

T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



CNC FREZELERDE PARAMETRİK PROGRAMLAMANIN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Murat ADEMOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

TEMMUZ 2023

**T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**CNC FREZELERDE PARAMETRİK PROGRAMLAMANIN ETKİSİNİN
İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Murat ADEMOĞLU
(210022004)**

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Uğur GÜROL

TEMMUZ 2023



T.C.
İSTANBUL GEDİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

Yüksek Lisans Tez Onay Belgesi

Enstitümüz, Makine Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programı 210022004 numaralı öğrencisi Murat ADEMOĞLU'nun "Cnc Frezelerde Parametrik Programlamanın Etkisinin İncelenmesi" adlı tez çalışması 05/07/2023 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aşağıdaki jüri tarafından Oy Birliği ile Yüksek Lisans tezi olarak Kabul edilmiştir.

Öğretim Üyesi Adı Soyadı

Tez Savunma Tarihi: 05/07/2023

1) Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Uğur GÜROL

2) Jüri Üyesi: Doç. Dr. Savaş DİLİBAL

3) Jüri Üyesi: Dr. Öğr. Üyesi Recep ÖNLER

YEMİN METNİ

Yüksek Lisans tezi olarak sunduğum “Cnc Frezelerde Parametrik Programlamanın Etkisinin İncelenmesi” adlı çalışmanın, tezin proje safhasından sonuçlanmasına kadarki bütün süreçlerde bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yardıma başvurulmaksızın yazıldığını ve Yararlandığım eserlerin Bibliyografya’da gösterilenlerden oluştuğunu, bunlara atık yapılarak yararlanılmış olduğunu belirtir ve onurumla beyan ederim. (05/07/2023)

Murat ADEMOĞLU



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamda benimle yakından ilgilenen, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Uğur GÜROL'a teşekkürü bir borç bilirim.

Deneyimleri ile bana yardımcı olan, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Ümit AYDIN'a en samimi teşekkürlerimi sunarım.

Torun Metal A.Ş. firmasına araştırma, teknik analizler ve tezin ilerlemede verdikleri destekten dolayı teşekkür ederim.

Değerli bilgi birikimi ve tavsiyeleri ile bana her zaman yardımcı olan Üretim Direktörü Sadi GÖKEER ve Talaşlı İmalat Şefi Bülent ÖZTAŞ'a teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her döneminde olduğu gibi yanımda olan eşim Deniz ADEMOĞLU'na, babam Kerim ADEMOĞLU'na ve annem Fatma ADEMOĞLU'na son olarak da ablalarım sonsuz teşekkür ederim.

Temmuz 2023

Murat ADEMOĞLU

(Mekatronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
KISALTMALAR	vii
SİMGELER.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışma Konusu	1
1.2 Tezin Amacı.....	1
2. NÜMERİK KONTROL.....	2
2.1 Geleneksek Nümerik Kontrollü Makineler (NC)	2
2.2 NC Makinelerin Tarihçesi	4
2.3 NC Makine Bileşenleri	5
2.3.1 Talimat programı	5
2.3.2 Makine kontrol ünitesi (MCU).....	9
2.3.3 Takım tezgâhı.....	13
2.4 Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü Makineler (CNC)	14
2.4.1 Cnc bileşenleri.....	15
2.4.2 Programlama sistemleri	20
2.4.3 Cnc Kontrol döngü sistemleri	21
2.5 Doğrudan Nümerik Kontrollü Makineler (DNC)	23
2.5.1 DNC bileşenleri.....	25
2.6 DNC Çeşitleri.....	26
3. PARAMETRİK PROGRAMLAMA.....	28
3.1 Makro Değişkenleri.....	29
3.2 Değişken Tipleri.....	29
3.3 Bağımsız Değişken Tanımlama	29
3.3.1 Bağımsız değişken tanımlama 1	30
3.3.2 Bağımsız değişken tanımlama 2.....	30
3.4 Alt Program	31
3.5 Yönlendirme Komutları.....	31
3.5.1 Koşulsuz dallanma komutu (GOTO yönergesi).....	31
3.5.2 Koşullu dallanma komutu (IF yönergesi)	32
3.5.3 Tekrarlı dallanma komutu (WHILE yönergesi).....	32
3.6 Makroların Alt Program Olarak Çağırılması	32
3.6.1 G65 komutu ile çağırma (Basit çağırma).....	32
3.6.2 G66 komutu ile çağırma (Modal çağırma)	33
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	34
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	38
5.1. Matematiksel İfadelerin Kullanımı	39

