

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BEŞ EKSENLİ CNC TEZGAH TASARIMI VE**  
**KONTROLÜ**

**Deniz KAVALA ŞEN**

**Ağustos, 2010**

**İZMİR**

# **BEŞ EKSENLİ CNC TEZGAH TASARIMI VE KONTROLÜ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Deniz KAVALA ŞEN**

**Ağustos, 2010**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**DENİZ KAVALA**, tarafından **PROF. DR. EROL UYAR** yönetiminde hazırlanan “**BEŞ EKSENLİ CNC TEZGAH TASARIMI VE KONTROLÜ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....  
Prof. Dr. EROL UYAR

—————  
Danışman

.....  
—————  
Jüri Üyesi

.....  
—————  
Jüri Üyesi

—————  
Prof.Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŐEKKÖR

Bu tez çalıŐması sűresince yol gűstericiliĐi ile proje yűneticim Sayın Prof. Dr. Erol UYAR' a, yardımlarını benden esirgemeyen AraŐ. Gűr. Dr. Aytaç GűREN, AraŐ. Gűr. Őzgűn BAŐER ve AraŐ. Gűr. Dr. Levent ÇETİN' e, mekanik olarak imalat aŐamasında teknik ve maddi destek veren LAZERTEK TASARIM LTD. ŐTİ' ne, arkadaŐım Murat KurtuluŐ'a ve destekleri, anlayıŐları hiçbir zaman tűkenmeyen en bűyűk moral kaynaĐım olan deĐerli annem, babam ve eŐime teŐekkűrlerimi ve Őűkranlarımı sunarım.

## BEŞ EKSENLİ CNC TEZGAH TASARIMI VE KONTROLÜ

### ÖZ

İlerleyen CNC teknolojisiyle, beş eksenli CNC tezgahları kullanım alanları genişlemekte ve her geçen gün çok eksenli kompleks yapılu takım tezgahları üretilmektedir. Beş eksenli CNC tezgahı, birbirlerine dik üç eksenin(X, Y, Z) ve iki dönme ekseninin aynı anda hareket edebildiği işleme merkezleridir. Beş eksenli CNC tezgahlarıyla üç boyutlu serbest yüzeylerin işleme gerçekleştirilmektedir.

Bu tez çalışmasında, üniversitenin bünyesinde bulunan ve çalışmayan üç eksenli CNC tezgahı, iki döner eksenli tabla tasarlanıp üretilerek beş eksenli CNC tezgah haline dönüştürülmüştür. Tezgah üzerinde beş fazlı step motorlar bulunmaktadır. Bu motorları ve bir döner eksene alınan dört fazlı step motor için beş fazlı ve dört fazlı step motor sürücüsü tasarımı yapıp üretilmiştir. CNC tezgah kontrolü için Linux tabanlı EMC( Geliştirilmiş Makine Kontrolörü) kullanılmıştır. EMC içersinde yazılan G kodlar sayesinde iş parçalarını işlemek mümkün hale getirilip aynı anda 5 eksen çalıştırılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Beş Eksen CNC, Beş Fazlı Step Motor ve Sürücüsü, EMC

# **FIVE AXIS CNC MACHINE DESIGN AND CONTROL**

## **ABSTRACT**

In a growing up CNC technology five axis CNC machines use area became dilated. Day by day complex machine tools that have lots of axis are in produce. Five axis CNC machines are processing centers which includes three perpendicular axes that straight to each other and two rotation axis what runs at the same time. In five axis CNC machines, it makes be able to work free dimensions on free place.

In this thesis unworking three axis CNC machine found within university is transformed to five axis by designed two axis rotary table. On this machine there are five phases step motors used. For those motors and four phases step motor that set on one rotation table, designed and produced motor drivers. For CNC machine controlling is used EMC(Enhanced Machine Controller) that based on Linux. It becomes able to operate workpiece and work on five axis at the same time by G codes that written in EMC.

**Keywords:** Five Axis CNC, Five Phases Step Motor and Drivers, EMC

# İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	iii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM İKİ - CNC .....</b>	<b>4</b>
2.1 CNC Konsepti.....	4
2.2 CNC Programlamanın Temel Yapısı .....	4
2.2.2 CNC Tezgahlarda Eksenler.....	5
2.2.3 CNC Tezgahlarda Koordinat Sistemi .....	6
2.3 CNC Tezgahların Tarihçesi.....	7
2.4 CNC Tezgahların Geliştirilmesinin Amaçları .....	8
2.5 CNC Tezgahlarda Verim .....	8
2.6 CNC Tezgahların Sınıflandırılması .....	9
2.6.1 İnterpolasyon ve İnterpolasyon Türlerine Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması.....	9
2.6.2 İnterpolasyon Boyutlarına Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması .....	10
2.6.3 Kontrol Çevrimlerine Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması .....	11
2.6.3.1 CNC Tezgahlarda Koordinat Sistemi.....	11
<b>BÖLÜM ÜÇ- BEŞ EKSEN TEZGAH .....</b>	<b>13</b>

3.1 Beş Eksende İşlemeye Olan İhtiyaç .....	13
3.2 Beş Eksen Tezgah Kullanımının Avantajları/ Dezavantajları .....	14
3.2.1 Avantajlar .....	14
3.2.2 Dezavantajları .....	14
3.3 Beş Eksen Konfigürasyonları.....	14
3.3.1 Beş Eksenin Genel Sınıflandırılması .....	15
3.3.1.1 Lineer ve Rotasyon Eksenlerine Göre Sınıflandırma.....	15
3.3.1.2 Beş Eksen Tezgahların Hareketinin Sağlayıcılarına Göre Sınıflandırma.....	16
3.3.1.3 İki Rotasyon Eksenin Durumuna Göre Beş Eksen Tezgahların Sınıflandırılması.....	16
3.4 İki Döner Eksenli Beş Eksen Tezgahın Kinematığı.....	18
3.4.1 Doğrusal (Forward) Kinematik .....	18
3.4.2 Ters (Inverse) Kinematik .....	20
<b>BÖLÜM DÖRT - MEKANİK.....</b>	<b>22</b>
<b>BÖLÜM BEŞ- ELEKTRONİK .....</b>	<b>28</b>
5.1 Step Motor.....	28
5.1.1 Step Motor Açık Döngü Konum Kontrolü.....	29
5.1.2 Step Motor Çalışma İlkesi.....	30
5.1.3 Step Motor Tork Parametreleri .....	31
5.1.4 Step Motorlarının Uyartımı.....	32
5.1.4.1 Tek Faz Uyartım .....	33
5.1.4.2 Çift Faz Uyartım .....	34
5.1.4.3 Karma Uyartım.....	35
5.2 Beş Faz Step Motor.....	35
5.3 Sürücü Devresi .....	36



5.3.1 Sürücü Devre Yapımı.....	38
5.3.2 Baskı Devre Yapımı.....	39
<b>BÖLÜM ALTI- KONTROL .....</b>	<b>42</b>
6.1 EMC Programında Step Motor Konfigürasyonları .....	36
6.2 EMC Grafik Arayüzünün Kullanımı.....	36
6.3 EMC Programı İçin G Kod Tanıtımı .....	36
6.3.1 Kullanılan G Kodlar .....	39
<b>BÖLÜM YEDİ- SONUÇ .....</b>	<b>48</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>52</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>55</b>

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Talaşlı imalat, hammaddeler üzerinden çeşitli takım tezgahları yardımıyla talaş kaldırılarak malzemenin kullanılabilir haline getirilmesi olarak tanımlanabilir. Çok eksenli ve kompleks yapıları CNC tezgahlarla istenilen üç boyutlu parçaları üretmek kolaylaşmıştır. CNC tasarımı, step motor kontrolü ve beş eksenle ilgili bugüne kadar değişik araştırmacılar tarafından değişik zamanlarda çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Apaydın H. (2006) yaptığı çalışmada adım motorlarının yapısı, çeşitleri, kontrol ve sürücü sistemleri ile dinamik modeli açıklanmıştır. Ayrıca havalandırma sisteminin kapak konumu kontrolü için visual basic programı tasarlanmıştır. RS 232 seri haberleşme portu üzerinden bilgisayar ile kontrolü sağlanmıştır. Yazılım ve mikrodenetleyicilerden faydalanarak konum kontrolü sorunsuz yapılmıştır.

Uygun D. (2006) yaptığı çalışmasında hibrit step motor, sürücüleri, seri ve paralel port bağlantısıyla visual basic programında yazılan program sayesinde kontrol edilmiştir. Programda kullanıcılara her iki kontrol sisteminde de adım, devir, açılma yol ve yön bilgileri ile ara zamanların tablo şeklinde görüntülenip grafiğini çizdirme olanağını da sunmaktadır.

Büyükşahin U. (2005) yaptığı çalışmada üç eksenli CNC freze tezgahı, onu oluşturan parça ve malzemeler hakkında bilgi verilmiştir. CNC seçim kriterlerine değinilmiştir. Tezgahın üzerine binen tüm kuvvet ve momentler tespit edilip, tüm eksen elemanları için etkileri kontrol edilmiştir. Farklı malzemeleri farklı hızlarda işleme sırasında tezgaha binen yükler hesaplanmış, en ağır şart için tezgah gücü belirlenmiştir. Tespit edilen verilere göre tezgah imal edilmiş ve imal maliyet raporu yazılmıştır.

Tamer İ. (2006) yaptığı çalışmada CNC ve benzeri robot sistemlerinde eksen motorları için kullanılan algoritmalar yerine üç boyutlu çizim algoritmalarının kullanılabilmesi gösterilmiştir. Model CNC için, yeni bir komut seti oluşturulmuş ve

bu komut setinin işlenmesi için komut editörü oluşturulmuştur. Bu komut editörü üzerinde komutlar işlenerek oluşturulan simülasyon aracılığıyla CNC freze tezgahının yapacağı işler simüle edilmiştir. Motoru süren mikroişlemci ile bilgisayar arasında iletişim seri yapılmıştır. çizim algoritmalarıyla yapılan hareket denetimi ile CNC tezgahlarda iki nokta arasındaki hareket sırasında oluşan yörünge problemi ortadan kaldırılmıştır. Ayrıca bu problem CNC tezgahlarda kullanılan motorların hız değiştirmesini ortadan kaldırarak sabit hızlı motorlar kullanılarak aynı işlemlerin yapılabileceğini kanıtlamıştır.

Karaçam S. (2009) çalışmada CNC freze tasarımı, adım motor sürücülerini araştırmış ve mikro adım sürücüler kullanılarak yüksek hızda performansları incelenmiş ve çalışma sonuçları değerlendirilmiştir.

Tunç T. L. (2006) çalışmasında küresel uçlu takım kullanan beş eksen frezeleme süreçleri için tam bir geometrik çözümleme modeli sunulmuştur ve beş eksen süreç modeliyle birlikte kullanılıp süreç benzetimi yapılmıştır. Ayrıca, kesme stratejilerini çeşitli kriterlere göre karşılaştırıp en uygun stratejiyi geliştirilmiştir.

Baptista R. ve Simoes J. F. Antune (2000) çalışmalarında işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne olan etkisini incelemişler. Yüzey pürüzlülüğünü incelemek üzere oluşturdukları geometrik model eğimli yüzeylerden, iç bükümlü yüzeylerden, dış bükümlü yüzeylerden ve düz yüzeylerden oluşmaktadır. Düz ve küresel olmak üzere iki farklı takım kullanmışlar. İşleme parametresi olarak yanal talaş genişliğini, ilerlemeyi ve ilerleme doğrultusunu seçmişler. Üç ve beş eksen frezeleme yapıp yüzey pürüzlülüklerini ve işleme zamanını ölçmüşler. Sonuç olarak ilerleme doğrultusuna, ilerleme hızına, yanal talaş genişliğine, üç ve beş eksen frezelemeye göre yüzey pürüzlülüğünün nasıl değiştiğini yorumlamışlar.

Çelik K. A. (2007) çalışmasında beş eksen CNC freze tezgahı ile üretilen eğrisel kavite yüzey pürüzlülüğünün kestirimi için bir yöntem geliştirmiştir. Kesme hızı, dış başı ilerleme ve yanal ilerleme parametreleri dikkate alınarak deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Çoklu doğrusal regresyon tekniği kullanılarak frezeleme

parametrelerine göre yüzey pürüzlülük değerini tahmin etmeye yönelik matematiksel bir formül geliştirilmiştir. Test deneyleriyle matematiksel denklemler kontrol edilmiştir.

Bu tez çalışmasında ise günümüzde kullanımı yaygınlaşan beş eksen CNC tezgahının iki döner eksen tasarımı ve açık kaynak kodlu EMC programı sayesinde kontrolü sağlanmıştır.

Bu tezin hazırlanmasındaki amaç, beş eksen işlemeyi anlamak, EMC programını kullanarak beş eksenli aynı anda çalıştırmak ve bu veya benzer konularda çalışmak isteyen arkadaşlara bir ön fikir verebilmektir.

Çalışmanın kapsamı aşağıda yer almaktadır.

- Bölüm İki’de; CNC, CNC çalışma mantığı, NC programlama, CNC tezgahlar hakkında bilgi verilmektedir.
- Bölüm Üç’te; Beş eksenin sınıflandırılması, beş eksen CNC tezgahının sınıflandırılması, konfigürasyonları ve kinematik denklemleri yer almaktadır.
- Bölüm Dört’te; iki döner eksenli tablanın tasarımı ve tasarım için yapılan hesaplamalar ele alınmıştır.
- Bölüm Beş’te; step motor ve step motor için üretilen sürücü devresi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.
- Bölüm Altı’da; paralel port üzerinden Linux tabanlı EMC kontrolörünün çalışması ve konfigürasyonları oluşturulması anlatılmaktadır.
- Bölüm Yedi’de; çalışmanın sonuçları değerlendirilmiştir.

Bu tez kapsamında tasarlanan beş eksen CNC imal edilmiştir ve başarıyla çalışmaktadır.

## **BÖLÜM İKİ**

### **CNC**

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol (CNC), Nümerik Kontrollü (NC) tezgahların ana esaslarına sahip, fakat ayrıca tezgah kontrol biriminde isteği uygun şekilde belleğe depolanmış bir programa da sahiptir. CNC büyük ölçüde NC fikrinin terk edilmesinden çok, mikro elektronik alanındaki teknolojik gelişmelerin sonucudur.

Bu bölümde kısaca CNC, CNC çalışma mantığı, NC programlama, CNC tezgahlar hakkında bilgi verilecektir.

