

**ENSTRÜMANTASYON VE HIZLI PROTOTİPLEME  
UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK DÜŞÜK  
MALİYETLİ BİR CNC TEZGÂHI GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF A COST-EFFICIENT CNC SYSTEM  
FOR INSTRUMENTATION AND RAPID PROTOTYPING  
APPLICATIONS**

**AHMET CİHAN AKINCA**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2006



**ENSTRÜMANTASYON VE HIZLI PROTOTİPLEME  
UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK DÜŞÜK  
MALİYETLİ BİR CNC TEZGÂHI GELİŞTİRİLMESİ**

**DEVELOPMENT OF A COST-EFFICIENT CNC SYSTEM  
FOR INSTRUMENTATION AND RAPID PROTOTYPING  
APPLICATIONS**

**AHMET CİHAN AKINCA**

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

ELEKTRİK ve ELEKTRONİK Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2006

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Başkan :.....  
Prof.Dr. Işık ÇADIRCI

Üye (Danışman) :.....  
Doç.Dr. Uğur BAYSAL

Üye :.....  
Yrd. Doç.Dr. Erkan AFACAN

Üye :.....  
Yrd. Doç.Dr. Mehmet DEMİRER

Üye :.....  
Dr. Cenk TOKER

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Ahmet R. ÖZDURAL  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*ođlum Sinan'a*

# ENSTRÜMANTASYON VE HIZLI PROTOTİPLEME UYGULAMALARINDA KULLANILABİLECEK DÜŞÜK MALİYETLİ BİR CNC TEZGÂHI GELİŞTİRİLMESİ

**Ahmet Cihan Akınca**

## ÖZ

Bu tezde hızlı prototip üretiminde kullanılabilecek, düşük maliyetli bir CNC tezgâhi tasarlanması ve gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Sistem tasarlanmadan önce başlıca hızlı prototipleme metodları incelenmiş, incelenen metodlar arasından, donanım ekipmanlarının daha düşük maliyetler gerektiriyor olmasından dolayı Fused Deposition Modelling (FDM) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem, termoplastik malzemenin eriyik halde dökülmesi sureti ile prototip oluşturmaktadır.

Gerçekleştirilen CNC tezgâhi, sisteme x, y ve z doğrultularında hareket kabiliyeti sağlamak üzere kurulmuş olan üç eksen ve eritilen termoplastik malzemenin uygun hız ve miktarda dökülmesini sağlayan kafa kısmından oluşmaktadır. Her eksen, bir adım motoru ve bu adım motorunun miline direkt olarak bağlı bir sonsuz vidadan oluşmaktadır. Kafa kısmında ise malzemenin akışını denetleyen bir DC motor mevcuttur.

Sistemin yazılımı bilgisayar ve mikroişlemci yazılımları olmak üzere iki kısımdan oluşur. Bilgisayarda hazırlanan uygulama yazılımı prototip üretimi için gerekli komutları seri port üzerinden mikrodenetleyici tabanlı kontrol kartına iletilir. Kontrol kartı, adım motoru sürücü ve DC motor sürücü devreleri yardımıyla motorların kontrolünü gerçekleştirir.

Sonuç olarak, gerçekleştirilen sistem, PCB çizimi ve Hızlı Prototip (HP) üretimi olmak üzere iki farklı alanda kullanılabilir. PCB çizici, bilgisayar ortamındaki bir resmi, kâğıt, bakır, tahta vb. gibi bir yüzeye tek renkli olarak çizebilmektedir. HP sistemi ise katı bir cismin prototipini, cismin bilgisayar ortamında hazırlanan üç boyutlu modelini kullanarak oluşturmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Hızlı prototipleme, FDM, CNC, BDT / BDÜ, Adım motoru kontrolü, DC motor kontrolü.

Danışman: Doç.Dr. Uğur Baysal, Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

# **DEVELOPMENT A COST-EFFICIENT CNC SYSTEM FOR INSTRUMENTATION AND RAPID PROTOTYPING APPLICATIONS**

**Ahmet Cihan Akınca**

## **ABSTRACT**

In this thesis, we aimed to design and implement a cost-efficient CNC machine which can be used in rapid prototyping projects. Before designing the system, we examined various rapid prototyping methods and reached a conclusion that we should use FDM method because of its acceptable equipment costs. In this method, prototype is formed by fusing deposition of thermoplastic material to the board.

Implemented CNC machine is composed of three axes, which gives CNC machine the ability to move in three directions, and an additional head part which controls the decomposition rate of thermoplastic material. Every axis is composed of a step motor and a lead screw connected directly to the shaft of this step motor. For the head part, there is a DC motor placed to control material flow to the board.

There are two software implementations in the project; PC software and microcontroller software. Former is for the simulation and control of machine from the PC and latter for the control of machine by the help of a microcontroller. PC software analyzes the prototype drawing and sends appropriate commands to build-up the model in accordance with the drawing while microcontroller handles the motor controlling via the use of DC and step motor drives.

In conclusion, we may use the implemented system for two different tasks, for either PCB drawing or Rapid Prototyping (RP). For PCB drawing purposes, the system may produce a scalable version of a monochrome BMP, which can be read via serial port from a PC, on proper surfaces like paper or a copper plate using a convenient marker for the surface. On the other hand, RP mechanism is capable of composing a prototype via a specially designed extruder from a 3D model prepared in any computer environment.

**Keywords:** Rapid prototyping, FDM, CNC, CAD/CAM, Step motor control, DC motor control.

Advisor: Assoc. Prof. Uğur Baysal, Hacettepe University, Department of Electrical and Electronics Engineering

## **TEŞEKKÜR**

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde katkılarından dolayı, aşağıda adı geçen kişilere içtenlikle teşekkür ederim.

Sayın Doç.Dr. Uğur Baysal, çalışmanın sonuca ulaştırılmasında ve karşılaşılan güçlüklerin aşılmasında yön gösterici olmuş ve tez çalışmasının gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlamıştır.

Sayın Faruk AKYÜZ çalışmanın tasarlanması aşamasında tecrübeleriyle yol gösterici olmuş ve çalışmanın yürütülebilmesi için gerekli olanakları sunmuştur.

Sayın Çağlar AKYÜZ bilgisayar yazılımının tasarlanması ve gerçekleştirilmesi süreçlerinin yanı sıra çeviri konularında yardımcı olmuştur.

Sayın Mustafa Kömürcü sistem donanımının gereksinimlerinin karşılanmasında yardımcı olmuştur.

Bu çalışmada kullanılan bilgisayar sistemi Hacettepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimi 04 01 602 007 no.lu proje desteği ile temin edilmiştir.

Kullanılan mekanik sistem ise Alper Yıldırım tarafından tasarlanıp imal edilmiştir.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. HIZLI PROTOTİPLEME TEKNOLOJİSİ.....	4
2.1. Tarihsel Gelişim.....	6
2.2.Hızlı Prototipleme Süreç Zinciri.....	7
2.3. Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri.....	8
2.3.1.Stereolithography (SL).....	8
2.3.2.Katı Tabaka Kurutma (SGC-Solid Ground Curing).....	11
2.3.3.Seçici Lazer Sinterleme (SLS - Selective Laser Sintering).....	12
2.3.4. Tabakalı Cisim İmalatı (LOM-Laminated Object Manufacturing).....	14
2.3.5. Eritilmiş Malzeme Yığıma (FDM-Fused Deposition Modelling).....	15
2.3.5.1. FDM Sistemin Çalışması.....	16
2.4. Hızlı Prototipleme Sistemlerinde kullanılan bilgisayar dosya yapıları.....	22
2.5. Tersine Mühendislik.....	24
2.6. Hızlı Prototip Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması.....	25
3. HIZLI PROTOTİPLEME SİSTEMİNİN TASARLANMASI.....	27
3.1.Mekanik Sistem Tasarımı.....	28
3.1.1.CNC makinası tasarımı.....	28
3.1.2.Eritici kafanın tasarımı.....	34

3.2.Elektronik Devre Tasarımları.....	38
3.2.1.Adım motor sürücü devresi tasarımı.....	38
3.2.2.DC motor sürücü devresi tasarımı.....	41
3.2.3.Kontrol kartı tasarımı.....	42
3.4.Yazılım Tasarımı.....	43
3.4.1 PC yazılımı.....	43
3.4.2 Mikrodenetleyici yazılımı.....	46
3.4.3.Grafik kullanıcı arayüzü.....	50
3.5. Sistem maliyeti.....	51
4. UYGULAMALAR.....	52
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	63
KAYNAKLAR.....	65
EK AÇIKLAMALAR.....	67
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	102

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**

ABS	: Acrylonitrile Butadiene Styrene
ASCII	: American Standard Code for Information Interchange
BDT	: Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ	: Bilgisayar Destekli Üretim
BMP	: Bitmap Dosya Formatı
CNC	: Computer Numerical Control
FDM	: Fused Deposition Modelling
HP	: Hızlı Prototipleme
HPÜ	: Hızlı Prototip Üretim
IGES	: Initial Graphics Exchange Specification
LOM	: Laminated Object Manufacturing
NC	: Numerical Control
NURBS	: Non-Uniform Rational B-Spline
PCB	: Printed Circuit Board
PWM	: Pulse width modulation
SL	: Stereolithography
SLS	: Selective Laser Sintering
SGC	: Solid Ground Curing
STL	: Stereolithography Dosya Formatı

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1 Önerilen Hızlı Prototipleme Sistemi.....	2
Şekil 2.1 Tabakalı üretim.....	4
Şekil 2.2 HPÜ sistemlerinin süreç zinciri.....	7
Şekil 2.3. Stereolithograpy yöntemi.....	8
Şekil 2.4. Stereolithograpy yöntemiyle elde edilmiş insan kafatası ve el iskeleti.....	10
Şekil 2.5. SGC sistemi.....	11
Şekil 2.6. Cubital Firması tarafından SGC yöntemiyle üretilmiş bir model.....	12
Şekil 2.7. SLS sistemi.....	13
Şekil 2.8. 3T şirketi tarafından SLS yöntemiyle üretilen çim biçme makinası parçası.....	14
Şekil 2.9. LOM sisteminin şematik görünümü.....	15
Şekil 2.10. LOM yöntemiyle oluşturulmuş bir model.....	15
Şekil 2.11. Scott Crump tarafından yapılan patent çizimi.....	16
Şekil 2.12. FDM çalışma prensibi.....	17
Şekil 2.13. FDM kafası ve tabakalama işlemi.....	17
Şekil 2.14. FDM kafası ve elemanları.....	18
Şekil 2.15. Staratasys tarafından üretilen bir FDM sistemi.....	20
Şekil 2.16. FDM yöntemiyle üretilen ürünler.....	20
Şekil 2.17. Katı bir cisim ve STL modeli.....	23
Şekil 3.1. Sistemin genel yapısı.....	28
Şekil 3.2. HPÜ sisteminde kullanılan mini-CNC makinasında her bir eksenin yapısı.....	30
Şekil 3.3. HPÜ sisteminde kullanılan mini-CNC makinası.....	31
Şekil 3.4. Sistemin genel görünümü.....	33
Şekil 3.5. Sistemin üstten görünümü.....	33
Şekil 3.6. Toz halindeki termoplastik malzemeye göre tasarlanmış olan bir eritici kafa.....	34
Şekil 3.7. Staratasys tarafından tasarlanan bir eritici kafa.....	35
Şekil 3.8. Tasarlanan eritici kafa.....	36
Şekil 3.9. Gerçekleştirilen eritici kafa.....	37
Şekil 3.10. L297 ve L298'li standart adım motoru sürücüsü.....	40
Şekil 3.11. DC motor sürücü prensip şeması.....	41

Şekil 3.12. Kontrol kartı blok şeması.....	43
Şekil 3.13. PC yazılımı blok diyagramı.....	44
Şekil 3.14. Dönüştürme biriminin fonksiyonel şeması.....	45
Şekil 3.15. Adım motor sürücü altyordamının akış şeması.....	48
Şekil 3.16. DC motor sürücü altyordamının akış şeması.....	49
Şekil 3.17. Grafik kullanıcı ara birimi.....	50
Şekil 4.1. Kağıt üzerine çizilen Atatürk portresi.....	52
Şekil 4.2. PCB A – 5.....	53
Şekil 4.3. PCB A-5 , bakır yüzey üzerine asetat kalem ile çizilen şekil.....	54
Şekil 4.4. DC motor sürücü PCB şeması.....	54
Şekil 4.5. Hacettepe arması.....	55
Şekil 4.6. Çift kat çizilmiş geometrik şekil.....	55
Şekil 4.7. Yaylı kalem mekanizması.....	56
Şekil 4.8. Model – A autocad çizimi.....	57
Şekil 4.9. Model - A, tabakalara göre kafa hareketi.....	58
Şekil 4.10. Model – A.....	59
Şekil 4.11. Model – A yandan görünüm.....	60
Şekil 4.12. Model – B autocad çizimi.....	61
Şekil 4.13. Model – B, tabakalara göre kafa hareketi.....	61
Şekil 4.14. Model – B.....	62
Şekil E.1. Temel azaltan kıyıcı devresi.....	68
Şekil E.2. DR adım motoru.....	70
Şekil E.3. 4-fazlı SM adım motoru.....	71
Şekil E.4. Karışık yapıli adım motorunun yapısı.....	72
Şekil E.5. Seri bağlantı portu ve uç tanımları.....	74

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1: Hızlı prototipleme ve ilgili teknolojilerin tarihsel gelişimi.....	6
Çizelge 2.2. Bazı HPÜ teknolojilerinin yeterlilikleri yönüyle karşılaştırılması.....	26
Çizelge 3.1 Geliştirilen HP sisteminin maliyeti .....	51
Çizelge E.1. Adım motorda tek-faz uyarımın faz uyarım sıralaması.....	72
Çizelge E.2. Adım motorda İki-faz uyarımın faz uyarım sıralaması.....	73
Çizelge E.3. Adım motorda yarım adım (karma) uyarımın faz uyarım sıralaması...	74

## 1. GİRİŞ

Prototip, geliştirilmek istenen bir ürünün ya da bir parçanın orijinal ilk örneği anlamına gelir. Ürün geliştirme sürecinde prototip üretim aşaması ürün tasarımının güvenilirliğinin test edilmesi, eksikliklerin tespit edilerek giderilmesi ve ürüne son halinin verilebilmesi açısından kaçınılmaz bir aşamadır. Seri üretim aşamasına geçmeden önce üretilmesi gereken örnek ilk ürün, yani prototip, çoğu zaman kayda değer zaman ve maliyetler gerektirmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikte firmaların rekabetçi kalabilmelerinin en önemli koşullarından biri de prototip üretimi için gereken süreyi ve gereken prototip maliyetlerini kısaktır. Bununla birlikte üretici güçlerin gittikçe gelişmesi ürünlerin pazarda kalma sürelerinde azalma meydana getirmekte ve rekabet koşullarını zorlaştırmakta dolayısıyla ürün geliştirme süresi ve ürünü pazara sürme süresinin kısılmasını gerektirmektedir. Bu da prototip üretim aşamasının önemini arttırmaktadır. Prototiplerin üretilme amaçları kısaca şöyle sıralanabilir;

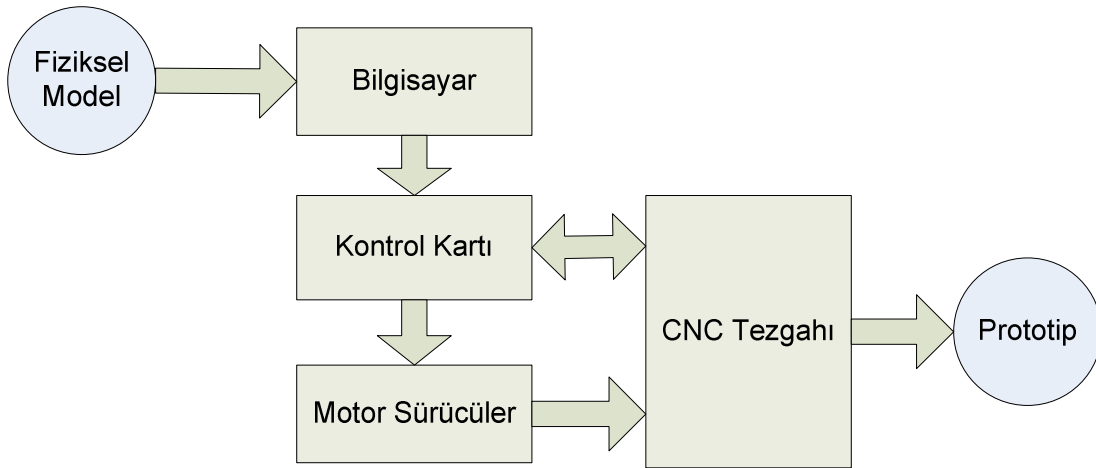
- 1) Deneme ve bilgi edinme
- 2) Test etme ve sınama
- 3) İletişim ve etkileşim
- 4) Tümleme ve sentez
- 5) Düzenleme

Ürün geliştirme veya bilgisayar destekli tasarım sürecinde ürün prototipinin bilgisayarda hazırlanan üç boyutlu model bilgisine uygun olarak hızlı bir şekilde üretiminin gerçekleştirilmesini sağlayan teknolojilere Hızlı Prototip Üretim (HPÜ) teknolojileri (bazı kaynaklarda oto inşa teknolojileri) ve bu sistemlere de Hızlı Prototipleme (HP) sistemleri denilmektedir. Ticari ya da ticari olmayan, laboratuvarlarda geliştirme aşamasında olan birçok HPÜ teknolojisi mevcuttur. Bu teknolojiler ürünün görsel ve fiziksel olarak seri üretime hazır olup olmadığının anlaşılmasına ve ürün üzerinde son analizleri yapmaya imkân tanımaktadır.

Prototip maliyetlerinin düşük olması ve prototip üretim süresinin kısa olmasının yanı sıra hızlı prototip yapan cihazların maliyetleri de elbette önemlidir.

Günümüzde 15 farklı firma 50'den fazla HPÜ sistemi üretmektedir ve bu sistemlerin maliyetleri \$25.000 ile \$800.000 arasında değişmektedir (home.att.net/~castleisland/rp\_int1.htm, 2006). HPÜ sistemlerinin böylesine yüksek maliyetlere sahip olmasından dolayı bilimsel araştırma çalışmaları yapmakta olan kurumlar prototip ihtiyaçlarını karşılamakta zorlanmaktadır. Örneğin, uygulamalı bilimler veya mühendislik fakültesi bölümlerinin son sınıflarında olan ve bitirme projesi yapmaya çalışan öğrenciler de fikirlerini prototip olarak gerçekleştirmek istediklerinde bütçelerine uygun bir imalatçı bulamamaktadırlar. Sonuçta, öğrenciler ve aileleri için eğitim maliyetleri artmakta veya maddi durumu uygun olmayanlar eğitimleri sırasında uygulamalı projelerden kaçınarak yeteneklerinin körelmesi durumu ile karşı karşıya kalabilmektedirler. Bununla beraber üniversitede yapılan uygulamalı araştırmalarda her zaman bir-iki adet prototip üretilmesi gerekmektedir ve birçok bölümde çalışma odasının (workshop) olmaması veya iyi işletilememesi nedeniyle istenen düzeyde prototip üretimi yapılamamaktadır.

Bu çalışmada, uygulamalı araştırma kurumları, KOBİ'ler, ürün geliştiricileri ve hatta kişiler için uygun olabilecek bilgisayarlı nümerik kontrol (CNC) yaklaşımını bir hızlı prototipleme sisteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu sistem öncelikle elektronik devre baskı devre üretimi için tasarlanıp denenmiş, daha sonra da sisteme basınçlı termoplastik itici kafa birimi eklenerek HP sistemi haline dönüştürülmüş ve ilk ürünler elde edilmiştir. Önerilen HP sisteminin blok şeması Şekil 1.1'de görülmektedir.



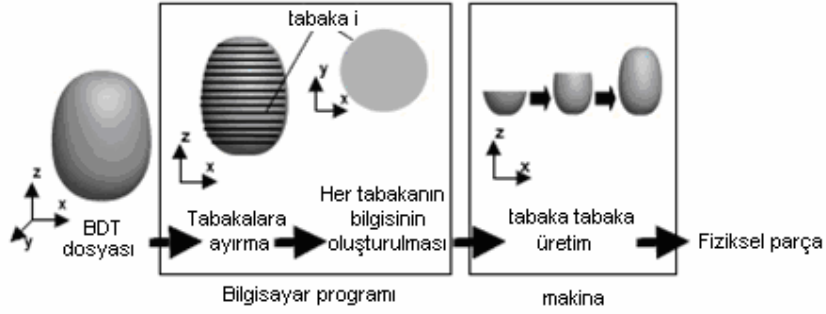
Şekil 1.1. Önerilen Hızlı Prototipleme Sistemi

Çalışmamızın ileriki bölümlerinin içeriği aşağıda yer almaktadır:

- Bölüm 2’de HP sistemleri ile ilgili yapılan literatür araştırması neticesinde elde edilen bilgiler yer almaktadır,
- Bölüm 3’de gerçekleştirilen sisteminin mekanik ve elektronik donanım ve yazılım tasarımları ele alınmıştır,
- Bölüm 4’te uygulamalar ve elde edilen örnekler incelenmiştir,
- Bölüm 5’te çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir

## 2. HIZLI PROTOTİPLEME TEKNOLOJİSİ

Geleneksel yöntemler hammaddeden tabaka kaldırma esasına dayanırken yeni prototip üretim teknolojileri hammaddeye tabaka ekleme esasına dayanarak ürünün aynısını kopyalamaktadır (Chua,2003). Uzun zamandan beri bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmasına rağmen ancak son 15 – 20 yıldır bu sektörde ticari cihazlar geliştirilebilmiştir. Şekil 2.1’de fiziksel bir parçanın tabaka tabaka üretilmesinin esasları görülmektedir.



Şekil 2.1. Tabakalı üretim (Özkan İlkün)

Bir HPÜ sisteminde genel olarak aşağıdaki aşamalar vardır:

1. Parçanın BDT (Bilgisayar Destekli Tasarım) modelinin oluşturulması,
2. STL dosya formatına dönüştürülmesi,
3. Parçanın z ekseninin belirlenip, destek yapıların oluşturulması,
4. Parça ve desteklerin belirlenen z ekseninde dilimlenmesi,
5. Gerekli işleme parametrelerinin seçimi
6. Prototipin üretilmesi,
7. Prototipin alınıp son işlemlerin yapılması,
8. Gerekli ise çeşitli hassas döküm yöntemleri ile daha iyi mekanik özelliklere sahip prototiplerin üretilmesi (Yağmur, 1997).

Hızlı Prototipleme sistemlerinin kullanılmasındaki avantajlar dört grupta incelenebilir:

1. Hızlı Prototipleme sistemlerini kullanan fabrika ve şirketlerin elde ettikleri faydaların sayısı oldukça fazladır. Bu faydalardan birincisi; objelerin çok kısa süre içinde elde edilmesi ve denenmesidir. Son 25 yılda piyasaya sürülen ürünlerin hemen hemen hepsinde şekilsel karmaşıklıklar artmıştır. Fakat buna karşın bu projelerin tamamlanma süreleri artmamıştır. 1970'lerde dört hafta süren bir projenin tamamlanması, 1980'lerde 16 haftaya çıkmış, fakat BDT/BDÜ ve CNC teknolojilerinin gelişmesiyle proje tamamlanma süreleri sekiz haftaya inmiştir. Hızlı Prototipleme sistemlerin gelişmesiyle de bu süre üç haftaya düşmüştür ([www.infotron.com.tr](http://www.infotron.com.tr)).
2. Ürün tasarımcıları parça karmaşıklığını çok kısa sürede ve az bir maliyetle arttırabilmekte, değiştirebilmekte ve müşterinin talebine göre, optimum parça dizaynını elde etmek amacıyla, belirli kısıtlar getirmektedirler. Sonuç olarak, parça sayısını azaltarak, birkaç prototip üzerinde hatalar, eksiklikler görülebilmekte ve düzeltilebilmektedir. Hızlı Prototipleme teknolojileri tasarım aşamasında da birçok fayda sağlamaktadır; örneğin, talaşlı işleme esnasında zorluk gösteren çok küçük açılı veya delikler, Hızlı Prototipleme yöntemleri ile çok rahatlıkla imal edilebilmekte, malzeme açısından, dayanım/ağırlık oranları işleme maliyetine bağlı kalmaksızın tayin edilmektedir. Bunların ötesinde teknoloji zaman açısından da büyük tasarruf sağlamaktadır.
3. En temel fayda maliyet yönündendir. İmalat mühendisleri, imal edilecek parçanın tasarım ve üretim maliyetlerini minimize edebilmekte, imalat için işçiliği, kontrol ve montaj için de maliyeti azaltabilmektedirler.
4. Dolaylı faydalar satıcıya ve müşteriye olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Satıcıya sağlanan fayda; ürünün pazara çıkma süresinin kısaltılması, dolayısıyla risklerin azaltılması yönündedir. Birkaç yıla yönelik müşteri talebi, ihtiyacı veya piyasa dinamiğinin değişkenliği ile ilgili planlar yapmaya gerek yoktur. Çünkü önceden de belirtildiği gibi Hızlı

Prototipleme sistemleri ürün üzerindeki değişikliğe çabuk adapte olan sistemlerdir. Ayrıca, ürünler müşteri talebini çok iyi karşılamakta ve yeni ürünler çok ekonomik olarak test edilip pazara sürülebilmektedir. Müşteri açısından ise, müşteri kendi arzu ve talebini karşılayan ürünü çok rahatlıkla uygun fiyata alabilmektedir, çünkü çok geniş bir sunum aralığı sağlamaktadır.

## 2.1. Tarihsel Gelişim

Zamanla kişisel bilgisayar ve mini bilgisayarların maliyetlerindeki azalma fabrikaların üretim yapısını da değiştirmiştir. Bilgisayar kullanımındaki artış, Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), Bilgisayar Destekli Üretim (BDÜ) ve CNC makineleri gibi bilgisayar teknolojisi ile ilgili alanlardaki gelişmeyi de tetiklemiştir. Hızlı Prototip Üretim (HPÜ) sistemlerinin ortaya çıkması da özellikle BDT teknolojilerinin varlığına bağlıdır. Fakat günümüzde geliştirilen ve kullanılan HPÜ sistemlerini incelediğimizde, bu gelişmenin yalnızca BDT teknolojilerine bağlı olmadığını, bunun yanısıra malzeme bilimindeki, elektronikteki ve diğer bazı üretim alanlarındaki gelişmelerin BDT teknolojilerindeki gelişmelerden daha öncelikli olduklarını görmekteyiz. Aşağıdaki tabloda HPÜ teknolojileriyle tamamlayıcı olan teknolojilerin tarihsel olarak yaklaşık başlangıç yılları verilmiştir.

Çizelge 2.1: Hızlı prototipleme ve ilgili teknolojilerin tarihsel gelişimi (Chua, 2003)

Yıl	Teknoloji
1770	Mekanizasyon
1946	İlk bilgisayar
1952	İlk Nümerik Kontrol makinası
1960	İlk ticari Lazer
1961	İlk ticari Robot
1963	İlk İnteraktif Grafik Sistemi (BDT'nin ilk sürümü)
1988	İlk ticari HPÜ sistemi

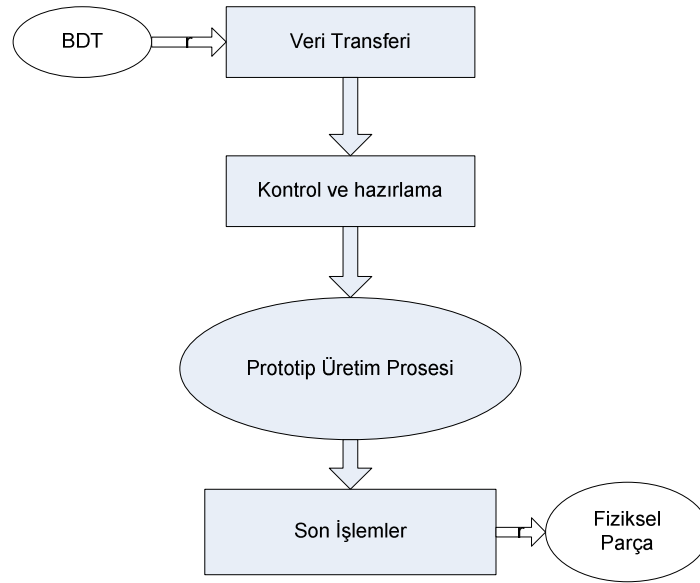
1980'lerin başlarında A.Herbert (3M Corp. Minneapolis), Kodame (Nagoya Prefecture Research Institute, Japan) ve Charles Hull'ın (Ultra Violet Products Inc, California), birbirlerinden bağımsız olarak fotopolimer malzemeyi tabaka tabaka katılaştırarak 3 boyutlu fiziksel nesne elde etme temeline dayalı prototip sistemi üzerinde çalışmalarıyla günümüzde kullanılan HPÜ sistemlerinin temelleri atılmıştır. Herbert ve Kodame finansal sorunlar yüzünden çalışmalarını yarım

bırakmak zorunda kalmışlardır. UVP'nin parasal desteğini sürekli alan Hull, 1984 yılında 3 boyutlu fiziksel parçaları geometrik bilgiyi kullanarak üretebilen bir sistem geliştirmiştir. Hull bu sisteme stereolithography ismini koymuş, 1986 yılında 3D Systems Inc. Firmasını kurmuş ve stereolithography cihazını (Stereolithography Apparatus) üretmeye başlamıştır (Ermurat, 2002).

## 2.2.Hızlı Prototipleme Süreç Zinciri

Bütün HPÜ sistemleri farklı teknolojiler kullanmalarına rağmen temelde aynı süreç zincirine sahiptirler (Şekil 2.2.).

Öncelikle prototipi oluşturulacak olan fiziksel parçanın BDT modeli hazırlanır. Bu modeller SolidWorks, Rhino, Pro/E, Mechanical Desktop, AutoCad gibi özel üç boyutlu model çizim programların yanı sıra tersine mühendislik yöntemleriyle de elde edilebilir. Oluşturulan model çizimleri, STL, IGES, STEP, DXF gibi standart transfer dosya yapılarına çevirildikten sonra parçayı fiziksel olarak oluşturacak olan sisteme transfer edilirler. Bu sistemler üç boyutlu BDT modelinden fiziksel model üretilir. Son olarak da oluşturulan fiziksel model üzerinde bazı işlemler gerçekleştirilerek modele son hali verilir.



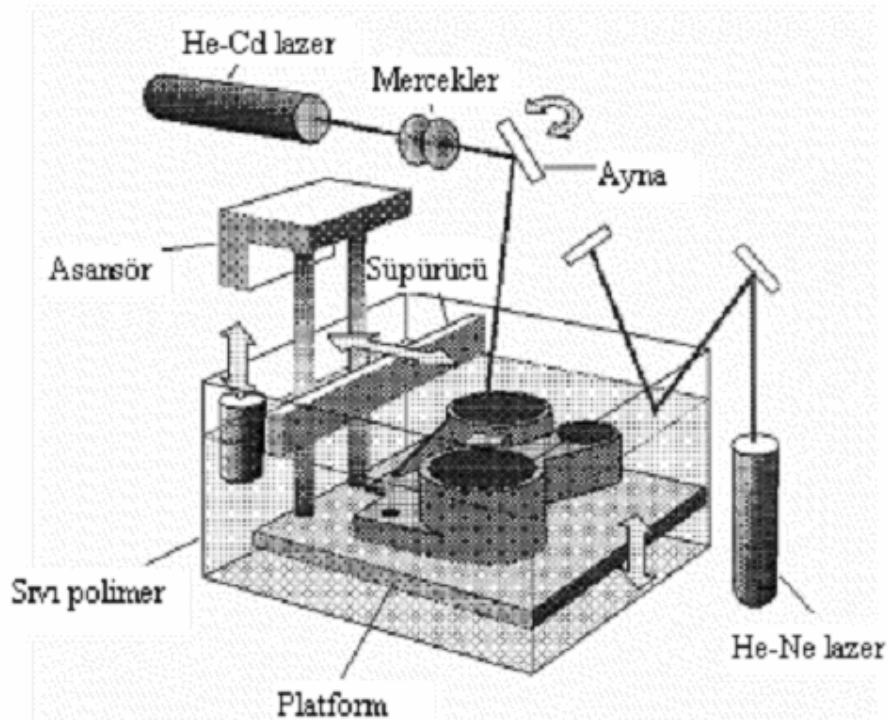
Şekil 2.2. HPÜ sistemlerinin süreç zinciri

## 2.3. Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri

HPÜ sistemleri, çalışma prensipleri ve malzeme kullanım yönleriyle birbirlerinden ayrılırlar. Bunların hepsini inceleme imkânımız olmadığı için yalnızca yaygın olarak kullanılan yöntemler ele alınmıştır. Malzeme kullanımları yönüyle; sıvı fotopolimer malzeme kullanılan yöntemlerden StereoLithography (SL) yöntemi ve Solid Ground Curing (SGC) yöntemi ele alınmıştır. Termoplastik malzeme kullanılan yöntemler olarak; Selective Laser Sintering (SLS) ve Laminated Object Manufacturing (LOM) sistemleri incelenmiştir. Son olarak da Fused Deposition Modelling (FDM) sistemi tanıtılmıştır.

### 2.3.1. Stereolithography (SL)

Hızlı prototipleme teknolojilerinden en yaygın olanıdır.



Şekil 2.3. Stereolithography yöntemi

Bu sistemde çalışan makine 3D Systems Inc. (ABD) tarafından geliştirilmiş ve piyasaya sunulmuştur. Şekil 2.3'de görülmekte olan asansör, sıvı yüzeyinden, oluşturulacak olan prototipin alt tabaka kalınlığı kadar bir uzaklıkta yerleştirilmiştir. Lazer demeti dilim çevre çizgilerini takip ederek tarama yapacaktır. Daha sonra da iç kısımlar bu tarama örnekleri kullanılarak taranacaktır. Kullanılan sıvı polimer,

morötesi ışığa (Ultraviolet) maruz kaldığında katılaştıran veya kuruyan bir fotopolimer malzemedir. Bir tabakanın katılaştırılması bittikten sonra, asansör dolayısıyla platformun bir tabaka kalınlığı kadar aşağı inmesi suretiyle diğer tabakalar benzer şekilde katılaştırılır. İşlem tamamlandıktan sonra parça sıvı haznesinden alınarak iç kısımlarda sıvı halde kalmış malzemenin de katılaşması için özel bir fırına konur.