5.1.1 Devir sayısı hesaplama	39
5.1.2. İlerleme hesabı	41
5.2. Geometrik Şekillerin Üzerinde Kullanımı	43
5.2.1. CAM ile geometrik şekillerin üretimi	44
5.2.2. Parametrik program ile geometrik şekillerin üretimi	46
5.3. Karmaşık Parçalarda Kullanımı	48
5.3.1. Magnezyum AZ91D malzeme	48
5.3.2. CNC işleme	49
5.3.3. CAM ve makro program uygulaması	50
5.4 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirilmesi	52
5.4.1 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	52
5.4.2 Yüzey ölçüm parametreleri.....	54
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	55
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ	64



KISALTMALAR

BTR	: Behind the Tape Reader
CAD	: Computer Aided Design
CAM	: Computer Aided Manufacturing
CNC	: Computer Numerical Control
DNC	: Direct Numerical Control
EIA	: Electronic Industries Alliance
EMF	: Electro Magnetic Force
FBMM	: Feature Based Machining using Macro
IBM	: International Business Machines
ISO	: International Organization for Standardization
MCU	: Micro Controller Unit
NC	: Numerical Control
RPM	: Revolutions per minute
SMCU	: Özel Makine Kontrol Ünitesi
USB	: Universal Serial Bus
kW	: Kilowatt
kWh	: Kilowatthour
TL	: Türk Lirası
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu

SİMGELER

°	: Derece
π	: Pi sayısı (3,14)
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Cu	: Bakır
D	: Çap
dk	: Dakika
Fe	: Demir
Fz	: Ağız başına ilerleme
kg	: Kilogram
m	: Metre
mm	: Milimetre
Mg	: Magnezyum
Mn	: Mangan
N	: İş mili devri
Ni	: Nikel
Si	: Silisyum
Ti	: Titanyum
Vc	: Kesme hızı
Vf	: İlerleme hızı
Z	: Kesici ağız sayısı
Zn	: Çinko
Ms	: Milisaniye

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1: Decimal sayı değerinin Binary karşılığı.....	8
Çizelge 3.1: Değişken tipleri.....	29
Çizelge 3.2: Bağımsız değişkenlerin 1. yöntemle kullanımı	30
Çizelge 3.3: Bağımsız değişkenlerin 2. yöntemle kullanımı	30
Çizelge 4.1: Yüzey pürüzlülük sonucu.....	35
Çizelge 4.2: İşleme süresi karşılaştırılması.....	36
Çizelge 5.1: Alüminyum 5083 kimyasal ve mekanik özellikleri.....	43
Çizelge 5.2: Fanuc Robodrill α -D21MiB5 teknik özellikleri	46
Çizelge 5.3: Mg AZ91D alaşımına ait kimyasal ve mekanik özellikler.....	49
Çizelge 5.4: Chiron FZ 15W çift tablalı tezgâha ait teknik bilgiler	50
Çizelge 6.1: Delik satır sayısı karşılaştırması	55
Çizelge 6.2: Konik delik satır sayısı karşılaştırması	56
Çizelge 6.3: Zaman/tasarruf hesaplama tablosu.....	60

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: NC makinelerin çalışma mantığı	3
Şekil 2.2: Henry Maudslay tarafından yapılan vida kesme torna tezgâhı,1800.....	4
Şekil 2.3: MIT tarafından geliştirilen ilk NC makine.....	5
Şekil 2.4: Delikli kart	6
Şekil 2.5: 25mm genişlikli kâğıt bant.....	7
Şekil 2.6: Delikli kâğıt makinesi.....	8
Şekil 2.7: ISO ve EIA kodlarının gösterimi.....	9
Şekil 2.8: Mekanik kart okuyucu	11
Şekil 2.9: Optik kart okuyucu	11
Şekil 2.10: Pnömatik kart okuyucu	12
Şekil 2.11: Manyetik bant okuyucu.....	13
Şekil 2.12: Sağ el kuralının gösterimi	14
Şekil 2.13: Cnc blok şeması.....	16
Şekil 2.14: Bir CNC makinesinde disket sürücü.....	17
Şekil 2.15: Bir CNC makinesinde USB flash sürücü.....	17
Şekil 2.16: Bir ucu USB girişli, bir ucu RS-232 girişi olan kablo	18
Şekil 2.17: Eksenlerin CNC makine üzerinde gösterilmesi.....	19
Şekil 2.18: Bir CNC makinesinde vidalı mil	19
Şekil 2.19: CNC kontrol üniteleri	20
Şekil 2.20: Mutlak programlama gösterimi	21
Şekil 2.21: Artımsal programlama gösterimi.....	21
Şekil 2.22: Açık döngü sistemi	22
Şekil 2.23: Kapalı döngü sistemi	23
Şekil 2.24: DNC kurulumu	24
Şekil 2.25: BTR konfigürasyonlu DNC sistemi.....	27
Şekil 2.26: Özel MCU konfigürasyonlu DNC sistemi	27
Şekil 3.1: Program içerisinden alt programın çağırılması	31
Şekil 3.2: IF komutu kullanımı	32
Şekil 3.3: WHILE komutu kullanımı	32
Şekil 3.4: G65 komutu kullanımı	33
Şekil 4.1: CAM ve parametrik program ile üretilmiş bezier eğrisi.....	36
Şekil 5.1: Parametrik programlama ile uygulanacak konuların diyagramı	38
Şekil 5.2: Kesici uç kutusu üzerindeki bilgiler	39
Şekil 5.3: CNC kontrol ekranında kesme hızı hesabı.....	40
Şekil 5.4: Kesme hızı değerlerinin makro ekranına aktarılması	41
Şekil 5.5: CNC kontrol ekranında ilerleme hızı hesabı	42
Şekil 5.6: İlerleme hızı değerlerinin makro ekranına aktarılması	43
Şekil 5.7: Farklı çap ve derinliklerde delik ölçüleri	44
Şekil 5.8: CAM ile yapılmış programa ait simülasyon	44
Şekil 5.9: Konik delik çizimi	45
Şekil 5.10: CAM ile yapılmış programa ait konik delik simülasyonu	45
Şekil 5.11: Fanuc CNC işleme tezgâhı.....	46