#### **2.1 CNC Konsepti**

CNC tezgahlar, bilgisayar ile kontrol edilen tezgahlardır. CNC kelimesinin tam karşılığı, (Computer Numeric Control) bilgisayar ile sayısal kontroldür.

Sayısal kontrol, bir işlemin denetimi için sayıların, harflerin ve sembollerin kullanıldığı bir programlanabilir otomasyon şekli olarak tanımlanabilir. Bilgisayar teknolojisinin ilerlemesiyle bilgisayarlı sayısal denetimli tezgahlar ortaya çıkmış ve günümüze kadar büyük gelişmeler kaydetmişlerdir.

#### **2.2 CNC Programlamanın Temel Yapısı**

Parça geometrisinin ölçülerine ve takım boyutlarına göre CNC programlar el ile açık olarak, CNC tezgahların kullanıcı ara yüzünden ulaşılan diyalog metoduyla veya grafik destekli CAD/CAM sistemleri yardımıyla hazırlanır. CNC programlarındaki kodlar genel olarak aşağıdaki standart sınıflarına ayrılır.

Nxx : Program blok sıra numarası

Gxx : Hazırlık kodları

Fxx : İlerleme hızı

Mxx : Röle sinyal kodları

S<sub>xx</sub> : İş mili hızı

T<sub>xx</sub> : Takım numarası

X<sub>xx</sub>, Y<sub>xx</sub>, Z<sub>xx</sub>, A<sub>xx</sub>, B<sub>xx</sub>, C<sub>xx</sub>, U<sub>xx</sub>, V<sub>xx</sub>, W<sub>xx</sub> : Eksen koordinatları

Burada xx nümerik değışkeni temsil etmiştir.

Hazırlık kodları (G<sub>xx</sub>) CNC yönetici programının içindeki paket NC algoritmaları içerir. Örneğin dairesel (G02, G03) ve lineer (G01) standart kodları CNC sistemindeki gerçek zaman da çalışan kodlardır. Vida işleme, matris olarak yayılmış delikleri sırasıyla delme, takımın çap ve uzunluğunun ayarlanması gibi değışik operasyonları yapabilen alt programlar G kodları sınıfına dâhildir. Röle sinyal kodları (M<sub>xx</sub>) tezgahdaki röleye veya PLC 'ye (Programmable Logical Control) bağılı anahtarları açıp kapamak için kullanılır. Örneğin iş mili motorunun ve sulama pompasının çalıştırılması veya durdurulması, eksen ilerlemelerinin durdurulması, programın bittiğini belirtip tezgahın başlangıç noktasına götürülmesi gibi komutları içerir.

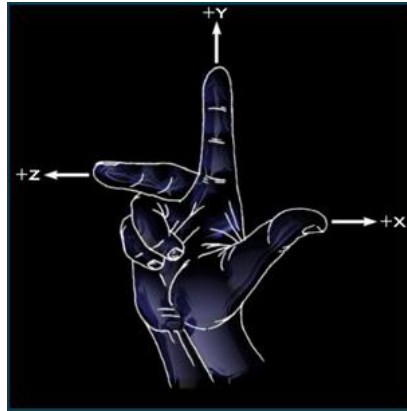
NC programı tezgahın CNC ünitesine direkt olarak klavyesinden, ethernet yardımıyla veya RS-232 seri iletişim kablosu ile merkezi imalat bilgisayarından aktarılabilir. Aynı NC program grafik destekli CAD/CAM program paketlerinden daha hızlı ve hatasız olarak parçanın resminden çıkartılabilir.

### ***2.2.1 CNC Tezgahlarda Eksenler***

CNC takım tezgahlarındaki eksenler kartezyen koordinat sistemine göre tanımlanmaktadır. Tabla ve kesici hareketleri için eksen atamaları yapılır. Tezgah iki eksen de çalışıyorsa birbirine dik iki eksen, üç eksen de hareket ediyorsa birbirine dik üç eksen tanımlanır. Eksenin bir yönü artı diğeri yönü eksidir. Eksen yönlerini tanımlanırken sağ el kuralı kullanılır.

Şekil 2.1' de gösterildiği gibi; parmak uçları + yönü gösterecek şekilde, başparmak +X yönünü, işaret parmağı +Y yönünü ve orta parmak +Z yönünü göstermektedir.

CNC torna tezgâhında temel X ve Z eksenleri mevcuttur. CNC freze tezgâhlarında üç temel eksen bulunur. Dik işleme merkezinde tablanın boyuna ilerlemesi sağlayan X eksen, enine ilerlemeyi sağlayan Y eksen ve kesicinin aşağı yukarı ilerlemesini sağlayan Z eksenidir.



Şekil 2.1 Eksen yön gösterimi

Ayrıca temel eksenlerde dönel eksenler bulunmaktadır. X eksenindeki dönel eksen A eksen, Y eksenindeki dönel eksen B eksen, Z eksenindeki dönel eksen C eksenidir. CNC tezgâhlarında yardımcı dönel eksenlerin yönleri Şekil 2.2' de görülmektedir.



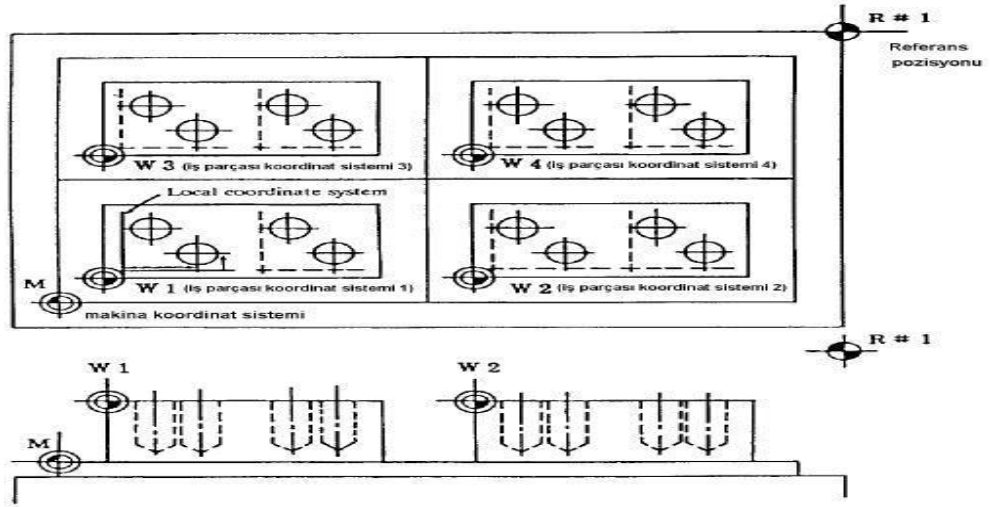
Şekil 2.2 Dönel eksenler

### 2.2.2 CNC Tezgahlarda Koordinat Sistemi

Makine Koordinat Sistemi makinede sabitlenmiştir. Makinenin yapacağı tüm hareketler bu makine koordinat sistemi baz alınarak yapılmaktadır.

İş parçası koordinat sistemleri; programlamada yardımcı olması amacıyla kullanılır ve bu sistemlerde iş parçasındaki referans noktası koordinat sıfır noktası olarak ayarlanır.

Yerel koordinat sistemi ise; iş parçası koordinat sistemi üzerinde yaratılır ve işlem operasyonları esnasında programlamayı kolaylaştırmak amacıyla kullanılır. Koordinat Sistemleri Şekil 2.3' de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Koordinat sistemlerinin gösterimi

### 2.3 CNC Tezgahların Tarihçesi

Nümerik kontrol(NC); bir işlemin denetimi için sayılardan, harflerden, noktalama işaretlerinden ve diğer sembollerden oluşan komutlar ile tezgaha talimat verme tekniğidir. Tezgah, çeşitli işleme fonksiyonlarını yerine getirmek için istenen düzen ve şekilde kodlanmış bilgiye cevap verir.



Nümerik kontrollü takım tezgahları; program satırlarındaki harf ve rakamların ikili sayı sistemindeki karşılığını bir banda deldikten sonra bu banda kodlanmış komutları okuyup, istenen hareketleri otomatik olarak yapabilen sistemlere denir.

Nümerik kontrol fikri II. Dünya savaşının sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan kompleks uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Bu tür parçaların işleyebilecek tezgahların geliştirilmesi için PARSONS CORPORATION ve MIT (Massachusetts Institute of Tecnnology) ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir CINCINNATTI-HYDROTEL freze tezgahını Nümerik Kontrol ile donatarak bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgahı imalatçısı Nümerik Kontrollü tezgah imalatına başladı. İlk önceleri NC takım tezgahlarında vakumlu tüpler, elektrik röleleri, komplike kontrol ara yüzleri kullanılıyordu. Ancak bunları sık sık tamir edilmeleri hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Daha sonraları NC takım tezgahlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler Nümerik Kontrollü sistemleride etkilemiştir. Artık günümüzde NC tezgahlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmıştır. ROM (Read Only Memory) teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanmaları mümkün olmuştur. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC' nin doğmasına öncülük etmiştir. CNC günümüzde torna, matkap vb. takım tezgahlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

#### **2.4 CNC Tezgahların Geliştirilmesinin Amaçları**

CNC tezgahların geliştirilmesinde rol oynayan faktörler aşağıdaki gibi sıralanır:

1. Üretim hızının artırılarak birim maliyetinin azaltılması
2. Şekil ve ölçü zorluğu olan, çok işlem gerektiren parçaların üretiminin kolaylıkla yapılabilmesi
3. Üretim süreçlerinde parçaların yüksek ölçü hassasiyetli elde edilebilmesi
4. Klasik yöntemlerle işlenmesi mümkün olmayan parçaların üretiminin yapılması

## 2.5 CNC Tezgahlarda Verim

Verim, en basitiyle, birim girdi başına üretilen çıktı olarak tanımlanmaktadır. CNC tezgahlarda verim, çalıştırılan tezgahın verdiği ürün ve tezgah özellikleridir.

CNC tezgahlarda verimi etkileyen unsurlar

- Doğruluk
- Tekrarlanabilirlik
- Eksen motorun kalkış gücü
- Kontrol edilen eksen sayısı
- Maksimum ulaşabileceği alan boyutları(Workspace)
- Makine ve kontrolör özellikleri

## 2.6 CNC Tezgahların Sınıflandırılması

CNC tezgahlar; tezgahın interpolasyon türlerine göre noktadan noktaya kontrol(Point to point control), doğrusal kontrol(Straight-cut control) ve eğrisel,sürekli interpolasyon(Contouring control) olmak üzere üçe ayrılır. İnterpolasyon boyutuna göre 2D(2 eksenli,2 Dimension), 2 ½ D, 3D, 4D gibi isimler alır. CNC tezgahlar kontrol çevrim tipine göre Açık devre kontrol ve Kapalı devre kontrol sistemlidir.

### 2.6.1 *İnterpolasyon ve İnterpolasyon Türlerine Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması*

Herhangi bir noktadan diğer bir noktaya olan hareketi belirleyen işleme interpolasyon denir. İki esas interpolasyon tipi vardır. Bunlar lineer interpolasyon ve dairesel interpolasyondur.

CNC sistemleri intrepolasyon türlerine göre, noktadan noktaya kontrol (PTP) ve doğrusal kontrol (CP) olarak ikiye ayrılabilir.

Noktadan noktaya kontrol: Bu kontrolde, gidiş yolu önemsenmez. Belirtilenler varış zamanı ve hedef noktanın konumudur. Tipik bir PTP sistemi CNC delme makinesinde görülebilir. Delme operasyonunda, makinenin tablası delinecek nokta tam olarak takımın altına gelene kadar hareket eder ve sonra delik delinir. Takım sayısal olarak tanımlanan noktaya hareket eder ve durur.

Doğrusal kontrol: Devamlı yolların (“Continuous Path”) interpolasyon kontrolüdür. Bu kontrolde, son konum ile hedef noktanın konumu arasındaki yol belirtilir. CP sistemli CNC makinelerde, eksen hareketi gerçekleştirilirken takım işleme devam edebilir (freze ve lazer kesimde olduğu gibi..). Tüm eksenlerin hareketi eş zamanlı ve farklı hızlarda hareket edebilir.

### ***2.6.2 İnterpolasyon Boyutlarına Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması***

İşlenecek parçanın kaç boyutlu olduğuna göre interpolasyon türü değişmektedir. Örnek olarak üç boyutlu parça 5 eksen kontrole yani 3D interpolasyon yeteneğine sahip kontrolörle kontrol edilir.

- **2 Eksen Torna (2 Axis Turning (Lathe)):** 2 Eksen standart torna. Burada XZ eksenlerinde hareket vardır. Tornada X eksen çap, Z eksen ise parçanın boyuna olan hareketi temsil eder.
- **2 ½ Eksen Freze (2 ½ Axis Milling):** CNC Freze tezgahında aynı anda XY, XZ veya YZ eksenleri hareket eder. Üçüncü eksen hareketi ardından gelir. Örnek Delik delme, kılavuz çekme, sabit derinliklerde cep boşaltma.
- **3 Eksen Freze (3 Axis Milling):** 2 ½ eksen harekete ilave olarak aynı anda XYZ eksenleri hareket edebilir. Örnek vida takımı ile helisel hareket ile erkek veya dişi vida açma.
- **4 Eksen Torna (4 Axis Turning (Lathe)):** 4 Eksen torna olarak adlandırılan bu tür tezgahlarda, torna aynasına bağlanan parçayı aynı anda iki takım

birden keser. Her bir takım karşılıklı duran ayrı bir tarete bağlıdır ve taretler senkronize olarak çalışır.

- **Sabitlenen 4 veya 5 Eksenli Freze (4th/5th axis milling, position only):** 4. ve 5. eksenlerde tezgah tablasının veya iş milinin dönme hareketidir. X eksenini etrafında dönme A, Y eksenini etrafında dönme B, Z eksenini etrafında dönme C olarak adlandırılır. Bu tür tezgahlarda tezgah istenilen açı konumuna geldikten sonra XYZ eksenlerinde kesme işlemi başlar.
- **5 Eksen Freze (5 axis milling, full contouring):** Tezgahın aynı anda 5 ekseninin birden hareket edebilme yeteneğidir. Bu hareketlerin tamamı iş milinden olabileceği gibi, iş mili ve tabladan beraberce olabilir.

