

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AMAÇLI 3 EKSEN KARTEZYEN ROBOT
SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI**

Mehmet Emin AKTAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK ANABİLİM DALI
MEKATRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ**

İSTANBUL 2012

**T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇOK AMAÇLI 3 EKSEN KARTEZYEN ROBOT
SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI**

**Mehmet Emin AKTAN
(526210011)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MEKATRONİK ANABİLİM DALI
MEKATRONİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ**

İSTANBUL 2012

TEŐEKKÖR

Bu tezi hazırlarken, yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Nihat AKKUŞ'a en içten dileklerle teşekkür ederim. Ayrıca her zaman yanımda olan ve destekleriyle bana güç veren arkadaşlarıma ve aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Temmuz 2012

Mehmet Emin AKTAN

İÇİNDEKİLER

| | SAYFA |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| TEŞEKKÜR | i |
| İÇİNDEKİLER | ii |
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT | v |
| SEMBOLLER | vi |
| KISALTMALAR | viii |
| ŞEKİLLER | ix |
| TABLolar | xi |
| BÖLÜM I: GİRİŞ VE AMAÇ | 1 |
| I.1 Tez Çalışmasının Amaçları | 1 |
| I.2 Yöntemler ve İşlem Basamakları | 2 |
| BÖLÜM II: GENEL BİLGİLER | 4 |
| II.1 İMALAT VE OTOMASYON | 4 |
| II.2 ROBOT TEKNOLOJİSİ | 5 |
| II.1.1 Serbestlik Derecelerine Göre Robotlar | 6 |
| II.1.1.1 Kartezyen (PPP) Düzenleşim | 7 |
| II.3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI | 8 |
| BÖLÜM III: ROBOT SİSTEMİNİN TASARIMI | 10 |
| III.1 ELEKTRONİK DONANIM | 10 |
| III.1.1 Step (Adım) Motorları | 10 |
| III.1.1.1 Adım Motoru Çeşitleri | 12 |
| III.1.1.2 Bobin Tahrikli Adım Motoru Tipleri | 14 |
| III.1.1.3 Adım Motorlarının Bağlantı Şekilleri | 15 |
| III.1.1.4 Adım Motorlarına ait Önemli Parametreler | 15 |
| III.1.1.5 Adım Motorlarının Kontrolü | 17 |
| III.1.1.6 Adım Motorlarının Sürülmesi | 18 |
| III.1.2 Kullanılan Sürücü Sistemleri | 21 |
| III.1.3 Kullanılan Adım Motorları | 22 |
| III.1.4 Güç Kaynağı | 23 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------|-----------|
| III.1.5 Kontrol Kutusu | 24 |
| III.1.6 Haberleşme | 25 |
| III.1.7 USB Nedir ? | 26 |
| III.1.7.1 USB'nin Avantajları..... | 27 |
| III.1.7.3 USB Aktarım Tipleri..... | 29 |
| III.1.7.4 USB Konektör Tipleri | 29 |
| III.1.8 PIC18F4550 Donanım Mimarisi | 31 |
| III.1.8.1 Microchip Mikrodenetleyici Ailesi | 32 |
| III.1.8.2 Genel Özellikleriyle PIC18F4550..... | 33 |
| III.1.8.3 PIC18F4550 USB Özellikleri | 34 |
| III.1.8.4 Osilatör Tipleri ve Ayarları | 35 |
| III.2. MEKANİK TASARIM..... | 37 |
| III.2.1 Montaj Resmi ve Parça Listesi | 38 |
| III.2.2 Sistemin Mekanik Analizleri | 39 |
| III.2.2.1 Sistemin analiz için hazırlanması..... | 40 |
| III.3 TEKNİK HESAPLAMALAR | 45 |
| III.3.1 Motor Hesaplamaları | 45 |
| III.3.1.1 Frezeleme İşlemi | 45 |
| III.3.1.2 Kesme Kuvvetleri..... | 46 |
| III.3.1.3 Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler | 47 |
| III.3.1.4 Motor Hesaplamaları İçin Gerekli Formüller | 49 |
| III.3.1.5 Z ekseninde kullanılacak motor hesaplamaları | 51 |
| III.3.1.6 Y Ekseninde Kullanılacak Motor Hesaplamaları..... | 53 |
| III.3.1.7 X Ekseninde Kullanılacak Motor Hesaplamaları..... | 55 |
| III.3.2 Vidalı Millerdeki Kritik Hızların Hesaplanması | 56 |
| III.3.2.1 X Ekseni Vidalı Mil Kritik Hız Hesabı..... | 58 |
| III.3.2.2 Y Ekseni Vidalı Mil Kritik Hız Hesabı..... | 59 |
| III.4 KONTROL YAZILIMI | 60 |
| III.4.1 Visual C# Nedir ? | 60 |
| III.4.2 Programın Arayüzü..... | 61 |
| III.4.3. Sistemin Hareket Şekilleri ve Doğrusal Enterpolasyon..... | 63 |
| III.4.4 Sistemin İşleyişi..... | 65 |
| BÖLÜM IV: SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 67 |
| BÖLÜM V: SON DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER | 69 |
| KAYNAKLAR | 70 |
| EKLER..... | 72 |

ÖZET

ÇOK AMAÇLI 3 EKSEN KARTEZYEN ROBOT SİSTEMİNİN TASARIMI VE İMALATI

Bu projede 3 eksenli doğrusal eklemlere sahip kartezyen robotun mekanik olarak tasarımı, elektronik kontrol arabirim kartlarının ve sürücülerin tasarımı ile bu mekanik ve elektroniğin birleştirilerek robot sisteminin imalatı amaçlanmıştır. Aynı zamanda bu sistemin kontrolü için bilgisayar ortamında bir arayüz programının yazılması da hedeflenmiştir. Sistemin Z eksenine bağlanacak çeşitli uç işlevciler sayesinde değişik uygulamalar yapılabilecektir. Örneğin; lazer ünitesi ile lazer kesim, plazma ünitesi ile plazma kesim, spindle motor ile ahşap, plastik ve alüminyum işleme, tutucu manipülatör ile de cisim taşıma gibi işlevler yerine getirebilecektir. Bu tip robot sistemlerini sanayide çok geniş yelpazede ürün imalatı için kullanabiliriz.

Projede hedeflenen bir diğer amaç da robot sisteminin eğitimde kullanılabilir hale getirilmesidir. Üniversitelerde ve çoğunlukla teknik liselerde CNC sistemler öğrencilere genellikle teorik olarak anlatılmaktadır. Bu da öğrenmeyi geçici ve etkisiz kılmaktadır. Uygulama imkanı olan okullarda da öğrenciler bu sistemlerle yeni tanışmış oldukları için, çeşitli maddi ve manevi hasarlı kazalar meydana gelebilmektedir. Bu durumdan yola çıkılarak, CNC eğitiminin ilk basamaklarında öğrencileri tezgahlara alıştırmak için küçük boyutlarda ve nispeten daha az tehlike oluşturacak sistemler eğitimde büyük kolaylık sağlayacaktır. Tezimizin konusu olarak imal edeceğimiz sistem de bu amaç için kullanılabilir. Kontrol programı da buna uygun olarak hazırlanmıştır.

Temmuz, 2012

Mehmet Emin AKTAN

ABSTRACT

THE DESIGN AND MANUFACTURING OF MULTI-PURPOSE 3 AXIS CARTESIAN ROBOT SYSTEM

In this project, it is intended to make the mechanical design of 3 axis cartesian robot with linear joints, production of electronic control interface cards and drivers and manufacturing of robotic system which is a combination of mechanics and electronics. At the same time, it is aimed to prepare interface program to control robotic system. With the help of different cutters and tools which are connected to the Z axis, various applications can be made. For example, laser cutting with laser unit, plasma cutting with plasma unit, wood, plastic and aluminium processing with spindle, product transportation by holders etc. These types of robot systems can be used in a wide spectrum in industry.

Another purpose of this Project is making these robot systems available to use for education. Generally, in high schools and universities, CNC systems are though rather theoretical. This situation cause ineffective and temporary learning. Students in schools which have the opportunity to apply for these systems face with various dangerous accidents. Because of this situation is that; these students start to get knowledge about this system for the first time. On the basis of this situation, for the first steps of CNC education, using smaller and less dangerous systems will be easier. The system which is going to be produced for this thesis can be used for these purposes. Also, the Control program which is suitable for this will be prepared.

July, 2012

Mehmet Emin AKTAN

SEMBOLLER

- a** : talaş kalınlığı (mm)
b : talaş genişliği (mm)
D : freze çapı (mm)
D_B : vidalı milin çapı (m)
D_K : kaplin dış çapı (m)
f : vidalı milin direnci (N)
F_R : radyal kuvvet (N)
F_S : kesme kuvveti (N)
F_V : ilerleme kuvveti (N)
h_m : ortalama talaş kalınlığı
J_B : vidalı milin ataleti (kg-m²)
J_C : kaplin ataleti (kg-m²)
J_L : motor şaftına indirgenmiş yük ataletleri (kg-m²)
J_{L,1} : doğrusal milin ataleti (kg-m²)
k_S : özgül kesme kuvveti (N)
L_B : vidalı milin uzunluğu (m)
M : doğrusal hareket yapan elemanların toplam ağırlığı (kg)
M_K : kaplin ağırlığı (kg)
N_M : Motor devir sayısı (dev/dk.)
n : devir sayısı (dev./dk.)
P₀ : talaş kaldırırken gereken motor gücü (W)
P_a : ivmelenme sırasındaki anlık güç (W)
P_B : vidalı mil adımı (m)
P_S : motor gücü (kw)
R : redüksiyon oranı
S_z : bir dişe karşılık gelen ilerleme (mm/diş)

- t_a : ivmelenme süresi (sn)
- T_C : talaş kaldırma için gerekli moment (N.m)
- T_L : parça ilerletme için gerekli moment (N.m)
- T_T : talaş kaldırma anında toplam moment (N.m)
- V : kesme hızı (m/s^2)
- Z : diş sayısı
- Z_e : aynı anda parça ile temasta olan diş sayısı
- φ_s : temas açısı
- ρ : vidalı mil malzemesinin öz kütlesi (kg/m^3)
- μ : kızaklardaki sürtünme katsayısı
- η : vidalı milin verimi
- n_{cr} : kritik hız (Hz)
- δ : yer değiştirme (mm)
- E : elastisite modülü (GPa)
- I : asal atalet momenti
- W : yük (N)

KISALTMALAR

- DC** : Doğru akım
PLC : Programmable Logic Controller
CW : Clockwise
CCW : Counter Clockwise
USB : Universal Serial Bus
ma : mili amper
PIC : Peripheral Interface Controller
RISC : Reduced Instruction Set Computing
PLL : Phase Locked Loop
PWM : Pulse Width Modulation
CPU : Central Processing Unit (Merkezi İşlem Birimi)
RAM : Random Access Memory
CNC : Computer Numerical Control
BDT : Bilgisayar Destekli Tasarım
BDÜ : Bilgisayar Destekli Üretim

ŞEKİLLER

SAYFA

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil II.1: Kuka KR1000 Titan endüstriyel robot kol..... | 5 |
| Şekil II.2: Kartezyen robotun çalışma alanı | 7 |
| Şekil II.3: Schunk PP2400 kartezyen robot | 8 |
| Şekil III.1: Sabit mıknatıslı adım motorunun yapısı | 12 |
| Şekil III.2: Değişken relüktanslı adım motorunun yapısı | 13 |
| Şekil III.3: Hibrit adım motorunun yapısı..... | 13 |
| Şekil III.4: Unipolar adım motorunun yapısı | 14 |
| Şekil III.5: Bipolar adım motorunun yapısı | 14 |
| Şekil III.6: Bağlantı şekillerine göre hız – tork eğrileri | 15 |
| Şekil III.7: Adım motorları bağlantı şekilleri | 15 |
| Şekil III.8: Sürekli rejimde ve kalkışta max. yük momenti/hız eğrileri..... | 17 |
| Şekil III.10: Kapalı çevrim adım motoru kontrolü | 18 |
| Şekil III.11: L297 entegresi bacak tanımlamaları | 19 |
| Şekil III.12: L297 ve L298 ile adım motor sürücü şeması..... | 20 |
| Şekil III.13: L297 + L6203 birleşiminden oluşan devreler..... | 20 |
| Şekil III.14: L297 ve L6203 ile adım motoru sürücü şeması | 21 |
| Şekil III.16: Vexta V266 Adım Motoru..... | 22 |
| Şekil III.17: Motorun hız-tork karakteristiği..... | 23 |
| Şekil III.18: Güç kaynağı..... | 23 |
| Şekil III.19: Güç kaynağı devre şeması | 23 |
| Şekil III.20: Kontrol kutusu | 24 |
| Şekil III.21: Kontrol kutusu ön ve arka görünümü | 24 |
| Şekil III.22: Bilgisayarlarda bulunan portlar | 25 |
| Şekil III.23: Paralel port uçları..... | 25 |
| Şekil III.24: PIC18F4550 pin görünüş şeması | 33 |
| Şekil III.25: Sistemin Tasarımı | 37 |
| Şekil III.26: Montaj resmi ve parça listesi | 38 |
| Şekil III.27: Analiz işlemi için sistemin sadeleştirilmesi, mesnetlerin ve kuvvetlerin uygulanması | 40 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil III.28: Sınır şartlarının belirlenmesi ve sisteme mesh uygulanması | 41 |
| Şekil III.29: Von Mises Stress sonucu | 41 |
| Şekil III.30: X eksen destek mili üzerinde stres dağılımı | 42 |
| Şekil III.31: A – B noktaları arasında stres dağılımı grafiği..... | 42 |
| Şekil III.32: Yer değiştirmelerin toplu görünümü | 43 |
| Şekil III.33: X eksen destek mili yer değiştirme miktarı | 43 |
| Şekil III.35: Y eksen destek mili yer değiştirme miktarı | 44 |
| Şekil III.36: Y eksen destek mili A – B noktaları arasında yer değiştirme grafiği... .. | 44 |
| Şekil III.37: Frezeleme biçimleri | 46 |
| Şekil III.38: Kesme esnasında oluşan kuvvetler | 49 |
| Şekil III.39: Yer değiştirme hesabı şeması | 57 |
| Şekil III.40: Yer değiştirmelerin gösterimi | 58 |
| Şekil III.41: X eksen vidalı milin uzunluğu ve etki eden kuvvet..... | 58 |
| Şekil III.42: Y eksen vidalı milin uzunluğu ve etki eden kuvvet..... | 59 |
| Şekil III.43: Sistemin kontrol diyagramı..... | 60 |
| Şekil III.44: Marmara CNC Eğitim Programı arayüzü | 61 |
| Şekil III.45: Devir sayısı hesap ve ayarlar pencereleri | 63 |
| Şekil III.46: Uç işlevcinin A noktasından B noktasına izleyeceği yol..... | 64 |
| Şekil III.47: USB'den sürücüyeye veri transfer kutusu..... | 65 |
| Şekil III.48: Sistemin genel resmi..... | 66 |
| Şekil IV.1: Sistem çalışma esnasında..... | 67 |

TABLolar

| | <u>SAYFA</u> |
|-----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Tablo II.1: Robot eklem tipleri | 7 |
| Tablo III.1: Kullanılan adım motorlarının özellikleri..... | 22 |
| Tablo III.2: Paralel port pin numaraları..... | 26 |
| Tablo III.3: USB sürümleri ve hızları..... | 26 |
| Tablo III.4: Popüler bilgisayar arayüzlerinin karşılaştırılması..... | 28 |
| Tablo III.5: USB konektör tipleri | 30 |
| Tablo III.6: USB pin tanımlamaları..... | 30 |
| Tablo III.7: Özellik tablosu | 34 |
| Tablo III.8: PIC18F4550 osilatör seçenekleri | 35 |
| Tablo III.9: Tezgah bilgileri | 47 |
| Tablo III.10: Z eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler | 51 |
| Tablo III.11: Y eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler..... | 53 |
| Tablo III.12: X eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler..... | 55 |
| Tablo III.13: Hesap sonuçları tablosu | 56 |

BÖLÜM I: GİRİŞ VE AMAÇ

Robot teknolojisi sanayi devriminden sonra makineleşmeye dayalı olarak üretim hatlarındaki üretim süresini azaltmak, standart ürünler üretebilmek, insan hayatı için tehlikeli yerlerde işlem ve üretim yapabilmek amacıyla geliştirilmiştir. Üretim ortamları öncelikle klasik üretim tezgâhları daha sonra kam kontrollü ve pim kontrollü üretim tezgâhlarından oluşmaktaydı. Robot teknolojisinin gelişmesiyle birlikte üretim ortamları en az insan bağımlı, standart ürünler çıkaran, neredeyse yüzde sıfır hatayla üretim yapabilen, insanoğlunun zorlukla yapabileceği işlerin yapılabilirdiği üretim bantlarına dönüşmüş ve üretim ortamları bütünüyle insandan bağımsız düşünüp kontrol edilebilen üretim sistemlerine dönüşmeye doğru gitmektedir. [1]

Küresel boyutta robot ve imalat teknolojisi hızla gelişmektedir. Ülkemize baktığımızda ise sanayi ve üretim alanlarında yurtdışına bağımlılık oranımızın yüksek olduğunu görmekteyiz. Oysaki gelişmiş bir ülke olmanın en büyük göstergesi güçlü sanayiye sahip olmak ve teknolojiyi takip eden değil, teknolojinin gelişmesine katkıda bulunan konumda olmaktır. Güçlü sanayiye ve yüksek teknolojiye sahip olabilmemiz için de özellikle robotik sistemler konusunda yeterliliğe sahip olmamız son derece önemlidir. Bu hedefleri gerçekleştirebilmek için mekanik tasarım, elektrik - elektronik teknolojisi ve yazılım geliştirme alanlarında kısacası mekatronik alanında önemli çalışmalar yapmak artık bir zorunluluk haline gelmiştir.

I.1 Tez Çalışmasının Amaçları

Bu çalışmada CNC Router da denilen 3 eksenli doğrusal eklemlere sahip kartezyen robotun mekanik olarak tasarımı, elektronik kontrol arabirim kartlarının ve sürücülerin tasarımı ile bu mekanik ve elektroniğin birleştirilerek robot sisteminin imalatı amaçlanmaktadır. Aynı zamanda bu sistemin kontrolü için bilgisayar ortamında kontrol arayüz programının yazılması da hedeflenmektedir. Bu kartezyen robot sisteminin Z eksenine bağlanacak çeşitli uç işlevciler sayesinde değişik uygulamalar yapılabilecektir. Örneğin; lazer ünitesi ile lazer kesim, plazma ünitesi ile plazma kesim, spindle motor ile ahşap, plastik ve alüminyum işleme, tutucu

manipülâtör ile de cisim taşıma gibi işlevleri yerine getirebileceğiz. Bu tip robot sistemlerini sanayide çok geniş yelpazede ürün imalatı için kullanabiliriz.

Projede hedeflenen bir diğler amaç da robot sisteminin eğitimde kullanılır hale getirilmesidir. Teknik lise ve üniversitelerde CNC sistemler öğrencilere genellikle teorik olarak anlatılmaktadır. Bu da öğrenmeyi geçici ve etkisiz kılmaktadır. Uygulama imkanı olan okullarda da öğrenciler bu sistemlerle yeni tanışmış oldukları için, çeşitli maddi ve manevi hasarlı kazalar meydana gelebilmektedir. Bu durumdan yola çıkılarak, CNC eğitiminin ilk basamaklarında öğrencileri tezgahlara alıştırmak için küçük boyutlarda ve nispeten daha az tehlike oluşturacak sistemler eğitimde büyük kolaylık sağlayacaktır. Tezimizin konusu olarak imal edeceğimiz sistem de bu amaç için kullanılabilir. Hazırlanan program da buna uygun olarak hazırlanacaktır.

I.2 Yöntemler ve İşlem Basamakları

Robot uç işlevcisini bulunduğu konumdan arzu edilen konuma götürmek, bir robot manipülâtörün en temel sorunudur. Uç işlevcisinin bu hareketi gerçekleştirirken yönelimi ve konumu ana çerçeveye göre değişir ve aynı zamanda bir takım ara noktalardan geçer. Aslında uç işlevcisinin başlangıç bitiş noktaları da birer ara nokta sayılır. Uç işlevcisi bu noktalardan geçerken, zamana bağlı olarak değişen belli bir hıza ve ivmeye sahiptir. Bu değişken ivmeli hareket titreşime neden olabilir. Robotun titreşimden uzak, çalışma uzayındaki herhangi bir cisme çarpmadan, eyleyicilerin sınırlarını zorlamadan kontrollü ve yumuşak hareket edebilmesi için yörünge planlaması yapılır. Robotlar iki nokta arasında doğrusal, dairesel, sinüzoidal veya değişik şekillerde takip eder. Bu yörünge şekilleri zamana bağlı olarak eklem açılarının veya kartezyen koordinat sisteminin birer fonksiyonudur. Kartezyen koordinat sisteminde servo ya da step motorlarla tahrik edilen vidalı millerin üzerine bağlı eksenlerin değişik hız ve ivmelerde hareketi ile konum değişimi elde edilir. Başlangıç noktasından bitiş noktasına giderken her eklem kat edeceği mesafe aynı olmayacağı için bu hız ve ivmeler farklılık gösterir. Dolayısı ile bir eksenin hızı ve ivmesi bir başkasından bağımsızdır. Sonuç olarak robottaki eyleyiciler bu hız ve ivmelerle çalıştığı zaman arzu edilen yönetime ve konuma ulaşır.[2]

Bu bağlamda, robotun çalışma uzayı içerisinde istenilen noktanın x,y,z koordinat değerlerine göre her koordinatın bağlı olduğu vidalı millerin adım değerleri göz önünde bulundurularak bu milleri tahrik eden motorlara verilmesi gereken sinyallerin hesaplanıp, istenilen hareketi gerçekleştirmek sureti ile çok sayıda işlevi yerine getirmek ana hedef olacaktır. Bu konum ve yönetime ulaşırken robotun titreşimsiz ve yumuşak hareket yapması ve çalışma uzayında herhangi bir cisme çarpmadan hareket etmesi sağlanmaya çalışılacaktır. Bu amaç için robotun ana gövdesinin, eksenlerin ve diğer ekipmanların tasarımı SolidWorks programı ile yapılacaktır. Sisteme uygun motor güçlerinin tespit edilmesi için gerekli hesaplamalar ve denemeler yapılacaktır. Elektrik sistemi, sürücüler ve kontrol devreleri uygun şekilde tasarlanıp robotun kontrol panosu hazırlanacaktır. Robotun kontrol yazılımı için iki program kullanılacaktır. Birincisi piyasada hazır bulunan Mach3 programı ve ikinci olarak C# programında kendi hazırladığımız kontrol programı kullanılacaktır.