Şekil 5.12: Makro program yapılmış delik delme Simülasyonu.....	47
Şekil 5.13: Makroda yapılmış delik delme programının alt program ile gösterimi ...	47
Şekil 5.14: Makro program ile konik delik delme Simülasyonu	48
Şekil 5.15: Gövde parçası 3D gösterimi	49
Şekil 5.16: Chiron FZ 15W tezgâhı.....	50
Şekil 5.17: CAM simülasyon çalışması.....	51
Şekil 5.18: Gövde parçasının makro program ile işlenen bölgelerinin gösterimi.....	51
Şekil 5.19: Makro ile çap simülasyonları	52
Şekil 5.20: Temas uçlu (iğneli) ölçe sistemi çalışma prensibi.....	53
Şekil 5.21: Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı.....	53
Şekil 5.22: Ortalama yüzey pürüzlülüğü gösterimi.....	54
Şekil 5.23: Ortalama pürüzlülük derinliği gösterimi.....	54
Şekil 6.1: Delik delme makro program uygulaması sonucu	55
Şekil 6.2: Konik delik delme makro program uygulaması sonucu	56
Şekil 6.3: (a) Yeni Takım, (b) Makro ile, (c) CAM ile yapılan deneme	57
Şekil 6.4: CAM programı yüzey pürüzlülüğü değeri	57
Şekil 6.5: Parametrik programlama yüzey pürüzlülüğü değeri.....	58
Şekil 6.6: CAM ile yapılan işleme simülasyonu.....	58
Şekil 6.7: Parametrik programlama ile yapılan işleme süresi.....	59

CNC FREEZELERDE PARAMETRİK PROGRAMLAMANNIN ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

İnsanlığın var oluşu ile birlikte günlük hayatı kolaylaştırmak adına çeşitli makineler kullanılmaya başlanmış ve her geçen gün gelişmeye devam etmektedir. CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) tezgâhları otomotiv, havacılık, savunma alanlarında hassas işleme özelliklerinden ve seri üretim için uygunluklarından dolayı tercih edilmektedir. Günümüzde CAM (Bilgisayar Destekli İmalat) programları ile imalat seri üretimin en önemli parçalarından biri haline gelmiştir. Gelişen teknoloji ile karmaşık geometriye sahip parçaların üretimi CAM programları ile daha hızlı bir şekilde yapılabilir.

