

ÜÇ EKSENLİ CNC İLE MERMER İŞLEMEDE ELEKTRİK
ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mashar CEVİNDİK

DANIŞMAN

Prof Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2009

Bu tez çalışması 07.TEF.05 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ÜÇ EKSENLİ CNC İLE MERMER İŞLEMEDE ELEKTRİK
ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER**

Mashar CEVİNDİK

DANIŞMAN
Prof Dr. Hasan ÇİMEN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2009

ONAY SAYFASI

Prof. Dr. Hasan ÇİMEN danışmanlığında,
Mashar CEVİNDİK tarafından hazırlanan
ÜÇ EKSENLİ CNC İLE MERMER İŞLEMEDE ELEKTRİK
ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER
başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca .../.../...

Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan : Doç.Dr.Kubilay ASLANTAŞ	
Üye : Prof.Dr.Hasan ÇİMEN	
Üye : Yrd.Doç.Dr.Murat CANER	

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ÜÇ EKSENLİ CNC İLE MERMER İŞLEMEDE ELEKTRİK ENERJİ TÜKETİMİNE ETKİ EDEN PARAMETRELER

Mashar CEVİNDİK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Bu çalışmada mermer sektöründe üç eksenli CNC tezgâhların kullanımının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Komisyonu tarafından desteklenen Üç Eksenli CNC freze tezgâh tasarlanıp imal edilmiştir. Üç eksenli CNC tezgâhın imal edilmesinin amaçlarından bir tanesi de tez çalışmasından sonra bu cihazın elektrik, makine ve mermer bölümü öğrencileri tarafından eğitim ve araştırma amacıyla kullanılabilmesidir.

Bu çalışmada mermer kesme işleminde kullanılan elektrik enerji tüketimi ve kesme parametrelerin bu tüketime etkisi incelenmiştir. Farklı mermerleri farklı hızlarda işlerken yüksek frekans motorunun enerji analizleri yapılmıştır. Hesaplanan değerler kıyaslanarak grafiksel veriler elde edilmiştir. Deneysel verilerin elde edilmesinde ölçü aleti olarak enerji analizörü kullanılmıştır.

Deneyselerde kesme derinliği, ilerleme hızı ve spindle motorun dönüş hızının ortalama aktif güce ve elektriksel enerjiye etkisi incelenmiştir. Sonuç olarak uygun kesme parametreleri belirlendiği takdirde enerji tüketiminin optimize edilebileceği görülmüştür.

2009, 85 Sayfa

Anahtar Kelimeler: CNC, Freze Tezgâhı, Bilgisayar Destekli İmalat, Bilgisayarlı Nümerik Kontrol, Enerji Optimizasyonu, Step Motor

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

PARAMETERS WHICH AFFECT ENERGY CONSUMPTION

IN THREE-AXIS CNC WITH MARBLE WORKS

Mashar CEVİNDİK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric Education

Supervisor: Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

In this study the use of three-axis CNC machine tools, in the marble sector, is intended to be reviewed. For this purpose, Three Axis CNC milling machine tools is designed and is manufactured by first of Afyon Kocatepe University Scientific Research Project Commission. One of the purposes of manufacturing three-axis CNC machine tools is to use device's electrical, mechanical and marble sections of students by educational and research purposes after thesis study.

In this study, consumption of electrical energy used in cutting marble cutting parameters and the effects of this consumption was examined. High-frequency motor's energy analysis is made while processing different marbles in different speeds. The graphical data were obtained by comparing the calculated values. The energy analyzer is used as a measurement equipment to obtain the experimental datas.

Experiments in the cutting depth, speed and rotational speed of spindle motor and the average active power is a review of the impact on electrical energy. As a result, the appropriate cutting parameters can be determined to optimize the energy consumption was seen.

2009, 85 Page.

Key Words: CNC, Milling Machine, Computer Aided Manufacturing, Computer Numerical Control, Power Optimization, Step Motor.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hasan ÇİMEN'e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Makinenin tasarım ve imal aşamasında birlikte çalıştığımız Erçin TÜTÜNSATAR'a, Öğr. Gör. Barış Gökçe'ye, deney ekipmanlarının kullanılmasında desteklerini esirgemeyen Doç.Dr. Kubilay ASLANTAŞ'a, Arş. Gör. Said Mahmut ÇINAR'a ve Arş. Gör. İrfan Uzun'a, ilgilerinden dolayı BAPK personeline, tezin hazırlanması aşamasında manevi desteğini esirgemeyen değerli eşime ve kızıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Mashar CEVİNDİK

Afyonkarahisar,2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii

1.GİRİŞ.....	1
--------------	---

2. GENEL BİLGİLER	3
-------------------------	---

2.1 Literatür Özeti	3
2.2. Takım Tezgâhları ve CNC.....	6
2.3. Takım Tezgâhlarının Tarihsel Gelişimi	8
2.4. CNC'nin Yapısal Özellikleri.....	11
2.5. CNC Tezgâhlar ile İlgili Temel Kavramlar	12
2.6. CNC Takım Tezgâhlarının Avantajları ve Dezavantajları.....	14
2.7. CNC Tezgâhların Bölümleri	16
2.7.1. Üretim Yazılımları-CNC Kontrol Ara yüz Yazılımı.....	17
2.7.2. CNC Tezgâhın Programlanması	18
2.7.3. Step Motorlar	20
2.7.3.1. Step Motorlara Ait Bazı Önemli Kavramlar.....	21
2.7.3.2 Step Motor Çeşitleri	27
2.7.3.2.1. Sabit Mıknatıslı (Permanant Magnet, PM) Step Motorlar	28
2.7.3.2.2. Değişken Relüktanslı (Variable Reluctance, VR) Step Motorlar	29

2.7.3.2.3. Hibrid Step Motorlar	30
2.7.3.3. Step Motor Çalışma Prensipleri.....	32
2.7.3.4. Bipolar Step Motor ve Unipolar Step Motor	32
2.7.3.5. Step Motorların Uyarıtımı	34
2.8 Asenkron Motorlar	36
2.8.1 Asenkron Motorun Yapısı	37
2.9 İnverterler	38
3.MATERYAL METOD.....	41
3.1 Step Motor ve Sürücü Devresi	42
3.2 Üç Eksenli CNC İçin Kontroller Kart	44
3.3 Fluke 43B Enerji Analizörü ve Parçaları.....	49
3.4 Deney Aracının Özellikleri.....	50
3.5 Fluke 43B Enerji Analizörü ve Özellikleri.....	51
3.6 Fluke 4B Enerji Analizörünün Kullanılması	52
3.7 Deneyin Yapımındaki İşlem Basamakları.....	53
3.8 Enerji analizöründen elde edilen verilerin işlenmesi.....	56
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	58
4.1. Spindle Motorun Devir Sayısı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi	59
4.2. İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi	61
4.3 İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi	65
4.4 Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi.....	67
4.5. Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi	73
4.6. İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi.....	75

5. SONUÇ	77
5.1 Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar.....	78
 6. KAYNAKLAR.....	82
 7. ÖZGEÇMİŞ	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

P	Aktif Güç
I	Akım
I _{max}	Akımın Tepe Değeri
I _{etkin}	Akımın Etkin Değeri
V	Gerilim
V _{max}	Gerilimin Tepe Değeri
V _{etkin}	Gerilimin Etkin Değeri
T _m	Tork
F	Kuvvet
W	Elektriksel Enerji
V _k	İlerleme hızı [mm/dk]
V _d	Spindle Motor dönüş hızı [d/dk]

Kısaltmalar

BAP	Bilimsel Araştırma Projesi
AKÜ	Afyon Kocatepe Üniversitesi
BAPK	Bilimsel Araştırma Projesi Komisyonu
NC	Nümerik Kontrol
CNC	Bilgisayarlı Nümerik Kontrol
MIT	Massachusetts Institute of Technology
CAM	Bilgisayar Destekli Üretim Yazılımları
İSO	Uluslararası standartlar organizasyonu
CW	Saat İbresi Yönünde
CCW	Saat İbresinin Ters Yönde

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Takım Tezgâhlarının Sınıflandırılması(Akurt,1991)	7
Şekil 2.2	Üç Eksenli CNC Sistemin Blok Diyagramı	17
Şekil 2.3	CNC Programlama Dili Komut Yapısı	18
Şekil 2.4	Küçük bir işleme ait program kodları (Komutlar ve Anlamları)	20
Şekil 2.5	Step Motorun Adım Tepkisi	22
Şekil 2.6	Overshoot	24
Şekil 2.7	Tork Parametreleri	24
Şekil 2.8	Tutma Torku	25
Şekil 2.9	Tork-Hız Eğrisi	26
Şekil 2.10	Sabit Mıknatıslı Step Motorlar	28
Şekil 2.11	Sabit Mıknatıslı Step Motorun Çalışması	28
Şekil 2.12	Değişken Relüktanslı Step Motor	29
Şekil 2.13	Hibrid Step Motor	30
Şekil 2.14	Hibrid Step Motorun Prensip Şeması.....	31
Şekil 2.15	Step Motor Temel Prensip Şeması.....	32
Şekil 2.16	Bipolar Step Motor.....	33
Şekil 2.17	Unipolar Step Motor	33
Şekil 2.18	Step Motorun Tek Faz Uyarıtımı	34
Şekil 2.19	Step Motorun İki Fazlı Uyarıtımı.....	35
Şekil 2.20	Step Motorun Yarım Adım Uyarıtımı.....	36
Şekil 3.1	L297 ve L298 Entegreli Bipolar Step Motor Sürücü Devresi.....	43
Şekil 3.3	Malzeme Yerleşimi	46
Şekil 3.4	PC Port Bağlantısı	48
Şekil 3.5	Fluke 43B Enerji Analizörü ve Parçaları	49
Şekil 3.6	Enerji Analizörü PC bağlantısı	52
Şekil 3.7	Enerji Analizörünün İnvertere bağlantısı	53
Şekil 3.8	Bilgisayar ile Enerji Analizörünün Bağlantısı	53
Şekil 3.9	Enerji Analizörü Karşılama Ekranı	53
Şekil 3.10	Record Menüsü Ayarları	54
Şekil 3.11	Enerji Analizörünün Kayıt Sırasındaki Ekran Görüntüsü.....	54
Şekil 3.12	Excel Şablon Dosyası Görünümü	57

Şekil 4.1 Bursa Bej mermeri için değişik ilerleme hızlarında spindle motorun dönüş hızı değişiminin ortalama aktif güce etkisi.....	59
Şekil 4.2 Uşak mermeri için değişik ilerleme hızlarında spinle motorun dönüş hızı değişiminin ortalama aktif güce etkisi.....	59
Şekil 4.4 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=2000d/dk)	61
Şekil 4.3 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=2000d/dk)	61
Şekil 4.6 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=4000d/dk)	62
Şekil 4.7 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=6000d/dk)	62
Şekil 4.5 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=4000d/dk)	62
Şekil 4.8 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=6000d/dk)	63
Şekil 4.9 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=8000d/dk)	63
Şekil 4.10 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=8000d/dk)	63
Şekil 4.11 Bursa Bej Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi.....	65
Şekil 4.12 Uşak Yeşil Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi.....	65
Şekil 4.13 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =250 mm/dk)	67
Şekil 4.14 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme Hızı= 250 mm/dk)	67
Şekil 4.15 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =500 mm/dk)	69
Şekil 4.16 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =500 mm/dk)	69

Şekil 4.17 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =750 mm/dk)	71
Şekil 4.18 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =750 mm/dk)	71
Şekil 4.20 Bursa Bej Mermeri için Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi.....	73
Şekil 4.19 Uşak Yeşil Mermeri için Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi.....	73
Şekil 4.21 Bursa Bej Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi	75
Şekil 4.22 Uşak Yeşil Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi	75

RESİMLER DİZİNİ

Resim 2.1 Massachusetts Enstitüsünde Geliştirilen Bilgisayar Tabanlı İlk Makine	8
Resim 2.2 Nümerik Kontrollü Takım Tezgâhları a. CNC b. NC.....	9
Resim 2.3 Yıllara Göre Takım Tezgâhlarının Gelişimi	10
Resim 2.4 Step Motor	21
Resim 2.5 Üç fazlı bir asenkron motoru oluşturan kısımlar (ABB)	37
Resim 2.6 Sincap kafesli (kısa devre çubuklu) rotorun yapısı (ABB).....	38
Resim 3.1 Üç Eksenli CNC.....	41
Resim 3.2 Bipolar Step Motor	42
Resim 3.3 Üç eksen Step Motor Kontrol Bordu	44
Resim 3.4 Spindle Motor	50
Resim 3.5 Üç Eksenli CNC için Freze Çakısı.....	51
Resim 3.6 CNC ile Mermere Yaptırılan İşlem	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge1 Step Motorun Teknik Özellikleri	47
Çizelge2 Spindle Motorun Teknik Özellikleri	50
Çizelge3 Kesme Deneyleri İçin Varyasyon Sırası	55

1.GİRİŞ

Eski çağlardan beri mermer, önemli bir yapı ve süsleme malzemesi olarak kullanılmıştır. Yeterince sağlam olması, cazip renk ve desenler göstermesi, kullanışlı olması gibi nedenlerden dolayı mermer, yapı ve süsleme malzemesi olarak tercih edilmektedir. Mermer ocaklarından elde edilen blokların insanların hizmetine sunulması için bazı aşamalardan geçmesi gerekmektedir. Mermer bloklarının, son ürün elde edilmesi için işlendiği yerler olan mermer işleme tesislerinde amaç, mümkün olan en düşük maliyetle piyasa tarafından ihtiyaç duyulan miktarda ürünün üretilmesinin sağlanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda mermer işleme tesislerinde verimli bir biçimde işlemlerin sürdürülmesi gerekmektedir. Mevcut makinelerin bilinçli ve verimli kullanımları, mevcut mermer işleme tesislerinin hem verimliliklerini artıracak hem de üretim maliyetlerini düşürecektir.(Bayram vd. 2003).

Mermer kesme işleminde ki önemli hususlardan biride kesim sırasındaki enerji tüketimidir. Mermer kesme makinelerinde elektrik enerjisi tüketimini doğrudan etkileyen testere dönüş hızı, ilerleme hızı, kesme derinliği, testere özellikleri, kesme işleminde kullanılan su miktarı, kesilen kayacın fiziki-mekanik yapısı gibi çok sayıda parametre vardır. (Çınar 2006). Bu yüzden tüketilen enerjinin çok iyi bir şekilde optimize edilmesi gerekmektedir.

Yaşanan petrol ve doğalgaz krizleri, artan talep ve fiyatlar ve çevresel kaygılar nedeniyle, yerli ve yenilenebilir enerji kaynakları ve en önemlisi enerjinin verimli kullanımının önemi giderek artmaktadır. Buradan da anlaşıldığı gibi elektrik enerjisinin üretim, dağıtım ve kullanım sistemlerinin iyi derecede optimize edilmesi gerekiyor.

Bu çalışmada; mermer sanayinde kullanılabilen Üç Eksenli CNC makinesine değinilmiş ve laboratuvar ortamında bulunan Üç Eksenli CNC üzerinde deneyler yapılmıştır. Deneyler de makinenin elektrik enerjisi yönünden optimum şekilde çalışabilmesi kesme parametreleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Bu tez dört ana bölümden oluşmaktadır. Genel Bilgiler bölümde, CNC tezgâhlarının öneminden bahsedilmiş ve yapılan çalışma hakkında kısa bilgi verilmiştir. Makinenin elektrik-elektronik bilgisayar aksamını oluşturan öğeler kısaca açıklanmıştır. Makinenin

imalatından beklenen yararlar maddeler halinde sunulmuştur. Materyal Metot bölümünde, İmal edilen üç eksenli CNC 'Nil spindle motorunun sistemden çektiği enerji analiz edilmiş ve çeşitli bulgular eklenmiştir. Bulgular ve Tartışma bölümünde deneyde elde edilen verilerle her mermer için ayrı ayrı sistemden çektikleri enerji hesaplanmıştır. Sonuç bölümünde ise bu değerlerden elde edilen öneriler sunulmuştur.

Bu projenin gerçekleştirilmesi için BAPK' dan proje desteği sağlanmıştır. Proje, Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı Bölüm Başkanı Prof. Dr. Hasan ÇİMEN ' in yönetiminde yürütülmüş ve Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsüne yüksek lisans tezi olarak sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Literatür Özeti

Çakır Vd. (1997), tornalama işlemlerinde kesici takım seçiminin kişisel deneyimlerle yapılmasından kaynaklanan problemi en aza indirmek için, bilgisayar destekli takım seçimini öngören bir sistemi önermişlerdir.

Diñçel'in (1999) yaptığı bu çalışmada, CNC'nin (Computer Numerical Control) tanımı yapılmış, NC (Nümeric Control) takım tezgâhlarından CNC takım tezgâhlarına geçişin nedenleri ve getirdiği yeniliklerden bahsedilmiş, CNC takım tezgâhlarının, universal takım tezgâhları ve yarı otomat takım tezgâhlarına olan üstünlükleri açıklanmış. CNC takım tezgâhlarının çeşitleri üzerinde durularak CNC takım tezgâhlarının yapılarından bahsedilmiştir.

Erer'in (2000) yaptığı bu çalışmada CNC takım tezgâhları hakkında genel bir açıklama yapılmış, CNC tezgâhların tanımı yapılarak endüstriye getirdiği kolaylıklardan ve gelişmesinde etkili olan teknolojik değişimin sebeplerinden bahsedilmiş. CNC takım tezgâhlarının çalışma prensiplerinden ve sistemlerinden bahsedilerek kullanım kolaylığına dikkat çekilmiş. CNC tezgâhların ürettiği iş parçalarının universal ve diğer imalat takım tezgâhlarına göre daha hassas ve standart oldukları üzerinde durularak gelecekte universal tezgâhların kullanımının azalacağından bahsedilmiştir

Turgay'ın (2000) yaptığı bu çalışmada Yüksek hızda işleme operasyonu için tasarlanmış olan bir takım tezgâhı mekaniğinin nasıl yapıda olacağı incelenmeye çalışılmıştır. Yüksek hızda işleme operasyonları sadece makine mekaniğinin iyi olması ile yerine getirilemez; aynı zamanda kontrol sisteminin de son derece yüksek performanslı olması gerekmektedir

Yüksek performanslı sürücüler yüksek devirli makine takımları için gereklidir. Buda hızın ivmelenmenin ve pozisyon sürekliliğinin beraberinde pürüzsüz bir yüzey profilinin oluşması için döngü algoritmalarını sağlar. Bu çalışmada ikizkenar yamuk şeklinde ivmelenmiş profil gibi beşli bir eğri interpolasyon tekniği kullanılarak yeni nesil bir eğri algoritması sunulmuştur. Bu yaklaşımın uygulanabilirliği açık yapıda

Üretilmiş üç eksenli bir CNC freze tezgâhında serbest bir yüzeyde işlenerek ispat edilmiştir. Uygulama boyunca her ne kadar başlangıçta rutin olarak bazı geniş ölçümlerin yapılması gerekse de bir TMS32 DSP kartı yardımıyla gerçek zamanlarda algoritmanın içyapısı kolaylıkla imal edilebilmektedir (Erkorkmaz ve Altıntaş 2000).

Sprunt'un (2000) yaptığı bu çalışmada, düşük maliyetli üç eksenli bir CNC freze tasarımınn amacı, nümerik kontrollü makine takımlarının getirdiği avantajları ahşap işleme makinelerinde uygulanabilirliğinin araştırılması. Fiyatı düşürmek için tek ray sistemli bir tasarım yapıldı. Destekleme parçalarının sayıları en aza indirilerek gerekli olan diğer parçaların üretim maliyetleri en aza düşürülmeye çalışıldı.

zdeveci (2001) tez çalışmasında, yurt dışından ithal edilen eğitim tipi CNC torna ve freze tezgâhlarının çok pahalı olduğunu belirterek, eğitim çalışmalarında kullanılmak üzere bilgisayar denetimli bir freze tezgâhı tasarlamış ve imal etmiştir. Öğrenciyi bir sürü kuru teorik bilgiden kurtardığını ve öğrencinin programı makineye yükler yüklemez sonucunu hemen görebildiğini ve böylece öğrencinin talaş kaldırma işlemlerini daha kolay anlayacağını ve uygun takım ve alet seçme yeteneklerini geliştireceğini ileri sürmektedir.

Özek ve özel(2002)"dikey işleme merkezli cnc freze tezgâhlarda makro programlar kullanılarak düz dişlilerin imalatı" makalesinde son on yıldır Nümerik Kontrollü Freze tezgâhları mekanik üretim işlemlerinde hızlı bir şekilde yer aldığından bahsetmektedir. Nümerik kontrollü freze tezgâhları daha fazla hassas işleme yeteneğine ve yüksek verimlilik alanlarına sahip olmaları nedeniyle CNC freze tezgâhları klasik freze tezgâhlarına göre daha kullanışlı olduğunu savunmaktadır.

S.V.Wong ve A.M.S. Hamouda(2002), CNC tornalama işlemlerinin kesme parametreleri belirlenirken akıllı sistemler kullanılmıştır. Deneysel sonuçları buldukları sonuçlarla kıyaslamıştır. Elde etikleri değerleri grafiksel olarak vermişlerdir.

Chungchoo ve Saini (2002), araştırmalarda CNC tornalama işlemlerinde belirli zaman aralığında kesme, ilerleme ve radyal kuvvetleri Sinir Ağları Yöntemi ile incelemiştir. Sınırlayıcı kriter olarak takım geometrisini ve giriş açısını kullanan yazar, bu iki kritere uygun deneysel çalışmaları kullanarak kural tabanı oluşturmuştur. Yapılan alışma sonunda elde edilen veriler grafiksel olarak sunulmuştur

Ünsaçar ve Çoklar(2003) “CNC Tezgâhların Programlanması” kitabında bu alanda uzun süredir bir eksiklik olan tezgâhların programlanmasını yönelik olarak, sanayi ve eğitim-öğretim kurumları için bir kaynak oluşturmaktadır. Kitapta CNC tezgâhları, temel CNC kodları, çevrim komutları, bilgisayar destekli parça programlama, DNC (Direkt Nümerik Kontrol) programlama gibi konulardan bahsetmektedir.

Kaya ve Erzincanlı(2003) “Comparison between Various Types of 5 Axis CNC Machining Centers in Terms of Machine Kinematics” adlı çalışmasında 5 eksen bir CNC tezgâhı beş serbestlik derecesine sahiptir ve böylelikle kesici takımı üç boyutlu uzayda oryantasyonuyla birlikte konumlayabilir. Karmaşık kinematikleri, kesme dosyası işlendiğinde, her farklı konfigürasyondaki tezgâhın farklı rotasyonel hareket sunması nedeniyle önemli bir rol oynar. Bu çalışma, iş parçası rotasyonel, kesici takım rotasyonel, iş parçası ve kesici takım rotasyonel olmak üzere, çeşitli tipteki 5 eksen CNC tezgâhların kinematik ifadeleri sunularak karşılaştırmıştır. İfadelerin çıkarılmasında homojen transformasyon matrislerinin yardımıyla, düz ve ters kinematik, Denavit-Hartenberg temsili kullanmıştır.

Yağmur’un (2004) yaptığı bu çalışmada CNC tezgâhlarında CAD (Computer Aided Design), CAM (Computer Aided Manufacturing) ve FEA (Finite Element Analysis) yazılımlarından faydalanılabileceğini ve bu sayede ilk parça üretiminin, deneme yanılma yöntemi ile üretimden, maliyet olarak daha cazip olduğunu açıklanmıştır. Ülkemizde tasarım, üretim ve analiz programlarını kullanan kişilerin azlığından ve yetiştiren kurumların olmamasından bahsedilerek bu alandaki eksiklikler belirtilmiştir.

Lynch(2005) Turning Center Programming setup and operation isminde CNC torna merkezi kullanımı için rehber niteliğinde bir kitap hazırlamıştır. Kitapta, CNC tezgâhını önce bir programcı gözüyle incelemiş, program yazımı, program yapısı, hareket tipleri, telafi ve çeşitleri ile ilgili bilgiler vermiş sonra tezgâhı bir operatör gözüyle inceleyerek, işlem çeşitlerini, değişik mod tiplerini ve tezgâh güvenliğini anlatmıştır.

Varol, Yalçın ve Yılmaz’ın(2005) bilgisayar ve bilişim teknolojisindeki gelişmelerin imalat teknolojilerindeki yansımalarını konu alan çalışmaları; Bilgisayar Destekli Tasarım (CAD), Bilgisayar Destekli İmalat (CAM), Esnek İmalat (FM) ve nihayetinde

Bilgisayar Tümüleşik İmalat (CIM) sistemlerinin ortaya çıkması üzerinde durulmuştur. İmalattaki otomasyon ve esnekliğin, üretim miktarını ve kaliteyi artırdığından aynı zamanda maliyet ve üretim zamanını da azalttığından bahsedilmiştir. İleri İmalat uygulamalarının en geniş uygulama alanı olan talaşlı imalat alanında da, bilgisayar destekli teknolojilerin oldukça hızlı geliştiği üzerinde de durulmuştur.

Tunç (2006) 5 eksen frezeleme süreçlerinin geometrik analizi ve optimizasyonunu konu alan çalışmasında, küresel uçlu takım kullanan 5-eksen frezeleme süreçleri için tam bir geometrik çözümleme modeli sunmuştur ve 5-eksen için değişik koşullarda en iyi değerleri araştırmıştır. Ayrıca kesme stratejilerini çeşitli kriterlere göre karşılaştırmış ve en uygun stratejili bir model geliştirmiştir.

Sözöz (2008) CNC tornalama işleminde takım aşınmasının optimizasyonunu konu alan çalışmasında, CNC Tornalama işlemlerinde, takım aşınmasının önceden tahmini son derece önemlidir. Takım aşınmasının en aza indirilmesi dolayısıyla maliyetin düşürülmesi ancak kesme parametrelerinin optimizasyonu ile mümkündür. Kesme parametrelerini en iyi şekilde seçtiğimizde takım aşınması minimum değerde olmalıdır. Yaptığı araştırmada kesme parametrelerinin optimizasyonu ile çok önemli ölçüde takım aşınmasında iyileştirmeler tespit etmiştir.