### ***2.6.3 Kontrol Çevrimlerine Göre CNC Tezgah Sınıflandırılması***

CNC takım tezgahlarında iş ve işlemler kontrol sistemi aracılığı ile yerine getirilir. Bilgisayar desteği ile servo yada step motorlardan elde edilen hareketlerin sevk ve idaresi kontrol sistemleri aracılığıyla işlem bölgesine iletilir. CNC takım tezgahlarında kontrol sistemleri, açık ve kapalı devre kontrol sistemi olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

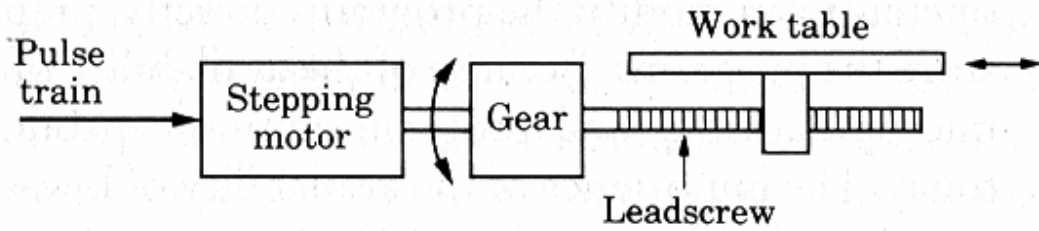
**Açık devre kontrol sistemi:** Geri beslemeye ihtiyaç duyulmadan yapılan kontrol sistemidir. Genellikle küçük boyutlu tezgahlarda kullanılır. (Step Motor Kontrolü)

**Kapalı devre kontrol sistemi:** Açık kontrol sistemlerine konum ölçü devresi eklenerek sürücülerin yaptığı hareket miktarını sistem içerisinde algılayarak, sürücülere kumanda edilmesi esasına göre çalışır. Kapalı devre motor uygulamaları servo sistemler olarak isimlendirilir. Aşağıda açık çevrim CNC kontrol sistemi anlatılmaktadır.

### 2.6.3.1 Açık Çevrim CNC Kontrol Sistemi

Bu tip kontrol sisteminde, bilgisayar tarafından üretilen sayısal faz kontrol işareti, sürücü devrede güçlendirilerek motora iletilir; buna karşılık motorun gönderilen uyarım sinyaline karşı beklenen hareketi yaptığı kabul edilir.

Motor hareketlerinin kontrolüne ihtiyaç duyulmadığı sistemlere açık çevrim CNC kontrol sistemi kullanılır. Bu tip kontrol sisteminde, bilgisayar tarafından üretilen sayısal faz kontrol işareti, sürücü devrede güçlendirilerek motora iletilir; buna karşılık motorun gönderilen uyarım sinyaline karşı beklenen hareketi yaptığı görülür. Sargıların uyarımı bir önceki adımını atılması için gerekli zaman dikkate alınarak yapılmalıdır. Eğer uyarım zaman aralığı gerekenden küçükse motor kalkış yapmaz(kararsız durum) ya da istenilen konuma hareket etmeyebilir(motor adım kaybeder). Meydana gelen hata uyarım zaman aralığının tam tespiti ve uygulanmasıyla ortadan kalkar.



Şekil 2.4 Açık çevrim kontrol sistemi

## **BÖLÜM ÜÇ**

### **BEŞ EKSEN CNC TEZGAHI**

İlerleyen CNC teknolojisiyle beş eksen CNC tezgah kullanım alanları da genişlemiştir. Beş eksen işleme operasyonları havacılık, savunma imalat sanayi, otomotiv, kalıpcılık ve medikal sektörlerinde karmaşık yüzeylerin imalatında sıklıkla kullanılır.

Havacılık imalat sanayi yoğun olarak beş eksen CNC tezgah kullanımını gerektirir. Hem yapısal parçaların imalatında hem de motor parçalarının imalatında simültane ve indeksli beş eksen imalat metotları sıklıkla kullanılır. Gün geçtikçe ilerleyen tıp dünyasında CNC ile implant ve protez imalatı gibi imalat konularında gelişim medikal imalat sanayinde her geçen gün artmaktadır.

CNC işleme makineleri genellikle hareket eksen sayılarına göre tanımlanırlar. Üç eksen işleme makinesi, üç lineer eksen de hareket sağlarken; beş eksen işleme makinesi, üç lineer eksen ve iki rotasyon eksen sayesinde yüksek kalitede kompleks yüzeyleri işleme olanağı sağlar. Üç eksen teknolojisine yatırımların, teknolojinin ilerlemesiyle birlikte beş eksen teknolojisine doğru yönlendirilmiştir.

#### **3.1 Beş Eksende İşlemeye Olan İhtiyaç**

Beş eksen tezgah, kesme ucuna parçayı bir kere sabitleme koşuluyla işleme olanağı verir. Örnek olarak, rotasyon eksenlerinde delik delmek verilebilir. Özellikle otomotiv sanayinde tek kompleks parçaların(otomobil motoru, v.b.) işlenmesinde büyük kolaylık sağlar. Beş eksen tezgahlar, serbest (free) fromları işlemede büyük avantaj sağlar. Bu tarz parçalar üç eksenle de işlenebilir fakat işleme zorlukları ve yumuşak hareket (smooth) verilememesi yüzünden pürüzlü yüzeyler ile karşılaşılır ve istenen yüzeye mekanik aksamdan dolayı yaklaşamama durumu mevcuttur.

## **3.2 Beş Eksen Tezgah Kullanımının Avantajları/ Dezavantajları**

### **3.2.1 Avantajlar**

Beş eksen tezgah ile kompleks parçalar yüksek hızlarda kesilerek işleme zamanı azaltılır. Beş eksen işlemede, kompleks yüzey geometrilerinin işlenmesinde pahalı ve kompleks fikstürlere gerek kalmaz. Parçayı bir kez bağlamanın avantajı olan daha hassas işleme elde edilmektedir. Bu sayede düşük toleranslarda parçanın işlenmesiyle kalite oranı yükseltilmektedir.

### **3.2.2 Dezavantajları**

Beş eksen tezgah yatırım maliyetinin fazla olmasıdır. Bir diğer dezavantaj ise tezgahın kullanımınıdır. Beş eksen tezgahı kullanılacak operatör veya operatörlerin eğitilmesi çok önemlidir. Beş eksen işleme; üç eksene göre daha komplekstir ve bu nedenle tezgahın hareketlerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. CAM programından gelen datanın nasıl işlendiğinden ve tezgah için dikkat edilecek hususların operatörce eksiksiz bilinmesi sağlanmalıdır.

## **3.3 Beş Eksen Konfigürasyonları**

Beş eksen konfigürasyonları, lineer ve rotasyon eksenlerine, hareket sağlayıcılarına göre çeşitlilik göstermektedir. Beş eksen konfigürasyon çeşitlerinin hepsinin kendine özgü avantajları vardır. En önemli dikkat edilecek konular, sistemin rijitliği, çalışma hacmi ve sistem doğruluğudur.

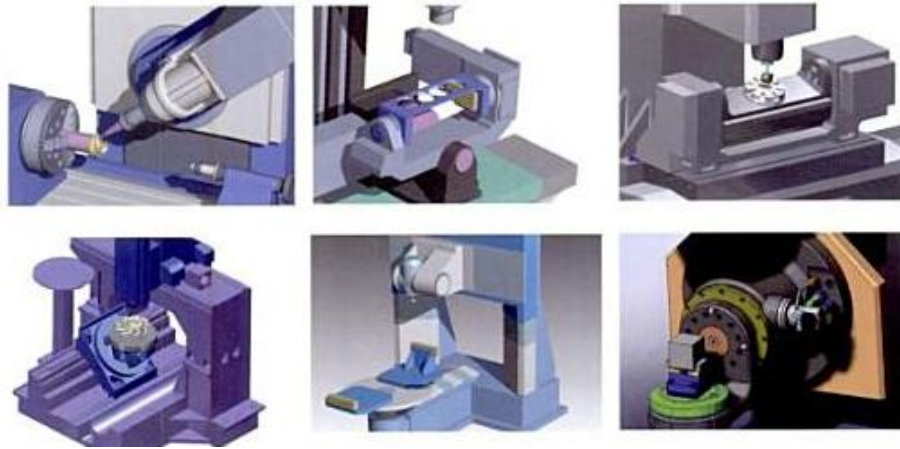
Rijitlik, bütün freze tipi tezgahlarda istenen bir özelliktir. Pozisyon doğruluğu artar ve yüksek işleme hızlarına müsaade edilir. Beş eksen tezgahlarda rijitlik, rotasyon iki eksen bulunduğu için daha büyük bir önem kazanmaktadır. Tezgahın rijitliği malzeme tipine ve işlenecek parçanın boyutlarına bağlı olarak ön hesaplanarak makine tasarımı uygun şekilde yapılır.

Çalışma hacmi de tasarımda önemli bir konudur. Mafsal hareketlerinin alanı belirlenir. Bu sayede takımın parçaya en iyi şekilde yanaşarak maksimum işlenecek parça boyutu tespiti yapılır.

Doğruluk, beş eksen tezgahlarda için kritik bir değerdir. Rotasyon eksenlerinde oluşacak açı pozisyon hataları uzunluk olarak büyük değerler verir.

### 3.3.1 Beş Eksenin Genel Sınıflandırılması

Serbestlik derecesi beş olan makine ile, keyfi pozisyonlar yaparak parçanın yüzeyinde en iyi şekilde işleme gerçekleştirilir. Genellikle beş eksen makineler lineer ve rotasyon eksenlerine, hareket sağlayıcılarına ve iki rotasyon eksen durumuna göre sınıflandırılır. Şekil 3.1’ de çeşitli konfigürasyonda beş eksen tezgahlar gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Çeşitli konfigürasyonlarda beş eksen tezgahları

#### 3.3.1.1 Lineer ve Rotasyon Eksenlerine Göre Sınıflandırma

- A. 3 lineer eksen ve 2 döner eksen
- B. 2 lineer eksen ve 3 döner eksen
- C. 1 lineer eksen ve 4 döner eksen
- D. 5 döner eksen



B, C, D şıklarında verilen sınıflandırmalar robot uygulamalarına, A şıkkı ise takım tezgah uygulamalarına girer.

### 3.3.1.2 Beş Eksen Tezgahların Hareketinin Sağlayıcılarına Göre Sınıflandırma

A. 5/0 tezgah: Bütün eksen hareketleri tablada. Bu makine türü küçük parçalar için uygulanır.

B. 4/1 tezgah: 4 eksen hareketi tabla tarafından, 1 eksen hareketi takım tarafından yapılır.

C. 3/2 tezgah: 3 eksen tabla hareketi, 2 eksen takım hareketi

D. 2/3 tezgah: 2 eksen tabla hareketi, 3 eksen takım hareketi. Bu makina türü büyük parçaları işlemek için uygundur.

E. 1/4 tezgah: 1 eksen tabla hareketi, 4 eksen takım hareketi

F. 0/5 tezgah: Bütün eksen hareketi takım tarafından yapılır.

### 3.3.1.3 İki Rotasyon Eksenin Durumuna Göre Beş Eksen Tezgahların Sınıflandırılması

A. 2/0 tezgah: 2 rotasyon eksen hareketi de tabla

B. 1/1 tezgah: 1 rotasyon eksen hareketi tabla, 1 rotasyon eksen hareketi takım

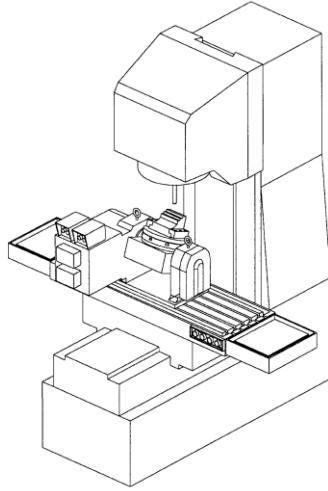
C. 0/2 tezgah: 2 rotasyon hareketi de takım tarafından yapılır.

Beş eksen konfigürasyonu ile nonlineer (lineer olamayan) yörüngelerde hareket sağlanarak istenilen yüzeyler veya işlemler gerçekleştirilir. Beş eksen ile işleme de takımın parçaya göre keyfi oryantasyonlarla pozisyon alır. Özellikle takım uzayda yüzen(floating) şeklinde oryantasyonlar yaparak parçanın tam yüzeyinde işleme yapabilmektedir. Beş eksen tezgah konfigürasyonunda daha sık kullanılanlar Şekil 3.2' de gösterilmiştir.

Kiridena ve Ferreira 'ya göre beş eksen tezgahlar:

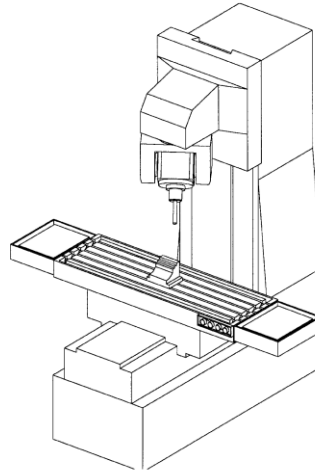
- RRTTT: 3 lineer eksen üzerinde eğimli döner tabla modeli (2/0 tezgah)

- TTTRR: 3 lineer eksen ve takımda 2 oryantasyon eksen ile bilek modeli veya Euler 5 eksen modeli (0/2 tezgah)
- RTTTR: 3 lineer eksen üzerinde döner tabla ve takımda 1 oryantasyon eksen modeli (1/1 tezgah)



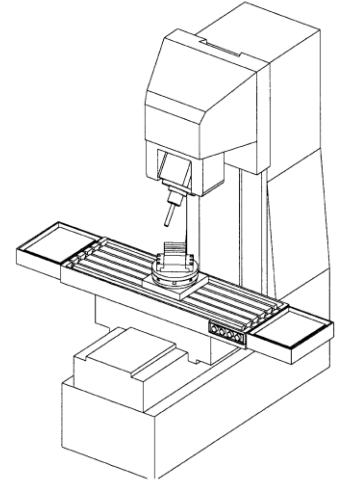
tilt-rotary table type

RRTTT



wrist type

TTTRR



rotary table type

RTTTR

Şekil 3.2 Beş eksen genel tezgah konfigürasyonları

Bunun dışında eğik düzlemde döner tabla şeklinde de konfigürasyonlar mevcuttur. Şekil 3.1 'de farklı konfigürasyon örnekleri verilmiştir.

