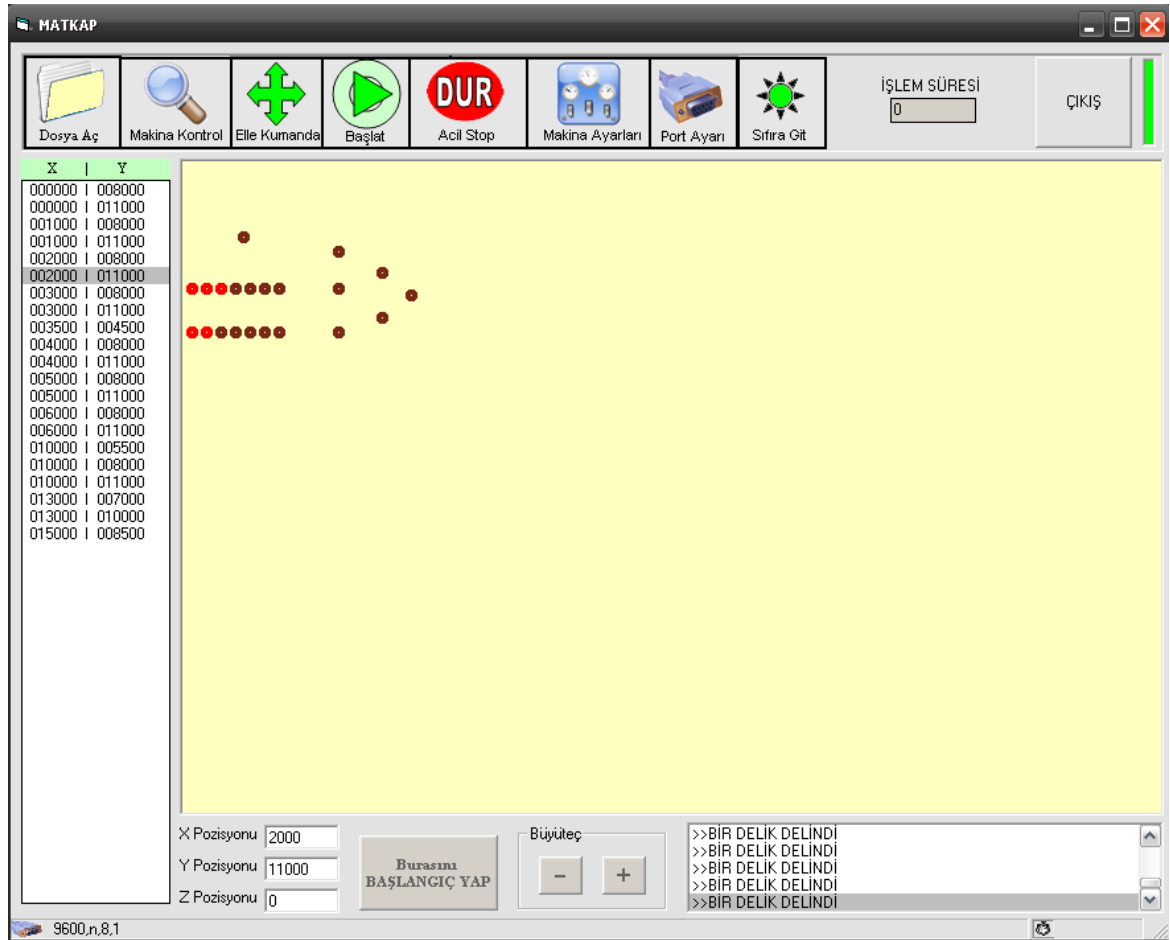
Bilgisayarda hazırladığımız ara yüz programı ilk olarak çalıştırıldığında, eksenlerimizin pozisyonları neresi ise, bu noktalar o eksenler için sıfır noktası olarak varsayılır. Gerekli görüldüğü durumlarda elle kumanda penceresinden eksenlerin pozisyonları değiştirilip,

yeni bir nokta sıfır noktası olarak belirlenebilir. Sıfıra Git butonuna basıldığında eksenlerimiz hangi pozisyonda olurlarsa olsunlar, son olarak tespit edilmiş olan sıfır noktasına geri dönerler. Yine bu butonunda aktif olarak kullanılabilmesi için bilgisayar ile kontrol kartı arasındaki haberleşmenin olduğu makine kontrol butonu ile doğrulanmış olmalıdır.