Sıvıyı katılaştıran Helyum-Kadmiyum (He-Cd) lazeri yukarıdaki şekilde görülmektedir. He-Ne lazeri ise sıvı yüzeyinin doğru pozisyonda olduğundan emin olmak için kullanılır. Süpürücü, düz bir yüzey elde etmeyi garantilemek ve her tabakaya ait işlem zamanını minimum yapmak için yüzey gerilmelerini kırar. Parçanın sıvı bir ortamda üretilmesi nedeniyle iç kısımlarda kalan sıvı bölgeler destek elemanlarını gerektirir. Destek elemanları parçanın daha rijit olmasını sağlar ve belli bölgelerde mukavemetsiz kısımların akmasını engeller. Bu elemanlar sayesinde parça, işlem bittikten sonra zarar görmeden platformdan alınabilecektir. Tarama zamanı dış çevre geometrisine, tarama örneklerine, lazer hızına ve kaplama zamanına (son katılaştırılan tabaka üzerine fotopolimer tabaka kaplama zamanı) bağlıdır.

Stereolithografi sisteminde üretilen prototipler farklı amaçlar için kullanılabilir hale getirilebilirler. Üretilen fotopolimer malzemeye sahip prototipler görsel ve geometrik uygunluk amacı ile kullanılabilirler. Fonksiyonel amaçlı kullanımlar için silikon kalıplama yöntemi gibi yöntemler kullanılabilir. Bu işlem vakum altında yapılır ve prototipin oluşturduğu model boşluğuna istenilen özelliklere sahip plastik esaslı malzemenin dökülmesi ile gerçekleştirilir. İstenilen parçaya göre değişik uygulamalar yapılabilir. Taşıyıcı desteklerin parçadan tamamen uzaklaştırılması gerekir. İsteğe göre kumlama, parlatma, cilalama, boyama veya sprey metal kaplama gibi işlemler yapılabilir. Bu tür işlemler genelde fonksiyonel modeller için tercih edilir. Şekil 2.4'de stereolithography yöntemi ile üretilen prototipler görülmektedir.

Stereolithografi yönteminin avantajları maddeler halinde şöyle sıralanabilir;

1. Gelişmiş kullanıcı desteği. Bilgisayarlı süreç gelişmiş bir kullanıcı desteği sunar.

2. Derleme hacimleri. Değişik kullanıcı gereksinimlerini karşılamak için küçükten büyüğe çok çeşitli boylarda SLA makineleri derlenmiştir.
3. Yüksek doğruluk. SLA çok yüksek doğruluğa sahiptir ve bu özelliği sayesinde çok farklı uygulama alanlarında kullanılabilir.
4. Yüzey tamamlama. SLA, en iyi yüzey tamamlamaya sahip HP teknolojilerinden biridir.
5. Malzeme çeşitliliği. Genel amaçlı kullanımdan, uygulamaya özel malzemelere kadar çok fazla seçenek bulunmaktadır.



Şekil 2.4. Stereolithography yöntemiyle elde edilmiş insan kafatası ve el iskeleti  
([www.media.mit.edu](http://www.media.mit.edu))

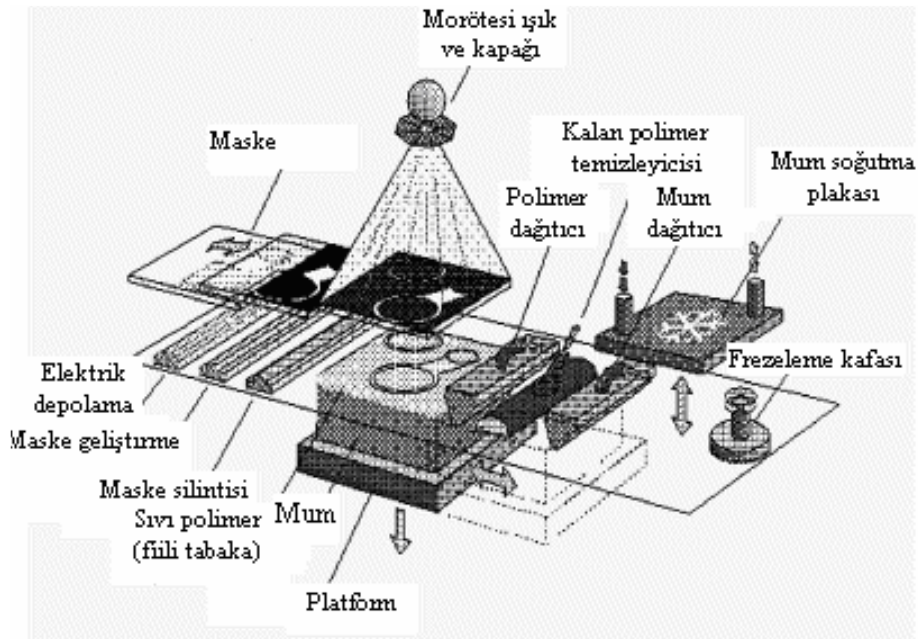
SLA kullanmanın ana dezavantajları da şöyle sıralanmaktadır:

1. Destek yapılarına ihtiyaç duyar. Sarkıntıları olan ve alttan oyuklu olan yapıların destek yapıları olmalıdır. Bu destek yapıların ana yapı ile birlikte dizayn edilip üretilmesi gerekir.
2. Sonradan işlemeye gereksinim duyar. Sonradan işleme, istenmeyen yapıların ve desteklerin kaldırılmasını da içerir ki bu zahmetli, uzun ve modele zarar verebilen bir süreçtir.

3. Sonradan düzeltmeye gereksinim duyar. Nesneyi tamamen düzgün bir hale getirmek ve yapısal bütünlüğü sağlamak amacıyla sonradan düzeltme gerekebilir.
4. Malzemenin kırılğan olması ve ısıdan kötü etkilenmesi.

### 2.3.2.Katı Tabaka Kurutma (SGC-Solid Ground Curing)

SGC sistemi Cubital Ltd. (İsrail) tarafından geliştirilip piyasa sürülmüştür.



Şekil 2.5. SGC sistemi

Bu yöntemde parça eksenlerinin tanımlanmasından sonra dilimleme için tabaka kalınlığı tanımlanır. Maske oluşturulurken, çalışma platformu ince sıvı fotopolimer malzeme ile kaplanır (Şekil 2.5.). Daha sonra çalışma bölümüne konumlandırılır. Optik maske, platform üzerine hassas bir şekilde getirilir. Kapağın açılması ile ışık parçası 3 sn süre ile 2,0 W güçteki morötesi ışığa maruz kalır. Işık maskeden tabakayı tamamen kurutur. İşlenmemiş kısımlar sıvı şekilde kalır. İş parçası kalan sıvı polimeri alan aerodinamik silecek altından geçer ve yalnızca katılmış kısmın arkasında kalır. Maske levhası maske çiziciye döner, boşaltma ve silme işlemleri ile ilk tabaka maskesini gelecek tabakaya hazırlar. İş parçası şimdi gelecek istasyona hareket eder. Burada ince eritilmiş mum tabakası yüzey üzerine yayılır, tüm boşluklar ve işlenmemiş sıvının giderilmesinden sonra, kalan çukurlar

doldurulur. Bir soğutma levhası yüzey üzerine alçalarak soğutma ve katılaştırma yapar. İş parçası, tabaka kalınlığını daha önceden tanımlanan değere indiren bir freze takımının altına geçer. Böylelikle gelecek tabaka için düz ve iyi bir yüzey hazırlanmış olur. Bu işlem parça tamamlanıncaya kadar devam eder.

Son tabaka tamamlandığında, model veya mum bloğuna gömülmüş durumdadır. Mum bir mikrodalga fırında eritilebilir. Sıcak bir hava tabancası veya 60 santigrad derecede sıcak su kullanılır.

Modellerde doğruluğun elde edilmesi tam kurutma ve her tabaka işlenirken desteklenmesi ile gerçekleştirilebilir. X-Y düzlemlerindeki maskenin doğruluğu, her tabakanın z düzleminde istenilen kalınlığa tam getirilmesi ile sağlanır. Şekil 2.6'de bu yöntem ile gerçekleştirilmiş bir örnek görülmektedir.



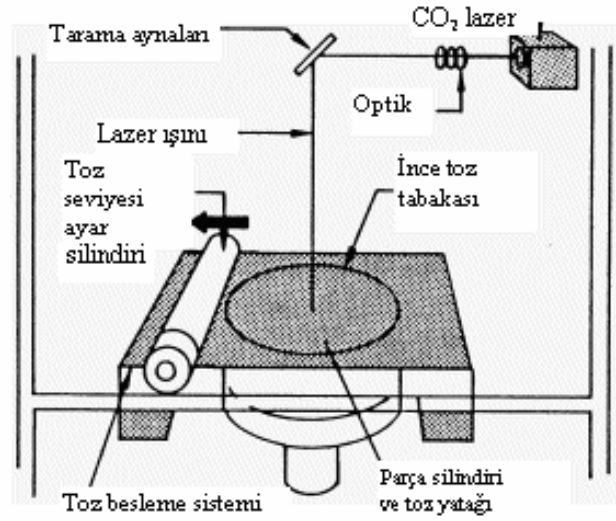
Şekil 2.6. Cubital Firması tarafından SGC yöntemiyle üretilmiş bir model. Soldaki model daha sonra elle boyanmıştır.

### **2.3.3.Seçici Lazer Sinterleme (SLS - Selective Laser Sintering)**

Bu yöntem DTM Corp. tarafından geliştirilip Austin'de piyasaya sürülmüştür. EOS GmbH aynı prensiple çalışan bir makinayı geliştirmiştir. Bu yöntemde, toz haline getirilmiş termoplastik malzeme bir lazer ışını ile eritilerek üç boyutlu parçalar oluşturulur.

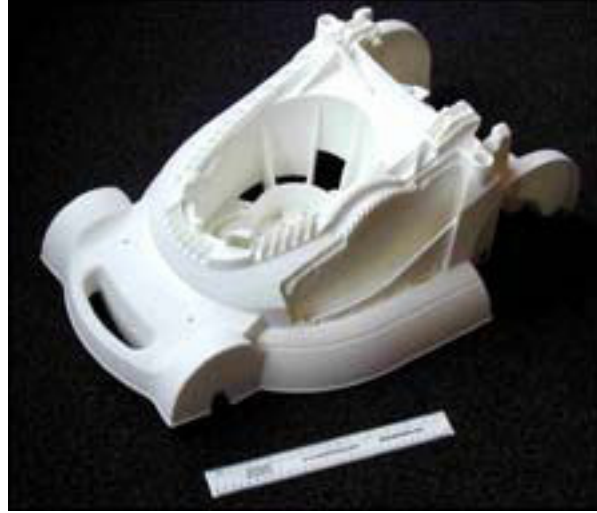
Toz halindeki termoplastik malzeme, işleme bölümüne bir silindir yardımıyla düzgünce yayılır. Sonra, parça kesitine uygun numune, toz yüzeyinde lazerle çizilir (Şekil 2.7.). Amorf malzemede lazer ısı, toz parçacıklarının eriyerek birbirlerine yapışıp kütle oluşturmaya neden olur. Bu işlem *eritme* veya *sinterleme* olarak tanımlanır. Kristal malzemede ısı, toz tabakasının erimesine ve soğutulunca katılaşacak sıvıya dönüşmesine neden olur. Her tabaka, üzerinde kalan tozla

şekillenir. Tüm tabakalar şekillendirildiğinde bitmiş parça, daha sonra alınacak olan serbest toz kalıbı içerisinde gömülü durumdadır.



Şekil 2.7. SLS sistemi

Parça, hareket eden bir piston tarafından desteklenen toz silindirinde şekillendirilir. Silindir iki taraftan beslenen tozu içeren taşınabilir kartuşlarla kuşatılmıştır. Bir dönme/seviyeleme silindiri tozun bir kartuştan diğerine hareket etmesi için diğer yöne dağıtır. Bir 50 W CO<sub>2</sub> lazer, 10.600 nm dalga boyunda kızıl ötesi radyasyon üretir. Bu birçok malzeme tarafından emilip sıcaklıkların yükselmesine neden olur. Lazer radyasyonu parça silindirindeki toz yüzeyine odaklanır. Bilgisayar kontrollü tarama aynaları ışığın pozisyonunu yönlendirir. Parça işleme bölümü asal gazdan temizlenir ve ısıtılarak tozun üstteki tabakalarının, malzeme erime sıcaklığına yakın sıcaklıklara getirilir. Ortamın ısınması, tozu erime sıcaklığına getirmek için harcanan ilave lazer enerjisini düşürür. Ayrıca imalat sırasında tabakaların çekmesi dolayısıyla çarpılmayı engeller. Tüm tabakalar işlendikten sonra, parça pistonu yükselir. Kalan toz, parça üzerinden bir spatula veya bıçakla alınır. Sıvı polimer yerine farklı malzeme tozları bir silindir tarafından bir platforma yayılır. Bir lazer, erimesine daha sonra da katılaşmasına neden olan seçilmiş alanları sinterler. Sinterlemede iki çeşit geçiş vardır: katıdan sıvıya ve tekrar katıya. Bu yöntem *seçici lazer sinterleme* olarak adlandırılır. Şekil 2.8'de bu yöntemle elde edilmiş bir prototip görülmektedir.



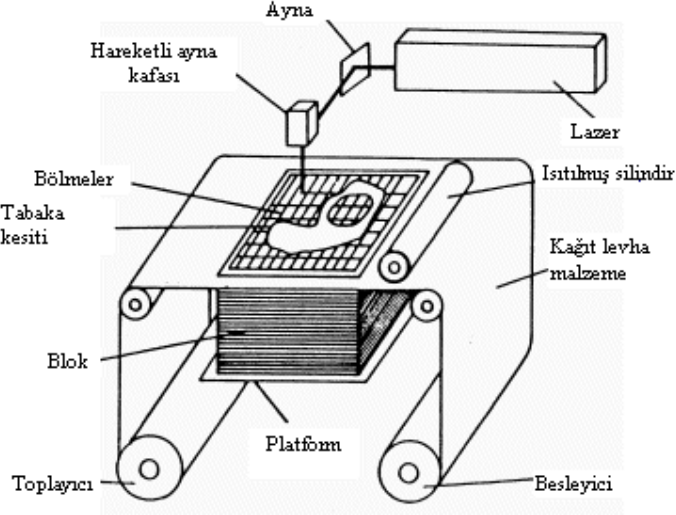
Şekil 2.8. 3T şirketi tarafından SLS yöntemiyle üretilen çim biçme makinası parçası ([www.3trpd.co.uk](http://www.3trpd.co.uk))

#### **2.3.4. Tabakalı Cisim İmalatı (LOM-Laminated Object Manufacturing)**

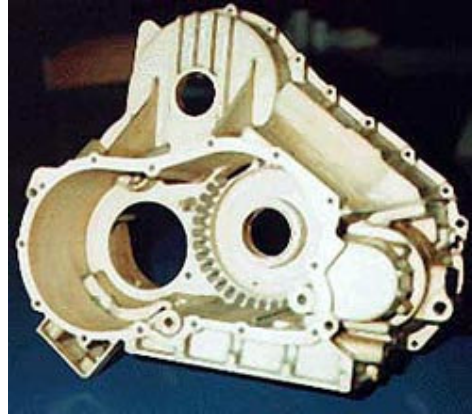
Helisys adlı firmanın geliştirdiği bu yöntemde, tabakaları kesme ve bunları yapıştırma prensibi uygulanır. Her tabaka, yüzeyi altındaki bir yapıştırıcının silindiri tarafından ısıtılarak basılması suretiyle bir önceki tabakaya yapıştırılır. Tabaka takip eden dilim hatlarında bir lazer tarafından kesilir. Parçanın yapılması ile ortaya çıkan fazla malzemelerin ayrılması için, sıvı temelli işlemlerin (SLA işlemi) tersini yapar, iç kısımlar taranır. Tabakanın kalınlığı sabit değildir. Bir sezgi elemanı ile gerçek tabaka kalınlığı ölçülür ve model buna göre dilimlenir (Şekil 2.9.). Malzeme, tabakanın bir önceki tabakaya yapıştırılması için işleme bölümüne beslenir. Daha sonra ısıtıcı silindirin tabakalanmış kısmın üzerinden geçmesi ile sıkıştırma ve ısıtma işlemleri birlikte yapılmış olur. İşlem tamamlandıktan sonra, ısıtıcı silindir ilk pozisyonuna geri çekilir. Sonra bir CO<sub>2</sub> lazer ışını ile, yapıştırılmış tabaka BDT (CAD) sisteminde oluşturulmuş kesitteki iç ve dış profilleri verecek şekilde kesilir. Kesmenin tamamlanması ile tabla z ekseninde yavaşça aşağıya iner. Malzeme ileri doğru beslenir ve tabla z ekseninde tekrar işleme konumuna gelir. İşlem, tüm bu aşamaların parça bitimine kadar tekrar edilmesiyle tamamlanır.

Sistemi kontrol eden bilgisayar, kesitteki dış hatları ve daha sonra da iç kısımları tarayabilmesi için lazer ışınını odaklama bilgilerini içerir. Lazer ışınının gücü bir tabaka kalınlığında bir kesme derinliği meydana getirecek şekilde oluşturulur. Platform işlenmiş tabakalarla alçalarak yeni tabaka malzemenin alınması

pozisyonuna gelir. Platformun yükselmesi ile ısıtılmış silindir tabaka üzerinden geçerek, basınç ve sıcaklık yardımıyla tabakanın bir öncekine yapışmasını sağlar. Şekil 2.10'da bu yöntemle elde edilmiş bir prototip görülmektedir.



Şekil 2.9. LOM sisteminin şematik görünümü

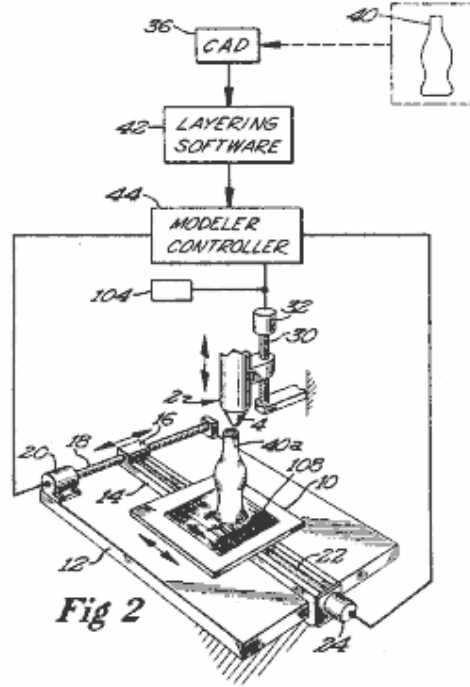


Şekil 2.10. LOM yöntemiyle oluşturulmuş bir model  
(<http://www.selecteng.com/lamin.htm>)

### 2.3.5. Eritilmiş Malzeme Yığıma (FDM-Fused Deposition Modelling)

Stereolithography'den sonra en yaygın teknolojidir. Scott Crump tarafından 1988 yılında küçük çocuğunun renkli macunlarla oynamasından aldığı ilhamla geliştirilmiş, daha sonra 1992 de patentini alarak yine Crump tarafından kurulan Stratasys şirketi tarafından üretilmeye başlanmıştır. Lif halinde termoplastik malzemeler eritilerek oluşturulan tabakanın aniden soğutulup bir önceki tabakaya

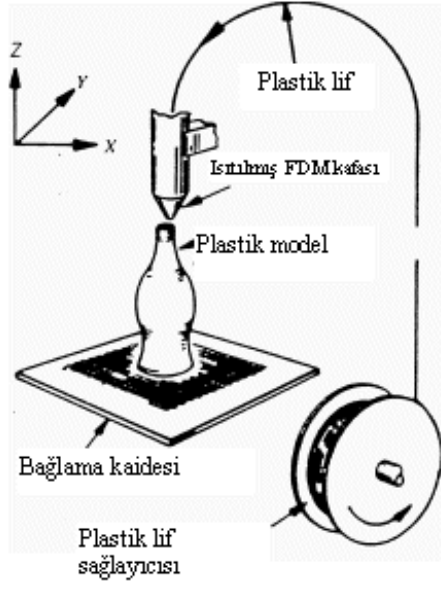
yapıştırılması esasına dayanan bir sistemdir. Şekil 2.11'de ilgili patentten bir görüntü yer almaktadır (Crump, 1992).



Şekil 2.11. FDM sisteminin patent çizimi

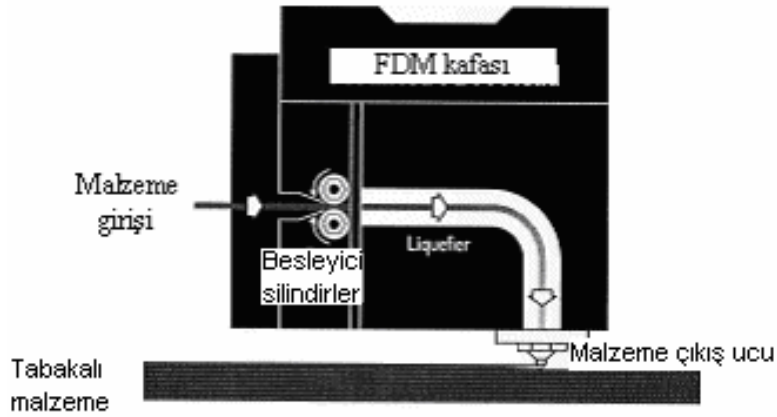
### 2.3.5.1. FDM Sistemin Çalışması

Bir ruloya sarılmış plastik lif halindeki tabaka malzemesi, ısıtılmış FDM kafasına doğru beslenir. Ekstrüzyon memesi, BDT dosyasından edindiği parça ile ilgili bilgilere göre tabakaları üst üste oluşturmaya başlar. İşlem parça bitinceye kadar devam eder (Şekil 2.12.). Rulolara sarılı termoplastik malzeme lifi yaklaşık 1.78 mm çapındadır. FDM işleminde termoplastik malzeme katılma noktasının biraz üzerindeki bir sıcaklıktadır. Burada, malzemenin eritilme sıcaklığı ve ekstrüzyon memesine (Şekil 2.12. ve Şekil 2.13.) malzemenin pompalanma miktarı kontrol edilir. Her tabaka bir önceki tabaka ile erilmek suretiyle yapıştırılır.

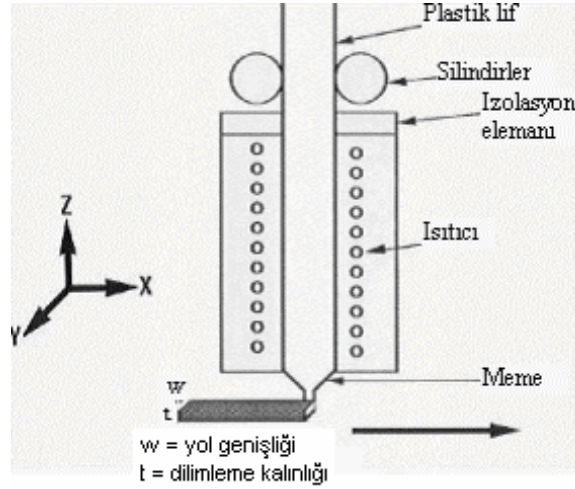


Şekil 2.12. FDM çalışma prensibi

Plastik liflerin beslenme hızları monitörden izlenebilmektedir. Herhangi bir zamandaki ekstrüzyon edilmiş malzeme miktarı kontrol edilir.



Şekil 2.13. FDM kafası ve tabakalama işlemi



Şekil 2.14. FDM kafası ve elemanları

Her tabakanın kalınlığı malzemenin fiziksel özelliklerine, hareketli kafa hızına, ekstrüzyon basıncına ve meme çıkış çaplarına göre belirlenir. Tabaka kalınlığı (t), FDM kafasının hızına göre 0,1 mm ile 0,5 mm arasında değişmektedir. Yol genişliği (w) (Şekil 2.14.) 0.25 mm ile 6 mm arasında değişmektedir. t değeri Stratasys'in ürettiği farklı tipteki FDM sistemlerinde birbirlerinden farklı yüksekliktedir. BDT modelindeki tabaka kalınlığı ile t değeri birbiriyle aynı olmalıdır aksi takdirde prototip esas alınan fiziksel parçadan büyük ya da küçük olabilir, buna hacimsel hata (volumetric error) denir. SL ve SLS metodlarından farklı olarak t değeri tablanın x eksenindeki hareketi ile ayarlanabilir. w değeri ise eritici kafanın meme çapına bağlıdır. Geleneksel FDM'lerde meme çapının sabit olması w değerinde değişime imkân vermediği için çeşitli sorunlara yol açmaktaydı. 2001 yılında bu sorunun aşılmasına yönelik çalışmalar sonuç verdi ve AFD (Adjustable Filament Deposition) adı verilen ve w değerinin ayarlanabilmesine imkân veren bir sistem geliştirildi. FDM sistemlerinin çoğunda, yol genişliği tabaka kalınlığından büyüktür (Venuvinod, 2004).

Prototipin tamamının üretilebilmesi için gereken malzeme gereksinimi (Q) şöyle tanımlanır;

$$Q = t \cdot w \cdot V_h$$

burada  $V_h$  kafanın hızıdır. Termoplastik lifin besleme oranı,

$$V_f = \frac{\mu_f \cdot Q}{A_f}$$

olarak tanımlanır.  $A_f$  termoplastik lifin kesit alanı,  $\mu_f$  ise Şekil 2.14'de görülmekte olan silindirler ile plastik lif arasındaki sürtünme katsayısıdır.  $\mu_f > 1$  olması durumunda plastik lif silindirler tarafından ezilir,  $\mu_f < 1$  olması durumunda ise silindirler ile plastik lif arasında kayma meydana gelir (Venuvinod, 2004).

Şekil 2.15'de Stratasys tarafından üretilen bir cihaz görülmektedir, bu cihazların çalışma aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- BDT dosyası IGES dosya formatı kullanılarak makineye aktarılır,
- Dosya NURBS tabanlı StrataSlice yazılımına getirilir,
- Burada düzenlemeler yapılabilir veya istenilen yüzey uyumu sağlanır,
- İstenilen tabaka kalınlıklarında dilimleme seçilir,
- Çıkış NC kodları (Belirli noktaların koordinatlarını içeren bir format) olarak alınır,
- 3D Modeller sistemi parçayı oluşturur.

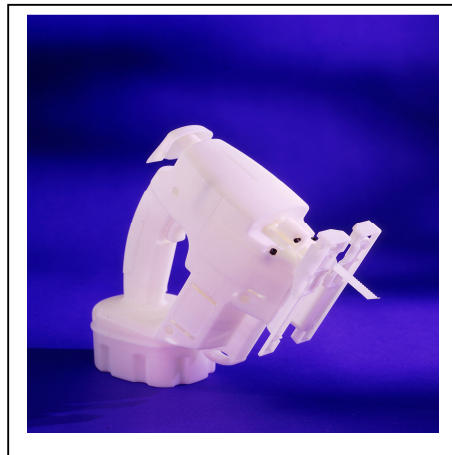
FDM işlemi yüksek kalitede ABS termoplastik ve hassas döküm mimumundan modeller üretir. Parça kalitesi ve çalışma hızı genel olarak aşağıdaki dört hususa bağlıdır.

1. Gelişmiş akış kontrol algoritması
2. Gelişmiş plastik lif üretim işlemleri
3. Yüksek XY malzeme yığıma hızları
4. Akıllı otomatik takım yolu oluşturan yazılımlar

1 ve 2 nolu maddeler doğruluk ve tamamlama işlemlerini, 3 ve 4 ise, parça modelleme hızını etkilemektedir. Şekil 2.16'de FDM yöntemiyle üretilen ürünler görülmektedir.



Şekil 2.15. Stratasys tarafından üretilen bir FDM sistemi



(a)



(b)

Şekil 2.16. FDM yöntemiyle üretilen ürünler (Stratasys) (a) Motorlu testere (b) Monitör

FDM işleminin en zor yönü, parça doğruluğu veya görünüşten sapma yapmadan, hassas bir şekilde termoplastik malzemenin akışının başlatılabilmesi ve durdurulabilmesidir. FDM 1600/1650 makinelerinde takım yolu 0.0127 mm'den daha küçük sapma değerleriyle oluşturulabilir. Bu doğruluk, FDM ekstrüzyon kafasının hareketini kontrol eden yazılımın devamlı geliştirilmesi ile elde edilebilir. Bunu QuickSlice yazılımı temin etmektedir.

FDM teknolojisinin temel avantajları şunlardır:

1. *Fonksiyonel birimlerin üretilebilmesi.* FDM süreci olması gereken kalıplanmış ürüne çok yakın prototipler üretebilmektedir. ABS sayesinde tam fonksiyonel çalışabilen %85 sertlikte parçalar üretebilir. Bu süreç, fonksiyonel testler için hızlı prototip üretiminde kullanılabilir.
2. *En az seviyede atık.* FDM süreci parçaları, yarı-sıvı eriyik haldeki malzemeyi tabla üzerine dökmek sureti ile oluşturur. Dolayısıyla sadece parça için gerekli malzeme ve destekleri kullanılır. Bu sayede malzeme harcanması en az seviyede gerçekleşir. Ayrıca model tamamlandıktan sonra çok az seviyede temizlemeye ihtiyaç duyulur.
3. *Desteklerin sökülmesinde kolaylık.* FDM sürecinde üretilen destek yapıları kolayca ayıklanabilir. Bu sayede kullanıcı prototiplerine çok hızlı ulaşabilir ve neredeyse sonradan işlemeye hiç gereksinim duyulmaz.
4. *Malzeme değiştirilmesinde kolaylık.* Makara veya kartuş ile beslenen üretim malzemelerini değiştirmek kolaydır. Bu sayede makine kullanımı ve bakımı görece kolaylaşır.
5. Bir ofis ortamında çalışılabilmesi, güvenli olması, zehirli olmayan maddelerin kullanılması, özel parçalara ve ek tesisatlara ihtiyaç duymaması,
6. İşlenebilir mum, hassas döküm mumu ve naylon benzeri plastik malzemelerden seçim yapabilme olanağı,
7. Düşük işletme maliyeti,

8. 3D Modeller Sistemi diğer BDT sistemleri arasındaki veri alışverişini desteklediğinden veriler IGES, NC veya STL formatında girilebilir.

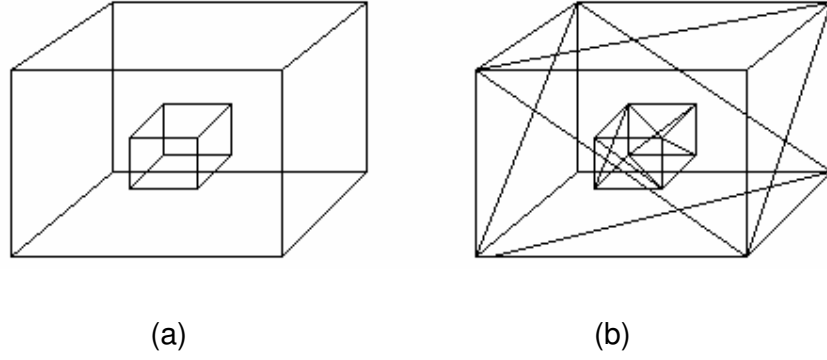
FDM teknolojisinin temel dezavantajları ise şunlardır:

1. *Sınırlı doğruluk.* Kullanılan malzemenin şeklinden kaynaklanan nedenlerden ötürü FDM ile üretilen kısımlar sınırlı doğruluktadır. Örnek olarak tel biçimini ele alırsak, 1.27 mm çapında tel kullanılmaktadır ve bu ne kadar hassas bir duyarlılıkta parça imal edilebileceği üzerinde bir üst limit getirmektedir.
2. *Yavaş süreç.* Bütün kesit yüzey alanı malzeme ile doldurulacağı için üretim süreci yavaştır. Üretim sürecinin hızı temel olarak malzemenin kafadan püskürtülme ve akış hızına bağlıdır. Kullanılan malzemeler plastikten oldukları için yapışkanlıkları yüksektir; dolayısıyla üretim süreci kolay yollardan hızlandırılmamaktadır.
3. *Öngörülemez büzülme.* FDM süreci malzemeyi kafasından püskürterek çıkartıp, malzemenin çökmesi ile birlikte hızlı ve çabuk bir soğuma başlar. Bu çabuk soğuma süreci tarafından oluşturulan stresler modele intikal eder. Dolayısıyla, büzülme ve bozulmalar genelde modellerde görülür ve öngörülmeleri genelde olanaksızdır. Kullanıcılar tecrübe kazandıkça üretim parametreleri ile oynamak sureti ile bu etkileri azaltabilirler.

#### **2.4. Hızlı Prototipleme Sistemlerinde kullanılan bilgisayar dosya yapıları**

HPÜ sistemlerinde prototipi üretilecek ürünün ya da parçanın öncelikle BDT modelinin üretilmesi gerekmektedir. Bu BDT modeli HPÜ sistemine uygun formata dönüştürülerek HPÜ makinasına aktarılır. Böylece sistem BDT modelindeki geometrik verileri kullanarak parçanın 3 boyutlu olarak üretimini gerçekleştirir.

Herhangi bir katı model, bilgisayar ortamında verilen dilimleme düzlemine göre paralel vektörlerle dilimlenir. Bu veri, HPÜ sistemlerinde parçanın istenilen kesit formunda üretilebilmesi için gereklidir. Katı modelin oluşturulabilmesi için CATIA, I-DEAS, Unigraphics, Pro/Engineer, Alias Designer gibi katı modelleme programları ya da 3D yüzey modelleyicileri kullanılır (Yağmur,1997). Şekil 2.17'da katı bir cisim ve STL modellemesi görülmektedir.



Şekil 2.17. Katı bir cisim ve STL modeli a) İçi boş bir kutu b) Kutunun STL modeli

HPÜ sistemlerinde standart veri dosyası STL formatıdır. STL dosya formatı BDT dosyalarının SL sistemleri tarafından okunabilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Bu format üç boyutlu üçgen elemanların parçayı döşemesi esasına dayanır, her türlü üç boyutlu geometriyi birbirine bağlı üçgen şeklindeki düz yüzeylerle ifade eden bir formattır. Eğimli yüzeylere sahip bir parçanın üçgenlerle ifade edilmesi belli bir hata payı oluşturur ama üçgen sayısının yeterince fazla tutulması sayesinde BDT dosyasındaki hata payı üretim hatasının altına indirilebilir.

