KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH TASARIMI, İMALATI VE TİTREŞİME BAĞLI İŞ MOTORU DEVİR HIZI SEÇİMİ

YÜKSEL TAŞTAN

KOCAELİ 2015

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

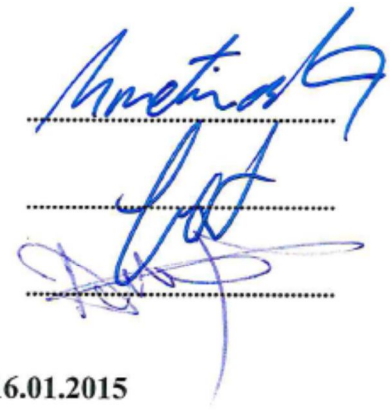
MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH TASARIMI, İMALATI VE TİTREŞİME BAĞLI İŞ MOTORU DEVİR HIZI SEÇİMİ

YÜKSEL TAŞTAN

Prof.Dr. H.Metin ERTUNÇ
Danışman, Kocaeli Üniv.

Prof.Dr. Cüneyt OYSU
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.

Doç.Dr. Durmuş KARAYEL
Jüri Üyesi, Sakarya Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 16.01.2015

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

CNC kelimesi, “Computer Numerical Control” ifadesinin baş harflerinden türetilmiştir. Adından da anlaşılacağı üzere bilgisayar destekli sayısal kontrol anlamına gelmektedir. Karmaşık kesim ve oyma gibi işlemlerin, bir CAD programı aracılığıyla tasarımı yapıldıktan sonra bir CAM programı ile üretim bilgisi bilgisayara hesaplattırılıp, kesim işini yapacak sistemi kontrol eden kontrol ünitesine gerekli adımların iletilmesi esasına dayanır.

Bu çalışmada, sayısal kontrolü anlamak ve bu alanda bir uygulama yaparak mekatronik bir sistem üretilmesi amaç edinilmiştir. Bunun için adım motor ve AC motor kontrollü, üç eksenli bir tezgâh tasarlanarak üretilmiştir. Sonrasında tezgâhta farklı kesme derinlikleri ve farklı hızlarda titreşim ölçümü yapılarak kesme derinliğine göre en uygun iş motoru devir hızının bulunması sağlanmıştır.

Öncelikle bu çalışmamda bana destek olan çok değerli hocam Prof. Dr. H. Metin Ertunç’a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. CNC tezgâhının mekanik aksamının üretimini yaptırdığımız BBS Metal ve SMAK Makina firmalarına, yine kontrol konusunda fikir alışverişi sağladığım ve de destek veren ENKO Teknik firma sahibi Sedat Aydın Beye teşekkür ediyorum. Son olarak araştırmalarım konusunda destek olan değerli arkadaşım Arş. Gör. Melih Kuncan’a çok teşekkür ederim.

Ocak – 2015 Yüksel TAŞTAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR i
İÇİNDEKİLER ii
TABLOLAR DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR vii
ÖZET viii
ABSTRACT ix
GİRİŞ 1
1. CNC DİK İŞLEM TEZGÂHI GENEL BİLGİLER 3
1.1. Dik İşlem Tezgâhı ve Problemin Genel Tanımı 3
1.2. Yapılmış Çalışmalar ve Değerlendirme 4
2. MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH TASARIMI VE İMALATI 8
2.1. Mekanik Tasarım 8
2.1.1. Üç eksenli CNC dik işlem tezgâh modellenmesi ve konstrüksiyonu 8
2.1.2. X-Y eksenleri, tabla ve bağlantı flanşı 10
2.1.3. Z ekseni hareket milleri ve kaplinler 11
2.2. Elektrik-Elektronik Tasarım 13
2.2.1. Adım (step) motorlar 13
2.2.2. Adım motor çeşitleri 14
2.2.2.1. Sabit mıknatıslı (permanent magnet - PM) adım motorları 14
2.2.2.2. Değişken relüktanslı (variable reluctance - VR) adım motoru 14
2.2.2.3. Karışık yapılı (hybrid) adım motoru 15
2.2.3. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan step motorlar 17
2.2.4. Asenkron motorlar (spindle motor) 19
2.2.4.1. Stator 19
2.2.4.2. Rotor 20
2.2.4.3. Asenkron motorun çalışma prensibi 20
2.2.5. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan spindle motoru 21
2.2.6. Endüktif sensörler 22
2.2.6.1. Yaklaşım sensörleri (proximity sensors) 22
2.2.6.2. Endüktif yaklaşım sensörleri 22
3. MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH OTOMASYONU 24
3.1. X,Y ve Z Eksenlerinin Kontrolü 24
3.1.1. Adım motorların sürülmesi 24
3.1.1.1. Tek faz uyartım(wave drive) 25
3.1.1.2. Çift faz uyartım (full step) 25
3.1.1.3. Karma (2 fazlı yarım adım) uyartım (half step) 26
3.1.2. Mini CNC dik işleme merkezinde kullanılan step motor sürücüleri 26
3.1.3. Spindle motor (asenkron motor) kontrolü 29

3.2. Mini CNC Dik İşleme Tezgâhı Kontrol Panosu ve Mach3 Kontrol Kartı....30
3.2.1. Mach3 kontrol kartı....31
3.3. Parça Programlama ve Mach3 Programı....31
4. ÖRNEK PARÇA İMALATLARI....35
4.1. Kullanılan İşleme Uçları ve Pensler....35
4.2. Örnek Parça İmalatları....36
5. TAKIM TEZGÂHLARINDA TİTREŞİM VE TİTREŞİME BAĞLI İŞ MOTORU DEVİR HIZI BELİRLENMESİ....38
5.1. Takım Tezgâhlarında Titreşim....39
5.2. Mini CNC Dik İşlem Tezgâhı Titreşim Ölçümü....40
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER....44
KAYNAKLAR....48
EKLER....50
ÖZGEÇMİŞ....63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Değişken iş motoru hızına göre tırlama titreşim ölçümü sonuçları 5
Şekil 1.2. Akıllı işleme sistemi donanımsal gösterimi..... 6
Şekil 1.3. Tırlama titreşimi azaltımı için gerçek zamanlı sistem..... 6
Şekil 2.1. Tezgah konstrüksiyonu (profil)..... 8
Şekil 2.2. Tezgâh gövdesi tasarımı 9
Şekil 2.3. Tezgâh gövdesi 9
Şekil 2.4. X-Y eksenleri 10
Şekil 2.5. İki eksenli kayar tabla.....10
Şekil 2.6. Bağlantı flanşı 11
Şekil 2.7. Step motor flanş tabla bağlantısı 11
Şekil 2.8. Bilyeli vida.....12
Şekil 2.9. Z ekseni motor kaplin bağlantısı 12
Şekil 2.10. Z ekseni lineer kızak.....13
Şekil 2.11. Step motor.....13
Şekil 2.12. Sabit mıknatıslı adım motor.....14
Şekil 2.13. Değişken relüktanslı motorun kesit görünüşü.....15
Şekil 2.14. Karışık yapılı adım motorun yapısı 16
Şekil 2.15. Karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin diyagram
a) Rotor ve stator 1.konum, b) Rotor ve stator 2.konum,
c) Rotor ve stator 3.konum, d) Rotor ve stator 4.konum 17
Şekil 2.16. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan adım motor 17
Şekil 2.17. Adım motor bağlantı şeması 18
Şekil 2.18. Sincap kafesli asenkron motorun yapısı 19
Şekil 2.19. Spindle motor.....21
Şekil 2.20. Yaklaşım sensörü 22
Şekil 2.21. Endüktif yaklaşım sensörü detay 23
Şekil 3.1. Dört fazlı step motor için farklı uyartım şekilleri 24
Şekil 3.2. Tek fazlı uyartım 25
Şekil 3.3. Çift faz uyartım 25
Şekil 3.4. Karma uyartım 26
Şekil 3.5. Step motor sürücüsü (ZM-2H606) 27
Şekil 3.6. NPN kontrol ünitesi bağlantı şeması 28
Şekil 3.7. PNP kontrol ünitesi bağlantı şeması.....28
Şekil 3.8. Hız kontrol ünitesi.....29
Şekil 3.9. Kullanılan spindle motor evirici 29
Şekil 3.10. Frenic Mini basitleştirilmiş kontrol sistem diyagramı 30
Şekil 3.11. Mini CNC dik işlem merkezi kontrol panosu.....30
Şekil 3.12. 3 Eksen USB kontrol kartı.....31
Şekil 3.13. Mach3 ara yüzü 32
Şekil 3.14. Makine eksen seçimi 32
Şekil 3.15. Motor çıkış pin ayarları 32
Şekil 3.16. Motor giriş sinyali ayarları 33
Şekil 3.17. Motor çıkış sinyali ayarları.....33

Şekil 4.1. Parmak freze ve PCB işleme uçları....35
Şekil 4.2. İşleme uçları için pensler (ER16)....35
Şekil 4.3. CNC Tezgâhta işlem sırası....36
Şekil 4.4. İşlenmiş tahta malzeme....37
Şekil 4.5. Örnek baskı devre yolları....37
Şekil 5.1. Titreşim seviyelerinin tarifi....40
Şekil 5.2. PCB 607A11 Titreşim sensörü ve performans değerleri....40
Şekil 5.3. Tezgâh titreşim ölçüm düzeneği....41
Şekil 5.4. Tezgâh titreşim ölçümü....41
Şekil 5.5. Deney ölçüm sisteminin grafiksel gösterimi....42
Şekil 5.6. 1mm Kesme derinliğinde 6.000 dev/dk da titreşim ivme grafiği....42
Şekil 6.1. 1mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri....45
Şekil 6.3. 2mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri....46
Şekil 6.4. 3mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri....46

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Adım motor bağlantıları 18
Tablo 2.1. Adım motor teknik özellikler 18
Tablo 3.1. G kodları 33
Tablo 3.2. M kodları 34
Tablo 5.1. Test ölçüm koşulları 39
Tablo 5.2. Farklı devir ve kesme derinliklerine göre titreşim ölçüm sonuçları 43

SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR

N_R : R fazı döner alan, (T)
N_S : S fazı döner alan, (T)
N_T : T fazı döner alan, (T)
F_R : R fazı oluşan kuvvet, (N)
F_S : S fazı oluşan kuvvet, (N)
F_T : T fazı oluşan kuvvet, (N)

Kısaltmalar

CAD : Computer-Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CAM : Computer-Aided Manufacturing (Bilgisayar Destekli Üretim)
CNC : Computer Numeric Control (Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrol)
NC : Numeric Control (Sayısal Kontrol)
PCB : Printed Circuit Board (Baskılı Devre Kartı)
RMS : Root Mean Squared (Ortalama Kare Kök)
USB : Universal Serial Bus (Evrensel Veri Seriyolu)

MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH TASARIMI, İMALATI VE TİTREŞİME BAĞLI İŞ MOTORU DEVİR HIZI SEÇİMİ

ÖZET

Bu çalışmada, talaşlı imalat üretiminin gerektiği çoğu yerde kullanılan modern CNC tezgâhlarına alternatif olarak daha küçük ölçekli, daha az maliyetli, üç eksenli ve üniversite laboratuvarında kullanılmak üzere özgün tasarıma sahip bir CNC tezgâhın yapımı amaçlanmıştır. İmalatı yapılan tezgâhta parça işlemede kritik öneme sahip olan titreşimlerin, farklı devir hızlarında farklı kesme derinliklerinde ölçümü yapılarak en uygun iş motoru devir hızı tespiti amaçlanmıştır. X, Y ve Z eksenleri adım motor kontrollü olan CNC tezgâhı, oyma, kazıma ve delme işlemlerini yapabilmektedir.

Sistem, tasarım programlarından (CAD-CAM) elde edilen delik, kazıma ve oyma dosyalarındaki koordinat verilerini piyasada yaygın olarak kullanılan Mach3 ara yüzü ile işlemekte ve yapılması gereken işlemleri kontrol ünitesine USB iletişim veri yolu üzerinden iletmektedir. Böylece delme, kazıma ve oyma işlemleri, üç eksenli ve iki boyutlu olarak yapılabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: G ve M Kodları, Mach3, Mini CNC, Titreşim.

DESIGN, MANUFACTURING OF MINI CNC VERTICAL MACHINING CENTER AND OBTAINING OPTIMUM SPINDLE SPEED BY VIBRATION ON MACHINING

ABSTRACT

The aim of this project is to design and manufacture a mini CNC vertical machine which has three-axis, low price, and proper for university labaratory usage as an alternative to the modern CNC machines. After manufacturing of mini CNC machine, vibrations that are critical in machining are measured to obtain optimum spindle speed according to different spindle speeds and different milling depths. The CNC machine which has step motor controlled X, Y and Z axes could perform engraving, scratching and drilling processes.

The system has Mach3 interface in order to process data of engraving, scratching and drilling which are output of design programs (CAD-CAM) and it transmits those processes to the control unit by using USB data line. Therefore, engraving, scratching and drilling processes could be performed by three-axis and two dimesional system.

Keywords: G ve M Codes, Mach3, Mini CNC, Vibration.

GİRİŞ

Sayısal (nümerik) kontrol fikri II. Dünya Savaşı'nın sonlarında ABD hava kuvvetlerinin ihtiyacı olan karmaşık uçak parçalarının üretimi için ortaya atılmıştır. Çünkü bu tür parçaların o günkü mevcut imalat tezgâhları ile üretilmesi mümkün değildi. Bunun gerçekleştirilmesi için Parsons Corporation ve MIT (Massachusetts Instute of Tecnnology) ortak çalışmalara başladı. 1952 yılında ilk olarak bir Cincinnatti-Hydrotel freze tezgâhını sayısal kontrol ile donatarak bu alandaki ilk başarılı çalışmayı gerçekleştirdiler. Bu tarihten itibaren pek çok takım tezgâhı imalatçısı sayısal kontrollü tezgâh imalatına başladı. Önceleri NC (Numerical Control) takım tezgâhlarında vakumlu tüpler, röleler, karışık kontrol ara yüzleri kullanılıyordu. Ancak bunların sık sık tamirleri hatta yenilenmeleri gerekiyordu. Daha sonraları NC takım tezgâhlarında daha kullanışlı olan minyatür elektronik tüp ve yekpare devreler kullanılmaya başlandı. Bilgisayar teknolojisindeki hızlı gelişmeler sayısal kontrollü sistemleri de etkilemiştir. Günümüzde artık NC tezgâhlarda daha ileri düzeyde geliştirilmiş olan entegre devre elemanları, ucuz ve güvenilir olan donanımlar kullanılmaktadır. ROM teknolojisinin kullanılmaya başlanmasıyla da programların hafızada saklanmaları mümkün olmuştur. Sonuç olarak bu sistemli gelişmeler CNC'nin (Computer Numerical Control) doğmasına öncülük etmiştir. CNC daha sonraları torna, matkap vb. takım tezgâhlarında yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [1].

Tasarımı ve üretimi yapılan mini CNC dik işlem tezgâhı, doğrusal bir ilerleme hareketi yapmakta olan iş parçası üzerinden kendi ekseni etrafında dairesel bir hareket yapan kesici takımın talaş kaldırması mantığıyla çalışmaktadır.

Talaş kaldırma işleminin temel amacı kesilen parçayı istenilen ölçü ve şekle getirmektir. En uygun talaş kaldırma şartlarının sağlanabilmesi, kesme parametrelerinin iyi belirlenmesi ile mümkün olabilir.

İmalat sanayi, kısa sürede, arzu edilen kalitede ve minimum maliyetle parça imalatını hedeflemektedir. İmalatta maliyeti etkileyen birçok faktör vardır. Bu faktörlerin

içerisinde en önemlilerinden bir tanesi takım ömrüdür. Takım ömrünün ise en çok etkilendiği etkenlerden biri ise titreşimdir. Titreşim takım ömrünü olumsuz yönde etkilemesinin yanında yüzey kalitesine de olumsuz etkileri vardır.

CNC tezgâhları, mekanik yapı, elektrik-elektronik donanım ve yazılım olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu tez içeriğinde, mekanik yapı ve elemanlar, elektrik-elektronik donanımı oluşturan motorlar, motor kontrolleri, otomasyon, yazılım ve de titreşim ölçümleri yapılarak en uygun devir hızının bulunması ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir.

Bu çalışmada, tasarımdan üretim sürecine kadar elektronik kontrollü bir makinanın oluşturulması ve üniversite bünyesinde kullanılması esas alınarak, üç eksenli mini CNC dik işlem tezgâhı tasarlanıp imal edilmiştir. İmal edilen makinada titreşimden kaynaklanan olumsuz etkileri en aza indirmek amacıyla, tahta bir iş parçası üzerinde kesme işlemleri yapılmıştır. Bu işlemler sırasında makinenin ilerleme hızı 100 mm/dk değerinde sabit tutulmuştur. Sırasıyla 1mm, 2mm ve 3mm paso derinliklerinde; 5 farklı devir hızında (6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk) titreşim ölçümü yapılarak en uygun işleme motoru devir hızı tespit edilmeye çalışılmıştır.

1. CNC DİK İŞLEM TEZGÂHI GENEL BİLGİLER

1.1. Dik İşlem Tezgâhı ve Problemin Genel Tanımı

İmalat; hammadde halindeki bir materyalin bir veya birkaç işlem safhasından geçerek, istenen nitelikleri belirli toleranslar içerisinde üzerinden talaş kaldırarak veya kaldırmayarak hammadde üzerine aktarılması işlemi olarak tanımlanabilir [2].

İmalat kavramının tanımı, imalatın yapıldığı araçların tanımını yapabilmek açısından önemlidir. İmalat aletlerini belli ana başlıklar altında toplamak mümkün olsa da pratikte imalat tanımının esnekliğinden üretimin, şekil veya nitelik değişiminin yapıldığı her türlü alet, makine veya program imalat aracı tanımına girmektedir. Dik işleme tezgâhı; talaşlı imalatın yapıldığı, birçok hareket eden eksene sahip kesici takımın kartezyen koordinatlarda Z ekseni yönünde hareket ettiği takım tezgâhlarına verilen genel bir isimdir. Bilgisayar kontrollü dik işleme tezgâhında ise program ile kesici takımın veya tezgâha bağlı eksenlerin hareketlerinin programlanabildiği, bilgisayar veya mikro işlemci kontrollü takım tezgâhlarına verilen genel addır. CNC dik işleme tezgâhları yapılarının kabul ettiği üzere birçok farklı tasarım şeklinde bulunabilirler. Fakat işlemlerin yapılabilmesi için minimum iki hareket eden eksen ve bunun yanında talaş kaldıran veya imalatı gerçekleştiren birimin bulunduğu eksenden oluşmaktadır.

Bu tez kapsamında üzerinde çalışılan problemin genel tanımı iki aşamalı olarak yapılabilir: İlk aşamada, Kocaeli Üniversitesi Mekatronik mühendisliği bölümünde sıklıkla tasarlanan elektronik devre elemanlarının yerleştirildiği baskılı bakır devre kartlarını (pcb) laboratuvar bünyesinde hızlı bir şekilde prototip amaçlı üretilmiştir. Problemin ikinci aşamasında, bilgisayar kontrollü bir makinanın mekatronik mühendisliği bölümünde tasarlanıp üretimini yaparak bu konuda akademik proje çalışmalarına alt yapı oluşturma faaliyetleri gerçekleştirilmiştir.

1.2. Yapılmış Çalışmalar ve Değerlendirme

CNC tezgâhların tasarımı ve üretimi konusu ile ilgili araştırmacılar tarafından çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Aşağıda yapılmış bazı yüksek lisans tezleri sıralanmıştır.

2012 yılında Marmara Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak, üç eksenli router tipi mini CNC tezgâh tasarlanıp üretilerek tezgâhın çok amaçlı kartezyen robot şeklinde kullanımı ve eğitim amaçlı olarak kullanımını hedeflenmiştir. Tasarlanan tezgâh için Visual C# ile kontrol programı oluşturulmuştur [3].

2010 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak, üniversitenin bünyesinde bulunan ve çalışmayan üç eksenli CNC tezgâh, iki döner eksenli tabla tasarlanıp üretilerek beş eksenli CNC tezgâh haline dönüştürülmüştür [4].

2009 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak, üniversitede atıl olarak bulunan eski tip dik işlem tezgâhının eksenlerine servo motorlar ekleyerek sayısal kontrollü (CNC) modern bir tezgâha dönüştürülmüştür [5].

2009 yılında Kocaeli Üniversitesi Elektonik ve Haberleşme Mühendisliği bölümünde yüksek lisans tezi olarak üç eksenli CNC router tasarlanıp üretilerek makine kontrolü için yeni bir yazılım yapılmıştır [6].

2010 yılında Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünde yüksek lisans tezi olarak eğitim amaçlı masaüstü router tipi CNC freze tasarlanıp üretilmiştir [7].

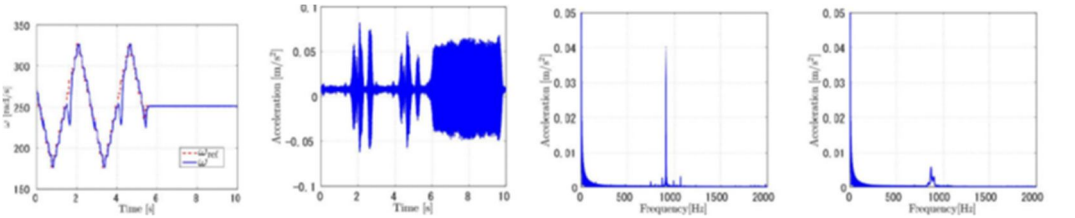
Tezgâh titreşimi konusunda çok çeşitli araştırmalar ve incelemeler yapılmıştır. Titreşimin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, titreşime bağlı takım aşınmaları, tırlama (chatter) titreşimlerinin azaltılmasına yönelik uygulanan çeşitli yöntemler bunlardan bir kısmını oluşturmaktadır. Son yıllarda yapılmış bazı çalışmalar aşağıda kısaca açılanarak sıralanmıştır.

2011 yılında tırlama titreşimi ile ilgili yapılmış bir çalışmada, işleme sırasında oluşan titreşimlerin ikiye ayrıldığını, bunların zorlanmış ve kendiliğinden oluşan titreşimler

olduğunu ve titreşimin kaynağının makinayı oluşturan yapının dinamik rijitliğinden kaynaklandığını belirtmiştir [8].