CAM yazılımlarının yüksek maliyeti ve üretim miktarı az parçalar için harcanan zaman düşünüldüğünde parametrik programlama bir adım daha öne çıkmaktadır. Diğer bilgisayar yazılım dilleri ile ortak özelliklere sahip olan Parametrik programlama (daha çok makro programlama olarak bilinmektedir), CNC makine üreticilerinin oluşturdukları değişkenleri kullanarak işleme parçasına ve makineye yönelik kodlar yazma imkânı tanımaktadır. Bir makro komutu, bir değeri bir değişkene tahsis edebilir veya bir değişkenden değeri okuyabilir, bir ifadeyi değerlendirebilir, şartlı veya şartsız olarak bir program içinde bir başka kısımda dallara ayırabilir veya şartlı olarak programın bir bölümünü tekrarlayabilir. Böylelikle CNC tezgâhlardan sonuçlar almamızı, daha hızlı işlemler yapmamızı ve değişkenlerin özelleştirilerek yapılan işleme özel olmasına imkân tanımaktadır. Ayrıca parametrik programlama ile CAM'de yapılması mümkün olmayan programlamalar da yapılarak CNC tezgâhların daha efektif kullanılmasına imkân sağlamaktadır. Özellikle de seri imalatta prob kullanılarak makineden veri alma kısmında makrolar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı malzeme tipleri ve farklı geometrik şekillerin Parametrik program ile yazılışı ve işleme zamanına etkileri incelenmiştir. Bu çalışmada yapılan incelemeler, Fanuc işletim sistemli farklı firmalara ait CNC tezgâhlarda gerçekleştirilmiştir. Yapılan ilk çalışma da mevcutta seri üretim ile üretimi yapılan bir parça üzerinde makro program ile çalışmalar yapıp incelemeler de bulunulmuştur. İkinci çalışma da ise farklı geometrilere sahip şekiller makro program ile hazırlanarak CAM programsız yapılabilirliği üzerine denemeler gerçekleştirilmiştir. Üretilen parçalar, yüzey pürüzlülükleri, program uzunlukları ve işleme süreleri açısından da değerlendirilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü mikron ile değerlendirildiği için buradaki fark yaklaşık %0,5 ile %2 aralığında gerçekleşmektedir. İşleme süresinden gelen fark ise parça geometrisine bağlı olarak %2 ile %5 arasında avantaj sağlanabilir. Yapılan deneyler sonucu parametrik programlamanın CAM program ve NC programa göre yüzey pürüzlülükleri olarak iyileştirmeler gerçekleştirdiğini ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: NC, CNC, CAM, Parametrik programlama, Makro

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PARAMETRIC PROGRAMMING ON CNC MILLING MACHINES

ABSTRACT

With the existence of humanity, various machines have been used to facilitate daily life and it continues to develop day by day. CNC (Computerized Numerical Control) machines are preferred in automotive, aerospace and defense industries due to their precision machining features and their suitability for mass production. Today, with CAM (Computer Aided Manufacturing) programs, manufacturing has become one of the most important tool parts of mass production. With the developing technology, the parts with complex geometry can be produced faster with CAM programs.

Considering the high cost of CAM software and the time spent on parts with a low production amount, parametric programming comes one step further. Parametric programming (more commonly known as macro programming), which has common features with other computer software languages, allows the CNC machine manufacturers to write codes for the workpieces and the machines by using the variables they create. A macro instruction can allocate a value to a variable or read the value from a variable, evaluate an expression, conditionally or unconditionally branch at another point in a program, or conditionally repeat a part of the program. Thus, it allows us to get results from CNC machines, perform faster operations, and make the variables specific to the process by customizing them. Parametric programming allows CNC machines to be used more effectively in such cases that the programming can not be done with CAM. Especially in mass production, macros are widely used in the part of receiving data from the machine by using the probe.

In this study, the effects of different material types and different geometric shapes on the writing of the Parametric program and the machining time were investigated. The examinations in this study were carried out on CNC machines belonging to different companies with FANUC operating system. In the first study, studies were carried out with a macro program on a workpiece that is currently produced with mass production and the results were examined. In the second study, the shapes with different geometries were prepared with the macro program and experiments were carried out on the feasibility of the CAM program. The produced parts were also evaluated in terms of surface roughness, program lengths and machining times. Since the surface roughness is evaluated in microns, the difference here is between about 0.5% and 2%. The difference in machining time can be advantageous between 2% and 5% depending on the geometry of the part. As a result of the experiments, it was revealed that parametric programming developed improvements in terms of surface roughness compared to CAM program and NC program.

Keywords: NC, CNC, CAM, Parametric programming, Macro

1. GİRİŞ

1.1 Çalışma Konusu

İnsanın var olmasıyla birlikte yaşamını kolaylaştırabilmek için icat ettiği ve sürekli geliştirdiği makinelerden bir tanesi de CNC (Bilgisayarlı Nümerik Kontrol) makineleridir. İmalat ve üretimin modern bir dayanağı olan CNC, takım tezgâhlarının sayısal komutlar ve bilgisayar yardımıyla kontrol edilmesini sağlamaktadır. NC makinelerde manuel şekilde gerçekleştirilen; hız kontrolü, takım değiştirme vb. konular CNC makinelerle birlikte otomatik hale getirilmiştir.

Üretim aşamasında kullanılan makine ve teçhizatları minimum sürede ve maksimum performans ile kullanmak amaçlanır. Bilgisayar alanındaki gelişmeler neticesinde CNC tezgâhlar geliştirilmiştir. Böylelikle makine başında çalışan operatörün el beceresi ve dikkati ile değil daha standart parçalar üretilebilir hale gelmiş oldu.