STL dosyaları ASCII ya da binary kod yapısındadır ve bütün dosyalar solid kelimesiyle başlar endsolid kelimesiyle sonlanır. Bu kelimelerin arasında üçgen elemanlar tarafından oluşturulan katı modelin bilgisi yer alır. Aşağıda bir STL dosyasından alınan örnek program parçası görülmektedir.

```

Solid
...
facet normal 0.00 0.00 1.00
  outer loop
    vertex 2.00 2.00 0.00
    vertex -1.00 1.00 0.00
    vertex 0.00 -1.00 0.00
  endloop
endfacet
...
Endsolid

```

Modellemedeki üçgenlerin köşe noktalarının birbirleriyle çakışması gerekir yani bir üçgenin köşe noktası başka bir üçgenin kenarına denk gelemez. Her küçük üçgen, yüzeye dik bir birim vektör ve üçgen yüzeyinin köşeklerini oluşturan 3 nokta ile temsil edilir. Birim vektörün yönü modelin dış yönünü gösterir. Noktalar, modele

dışardan bakarken kartezyen koordinat sistemine göre saatin tersi yönünde sıralanmışlardır (Ermurat, 2002).

Günümüzde hemen hemen tüm üç boyutlu BDT yazılımları STL formatında çıktı verebilmekte ve her otofabrikasyon cihazı da bu formatı kabul etmektedir. Fakat üç boyutlu BDT yazılımları hatalı STL çıktısı verebilmektedirler. Hatalı STL dosyaları düzeltmek için ise ayrı yazılımlar geliştirilmiştir. Daha sonra, STL formatı kadar yaygın olmayan, firma veya cihaza özel farklı formatlar da geliştirilmiştir.

## **2.5. Tersine Mühendislik**

HPÜ sistemlerinde prototipin üretilmesinden önce üretilcek parçanın BDT modelinin oluşturulması gerekir. Profesyonel sistemlerde BDT modellerinin oluşturulması için Tersine Mühendislik (Reverse Engineering) teknolojileri kullanılır. Hızlı Prototipleme teknikleri ile birlikte Tersine Mühendislik yaklaşımı, ürün geliştirme zamanının azaltılması için işletmelere mükemmel Bileşik Mühendislik (Concurrent/Simultaneous Engineering) fırsatları sunar.

Tersine mühendisliğin temel uygulamaları şu şekilde sıralanabilir;

- Yeni bir parçanın tasarımı,
- Var olan bir parçanın kopyalanması,
- Yıpranmış veya hasar görmüş parçaların kurtarılması, düzeltilmesi ve yeniden tasarlanması
- Model hassasiyetinin ve doğruluğunun geliştirilmesi,
- Numerik modellerin denetlenmesi.

Kavramsal tasarım ile başlayan geleneksel mühendislik sürecinin aksine, Tersine Mühendislik sürecinde ürün tasarımına, gerçekte var olan bir modelin şekil bilgisinin elde edilmesi ile başlanır. Serbest ve karmaşık yüzeylere sahip olan gerçek parçaların geometrik bilgisinin elde edilmesi tersine mühendisliğin en önemli aşamalarından biridir. Yeniden yapılandırılacak parça modelinin kalitesi, başlangıç modelinin üzerine ölçülen noktaların sayısına, ölçüm tipine ve doğruluğuna ve ölçüm tekniğine (cihazın cinsi vb) bağlı olarak değişebilir.

Tersine Mühendislik uygulamalarında yani var olan bir nesnenin tasarım bilgilerinin bulunmadığı durumlarda, nesneyi yeniden üretebilmek veya geliştirebilmek amacıyla, ürünün üç boyutlu uzayda sayısal tasarım bilgilerinin elde edilmesinin gerektiği uygulamalarda en önemli elemanlar; Sayısallaştırıcı/tarayıcılar, Hızlı Prototipleme makineleri ve Tersine mühendislik yazılımlarıdır.

Piyasada bazı güçlü-ticari Tersine Mühendislik yazılımları bulmak mümkündür. *CappsNT, Geomagic Studio, RapidForm, CopyCAD, Imageware ve CATIA* bunlardan bazıları olup, Tersine Mühendislik ve kitlesel özel üretim konusunda dünyanın en çok tavsiye edilen yazılım paketleri arasındadır. Bu yazılımlar ile fiziksel bir nesnenin üç boyutlu tarama verisi işlenerek üretim için gerekli yüksek hassasiyet ve kalitede BDT modeli elde edilebilir. Yazılımlar, ayrıca daha ileri düzeyde çözümler elde etmek için sayısallaştırma sistemleri ile birlikte kullanılabilir.

Üç boyutlu tarama ve algılama cihazları ile elde edilen nokta bulutları, bu yazılımlar ile birlikte anlamlandırılır; taranmış nokta verilerden aralıksız üçgen hücrelerden oluşan modeller elde edilir (triangulation/polygonisation) ve daha sonra uygun yüzeyler giydirilir. Doğrulama aşamasından sonra, BDT/BDÜ süreçlerinde kullanılabilecek uygun bir formatta kaydedilir.

## **2.6. Hızlı Prototip Üretim Sistemlerinin Karşılaştırılması**

Kullanıcı yönüyle bakıldığında, bir parçanın üretiminde zaman, fiyat ve fonksiyonellik çok önemli olmaktadır. HPÜ teknolojilerinde her işlemin fiyat, doğruluk, malzeme, geometri ve büyüklük yönleriyle çeşitli kısıtlamaları vardır. Çizelge 2.2.'de HPÜ teknolojileri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır.

Buradaki çizelgeyi incelediğimizde HP sistemleriyle ilgili aşağıdaki sonuçlara varabiliriz. Fiyatları 25 000 ile 800 000 USD aralığında olan HP sistemleri arasında en ekonomik olanlar, 25 000 USD den başlayan ve FDM teknolojisi kullanan sistemlerdir. Bunların tek dezavantajı pound (450g) başına 115-185USD arasında değişen termoplastik malzeme fiyatları ve diğer sistemlere göre düşük olan hızlarıdır. Hızlı prototipleme cihazlarının en iyileri, stereolithography teknolojisi kullanan, 39x31x20 inç (25.4mm) boyutlarında parça imal edebilen hız, çözünürlük ve yüzey pürüzlülüğü açısından en iyi olan ancak dikkat edilmesi gereken

kimyasal sıvılarla çalışan ve 219 000- 800 000 USD aralığında fiyatları olan sistemler olduğu belirtilmektedir.

Çizelge 2.2. Bazı HPÜ teknolojilerinin yeterlilikleri yönüyle karşılaştırılması (home.att.net/~castleisland/rp\_int1.htm, 2006).

İşlem	SLA	FDM	SLA	SLS	LOM
<i>Firma</i>	<i>3D Systems</i>	<i>Stratasys</i>	<i>Sony.</i>	<i>3D Systems</i>	<i>Cubic Technologies</i>
Maks. parça büyüklüğü [inç]	20 x 20 x 24	20 x 20 x 24	39 x 31 x 20	15 x 13 x 18	32 x 22 x 20
Hız	Orta	Zayıf	Çok Hızlı (çift lazer sistemi)	Orta	İyi
Doğruluk	Çok iyi	Orta	Çok iyi	İyi	Orta
Tercih edilme nedenleri	Büyük parça boyutu, doğruluk	Ofis kullanımına uygun, malzeme, fiyat	Çok büyük parça boyutu, doğruluk, hız	Doğruluk, malzeme	Büyük parça boyutu, büyük parçaların dökümünde uygun, malzeme maliyeti
Tercih edilmeme nedenleri	Ardıl işlemler, dağınık sıvı malzeme	Hız	Ardıl işlemler, dağınık sıvı malzeme	Boyut ve ağırlık, sistem fiyat, yüzey pürüzlülüğü	Parça sağlamlılığı, doğruluk, yüzey pürüzlülüğü
Sistem Fiyatı	\$75K - 800K	\$25K - 300K	\$219K - 800K	\$300K	\$120 - 240K
Plastik Malzeme Maliyeti \$/pound *	\$75-110	\$115-185	\$75-110	\$30-60	\$9

\* 1 pound = 453.592 gram

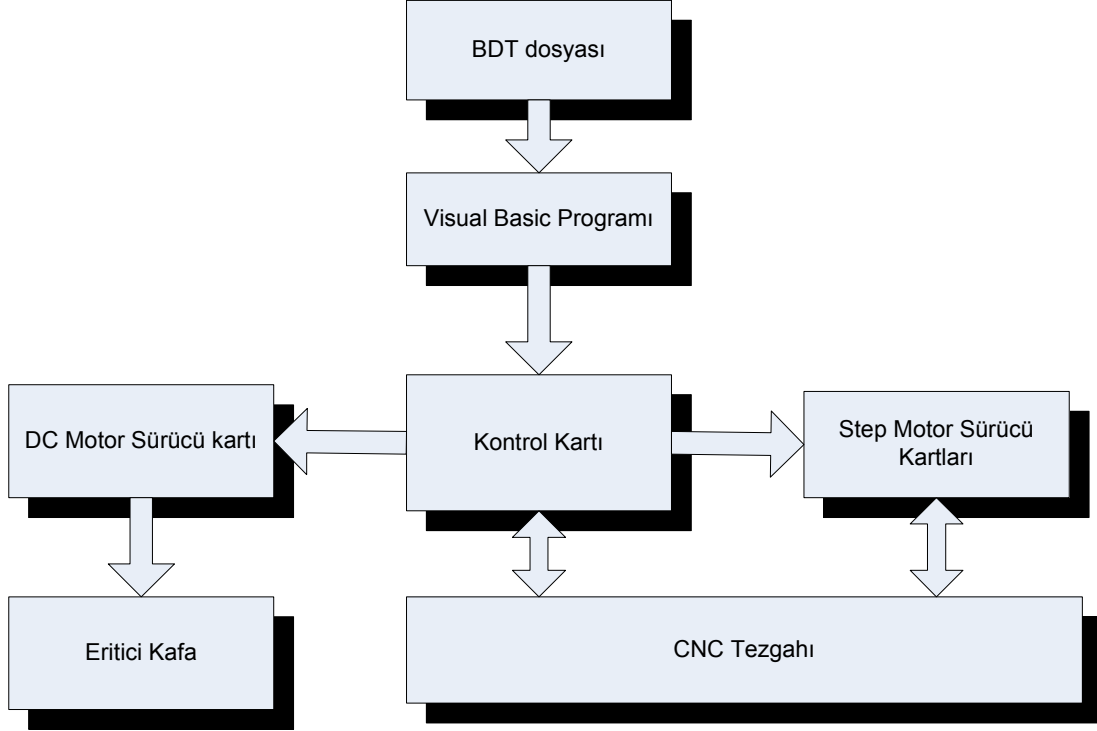
### 3. HIZLI PROTOTİPLEME SİSTEMİNİN TASARLANMASI

Bir önceki bölümde incelediğimiz hızlı prototipleme sistemleri arasında FDM sistemi laser, mercek düzenekleri, sıvı polimerler vs. gibi elde edilmesi kolay olmayan, pahalı ya da özel donanımlar gerektirmediği için diğerlerinden ayrılır. FDM sisteminin oluşturulması temelde 3 eksenle hareket sağlayan bir tabla ve termoplastik malzeme eritebilen bir ısıtıcı kafa donanımlarını gerektirir. Bunlar göz önüne alındığında FDM sisteminin düşük maliyetli bir hızlı prototipleme sistemi oluşturabilmek için referans olabilecek en uygun yöntem olduğuna karar verdik ve Scott Crump tarafından geliştirilen ilk sistemi örnek alarak sistemimizi tasarladık. Gerçekleştirdiğimiz FDM hızlı prototipleme sisteminin tasarım aşamaları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1) Donanım tasarımı
  - a) Mekanik tasarım
    - i. CNC makinası
    - ii. Eritici/İtici kafa
  - b) Elektronik tasarım
    - i. Step motor sürücü
    - ii. DC motor sürücü
    - iii. Kontrol kartı
- 2) Yazılım tasarımı
  - a) PC yazılımı
  - b) Mikrodenetleyici yazılımı

Şekil 3.1’de blok şeması verilen sistemin genel işleyişi şu şekilde özetlenebilir; öncelikle prototipi üretilmek istenen parçanın 3 boyutlu görüntüsü bilgisayarda oluşturulur, bunun için tersine mühendislik tekniklerinin yanı sıra BDT/BDÜ yazılımları da kullanılabilir. BDT dosyası oluşturulduktan sonra veriler Visual

Basic™ programı yardımıyla oluşturulan PC programı tarafından kontrol kartındaki mikrodenetleyicinin kullanabileceği formata çevrilir ve yine bu program yardımıyla gerekli hareket algoritması oluşturularak bilgisayarın seri portundan veriler mikrodenetleyiciye gönderilir. Mikrodenetleyici de bu veriler doğrultusunda motor hareketlerini kontrol eder.



Şekil 3.1. Sistemin genel yapısı

### 3.1.Mekanik Sistem Tasarımı

Mekanik sistem, termoplastik malzemenin eritilerek uygun formda tabla üzerine dökülmesini sağlayan bir adet eritici kafa ve bu kafanın üç eksende hareket edebilmesine olanak tanıyan bir CNC tezgâhından meydana gelmektedir. CNC tezgâhı ve eritici kafa tasarımları aşağıda ayrı ayrı ele alınmışlardır.

#### 3.1.1.CNC makinası tasarımı

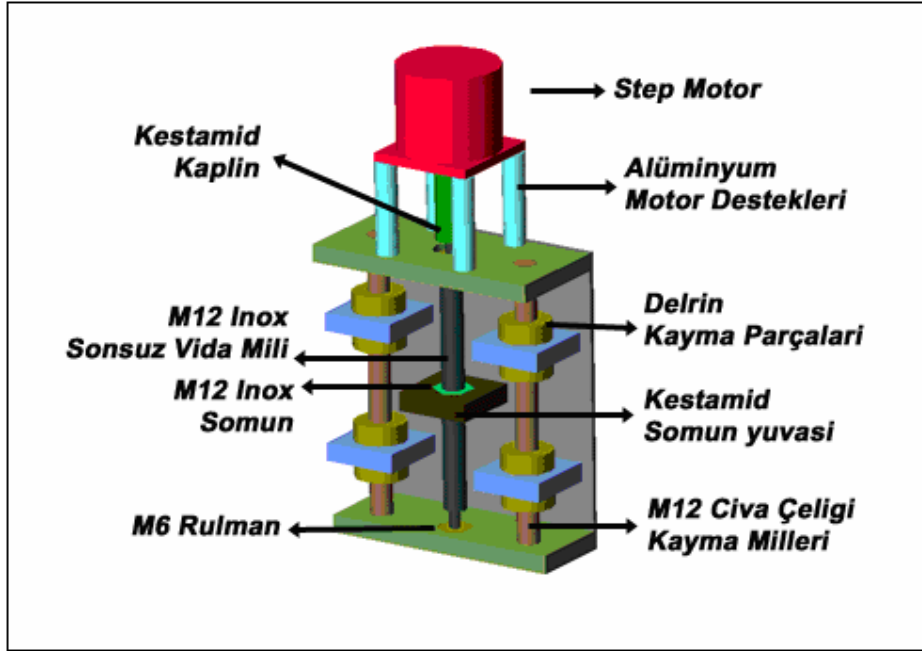
Nümerik kontrol (NC); elektronik kontrol sistemleri aracılığıyla harekete geçirilen ve bir dizi sayı ile belirtilen talimatlarla, tezgâh hareketlerinin ve diğer değişik işlevlerinin kontrolünü tanımlayan bir terimdir. Bilgisayar destekli kontrol ise (CNC), kontrol sistemi bir bilgisayar içerdiğinde kullanılmaktadır. Bizim tasarladığımız CNC sistemi diğer birçok sistemdeki gibi 3 eksende (x,y,z) hareket imkânı

sağlayan ama aynı zamanda düşük maliyetli olması gereken bir sistemdir. Her eksen bir step motor ve bu step motorun miline direk bağlı bir sonsuz vidadan oluşmaktadır. Motor miline bağlı vida dönerken somun da vida üzerinde ilerler ve bağlı bulunduğu mekanizmayı beraberinde sürükler. Bu sistemde somun ile vida arasında boşluk olmamalıdır. Boşluk olduğu takdirde vida, boşluk mesafesi kapanana kadar boşta dönecek ve somun ancak boşluk bitiminden itibaren ilerlemeye başlayacaktır. Pratikte boşluk mesafesinin sıfır olması sağlanamadığı için bu durum kaçınılmazdır ve devir yönünün her değişiminde ortaya çıkar ve "backlash" olarak isimlendirilir. Makine tasarımlarında boşluğu çok küçük vidalar seçilmelidir. Aşağıdaki şekilde de görülmekte olan Acme Nut vida somun ikilisinde sürtünmeyi azaltmak için somun genellikle plastik yada derlin gibi malzemelerden yapılır. Ucuz cihazlarda bu vida türü tercih edilir. Boşluğu ayarlanabilir somunlar bu iş için idealdir. Ancak bu vidaların boşluk ve doğrusalık problemi uygulamanızda kabul edilebilir seviyede olmalıdır. Daha hassas sistemler için doğrusal kızak sistemleri kullanılmalıdır.

Çok hassas olmayan bir mini CNC makinasının üretim maliyetinin minimum değeri yaklaşık olarak 1000 YTL'ye mal olmaktadır, bu nedenle laboratuvarda bulunan makinanın kullanılması uygun görülmüştür. Makinanın eksen yapıları Şekil 3.2'de gösterildiği gibidir.

Endüstriyel CNC sistemlerinde Şekil 3.2'de görülen her parça yerine özel komponentler kullanılmaktadır. Bunlardan en önemlisi dairesel hareketin doğrusal harekete çevrildiği somun ve sonsuz vida mili kısmıdır. Burada kullanılan basit M12 somun ve mil yerine endüstride "ballscrew" adı verilen bilyalı somunlar kullanılmaktadır. Mil ile temasın bilyalar üstünden yapıldığı bu somunlar %90 verim ve çok düşük sürtünme katsayıları ile yüksek dönüş hızlarında çalışabilmektedir.

Bir diğer endüstriyel parça ise kayma parçaları yerine kullanılan lineer rulmanlar ya da bilyalı arabalardır. Temas noktalarında bilyalar kullanıldığı için bu ürünlerde de sürtünme oranları oldukça düşüktür. Sonuçta, kullanılan amatör parçalar mekanik sistem üstünde sürtünmeler, kasılmalar ve boşluklar oluşturmuştur. Kasılma ve sürtünmeler el ile yapılan ayarlamalar sonucunda minimum düzeye indirilmiştir.



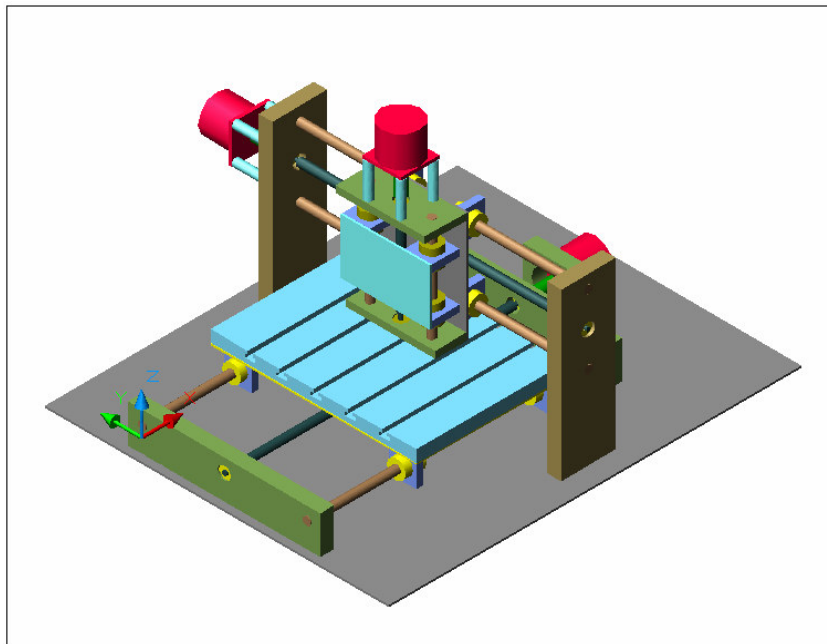
Şekil 3.2. HPÜ sisteminde kullanılan mini-CNC makinasında her bir eksenin yapısı

Mekanik sistemin iskeletinde sert plastik malzemeler ve alüminyum tercih edilmiştir. Plastik malzemeler hafifliği ve kolay işlenebilirliği ile tasarımı kolaylaştırmıştır. Piyasada yaygın olarak bulunan malzemeler kestamid, delrin, polietilen, polyamid, teflon ve fiberdir. Ucuzluğu nedeniyle tasarımın büyük bölümünde polietilen maddesi kullanılmıştır. Bunun dışında sürtünmenin minimum olması gereken kayma parçalarında kayganlığı nedeniyle delrin tercih edilmiştir. Delrin kayma parçalarının içine 12.2mm çapında delik açılmıştır. M12 civa çeligi miller bu parçalardan geçirilerek eksenlerin bu parçalar üstünde kayması sağlanmıştır. Düzenekteki tolerans hataları nedeniyle düşük sürtünmeli ve kasılsız eksen hareketi elde etmek için oldukça uğraşılmıştır. Sonsuz vida milleri, uçlarından 6mm çapa kadar inceltilerek M6 rulman yuvalarına oturtulmuştur. Step motor tarafında kalan kısımlar rulman yuvalarından çıktıktan sonra ayrıca kaplinlere vidalanmıştır. Step motorlar ise X ve Z ekseninde destek milleri, Y ekseninde ise destek parçası ile sabitlenip kaplinlerin diğer ucuna vidalanmıştır. Somunlar, kestamid yuvalara sabitlenerek kayma parçaları ile birlikte 2mm'lik alüminyum levhalara vidalanmıştır. Y ekseninde diğer eksenlerden bağımsız çalışmaktadır. Bu sayede mekanik tasarım kolaylaşmıştır. Gelişmiş uygulamalarda bu pek tercih edilen bir yöntem değildir, çünkü iş parçası Y ekseninde hareket etmek zorunda kalmaktadır. İş parçasının ağır olması durumunda

eksen motoru bu ağırlığı yenemeyecek ve step kaçırmaları meydana gelecektir. Bunun yerine, Y eksenini iş parçasını değil de matkap motorunu hareket ettirecek şekilde tasarlanmalıdır. Z eksenini X eksenine üstünde hareket ettirmektedir. Bu işlem Z ekseninin X eksenindeki alüminyum levha üzerine sabitlenmesi sonucu elde edilmiştir.

#### Makinadaki Teorik Hassasiyet:

M12 sonsuz vida milleri için standart hatve aralığı 1.75mm dir. Bu durumda mil bir tur attığında eksen 1.75mm ileri ya da geri ilerlemektedir. Step motorlar millere direkt bağlandığı için motor hareketleri birebir millere aktarılmaktadır. Kullanılan step motorlar 1.8° lik motorlardır. Bir tur 200 adımla kontrol edilmektedir. Motorlar full-step modda sürülürse bir pulse motoru 1.8° döndürür. Bu durumda hassasiyet  $1.75\text{mm} / 200 = 8.75$  mikron dur. Motorlar half-step modda sürülürse bir pulse motoru 0.9° döndürür. Bu durumda hassasiyet  $1.75\text{mm} / 400 = 4.375$  mikron dur. Bu değerler makinenin teorik hassasiyetini belirtmektedir. Pratikte bu değerlere ulaşmak mümkün değildir. Somunlardaki boşluklar (backlash) ve malzemelerdeki hata payları bunu engeller. Yapılan denemelerde gözle görülebilen bir çözünürlük hatası yaşanmamaktadır. Ancak kesin bir çözünürlük değeri verebilecek bir ölçüm yapılamamıştır.

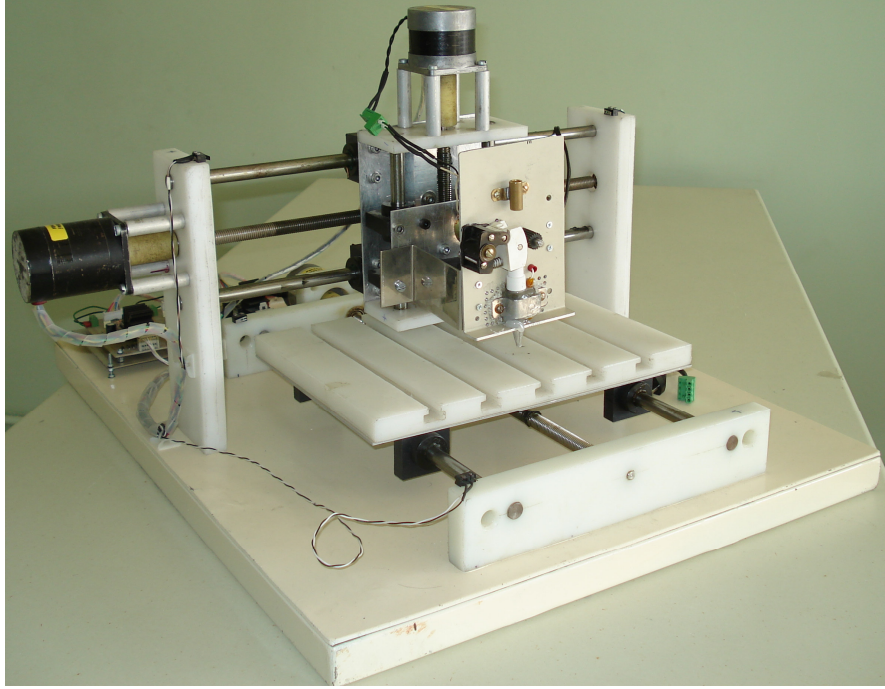


Şekil 3.3. HPÜ sisteminde kullanılan mini-CNC makinası

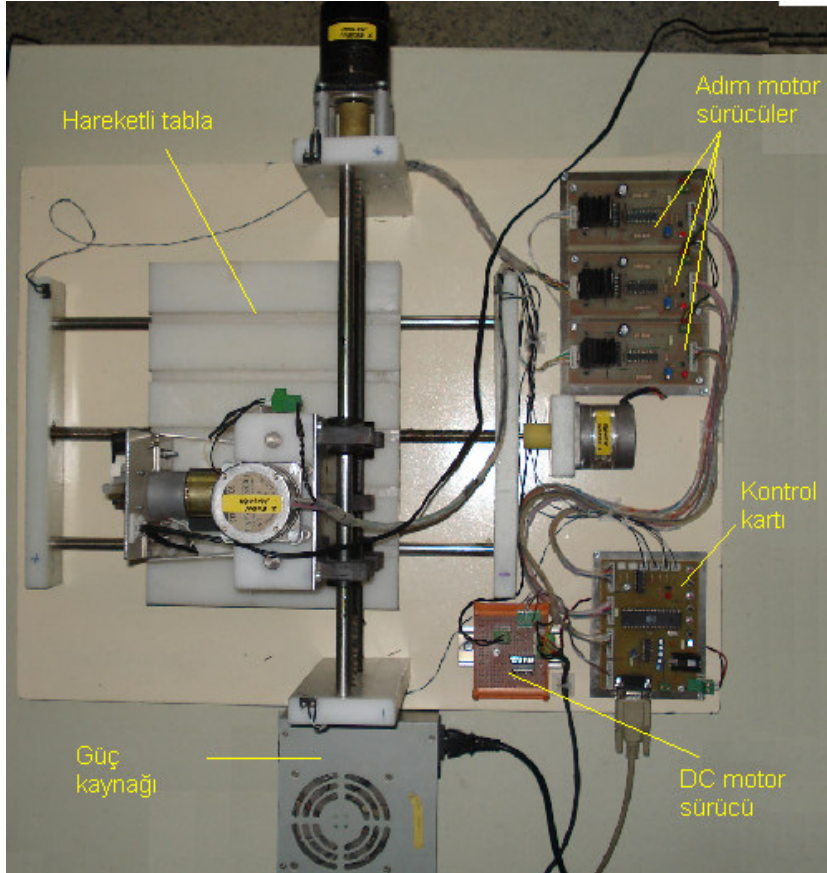
Yukarıda ayrıntıları verilen mekanik sisteme eritici kafa monte edilerek sistem bir HP sistemine dönüştürülmüştür. Sistemin genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Normal çalışma durumunda x ekseninin hızı 19 cm/dak, maximum 31 cm/dak hıza ulaşabilmektedir,
- Normal çalışma durumunda y ekseninin hızı 18 cm/dak, maximum 42 cm/dak hıza ulaşabilmektedir,
- Normal çalışma durumunda z ekseninin hızı 20 cm/dak, maximum 24 cm/dak hıza ulaşabilmektedir,
- X eksen milinin uzunluğu 40 cm, kafanın x ekseninde yalnızca bir yönde hareket edebileceği maximum yol uzunluğu 26,5 cm,
- Y eksen milinin uzunluğu 40 cm, kafanın y ekseninde yalnızca bir yönde hareket edebileceği maximum yol uzunluğu 17 cm,
- Z eksen milinin uzunluğu 14 cm, kafanın z ekseninde yalnızca bir yönde hareket edebileceği maximum yol uzunluğu 6 cm
- X eksen motoru: Oriental Motor 1,8° 5.4V 1.8A 6-kablolu
- Y eksen motoru: Oriental Motor 1,8° 5.4V 1.8A 6-kablolu
- Z eksen motoru: Shinano Kenshi 1,8° 12V 0.4A 6-kablolu
- Sistemin ağırlığı 19,7 kg
- Sistemin güç kaynağı: +5 V / 25 A, +12 V / 8 A, -5 V / 0,5 A, -12 V / 0.5 A, maximum çıkış gücü 235 W olan ve eski bir bilgisayardan sökülen güç kaynağı. Bazı değişiklikler yapıldıktan sonra kullanıldı.

Şekil 3.4'te gerçekleştirilen sistemin genel görünümü, Şekil 3.5'te ise üstten çekilmiş görüntüsü yer almaktadır.



Şekil 3.4. Sistemin genel görünümü

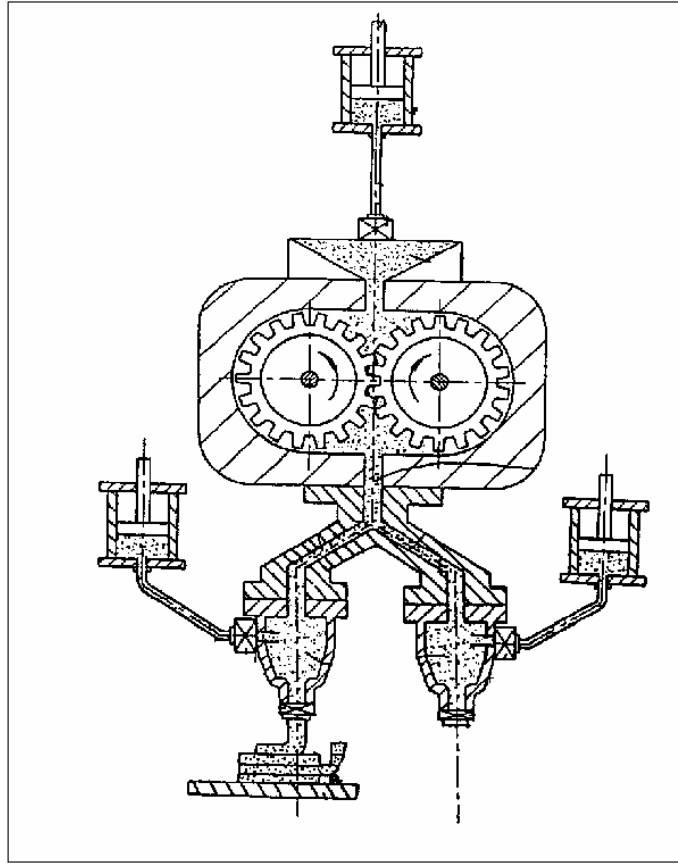


Şekil 3.5. Sistemin üstten görünümü

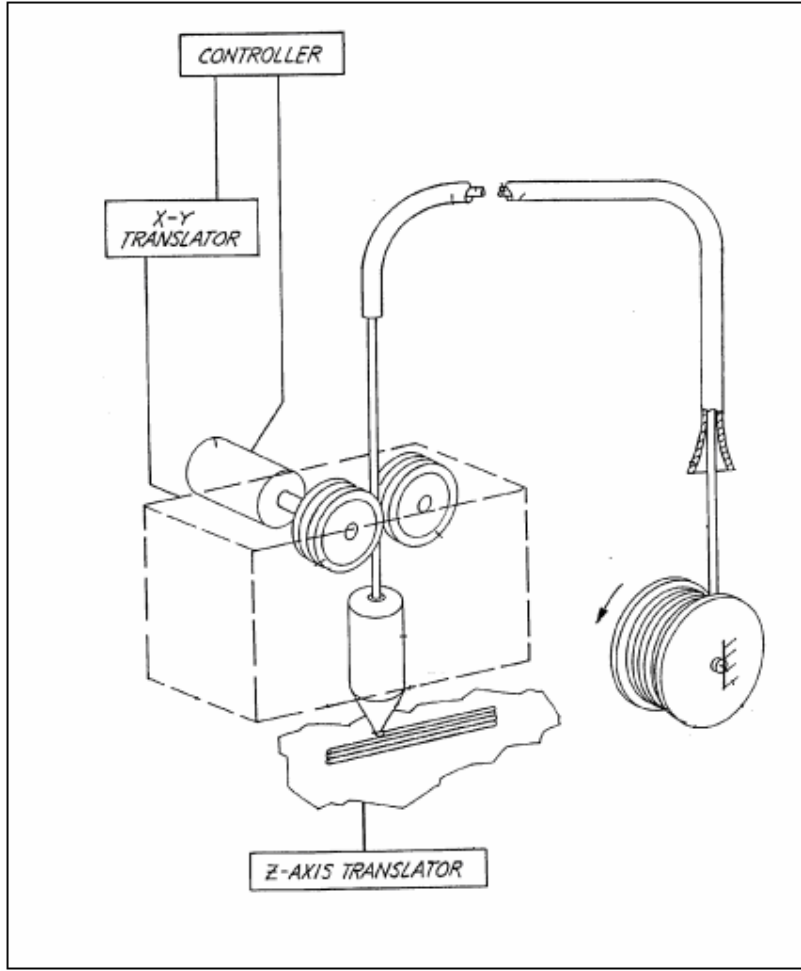
### 3.1.2.Eritici kafanın tasarımı

Hızlı prototipleme sistemimizin en önemli kısımlarından birisi olan eritici kafa, termoplastik malzemenin eritilerek belirli bir tabaka kalınlığına sahip olacak şekilde dökülmesini sağlamaktadır.

İncelediğimiz birçok FDM sistemindeki eritici kafa, şerit yapıya sahip termoplastik malzemeye uygun olarak tasarlanmışlardır. Toz ya da daha farklı fiziksel formlardaki termoplastik malzemelerin eritilerek dökülmesini sağlamak oldukça karmaşık yapılarda kafa tasarımları gerektirmektedir. Eritici kafanın tasarımı açısından en önemli faktör, kullanılan termoplastik malzemenin fiziksel yapısıdır. Şekil 3.6'da toz halindeki termoplastik malzemeye göre tasarlanmış eritici kafa (www.uspto.gov, patent no: 6280785) ve Şekil 3.7'de Stratasys tarafından tasarlanan şerit yapıdaki termoplastik malzemeye göre tasarlanmış bir eritici kafa birimi görülmektedir (www.uspto.gov, patent no: 6547995).