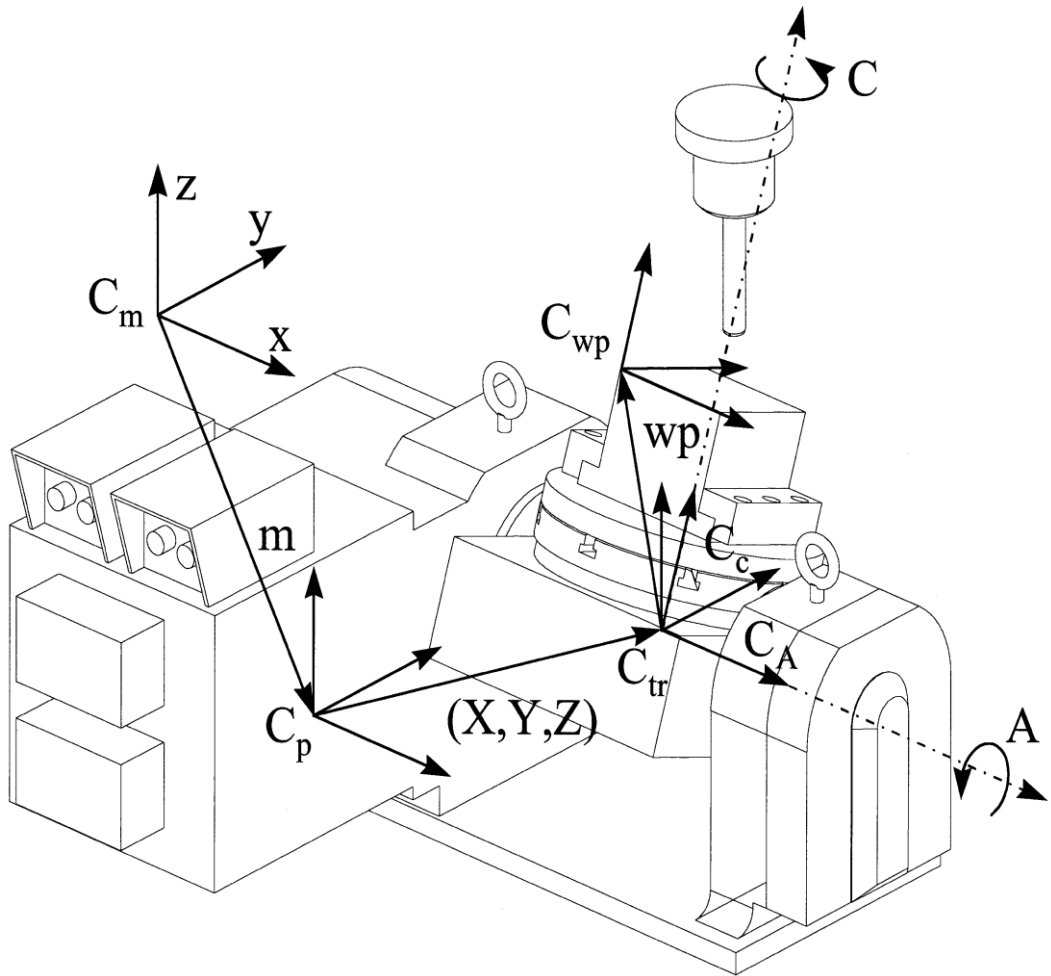
Her bir konfigürasyonun avantajları da, dezavantajları da vardır. Bilek modeli programlama için en basit konfigürasyondur, büyük ve geniş parçaların en iyi şekilde takımın gezinmesine olanak sağlar, diğer konfigürasyonlara göre rijitliği düşüktür. Yüzey işleme de bilek modeli en iyi çözümü sağlar.

İki eksen döner tabla(tilt-rotary table) modeli beş eksen talaşlı işleme de üstündür, konfigürasyon rijittir. Set up eğiminin hatası olabilir ve bu büyük parçalarda kabul edilemez. Bundan dolayı iki eksen döner tabla modeli genellikle küçük parça işleme için kullanılır.

Bilek modeli çalışma hacmi büyük olması nedeniyle lazer uygulamalarında ve büyük talaşlı imalat tezgahlarında tercih edilir. Projemizde ise üniversitede mevcut olan tezgahın boyutsal durumu ve iki döner eksenin sorunsuz imalatını sağlayacak iki eksen döner tabla konfigürasyon modelinin yapılması öngörülmüştür.

### 3.4 İki Döner Eksenli Beş Eksen Tezgahın Kinematığı

#### 3.4.1 Doğrusal (Forward) Kinematik



Şekil 3.3 İki eksen döner tabla beş eksen tezgah konfigürasyonu

İki eksenli döner tabla ile oluşturulan beş eksen konseptinin koordinat sistemleri Şekil 3.3' de gösterilmiştir. Makine koordinat sistemi  $C_m$ , CNC makine çıkışının başlangıçta ilk konumu aldığı noktadır.  $C_m$  noktası (0,0,0) olarak tanımlanır. Bütün komutlar CNC makinesine makine koordinat sistemine göre yollanır. Program koordinat sistemi  $C_p$ , m vektörüyle gösterilir. Bu koordinat sistemi parça işleme süresince makine koordinat sistemine bağlıdır. Bu vektör iki eksenli döner tablının dönme eksenini merkezinde olması gereklidir. Bu vektör tanımlandıktan sonra kontrolöre komutlar komut koordinat eksenini (0,0,0) üzerinden yollanır. İki eksenli koordinat sistemi  $C_{tr}$ , rotasyon koordinat sistemleri  $C_a$  ve  $C_c$  olarak verilmiştir. Parça ofset vektörü  $W_p$ , iki eksenli döner tabla koordinat sistemine göre parçanın koordinat sistemindeki pozisyonu verir. Her beş eksen makine g kodu; parça koordinat sistemine göre X, Y, Z, A, C den oluşan pozisyon komutlarından oluşmaktadır.

CNC makinenin kinematikliğini modellemek için, belirli koordinat sistemleri arasında homojen transformasyonlar kullanılmaktadır.

Parça koordinat sisteminde( $C_{wp}$ )  $P^{wp}$  noktasının iki eksenli koordinat sisteminde( $C_{tr}$ ) pozisyon bilgisi:

$$\begin{bmatrix} P_x^{tr} \\ P_y^{tr} \\ P_z^{tr} \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(A) & -\sin(A) & 0 \\ 0 & \sin(A) & \cos(A) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C) & 0 & 0 \\ \sin(C) & \cos(C) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x^w \\ 0 & 1 & 0 & P_y^w \\ 0 & 0 & 1 & P_z^w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_x^{wp} \\ P_y^{wp} \\ P_z^{wp} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

$P^{tr}$  noktasının iki eksenli döner tabla koordinat sisteminden program koordinat sistemine göre verilmesi:

$$\begin{bmatrix} p_x^p \\ p_y^p \\ p_z^p \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & X \\ 0 & 1 & 0 & Y \\ 0 & 0 & 1 & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x^r \\ p_y^r \\ p_z^r \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Son olarak,  $p^p$  noktasının program koordinat sisteminden makine koordinat sistemine göre verilmesi 3.3 denkleminde görülmektedir.

$$\begin{bmatrix} p_x^m \\ p_y^m \\ p_z^m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & m_x \\ 0 & 1 & 0 & m_y \\ 0 & 0 & 1 & m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x^p \\ p_y^p \\ p_z^p \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Bütün bu transformasyon matrisleri parça koordinat ekseninde verilen bir noktanın makine koordinat sistemindeki yerini belirlemek için kullanılır.

$$\begin{bmatrix} p_x^m \\ p_y^m \\ p_z^m \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C)\cos(A) & \sin(C)\sin(A) & X + m_x \\ \sin(C) & \cos(C)\cos(A) & -\cos(C)\sin(A) & Y + m_y \\ 0 & \sin(A) & \cos(A) & Z + m_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_x^{wp} \\ p_y^{wp} \\ p_z^{wp} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Post processor'ün mafsal pozisyonlarının parça koordinat sisteminde takımın doğru pozisyonda olması için ters kinematik ilişkilerine hesaplanması gerekir.

### 3.4.2 Ters(Inverse) Kinematik

Takımın yörüngesi, parça koordinat sisteminde takımın pozisyon bilgisi ve takım oryantasyon vektörlerinin kullanılmasıyla bulunur. Post processor bu vektörel bilgiyi açısız (A, C) ve lineer (X, Y, Z) olmak üzere program koordinat sistemine bağlı olarak dönüştürür. Takım oryantasyon vektörü **axis**, [0, 0, 1] olarak iki eksenli döner tabla koordinat sisteminde verilir.

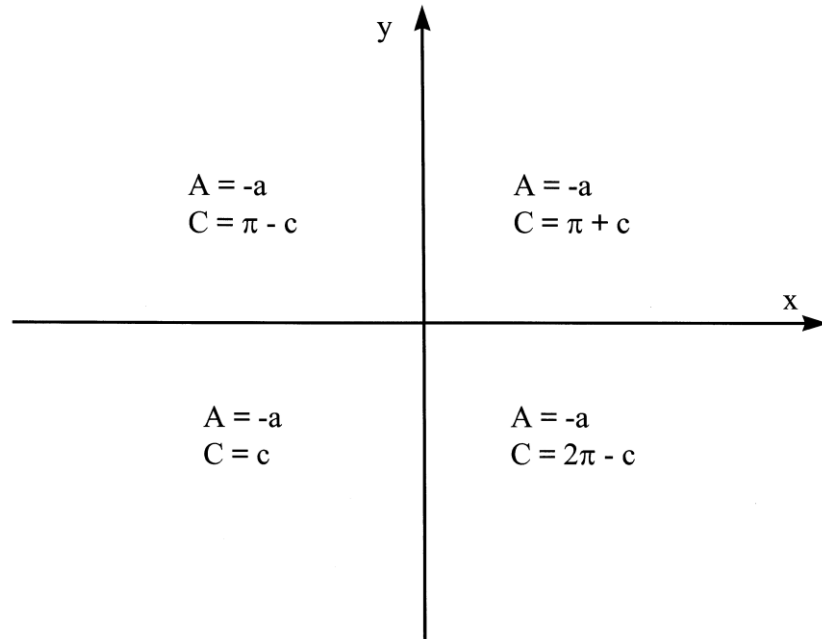
$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C)\cos(A) & \sin(C)\sin(A) & 0 \\ \sin(C) & \cos(C)\cos(A) & -\cos(C)\sin(A) & 0 \\ 0 & \sin(A) & \cos(A) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} taxis_x \\ taxis_y \\ taxis_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

Bu transformasyon çözümlenerek A ve C açıları tespit edilir. Bu açılar 3.6 ve 3.7 denklemlerinde belirtildiği gibi bulunur.

$$a = \cos^{-1} \left( \frac{\sqrt{taxis_x^2 + taxis_y^2}}{\sqrt{taxis_x^2 + taxis_y^2 + taxis_z^2}} \right) \quad (3.6)$$

$$c = \cos^{-1} \left( \frac{|taxis_y|}{\sqrt{taxis_x^2 + taxis_y^2}} \right) \quad (3.7)$$

Doğru açılar takım koordinat sistemi içerisinde quadrantal olarak hesaplanır. Şekil 3.4' de dönme için quadrantal seçim görülmektedir.



Şekil 3.4 Dönme için quadrantal seçim

X, Y, Z takım pozisyonunun dönen parçaya göre bulunması:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(A) & -\sin(A) & 0 \\ 0 & \sin(A) & \cos(A) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(C) & -\sin(C) & 0 & 0 \\ \sin(C) & \cos(C) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & P_x^w \\ 0 & 1 & 0 & P_y^w \\ 0 & 0 & 1 & P_z^w \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} tpos_x \\ tpos_y \\ tpos_z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

## BÖLÜM DÖRT

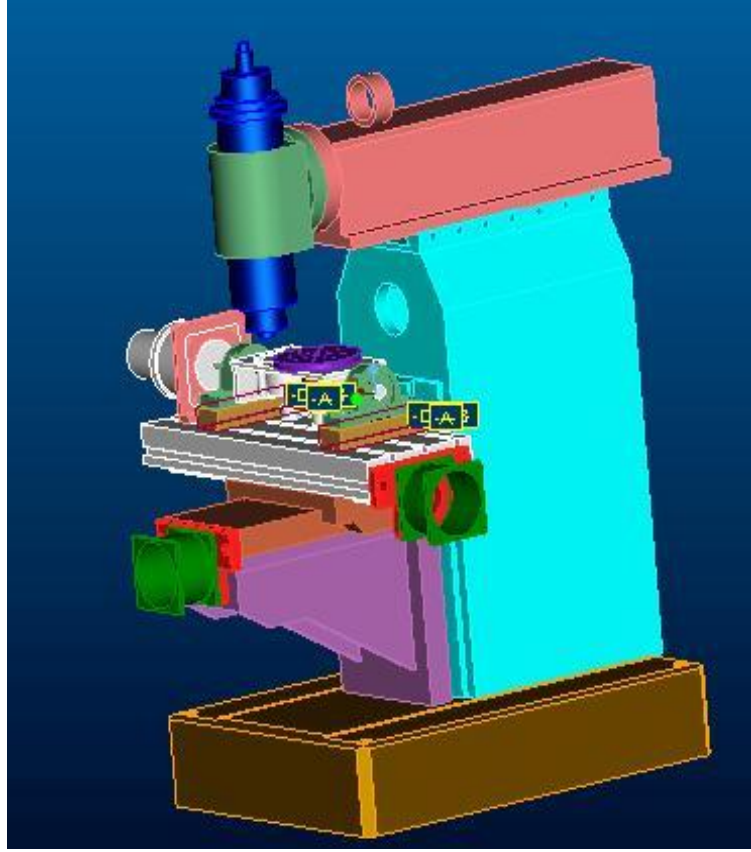
### MEKANİK

Bu bölümde mekanik olarak yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. İlk olarak üniversite bünyesinde bulunan üç eksenli CNC tezgahı üzerinden ölçü alınarak pro engineer programında çizildi. Bu işlem gerçekleştirildikten sonra iki eksenli döner tabla tasarlandı. Beş eksen tezgah modeli Şekil 4.2' de gösterilmiştir. İki eksenli döner tabla tasarlanırken bazı kısıtlamalarla karşılaşıldı. Bu kısıtlamalar: İşleme takımının en üst konumda ve Z eksenini en alt konumda tutarken maksimum işlenecek parça boyutunun tayinidir. Bu kısıtlamadan dolayı döner tabla boyutu küçük tutulmuştur. Diğer kısıtlama ise tablayı maksimum 90° eğildiğinde tezgah boyutları içerisinde yer almasıdır.(Takıma çarpmaması)



,Şekil 4.1 Üniversitede bulunan freze tezgahı





Şekil 4.2 Beş eksenli CNC tezgah modeli

İki eksenli döner tabla modellenmeden önce bazı mekanik hesaplamalar yapılmıştır.