2.2. Takım Tezgâhları ve CNC

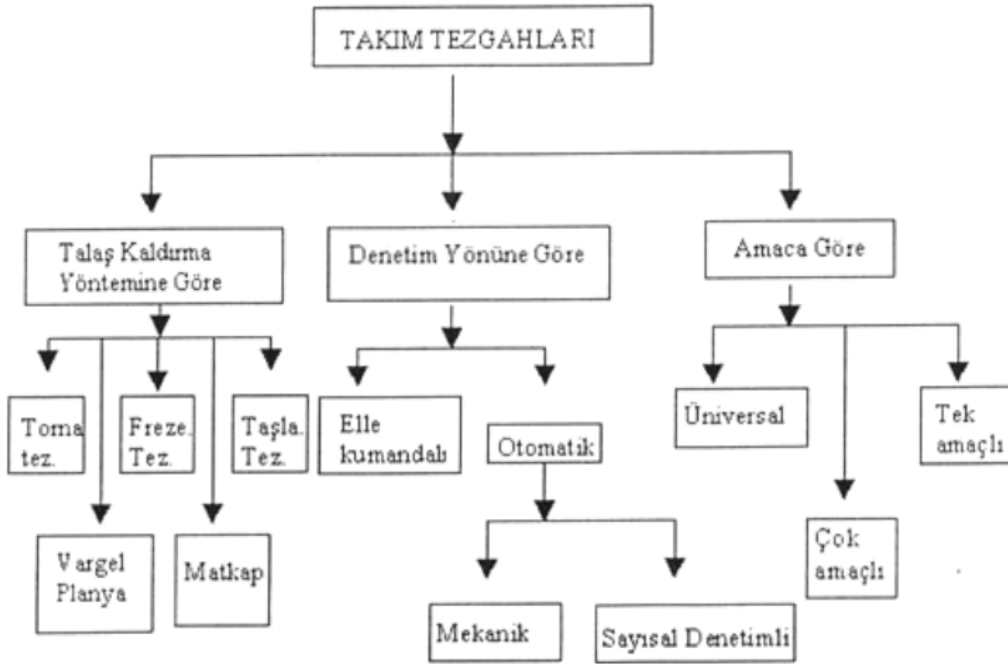
Hammadde halinde bulunan bir malzemeden istenilen şekil, biçim ve görünüşe uygun bir malzeme elde etmek için kullanılan üretim araçlarına takım tezgâhı denir. Takım tezgâhları ile başta metal olmak üzere ağaç, mermer, plastik vb. diğer malzemeler işlenebilir.

Takım tezgâhına bağlanan hammadde tezgâhın amacına, görevine ve fonksiyonlarına uygun ve takım tezgâhının belirli parçalarına verilen hareketler sayesinde bir dizi işlemten geçer. Bu tür tezgâhlarda yapılan imalat talaşlı imalat ve talaşsız imalat olmak üzere ikiye ayrılır. Talaşlı imalat, iş parçasının yüzeyinden talaş(parça) kaldırmak suretiyle yapıldığı için bu adı almıştır. Tornalama, frezeleme, vargelleme, delme, broşlama, taşlama, honlama, lebleme gibi işlemler talaşlı imalat yöntemine girerken döküm, dövme, presleme, haddeleme, çekme, sıvama, bükme, kaynak yapma,

lehimleme, yapıştırma gibi işlemler de talaşsız imalat yöntemine girmektedir. Tüm bu işlemlerin ortak özelliği takım, parça ve işlem üçlüsü üzerine kurulmasıdır.

Eskiden daha çok talaşsız imalat yöntemleri kullanılırken şimdi talaşlı imalat yöntemleri kullanılmaktadır.

Takım tezgâhları talaş kaldırma yöntemine göre, denetim sistemine göre ve amacına göre olmak üzere üç şekilde sınıflandırılabilir. Talaş kaldırma yöntemine tezgâhların, takım ile parçanın hareketleri de göz önünde bulundurularak torna, freze, matkap vb. gibi isimler alır. Denetim sistemine göre tezgâhların, işlenen parçanın kesme hızı, ilerleme hızı, talaş derinliği gibi teknolojik verileri göz önünde bulundurularak elle kumandalı veya otomatik(NC, CNC) çeşitleri vardır. Amaçlarına göre tezgâhların, farklı parçaları işleyebilme kabiliyetlerine göre Ünlversal, tek amaçlı veya çok amaçlı olmak üzere üç çeşidi vardır. Ünlversal tezgâhlarda her türlü parça işlenebilirken, çok amaçlı tezgâhlarda işlenebilecek parça çeşidi sınırlıdır. Tek amaçlı tezgâhlarda ise sadece tek çeşit işlem yapılır. Örneğin, çok amaçlı tezgâhlardan çubuk işleme tezgâhlarında sadece silindirik parçalar işlenirken, tek amaçlı tezgâhlardan vida açma tezgâhlarında sadece vida açma işlemi yapılabilir. Aşağıda Akurt(1991) tarafından oluşturulan takım tezgâhlarına ait sınıflandırma bulunmaktadır.



Şekil 2.1 Takım Tezgâhlarının Sınıflandırılması(Akurt,1991)

2.3.Takım Tezgâhlarının Tarihsel Gelişimi

Soysal'ın (1991) aktardığına göre takım tezgâhlarının ilk görünürlüğü 16. Yüzyıla kadar gitmektedir.1540 yılında Torriano isimli bir İtalyan, İspanyol Kralı V.Charles'e hediye edilecek saatin imalatında freze tezgâhının ilk örneklerinden birini kullanmıştı. Bu tezgâh ayarlanabilir kesme delikli bir kesici ile döner bir indis tablasından oluşmaktaydı. Modern takım tezgâhlarının ilk atası Jhon Wilkonson tarafından yapılan yatay delik işleme tezgahı kabul edilmektedir.

İlk torna tezgâhı ise 1780'li yılların ortasında İngiliz Henry Maudstay tarafından yapılmıştır.(Özdeveci,2001).

1947 John Parsons'un Parsons Corporation adlı şirketi tarafından bir mili sırayla belli noktalara yönelten kontrol sisteminin geliştirilmesi.

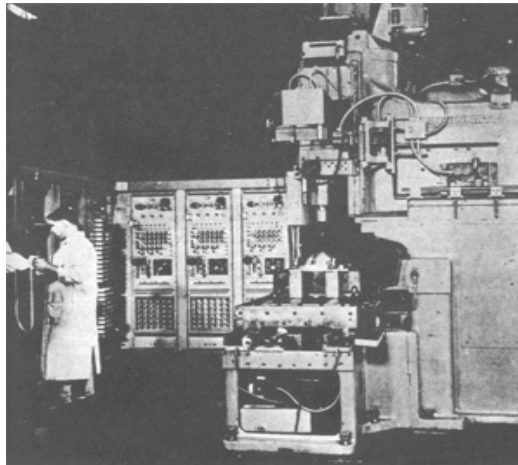
1951 Massachusetts Teknoloji Enstitüsü Servomekanizma Laboratuvarı, Parsons' un sistemini bilgisayarla bütünleştirdi.

1952 İlk üç eksenli, nümerik kontrollü, şerit beslemeli freze makinesi "Cincinnati Milicron Hydrotel" üretildi.

1954 Nümerik kontrol halka açıklandı.

1957 İlk NC makinelerin müşterilere satışı ve kurulumu yapıldı.

1960 Bu yıla gelindiğinde NC ve CNC makineler oldukça yaygınlaşmıştı.



Resim 2.1 Massachusetts Enstitüsünde Geliştirilen Bilgisayar Tabanlı İlk Makine

Teknolojik gelişmelere paralel olarak takım tezgâhlarında kaliteyi artırmak, kolay üretilebilirliği sağlamak, düşük maliyet ve işleme koşullarının kolaylıkla değiştirilmesini sağlamak amacıyla otomasyona geçilmiştir. Böylece parçanın işlenmesine ait bilgi verilerin insan tarafından verildiği konvansiyonel tezgâhlardan sonra verilerin tezgâhın anlayabileceği kodlardan oluşmuş program tarafından verildiği nümerik(sayısal) kontrollü takım tezgâhları ortaya çıkmıştır.

Nümerik kontrol(NC), "Bir hareketi sayısal olarak kontrol etmek veya harekete sayısal olarak kumanda etmektir".Başka bir tanımla nümerik kontrol, "belirli bir sayı sistemine göre kodlandırılmış giriş sinyallerinin uygun mantık devrelerine bir sistemi kontrol etmek amacıyla uygulanması ve verilen komutlara uygun olarak istenilen çıkışın belirli bir tolerans içerisinde sağlanmasına denir(Koçlu,2002).

NC (Numerical Control - Sayısal Kontrol) takım tezgâhlarında üretilmek istenen parçanın özelliklerine ve parçanın şekline bağlı olarak program, tezgâhın kontrol ünitesine yazılır. Tezgâhta okunan bilgiler doğrultusunda hareket komutu tezgâhın hareketli parçalarına gönderilir ve gerekli parçaların hareket etmesi sağlanarak parça işlenir.

Yine teknolojik gelişmelerle birlikte, bilgisayarın da hayatımıza girmesiyle birlikte üzerinde program kodlarını depolamayan NC tezgâhların bilgisayar ile entegrasyonu sonucunda CNC (Computer Numerical Control - Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) tezgâhlar ortaya çıkmıştır. CNC tezgâhları belirli harf, rakam ve sembollerden oluşan ve belirli bir mantığı olan kodlanmış komutlara bağlı olarak tezgâha bağlanan iş parçasını işleyen makinedir.



Resim 2.2 Nümerik Kontrollü Takım Tezgâhları a. CNC b. NC

Çeşitli evrelerden geçen metal işleme yöntemlerinde şu anda CNC tezgâhları ile çalışmak operatöre çok büyük avantajlar sağlamaktadır.

İlk nümerik kontrollü tezgâh, ABD savunma bakanlığının bir siparişi üzerine Massachusetts Institute of Technology(MIT) laboratuvarlarında 1952 yılında, üç eksenli bir freze tezgâhı şeklinde meydana getirilmiştir. Ancak sanayide kullanılmak üzere ilk NC tezgâhı 1956 yılında yapılmış ve 1957 yılından başlayarak fabrikalarda çalışmaya başlamıştır. Bu tarihten sonra, NC ve daha sonra CNC sistemleri teknolojinin gelişmesine paralel olarak gittikçe gelişmiş ve farklı alanlarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde genellikle CNC tezgâhları imal edilmekte ve kullanılmaktadır. Az miktarda da olsa konvansiyonel tezgâhlar bazı yerlerde halen üretilmekte ve kullanılmaktadır.

CNC tezgâhlarında, tezgâh kontrol ünitesinin bilgisayar ile entegrasyonu sayesinde programların hafızada muhafaza edilebilmelerinin yanında parça üretiminin her aşamasında programı durdurma, programda gerekli olabilecek değişiklikleri yapabilme, programa kalınan yerden tekrar devam edebilme ve programı son şekliyle hafızada saklayabilme işlemlerinin yapılabilmesi mümkündür. Bu nedenle programın kontrol ünitesine bir kez yüklenmesi yeterlidir. Programların tezgâha aktarımı direk panel aracılığıyla olabileceği gibi kodların bilgisayarda üretilerek, sayısallaştırılmış bilgilerin bir kablo vasıtasıyla tezgâha aktarımı şeklinde de olabilir (Dinçel, 1999).



Resim 2.3 Yıllara Göre Takım Tezgâhlarının Gelişimi

Dinçel'e (1999) göre, "CNC, eskiden torna, freze, matkap vb. gibi makinelerle yapılan parça işleme işinin günümüz teknolojisine uyarlanarak bilgisayar destekli hale gelmesinin bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bilgisayar destekli kontrol sayesinde, metal kesme ve talaş kaldırma işlemlerinde yeni bir çağ açılmıştır".

2.4. CNC'nin Yapısal Özellikleri

Gövde ve Kızaklar: Tezgâhın iskeletini oluşturan metalik kısımdır. Uzun süreli ve ani kesme darbelerine karşı gövdenin oldukça dayanıklı olması gerekir. Kızaklar da uzun süreli çalışmalarda aşınma yapmayacak sert malzemeden yapılır ve tezgâhın çalışması sırasında bu bölgede yağlama yapılır.

Ayna: İşlenecek parçanın tezgâha monte edildiği bölümdür. Genellikle üçayaklı aynalar kullanılır. Bazı tezgâhlarda dönme hareketi yaparken bazılarında sabittir.

İş Mili Motoru: İş parçasının bağlandığı aynayı ve iş milini döndüren motordur. Burada kullanılan motorlar servo motordur. Programdan alınan bilgilere göre iş milini dolayısıyla aynayı döndürür, hızını ayarlar ya da durdurur.

Karşı Punta: Parçanın işlenmesi sırasında dengesinin sağlanması için karşıdan destekleyen parçadır. Özellikle uzun iş parçalarının hızla dönerken takımın kesme işlemi sırasında dengesini kaybetmemesini sağlar. Bazı tezgâhlarda bu parça dönebilir ve bu program vasıtasıyla ayarlanabilir. Bazı tezgâhlarda ise bu parça yoktur onun yerine ikinci bir ayna vardır.

Taret: Tezgâhın kesici takımlarını taşıyan kısmıdır. Aynı anda 6–8 ya da 12 takım üzerinde bulunduran bir takım kutusudur. Parçanın işlenmesi sırasında dönerek istenilen takımı kullanım pozisyonuna getirir.

Prob: Takım ölçme tertibatıdır. Kesici takımların, önceden üretici firma tarafından belirlenmiş noktalara göre takım uç koordinatlarını belirler. Tezgâh, ölçüm sonuçlarını kaydeder ve kesme işlemini bu ölçüleri göz önünde bulundurarak yapar.

Yağlama Ünitesi: Tüm hareketli parçaların aşınmaya karşı korunması için yağlama işlemini yapar.

Soğutma Ünitesi: İş mili motorunun uzun süreli çalışmalarda dayanıklılığının artması için motorun etrafındaki soğutma kanallarından soğutma sıvısı geçirerek motorun aşırı ısınmasını engeller.

Soğutma Sıvısı Ünitesi: Kesme anında takımın aşırı ısınmasını önlemek için kesme işleminin yapıldığı noktaya soğutma sıvısı püskürtür. Bu işlem ayrıca iş parçasından kopan talaş parçalarının parçadan uzaklaşmasını sağlayarak kesme işleminin daha rahat yapılmasını sağlar.

Bilgisayarlı Kontrol Ünitesi: Ekran tuş takımı, ana işlem kartı, ekran kartı gibi birimlerden oluşur. Tezgâhın kumanda edildiği yerdir.

Talaş Konveyörü: İş parçasından kalkan talaşların, parçadan uzaklaştırılması ve uygun bir şekilde muhafaza edilmesi için talaşları taşıyan birimdir.

2.5. CNC Tezgâhlar ile İlgili Temel Kavramlar

1. Hareket Doğrultuları (Eksenler): CNC tezgâhlar farklı eksenler farklı hareket yönlerine sahiptir. Örneğin, CNC torna, CNC freze, CNC matkap vb. farklı cins tezgâhlar da eksenler farklı yönlerde hareket ederken teknolojinin gelişmesiyle birbirine dik üç eksenin yanında bunların karışımlarını kullanan 5 ya da 6 eksenli tezgâhlar da bulunmaktadır. CNC Programında genellikle X,Y,Z,U,V,W gibi farklı harfler ile isimlendirilirler.

2. Referans Noktaları: CNC tezgâhlar, eksenleri üzerinde başlangıç veya referans pozisyonu olarak önceden tanımlanmış bir konumu referans noktası olarak kullanırlar. Referans noktaları, tezgâh açıldığında tezgâhın bu konumlara gönderilmesi suretiyle tezgâhın mekanik pozisyonu ile kontrol sisteminin pozisyonunun senkronize edilmesinde kullanılır. Bu nokta aynı zamanda; sıfıra gönderme pozisyonu, home(ev) pozisyonu ya da ızgara sıfır konumu olarak da bilinir.

3. İş Mili Kontrol Fonksiyonu: CNC programlarında S (Spindle kelimesinin kısaltılmasından oluşur) harfi iş mili devrini belirtmede kullanılır. Örneğin; S1000 komutu iş milinin 1000 devir/dakika hızında döndürüleceğini belirtir. İş milinin saat yönünde döndürülmesi, saat tersi yönünde döndürülmesi ya da durdurulması ilgili M kodları ile kontrol edilir.

4. Otomatik Takım Değişirme Kontrol Fonksiyonu: CNC programlarında T (Tool kelimesinin kısaltılmasından oluşur) harfi ile birlikte kullanılan sayısal değerler ile taretteki hangi takımın iş miline takılacağı bu takıma ait telafi değerlerinin nereden okunacağı belirlenir.

5. Soğutma Sıvısı Kontrol Fonksiyonu: CNC tezgâhlarda iş milinin aşırı ısınmasını önlemek amacıyla kullanılan soğutma sıvısı açma ve kapama kontrolü ilgili iki M kodu ile kontrol edilir.

6. Otomatik Palet Değişirme Kontrol Fonksiyonu: CNC tezgâhlarda kullanılacak paletin hazırlık bölgesinden çalışma bölgesine alınması için ilgili iki M kodu kullanılır.

7. İnterpolasyon: Takım tek bir eksende hareket ettirilmek istenirse, verilen komuta göre iş mili tam düz bir hat boyunca hareket edecektir. Fakat takım iki eksen üzerinde birlikte hareket ettirilmek istenirse (Örneğin, hem X hem de Y eksenlerinde hareket edecekse) hareketin başladığı noktadan bittiği noktaya kadar olan iki nokta arasını birbirine bağlayan hat boyunca, mümkün olan en küçük hata ile bu doğru üzerinde kalmak suretiyle, ilgili eksenler üzerinde çok küçük artım birimleriyle hareket edecektir. Günümüzde bu artım birimleri 0,001 mm. ya da 0,0001 mm' gibi çok küçük değerlerdedir.

8. Hızlı Hareket (Boşta İlerleme - Pozisyonlama): İşlem sırasında takımın kesme yapmadığı durumlarda işleme zamanını kısaltmak için bir sonraki noktaya konumlanmak için tezgâh imalatçısı tarafından tespit edilen hızda gitmesidir. CNC takım tezgâhlarının programlanmasında boşta ilerleme için G00 kodu kullanılır.

9. Doğrusal Hareket: Takımın tam doğrusal bir hareket yapacak şekilde hareket etmesidir. Genellikle, delik delme, yüzey frezeleme, kanal açma vb. işlemlerde kullanılır.

10. Dairesel Hareket: Takımın dairesel bir yol şeklinde hareket etmesini sağlar. Takım, verilen bir R (Yarıçap komutu) değeri ile saat yönünde ya da saat tersi yönünde ilerleyerek hareket eder.

11. Telafi: Her bir takımın boyunu, enini, çapını vb. bilgilerini bilerek, hassas işleme yaparken bunları göz önünde bulundurmak yerine bu değerleri önceden, tezgâh hafızasındaki bir bölüme atamak suretiyle parçanın boyunu, kalınlığını, çapını düşünmeden işlem yapabilmemize imkân tanır. Program hafızasında her takımın boy, genişlik, yarıçap gibi şekilsel bilgilerine ait tanımlamalar bulunur. Takım iş miline takıldığı zaman bu bilgiler kullanılarak, belirli bir boyda ya da yarıçapta işlenecek bir parça için takımın boy ya da yarıçap değerlerini bu değerlerden çıkararak hesaplama yapma işleminde kurtarır ve tezgâh bu işlemi otomatik olarak yaparak istenilen uzunlukta ya da çapta ürünler elde edilmesine imkân tanır. Böyle bir sistemde takım aşınımlarından dolayı meydana gelebilecek boy ya da çap değişmeleri, takımın tekrar llerek yeni değerlerin girilmesiyle çözülebilmektedir.

2.6. CNC Takım Tezgâhlarının Avantajları ve Dezavantajları

CNC takım tezgâhlarının tamamının sağladığı en büyük ve birincil fayda otomasyona imkân tanımasıdır. CNC tezgâhlarının kullanılması suretiyle iş parçalarının imalatı esnasında operatörün müdahalesi en aza indirilmekte veya tamamı ile ortadan kaldırılabilir. Çoğu CNC takım tezgâhları parça işlemesi esnasında dışarıdan bir müdahale olmadan çalışabilmekte, böylece operatörün yapacağı diğer işler için zaman bulmasına imkân tanımaktadır. Bu durum CNC tezgâh sahibine operatör hatalarının azaltılması, insan hatasından kaynaklanan hataların en aza indirilmesi, işleme zamanının önceden ve tam olarak tespit edilmesi gibi faydalar sağlamaktadır. Tezgâh program kontrolü altında çalışıyor olacağından, konvansiyonel takım tezgâhında aynı parçaları imal eden bir usta ile kıyaslandığında, CNC operatörünün temel işleme tecrübesi ile ilgili olan beceri seviyesi oldukça azaltılmaktadır (Mamur, 2005).

CNC teknolojisinin ikinci temel faydası, iş parçalarının hassas ve devamlı aynı lde çıkmasıdır. Günümüzün CNC takım tezgâhları inanılması güç olan tekrarlı ve pozisyonlama hassasiyeti değerlerine sahiptir. Bu durum program kontrol edildikten sonra iki, on veya bin adet iş parçasının da aynı hassasiyet ve l tamlığında elde edilebilmesini sağlamaktadır (Mamur, 2005).

Ayrıca diğerk tezgâhlara göre programların kaydedilebiliyor olması ve yazılan programların sürekli (elektrik gitse bile bundan etkilenmeyecektir) tezgâh hafızasında saklanabilmesi sayesinde programlar istenilen zamanda geri çağrılıp kullanılabilir. Bu tezgâhlarda programların düzenlenmesi ve yeni bilgiler eklenmesi işlemi oldukça kolaydır. Alt programlar sayesinde sık kullanılan programlar hemen el altında olmaktadır. Telafi değerleri hesaplama işleminin tezgâh tarafından otomatik olarak yapılıyor olması da kullanım açısından oldukça büyük avantajlar sağlamaktadır.

Programa ait simülasyonun ekranda görünüyor olması sayesinde kullanıcı tezgâhta yapılan işlemler hakkında anlık olarak bilgi sahibi olabilmektedir. Tezgâhlarda arıza bulmak için tezgâhın kontrol ünitesine test ettirilebilmesi özelliği yine bu tezgâhları oldukça kullanışlı hale getirmektedir. Otomatik değışen kesiciler kullanıcıya büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Tezgâh hafızasının harici bir bilgisayar ile ulaşılabilir olması sayesinde kullanıcılar programları tezgâha göndererek ya da tezgâhtaki programı alıp başka bir bilgisayara götürebilme imkânı kazanmaktadır.

Dinçel (1999) CNC takım tezgâhlarının sağladığı diğerk avantajları şu şekilde sıralamıştır.

- Konvansiyonel tezgâhlarda kullanılan bazı bağlama kalıp, master vb. elemanlarla kıyaslandığı zaman tezgâhın ayarlama zamanı çok kısadır.
- Ayarlama, ölçü kontrolü, manüel hareket vb. nedenlerle oluşan zaman kayıpları ortadan kalkmıştır.
- İnsan faktörünün imalatla fazla etkili olmamasından dolayı seri ve hassas imalat mümkündür.
- Tezgâh operasyonları yüksek bir hassasiyete sahiptir.
- Tezgâhın çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Her türlü sarfiyat (elektrik, emek, malzeme vb.) en aza indirgenmiştir.
- İmalatta operatörden kaynaklanacak her türlü kişisel hatalar ortadan kalkmıştır.
- Kalıp, master, şablon vb. pahalı elemanlardan faydalanılmadığı için sistem daha ucuzdur.
- Depolamada daha az yere gerek vardır.

- Parça imalatına geçiř daha sűratlidir.
- Parça űzerinde yapılacak deęiřiklikler sadece programın ilgili bűlűműnde ve tamamı deęiřtirilmeden seri olarak yapılır. Bu nedenle CNC takım tezgâhlarıyla yapılan imalat bűyűk bir esneklięe sahiptir.

Her sistemde olduğu gibi CNC tezgâh ve sistemlerinin de avantajlarının yanında bazı dezavantajları mevcuttur. Dinçel (1999) bu dezavantajları şu şekilde belirtir.

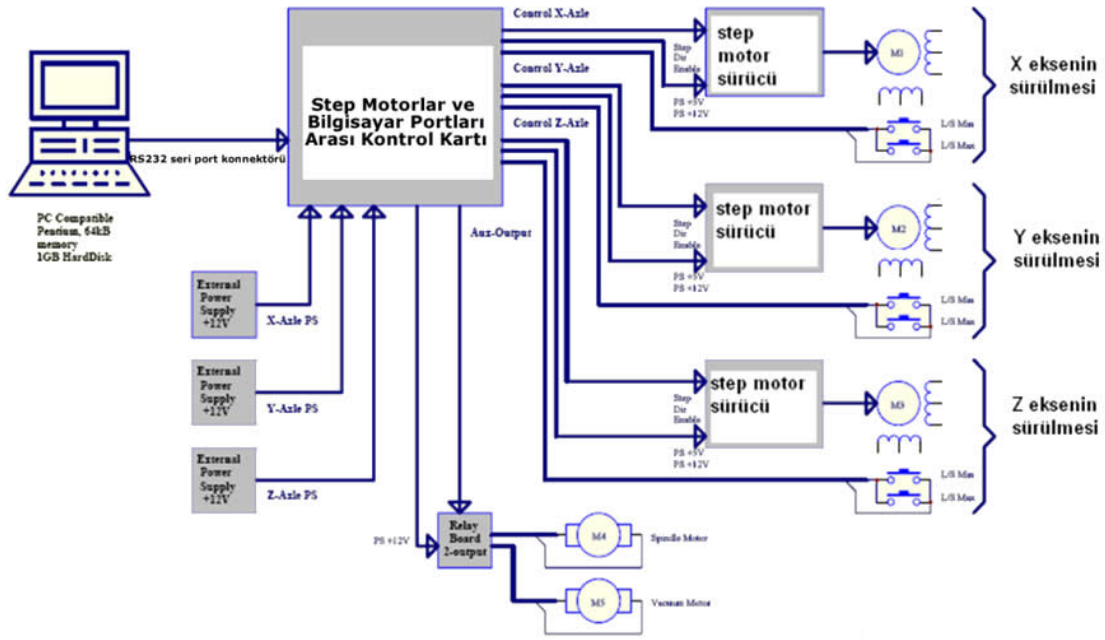
- Detaylı bir imalat planı gereklidir.
- Pahalı bir yatırımı gerektirir.
- Konvansiyonel tezgâhlarla kıyaslandığında daha titiz kullanım ve bakım isterler.
- Kesme hızları yűksek ve kaliteli kesicilerin kullanılması gerekir.
- Periyodik bakımları uzman ve yetkili kişiler tarafından dűzenli olarak yapılmalıdır.