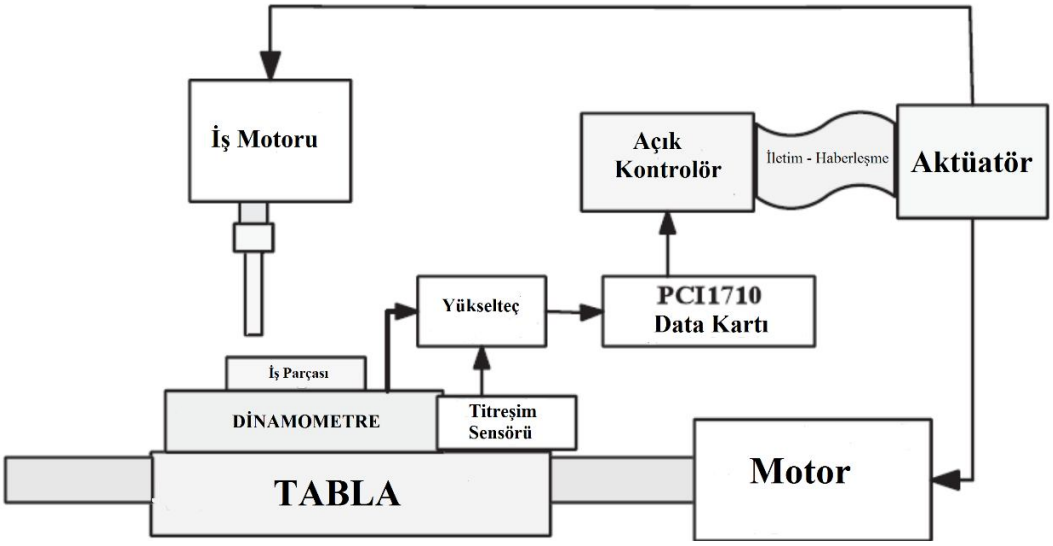
2011 yılında tırlama titreşimini azaltmak amacıyla yapılmış çalışmada, yüksek hızlı CNC freze tezgâhında iş motoru devrinin lineer olarak değiştirilmesiyle (15.000 dev/dk ~ 16.500 dev/dk) tırlama titreşimlerinin azaltıldığı ve normalde oluşan titreşimlerin üst noktalarının ciddi oranlarda aşağıya çekilebildiği gösterilmiştir [9].

2014 yılında tırlama titreşimini azaltmak amacıyla yapılmış diğer bir çalışmada yüksek frekanslı bir iş motoru devrinin değiştirilmesi ile tırlama titreşiminin azaltıldığı deneysel ve teorik olarak gösterilmiştir. Aşağıda Şekil 1.1'de uygulanan iş motoru hız grafiğine göre titreşimin nasıl azaldığı bu çalışmada deneysel olarak gösterilmiştir [10].



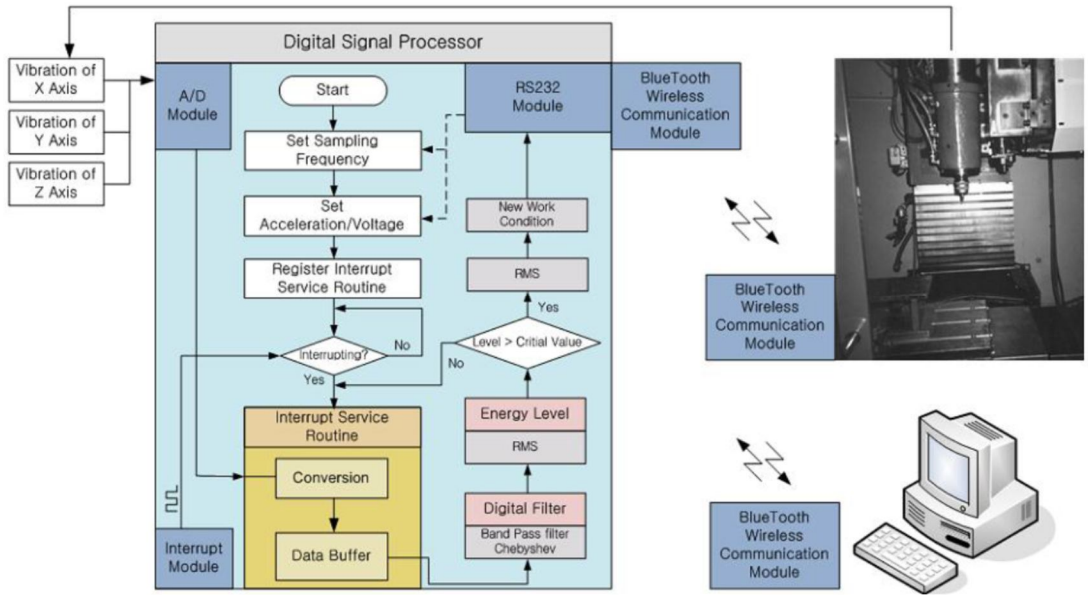
Şekil 1.1. Değişken iş motoru hızına göre tırlama titreşim ölçümü sonuçları [10]

2011 yılında kesme sırasında oluşan titreşimleri otomatik olarak azaltmak amacıyla yapılmış projede, işleme esnasında oluşan titreşimleri ölçerek titreşim değerlerine göre on-line olarak iş motoru hızını değiştiren akıllı bir kontrol sistemi tasarlanarak endüstriyel bir tezgâha uygulanmıştır. Şekil 1.2'de yapılan kontrol sisteminin donanımı gösterilmiştir [11].



Şekil 1.2. Akıllı işleme sistemi donanımsal gösterimi [11]

2013 yılında yapılmış bir çalışmada, freze tezgâhında oluşan tırlama titreşimlerini azaltmak amacı ile gerçek zamanlı bir sistem tasarlanmış ve bu sistem sayesinde iş motoru hızı ve ilerleme hızları otomatik olarak değiştirilip titreşimlerin azaltılması sağlanmıştır. Şekil 1.3'de tasarlanan sistem gösterilmiştir [12].



Şekil 1.3. Tırlama titreşimi azaltımı için gerçek zamanlı sistem [12]

Titreşim ile ilgili tez çalışması olarak yapılmış bir çalışmada, farklı kesici ağızlara sahip freze çakıları ile işlenen parçada titreşimler ölçülerek farklı hızlarda farklı kesici takımların farklı performans gösterdiği tespit edilmiştir [13].

Diğer bir tez çalışmasında kesici takımların titreşimlerinin izlenmesi için deneysel çalışma yapılmış ve sonuç olarak ilerleme kuvvetlerinin RMS ve averaj değerleri dikkate alındığında soğutma sıvısı basıncı arttırıldıkça iş parçasını kesmek için uygulanan kuvvetlerin azaldığı görülmüştür. Soğutma sıvısı basıncı arttırılması ile titreşim ve kuvvet sinyallerinin tepe değerlerinin azaldığı görülmüştür. Soğutma sıvısı basıncı arttırılması ile yüzey pürüzlülüğünün tepe değerlerinin azaldığı görülmüştür. Soğutma sıvısı basıncı P6'dan P100'e geçişte aynı sürede kesici takımın daha az aşındığı görülmüştür. P100'den P300'e geçişte ise yapılan deneylerde çok fazla değişmediği görülmüştür. Uygulanan kesme ve ilerleme kuvvetleri arttırıldıktan sonra yüzey pürüzlülüğünün arttığı yapay sinir ağları ile yapılan program ile gözlemlenmiştir [14].

Literatürde yer alan bazı çalışmalar incelediğinde, genelde konstrüksiyonu daha kolay ve açık yapıda olan üç eksenli router tipi mini CNC tezgâhlar üretildiği görülmektedir. Bu çalışmada ise tasarlanan mini CNC dik işlem tezgâhı, endüstride kullanılan tezgâhlardan esinlenilerek üretilmiş; böylece işleme esnasında çevreye talaş çıkmasını ve gürültüyü önleyecek kapalı bir yapı oluşturulmuştur. Diğer çalışmalardan farklı olarak, titreşim ölçümleri sayesinde en uygun iş motoru devir hızının belirlenmesine çalışılmıştır. Araştırmalarda, kesme esnasında oluşan titreşimler arttıkça, parça yüzey kalitesinde azalma ve kesici takımda aşınmaların arttığı ispatlanmıştır. Bu sebeple tez çalışmaları kapsamında tasarım ve üretimi gerçekleştirilen mini CNC dik işlem tezgâhında, tahta bir iş parçası üzerinde 1mm, 2mm ve 3mm paso derinliklerinde kesme işlemi yapılmıştır. İşlemler sırasında 6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk değişken iş motoru hızlarında titreşimler ölçülmüş; en uygun iş motoru devir hızının tespiti yapılmıştır.

2. MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH TASARIMI VE İMALATI

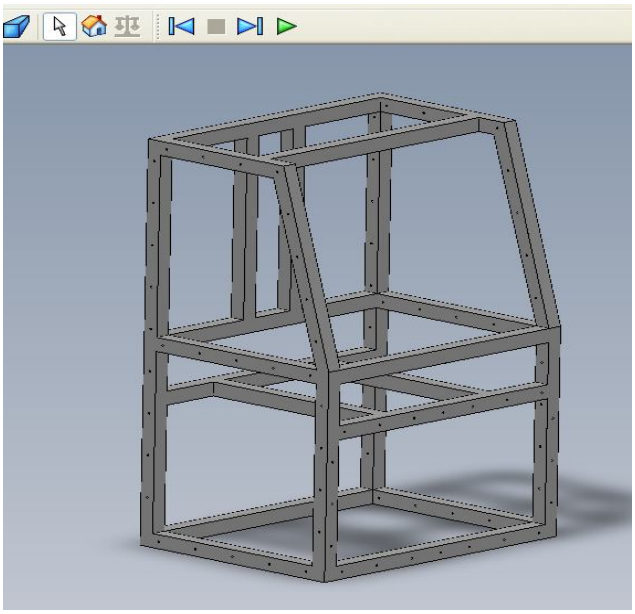
Tasarımı ve imalatı yapılan mini CNC dik işlem merkezinin mekanik bileşenleri kısaca anlatılarak aşağıdaki bölümlerde gösterilmiştir.

2.1. Mekanik Tasarım

Üretimi yapılan üç eksenli CNC dik işlem tezgâhının mekanik konstrüksiyonu endüstride kullanılan modern tezgâhlardan esinlenilerek kayar kapılı ve kapalı bir yapıda Solidworks CAD programı yardımı ile tasarlanmış ve üretim resimleri çıkarılarak ilgili üretim prosesine göre ilgili yerlerde ürettirilmiştir. Tezgâh işleme alanı 200x160x180 mm'dir.

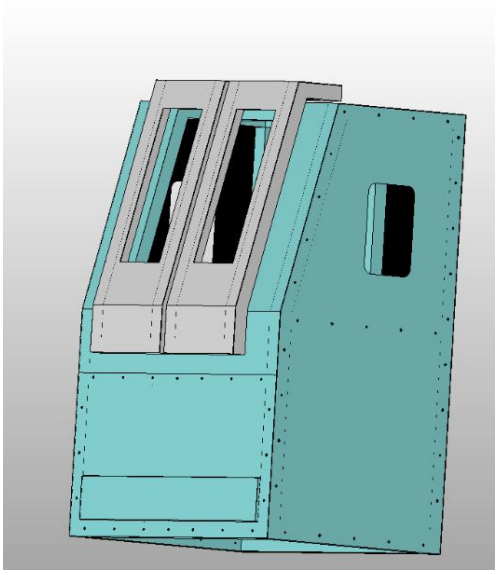
2.1.1. Üç eksenli CNC dik işlem tezgâh modellenmesi ve konstrüksiyonu

Tezgahın taşıyıcı konstrüksiyonu 50x50x5 mm kutu profil olarak tasarlanmış ve bu profiller tasarlanan boyutlarda kesilerek kaynaklı bağlantılarla üretimi yapılmıştır. Profillerden oluşan yapı üzerine sac parça bağlantılarının ve tablanın bağlanabilmesi amacıyla delikler açılarak vida kılavuzları çekilmiştir. Şekil 2.1'de profil tasarımı gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tezgah konstrüksiyonu (profil)

Profillerden oluşturulan konstrüksiyon üzerine 2mm DKP çelik sac, istenilen ölçülerde punch tezgahında kesimi ve delim işlemleri yapılarak profillere civatalar ile montajı yapılmıştır. Makina tablasına ulaşım için kayar kapılar tasarlanarak ilgili parçalar punch kesim ve abkant büküm tezgâhında bükümleri yapılarak üretilmiştir. Tezgâh parça işlerken dışarıdan gözlemlenebilmesi amacıyla kayar kapılar üzerinde ve yan kısımlar üzerinde boşluklar tasarlanarak, plexiglass malzemeden pencereler oluşturulmuştur. Kayar kapılar kauçuk fitiller ile kenarları kapatılarak görsellik artırılmıştır. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te tezgah gövdesi tasarımı ve üretilmiş durumu gösterilmiştir.



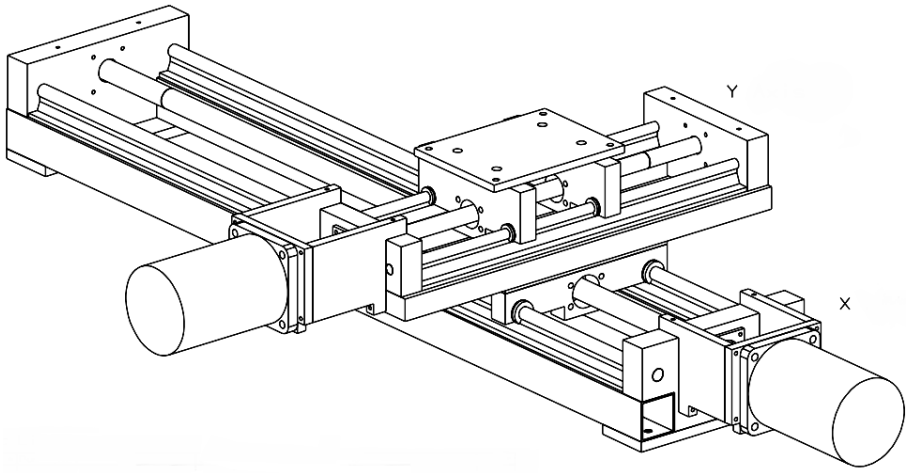
Şekil 2.2. Tezgâh gövdesi tasarımı



Şekil 2.3. Tezgâh gövdesi

2.1.2. X-Y eksenleri, tabla ve bağlantı flanşı

X ve Y eksenlerini oluşturan ve de iş parçasının işlenmesi için tabla olarak kullanılan mekanik yapı sonsuz miller ile oluşturulmuş ve aşağıdaki Şekil 2.4'deki tasarım kullanılmıştır.

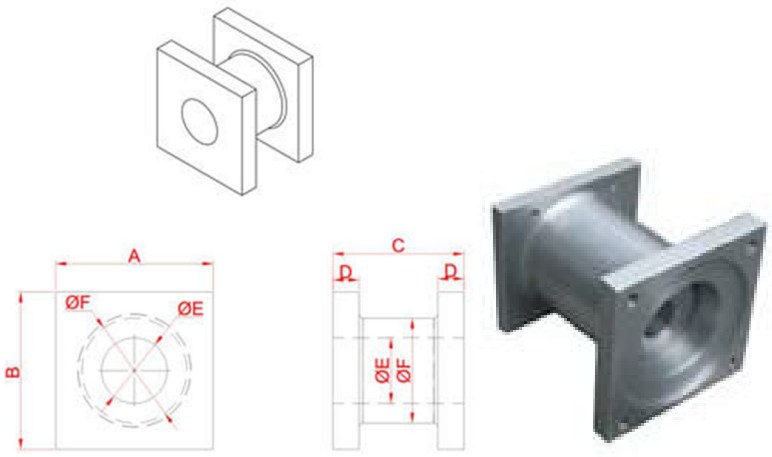


Şekil 2.4. X-Y eksenleri



Şekil 2.5. İki eksenli kayar tabla

X ve Y eksenlerini tahrik eden motorların kayar tablaya bağlantısı için Şekil 2.6'daki bağlantı flanşı tasarlanmış ve üretilmiştir. Şekil 2.7'de step motorun flanş-tabla bağlantısı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Bağlantı flanşı

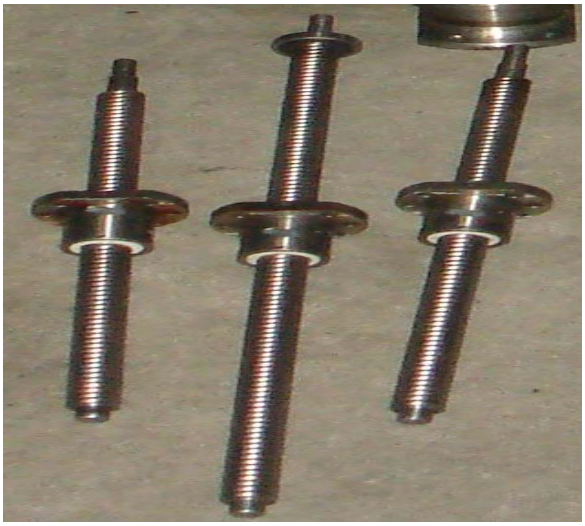


Şekil 2.7. Step motor flanş tabla bağlantısı

2.1.3. Z ekseni hareket milleri ve kaplinler

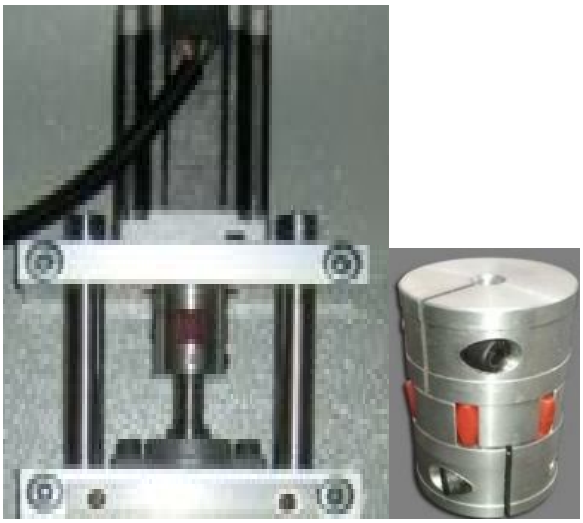
Z ekseni hareket sistemi olarak bilyeli vida sistemi kullanılmıştır. Step motorlarla tahrik edilen eksen sistemleri, dönme hareketini kaplinler yardımıyla vidalı mil sistemlerine aktarırlar. Bu dönme hareketi bilyeli vida sisteminin parçası olan bilyeli vida somunlarının, hareket edecek sisteme sabitleştirilmesiyle, motordan alınan dönme hareketini eksen sistemlerine doğrusal hareket olarak iletir. Şekil 2.8'de kullanılan bilyeli vida ve somunları görülmektedir. Bilyeli vidalar üzerinde bir bilye tanesinin gezeceği şekilde, bilye tanesi profiline uygun olarak imal edilirler. Bilyeli vida somunu içindeki kanallara belirli boşluk toleranslarına göre dizilmiş bilye taneleri, mil hareket ettikçe sürekli bir devir daim içerisinde birbirlerine takip ederek yer değiştirirler. Bu yer değiştirme esnasında bilyeli vida somunu hareket ettiği için motordan alınan dönme hareketi doğrusal harekete çevrilmiş olur. Bilyeli vida sistemleri çok hassas bir yapıya sahip oldukları için, montaj esnasında dikkat edilmesi gereken birkaç özellikleri vardır. Bilyeli vida somunu içine dizili olarak gelen bilye taneleri yuvalarından çıkmasınlar diye somun içinde özel bir boru vardır. Bu boru her iki

tarafta sabitlenerek montaj haricinde çıkması önlenmiştir. Montaj esnasında da bu borunun bilyeli vida mili ile dikkatli bir şekilde yer değiştirilmesi sağlanmalıdır. Aksi takdirde bilyelerin dağılması kaçınılmazdır.



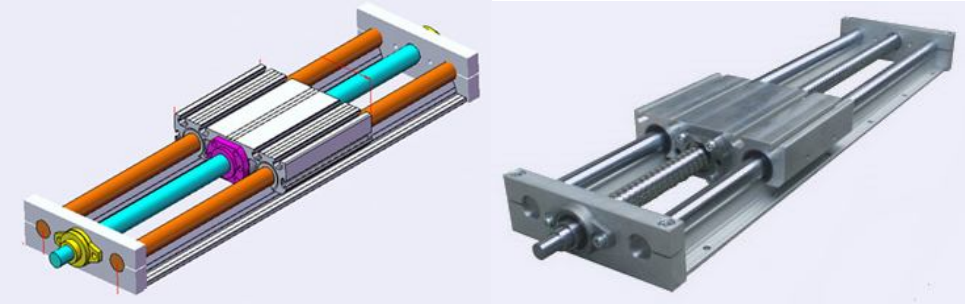
Şekil 2.8. Bilyeli vida

Kaplin, bir hareketi diğer bir ekipmana iletmek için kullanılan makina parçasıdır. Şekil 2.9'da Z ekseni motorun dönme miline bağlantısının kaplin ile yapıldığı gösterilmiştir.



Şekil 2.9. Z ekseni motor kaplin bağlantısı

Aşağıdaki Şekil 2.10'da gösterilen bilyeli vida mili mekanizmasına sahip lineer kızak, Z ekseninde kullanılmıştır. Lineer kızak üzerine iş motoru bağlantısı için vidalı bir parça tasarlanarak, ürettirilip montajı yapılmıştır.



Şekil 2.10. Z ekseni lineer kızak

2.2. Elektrik-Elektronik Tasarım

Tasarlanan mini CNC dik işlem merkezinin X,Y,Z eksenleri adım (step) motorlar, işleme motoru da asenkron motor ile kontrol edilmiştir.

2.2.1. Adım (step) motorlar

Açısal konumu adımlar halinde değiştiren, çok hassas sinyallerle sürülen motorlara adım motorları denir. Adından da anlaşılacağı gibi adım motorları belirli adımlarla hareket ederler. Bu adımlar, motorun sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyartımda, motorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı motorun yapısına bağlı olarak 90°, 45°, 18°, 7,5°, 1,8° veya daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek saat ibresi yönü (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir. Şekil 2.11'de bir step motor gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Step motor

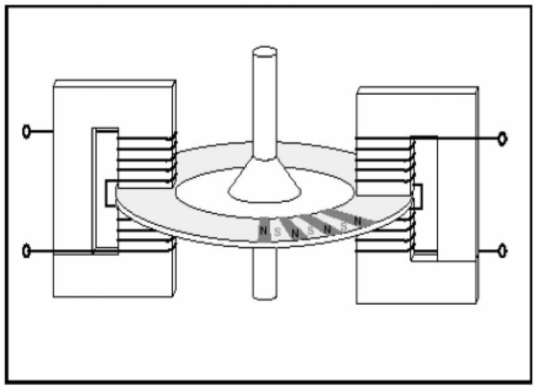
Adım motorların en belirgin özelliği, girişine uygulanan uyarma darbelerin, "adım" olarak tam tanımlanmış rotor konumlarına dönüştürmesidir. Rotorun hassas konumlama yapması, hareketli ve sabit parçalar üzerindeki demir dişlerin manyetik olarak karşılıklı gelmesi, dizilmesi ile mümkündür. Adım motorlarının hangi yöne doğru döneceği, devir sayısı, dönüş hızı gibi değerler mikroişlemci veya bilgisayar yardımı ile kontrol edilebilir. Sonuç olarak adım motorlarının hızı, dönüş yönü ve konumu, taşıdıkları yükten gelen bir engelleme olmadığı durumlarda her zaman bilinmektedir. Bu özelliklerinden dolayı adım motorları çok hassas konum kontrolü istenen yerlerde çokça kullanılırlar [15].