Tez çalışmasında izlenen yollar genel olarak şu adımlardan oluşacaktır:

1. Sistemin tasarımı için bilgi toplanması ve literatür araştırması
2. Gerekli motor gücü, tork ve hız hesaplarının yapılması
3. Gerekli elektrik - elektronik donanımların belirlenmesi ve hazırlanması
4. Mekanik sistemin çizimlerinin yapılması ve imalatı
5. Elektronik ve mekanik bileşenlerin montajı ve sistemin çalıştırılıp gözlenmesi
6. Yazılımın oluşturulması ve sistemin kontrolü
7. İnceleme sonucu ortaya çıkabilecek hataların belirlenmesi, robot mekaniği ve yazılımın uyumunun optimizasyonu

BÖLÜM II: GENEL BİLGİLER

II.1 İMALAT VE OTOMASYON

Bir hammaddeyi veya yarı mamulü işleyerek bir sanayi ürünü, bir mal üretme işlemlerinin bütününe imalat denir. İmalat deyince akla sadece günümüz makineleri ve imalat yöntemleri gelmemelidir. Tarih boyunca insanlar yaşamlarını devam ettirebilmek için imalat işlemine ihtiyaç duymuşlardır. Taş devirlerinden başlayarak, tekerleğin icadı, ateşin bulunması, buharlı makinelerin icadı ve sanayi devrimi gibi insanlık için önemli olaylarda ihtiyaçlardan doğan zaruretlere sebebiyle bir şeyler üretip bunları kullanma arzusu yatmaktadır.

İmalat, çeşitli yöntem ve araçlarla yapılmaktadır. Talaşlı imalat, talaşsız imalat, alıştırılmamış imalat gibi çeşitleri vardır.

Talaşlı imalat, önceden dizaynı ve konstrüksiyonu yapılan, imalat süreci belirlenen makine elemanının, imalat sürecine uygun talaşlı imalat tezgahlarında, belirlenmiş kesici takımlar marifetiyle kesme operasyonuna tabi tutularak şekillendirilmesini kapsayan imalat yöntemidir. Talaşlı imalat, kesici takım ve/veya iş parçasının birbirlerine göre izafi hareketi ile iş parçası üzerinde, gerilim oluşturularak gerçekleştirilir. Günümüzde en çok kullanılan imalat çeşidi olarak gösterilebilir. Tornalama, frezeleme, delik delme, raybalama, vargel ve planyalama, taşlama, honlama, lepleme gibi imalat yöntemleri talaşlı imalata örnek olarak gösterilebilir.

Malzemelere plastik şekil değişimi olacak biçimde kuvvet uygulayarak şekil vermeye **talaşsız şekil verme** denir. Plastik şekil değişiminde kalıcı bir deformasyon olmaktadır. Eğer malzeme kuvvet etkisinden kurtulduktan sonra eski haline dönmüşse elastik şekil değişimine maruz kalmış demektir. Kaynak, döküm, hızlı prototipleme, ekstrüzyon, dövme, haddeleme gibi işlemler talaşsız şekil vermeye örnek olarak gösterilebilir.

İmalatın önemi ve imalat çeşitlerinden bahsettik. Teknolojinin inanılmaz bir ivme ile gelişmesinin getirdiği yenilikler ve kolaylıklar kuşkusuz imalat sektörünü ciddi bir biçimde etkilemiştir. Üretim süresini azaltmak, standart ürünler

üretebilmek, insan hayatı için tehlikeli ve bulunması imkânsız yerlerde işlem ve üretim yapabilmek gibi amaçları karşılamak için çeşitli yöntemler ve cihazlar geliştirilmiştir. Bu konuda en önemli gelişmelerden biri de hiç kuşkusuz robot teknolojisidir.

II.2 ROBOT TEKNOLOJİSİ

Robot, Çek dilinde köle veya işçi anlamına gelmektedir. Bu anlamdan esinlenerek kullanılmaktadır. Genel anlamda birçok farklı görevi yerine getirmek için programlanan makinelerdir. Birçok kez programlanabilmeleri ve bünyelerinde denetleyici sistemleri barındırmaları robotları diğer makinelerden ayıran özelliklerdir. Başka bir deyişle robot, bilgisayar kontrollü bir endüstriyel manipulatördür. Şekil II.1'de Kuka firmasına ait KR1000 Titan endüstriyel robot kolu görülmektedir. Bünyesinde çok karmaşık elektromekanik sistemler ihtiva etmektedir.



Şekil II.1: Kuka KR1000 Titan endüstriyel robot kol

Robot teknolojisi, sanayi devriminden sonra makineleşmeye dayalı olarak üretim hatlarındaki üretim süresini azaltmak, üretimde standardizasyonu sağlamak, insan sağlığını tehdit eden tehlikeli ortamlarda üretim gerçekleştirmek amacıyla geliştirilmiştir. Robot teknolojisinin gelişmesiyle birlikte üretim ortamları en az insan bağımlı, standart ürünler çıkaran, neredeyse yüzde sıfır hatayla üretim yapabilen, insanoğlunun zorlukla yapabileceği işlerin yapılabilirdiği üretim bantlarına

dönüşmüş ve üretim ortamları bütünüyle insandan bağımsız düşünüp kontrol edilebilen üretim sistemleri haline gelmiştir. [1]

ISO 8373 Standardına göre belirlenmiş endüstriyel robot tanımı ve robot tiplerinin sınıflandırılması şöyledir: "Endüstriyel uygulamalarda kullanılan, üç veya daha fazla programlanabilir eksenli olan, otomatik kontrollü, yeniden programlanabilir, çok amaçlı, uzayda sabitlenmiş veya hareketli manipülatördür." [2]

Robotları endüstride ilk olarak kullanan ülke Japonya'dır. İlk robot kullanma fikrinin ortaya atılması ile birlikte, işsizlik oluşturacağı endişesi ile büyük tepkiler almıştır. Ama kullanılmaya başlandıktan sonra kaygıların yersiz olduğu anlaşılmıştır. Robot kullanımı ile birlikte birçok iş kolu türemiş ve işsizlik daha çok azalmıştır [3].

Robot bilimi disiplinler arası bir bilimdir. Makine, kontrol, elektrik – elektronik, bilgisayar mühendisliği, matematik, fizik gibi bilim dalları ile yakından ilgilidir. Örneğin, robotların kinematik denklemlerinin çözümü için çok iyi matematik ve mühendislik bilgisi gereklidir. Mekanik konstrüksiyon ve dayanım analizleri için makine mühendisliğinden yararlanılır.

Robotlar genellikle seri ve paralel olmak üzere iki temel gruba ayrılır. Seri robotlar bir dizi eklemler (joint) ve bu eklemleri birbirine birleştiren bağlardan (link) oluşur. Seri robotlar, geniş çalışma uzayına (aktif olarak robotun erişebileceği uzay), az sayıda mekanik parçaya ve paralel robotlara göre daha basit kinematik denklemlere sahiptir. Fakat, kaldıracakları kütlelerin toplam mekanik yapılarının kütlelerine oranı çok küçüktür. Ana çerçeve ile yük arasında birbirine paralel pek çok bağın bir araya gelmesiyle oluşan paralel robotlar, seri robotlara göre daha sağlam bir mekanik yapıya sahiptir. Kinematik denklemlerinin çok karmaşık olmasına karşın, kaldıracakları kütlelerin mekanik yapılarının kütlelerine oranı büyüktür. [2]

II.1.1 Serbestlik Derecelerine Göre Robotlar

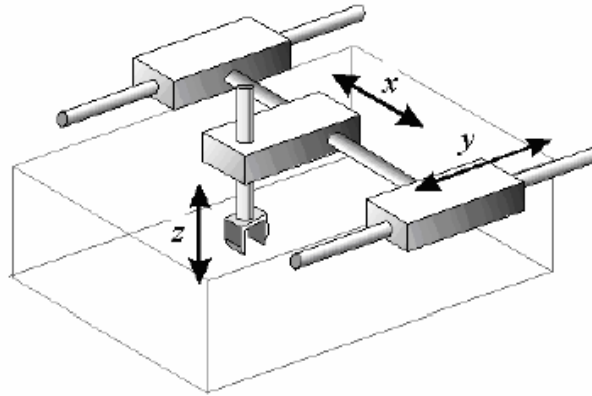
Serbestlik derecesi kısaca robotun eklem sayısını ifade eder. Robotlar serbestlik derecelerine göre sınıflandırılırken ilk üç bağın eklem özelliği dikkate alınır. Robotlarda dönel (rotational) ve paralel olmak üzere iki çeşit eklem tipi vardır. Tablo II.1'de robotların hangi eklem tiplerine sahip oldukları görülmektedir.

| Tablo II.1: Robot eklem tipleri | |
|----------------------------------------|-----------------------------------|
| Düzenleşim | Eklem Tipi |
| Kartezyen | Paralel – Paralel – Paralel (PPP) |
| Silindirik | Dönel – Paralel – Paralel (RPP) |
| Scara | Dönel – Dönel – Paralel (RRP) |
| Küresel | Dönel – Dönel – Paralel (RRP) |
| Silindirik | Dönel – Dönel – Dönel (RRR) |

İlk üç bağ prizmatik eklemlere sahipse, sonuçta oluşan kinematik düzenleşime kartezyen (PPP), ilk iki bağ döner, ikinci ve üçüncü bağ prizmatik eklemlere sahipse silindirik (RPP), ilk iki bağ döner, üçüncü bağ prizmatik eklemlere sahip ve bütün eklemler birbirine paralelse Scara (RRP), ilk iki bağ döner, üçüncü bağ prizmatik eklemlere sahipse küresel (RRP), ilk üç bağın tamamı döner eklemlere sahipse, sonuçta oluşan kinematik düzenleşime ise dönel (RRR) denir. [2] Tezimize konu olan robot sistemi kartezyen düzenleşime sahiptir. Şimdi kartezyen robot sistemi üzerinde duralım.

II.1.1.1 Kartezyen (PPP) Düzenleşim

Kinematik düzenleşimi en basit olan robot türüdür. Bu sistemde bütün robot hareketleri birbirlerine karşı dik açılı şekilde olur. Bazı parçaların montajı için gerekli işlemler kartezyen düzenleşimli robotlar tarafından yapılır. Bu robot şekli birbirine dik üç eksende hareket eden kısımlara sahiptir. Hareketli kısımlar X, Y ve Z kartezyen koordinat sistemi eksenlerine paralel hareket ederler. Robot, üç boyutlu dikdörtgen prizması hacmi içindeki noktalara kolunu hareket ettirebilir. Şekil II.2’de kartezyen robotun çalışma alanı gösterilmiştir.



Şekil II.2: Kartezyen robotun çalışma alanı [4]

Genellikle madde ve kargo taşınması gibi ağır materyal transferlerinde kullanılırlar. Ayrıca talaşlı ve talaşsız üretim yöntemine uygun uç işlevçiler kullanılarak imalat işlemlerinde de kullanılabilirler. Şekil II.3’de Schunk firmasına ait bir kartezyen robot görülmektedir.



Şekil II.3: Schunk PP2400 kartezyen robot

II.3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

CNC ve Kartezyen koordinatlı robot sistemleri teknolojisinde yurtiçi ve yurtdışında çok çeşitli çalışmalar yapılmıştır ve yapılmaya da devam edilmektedir. Bu bölümde bu çalışmalardan bir kısmı incelenecektir.

A.A. Tseng ve arkadaşları “A CNC machining system for education” adlı çalışmalarında, 3 adet doğrusal eksene sahip, mikroişlemci kontrollü bir tezgah imal etmişlerdir. Bu çalışmadaki genel amaçları, tezgah üzerinde yeni teknolojiler denemek, özellikle de eğitim amaçlı uygulamalarda kullanmak olmuştur. Sistem genel olarak basit sayılabilecek bir programa ve küçük boyutlara sahiptir. Ekonomiklik de bir diğer hedefleri olmuştur. [5]

Kim ve arkadaşları “A study on the design of CNC lathe for education and application” adlı çalışmalarında, CNC teknolojisinin hızla gelişmesine paralel olarak, Kore’deki mühendislerin de bu hıza ayak uydurabilmeleri için CNC eğitim kalitesinin artırılması gerektiğini savunmuşlardır. Bu gereksinimden yola çıkarak, ucuz CNC prototipi tasarlayıp üretmişlerdir. 0,5 KW enerji tüketen bu tezgah, mikroişlemci, sürücü, step motor ve güç kaynağına sahiptir. [6]

Lee ve arkadaşları “Development of a CAD/CAE/CAM system for a robot manipulator” adlı çalışmalarında, CAD/CAE/CAM entegre sistemi geliştirmişlerdir.

Robotun pozisyon analizi için Denavit Hartenberg metodunu kullanmışlardır. Bu entegre sistemin bilgisayar destekli mekanizma tasarımı derslerinde destekleyici bir eğitim aracı olarak kullanılabileceğini de belirtmişlerdir. [7]

Kaygısız, “Eğitim amaçlı masaüstü 3 eksenli CNC freze tasarımı ve prototipi” adlı tez çalışmasında, meslek okullarının atölye ve laboratuvarlarında okul olanakları ile imal edilebilir, düşük maliyetli üç eksenli masaüstü CNC freze tasarlamış ve imal etmiştir. [8]

Köbeloğlu, “Eğitim amaçlı masaüstü CNC torna tezgahı tasarımı ve prototipi” adlı tez çalışmasında, mesleki ve teknik okullarda eğitim amaçlı kullanılacak, düşük maliyetli iki eksenli CNC torna tezgahı tasarlamış ve imal etmiştir. [9]

Eğilmez, “Kartezyen koordinatlı kaynak robotu” adlı tez çalışmasında, bilgisayar kontrollü bir kartezyen robot sistemi tasarlamış ve uç işlevci olarak kaynak torcu ekleyerek sisteme kaynak işlemi yaptırmıştır. [10]

Kutlu, “Üç eksenli masa tipi CNC freze tezgahı tasarım ve imalatı” adlı tez çalışmasında, üç eksenli bir CNC tezgah tasarımı ve imalatı için gerekli tasarım parametrelerini belirlemiş ve gerekli statik, dinamik hesaplamaları yapmıştır. [11]

BÖLÜM III: ROBOT SİSTEMİNİN TASARIMI

III.1 ELEKTRONİK DONANIM

III.1.1 Step (Adım) Motorları

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

Adım açısı, bir tam dönüş için kaç tane adım atılacağını belirler. Örneğin 1,8° adım açısına sahip bir motor, shaftın bir tam dönüş yapması için 200 darbe ile tahrik edilmelidir ($360 / 1,8 = 200$). Sürücü devreye bağlı olarak motor adımlarının arasında da konumlama yapmak mümkün olabilmektedir. Sürücü devrenin bu özelliğine microstep adı verilir. Sürücü devreye ve bu devre üzerindeki motor sürücü entegresine bağlı olarak $1/2$, $1/4$, $1/16$... gibi değerlerde microstep işlemi yapılabilir. Örneğin $1/16$ microstep özelliğine sahip bir sürücü ile motor adımı 16 parçaya bölünebilir. Bu sayede daha hassas hareket ve pozisyonlama yapılabilir. Tezgah düzeneğine ve istenilen hassasiyete göre microstep tercihi yapılır. Adım açısının küçülmesi motorun hassasiyetini artırmaktadır fakat adım motorlarının saniyede kabul edebilecekleri darbeler için bir üst sınır vardır. Ağır iş motorları saniyede 200 - 300 darbe oranına sahiptir, yani yüksek hızlarda dönmektedirler (dakikada 60 - 180 tam tur). Daha küçük bazı adım motorlar saniyede 1000 ve üzeri darbe alabilir fakat yüksek tork üretmediğinden sürme ve dümenleme motorları için uygun değildir.

Motorun hızı uygulanan sinyallerin frekansı ile kontrol edilir. Darbe oranı değiştirilerek motorun bir adımlık hareketi çok yavaşlatılabileceği gibi yüksek hızlara (3000 - 4000 devir/dakika) da çıkarılabilir.

Adım motorlarının bobinleri belirli voltajlara göre üretilmiştir. Bobinler üzerlerine gerilim uygulandığında indüktör gibi davranır. Öyle ki, aniden en yüksek akım değerlerini yansıtamadıkları gibi, yüksek step frekanslarında bu en üst değere

ulaşamayabilirler. Bobinler tarafından üretilen manyetik alan, akım miktarı ile orantılıdır. Elektromanyetik alan ne kadar büyük olursa, motorların tork üretme potansiyelleri de o kadar fazla olur. Torku yükseltmenin yolu bobinlerin her adımda en yüksek akım değerine ulaşmasından geçer.

Bir yükü süren adım motoru dururken aniden bir sonraki yüksek bir konum değerine geçemez. Aynı şekilde yüksek devirde dönerken de aniden durdurulamaz. Bunun anlamı, motorun hızı değiştirilmek istendiğinde bu işlemin kademeli olarak yapılmasının gerekliliğidir. Motorun devir sayısının artırılmasının veya azaltılmasının kademeli olarak yapılması işleme rampalama denilmektedir. Rampalama süresi genellikle saniyenin küçük aralıklarında tamamlanabilir.

Adım motorlarında bir sarım aktif edildiğinde şaft bir adım ilerler. Akım verilmeye devam edilirse motor dönmez, fren uygulanmış gibi kilitlenir. Bu kilitlenme özelliği sayesinde adım motorlarına ayrıca bir frenleme sistemi uygulanmasına gerek kalmaz. Bir adım motorunun frenleme gücünün büyüklüğü, tutma torku olarak adlandırılır.

Adım motorunun davranışı motoru süren güç kaynağına bağlıdır. Güç kaynağından elde edilecek darbeler mikro işlemci veya bilgisayar tarafından kontrol edilirler. Darbeler bilgisayar tarafından sayılır ve saklanırlar. Saat yönündeki darbeler (+) iken ters yöndeki darbeler (-) olarak işlem görürler. Sonuç olarak her zaman için adım sayıları bilinmektedir. Adım aralıkları da tam olarak bilindiğinden devir sayısı da hassas olarak bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü gereken cihazlarda (çizici, teypler, valfler ve yazıcılar, robot sistemleri gibi) tercih edilmektedirler.

Adım motorlarının geniş kullanım alanına sahip olmalarının nedeni çeşitli avantajlara sahip olmalarıdır. Bu avantajlar aşağıdaki gibi sıralanabilir: [12]

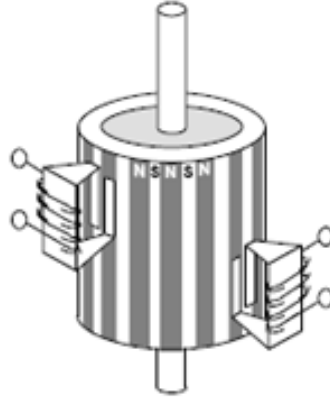
- Geri beslemeye gerek duymazlar. Açık döngülü olarak kontrol edilebilirler.
- Motorun hareketlerinde konum hatası yoktur.
- Sayısal olarak kontrol edilebildiklerinden mikro işlemci, bilgisayar vb. elemanlarla kontrol edilebilirler.
- Mekanik yapısı basit olduğundan bakım gerektirmezler.
- Herhangi bir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

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

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

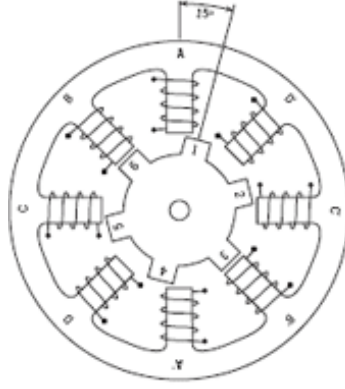
III.1.1.1 Adım Motoru Çeşitleri

Sabit Mıknatıslı Adım Motorları: Bu tip adım motorlarında isminden de anlaşılacağı gibi adım motorunun rotor kısmında sabit mıknatıslar bulunur. N ve S kutupları rotor şaftına paralel düz çizgiler halindedirler. Sabit mıknatıslı adım motorlarının stator bobinlerine uygulanan voltaja ve bobinlerden geçen akımın yönüne bağlı olarak adım motorunun dönüşü sağlanır. Bu mıknatıslanan rotor kutupları manyetik akı yoğunluğunu artırır. Bu durumdan dolayı sabit mıknatıslı step motorlar, değişken relüktanslı adım motorlara göre daha gelişmiş tork karakteristiklerine sahiptirler. Statorun sargularından geçen akım büyüdükçe, elektromanyetik alan ve buna bağlı olarak da tork artar. Manyetik kutup sayısı ve stator dişleri ne kadar az ise adım sayısı o kadar azalır ve buna bağlı olarak da adım açısı artar. [13]



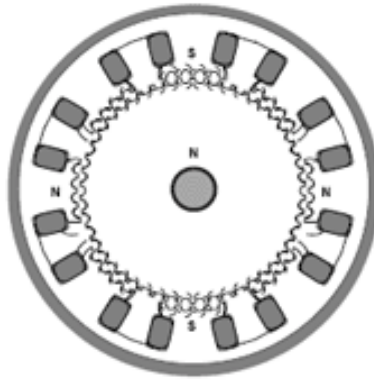
Şekil III.1: Sabit mıknatıslı adım motorunun yapısı [13]

Değişken Relüktanslı Adım Motorları: Adım motorlarının en basit tipi olan değişken relüktanslı adım motorlarında rotor yumuşak demirdendir ve etrafında silindir eksenine paralel dişler vardır. Stator dişlerine DC akım verildiğinde kutuplar mıknatıslanır ve stator dişlerinin rotor dişlerini çekmesiyle adım hareketi gerçekleşir. Değişken relüktanslı adım motorlarının rotorları sabit mıknatıslılara göre daha küçük ve hafiftir. Bu da onları daha hızlı yapar.

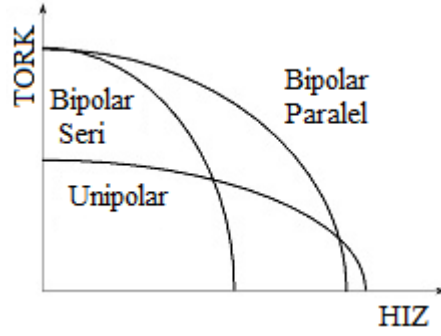


Şekil III.2: Değişken relüktanslı adım motorunun yapısı [13]

Hibrit Adım Motorları: Hibrit adım motorları adım kararlılığı, tork ve hız bakımından daha iyi bir performansa sahip olduklarından sabit mıknatıslı step motorlara göre daha pahalıdırlar. Tipik hibrit adım motorlarının adım açıları $3,6^\circ$ ile $0,9^\circ$ aralığındadır. Hibrit step motorlar, sabit mıknatıslı step motorların ve değişken relüktanslı step motorların en iyi yanlarını bir araya toplar. Rotor değişken relüktanslılarda olduğu gibi çok dişlidir ve shaftı etrafında aksenal olarak magnetize olmuş eşmerkezli bir magnet içerir. Rotor etrafındaki dişler, hava boşluğu içinde manyetik akımın istenilen pozisyona gelebilmesi için daha iyi bir yol sağlar. Böylece hibrit step motorlarda, değişken relüktanslı ve sabit mıknatıslı tiplere göre tutunma ve dinamik tork daha yüksek olur. En sık tercih edilen step motor tipleri hibrit step motorlar ve sabit mıknatıslı step motorlardır. [13]



Şekil III.3: Hibrit adım motorunun yapısı [13]



Şekil III.6: Bağlantı şekillerine göre hız – tork eğrileri

III.1.1.3 Adım Motorlarının Bağlantı Şekilleri

Unipolar adım motorları bipolar şekilde bağlanabilir. Şekil III.7’de çeşitli bağlantı şekilleri görülmektedir.

| 4 Kablolu Bipolar Bağlantı | 6 Kablolu Unipolar Bağlantı | 6 Kablolu Bipolar (Seri) Bağlantı |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| | | |
| 8 Kablolu Unipolar Bağlantı | 8 Kablolu Bipolar (Seri) Bağlantı | 8 Kablolu Bipolar (Paralel) Bağlantı |
| | | |

Şekil III.7: Adım motorları bağlantı şekilleri

III.1.1.4 Adım Motorlarına ait Önemli Parametreler [12]

Çözünürlük: Bir devirdeki adım sayısı veya dönen motorlar için adım açısı, lineer motorlar için ise adım uzunluğu olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tespit edilen bir büyüklüktür. Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli kontrol düzenleri ile değiştirilebilir. Yarım adım çalışmada adım büyüklüğü normal değerinin yarısına indirilir.