Kesme kuvveti hesabı; malzeme, ortalama talaş kalınlığı( $h$ ), bir dişe karşılık gelen ilerleme( $s$ ), temas açısı( $\alpha$ ), aynı anda temasta olan diş sayısı( $z$ ), her bir kesimdeki ilerleme( $f_z$ ), özgül kesme kuvveti( $k$ ), talaş derinliği( $a$ ), talaş genişliği( $b$ ) gibi değerler ile referanslar ve kabuller alınarak yapılır. Freze için; kesme derinliği maksimum 1mm, nominal derinlik 0,1mm ~ 0,5mm kabul edilmiştir.

Kesilecek malzeme alüminyum olarak kabul edilmiştir.

$$k = 800N / mm^2$$

$$h \approx 0,9 \cdot f_z \tag{4.1}$$

$$h = 0,18mm / diş$$

Talaş genişliği, freze çakısı genişliğine eşittir. Üniversite bünyesinde bulunan saplı freze 10mm genişliğindedir.

$$b=10\text{mm}$$

$a=1\text{mm}$  olarak seçildi

$$z=2$$

$$F = z.b.h.k \quad (4.2)$$

$$F = 2880N$$

$$F_{ilerleme} = 0,3.F_{kesme} \quad (4.3)$$

$$F_{ilerleme} = 864N$$

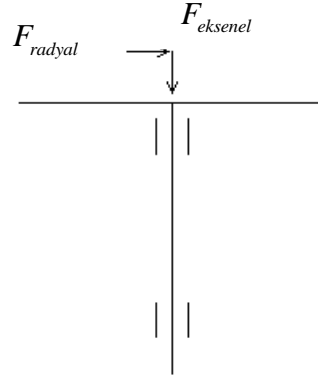
$$F_{radyal} = 0,85.F_{kesme} \quad (4.4)$$

$$F_{radyal} = 2448N$$

$$T = F_{kesme} . a \quad (4.5)$$

$$T = 2,88Nm$$

$F_{radyal}$  kuvveti, döner tablada  $F_{eksenel}$  kuvvetine eşittir. Şekil'de döner tablaya gelen aksenal kuvvet ve radyal kuvvet gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Döner tabla üzerindeki kuvvetlerin gösterimi

Mil çapı tayini (6)'deki denklemle maksimum kayma gerilmesi hipotezine göre yapılmıştır.

$$d = \sqrt[3]{\frac{32.M_e}{\pi.\sigma_{TDe}^*}} \quad (4.6)$$

$$\sigma_{TDe}^* = \frac{\sigma_{TDe} \cdot K_b \cdot K_y}{K_\zeta} \quad (4.7)$$

$\sigma_{TDe}$  : Dinamik emniyet gerilmesi

$K_b$  : Boyut katsayısı

$K_y$  : Yüzey katsayısı

$K_\zeta$  : Çentik faktörü

$$\sigma_{TDe} = 200 \text{ N/mm}^2$$

$$K_b = 0,98 \text{ (d=15mm için)}$$

Döner tabla St37 malzemedan yapılmıştır.

$K_y = 0,9$  ( $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$  ve kaba talaş alınmış)

$$K_\zeta = 1 + q(K_t - 1) \quad (4.8)$$

q: çentik hassasiyet katsayısı

$q = 0,56$  ( $R_m = 400 \text{ N/mm}^2$  ve çentik yarıçapı  $r = 0,5$  kabul edilmiştir)

$K_t$ : Teorik yığılma faktörü

$$K_t = 1,6$$

$$K_\zeta = 1,336$$

$$\sigma_{TDe}^* = 132,03 \text{ N/mm}^2$$

$d \gg 6,07 \text{ mm}$  olarak seçilmelidir.

Emniyet katsayısı  $S = 2$  seçilirse  $d = 12 \text{ mm}$  olarak tespit edilir. Eksenel yük olduğundan dolayı rulmanlar konik makaralı rulman seçimi yapılmıştır. Konik makaralı rulman iç bilezik çapı  $15 \text{ mm}$ ' den başladığı için  $d = 15 \text{ mm}$  alınmıştır.

30202 no.lu konik makaralı rulmanın  $C_{dinamik} = 12,5 \text{ kN}$ 'dur. Bu rulmanın yerleştirme şekli O düzeni olarak tercih edilmiştir. Dinamik yükleme durumu için ömür hesabı (9)'deki formülle bulunmuştur.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n} \left( \frac{C}{F} \right)^p \quad (4.9)$$

$$n = 50 \text{ d/dak}$$

$$F = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (4.10)$$

FAG katalogundan  $X=0,40$   $Y=1,75$  olarak tespit edilmiştir.

$$F=2491,2 \text{ N}$$

$$L_{10}=71704.83\text{h}$$

Bu hesaplamalar göz önünde bulundurularak döner tablanın yatayda dönen kısmı için  $d=17\text{mm}$  çapında hazır yataklı rulman tercih edilmiştir. UCP 203 no.lu rulmanın  $C_{\text{dinamik}}$  yükü  $12,88\text{kN}$ 'dur.

Hesaplamalar sonucunda mekanik tasarım yapılmıştır. İki eksenli döner tabla ile ilgili üretim resimleri ekte verilmiştir. İmal edilen parçaların montajı yapıldıktan sonra sistem beş eksene çıkartılmıştır.



Şekil 4.4 İmal edilen iki döner eksenli tabla

## BÖLÜM BEŞ ELEKTRONİK

Bu bölümde step motor ve sürücü kartı için yapılan çalışmalar anlatılmaktadır. Üç eksenli CNC tezgah üzerinde 3 adet 5 fazlı step motorlar bulunmaktadır. Bir döner eksene de üniversite laboratuvarında bulunan orta boy 5 fazlı step motor kullanılmıştır. Diğer döner eksene 4 fazlı step motor alındı.

### 5.1 Step Motor

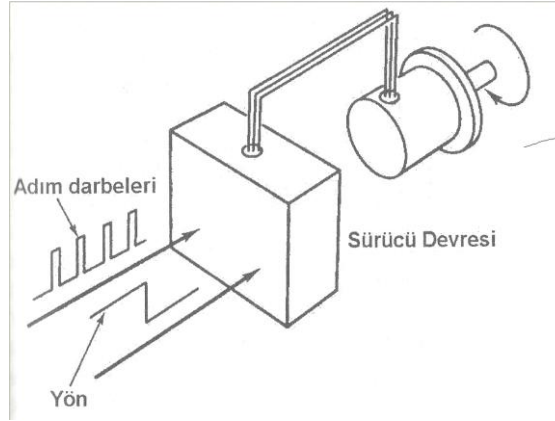
Step motorlar (adım motorları), girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık, analog dönme hareketi yapabilen elektromagnetik elemanlardır. Adım motorlar, bilgisayarlar, mikroişlemciler programlanabilir kontrolörler tarafından doğrudan kontrol edilebilir.



Şekil 5.1 Step motor

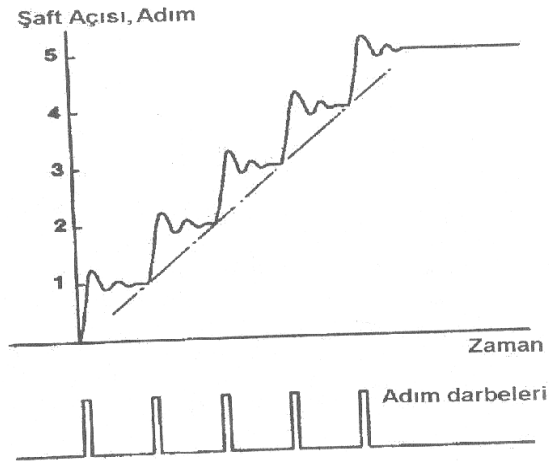
Adım motorların diğer motorlardan farklı özelliği, çıkış şaftının seri ayırık açısız aralıklarda veya adımlarda dönmesidir, her komut darbesi alınışında, adım motor, bir adım döner. Belirli sayıda darbe sağlanmış olduğunda, şaft, bilinen bir açı kadar dönmüş olacaktır ve bu, motorun ideal olarak açık döngü konum kontrolü için uygun olmasını sağlar.

### 5.1.1 Step Motor Açık Döngü Konum Kontrolü



Şekil 5.2 Açık döngülü konum kontrolü

Temel bir adım motor sistemi Şekil 5.2' de gösterilmiştir. Sistemin çıktısı, motor shaftının açısal konumu iken, girdi; iki tane düşük-güçlü sayısal sinyalden oluşur. Adım giriş hattında her darbe oluştuğunda, motor bir adım ilerler, yeni bir adım darbesi gönderilene kadar shaft, yeni konumunda kalır. Yön hattının durumu motorun saat yönüne veya tersine dönmesini belirler. Darbeler ve adımlar arasındaki bu birebir uyuşma, adım motorunun çok iyi bir özelliğidir.



Şekil 5.3 Düşük frekanslı adım komut darbesine karşı tipik adım tepkisi

Beş adımlı bir dizi için adım darbeleri ve motor tepkisi Şekil 5.3' de gösterilmektedir. Eşit zaman aralıklarına sahip beş adım komut darbesi mevcuttur ve motor, her bir darbeyi takiben bir adım döner.

Şekil 5.3' e atıf yapılarak, üç önemli genel özellik tanımlanabilir. İlk olarak, toplam dönülen açının sadece darbe sayısı tarafından belirlenmesine rağmen, şaftın ortalama hızı( bu değer, Şekil 5.3' deki kırık çizginin eğimi ile gösterilmektedir.) osilatör frekansına bağlıdır. Frekans ne kadar yüksek olursa, beş adımın tamamlanması için geçen süre o kadar kısa olacaktır.

İkinci olarak, adım işlemi mükemmel değildir. Rotorun bir konumdan diğerine geçmesi için belirli bir süre gereklidir ve sonunda rotor yeni konumunda sabit hale gelmeden önce aşma ve salınım gerçekleştirir. Toplam tekli adım süreleri, motor büyüklüğüne, adım açısına ve yükün yapısına bağlı olarak değişir ancak genelde bu süreler 5 ile 100 ms civarındadır.

Üçüncü olarak, bir adım dizisinin sonunda mutlak konumdan emin olunması için, başlangıçtaki mutlak konumu bilmeliyiz. Bunun sebebi, adım motorun artımlı bir cihaz olmasıdır.

### **5.1.2 Step Motor Çalışma İlkesi**

Adım motorların dayandığı çalışma ilkesi çok basittir. Bir demir ya da çelik çubuk, bir manyetik alanda serbestçe dönecek şekilde asılı ise, bu çubuk, manyetik alana göre hizalanacaktır. Manyetik alanın yönü değiştirilirse, çubuk, manyetik direnç torqu tarafından yeniden hizalanana kadar dönecektir.

En önemli iki motor tipi, değişken manyetik dirençli(VR) tip motor ve hibrit tipi motordur. Her iki tip de, manyetik direnç ilkesini kullanır, aralarındaki fark; manyetik alanların üretilme metotlarıdır. VR tipinde, alanlar sadece akım taşıyan durağan sargı grupları tarafından oluşturulmaktadır. Hibrit tipi de sargı gruplarına sahiptir ancak sabit mıknatısın eklenmesi bu tip motorların hibrit olarak



tanımlanmasını sağlar. Her iki motor tipinin de aynı temel ilkeye göre çalışmasına rağmen, uygulamada VR tipinin daha büyük adım açıları için ve hibrit tipinin küçük adım açısı değerleri için uygun olduğu ortaya çıkmıştır.

### 5.1.3 Step Motor Tork Parametreleri

Bir motordan, herhangi bir devirde beklenen torkun büyüklüğü, motorun gücü ile orantılıdır. Sabit güç altında itme kuvveti artarken hız düşer, hız artarken ise itme kuvveti düşer ve dolayısıyla tork da düşer.

$$P = I \times V \quad (5.1)$$

( Güç = Akım x Gerilim )

$$P = F \times V \quad (5.2)$$

( Güç = Kuvvet x Hız )

$$P = T_m \times \omega_n \quad (5.3)$$

(Mekanik Güç = Tork x Açısal Hız )

$$T_m = F \times r \quad (5.4)$$

(Dönme Momenti [Tork] = Kuvvet x Yol )

Step motor kataloglarında dört çeşit tork parametresine rastlanılır. Bu parametreler genellikle tork hız grafikleriyle birlikte kataloglarda sunulur.

- **Detent Torque** (Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku)

Sargılara besleme gerilimi uygulanmıyorken, step motor şaftını döndürmek için gerekli olan maksimum tork miktarıdır.

- **Holding Torque** (Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku)

Holding Torque, “tutma torku” ya da “statik tork” olarak da bilinir. Enerjili halde motor duruyorken üretilen maksimum tork miktarıdır. Tutma torku bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir.

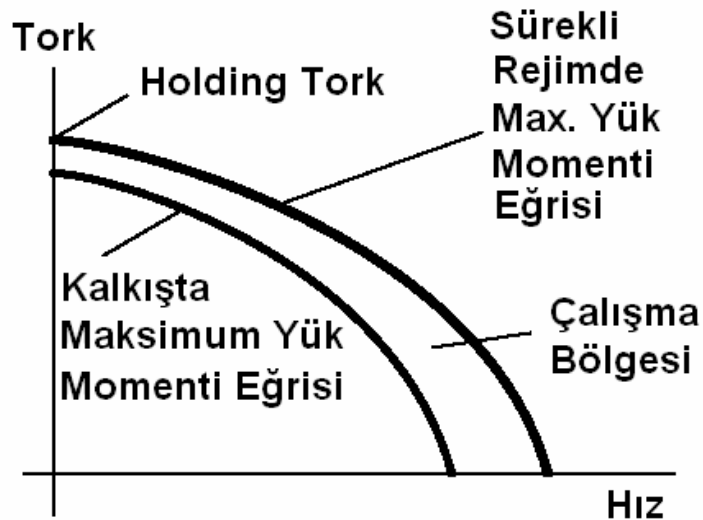
- **Pull in Torque** (Kalkıştaki Maksimum Yük Momenti)

Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyarım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyarım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp hızlandırmasına izin vermeyebilir. Bu yüzden adım motorları için, kalkışta maksimum yük momentini eğrileri tanımlanır.

- **Pull Out Torque** (Sürekli Rejimdeki Maksimum Yük Momenti)

Bu parametre de motor hızına bağlı olarak değişeceğinden sürekli rejimde maksimum yük momentini eğrisinden bahsedilir.

Şekil 5.4’ de step motorun tork hız grafikleri gösterilmiştir. Çalışma bölgesi içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi olmadan ilgili hız ve yük momentini ile çalışır.