### **7.7 Başlat Butonu**

Başlat butonu, otomatik olarak delme işlemini başlatan butondur. Bu butonun aktif olarak kullanılabilmesi için, bilgisayar ile kontrol kartının arasındaki haberleşmenin doğrulanmasının yanı sıra , bir delgi dosyasının da dosya aç butonu aracılığı ile açılmış olması gerekmektedir. Dosya açılıp delikler delinmeye başladıktan sonra , delinen her bir delik , ana pencerenin ortasındaki çizim ekranında kırmızı renge dönüştürülür. Böylece kullanıcı delinen delikleri bilgisayar ekranından görsel olarak ta takip edebilecektir. X-Y eksenlerinin yazılmış olduğu listede ise, o anda delinmekte olan delik seçili olarak gösterilecektir.

Şekil 7.9'da otomatik delme işlemi sırasında alınmış bir ekran görüntüsü örnek olarak verilmiştir.



Şekil 7.9 Delme işlemi gerçekleşirken gösterilen örnek delgi dosyası

## 7.8 Acil Stop Butonu

Acil stop butonu eksenler hareket halinde iken aktif olarak kullanılabilen bir butondur ve olası tehlike oluşturabilecek bir durumda kullanıcının tüm eksenlerdeki motorların enerjilerini ani olarak keserek hareketi durdurmasını sağlar. Ara yüz programındaki ana pencerenin yanı sıra, elle kumanda penceresinde de bir adet bu butondan konulmuştur. Programda diğer açılan pencerelerde eksenlerin hareketi söz konusu olmadığından bu pencerelere konulmamıştır. Acil stop butonu ile eksenler durdurulur ise, yeniden işlem yapabilmek için kontrol kartı üzerinden kullanıcının PIC mikrokontrolörü de resetlemesi gerekmektedir. Bu işlem için kontrol kartı üzerine bir buton konulmuştur.

## **7.9 Çıkış Butonu**

Çıkış butonu ara yüz programının kapatılmasını sağlar.

## **7.10 X|Y Liste Penceresi**

Dosya aç butonu ile açılmış olan delgi dosyasındaki deliklerin koordinatlarını listeler. Otomatik delme işlemi sırasında, delinmekte olan deliğin koordinatı listede seçili pozisyonudur.

## **7.11 X-Y-Z Pozisyon Penceresi**

Eksenlerin sıfır noktasına göre hangi koordinatlarda olduğunun kullanıcı tarafından takip edilmesini sağlarlar.

## **7.12 Burasını Başlangıç Yap Butonu**

Kullanıcı tarafından istenilen bir noktanın sıfır noktası yapılabilmesi için, eksenlerin istenilen noktaya getirilmesinin ardından bu butona basılması yeterlidir. Eksenler hareket halinde iken aktif olarak kullanılamaz durumdadır.

## **7.13 Büyüteç Sekmesi**

Bu sekmede bulunan "+" ve "-" butonları ile ana pencerede açılmış olan delgi dosyasının görsel şeklinin boyutlarını değiştirmek mümkündür. Delgi dosyası açıldıktan sonra aktif olarak kullanılabilir duruma gelir.

## **7.14 Bilgilendirme Sekmesi**

Ana pencerenin sağ alt kısmında bulunan bu ekran kullanıcıya makinede meydana gelen olaylarla ilgili bilgi aktarır.

## **7.15 İşlem Süresi Kutucuğu**

Otomatik delme işleminin başlangıcından bitimine kadar olan süreyi göstermek amaçlı kullanılmaktadır.