Doğruluk: Bir adım motorunun adım konumu, tasarım ve üretim sırasında bir araya getirilen birçok parçanın boyutları ile belirlenir. Bu parçaların boyutlarındaki

toleranslar ve dahili sürtünmeler adımların nominal denge konumlarında da toleranslara neden olurlar. Bu durum adım motorunun doğruluğu olarak isimlendirilir ve belli bir konumdaki maksimum açısal hatanın nominal tek adım değerinin yüzdesi olarak ifade edilmiş halidir. Klasik adım motorlarında bu hata $\% \pm 1$ ile $\% \pm 5$ arasında değişmektedir. Sürtünme momenti veya kuvveti nedeniyle oluşan konum hataları bu doğrulukla ilgisi olmayan, daha az veya çok olabilen rastgele hatalardır. Ancak her iki tip hata toplanarak sistemin toplam hatası elde edilir.

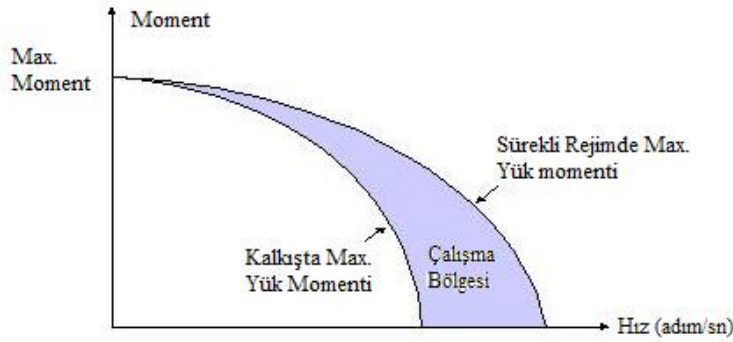
Tutma: Tutma momenti, bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir. Tutma momenti eğrisi, motorun ürettiği tutma momentinin rotor konumuna bağlı olarak değişimini veren eğridir. Eğrinin merkezi motorun bir fazının uyarılmış olduğu durumda rotorun kararlı adım konumuna karşılık düşer. Bu eğri,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

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

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

çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıktığında bu durum değişebilir.

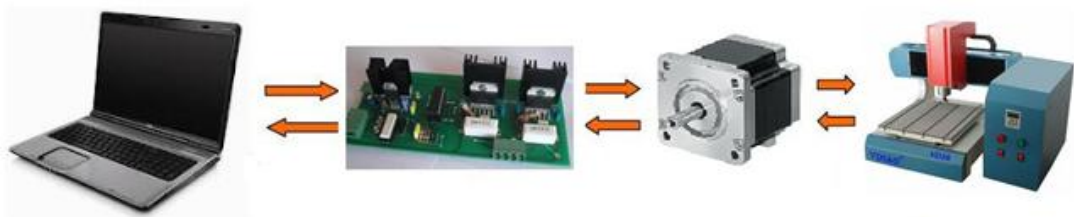
Kalkışta maksimum yük momenti eğrisi: Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyartım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyartım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için, kalkışta maksimum yük momenti eğrileri tanımlanır. Şekil III.8’de sürekli rejimde maksimum yük momenti ve kalkışta maksimum yük momenti eğrileri gösterilmiştir.



Şekil III.8: Sürekli rejimde ve kalkışta max. yük momenti/hız eğrileri [12]

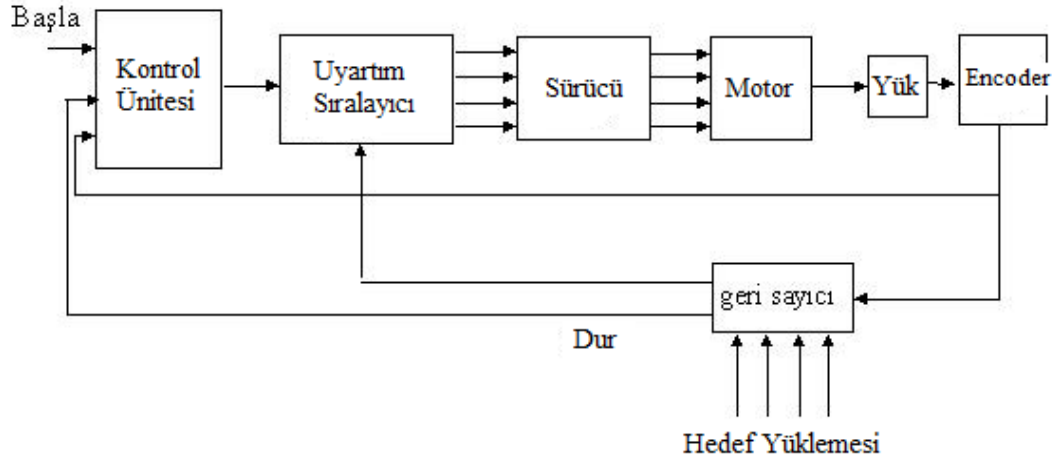
III.1.1.5 Adım Motorlarının Kontrolü

Açık Çevrim Kontrol: Adım motoruna uygun sayısal kontrol sinyalleri bir denetleyici tarafından üretilir ve sürücüler vasıtası ile yükseltilip motor sargılarına gönderilir. Kullanılacak uyartım metodu için tek fazlı, çift fazlı veya microstep gibi adım uyartımlarından herhangi biri seçilebilir. Bu seçim kullanılacak sisteme göre yapılır. Açık çevrim kontrol sisteminde uyartılar motora gönderildikten sonra herhangi bir kontrol ve geri besleme yapılmaz. Bu tip sistemlerde sürücü veya kontrol devrelerinden kaynaklanan herhangi bir hatada adım kaçırma olayı yaşanabilir ve bunun sonucunda hatalı konumlama ortaya çıkabilir.



Şekil III.9: Açık çevrim adım motoru kontrolü

Kapalı Çevrim Kontrol: Kapalı döngü sistemlerde ani rotor konumu sezilerek denetim birimine iletilir. Her adım komutu için bir önceki komutun gerçekleştirildiği adım bilgisi alınarak uygulanır. Bu nedenle motor ile denetleyici arasında herhangi bir adım kaybı olmaz. Kapalı döngü denetime bir örnek Şekil III.10'da gösterilmiştir.



Şekil III.10: Kapalı çevrim adım motoru kontrolü [12]

III.1.1.6 Adım Motorlarının Sürülmesi

Adım motorları sürülürken temelde iki yapıya ihtiyaç duyulur. Birincisi sürüş bilgisinin gönderildiği bilgisayar, mikro işlemci veya PLC gibi bir sistem ve bu sürüş bilgisini motora uygulayabilecek bir sürücü devresi ile adım motorlarının sürüş işlemi gerçekleştirilir.

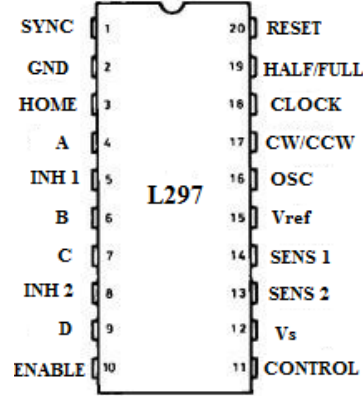
Adım motorlarının sürülmesinde sürücü devreleri önemli bir yer tutar. Sürücü devrelerinin kaç amper akım verebileceği, sahip olduğu microstep değerleri, uzun süreli çalışmalarda ısınma değerleri ve maliyet gibi faktörler göz önüne alınarak sürücü seçimi yapılır.

Adım motoru sürücü devresinin iki önemli görevi vardır:

- Faz sınırlarındaki akım ve akı yönlerini ayarlamak.
- Motor sargılarından geçen akımın yükselme ve alçalma zamanını minimum seviyede tutarak yüksek hızlarda performans sağlamak.

Adım motorunun adım atma işlemini gerçekleştirebilmesi için her fazda bağımsız olarak yön değişiminin gerçekleştirilmesine gereksinim vardır. Bu yön değişimi, unipolar ve bipolar sürücü kullanılarak akım yönünün değiştirilmesi sayesinde yapılır.

L297 Entegresi ile Adım Motoru Sürme: L297 adım motor kontrol entegresidir. Girişine uygulanan step (adım) , dir (yön) ve enable sinyalleri ile çıkışında adım motoru faz sinyallerini üretir. Entegre full step, half step ve wave drive modlarında çalışabilmektedir.

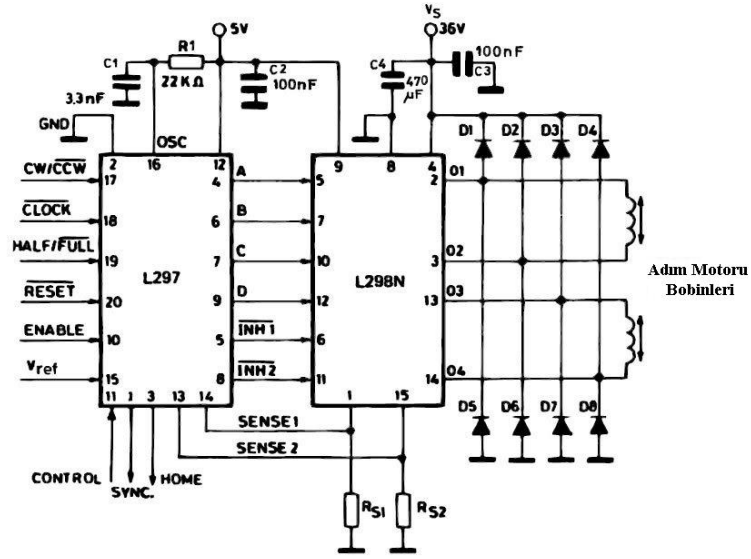


Şekil III.11: L297 entegresi bacak tanımlamaları

- Sync, birden fazla L297 entegresini çalıştırırken entegrelerin senkronize çalışmalarını sağlamak için birbirine bağlanır.
- A, B, C ve D bacakları motora bağlanır.
- HOME bacağı ilk konumu belirtir (1010).
- INH 1 ve INH 2 uçları köprü entegresine bağlanır (L298, L6203 gibi).
- Vs besleme ucudur. 5v'a bağlanır.
- SENS 1 ve SENS 2 uçları akım kontrolü için kullanılır.
- Vref bacağına uygulanan gerilim referans gerilimdir.
- CW/CCW uçlarına uygulanan 1 ve 0 bilgisine göre motor dönüş yönü belirlenir.
- Half/Full bacağına gönderilen 1 ve 0 bilgisine göre tam adım ve yarım adım seçenekleri belirlenmiş olur.

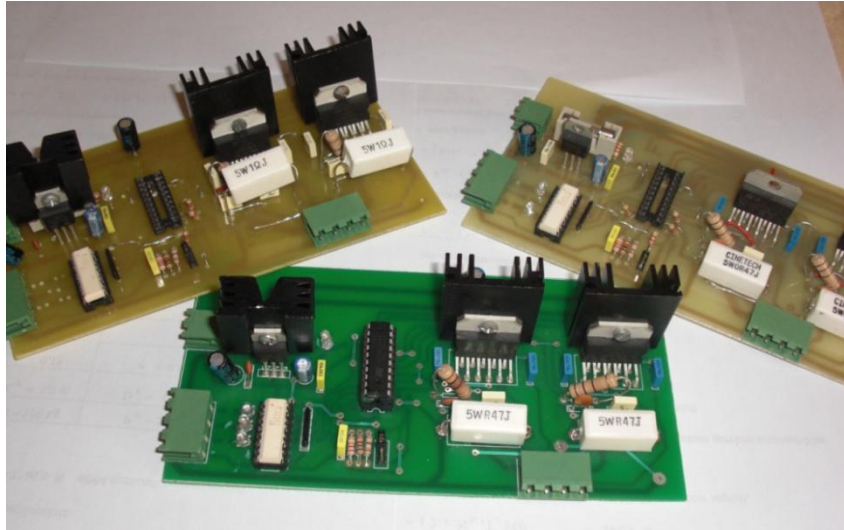
L297 entegresi ile adım motoru sürmek için L298 ve L6203 gibi yardımcı entegrelere ihtiyaç vardır.

L298 H-bridge sürücü entegresidir. İçerisinde 2 adet köprü bulunur. Bipolar adım motorlarının sürülmesi için üretilmiştir. En yüksek 2A çıkış verebilir. Girişine uygulanan faz sinyallerini çıkışa yükseltip vermektedir.

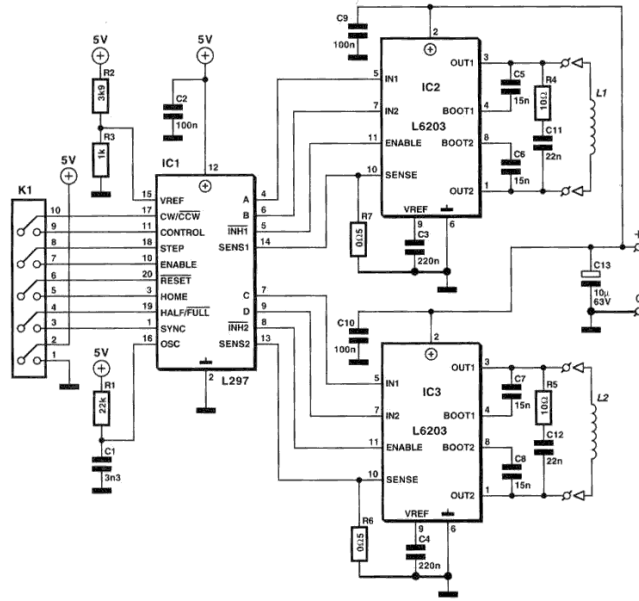


Şekil III.12: L297 ve L298 ile adım motor sürücü şeması

L6203 de H-bridge sürücü entegresidir. İçerisinde 1 adet köprü bulunur. Bu yüzden bir motor sürmek için 2 adet kullanmak gerekmektedir. L298'e göre daha az ısınma ve daha yüksek akım verebilme özellikleri sayesinde ön plana çıkmaktadır. Yaklaşık 5 ampere kadar çıkış akımı sağlayabilmektedir.



Şekil III.13: L297 + L6203 birleşiminden oluşan devreler



Şekil III.14: L297 ve L6203 ile adım motoru sürücü şeması

Bir diğer sürücü uygulaması şekli ise Toshiba TB6560 sürücüsü ile yapılan devrelerdir. Bu sürücü de max. 3,5 ampere kadar çıkış verebilmektedir ve performans açısından daha verimlidir.

III.1.2 Kullanılan Sürücü Sistemleri

Şekil III.13'te görülen 297 ve L6203 kombinasyonundan oluşan sürücü kartları tasarlanmış, motorlar ve sistem üzerinde yapılan denemeler sonucunda ısınma ve adım atlama sorunlarının olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle sürücülerin sistemimize uygun olmadığına karar verilmiş ve Toshiba TB6560 AHQ çiplerine sahip 3 adet motor sürebilen sürücü devresi kullanılmıştır. Devre Şekil III.15'te görülmektedir.



Şekil III.15: Toshiba TB6560 AHQ devresi

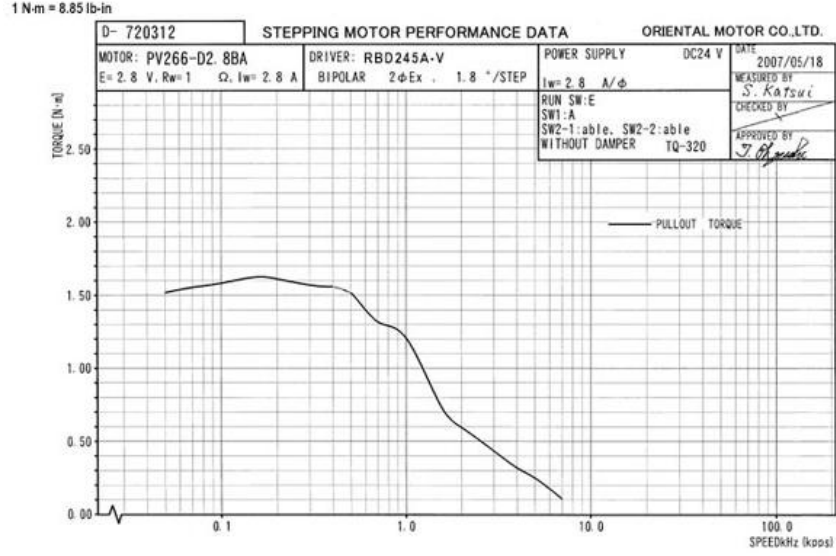
III.1.3 Kullanılan Adım Motorları

Sistemde X, Y ve Z eksenleri için birer adet Vexta marka adım motoru kullanılmıştır. Motorların özellikleri Tablo III.1’de gösterilmiştir.



Şekil III.16: Vexta V266 Adım Motoru

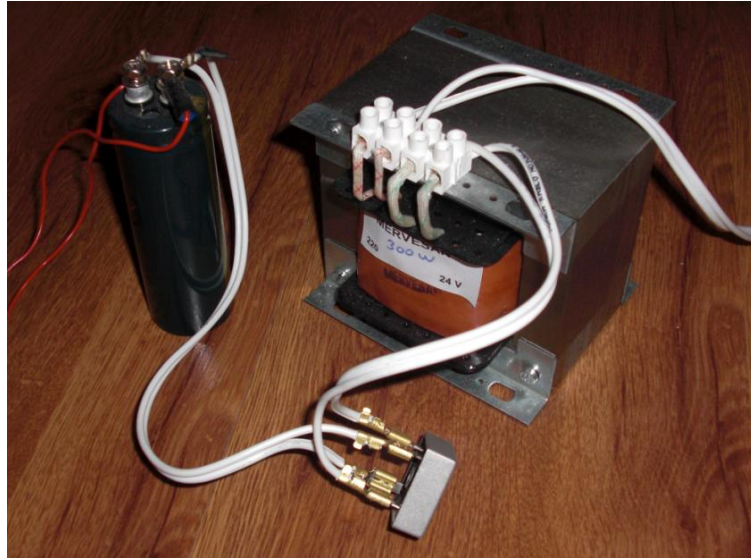
| Tablo III.1: Kullanılan adım motorlarının özellikleri | |
|-------------------------------------------------------|------------------------|
| Marka | Vexta |
| Çerçeve Boyutu | 60 mm |
| Tutma Torku | 1,75 N*m |
| Şaft Tipi | Tek Şaft |
| Adım Açısı | 1,8° |
| Bağlantı Tipi | Bipolar |
| Akım (amper/faz) | 2,8 |
| Gerilim | 2.8 V |
| Direnç (ohm/faz) | 1 |
| Rotor Ataleti | $450 * 10^{-7} kg m^2$ |
| Sıcaklık Aralığı | -10 ~ 50 °C |



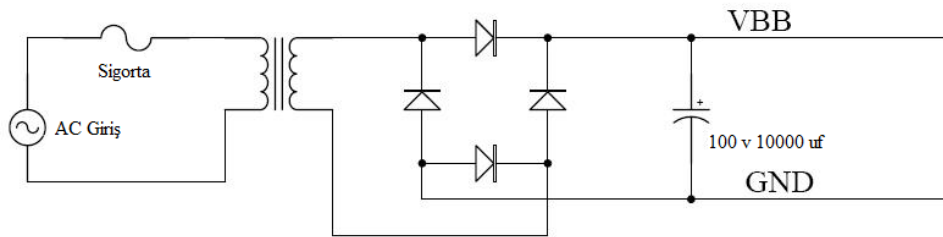
Şekil III.17: Motorun hız-tork karakteristiği

III.1.4 Güç Kaynağı

Motorların besleme kaynağı olarak tam dalga doğrultmaç devresi hazırlanmıştır. Devrenin girişinde 300 W 24 Volt'luk transformatör kullanılmıştır. Transformatör çıkışına 1000 V 50 amper köprü diyot ile doğrultma yapılmıştır. Çıkışa paralel olarak 100 V 10000 uf kondansatör bağlanmıştır.



Şekil III.18: Güç kaynağı



Şekil III.19: Güç kaynağı devre şeması

III.1.5 Kontrol Kutusu

Sistemin elektronik kısımlarını bünyesinde barındıran ve kullanıcının kontrol ve ayar işlemlerini yaptığı kontrol kutusu Şekil III.20’de görülmektedir. Kutunun içerisinde güç kaynağı, sürücü ve diğer elektronik donanımlar bulunmaktadır. Şekil III.21’de de kontrol paneli görülmektedir. Burada, açma – kapama şalteri, güç göstergesi, eksen hareket göstergeleri, X-Y-Z Manuel hareket butonları, spindle şalteri ve acil stop butonu bulunmaktadır.



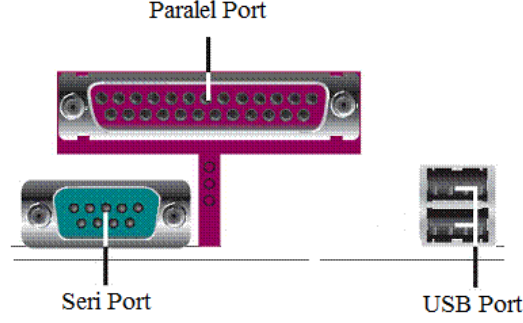
Şekil III.20: Kontrol kutusu



Şekil III.21: Kontrol kutusu ön ve arka görünümü

III.1.6 Haberleşme

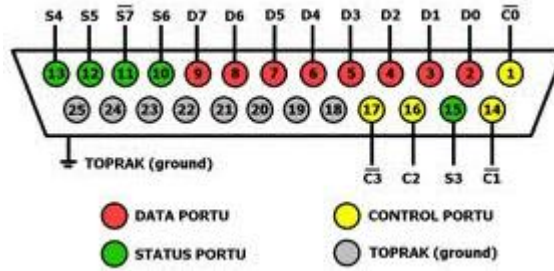
Motor sürücülerine gerekli sinyalleri göndermek için bir denetleyici sistem kullanılır. Bu denetleyici sistemler mikroişlemci ve bilgisayar gibi aygıtlar olabilir. Bilgisayar ile kontrol kartı arasındaki iletişimi sağlamak için çeşitli ara yüzler kullanılmaktadır. En çok kullanılan ara yüzler paralel port, seri port ve usb porttur.



Şekil III.22: Bilgisayarlarda bulunan portlar

Seri Port: COM Port da denilen 25 veya 9 pinlik konektörlerdir. Veriler porttan seri bir biçimde yani tek tek sıra ile gönderilmektedir. Bu nedenle daha güvenilir bir veri iletimi sağlar ama paralel porta göre daha yavaştır.

Paralel Port: LPT de denilen 25 pinlik konektördür. Bir seferde 8 bitlik veri gönderebilmektedir. LPT1, LPT2 gibi isimlendirilir.