Şekil 3.6. Toz halindeki termoplastik malzemeye göre tasarlanmış olan bir eritici kafa (extruder)

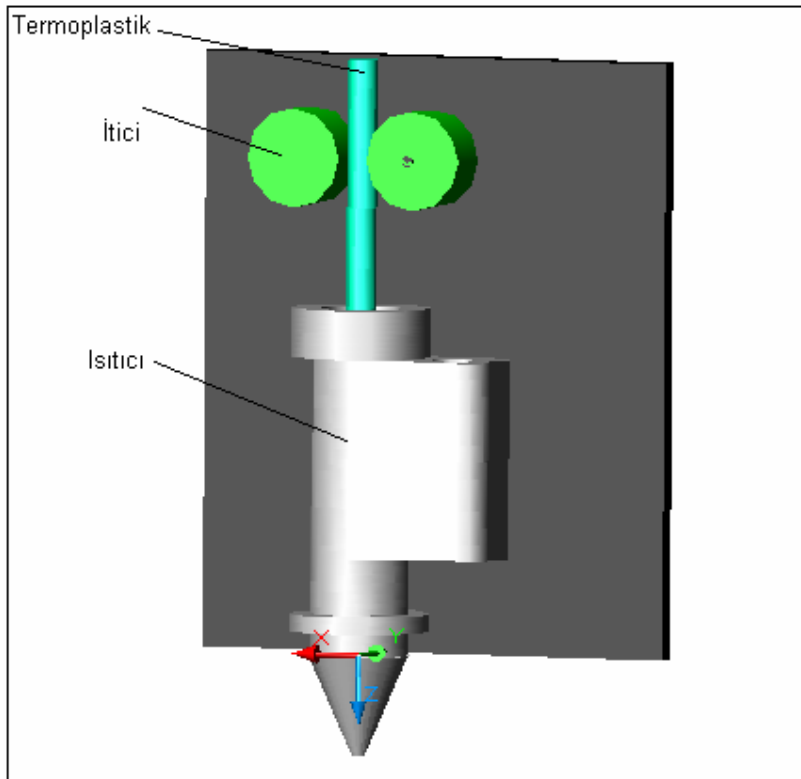


Şekil 3.7. Staratsys tarafından tasarlanan bir eritici kafa (extruder)

FDM sistemlerinde kullanılan ABS (acrylnitrile-butadiene-styrene), polikarbonat, elastomer, polisülfon gibi termoplastik malzemeler, şerit yapısında temin edilerek kullanılırlar. Fakat şerit yapıdaki termoplastik malzemeler oldukça pahalıdır ve temin etmek de oldukça güçtür. Örneğin, ABS piyasada toz halinde oldukça ucuza temin edilebilmektedir ama toz halindeki termoplastik malzemenin eritilerek dökülmesini sağlayacak donanımı gerçekleştirmek kolay olmamaktadır. Bundan dolayı sistemimizde genellikle silikon olarak bilinen yapıştırıcı çubuk kullanılmaktadır. Silikon, Normalde katı halde bulunur ve birçok değişik renge sahiptir. Silikon tabancası yardımıyla ısıtıldığında akışkan bir hal alır ve çok kısa bir zaman sonra tekrar sert bir plastik şeklini alır ve dökülen yere yapışır.

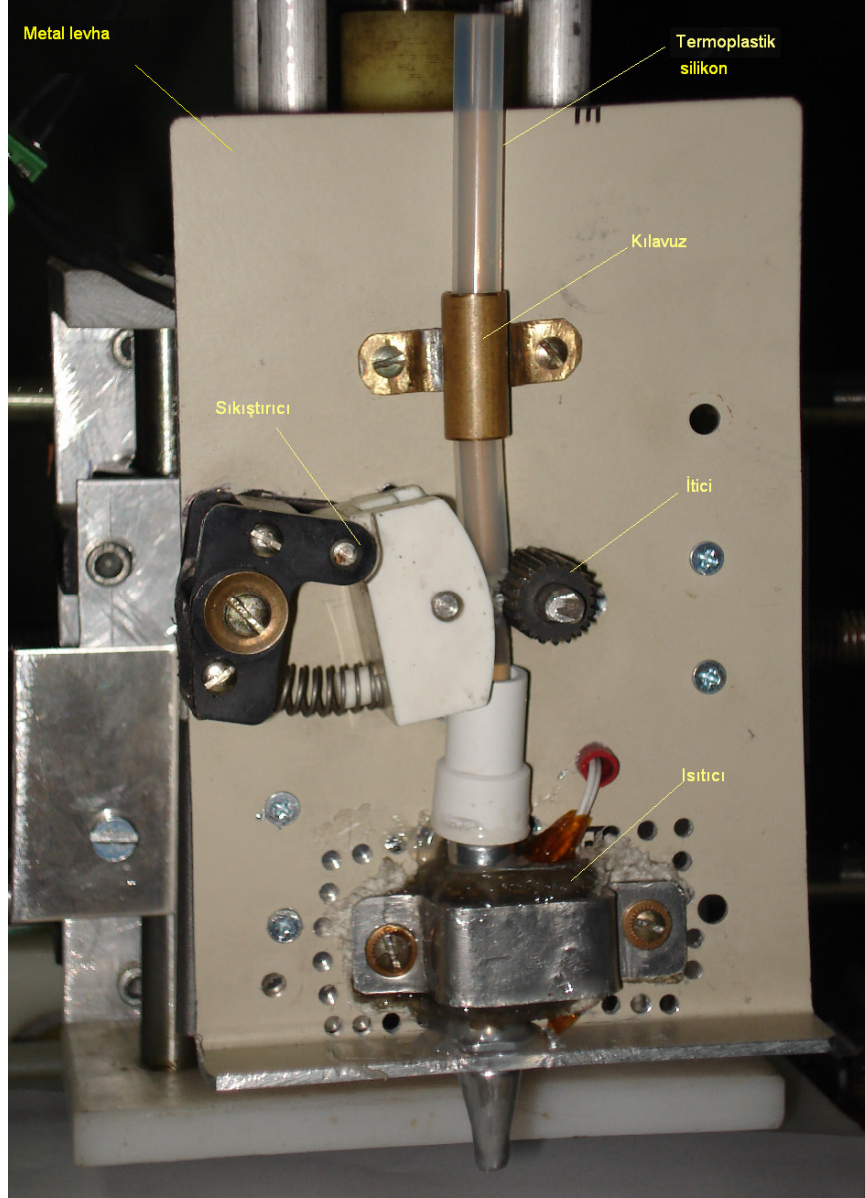
Termoplastik malzemenin, eritildikten sonra tabla üzerine uygun bir formda dökülmesini sağlamak için, dökülme hızının ayarlanabilmesi gerekmektedir. Malzeme henüz katı haldeyken, kafa üzerindeki ısıtıcı birime doğru itilme hızını kontrol ederek malzemenin eriyik haldeki dökülme hızını ve dolayısıyla tabla üzerine dökülen miktarını ayarlayabiliriz. Bunu Şekil 3.7'deki gibi termoplastik lifi sıkıştırarak iten iki adet tekerlek ya da benzeri bir silindir yapı ile bu silindirlere birisine direk bağlı olan bir motorla gerçekleştirebiliriz.

Isıtıcı birim için en ideal model ise ısıtıcı silikon tabancalarda bulunan ısıtma ucudur. Çok ucuza temin edilebilen bu aparat sayesinde ısıtıcı birim için özel bir tasarıma gerek duyulmamıştır ve eritici kafa tasarımı bu ısıtma uçları temel alınarak yapılmıştır (Şekil 3.8.). Silikon tabancaları piyasada çok çeşitli güçlerde ve boyutlarda bulunabilmektedir.



Şekil 3.8. Tasarlanan eritici kafa

Eritici kafa, pratikte karşılaşılan bazı gereksinimlerin doğurduğu eklemelerle birlikte yukarıda yer alan tasarım temel alınarak şekil 3.9'daki gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.9. Gerçekleştirilen eritici kafa

Kafa üzerinde yer alan kılavuz, termoplastiğin ısıtıcı birime dik bir şekilde girmesini sağlamaktadır. İtici olarak adlandırılan birim, bir DC motora direk bağlıdır ve ayarlanabilir hızlarda dönme hareketi gerçekleştirerek termoplastiğin ısıtıcı girişini sağlamaktadır. DC motor 2 V – 24 V aralığında çalışmaktadır ve hızının düşürülerek torkunun artırılması amacıyla 1/10 oranında redüktör kullanılmıştır. İtici'nin dönüş hızı üretilen prototip modeline bağlı olarak 0,4 rpm ile 3 rpm arasında değişebilmektedir.

İtcinin torkunun yüksek olmasından dolayı, itici ile silikon arasında silikonun kaygan yüzeyinin de etkisi ile kimi zaman kayma olabilmektedir. Bu nedenle sisteme, silikonun itilmesini sağlamanın yanı sıra kaymayı da engellemek ya da olabildiğine azaltmak amacıyla yaylı bir sıkıştırma birimi eklenmiştir.

Isıtıcı olarak, 20 wattlık bir silikon tabancasının eritici ucu kullanılmıştır. Metal levha üzerinde yer alan ve ısıtıcının çevresinde bulunan delikler, ısıtıcı etrafındaki yüzey alanını daraltarak ısının yayılmasını engellemek amacıyla yapılmışlardır.

### **3.2.Elektronik Devre Tasarımları**

Adım motor sürücü, DC motor sürücü ve kontrol kartı olmak üzere üç adet elektronik devre tasarlanmıştır. Adım motor sürücü devresi eksenlerde yer alan adım motorlarının sürülebilmesi için tasarlanmıştır. Her bir devre yalnızca bir adım motoru sürebilmektedir. DC motor sürücü devresi, eritici kafada bulunan motorun sürülebilmesi için tasarlanmıştır. Kontrol kartı ise bilgisayardan aldığı verilere göre üç adet adım motor ve bir adet DC motorun kontrol edilmesi için tasarlanmıştır. Aşağıdaki bölümlerde bu devreler ayrıntısıyla incelenmiştir.

#### **3.2.1.Adım motor sürücü devresi tasarımı**

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90, 45, 18, 7.5, 1.8 derece veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü veya saat ibresinin tersi yönünde olabilir.

Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikrodenetleyici veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çok kullanılırlar. Adım motorlarının kullanıldıkları yerlere örnek olarak, endüstriyel kontrol teknolojisi içerisinde bulunan bazı sistemler, robot sistemleri, takım

tezgâhlarının ayarlama ve ölçmeleri verilebilir. Ayrıca, adım motorları konumlandırma sistemlerinde ve büro makinaları ile teknolojisi alanında da kullanma alanı bulmaktadır.

Adım motorlarının bu kadar çok kullanılma alanı bulmasının nedeni bu motorların bazı avantajlara sahip olmasıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Geri beslemeye ihtiyaç göstermezler. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası diğer tür motorlara göre çok daha düşüktür.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden bilgisayar veya mikroişlemci gibi elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler, yağlanma veya kirlenme problemleri yoktur.
- Herhangi bir hasara yol açmadan defalarca çalıştırılabilirler, aşırı yüklenmeden zarar görmezler, oldukça dayanıklıdırlar.
- Fırça ve toplaç olmadığı için bu parçaların arızalarını da vermezler.

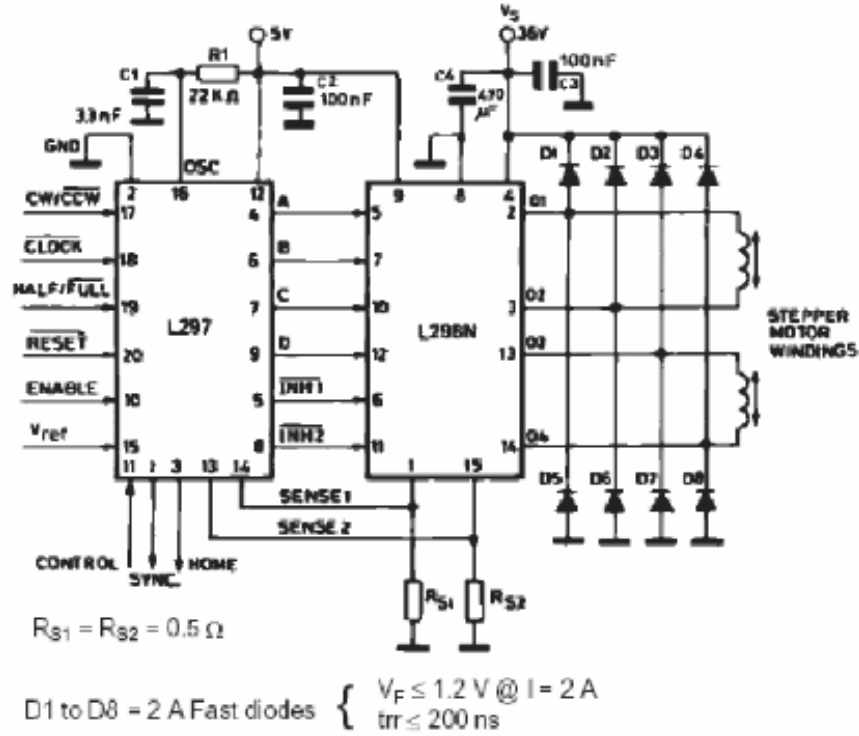
Adım motorlarının bu avantajları yanında bazı dezavantajları da aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

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

Adım motorlar bir dizi kısa elektrik akımıyla hareket ederler. Stator birbirine dik manyetik alan üreten iki ayrı bobinden oluşur. Bu bobinlere sırayla elektrik akımı verilerek statorun içerisinde döndürme etkisine sahip bir manyetik alan oluşması sağlanır. Statorun içindeki rotor bobinler tarafından sırayla oluşturulan manyetik

alanla polarize olarak döner. Her bir elektrik akım vurgusu rotorun belli bir açı kadar (bir adım) dönmesine neden olur. Eğer güç sadece bir bobine verilirse manyetik alanın etkisiyle rotor sabitlenecektir, bu da motorun durdurulmasında kullanılır.

Adım motorların sürülebilmesi için yaygın olarak iki yöntem kullanılır. Bunlardan birisi ULN2003 entegresi kullanılarak, bilgisayarın paralel portu üzerinden motorun sürülmesi, bir diğeri de L297 ve L298 entegreleri kullanılarak motorun sürülmesidir. Geliştirdiğimiz sistem yapılan iş itibarıyla bir kontrol kartı gerektirdiği için ve motorların da kontrol kartı tarafından kontrol edilmesi gerektiğinden paralel port üzerinden motor kontrolü tercih edilmemiştir. Bu nedenle L297 step motor kontrol entegresi ve L298 yarım köprü sürücü entegresi kullanılarak bipolar adım motor sürücü devresi tasarlandı. L297 entegresi girişine uygulanan step ve dir sinyalleri ile çıkışında step motor faz sinyallerini üretmektedir. Entegre full-step, half-step ve wave-drive modlarında çalışabilmektedir. L298 H-bridge sürücü entegresi bipolar step motorların sürülmesi için tasarlanmıştır. Max 2A/phase akım verebilir. Girişine uygulanan faz sinyallerini çıkışa yükseltip vermektedir.



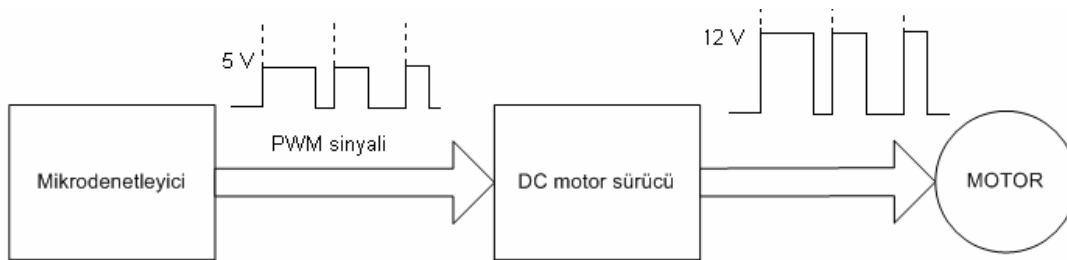
Şekil 3.10. L297 ve L298'li standart adım motoru sürücüsü

Sürücülerin özellikleri şunlardır; Step ve Dir sinyalleriyle çalışma· Max 45V motor voltajı· Max 2A faz akımı· Full-step, Half-step ve Wave-drive modlarında çalışabilme· Ayarlanabilir faz akımı. Bu sürücü devre kıyıcı mantığında çalışmaktadır. Bu sayede motorlardan maksimum hızda en iyi verimi almak amaçlanmıştır.

### 3.2.2.DC motor sürücü devresi tasarımı

Sistemimizde DC motor, eritici kafa üzerinde, silikonun ısıtıcı uca doğru itilmesini sağlamak için kullanılmaktadır. İtme hızı ayarlanarak eritilen silikonun uygun formda dökülmesi sağlanmaktadır. İtici birimin yavaş bir şekilde ve yüksek torkla dönmesini sağlamak için DC motorda 1/10 oranında bir redüktör kullanılmıştır. Motor ileri ve geri yönde hızı ayarlanabilir şekilde tasarlanmalıdır. Kontrol işlemi mikrodenetleyici tarafından yapıldığı için, yani analog değil de dijital bir kontrol söz konusu olduğu için motorun dönüş hızının ayarlanması için azaltan kıyıcı devresi kullanılması uygun görülmüştür.

L298 entegresi yapısal olarak çıkışı terslenebilir kıyıcı devre mantığında çalışabilmektedir. Dolayısıyla tek bir entegre ile yani L298 entegresi yardımıyla DC motor sürücü devresi tasarlandı. L298 entegresi uygulanan +12 volt motor gerilimini, girişine uygulanan 5 voltluk PWM sinyallerine göre kırparak çıkışında 0 – 12 volt aralığında gerilim üretmektedir. Ayrıca tam köprü yapıda olduğu için gerilimi tersleyerek motorun ters dönmesine de imkân vermektedir.



Şekil 3.11. DC motor sürücü prensip şeması

Sürücü devre bir İndirici Tipte (Buck) Konvertör devresi mantığıyla çalışmaktadır, bu devrelere azaltan kıyıcı devreleri de denilmektedir. Temel azaltan kıyıcı, giriş geriliminden daha az bir ortalama çıkış gerilimi verir, konuyla ilgili ayrıntılı bilgi Ek

Açıklamalar bölümünde verilmektedir. DC motor sürücü devre şeması ise EK-3'de verilmektedir.

### **3.2.3.Kontrol kartı tasarımı**

Kontrol kartı şu birimlerden oluşmaktadır; 89S52 mikrodenetleyicisi, RS232 seri bağlantı portu, 3 adet adım motor sürücü portu, dc motor sürücü portu, limit anahtarları ve tuş takımı. Şekil 3.12'de kontrol kartının blok şeması görülmektedir. EK-1'de kontrol kart devre şeması verilmiştir.

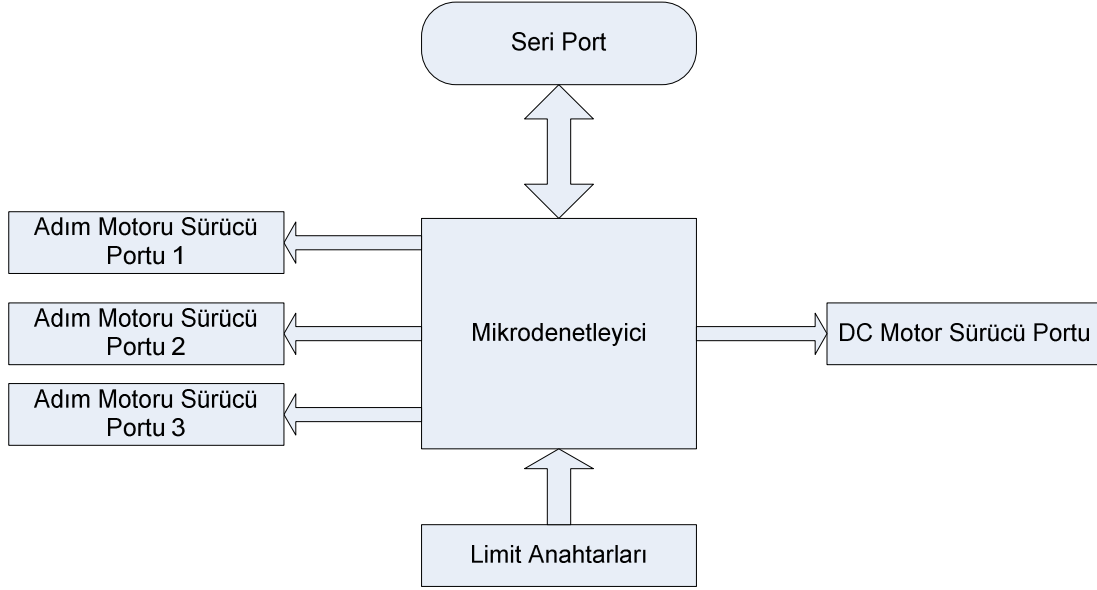
Tüm sistemin kontrolünü sağlayan 89S52 mikrodenetleyicisi 8051 ailesi işlemcilerinin bir üyesidir. 8051, Intel tarafından, 1980'lerin başında piyasaya sunulan, dünyanın en popüler 8-bit mikrodenetleyicilerinden biridir. Başta Intel olmak üzere, pek çok üretici firma (Philips, Dallas, Siemens, Oki ve Matra/Harris gibi) tarafından üretilmektedir. 89S52 'nin ana özellikleri şunlardır;

- Kontrol uygulamalarına yönelik 8-bit CPU, yoğun Boolean işlemleri yapabilme (tek bit lojik işlemler) özelliği,
- 8K Byte Sistem İçi Programlanabilir (ISP) Flash Memory, 1000 defa yazılabilme özelliği
- 4.0V - 5.5V gerilim aralığında, 0 Hz - 33 MHz aralığında Full Statik çalışma
- 3 seviye program hafıza kilidi
- 256 x 8-bit tümdevre üzeri veri RAM,
- 32 tane iki yönlü adreslenebilir I/O hatları,
- 3 tane 16-bit Zamanlayıcı/Sayıcı,
- 8 adet kesme kaynağı,
- Full Duplex UART seri kanalı,
- Watchdog zamanlayıcısı,
- Çift Data Pointer,

- Düşük güçte çalışma ve güç azaltım modları,
- Güç azaltım modundan kesme alabilme,

İşlemciyle ilgili daha ayrıntılı bilgi EK-6'da verilmektedir.

Ek Açıklama-3'te kontrol kartı ile bilgisayar arasındaki haberleşme ile ilgili ayrıntılar verilmiştir.



Şekil 3.12. Kontrol kartı blok şeması

### 3.4.Yazılım Tasarımı

Sistemin yazılımı iki ayrı bölümden meydana gelir;

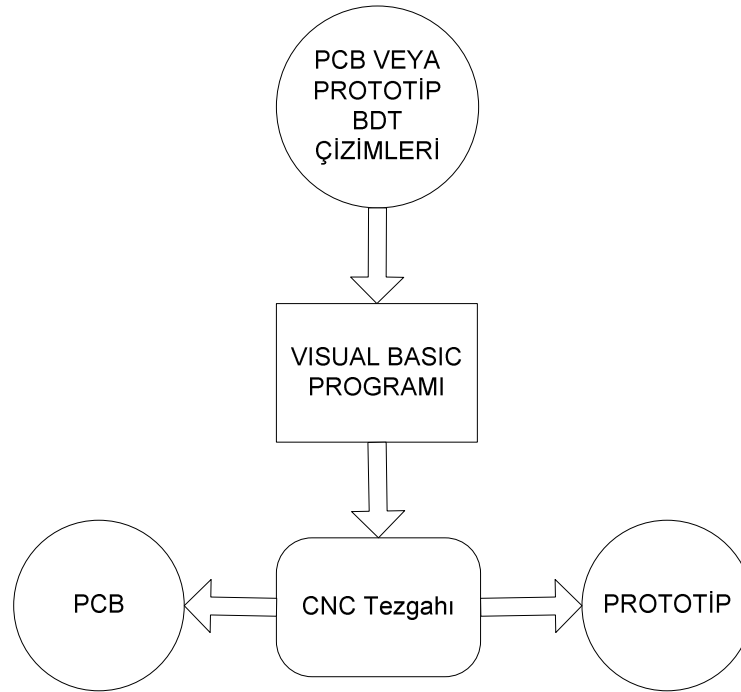
- a) BDT modelinden elde edilen verilerin mikrodenetleyicinin yürütebileceği formata dönüştürülmesini sağlayan PC yazılımı
- b) Bu verilerden yola çıkarak CNC tezgâhının kontrolünü sağlayan mikrodenetleyici yazılımı.

#### 3.4.1 PC yazılımı

Elimizdeki modellemenin CNC tezgâhı tarafından çizilebilmesi için modelleme dosyasını CNC tezgâhının anlayacağı bir biçime çevirecek bir dönüştürme birimine ihtiyaç vardır. Burada modelleme dosyasından kasıt, herhangi bir çizim dosyası

ile hazırlanmış bir resim dosyası ya da gelişmiş bir BDT programının çıktısı olabilir. Hem işlenmesi sırasındaki kolaylıklar hem de her hangi bir çizim programı ile kolayca üretilebilir olması nedeni ile dosya türü olarak bitmap (BMP) dosya biçimi seçilmiştir.

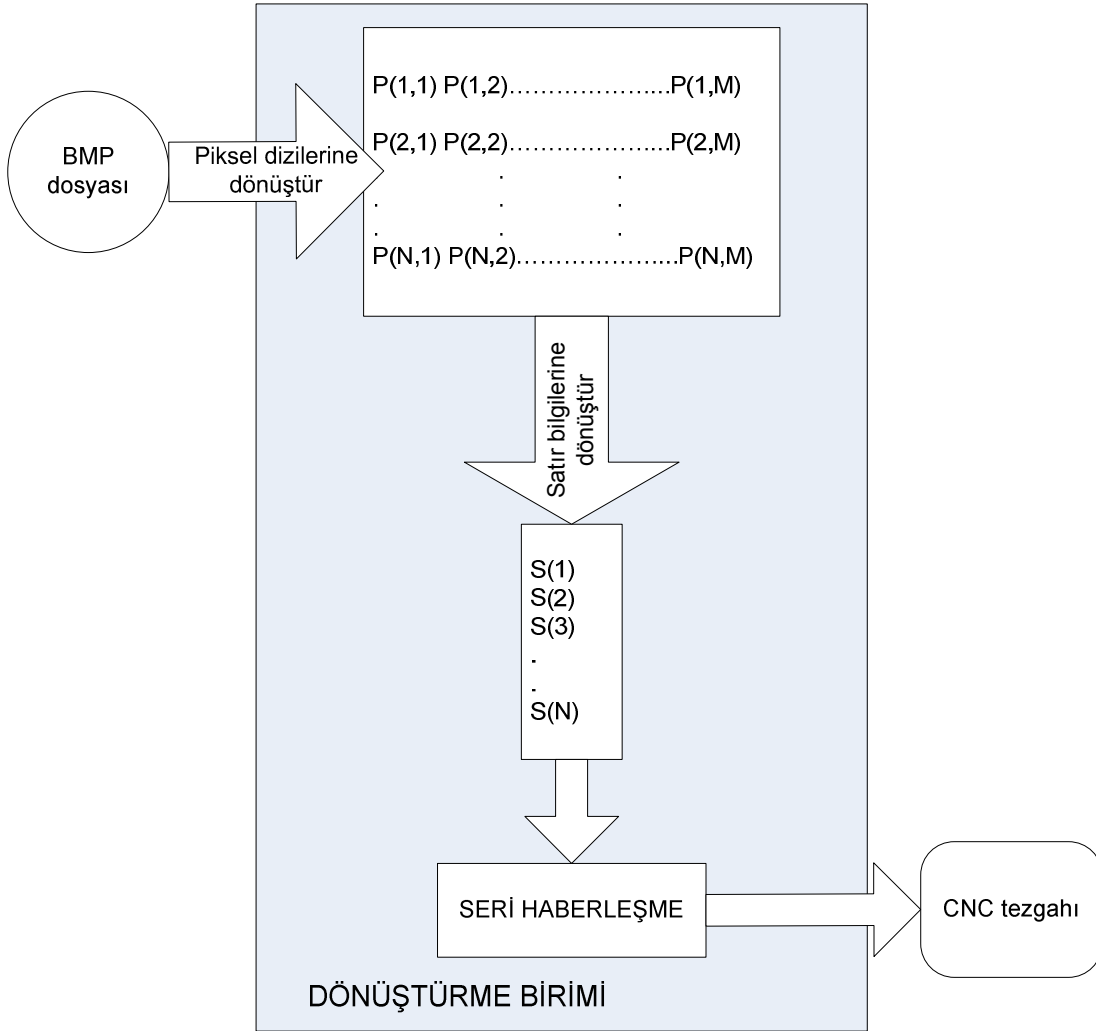
Dönüştürme birimi temel olarak, kullanıcı tarafından PCB için hazırlanmış bir BMP dosyasını alıp bunu CNC tezgâhının okuyabileceği bir formata çevirme işini üstlenir. Burada iki aşama söz konusudur; BMP dosyasından işlenecek noktaların bilgisinin alınması ve bu bilginin CNC tezgâhı için anlamlı bir hale dönüştürülmesi. İlk aşamada BMP dosyasından piksel bilgileri okunarak bir dizi içinde toplanır. Bu dizi PCB üzerinde hangi piksellere CNC tezgâhındaki kalem tarafından işaretlenmesi gerektiğinin bilgisini taşır. İkinci aşamada ise, bu bilgi CNC tezgâhı tarafından işlenmesi daha uygun bir formata çevirilir ve seri bağlantı noktası üzerinden CNC tezgâhına aktarılır. Bu süreç Şekil 3.13'teki blok diyagram ile özetlenebilir.



Şekil 3.13. PC yazılımının blok şeması

Daha önce de belirtildiği gibi dönüştürme biriminin yaptığı ilk iş BMP dosyasını hafızada yer alan bir dizi içine almaktır. Bu dizi doğrudan modelin çiziminin yapılması için CNC tezgâhına iletilebilir olmakla beraber, CNC tezgâhının

kullandığı çizim topolojisine daha uygun bir formata dönüştürülmesi mikrodenetleyici kaynaklarının en uygun şekle sokulması açısından önemli olmakla beraber CNC tezgâhının bir PCB yerleşiminin çizimini bitirmesi için gereken süreyi kısaltması açısından da önemlidir. Yalnızca bir piksel için motorları hareket ettirmek motorların hareketindeki akışkanlığı bozacaktır ve kesik ya da darbeli bir hareket oluşturacaktır. Bunun önüne geçmek için piksel dizimizin içindeki bilgiler okunup, CNC tezgâhının çizmesi gereken çizgiler bilgisine dönüştürülmelidir. Daha sonra bu bilgi seri haberleşme üzerinden CNC tezgâhına iletilebilir. Dönüştürme biriminin fonksiyonel çalışma diyagramı Şekil 3.14'te özetlenmiştir.



Şekil 3.14. Dönüştürme biriminin fonksiyonel şeması

Fonksiyonel diyagramda görülen “piksel dizilerine dönüştür” bağlantısı Visual basic programında ConvertToArray fonksiyonuyla, “piksel dizilerine dönüştür” bağlantısı ise ConvertToLines fonksiyonu aracılığı ile gerçekleştirilmektedir.

ConvertToArray fonksiyonunu gerçekleştirmek için çok yoğun bir BMP işleme kodu gerekmektedir. Neyse ki, Visual Basic görsel programla dili ve Windows işletim sistemi bizi bu ağır yükten kurtarmaktadır. Visual Basic sayesinde BMP dosyası çok kolay bir şekilde hafızaya alınabilmektedir. Daha sonra hafızaya aldığımız bu imajı, Windows'un bize sunmuş olduğu uygulama geliştirme arayüzleri sayesinde iki boyutlu bir dizi içine alabilmekteyiz. Burada çizilecek olan pikseller mantıksal “1”, boş kalacak olan pikseller ise mantıksal “0” olarak temsil edilmiştir. Bu dizinin oluşturulması ile ConvertToArray fonksiyonunu görevini tamamlamaktadır.

ConvertToLines fonksiyonu, bir önceki adımda elde etmiş olduğumuz piksel dizisinin baştan sona inceleyerek CNC tezgâhı tarafından çizilmesi gerekli olan çizgileri oluşturur ve bunu bir çizgi koleksiyonuna koyar. Burada koleksiyonumuz dinamik olarak genişleyip daralabilen bir veri yapısıdır. Piksel sayısının sabit olmasına rağmen çizilmesi gereken çizgi sayısı dinamik olarak değişebilir yani belirli piksel sayısına sahip birbirinden farklı resim dosyalarında (BMP dosyaları) çizilmesi gereken çizgi sayısı şekiller farklı olduğu için birbirlerinden farklı olacaktır. Bu yüzden dinamik yani boyutu değişebilen bir dizi yapısı kullanılmalıdır. Ayrıca sıradan dinamik bir dizi yerine koleksiyon kullanmak bizi piksellerin bir kere daha işlenmesi sürecinden kurtarmıştır.

Gerçekleştirdiğimiz PC yazılımıyla her bir piksel karşılığında CNC tezgâhının x ya da y eksenlerinde katedeceği mesafeyi belirleyebilmekteyiz. Bundan dolayı çizilecek olan resmin ya da gerçekleştirilecek olan prototipin boyutları resmi oluşturan piksellerin sayısından bağımsızdır.