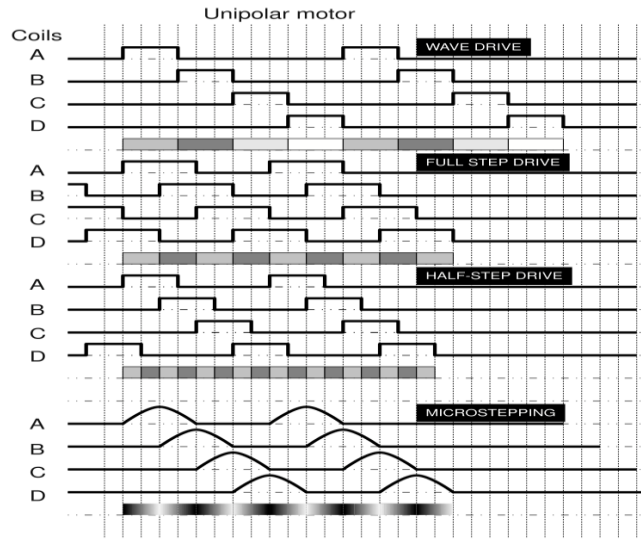


Şekil 5.4 Step motorun tork hız eğrileri

### 5.1.4 Step Motorlarının Uyartımı

Step motorların dört farklı uyartım şekli vardır ve Şekil 5.5’ de gösterilmiştir. Bunlar çift faz uyartım, tek faz uyartım, karma uyartım ve küçük adım tekniğidir.

Genellikle step motoru sürmek için Çift faz(Full step) uyartımı kullanılır. Burada iki fazda uyartımdadır. Motorun tam torku bu uyartım ile elde edilir. Tek faz(wave drive) uyartımda motordan daha az tork alınır. Az uygulanan bir yöntemdir. Yarım adım(Half stepping) uyartım etkin adım açısı yarıya iner ve böylece çözünürlük iki katına çıkar. Yaklaşık tork değeri %70 kadar düşer. Küçük adım(MicroStepping) tekniği, motor adımının eşit büyüklükteki alt adımlara ayrılmasını sağlayan çift faz uyartım şeklinde çalışmaya dayanır. Bu sistem genellikle çözünürlüğün iyi olması gereken yerlerde kullanılır.



Şekil 5.5 Dört fazlı step motor için farklı uyartım şekillerine cevabı

#### 5.1.4.1 Tek Faz Uyartım( Wave Drive)

Motor sargılarının sadece birinin uyartıldığı uyartım cinsine tek-faz uyartımı adı verilir. Şekil 5.6’ da dört fazlı adım motoru için tek-faz uyartım sırasındaki fazların

durumu görülmektedir. Bu uyarım metodunda rotor her bir uyarım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır.

Step	Bobin 4	Bobin 3	Bobin 2	Bobin 1	
a.1	on	off	off	off	
a.2	off	on	off	off	
a.3	off	off	on	off	
a.4	off	off	off	on	

Şekil 5.6 Tek fazlı uyarım

#### 5.1.4.2 Çift faz uyarım (Full Step)









Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyarıldığı uyarım cinsine çift-faz uyarımı adı verilir. Şekil 5.7' de fazların uyarım sırası görülmektedir. İki faz uyarımıyla rotorun geçici durum tepkisi tek-faz uyarımlaya göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır.

Step	Bobin 4	Bobin 3	Bobin 2	Bobin 1	
b.1	on	on	off	off	
b.2	off	on	on	off	
b.3	off	off	on	on	
b.4	on	off	off	on	

Şekil 5.7 Çift faz uyarım

#### 5.1.4.2 Karma (2 Fazlı Yarım Adım) Uyartım (Half Step)

Bu uyartım yönteminde tek-faz uyartımı ile iki-faz uyartımı ard arda uygulanır. Burada rotor her bir uyartım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Şekil 5.8’ de fazların uyartım sırası görülmektedir. Bu uyartım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır.

Step	Bobin 4	Bobin 3	Bobin 2	Bobin 1	
a.1	on	off	off	off	
b.1	on	on	off	off	
a.2	off	on	off	off	
b.2	off	on	on	off	
a.3	off	off	on	off	
b.3	off	off	on	on	
a.4	off	off	off	on	
b.4	on	off	off	on	

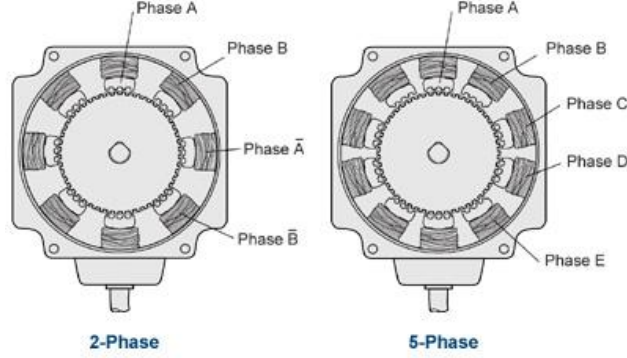
Şekil 5.8 Karma uyartım

Step motorların uyartımı dört faz için şekillerle desteklenerek anlatılmıştır. Beş fazlı step motorları uyartım şekli motor üzerinde tork denemeleri yapılarak tespit edilmiştir.

## 5.2 Beş Faz Step Motor

Oriental motor firmasının teknik destek internet sitesine atıfta bulunarak beş fazlı motor iki fazlı motora göre performansı çok yüksektir. Performansı etkileyen parametreler titreşim, tork, doğruluk, kararlılık, senkronizasyondur. İki fazlı ile beş fazlı step motor arasında farklar bulunmaktadır. İlk olarak, iki fazlı motorun statoru

sekiz manyetik kutuptan yapılabilen, beş fazlı motorun statoru on manyetik kutuptan oluşmaktadır. İkincisi ise faz sayısıdır.



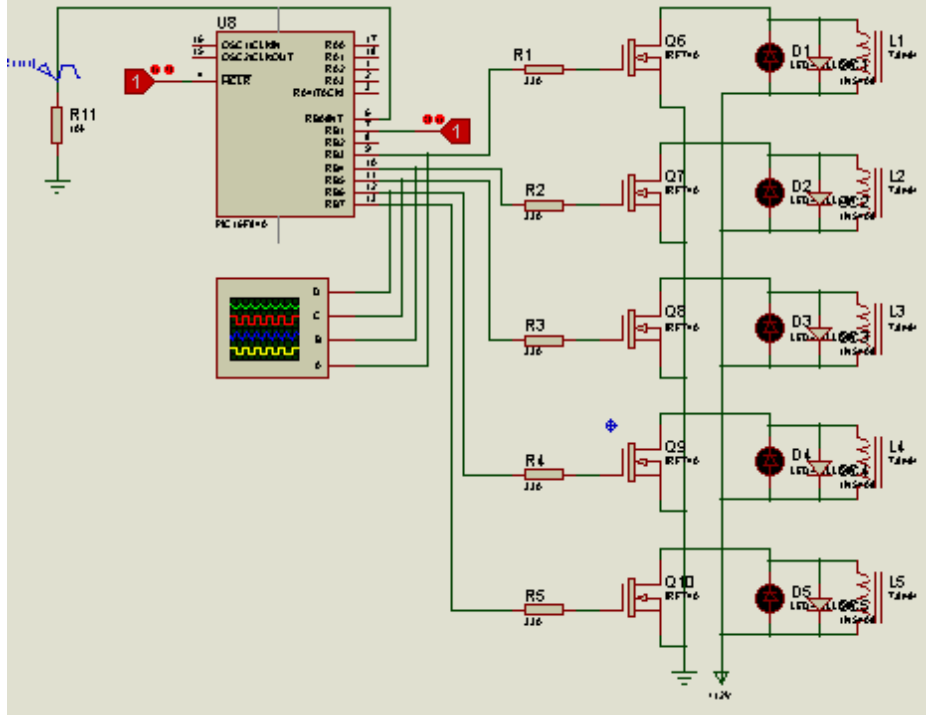
Şekil 5.9 İki fazlı ile beş fazlı step motor karşılaştırılması

Üniversitede bünyesinde bulunan beş fazlı step motorun hiçbir özelliği bilinmediği için faz uyarım şekilleri denenerek en iyi tork veren tam step uyarım şekli tercih edilmiştir.

### 5.3 Sürücü Devresi

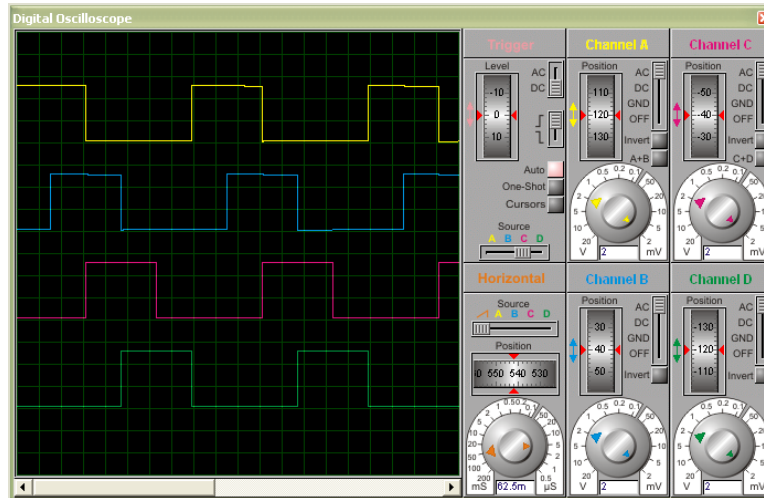
Bir adım motorun çalışma performansı, büyük ölçüde kullanılmakta olan sürücü devresine bağlıdır. Step motor sürücü elemanı olarak, MOSFET yarı iletken kullanılması tercih edilmiştir. Ayrıca anahtarlama hızları da yüksektir.

Sürücü devresi tasarlanırken belirli aşamalardan geçirilmiştir. İlk aşama Proteus üzerinde devre tasarlanmıştır. Bu devre Şekil 5.10' da gösterilmektedir.



Şekil 5.10 CCS kod için deneme proteus devresi

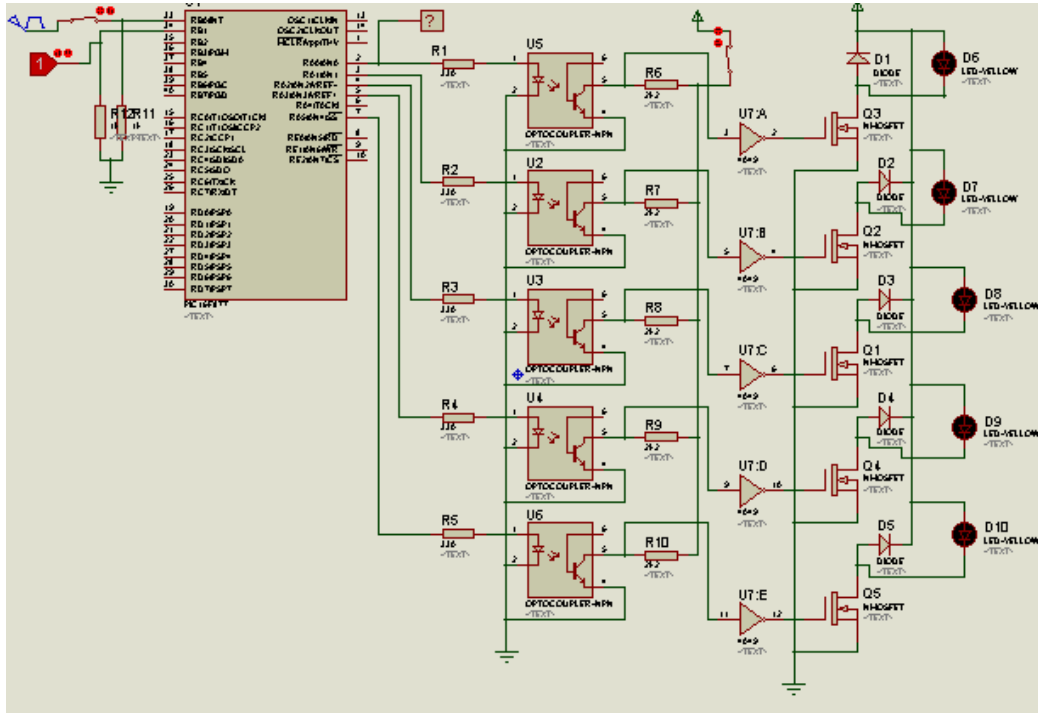
Bu devrenin çalıştırılabilmesi için CCS C adlı program kullanılarak Beş fazlı step motor sürme algoritması programlanmıştır. Bu program ekte verilmiştir. Bu işlem sonucunda proteus programı sayesinde algoritmanın çalışması kontrol edilmiştir. Proteus programı içersine eklenen dijital oskiloskop sayesinde fazlara nasıl akım yollandığı hakkında fikir edinilmiştir. Beş fazlı step motorun tam adım uyarımı Şekil 5.11’ de gösterilmektedir.