Şekil III.23: Paralel port uçları

Tezimizde kullanılan sürücü paralel port arayüzü ile bilgisayara bağlanmaktadır. Üretici firmaya bağlı olarak her pinin bir işlevi vardır. Örneğin, Y ekseninde adım sinyalinin alındığı pin, 1. porta bağlı 8. pindir. Bu değerleri kullanacağımız programa tanıtarak sinyallerin doğru pinlere gönderilmesi sağlanmaktadır. Tablo III.2'de sürücümüzün paralel port pin numaraları listelenmiştir.

| Tablo III.2: Paralel port pin numaraları | | |
|-------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| Pin Adı | Pin No. | Port No. |
| X aktif | 14 | 1 |
| X yön | 7 | 1 |
| X adım | 1 | 1 |
| Y aktif | 2 | 1 |
| Y yön | 3 | 1 |
| Y adım | 8 | 1 |
| Z aktif | 6 | 1 |
| Z yön | 4 | 1 |
| Z adım | 5 | 1 |
| İşlevci | 9 | 1 |
| X limit | 10 | 1 |
| Y limit | 11 | 1 |
| Z limit | 12 | 1 |

USB Port: Tak ve çalıştır özelliği olan bir arabirimdir. Saniyede 12Mbit’lik bir transfer hızı sağlayabilir. Son zamanlarda USB uyumlu kontrol kartlarının geliştirilmesi ile birlikte kullanımları oldukça artmıştır.

III.1.7 USB Nedir ?

USB, İngilizcede “Universal Serial Bus” ifadesinin kısaltılmasıdır. Türkçesi “Evrensel Seri Veriyolu”dur. Bilgisayarlar ile çevre aygıtlar arasında bağlantı kurmaya yarayan seri yapıları bir bağlantı biçimidir. Günümüz teknolojisinde 3 çeşit USB sürümü vardır. Her sürümde bant genişliği ve buna bağlı olarak da veri aktarım hızı farklıdır. Tablo III.3’de USB sürümleri ve hız değerleri gösterilmiştir.

| Tablo III.3: USB sürümleri ve hızları | |
|----------------------------------------------|--------------|
| Versiyon | Hız |
| USB 1.0 ve 1.1 | 1.5 MByte/sn |
| USB 2.0 | 60 MByte/sn |
| USB 3.0 | 600 MByte/sn |

Standart bir USB 2.0 veriyolu 5 volt 300 ma çıkış verebilir. USB 3.0 veriyolu ise 900 ma çıkış değerine sahiptir. Tak çalıştır özelliğinden dolayı günümüzde artık birçok cihazda kullanılmaktadır.

III.1.7.1 USB'nin Avantajları

USB arayüzünün günümüz teknolojisinde geniş kullanım alanına sahip olması, çeşitli avantajları vesilesiyledir. Diğer arayüzlerle karşılaştırıldığında birçok konuda avantajlıdır. Kullanım kolaylığı, hızlı ve güvenilir veri aktarımı imkanı sunması, düşük maliyeti ve enerji tasarruflu olması nedeniyle diğer arayüzlerden daha fazla kullanılmaktadır.

Kullanım kolaylığı: Kullanım kolaylığı, USB arayüzünün en önemli özelliğidir. Birçok cihaz için kullanılabilir. Tak ve kullan özelliği sayesinde kullanıcı sürücü yükleme işlemlerinden kurtulmuş olmaktadır. Günümüz bilgisayarlarında artık USB girişi standart haldedir. Bu girişlerin yetmediği durumlarda da kolaylıkla çoğaltılabilmektedir. Çoğu kullanımda harici bir güç kaynağına gereksinim yoktur. Bu gibi faydaları ile USB arayüzü kullanıcılarına çok geniş kullanım kolaylığı sağlamaktadır.

Hız: Tablo III.4'te de görüldüğü gibi USB arayüzü diğer arayüzlerden oldukça hızlıdır. Özellikle USB 3.0'da 600 MByte/sn hız değeri günümüz şartlarında çoğu kullanımda yeterli olmaktadır.

Güvenilirlik: Hata oluşma olasılığı oldukça düşüktür. Böyle bir durumda otomatik olarak düzeltme işlemi yapılmaktadır.

Ekonomiklik: USB arayüzü daha önceki arayüzlerden daha kompleks olmasına rağmen, elemanlar ve kablolar ucuzdur.

Düşük Enerji Sarfıyatı: Yazılımsal ve donanımsal ayarlar sayesinde cihazın kullanımda olmadığı zamanlarda otomatik olarak düşük enerji moduna geçiş yapılabilir. Bu sayede gerçekleştirilen enerji tasarrufu ile daha ekonomik, çevreye duyarlı cihazlar tasarlanıp üretilebilmektedir. Aynı zamanda günümüz teknolojisinde cihazların giderek küçülmesinin doğurduğu batarya ömrü konusunda da önemli bir çözümdür. [14]

Tablo III.4: Popüler bilgisayar arayüzlerinin karşılaştırılması

| Arayüz | Format | Max. Cihaz Sayısı | Mesafe (yaklaşık olarak) | Max. Hız (bit/sn) | Kullanım Alanı |
|------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------------|--------------------|--------------------------------------|
| USB | Asenkron seri | 127 | 5m. (Dağıtıcılar ile 30 m.ye kadar) | 1,5M, 12M, 480M | Fare, klavye, yazıcı, diğer cihazlar |
| Ethernet | Seri | 1024 | 500 m. | 10G | Genel ağ iletişimi |
| IrDA | Asenkron seri kızılötesi | 2 | 2 m. | 16M | Yazıcılar, Cep bilgisayarları |
| I ² C | Senkron seri | 40 | 5,5 m. | 3.4M | Mikroişlemci haberleşmesi |
| Microwire | Senkron seri | 8 | 3 m. | 2M | Mikroişlemci haberleşmesi |
| Paralel Port | Paralel | 2 | 3 – 9 m. | 8M | Yazıcı, tarayıcı, disk sürücüler |
| RS - 232 | Asenkron seri | 2 | 15 – 30 m. | 20k | Modem, fare, |
| SPI | Senkron seri | 8 | 3 m. | 2.1M | Mikroişlemci haberleşmesi |

III.1.7.2 USB Yapılandırma İşlemi

USB, seçimli bir veri yoludur. Bütün veri aktarımları, sunucu kontrol aygıtı (USB Host Controller) tarafından başlatılır. Çoklayıcılar, kendilerine bağlı bağlantıları kontrol eden durum sinyallerine sahiptirler. Sunucu, bir aygıtın takılıp çıkartılmasını anlamak için, düzenli aralıklarla bütün çoklayıcıları sorgular. Bir aygıt takıldığında, çoklayıcı, bağlantı noktasını açması için sunucudan emir alır, bir birim yükünü (100 ma) hazır hale getirir ve ilgili bağlantı noktasına bağlanan aygıtı yeniden başlatır. Bu anda, aygıt standart adrese cevap verir. Sunucu bu aygıtta özel bir adres atar, aygıttan yapılandırma bilgisini okuyarak işleme sokar ve son olarak aygıt durumunu " yapılandırıldı (configured) " yaparak aygıtı kullanıma hazır hale getirir. [15]

USB aygıt durumları aşağıdaki listede belirtildiği gibidir:

1. **Tutturuldu (Attached):** Aygıt, sisteme takılmıştır.
2. **Güç verildi (Powered):** VBUS, belirtilen bağlantı noktasına uygulanmaktadır.
3. **Varsayılan (Default):** Aygıt güçlendirilmiştir ve standart adrese (sıfır) cevap vermektedir.

4. **Adres (Address):** Sunucu tarafından aygıtta özel bir adres atanmıştır.
5. **Yapılandırıldı (Configured):** Aygıt kullanıma hazırdır.
6. **Beklemeye alındı (Suspended):** Aygıt uyku durumundadır.

III.1.7.3 USB Aktarım Tipleri

USB, dört aktarım tipini destekler. Bunlar;

1. **Kontrol aktarımı (Control Transfer):** Eş zamanlı olmayan ve sunucu tarafından başlatılan aktarım tipidir. Genellikle aygıt yapılandırma sırasında kullanılır.

2. **Yüklü aktarım (Bulk Transfer):** Büyük verili ve eş zamanlı olmayan aktarım tipidir. Genellikle bir yüklü aktarım, mümkün olan azami bant genişliği ister. Diğer taraftan, veri yolu küçük bir bant genişliğine sahipse, uzun süreye yayılarak işlemi tamamlar.



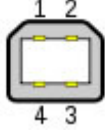

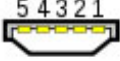

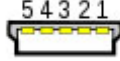
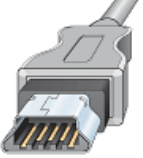
3. **Eşzamanlı Aktarım (Isochronous Transfer):** Sunucu ile aygıt arasında periyodik, sürekli iletişim sağlayan aktarım tipidir. Tipik olarak zamanla ilgili bilgide kullanılır.

4. **Kesme aktarımı (Interrupt Transfer):** Küçük verili, düşük frekanslı ve gizli aktarım tipidir. USB seçimli bir veri yolu olduğundan kesme, aygıtı periyodik olarak seçerek benzetim yapılır.

USB aktarımları görüntü tabanlıdır, bir görüntü aralığı 1ms olacak şekilde tanımlanmıştır. Kesme aktarımı ve eşzamanlı aktarım, periyodik olarak düşünülebilir. Görüntünün azami %90'lık kısmı bu iki periyodik aktarıma ayrılabilir. Kontrol aktarımı, geri kalan %10'luk kısmı kullanmak için birincilik haklarını saklı tutar. Yüklü aktarım ise mevcut bant genişliğinin geri kalanına yerleştirilir. [15]

III.1.7.4 USB Konektör Tipleri

USB veri iletişimde çeşitli konektör standartları geliştirilmiştir. Cihazlarda bu standartlara uygun dişi veya erkek konektör tipleri kullanılır. Her konektörün kendine özgü şekli vardır. Ayrıca ters bağlantıyı önlemek için standart şekillerde üretilmişlerdir. Dolayısıyla bir USB soketi cihaza ters bağlamamız imkansızdır. Tablo III.5'de kullanılmakta olan USB konektör tipleri gösterilmiştir.

| Tip | Port | Konektör |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| A tipi |  |  |
| B Tipi |  |  |
| Mini A Tipi |  |  |
| Mini B Tipi |  |  |

USB konektörlerinde veri iletişimi için 4 adet pin bulunmaktadır. 2 pin cihazı çalıştıracak güç için, diğer 2 pin de veri iletişimini sağlamak için kullanılmaktadır. Bu pinler ve açıklamaları Tablo III.6'da gösterilmiştir.

| A veya B Serisi Pin | Mini B Pin | Açıklama | Kablo Rengi |
|---------------------|------------|-------------|-------------|
| 1 | 1 | VBUS (+5 V) | Kırmızı |
| 2 | 2 | D- | Beyaz |
| 3 | 3 | D+ | Yeşil |
| 4 | 5 | GND | Siyah |
| - | 4 | ID | Bağlantısız |

USB kabloları da, tam hızlı kablolar ve düşük hızlı kablolar olmak üzere ikiye ayrılır. Tam hızlı kablo, sarmal sinyal çifti ve dört kabloyu sarmak için çevresel koruyucu gerektirir. Tam hızlı USB kablosu için gerekli marka bilgisi, "USB SHIELDED" ibaresini bulundurmalıdır. Düşük hızlı kablo ise koruma, kıvrımlı sinyal çifti iletkenleri ve özel marka bilgisi gerektirmez.

Azami USB kablo uzunluğu, USB özelliklerinde açık olarak belirtilmemiştir. Onun yerine, azami kablo uzunluğu, bazı elektriksel sinyallere ve güç dağıtım gereksinimlerine göre sınırlandırılmıştır. İletken malzemenin karakteristiği, kablonun azami uzunluğunu belirlemede en önemli parametrelerden birisidir. Endüstride, üç metrelik düşük hızlı kablolar ve beş metrelik tam hızlı kablolar önerilmektedir. [15]

III.1.8 PIC18F4550 Donanım Mimarisi

Günümüz sanayi ve üretim teknolojisinde teknoloji artık olmazsa olmaz duruma gelmiştir ve bu çerçevede inanılmaz bir hızla gelişmeler ve ilerlemeler yaşanmaktadır. Özellikle elektronik ve otomasyon alanındaki gelişmeler, diğer alanlardaki gelişmelerin lokomotifi durumuna gelmiş ve sürükleyici bir hal almıştır. Kullandığımız hangi makine veya cihaz varsa, artık akıllı hale gelmiştir ve elektronik alanı ile iç içe girmiştir. Otomobiller, televizyonlar, cep telefonları, yazıcılar, beyaz eşyalar gibi birçok elektronik cihaz içerisinde mikrodenetleyiciler yer almaktadır. Mikrodenetleyiciler yaptıkları işlev bakımından çok gelişmiş olmaları, az yer kaplamaları, maliyetlerinin çok düşük olması gibi üstünlüklerinden dolayı çok popüler bir hale gelmiştir. Günümüzde üretilen cihazların içerisinde en az bir tane mikrodenetleyici bulunmaktadır. [16]

Mikrodenetleyiciler tek başına bir bilgisayarda bulunması gereken giriş/çıkış üniteleri, CPU (Central Processing Unit), RAM (Random Access Memory) gibi tüm yapıların hepsini barındıran bütünleşmiş devrelerdir. Mikrodenetleyiciler ile bilgisayarların temel yapıları oldukça benzerdir. [16]

- Mikrodenetleyicilerin, bilgisayarlarda olduğu gibi bir Merkezi İşlem Birimi (CPU) vardır.
- Bilgisayarlarda programları saklamak için sabit diske ihtiyaç vardır. Mikrodenetleyicilerde ise sabit disk işlevini yerine getiren bölüm flash bellek ve EEPROM bellektir.
- Bilgisayarların değişkenleri saklamak için RAM'e ihtiyacı vardır. Mikrodenetleyicilerde de aynı amaçla kullanılan RAM bulunmaktadır.
- Bilgisayarların çevredeki cihazlarla bağlantısını sağlayan veya kullanıcıların bilgisayara veri girmesini ve verileri okumasını sağlayan giriş çıkış kapıları vardır. Mikrodenetleyicilerde bu yapı, bilgisayara kıyasla çok basite indirgenmiş olmasına rağmen temelde aynıdır. [16]

III.1.8.1 Microchip Mikrodenetleyici Ailesi

Microchip Technology Inc. Mikrodenetleyiciler ve analog yarı iletkenler konusunda öncü firmalardan biridir. Yönetimi ABD’de bulunan Microchip Technology Inc. özellikle PIC serisi mikrodenetleyiciler ile tanınır.

Microchip, PIC mikrodenetleyicilerini beş sınıfa ayırmıştır. Bu sınıflandırmayı yaparken mikrodenetleyici komut setlerini, bellek yapılarını (Flash/OTP), pin sayılarını göz önünde bulundurmuşlardır.

- **PIC12CXXX/12FXXX Ailesi**

Bu aile RISC mimarisine sahip 8 pinli DIP veya yüzey montajı paketlerinde imal edilen mikrodenetleyicilerden oluşmaktadır. 12 ve 14 bit uzunlukta komut setine sahip değişik entegreler mevcuttur. 2.5 V’luk gerilimde çalışabilme özellikleri, kesme özellikleri, A/D çevirici özellikleri, flash, ROM veya OTP özellikleri, EEPROM veri belleği özelliklere sahiptir.

- **PIC16C5X Ailesi**

12 bitlik komut setine sahiptir. En büyük özellikleri ucuz olmaları ve 2 V kadar düşük gerilimlerde çalışabilmeleridir. Ayrıca bu ailenin 16HVCXX mikrodenetleyicileri direkt 15 V (araba aküsü gerilimi) ile de çalışabilmektedir. [16]

- **PIC16CXXX/16FXXX Ailesi**

Seri haberleşme, A/D çevrim, PWM, analog karşılaştırıcı, zamanlayıcılar, 8 kesmeye imkan vermesi gibi birçok özelliklere sahip olmaları en önemli özellikleridir. 18 ayaktan 68 ayaklıya kadar birçok değişik kılıfta ve farklı özelliklerde mikrodenetleyici bu gruba dahildir.

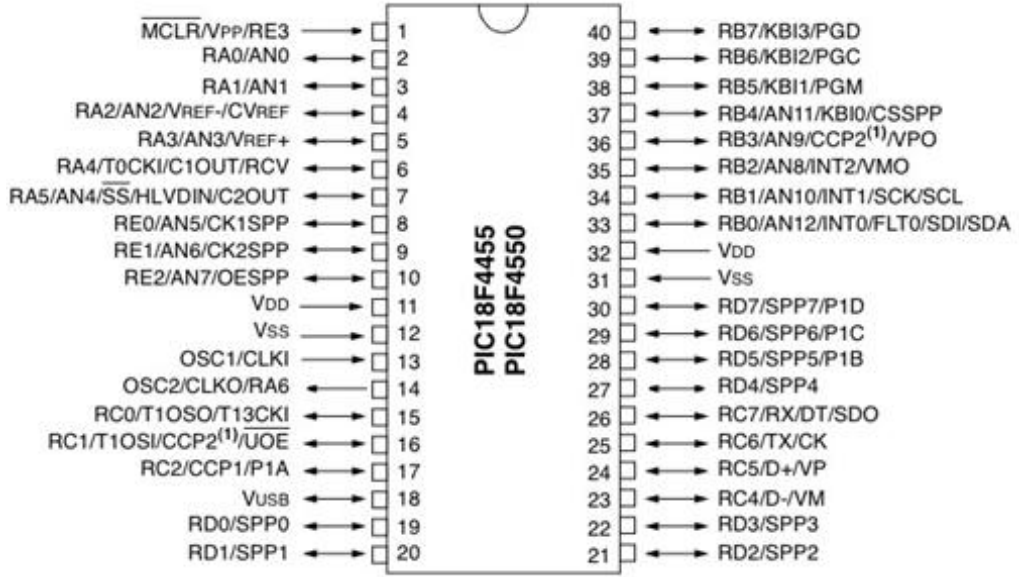
- **PIC17CXXX Ailesi**

Microchip’in ilk 16 bit komut setine sahip 8 bitlik mikrodenetleyicisidir. Bu mikrodenetleyici sadece OTP ve ROM bellekli olarak üretilmiştir.

- **PIC18FXXX Ailesi**

16 bitlik komut seti, yüksek çalışma hızı, A/D çevrim, PWM, zamanlayıcılar, 32 kesmeye imkan vermesi, CAN arabirimi, RS232 arabirimi, USB arabirimi, seri ve paralel haberleşme protokolleri gibi özelliklere sahiptir. Bu çevresel arabirimler dışarıdan bağlanacak olan donanım miktarını minimum seviyeye çeker. 64K’ya kadar uzanan büyük program belleğiyle ve 1Kbyte’lık RAM belleği bulunmaktadır. Tezimizde bu aileye mensup 18F4550 mikrodenetleyici kullanılmaktadır.

III.1.8.2 Genel Özellikleriyle PIC18F4550



Şekil III.24: PIC18F4550 pin görünüş şeması

• PIC18F4550 32 giriş/çıkışa sahiptir. Geri kalan ayaklar besleme gerilimi, osilatör, reset (MCLR) gibi donanımlara ayrılmıştır. Birçok değişik hızda çalışan tipleri vardır. Bu tipler arasında en yüksek hızlı olanı 20 Mhz kristal ile çalışabilmektedir. Bu da bir program çevriminin en az 200 ns olmasına olanak sağlamaktadır. Bunun dışında 4 Mhz, 8 Mhz gibi seçenekler de mevcuttur.

• 32k x 8 bit flash program belleğine sahiptir. Flash belleğe 100.000 kez üst üste yazma silme işlemi yapılabilmektedir. 2048 adet değişken tanımlanabilmektedir. 2048 x 8 bit EEPROM veri belleği vardır. Bu bellek, RAM belleğinden farklı olarak elektrik olmadan da verileri saklayabilir. EEPROM belleğine 1.000.000 defa yazma silme işlemi yapılabilmektedir. EEPROM'da saklanan veriler en az 40 yıl silinmeden bellekte kalır.

• PIC18F4550'de 4 adet zamanlayıcı-sayıcı (timer) vardır. Bu zamanlayıcılardan TMR0 8 bit sayıcıdır. TMR1 uyuma (sleep) modunda bile dışarıdan bağlanan bir kristalle arttırabilecek 16 bitlik bir sayaçtır. TMR2 mikrodenetleyicideki CCPM modülü için zamanlayıcı olarak kullanılmaktadır.

• İki adet Capture, Compare, PWM (CCPM) modülü ile 6,25 ns hassasiyetinde yakalama, 100 ns hassasiyetinde karşılaştırma, 10 bitlik çözünürlükte PWM sinyali uygulama özelliklerine sahiptir. Bünyesinde bir adet Enhanced Capture/ Compare/ PWM (ECCP) modülü bulunmaktadır. Aynı zamanda otomatik kapanma ve otomatik restart özelliklerine de sahiptir.

- Senkron Seri İletişim (MSSP) portu ile SPI (master) ve I²C (master/ slave) protokollerinde seri iletişim özelliği vardır.

- İki adet karşılaştırıcıya sahiptir. Karşılaştırıcının referans gerilim değerleri, çıkış ve giriş portları yönlendirilebilir yapıdadır.

- 31 katlı bir yığın yapısına sahiptir. Bu iç içe 31 alt program çağırabilmeniz anlamına gelir. Buna kesmeler de dahildir.

- ICSP (In Circuit Serial Programming) özelliği sayesinde sadece iki pini kullanarak uygulama devresi üzerinde programlanabilir.

- ICD (In Circuit Debugger) özelliği, devre üzerindeyken hata ayıklama işlemine olanak tanımaktadır.

- Code Protection özelliği sayesinde programın tamamı veya bir kısmı okunmaya karşı korunma altına alınabilir.

- Sleep modunda çalıştırıldığında az enerji tüketir.

III.1.8.3 PIC18F4550 USB Özellikleri

- USB 2.0 versiyonu ile donanımsal olarak tam uyumludur.

- Düşük (1,5 Mb/sn) ve yüksek hız (12 Mb/sn) özelliklerine uygundur.

- Kontrol, kesme (interrupt), eşzamanlı ve yığın tipi veri transferlerini destekler.

- 32 adet çift yönlü (16 giriş - çıkış) desteğine sahiptir.

- USB modülü için çift erişimli 1 KB'lık RAM belleğe sahiptir.

- Çip üzerinde (on - chip) USB alıcı - verici ve voltaj regülatörüne sahiptir.

- Çevresel aygıtlarla USB iletişim için USB arabirimine sahiptir.