Farklı geometrik şekillere sahip ürün, cihaz veya makinenin üretimi için CNC tezgâhlarda farklı yazılım programları kullanılmaktadır. Bu programlar, özellikle küçük ölçekli firmalar için firmalara yüklü bir maliyet oluşturabilir. Parametrik Programlama, her makinede bulunan bazı gizli özelliklerin aktif edilmesi ile, yazılım programına ihtiyaç duymadan geometrik şekillerin üretimine imkan tanımaktadır. Ayrıca seri üretim yapan işler açısından da makineye yönelik programlar sayesinde makinenin daha hızlı çalışmasına yardımcı olmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bu yüksek lisans tez çalışmasında CNC freze tezgâhlarında Parametrik programlamanın kullanımı ve diğer CNC program yazma yöntemleri ile karşılaştırmaları örnekler ile gösterilmiştir. Yapılan bu karşılaştırmalar; zaman, yüzey kalitesi, takım aşınma ömrü açısından da incelemeler yapılmıştır. Ayrıca Parametrik programlama sayesinde program içerisinde matematiksel ifadeler yazılabilir, karşılaştırmalar yapılabilir. Özellikle manuel programlama ile yapılması zor olan geometrik şekillerin Parametrik programlama ile nasıl yazılacağı hakkında bilgiler verilecektir.

2. NÜMERİK KONTROL

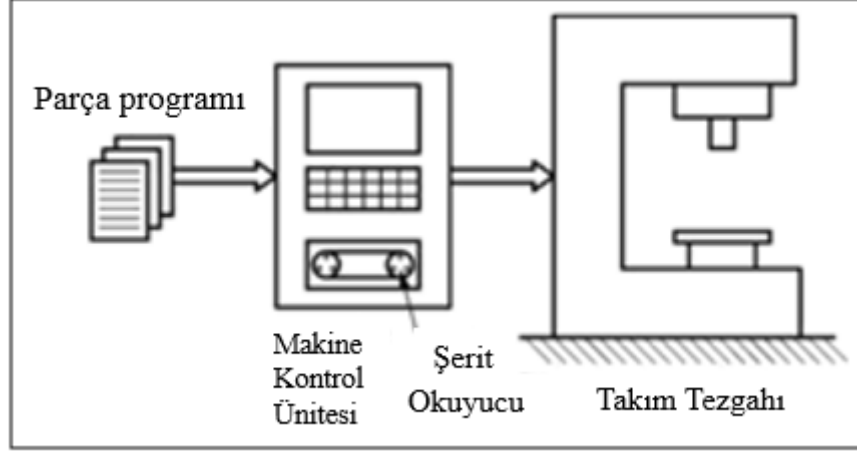
Nümerik Kontrol (NC), “Bir hareketi sayısal olarak kontrol etmek veya harekete sayısal olarak kumanda etmektir”. Başka bir tanımla nümerik kontrol, “belirli bir sayı sistemine göre kodlandırılmış giriş sinyallerinin uygun mantık devrelerine bir sistemi kontrol etmek amacıyla uygulanması ve verilen komutlara uygun olarak istenilen çıkışın belirli bir tolerans içerisinde sağlanmasına denir” (Koçlu, 2002). Nümerik kontrollü makineler çoğunlukla havacılık, otomotiv, tarım, kimya gibi endüstrilerde kullanılır.

Nümerik kontrolün üç çeşidi vardır. Bunlar;

- Geleneksel Nümerik Kontrollü Makineler (NC)
- Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü Makineler (CNC)
- Doğrudan Nümerik Kontrollü Makineler (DNC)

2.1 Geleneksek Nümerik Kontrollü Makineler (NC)

Nümerik kontrol, üretim sürecinin sayılar, harfler ve sembollerle kontrol edildiği programlanabilir bir otomasyon biçimi olarak tanımlanır. (Kavala Şen, 2010). Bir takım tezgâhı, kendisine kodlanmış bir biçimde iletilen talimatlara göre yarı otomatik veya otomatik bir döngüde çalışıyorsa, sayısal olarak kontrol edildiği söylenebilir. Nümerik kontrolde, sayılar belirli bir iş parçası veya iş için tasarlanmış bir talimat programını oluşturur. İş değişince talimat programı da değişir. Bu teknoloji, tornalama, frezeleme, montaj, muayene, sac işleme, kaynak vb. dâhil olmak üzere çok çeşitli operasyonlara uygulanmıştır (Pabla & Adithan, 1994).



Şekil 2.1: NC makinelerin çalışma mantığı

Kaynak: Pabla & Adithan. (1994).