2.2.2. Adım motor çeşitleri

Adım motorlar yapıları ve çalışma şekillerine göre sabit mıknatıslı, değişken relüktanslı ve karışık yapılı olarak üretilmekte ve piyasada bulunabilmektedirler.

2.2.2.1. Sabit mıknatıslı (permanent magnet - PM) adım motorları

Sabit mıknatıslı adım motorlardaki rotor, sabit mıknatıstan (PM) oluşur. Bu tip motorların rotorlarında diş bulunmaz. Şekil 2.12'den de görülebileceği gibi iki farklı rotor yapısı olabilir. Stator yapıları, değişken relüktanslı adım motorların stator yapılarıyla aynıdır.

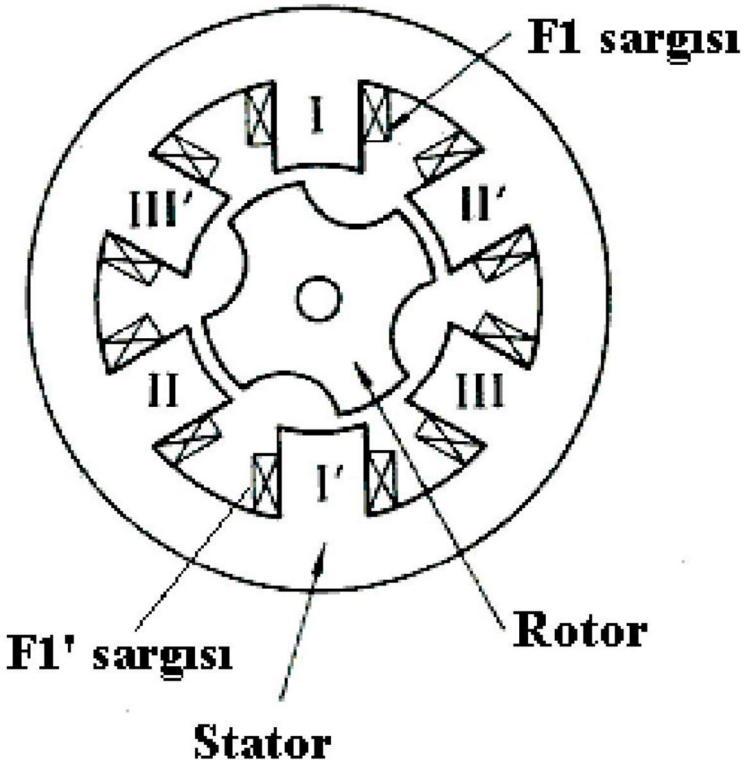


Şekil 2.12. Sabit mıknatıslı adım motor

2.2.2.2. Değişken relüktanslı (variable reluctance - VR) adım motoru

Bu motorları sabit mıknatıslı adım motorlardan ayıran en önemli fark rotorlarında sabit mıknatısın olmamasıdır. Ayrıca rotorları da dişli yapıdadır. Bu motorun temel prensiplerinin daha iyi anlaşılabilmesi için kesit görünüşü Şekil 2.13'de verilmiştir.

Şekildeki üç fazlı motorun altı adet stator kutbu vardır. Rotor dört adet kutba sahiptir. Stator ve rotor nüveleri genellikle ince tabakalı silisli çelikten yapılırlar. Böylece düşük manyeto motor kuvveti uygulansa bile, stator ve rotor malzemeleri yüksek geçirgenlikli olduğundan, içlerinden yüksek manyetik akı geçebilecektir.

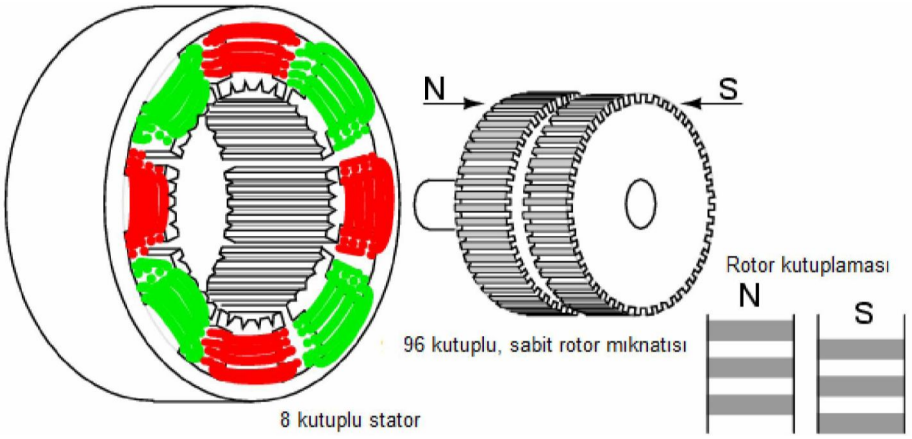


Şekil 2.13. Değişken relüktanslı motorun kesit görünüşü

Değişken relüktanslı adım motorların başlama, durma ve adımları, sabit mıknatıslı adım motorlardan daha hızlıdır.

2.2.2.3. Karışık yapılı (hybrid) adım motoru

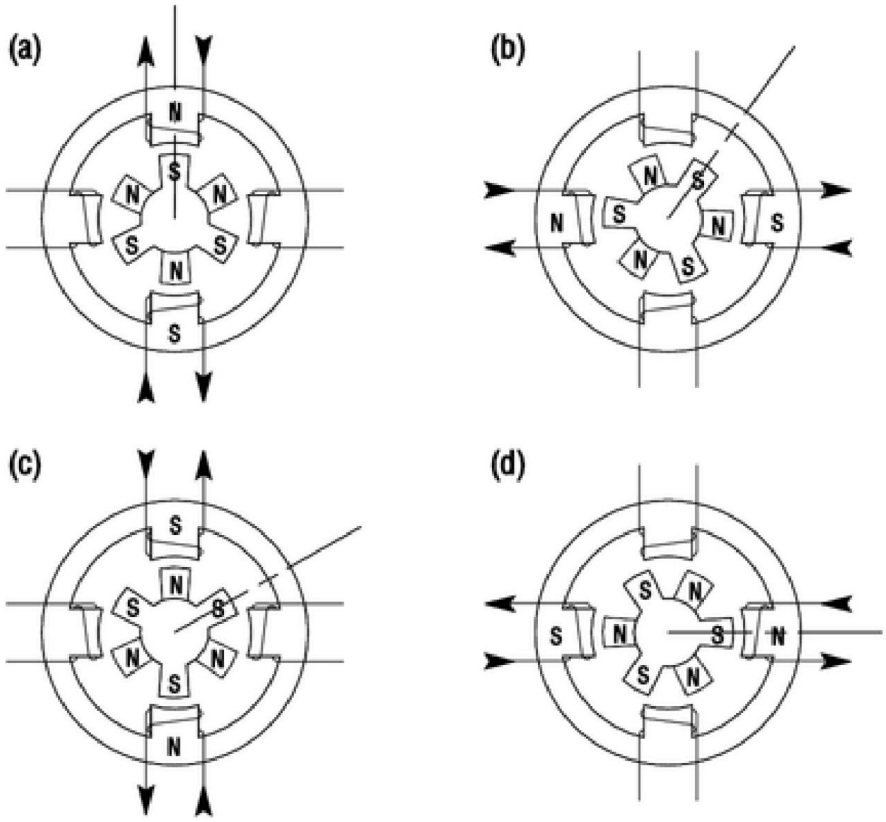
Rotorunda sabit mıknatıs bulunan bir diğer adım motoru da karışık yapılı adım motorudur. Hybrid kelimesi motorun sabit mıknatıslı ve değişken relüktanslı motorların prensiplerinin birleşmesinden dolayı verilmiştir. Günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan karışık yapılı adım motorunun genel yapısı Şekil 2.14'de verilmiştir.



Şekil 2.14. Karışık yapılı adım motorun yapısı

Karışık yapılı adım motorlarında tipik olarak sekiz stator kutbu bulunur. Her kutupta bulunan diş sayısı iki ila altı arasındadır. Rotorun istenen konuma gelmesini sağlamak üzere mıknatıs akısının ilgili kutuplar üzerinden akışını desteklemek veya engellemek amacıyla stator kutuplarına da sargılar ilave edilmiştir. Statorun nüve yapısı değişken relüktanslı adım motorunun aynısı veya çok benzeridir. Fakat sargıların bağlantısı değişken relüktanslı motorunkinden farklıdır.

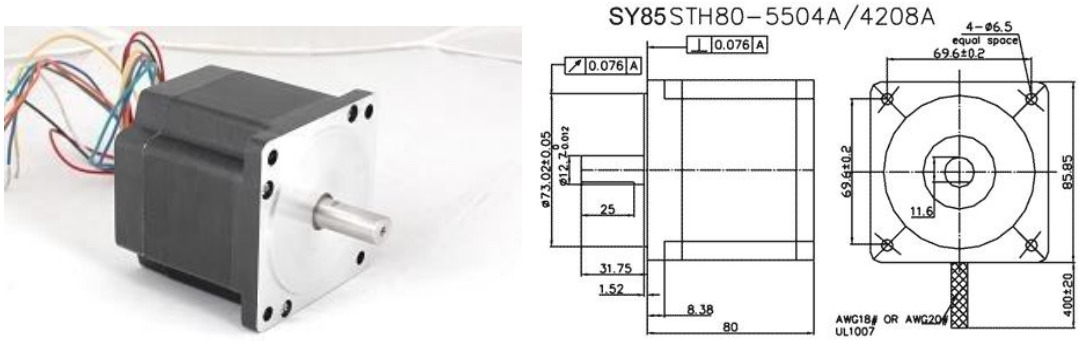
Bu tip motorların rotoru sabit mıknatıslı olduğundan, her zaman için bir tutma veya kalıntı torku vardır. Motor düşük hızla ivmelendiği takdirde saniyede 30.000 adıma kadar hızlarda çalışabilir. Tüm adım motor çeşitleri içerisinde, her türlü doğrusal ve açısal konumlama sisteminde en yaygın kullanılan tip karışık yapılı tiptir. Şekil 2.15'de karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin bir diyagram verilmiştir.



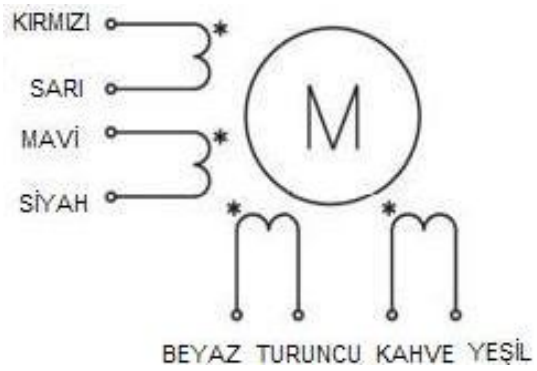
Şekil 2.15. Karışık yapılı adım motorun hareketine ilişkin diyagram a) Rotor ve stator 1.konum, b) Rotor ve stator 2.konum, c) Rotor ve stator 3.konum, d) Rotor ve stator 4.konum

2.2.3. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan step motorlar

Tasarımı ve imalatı yapılan mini CNC dik işleme tezgâhının eksenlerinin kontrolü için aşağıdaki Şekil 2.16'da [16] gösterilen Soyo marka adım motorlar kullanılmıştır. Kullanılan adım motor karışık yapılı (hybrid) bir motor tipidir. Şekil 2.17'de kullanılan adım motorların bağlantı şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan adım motor



Şekil 2.17. Adım motor bağlantı şeması

Tablo 2.1'de adım motorun paralel ve seri bağlantı kablolarının renkleri gösterilmiştir.

Tablo 2.1. Adım motor bağlantıları

PARALEL	**SERİ**
KIRMIZI + MAVİ A	KIRMIZI A
SARI + SİYAH A-	SİYAH A-
BAYZ + KAHVE B	KAHVERENGİ B
TURUNCU + YEŞİL B-	TURUNCU B-
	SARI + MAVİ (KISA DEVRE)
	BEYAZ + YEŞİL (KISA DEVRE)

Tablo 2.2'de kullanılan karışık yapılı adım motorun teknik özellikleri gösterilmiştir.

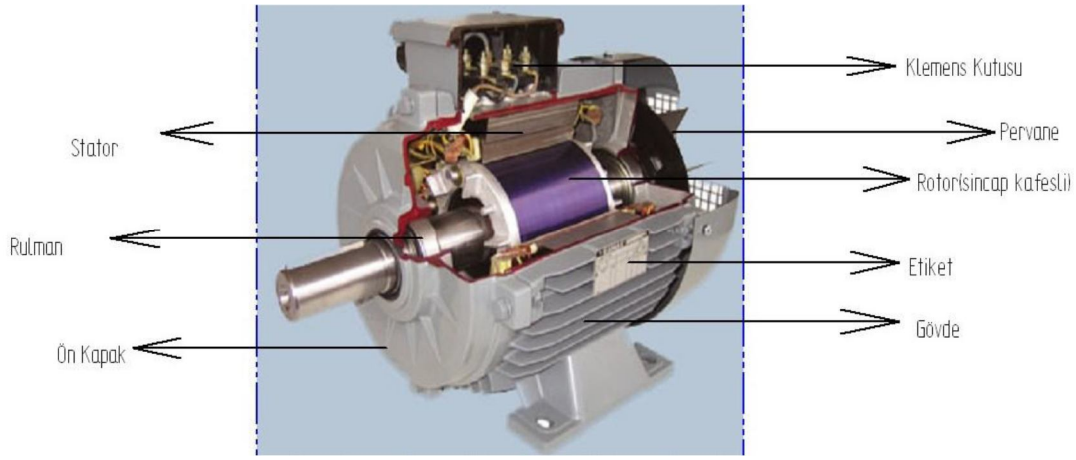
Tablo 2.2. Adım motor teknik özellikler

Bipolar Tutma Torku	4,5 Nm
Tel Sayısı	8
Step/Tur	200
Step Açısı	1,8°
Flanş	85 x 85 mm
Uzunluk	80 mm
Ağırlık	2,3 kg
Akım/Faz	4,2 A
Direnç/Faz	0,75 ohm
İnduktans/Faz	3,4 mH
Rotor Ataleti	1400 gcm2
Çalışma Sıcaklığı	-20°C ÷ +50°C
Maksimum Isınma	80°

2.2.4. Asenkron motorlar (spindle motor)

Asenkron motor, yapısı itibariyle iki kısımdan oluşur. Bu kısımlardan birinin görevi manyetik alanı yaratmak, diğerinin görevi ise hareketi sağlayacak olan kuvveti üretmektir. Bu parçalardan hareketsiz olana 'stator', hareketli olana ise 'rotor' denir. Rotor, statorun her iki tarafına takılan ve rulman içeren kapaklar sayesinde yataklanır ve seçilen uygun hava aralığı ile birlikte rahatlıkla dönmektedir. Sincap kafesli asenkron motorun yapısı Şekil 2.18'de görülmektedir.

Genel olarak sincap kafesli asenkron motorlar milin arka tarafına yerleştirilen pervane sayesinde kendiliğinden soğutmalıdır.



Şekil 2.18. Sincap kafesli asenkron motorun yapısı

2.2.4.1. Stator

Stator, manyetik alanı yaratan ve alternatif akımla beslenen sargıları taşıyan kısımdır. Sargılar alternatif akımla beslendiğinden, histeresiz ve fuko kayıplarının oluşması kaçınılmazdır. Demir yapıyı ısıtan bu kayıpların azaltılması için statorda kullanılan malzemenin büyük endüksiyonlu ve histeresiz kayıpları küçük olan sac malzemeden olması gerekir. Bu malzemeler özel presler ve kalıplar yardımıyla kesilir ve bir tarafı elektriksel olarak yalıtılarak fuko akımlarının akmasına engel olunur. Oluşturulan saclar preste sıkıştırılarak stator sac paketinin oluşması sağlanır. Oluşan sac paketinin içine özel kalıplar yardımıyla hazırlanan sargılar yerleştirilir. Elde edilen sargılı stator grubu, önceden ısıtılmış gövdenin içine presle çakılır. Soğuduktan sonra genleşeceğinden stator gövdenin içinden çıkamaz ve sabit hale getirilmiş olur. Oluşturulan statorlu gövde yapısı motor kapakları yardımıyla kapatılır. Kapaklar

rulmanları taşıyacak yatakları içerdiğinden, rotorun dönmesi için uygun zemin hazırlanmış olur.

2.2.4.2. Rotor

Rotorda da alternatif akımdan dolayı oluşan histeresiz ve fuko kayıplarını azaltmak amacı ile sac paketi oluşturulur. Sac paket oluştuktan sonra kanalların içine erimiş alüminyum basılır ve rotor her iki taraftan yine alüminyumdan yapılan halkalar yardımı ile kısa devre edilir. Son olarak hesaplanan hava aralığına uygun olarak rotor dış çapı belirlenen ölçüye getirilir.

2.2.4.3. Asenkron motorun çalışma prensibi

Endüksiyon yasasına göre; manyetik alan içerisinde bulunan bir iletkenin yarattığı düzleme dik açı yapacak şekilde geçen akı miktarının zamana göre değişmesi ile bu iletkenin uçlarında bir gerilim endüklenir. Bu değişim alternatif manyetik alan kullanılıp iletkeni sabit tutarak ya da alternatif olmayan manyetik alan kullanıp iletkeni hareket ettirerek sağlanır. Sincap kafesli asenkron motor için ilk yöntem geçerlidir.

Üç fazlı asenkron motorun statorunda sargı eksenleri arasında 120° açı olan sargılar yerleşiktir. Bu sargıların üç fazlı alternatif gerilim ile beslenmesi sonucunda bir faz sargısının alan şekli makine uzayında konum olarak sabit kalsa da toplamda makinenin hava aralığında yürüyen bir alan elde edilir. Makinenin silindirik yapısı gereği bu alan döner alan olarak adlandırılır. Aşağıdaki denklemler döner alanı ifade eder.

$$N_R(\theta)=N.e^{j0^0} \quad (2.1)$$

$$N_S(\theta)=N.e^{-j120^0} \quad (2.2)$$

$$N_T(\theta)=N.e^{-j240^0} \quad (2.3)$$

$$F_R(\theta,t)=N_R(\theta).i_R(t) \quad (2.4)$$

$$F_S(\theta,t)=N_S(\theta).i_S(t) \quad (2.5)$$

$$F_T(\theta,t)=N_T(\theta).i_T(t) \quad (2.6)$$

$$F_{TOP}(\theta,t)=F_R(\theta,t)+F_S(\theta,t)+F_T(\theta,t)=\frac{3}{2}\times N\times e^{jwt} \quad (2.7)$$

Sincap kafesli rotorda, stator sargılarında oluşan üç fazlı döner alan, hava aralığından geçerek rotora gelir ve yukarıda açıklanan endüksiyon yasasına göre rotorda gerilim endükler. Rotor her iki taraftan halkalar yardımıyla kısa devre edilmiş olduğundan, rotorda akım akışı başlar [17].

Biot-Savart yasasına göre, manyetik alan içerisine yerleştirilen bir iletkenden akım geçirildiğinde, iletkene dik bir kuvvet etkir. Bu kuvvet, iletkeni manyetik alan içerisinde hareket ettirmeye çalışacaktır [18]. Böylece motorun hareket ilkesi açıklanmış olur.

2.2.5. Mini CNC dik işlem merkezinde kullanılan spindle motoru

Mini CNC dik işlem tezgâhında aşağıdaki Şekil 2.19'da [19] gösterilen Arel marka yüksek frekanslı trifaze asenkron motor kullanılmıştır. Asenkron motorlar, endüstride en fazla kullanılan elektrik makineleridir. Çalışma ilkesi bakımından asenkron motorlara endüksiyon motorları da denir. Asenkron motorların çalışmaları sırasında elektrik arkı meydana gelmez. Asenkron motorlar endüstride en çok kullanılan motorlardır. Asenkron makineler endüstride genellikle motor olarak çalıştırılırlar. Asenkron makineleri senkron makinelerden ayıran en büyük özellik, dönme hızının sabit olmayışıdır. Bu hız motor olarak çalışmada senkron hızdan küçüktür. Makinenin asenkron oluşu bu özelliğinden ileri gelmektedir.

Mini CNC dik işlem tezgâhında kullanılan asenkron motor 0,75kW gücünde, 300 Hz frekanslı ve 18.000 dev/dk hıza sahiptir.



Şekil 2.19. Spindle motor

2.2.6. Endüktif sensörler

Mini CNC dik işlem tezgâhında eksenlerin belli bir alanda hareketini sağlamak ve eksen motorlarının tezgâh konstrüksiyonuna çarpıp hasar vermesini önlemek amacıyla yaklaşım sensörleri kullanılmıştır.

2.2.6.1. Yaklaşım sensörleri (proximity sensors)

Yaklaşım sensörleri, endüstriyel alanda mekanik hareket algılamak amacıyla kullanılan en yaygın sensör türüdür. Şekil 2.20'de mini CNC dik işlem tezgâhında kullanılan yaklaşım sensörü gösterilmiştir. Yaklaşım sensörlerinin en büyük özelliği, mekanik hareketi, fiziksel bir temas olmadan algılayabilmesidir. Bu nedenle, mekanik sınır anahtarlarında olduğu gibi aşınma ve kontakların yıpranması/tozlanması söz konusu değildir. Ancak yaklaşım sensörleri, elektronik bir devre içerdiğinden, mekanik anahtarlama elemanları için iki kablo ile bağlantı yeterli iken yaklaşım sensörlerine ayrıca besleme hattı ve bu hattı besleyecek bir güç kaynağı gerekir.



Şekil 2.20. Yaklaşım sensörü

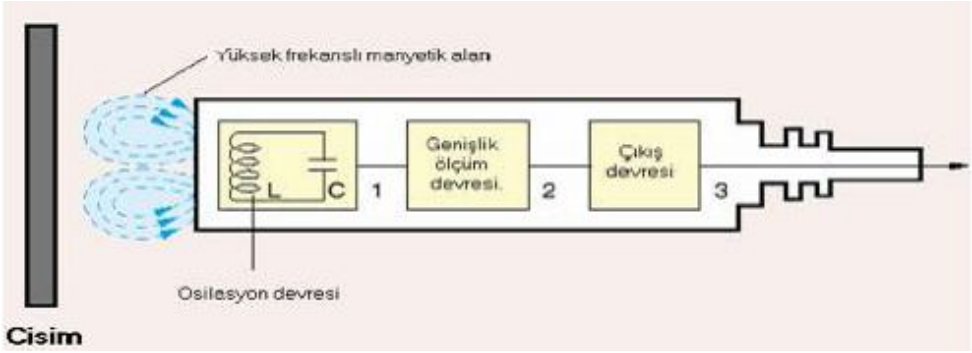
Algılama türüne göre yaklaşım sensörler ve optik sensörler;

- Kapasitif Yaklaşım Sensörleri
- Karşılıklı Optik Sensörler
- Cisimden Yansımalı Optik Sensörler
- Yansıtıcılı (Reflektörlü) Optik Sensörler

2.2.6.2. Endüktif yaklaşım sensörleri

Endüktif yaklaşım sensörlerinin uç kısmında bir ferrit nüve üzerine sarılmış bobin, yüksek frekansta bir elektromanyetik alan oluşturur. Sensör ucuna metal bir cisim yaklaştırıldığında bu alan, metal cisim tarafından bozularak bobinin endüktansı

değişir. Bozulan bu elektromanyetik alanın algılanmasıyla, metal bir cismin sensöre yaklaştığı anlaşılır ve çıkış transistörü iletime geçer. Şekil 2.21'de detay gösterilmiştir.