Şekil 5.11 Beş fazlı motorun dijital oskiloskopta uyarım gösterimi







Şekil 5.13 Beş fazlı step motor sürücü Proteus devresi

### 5.3.2 Baskı devre Yapımı

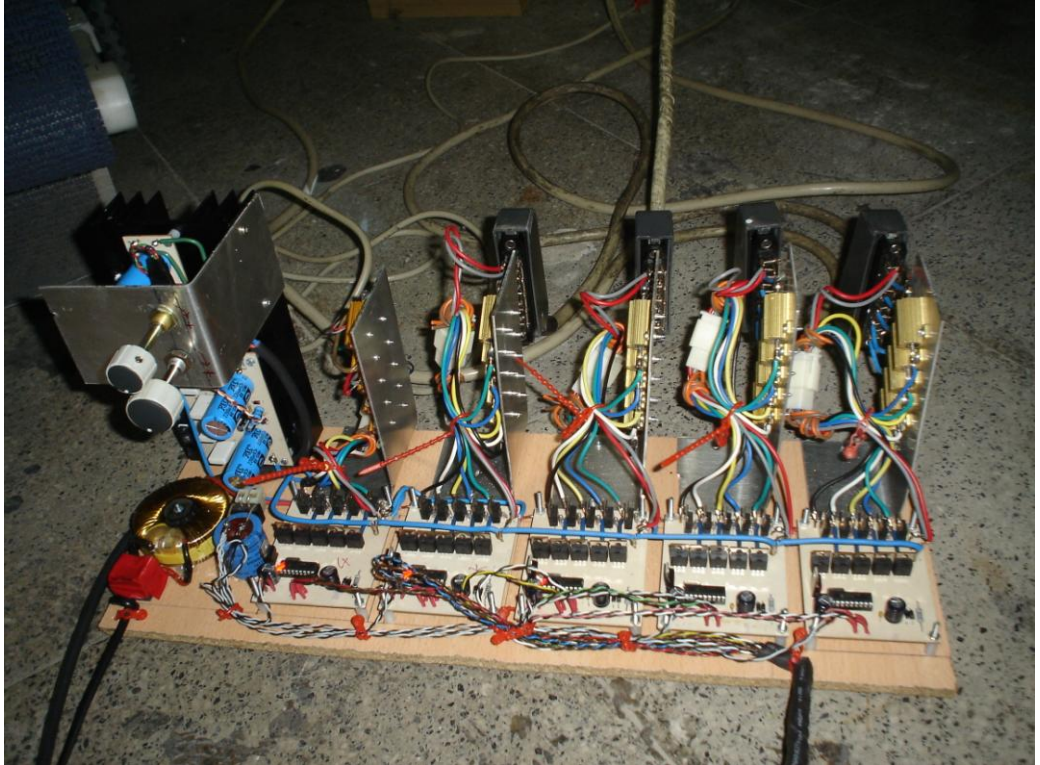
Bakır levha alındı ve board ölçümleri yapıldıktan sonra board boyutlarında işaretlendi. Testere ile kesim yapıp eğe ile levhanın kenarları düzeltildi. Sert yüzeyli scotch brite sünger ile bakır levha yüzeyi bozular. Bu işlem termal transfer işleminin başarı ile gerçekleşmesi için çok önemlidir. Bu termal transfer işlemi, lazer printer'in plastik tonerindeki partiküllerin plakete daha iyi tutunmasını ve dağılmamasını sağlar. Scotch brite ile plaket üstündeki bakır oksit tabakası temizlendi. Bu işlem yapıldıktan sonra yüzeyin temiz tutulması sağlanır. Parmak izi veya vücut yağlarından korunması gereklidir. Parlak yüzeyli kuşe kağıda baskı modu en iyi ve kağıdı ağır olarak seçilerek lazer printer' den ayna görüntüsü basılır. Bu birebir çıktı falçata yardımıyla kesildi ve board yüzeyi ellenmeden yerleştirildi. Ütü ile baskı plaketi yapıştırıldı sonra kağıdın eriyip çıkması için ılık suda 1 saat kadar bekletildi. Kağıt söküldükten sonra yollar kontrol edildi. Tuz ruhu(Aktif asit) ile perhidrol(katalizör) çözeltisi ile plastik malzeme dışında kalan bakır atıldı. Bu işlemden sonra tiner ile kalan yollar üzerindeki plastik temizlendi. Bakır yollar

avometre ile ölçülüp kısa devre olup olmadığı kontrol edildi. Bu işlemler sonucunda baskı devresi oluşturuldu.

Baskı devresi hazırlandıktan sonra plaket üzerindeki delikler delindi ve elektronik devre elemanları lehimlendi. Avometre ile kısa devre kontrolü yapıldı. Osilatör devresi NE555 ile sürücü devre denendi. Oskiloskop yardımıyla girdiden başlayarak çıkışa doğru devrenin tamamı kontrol edildi. Daha sonra motor bağlanarak çalıştırıldı.

Motorun tam adımli sürme yöntemi ile sürülürken ısınması motorun gövdesine termokoupler sabitlenerek ölçümler yapıldı. Bu deneyi yapmaktaki amaç motorla ilgili hiçbir veri elimizde olmadığından dolayı motorun hangi frekansta zorlanacağı hakkında bilgi edinmektir. Deneyler ekte belirtilmiştir.

Bu veriler sonucunda Şekil 5.14' de gösterilen beş eksen için step motor kartlar tasarlanıp bir plakaya sabitlendi.



Şekil 5.14 Üretilen step motor sürücüleri

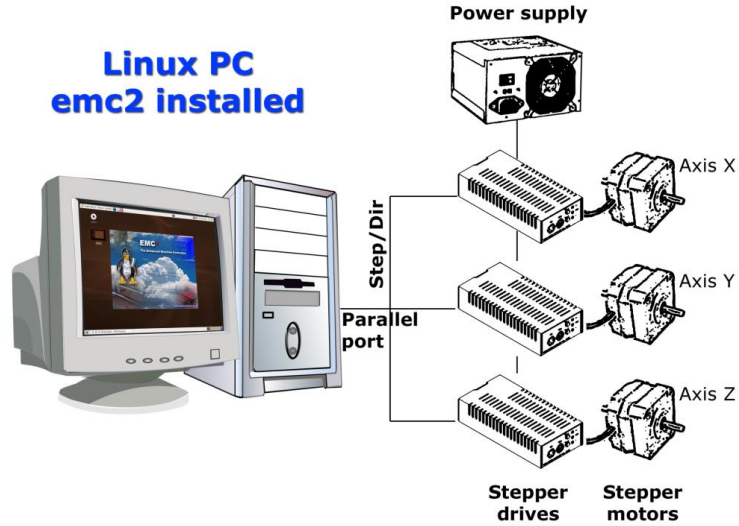
Frekans azaldıkça yani hız düştükçe tork ve akım artıyor. Akımın artmasına bağlı olarak motor gövde sıcaklığı yükseliyor. Bu deneyler sonucunda gövde sıcaklığının aşırı ısınmadığı tespit edilmiştir. Bu bulgu sonucunda motorların istenilen hızlarda çalıştırılması sağlandı.

## BÖLÜM ALTI

### KONTROL

Beş eksenli CNC makinesinin kontrolü paralel port bağlantısıyla Linux tabanlı EMC( Enhanced Machine Control) adlı program ile yapıldı. Gelişmiş makine kontrolör (EMC) CNC işleme programıdır. EMC, torna, freze, robotlar ve diğer otomasyon işlemleri için kullanılan makinelerin kontrol sistemidir. EMC, servo motorları, step motorları, röleleri ve diğer makine donanımlarını kontrol eder.

EMC donanımı dört ana ekipmandan oluşmaktadır. Hareket kontrolü, ayrıklı zamanlı input output kontrolü, grafik ara yüzü, G kod algılayıcıdan oluşur. Ek olarak içerisinde yazılımsal olarak PLC yer almaktadır. PLC M kodların çalışmasını sağlayan ve makinenin güvenlik komutlarının girildiği mantıksal işlemleri yapan kısımdır. Şekil 6.1’ de tipik üç eksen EMC çalışma sistemi blok diyagramı olarak gösterilmiştir.

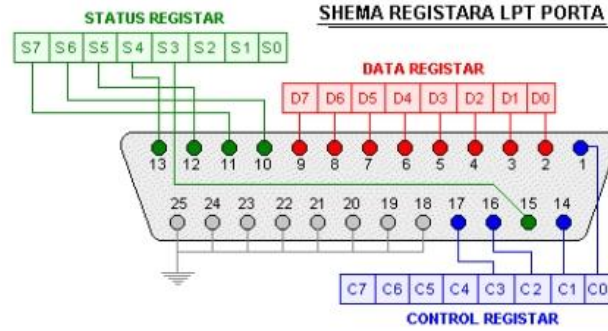


Şekil 6.1 EMC (Enhanced Machine Controller) çalışma sistemi

Bu diyagram step motor sistemini kısaca gösterir. Linux işletim sistemiyle çalışan EMC programı, step motorlara paralel port üzerinden her bir motora pals ve yön sinyalleri yollayarak step sürücülerle CNC sistemini çalıştırır.

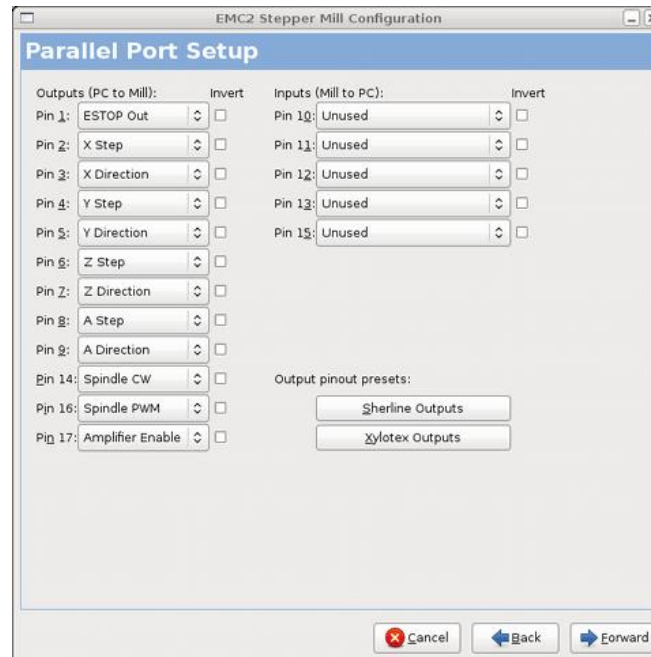
## 6.1 EMC Programında Step Motor Konfigürasyonları

Step motor konfigürasyonu oluşturulmadan önce paralel port konfigürasyonu yapılmalıdır.



Şekil 6.2 Sürücü kartından çıkan paralel port konnektörleri

Paralel port uçları genel kullanımı Şekil 6.2’ de gösterilmiştir. EMC programı konfigürasyon kurulumun ilk aşamasında paralel portun pinleri bilgisayardan CNC sisteme ve CNC sisteminden bilgisayara veri alış verişi için giriş ve çıkış pinleri olarak verilmiştir. Burada pin tanımlanması Şekil 6.3’ deki gibi yapılmıştır.



Şekil 6.3 EMC paralel port konfigürasyonu

Daha sonra eksen konfigürasyonları Şekil 6.4' de gibi verilen antet CNC sistemi verilerine uygun olarak dolduruldu.

The screenshot shows the 'X Axis Configuration' window in EMC2. The parameters are as follows:

Motor steps per revolution:	200	<input type="button" value="Test this axis"/>
Driver Microstepping:	2	
Pulley teeth (Motor:Leadscrew):	1 ; 1	
Leadscrew Pitch:	20 rev / in	
Maximum Velocity:	1 in / s	
Maximum Acceleration:	30 in / s <sup>2</sup>	
Home location:	0	
Table travel:	0 to 8	
Home Switch location:	0	
Home Search velocity:	0.05	
Home Latch direction:	Same	
Time to accelerate to max speed:	0.0333 s	
Distance to accelerate to max speed:	0.0167 in	
Pulse rate at max speed:	8000.0 Hz	
Axis SCALE:	8000.0 Steps / in	

Buttons at the bottom:

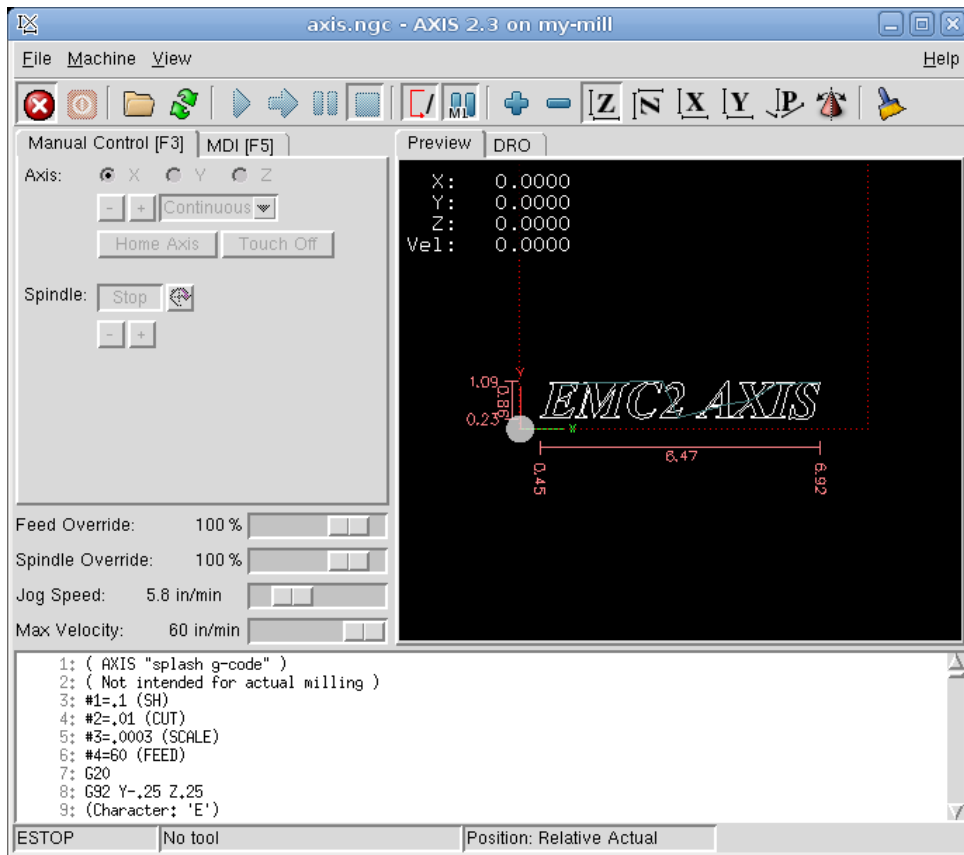
Şekil 6.4 EMC eksen konfigürasyonu

EMC eksen konfigürasyonları açıklamaları aşağıda belirtilmiştir.

- Motor Steps Per Revolution: Step motorun tam bir devrindeki dönme sayısıdır. 1 turda dönme sayısı=360 / Step Motor Adım Açısı
- Driver MicroStepping: Daha hassas bir sistem oluşturulmak istenirse bu bölüm doldurulabilir. Örneğin microstepping 2 olarak belirlenirse yarım(half) step yapılmış olur.
- Pulley Ratio: Motor ve vidalı mil sistemi arasında kasnak, dişli sistemi yer alırsa bu bölüm doldurulur. Eğer iletim sistemi arasında bir oran yoksa 1 olarak doldurulur.

- Leadscrew Pitch: Vidalı mil hatvesi girilir.
- Maximum Velocity: Maksimum istenen hız girilir.(mm/s)
- Maximum Acceleration: Maksimum istenen ivmelenme girilir.(mm/s<sup>2</sup>)
- Home Location: CNC Sistemi açıldığı zaman o yeri istenen sayısal değer olarak kabul etmesi içindir.
- Table Travel: Bu komut eksenin hareket limitini verir ve bu sayede g kod yollandığında sistem limitleri içinde değilse EMC programı hata verir.