2.7. CNC Tezgâhların Bűlűmleri

CNC ya da bařka bir deyiřle Bilgisayar Destekli Sayısal Kontrollű tezgâhlar modern űretimin belkemięini oluřturmaktadır. Bir CNC tezgâhı bilgisayar, tasarım yazılımları, űretim yazılımları ve hareket kontrol sistemlerinden oluřmaktadır.

Bilgisayar Sistemi: CNC’ de bulunan bilgisayar sistemi iş parçası programlarının yapılmasına, tasarımların oluşturulmasına ve geliştirmesine imkân tanımaktadır.

Tasarım Yazılımları: CNC tezgâhta bulunan tasarım programı, yapılan tasarımların dűzgűn bir biçimde çizilmesine, gelecekte űzerinde kolayca deęiřiklik ve yeni eklentiler yapılmasına ve ayrıca bir dahaki parça ve montaj űretimleri için kűtűphaneler oluřturulmasına olanak saęlar. Tasarım yazılımları olarak kullanılan CAD programları arasında AutoCAD, DesignCAD, Solidworks ve İnventor programları vardır.



Şekil 2.2 Üç Eksenli CNC Sistemin Blok Diyagramı

2.7.1. Üretim Yazılımları-CNC Kontrol Ara yüz Yazılımı

Bilgisayar destekli üretim yazılımı (CAM), bir CAD yazılımında tasarlanan parçaların takım yollarının oluşturulmasında ve bu oluşturulan takım yollarının şu anda sanayide herkesin bildiği G kodlarına dönüştürülerek CNC tezgâhlara taşınmasında kullanılan bir programdır. Üretim yazılımları için kullanılan CAM programları arasında CNC Kontrol(DESCNC), MasterCAM, SurfCAM, EdgeCAM ve MillCAM en çok kullanılanlardır.

DeskCNC(CNC-kontrol) programı CNC sıcak telle strafor kesim makinesini çalıştırdığı gibi aynı zamanda CNC Freze makinesini de çalıştırır. Böylece CAD- çizim programından başka bir programa da ihtiyacınız kalmaz. DeskCNC Adım ve Servo motorlarını kumanda etmek için özel yazılımdır. Aynı anda 4 eksen birden kumanda edebilir. Dördüncü eksen yuvarlak eksen olabileceği gibi ikinci X eksenі olarak kullanılabilir. Opsiyonel olarak PWM Kontrol paneliyle telin ısısını ve açıp kapamayı otomatik olarak veya manüel olarak yapılabilir.

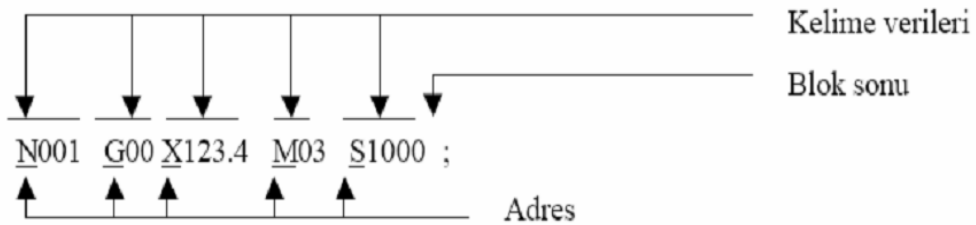
Çalışma prensibi:

DeskCnc Windows için yazılmıştır ve kendine has SPS kontrol paneli vardır. Bu kontrol paneli piyasada olan tüm adım motorlarına bağlanabilir. Kartın Serial ve USB çıkışı vardır dolayısıyla bilgisayarda/labtopda problemsiz çalışabilir

Dosya menüsü altında, tasarım programlarında çizimi yapılan iş parçalarının CNC-Kontrol programına aktarılmasında kullanılan alt menüler vardır. Tasarım programlarında çizilen parçalar hangi formatta çizilmişse o formata göre program iş parçasının parça programını çıkarmaktadır. Bundan sonraki işlem ise operatörün iş parçası referans noktasına makinede ayarlaması olarak gelişmektedir.

2.7.2. CNC Tezgâhın Programlanması

CNC Programı, bir parçanın işlenmesi için tezgâha verilen komutlar toplamıdır. Programdaki komutların sırasına göre takımlar hareket eder parçayı işler. Programı oluşturan komutlar ISO(International Standardization Organization – Uluslar arası Standartlar Organizasyonu) standartlarına göre düzenlenmiştir. Bir komut, bir adres(G, F, S, M gibi harflerden oluşur) ve bunu takip eden sayısal değerlerden oluşur. Böylece G01, M03, Z-25 gibi ifadeler meydana gelir ki bunların her birine komut adı verilir. Programın bir satırındaki komutlar bir araya gelerek blokları (Komut bloğu - Kelime) oluştururlar. Bloklar, EOB (End Of Block) komutu (“ ; ” işareti ile gösterilir) ile bitirilir.



Şekil 2.3 CNC Programlama Dili Komut Yapısı

Genel olarak kullanılan program komutları ve anlamları şu şekildedir:

N: Blok satır numarası

G: Hazırlık fonksiyonları

X,Y,Z: Pozisyon komutları

M: Yardımcı fonksiyonlar

S: Devir(Kesme hızı) fonksiyonu

T: Kesici takım fonksiyonu

F: İlerleme fonksiyonu

; : Blok sonu işareti

Bir CNC programının en başında genellikle koordinat sisteminin, ölçülendirme sisteminin ve kesici takımın hazırlanması, referans noktasının düzenlenmesi, iş milinin döndürülmesi ve soğutma sıvısının açılması gibi hazırlık komutları bulunur. Programın ana bölümünde parçanın işlenmesi için gerekli olan tüm komutlar ve programın bitiş bölümünde de milin durdurulması, soğutma sıvısının kapatılması vb. bitirme ve işlem sonlandırma komutları bulunur. Programdaki komutlar verilen sıra ile icra edilir. İlk olarak programdaki ilk satır okunur, yorumlanır ve icra edilir. Daha sonra diğer satırlar okunur, yorumlanır ve icra edilir. Tüm satırların okunup, yorumlanması ve icra edilmesiyle program sonlanır. Aşağıda bu şekilde hazırlanmış küçük bir parça işleme programı bulunmaktadır.

KOMUT	ANLAMI
Ø006;	Program numarası
N10 G91 G28 Z0;	Z ekseninde referans noktasına git
N20 G91 G28 X0 Y0;	X ve Y eksenlerinde referans noktasına git
N30 G92 X250 Y125 Z75;	Parça koordinatlarının girilmesi
N40 T18;	18 numaralı takım kullanmak için otomatik takım değıştircisini çağırır.
N50 T19 M08;	18 numaralı takım ile parça işlenirken, 19 numaralı takım hazır halde bekletir.
N60 G90 G21 G43 G00 Z100 H18;	Metrik koordinat sisteminin kullanılması(G21), mutlak koordinat sisteminin kullanılması(G90) ve takım uzunluğunun sağa telafi edilerek(G43) Z100 koordinatına kesme işlemi yapmadan takımın hızlı yaklaşmasını (G00) sağlar.
N70 G00 X0 Y0;	X=0 ve Y=0 noktalarına takım hızlı bir şekilde yaklaşır.
N80 S2000 M03;	Aynanın dönüş hızının ayarlanması (S2000) ve aynanın saat yönünde döndürülmesinin sağlanması (M03).
N90	
N100	
.	
.	
.	Program satırları
N190	
N200	
N210 G91 G28 Z0	Z ekseninde referans noktasına git
N220 G91 G28 X0 Y0;	X ve Y eksenlerinde referans noktasına git
N230 M05;	Aynanın durdurulması
N240 M30;	Program sonu
N250 %;	Şeride yazımın sonlandırılması

Şekil 2.4 Küçük bir işleme ait program kodları (Komutlar ve Anlamları)

2.7.3. Step Motorlar

Step motorlar (adım motorları), girişlerine uygulanan darbe dizilerine karşılık (bu sayısal giriş olarak da ifade edilebilir), analog dönme hareketi yapabilen elektromagnetik elemanlardır. Bu özellikleri nedeniyle “dijital makine” olarak da tanınan adım motorları, dijital sistemlerde kullanılırken büyük kolaylıklar sağlarlar. Adım motorları, adından da anlaşılacağı gibi belirli adımlarla hareket ederek rotorun açısal konumunu değıştirirler. Bu adımlar, motor sargılarına uygun sinyaller gönderilerek kontrol edilir. Herhangi bir uyarımda, rotorun yapacağı hareketin ne kadar olacağı, motorun adım açısına bağlıdır. Adım açısı, motorun yapısına bağlı olarak

90, 45, 18, 7,5, 1,8... derece veya çok daha değişik açılarda olabilir. Motora uygulanacak sinyallerin frekansı değiştirilerek motorun hızı da kontrol edilebilir. Adım motorlarının dönüş yönü ise, uygulanan sinyallerin sırası değiştirilerek, saat ibresi yönünde (CW) veya saat ibresinin tersi yönünde (CCW) olabilir.



Resim 2.4 Step Motor

2.7.3.1. Step Motorlara Ait Bazı Önemli Kavramlar

Adım Tepkisi / Tek Adım Tepkisi / Cevap Süresi:

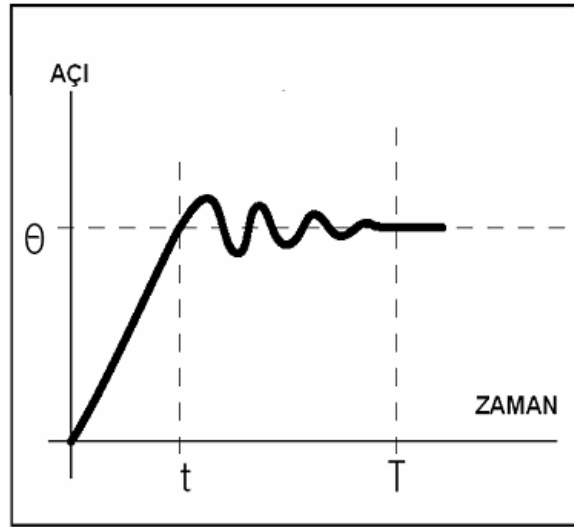
Motor fazlarından biri uyarılmış durumdaysa, motor kararlı bir adım konumundadır. Bu fazın uyarıtımı kesilip yeni bir faz uyarılırsa rotor bir adım atacaktır. Rotor konumunun zamana göre değişimi “tek adım tepkisi” olarak tanımlanır. Bir başka deyişle motorun girişine bir komut palsı (sinyali) uygulandıktan sonra motorun adımlara cevap vermek için gerekli olarak aldığı zamana (T) “tek adım tepkisi”, “adım tepkisi” ya da “cevap süresi” denir. Bu süre hem motor parametrelerine hem de motorun sürücü devresine bağlıdır ve yaklaşık olarak milisaniye civarlarındadır.

Tek adım tepkisi, motorun adım hareketinin hızını, tepkinin aşım ve salınım miktarını, adım açısının hassaslığını veren önemli bir parametredir.

Adım motorlarından maksimum performans elde edebilmek için tek adım tepkisindeki aşım ve salınımların azaltılması ve yerleşme zamanının kısaltılması gerekmektedir. Bu nedenle tek adım tepkisinin iyileştirilmesi adım motorlarının kontrolünde çok büyük öneme sahiptir.

Motora uygulanan giriş darbeleri ile çıkış hareketi arasındaki senkronizasyonu bozmamak için, sürme esnasında iki darbe arasındaki süre, cevap süresinden daha kısa olmamalıdır. Dolayısıyla adım motorunun cevap süresinin kısaltılabilmesi, motorun daha hızlı adım atabilmesini sağlayacaktır.

Adım motorlarının cevap davranışlarında dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da yaptıkları aşımın (overshoot) ve osilasyonun miktarıdır. Adım motorları, bilgisayar sistemlerinde veya bilgisayarla kontrolü gerektiren hassas sistemlerde kullanıldığında, aşım ve osilasyon sistemi kötü yönde etkileyen ve önemli boyutta hatalara sebep olan bir davranıştır.



Şekil 2.5 Step Motorun Adım Tepkisi

Adım Oranı:

Bir saniyede rotorun yapabildiği adım sayısıdır. Bu adım sayıları, tipik olarak saniyede 300 ila 800 arasındadır.

Adım Açısı:

Motora bir tek pals uygulandığında rotorun döndüğü açıdır. Yapımcı firmalar, değişen sayılarda rotor ve stator sargıları ile çeşitli açılarda adım motorları yapmaktadırlar.

Adım Açısı Doğruluğu:

Rotorun yaptığı her bir adımdaki hata miktarını gösterir. Bu parametre genellikle bir yüzde ile verilir. Rotor bir adım döndüğünde meydana gelen toplam hata oranını gösteren bu parametrenin yazılması önemlidir. Bu hata değeri kümülâtif(birikimli) değildir. Yani rotorun yaptığı her adım ile bu hata miktarı toplanarak gitmez. Rotorun gerçek hızı adım açısı ve adım hızına bağlıdır.

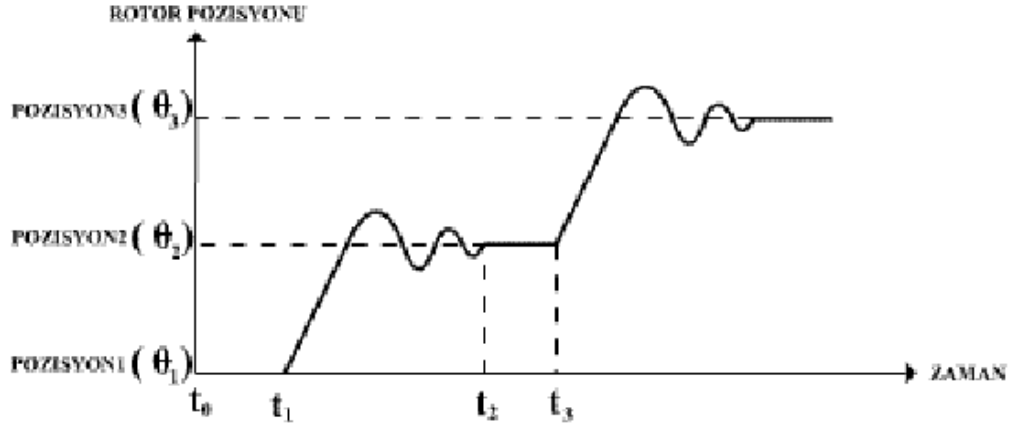
Çözünürlük:

Çözünürlük, dönen motorlar için adım açısı(derece), lineer motorlar için ise adım uzunluğu(mm) olarak tanımlanır. Bu sabit değer, üretim sırasında tespit edilen bir büyüklüktür. Bir adım motorunun adım büyüklüğü, çeşitli uyartım metotları ile değiştirilebilir. Mesela yarım adım çalışmada, adım büyüklüğü normal değerinin yarısına indirilir.

Overshoot:

Step motora gönderilen palslerin frekansı arttırılırsa, step motorun adımları hızlanır ancak adımlarının hızlanmasıyla step motor istenmeyen bir karakteristik gösterir. Buna “overshoot (Taşıma)” denir. Bu durum aşağıdaki şekilde görülmektedir. Motorun rotoru “Pozisyon1” ve “t0” anında durmaktadır. “t1” anında uygun stator sargısına güç uygulanmıştır. Bu uygulama rotorun “Pozisyon2” ye dönmesini sağlar. Rotor “Pozisyon2” de tam olarak durmaz çünkü bir dönme momenti vardır. Bundan dolayı dönmek isteyecektir. Rotor biraz daha döner. Buna “overshoot” denir. İki kutup arasındaki magnetik ilişkiden dolayı rotor tekrar geri döner ama yine bir miktar “overshoot” meydana gelir. Rotorun hareketi kesin ve net olmayacağından tam durması istenen yerde duramayacaktır. Kutupların manyetik etkisinden dolayı geri gelip yerinde durması gerekirken fazla dönerek tekrar istenmeyen bir durum meydana gelir. Yani rotor basit harmonik hareket ya da sönümlü osilasyon yapar. Neticede motora pals

uygulandıktan sonra rotorun durması bir miktar zaman alır. Rotorun durması için geçen zamana “oturma(yerleşme) zamanı (settling-time)” denir. Bazı devrelerde rotorun durmasının çabuk olması istenir. Bunun yapılabilmesi için bazı işlemlere ihtiyaç vardır. Bu işleme “damping” denir.



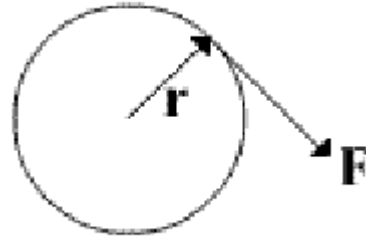
Şekil 2.6 Overshoot

Step Motor Tork Parametreleri:

Dönme momentine ‘Tork’ denir.

$$T_m = F \times r$$

Tork, elektrik devrelerindeki elektrik potansiyeline, milin açısal hızı da elektrik akımına benzetilebilir. Nasıl elektrik devrelerindeki direnç potansiyel etkisinde akımı sınırlarsa, mekanik devrelerde de sürtünme kuvvetleri milin tork etkisinde açısal hızına sınır getirir.



Şekil 2.7 Tork Parametreleri

Bir elektrik devresinde akü, potansiyel kaynağıdır aynı şekilde mekanik sistemlerde de motor, tork kaynağıdır. Motor mili, tork etkisinde dönmeye zorlanır.

Bir aküden çekilen akımı sıfırdan itibaren arttırsak, akünün iç direncinden dolayı akım arttıkça akü voltajı düşer. Benzer olarak bir motorun milinden alınan devir arttıkça motorun verdiği tork düşer.

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

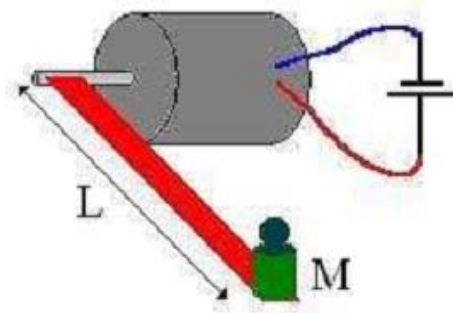
- a. Detent Torque (Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku)
- b. Holding Torque (Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku)
- c. Pull in Torque (Kalkıştaki Maksimum Yük Momenti)
- d. Pull Out Torque (Sürekli Rejimdeki Maksimum Yük Momenti)

Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku:

Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku, motor enerjisiz iken rotor stator dişlerindeki etkileşimden dolayı oluşan tork demektir. Diğer bir ifadeyle sargılara besleme gerilimi uygulanmıyorken, step motor şaftını döndürmek için gerekli olan maksimum tork miktarı demektir. Bu parametre step motor tipine göre değişir.

Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku:

Yüksüz ve Enerjili, “tutma torku” ya da “statik tork” olarak da bilinir. Sargılardan sadece birisinden nominal değerde akım akıtılıyorken milden alınan tork demektir. Diğer bir ifadeyle enerjili halde motor duruyorken üretilen maksimum tork miktarıdır. Tutma torku bir adım motorunun en temel moment karakteristiğidir ve pratik olarak şu şekilde ölçülebilir.



Şekil 2.8 Tutma Torku

Motor miline şekilde görüldüğü gibi ağırlıksız bir çubuk bağlanır ve çubuğun yatayla sıfır derece açı yapması sağlanır. Motor sargısından nominal değerde akım akıtılır. Şekildeki yeşil ağırlık çubuğun en ucuna oturtulur ve değişik ağırlıktaki kütlelerle denenerek hangi ağırlıktan sonra motor mili sapma yapıyor tespit edilir.

Çubuğun boyu L ve Kütlenin ağırlığı M olması durumunda;

$$\text{Tutma Torku} = L \times M \times 9,81 \text{ (Yerçekimi İvmesi)}$$

$$(N.m) = (m) \times (Kg) \times (N/Kg)$$

Kalkıştaki Maksimum Yük Momenti:

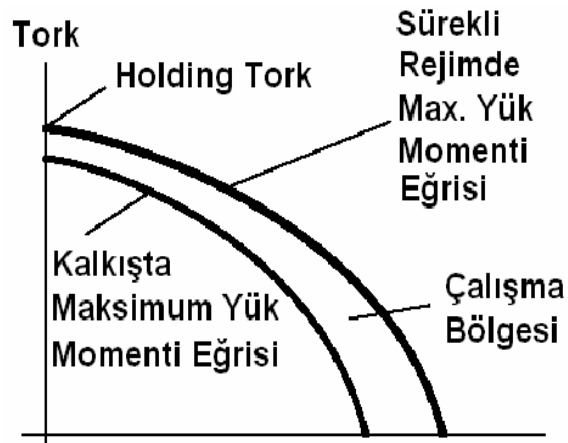
Özellikle açık döngülü sistemlerde duran bir sistemi istenen pozisyona getirebilmek için motora uygulanan uyartım darbelerinin motor tarafından hiç kaçırılmadan takip edilmesini sağlamak çok önemlidir. Fakat uygulanan uyartım sinyallerin sıklığı, motorun miline bağlı yükü sıfır hızından itibaren kaldırıp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

Sürekli Rejimdeki Maksimum Yük Momenti:

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

Tork – Hız Grafikleri:

Sürekli rejimde maksimum yük momenti/ hız eğrisi herhangi bir sabit dönüş hızında, rotor hareketinin giriş darbe dizisiyle olan Senkronizasyonunu bozmadan ve rotorun durmasına neden olmadan sürekli halde motor miline uygulanabilecek maksimum yük momentini verir.



Şekil 2.9 Tork-Hız Eğrisi

Bu moment aynı zamanda, söz konusu hızda motorda meydana gelecek maksimum moment anlamına da gelmektedir.

Klasik motorlarda bu eğriye karşılık gelebilecek bir karakteristik yoktur. Maksimum yük momenti eğrisi çalışma noktalarını göstermediği gibi bir transfer fonksiyonu eğrisi de değildir. Sadece, çalışma bölgesini sınırlar. Bu eğrinin sınırladığı bölge içinde herhangi bir noktada motor giriş darbe dizilerini kaybetmeden ve durma tehlikesi

olmadan ilgili hız ve yük momenti ile çalışır. Sınırların dışına çıkıldığında bu durum değişebilir.

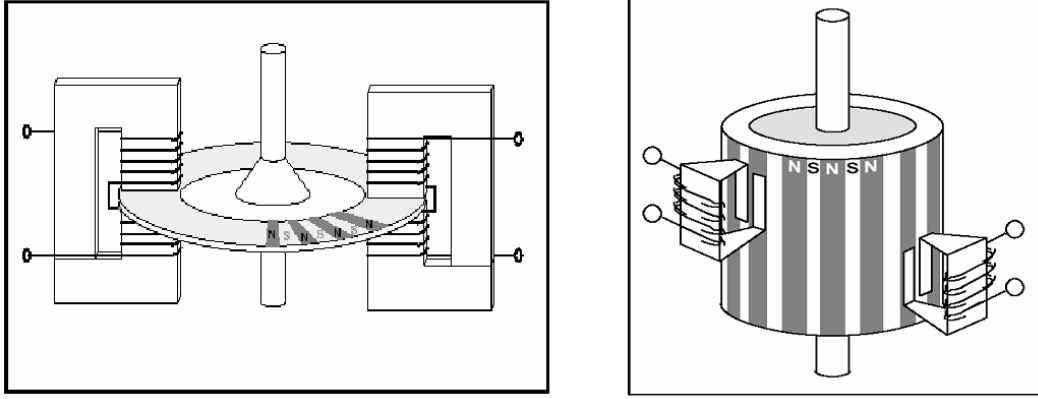
Etiket Voltajının Anlamı:

Etikette belirtilen voltaj rotor hareketsizken tutma torkunun oluşturulması için gerekli voltaj değeridir. Bu voltaj değeri etiket akımına bölünürse ilgilenilen fazın sıcak sargı direnci bulunmuş olur. Etiket akımının üstüne çıkılmaması gerekir.