Şekil 2.21. Endüktif yaklaşım sensörü detay

Endüktif yaklaşım sensörleri daha çok, makinelerin hareketli metal parçalarının konumlarını algılamak amacıyla kullanılır.

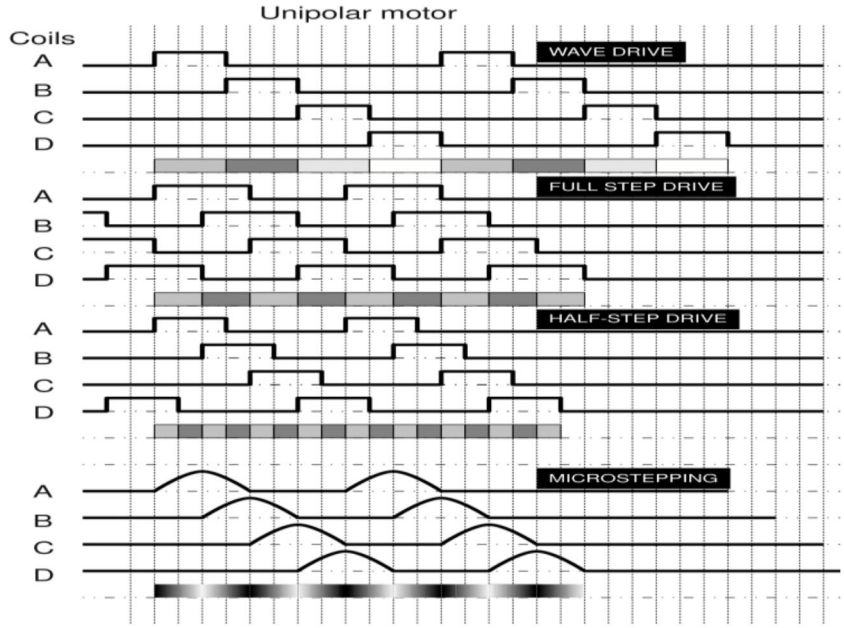
3. MİNİ CNC DİK İŞLEM TEZGÂH OTOMASYONU

3.1. X,Y ve Z Eksenlerinin Kontrolü

Tasarlanan dik işlem merkezinde X,Y,Z eksenleri step (adım) motorlar kullanılarak kontrol edilmektedir. Step motorlar özel sürücü kartları ile kontrol edilebilmektedirler.

3.1.1. Adım motorların sürülmesi

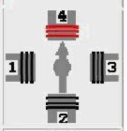
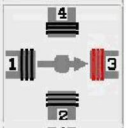
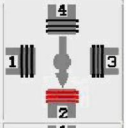
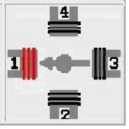
Step motorların dört farklı uyartım şekli vardır [20] ve Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bunlar çift faz uyartım, tek faz uyartım, karma uyartım ve küçük adım tekniğidir. Genellikle step motoru sürmek için Çift faz (Full step) uyartımı kullanılır. Burada iki fazda uyartımdadır. Motorun tam torku bu uyartım 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 3.1. Dört fazlı step motor için farklı uyartım şekilleri

3.1.1.1. Tek faz uyartım(wave drive)

Motor sargılarının sadece birinin uyartıldığı uyartım cinsine tek-faz uyartımı adı verilir. Şekil 3.2'de dört fazlı adım motoru için tek-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyartım metodunda rotor her bir uyartım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır.

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 3.2. Tek fazlı uyartım

3.1.1.2. Çift faz uyartım (full step)

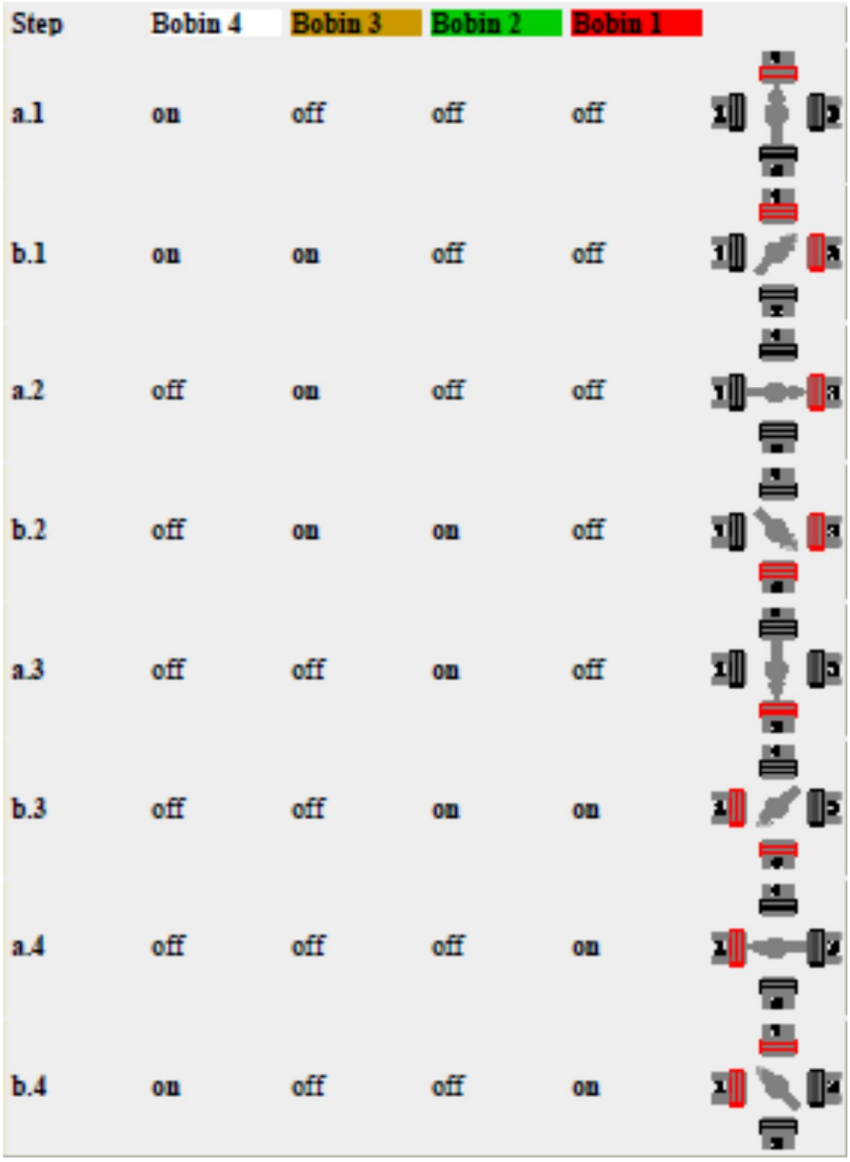
Motor sargılarının ikisinin sıra ile aynı anda uyartıldığı uyartım cinsine çift-faz uyartımı adı verilir. Şekil 3.3'de fazların uyartım sırası görülmektedir. İki faz uyartımla rotorun geçici durum tepkisi tek-faz uyartımlıya göre daha hızlıdır. Fakat burada güç kaynağından çekilen güç iki katına çıkmaktadır.

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 3.3. Çift faz uyartım

3.1.1.3. Karma (2 fazlı yarım adım) uyartım (half step)

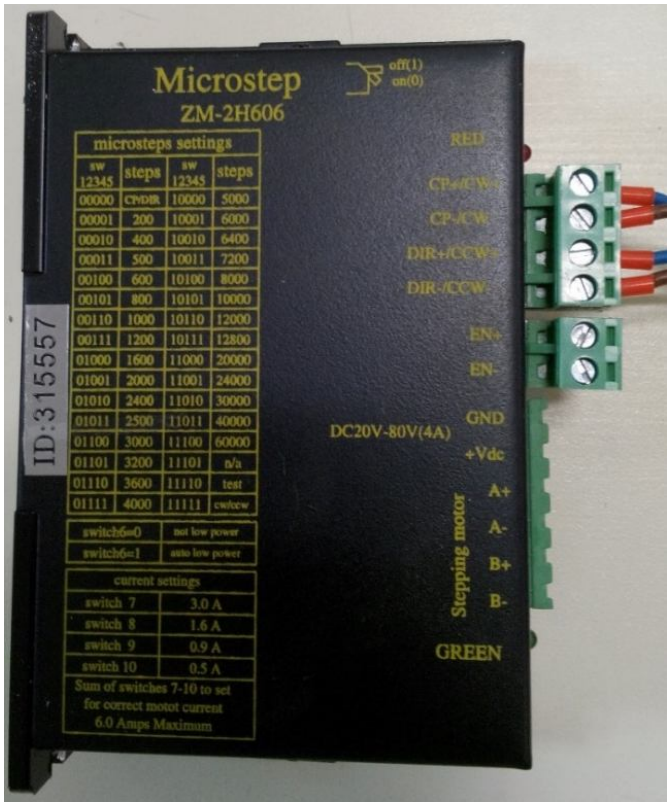
Bu uyartım yönteminde tek-faz uyartımı ile iki-faz uyartımı art arda uygulanır. Burada rotor her bir uyartım sinyali için yarım adımlık bir hareket yapmaktadır. Şekil 3.4'te fazların uyartım sırası görülmektedir. Bu uyartım metodunda adım açısı yarıya düştüğünden adım sayısı iki katına çıkmaktadır.



Şekil 3.4. Karma uyartım

3.1.2. Mini CNC dik işleme merkezinde kullanılan step motor sürücüleri

Tasarlanan mini CNC dik işlem tezgahının X,Y eksenleri step motor kontrolü için Şekil 3.5'te [21] gösterilen ZM-2H606 model sürücü kullanılmıştır. Sürücü ile ilgili bilgiler ve bağlantı şeması aşağıdaki gösterilmiştir.



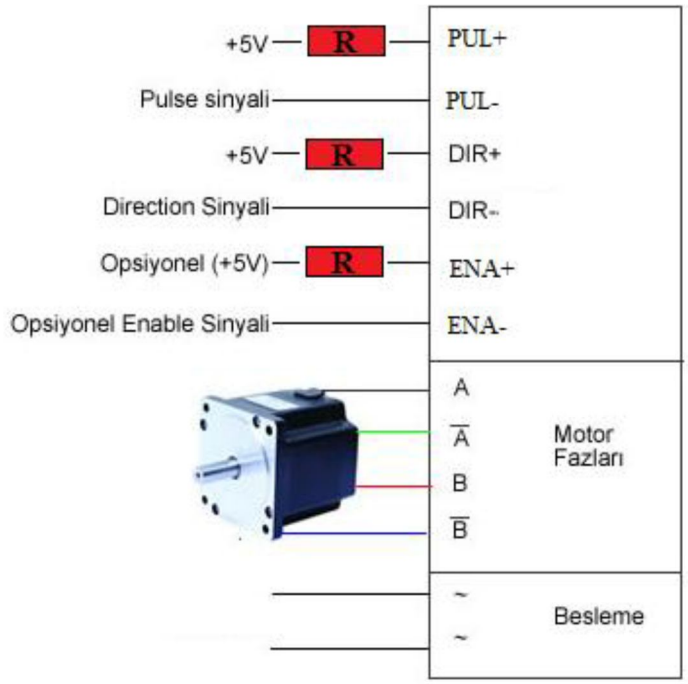
Şekil 3.5. Step motor sürücüsü (ZM-2H606)

Kontrol Pinleri:

- CP+ Pulse sinyali + ucu
- CP- Pulse sinyali - ucu
- DIR+ Direction sinyali + ucu
- DIR- Direction sinyali - ucu
- EN+ Enable sinyali + ucu
- EN- Enable sinyali - ucu
- CW+ Up/Down tipi kullanımda Up sinyali + ucu
- CW- Up/Down tipi kullanımda Up sinyali - ucu
- CCW+ Up/Down tipi kullanımda Down sinyali + ucu
- CCW- Up/Down tipi kullanımda Down sinyali – ucu

NPN Çıkışlı Kontrol Ünitesi İçin Bağlantı Şeması;

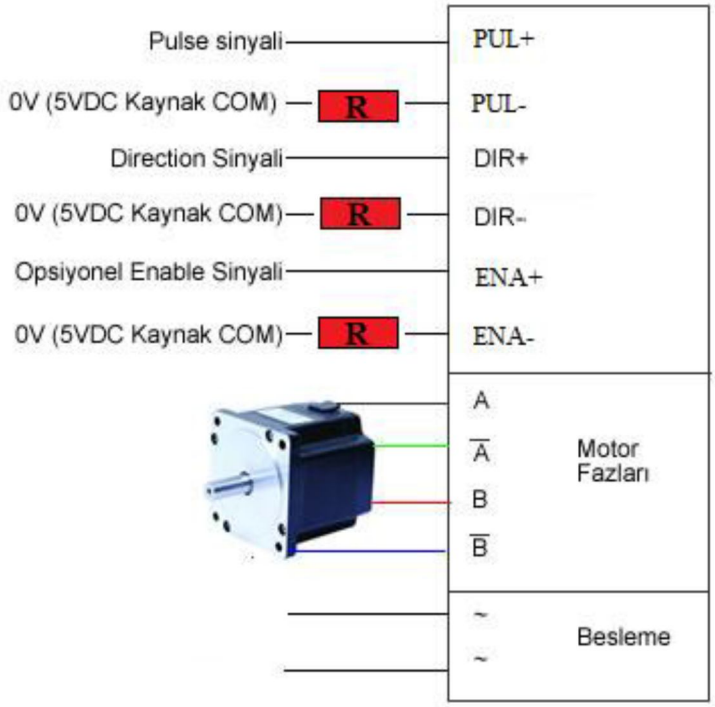
CP+/CW+, DIR+/CCW+ ve EN+ sinyalleri için kullanılması gereken pulse gerilimi 5VDC dir. 24VDC sinyal kullanılması durumunda, uçlara seri olarak 2KΩ direnç bağlanmalıdır.



Şekil 3.6. NPN kontrol ünitesi bağlantı şeması

PNP Çıkışlı Kontrol Ünitesi İçin Bağlantı Şeması;

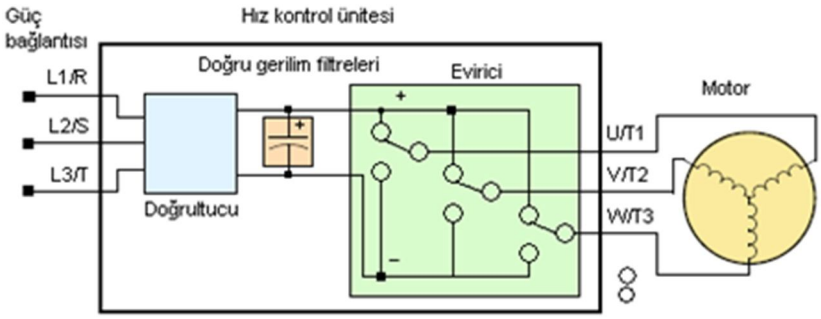
CP+/CW+, DIR+/CCW+ ve EN+ sinyalleri için kullanılması gereken darbe (pulse) gerilimi 5VDC gerilimidir. 24VDC sinyal kullanılması durumunda, uçlara seri olarak 2KΩ direnç bağlanmalıdır.



Şekil 3.7. PNP kontrol ünitesi bağlantı şeması

3.1.3. Spindle motor (asenkron motor) kontrolü

Tasarımı yapılan mini CNC dik işlem merkezinin işleme motoru, (spindle) Fuji Frenic marka frekans evirici ile hız kontrolü sağlanmıştır. Hız kontrol ünitesi yapısı Şekil 3.8'te, kullanılan spindle motor evirici tipi Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

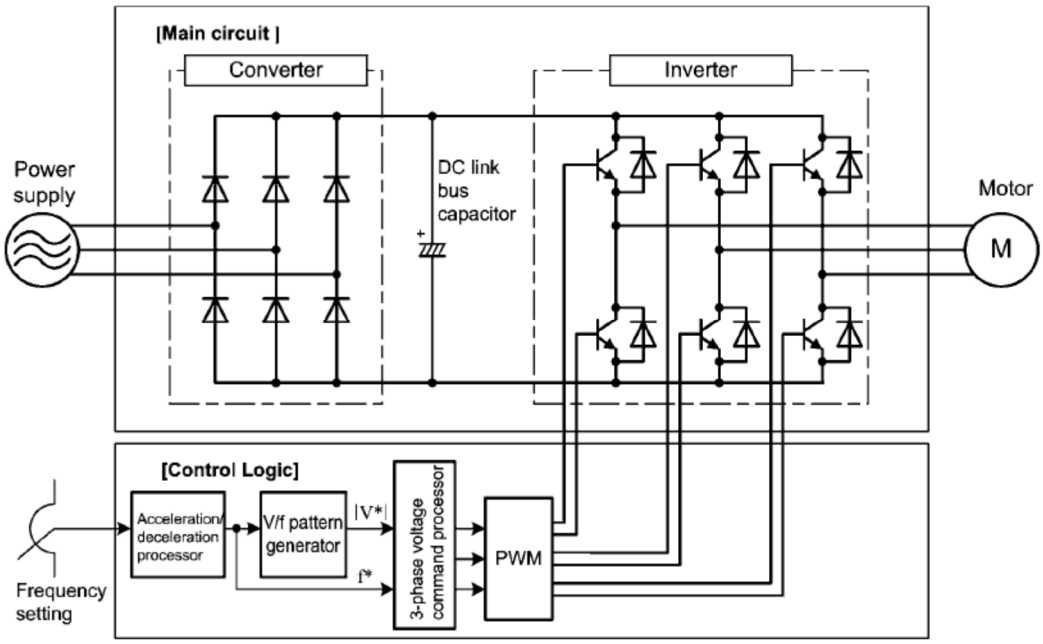


Şekil 3.8. Hız kontrol ünitesi

1. Doğrultucu: AC~DC dönüştüren
2. Doğru gerilim filtreleri: Doğrultucu çıkışında elde edilen doğru gerilim, C1–C2 kondansatörler yardımı ile filtre edilerek dalgalılığı azaltılır.
3. Evirici:6 adet IGBT transistor ile bunlara ters paralel bağlı diyotlardan oluşur.



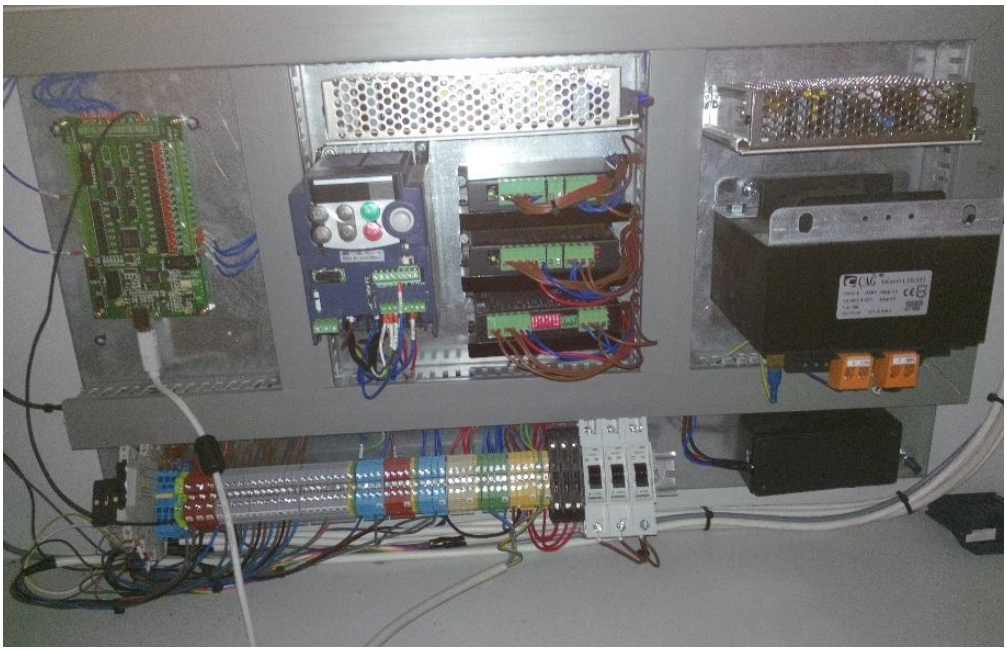
Şekil 3.9. Kullanılan spindle motor evirici



Şekil 3.10. Frenic Mini basitleştirilmiş kontrol sistem diyagramı

3.2. Mini CNC Dik İşleme Tezgâhı Kontrol Panosu ve Mach3 Kontrol Kartı

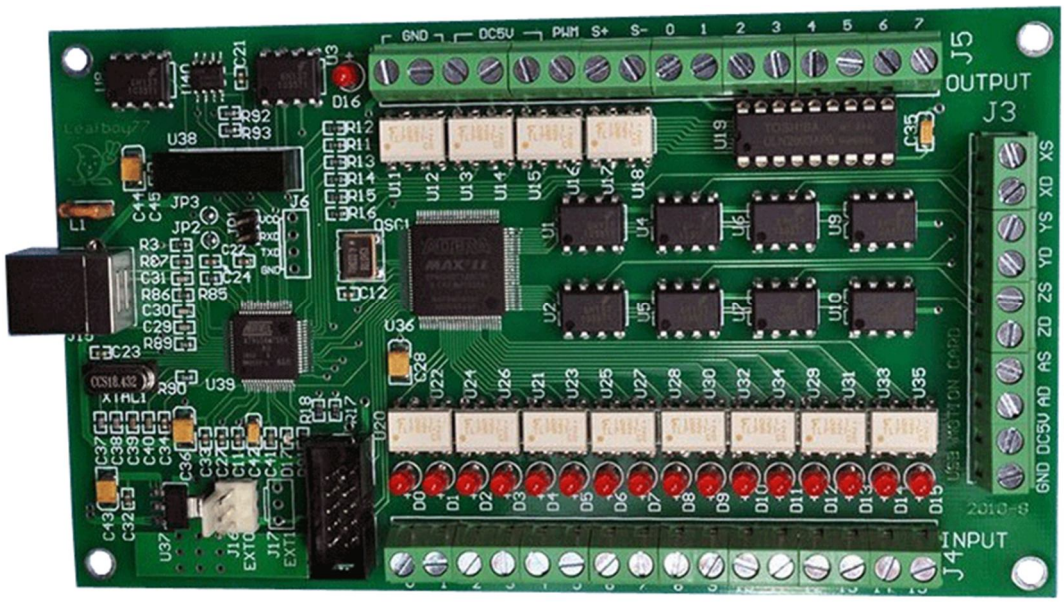
Mini CNC dik işlem tezgâhının kontrolü için Şekil 3.10'da görülen tezgâh kontrol yapılmıştır. Kontrol panosunda, USB bağlantılı kontrol kartı, bu kontrollere bağlı olacak şekilde 3 adet step motor sürücüsü, sisteme gerekli olan enerjiyi sağlamak için 2 adet güç kaynağı, spindle motor kontrolü için 1 adet evirici ile sigortalar ve soğutucu fanlar kullanılmıştır.