## 6.2 EMC Grafik Ara Yüzünün Kullanımı



Şekil 6.5 EMC grafiksel arayüz

Şekil 6.5' de EMC programının kullanıcı grafiksel ara yüzü gösterilmektedir. Bu ara yüz ile manüel, manüel g kod(MDI) ve g kod yollayarak kontrol ve işlem gerçekleştirilmektedir. G kod yüklendikten sonra işlemi kontrol için çizim simültane olarak gösterilmektedir. Arayüzün alt kısmında ise yüklenen g kodun dokuz satırı işleyişle birlikte gözükmektedir.

Eksenleri hareket ettirmek için, Manual Modu seçilir. Manual Mod aktifken eksenler HMI(Human Machine Interface- Grafiksel Arayüz)' deki düğmeler sayesinde hareket ettirilir.

MDI Mod seçilerek tek satırlık g kod yazılır. Genellikle hızlı bir şekilde eksenlerin hareketi için kullanılır. NC komutu yazıldıktan sonra Start düğmesine basılarak otomatik olarak hareket sağlanır.

Auto mod aktif haldeyken G kod dosyası seçilerek yüklenir ve Start düğmesine basılarak işlem gerçekleştirilir.

### **6.3 EMC Programında G kod tanıtımı**

EMC G kod, RS274 veya NGC diline dayalı bir dildir. G kod dili, kod blokları ya da satırlarından meydana gelir. Her bir satır farklı işleri yapmak için tasarlanmış olan komutlardan oluşur. Bu komutları içeren satırların oluşturduğu dosyalar g kod programını oluşturur.

EMC programında G kod yazılırken komutlar arasında boşluk verilmemektedir. Örneğin; EMC programında kod satırı N1G1X3 iken, Fanuc veya Siemens sistemlerinde yazılan kod N15 G1 X3 şeklindedir.

Bütün G kodla çalışan sistemlerde, hareketin sağlanması G kodla, lojik olarak yapılacak işler ise M kodlar ile G kod bloklarında belirtilir. EMC programında M2 ve M30 komutları programı bitirme komutlarıdır. Bu kodlar sonrasında kod blokları yazılmış ise bilgisayar tarafından okunmaz.



### 6.3.1 Kullanılan G kodlar

Kullanılan g kodlar başlığı altında genelde kullanılan g kodlar verilmiştir. Makinenin özelliklerine ve kullanıcıya göre birçok parametreyi içinde barındıran g kodlar vardır. Aşağıda en basit ve gerekli g kodlar tanımlanmıştır.

- GO- Hızlı Linear Hareket: Eksenlere hızlı hareket verdirmek için kullanılan G koddur. GO X... Y... formatında yazılır.
- G1- Doğrusal İnterpolasyon: Eksenlerin hep birlikte ya da tek olarak istenilen hızda doğrusal hareket ettirilmesini sağlar. Kullanımı G1 X... Y... F... şeklindedir. F(Feed)' nin yanına ilerleme hızı dev/dak cinsinden değeri girilir.
- G2 ve G3- Yay Hareketi: Yay boyunca takıma hareket yaptırmak için hareket doğrultusuna göre iki tip hareket gereklidir. Bu hareketler saat yönü ve saat yönünün tersidir. G2 komutu saat yönü, G3 komutu ise saat yönünün tersine çalışır. Kullanımı G2/G3 X... Y... R... F... şeklindedir. Burada R yay yarıçapını temsil eder.
- G2/G3- Dairesel İnterpolasyon: Programda XY düzlemi seçili iken G2/G3 X... Y... I... J... formatında, XZ düzlemi seçiliyken G2/G3 X... Z... I... K... formatında ve YZ düzlemi seçiliyken G2/G3 Y... Z... J... K... formatında yazılır.
- G17/G18/G19- Düzlem Seçimi: Program oluştururken hangi düzlemde işlem gerçekleştirilecekse o düzlem seçili olması gereklidir. G17; XY düzlemini, G18; XZ düzlemini ve G19; YZ düzlemini işlem yapılacağını gösterir.
- G90/G91- Mutlak ve Artımsal Kod: Mutlak(Absolute dimension input) kod takımın yapacağı tüm hareketleri bir referansa bağlı olarak hesaplanır. Mutlak kod G90 ile gösterilir. Bu kod genelde CAM sistemleri ile oluşturulan G kodlarda görülür. Artımsal(Incremental dimension input) kod ise mevcut

pozisyonu referans kabul ederek bu nokta ile bir sonraki nokta arasındaki uzaklığı hesaplar. Artımsal kod G91 ile gösterilir. Elle yazılan programlarda uygulanır.

## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇ

Üniversite bünyesinde bulunan üç eksenli freze tezgahı beş eksene çıkartılmış, tezgah üzerinde bulunan beş fazlı step motorlar ve döner eksen için alınan dört fazlı motorlara sürücü kartları yapılmıştır. EMC programı kullanmış ve bu program içinde G- kod oluşturulup paralel port üzerinden her bir eksene sinyal yollanarak eksenler hareket ettirilmiştir.



Şekil 7.1 Beş eksen tezgahın çalıştırılması

Sürücü kartı yapılırken kartın üzerine kaç fazlı ise o kadar lamba konulmuş ve step motorun adım kaçırıp kaçırmadığı göz ile de tespit edilmiştir. Ayrıca lamba konulmasındaki başka bir amaçta her hangi mosfetin yanması durumunda lambalar yanmayacak ve kart üzerinde oluşacak problemin çözümü kolaylaştırılmıştır.

Bu tez ile hiçbir özelliği bilinmeyen beş fazlı step motorlar uyarım şeklinin çift faz olmasıyla torkun arttığı tespit edilmiştir. Tezgah tek faz uyarım ve karma uyarım şekli ile hareket ettirilememiştir. CCS üzerinde yazılan sürücü kart programı basitçe değiştirilip 16F84A mikroişlemcisine yüklenerek denemeler yapılmıştır.

Bu tez ile Linux tabanlı açık kaynak kodlu EMC ( Geliştirilmiş Makine Kontrolörü) programı hakkında ve konfigürasyon ayarlarıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Beş eksen tezgahta üç boyutlu bir kontur işlenecekse CAM programına ve tezgaha özel bir postprocessore ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tezde sadece paralel port üzerinden aynı anda beş eksene sinyal yollanarak aynı anda çalıştırılması gözlenmiştir. Bir sonraki aşama olarak postprocessor yazılımı ve CAM sistemi üzerine uygulanması yapılabilir.

## KAYNAKLAR

- 2-phase and 5-phase Step Motor Comparison.* Mart 2010,  
<http://www.orientalmotor.com/MotionControl101/2phase-v-5phase.html>
- Akkurt, M. (2000). *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları.* İstanbul: Birsen Yayınevi
- Apaydın, H. (2006). *Adım Motorlarının Karakteristikleri ve Bilgisayar ile Konum Kontrolü Uygulaması.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitim Programı
- Baptista, R. ve Simoes J. F. Antune. *Three And Five Axes Milling Of Sculptured Surfaces.* Journal Of Materials Technology 103 (2000) 398-403
- Büyükşahin, U. (2005). *3 Eksenli CNC Tezgah Tasarımı ve Uygulaması.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi. FBE Makine Mühendisliği Anabilim Dalı Konstrüksiyon Programı
- CNC Notları.* Şubat 2010,  
[http://muhendislik.nigde.edu.tr/makina/index.php?option=com\\_content&task=view&id=80&Itemid=44](http://muhendislik.nigde.edu.tr/makina/index.php?option=com_content&task=view&id=80&Itemid=44)
- Çelik, A. K. (2007). *Development Of A Methodology For Prediction Of Surface Roughness Of Curved Cavities Manufactured By 5-Axes CNC Milling.* Yüksek Lisans Tezi. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi. Makine Mühendisliği
- Çiçek, S. (2007). *CCS C İle PIC Programlama (2. Baskı).* İstanbul: Altaş Yayıncılık ve Elektronik Tic. Ltd. Şti.
- Gülesin M., Güllü A., Avcı Ö. ve Akdoğan G. (2007). *CNC Torna ve Freze Tezgahlarının Programlanması (3. Baskı).* Ankara: Asil Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

- Hughes, A. (2005). *Newnes Elektrik Motorları ve Sürücüleri Cep Kitabı* (2. Baskı) (Ç. Özşar, Çev.) İstanbul: Bileşim Yayınevi
- İbrahim, D. (2006). *Microcontroller Based Applied Digital Control*. England: John Wiley& Sons Ltd.
- Jones, W. D. *Stepping Motor Types*. Mart 2010, <http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/types.html>
- Karaçam, S. (2009). *Adım Motor Kontrollü Hızlı CNC Freze Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi. Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi. FBE Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Kayalık, M. (2009). *Bilgisayar Kontrollü Dik İşlem Tezgahı Tasarımı ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi. FBE Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı
- Kuşçu, H. *Cam konusunda kullanılan İngilizce terimlerin detaylı açıklamaları*. Mart 2010, [http://hilmi.trakya.edu.tr/ders\\_notlari/Cam/CAM\\_konusunda\\_kullanilan\\_ingilizce\\_terimler\\_detayl\\_%20aciklamalar.pdf](http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/Cam/CAM_konusunda_kullanilan_ingilizce_terimler_detayl_%20aciklamalar.pdf)
- Leondes, C. (2001). Computer Aided 5-Axis Machining. *Computer Aided Design Engineering and Manufacturing Systems Techniques and Applications Volume 1- Systems Techniques and Computational* içinde (3. Chapter). Washington: CRC Press
- Stanislav S. Makhanov (2007). *Advanced Numerical Methods to Optimize Cutting Operations of Five-Axis Milling Machines*. Berlin: Springer

*Step Motor Kontrol Devresi ve Uyartım Şekilleri.* Mart 2010, <http://www.elektroforum.org/dijital-elektronik/33148-step-motor-kontrol-devresi.html>

*Stepper Motor.* Mart 2010, <http://reference.findtarget.com/search/stepper%20motor/>

Şekercioğlu, T. (2005). *Makine Elemanları-1 Ders Notları* (Pamukkale Üniversitesi)

Tamer, İ. (2006). *DeneySEL Bir CNC Freze İçin Donanım, Yazılım ve Komut Dili Tasarımı.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Maltepe Üniversitesi. FBE Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tunç, T. L. (2006). *Geometrical Analysis And Optimization Of 5-Axes Milling Processes.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Sabancı Üniversitesi. FBE Endüstri Mühendisliği

Uygun, D. (2006). *Hibrit Adım Motorunun Sayısal Kontrolü.* Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: Marmara Üniversitesi. Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitim Programı

## EKLER

### CCS Programında Yazılan Beş Fazlı Step Sürücüsü Algoritması

```
#include <16F84a.h>
#fuses NOWDT, XT, NOPUT, NOPROTECT
#use delay(clock=4000000)
#use fast_io(B)
#define step pin_b0
#define dir pin_b1
const int adim[]={8,16,32,64,128};
int i=3;
int current_i;
#int_ext
void ext_kesmesi(){
    if(input(dir))
        { i++;
          i=i%7;
          output_b(adim[i]);
        }
    else
        { i--;
          current_i=i;
          if(current_i==2){
            i=7;}
          i=i%7;
          output_b(adim[i]);
        }
}
}
void main(void){
    setup_timer_0 (RTCC_DIV_2|RTCC_EXT_L_TO_H);
    ext_int_edge(L_TO_H);
```



```

enable_interrupts(INT_EXT);
enable_interrupts(GLOBAL);
set_tris_b(0b00000011);
output_b(0x00);
while(1){
}

```

### Motorun Termokupler İle Sıcaklık Deneyleri

Beş Fazlı Motor Deneyleri	1.deney	2.deney	3.deney
<b>Başlama Zamanı</b>	18:00	18:40	19:10
<b>Oda Sıcaklığı(°C)</b>	25	25	25
<b>Motorun Başlangıç Sıc.(°C)</b>	33	34,5	33,4
<b>Frekans(Hz)</b>	300	150	100
<b>Voltaj(V)</b>	17	17	17
<b>Voltaj Dalgalanması(V)</b>	±2	±2	±2
<b>Motor Durumu</b>	boşta	boşta	boşta
<b>Bitiş Zamanı</b>	18:10	18:50	19:20
<b>Motorun Bitiş Sıc.(°C)</b>	51,5	54,5	58

## **Eksen Konfigürasyonları**

### X axis configuration

Motor steps per revolution: 100

Driver microstepping:1.0

Pulley teeth: 1.0 : 1.0

Leadscrew pitch: 4mm/rev

Maximum velocity : 4mm/s

Maximum acceleration: 20.0 mm/s<sup>2</sup>

Home location: 0.0

Table travel: 0.0 to 235

Time to accelerate to max speed: 0.2sn

Distance to accelerate to max speed: 0.4mm

Pulse rate at max speed: 100 Hz

Axis scale : 25Steps/mm

### Y axis configuration

Motor steps per revolution: 100

Driver microstepping:1.0

Pulley teeth: 1.0 : 1.0

Leadscrew pitch: 4mm/rev

Maximum velocity : 4mm/s

Maximum acceleration: 20.0 mm/s<sup>2</sup>

Home location: 0.0

Table travel: 0.0 to 165

Time to accelerate to max speed: 0.2sn

Distance to accelerate to max speed: 0.4mm

Pulse rate at max speed: 100 Hz

Axis scale : 25Steps/mm

### Z axis configuration

Motor steps per revolution: 100

Driver microstepping:1.0

Pulley teeth: 1.0 : 1.0

Leadscrew pitch: 4mm/rev

Maximum velocity : 4mm/s

Maximum acceleration: 20.0 mm/s<sup>2</sup>

Home location: 0.0

Table travel: 0.0 to 145

Time to accelerate to max speed: 0.2sn

Distance to accelerate to max speed: 0.4mm

Pulse rate at max speed: 100 Hz

Axis scale : 25Steps/mm

### A axis configuration

Motor steps per revolution: 200

Driver microstepping:1.0

Pulley teeth: 1:3

Leadscrew pitch: 1,8 degree/rev

Maximum velocity : 180 deg/s

Maximum acceleration: 810 deg/s<sup>2</sup>

Home location: 0.0

Table travel: 720 to 720

Time to accelerate to max speed: 0.2222sn

Distance to accelerate to max speed: 20 deg

Pulse rate at max speed: 200Hz

Axis scale : 1.1 steps/deg

B axis configuration

Motor steps per revolution: 200

Driver microstepping:1.0

Pulley teeth: 1:1

Leadscrew pitch: 1,8 degree/rev

Maximum velocity : 180 deg/s

Maximum acceleration: 810 deg/s<sup>2</sup>

Home location: 0.0

Table travel: 720 to 720

Time to accelerate to max speed: 0.2222sn

Distance to accelerate to max speed: 20 deg

Pulse rate at max speed: 200Hz

Axis scale : 1.1 steps/deg