2.7.3.2 Step Motor Çeşitleri

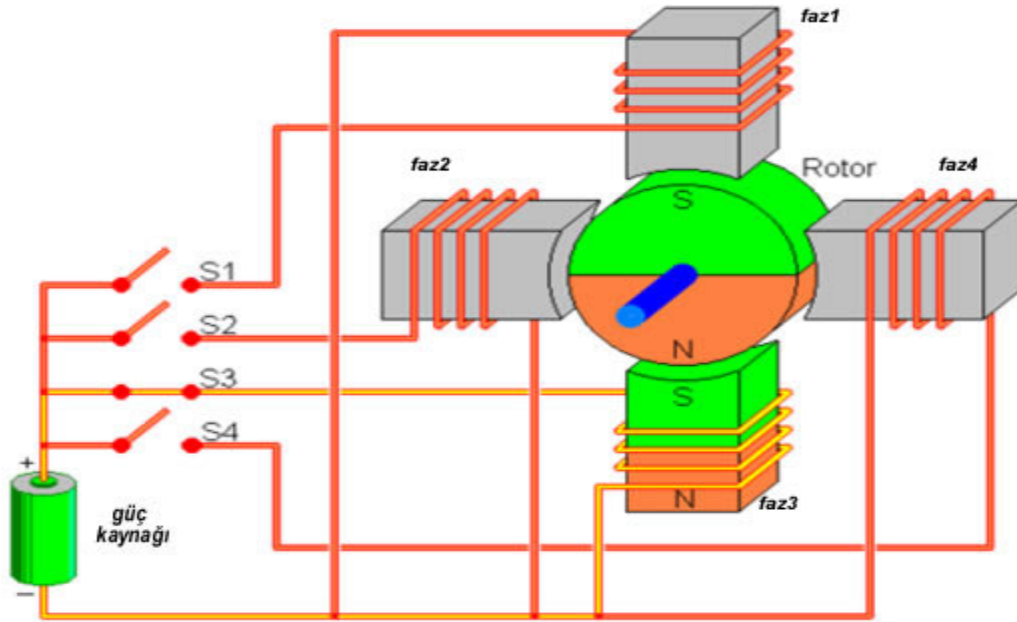
Kullanımda olan birçok elektrik motorunda olduğu gibi step motorlar da makinenin yapısına ve çalışmasına göre sınıflandırılabilir. Step motorlar için ilk günlerden bu yana birçok değişik tasarım yapılmıştır. Bu motorların kayda değer bir moment üretebilmeleri için hem rotor hem de statorları önemli miktarda magnetik akı taşıyabilecek yapıda olmalıdır. Bu nedenle de olabildiğince çok sayıda demir diş ile çevrili olmaları gerekmektedir. Günümüzde hem bu özelliği taşıyıp, hem de ticari bakımdan kullanılabilecek nitelikteki step motorların başlıcaları Değişken Relüktanslı, Sabit Mıknatıslı ve Hibrid step motorlardır. Temelde bunlar aynı türden cihazlardır. Ancak yapım yöntemlerinden kaynaklanan farklı karakteristikleri nedeniyle farklı uygulamalar için farklı step motorlar seçilebilmektedir. Diğer tür step motorlar, bu üç tip step motorların varyasyonları olarak tanımlanabilirler. Step motorların en belirgin özelliği, girişine uygulanan uyarma darbelerinin, “adım” olarak tam tanımlanmış rotor konumlarına dönüştürmesidir. Rotorun hassas konumlama yapması, hareketli ve sabit parçalar üzerindeki demir dişlerin magnetik olarak karşılıklı gelmesi, dizilmesi ile mümkündür.

2.7.3.2.1. Sabit Mıknatıslı (Permanant Magnet, PM) Step Motorlar



Şekil 2.10 Sabit Mıknatıslı Step Motorlar

Sabit mıknatıslı step motorlardaki rotor, sabit mıknatıstan oluşur. Bu tip motorların rotorlarında diş bulunmaz. Yukarıdaki şekillerde de görüldüğü gibi iki farklı yapıda (“disk” ya da “tin-can” yapısı) rotor yapıları mevcuttur. Stator yapıları, değişken relüktanslı step motorların stator yapılarıyla aynıdır.



Şekil 2.11 Sabit Mıknatıslı Step Motorun Çalışması

Basit olarak 4-fazlı sabit mıknatıslı bir step motor örneği yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. İki kutuplu sabit mıknatıslı rotor, oyuklu 4(dört) kutuplu stator içinde döner.

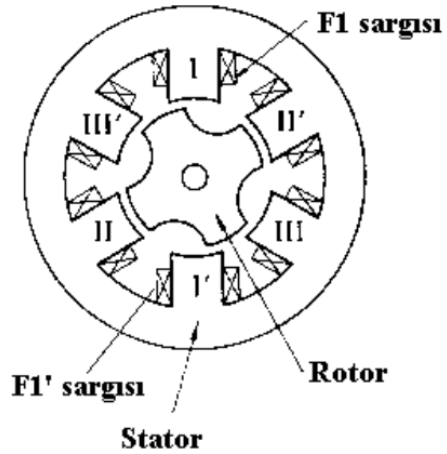
Burada her bir fazın birer uçlarının birleştirilerek güç kaynağının negatif ucuna bağlandığı ortak uçtur. Eğer fazlar Faz1, Faz2, Faz3, Faz4 sırasıyla uyarılırsa; rotor saat ibresi yönünde (CW) hareket edecektir. Bu motorda, adım açısının 90° olduğu açıkça görülmektedir.

Küçük boyutlu sabit mıknatıslı rotorda çok sayıda kutup oluşturmak zor olduğundan bu tip motorlarda adım genişliği $30-90$ derece arasındadır. Bu tür motorların momenti diğerlerine göre oldukça düşüktür.

2.7.3.2.2. Değişken Relüktanslı (Variable Reluctance, VR) Step Motorlar

Değişken relüktanslı step motorlar, sabit mıknatıslı step motorlar gibi bir kaç kutbu olan statora sahiptirler. Bu motorları sabit mıknatıslı step motorlardan ayıran en önemli fark rotorlarında sabit mıknatısın olmamasıdır. Ayrıca rotorları da dişli yapıdadır.

Yandaki şekilde üç-fazlı değişken relüktanslı step motorun kesit görünüşü verilmiştir.



Şekil 2.12 Değişken Relüktanslı Step Motor

Bu tür motorlarda rotor ve stator dişlerinin sayısı aynı değildir. Şekildeki motorda rotor 4, stator 6 dişli sahiptir. Bir faz uyarıldığında asıl askıyı sadece iki rotor dişli taşır. Bu arada diğer rotor diş çifti ise uyarılmamış stator dişlerinin tam ortasındadır. Eğer uyarılan fazlarda değişiklik yapılırsa, yeni uyarılan stator fazıyla karşı karşıya gelecek olan rotor dişleri bu dişler olacaktır.

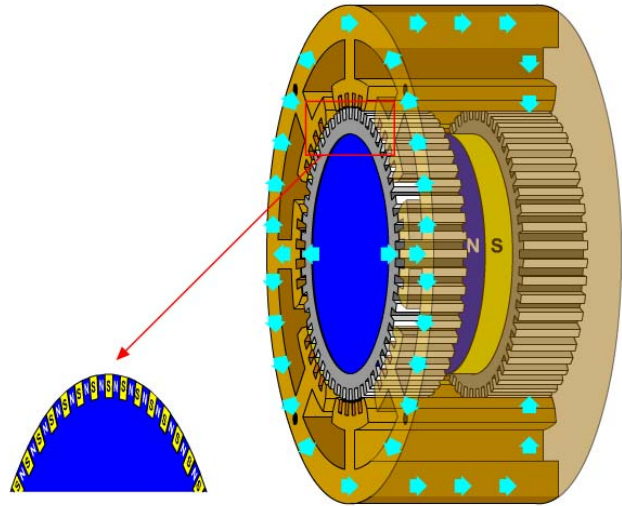
Değişken relüktanslı motorun stator ve rotor dişleri arasındaki hava aralığı, küçük çaplı rotordan mümkün olduğunca büyük tork üretebilmek ve konumlamada yüksek doğruluk elde edebilmek için mümkün mertebe küçük tutulmalıdır. Hava aralığı diğerinden biraz daha büyük olan iki step motora aynı değerde manyetik kuvvet uygulandığında, küçük hava aralığı yüksek torku üreten manyetik akıyı verecektir ve ayrıca rotora dışarıdan bir kuvvet uygulandığında küçük aralığın denge pozisyonundan uzaklaşmasının da az olacağı açıktır. Modern motorlarda bu Aralık 30 ila 100 μm 'dir.

Bu tip motorlarda rotor, manyetize olmamalı hafif ve küçük boyutlu yapılmalıdır. Rotor ölçülerinin küçük yapılması eylemsizlik momentinin de küçük olmasını sağlar. Böylece uygulanan gerilimin meydana getireceği moment sebebiyle rotor çok çabuk hareketlenir. Değişken relüktanslı step motorların başlama, durma ve adımları, sabit mıknatıslı step motorlardan daha hızlıdır.

2.7.3.2.3. Hibrid Step Motorlar

Hibrid step motorların rotorunda sabit mıknatıs bulunur. Bu tip motorlara hibrid denmesinin sebebi, motorun değişken relüktanslı ve sabit mıknatıslı motorların çalışma prensiplerinin bir kombinasyonu ile çalışmasıdır.

Rotorun her bir ucuna, tipik olarak üzerinde elli diş bulunan dişli türü göbekler vardır.



Şekil 2.13 Hibrid Step Motor

Göbekler amaçlı olarak ayarsız yapılır, böylece mıknatısın kuzey ucundaki dişler, güney ucundakiyle 180° faz dışı kalır. Şekildeki fotoğraf, rotor yapısını net olarak göstermektedir.

A ve B fazları için bobinler

C ve D fazları

A ve B fazları

C ve D fazları

A ve B fazları

Statör

Rotor

Statör sargıları (her kutup için iki)

A

B

C

D

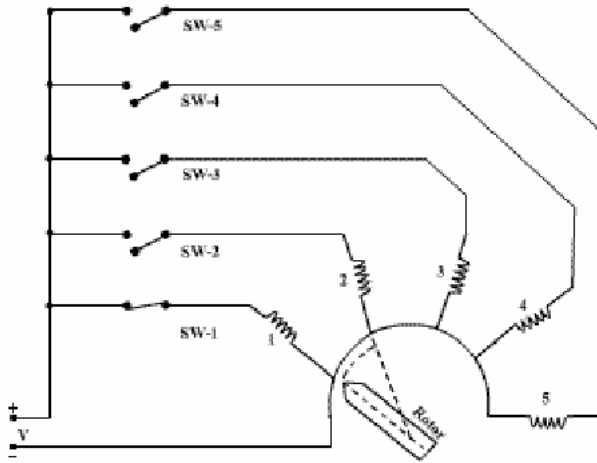
CT

CT

Öncekilerde olduğu gibi, hibrid adımlı bir motorun rotoru da, stator tahrik akımlarının uygun bir şekilde sıralanmasıyla adım adım hareket ettirilir.

2.7.3.3. Step Motor Çalışma Prensipleri

Step motorlar bir dizi kısa elektrik akımıyla hareket ederler. Stator (hareketsiz kısım) birbirine dik manyetik alan üreten iki ayrı bobinden oluşur. Bu bobinlere sırayla elektrik akımı verilerek statorun içerisinde döndürme etkisine sahip bir manyetik alan oluşması sağlanır. Statorun içindeki rotor (hareketli kısım) bobinler tarafından sırayla oluşturulan manyetik alanla polarize olarak döner. Her bir elektrik akım vurgusu



Şekil 2.15 Step Motor Temel Prensip Şeması

(pulsa) rotorun belli bir açı kadar (bir adım) dönmesine neden olur. Eğer güç sadece bir bobine verilirse manyetik alanın etkisiyle rotor sabitlenecektir, bu da motorun durdurulmasında kullanılır.

Yandaki şekilde bir step motorun temel prensip şeması verilmiştir. Step motor bir daire içinde elektromagnetik alanların dönüşü ile ifade edilebilir. 1 nolu anahtar

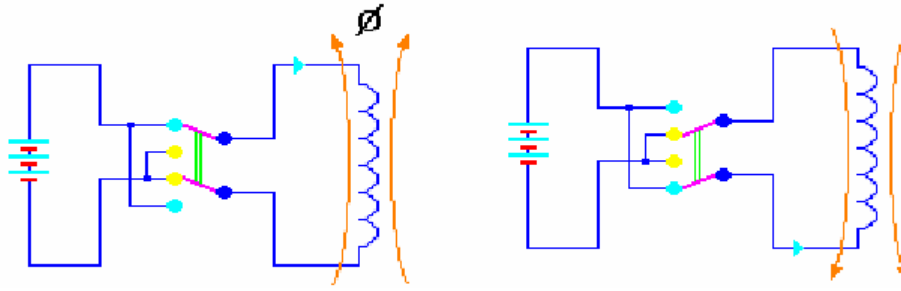
kapandığında (SW-1) rotor kendiliğinden 1. elektromanyetik alan ile aynı hizaya gelecektir. Bundan sonra 1 nolu anahtar açılıp 2 nolu anahtar kapatılırsa sabit mıknatıs 2. elektromagnetik alanın karşısına gelecektir. Bu olaylar sırayla tekrarlanırsa rotor bir daire içinde düzgün şekilde döner. Bu şekilde verilen elektrik akım vurgularının frekansı motorun dönme hızını belirler. Hızlı ivmelenme sonucunda step motorda kayma meydana gelebilir bunun önlenmesi için ivmelenme sırasında vurgu sıklığı ayarlanmalıdır.

2.7.3.4. Bipolar Step Motor ve Unipolar Step Motor

Bir bobinin oluşturmuş olduğu magnetik akının yönü, bobinin sarım yönüne ve bobinin içinden geçen akımın yönüne bağlıdır. Motor gibi elektromagnetik prensiple çalışan makinelerde, şiddeti ve yönü değişen magnetik alanlara ihtiyaç duyulur.

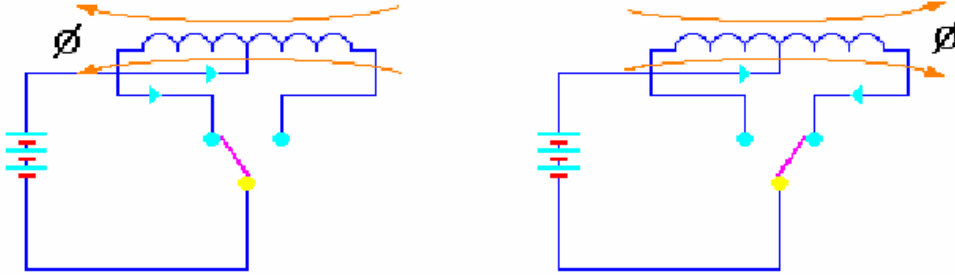
Manyetik akının yönü bobinden geçen akımın yönü ile değiştirilebilir. Ancak bazı uygulamalarda akım yönünü değiştirmek yerine bobinin sargı yönü değiştirilmek istenir. Tabi ki bu işlem sargıyı söküp ters yönde sarmayı gerektirir. Ancak biri birine göre ters sarılmış iki sargı kullanılırsa, magnetik akının yönü içinden akım geçen sargının sarım yönüne bağlı olacaktır.

Bipolar iki yönlü beslenen anlamına gelir ve Bipolar step motor, iki yönde de akım akabilen motor demektir. Bipolar motorların sadece 4 ucu vardır.



Şekil 2.16 Bipolar Step Motor

Unipolar tek yönlü besleme olup sargılardan sadece tek yönde akım akıtılır demektir.



Şekil 2.17 Unipolar Step Motor

Verilen şekillerde magnetik akının nasıl değiştiği görülmektedir. Şekillerden de anlaşılacağı üzere, unipolar motorda daha çok uç (6 adet) vardır.

İki motor tipinin birbirine göre avantajlarına bakacak olursak, Bipolar motorlar akım yönünün değişmesi ihtiyacından dolayı daha karmaşık sürücü devreleri ister. Unipolar motorlarda sürücü daha basittir.

Aynı boyutlardaki bipolar ve unipolar motordan, unipolar olanında aynı sargı alanına 2 bobin yerleştirildiğinden tel çapı küçük seçilir hâlbuki bipolar olana daha kalın telden sargı konabilir. Kalın sargı daha çok akım dolayısı ile daha çok tork demektir. En yaygın olarak 2 fazlı step motorlar kullanılmaktadır. Bunun anlamı 2 fazlı, Bipolar motorlarda 2 sargı, Unipolar motorlarda da 4 sargı olacak demektir.

2.7.3.5. Step Motorların Uyartımı

Tek Faz Uyartım

Motor sargılarının sadece birinin uyarıldığı uyartım cinsine tek-faz uyartımı adı verilir. Aşağıdaki tabloda 4-fazlı adım motoru için tek-faz uyartım sırasındaki fazların durumu görülmektedir. Bu uyartım metodunda rotor her bir uyartım sinyali için tam adımlık bir hareket yapmaktadır. Uyartım dönüş yönüne bağlı olarak sıra ile yapılır.

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 2.18 Step Motorun Tek Faz Uyartımı

İki-faz uyartım (2 Fazlı Tam Adımlı Sürüş)

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

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 2.19 Step Motorun İki Fazlı Uyartımı

Karma uyartım (2 Fazlı Yarım Adımlı Sürüş)

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. Aşağıdaki

tabloda 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 2.20 Step Motorun Yarım Adım Uyartımı

2.8 Asenkron Motorlar

Asenkron makineler motor olarak, stator sargıları ile aldığı elektrik enerjisini rotorundan dönme hareketi yaparak mekanik enerjiye çeviren ve jeneratör olarak, rotorundan aldığı dönme hareketi mekanik enerjisini, bazı koşullar altında, stator sargılarında elektrik enerjisine, çeviren elektro-mekanik makinelerdir. (Boduroğlu 1981)

Asenkron motorların dönme sayıları sabit değildir, fakat dönme sayısı yükü az değişir. Dönen diğer elektrik makinelerine kıyasla daha sağlam, daha az bakım isteyen ve daha ucuz makinelerdir. Son yıllarda, yarı iletken güç elektroniğindeki teknolojik gelişmeler ile asenkron makinelerin kontrolü kolayca yapılabilmektedir. Özellikle frekans

değiştiricilerinde tristörlerden sonra güç transistorlarının ve IGBT (kapısı izole iki kutuplu transistor)'lerin kullanılır hale gelmesini burada belirtmek gerekir. Bu gelişmelerle asenkron motorların hızının kontrolü, moment kontrolü ve yumuşak yol verme (softstarting) işlemleri ile bu makineler, diğer üstün yapısal özellikleri ile doğru akım makinelerinin endüstrideki yerini almaya başlamıştır.(Koca 2006)

2.8.1 Asenkron Motorun Yapısı

Asenkron makineler başlıca iki kısımdan oluşur;

- Hareket etmeyen stator ve stator sargıları
- Dönme hareketi yapan rotor ve rotor sargıları

Stator, makinenin hareket etmeyen kısmıdır. Statorda magnetik akıyı ileten stator saç paketi ile stator sargıları vardır. Stator saç paketi iki yüzü izole edilmiş 0,5 mm'lik silisyum demir saçların bir araya getirilerek ve basınç altında sıkıştırılması ile elde edilir. İnce saçlar kalıplar kullanılarak büyük presler yardımı ile işlenerek oluklar ve dişlerle birlikte gereken delikler açılarak üretilirler. Oluklar, uygun kalıplar yardımı ile motorun elektrik karakteristiklerine etkiyen değişik biçimde üretilirler. (Sarioğlu, 2003)

Resim 2,6'da üç fazlı, bir asenkron motorun kısımlarını gösteren resimleri verilmiştir. Bu resimde stator gövdesi, saç paketi, stator sargıları ve montajı yapılmış motor görülmektedir.



Resim 2.5 Üç fazlı bir asenkron motoru oluşturan kısımlar (ABB)

Rotor asenkron motorun dönen kısmıdır ve rotor saç paketi ile rotor sargılarından oluşur. Rotor saç paketi 0,5 mm'lik silisyum saçlardan yapılır. Saçların yüzeyleri çok ince bir film tabakası ile yalıtılmıştır. Saçlar özel kalıplarla pres altında oluk, dişler ve sıkıştırma cıvata delikleri oluşacak şekilde saç şeritlerinden kesilerek çıkartılır. Saçlar bir araya getirilerek pres altında sıkıştırılır ve cıvatalarla bu halde kalması sağlanır. Resim 2.7'de ise sincap kafesli bir rotorun yapısı görülmektedir.(Sarioğlu, 2003)



Resim 2.6 Sincap kafesli (kısa devre çubuklu) rotorun yapısı (ABB)

Sincap kafesli motorlarda rotor oluklarına bakır çubuklar yerleştirilir. Bu çubuklar her iki baştan dairesel halkalarla kısa devre edilerek, sincap kafesine benzeyen kendi üzerine kapatılmış bir sargı elde edilir. Sincap kafesli motor sargısı özel kalıplarla rotor oluklarına basınç altında alüminyum püskürtülerek de üretilir. Böylece üretilen rotor sincap kafesi alüminyumdan yapılmış olur. (Sarioğlu, 2003)

2.9 İnverterler

İnverterler doğru akımı alternatif akıma çeviren “DC – AC Konverter” lerdir. Bir inverterin görevi girişindeki bir doğru gerilimi, çıkışında istenen genlik ve frekansta simetrik bir alternatif gerilime dönüştürmektir.

DC – AC inverterlerinin kullanışlı olmalarının sebebi çıkış gerilimi ve frekansının ayarlanabilmesidir. İnverterin çıkış gerilimleri kare dalga şeklindedir. Bu sebeple uygulamada, gerilim harmoniklerinin etkisi hayli fazladır. Bu mahsuru ortadan kaldırmak için devreye bazı elemanlar ilâve edilir. DC – AC inverterlerin temel

elemanları yarı iletkenlerdir (transistör, tristör, mosfet gibi). Transistör ve MOSFET küçük güçlü elemanlar olduğundan düşük ve orta değerli güç devrelerinde kullanılır. Fakat hızlı anahtarlamaya sahip olduklarından yüksek frekanslı devrelerde kullanılabilirler.

Yarı iletken güç elektroniğindeki gelişmeler sonucu inverterler motor kontrol ünitelerinde de kullanılmaya başlanmıştır. İnverter kontrol sistemi, Ward-Leonard veya geleneksel AC gerilim kontrol yöntemlerine göre daha az enerjiye gereksinim duyar ve ideal hız ayar olanağı sağlar. Ayrıca PLC ile birlikte kullanılarak her türlü ihtiyaca cevap verebilecek şekilde düzenlenebilir.

Geleneksel primer gerilim kontrolünde motorun devir sayısı sabit frekansta, motorun uç gerilimi değiştirilmek sureti ile ayarlanıyorken inverter kontrollü sistemlerde motorun gerilimi yanında frekansı da değiştirilir. Bu da motora her devirde optimum döndürme momenti sağlar. AC motor kontrolü yapılan bir sistem, IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) adı verilen yarı iletken elemanlarla oluşturulan bir düzenle kontrol edilir.

İnverterle kontrol edilen asenkron motorun avantajları şunlardır; (Kasapoğlu 1989)

1. Optimal frekansla motor verimi artar.
2. Doğrultucuda kayıpların azaltılması sonucu olarak giriş akımı düzeltilir ve güç faktörü artar.
3. Enerji gereksinimi daha azdır.
4. Yüksek devir imkânı sağlanır.
5. Seri ivme ile kalkış imkânı olur.
6. Motor ısınması daha az düzeydedir.

2.9.1 İnverterin yapısı

İnverter ünitesi, kontrol kartları, güç anahtarlama transistörleri, çıkış trafosu ve filtrelerden oluşur. ON-LİNE UPS modellerinde sürekli olarak devrededir. Diğer

modellerde şebekenin tolerans dışı yükselmesi, düşmesi veya kesilmesi durumunda çalışır. Genel olarak üç ayrı inverter ünitesinden bahsedebiliriz.

1-Kare dalga çıkışlı veya kare dalgadan pasif filtrelerle üretilmiş sinüs çıkışlı UPS inverterler.

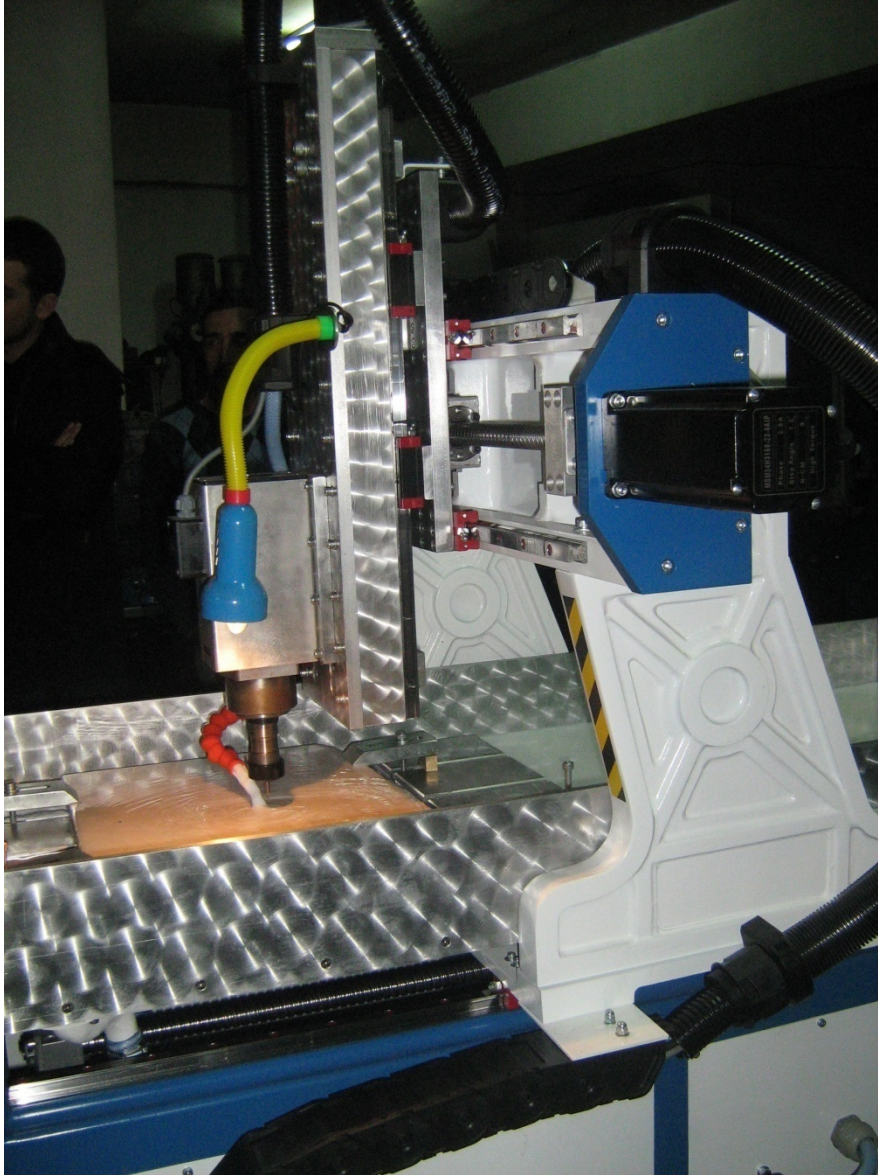
2-Sinüsoidal (Trapez dalga) çıkışlı UPS'lerin düşük frekanslı PWM'le çalışan inverterler.