- USB iletişim için donanımsal paralel porta (SPP) sahiptir. Yani USB portundan aldığı veriyi otomatik olarak SPP portuna (SPP<7:0>) aktarma özelliğine sahiptir.

| Tablo III.7: Özellik tablosu | |
|-------------------------------------|-------------------|
| ÖZELLİKLER | PIC18F4550 |
| Çalışma Frekansları | DC – 48 Mhz |
| Program Belleği (Byte) | 32768 |
| Veri Hafızası (Byte) | 2048 |
| EEPROM Hafızası (Byte) | 256 |

| | |
|------------------------------------------|------------------------------------------|
| Kesme Kaynakları | 20 |
| Giriş/Çıkış Portları | Port A, B, C, D, E |
| Zamanlayıcılar | 4 |
| Capture/ Compare/ PWM Modülleri | 1 |
| Gelişmiş Capture/ Compare/ PWM Modülleri | 1 |
| Seri İletişim | MSSP, Gelişmiş USART |
| USB Modülü | 1 |
| 10 bit A/D Modülü | 13 Giriş Kanalı |
| Karşılaştırıcılar | 2 |
| Komut Seti | 75 komut |
| Paketler | 40 pin PDIP 44 pin QFN 44 pin TQFP |

III.1.8.4 Osilatör Tipleri ve Ayarları

Tezimizde motor kontrolü yapıldığı için zamanlama ve bekletme değerleri son derece önemlidir. Hassas kontrol ve uygun hız değerlerine erişim için, rampalama ve adım zamanlamaları hesaplarının kusursuz uygulanması gerekmektedir. Bu nedenle mikroşlemcinin osilatör ayarları detaylı bir şekilde incelenmeli ve hassas olarak yapılmalıdır.

| Tablo III.8: PIC18F4550 osilatör seçenekleri | |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Osilatör Tipi | Açıklama |
| XT | Kristal |
| XTPLL | Kristal (PLL ile) |
| HS | Yüksek Hızlı Kristal |
| HSPLL | Yüksek Hızlı Kristal (PLL ile) |
| EC | Harici Saat FOSC / 4 çıkışı ile |
| ECIO | Harici Saat RA6 üzerindeki I/O ile |
| ECPLL | Harici Saat (PLL seçili) |
| ECPIO | Harici Saat (PLL seçili) I/O ile |
| INTHS | Dahili Osilatör (mikrodenetleyici saat kaynağı) (HS Osilatör) |

| | |
|--------|---------------------------------------------------------------|
| INTXT | Dahili Osilatör (mikrodenetleyici saat kaynağı) (XT Osilatör) |
| INTIO | Dahili Osilatör (mikrodenetleyici saat kaynağı) (EC Osilatör) |
| INTCKO | Dahili Osilatör (mikrodenetleyici saat kaynağı) (EC Osilatör) |

PIC18F4550 mikrodenetleyicisi 12 farklı osilatör seçeneği sunmaktadır. Kullanım amacına göre bu seçenekler arasından en uygunu seçilmelidir. Sözü geçen osilatörler; kristal veya rezonatör ile gerçekleştirilebilen 4 farklı kristal modu, 4 harici saat modu, 8 MHz frekansa sahip dahili osilatör modu, 31 kHz frekansa sahip dahili (INTRC) osilatör modu, 125 kHz ile 4MHz frekans aralığında seçilebilecek 6 farklı osilatör seçeneği ile PLL frekans çoğullayıcı sayesinde 4 MHz ile 48 MHz frekans aralığında çalışabilen osilatör seçenekleri bulunmaktadır.

Ayrıca PIC18F4550 içerisinde bir PLL devresi bulunmaktadır. Bu PLL devresi USB veri iletişimi esnasında ve ayrıca mikrodenetleyici için bir saat kaynağı olarak kullanılabilir. HSPLL, XTPLL, ECPLL, ve ECPIO osilatör tiplerinde aktif olmaktadır. 4 MHz'lik sabit harici frekans girişinden, 96 MHz'lik referans saat frekansı üretmektedir. Bu frekans hem USB donanımı, hem de mikrodenetleyici tarafından bölünerek kullanılmaktadır. [15]

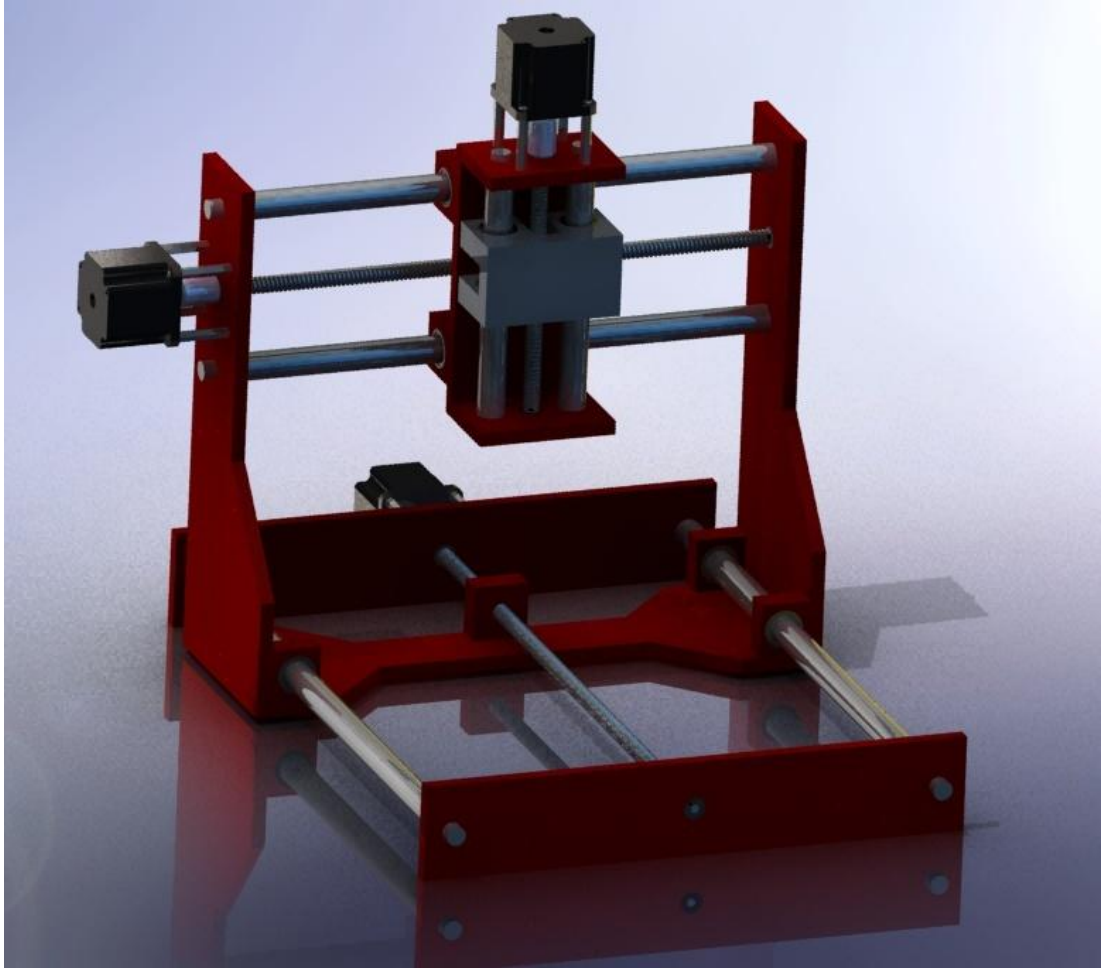
PIC18F4550 mikrodenetleyicisinin çalışabilmesi için harici olarak bağlanabilecek kristal osilatör çeşitleri Tablo III.9'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi 4, 8 ve 20 MHz'lik kristaller kullanılabilir. Ayrıca bu kristaller ile kullanılacak kondansatör değerleri de gösterilmiştir.

| Tablo III.9: PIC18F4550 kristal çeşitleri ve kondansatör değerleri | | |
|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Osilatör Tipi | Kristal Frekansı | Kondansatör Sıgaları (C1/C2) |
| XT | 4 MHz | 27 pF |
| HS | 4 MHz | 27 pF |
| | 8 MHz | 22 pF |
| | 20 MHz | 15 pF |

III.2. MEKANİK TASARIM

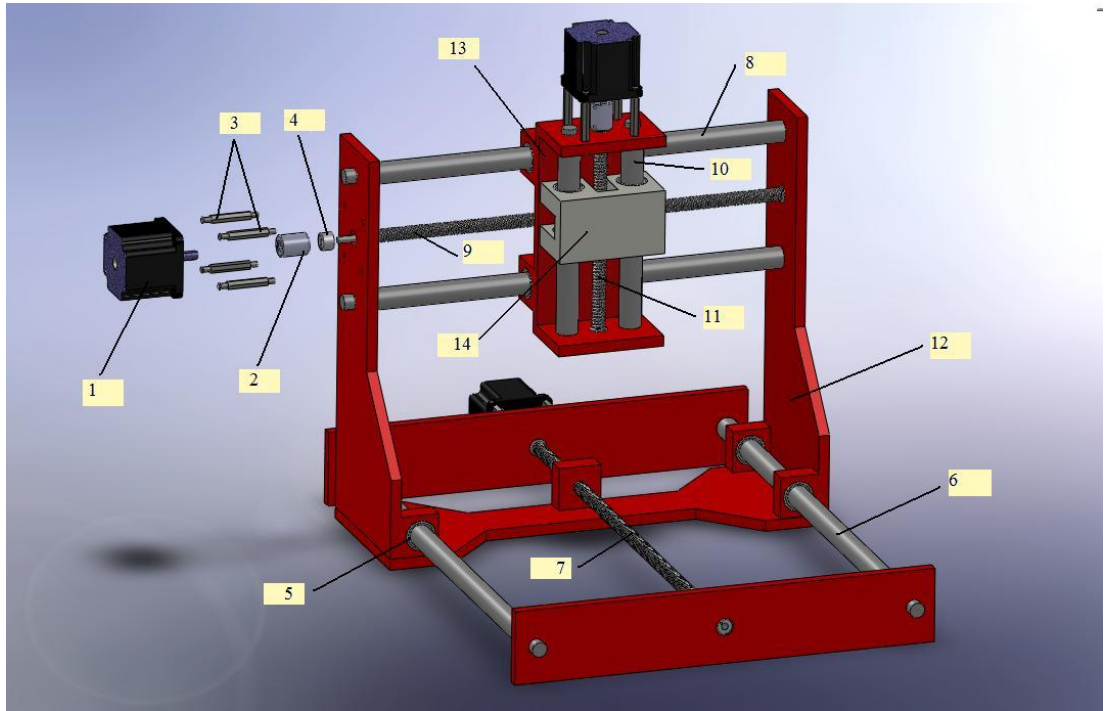
Sistemimiz 3 adet doğrusal eksene sahiptir. Bu eksenlerde hareket iletimi vidalı miller yardımıyla sağlanmaktadır. Motorlarda üretilen dairesel hareket, vidalı miller ile doğrusal harekete dönüştürülür. Motorlar vidalı millere kaplinler yardımıyla doğrudan bağlanabildiği gibi kayış – kasnak, zincir gibi hareket iletim elemanlarıyla da bağlanabilir. Tezimizde bu işlem kaplinler yardımıyla yapılmıştır.

Eksenler birbirinden bağımsız çalışabildiği gibi, aynı anda birden fazla eksenin hareketi ile enterpolasyon işlemi yapılabilmektedir.



Şekil III.25: Sistemin Tasarımı

III.2.1 Montaj Resmi ve Parça Listesi



Şekil III.26: Montaj resmi ve parça listesi

Parça Listesi

1. Step motor (Her bir eksen için 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet)
2. Kaplin (Her bir motor için 1 adet olmak üzere toplamda 3 adet)
3. Aralayıcılar (Her bir motor için 4 adet olmak üzere toplamda 12 adet)
4. Vidalı mil rulmanı (3 adet)
5. Kayar yatak (12 adet)
6. X eksen destek milleri (2 adet)
7. X eksen vidalı mili
8. Y eksen destek miller (2 adet)
9. Y eksen vidalı mili
10. Z eksen destek milleri (2 adet)
11. Z eksen vidalı mili
12. X eksen
13. Y eksen
14. Z eksen

III.2.2 Sistemin Mekanik Analizleri

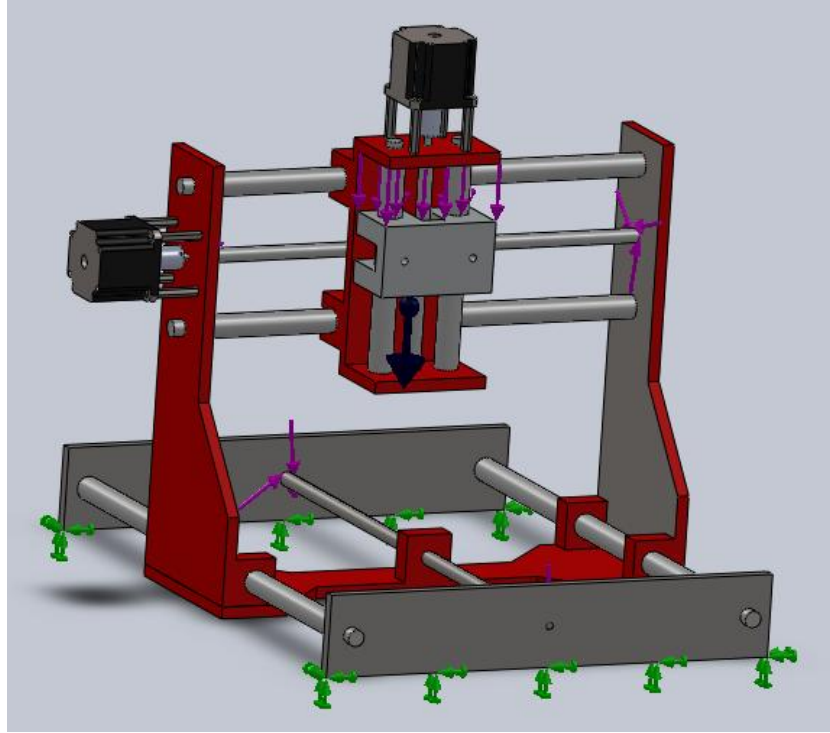
Analiz; bir konuyu, bir maddeyi veya bir mekanizmayı temel parçalarına ayırarak bu parçaları ve parçalar arasındaki ilişkileri tanımlayarak sonca gitme yoludur. Uygulamada birçok alanda analiz kullanılmaktadır. Ekonomik analiz, kimyasal analiz, mühendislik alanında analiz gibi.

Mühendislik alanında analiz ve benzetim günümüz teknolojisinde olmazsa olmaz duruma gelmiştir. Üretim maliyetleri ve tasarruf ihtiyacı gibi sebeplerle bir malın veya sistemin kullanım sırasında nasıl davranacağı, ihtiyaçları karşılayıp karşılayamayacağı, beklentileri ne ölçüde gerçekleştireceği tasarım aşamasındayken görülmek istenir. Bu istekten yola çıkılarak çeşitli mekanik analiz ve benzetim programları hazırlanmıştır. Bu programlarla sistemlerin statik ve dinamik analizleri yapılabilmektedir. Bu programların bir diğer faydası da sistemin farklı fiziki özelliklere sahip ortamlarda çalışacağı durumlarda, bu ortamların deneme amaçlı gerçekleştirilmesinin çok maliyetli ve bazen de imkansız olacağı gerçeğine karşın, bilgisayar ortamında kolaylıkla simüle edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Örneğin, ay yüzeyinde taş toplama amaçlı bir robot sisteminin, çalışacağı düşük yerçekimli ortamda ne tür hareket sınırlamaları ve mekanik gerilmelere maruz kalacağını görülmek için böyle bir ortamın hazırlanması oldukça maliyetli bir işlem olacaktır. Ama bilgisayar programları yardımıyla bu tür bir ortam çok kısa sürede ve kolaylıkla hazırlanabilecektir.

Tezimizin konusu olan kartezyen robot sistemimizin üzerindeki statik durum gerilmelerini ve kesme esnasında oluşan kuvvetleri görmek için biz de analiz ve benzetim işlemi yapacağız. Bu işlem için Dassault Systems firmasına ait SolidWorks 2010 x64 Edition programının bir eklentisi olan CosmosWorks programını kullanacağız. Öncelikle sistemin statik durumda (sadece yerçekimi etkisi altında) üzerinde oluşan gerilmeleri ve ağırlığın etkisiyle çeşitli bölgelerinde oluşan yer değiştirmeleri ve stres değerlerini inceleyeceğiz.. Bu analizleri yaparken hesaplama kısmında bulduğumuz değerleri de kullanacağız.

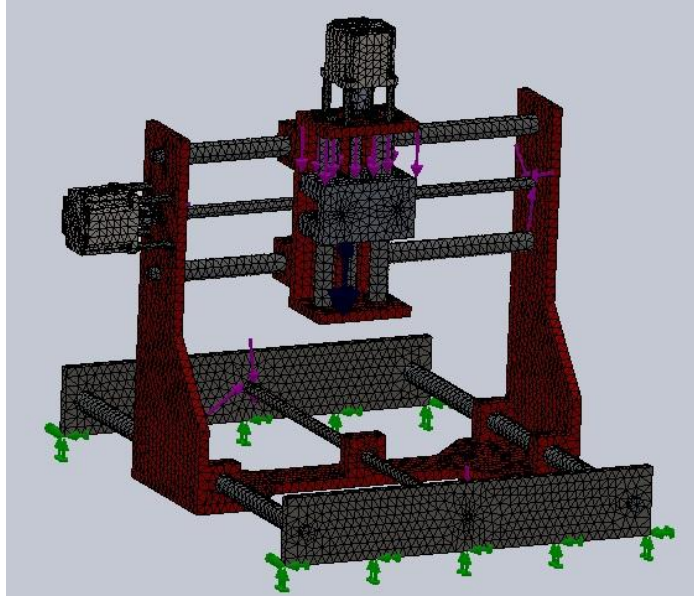
III.2.2.1 Sistemin analiz için hazırlanması

Analiz işleminin daha sağlıklı yapılabilmesi için çözüme etki etmeyecek gereksiz detayların ve parçaların çıkarılması faydalı olacaktır. X eksen motorunun, rulmanların çözüme etkisi olmayacağından analiz esnasında sistemden çıkarılmıştır. Uç işlevci kısmı da çıkarılıp, Z eksenine yer çekimi yönünde bunların yaklaşık ağırlığına karşılık gelen 20 N'luk kuvvet uygulanmıştır. Daha sonra sistem yere sabitlenmiştir. Motor torkları 1,75 Nm olarak eksenlere moment olarak uygulanmıştır. Şunu da belirtmek gerekir ki; statik analizde bu momentlerin etkisi olmayacaktır. Bir sonraki adımda parçalara malzeme cinsi ataması yapılmıştır. Her parçanın malzemesi programa tanıtılmıştır.



Şekil III.27: Analiz işlemi için sistemin sadeleştirilmesi, mesnetlerin ve kuvvetlerin uygulanması

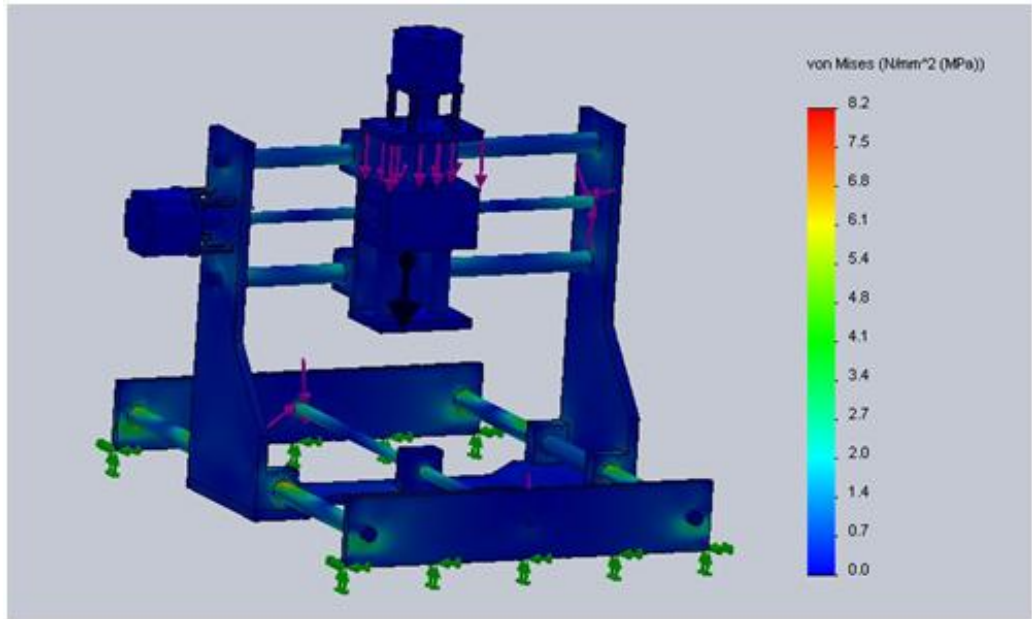
Bilindiği gibi bir nesnede sonsuz sayıda nokta bulunur. Bu sonsuz sayıda noktalar kümesine indirgemeye meshleme adı verilir. Mesh komutu ile sistemimize bunu uyguluyoruz. Uyguladığımız mesh 4 Jacobien noktalı 13 mm element boyutuna sahip katı bir meshtir. Meshleme komutu ile 37515 adet element oluşturulmuştur.