NC makineler çalışma mantığına göre kendi içerisinde avantaj ve dezavantajları bulunur. Bunlar;

Avantajları;

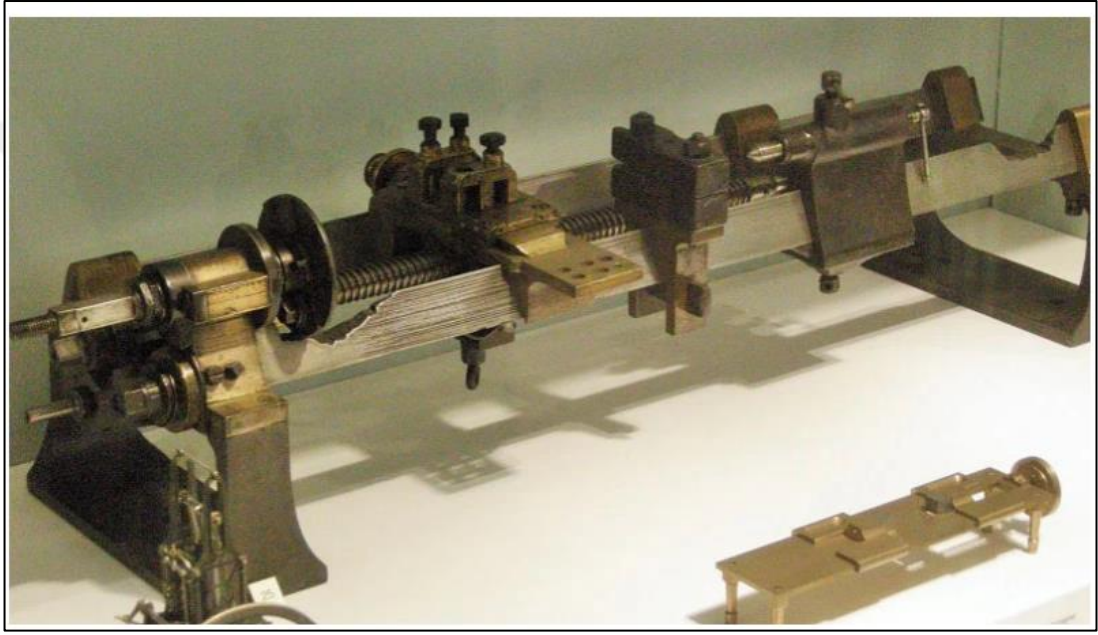
- Karmaşık parçalar için üretim imkânı sağlar.
- Ayarlama, kontrol ve ölçü gibi zaman harcayan işlemler gerektirmediği için seri üretim açısından uygundur.
- Yüksek üretim oranı verir.
- Elde edilen doğruluk oranı yüksektir.
- Operatör bilgisi ihtiyacı gerektirmez.
- Daha az hurda oranı ile üretim imkânı sağlar.

Dezavantajları;

- Yüksek yatırım maliyeti bulunmaktadır.
- Yüksek bakım maliyeti gerektirir.
- Program kaydetme bellekleri yoktur.
- Saat başına harcadığı enerji çok yüksektir.
- Periyodik bakımları düzenli ve uzman kişilerce yapılmaktadır.

2.2 NC Makinelerin Tarihçesi

Soysal'ın (1991) araştırmasına göre, takım tezgâhlarının tarihi 16. Yüzyıla kadar uzanmaktadır. 1540 yılında İtalyan Torriano, İspanya Kralı V. Charles'e hediye olarak sunulacak saatin yapımında kullanmak için ilk freze tezgâhlarından birini kullanmıştır. Bu tezgâh ayarlanabilir kesme delikli bir kesici ile döner bir indis tablasından oluşmaktaydı. Modern takım tezgâhları adına ise ilk çalışmayı 1775 yılında John Wilkinson yapmıştır. İlk manuel torna tezgâhının icadı ise, 1800 yılında İngiliz Henry Maudslay tarafından bulunmuştur (Özdeveci, 2001).