Şekil 3.11. Mini CNC dik işlem merkezi kontrol panosu

3.2.1. Mach3 kontrol kartı

X,Y,Z eksenlerinin hareketi için kullanılan step motor kontrolörleri ve işleme motoru (spindle) için kullanılan asenkron motorun evirici kontrolörü bilgisayar tarafından kontrol arabirimini sağlaması için aşağıdaki Şekil 3.11'de [22] gösterilen USB bağlantısı bulunan kontrol kartı kullanılmıştır.

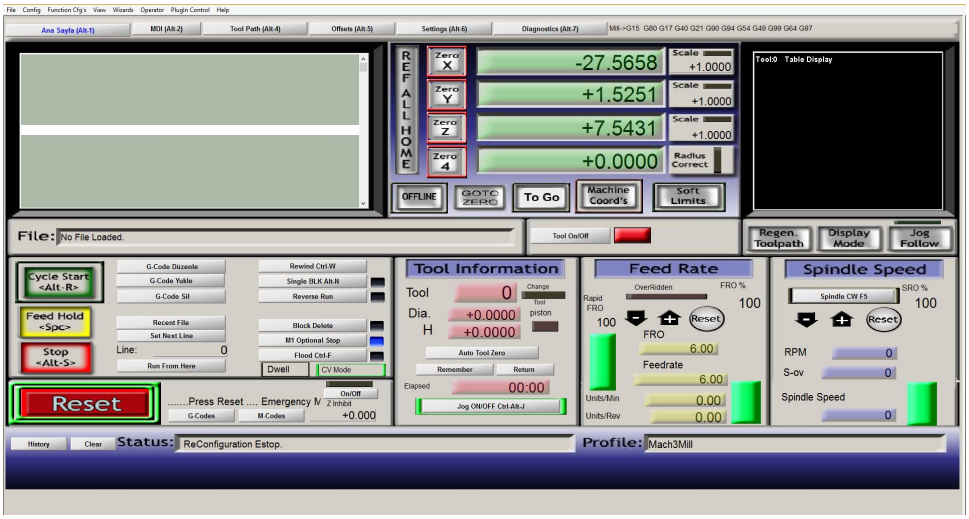


Şekil 3.12. 3 Eksen USB kontrol kartı

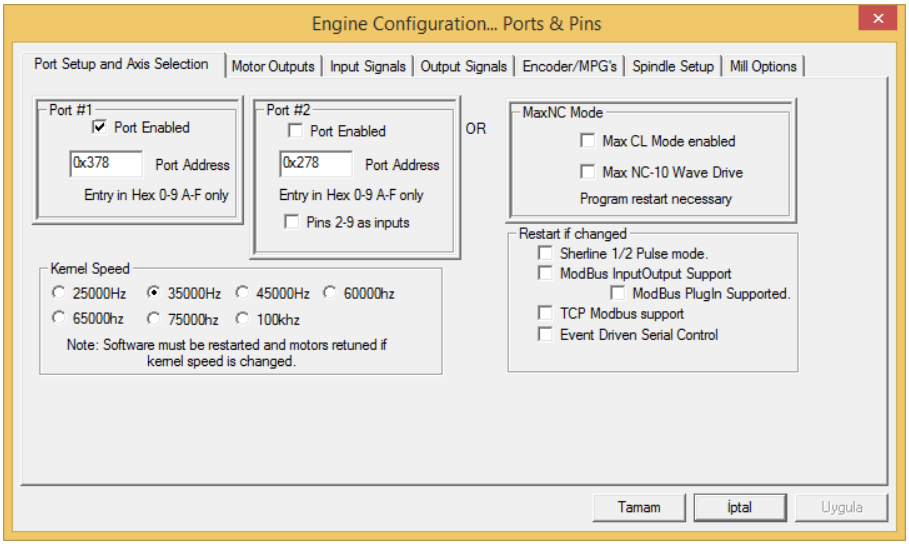
3.3. Parça Programlama ve Mach3 Programı

CNC makinelerin kontrolünde G ve M kodlu programlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kodlar ile CNC tezgâhına yaptırılmak istenen işlem bir bilgisayar programı ara yüzü ile yazılabilmektedir.

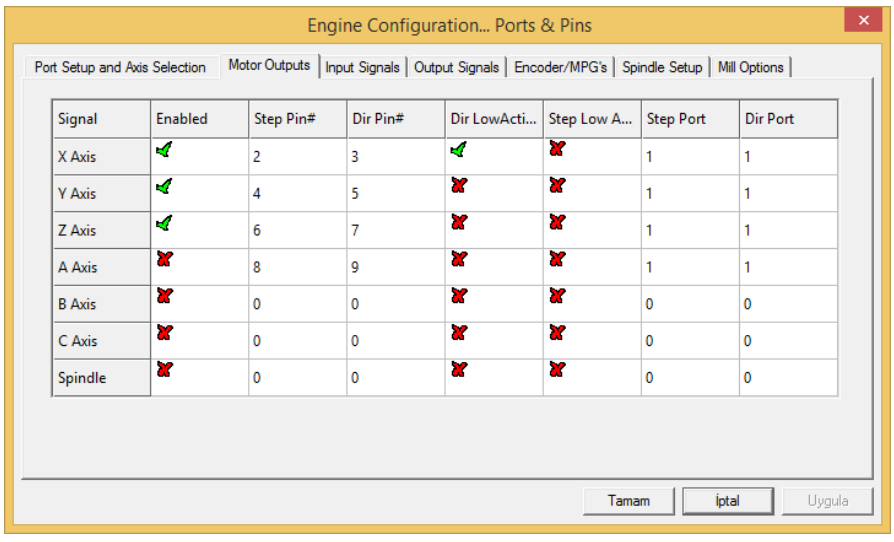
Tasarımı yapılan mini CNC dik işlem merkezinde bu kodlar için Mach3 programı kullanılmıştır. Mach3 programında, tezgâh motor hız ayarları, step motorlar için adım ayarları, tezgâh iş parça sıfırlaması, komut programı yazabilme, eksenlerin konumu ve işleme sırasındaki parçanın görüntüsü gibi birçok fonksiyon bulunmaktadır. Programı kullanabilmek için tezgâh kontrol kartı ile ilgili giriş ve çıkış pinlerinin Mach3 programı üzerinden ayarlanması gerekmektedir. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 3.12 – 16) Mach3 programı ekranı ve ayarları gösterilmiştir [23].



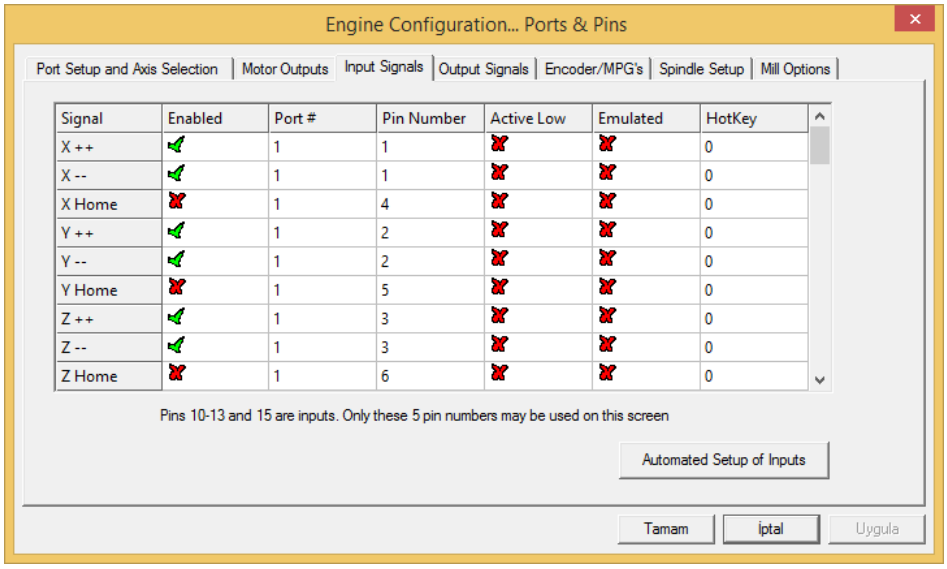
Şekil 3.13. Mach3 ara yüzü



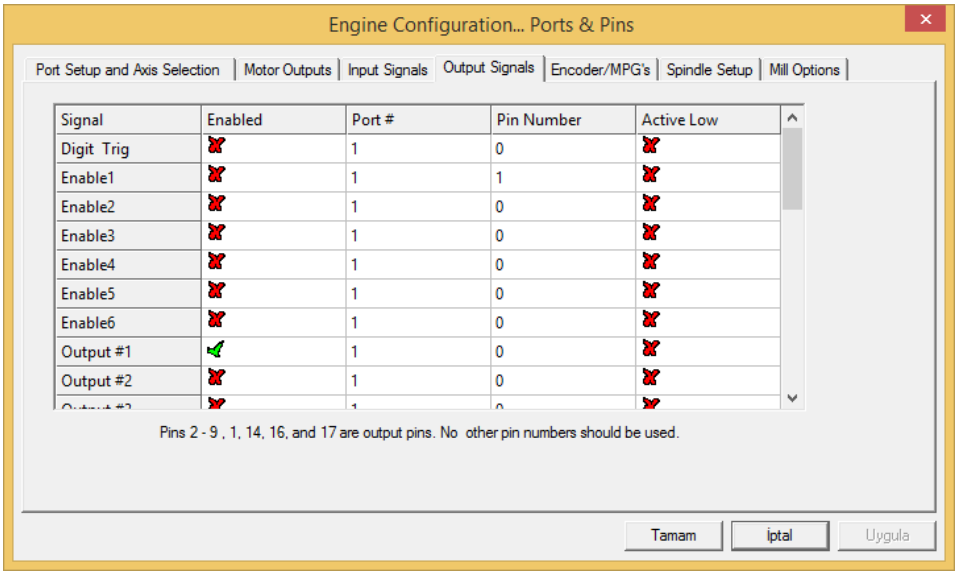
Şekil 3.14. Makine eksen seçimi



Şekil 3.15. Motor çıkış pin ayarları



Şekil 3.16. Motor giriş sinyali ayarları



Şekil 3.17. Motor çıkış sinyali ayarları

CNC makinelerinin tipine göre bazı G kodlarının anlamları da değişebilir. G kodlama dili sanayide en çok FANUC marka kontrol üniteli CNC tezgâhlarda kullanılmaktadır. Tablo 3.1'de en çok kullanılan G kodları verilmiştir [24]. Tüm G ve M kod tabloları Ek-C'de verilmiştir.

Tablo 3.1. G kodları

G KODU	**FONKSİYONLARI**
G00	Pozisyonlandırma
G01	Doğrusal kesme
G02	Saat yönünde dairesel kesme

M kodları makinenin çalışmasında yardımcı komutların uygulanmasında kullanılır. Tablo 3.2'de en çok kullanılan M kodları verilmiştir [24].

Tablo 3.2. M kodları

M KODLARI	**FONKSİYONLARI**
M00	Program Durdurma
M01	İsteğe bağlı olarak program durdurma
M02	Program sonu
M03	Saat Yönünde fener mili çevirme
M04	Saatin tersi yönünde fener mili çevirme

Üretimi yapılacak parçaların G ve M kodları manuel olarak çıkarılabileceği gibi bir CAM programı yardımı ile de çıkarılabilir. Kompleks parçalarda CAM programları hızlı ve doğru bir şekilde parça programlanmasını sağlamaktadır.

4. ÖRNEK PARÇA İMALATLARI

Tasarımı ve imalatı yapılan mini CNC dik işlem tezgâhında çeşitli işleme uçları kullanılarak alüminyum, ahşap ve elektronik devrelerde kullanılan PCB kartları işlenebilir.

4.1. Kullanılan İşleme Uçları ve Pensler

Malzemelerin işleneceği şekil ve malzeme özelliğine göre işleme uçları tezgâhın iş motoruna pensler aracığı ile bağlanarak kullanılmaktadır. Aşağıda Şekil 4.1'de iki ağızlı karbürlü düz ve küresel parmak freze uçları ve PCB kazıma da kullanılan uçlar gösterilmiştir. Şekil 4.2'de uçların iş motoruna bağlantısı için kullanılan pensler gösterilmiştir. Pens boyutları kullanılan takım çaplarına göre değişiklik göstermektedir.



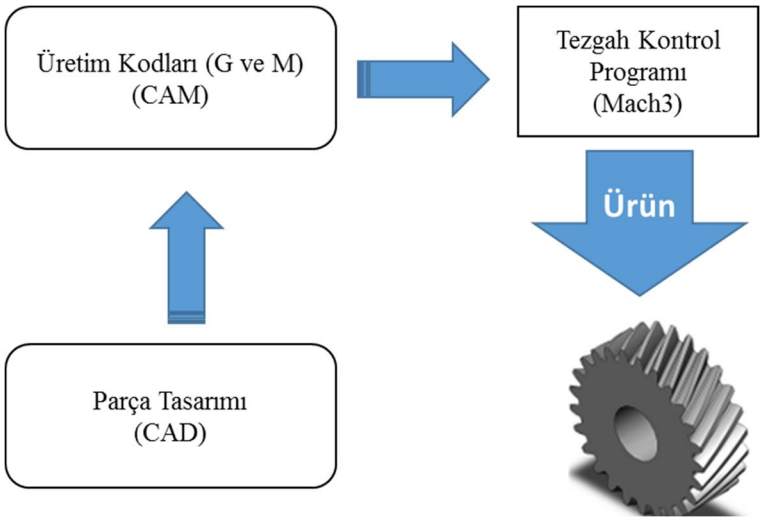
Şekil 4.1. Parmak freze ve PCB işleme uçları



Şekil 4.2. İşleme uçları için pensler (ER16)

4.2. Örnek Parça İmalatları

Üretimi yapılacak parçalar, Şekil 4.3'deki şemada gösterildiği gibi öncelikle bir tasarım programı (CAD) ile tasarlanarak sonrasında CAM programı yardımı ile imalat programı (G ve M kodları) çıkarılarak tezgah kontrol programına (Mach3) aktarılır ve ilgili işleme komutları ile tezgahta parça işlenerek üretilir.



Şekil 4.3. CNC Tezgâhta işlem sırası

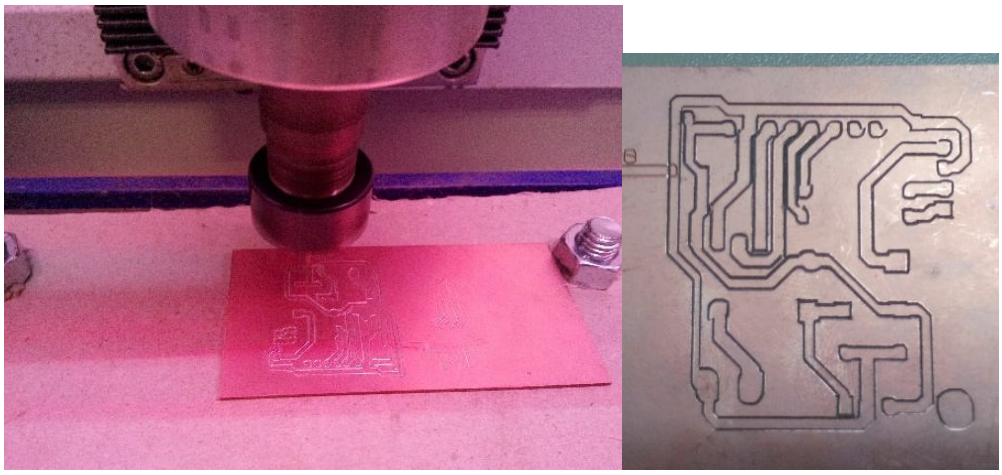
Mini CNC tezgâhında örnek olarak üretilen parçalar için CAD programı olarak ZW3D programı deneme sürümü, CAM programı olarak ArtCam deneme sürümü kullanılmıştır. Baskılı devre kartlarının tasarımı Proteus programında yapıldıktan sonra CAM programı için CopperCAM programı kullanılmıştır. Baskılı devre kartlarında önce baskı devre yolları yapılır sonrasında devre delikleri açılır ve son olarak tezgâhta çevre kesimi yapılıp kart üretimi tamamlanır.

Tezgâh kabiliyetini görmek amacıyla basit olarak aşağıdaki parçalar üretilmiştir. 6mm çapında 2 ağızlı parmak freze ile Şekil 4.4'te gösterilen iş parçası işlenmiştir.



Şekil 4.4. İşlenmiş tahta malzeme

PCB kazıma çakısı ile Şekil 4.5'te gösterilen baskı devre yolları oluşturulmuştur.



Şekil 4.5. Örnek baskı devre yolları

Farklı şekillerde ve boyutlardaki parçalar için yapılacak işleme göre CAM programı yardımıyla tanımlanan birçok farklı işleme ucu kullanılabilmektedir. Bu işleme uçlarının kullanımı; CAM programında M yardımcı kodları sayesinde işlem sırasına göre uçların değiştirilmesi ile yapılmaktadır.

5. TAKIM TEZGÂHLARINDA TİTREŞİM VE TİTREŞİME BAĞLI İŞ MOTORU DEVİR HIZI BELİRLENMESİ

Günümüz imalat sanayisinde giderek artan rekabet şartları, hızlı, kaliteli ve hatasız ürünlerin üretilmesini gerektirdiğinden takım tezgâhlarında yüksek işleme hızları ve parça yüzeyinden bir defada daha fazla talaş kaldırmayı gerektirmektedir. Bu gereksinim, takım tezgâhlarında parça işleme hassasiyeti, titreşim, yüksek işleme kuvvetleri ve aşınma gibi birçok problemlere sebep olmaktadır.

Bir takım tezgâhının hatasız ve istenilen hassas toleransta işleme yeteneğine sahip olması için, titreşimi oluşturan tüm sebeplerin ortadan kaldırılması gerekir. Ancak bu durum her zaman tam olarak başarılamaz ve tezgâhta küçük miktarda bir kararsızlık kalabilir. İstenen yüzey kalitesinin elde edilebilmesi için titreşimlerin belirlenmiş kabul edilebilir bir aralıkta olması gerekir. Takım tezgâhlarındaki titreşimin kaynakları, tezgâh parçalarının üretiminden takım tezgâhının kullanıma ve tezgâhlarda kesme işleminin yapılmasına kadar çeşitli etkenlere dayanır.

Bu tez çalışmasında, tasarımı ve imalatı yapılan mini CNC dik işlem tezgâhında en uygun işleme devir hızını bulabilmek için tahta bir malzemeden talaş kaldırarak testler yapılmıştır. Testler, 1mm, 2mm ve 3mm paso derinliklerinde 100 mm/dk ilerleme hızında iş motoru devir hızı değiştirilerek (6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk, 18.000 dev/dk) işlenirken titreşim ölçümleri alınarak yapılmıştır. Tablo 5.1'de yapılan test ölçüm koşulları gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Test ölçüm koşulları

Test No.	İlerleme Hızı	Kesme Derinliği	İş Motoru Devri
1	100 mm/dk	1mm	6.000 dev/dk
			9.000 dev/dk
			12.000 dev/dk
			15.000 dev/dk
			18.000 devdk
2	100 mm/dk	2mm	6.000 dev/dk
			9.000 dev/dk
			12.000 dev/dk
			15.000 dev/dk
			18.000 devdk
3	100 mm/dk	3mm	6.000 dev/dk
			9.000 dev/dk
			12.000 dev/dk
			15.000 dev/dk
			18.000 devdk

5.1. Takım Tezgâhlarında Titreşim

Mekanik titreşimler; serbest, zorlanmış ve kendiliğinden oluşan titreşimler olarak üç sınıfa ayrılmaktadır. Takım tezgâhlarında kesme sırasında ortaya çıkan titreşim kendiliğinden oluşmaktadır. Bu titreşim, sistemdeki kapalı bir çevrim ilişkisini sağlayan mekanizma yapısı vasıtasıyla gelişir. Bu mekanizma, sürekli periyodik olmayan bir dış enerji kaynağının ve titreşimi sürdüren sistemin, titreşimi nedeniyle periyodik bir kuvvet üretiminin modülasyonu olarak çalışmaktadır. Bu özelliğinden dolayı, kendiliğinden oluşan titreşim olarak tanımlanabilir [25,27]. Takım tezgâhı-iş parçası sisteminin yapısal modlarından biri, başlangıçta kesme kuvvetleri tarafından tahrik edilir. Bu titreşimin, mod çiftleşmesi ve dalgaların rejenerasyonu biçiminde iki ana kaynağı vardır. Tırlamanın başlaması, kendiliğinden doğan titreşim frekansı ile tezgâh kesme sisteminin veya takım tutucunun doğal frekansının yakın olması neticesinde meydana çıkar. Bu titreşim sonucunda iş parçalarında boyutsal olarak istenilen toleransın dışında olması, kalitesiz yüzey işlemesi, kesici takım aşınmaları ve kırılmaları, takım tezgâhının zarar görmesi gibi üretimi bozan etkenler ortaya çıkar [26]. Takım tezgâhlarında tırlamasız kesme için, kararlı kesme derinlikleri ile mil hızlarının seçiminin yapılabilmesini sağlayan tahrik teorileri ve analizleri, genellikle kesme sisteminin lineer olarak titreşen bir sistem ve kesme kuvvetinin de lineer olduğu kabulleri üzerine temellendirilmiştir.

5.2. Mini CNC Dik İşlem Tezgâhı Titreşim Ölçümü

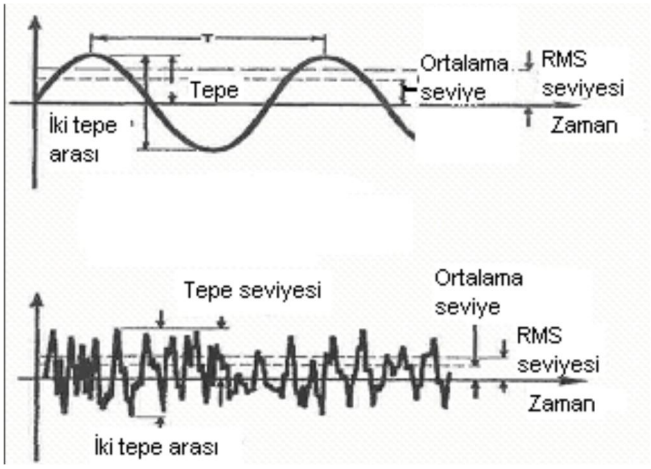
Titreşim seviyesinin büyüklüğü, karakteristiğine de bağlı olarak Şekil 5.1'deki gibi ifade edilebilir.

a) İki tepe arasındaki değer: Maksimum tepe değerini verdiğinden dolayı dönen makine elemanlarında yer değiştirme ölçümlerinde kullanılır.

b) Tepe değeri: Kısa şokların ölçülmesi için kullanılan metottur.

c) Ortalama değer: Titreşim sinyallerinin ortalama değerini verir.

d) RMS değeri: Titreşim büyüklüğünü ölçmek için kullanılan en yaygın metottur. Enerji miktarı ile direkt ilgili olduğundan, titreşimin yıkıcı etkisinin tespiti açısından önemlidir.