## BÖLÜM 8

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan çalışmada elektronik baskı devre çizim programlarından elde edilen text uzantılı delgi dosyalarından kullanılacak olan bilgilerin okunma işlemi , bilgisayarda Visual Basic yazılım dili ile oluşturulan ara yüz programı ile gerçekleştirilmiştir. Benzer şekilde oluşturulacak ara yüz programları ile delgi dosyalarının haricinde, iki boyutlu ve üç boyutlu çizim programlarının ürettiği bilgi dosyaları da değerlendirilebilir. CNC tezgahlarının kullandığı G kodları ve M kodlarının değerlendirilebilmesi için bu çalışma bir alt yapı oluşturmuştur.

Çizelge 8.1 Farklı beş delgi dosyası için elde edilen sonuçlar

NOKTA SAYISI	120	209	221	78	21
İLK YOL MESAFE TOPLAMI (mm)	1997	3026	1259	1103	145
ENYAKIN NOKTA YÖNTEMİ (mm)	742	1258	762	629	141
EN YAKIN NOKTA + İKİLİ OPTİMİZASYON (mm)	724	1232	762	623	141
EN İYİ DÜĞÜM İLAVESİ (mm)	710	1239	801	554	111
EN İYİ DÜĞÜM İLAVESİ + İKİLİ OPTİMİZASYON(mm)	<b><u>689</u></b>	<b><u>1205</u></b>	<b><u>759</u></b>	<b><u>547</u></b>	<b><u>111</u></b>
TOPLAM YOLDAKİ KISALMA (%)	66	60	40	50	23

Delgi işlemine başlamadan önce, delinecek noktaların sıralaması için “Gezgin Satıcı Problemi” çözüm metodlarından, en yakın nokta yöntemi, en iyi düğüm ilavesi ve ikili optimizasyon çözümleri, noktaların matkap motoru ile dolaşılması sırasında kat ettiği toplam yolu kısaltmak için kullanılmış ve toplam yolun ortalama % 50 seviyelerine kadar kısalabildiği görülmüştür.

Çizelge 8.2 Benzer kartezyen robotlar ile özellik karşılaştırması

MAKİNA MODELİ	MAKİNA RESMİ	HASSASİYET	HIZ	TSP
PCB CNC Router JCUT-3030		0.025mm	4200mm/dk	YOK
PCB CNC Router JCUT-1212A		0.01mm	4000mm/dk	YOK
PCB CNC Router JCUT-4040		0.025mm	4000mm/dk	YOK
LPKF ProtoMat H100		0,25 µm	150 mm/sn	YOK
LPKF ProtoMat E33		0.8 µm	50 mm/sn	YOK
LPKF ProtoMat X60		1 µm	100 mm/sn	YOK
Gerçekleştirilen Çalışma		0.025mm	1200mm/dk	<b>VAR</b>

Bu çalışmada bilgisayarın portlarının kullanılarak veri haberleşmesi yapılabilmesi, daha kapsamlı kontrol projelerinde de bilgisayar ile kontrolün alt yapısını oluşturmuştur.

Mikrokontrolör, gerek bilgisayar ile olan iletişimi için, gerekse step motor sürücülerine göndereceği komutlar için ayrıca assembler yazılım dili ile programlanmış, ve mikrokontrolör programlama yetkinliği kazanılmıştır. Bazı PLC uygulamaları yerine, çok ucuz maliyetler ile mikrokontrolörlerin kullanılabilmesi görülmüştür.

Örnek olarak, tasarladığımız kontrol kartı ile aynı işlevleri yaptırabileceğimiz Siemens firmasının 24 dijital giriş ve 16 dijital çıkışa sahip 1 adet S7 200 CPU ve 2,5A 24V güç kaynağı fiyatlarını karşılaştırdığımızda oluşan mali fark açıkça görülmektedir.