Şekil III.28: Sınır şartlarının belirlenmesi ve sisteme mesh uygulanması
Bu işlemlerden sonra statik analiz yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

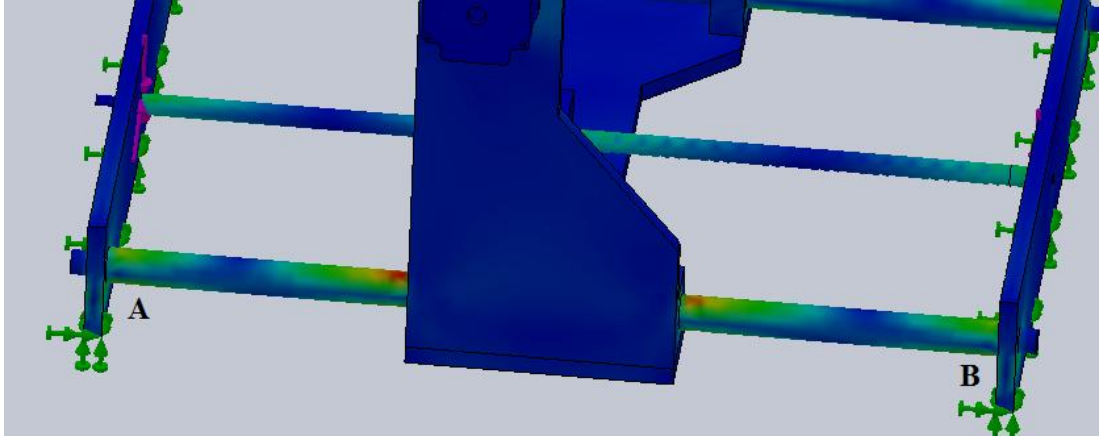
III.2.2.2 Sonuçlar

Von Mises Stress dağılımı:

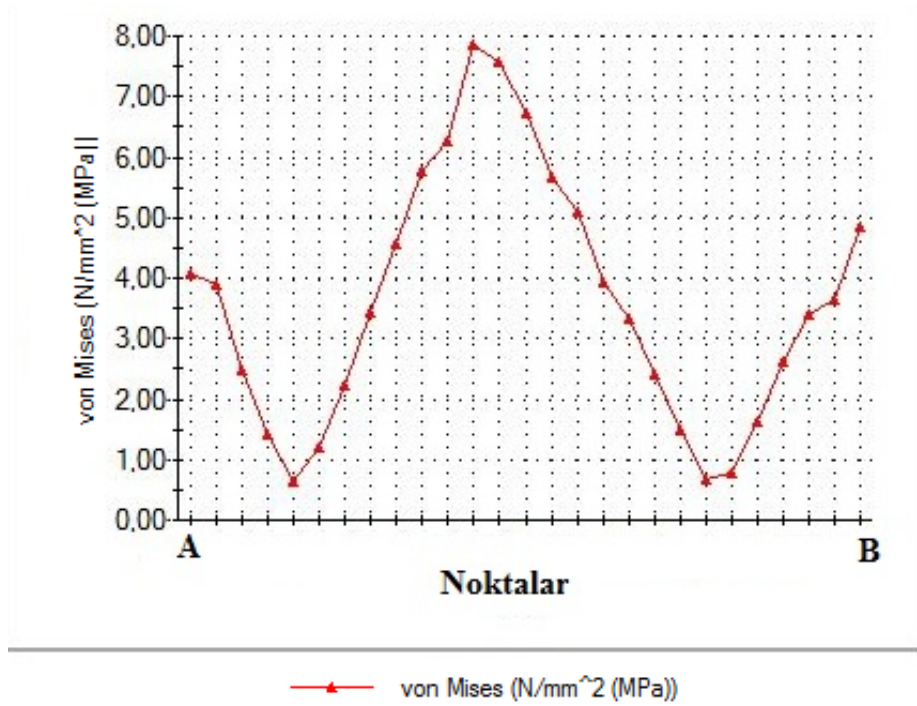


Şekil III.29: Von Mises Stress sonucu

Görüldüğü gibi en yüksek stres değeri X ekseninin destek millerinde oluşmuştur. Bu durumu yakından inceleyip, miller üzerinde seçeceğimiz A – B noktaları arasındaki gerilimi grafik olarak gösterecek olursak;

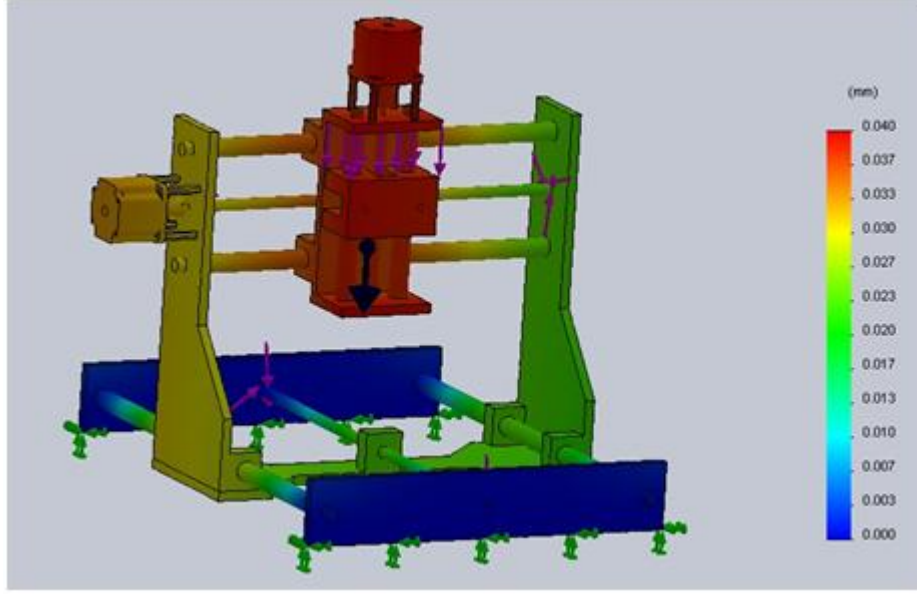


Şekil III.30: X eksen destek mili üzerinde stres dağılımı

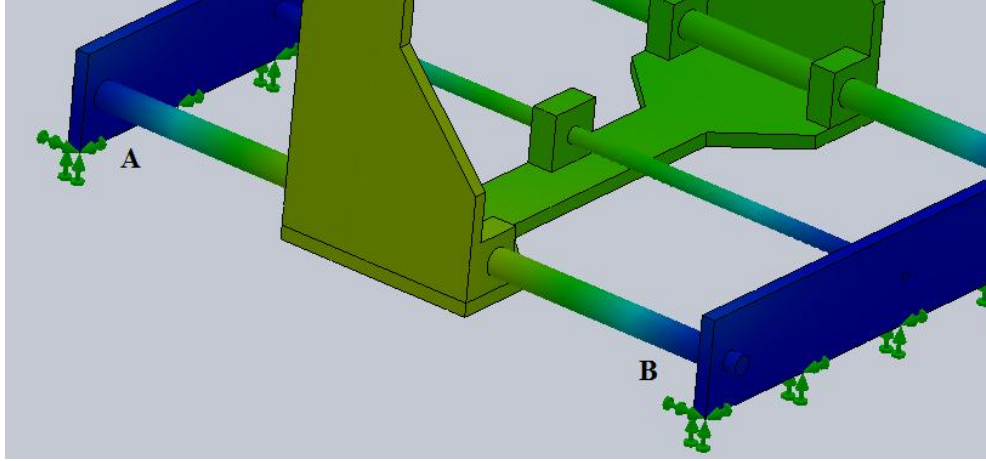


Şekil III.31: A – B noktaları arasında stres dağılımı grafiği

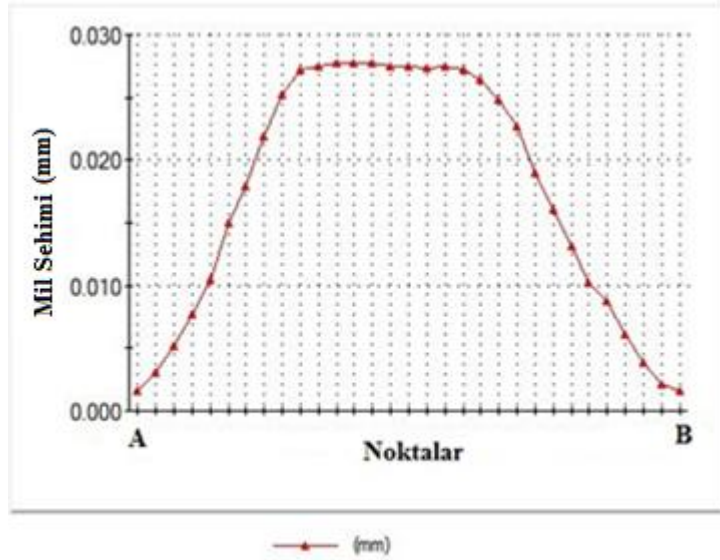
Sistemdeki yer değiştirmeler: Şekil III.32’de görüldüğü üzere, maksimum yer değiştirme 0,04 mm ile z ekseninde olmuştur. Bunun nedeni diğer eksenlerdeki daha küçük yer değiştirmelerin birleşerek Z eksenine etki etmeleridir. Parçalara tek tek baktığımızda ise en çok yer değiştirme X ve Y eksen destek millerinde oluşmuştur. Bu miller üzerinde seçtiğimiz iki nokta arasındaki yer değiştirmeleri grafik olarak gösterecek olursak;



Şekil III.32: Yer değıştirmelerin toplu görünümü



Şekil III.33: X eksen destek mili yer değıştirme miktarı



Şekil III.34: X eksen destek mili A – B noktaları arasında yer değıştirme grafiği

III.3 TEKNİK HESAPLAMALAR

III.3.1 Motor Hesaplamaları

Bu bölümde kuvvet, atalet ve motor gücü hesaplamaları yapılacaktır. Bu hesaplamalar yapılırken Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden Mehmet Kutlu'nun "Üç eksenli masa tipi cnc freze tezgahı tasarım ve imalatı" başlıklı yüksek lisans tez çalışmasının hesaplamalar kısmından da yararlanılmıştır.

III.3.1.1 Frezeleme İşlemi

Frezeleme, yüksek kalitedeki ürünlerin üretimindeki kabiliyeti açısından endüstride çok yaygın kullanılan imalat yöntemlerinden birisidir. BSD programlama, BDT/BDÜ yazılımları, kesici takım teknolojisi ve yüksek hızda işleme teknolojisindeki son yirmi yılda ortaya çıkan gelişmeler sayesinde, frezeleme işleminin önemi; uzay sanayi, otomotiv, bağlama/hacim kalıpcılığı ve ürün imalatında oldukça artmıştır. [17]

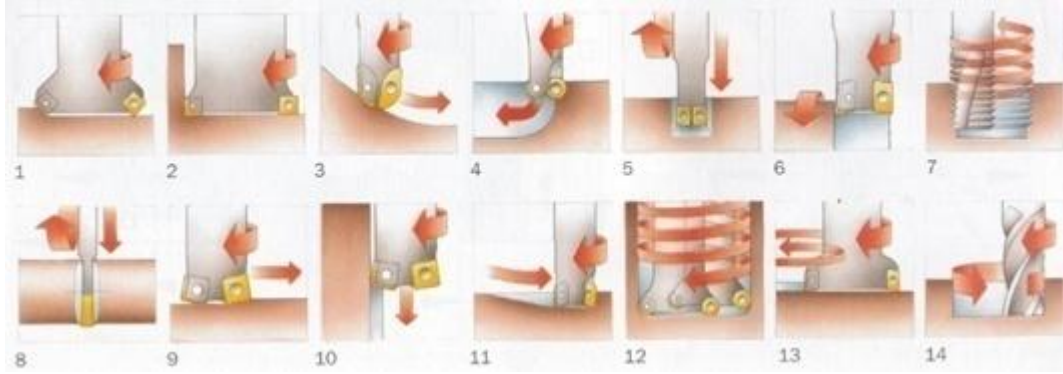
Frezeleme, kendi eksenini etrafında dönen, çok kesme kenarına sahip bir kesici takım ile malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemi olarak tanımlanabilir. Bu kesici takım, iş parçası üzerinde hemen hemen her yönde ilerleme hareketini yapabilir. Her kesme kenarı, bir miktar talaş kaldırarak kesme işlemini yapar.

Frezeleme işlemi, yüksek işleme verimliliği, elde edilebilen yüksek yüzey kalitesi, hassasiyet ve şeklin oluşturulmasındaki esneklik sayesinde çok tercih edilen işleme yöntemlerinden birisidir. Ayrıca, işlem tipleri, tezgah, kesici takım ve iş parçası açısından çok farklılıklar gösterir. [18]

Parçaya etkisi veya takımın izlediği yol açısından bakıldığında frezeleme işlemlerinin temel biçimleri arasında aşağıdakiler sayılabilir [19];

1. Yüzey Frezeleme
2. 90° Kenar Frezeleme
3. Profil Frezeleme
4. Havuz Boşaltma
5. Kanal Frezeleme
6. Torna Frezeleme
7. Kesme

8. Diş Çekme
9. Yüksek İlerlemeli Frezeleme
10. Dalma Frezeleme
11. Açılı Frezeleme
12. Helisel İnterpolasyon
13. Dairesel İnterpolasyon
14. Trokoidal Frezeleme



Şekil III.37: Frezeleme biçimleri [19]

III.3.1.2 Kesme Kuvvetleri

Talaş kaldırma işleminde kesme kuvvetlerini etkileyen faktörlerden birisi takım – talaş arasındaki kesme uzunluğudur. Örneğin; iki fazlı ve kesikli talaş çıkaran malzemeleri işlemede, kesici takım ve talaş arasında daha az temas uzunluğunun olmasından dolayı çok küçük kuvvetler meydana gelmektedir. Kesme hızının artırılması, kayma açısını arttırdığı, daha ince talaş oluşturduğu ve kesme uzunluğunu azalttığı için kesme kuvvetleri de oldukça düşmektedir. Sınırlı temas uzunluğuna sahip takımlar kullanılarak, takım – talaş arasındaki temas uzunluğunun sınırlandırılmasıyla kesme kuvvetlerinde belirli düşüşler sağlanabilmektedir. Kesme kuvvetleri kesici uç geometrisinden de etkilenmektedir. Talaş açısının optimum bir değeri mevcut olup, bu değer daha fazla artışı kesici ucun dayanımını azaltacağından, aşınmayı artırır. Artan aşınma ile birlikte boşluk yüzeyi temas alanı artacağından oluşan kesme kuvvetleri artacaktır. Talaşlı imalatta takım tezgahlarının pek çoğu için kesme kuvveti, talaş kesiti ile işlenen malzemenin özgül kesme direncinin çarpımı esasına dayanır ve buna bağlı kesme gücü bu esasa göre belirlenir. Bu hesaplamada, talaş geometrisi de büyük önem taşımaktadır.[20,18]

III.3.1.3 Frezeleme İşleminde Oluşan Kuvvetler

Frezeleme işlemlerinde oluşan kuvvetler; frezeleme yöntemi, kesici takım ve iş parçası malzemesi, takım ve iş parçası geometrisi, iş mili sehimi, kesici kenarlar arası mesafe, eğim açısı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve aşınma gibi faktörlere bağlıdır. [21,22]

| Tablo III.9: Tezgah bilgileri | |
|--------------------------------------|------------------------|
| Tezgah Tipi | CNC Router (freze) |
| Tahrik Şekli | Step Motor |
| X, Y, Z Yataklama Boyutları | 500 mm, 400 mm, 180 mm |
| Kesme Derinliği | 2 mm |
| İlerleme Hızı | 1 m/dk |
| Boşta İlerleme Hızı | 3 m/dk |

Kesme kuvvetlerinin hesabında alüminyum malzeme işlendiği düşünülmüştür. Frezeleme işleminde kesici motorun devir sayısını (n) bulmak için;

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad n = \frac{1000 \cdot 30}{\pi \cdot 10} = 955 \text{ dev/dk.} \quad (\text{III.1})$$

Burada;

V : kesme hızı (m/s²) 30 m/s²

D : freze çapı (mm) 10 mm

n: devir sayısı (dev./dk.)'dır.

Kesme kuvveti (F_s) için;

$$F_s = Z_e \cdot b \cdot h_m \cdot k_s \text{ (N)} \quad (\text{III.2})$$

Burada;

Z_e : aynı anda parça ile temasta olan diş sayısı

b: talaş genişliği (mm)

h_m : ortalama talaş kalınlığı (mm)

k_s : özgül kesme kuvveti; tablodan alüminyum için 800 $\frac{N}{mm^2}$ olarak

alınır.

Ortalama talaş kalınlığı (h_m) ;

$$h_m = S_z \cdot \sqrt{\frac{a}{D}} = 0,18 \cdot \sqrt{\frac{2}{10}} = 0,0804 \text{ mm olarak bulunur.} \quad (\text{III.3})$$

Burada;

S_z : bir dişe karşılık gelen ilerleme; (tablodan 0,18 mm/diş olarak alınmıştır.)

a: talaş kalınlığı (mm) 2 mm

D : freze çapı (mm)'dir.

Alın frezelemede $a/D \leq 0,6$ olmalıdır.

a = 2 mm alındı.

D= 1,6 . b alın frezeleme için b=6.25

Bir dişe karşılık gelen ilerleme (S_z) formülünden diş sayısı (Z) bulunur.

$$S_z = \frac{u}{Z.n} \quad Z = 4 \quad (\text{III.4})$$

Burada;

Z : diş sayısı

S_z : bir dişe karşılık gelen ilerleme (mm/diş)'dir.

Aynı anda parça ile temasta olan diş sayısı (Z_e);

$$Z_e = Z \cdot \varphi_s / 360 \quad \varphi_s = 180^0 \quad Z_e = 2 \quad (\text{III.5})$$

Burada;

Z_e : aynı anda parça ile temasta olan diş sayısı

φ_s : temas açısı'dır.

Bulduğumuz değerleri Denklem III.2'de yerine koyarsak;

$$F_s = 2 \cdot 6,25 \cdot 0,804 \cdot 800 = 804 \text{ N}$$

İlerleme kuvvetini (F_v) ve radyal kuvveti (F_R) bulmak için;

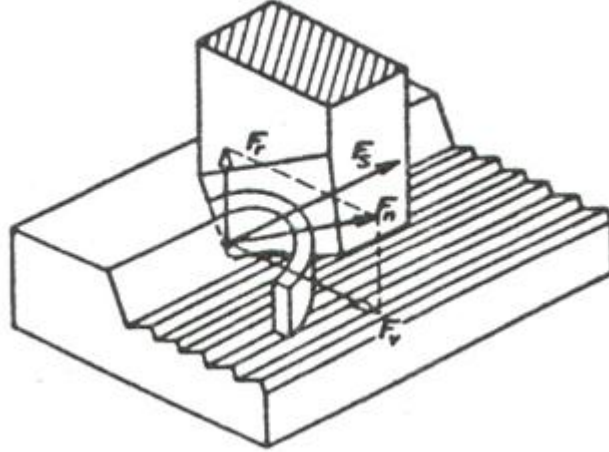
$$F_v = 0,3 \cdot F_s = 241,2 \text{ N} \quad (\text{III.6})$$

$$F_R = 0,85 \cdot F_S = 683,4 \text{ N} \quad (\text{III.7})$$

Burada;

F_V : ilerleme kuvveti (N)

F_R : radyal kuvvet (N)'tir.



Şekil III.38: Kesme esnasında oluşan kuvvetler [23]

Kesici motor gücü (P_S);

$$P_S = \frac{F_S \cdot V}{60 \cdot 1000} = \frac{804 \cdot 30}{60000} = 0,4 \text{ kw} \quad (\text{III.8})$$

Burada;

P_j : motor gücü (kw)'dür.

III.3.1.4 Motor Hesaplamaları İçin Gerekli Formüller

Talaş kaldırırken gereken motor gücü (P_0) için;

$$P_0 = (2 \cdot \pi \cdot N_M \cdot T_T) / 60 \quad (\text{W}) \quad (\text{III.9})$$

Burada;

T_T : talaş kaldırma anında toplam moment (N.m)'dir.

İvmelenme sırasındaki anlık güç (P_a) için;

$$P_a = (2 \cdot \pi \cdot N_M / 60)^2 \cdot (J_L / t_a) \quad (\text{W}) \quad (\text{III.10})$$

Burada;

t_a : ivmelenme süresi (sn)

J_L : motor şaftına indirgenmiş yük ataletleri (kg-m^2)'dir.

Doğrusal milin ataleti ($J_{L.1}$) için;

$$J_{L.1} = M.(P_B/2. \pi.R)^2 \quad (\text{kg-m}^2) \quad (\text{III.11})$$

Burada;

M : doğrusal hareket yapan elemanların toplam ağırlığı (kg)

P_B : vidalı mil adımı (m)

R : redüksiyon oranıdır.

Vidalı milin ataleti (J_B) için;

$$J_B = (\pi . \rho .L_B .D_B^4) / 32 \quad (\text{III.12})$$

Burada;

ρ : vidalı mil malzemesinin öz kütlesi (g/cm^3)

L_B : vidalı milin uzunluğu (m)

D_B : vidalı milin çapı (m)'dir.

Kaplin ataleti (J_C) için;

$$J_C = (M_K .D_K^2) / 8 \quad (\text{III.13})$$

Burada;

D_K : kaplin dış çapı (m)

M_K : kaplin ağırlığı (kg)'dir.

Motor şaftına indirgenmiş yük ataletleri de bu 3 ataletin toplamıdır.

$$J_L = J_{L.1} + J_B + J_C \quad (\text{III.14})$$

Burada;

$J_{L.1}$: doğrusal milin ataleti (kg-m^2)

J_B : vidalı milin ataleti ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)

J_C : kaplin ataleti ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)'dir.

Parça ilerletme için gerekli olan moment (T_L) için;

$$T_L = ((9,8 \cdot \mu \cdot M) + f) \cdot P_B / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) \quad (\text{III.15})$$

Burada;

μ : kızaklardaki sürtünme katsayısı

f : vidalı milin direnci (N)

η : vidalı milin verimidir.

Talaş kaldırma için gerekli olan moment (T_C) için;

$$T_C = (F_S \cdot P_B) / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) \quad (\text{III.16})$$

Talaş kaldırma anında toplam moment (T_T) için;

$$T_T = T_L + T_C \quad (\text{III.17})$$

Burada;

T_C : talaş kaldırma için gerekli moment (N.m)

T_L : parça ilerletme için gerekli moment (N.m)'dir.