Şekil 5.1. Titreşim seviyelerinin tarifi

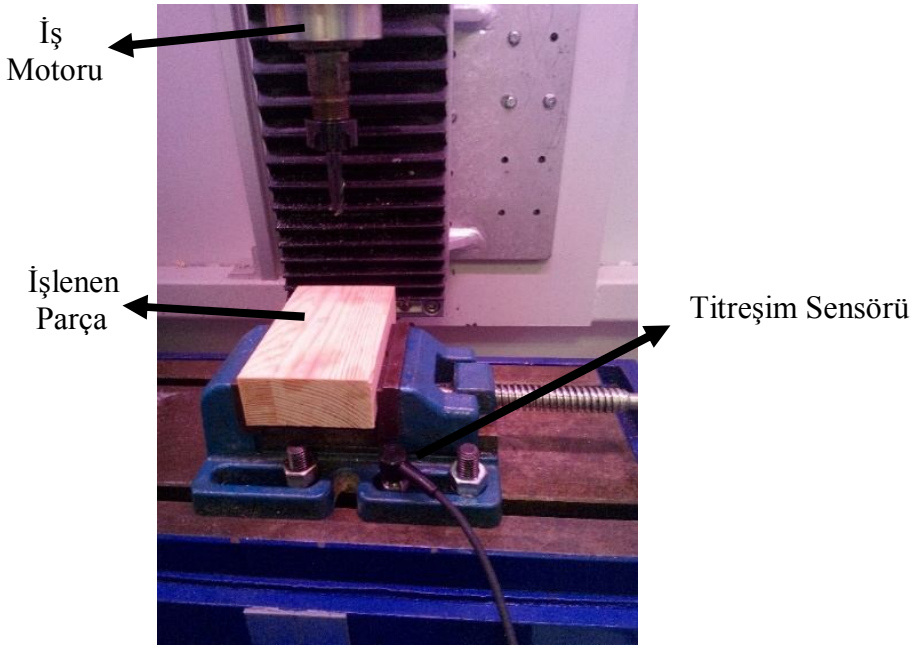
Tezgâhta parça işleme esnasında oluşan titreşimler, Şekil 5.2'de performans değerleri gösterilen PCB 607A11 model titreşim sensörü ile ölçülmüştür



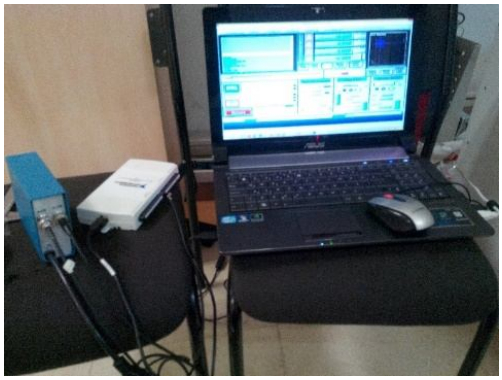
Performans Değerleri	
Hassasiyet (±15 %)	10.2 mV/(m/s²)
Ölçüm Aralığı	±490 m/s²
Frekans Aralığı (±3 dB)	0.5 to 10000 Hz
Rezonans Frekansı	25 kHz
Genişbant Çözünürlük (1 to 10000 Hz)	3434 μm/sec^2

Şekil 5.2. PCB 607A11 Titreşim sensörü ve performans değerleri

Şekil 5.3'te gösterildiği gibi mini CNC tezgah tablasına işlenecek parça ve titreşim sensörü bağlanarak, iş motoru 5 farklı çalışma devir hızında, 3 farklı paso derinlik çalışma şartlarında titreşim ölçümleri yapılmıştır.

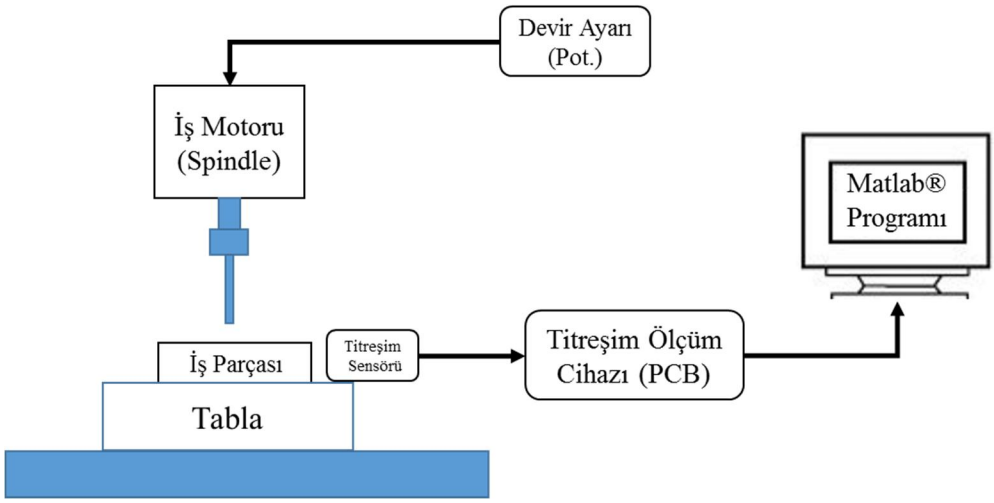


Şekil 5.3. Tezgâh titreşim ölçüm düzeneği



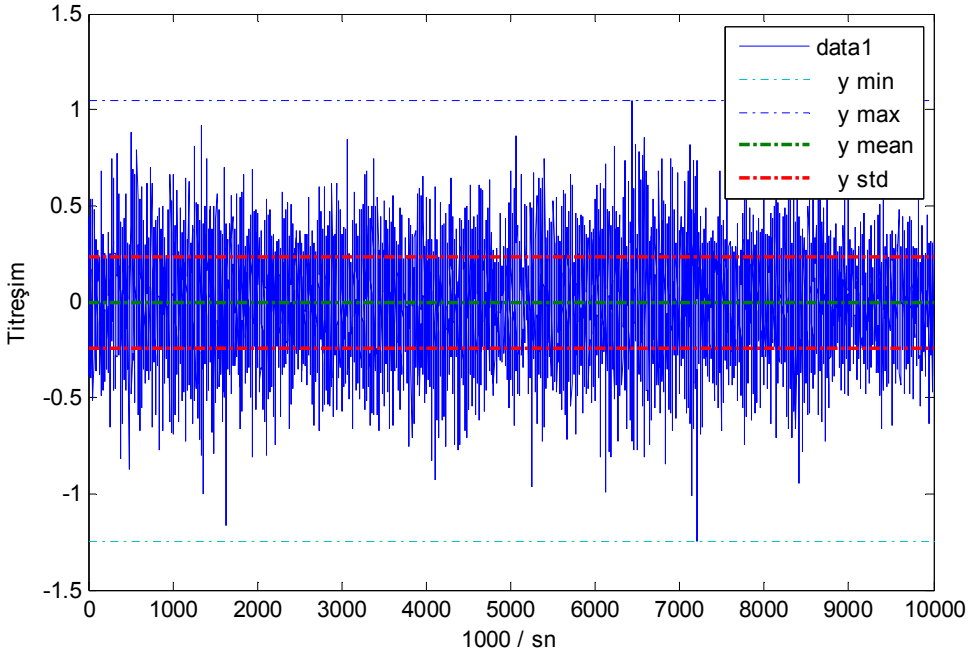
Şekil 5.4. Tezgâh titreşim ölçümü

Aşağıdaki Şekil 5.5'de yapılan ölçüm deney sisteminin grafiksel olarak gösterimi verilmiştir. Tezgâh iş motoru değişimleri tezgâha bağlanan çok devirli potansiyometre ile dışarıdan müdahale edilerek değiştirilebilmektedir. Titreşim ölçümleri için sensörüden gelen bilgiyi direk bilgisayar ortamına aktaran sistem Şekil 5.4'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Deney ölçüm sisteminin grafiksel gösterimi

Ölçümler, Matlab® programında yazılan ve dışarıdan ölçüm bilgisini gerçek zamanlı ölçebilen bir programın kullanımı ile yapılmıştır. Yaptırılan ölçümler işleme süresi göz önünde tutularak 10 saniye süre ile saniyede 1.000 adet örnekleme yaptırılıp zamana bağlı titreşim ivme grafikleri çizdirilmiştir.



Şekil 5.6. 1mm Kesme derinliğinde 6.000 dev/dk da titreşim ivme grafiği

Toplam olarak 15 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir ve ölçüm grafikleri Ek-A'da verilmiştir. Grafikler sonucu elde edilen verilere göre aşağıdaki Tablo 5.2'de yapılan ölçümler gösterilmiştir. Titreşim ölçümlerinde ortalama değer sıfır ve sıfıra

yaklaştıkça rms değerleri ile standart sapma eşit olmaktadır. Buna göre grafiklerdeki standart sapma değerleri titreşimin büyüklüğünü göstermektedir.

Tablo 5.2. Farklı devir ve kesme derinliklerine göre titreşim ölçüm sonuçları

İlerleme Hızı	Kesme Derinliği	İş Motoru Devri	Titreşim Değerleri		
			Genlik	Ortalama	Standart Sapma
100 mm/dk	1mm	6.000 dev/dk	1,044 ~ -1,245	-0,003266	0,2387
		9.000 dev/dk	1,718 ~ -1,537	-0,009102	0,327
		12.000 dev/dk	1,507 ~ -1,498	-0,01188	0,3702
		15.000 dev/dk	1,961 ~ -1,877	-0,01613	0,5617
		18.000 devdk	2,386 ~ -2,108	-0,01952	0,6659
100 mm/dk	2mm	6.000 dev/dk	1,428 ~ -1,715	-0,02616	0,431
		9.000 dev/dk	2,390 ~ -2,561	-0,02041	0,549
		12.000 dev/dk	2,336 ~ -2,461	-0,02312	0,5753
		15.000 dev/dk	3,545 ~ -3,567	-0,02927	1,163
		18.000 devdk	3,062 ~ -3,173	-0,01799	0,9365
100 mm/dk	3mm	6.000 dev/dk	1,244 ~ -1,270	-0,02618	0,3464
		9.000 dev/dk	1,693 ~ -1,937	-0,01197	0,4968
		12.000 dev/dk	3,112 ~ -3,088	-0,01275	1,184
		15.000 dev/dk	3,135 ~ -3,437	-0,03232	1,184
		18.000 devdk	3,060 ~ -2,975	-0,01365	0,8057



Titreşim Artışı

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstriyel modern CNC dik işlem merkezlerinin mini boyutlusunun yapılarak delme, kazıma ve oyma gibi temel işlevleri yerine getirebilmesi ve üniversite laboratuvarları bünyesinde eğitim amaçlı kullanılabilmesi hedeflenmiştir. Buna ilaveten, tasarımı ve üretimi yapılan mini CNC dik işlem tezgâhının parça işleme esnasındaki titreşimleri ölçülerek, en uygun iş motoru devir hızı seçimi yapılmıştır.

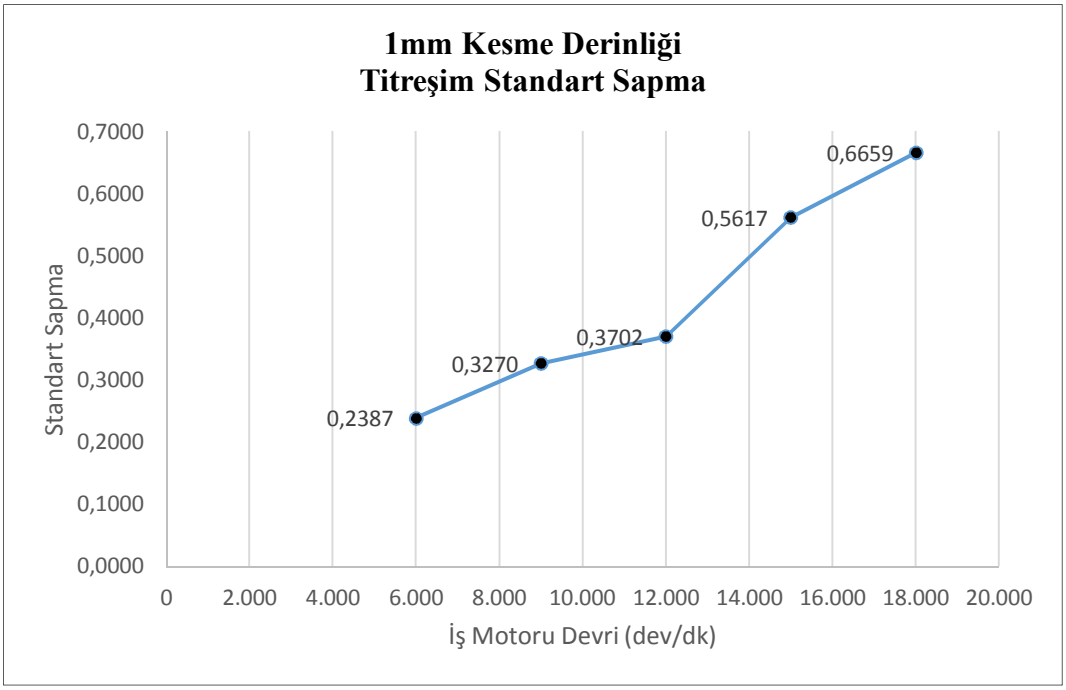
Bunun için öncelikle CNC tezgâhının konstrüksiyonu tasarlanmış; bu tasarıma göre çelik profiller ve saclar kesme, kaynak ve boya işlemlerinden geçirilerek tezgâh yapısı oluşturulmuştur. Sonrasında tezgâhta kullanılacak motorlar ve motor kontrol üniteleri seçilerek, 3 eksenin kontrolü ve iş motoru kontrol sistemi oluşturulmuştur. Tezgâhın otomasyonu için piyasada yaygın olarak kullanılan Mach3 programı ve USB bağlantılı kontrol kartı seçilmiştir.

İşleme başlamadan önce kullanıcı, CNC tezgâhının işleme ucunu tezgâh referans noktasına otomatik olarak taşıyabilmektedir. Bilgisayar ara yüzü, tüm bu işlemleri, tezgâh kontrol ünitesi ile USB haberleşme protokolünü kullanarak yapmaktadır. Tezgâh kontrol ünitesi ise, bilgisayar ara yüzünden gelen mesajları motor kontrol ünitelerine aktararak istenen işlemleri yapması sağlanmaktadır.

Frezeleme işlemleri tornalama işlemlerindeki sürekliliğin aksine, kesintili-vuruntulu talaş kaldırma işlemi olduğundan, kesme işlemi esnasında oluşan radyal ve eksenel kuvvetler freze tezgâhını titreşime zorlamaktadır. Kesme için gereken kuvvetler ve titreşimler, kesme işlemi esnasında iş parçasını yer değiştirmeye zorlamaktadır. Bu durum kesici takımdan istenilen verimin elde edilememesine ve yüzey kalitesinin düşmesine sebep olmaktadır. Frezeleme işlemlerinde, işleme yapılan yüzeyin kalitesini artırabilmek, tezgâh kapasitesinin tamamını kullanmak ve maliyeti azaltmak için en uygun frezeleme parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Üretim sektöründe önemli bir yeri olan frezeleme işlemleri için bu parametrelerin belirlenmesi, imalat işleminin verimliliğini artırmakta, tasarruf sağlamakta ve iyi bir yüzey kalitesi elde edilmesine yol açmaktadır.

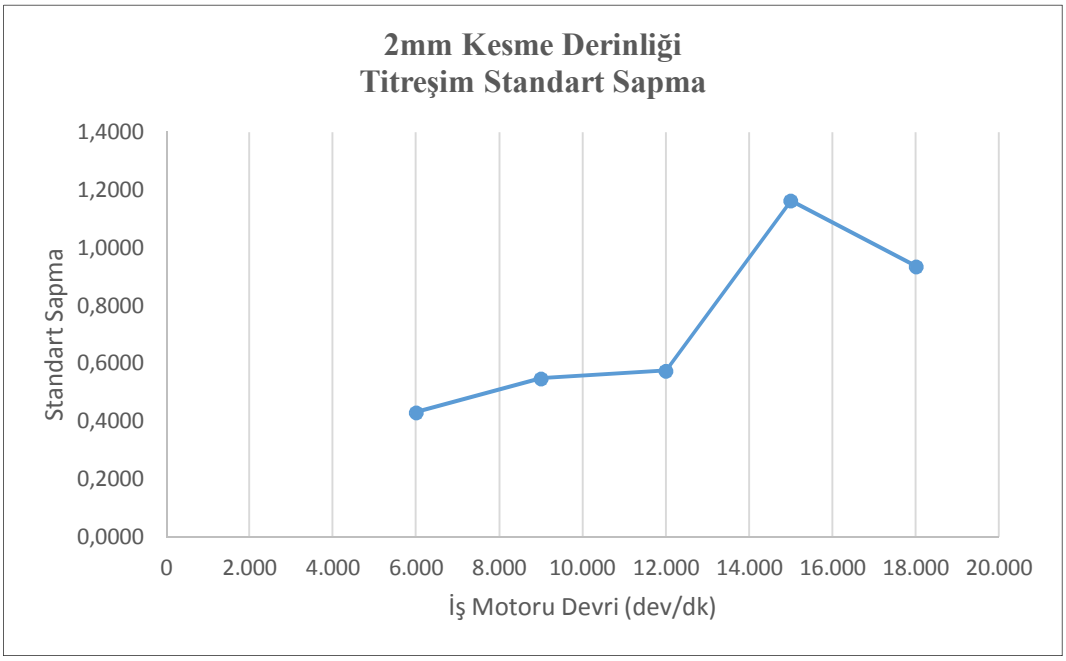
Bu çalışmada, titreşime etki eden iş motoru devir hızı ve kesme derinlikleri değişken olarak incelenip tezgâhta olan titreşimlere göre en uygun devir hızı tavsiyesi yapılmıştır. 100 mm/dk sabit ilerleme hızlarında sonuçlar;

- 1 mm kesme derinliğinde, 6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk devir hızlarında; titreşimin niceliğini temsil eden standart sapma değerleri devir hızları ile orantılı olarak artmıştır. 1 mm kesme derinliğinde, 6.000 dev/dk ve 9.000 dev/dk hızlarında titreşim daha az olduğu için uygun işleme yapılabilmektedir. Şekil 6.1'te gösterildiği gibi devir hızı arttıkça titreşim seviyesinde artış olmaktadır.



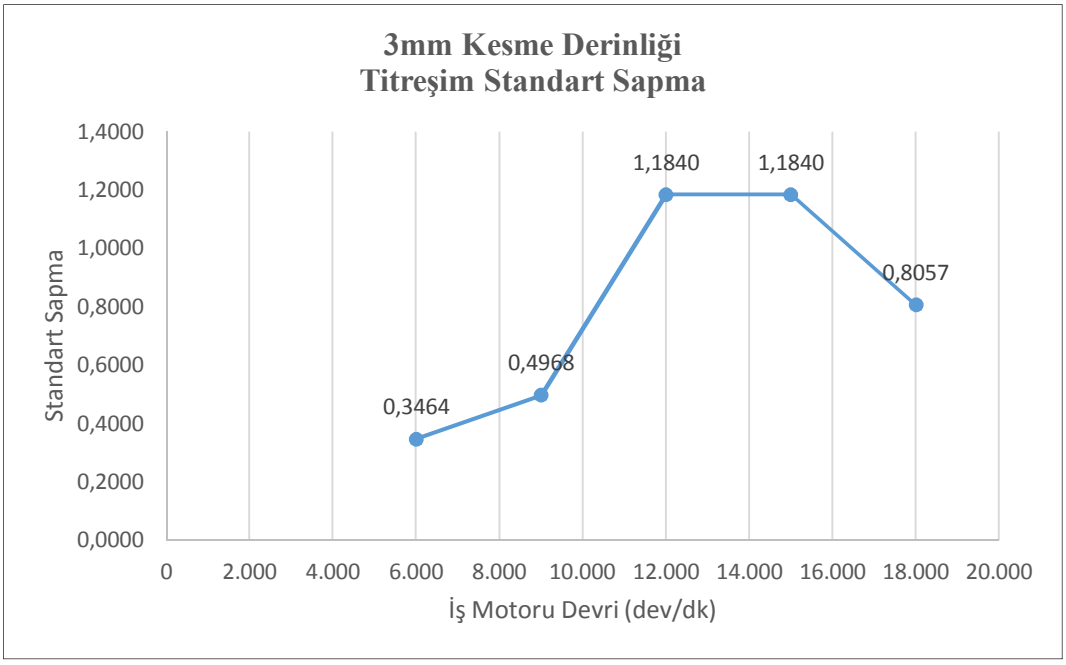
Şekil 6.1. 1mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri

- 2 mm kesme derinliğinde, 6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk devir hızlarında; titreşimin niceliğini temsil eden standart sapma değerleri devir hızları ile orantılı olarak artmıştır. 2 mm kesme derinliğinde 6.000 dev/dk ve 9.000 dev/dk hızlarında en uygun işleme yapılabilmektedir. 1mm kesme derinliğinden farklı olarak 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk hızlarındaki titreşimler yer değiştirmiştir.



Şekil 6.2. 2mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri

- 3 mm kesme derinliğinde, 6.000 dev/dk, 9.000 dev/dk, 12.000 dev/dk, 15.000 dev/dk ve 18.000 dev/dk devir hızlarında; titreşimin niceliğini temsil eden standart sapma değerleri devir hızları ile orantılı olarak artmıştır. 3 mm kesme derinliğinde 6.000 dev/dk ve 9.000 dev/dk hızlarında en uygun işleme yapılabilmektedir.1mm ve 2mm kesme derinliklerinden farklı olarak 18.000 dev/dk hızında işleme daha uygun çıkmıştır.



Şekil 6.3. 3mm Kesme derinliği ve devir hızlarına göre titreşim büyüklükleri

Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'ten kesme derinliklerine göre tezgâhta tahta bir malzeme işlenirken kesme derinliklerine göre titreşime uygun olarak devir hızları seçimi yapılabilmektedir.

Tezgâh titreşimlerinin kaynağı birçok sebebe bağlıdır. Bunlar, tezgâhın konstrüksiyonu, iş motorlarının stabilitesi, işlenen malzemenin özelliği, işleme ucunun özelliği ve işleme hızlarının belirlenmesi şeklinde sıralanabilir. Bu titreşimler kompleks yapıda olup işleme kalitesine ve tezgahın verimliliğine etki etmektedirler. Bu titreşimlerin minimuma indirilmesi ve stabil bir tezgahın uygun maliyetle üretimi çok önem arz etmekte ve bu konuda çalışmalar devam etmektedir.