### **3.4.2 Mikrodenetleyici yazılımı**

C dilinde yazılan mikrodenetleyici yazılımının sözde kodu (pseudo code) aşağıdaki şekildedir ;

```
main(){  
    zamanlayıcıyı kesmelerini hazırla;
```

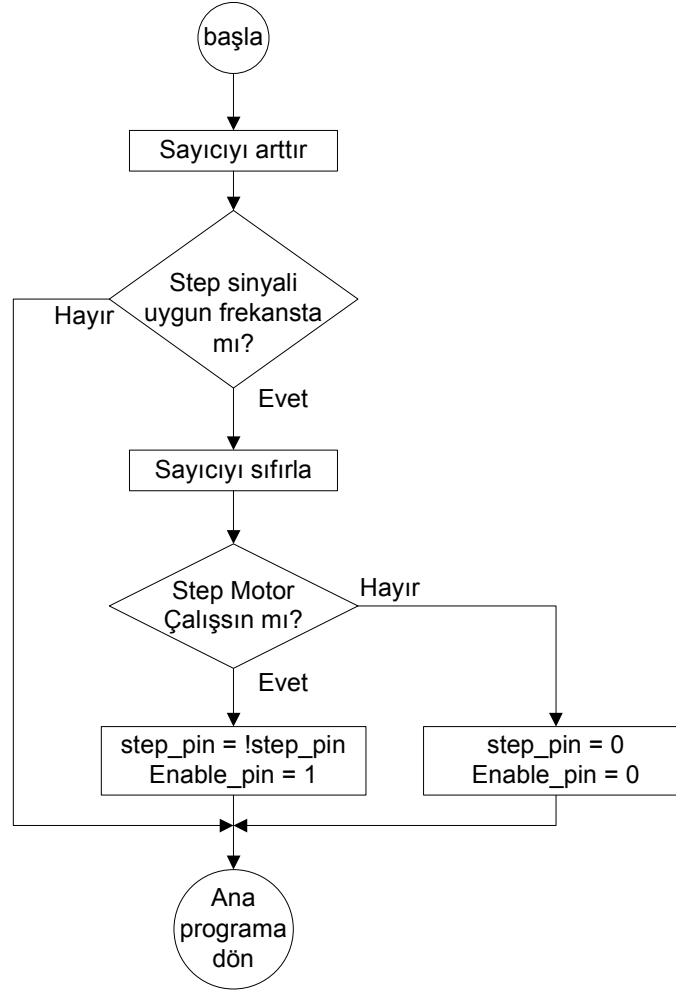
```

seri port kesmelerini hazırla;
değişken ilk değerlerini belirle;
while(1){
    zamanlayıcı kesmelerini kontrol et;
    if(100 ms dolmuşsa){
        limit anahtarlarını kontrol et;
        tuş takımını kontrol et;
    }
    Seri portu oku;
    Dc motor sürücü altyordamını çağır;
    Adım motor sürücü altyordamını çağır;
}
}

```

Şekil 3.15'te adım motor sürücü altyordamının akış şeması yer almaktadır. Bu altyordam mikrodenetleyicinin adım motor sürücü kartları için gerekli step ve enable sinyallerini üretmektedir. Adım motorun dönüş yönünün bilgisi, direkt olarak seri porttan okunmakta ve seri port altyordamında dönüş yönü belirlenmektedir, dolayısıyla motorun dönüş yönü bu birimde kontrol edilmemektedir.

Yaptığımız denemelerde adım motorların çalışması için üretilen adım sinyali için en uygun frekans 650 Hz ile 750 Hz aralığında belirlendi. Bu aralığın dışındaki frekanslarda gürültülü, kesik ya da çok yavaş çalışmaktadır. Adım sinyali darbe katarından oluştuğu için her bir darbenin genişliği yaklaşık olarak 1400 µs olarak hesaplanır, bu durumda adım sinyalini üreten adım pini 700 µs "1" konumunda, 700 µs "0" konumunda olmalıdır. Mikrodenetleyicinin zamanlayıcısı 100 µs sürede bir kesme üretmek üzere ayarlanmıştır. Aşağıdaki akış şemasında yer alan ve adım sinyalinin uygun frekansta oluşturulmasını sağlayan sayıcı değişkeni bu zamanlayıcı kesmesinde yer alır ve 100 µs de bir değeri artar. Adım sinyali uygun genliğe ulaştığında seri porttan okunan motorun çalışma durum bilgisine bakılır. Eğer motorun çalışma durumu "1" ise adım pini terslenir yani "1" ise "0" yapılır, "0" ise "1" yapılır. Bu şekilde belli bir frekanstaki adım sinyali darbe katarı şeklinde oluşturulmuş olur.

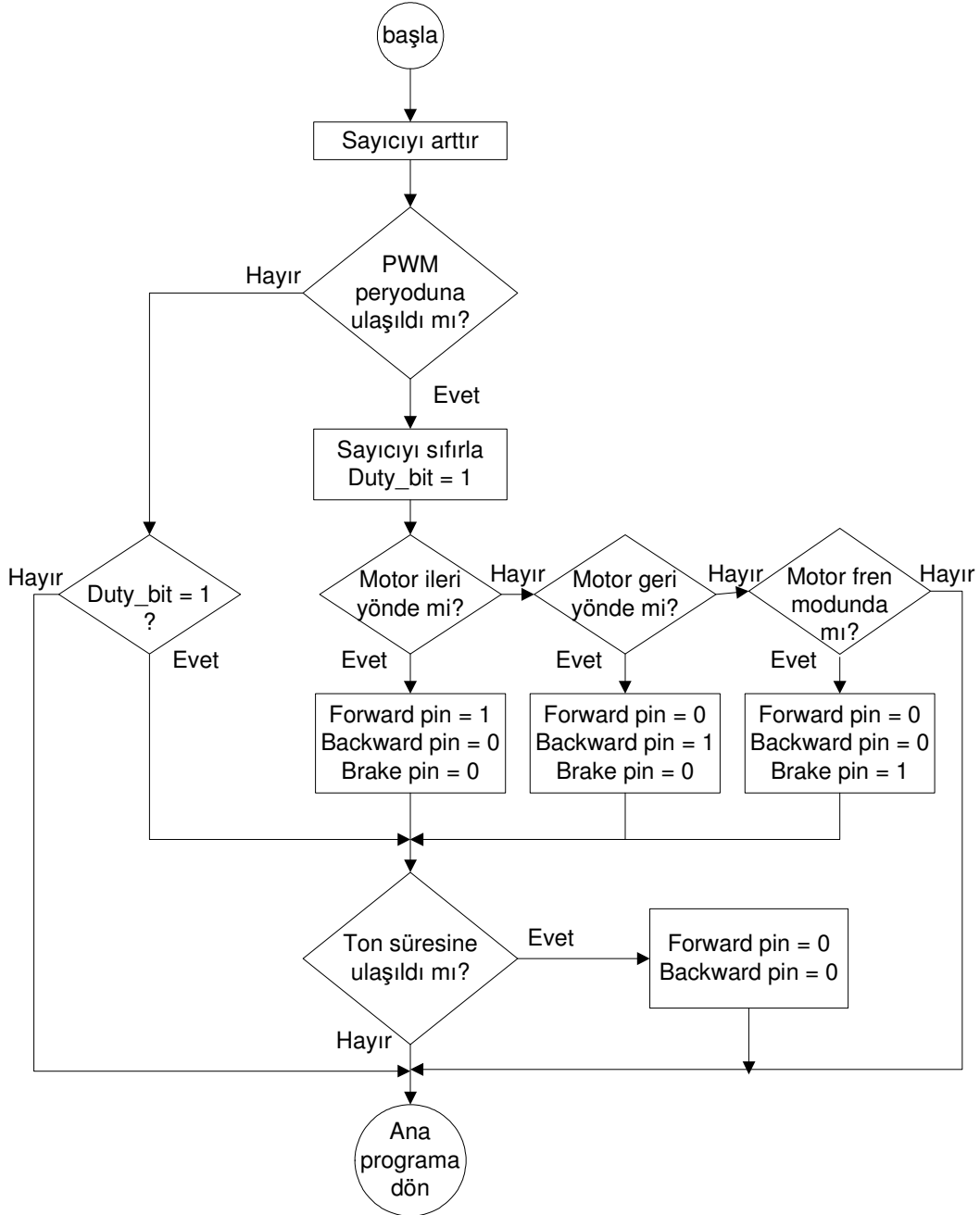


Şekil 3.15. Adım motor sürücü altyordamının akış şeması

Dc motor sürücü altyordamı dc motorun çalışması için gerekli PWM sinyalini üretir. Üretilmesi gereken PWM sinyali dc motor sürücü kartının anlatıldığı bölümde ayrıntılı olarak incelenmişti. Bu altyordam PWM sinyalinin belirli bir frekansta ve belirli görev zamanına (ton/peryod) sahip olarak üretilmesini sağlar. Görev zamanı ayarlanarak motora iletilen gerilim kontrol edilir.

DC motor sürücü yordamındaki sayıcının, zamanlayıcıya bağlı olarak 100 µs de bir değeri artar. PWM sinyalinin peryodu 15 ms'dir. Her 15 ms sonunda sayıcı sıfırlanır ve seri porttan veya tuş takımından okunan motor hareket moduna göre ilgili pinlere "1" ya da "0" atanır. PC tarafından gönderilen ton süresine yani PWM sinyalinin "1" olması gereken süreye ulaşıldıysa motoru ileri ve geri çalıştıran pinler "0" yapılır ve ana program döngüsüne dönülür, ton süresine ulaşılmadıysa hiçbir

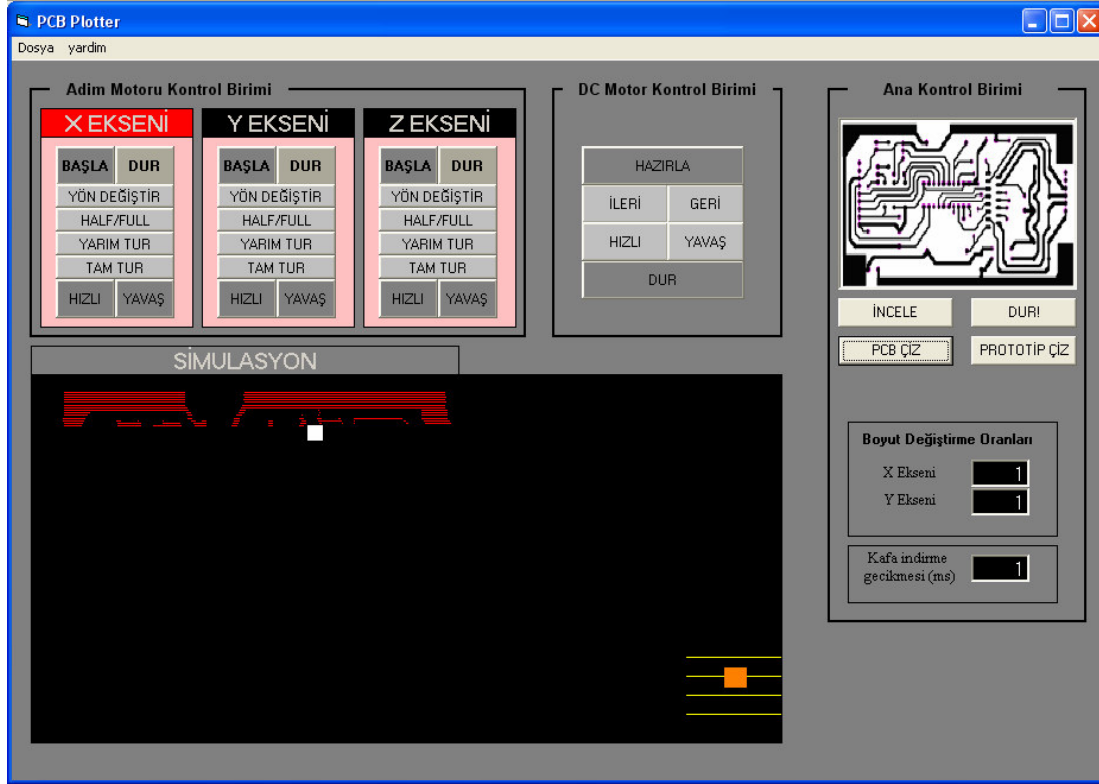
değişiklik yapılmadan ana program döngüsüne girilir. Şekil 3.16'da bu yordamın akış şeması görülmektedir.



Şekil 3.16. DC motor sürücü alt yordamının akış şeması

### 3.4.3. Grafik kullanıcı arayüzü

Kullanıcı ara yüzü, adım motoru kontrol birimi, dc motor kontrol birimi, ana kontrol birimi ve simülasyon ekranından meydana gelir.



Şekil 3.17. Grafik kullanıcı ara birimi

Adım motor kontrol birimi x, y ve z eksen motorlarının her birinin ayrı ayrı hareketini, yönünü, hızını ve yarım/tam adım mod seçimini denetlememize olanak sağlar. DC motor kontrol birimi eritici kafada yer alan dc motorun hareketini, hızını ve yönünü kontrol etmemizi sağlar.

Ana kontrol biriminde çizim için seçilen şekil, ilgili butonlar ve çizilecek şeklin x ve y eksenlerinde boyut değiştirme oranları yer alır. Mesela 256 x 128 pikselden oluşan bir resim normalde PCB çizici opsiyonu kullanılarak 12 cm x 6 cm boyutunda üretilirken x ekseninde boyut büyütme oranı 1,2 ve y ekseninde boyut büyütme oranı 0,8 seçilmesi durumunda çizilecek şekil 14,4 cm x 4,8 cm ebatında olacaktır.

Simülasyon ekranı kafanın x, y ve z yönlerinde hareketinin benzeşimini göstermektedir. Şekil 3.7’de görülen simülasyon ekranındaki beyaz kutucuk

kafanın x ve y eksenlerindeki 2 boyutlu hareketini gösterirken sağ alt köşedeki turuncu kutucuk kafanın z eksenindeki hareketini gösterir. Kafa aşağıda iken yani tabla üzerinde siyah bir alanı çizmek üzere kafa çizim yüzeyine temas halinde iken simulasyon ekranında da beyaz kutucuğu takiben kırmızı renkli bir etiket (label) oluşmaktadır. Böylece kafa tabla üzerinde bir çizgi çizerken aynı zamanda simulasyon ekranında da bunun bir benzeşimini görmekteyiz.

Simulasyon ekranının en büyük avantajı program geliştirme sürecinde CNC tezgâhının çalıştırılması gerekliliğini ortadan kaldırmasıdır. Böylece makina yanımızda olmadan da programların geliştirilmesi çalışmalarını gerçekleştirerek gerekli bazı yazılım testlerinin gerçekleştirilmesi sağlandı.

### 3.5. Sistem maliyeti

Gerçekleştirilen HP sisteminin toplam maliyeti, CNC tezgâhı, eritici kafa, bilgisayar ve elektronik kartların maliyetinden meydana gelmektedir.

CNC tezgâhının, step motorlar dâhil olmak üzere tüm eksenlerini oluşturan bileşenlerinin maliyeti 150 YTL, gereken işçilik maliyeti de minimum 200 YTL civarındadır. 30 YTL'ye mal olan taban sacı ile birlikte CNC tezgâhının toplam maliyeti 380 YTL'dir. Eritici kafanın maliyeti, işçilik ve DC motor maliyeti de dâhil olmak üzere 150 YTL'dir. Kontrol kartı 25 YTL, DC motor sürücü kartı 15 YTL, üç adet adım motor sürücü kartı 60 YTL olmak üzere elektronik kartlar 100 YTL'ye mal olmuştur.

Sistemde, seri bağlantı noktası olan herhangi bir bilgisayar kullanılabilir. Ortalama 750 YTL'ye böyle bir bilgisayar kolaylıkla elde edilebilmektedir.

Sistemin toplam maliyeti 380 YTL CNC tezgâhı, 150 YTL eritici kafa, 100 YTL elektronik kartlar ve 750 YTL bilgisayar olmak üzere 1380 YTL olarak hesaplanır.

Çizelge 3.1: Geliştirilen HP sisteminin maliyeti

<b>Maliyet Unsurları</b>	<b>İşçilik</b>	<b>Malzeme</b>	<b>Toplam</b>
Elektronik Kartlar	-	100 YTL	100 YTL
CNC Tezgâhı	200 YTL	180 YTL	380 YTL
Eritici Kafa	50 YTL	100 YTL	150 YTL
Bilgisayar	-	750 YTL	750 YTL
Genel Toplam	250 YTL	1130 YTL	1380 YTL

#### 4. UYGULAMALAR

Sistemin hızlı prototipleme uygulamasında kullanılacak yazılımının oluşturulmasından önce, sistem bir çizici olarak düşünülerek yazılımı gerçekleştirildi. Buradaki amaç eritici kafa ile ilgili sorunlarla karşılaşmadan önce gerekli yazılım altyapısını oluşturmaktır. Eritici kafa yerine bir kalem takılarak sistemi bir çizici olarak kullanılabilecek yazılım gerçekleştirildi, böylece çok daha basit bir donanım üzerinde çalışılarak yazılım altyapısı oluşturuldu.

Sistem çizici olarak kullanılarak aşağıdaki şekiller elde edildi. Bu şekilleri oluşturmak için kullanılan yazılımın temel yapısı bölüm 3.4'te açıklanmıştır.



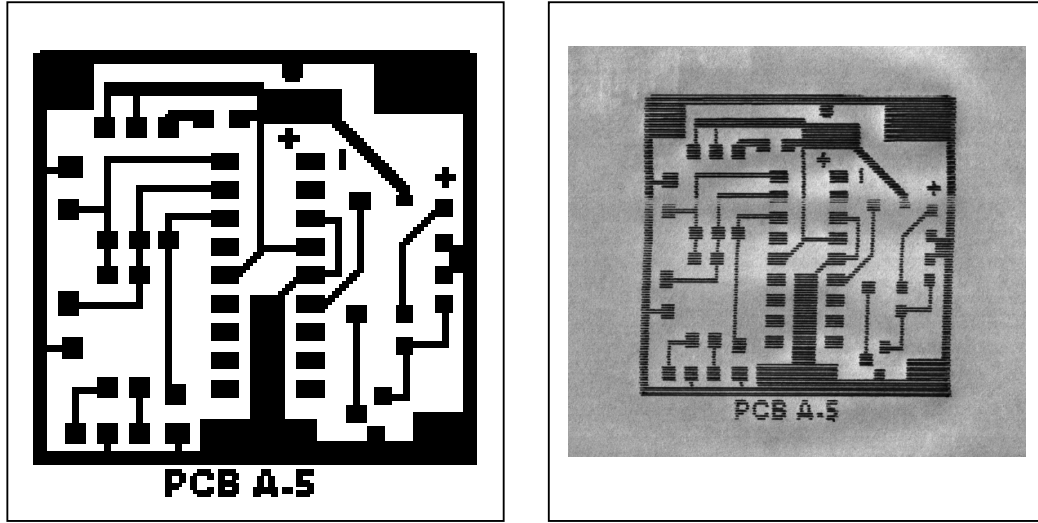
(a)

(b)

Şekil 4.1. Kağıt üzerine çizilen Atatürk portresi a) BMP dosyası b) Çizilmiş görüntü  
Şekil 4.1-b'deki çizilmiş şekli oluşturmak için Şekil 4.1-a'daki BMP formatındaki resim dosyası Visual Basic'de hazırlanan PC programı tarafından okunmuştur. PC programı öncelikle BMP dosyasındaki bütün piksellerin değerlerini okumuş ve her bir pikselin siyah mı beyaz mı olduğunun bilgisini saklamıştır. Daha sonra bu bilgileri kullanarak, resmin birbirine paralel çizgiler çizilerek oluşturulabilmesini sağlayacak bir algoritma yardımıyla, resmi yatay çizgilerle oluşturulabilecek yeni

veriler elde etmiştir. Bu veriler seri bağlantı noktası üzerinden kontrol kartına gönderilmiş, kontrol kartı da kafaya takılı olan kalemin hareketlerini motorlar üzerinden gerekli biçimde denetleyerek şekli oluşturmuştur.

Atatürk portresi, resim dosyası olarak 174 x 215 piksel boyutundadır. Çizilen portre ise 12 cm x 8 cm boyutlarındadır. Kafanın yatay ekseninde birbirine paralel olarak çizdiği çizgi sayısı 215'tir, yani dikey eksendeki piksel sayısına eşittir. Yatay ekseninde çizilen iki çizgi arasındaki mesafe 0,5 mm'dir. Herbir piksel için kafanın kat ettiği yol ise  $12/174 = 0.68$  mm'dir. Resmin piksel boyutu değiştirilerek çizim yapılırsa, örneğin resim 348 x 430 pixel boyutuna dönüştürülürse çizilen resim 24cm x 16 cm olacaktır. Benzer şekilde x ve y eksenlerinde yani yatay ve dikey ekseninde her bir piksel için katedilen mesafe değiştirilerek de resim boyutu değiştirilebilmektedir. Şekil 3.17'de de görüldüğü gibi grafik kullanıcı ara biriminden boyut değiştirme oranları girilebilmektedir.

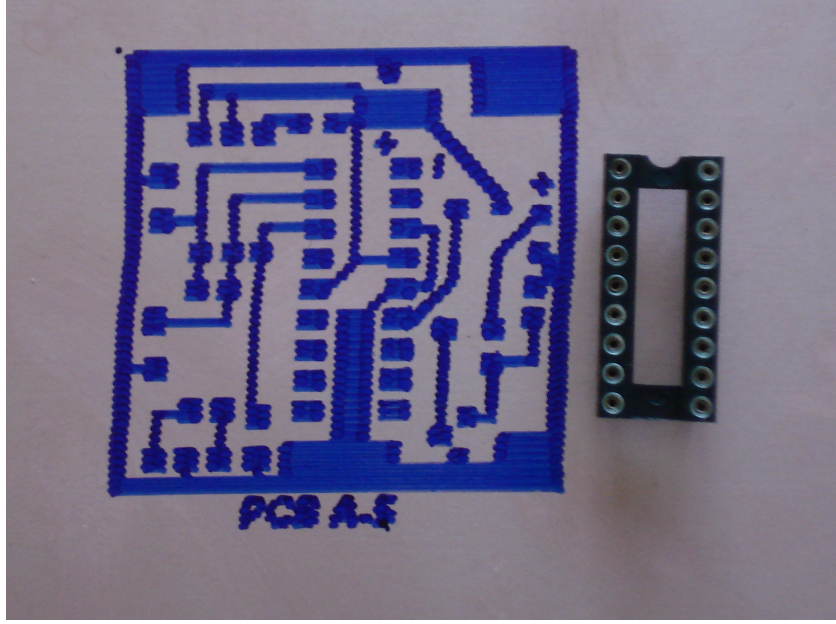


(a)

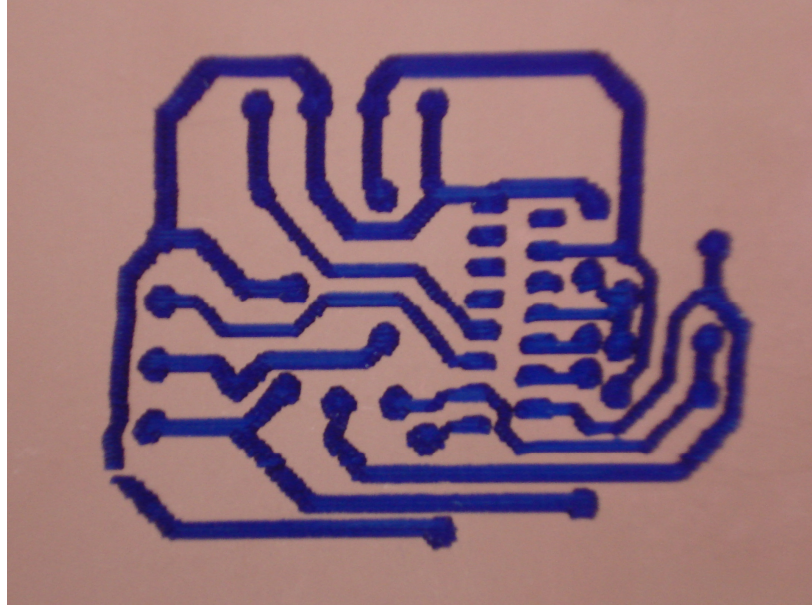
(b)

Şekil 4.2. PCB A – 5, a) BMP dosyası b) Çizilmiş görüntü

Şekil 4.2'de 128 x128 pixel boyutundaki PCB şeması kağıt üzerine tükenmez kalem ile her bir piksel 0.54 mm genişlikte olacak şekilde çizilmiştir. Şekil 4.3'te ise PCB gerçek boyutlarda bakır üzerine asetat kalemi ile her bir piksel 0.29 mm genişlikte olacak şekilde çizilmiştir.



Şekil 4.3. PCB A-5, bakır yüzey üzerine asetat kalem ile çizilen şekil

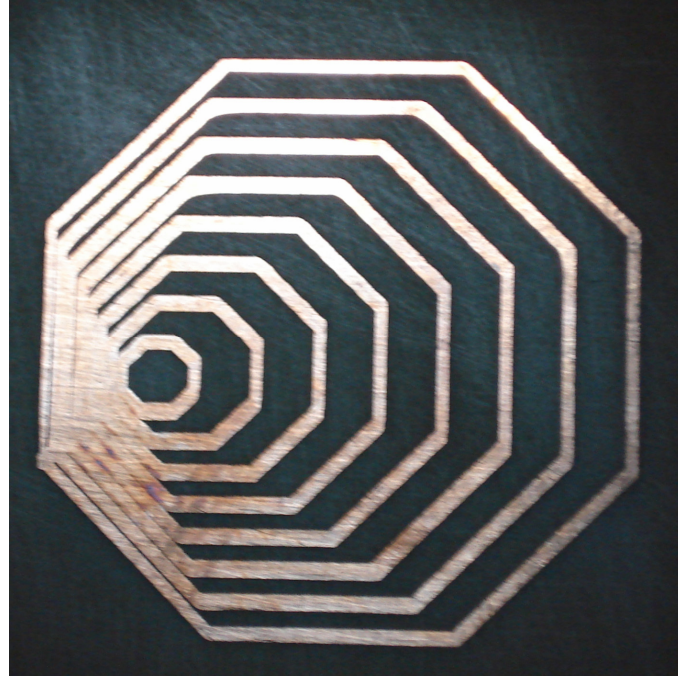


Şekil 4.4. DC motor sürücü PCB şeması

Şekil 4.4'te, sistemde kullanılan DC motor sürücü kartının baskı devre şeması bakır üzerine asetat kalem ile çizilmiştir.



Şekil 4.5. Hacettepe arması

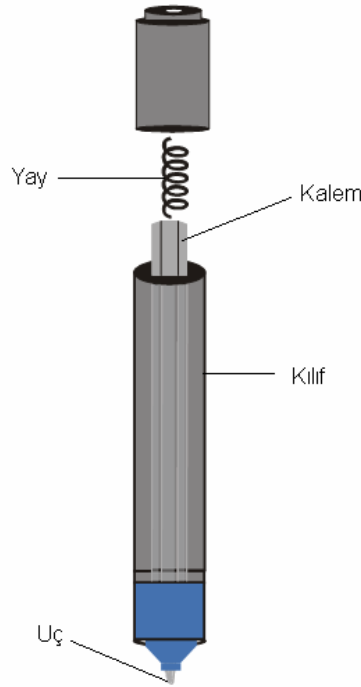


Şekil 4.6. Çift kat çizilmiş geometrik şekil

Şekil 4.5. ve Şekil 4.6'da bakır yüzey üzerine asetat kalemi ile çizilen şekiller asit içerisine atılarak bir süre bekletilmiş ve asetat kalemi ile çizilen yüzeylerin dışındaki kısımların erimesi sağlanmıştır.

Şekil 4.5'te Hacettepe Üniversitesi arması, bakır yüzey üzerine asetat kalemi ile çizilmiş, daha sonra asit içerisine atılarak bir süre bekletilmiş ve asetat kalemi ile çizilen yüzeylerin dışındaki kısımların erimesi sağlanmıştır. Resimdeki parlak kısımlar bakırdan oluşmaktadır. Şekil 4.6'da ise asite atılma işlemi, iki defa üst üste asetat kalemi ile çizilmiş içiçe sekizgenler üzerinde denenmiş, bu defa daha düzgün bir şekil elde edildiği görülmüştür.

Özellikle PCB şemalarında çok fazla dikey hat olduğu için kafa sürekli yukarı aşağı hareket etmektedir. Bu durumda sonsuz vida ile yataklama arasında bulunan boşluklar nedeniyle, kafanın da ağırlığının etkisiyle, kafa normalde durduğu seviyeden daha aşağıya doğru kaymaktadır. Uzun bir süre sonunda kafaya takılı olan kalem tablaya baskı yapmaya başlamakta, bu da kalemin ucuna zarar vermekte ve z eksen motorunu zorlamaktadır. Şekil 4.7'de görülmekte olan kalem yapısı bu sorunu aşmak için tasarlanmıştır.

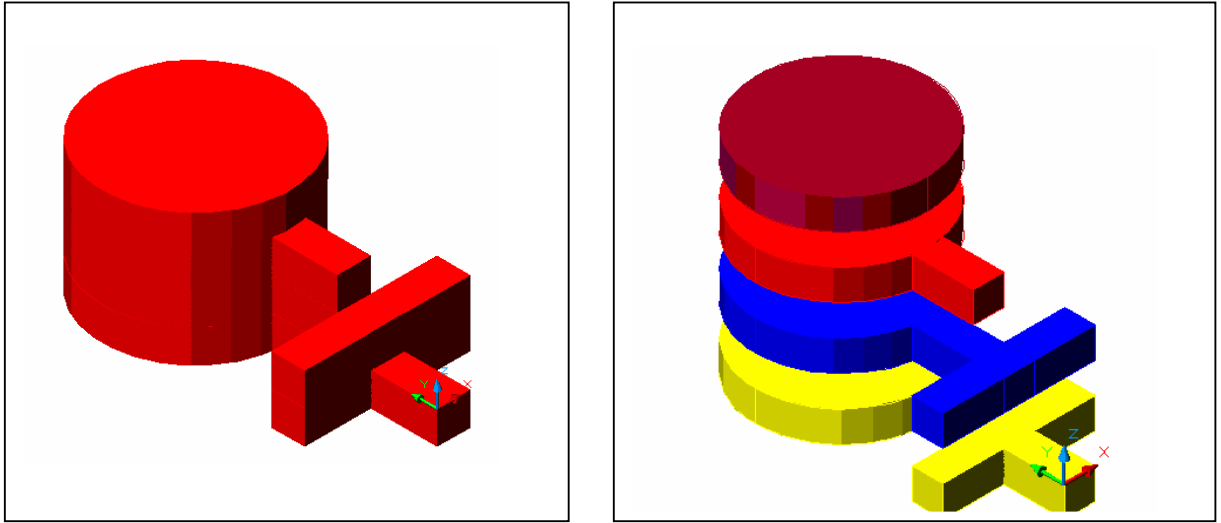


Şekil 4.7. Yaylı kalem mekanizması

Yaylı kalem mekanizması için bir adet boardmarker kalemin içi boşaltılarak ortadan kesilmiştir. İçine, çizimi gerçekleştirecek kalem yerleştirilmiştir. Kalemin arka kısmına da bir yay yerleştirilerek kalemin uç kısmı dışarıda kalacak şekilde kapak kapatılmıştır. Yaylı kalem mekanizması kılıf kısmından CNC tezgâhının kafa kısmına sabitlenmiştir. Bu durumda kafada aşağı doğru bir kayma söz konusu olsa bile kalemin ucu zarar görmeyecek ve z eksen motoru zorlanmayacaktır.

HP uygulamalarını gerçekleştirmek için ise PC yazılımında, PCB çizimi yapmak için kullanılan algoritmalarda bazı değişiklik yapılmıştır. PCB çiziminden farklı olarak çizimde kullanılan kalem yerine konulan eritici kafa, kalem gibi sürekli olarak inip kalkma hareketi yapmamaktadır. Yalnızca bir tabakanın dökülmesi tamamlandığında tabaka kalınlığının gerektirdiği ölçüde tabladan yukarıya doğru kalkmaktadır.

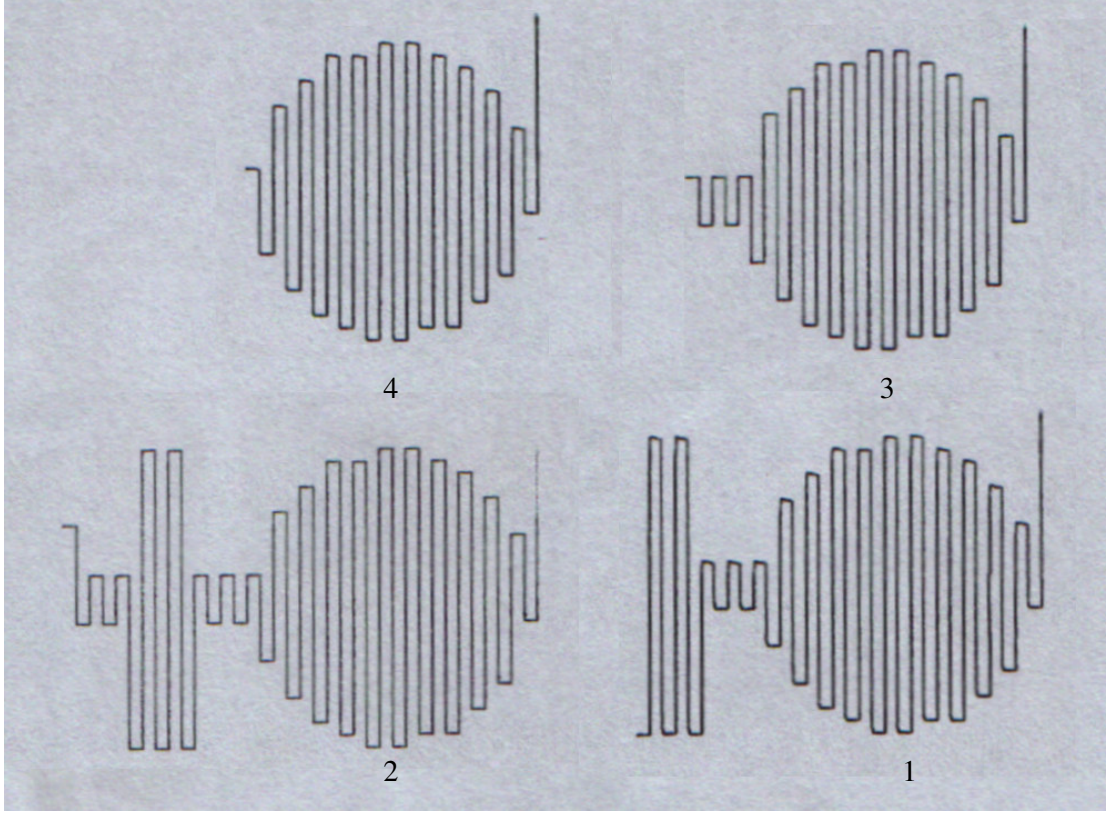
Prototipi üretilecek olan modeller tabakalardan meydana gelecek şekilde AutoCad yardımıyla oluşturulmuştur.