3-Sinüs çıkışlı UPS'lerin yüksek frekans PWM'le çalışan inverterler.

İnverter ünitelerinin gücü UPS çıkış gücü ile orantılıdır. Bütün sistemdeki en kritik bölge inverterlerdir. İnverterlerin görevi doğrultucu veya bataryalardan gelen DC gerilimi AC gerilime çevirmektir. Bu AC gerilim düzenlenip süzülerek kritik yükün ihtiyacı olan sinüzoidal gerilim oluşturulur. İnverterlerde dalga biçimlendirmede temel ilke, transistor veya tristör gibi anahtarlama elemanlarının iletim ve tıkama sürelerinin uygun bir biçimde belirlenmesidir. Bu belirleme ile birlikte elemanların anahtarlama sırası da çok önemlidir (Şahin1996).

3.MATERYAL METOD

Üç eksenli CNC freze tezgâh 07.TEF.05 numaralı AKÜ-BAPK tarafından desteklenerek elektrik elektronik ve bilgisayar aksamı Bursa Marel Makinede, Makine aksamı ise İstanbul Çağlar Makinede imal edilmiştir. Makinenin imalatı yapıldıktan sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi Otomotiv Anabilim dalı Laboratuarına teslim edilmiştir.



Resim 3.1 Üç Eksenli CNC

3.1 Step Motor ve Sürücü Devresi

Üç Eksenli CNC’ de step motorlar spindle motorunun üç eksenle hareketini sağlamaktadır. CNC’ de kullanılan step motorların teknik özellikleri aşağıdaki çizelgede belirtilmiştir.

Çizelge 1 Step Motorun Teknik Özellikleri

Faz Sayısı	2 faz(Bipolar)
Adım Açısı	1,8 °/STEP
Çalışma Akımı	4.5 A/PHASE
Detent Torque (Yüksüz ve Enerjisiz Tutma Torku)	2 N.cm
Holding Torque (Yüksüz ve Enerjili Tutma Torku)	4,5 N.m



Resim 3.2 Bipolar Step Motor

Üç eksen CNC’ de step motor sürücüsü sayesinde çok yüksek hassasiyetlerde step motorlar kontrol edilebilir. CNC’ de kullanılan step motor sürücüsünün teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- ❖ İki fazlı, Mikro step özellikli
- ❖ 2,5-6A çıkış faz akımı
- ❖ 200 Adım-25600(1/128adım) adıma kadar set edilebilme
- ❖ 220 V AC

- [illegible]

43

L297 step motor kontrol entegresidir. Girişine uygulanan step ve dir sinyalleri ile çıkışında step motor faz sinyallerini üretmektedir. Entegre full-step, half-step ve wave-drive modlarında çalışabilmektedir.

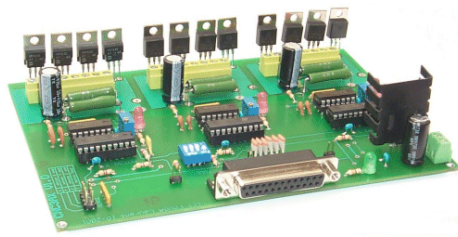
L298 H-bridge sürücü entegresidir. Bipolar step motorların sürülmesi için tasarlanmıştır. Max 2A/phase akım verebilir. Girişine uygulanan faz sinyallerini çıkışa yükseltip vermektedir.

Bu sürücü devre chopper mantığında çalışmaktadır. Bu sayede motorlardan maksimum hızda en iyi verimi almak amaçlanmıştır.

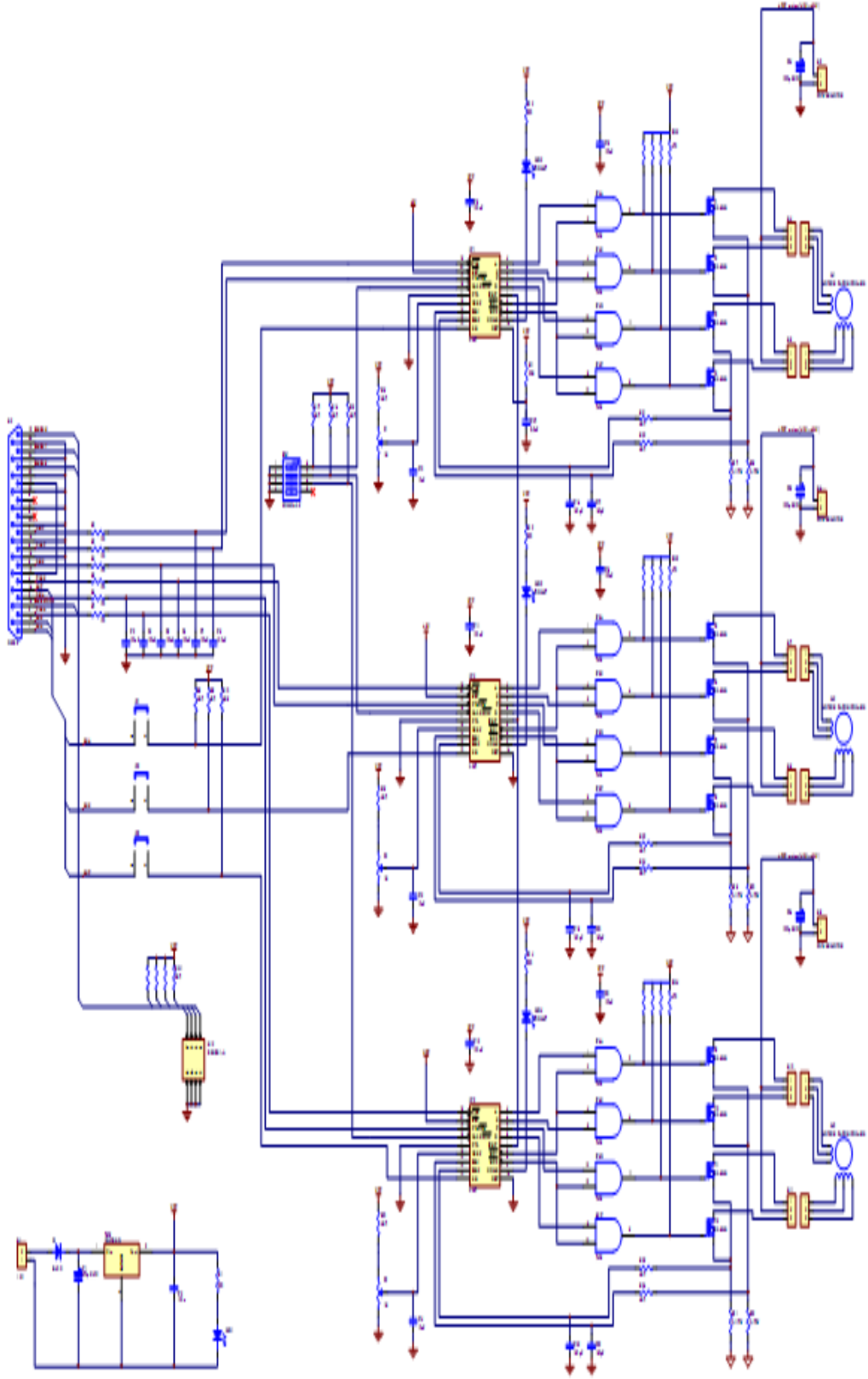
3.2 Üç Eksenli CNC İçin Kontroller Kart

Sistemin bilgisayarla bağlantısını sağlayan kontrolördür. Üç eksenli CNC' de kullanılan kontrolörün teknik özellikleri aşağıda verilmiştir.

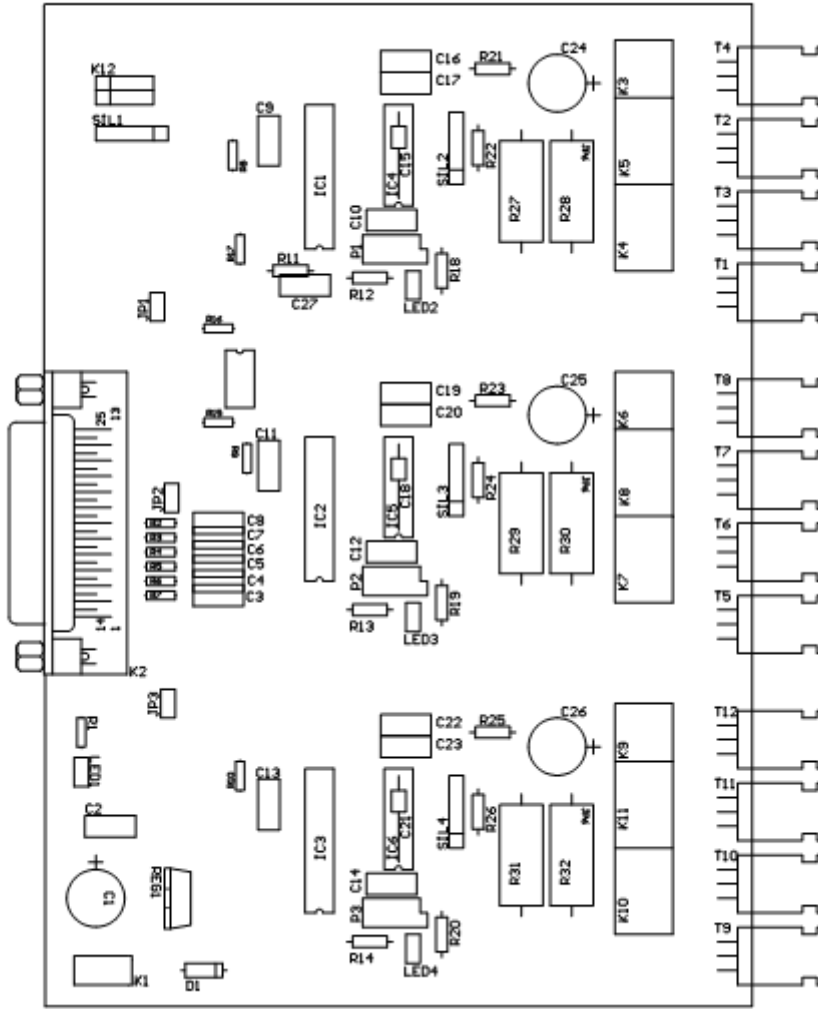
- ❖ Çıkışlar: 4 eksen için puls/dir, (adım/yön) 1 dc 24volt,1 dc 5 volt,7 programla kontrol edilebilen çıkış,1 pwm,1 analog.
- ❖ Girişler : 4 adet home,1 e-stop,1 Pause,1 Harici start,1 limit,1 enkoder.
- ❖ Besleme: 24...36 volt DC max 600mA.
- ❖ Ölçüleri:200x200x70mm.
- ❖ Türkçe ara yüz yazılımı+görsel yardım menüsü, dış etkenlere karşı optimum koruma, tüm girişleri optik izoleli, transistorla güçlendirilmiş çıkışlar, klamensli bağlantı sistemi, paslanmaz kutu.



Resim 3.3 Üç eksen Step Motor Kontrol Bordu



Şekil 3.2 Üç Eksen Cnc İçin Controller Kart

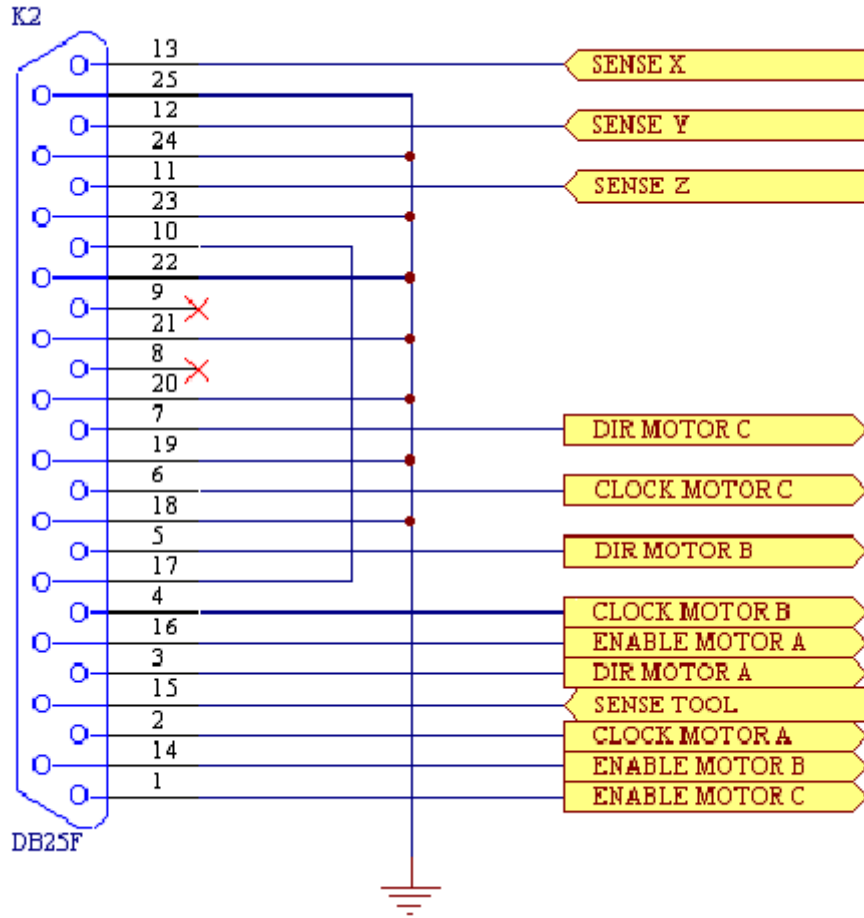


Şekil 3.2 Malzeme Yerleşimi

Parça Listesi ve Özellikleri:

R1,R12,R13, R14	:	330
R2,R3,R4, R5,R6,R7	:	100
R8,R9, R10,R15, R16,R17,R18, R19,R20,R21, R22,R23,R24, R25,R26	:	4K7
R11	:	22K
R27,R28,R29, R30,R31, R32	:	0.1 / 5W ou 7W
SIL1	:	4K7 (x4)

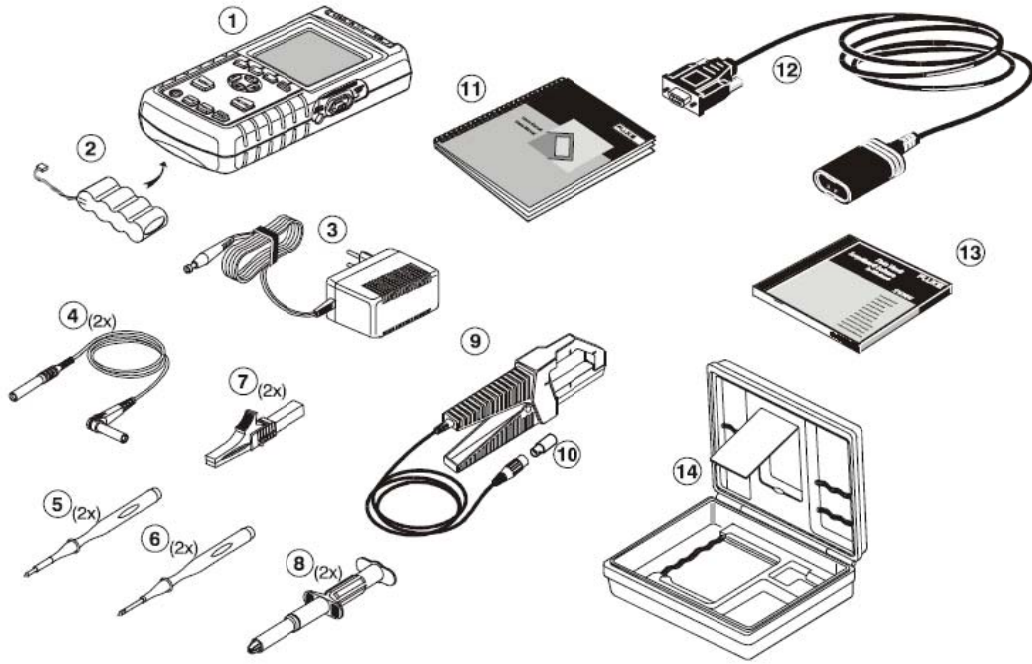
P1,P2, P3	:	Potentiometre 1K
SIL2,SIL3, SIL4	:	470 (x4)
C1	:	470 μ F/35V
C2,C9,C11 C13,C15,C18, C21	:	100nF
C3,C4,C5, C6,C7,C8,C16, C17,C19,C20, C22,C23	:	180pF
C10,C12, C14	:	10nF
C27	:	3.3nF
C24,C25, C26	:	1000 μ F/50V
IC1,IC2,IC3	:	L297 + support 20 broches
IC4,IC5, IC6	:	7409 + support 14 broches
T1,T2,T3, T4,T5,T6, T7,T8,T9, T10,T11, T12	:	IRLZ14
REG1	:	regulateur 7805
D1	:	1N4001
LED1	:	led 5mm rouge
LED2, LED3, LED4	:	led 5mm verte
K2	:	Connecteur DB25F
K12	:	Connecteur 2x4 contacts droits
K1,K3, K6,K9	:	Bornier 2 plots
K4,K5, K7,K8, K10,K11	:	Bornier 3 plots
SW1	:	switch DIL 4
JP1,JP2, JP3	:	Connecteur 2 contacts droits



Şekil 3.3 PC Port Bağlantısı

Deneyler Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Anabilim dalı Laboratuvarında yapılmıştır. Deneylerde üç eksenli CNC tezgâh kullanılmıştır. Deneyde güç ölçümü Fluke 43B enerji analizörü ile yapılmıştır.

3.3 Fluke 43B Enerji Analizörü ve Parçaları



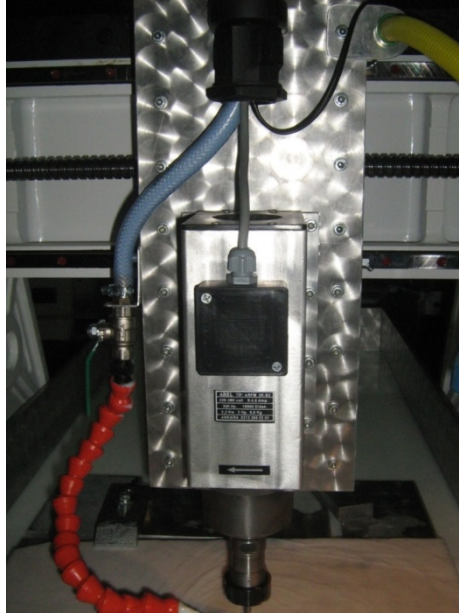
Şekil 3.4 Fluke 43B Enerji Analizörü ve Parçaları

1	Fluke 43B	Enerji Analizörü
2	BP120	Ni-Cd pil paketi
3		Güç Adaptörü/Batarya şarj ünitesi
4	TL24	Kırmızı ve siyah test kablosu
5	TP1	Kırmızı ve siyah test pinleri
6	TP4	4mm kırmızı ve siyah test pinleri
7	AC85A	Kırmızı ve siyah klips
8	AC20	Kırmızı ve siyah klips
9	80i-500s	AC Akım Probe
10	BB120	BNC Adaptör(1x siyah)

11		Kullanma ve uygulama klavuzu
12	PM9080	Optik izoleli RS232 Adaptörü/Kablosu
13	SW43W	FlukeView® Power Quality Analyzer yazılımı
14	C120	Taşıma Çantası

3.4 Deney Aracının Özellikleri

Deney aracı olarak üç eksenli freze tezgahın üzerinde bulunan spindle motor seçilmiştir. Spindle motorun ucuna Resim 3.4 ‘deki freze çakısı bağlanmıştır. Deney aracının teknik özellikleri Çizelge 2 de çıkartılmıştır.



Resim 3.4 Spindle Motor

Çizelge2 Spindle Motorun Teknik Özellikleri

Dış Ölçü	90mm X 115 mm
Ağırlık	8,6 Kg
Frekans(Hz)	300
Gücü	2,2 Kw/3hp
Gerilim	220/380 V
Akım	8/4,6A
Devir	18000 d/dk



Resim 3.5 Üç Eksenli CNC için Freze Çakısı



Resim 3.6 CNC ile Mermere Yaptırılan İşlem

3.5 Fluke 43B Enerji Analizörü ve Özellikleri

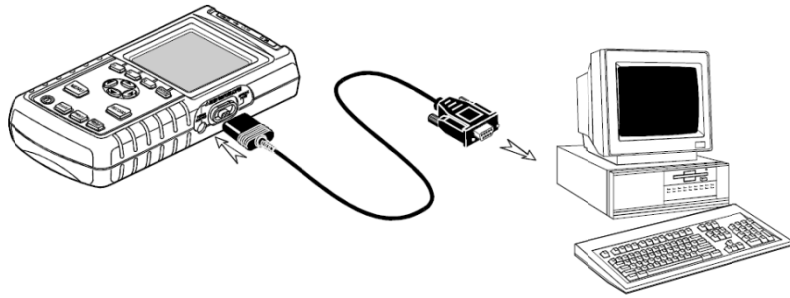
Deneyler Fluke 43B enerji analizörü kullanılarak yapılmıştır. Şekil 3.1 'de genel görünüşü verilen enerji analizörünün özellikleri aşağıya çıkartılmıştır.

- ✓ AC gerilim veya batarya ile çalıştırılabilir.
- ✓ Gerilim/akım/frekans ölçümü

- ✓ Güç ölçümü
- ✓ Harmoniklerin ölçümü
- ✓ Direnç ölçümü
- ✓ Kapasite ölçümü
- ✓ Sıcaklık ölçümü
- ✓ Ölçülebilen tüm değerlere ilişkin grafikler çıkartılabilmektedir.
- ✓ RS232 portundan bilgisayar bağlantısı kurulabilmekte ve anında veriler kaydedilebilmektedir.
- ✓ Dâhili hafıza ile veriler kaydedilebilmektedir.
- ✓ 16 güne kadar hiç durdurulmadan ölçüm yapabilme özelliği
- ✓ Her 1sn değer okuma özelliği ve ayarlanabilir değer okuma özelliği
- ✓ Saat ve tarih göstergesi
- ✓ Yazılım desteği
- ✓ Direk printerdan çıktı alma özelliği
- ✓ Çoklu dil desteği

3.6 Fluke 4B Enerji Analizörünün Kullanılması

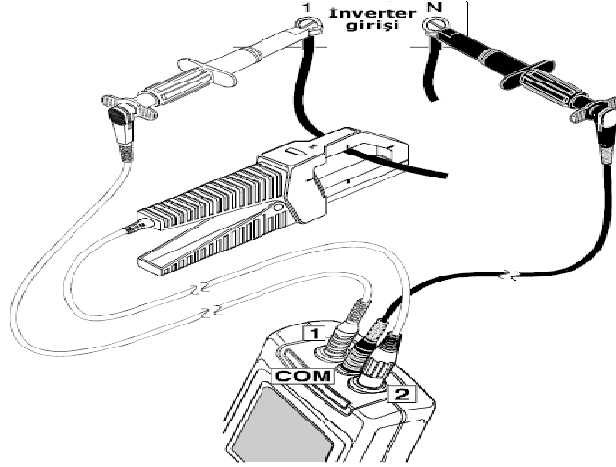
1. Ac adaptör, test proplarının bağlantıları yapılır.
2. RS232 seri port kablosu ile enerji analizörünün bilgisayarla bağlantısı yapılır.
3. Bilgisayara yüklenen Fluke view yazılımı çalıştırılır. Bilgisayarla seri port üzerinden enerji analizörünün bağlantısı gerçekleştirilir.
4. Test problemlerinin iki ucu, gerilim ölçmek inverterin giriş uçlarına bağlanır. Akım ölçmek içinde BB120 BNC adaptör kullanılır.BB120 adaptörü akım ölçmek için inverterin giriş ucundan fazın olduğu kabloya bağlanır.



Şekil 3.5 Enerji Analizörü PC bağlantısı

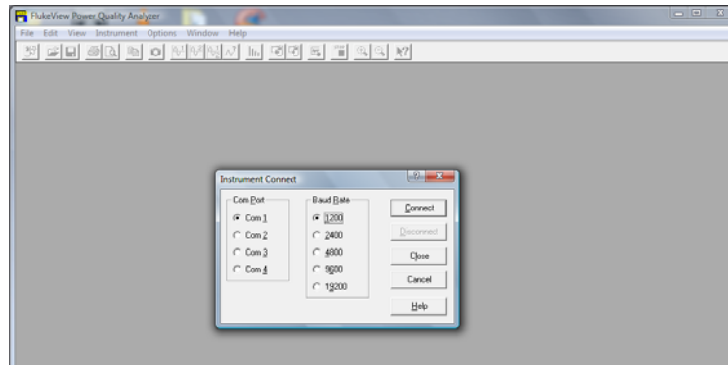
3.7 Deneyin Yapımındaki İşlem Basamakları

1. Enerji Analizörünün bağlantıları aşağıdaki şekildeki gibi tam ve doğru bir şekilde bağlandıktan sonra bilgisayar çalıştırılır.