Bu tez kapsamında üretimi yapılan mini CNC dik işlem tezgâhında, daha hassas işleme yapılabilmesi için, tezgâh konstrüksiyonu, eksen hareket sistemleri ve seçilen iş motorunda iyileştirmeler yapılabilir. Sistemde yine geliştirme yapılması amacıyla, işlenecek malzemeye yaklaşma ya da dokunma verisinin elde edilmesi için bir sensör kullanılarak otomatik bir şekilde iş motorunun parçanın işleme referansına getirilmesi sağlanabilir. Böylelikle göz kararı yapılan bu işlem hatasız bir şekilde gerçekleştirilebilir. Ayrıca farklı kontrol kartları geliştirilerek farklı ara yüz programları tasarlanıp kullanılabilir.

KAYNAKLAR

[1] Dinçel M., CNC Takım Tezgâhları, Lisans Diploma Çalışması, Trakya Üniversitesi, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, Tekirdağ, 1999.

[2] Akkurt M., *Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgâhları*, 2. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.

[3] Aktan M. E., Çok Amaçlı 3 Eksen Kartezyen Robot Sisteminin Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012, 315120.

[4] Şen D. K., Beş Eksenli CNC Tezgâh Tasarımı ve Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2010, 283619.

[5] Kayalık M., Bilgisayar Kontrollü Dik İşlem Tezgahı Tasarımı ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 2009, 243811.

[6] Şenol S., CNC Tezgâhı İle Kesim ve Desen Çıkarma Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2009, 259368.

[7] Kaygısız H., Eğitim Amaçlı Masaüstü Üç Eksenli CNC Freze Tasarımı ve Prototipi, Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, 2010, 274879.

[8] Quintana G., Ciurana J., Chatter in Machining Processes: A Review, *Elsevier International Journal of MachineTools&Manufacture,* 2011, **51**, 363–376.

[9] Kalinski K. J., Galewski A. M., Chatter Vibration Surveillance by The Optimal-Linear Spindle Speed Control, *Mechanical Systems and Signal Processing,* 2011, **25**, 383–399.

[10] Ishibashi T., Fujimoto H., Ishii S., Yamamoto K., Terada Y., High–Frequency–Variation Speed Control of Spindle Motor for Chatter Vibration Suppression in NC Machine Tools, *American Control Conference (ACC),* USA, 4-6 June 2014.

[11] Hongya F., Maoyue1 L., Yuan L., Zhenyu H., Study on Online Intelligent Control of Cutting Vibration in Milling Process, *Noise & Vibration Worldwide*, 2011, **77**, 150-155.

[12] Kim D. H., Song J. Y., Cha S. K., Kim H. K., Real-Time Compensation of Chatter Vibration in Machine Tools, *I.J. Intelligent Systems and Applications*, DOI: 10.5815/ijisa850.

[13] Arık İ., Farklı Adımlı Kesici Ağızlara Sahip Freze Çakılarının Tırlama Titreşimleri Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2010, 266350.

[14] Güngör O., Kesici Takım Titreşimlerinin Gerçek Zamanlı İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2008, 283768.

[15] http://www.inverter-plc.net/servo_sistem/step_motorlar.html, (Ziyaret Tarihi: 05 Şubat 2014).

[16] http://www.robosan.com.tr/stepmotor.htm, (Ziyaret Tarihi: 10 Aralık 2013).

[17] Mergen A. F., Sibel Z., *Elektrik Makineleri II Asenkron Makineler*, 5. Baskı, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 2005.

[18] Çetin İ., *Asenkron Makina Problemleri (Çözümlü)*, 2. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1993.

[19] http://www.arel.com.tr/page.php?ID=55, (Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2013).

[20] http://www.elektroforum.org/dijital-elektronik/33148-step-motor-kontrol-devresi.html, (Ziyaret Tarihi: 26 Nisan 2014).

[21] http://www.robosan.com.tr/step/zm2h606.htm, (Ziyaret Tarihi: 20 Ekim 2013).

[22] https://www.otomasyoncu.net/3-EKSEN-USB-MACH3-KONTROL-KARTI-INTERFACE,PR-85.html, (Ziyaret Tarihi: 20 Eylül 2014).

[23] http://www.machsupport.com/docs/Mach3Mill_6.11.pdf, (Ziyaret Tarihi: 07 Şubat 2014).

[24] Alan S., CNC Eğitim Seti Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 2006, 183218.

[25] Tlusty G., *Manufacturing processes and equipment*, 2nd ed., Prentice Hall, New Jersey, 2000.

[26] Seto W. W., (Çev. Toprak T.), *Mekanik titreşimler*, 2. Baskı, Birsen Yayın Evi, İstanbul, 1998.

[27] Altintas Y., Budak E., Analytical Prediction of Stability Lobes in Milling, *Annals of The CIRP*, 1995, **41**, 357-362.

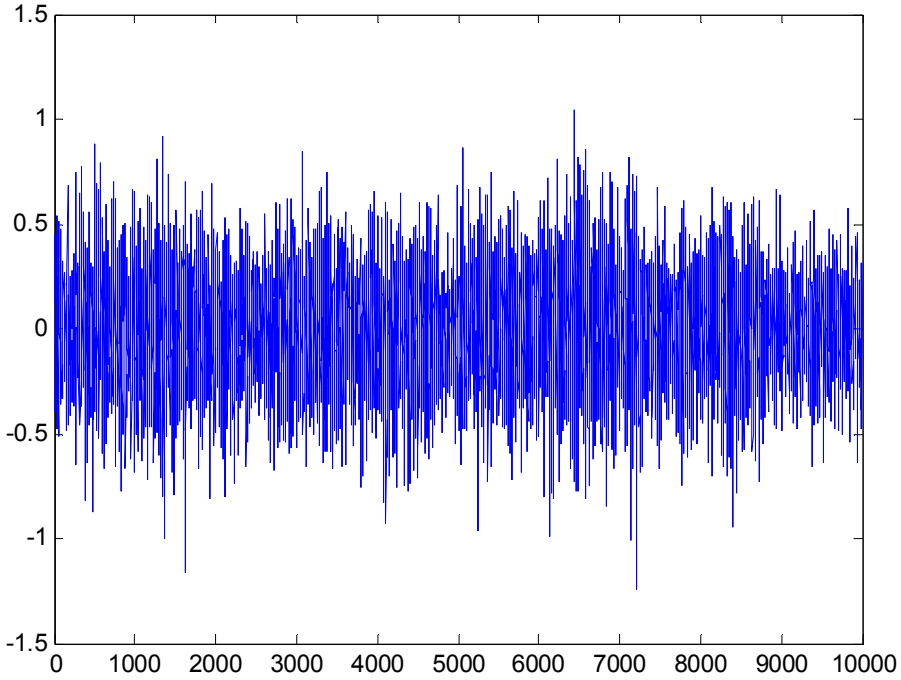
[28] Tsai N. C., Shih L. W., Lee R. M., Spindle Vibration Suppression for Advanced Milling Process by Using Self-Tuning Feedback Control, *Int. J. Adv. Manuf. Technol*, DOI 10.1007/s00170.

EKLER

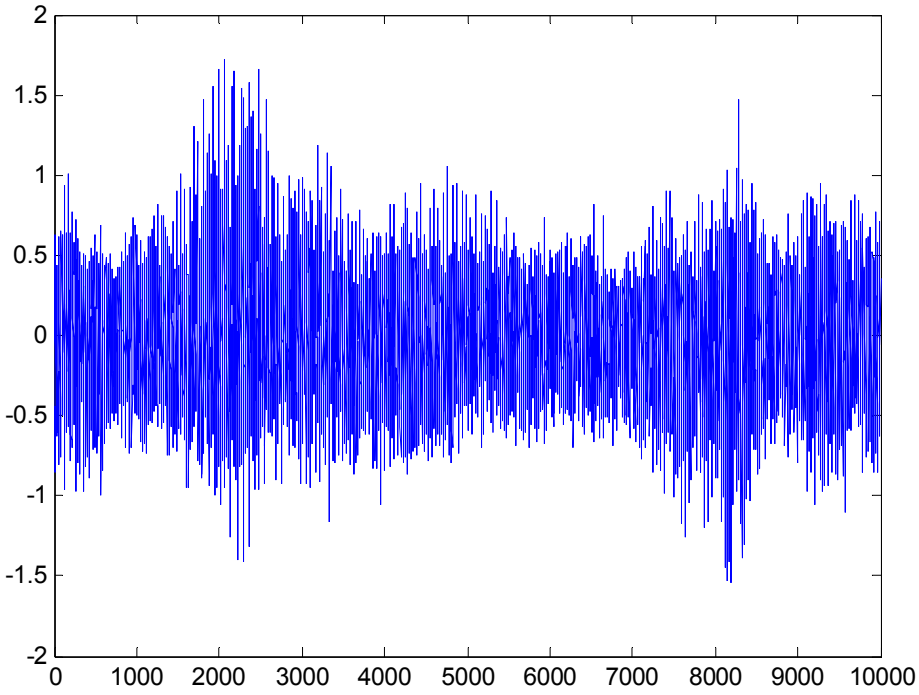
Ek-A: Titreşim Ölçüm Matlab Programı ve Sonuç Grafikleri

```
%data kaydet
clear all; close all; clc;

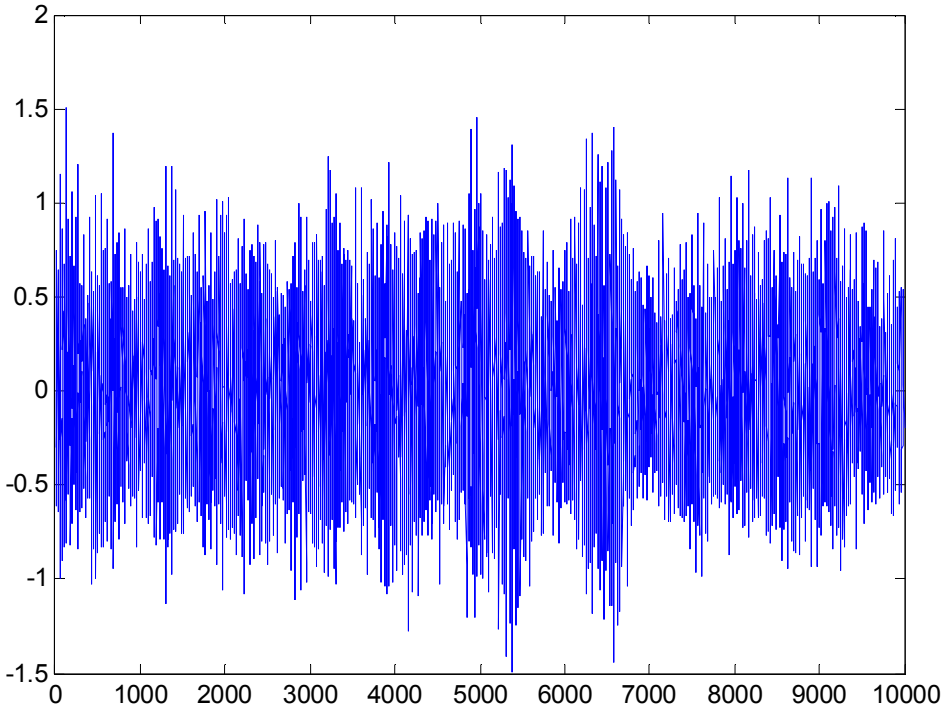
Nokta = 1000;
AI = analoginput('nidaq','Dev2');
chan = addchannel(AI,1);
duration = 10; %1 second acquisition
set(AI,'SampleRate',Nokta)
ActualRate = get(AI,'SampleRate');
set(AI,'SamplesPerTrigger',duration*ActualRate)
set(AI,'TriggerType','Manual')
blocksize = get(AI,'SamplesPerTrigger');
Fs = ActualRate;  % sampling frequency
start(AI)     % haydi başla
trigger(AI)
wait(AI,duration + 1)
data = getdata(AI);
save data.mat
plot(data)
```



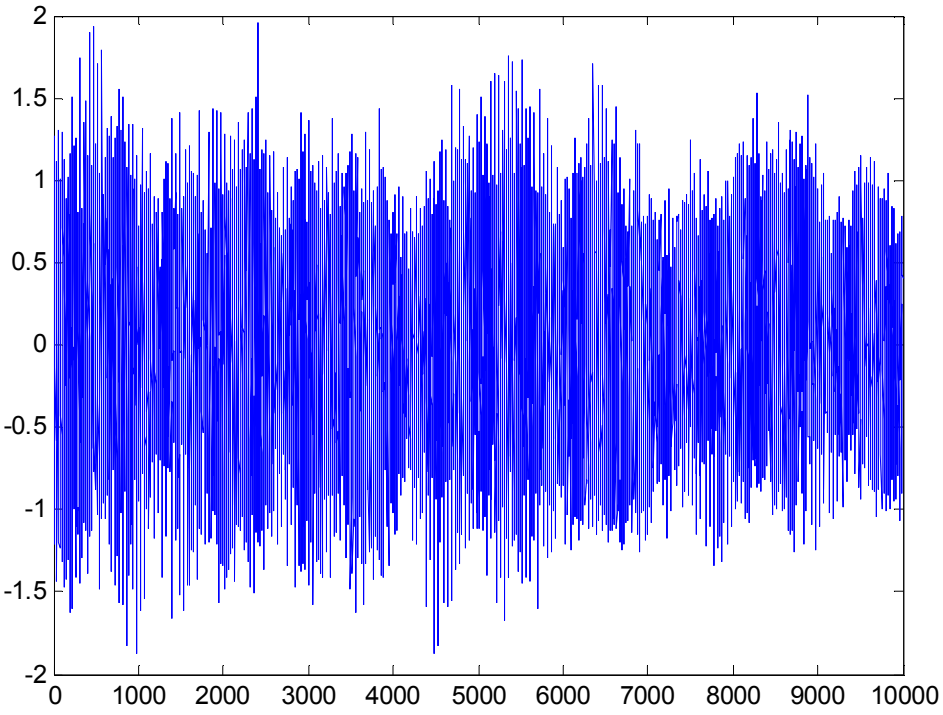
Şekil A.1. 1mm kesme derinliği 6.000dev/dk hız titreşim grafiği



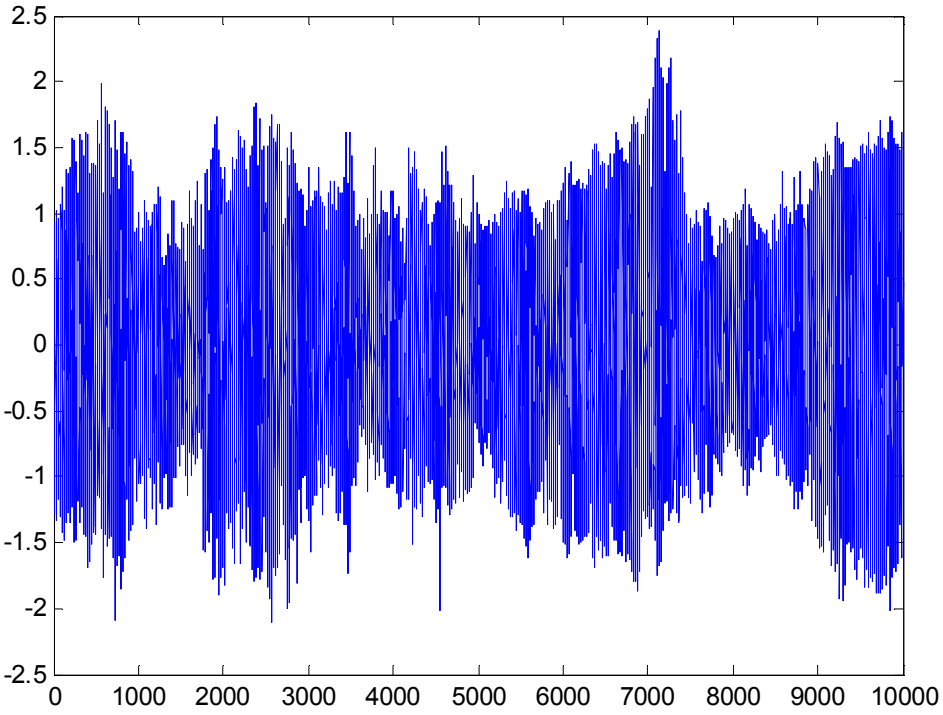
Şekil A.2. 1mm kesme derinliği 9.000dev/dk hız titreşim grafiği



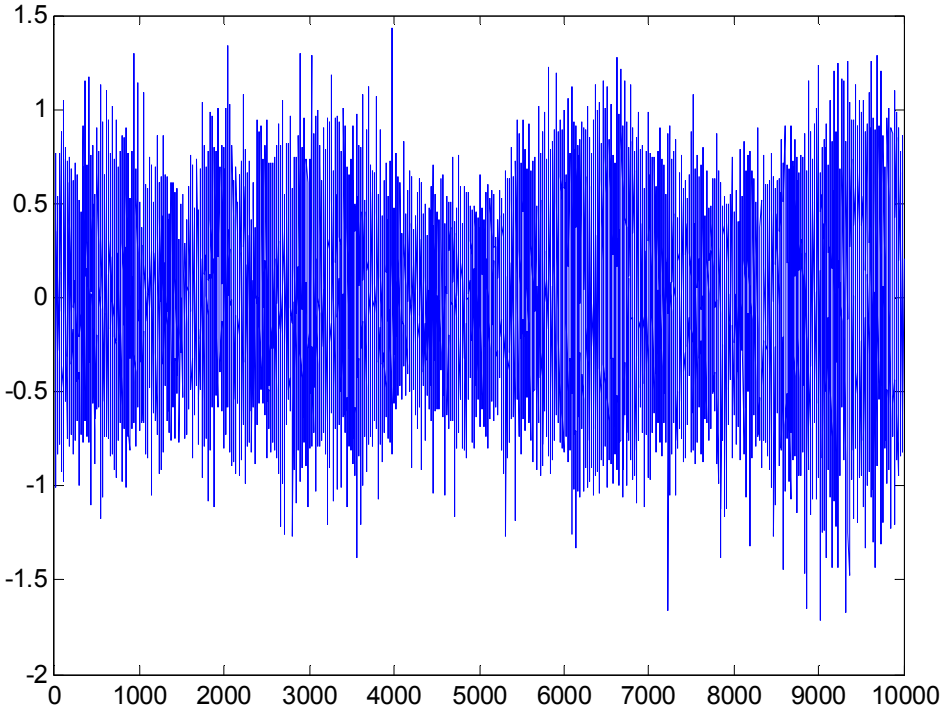
Şekil A.3. 1mm kesme derinliği 12.000dev/dk hız titreşim grafiği



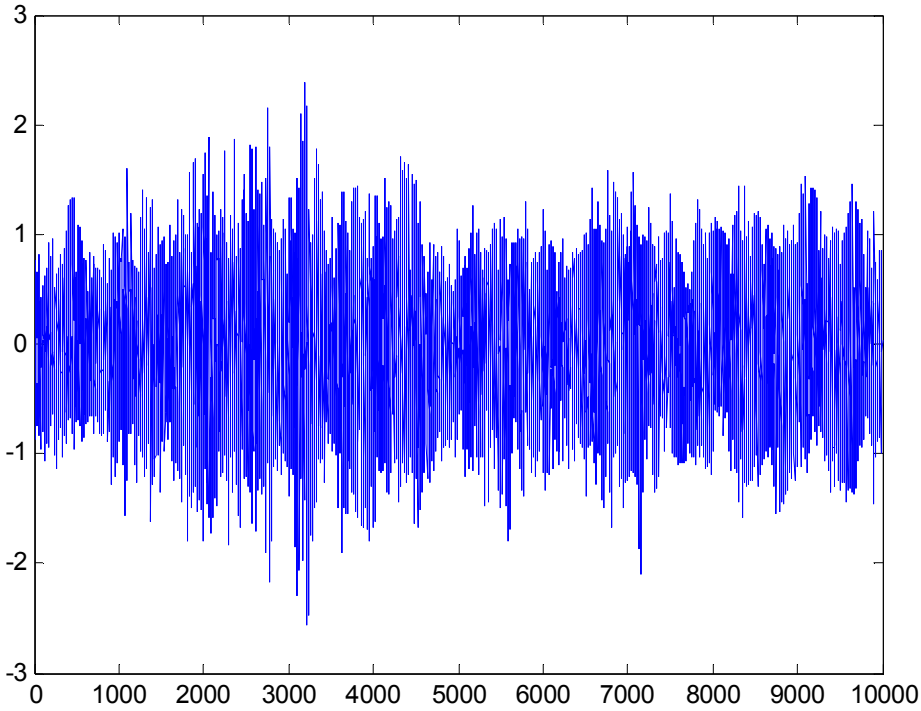
Şekil A.4. 1mm kesme derinliği 15.000dev/dk hız titreşim grafiği



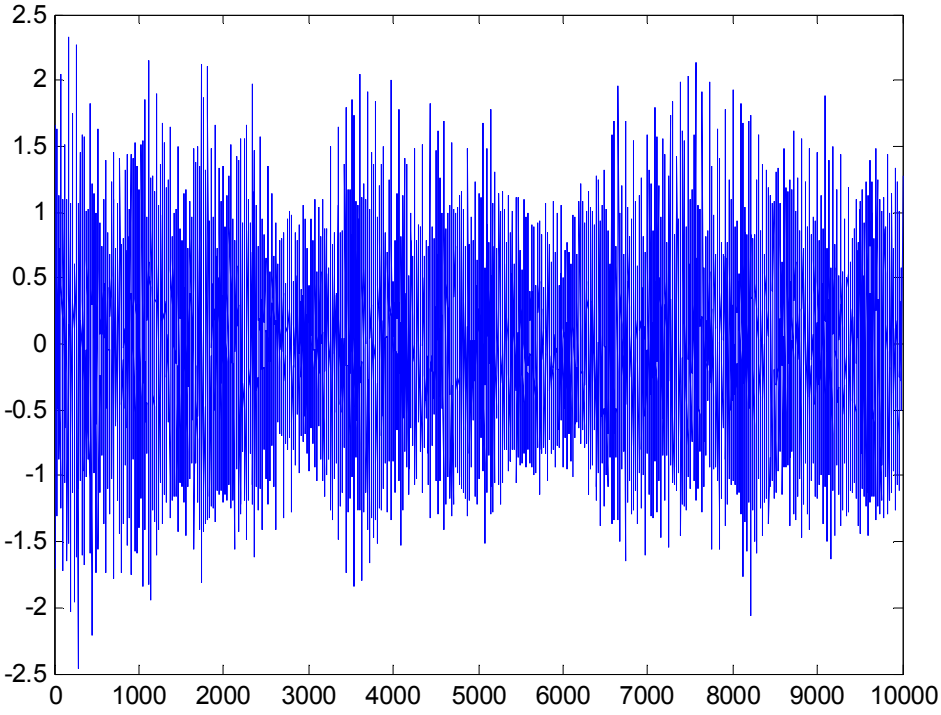
Şekil A.5. 1mm kesme derinliği 18.000dev/dk hız titreşim grafiği