(a)

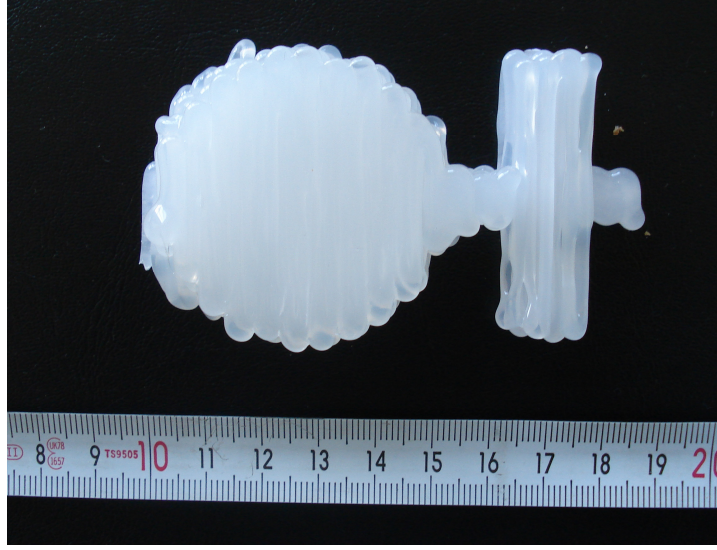
(b)

Şekil 4.8. Model – A autocad çizimi, a) Profil görünümü b) tabakalara ayrılmış görünüm

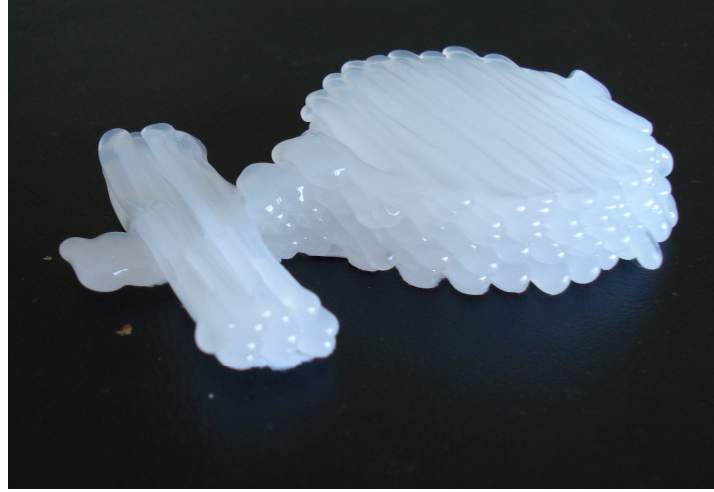


Şekil 4.9. Model - A, tabakalara göre kafa hareketi

Prototip termoplastikten oluşturulmadan önce, her bir tabaka için kafa hareketini gözlemlemek amacıyla eritici kafa yerine kalem takılarak sistem çalıştırılmış ve şekil 4.9'daki sonuçlar elde edilmiştir. Kafa sırasıyla 1, 2, 3 ve 4 nolu şekillerdeki hareketleri gerçekleştirmektedir. Eritici kafa kullanılarak gerçekleştirilen işlemde ise aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



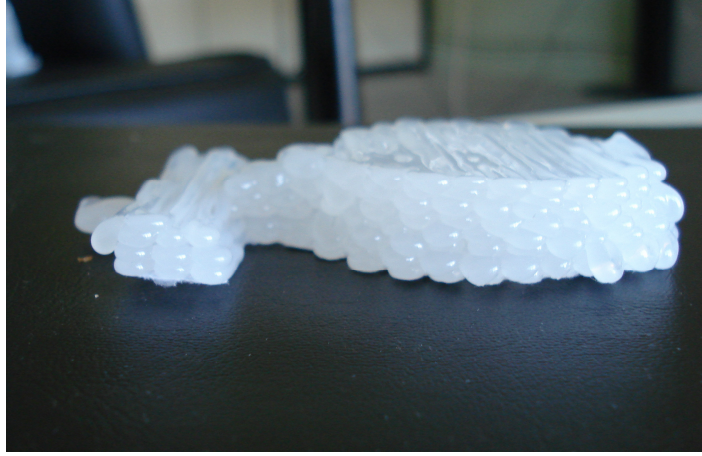
(a)



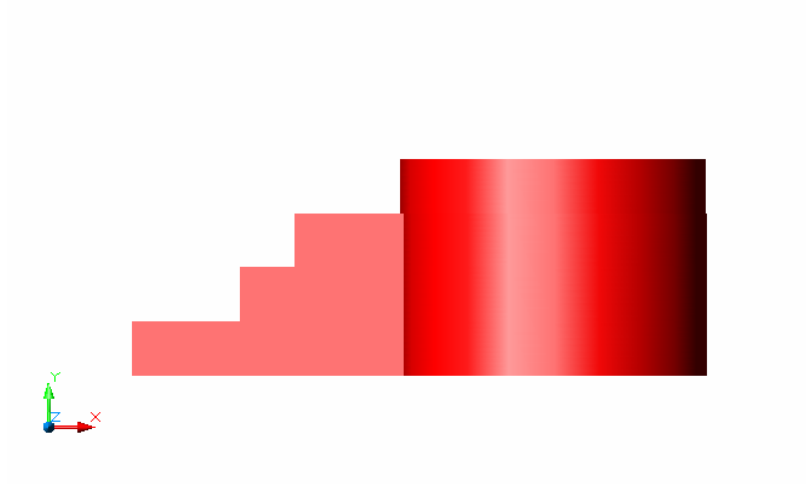
(b)

Şekil 4.10. Model - A , a) Üstten Görünüm b) Profil görünümü

Model – A, silikonun 2,5 mm çapında dökülmesi ile elde edilmiştir. Dökme hızını azaltarak ve kafanın her tabakayı dökmesinden sonra yukarıya kalkma mesafesini azaltarak, dökülen silikonun çapı azaltılabilmektedir.

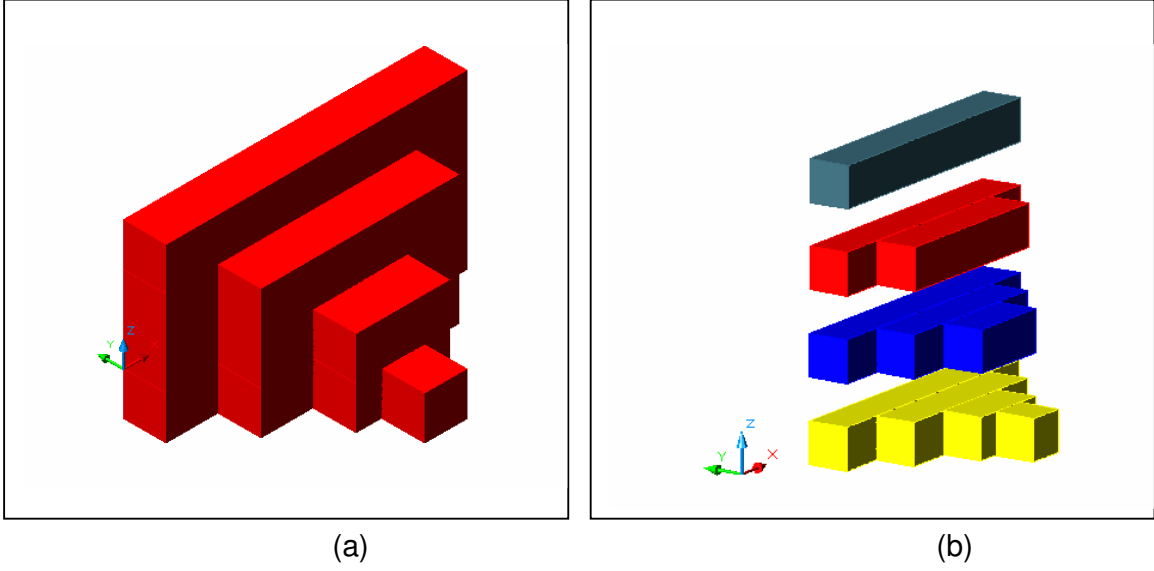


(a)

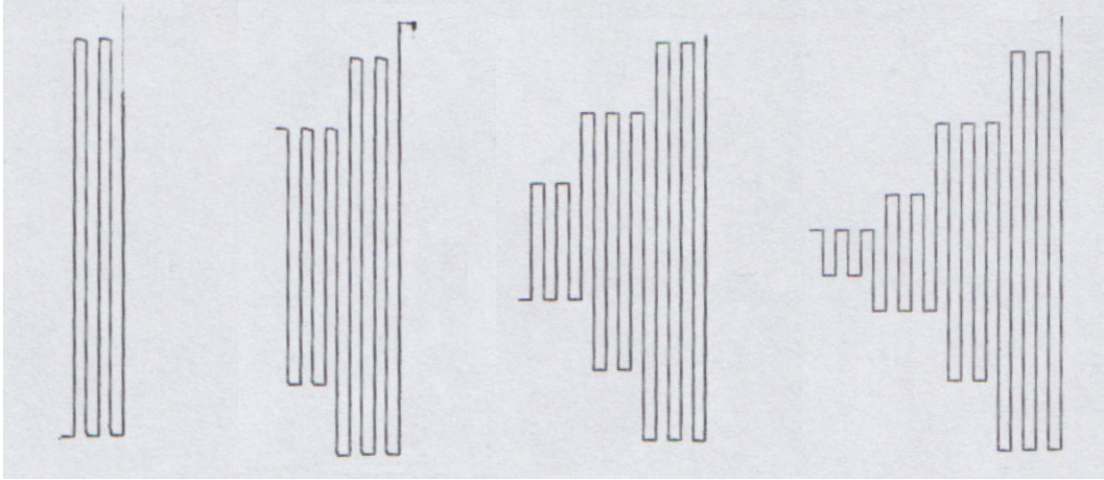


(b)

Şekil 4.11. Model – A yandan görünüm , a) Fiziksel model b) BDT modeli



Şekil 4.12. Model – B autocad çizimi, a) Profil görünümü b) tabakalara ayrılmış görünüm

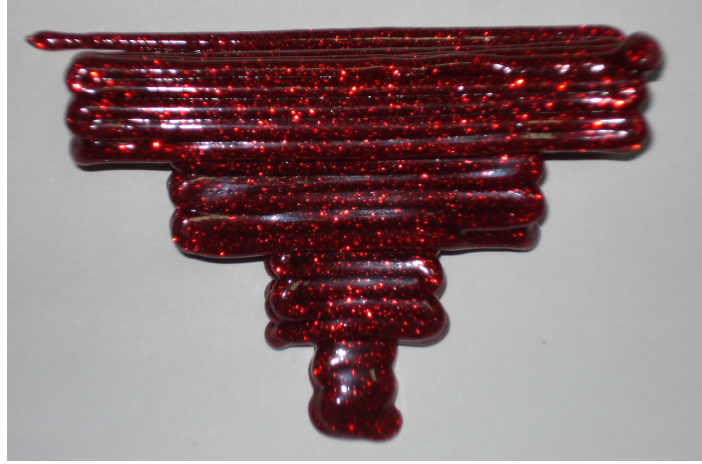


Şekil 4.13. Model – B, tabakalara göre kafa hareketi

Model – B renkli silikon kullanılarak aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi üretilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4.14. Model – B, a) Profil görünümü b) Üstten görünüm

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Enstrümantasyon ve Hızlı Prototipleme uygulamalarında kullanılacak düşük maliyetli bir CNC tezgâhı gerçekleştirilmiştir. Geliştirdiğimiz sistem HP sistemi ve PCB çizici olmak üzere iki farklı şekilde kullanılabilir.

PCB çizici sistemi, bilgisayarda oluşturulan BMP formatındaki bir resim dosyasını tek renkli olacak şekilde, boyut değiştirme olanağı da sağlayarak, kâğıt, bakır ya da benzeri bir yüzey üzerine çizilebilir. Çizim, bakır yüzey üzerine asetat kalemi ile uygulandığında, bakır plaka daha sonra asit içerisinde atılarak baskı devre elde edilebilir. HP sistemi ise katı bir cismin bilgisayar ortamında hazırlanan modelini temel alarak, silikon çubuğun eritilip dökülmesi suretiyle prototipini oluşturmaktadır. Bu anlamda, geliştirdiğimiz HP sistemi, FDM sistemleri ile benzerlik göstermektedir.

Geliştirdiğimiz sistem ticari bir HP sistemi ile karşılaştırıldığında oldukça yavaştır ve düşük çözünürlüğe sahip olduğu için üretilen prototiplerde gerekli hassasiyeti yakalayamamaktadır. Bunun yanısıra minimum \$25.000'dan başlayan fiyatlara sahip olan ticari sistemlerden farklı olarak yaklaşık \$1000'a elde edilebilir. Ofis ortamında çalışmaya olanak sağlaması ve prototip oluşturmak için kullanılan silikonun da çok ucuza temin edilebilmesi sistemimizin en önemli avantajlarından.

Sistem çizici olarak kullanıldığında, çizim kaleminin ince uçlu olması daha hassas çizimler yapılabilmesine olanak tanımaktadır. Eksenlerdeki teorik hassasiyet 8.75 mikron olmasına rağmen kullanılacak kalem uçları bu kadar hassasiyete olanak tanımamaktadır. En ince uçlu (F tipi) asetat kalemi kullanılarak yapılan çizimlerde 0.5 mm'lik hassasiyete ulaşılabilmektedir. Prototip üretiminde ise eritilerek dökülen silikonun minimum kalınlık değeri de 1.3 mm olarak hesaplanmıştır. İlerleyen paragraflarda geliştirdiğimiz sistemde eksik gördüğümüz bazı özelliklere değinilerek önerilerde bulunulmuştur.

PCB çizimi sırasında kafa çok fazla yukarı aşağı hareket ettiği için eksen yataklarındaki küçük boşluklardan dolayı bir müddet sonra normal pozisyonundan daha aşağı bir seviyeye inmektedir. Bunu engellemek için kafanın hareketi bir sensor tarafından kontrol edilerek kafanın pozisyonu için geri besleme

sinyali elde edilebilir. Bu sensor bir ağırlık yük hücresi, LVDT pozisyon sensorü, encoder okuyucu ya da optik sensor olabilir.

Sistem kontrolünü sağlayan 8051 tabanlı mikrodenetleyici yerine DSP ya da ARM tabanlı çok hızlı bir işlemci kullanılarak çok hızlı bir kontrol elde edilebilir. Bu durumda step motor yerine de servo motor kullanılarak eksenlerin çok hızlı hareket etmesi sağlanır ve toplam iş süresi önemli oranda azaltılabilir. Modbus ya da profibus gibi seri iletişim protokolleri kullanılarak kontrol kartının PC ile haberleşmesi çok daha güvenilir bir hale getirilebilir.

Çizicide kullanılan kalem için özel bir kafa geliştirilerek farklı renkler için farklı kalemlerle çizim gerçekleştirilebilir. Böylece çok renkli bir şekil de çizilebilir.

HP sisteminde destek yapıları olmadığı için her türlü parça için prototip üretilmemektedir. Destek yapılarının oluşturulabilmesi için farklı bir kafa sistemi tasarlanabilir. Kullanılan silikon çubuklar kısa oldukları için sürekli olarak beslemek gerekmektedir. Bunun için bir besleme ünitesi yapılabilir.

Kullanılan ısıtıcı ucun yapısından dolayı sistem çok hassas döküm yapamamaktadır, örneğin 1.3 mm'nin altındaki bir kalınlıkta döküm yapılamamaktadır. Bunun için ince döküme olanak sağlayacak farklı bir uç tasarımı yapılabilir.

## **KAYNAKLAR**

Başar, F., 2003, Development of a 3 Axes PC Numerical Control System for Industrial Applications, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi, 1 - 22.

Chua, Chee Kai, 2003, Rapid prototyping: principles and applications, World Scientific, 9 - 46.

Comb; James W., 2001, Melt flow compensation in an extrusion apparatus, www.uspto.gov, 6547995 no'lu patent.

Crump, Scott, 1992, Apparatus and method for creating three-dimensional objects, www.uspto.gov, 5.121.329 no'lu patent.

Dolenc, A., 1994, An Overview Of Rapid Prototyping Technologies In Manufacturing, Helsinki University of Technology, 6 - 11.

Ermurat, M., 2002, Hızlı Prototip ve Üretim Teknolojilerinin incelenmesi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 25 - 85.

Friedrich B. Prinz, 1997, Rapid Prototyping in Europa and Japan, International Technology Research Institute, 21 – 39, 91 – 102.

Gültekin, M., 2003, Design and development of a Rapid Prototyping Machine, Gaziantep Üniversitesi, Doktora tezi, 18 – 48 s.

Gökçe, M.A., 2004, High Precision CNC Motion Control, ODTÜ, Yüksek Lisans Tezi, 21 - 25.

Jacobs, Paul F., 1996, Stereolithography and other RP&M technologies : from rapid prototyping to rapid tooling, ASME Press.

Terry Wohlers, 2002, The Real Cost of RP, www.timecompress.com.

Venuvinod, Patri K., 2004, Rapid prototyping: laser-based and other technologies Boston: Kluwer Academic, 279 - 308.

Yağmur, L., 1997, Hızlı Prototip Üretim Teknolojileri, İTÜ, Yüksek Lisans Tezi, 44 - 75.

Yıldırım, A., 2003, CNC Printed Circuit Board Drilling Machine, Hacettepe University, Bitirme Projesi, 3 - 5.

Yang, Junsheng, 2000, Rapid prototyping and fabrication method for 3-D food objects, www.uspto.gov, 6,280,785no'lu patent,

<http://prototip.infotron.com.tr>.

<http://home.utah.edu/asn8200/rapid.htm>.

<http://home.att.net/castleisland/rp-int1.htm>.

<http://msdn.microsoft.com>.

<http://ogrenci.hacettepe.edu.tr/~b0164043/maximus>.

<http://www.atmel.com>.

<http://www.cadem.com.tr>.

<http://www.codeguru.com>.

www. <http://media.mit.edu/./stereolithography>.

<http://www.mkn.itu.edu.tr/~yagmur>.

<http://www.selecteng.com/lamin.htm>.

<http://www.turkcam.net>.

<http://www.uspto.gov>.

## **5. EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ**

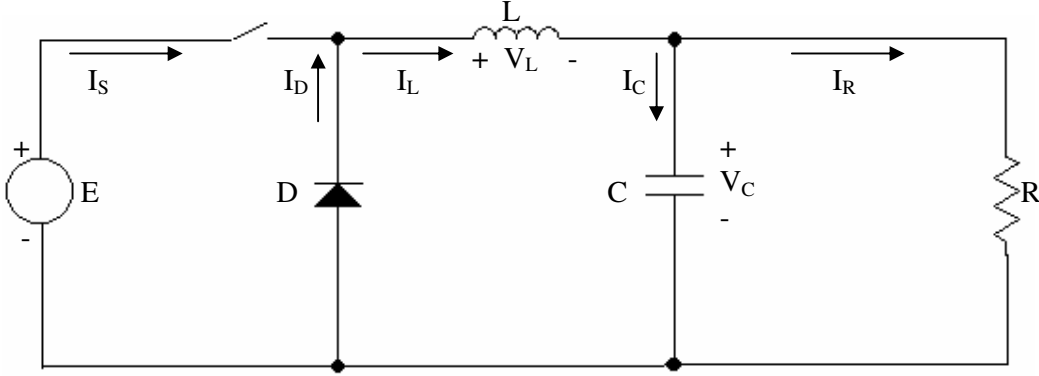
EK AÇIKLAMA -1. AZALTAN TİP DC/DC KONVERTÖR DEVRESİ

EK AÇIKLAMA -2. ADIM MOTORU ÇEŞİTLERİ VE UYARTIM BİÇİMLERİ

EK AÇIKLAMA -3. KONTROL KARTININ PC İLE HABERLEŞMESİ

## EK AÇIKLAMA -1. İNDİRİCİ TİPTE DA/DA ÇEVİRGEÇ DEVRESİ

Temel indirici tipte kıyıcı, giriş geriliminden daha az bir ortalama çıkış gerilimi verir.



Şekil E.1. Temel indirici tipte kıyıcı devresi

İndüktör ve kapasitör, çıkış geriliminin sadece sınırlı bir dalgacıkta kalmasını sağlayan bir düzeltme hareketi meydana getirir.

Şekil E.1'deki devrede S anahtarı periyodik olarak açılır ve kapatılır. Toplam periyod T ve anahtarın kapalı olduğu zaman parçasının çarpanı D'dir. Bu durumda anahtarın açık olduğu zaman parçasının çarpanı, (1-D) olur. Analiz amacı için,  $V_C$ 'de ihmal edilebilir dalgacık oluşması için C yeteri kadar büyük varsayalım. Değişmeyen bu kapasitör gerilimi  $V_C$  ile gösterilsin. Anahtarın kapalı olduğu zaman süresi için devrenin gerilim eşitliği aşağıdaki gibidir:

$$E = v_L + V_C$$

$$E = L \frac{di_L}{dt} + V_C$$

$$\frac{di_L}{dt} = (E - V_C) / L$$

Bu  $DT$  uzunluğundaki zaman periyodunda, devredeki diğer akım ve gerilimlerde olduğu gibi indüktör akımı, sabit bir eğimle artar. İndüktör akımı,  $I_{min}$  başlangıç değerinde başlar ve anahtarın kapalı olduğu sürenin sonunda  $I_{max}$  değerine ulaşır. Anahtarın açık olduğu aralıktaki devrenin gerilim ilişkisi aşağıdaki gibidir:

$$0 = v_L + V_C$$

$$0 = L \left( \frac{di_L}{dt} \right) + V_C$$

$$\left( di_L / dt \right) = - V_C / L$$

Böylece,  $(1-D).T$  zaman aralığında, indüktör akımı,  $I_{max}$ 'dan  $I_{min}$ 'a sabit bir oranda azalır. Sonraki bu akım değeri, operasyon periyodik olduğundan periyodun başlangıcındaki değerle aynı olmalıdır. Bundan dolayı, anahtarın kapalı ve açık olduğu süredeki değişimler aynı olmalıdır. Sürekli indüktör akımı varsayıldığı için,  $I_{min}$  sifıra eşit veya büyüktür. Bu ifadeler aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$I_{max} - I_{min} = \left[ ( E - V_C ) / L \right] DT$$

$$I_{min} - I_{max} = \left[ -V_C / L \right] ( 1 - D ) T$$

Bu eşitliklerin çözümüyle şu sonuç elde edilir:

$$\left[ ( E - V_C ) / L \right] DT = \left[ V_C / L \right] ( 1 - D ) T$$

$$( E - V_C ) D = V_C ( 1 - D )$$

$$V_C = DE$$

Böylece, kapasitör gerilimi ve dolayısıyla kırıyıcının çıkışı, indüktör akımının sürekli olması şartıyla, anahtarın kapalı olduğu zaman parçasına bağlıdır.

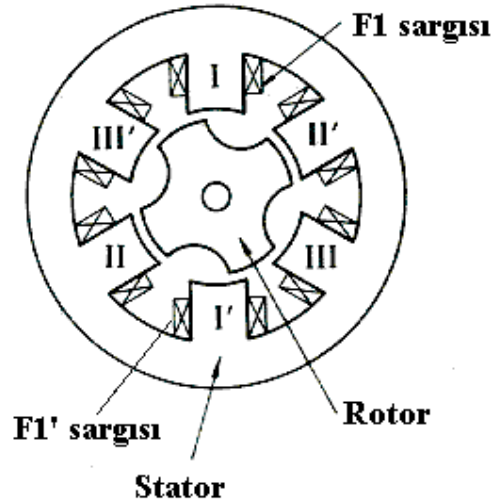
## EK AÇIKLAMA -2. ADIM MOTORU ÇEŞİTLERİ VE UYARTIM BİÇİMLERİ

### Adım motor çeşitleri

Kullanımda olan birçok elektrik motorunda olduğu gibi adım motorları da makinanın yapısına ve çalışmasına göre sınıflandırılabilir.

#### A. Değişken Relüktanslı (DR) Adım Motoru

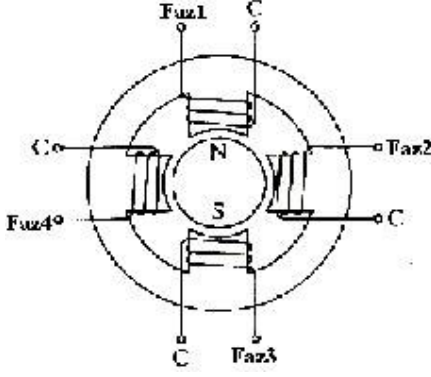
Değişken relüktanslı adım motoru en temel adım motoru tipidir. Bu motorun temel prensiplerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kesit görünüşü Şekil E.2'de gösterilmiştir. Şekildeki üç-fazlı motorun 6 adet stator kutbu vardır. Birbirine 180° açılı olan herhangi iki stator kutbu aynı faz altındadır. Bunun anlamı, karşılıklı kutupların üzerindeki sargıların seri veya paralel olması demektir. Rotor 4 adet kutba sahiptir. Stator ve rotor nüveleri genellikle ince tabakalı silisli çelikten yapılırlar. Düşük manyetomotor kuvveti uygulansa bile, stator ve rotor malzemeleri yüksek geçirgenlikli ve içlerinden yüksek manyetik akı geçecek kapasitede olmalıdır.



Şekil E.2. DR adım motoru

#### B. Sabit Mıknatıslı (SM) Adım Motorları

Rotorunda sabit mıknatıs kullanılan adım motoruna sürekli mıknatıslı adım motoru adı verilir. 4-fazlı bir SM adım motorunun bir örneği Şekil E.3'de gösterilmiştir. Silindirik sabit mıknatıs rotor gibi çalışır, etrafında ise herbiri üzerine sargılar sarılı olan 4 adet kutbun bulunduğu stator vardır.

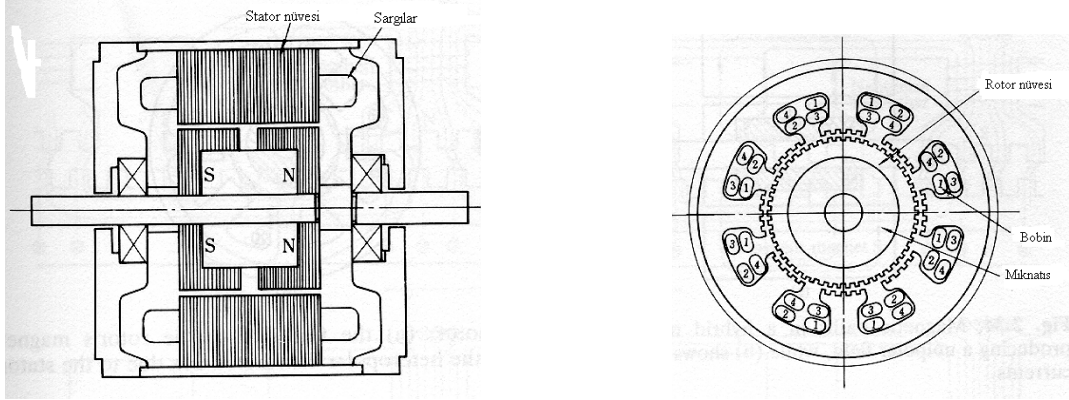


Şekil E.3. 4-fazlı SM adım motoru

Burada C ile adlandırılan terminal, her bir fazın birer uçlarının birleştirilerek güç kaynağının pozitif ucuna bağlandığı ortak uçtur. Eğer fazlar Faz1, Faz2, Faz3, Faz4 sırasıyla uyarılırsa; rotor saat ibresi yönünde hareket edecektir. Bu motorda, adım açısının  $90^\circ$  olduğu açıkça görülmektedir. SM adım motorunda adım açısını azaltmak için, manyetik kutup sayısı ile birlikte stator kutup sayısı artırılmalıdır. Fakat her ikisinde bir sınırı vardır. Buna alternatif olarak küçük adım açılına sahip karışık yapıdaki SM adım motorları kullanılmaktadır.

### C. Karışık Yapılı (Hybrid) Adım Motoru

Rotorunda sabit mıknatis bulunan bir diğer adım motoru da karışık yapıli adım motorudur. Hybrid kelimesi motorun sabit mıknatisli ve değişken relüktansli motorların prensiplerinin birleşmesinden dolayı verilmiştir. Günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan Hybrid adım motorunun yapısı Şekil E.4'te verilmiştir. Statorun nüve yapısı değişken relüktansli adım motorunun aynısı veya çok benzeridir. Fakat sargıların bağlantısı değişken relüktansli motorunkinden farklıdır. Değişken relüktansli adım motorunda bir kutupta bir fazın iki sargısından sadece bir tanesi sarılmış iken, 4 fazlı karışık yapıli adım motorunda iki farklı fazın sargıları aynı kutupta sarılmıştır. Bundan dolayı bir kutup sadece bir fazın altında değildir. Karışık yapıli adım motorlarında moment, dış yapılarındaki hava aralıklarının manyetik alanlarının etkileşimi ile oluşturulur. Bu tip motorlarda sürekli mıknatis, sürücü kuvveti oluşturmak için önemli rol oynamaktadır. Fakat karışık yapıli adım motorundaki rotor ve stator dişlerinin küçük adım açıları elde etmek için tasarlandığı bilinmelidir.



Şekil E.4. Karışık yapılı adım motorunun yapısı

## Adım motor uyartım biçimleri

### A. Tek-faz uyartımı

Motor sargılarının sadece birinin uyartıldığı uyartım cinsine tek-faz uyartımı adı verilir. Çizelge E.1'de 4-fazlı adım motoru için tek-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyartım metodunda rotor her bir uyartım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyartım dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile yapılır. Burada fazların uyartım sırası saat ibresi yönündeki dönüş için F1, F2, F3, F4, saat ibresinin tersi yönü için F4, F3, F2, F1 şeklindedir.

Çizelge E.1. Adım motorda tek-faz uyartımın faz uyartım sıralaması

Adım	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz1	1	0	0	0	1	0	0	0
Faz2	0	1	0	0	0	1	0	0
Faz3	0	0	1	0	0	0	1	0
Faz4	0	0	0	1	0	0	0	1

### B. İki-faz uyartım

Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyartıldığı uyartım cinsine iki-faz uyartımı adı verilir. Çizelge E.2'de 4-fazlı adım motoru için iki-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. İki faz uyartımında rotorun geçici durum tepkisi tek-faz uyartımlıya göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır.

Çizelge E.2. Adım motorda İki-faz uyarımın faz uyarım sıralaması

Adım	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz1	1	1	0	0	1	1	0	0
Faz2	0	1	1	0	0	1	1	0
Faz3	0	0	1	1	0	0	1	1
Faz4	1	0	0	1	1	0	0	1

### C. Karma uyarım

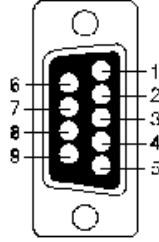
Bu uyarım yönteminde tek-faz uyarımı ile iki-faz uyarımı ardarda uygulanır. Burada rotor herbir uyarım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Çizelge E.3'te fazların uyarım sırası görülmektedir. Bu uyarım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır.

Çizelge E.3. Adım motorda yarım adım (karma) uyarımın faz uyarım sıralaması

Adım	1	2	3	4	5	6	7	8
Faz1	1	1	0	0	0	0	0	1
Faz2	0	1	1	1	0	0	0	0
Faz3	0	0	0	1	1	1	0	0
Faz4	0	0	0	0	0	1	1	1

### EK AÇIKLAMA -3. KONTROL KARTININ PC İLE HABERLEŞMESİ

PC ile haberleşme 89s52 işlemcisinin UART'ı kullanılarak RS232 üzerinden sağlanmıştır. RS232 sürücü entegresi olarak MAX 232 kullanılmıştır. RS232 +15V ve -15V arasında iki voltaj seviyesi kullanarak yaklaşık 15 metre civarındaki birimler ile haberleşmek için kullanılan bir standarttır. Karakter formatındaki veri bitleri birbiri ardına gönderilerek iletişim sağlanır. İletişimin eşzamansız olmasından dolayı alıcı ve göndericinin koordine olması gerekmez. Gönderici veriyi hatta aktardıktan sonra hattı sürekli kontrol eden alıcı veriyi toplar ve karakter formatına çevirir. Mantıksal 1, -3V ile -25V arasındadır fakat genellikle -12V civarında olur. Mantıksal 0 ise 3V ile 25V arasındadır fakat genellikle 12V civarında olur. -3V ile 3V arası voltaj değerleri belirlenmemiş mantıksal duruma sahiptir .



1. CD (Carrier Detect)
2. RXD (Receive Data)
3. TXD (Transmit Data)
4. DTR (Data terminal Ready)
5. GND (Ground)
6. DSR (Data Set Ready)
7. RTS (Request To Send)
8. CTS (Clear To Send)
9. RI (Ring Indicator)

Şekil E.5. Seri bağlantı portu ve uç tanımları

PC ile işlemci haberleşmesinde 2,3 ve 5. pinlerinin kullanılması yeterlidir. TXD pini, gönderen alıcıya veri gönderdiği zaman aktif hale gelir. Veri gönderilmediği zaman hat kapalı (mantıksal 1, "mark") durumda tutulur. RXD pini, alıcı gönderen tarafından gönderilen veriyi almasında kullanılır. Veri iletişimi yok ise, hat mantıksal 1 (negatif voltaj değeri) durumunda tutulur. İletilen bütün sinyaller bir referansa bağlı olarak belirtilmektedir. Referansın iki tarafta da aynı olabilmesi için bu hattın topraklanması gerekir. Bu nedenle sağlıklı iletişim sağlanabilmesi için GND pinleri birbirlerine bağlanmalıdır.

Gönderen tarafın transfer hızı ile alıcı tarafın transfer hızı uyumlu olacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu hıza "baud hızı" denir. Baud ise bit/sn'dir. Transfer hızları 75 ile 115200 baud arasında seçilebilir. Bizim sistemimizde PC ile kontrol kartının haberleşmesi 9600 baud hızındadır.