Çizelge 8.3 PLC ve mikrokontrolör maliyet karşılaştırması

SİEMENS PLC SITOP 2,5A 24V GÜÇ KAYNAĞI	6EP1-332-2BA10	230 TL
SİEMENS PLC S7 200 CPU 226 24I/16O	6ES7 216-2AD23-OXBO	1200 TL
TOPLAM		1430 TL
MİKROKONTROLÖRLE TASARLADIĞIMIZ KONTROL KARTI FİYATI		<b><u>20 TL</u></b>

Mikrokontrolörün bulunduğu kontrol kartı ve step motorların sürücü kartları, elektronik devre şemaları tasarlandıktan sonra , elektronik baskı devreleri hazırlanıp çıkartılmış ve hazırlanan kart üzerine elektronik malzeme montajı gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sırasında elektronik baskı devre dizaynı , hazırlanan dizaynın pratik olarak oluşturulması, kullanılacak olan kimyasal malzemeler, çift yönlü prototip kart oluşturulması konusunda tecrübe sahibi olunmuş ve bundan sonra oluşturulacak olan çalışmaların kartlarının hazırlanması konusunda altyapı oluşturulmuştur.

Kontrolü yapılacak olan tezgahın mekanik tasarımı gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilen tasarımın oluşum aşamasında kullanılan torna, freze ve CNC tezgahlarının kullanımı gözlemlenmiştir. Çalışmamızın kendisinde küçük çaplı bir CNC tezgah olduğundan, daha gelişmiş yapılar için fikir sahibi olunmuştur.

Gerçekleştirilen bu çalışmada tam adım kontrol yöntemi kullanılarak, minimum hareket olarak step motorun bir adımı kullanılmış ve bu uygulama için 25µm'lik hassasiyet elde edilmiştir. Daha hassas uygulamalar için mikro adımlama yöntemi kullanılarak bu hassasiyet 32 katına çıkartılabilir. Bu hassasiyetinde yeterli olmadığı uygulamalarda step motorlar yerine servo motorlar kullanılabilir ve geri beslemenin güçlendirilmesi için kullanılan motorlar enkoder ile takip edilebilir. Yaptığımız çalışma bu fikirlerin oluşmasında öncülük etmiştir.

Ayrıca gerçekleştirilen bu çalışma yalnızca delik delmek amaçlı kullanılmaktadır. Oluşturulan yapı geliştirilerek, çizim yapma , üç boyutlu şekil işleme özellikleri kazandırılabilir. Örneğin piyasada kullanılan elle kumandalı torna tezgahları, bilgisayar kontrollü hale dönüştürülebilir. Otomotiv sektöründe bir çok başlık kullanılarak oluşturulan ultrasonik plastik kaynak makineleri tek başlıkla çalıştırılarak bu başlığa, oluşturduğumuza benzer bir kontrol sistemi uygulanabilir.