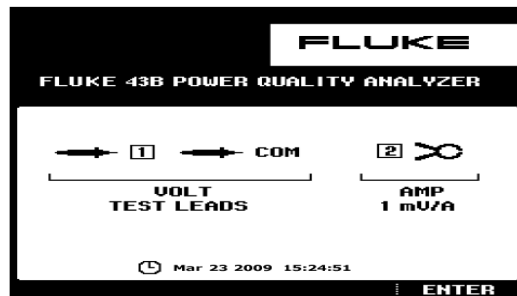
Şekil 3.6 Enerji Analizörünün İnvertere bağlantısı

2. Bilgisayar ile enerji analizörü bağlantısı gerçekleştirilir.



Şekil 3.7 Bilgisayar ile Enerji Analizörünün Bağlantısı

3. Enerji analizörü açılır. Karşılama ekranından ENTER basılarak geçilir.



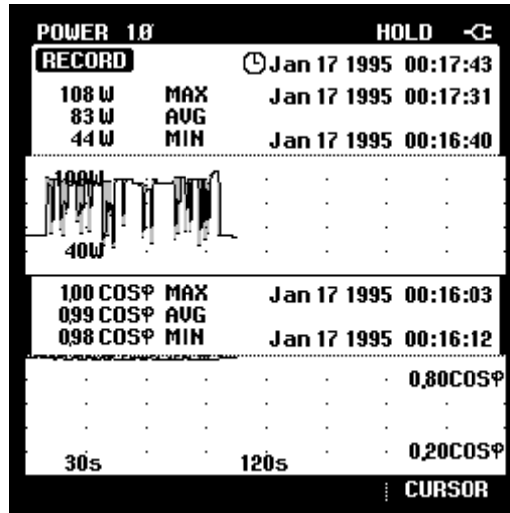
Şekil 3.8 Enerji Analizörü Karşılama Ekranı

4. Enerji analizörü menü bölümünden ölçülecek değerler ayarlanır. İnverter girişinden P(aktif Güç), Güç katsayısı, Voltaj(V), Akım(A) değerleri her bir sn değişimi ölçülecektir. Record menüsünden kayıt zamanı, birinci kaydedilecek veri için P(W) aktif güç ve ikinci kaydedilecek veri için ise güç katsayısı(DPF veya $\cos \phi$) seçilir.



Şekil 3.9 Record Menüsü Ayarları

5. Record setupdan start basıldığında kayıt başlayacaktır. Ayarlanan süre sonunda otomatik olarak kayıt duracaktır. İstenirse kayıt süresi bitmeden HOLD tuşu ile kaydı durdurmak mümkündür.



Şekil 3.10 Enerji Analizörünün Kayıt Sırasındaki Ekran Görüntüsü

6. Deneyde spindle motorun ilk önce boşa çektiği aktif güç ölçülecektir. Bu nedenden dolayı CNC-KONTROL programı bilgisayardan çalıştırılarak. Makine

çalıştır menüsünden sadece spindle motor 2000 d/dk boşta çalıştırılıp veriler enerji analizörüne kaydedilecektir. Bu kaydedilen veriler tüm işlemler bittikten sonra kıyaslanacaktır.

7. Deneylerde Bursa Bej Mermeri ve Uşak Yeşil Mermeri tablaya bağlanacak ilerleme hızı, spindle motorun devri ve kesme derinliğinin elektrik enerjisi ortalama aktif gúc üzerindeki etkisi incelenecektir. Bu işlemler için aşağıda verilen çizelgedeki deneyler sırası ile gerçekleştirilecektir. Toplam 48 tane deney yapılacak ve bu değerler kıyaslanacaktır. Bu kesme sırasında inverterin girişine bağlı olan enerji analizörü verileri kaydedecektir. Bu veriler kıyaslanmak için bilgisayar ortamına aktarılacaktır

Çizelge 3. Kesme deneyleri için varyasyon sırası

Deney No	Spindle Motor Devri(d/dk)	İlerleme Hızı(mm/dk)	Kesme Derinliği(mm)
1	2000	250	1,25
2	2000	250	2,5
3	2000	500	1,25
4	2000	500	2,5
5	2000	750	1,25
6	2000	750	2,5
7	4000	250	1,25
8	4000	250	2,5
9	4000	500	1,25
10	4000	500	2,5
11	4000	750	1,25
12	4000	750	2,5
13	6000	250	1,25
14	6000	250	2,5
15	6000	500	1,25
16	6000	500	2,5
17	6000	750	1,25
18	6000	750	2,5
19	8000	250	1,25
20	8000	250	2,5
21	8000	500	1,25
22	8000	500	2,5
23	8000	750	1,25
24	8000	750	2,5

3.8 Enerji analizöründen elde edilen verilerin işlenmesi

Enerji analizöründen alınan aktif güçler ve enerji tüketimi değerlerinden anlık aktif gücün deney süresince değişimini incelemek amacıyla her deney grubuna ait aktif güç grafiği çıkarılmıştır.

Elektriksel özgül kesme enerjisi (SE_e) kesme işleminde kullanılan toplam elektrik Enerjisinin kesimde atılan malzeme miktarına bölünmesi ile bulunmaktadır. Bu değer kesme işleminin optimum şartlara göre yapılıp yapılmadığının izlenip karar Verilebilmesi açısından önem arz etmektedir. SE_e ile gösterilen özgül kesme enerjisi hesabında aşağıda verilen formül kullanılmaktadır.

$$SE_e = E_{top} / Q_w$$

Burada E_{top} kesme süresince kaydedilen aktif güçlerin ortalaması ile bu verilerin kaydedildiği toplam sürenin çarpılması ile bulunmaktadır ve birimi Wsn çıkmaktadır. Bulunan bu değer daha anlamlı olması açısından Watt saate (Wh) dönüştürülmüştür. Q_w ise kesme işleminde atılan malzeme miktarı veya bir başka ifadeyle spindle motorun milinin açtığı kanalın hacmini göstermektedir.

Verilen tüm hesaplamaların yapıldığı şablon dosya görünümü aşağıda Şekil 3.8’de verilmektedir. Verilerin şablon dosyalara yerleştirilip hesaplamaların yapılmasının ardından gerekli grafiklerin oluşturulması yine Excel programı ile gerçekleştirilmiştir.

sonuc.xlsx - Microsoft Excel							
Giriş Ekle Sayfa Düzeni Formüller Veri Gözden Geçir Görünüm Eklentiler							
Yapıştır Pano Yazı Tipi Hizalama Sayı Genel Metni Kaydır Birleştir ve Ortala Koşullu Biçimlendirme							
B7 P(aktif Güç)							
1	A	B	C	D	E	F	G
2		Spindle motor devri	2000 d/dk				
3		ilerleme hızı	250mm/dk	500mm/dk	750mm/dk		
4	Mermer Cinsi	derinlik	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm
5	1.mermer	P(aktif Güç)	5,9(t=27sn)	6,24(t=27sn)	6,44(t=16 sn)	6,58(t=16sn)	6,87(t=12sn)
6	2.mermer	P(aktif Güç)	5,84(t=27sn)	5,72(t=27sn)	6,98(t=16sn)	6,13(t=16sn)	6,83(t=12sn)
7	3.mermer	P(aktif Güç)	5,73(t=27sn)	5,92(t=27sn)	6,18(t=16sn)	6,36(t=16sn)	6,67(t=12sn)
8							
9		Spindle motor devri	4000 d/dk				
10		ilerleme hızı	250mm/dk	500mm/dk	750mm/dk		
11	Mermer Cinsi	derinlik	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm
12	1.mermer	P(aktif Güç)	6,11(t=27sn)	6,13(t=27sn)	6,67(t=16sn)	6,54(t=16sn)	6,78(t=12sn)
13	2.mermer	P(aktif Güç)	6(t=27sn)	5,61(t=27sn)	6,77(t=16sn)	6,36(t=16sn)	6,9(t=12sn)
14	3.mermer	P(aktif Güç)	6,05(t=27sn)	6,14(t=27sn)	6,71(t=16sn)	6,52(t=16sn)	7,1(t=12sn)
15							
16		Spindle motor devri	6000 d/dk				
17		ilerleme hızı	250mm/dk	500mm/dk	750mm/dk		
18	Mermer Cinsi	derinlik	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm
19	1.mermer	P(aktif Güç)	6,13(t=27sn)	6,07(t=27sn)	6,58(t=16sn)	6,47(t=16sn)	6,79(t=12sn)
20	2.mermer	P(aktif Güç)	6,23(t=27sn)	5,82(t=27sn)	6,51(t=16sn)	6,42(t=16sn)	6,87(t=12sn)
21	3.mermer	P(aktif Güç)	6,53(t=27sn)	6,43(t=27sn)	6,71(t=16sn)	6,56(t=16sn)	6,93(t=12sn)
22							
23		Spindle motor devri	8000 d/dk				
24		ilerleme hızı	250mm/dk	500mm/dk	750mm/dk		
25	Mermer Cinsi	derinlik	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm	2.50mm	1.25 mm
sonuçlar datalar Sayfa1 Sayfa3 Sayfa4 grafikler spindlemotordevirGüç spindlemotordevirGüç2 Sd							
Hazır							

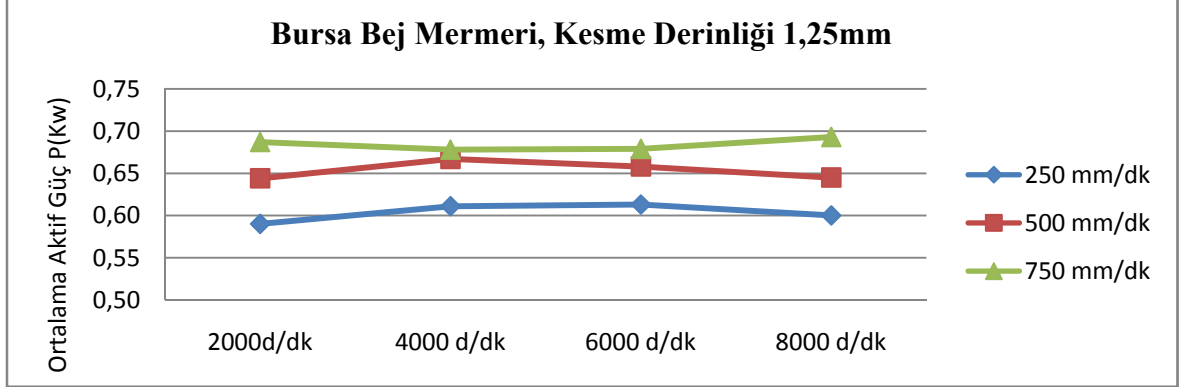
Şekil 3.11 Excel Şablon Dosyası Görünümü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

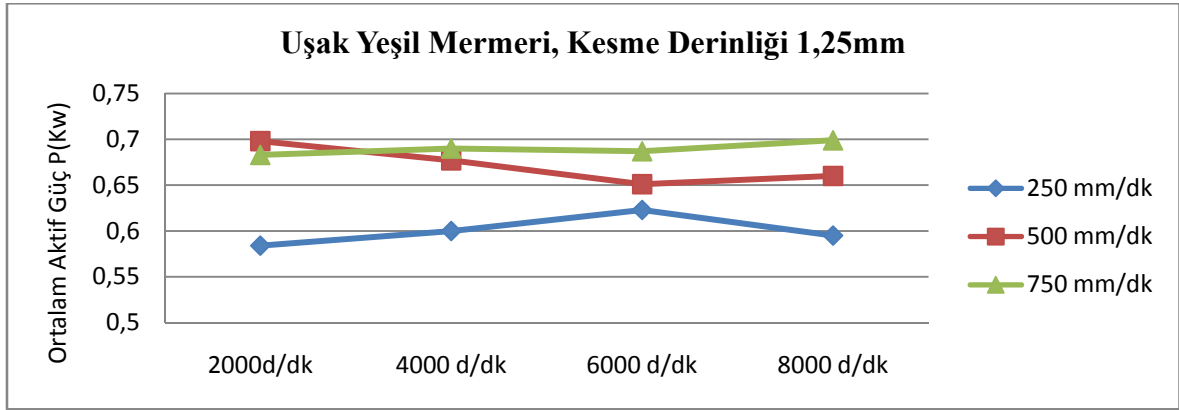
Yukarıda “Çizelge 3. Kesme parametrelerin varyasyon deneyleri” başlığı altında verilen sıra ile gerçekleştirilen 48 deneyden elde edilen sonuçların analizi gruplara ayrılarak gerçekleştirilmiştir. Öncelikle spindle motor dönüş hızının elektrik enerjisine etkisinin incelenmesi amacıyla Bursa Bej Mermeri ve Uşak Yeşil Mermeri için gerçekleştirilen 24 deneyin sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra ilerleme hızının elektrik enerjisine etkisini incelemek amacıyla söz konusu 24 deneyin sonuçları karşılaştırılmıştır. Son olarak da kesme derinliğinin elektrik enerjisine etkisi araştırılmıştır. Bu üç konu başlığı için deney grupları oluşturulmuştur.

Deney sonuçlarının gruplanması ardından her bir deney grubuna ait grafikler oluşturulmuştur. Aşağıda sırasıyla grafikler eşliğinde ilerleme hızı, spindle motor dönüş hızının ve kesme derinliğinin ortalama aktif güç ve elektriksel enerji üzerindeki etkileri üzerinde durulacaktır.

4.1. Spindle Motorun Devir Sayısı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi



Şekil 4.1 Bursa Bej mermeri için değişik ilerleme hızlarında spindle motorun dönüş hızı değişiminin ortalama aktif güce etkisi



Şekil 4.2 Uşak mermeri için değişik ilerleme hızlarında spinle motorun dönüş hızı değişiminin ortalama aktif güce etkisi

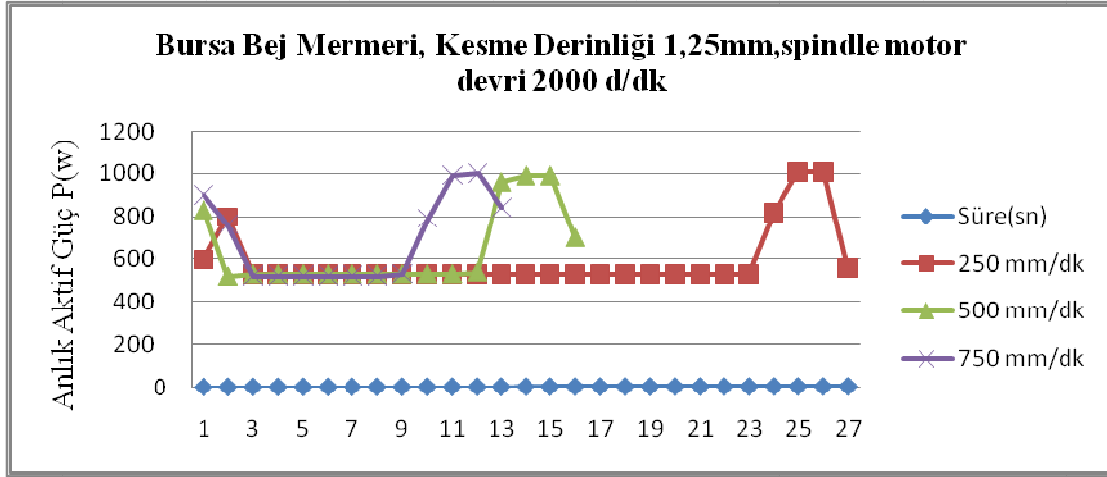
İşlenen Bursa Beji mermeri ve Uşak Yeşil Mermeri için geçerli olmak üzere, sabit kesme derinliğinde ($HK = 1,25\text{mm}$) değişik ilerleme hızlarında ($VK = 250\text{-}500\text{-}750\text{ mm/dk}$) spindle motorun dönüş hızı artışına bağlı olarak ortalama güçteki değişim görülmektedir (Şekil 4.1 ve 4.2).

Bursa Bej Mermeri için kesme hızı 250 ve 500 mm/dk ilerleme hızlarında spindle motor devri 4000 d/dk olana kadar ortalama güç artarken 4000 d/dk dan sonra her iki ilerleme hızı için aktif güç ortalamasında azalma olmaktadır. Ayrıca 750 mm/dk ilerleme hızında

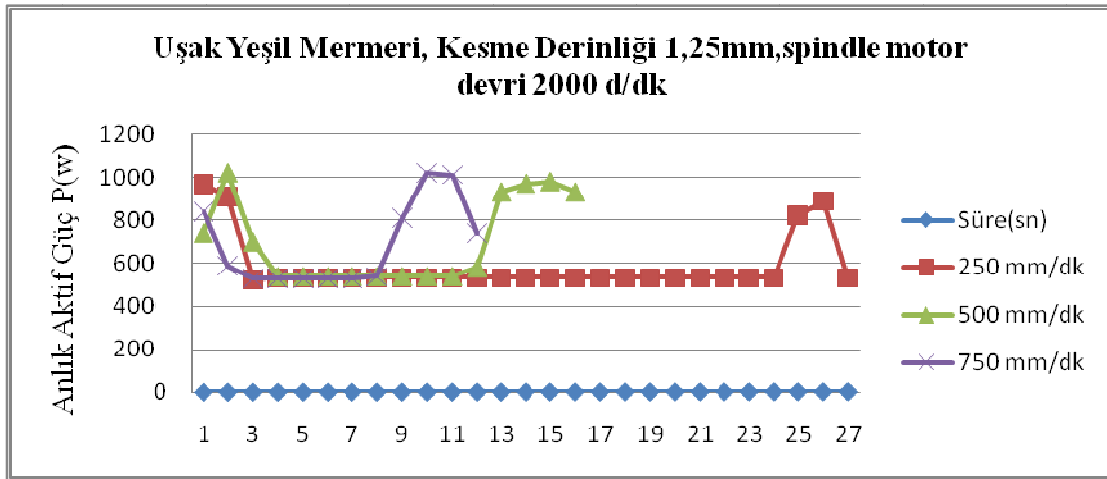
spindle motor devrinin değişiminin ortalama aktif güçde bir değişime sebep olmadığı görölmüştür.

Uşak Yeşil mermeri için spindle motorun devri 6000 d/dk olduğunda üç ilerleme hızında çekilen ortalama güç değerlerinin birbirine çok yaklaştığı gözlemlenmektedir.250 mm/dk ilerleme hızında spindle motor devri 6000 d/dk sonra düşüşe geçtiği dikkat çekicidir.

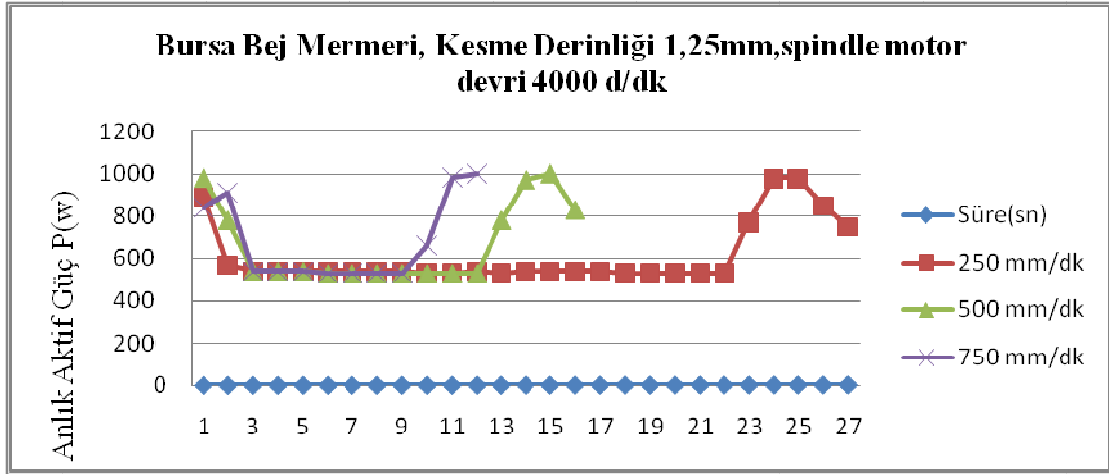
4.2. İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi



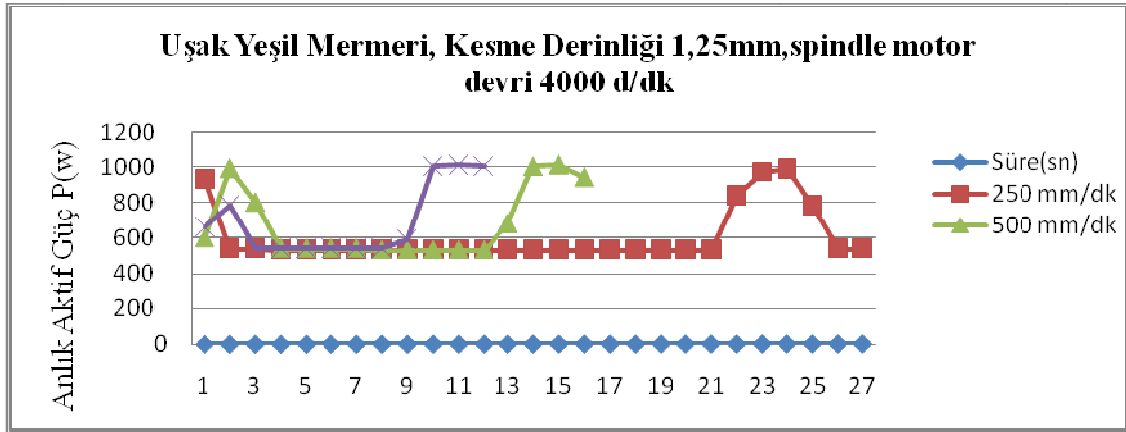
Şekil 4.3 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=2000d/dk)



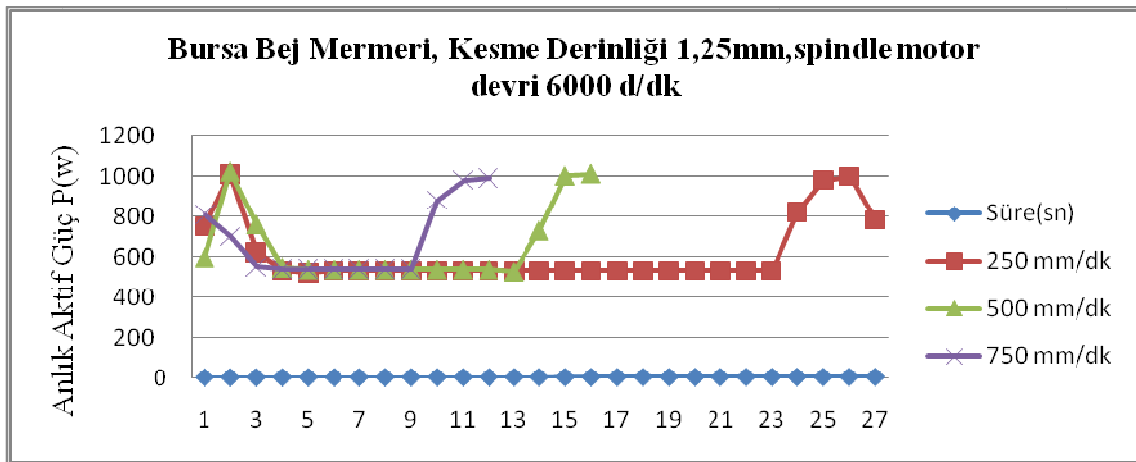
Şekil 4.4 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=2000d/dk)



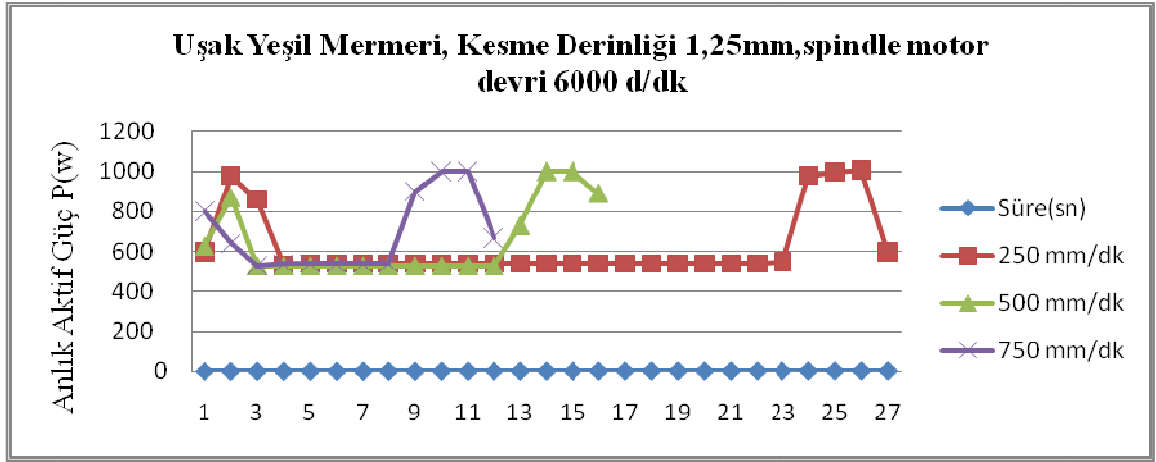
Şekil 4.5 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=4000d/dk)



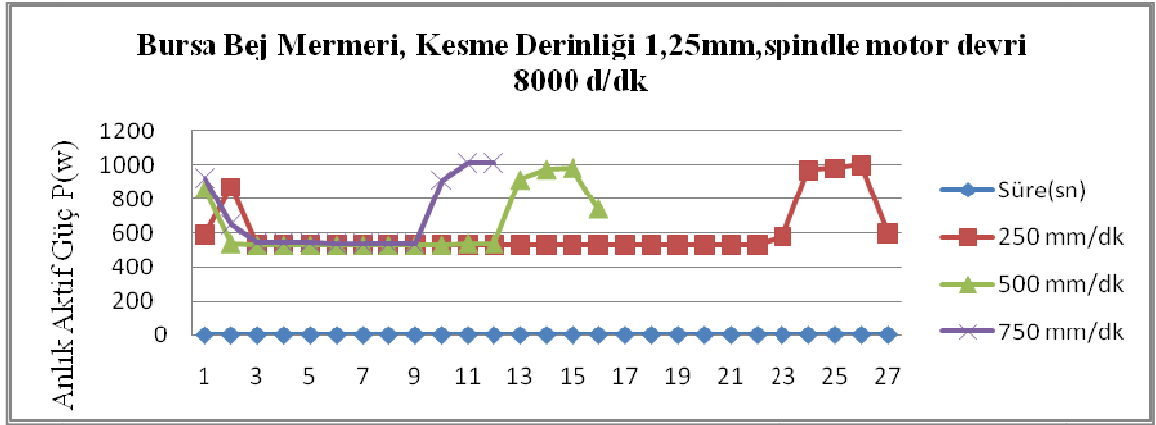
Şekil 4.6 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=4000d/dk)