Şekil 2.2: Henry Maudslay tarafından yapılan vida kesme torna tezgâhı, 1800

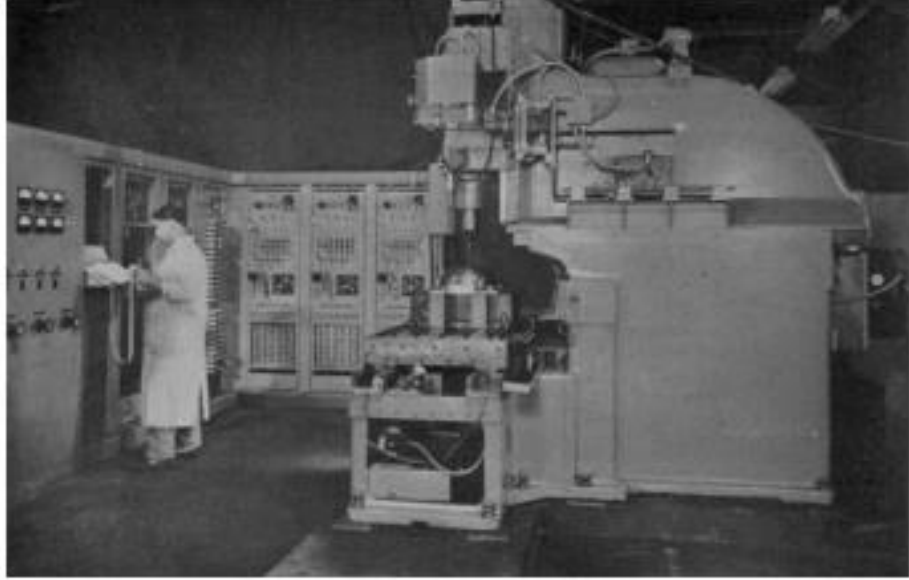
Kaynak: <https://www.lindahall.org/> (2019)

1930'lu yıllarda sert karbür malzemenin bulunması, kesme hızını daha da artırarak daha kaliteli yüzeylerin elde edilmesini sağlamıştır. Bu gelişmelerin sonucu olarak atölyelerde başlayan işçilerin kişisel tecrübelerine dayanan talaş kaldırma olayı pratik seviyeden bilim seviyesine ulaşmıştır. Bu hususta M.E. Merchant, F.W. Taylor ve M. Kronenberg gibi bilim adamlarının büyük katkıları olmuştur. Bu gelişmeler ışığında gerek takım gerekse tezgâh yapısında önemli değişiklikler olmuştur (CNC tezgâhların tarihçesi 2023).

Birinci Nesil NC makinelerde radyo lambaları, röleler vb. elemanlar kullanılmıştır. Gelişen teknolojiyle birlikte Transistör'ün bulunması ile ikinci nesil NC makineleri dönemi başlamıştır.

Üretilen ilk makineler kısa süre için ihtiyaçları karşılamış, fakat malzeme fire oranı, yüksek maliyet ve hala daha karmaşık parçaların işlenememesi tekrar sorun olarak ortaya çıkmıştır. II. Dünya Savaşı sırasında ABD'nin uçak parçaları için ortaya çıkan karmaşık parça ihtiyacı makine sektörünün gelişmesine yardımcı olmuştur (NC ve CNC tarihçesi 2020).

Parson Şirketi ilk çalışmalarını 1947 yılında Massachusetts Institute of Technology (MIT) laboratuvarında başlatmıştır. Parson şirketi tarafından 1951 yılında takım tezgâhlarında kullanılmak üzere Servo sistem geliştirildi. 1952'de Bay John T Parson ve IBM'in desteğiyle ilk delik şeritli ve üç eksenli yarı otomatik NC dik Freze tezgâhını tanıttı. 1957 yılından itibaren ise NC makinelerin üretimi ve sanayide kullanımına başlanmıştır (Sayısal Kontrol 2022).



Şekil 2.3: MIT tarafından geliştirilen ilk NC makine

Kaynak: Güler S. (2013).

2.3 NC Makine Bileşenleri

NC makineler, aşağıdaki üç temel bileşenin bir araya gelmesi sonucu operasyonları gerçekleştirir.

2.3.1 Talimat programı

Talimat programı, takım tezgâhına ne yapacağını ve hangi sırayla yapacağını söyleyen ayrıntılı adım adım talimatlar dizisidir. Parça programı kodlanmış biçimde

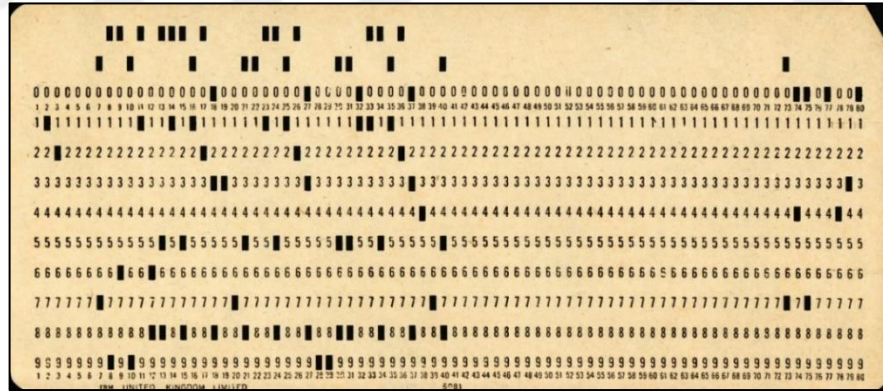
yazılır ve parçayı işlemek için gereken tüm bilgileri içerir. Parça programı, bir girdi ortamı aracılığıyla makine kontrol ünitesine beslenir (Pabla & Adithan, 1994).