Step motorların devir sayısı (N_M) için;

$$N_M = (V \cdot R) / P_B \quad (\text{III.18})$$

III.3.1.5 Z ekseninde kullanılacak motor hesaplamaları

Tablo III.10: Z eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler

| Sembol | Değer | Birim |
|--------|-------|-------|
| D_B | 0,012 | m |
| D_K | 0,02 | m |
| F | 80 | N |
| L_B | 0,18 | m |

| | | |
|--------|-------------------|-------------------|
| M | 5 | kg |
| M_K | 0,1 | kg |
| N_M | 666 | dev/dk |
| P_B | 0,003 | m |
| R | 1 | |
| t_a | 0,1 | sn |
| V | 2 | m/dk |
| ρ | $7,75 \cdot 10^3$ | kg/m ³ |
| μ | 0,15 | |
| η | 0,75 | |

Talaş kaldırma için gerekli momentin hesaplanması;

$$T_C = (F_r \cdot P_B) / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) = (683,4 \cdot 0,003) / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,435 \text{ N.m}$$

Parça ilerletme için gerekli momentin hesaplanması;

$$T_L = ((9,8 \cdot M) + f) \cdot P_B / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta)$$

$$= ((9,8 \cdot 5) + 80) \cdot 0,003 / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,0821 \text{ N.m}$$

Talaş kaldırma anında toplam momentin hesaplanması;

$$T_T = T_L + T_C = 0,5171 \text{ N.m}$$

Motor ile vidalı mil arasındaki kaplinin ataletinin hesaplanması;

$$J_C = (M_K \cdot D_K^2) / 8 = (0,1 \cdot 0,020^2) / 8 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Vidalı milin ataletinin hesaplanması;

$$J_B = (\pi \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4) / 32$$

$$= (\pi \cdot 7,75 \cdot 10^3 \cdot 0,18 \cdot 0,012^4) / 32 = 2,84 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Doğrusal hareketin ataletinin hesaplanması;

$$J_{L1} = M \cdot (P_B / 2 \cdot \pi \cdot R)^2 = 5 \cdot (0,003 / 2 \cdot \pi \cdot 1)^2 = 1,109 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

Motor şaftına indirgenmiş yük ataletlerinin hesaplanması;

$$J_L = J_{L1} + J_B + J_C = 1,1874 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

İvmelenme sırasındaki anlık gücün hesaplanması;

$$P_a = (2 \cdot \pi \cdot N_M / 60)^2 \cdot (J_L / t_a) = 5,77 \text{ W}$$

Talaş kaldırırken gereken motor gücün hesaplanması;

$$P_0 = (2 \cdot \pi \cdot N_M \cdot T_T) / 60 = 39,57 \text{ W}$$

III.3.1.6 Y Ekseninde Kullanılacak Motor Hesaplamaları

Tablo III.11: Y eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler

| Sembol | Değer | Birim |
|--------|-------------------|-------------------|
| D_B | 0,012 | M |
| D_K | 0,02 | M |
| F | 80 | N |
| L_B | 0,4 | M |
| M | 12 | Kg |
| M_K | 0,1 | Kg |
| N_M | 666 | dev/dk |
| P_B | 0,003 | M |
| R | 1 | |
| t_a | 0,1 | Sn |
| V | 3 | m/dk |
| ρ | $7,75 \cdot 10^3$ | kg/m ³ |
| μ | 0,15 | |
| η | 0,75 | |

Talaş kaldırma için gerekli momentin hesaplanması;

$$T_C = (F_v \cdot P_B) / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) = (241,2 \cdot 0,003) / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,1536 \text{ Nm}$$

Parça ilerletme için gerekli momentin hesaplanması;

$$\begin{aligned} T_L &= ((9,8 \cdot \mu \cdot M) + f) \cdot P_B / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) \\ &= ((9,8 \cdot 0,15 \cdot 5) + 80) \cdot 0,003 / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,0622 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Talaş kaldırma anında toplam momentin hesaplanması;

$$T_T = T_L + T_C = 0,2162 \text{ N.m}$$

Motor ile vidalı mil arasındaki kaplinin ataletinin hesaplanması;

$$J_C = (M_K \cdot D_K^2) / 8 = (0,1 \cdot 0,020^2) / 8 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Vidalı milin ataletinin hesaplanması;

$$\begin{aligned} J_B &= (\pi \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4) / 32 \\ &= (\pi \cdot 7,75 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 0,012^4) / 32 = 6,3 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2 \end{aligned}$$

Doğrusal hareketin ataletinin hesaplanması;

$$J_{L1} = M \cdot (P_B / 2 \cdot \pi \cdot R)^2 = 12 \cdot (0,003 / 2 \cdot \pi \cdot 1)^2 = 2,66 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

Motor şaftına indirgenmiş yük ataletlerinin hesaplanması;

$$J_L = J_{L1} + J_B + J_C = 2,773 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

İvmelenme sırasındaki anlık gücün hesaplanması;

$$P_a = (2 \cdot \pi \cdot N_M / 60)^2 \cdot (J_L / t_a) = 13,47 \text{ W}$$

Talaş kaldırırken gereken motor gücünün hesaplanması;

$$P_0 = (2 \cdot \pi \cdot N_M \cdot T_T) / 60 = 15,07 \text{ W}$$

III.3.1.7 X Ekseninde Kullanılacak Motor Hesaplamaları

| Tablo III.12: X eksen hesaplamaları için kullanılacak değerler | | |
|----------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|
| Sembol | Değer | Birim |
| D_B | 0,012 | m |
| D_K | 0,02 | m |
| F | 80 | N |
| L_B | 0,5 | m |
| M | 25 | kg |
| M_K | 0,1 | kg |
| N_M | 666 | dev/dk |
| P_B | 0,003 | m |
| R | 1 | |
| t_a | 0,1 | sn |
| V | 3 | m/dk |
| ρ | $7,75 \cdot 10^3$ | kg/m ³ |
| μ | 0,15 | |
| η | 0,75 | |

Talaş kaldırma için gerekli momentin hesaplanması;

$$T_C = (F \cdot v \cdot P_B) / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta) = (241,2 \cdot 0,003) / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,1536$$

N.m

Parça ilerletme için gerekli momentin hesaplanması;

$$T_L = ((9,8 \cdot \mu \cdot M) + f) \cdot P_B / (2 \cdot \pi \cdot R \cdot \eta)$$

$$= ((9,8 \cdot 0,15 \cdot 25) + 80) \cdot 0,003 / (2 \cdot \pi \cdot 1 \cdot 0,75) = 0,075 \text{ N.m}$$

Talaş kaldırma anında toplam momentin hesaplanması;

$$T_T = T_L + T_C = 0,23 \text{ N.m}$$

Motor ile vidalı mil arasındaki kaplinin ataletinin hesaplanması;

$$J_C = (M_K \cdot D_K^2) / 8 = (0,1 \cdot 0,020^2) / 8 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ kg.m}^2$$

Vidalı milin ataletinin hesaplanması;

$$J_B = (\pi \cdot \rho \cdot L_B \cdot D_B^4) / 32$$
$$= (\pi \cdot 7,75 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 0,012^4) / 32 = 6,08 \cdot 10^{-5} \text{ kg.m}^2$$

Doğrusal hareketin ataletinin hesaplanması;

$$J_{L,1} = M \cdot (P_B / 2 \cdot \pi \cdot R)^2 = 25 \cdot (0,003 / 2 \cdot \pi \cdot 1)^2 = 5,55 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

Motor şaftına indirgenmiş yük ataletlerinin hesaplanması;

$$J_L = J_{L,1} + J_B + J_C = 6,208 \cdot 10^{-4} \text{ kg.m}^2$$

İvmelenme sırasındaki anlık gücün hesaplanması;

$$P_a = (2 \cdot \pi \cdot N_M / 60)^2 \cdot (J_L / t_a) = 30,16 \text{ W}$$

Talaş kaldırırken gereken motor gücün hesaplanması;

$$P_0 = (2 \cdot \pi \cdot N_M \cdot T_T) / 60 = 16,03 \text{ W}$$

| Tablo III.13: Hesap sonuçları tablosu | | | |
|----------------------------------------------|---------|---------|---------|
| | X eksen | Y eksen | Z eksen |
| İvmelenme sırasındaki anlık güç | 30,16 W | 13,47 W | 5,77 W |
| Talaş kaldırırken gereken motor gücü | 16,03 W | 15,07 W | 39,57 W |

III.3.2 Vidalı Millerdeki Kritik Hızların Hesaplanması

Dönen şaftlar belirli hızlara ulaştıklarında dinamik olarak düzensiz hale gelirler. Bu düzensizlikle beraber şaftlarda kırılma ve çatlamalara yol açabilecek genlikte titreşimler meydana gelir. Bu hızlara kritik hız denilmektedir. Titreşim teorisine göre, şaftın durağan haldeki doğal titreşim frekansı ile kritik hızı birbirine eşittir. Yani şaft kritik hız sınırları içerisinde dönmekte iken şaftın orta noktasında oluşan yer değiştirmeler, aniden durdurulduğunda tekrar eski haline gelir. Kritik hız sınırı aşıldığında şaftın doğal frekansı da aşılmış olduğundan yer değiştirmeler eski haline dönemez ve şaftta deformasyon meydana gelir. [24]

Kritik hız Rayleigh denklemi ile hesaplanır. (Denklem III.19) Burada bulunan kritik hız değeri tahminidir. Denklemde şaftın ağırlığının etkisi, malzemenin darbeleri sönümlenme derecesi, yatakların ve kaplinlerin esnekliği gibi faktörler ihmal edilmiştir. Ayrıca yüklerin homojen olarak dağıldığı varsayılmıştır. Bu gibi nedenlerden dolayı bulunan hız değeri, gerçekte olması gerekenden daima yüksektir. Bu yüzden uygulamada bulunan değerden yaklaşık %25 daha düşük değer kritik hız olarak alınır.

$$n_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum W \delta}{\sum W \delta^2}} \quad (\text{III.19})$$

Burada;

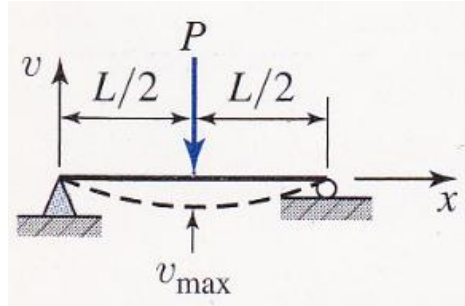
n_{cr} : kritik hız (Hz)

g : yer çekimi ivmesi (m/sn^2)

W : yük (N)

δ : yer değiştirme (mm)

Şaftta oluşan yer değiştirme değerini bulmak için;



Şekil III.39: Yer değiştirme hesabı şeması [24]

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (\text{III.20})$$

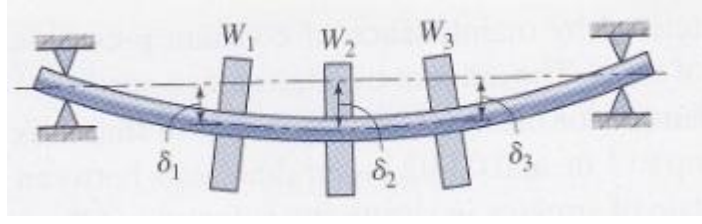
Burada;

P: Mille etki eden toplam kuvvet (N)

L: uzunluk (mm)

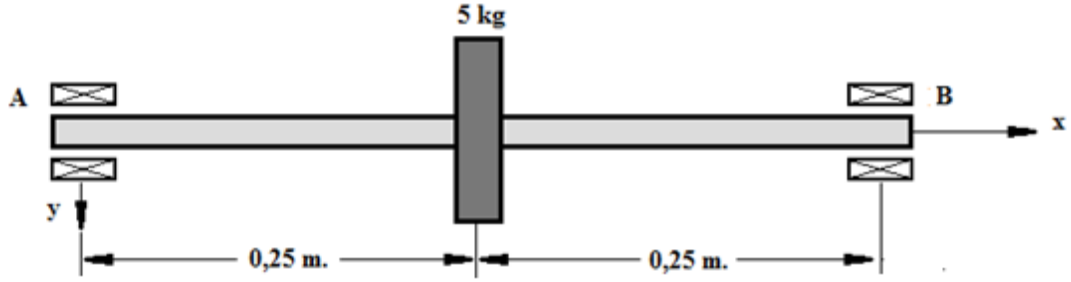
E: elastisite modülü (N/mm^2)

I: asal atalet momenti



Şekil III.40: Yer değiştirmelerin gösterimi (Kolay anlaşılması için yer değiştirmeler abartılı gösterilmiştir.) [24]

III.3.2.1 X Ekseni Vidalı Mil Kritik Hız Hesabı



Şekil III.41: X eksen vidalı milin uzunluğu ve etki eden kuvvet

$$W = P = 5 \cdot 9,81 = 49,05 \text{ N}$$

$$L = 500 \text{ mm}$$

$$E = 210 \text{ Gpa} = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \text{ mm}^4 = 1017,36 \text{ mm}^4$$

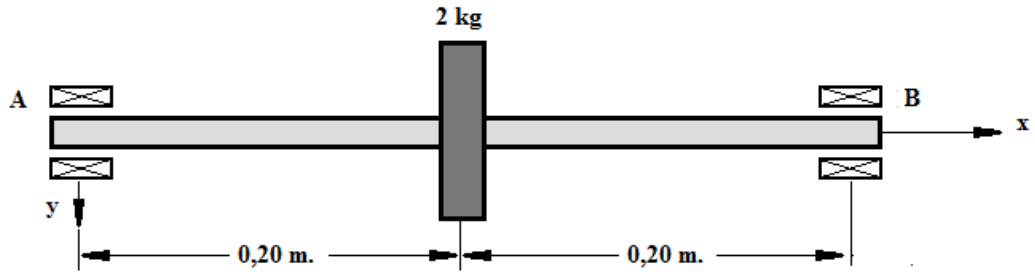
Yer Değiştirmenin Bulunması;

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{49,05 \cdot (500)^3}{48 \cdot (210 \cdot 10^3) \cdot 1017,36} = 0,59 \text{ mm}$$

Kritik hızın bulunması;

$$n_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum W \delta}{\sum W \delta^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81 \cdot 49,05 \cdot (0,59 \cdot 10^{-3})}{49,05 \cdot (0,59 \cdot 10^{-3})^2}} = 20,53 \text{ Hz} = 1231 \text{ dev/dk}$$

III.3.2.2 Y Eksenli Vidalı Milin Kritik Hız Hesabı



Şekil III.42: Y eksenli vidalı milin uzunluğu ve etki eden kuvvet

$$W = P = 2 \cdot 9,81 = 19,62 \text{ N}$$

$$L = 400 \text{ mm}$$

$$E = 210 \text{ Gpa} = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$$

$$I = \frac{\pi}{4} r^4 \text{ mm}^4 = 1017,36 \text{ mm}^4$$

Yer Değiştirmenin Bulunması;

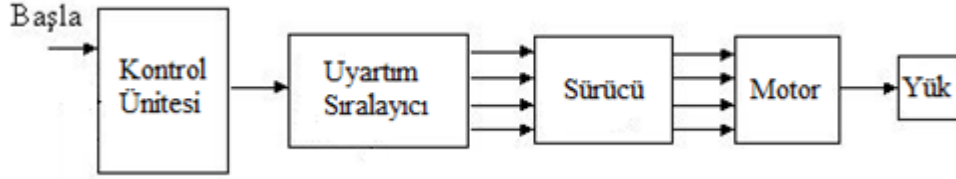
$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} = \frac{19,62 \cdot (400)^3}{48 \cdot (210 \cdot 10^3) \cdot 1017,36} = 0,12 \text{ mm}$$

Kritik hızın bulunması;

$$n_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g \sum W \delta}{\sum W \delta^2}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{9,81 \cdot 19,62 \cdot (0,12 \cdot 10^{-3})}{19,62 \cdot (0,12 \cdot 10^{-3})^2}} = 45,5 \text{ Hz} = 2731 \text{ dev/dk}$$

III.4 KONTROL YAZILIMI

Robot sistemimizin kontrolü açık çevrim kontroldür. Kontrol ünitesinde gerekli hesaplamalar yapılarak gerekli adım sayısı belirlenir ve bu sayıda sinyal uyarım sıralayıcıya gönderilir. Burada gelen sinyallere göre step motor için uygun uyarımlar üretilip sürücüye gönderilir. Sürücü yardımıyla motor sürülerek gerekli hareket elde edilir. Sistemin kontrol diyagramı Şekil III.43’de gösterilmiştir.



Şekil III.43: Sistemin kontrol diyagramı

Bir sistemin robot olarak tanımlanabilmesi için, o sistemin belirli hareketleri ve işlemleri otomatik olarak yapması ve tekrar tekrar programlanabilme özelliğine sahip olması gerekir. Yani bünyesinde bir denetleyici, kontrol edici sistem bulundurması gerekir. Bu sistemin yazılımsal kısmı da programlama dilleri yardımıyla istenilen özellik ve hareketlere uygun olarak hazırlanır.

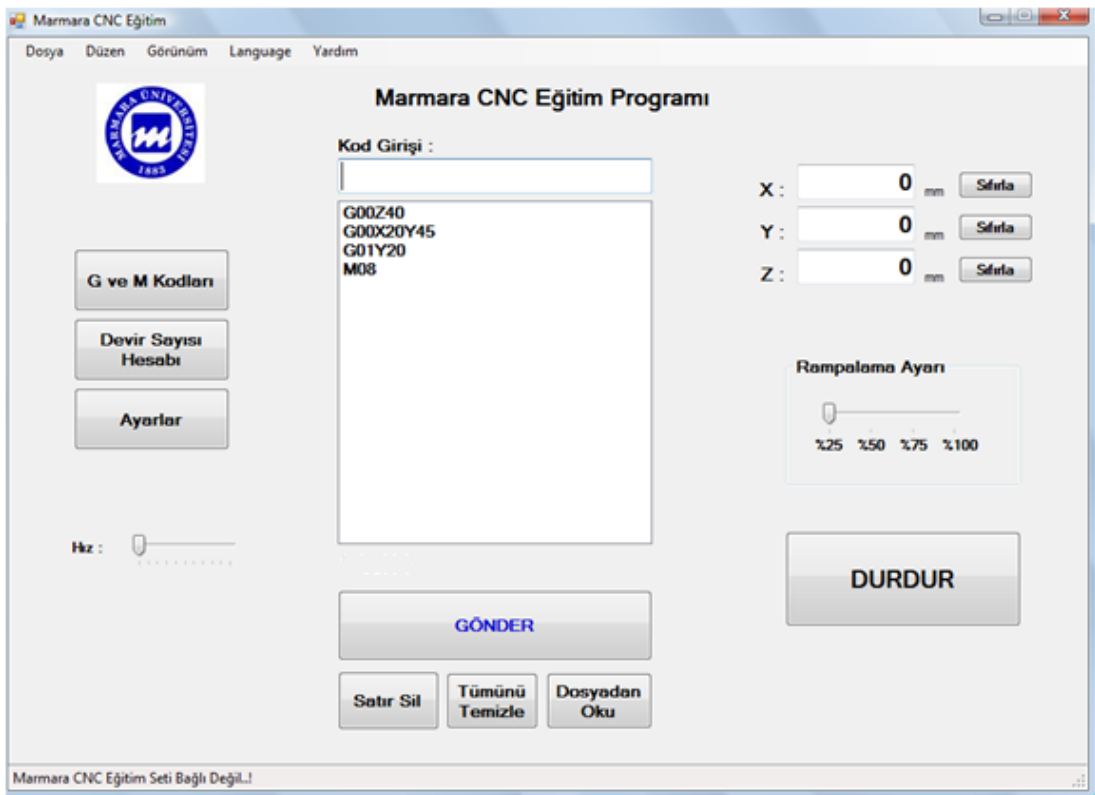
Günümüzde kullanılmakta olan çok çeşitli programlama dilleri vardır. Delphi, Java, C gibi diller programcıya çok geniş kullanım alanları ve özellikler sunmakta ve günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır. Tezimizde programlama dili olarak .Net ailesine mensup Visual C# nesne yönelimli programlama dili kullanılacaktır. Ayrıca bazı CNC uygulamaları için de piyasada hazır bulunan Mach 3 programı kullanılacaktır.

III.4.1 Visual C# Nedir ?

C# programlama dili Microsoft şirketi tarafından geliştirilen nesne yönelimli görsel programlama dilidir. Yine Microsoft tarafından geliştirilmiş .NET teknolojisi için hazırlanmış dillerden biridir. Microsoft tarafından geliştirilmiş olmasının yanında ECMA ve ISO standartları altına alınmıştır. C# dilinin tasarlanmasına Delphi, Pascal ve J++ gibi dillerin tasarımıyla bilinen Anders Hejlsberg liderlik etmiştir. Özellikle nesne yönelimli programlama kavramının gelişmesine katkıda bulunan en aktif programlama dillerinden biridir.

C#, .NET orta seviyeli programlama dillerindedir. Yani hem makine diline hem de insan algısına eşit seviyededir. Buradaki orta ifadesi dilin gücünü değil makine dili ile günlük konuşma diline olan mesafesini göstermektedir. Örneğin; Visual Basic .NET (VB.NET) yüksek seviyeli bir dildir. Bu ifade dilin insanların günlük yaşantılarında konuşma biçimine yakın şekilde yazıldığını belirtir. Dolayısı ile buradan yola çıkarak VB.NET, C#.NET' ten daha güçlü bir dildir diyemeyiz. Programın çalışması gereken bilgisayarlarda framework kurulu olması gerekmektedir. [25]

II.4.2 Programın Arayüzü



Şekil III.44: Marmara CNC Eğitim Programı arayüzü

Visual C# programında hazırlanan kontrol programına Marmara CNC Eğitim Programı adı verilmiştir. Programın arayüzü Şekil III.44'de görülmektedir. Programı oluşturan bölümler genel olarak şu şekilde sıralanabilir.

- Menü çubuğu
- G kodları giriş kısmı
- Rampalama ayarı
- Durum çubuğu
- G ve M kodları

- Devir sayısı hesabı
- Ayarlar

Menü Çubuğu; Dosya, Düzen, Görünüm, Dil ve Yardım menülerinden oluşur. Dosya menüsünden G kodu yükleme ve programı kapatma işlemi yapılabilir. Görünüm menüsünden yazı tipi boyutu ayarlanabilir. Dil sekmesinden programın dili Türkçe, İngilizce, Almanca veya İtalyanca olarak seçilebilir.

G kodları giriş kısmı; programın ana işlem kısmını oluşturur. Kod giriş bölümüne yazılan kodlar satır satır alta aktarılır. Program yazım işi bittiğinde **“Gönder”** tuşuna basılır ve robot satırları tek tek işlemeye başlar. Kodlar elle yazılabileceği gibi **“Dosyadan Oku”** komutuyla herhangi bir text dosyasından otomatik olarak programa aktarılabilir. **“Satır Sil”** ve **“Tümünü Temizle”** komutlarıyla satırlarda düzenleme işlemi yapılabilir.

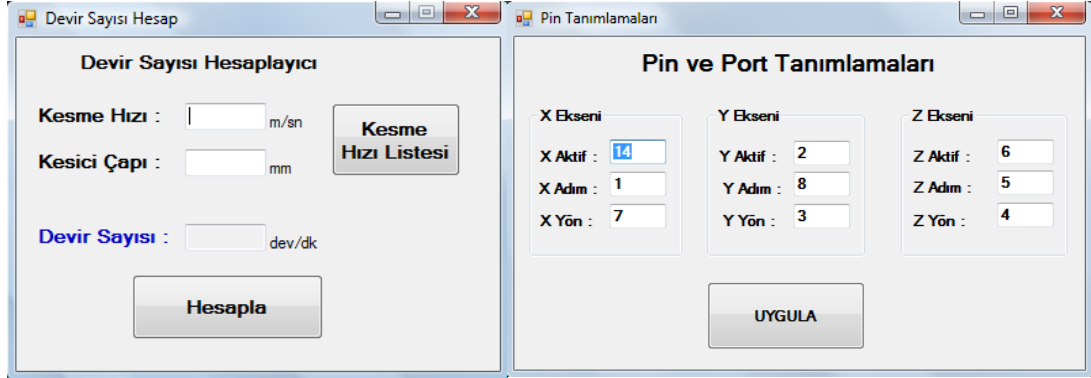
Rampalama ayarı; step motorların hızlanma ve yavaşlama zamanlarını ayarlamak için kullanılır. Step motorların hızı, gönderilen uyarımların hızına göre değişir. Kısa sürede ne kadar fazla uyarım gönderilirse motor o kadar hızlı döner. Ama her motorun belli bir hız kapasitesi vardır. Bir anda çok hızlı uyarım göndermeye başlarsak motor dönmez ve titreme yapar. Bunu önlemek için uyarım gönderim hızı yavaş yavaş artırılarak motorun dönmesi gereken asıl hıza belli bir süre sonunda ulaşılır. Yavaşlarken de aynı şekilde uyarım gönderim hızı yavaş yavaş azaltılarak sağlıklı bir kalkış – duruş sağlanmış olur.

Durum çubuğu; robotun bilgisayara bağlanıp bağlanmadığını gösteren kısımdır. Eğer robotumuz bilgisayara bağlanmış ise **“Marmara CNC Eğitim Seti Bağlandı”** uyarısı, eğer herhangi bir USB cihazı bağlandı ise **“Herhangi bir USB cihazı bağlandı”** uyarısı ekrana gelir.

Ayarlar kısmı; genel ayarların yapıldığı kısımdır. Şekil III.45’te görülmektedir. Sürücü kartına uygun her eksene ait port ve pin numaraları bu kısımda programa tanıtılır. Sistemimiz bir nevi paralel port – USB çevirici işlevi görmektedir. Çevirici kutusuna bağlanan paralel port arayüzünden sürücüye bilgi gönderilmektedir. Dolayısıyla sürücünün kullanma kılavuzuna göre hangi pin hangi işlevi görüyorsa burada tanıtım yapılır. Örneğin; X eksen step sinyalinin gönderildiği pin paralel portun 3. pini ise burada X step kısmına 3 değeri girilir. Aynı şekilde Y step, Y dir (yön), Y aktif, Z aktif gibi bölümlere de uygun değerler girilir.

G ve M kodları; standart G ve M kodlarının tablo halinde gösterildiği bölümdür.

Devir sayısı hesabı; kesici takıma verilmesi gereken devir sayısının hesaplanması için kullanılır. Kesilecek malzemeye uygun devir sayısı burada hesaplanarak kullanılabilir. Kesme hızı listesi kısmından çok kullanılan malzemelere ait kesme hızı standart değerleri seçilebilmektedir. Şekil III.45’de devir sayısı hesap penceresi görülmektedir.