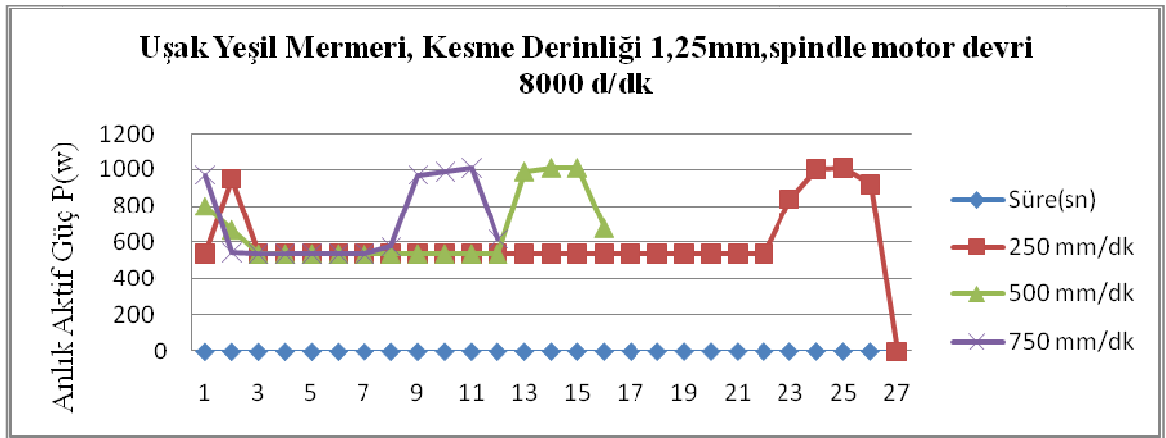
Şekil 4.7 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=6000d/dk)



Şekil 4.8 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=6000d/dk)



Şekil 4.9 Bursa Bej Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=8000d/dk)



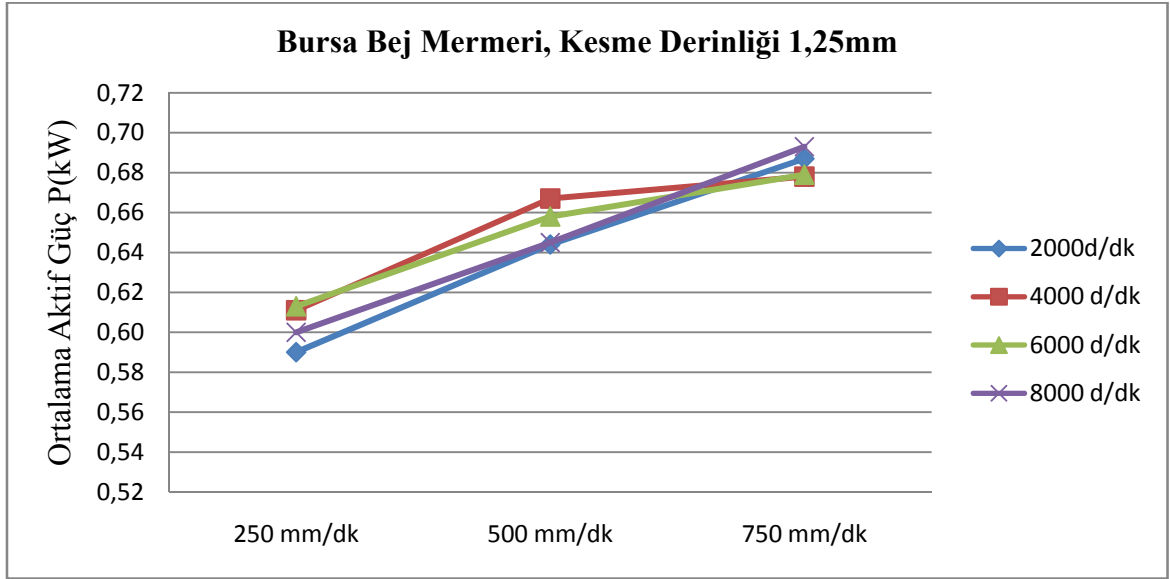
Şekil 4.10 Uşak Yeşil Mermerinde İlerleme Hızı Değişiminin Anlık Aktif Güce Etkisi(spindle motor devri=8000d/dk)

İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil Mermeri için geçerli olmak üzere, kesme süresi boyunca aktif gücün önce belli bir seviyeye kadar yükseldiği sonra belli bir seviye düştüğü kesme işleminin sonuna doğru tekrar anlık aktif güçte artış olduğu görülmektedir (Şekil 4.3-4.10). Kesme derinliği sabit olarak belirli spindle motor dönüş hızlarında ($V_d = 2000-4000-6000-8000$ d/dk) ilerleme hızındaki artışların anlık aktif gücü değişime sebep olmadığı net bir şekilde görülmektedir.(Şekil 4.3-4.10). Belirli kesme derinliğinde ($H_k = 1,25\text{mm}$) spindle motor dönüş hızının sıra ile artırılması anlık aktif güç değişimin de dikkate alınır bir değişim gözlemlenmemiştir.

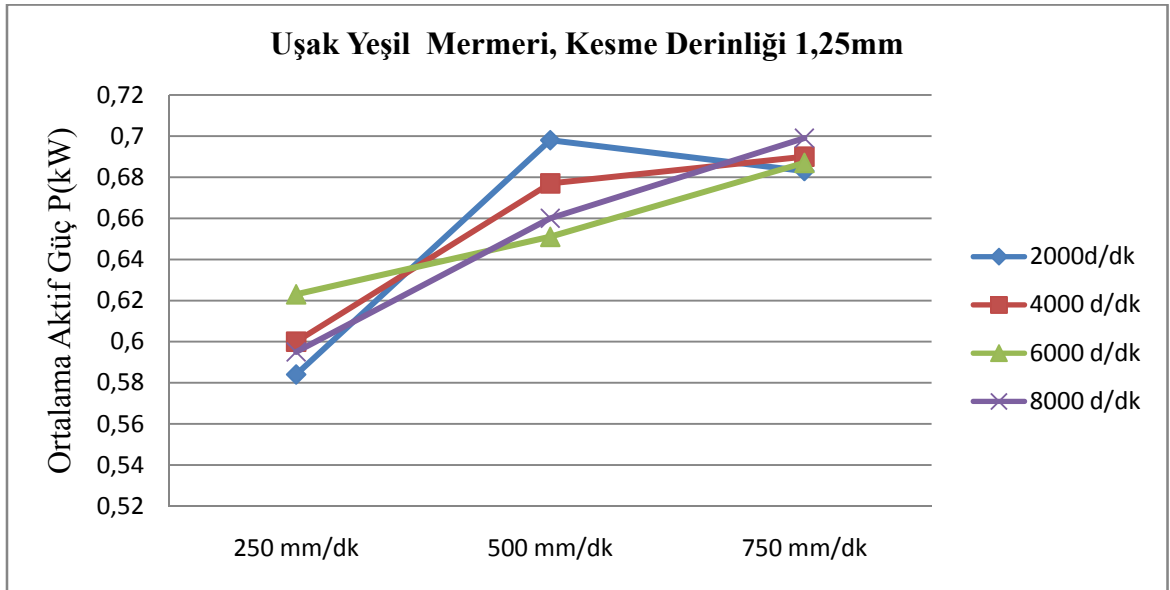
Bursa Bej Mermeri için yüksek ilerleme hızında(750 mm/dk) anlık aktif güç de değişim olmadığı ve ayrıca işlenen malzemenin de pürüzsüz olduğu gözlemlenmiştir. Oysaki Uşak Yeşil mermerinde ise yüksek ilerleme hızlarında pürüzlü bir işleme yapıldığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin Uşak Yeşil mermerinin sertliğine ve tanecik boyuna bağlı olduğu tahmin edilmektedir.

Özellikle her iki mermer içinde dikkat çeken unsur mermere girerken ve mermerden çıkarken çekilen aktif güçler dikkate alınmasa spindle motorun mermeri işlerken ilerleme hızının değişimi anlık aktif gücün değişiminde dikkate alınır bir rol oynamadığı görülmüştür. Şekil 4.3-4.10'de görüldüğü üzere 4.sn ve 7sn arasında her iki mermer içinde tüm ilerleme hızlarında malzeme 1.25mm derinlikte çapak kaldırmaktadır. Bu arada anlık aktif güçte değişimin olmaması ilerleme hızının bu iki mermer için etkisiz olduğunu düşündürmektedir.

4.3 İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi



Şekil 4.11 Bursa Bej Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi



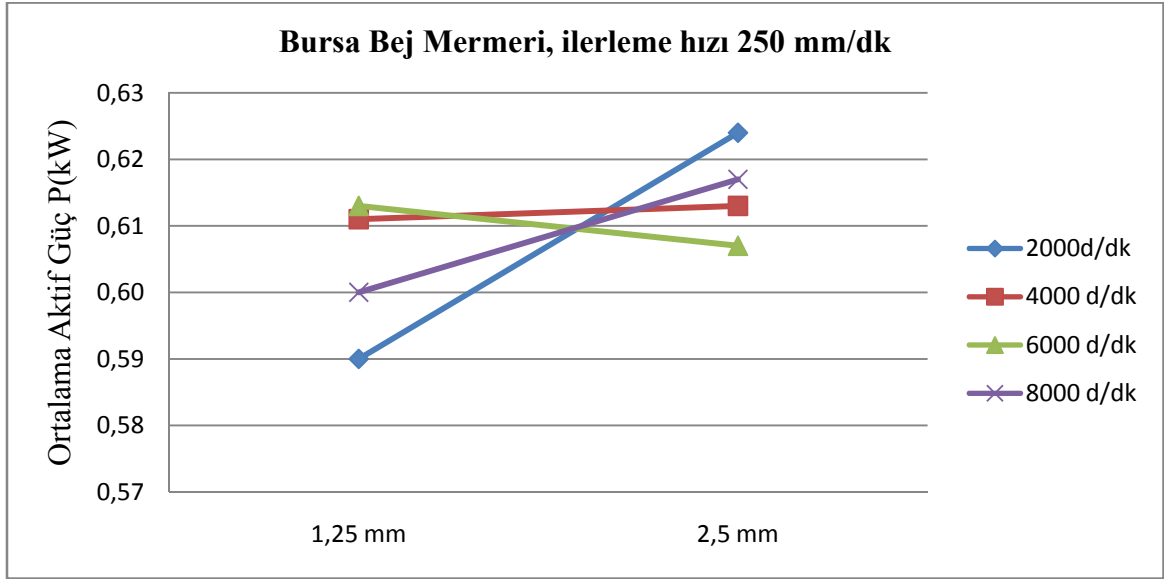
Şekil 4.12 Uşak Yeşil Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi

İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit kesme derinliğinde ($H_k = 1,25\text{mm}$) belirli spindle motor devir sayılarında ilerleme hızının ortalama aktif güç tüketimini oldukça artırdığı görülmektedir (Şekil 4.11 ve 4.12). Spindle motorun belirli ilerleme hızlarındaki değişimi, ortalama aktif güç değişimlerini spindle motor devir sayısı arttıkça çok az miktarda artırmakta ancak belirli devir sayılarındaki farklı ilerleme hızlarındaki ortalama aktif güç değişimi ise görece daha fazla oluşmaktadır.

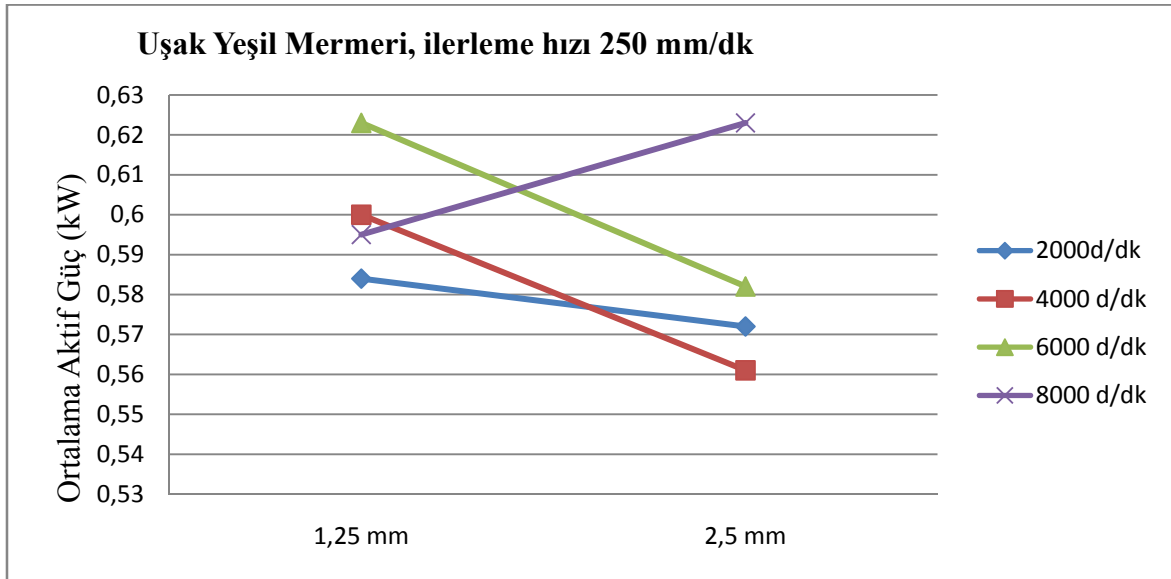
İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, Spindle motorun devirleri için (2000-4000-6000-8000 d/dk) ilerleme hızları arttıkça ortalama aktif gücün doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Bursa Bej Mermerindeki her ilerleme hızındaki ortalama aktif güç spindle motorun tüm devirlerinde birbirine çok yakın değerlerde çıktığı görülmektedir. Buda özellikle bursa bej mermerinin işlenmesinde spindle motorun devir sayısı değişimin ortalama aktif güç değişimine katkısının az olduğunu göstermektedir. Buradan Bursa Bej Mermerinin Uşak Yeşil mermerine oranla daha kolay, kaliteli ve ucuza işlenebileceği anlaşılmaktadır.

4.4 Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi



Şekil 4.13 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =250 mm/dk)

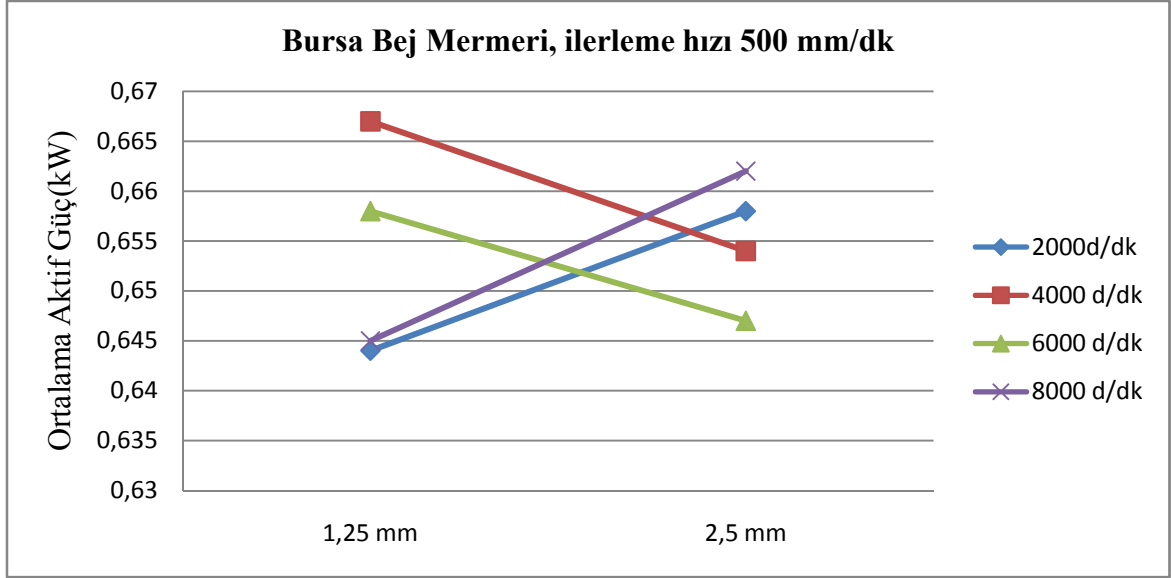


Şekil 4.14 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme Hızı= 250 mm/dk)

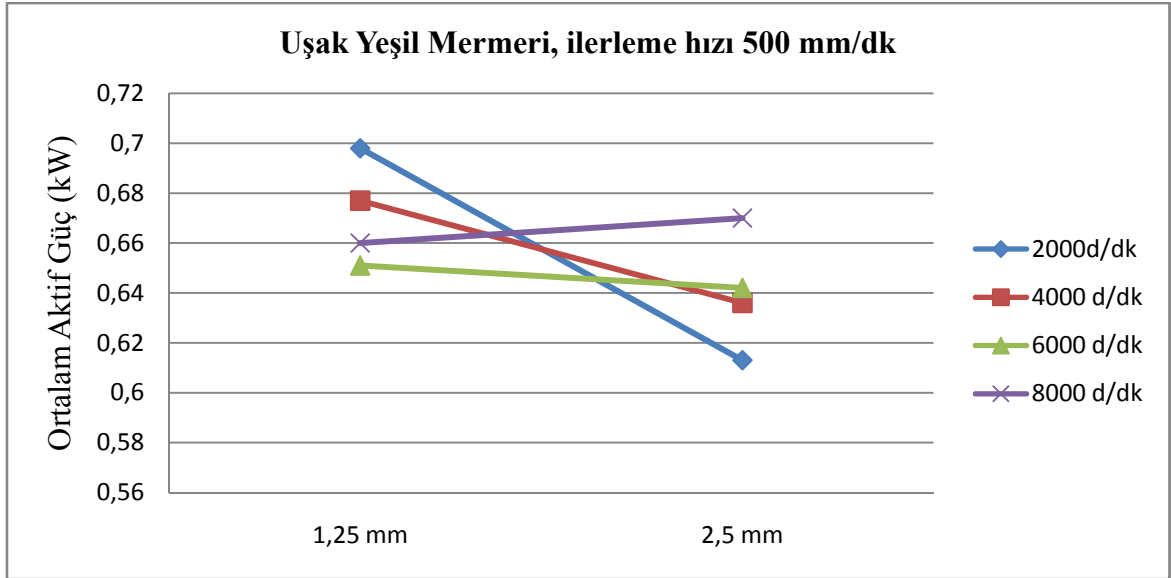
İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit ilerleme hızında(250 mm /dk) kesme derinliğinin değişimi ile spindle motorun devrinin değişiminin ortalama aktif güç üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.

Bursa Bej Mermeri için, 4000d/dk ve 6000 d/dk ilerleme hızlarında kesme derinliğinin artması ortalama aktif gücün azalmasına neden olmuştur. Çok yüksek ve çok düşük spindle motor(2000 d/dk-8000 d/dk) hızlarında ise kesme derinliğinin artması ile ortalama aktif gücün doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Uşak yeşil mermerinde de Bursa Bej Mermerinde olduğu gibi 4000 d/dk ve 6000 d/dk hızlarda kesme derinliliğinin arttırılması ile ortalama aktif gücün doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =500 mm/dk)

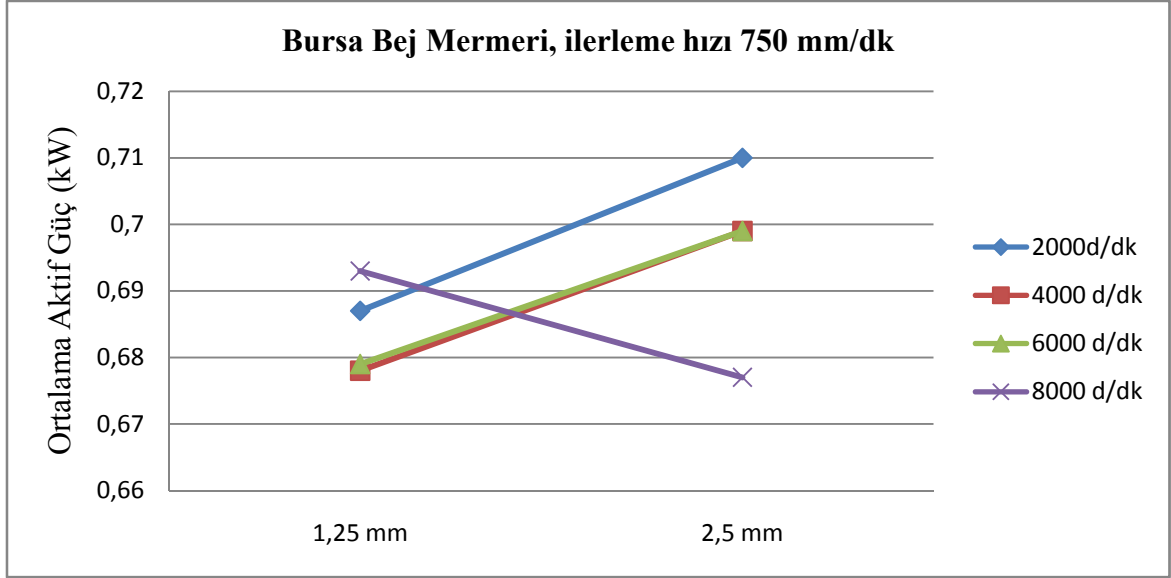


Şekil 4.16 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =500 mm/dk)

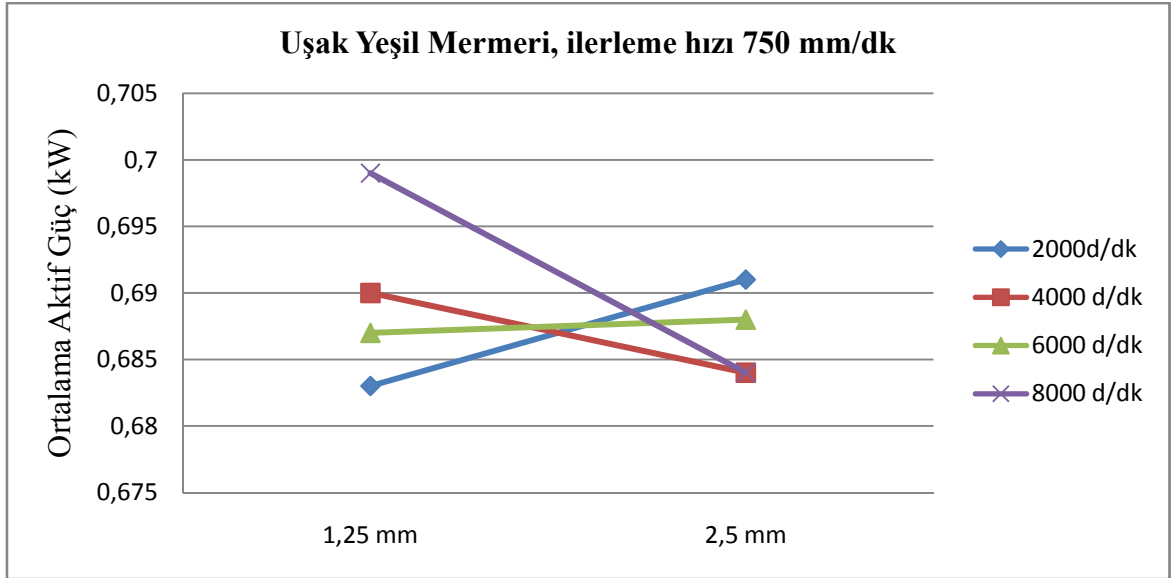
İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit ilerleme hızında(500 mm /dk) kesme derinliğinin değişimi ile spindle motorun devrinin değişiminin ortalama aktif güç üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.

Bursa Bej Mermeri için, 4000d/dk ve 6000 d/dk ilerleme hızlarında kesme derinliğinin artması ortalama aktif gücün belirgin bir şekilde azalmasına neden olmuştur. Çok yüksek ve çok düşük spindle motor(2000 d/dk-8000 d/dk) hızlarında ise kesme derinliğinin artması ile ortalama aktif gücün doğrusal olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Uşak yeşil mermerinde de Bursa Bej Mermerinde olduğu gibi 4000 d/dk ve 6000 d/dk hızlarda kesme derinliliğinin arttırılması ile ortalama aktif gücün doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Uşak yeşil mermerinde geçerli olmak üzere derinliğin artması 2000 d/dk ortalama aktif gücün en hızlı şekilde düşmesine neden olmuştur.



Şekil 4.17 Bursa Bej Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =750 mm/dk)



Şekil 4.18 Uşak Yeşil Mermeri için Kesme Derinliğinin Değişiminin Ortalama Aktif Güce Etkisi(ilerleme hızı =750 mm/dk)

İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit ilerleme hızında(750 mm /dk) kesme derinliğinin değişimi ile spindle motorun devrinin değişiminin ortalama aktif güç üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir.

Bursa Bej Mermeri için, 8000 d/dk spindle motor hızında kesme derinliğinin artması ortalama aktif gücün belirgin bir şekilde azalmasına neden olmuştur.

Uşak yeşil mermerinde de Bursa Bej Mermerinde olduğu gibi 8000 d/dk hızlarda kesme derinliliğinin artırılması ile ortalama aktif gücün doğrusal bir şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Ozaman 750 mm/dk ilerleme hızında kesme derinliği arttırılacaksa 8000 d/dk ile işlenmesi ortalama aktif gücün azalmasına neden olacaktır.