## **5. EKLER DİZİNİ**

EK 1. KONTROL KARTI DEVRE ŞEMASI

EK 2. ADIM MOTORU SÜRÜCÜ KARTI DEVRE ŞEMASI

EK 3. DC MOTOR SÜRÜCÜ KARTI DEVRE ŞEMASI

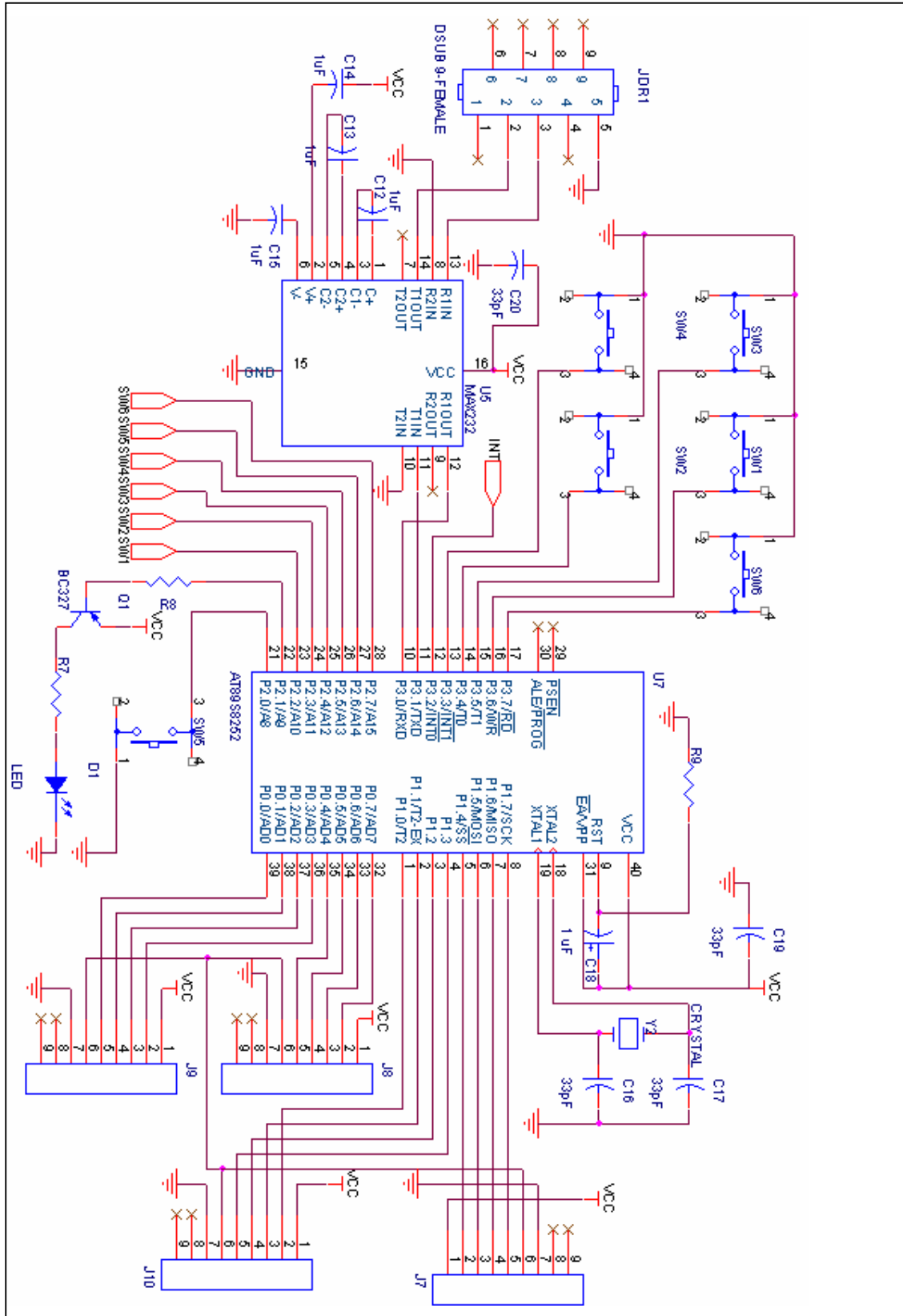
EK 4. L297 ADIM MOTORU KONTROL ENTEGRESİ

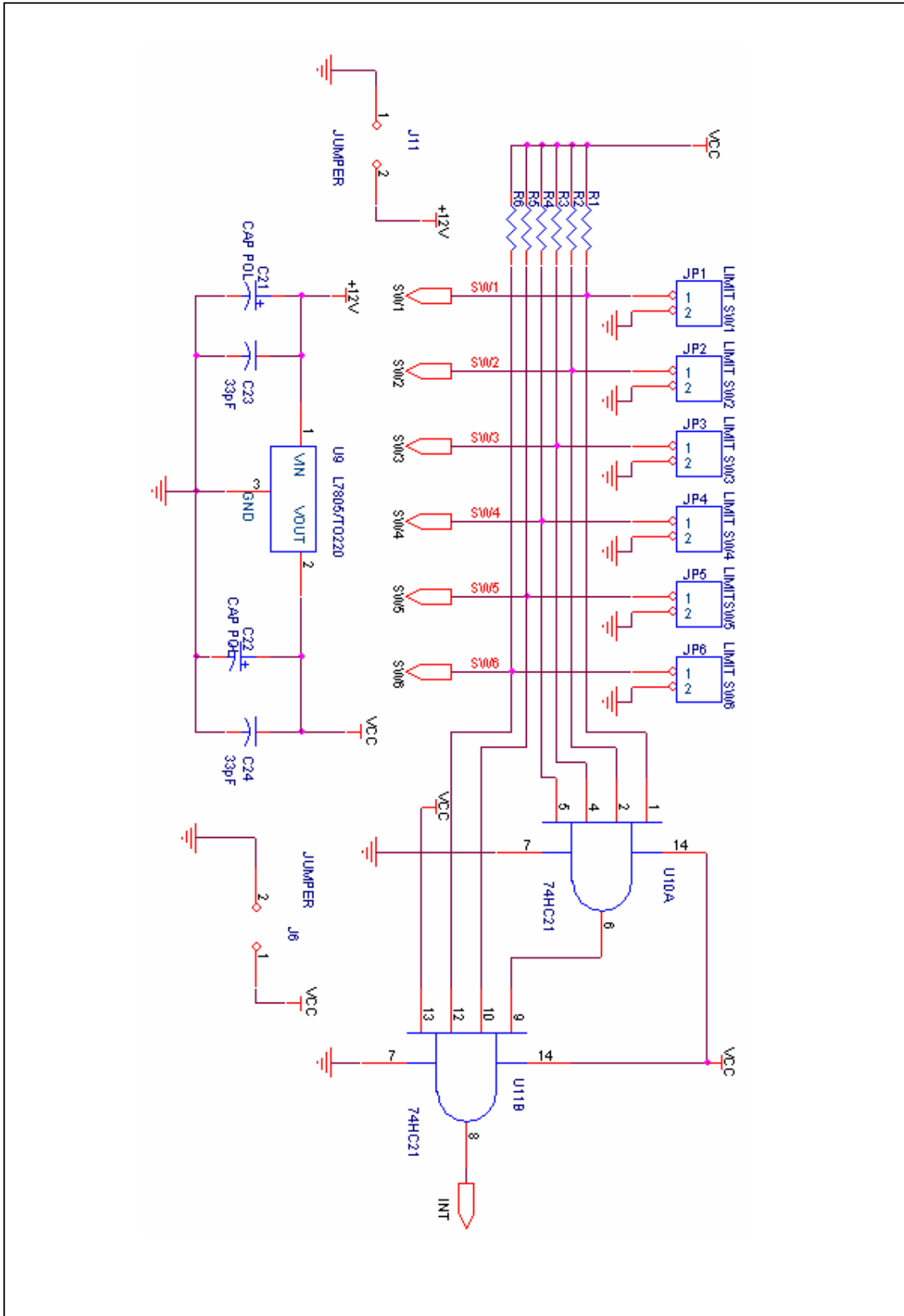
EK 5. L298 TAM KÖPRÜ SÜRÜCÜ ENTEGRESİ

EK 6. 89S52 MİKRODENETLEYİCİSİ

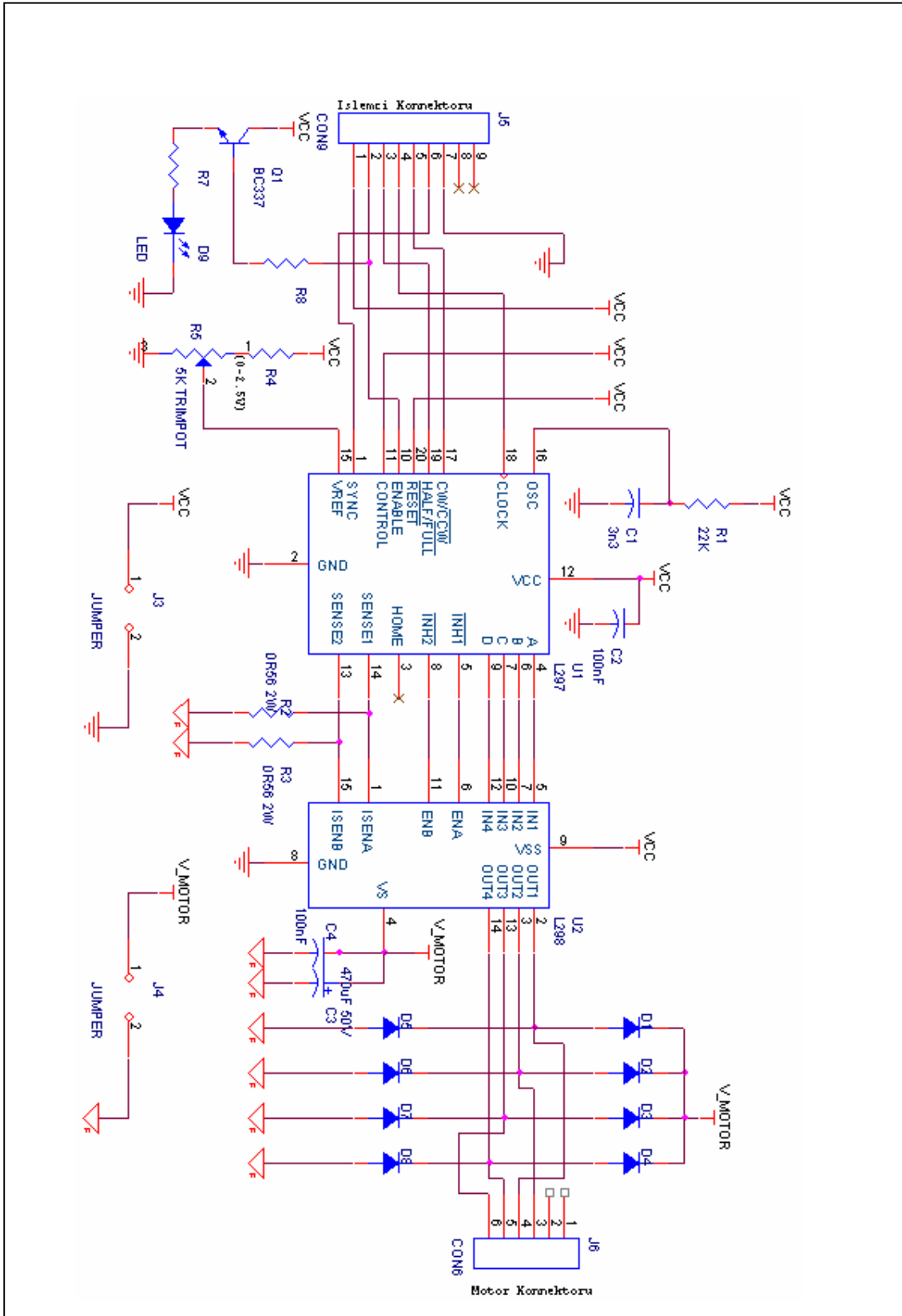
# EK 1. KONTROL KARTI DEVRE ŞEMASI

## SAYFA 1

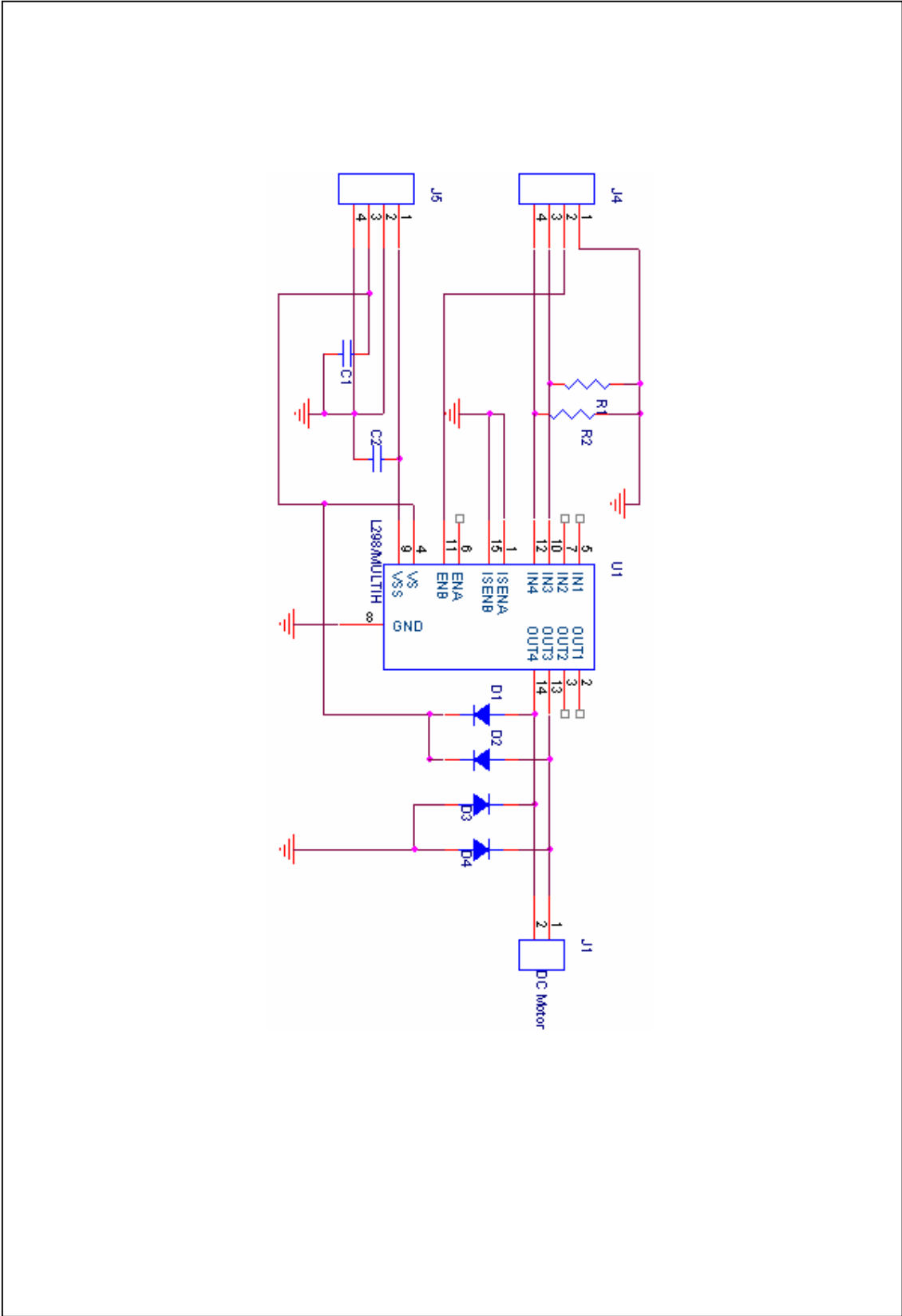




## EK 2. ADIM MOTORU SÜRÜCÜ KARTI DEVRE ŞEMASI



### EK 3. DC MOTOR SÜRÜCÜ KARTI DEVRE ŞEMASI



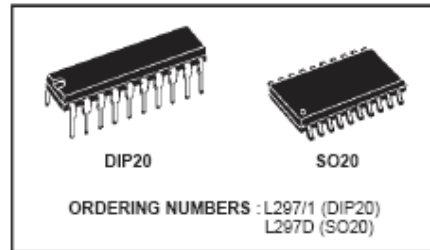
## EK 4. L297 ADIM MOTORU KONTROL ENTEGRESİ



L297

### STEPPER MOTOR CONTROLLERS

- NORMAL/WAVE DRIVE
- HALF/FULL STEP MODES
- CLOCKWISE/ANTICLOCKWISE DIRECTION
- SWITCHMODE LOAD CURRENT REGULATION
- PROGRAMMABLE LOAD CURRENT
- FEW EXTERNAL COMPONENTS
- RESET INPUT & HOME OUTPUT
- ENABLE INPUT



#### DESCRIPTION

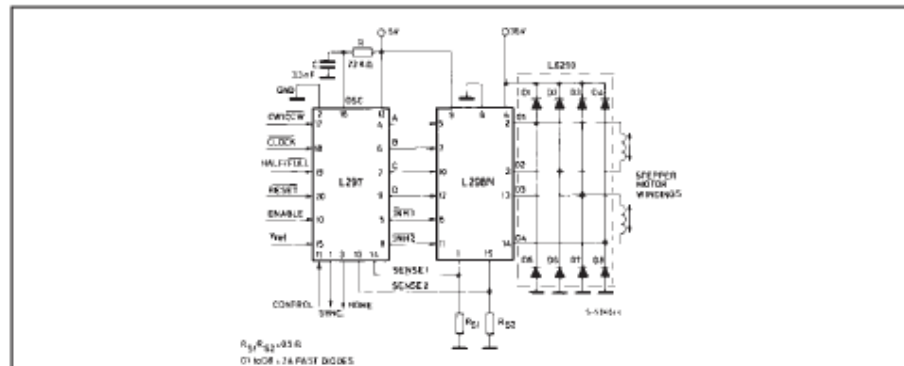
The L297 Stepper Motor Controller IC generates four phase drive signals for two phase bipolar and four phase unipolar step motors in microcomputer-controlled applications. The motor can be driven in half step, normal and wave drive modes and on-chip PWM chopper circuits permit switch-mode control of the current in the windings. A feature of

this device is that it requires only clock, direction and mode input signals. Since the phase are generated internally the burden on the microprocessor, and the programmer, is greatly reduced. Mounted in DIP20 and SO20 packages, the L297 can be used with monolithic bridge drives such as the L298N or L293E, or with discrete transistors and darlingtonts.

#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_s$	Supply voltage	10	V
$V_i$	Input signals	7	V
$P_{tot}$	Total power dissipation ( $T_{amb} = 70^\circ\text{C}$ )	1	W
$T_{stg}, T_j$	Storage and junction temperature	-40 to + 150	$^\circ\text{C}$

#### TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

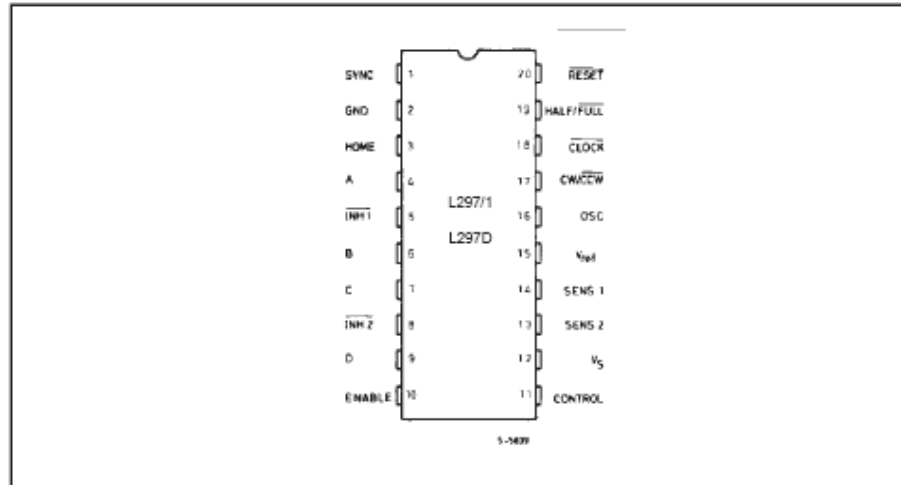


December 2001

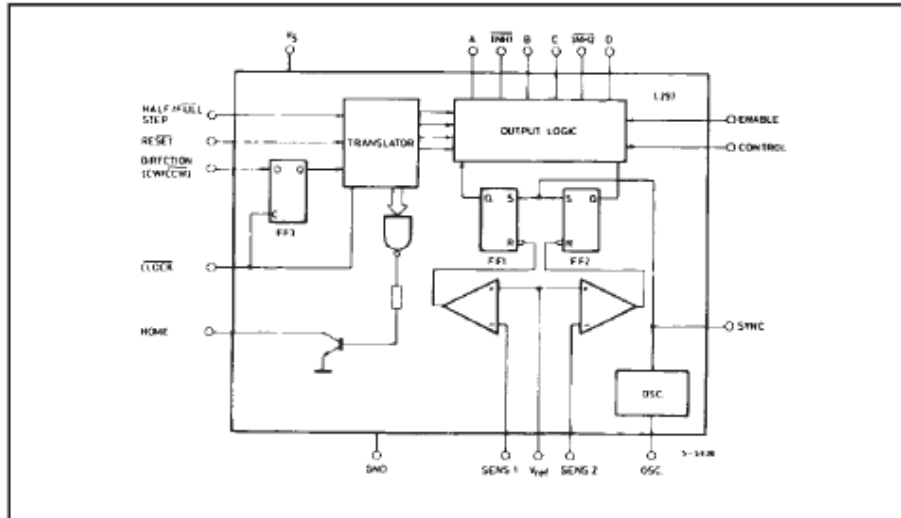
1/11

## L297

### PIN CONNECTION (Top view)



### BLOCK DIAGRAM (L297/1 - L297D)



## PIN FUNCTIONS - L297/1 - L297D

N°	NAME	FUNCTION
1	SYNC	Output of the on-chip chopper oscillator. The SYNC connections of all L297s to be synchronized are connected together and the oscillator components are omitted on all but one. If an external clock source is used it is injected at this terminal.
2	GND	Ground connection.
3	HOME	Open collector output that indicates when the L297 is in its initial state (ABCD = 0101). The transistor is open when this signal is active.
4	A	Motor phase A drive signal for power stage.
5	$\overline{\text{INH1}}$	Active low inhibit control for driver stage of A and B phases. When a bipolar bridge is used this signal can be used to ensure fast decay of load current when a winding is de-energized. Also used by chopper to regulate load current if CONTROL input is low.
6	B	Motor phase B drive signal for power stage.
7	C	Motor phase C drive signal for power stage.
8	$\overline{\text{INH2}}$	Active low inhibit control for drive stages of C and D phases. Same functions as INH1.
9	D	Motor phase D drive signal for power stage.
10	ENABLE	Chip enable input. When low (inactive) INH1, INH2, A, B, C and D are brought low.
11	CONTROL	Control input that defines action of chopper. When low chopper acts on INH1 and INH2; when high chopper acts on phase lines ABCD.
12	$V_s$	5V supply input.
13	SENS <sub>2</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases C and D.
14	SENS <sub>1</sub>	Input for load current sense voltage from power stages of phases A and B.
15	$V_{ref}$	Reference voltage for chopper circuit. A voltage applied to this pin determines the peak load current.
16	OSC	An RC network (R to $V_{CC}$ , C to ground) connected to this terminal determines the chopper rate. This terminal is connected to ground on all but one device in synchronized multi-L297 configurations. $f \approx 1/0.69 RC$
17	$\overline{\text{CW/CCW}}$	Clockwise/counterclockwise direction control input. Physical direction of motor rotation also depends on connection of windings. Synchronized internally therefore direction can be changed at any time.
18	$\overline{\text{CLOCK}}$	Step clock. An active low pulse on this input advances the motor one increment. The step occurs on the rising edge of this signal.

## L297

### PIN FUNCTIONS - L297/1 - L297D (continued)

N°	NAME	FUNCTION
19	HALF/FULL	Half/full step select input. When high selects half step operation, when low selects full step operation. One-phase-on full step mode is obtained by selecting FULL when the L297's translator is at an even-numbered state. Two-phase-on full step mode is set by selecting FULL when the translator is at an odd numbered position. (The home position is designate state 1).
20	RESET	Reset input. An active low pulse on this input restores the translator to the home position (state 1, ABCD = 0101).

### THERMAL DATA

Symbol	Parameter	DIP20	SO20	Unit	
$R_{th-jamb}$	Thermal resistance junction-ambient	max	80	100	°C/W

### CIRCUIT OPERATION

The L297 is intended for use with a dual bridge driver, quad darlington array or discrete power devices in step motor driving applications. It receives step clock, direction and mode signals from the systems controller (usually a microcomputer chip) and generates control signals for the power stage.

The principal functions are a translator, which generates the motor phase sequences, and a dual PWM chopper circuit which regulates the current in the motor windings. The translator generates three different sequences, selected by the HALF/FULL input. These are normal (two phases energised), wave drive (one phase energised) and half-step (alternately one phase energised/two phases energised). Two inhibit signals are also generated by the L297 in half step and wave drive modes. These signals, which connect directly to the L298's enable inputs, are intended to speed current decay when a winding is de-energised. When the L297 is used to drive a unipolar motor the chopper acts on these lines.

An input called CONTROL determines whether the chopper will act on the phase lines ABCD or the inhibit lines INH1 and INH2. When the phase lines

are chopped the non-active phase line of each pair (AB or CD) is activated (rather than interrupting the line then active). In L297 + L298 configurations this technique reduces dissipation in the load current sense resistors.

A common on-chip oscillator drives the dual chopper. It supplies pulses at the chopper rate which set the two flip-flops FF1 and FF2. When the current in a winding reaches the programmed peak value the voltage across the sense resistor (connected to one of the sense inputs SENS<sub>1</sub> or SENS<sub>2</sub>) equals  $V_{ref}$  and the corresponding comparator resets its flip flop, interrupting the drive current until the next oscillator pulse arrives. The peak current for both windings is programmed by a voltage divider on the  $V_{ref}$  input.

Ground noise problems in multiple configurations can be avoided by synchronising the chopper oscillators. This is done by connecting all the SYNC pins together, mounting the oscillator RC network on one device only and grounding the OSC pin on all other devices.

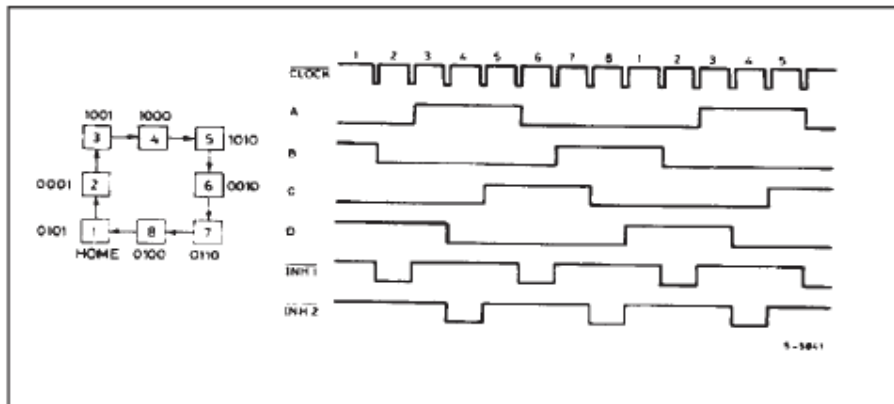
### MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES

The L297's translator generates phase sequences for normal drive, wave drive and half step modes. The state sequences and output waveforms for these three modes are shown below. In all cases the translator advances on the low to high transition of CLOCK.

Clockwise rotation is indicated; for anticlockwise rotation the sequences are simply reversed. RESET restores the translator to state 1, where ABCD = 0101.

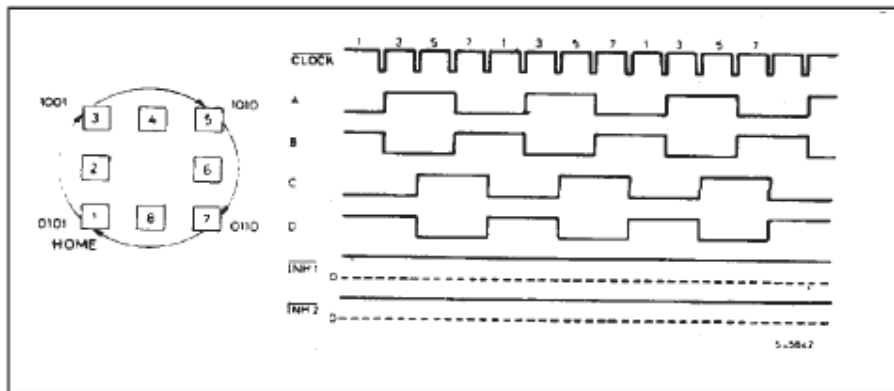
#### HALF STEP MODE

Half step mode is selected by a high level on the HALF/FULL input.



#### NORMAL DRIVE MODE

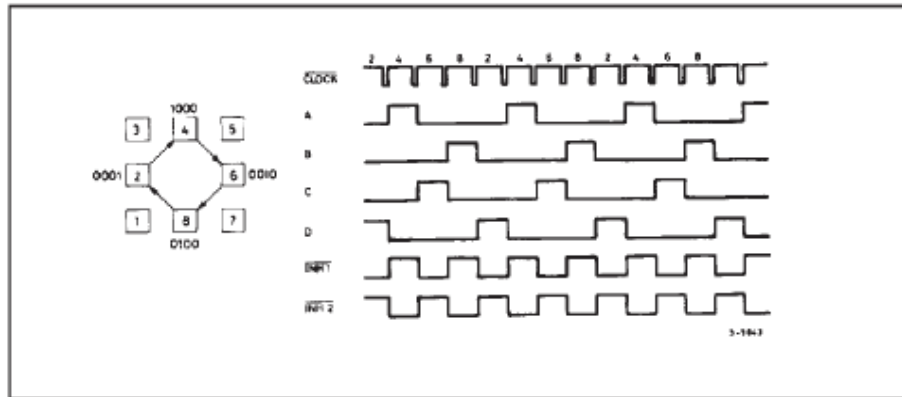
Normal drive mode (also called "two-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an odd numbered state (1, 3, 5 or 7). In this mode the INH1 and INH2 outputs remain high throughout.



## MOTOR DRIVING PHASE SEQUENCES (continued)

## WAVE DRIVE MODE

Wave drive mode (also called "one-phase-on" drive) is selected by a low level on the HALF/FULL input when the translator is at an even numbered state (2, 4, 6 or 8).

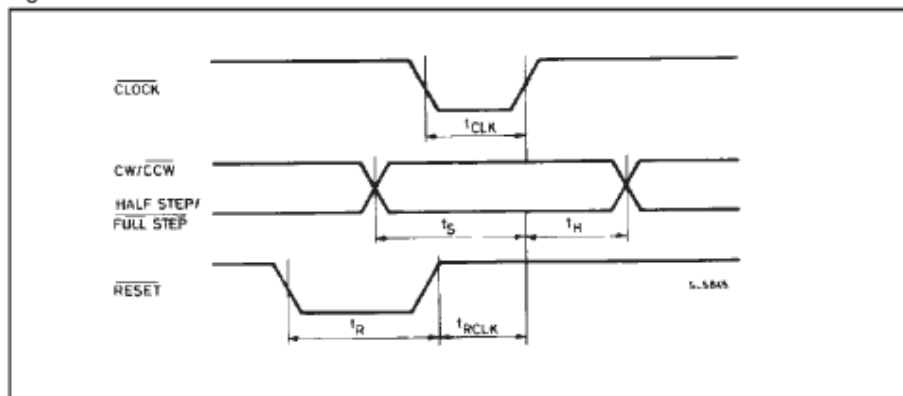
ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Refer to the block diagram  $T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $V_s = 5\text{V}$  unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
$V_s$	Supply voltage (pin 12)		4.75		7	V
$I_s$	Quiescent supply current (pin 12)	Outputs floating		50	80	mA
$V_i$	Input voltage (pin 11, 17, 18, 19, 20)	Low			0.6	V
		High	2		$V_s$	V
$I_i$	Input current (pin 11, 17, 18, 19, 20)	$V_i = L$		100		$\mu\text{A}$
		$V_i = H$			10	$\mu\text{A}$
$V_{en}$	Enable input voltage (pin 10)	Low			1.3	V
		High	2		$V_s$	V
$I_{en}$	Enable input current (pin 10)	$V_{en} = L$			100	$\mu\text{A}$
		$V_{en} = H$			10	$\mu\text{A}$
$V_o$	Phase output voltage (pins 4, 6, 7, 9)	$I_o = 10\text{mA}$ $V_{OL}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{OH}$	3.9			V
$V_{inh}$	Inhibit output voltage (pins 5, 8)	$I_o = 10\text{mA}$ $V_{inhL}$			0.4	V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{inhH}$	3.9			V
$V_{sync}$	Sync Output Voltage	$I_o = 5\text{mA}$ $V_{SYNCH}$	3.3			V
		$I_o = 5\text{mA}$ $V_{SYNCL}$			0.8	

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test conditions	Min.	Typ	Max.	Unit
$I_{leak}$	Leakage current (pin 3)	$V_{CE} = 7\text{ V}$			1	$\mu\text{A}$
$V_{sat}$	Saturation voltage (pin 3)	$I = 5\text{ mA}$			0.4	V
$V_{off}$	Comparators offset voltage (pins 13, 14, 15)	$V_{ref} = 1\text{ V}$			5	mV
$I_b$	Comparator bias current (pins 13, 14, 15)		-100		10	$\mu\text{A}$
$V_{ref}$	Input reference voltage (pin 15)		0		3	V
$t_{CLK}$	Clock time		0.5			$\mu\text{s}$
$t_s$	Set up time		1			$\mu\text{s}$
$t_H$	Hold time		4			$\mu\text{s}$
$t_R$	Reset time		1			$\mu\text{s}$
$t_{RCLK}$	Reset to clock delay		1			$\mu\text{s}$

Figure 1.



## L297

### APPLICATION INFORMATION

#### TWO PHASE BIPOLAR STEPPER MOTOR CONTROL CIRCUIT

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2A. The diodes are fast 2A types.

Figure 2.