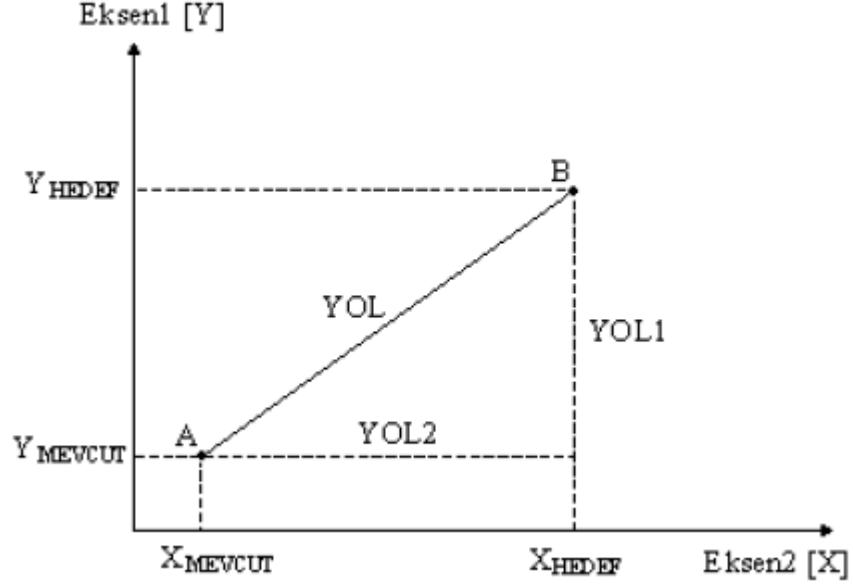
Şekil III.45: Devir sayısı hesap ve ayarlar pencereleri

II.4.3. Sistemin Hareket Şekilleri ve Doğrusal Enterpolasyon

Kartezyen koordinatlı robot sistemimizin her bir eksenini ayrı ayrı hareket edebildiği gibi, iki eksenin birbiriyle koordineli çalışması ile de enterpolasyon işlemi yapılabilmektedir. Marmara CNC eğitim programında doğrusal enterpolasyon yapılabildiği gibi, Mach3 programı ile hem doğrusal hem de dairesel enterpolasyon yapılabilmektedir.

Enterpolasyonda eksenler başlangıç noktası ile bitiş noktasını birbirine bağlayan bir doğru boyunca, mümkün olan en küçük hata ile bu doğru üzerinde kalacak şekilde, verilen eksenler boyunca küçük artım birimleriyle sabit hızda hareket sağlayarak, kontrol sistemi tarafından hareket ettirilir. [26]

Robotun uç işlevcisi Şekil III.46’da gösterildiği gibi A noktasında duruyor ve B noktasına gönderilmek isteniyor olsun.



Şekil III.46: Uç işlevcinin A noktasından B noktasına izleyeceği yol [25]

A(X....Y....) – B(X....Y....) olsun.

1. Eksenin alacağı yol;

$$\text{Yol 1} = |Y_{\dots} - Y_{\dots}| \text{ (mm) olur.} \quad (\text{III.21})$$

2. eksenin alacağı yol;

$$\text{Yol 2} = |X_{\dots} - X_{\dots}| \text{ (mm) olur.} \quad (\text{III.22})$$

Uç işlevcinin doğrusal enterpolasyonla alacağı yol;

$$\text{Yol} = \sqrt{\text{Yol1}^2 + \text{Yol2}^2} \text{ (mm) olur.} \quad (\text{III.23})$$

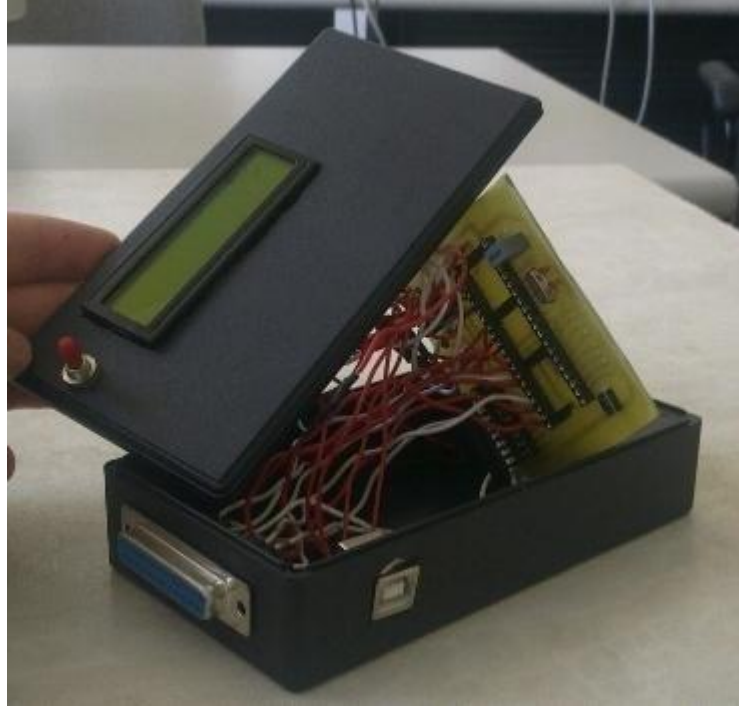
Uç işlevcinin bu yolu ne kadar zamanda alacağı t ile belirlenmektedir. t süresinin bulunmasına ait formül;

$$t = \frac{\text{Yol}}{\text{Doğrusal Hız}} \text{ 'dır.} \quad (\text{III.24})$$

Her iki eksen de aynı anda harekete başlar ve t süresi sonunda 1. Eksen Yol 1 mm, 2. Eksen Yol 2 mm yol alırsa uç işlevci A noktasından B noktasına doğrusal enterpolasyon yaparak gitmiş olur.

II.4.4 Sistemin İşleyişi

Buraya kadar sistemin mekanik, elektronik ve program arayüzü kısımlarından bahsedildi. Şimdi ise sistemin genel olarak nasıl işlediği, bünyesinde hangi olayların hangi sırada gerçekleştiği üzerinde durulacaktır.



Şekil III.47: USB'den sürücüye veri transfer kutusu

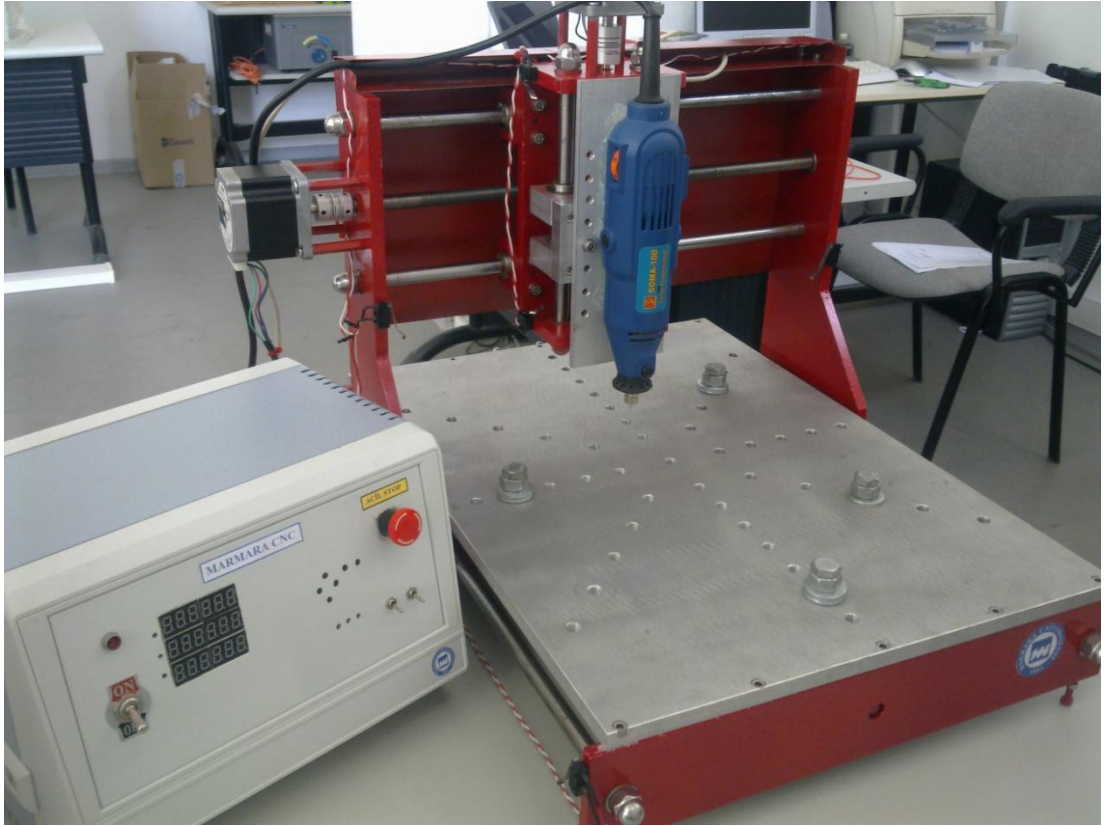
Öncelikle, programa sürücünün özelliğine göre port ve pinlerin tanıtımı yapılmaktadır. Hangi pin ne işe yarıyorsa program belleğine bu bilgiler alınır. Bu sayede hangi bilginin nereye gönderileceği de belirlenmiş olur. Daha sonra kullanıcı tarafından girilen G ve M kodu bilgilerinin analizi kısmı gelmektedir. Örnek bir G kodu satırımız şu şekilde olsun;

“G01X97Y85”

Burada programın ayıklaması gereken birçok bilgi bulunmaktadır. G harfi yapılacak olan işin bir hareket olduğunu belirtmektedir. Ardından gelen değere göre ne yapılacağı belirlenir. Örneğimizde 01 değeri gelmiştir. Bu da tezgahın kesme işlemine başlayacağını belirtir. Malzeme kesme esnasındaki makinenin hızıyla boşta giderkenki hızı farklı olmalıdır. Çünkü boşta giderken herhangi bir karşı kuvvet bulunmamakta ve zamandan kazanç için makine kesme işlemine başlayacağı yere hızlı bir şekilde gönderilmektedir. Burada 01 olduğuna göre eksenler yavaş hareket etmelidir. Ardından gelen harf ve onu takip eden sayı hangi eksenin mm cinsinden ne kadar hareket etmesi gerektiğini gösterir. Eğer satır burada bitmiş olsaydı örneğe

göre X ekseninde yavaş hızda 97 mm gitmemiz gerekeceği anlaşılacaktı. Ama X'in yanında Y değeri de bulunduğu görülüyor. Bu da lineer enterpolasyon yapılacağıının göstergesidir.

Bu şekilde satır ayıklandıktan sonra hız, eksen ve mesafe bilgileri değişkenlere atanıp USB kanalı üzerinden denetleyici sistem olan PIC'e gönderilmektedir. PIC'te bu gelen bilgilerden, mesafe değerine göre hangi motorun kaç adım atması gerektiği hesaplanıp sürücünün uygun pinine bu adım sayısı kadar uyarım gönderilir. Bu uyarımlar sayesinde motor gerektiği kadar döner ve vidalı mil üzerinden doğrusal bir hareket gerçekleştirilir. Hareket bittikten sonra denetleyici sistemden bilgisayara satırın işlendiği bilgisi gönderilir. Bilgisayar da bunun ardından bir alttaki satırın değerlerini denetleyici sisteme gönderir. Bu şekilde bütün satırlar işlendikten sonra işlemimiz sona erer.



Şekil III.48: Sistemin genel resmi

BÖLÜM IV: SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında mekatronik bir sistemde olması gereken tüm yapılar uygulanmıştır. Mekanik tasarım, analiz ve imalat, teknik hesaplamalar, elektrik - elektronik sistem tasarımı, kontrol sistemi tasarımı ve programlama diliyle arayüz hazırlanması, USB iletişim protokolünün uygulanması gibi mekatronik bir sistemde olması gereken evreler belirli bir hiyerarşi içerisinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil IV.1: Sistem çalışma esnasında

Mekanik sistemin hareket, güç ve dayanım hesapları yapılmış, sonlu elemanlar analizi ile de güvenlik sınırları ve sistemin davranışları önceden belirlenmiştir.

Elektronik ekipmanlar temin edilip, robota uygun bir kontrol panosu hazırlanmıştır. Bu pano hazırlanırken kullanım kolaylığı ve güvenlik faktörleri göz önünde bulundurulmuştur.

Kontrol programının hazırlanması uzun bir süreç almış ve mümkün olduğunca kullanıcıya faydalı olması amaçlanmıştır. Visual C# programının zengin

imkanlarından faydalanılıp, kullanıcı dostu bir arayüz hazırlanmıştır. Robotun, günümüzde en çok kullanılan arabirimlerden USB arabirimini kullanması da ona ayrı bir artı kazandırmıştır.

Sistem, imalat alanında kullanılabileceği gibi hazırlanmış olan program sayesinde lise ve üniversite öğrencilerinin CNC eğitimi için de kullanılabilecektir. Öğrencilerin büyük makinelerde uygulamaya geçmeden önce, G ve M kodlarının kullanımına yatkınlık kazanması konusunda, güvenli ve ekonomik bir ortam sunulması ana hedeflerimizden biri olmuştur.

BÖLÜM V: SON DEĞERLENDİRMELER VE ÖNERİLER

“Çok Amaçlı 3 Eksen Kartezyen Robot Sistemi Tasarımı ve İmalatı” başlıklı tez çalışmasında hedefler gerçekleştirilmiş ve sistemin sağlıklı bir şekilde çalıştığı görülmüştür.

İleriki çalışmalarda sisteme birçok ekleme ve düzenleme getirilebilecektir. Eksenlerin boyutları büyütülüp, daha hassas hareket imkanı sağlayan vidalı mil sistemi eklenebilir. Step motorların yerine daha hassas ve güçlü servo motorlar kullanılabilir. Divizör benzeri yapıların eklenmesiyle eksen sayısı artırılıp daha çeşitli geometrilere sahip ürünler işlenebilir.

Robota encoder sistemi eklenerek kapalı çevrim kontrol sistemi haline getirilebilir. Böylelikle step motorun adım kaçırma durumunda sistem kontrol edilerek daha hassas işlemler yapılabilecektir.

Program kısmı da esnek ve ileriye dönük şekilde değiştirilebilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu sayede ileride daha profesyonel hale getirilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Çetinkaya, Ö.: "Bir kolun hareketini takip eden dört dönel mafsallı robot kolu tasarımı ve deneysel araştırması", *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ, Türkiye, (2009)
- [2] Bingül, Z. ; Küçük, S.: "*Robot Kinematiği*", Birsen Yayınevi, İstanbul, Türkiye (2009)
- [3] Peşkircioğlu, N.: "Otomasyon ve Entegre Kalite Kontrolü", *Verimlilik Dergisi*, 15, Mayıs, s. 19-40
- [4] Çengelci, B.; Çimen, H.: "Endüstriyel Robotlar", *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, (2005), 69 – 78
- [5] Tseng, A.A.; Kolluri, S.P.: "A CNC Machining System for Education", *Journal of Manufacturing Systems*, (1989), 207-214
- [6] Kim, J.; Kim, M.: "A study on the design of CNC lathe for education and application", *International Journal of Production Economics*,(1991), 169-180
- [7] Lee, H.S.; Chang, S.L.: "Development of a CAD/CAE/CAM system for a robot manipulator", *Journal of Materials Processing Technology*, (2003), 100-104
- [8] Kaygısız, H.: "Eğitim amaçlı 3 eksenli masaüstü cnc freze tasarımı ve prototipi", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, (2010) 46-56
- [9] Köbeloğlu, A.: "Eğitim amaçlı masaüstü CNC torna tezgahı tasarımı ve prototipi", *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye, (2011) 1-6
- [10] Eğilmez, M.M.: "Kartezyen koordinatlı kaynak robotu", *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2005)
- [11] Kutlu, M.: "Üç eksenli masa tipi cnc freze tezgahı tasarım ve imalatı", *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, Türkiye, (2006) 53-77,
- [12] Çaya, B.: "Adım (Step) Motorları" , Teknik Bilimler Merkezi, (2005) <http://www.teknomerkez.net/makale.php?m=92> (28.09.2011)
- [13] http://www.robotiksistem.com/step_motor_cesitleri.html (20.04.2012)

- [14] Axelson, J.: “*USB Complete*”, Lakeview Research LLC, Madison, USA, (2005) 4 - 6
- [15] İTÜ Bilgi İşlem Daire Başkanlığı, <http://www.bidb.itu.edu.tr/?d=403> (05.06.2012)
- [16] Şahin, H.; Dedeoğlu, S.K.: “*MicroC ve PIC18F4550*”, Altaş Yayıncılık, İstanbul, (2012), 88-95
- [17] Budak, E.: “Analytical models for high performance milling Part I:Cutting Forces,structural deformations and tolerance integrity”, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46, (2006), 1478-1488
- [18] Turgut, Y.: “Bağlama kalıplarında bağlama kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılan emniyet katsayılarının deneysel olarak incelenmesi”, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye, (2007) 17
- [19] Tosun, E.: “Frezeleme işlemlerinde genetik algoritma yaklaşımı ile kesme koşullarının optimizasyonu”, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye, (2006)
- [20] Shaw, M.C. : “*Metal Cutting Principles*”, Oxford University Press, Oxford, (1989), 1-9, 86-95
- [21] Ay, M.; Erdoğan, O.; ve Kurt, M.: ”CNC Freze tezgahlarında yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin belirlenmesi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, (2003), 317-329
- [22] Gülmez, S.; Gürler, M.; ve Boztoprak, Y.: “2F-7B Bor alaşımlı çelik malzemenin düzlem yüzey frezelenmesinde kesme parametrelerinin işlenebilirliğine etkisi”, *3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Ankara, Türkiye, (2003), 292-307
- [23] <http://151320071017.tr.gg/Planya-%26%23304%3Ble-D.ue.zlem-%26%23304%3B%26%23351%3Bleme.htm> (27.11.2011)
- [24] Ugural, Ansel C. : “*Mechanical Design, An Integrated Approach*”, Mc Graw Hill, USA, (2004), 355-357
- [25] http://tr.wikipedia.org/wiki/C_Sharp (21.06.2012)
- [26] Yazıcı, S.: “İki eksenli dairesel enterpolasyon yapabilen kontrol kartı tasarımı”, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, Türkiye, (2004)

EKLER

EK 1 C# Önemli kaynak kodları

Dosyadan kod okunması

```
private void button14_Click(object sender, EventArgs e)
{
    string yol,deger;
    openFileDialog1.ShowDialog();
    yol = openFileDialog1.FileName;
    FileStream Dosya = new FileStream(yol, FileMode.OpenOrCreate,
    FileAccess.Read, FileShare.None);
    StreamReader Oku = new StreamReader(Dosya);
    deger = Oku.ReadLine();
    while (deger != null)
    {
        listBox1.Items.Add(deger.Trim()); //satır satır oku
        deger = Oku.ReadLine();
    }
    Oku.Close();
    Dosya.Close();
}
```

G kodlarının analiz edilmesi

```
private void son_islemler()
{
    var r = new Regex(@"(?<=[A-Z])(?=[A-Z][a-z])|(?<=[^A-Z])(?=[A-Z])
|(?<=[A-Za-z])(?=[^A-Za-z])", RegexOptions.IgnorePatternWhitespace);
    for (int k = 0; k <= listBox1.Items.Count-1; k++)
    {
        string s = Convert.ToString(listBox1.Items[satir]);
        string son;
        son = r.Replace(s, "p");
        int hiz = 0, x_mesafe = 0, y_mesafe = 0, z_mesafe = 0;
        string[] dizi = son.Split('p');
```

```

for (int i = 0; i <= dizi.Length - 1; i++)
    if (dizi[i] == "G")
        hiz = Convert.ToInt32(dizi[i + 1]);
    else if (dizi[i] == "X")
        x_mesafe = Convert.ToInt32(dizi[i + 1]);
    else if (dizi[i] == "Y")
        y_mesafe = Convert.ToInt32(dizi[i + 1]);
    else if (dizi[i] == "Z")
        z_mesafe = Convert.ToInt32(dizi[i + 1]);
satir++;
usb_gonder(hiz, x_mesafe, y_mesafe, z_mesafe);
}

```

USB'den veri gönderilmesi

```

private void usb_gonder(int hiz,int x_mesafe,int y_mesafe,int z_mesafe)
{
    try
    {
byte[]dizi=newbyte[usbHidPort1.SpecifiedDevice.OutputReportLength+1];
        dizi[0] = 0;
        dizi[1] = Convert.ToByte(hiz);
        dizi[2] = Convert.ToByte(x_mesafe);
        dizi[3] = Convert.ToByte(y_mesafe);
        dizi[4] = Convert.ToByte(z_mesafe);

        if (usbHidPort1.SpecifiedDevice != null)
        {
            usbHidPort1.SpecifiedDevice.SendData(dizi);
        }
        else
        {
            MessageBox.Show("USB Cihazı Hazır Değil,Cihazı Takınız...");
        }
    }
}

```

```
catch
{
    MessageBox.Show("CNC'yi USB Üzerinden Bağlayınız...");
}
}
```

```
Private void usbHidPort1_OnDataRecieved(object sender,
UsbLibrary.DataRecievedEventArgs args)
```

```
{
    index1++;
    if (index1 < listBox1.Items.Count)
    {
        son_islemler();
    }
    else
    {
        MessageBox.Show("Tüm satırlar işlendi...");
        satir = 0;
    }
}
```


EK 2 MicroC Önemli program Kodları

USB'den veri alınması

```
while(1){
while(!HID_Read());
g_hiz=readbuff[0];
x_mesafe=readbuff[1];
y_mesafe=readbuff[2];
z_mesafe=readbuff[3];

if(x_mesafe&& y_mesafe!=0)
    enterpolasyon=1;
else if(x_mesafe!=0)
    {
        x_adim=x_mesafe*200;
        x_ileri(x_adim);
        delay_ms(100);
        while(!HID_Write(&writebuff,64));
    }
else if(y_mesafe!=0)
    {
        y_adim=y_mesafe*200;
        y_ileri();
    }
else if(z_mesafe!=0)
    {
        z_adim=z_mesafe*200;
        z_ileri();
    }
}
```

X akseni ileri hareket

```
void x_ileri(int x_adim)
{
    int x=0;
    portb.rb5=1;
    while(x<=x_adim)
    {
        if(i>hiz)
            delay_deger=i;
        else
            delay_deger=hiz;

        portb.rb4=1;
        delay_us(50);
        portb.rb4=0;
        delay_us(50);
        i=i-0.01;
        x++;
    }
}
```

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Emin Aktan 15.01.1988 yılında İstanbul ilinin Fatih ilçesinde doğdu. İlköğretimini İstanbul Ticaret Odası İ.Ö.O. ve Halil Bedii Yönetken İ.Ö.O.'da tamamladı. Liseyi Sultanahmet Anadolu Teknik Lisesi'nde bitirdi. 2006 yılında girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Mekatronik Öğretmenliği Bölümü'nden 2010 yılında 2.likle mezun oldu. Aynı yıl Marmara Üniversitesi Mekatronik Eğitimi Anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. Yine aynı yıl Bartın Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliğinde ÖYP Araştırma Görevlisi oldu. Halen Araştırma Görevliliğine devam etmektedir.