## KAYNAKLAR

---

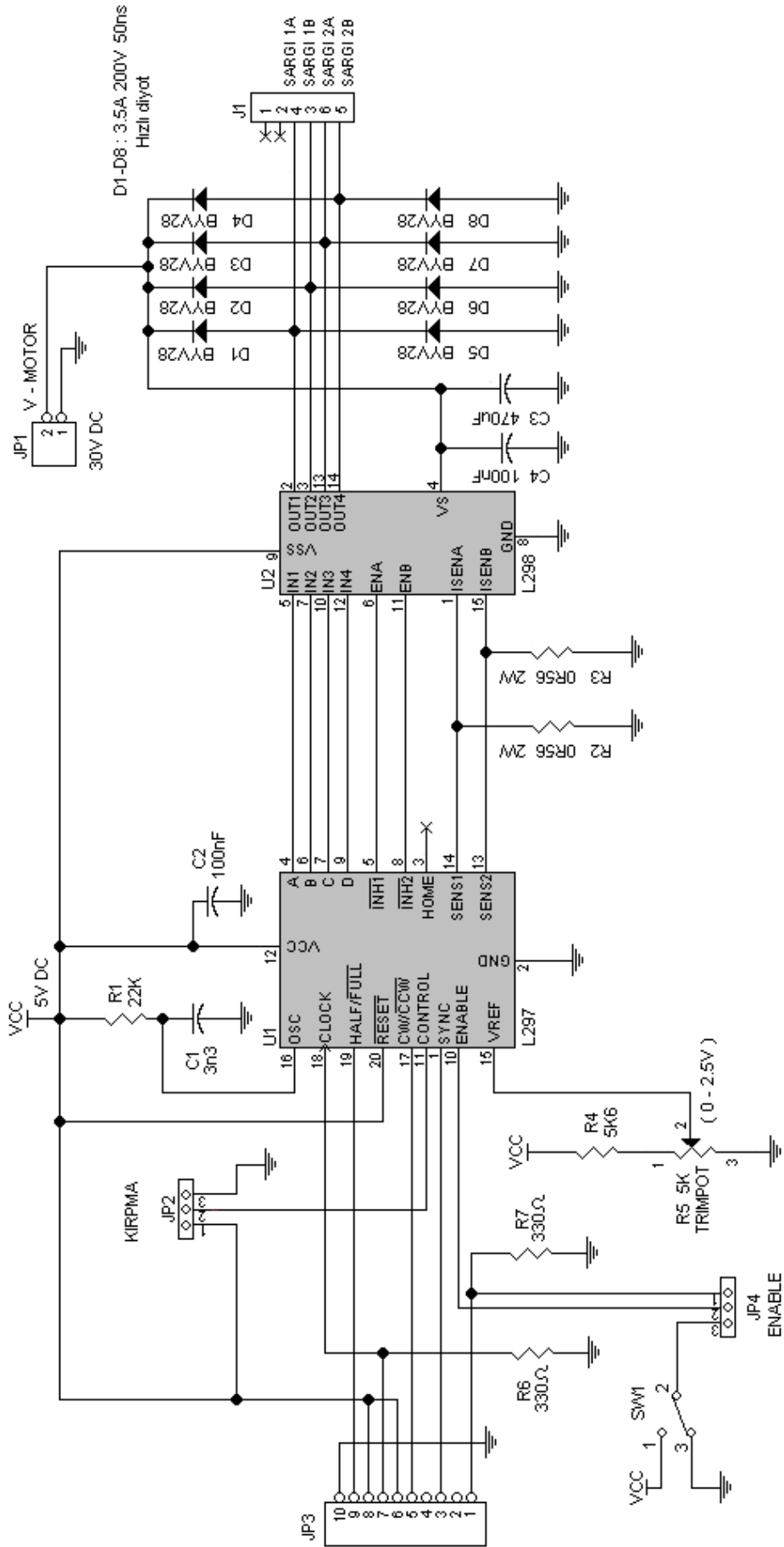
- [1] EN ISO 8373: (1994) Manipulating industrial robots
- [2] Dika "Robot Definition" [http:// dira.dk/Portals/0/Robotter/robotdef.pdf](http://dira.dk/Portals/0/Robotter/robotdef.pdf), 27 Mart 2011
- [3] Akkurt M. (2000). "Makine Elemanları" İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- [4] Bozacı A. (2001). "Makine Elemanlarının Projelendirilmesi" Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları, İstanbul
- [5] Zeki Şen İ. ve Bora H. (2007). "Solid Works 2008" De-Ha Yayınları, İstanbul
- [6] ST Application Note, " Stepper Motor Driving" <http://microchip.com>, 10 Ocak 2011
- [7] ST Application Note, " Dual Full-Bridge Driver" <http://microchip.com>, 10 Ocak 2011
- [8] Bodur Y. (2001). "Adım Adım PIC micro Programlama" Era Bilgi Sistemleri Yayınları, İstanbul
- [9] Dinçer G. (2001). "PIC Mikrokontrolör Uygulama Devreleri" Era Bilgi Sistemleri Yayınları, İstanbul
- [10] Microchip Technology Inc. (2001). "Microchip, PICmicro, Mid-Range MCU Family Reference Manual" <http://microchip.com>, 10 Ocak 2011
- [11] Microchip Technology Inc. (2001). "Microchip, PICmicro, PIC16F87X Data Sheet 28/40-pin 8-Bit CMOS FLASH Microcontrollers" <http://microchip.com>, 10 Ocak 2011
- [12] Microchip Technology Inc. (2001). "Microchip, PICmicro, PIC 16F87X, EEPROM Memory Programming Specification" <http://microchip.com>, 10 Ocak 2011