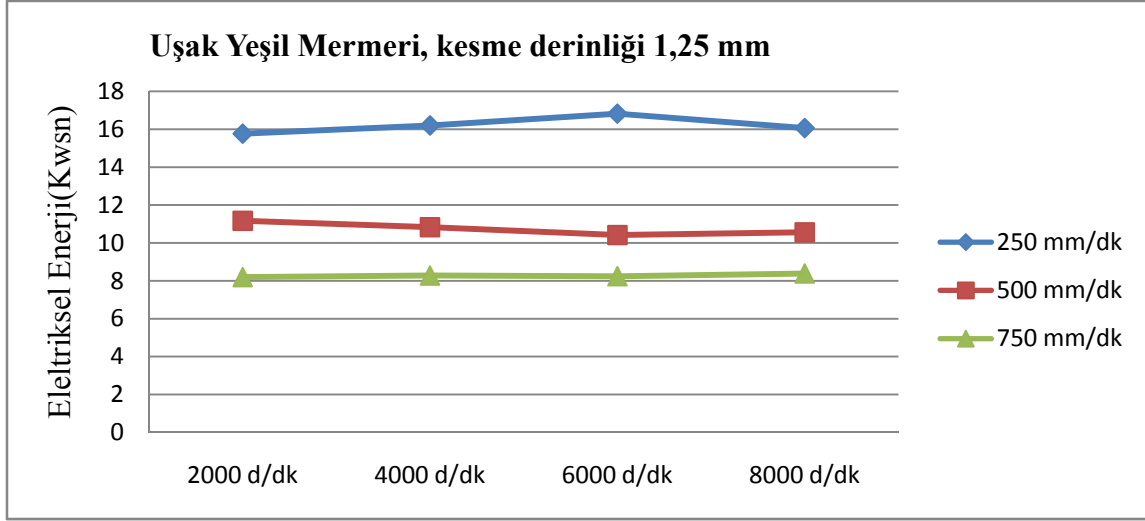
Bursa bej mermerine ve uşak yeşil mermerine uygulanan 250 mm/dk ilerleme hızı, 500 mm/dk ilerleme hızı,750 mm /dk ilerleme hızları ve spindle motorun devir sayıları(2000-4000-6000-8000 /dk) ile kesme derinliği grafikleri incelendiğinde aşağıdaki yargılara varılabilir.

Uşak yeşil mermeri için, kesme derinliğinin artması ile ortalama aktif gücün azalması her üç ilerleme hızında(250 mm/dk-500 mm/dk- 750 mm/dk) da sadece 4000 d/dk spindle motor devrinde görülmüştür. Dolayısı ile kesme derinliği arttırılarak yapılan işlemlerde eğer uşak yeşil mermeri işleniyorsa 4000 d/dk enerji verimliliği açısından nominal bir değer olarak gözükmemektedir.

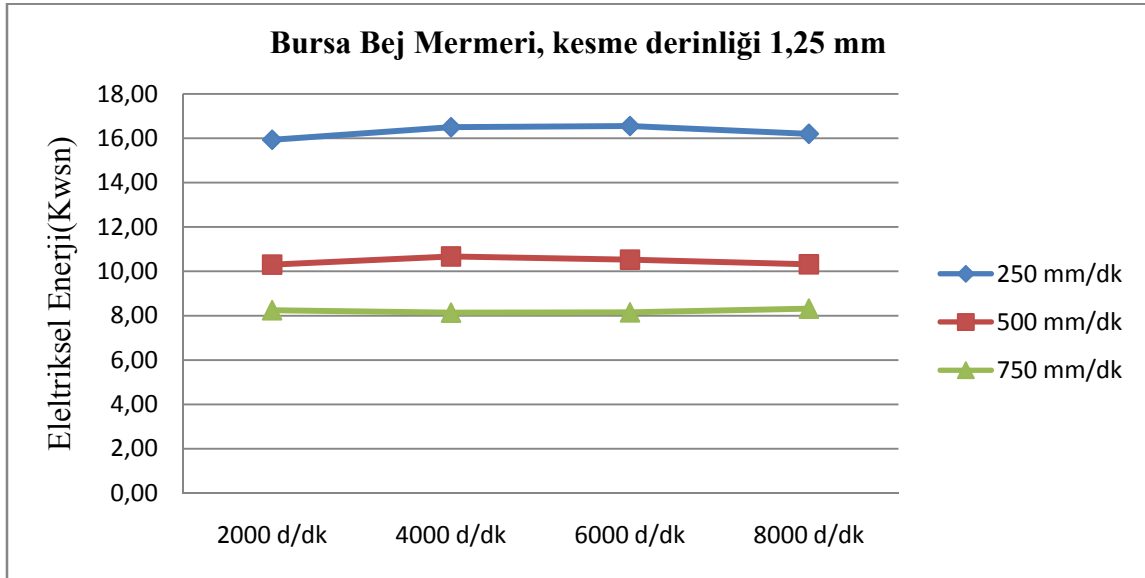
Bursa Bej mermeri için, kesme derinliğinin artması ile ortalama aktif gücün azalması (250 mm/dk-500 mm/dk) ilerleme hızında sadece 6000 d/dk spindle motor devrinde görülmüştür. Dolayısı ile enerji verimliliği açısından dikkate alınmalıdır.

Ayrıca her iki mermer içinde 750 mm/dk ilerleme hızında ve 8000 d/dk da kesme derinliğinin artması ortalama aktif gücün azalmasına neden olmuştur. Yüksek ilerleme hızında ve yüksek spindle motor devrinde kesme derinliği artsa bile ortalama aktif güçte azalma gerçekleşebilir. Nominal enerjinin bulunmasında faydası olacağı düşünülmektedir

4.5. Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi



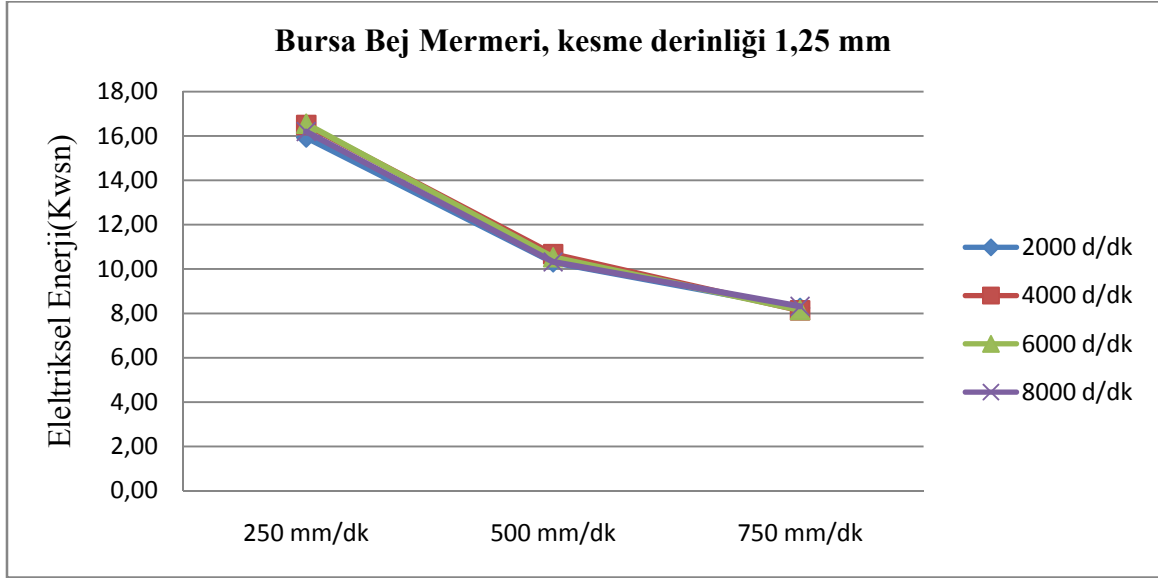
Şekil 4.19 Uşak Yeşil Mermeri için Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi



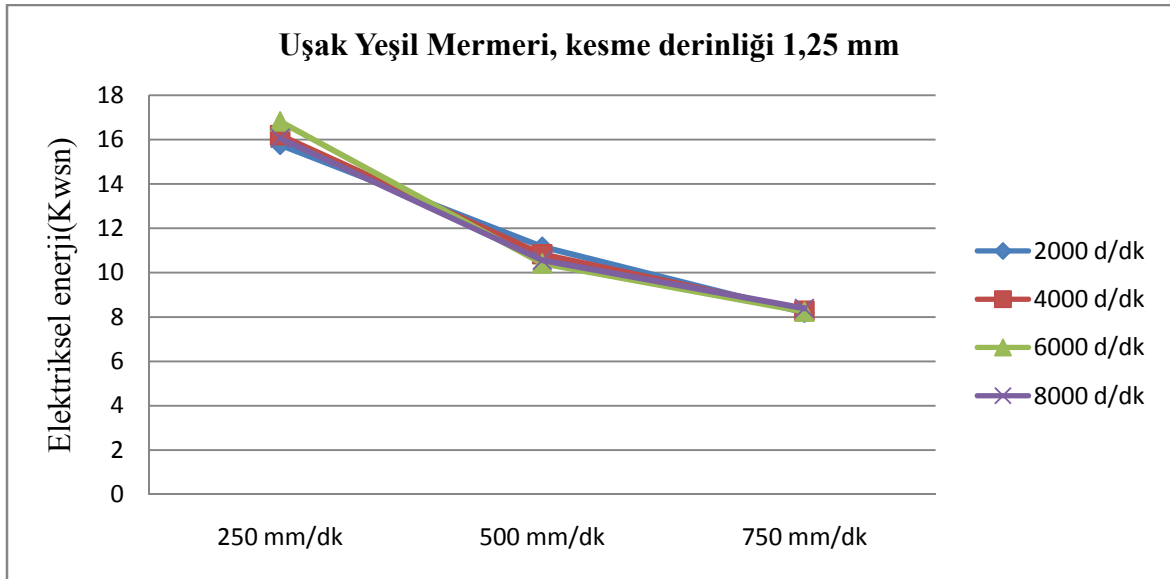
Şekil 4.20 Bursa Bej Mermeri için Spindle Motorun Dönüş Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi

İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit Kesme derinliğinde(1,25 mm) spindle motorun devrinin değişimi ile elektriksel enerji arasındaki bağıntı açıkça görülmektedir. Her iki mermer cinsi içinde spindle motorun devrinin elektriksel enerjiye etkisi çok azdır. Dolayısı ile devir sayısının artması sistemden çekilen enerjinin artmasına neden olmamaktadır.

4.6. İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi



Şekil 4.21 Bursa Bej Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi



Şekil 4.22 Uşak Yeşil Mermeri için İlerleme Hızı Değişiminin Elektrik Enerjisine Etkisi

İşlenen Bursa Bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için geçerli olmak üzere, sabit Kesme derinliğinde(1,25 mm) ilerleme hızının değişimi(250-500-750 mm/dk) ile elektriksel enerji arasındaki bağıntı açıkça görülmektedir. Her iki mermer cinsi içinde ilerleme hızının değişimi elektriksel enerjiye etkisi çok fazladır. Şekil 4.21 ve 4.22 de de görüldüğü üzere ilerleme hızı arttıkça sistemden çekilen enerjide doğrusal bir azalma olduğu görülmektedir. Enerji verimliliği dikkate alındığında ilerleme hızının artırılması enerji verimliliği açısından tasarruf sağlayacaktır.

5. SONUÇ

Gerçekleştirilen deneylerde ilerleme hızı ve spindle motor dönüş hızının değişimi ve kesme derinliğinin değişimi ile enerji tüketimi arasındaki ilişki hakkında önemli sonuçlar elde edilmiştir.

Sabit kesme derinliğinde ($H_k = 1,25\text{mm}$) ilerleme hızının (belirli spindle motor dönüş hızlarında) artan değerleri için tüketilen enerjinin arttığı görülmüştür. Ancak spindle motorun devrinin değişimin enerji tüketimi üzerine etkisi yok denecek kadar az olduğu görülmüştür. Dolayısı ile optimum enerji tespitinde spindle motor hızından çok ilerleme hızı dikkate alınmalı ve optimum değerler ona göre oluşturulmalıdır.

Ayrıca kesme derinliğinin arttırılması ile bazı durumlarda sistemden çektiği enerjinin azaldığı görülmüştür. Örneğin Uşak Yeşil Mermeri için 1,25 mm kesme derinliğinde 4000 d/dk spindle motor devrinde her üç ilerleme hızı için (250-500-750 mm/dk) çekilen elektriksel enerji miktarı, aynı devirde ve aynı ilerleme hızlarında 2,5 mm kesme derinliğinden daha fazla olduğu görülmüştür. Dolayısı ile Bursa bej mermeri ve Uşak Yeşil mermeri için optimum enerjinin bulunmasında kesme derinliğinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Deneylerde kullanılan Bursa Bej Mermeri ve Uşak Yeşil Mermeri için ilerleme hızı değişiminin enerji tüketimindeki etkisinin spindle motorun dönüş hızındaki değişimin enerji tüketimine olan etkisinden çok daha fazla olduğu anlaşılmıştır. Buradan hareketle Üç Eksenli CNC ile işleme yapılırken belirli bir sabit spindle motor dönüş hızında enerji optimizasyonu gerçekleştirilebilecektir. Ayrıca elektrik tüketiminin de mermer cinsine göre optimum devir sayısı ve ilerleme hızı ile minimuma indirilebileceğini düşünülmektedir.

CNC ile mermer işlemenin klasik yöntemlere göre hızlı olduğu ve elektrik maliyetinin de düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak kesme parametrelerinin optimum değerleri belirlenebilirse tüketilen elektrik enerjisinin de optimize edilebileceği açıktır. İleri aşamalarda makinenin kontrol sisteminin geliştirilmesi ile işlenecek mermer için optimum kesme parametrelerini kendi kendine seçmesi sağlanabilecektir.

Makinenin bilgisayar tabanlı kontrol sistemi sayesinde uygulanacak farklı kontrol ve Optimizasyon yöntemleri rahatlıkla adapte edilebilecektir.

Bu sayede yapılan deneysel çalışmaların endüstriye uygulanması ile enerji verimliliği Sağlanmış olacak ve ülke ekonomisine katkıda bulunulacaktır.

5.1 Gelecekte Yapılabilecek Çalışmalar

Bu tez çalışmasından sonraki araştırmalar için alt yapı oluşturması ve CNC eğitimi için kullanılması düşünülerek imal edilen Üç Eksenli CNC tezgahından Beklenen Yararlar ve gelecekte yapılabilecek çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Daha hızlı ve kaliteli eğitim:3 eksenli CNC tezgâh ile yapılan eğitim, mevcut klasik eğitime göre, canlı ve uygulama yapabilecek bir materyal ile desteklendiği için daha kaliteli olacaktır. Eğitimi veren kişi tezgâhın parçalarını, fonksiyonlarını ve yazılan kodların sonuçlarını tezgâh üzerinde gösterebileceği için konu anlatımını daha rahat yapabilecektir. Eğitim alan kişide bu CNC sayesinde, teorik kalan, uygulamaya dökülme imkânı bulunamayan, unutilan bir eğitim yerine anlaşılabilirliği maksimum düzeyde olan bir eğitim almış olacaktır.
2. Bu 3 eksenli CNC ile yapılan eğitim sonunda öğrenciden beklenen yeterlilikler şunlardır.
 - ✓ Geometrik çizimler yapmak
 - ✓ Görünüş çıkarmak
 - ✓ Ölçülendirme ve yüzey işlemleri yapmak
 - ✓ Kroki-perspektif ve yapım resmi çizmek
 - ✓ Bilgisayarda temel geometrik çizimler yapmak
 - ✓ Bilgisayarda özellik ve tanımlama komutlarını kullanmak

- ✓ Bilgisayarda yeterli görünüş çizmek ve kütüphane oluşturmak
- ✓ Temel el işlemlerini yapmak
- ✓ Delme ve vidalama yapmak
- ✓ Temel tornalama yapmak
- ✓ Freze tezgâhlarında hazırlık yapmak
- ✓ Temel frezeleme yapmak
- ✓ Taşlama tezgâhlarını ayarlamak ve kullanmak
- ✓ Temel taşlama yapmak
- ✓ Temel modelleme yapmak
- ✓ Delik ve vida işlemleri yapmak
- ✓ Torna tezgâhlarında, kare, trapez ve çok ağızlı değişik özellikte vida açmak
- ✓ Penslerle tornalama ve helisel yay sarma işlemlerini yapmak
- ✓ Delik delme ve büyütme işlemlerini yapmak
- ✓ Düz ve kremayer dişli açma işlemlerini yapmak
- ✓ Helis ve konik dişli açma işlemlerini yapmak
- ✓ Freze çakısı açma işlemlerini yapmak
- ✓ Sonsuz vida ve karşılık dişlisi işlemlerini yapmak
- ✓ Zincir dişli ile özel frezeleme işlemlerini yapmak
- ✓ İstenilen yüzey tamlığında işin özelliğine göre değişik profilde yüzey taşlama işlemleri yapmak
- ✓ Değişik özellikteki kesicileri bilemek
- ✓ Atölyelerde bulunan CNC iş makinelerinin bakım onarımını yapmak.
- ✓ Sanayinin ihtiyacı olan makine ihtiyaçlarını araştırıp tasarlamak
- ✓ Malzeme seçimi yaparak uygun kesicilerle parçaları işlemek
- ✓ İşlenen makine parçalarının montajını ve ambalajlamasını yapmak
- ✓ CNC torna tezgâhlarını ve kontrol panellerini kullanmak
- ✓ CNC tornada programlama yapmak
- ✓ CNC torna programını simülasyon ile kontrol etme, alın, silindirik ve konik tornalamayı programlama ve tornada işlemek
- ✓ CNC torna tezgâhlarında kanal açma, delik delme ve büyütme, kavis tornalama, programlama ve tornada işlemek

- ✓ CNC torna tezgâhında vida çekmeyi programlama ve çekme ile işlenmiş parçaların ölçme ve kontrolünü yapmak
 - ✓ CNC tornada çevrimleri programlamak
 - ✓ CNC tornada değişik işlemler yapmak
 - ✓ Bilgisayarda CAM programlarını kullanmak
 - ✓ CAM tornalama yapmak
 - ✓ CNC freze tezgâhlarını ve takımlarını ayarlayıp kullanmak
 - ✓ CNC frezede programlama yapmak
3. CNC tezgâhlarda meydana gelen kaza ve bozulmalarda azalma: CNC tezgâh ile öğrenci parçayı oluşturmada önce, bilgi ekranından kodları yazıp simülasyonu görme imkânına sahip olduğu için, CNC tezgâhında programın yanlış düşünülerek kodlanmasından dolayı oluşabilecek çarpma gibi kazalar önceden tespit edilebilecek ve düzeltilebilecektir. Öğrenci bu CNC ile bir cnc nasıl kullanılır ve nasıl kontrol edilir öğrenebilecek ve sanayideki uygulamalarında az hata yapacaktır.
 4. Öğrencilerin yeniden eğitilebilirliği: Bu CNC ile çok farklı giriş düzeyine sahip olan öğrencilere eğitim verilebilir. Her seviyedeki öğrenci bu CNC tezgâh ile öğrenebilmektedir. Başlangıç düzeyindeki bir öğrenci bu CNC ile eğitilebileceği gibi, daha önce bazı uygulamalar yapmış fakat eksikleri olan bir öğrencide eğitilebilir. Bu nedenle bu CNC ile farklı seviyelerde öğrenciler eğitilebilmektedir.
 5. Öğrenci tutumlarında olumluluk ve buna bağlı olarak kolay derse konsantrasyon: CNC ile yapılan derslerde, ortamdaki tezgâh, öğrenci açısından farklılık oluşturduğu için ve bu farklılık derse uyulan ilgiyi arttıracak için eğitimin kalitesi daha yüksek olacaktır. Ayrıca öğrenci bu CNC' yi gördüğünde dersi daha iyi kavrayacağını düşünerek, derse karşı olumlu tutum geliştirecek ve derse daha iyi konsantre olabilecektir.
 6. Maliyet tasarrufu: Bu CNC sanayi tipi bir CNC' ye göre daha küçük, masaüstü tipinde bir tasarıma sahip olacağı için, maliyeti daha az olacaktır. Böylece okullarda eğitim amaçlı sanayi tipi CNC alımı yerine, aynı paraya birçok masaüstü CNC alınabilecektir. Hem de alınan CNC, eğitim amaçlı tasarlandığı için sanayi tipi bir CNC' ye göre eğitim açısından daha fazla fayda sağlayacaktır.

7. Ayrıca CNC tamamen bilgisayar kontrollü yapılabildiği için bu makinenin kontrolü internet üzerinden istenildiği gibi çalıştırılıp durdurulabilir. Değerleri değiştirilebilir bilgisayar ile makineye hükmedilebilir. CNC bir laboratuvar ortamında kurulan bir ağ ile tüm öğrencilerin aynı CNC kullanması sağlanabilir. Dolayısı ile eğitim maliyeti azaltılmış olacaktır. Ayrıca eğitimi vereninde orda bulunması zorunluluğu ortadan kaldırılabilir. Uzaktan görsel eğitim verebilecektir.
8. Üniversitelerde bu CNC sayesinde birçok araştırma yapılabilir. Çok çeşitli malzemelerin işlenmesi ve bu işleme sırasında kullanılan uçların ve özelliklerinin değişimi veya kesme hızının değişimi ve bu değişimle meydana gelen etkileri vs. birçok etken değiştirilerek birçok veri kaydedilebilir.
9. Üç Eksenli CNC Makinesi 18000 d/dk spindle motoru 100000 d/dk motor ile değiştirilerek ona uygun bir fazlı invertörle sürülerek **Micro Milling Machine** olarak kullanılabilir. Daha sonraki araştırmalarda kullanılabilir.
10. Gelecekte Üç eksenli CNC makinesi, dört eksenli, beş eksenli ve altı eksenli olarak geliştirilebilir.
11. Üç eksenli Cnc ile baskı devresi çıkartılabilir delikleri otomatik olarak deldirilebilir. Baskı devre çıkartma CNC olarak kullanılabilir.
12. Üç Eksenli CNC spindle motoru değiştirilerek yerine uygun lazer sistemi montajlanarak Lazer CNC olarak kullanılabilir ve ilgili deneyler yapılabilir.

6. KAYNAKLAR

C. Chungchoo, D. Saini, "On-Line Tool Wear Estimation in CNC Turning Operations Using Fuzzy Neural Network Model", International Journal of Machine Tools & Manufacture Cilt 42, 2002, s. 29-40

Sprunt A., D., 2000, "A THREE AXIS CNC ROUTER DESIGN", Submitted to the Department of Mechanical Engineering in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Bachelor Of Science At The Massachusetts Institute Of Technology, USA

Williams, Geoff; McGraw-Hill, 2003, "CNC Robotics Build Your Own Workshop Bot", Newyork,USA.

Büyüksağış, S.,1998, "Dairesel testereli blok kesme makinelerinde mermerlerin kesilebilirlik analizleri",Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.

S.V.Wong ve A.M.S. Hamouda, 2002, "Robotics and Computer"-Integrated Manufacturing, Volume 18, Issue 1, Pages 1-12

Mike Lynch, 2005, Turning center programming and operation workbook cnc concepts, inc.

Kaya ve Erzincanlı, 2003, "Comparison between Various Types of 5 Axis CNC Machining Centers in Terms of Machine Kinematics", 3.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, Ankara.

Benli, H.,2001, "Türkiye'deki CNC Tornacılık Eğitiminin Değerlendirilmesi", Makine Eğitimi A.B.D. Makine Eğitimi Programı Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Diñçel, M., 1999, "CNC Takım Tezgahları", Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Tarım Makineleri Böl. Diploma Çalışması, Tekirdağ.

Koçlu, N., 2002, "İşletmelerde Hizmet içi Eğitim Etkinliğinin Değerlendirilmesi", Hipokrat A.Ş. CNC Birimi Uyg., Çalışma Ekonomisi A.B.D. İnsan Kaynakları Programı Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Mamur, T., 2005,”CNC İşleme Merkezi Teknolojisine Giriş”, Anka CNC Servis Departmanı,Ankara.

Sözöz H.,Girit O., Kalaycı H., Akçay S., 2008, “ CNC Tornalama İşleminde Takım Aşınmasının Optimizasyonu”, Proceedings of 12th International Materials Symposium (IMSP’2008), İstanbul

Özdeveci, M., 2001, “Eğitim Tipi CNC Frezesinin Tasarımı ve İmalatı”, Makine Eğitimi A.B.D. Makine eğitimi Programı Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Senemoğlu, N., 2004, “Gelişim Öğrenme Ve Öğretim Kuramlarından Uygulamaya”, Gazi Kitapevi, Ankara.

Şahin(Yanpar), T., Yıldırım, S., 1999, “Öğretim Teknolojileri ve Materyal Geliştirme”, Anı Yayıncılık, Ankara.

Ünsaçar, F., Çoklar, A.N., 2003,”CNC Tezgahların Programlanması”, Atlas Yayınevi.

Yalın, H.i., 2004, “Öğretim Teknolojileri ve Materyal Geliştirme”, Nobel Yayınevi, Ankara.

Varol, R., Yalçın B., Yılmaz N., 2005, “Bilgisayar Destekli İmalatta (Cam), Cam Programı Kullanılarak Parça imalatının Gerçekleştirilmesi”, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (3) 47–57

Tunç,T.,2006, “5-Eksen Frezeleme süreçlerinin geometrik analizi ve optimizasyonu”, Endüstri Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, Sabancı Üniversitesi

Erkorkmaz, K. ve Altintas, Y., 2000, “High speed CNC system design. PartI: jerklimited trajectory generation and quintic spline interpolation” The University of British Columbia, Department of Mechanical Engineering, International Journalof Machine Tools & Manufacture, Sayfa 1323–1345

Erer, H., 2000, “CNC takım tezgâhlarının gelişimi”, TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Mühendis ve Makina Dergisi, Temmuz 2000 / Sayı 486, Sayfa 37 – 40

Keleş, Ö., Usta Y., Yeşilbağ Y., Ercan, Y., 2005, “ Klasik Bir Torna Tezgâhı İçin Bilgisayar Kontrollü Profil Tornalama Sisteminin Geliştirilmesi”, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., Cilt 21, No 3, 553-565.

İnternet Kaynakları

<http://www.marelmakina.com>(29.12.2008)

<http://www.cncteknik.net/cad-cam-cae-egitim/>(29.12.2009)

<http://www.positron-libre.com/electronique/moteurpasapas/rappel-cours-moteur-pas-pas.htm>(20.01.2009)

<http://ogrenci.hacettepe.edu.tr/~b0164043/maximus/index.htm>(20.01.2009)

<http://www.cs.uiowa.edu/~jones/step/types.html>(20.01.2009)

http://www.allegromicro.com/en/Products/Part_Numbers/3977/(20.01.2009)

<http://www.cncteknik.net/cnc-egitim/2352-anka-cnc-egitim-notlari.html>(20.01.2009)

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mashar CEVİNDİK

Doğum Yeri : Horasan

Doğum Tarihi : 16.07.1977

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Salihli İMKB Endüstri Meslek ve Teknik Lisesi, 1994

Lisans :Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, 1998

Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
2009