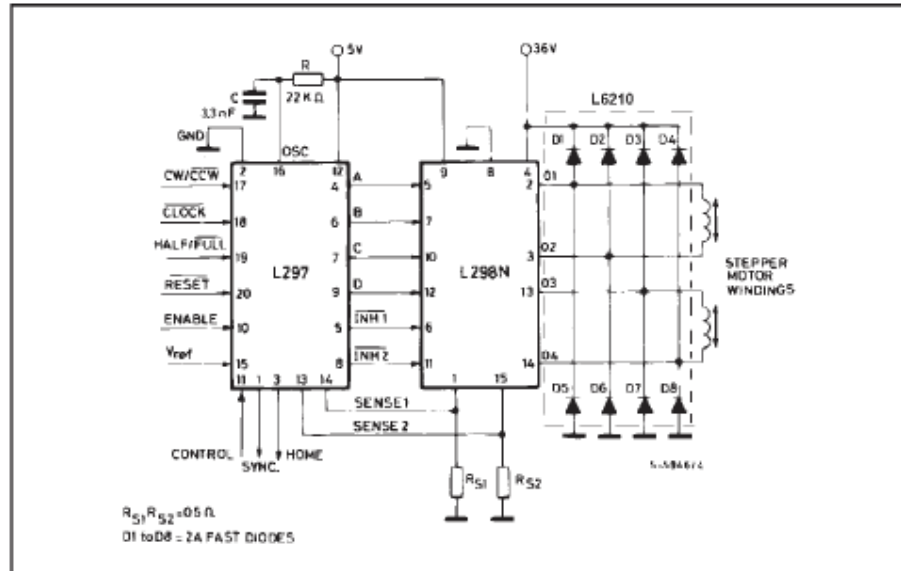
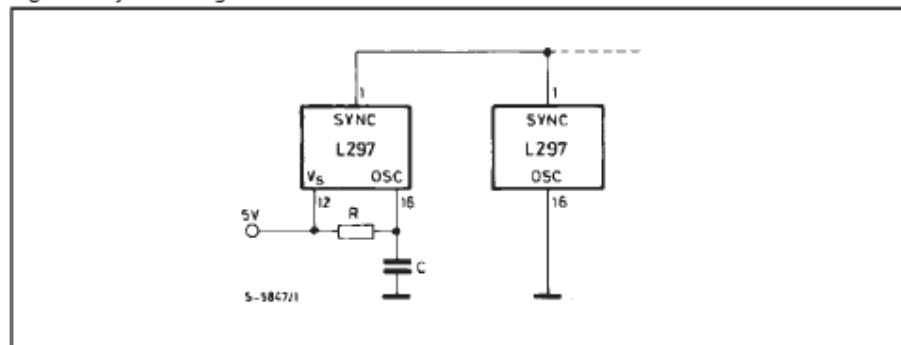


Figure 3 : Synchronising L297s



## EK 5. L298 TAM KÖPRÜ SÜRÜCÜ ENTEGRESİ



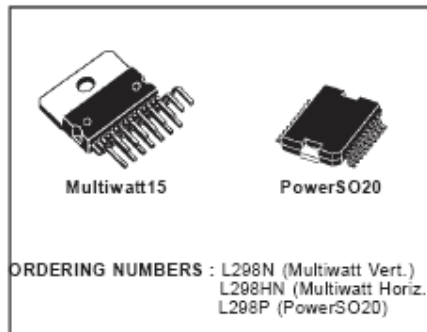
**L298**

### DUAL FULL-BRIDGE DRIVER

- OPERATING SUPPLY VOLTAGE UP TO 46 V
- TOTAL DC CURRENT UP TO 4 A
- LOW SATURATION VOLTAGE
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)

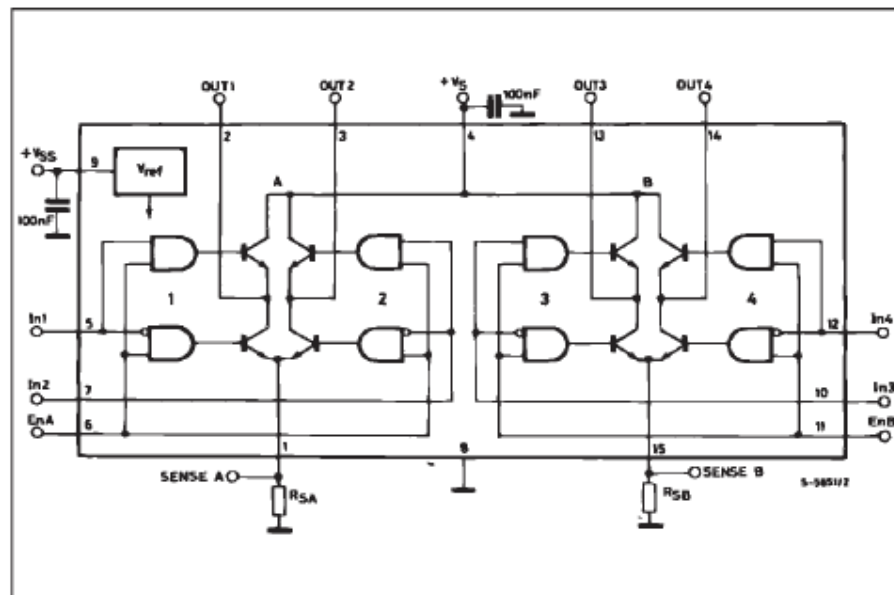
#### DESCRIPTION

The L298 is an integrated monolithic circuit in a 15-lead Multiwatt and PowerSO20 packages. It is a high voltage, high current dual full-bridge driver designed to accept standard TTL logic levels and drive inductive loads such as relays, solenoids, DC and stepping motors. Two enable inputs are provided to enable or disable the device independently of the input signals. The emitters of the lower transistors of each bridge are connected together and the corresponding external terminal can be used for the con-



nection of an external sensing resistor. An additional supply input is provided so that the logic works at a lower voltage.

#### BLOCK DIAGRAM



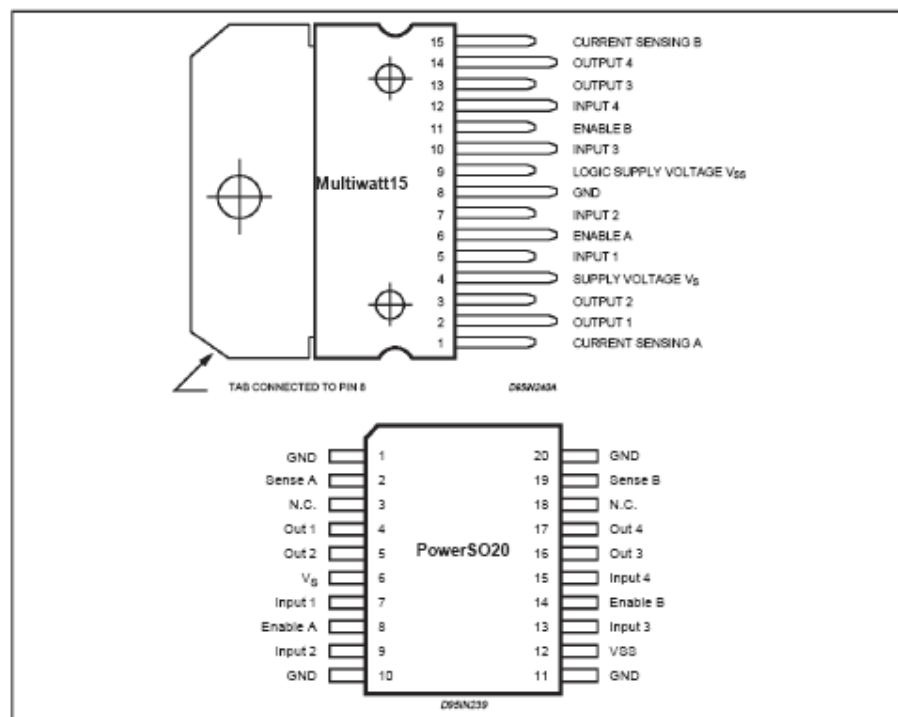
January 2000

1/13

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
$V_S$	Power Supply	50	V
$V_{SS}$	Logic Supply Voltage	7	V
$V_I, V_{En}$	Input and Enable Voltage	-0.3 to 7	V
$I_O$	Peak Output Current (each Channel) - Non Repetitive (t = 100 $\mu$ s) - Repetitive (80% on -20% off; t <sub>on</sub> = 10ms) - DC Operation	3 2.5 2	A A A
$V_{sens}$	Sensing Voltage	-1 to 2.3	V
$P_{tot}$	Total Power Dissipation (T <sub>case</sub> = 75°C)	25	W
$T_{op}$	Junction Operating Temperature	-25 to 130	°C
$T_{stg}, T_J$	Storage and Junction Temperature	-40 to 150	°C

## PIN CONNECTIONS (top view)



## THERMAL DATA

Symbol	Parameter		PowerSO20	Multiwatt15	Unit
$R_{th(j-case)}$	Thermal Resistance Junction-case	Max.	-	3	°C/W
$R_{th(j-amb)}$	Thermal Resistance Junction-ambient	Max.	13 (*)	35	°C/W

(\*) Mounted on aluminum substrate

## PIN FUNCTIONS (refer to the block diagram)

MW.15	PowerSO	Name	Function
1;15	2;19	Sense A; Sense B	Between this pin and ground is connected the sense resistor to control the current of the load.
2;3	4;5	Out 1; Out 2	Outputs of the Bridge A; the current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 1.
4	6	V <sub>S</sub>	Supply Voltage for the Power Output Stages. A non-inductive 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
5;7	7;9	Input 1; Input 2	TTL Compatible Inputs of the Bridge A.
6;11	8;14	Enable A; Enable B	TTL Compatible Enable Input: the L state disables the bridge A (enable A) and/or the bridge B (enable B).
8	1,10,11,20	GND	Ground.
9	12	V <sub>SS</sub>	Supply Voltage for the Logic Blocks. A 100nF capacitor must be connected between this pin and ground.
10; 12	13;15	Input 3; Input 4	TTL Compatible Inputs of the Bridge B.
13; 14	16;17	Out 3; Out 4	Outputs of the Bridge B. The current that flows through the load connected between these two pins is monitored at pin 15.
-	3;18	N.C.	Not Connected

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (V<sub>S</sub> = 42V; V<sub>SS</sub> = 5V, T<sub>J</sub> = 25°C; unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V <sub>S</sub>	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V <sub>IH</sub> +2.5		46	V
V <sub>SS</sub>	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I <sub>S</sub>	Quiescent Supply Current (pin 4)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0	V <sub>I</sub> = L V <sub>I</sub> = H	13 50	22 70	mA mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>I</sub> = X		4	mA
I <sub>SS</sub>	Quiescent Current from V <sub>SS</sub> (pin 9)	V <sub>en</sub> = H; I <sub>L</sub> = 0	V <sub>I</sub> = L V <sub>I</sub> = H	24 7	36 12	mA mA
		V <sub>en</sub> = L	V <sub>I</sub> = X		6	mA
V <sub>L</sub>	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		-0.3		1.5	V
V <sub>H</sub>	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>L</sub>	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>I</sub> = L			-10	μA
I <sub>H</sub>	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V <sub>I</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>en</sub> = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		-0.3		1.5	V
V <sub>en</sub> = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V <sub>SS</sub>	V
I <sub>en</sub> = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = L			-10	μA
I <sub>en</sub> = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V <sub>en</sub> = H ≤ V <sub>SS</sub> - 0.6V		30	100	μA
V <sub>CEsat(H)</sub>	Source Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A I <sub>L</sub> = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
V <sub>CEsat(L)</sub>	Sink Saturation Voltage	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V <sub>CEsat</sub>	Total Drop	I <sub>L</sub> = 1A (5) I <sub>L</sub> = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V <sub>sens</sub>	Sensing Voltage (pins 1, 15)		-1 (1)		2	V



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
$T_1 (V_i)$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		1.5		$\mu s$
$T_2 (V_i)$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.2		$\mu s$
$T_3 (V_i)$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		2		$\mu s$
$T_4 (V_i)$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.7		$\mu s$
$T_5 (V_i)$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.7		$\mu s$
$T_6 (V_i)$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.25		$\mu s$
$T_7 (V_i)$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_i$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		1.6		$\mu s$
$T_8 (V_i)$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.2		$\mu s$
$f_c (V_i)$	Commutation Frequency	$I_L = 2A$		25	40	KHz
$T_1 (V_{en})$	Source Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		3		$\mu s$
$T_2 (V_{en})$	Source Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		1		$\mu s$
$T_3 (V_{en})$	Source Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.1 I_L$ (2); (4)		0.3		$\mu s$
$T_4 (V_{en})$	Source Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (2); (4)		0.4		$\mu s$
$T_5 (V_{en})$	Sink Current Turn-off Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		2.2		$\mu s$
$T_6 (V_{en})$	Sink Current Fall Time	$0.9 I_L$ to $0.1 I_L$ (3); (4)		0.35		$\mu s$
$T_7 (V_{en})$	Sink Current Turn-on Delay	$0.5 V_{en}$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.25		$\mu s$
$T_8 (V_{en})$	Sink Current Rise Time	$0.1 I_L$ to $0.9 I_L$ (3); (4)		0.1		$\mu s$

1) Sensing voltage can be  $-1 V$  for  $t \leq 50 \mu s$ ; in steady state  $V_{en_{min}} \geq -0.5 V$ .

2) See fig. 2.

3) See fig. 4.

4) The load must be a pure resistor.

Figure 1 : Typical Saturation Voltage vs. Output Current.

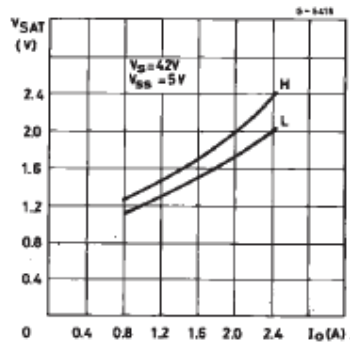
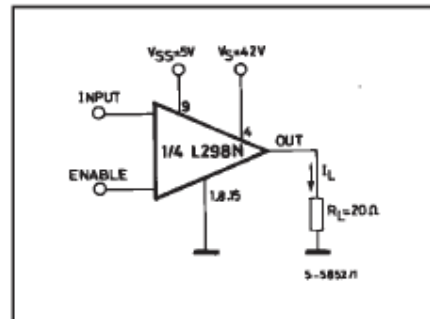


Figure 2 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
For ENABLE Switching, set IN = H

Figure 3 : Source Current Delay Times vs. Input or Enable Switching.

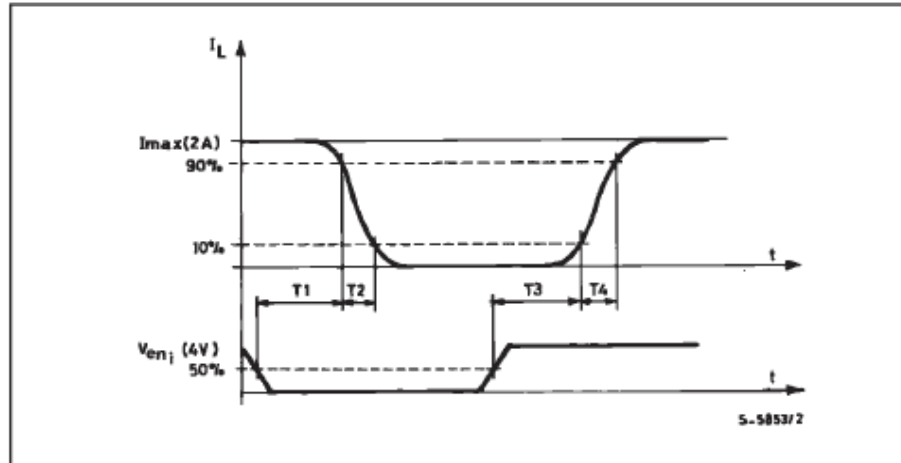
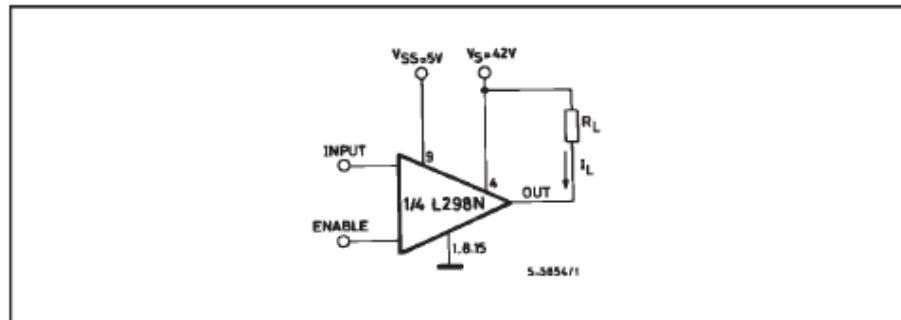


Figure 4 : Switching Times Test Circuits.



Note : For INPUT Switching, set EN = H  
 For ENABLE Switching, set IN = L

Figure 5 : Sink Current Delay Times vs. Input 0 V Enable Switching.

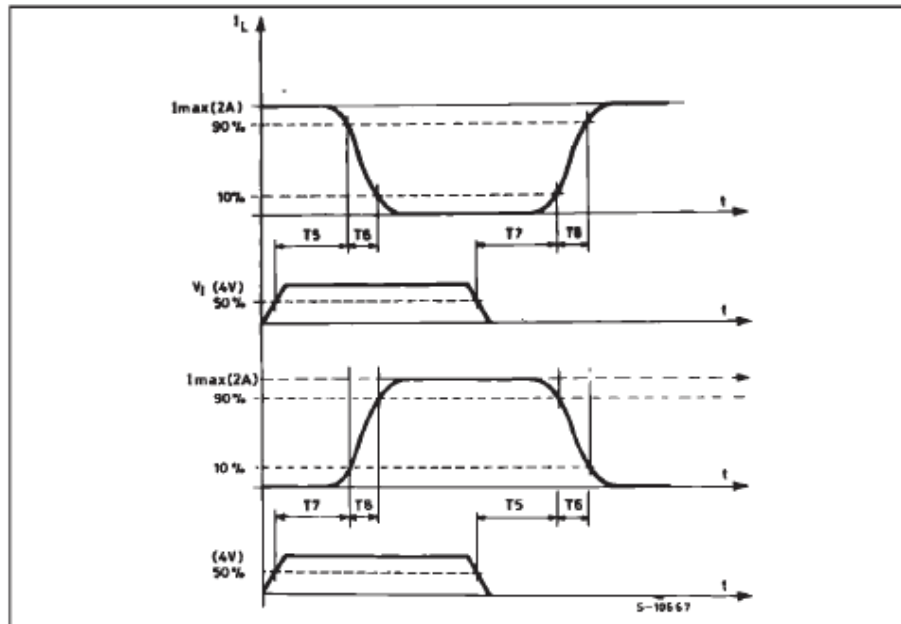


Figure 6 : Bidirectional DC Motor Control.

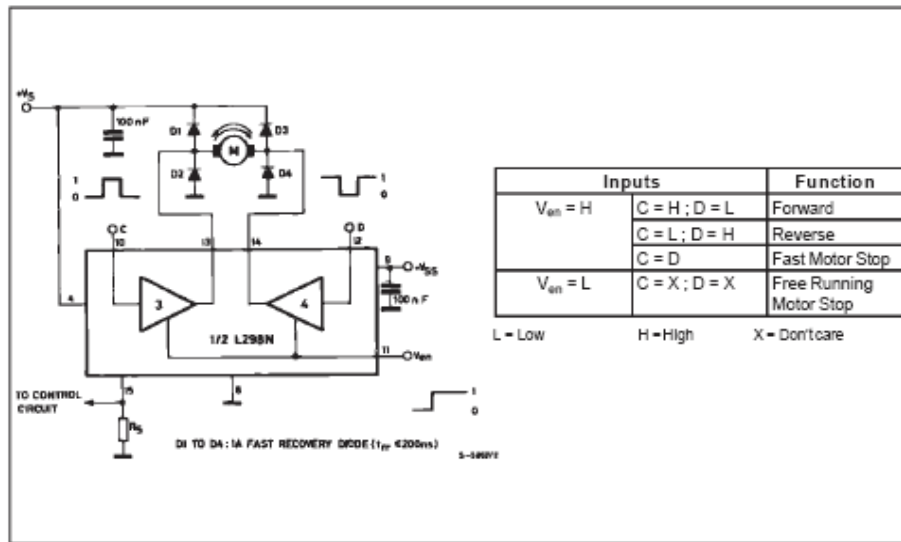
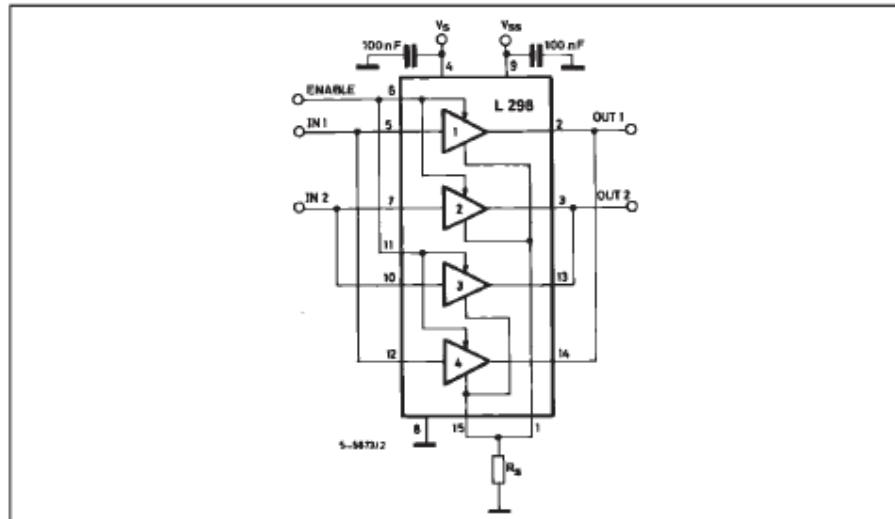


Figure 7 : For higher currents, outputs can be paralleled. Take care to parallel channel 1 with channel 4 and channel 2 with channel 3.



#### APPLICATION INFORMATION (Refer to the block diagram)

##### 1.1. POWER OUTPUT STAGE

The L298 integrates two power output stages (A; B). The power output stage is a bridge configuration and its outputs can drive an inductive load in common or differential mode, depending on the state of the inputs. The current that flows through the load comes out from the bridge at the sense output: an external resistor ( $R_{SA}$ ;  $R_{SB}$ ) allows to detect the intensity of this current.

##### 1.2. INPUT STAGE

Each bridge is driven by means of four gates the input of which are  $In1$ ;  $In2$ ;  $EnA$  and  $In3$ ;  $In4$ ;  $EnB$ . The  $In$  inputs set the bridge state when The  $En$  input is high; a low state of the  $En$  input inhibits the bridge. All the inputs are TTL compatible.

##### 2. SUGGESTIONS

A non inductive capacitor, usually of 100 nF, must be foreseen between both  $V_s$  and  $V_{ss}$ , to ground, as near as possible to GND pin. When the large capacitor of the power supply is too far from the IC, a second smaller one must be foreseen near the L298.

The sense resistor, not of a wire wound type, must be grounded near the negative pole of  $V_s$  that must be near the GND pin of the I.C.

Each input must be connected to the source of the driving signals by means of a very short path.

Turn-On and Turn-Off: Before to Turn-ON the Supply Voltage and before to Turn it OFF, the Enable input must be driven to the Low state.

##### 3. APPLICATIONS

Fig 6 shows a bidirectional DC motor control Schematic Diagram for which only one bridge is needed. The external bridge of diodes D1 to D4 is made by four fast recovery elements ( $t_r \leq 200$  nsec) that must be chosen of a VF as low as possible at the worst case of the load current.

The sense output voltage can be used to control the current amplitude by chopping the inputs, or to provide overcurrent protection by switching low the enable input.

The brake function (Fast motor stop) requires that the Absolute Maximum Rating of 2 Amps must never be overcome.

When the repetitive peak current needed from the load is higher than 2 Amps, a paralleled configuration can be chosen (See Fig.7).

An external bridge of diodes are required when inductive loads are driven and when the inputs of the IC are chopped; Schottky diodes would be preferred.

L298

This solution can drive until 3 Amps In DC operation and until 3.5 Amps of a repetitive peak current.  
 On Fig 8 it is shown the driving of a two phase bipolar stepper motor ; the needed signals to drive the inputs of the L298 are generated, in this example, from the IC L297.

Fig 9 shows an example of P.C.B. designed for the application of Fig 8.

Figure 8 : Two Phase Bipolar Stepper Motor Circuit.

This circuit drives bipolar stepper motors with winding currents up to 2 A. The diodes are fast 2 A types.

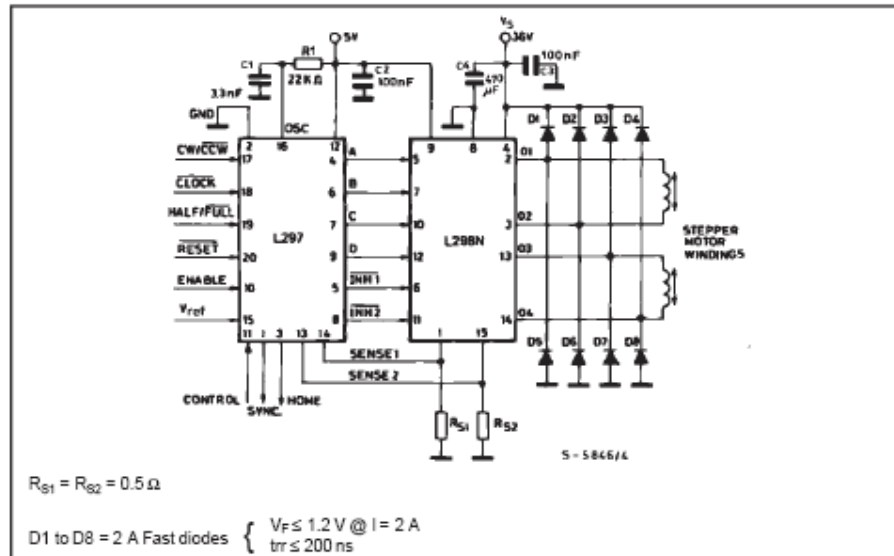


Fig 10 shows a second two phase bipolar stepper motor control circuit where the current is controlled by the I.C. L6506.

## EK 6. 89S52 MİKRODENETLEYİCİSİ

---

### Features

- Compatible with MCS<sup>®</sup>-51 Products
- 8K Bytes of In-System Programmable (ISP) Flash Memory
  - Endurance: 1000 Write/Erase Cycles
- 4.0V to 5.5V Operating Range
- Fully Static Operation: 0 Hz to 33 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 256 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Three 16-bit Timer/Counters
- Eight Interrupt Sources
- Full Duplex UART Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes
- Interrupt Recovery from Power-down Mode
- Watchdog Timer
- Dual Data Pointer
- Power-off Flag
- Fast Programming Time
- Flexible ISP Programming (Byte and Page Mode)
- Green (Pb/Halide-free) Packaging Option

### 1. Description

The AT89S52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcontroller with 8K bytes of in-system programmable Flash memory. The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard 80C51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with in-system programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89S52 is a powerful microcontroller which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

The AT89S52 provides the following standard features: 8K bytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, Watchdog timer, two data pointers, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the AT89S52 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset.



---

8-bit  
Microcontroller  
with 8K Bytes  
In-System  
Programmable  
Flash

---

AT89S52

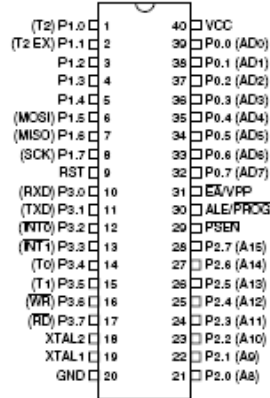
1919C-MICRO-3/05



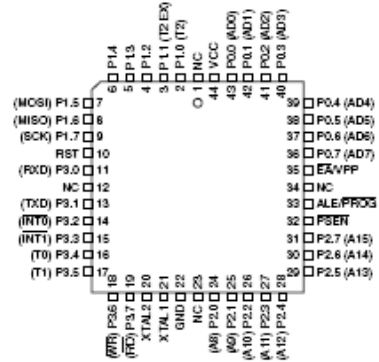


## 2. Pin Configurations

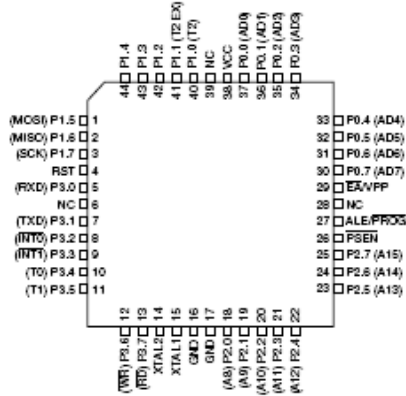
### 2.1 40-lead PDIP



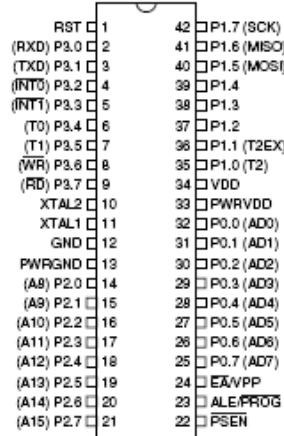
### 2.3 44-lead PLCC



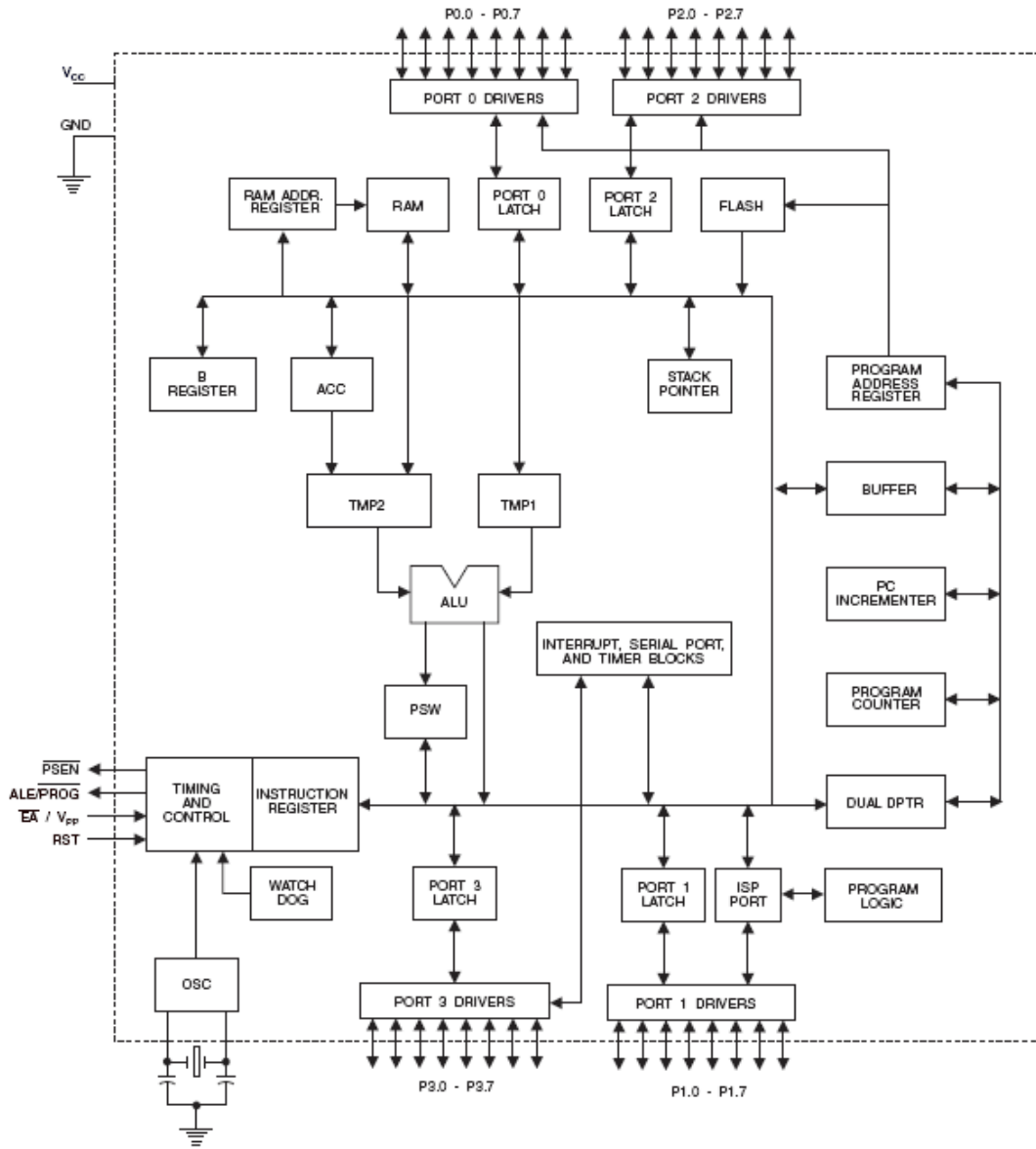
### 2.2 44-lead TQFP



### 2.4 42-lead PDIP



3. Block Diagram





## 4. Pin Description

### 4.1 VCC

Supply voltage.

### 4.2 GND

Ground.

### 4.3 Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 can also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode, P0 has internal pull-ups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming and outputs the code bytes during program verification. **External pull-ups are required during program verification.**

### 4.4 Port 1

Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)
P1.5	MOSI (used for In-System Programming)
P1.6	MISO (used for In-System Programming)
P1.7	SCK (used for In-System Programming)

### 4.5 Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pull-ups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, Port 2 uses strong internal pull-ups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ R1), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

4.6 Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pull-ups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins, they are pulled high by the internal pull-ups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pull-ups.

Port 3 receives some control signals for Flash programming and verification.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89S52, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	To (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

4.7 RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. This pin drives high for 98 oscillator periods after the Watchdog times out. The DISRTO bit in SFR AUXR (address 8EH) can be used to disable this feature. In the default state of bit DISRTO, the RESET HIGH out feature is enabled.

4.8  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$

Address Latch Enable (ALE) is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{PROG}$ ) during Flash programming.

In normal operation, ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE pulse is skipped during each access to external data memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.





#### 4.9 $\overline{\text{PSEN}}$

Program Store Enable ( $\overline{\text{PSEN}}$ ) is the read strobe to external program memory.

When the AT89S52 is executing code from external program memory,  $\overline{\text{PSEN}}$  is activated twice each machine cycle, except that two  $\overline{\text{PSEN}}$  activations are skipped during each access to external data memory.

#### 4.10 $\overline{\text{EA}}/\text{VPP}$

External Access Enable.  $\overline{\text{EA}}$  must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed,  $\overline{\text{EA}}$  will be internally latched on reset.

$\overline{\text{EA}}$  should be strapped to  $V_{\text{CC}}$  for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage ( $V_{\text{PP}}$ ) during Flash programming.

#### 4.11 XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

#### 4.12 XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

### 5. Special Function Registers

A map of the on-chip memory area called the Special Function Register (SFR) space is shown in [Table 5-1](#).

Note that not all of the addresses are occupied, and unoccupied addresses may not be implemented on the chip. Read accesses to these addresses will in general return random data, and write accesses will have an indeterminate effect.

User software should not write 1s to these unlisted locations, since they may be used in future products to invoke new features. In that case, the reset or inactive values of the new bits will always be 0.

**Timer 2 Registers:** Control and status bits are contained in registers T2CON (shown in [Table 5-2](#)) and T2MOD (shown in [Table 10-2](#)) for Timer 2. The register pair (RCAP2H, RCAP2L) are the Capture/Reload registers for Timer 2 in 16-bit capture mode or 16-bit auto-reload mode.

**Interrupt Registers:** The individual interrupt enable bits are in the IE register. Two priorities can be set for each of the six interrupt sources in the IP register.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ahmet Cihan AKINCA

Doğum Yeri : Samsun

Doğum Yılı : 1980

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1994 – 1997 Eşrefpaşa Lisesi, İZMİR

Lisans 1997 – 2002 Pamukkale Üniversitesi, DENİZLİ

Yabancı Dil: İngilizce

İş Tecrübesi:

2003 – 2004 Çankaya Halk Eğitim Merkezi, Bilgisayar Usta Öğretici

2004 – ..... BİLKON, Tasarım-ArGe Mühendisi