- [13] "Maxim Semiconductor MAX232 Data Sheet" <http://microchip.com>, 20 Kasım 2010
- [14] Akın C. (1999). "Visual Basic 6 Temel Kullanım Kılavuzu" Alfa Yayınları, İstanbul.
- [15] D.S. Johnson and L.A. McGeoch, (1995). "The Traveling Salesman Problem: A Case Study in Local Optimization".
- [16] Kwangcheol Shin (2009). "A Geometrical Center based Two-way Search Heuristic Algorithm for Vehicle Routing Problem with Pickups and Deliveries" Journal of Information Processing Systems, 5(4).
- [17] Pei-Chann Chang , Wei-Hsiu Huang and Ching-Jung Ting (2010). "Developing a varietal GA with ESMA strategy for solving the pick and place problem in printed circuit board assembly line" Springer Science+Business Media.

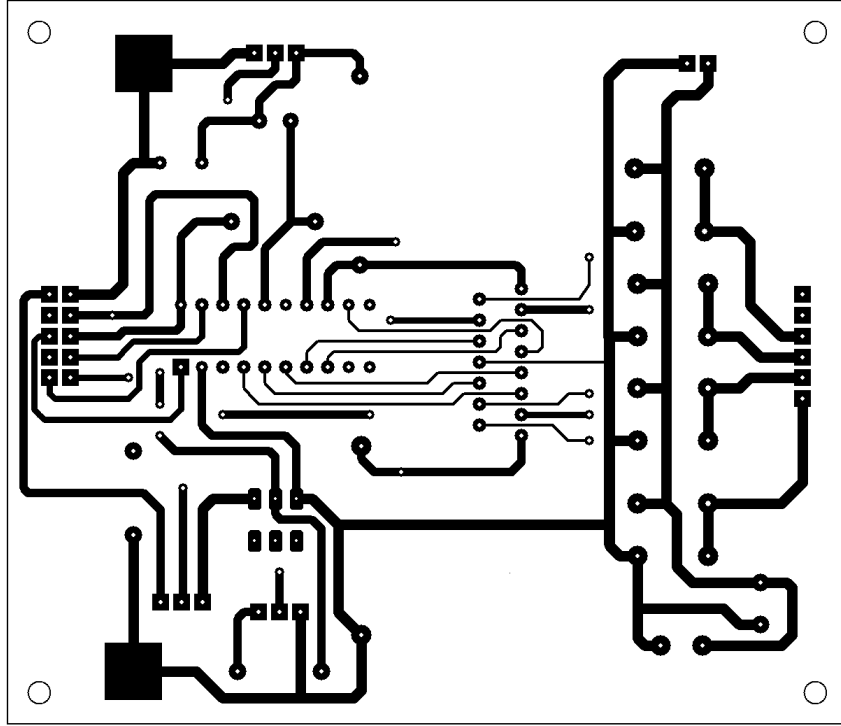
**EK-A**

---

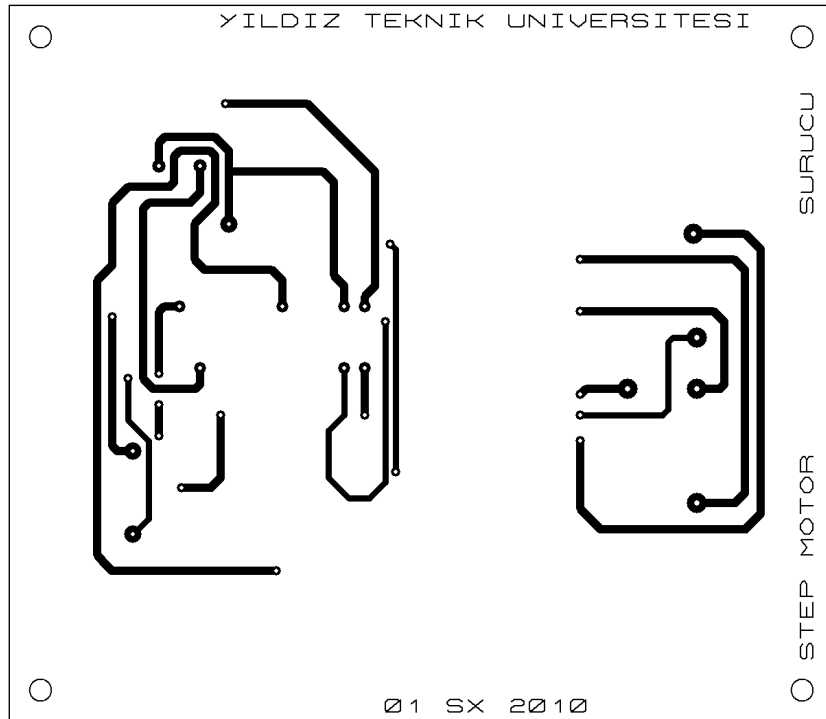
## **STEP MOTOR SÜRÜCÜ ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİMLERİ**