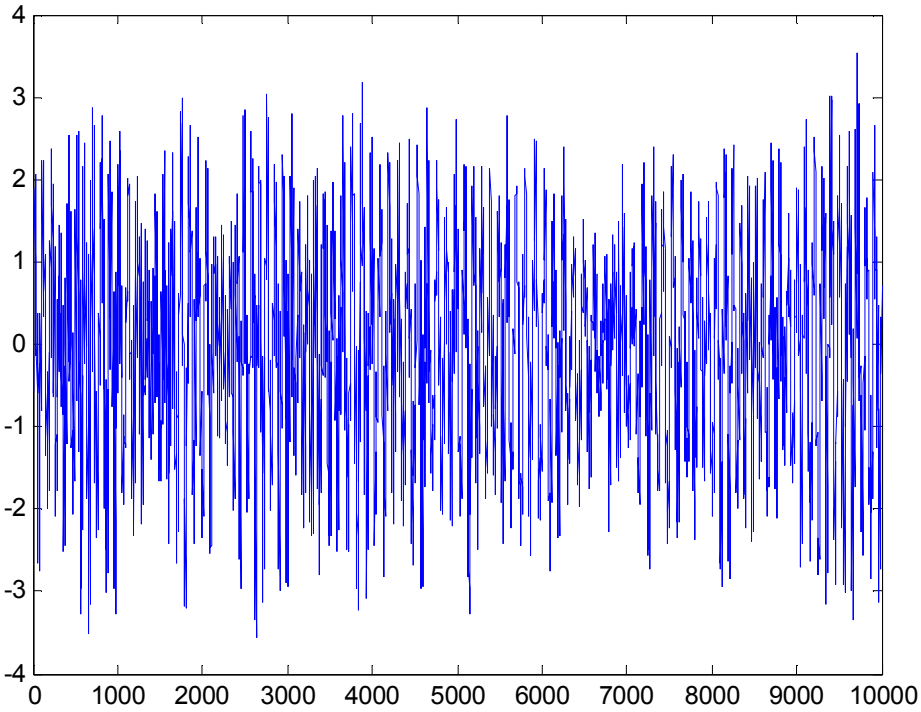
Şekil A.6. 2mm kesme derinliği 6.000dev/dk hız titreşim grafiği



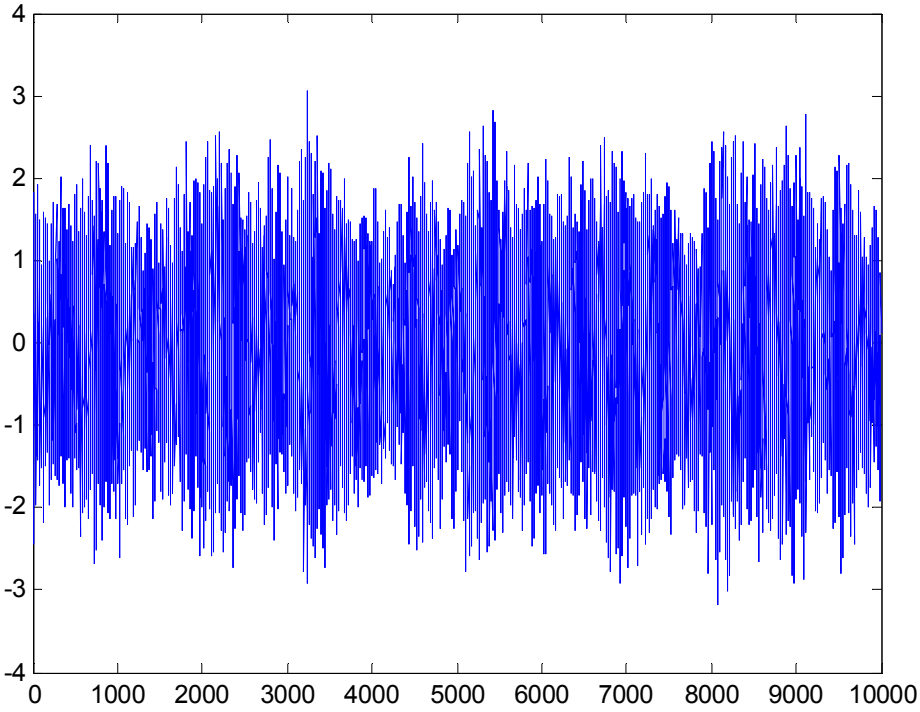
Şekil A.7. 2mm kesme derinliği 9.000dev/dk hız titreşim grafiği



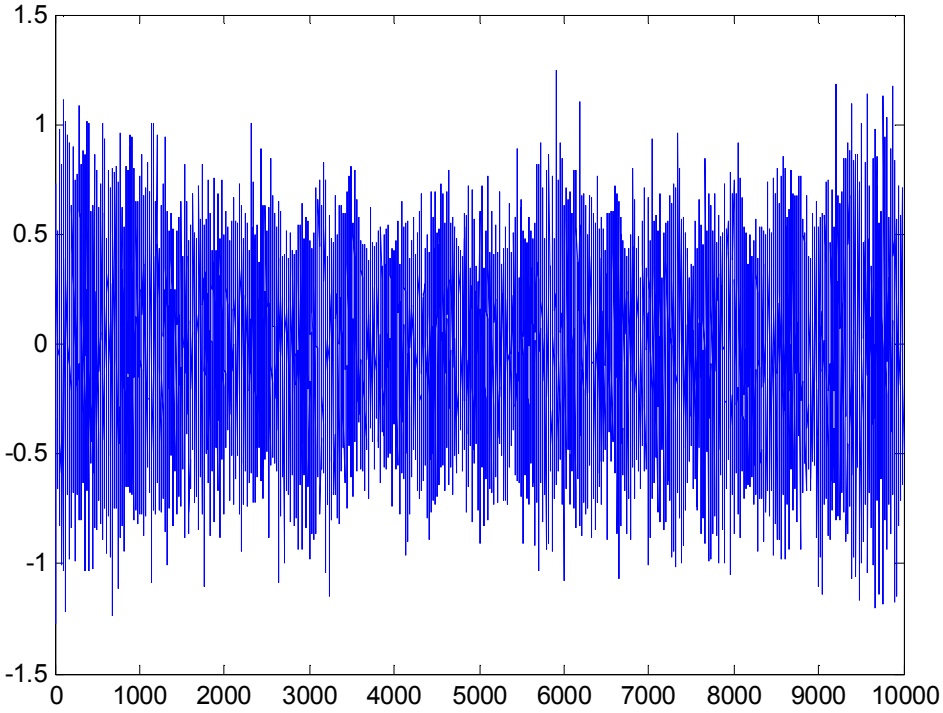
Şekil A.8. 2mm kesme derinliği 12.000dev/dk hız titreşim grafiği



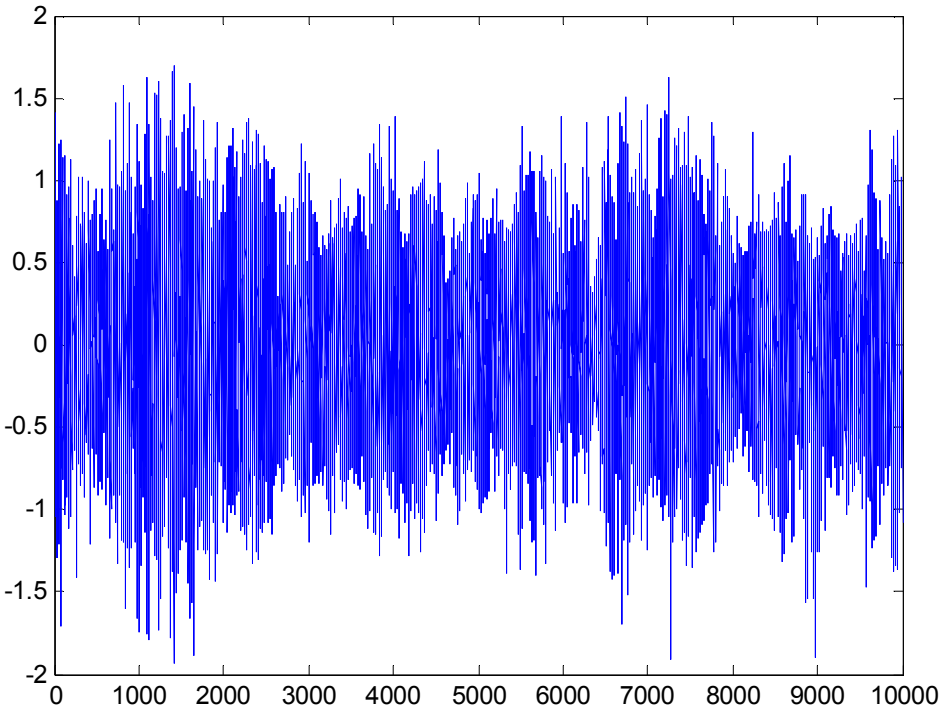
Şekil A.9. 2mm kesme derinliği 15.000dev/dk hız titreşim grafiği



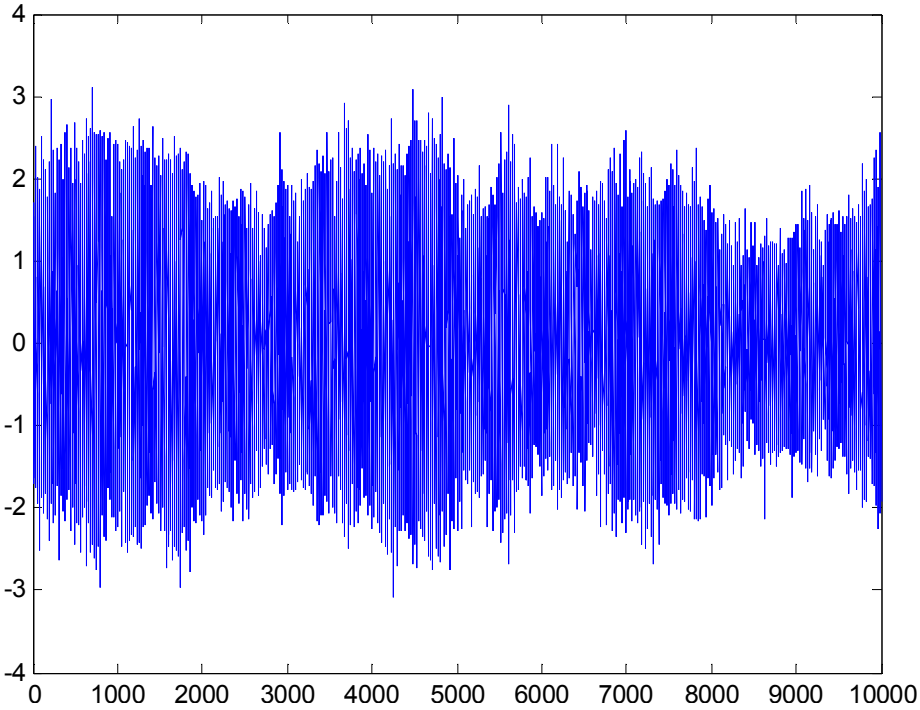
Şekil A.10. 2mm kesme derinliği 18.000dev/dk hız titreşim grafiği



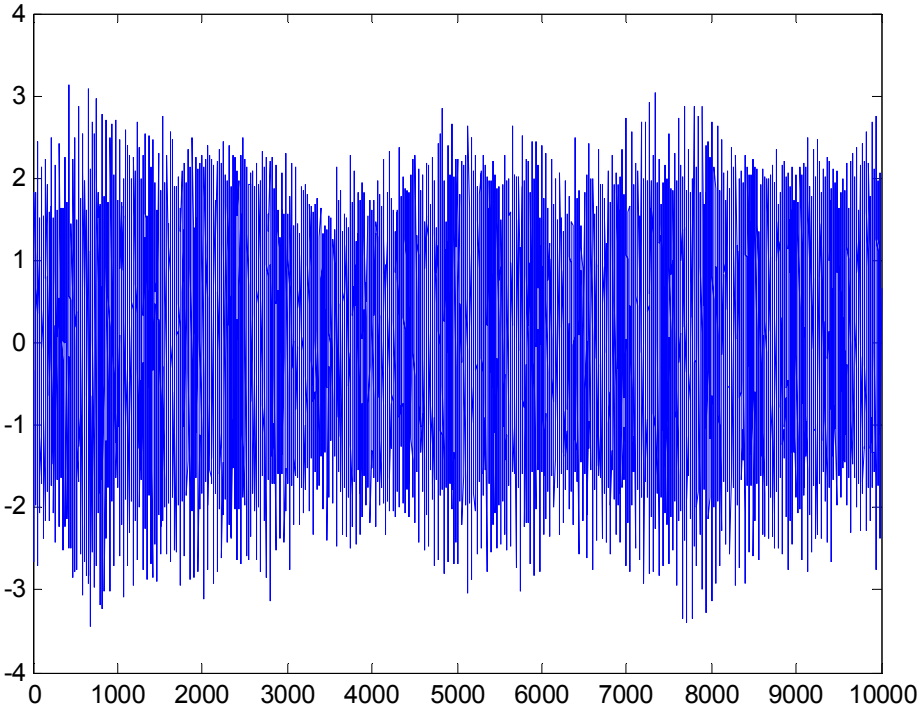
Şekil A.11. 3mm kesme derinliği 6.000dev/dk hız titreşim grafiği



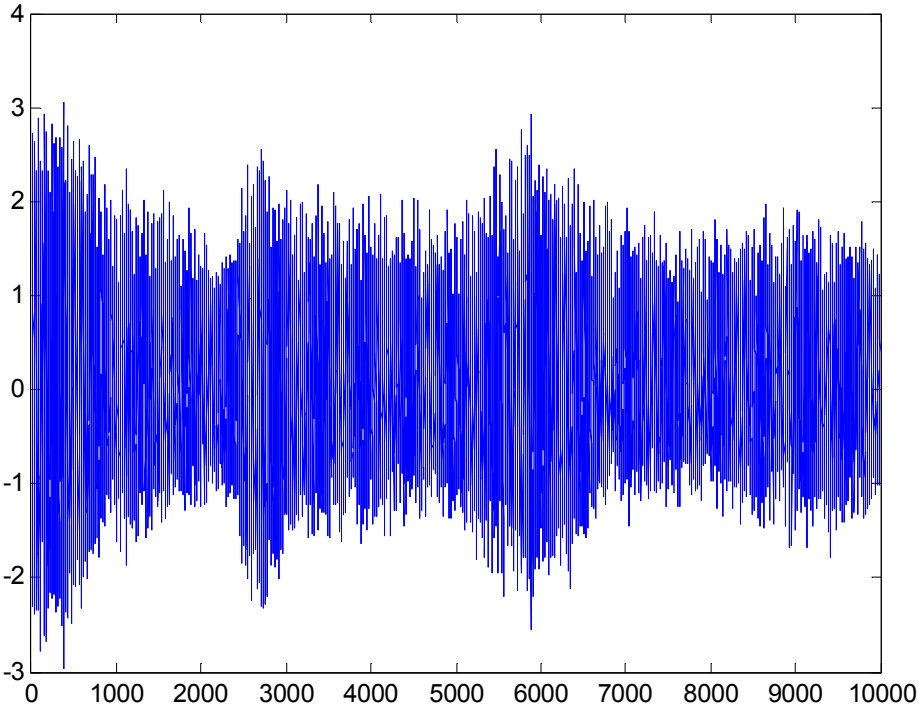
Şekil A.12. 3mm kesme derinliği 9.000dev/dk hız titreşim grafiği



Şekil A.13. 3mm kesme derinliği 12.000dev/dk hız titreşim grafiği

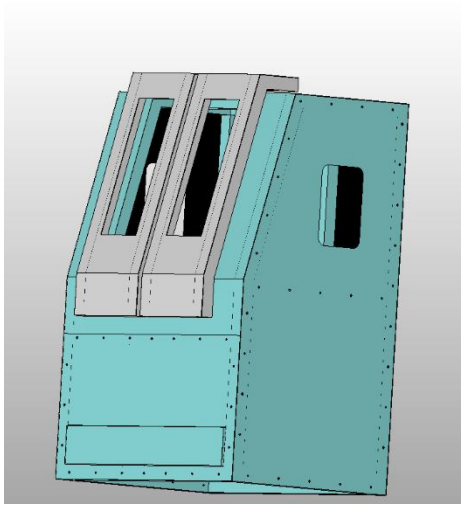


Şekil A.14. 3mm kesme derinliği 15.000dev/dk hız titreşim grafiği

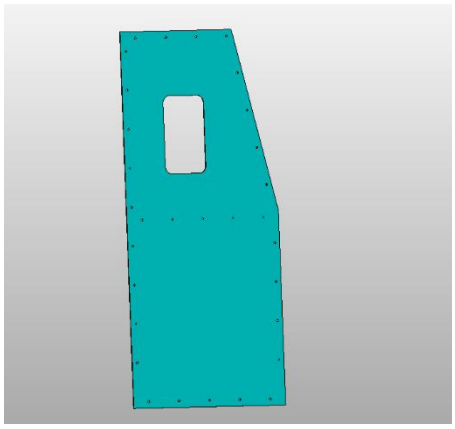


Şekil A.15. 3mm kesme derinliği 18.000dev/dk hız titreşim grafiği

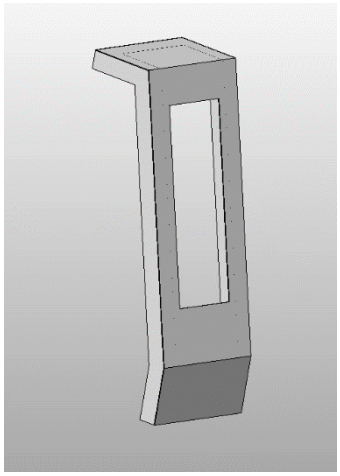
Ek-B: Mini CNC Tezgâh Tasarım Resimleri



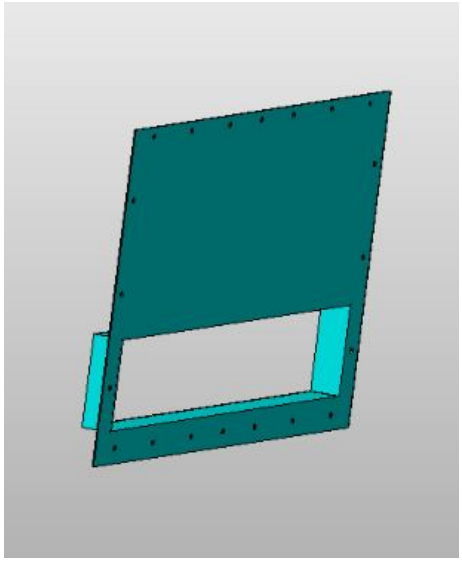
Şekil B.1. Tezgâh gövdesi



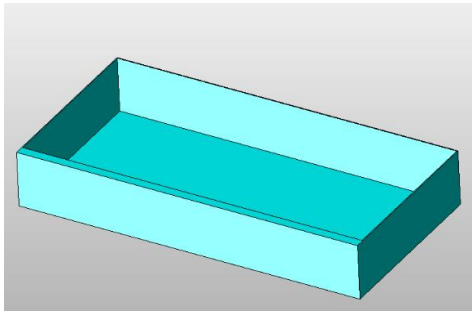
Şekil B.2. Yan kapaklar



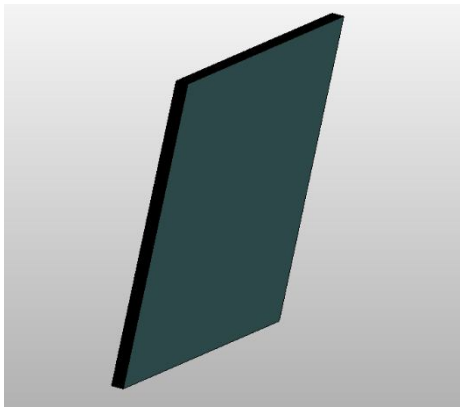
Şekil B.3. Kayar kapılar



Şekil B.4. Ön kapak



Şekil B.5. Alt talaş rafı



Şekil B.6. Elektrik pano kayar kapı

Ek-C: G ve M Kodları

Tablo C.1. G kodları

G KODU	FONKSİYONLARI
G00	Pozisyonlandırma
G01	Doğrusal kesme
G02	Saat yönünde dairesel kesme
G03	Saatin tersi yönde dairsel kesme
G17	XY Düzlemi
G18	ZX Düzlemi
G20	İnç Programlama
G21	Metrik programlama
G27	Referans noktasına dönüş kontrolü
G28	Referans noktasına gönderme
G29	Referans noktasına dönüş
G30	2.3.ve 4.referans noktasına gönderme
G31	Atlama fonksiyonu
G40	Takım yarıçap telafisi
G41	Sol Takım yarıçap telafisi
G42	Sağ Takım yarıçap telafisi
G49	Takım boy telafi iptali
G52	Koordinat sistemi kaydırma
G53	Makine koordinat sistemi seçme
G54	1.işparçası sıfırı seçme
G55	2.işparçası sıfırı seçme
G56	3.işparçası sıfırı seçme
G57	4.işparçası sıfırı seçme
G58	5.işparçası sıfırı seçme
G59	6.işparçası sıfırı seçme
G68	Koordinat sistemi çevirme
G69	Koordinat sistemi çevirme iptali
G80	Çevrim iptali
G90	Mutlak sistem
G91	Artımsal sistem
G92	İş parçası sıfırı değiştirme
G94	İlerleme mm/dk.
G95	İlerleme mm/dev.
G98	Çevrim sonrası Z noktasına dönme
G99	Çevrim sonrası R emniyet noktasına dönme

Tablo C.2. M kodları

M KODLARI	FONKSİYONLARI
M00	Program Durdurma
M01	İsteğe bağlı olarak program durdurma
M02	Program sonu
M03	Saat Yönünde fener mili çevirme
M04	Saatin tersi yönünde fener mili çevirme
M05	Fener mili durdurma
M06	Takım değiştirme
M08	Soğutma sıvısı açma
M09	Soğutma sıvısı kapatma
M10	Z ekseni Kilitlemeyi kaldırma
M11	Z ekseni kilitleme
M12	Döner tabla pnömatik sıkma
M13	Döner tabla pnömatik sıkma iptali
M16	Takım içinden soğutma sıvısı verme
M17	Takım içinden soğutma sıvısı kapatma
M19	Fener mili pozisyonlandırma
M29	Rijit kılavuz çekme
M30	Program sonu başa dön
M32	Programlanabilir hava üfleme açma
M33	Programlanabilir hava üfleme kapama
M70	Ayna görüntüsü iptali
M71	X ekseninde ayna görüntüsü
M72	Y ekseninde ayna görüntüsü
M74	4. ayna görüntüsü
M98	Yardımcı program çağırma
M99	Yardımcı program sonu

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İzmit'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İzmit'te tamamladı.1997 yılında girdiği Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 2003 yılında Makina Mühendisi olarak mezun oldu. 2004 yılından itibaren uluslararası firmalarda otomotiv sektörü ve enerji sektöründe Proje ve Satınalma Uzmanı olarak çalıştı. 2013 yılından itibaren Doğu Marmara Kalkınma Ajansında İzleme ve Değerlendirme Uzmanı olarak görev yapmaktadır. Evli ve 2 kız çocuğu babasıdır.