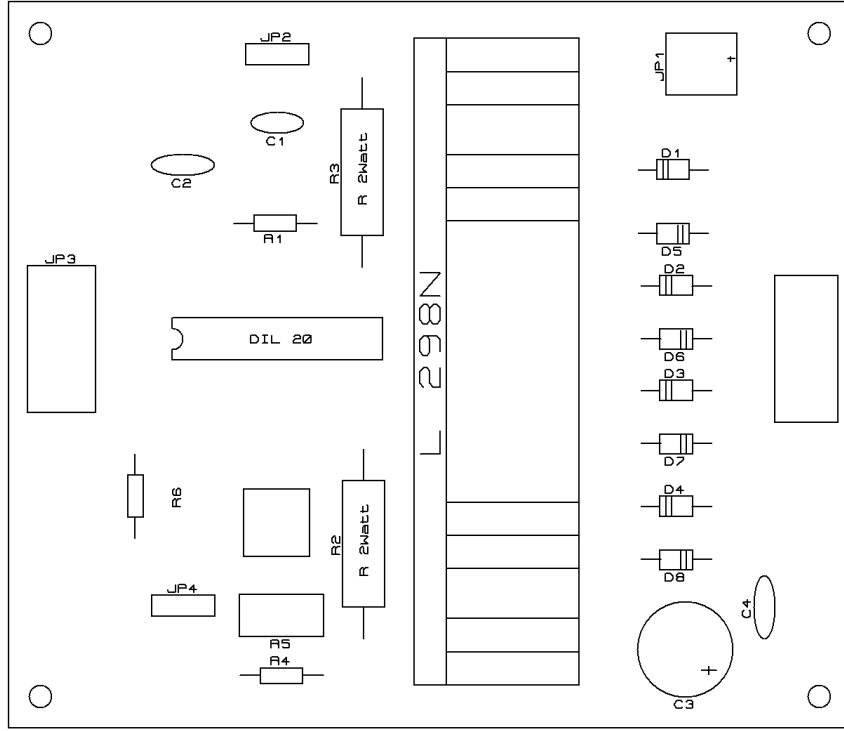
Ek-A Şekil 1 Step motor sürücü açık devre şeması



Ek-A Şekil 2 Step motor sürücü alt baskı devre



Ek-A Şekil 3 Step motor sürücü üst baskı devre



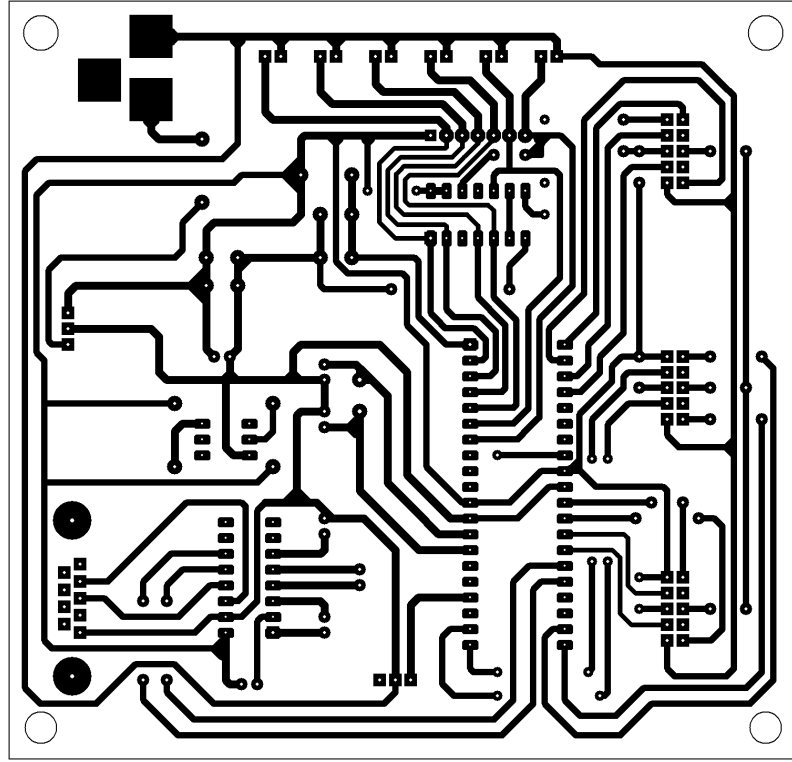
Ek-A Şekil 4 Step motor sürücü baskı devre malzeme yerleşimi

**EK-B**

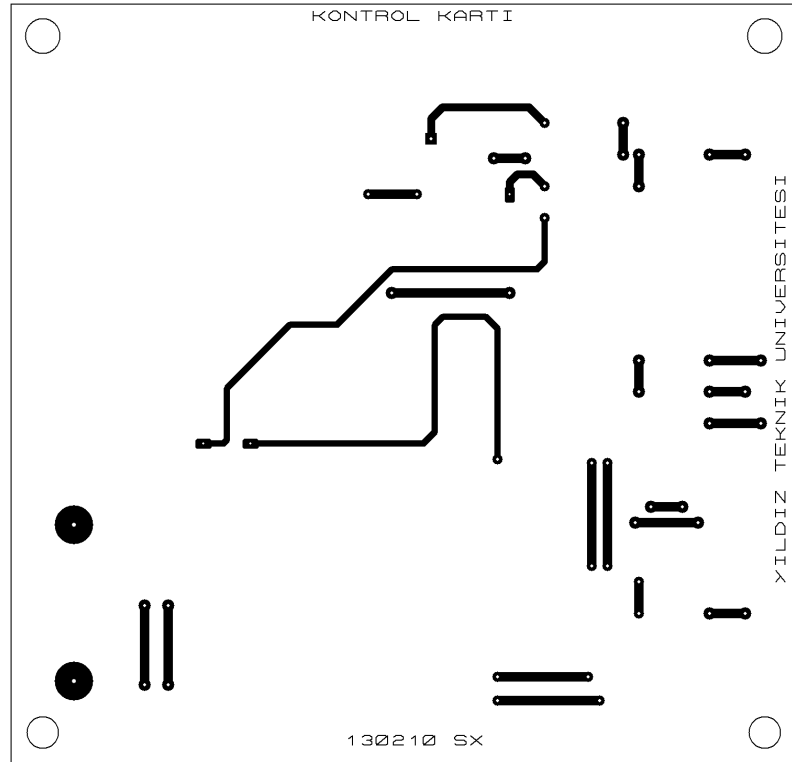
---

**KONTROL KARTI ELEKTRONİK DEVRE ÇİZİMLERİ**





Ek-B Şekil 2 Kontrol kartı alt baskı devre



Ek-B Şekil 3 Kontrol kartı üst baskı devre



## ÖZGEÇMİŞ

---

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Semih ÖNGİR  
**Doğum Tarihi ve Yeri** : 03.02.1976 / Kocaeli  
**Yabancı Dili** : İngilizce  
**E-posta** : s.ongir@gmail.com

### ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2011
Lisans	Elektronik Mühendisliği	İstanbul Üniversitesi	1999
Lise	Elektronik Bölümü	Kocaeli Teknik Lisesi	1993

### İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2006 - .....	Türk Pirelli Lastikleri A.Ş.	Bakım Mühendisi
2003-2006	Teksonik End.Mak. ve San.A.Ş.	AR-GE Mühendisi