Çeşitli giriş ortamı türleri şunlardır:

Delikli Kart

Verileri kaydetmek için kartlara delik açma uygulaması, Joseph Marie Jacquard adlı bir Fransız ipek dokumacısının desenleri bir dizide delikler olarak kaydederek bir ipek tezgâhındaki atkı ipliklerini otomatik olarak kontrol etmenin bir yolunu bulduğu 1800'lerin başlarına kadar uzanır (ITL ESL, 2004).

IBM sistemlerinde kullanılan tipik bir delikli kartta 80 sütun ve 12 satır bulunur ve her sütunda delme konumunu tanımlayan numaralar bulunmaktadır. Karta herhangi bir rakam ve alfabenin girilmesi için bir kod kullanılır ve kartın bir veya birden fazla yerinden dikdörtgen bloklar delinir. Normalde, her talimatın kodlanması veya her ana kaydın saklanması için bir kart kullanılır. Ancak talimat verileri bir karta sığmayacak kadar büyükse, iki veya daha fazla kart kullanılabilir. Tüm karakterlere ve sayılara karşılık gelen delikleri olan delikli bir kart, Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4: Delikli kart

Kaynak: ITL ESL. (2004).

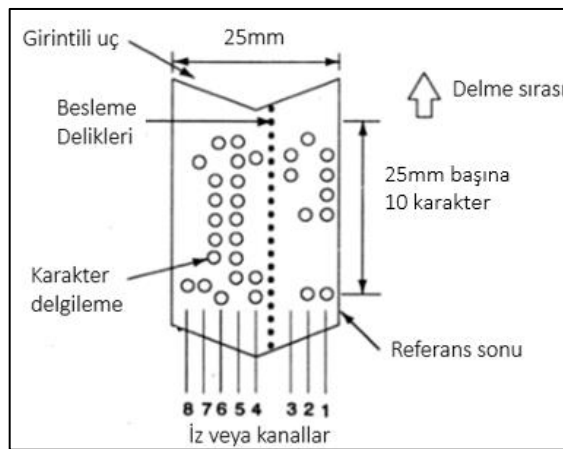
Manyetik Bantlar ve Diskler

Manyetik bant ve diskler, veri depolamanın yanı sıra NC sistemlerine veri girişi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Veriler, her iki durumda da manyetik ortamdaki mıknatıslanmış noktalar aracılığıyla kodlanmış biçimde depolanır. Manyetik bantlar ve manyetik diskler yeniden kullanılabilir ortamlardır. Depolanan veriler silinebilir ve yeni veriler manyetik bant veya diske kaydedilebilir. Sayısal kontrol sistemlerinde

kullanılan manyetik bant, yaygın ev kayıt cihazlarında kullanılan bant ile aynıdır. Bandın genişliği 6 mm veya 25 mm'dir. Manyetik diskler veya disketler dairesel disklerdir ve mıknatıslanabilen bir malzemedен oluşurlar. Disk, kare bir koruyucu kılıf içine alınır. Veriler, diskin yüzeyinde düzenlenmiş eş merkezli izlerde depolanır. Yaygın olarak kullanılan manyetik disk boyutları 5,25 inç çapında ve 3,5 inç çapındadır. Manyetik disklerde veri aktarım hızı, manyetik banttан çok daha hızlıdır. Manyetik bant ve diskler, diğer giriş ortamlarına kıyasla daha fazla veri depolayabilir. Ancak manyetik bantlarda ve disklerde saklanan veriler, manyetik alan etkileşimi olan bölgelere getirilirse bozulabilir (Thyer, 2014).

Delikli (Kâğıt) Bant

Delikli bant, programı sayısal kontrol sistemlerine beslemek için yaygın olarak kullanılır. NC sisteminde kullanılan çeşitli kâğıt bant türleri vardır, ancak ABD Elektronik Endüstrileri Birliği (EIA) ve Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından yayınlanan bant boyutu ve konfigürasyonu için standart format evrensel olarak kabul edilmektedir. Standart bir bant 25 mm genişliğindedir. Delikli bant, 25 mm uzunluk başına 10 karakter(0-9'a kadar 9 dâhil) saklama kapasitesine sahiptir (El Wakil, 2019). Şekil 2.5'de bilgileri kodlanmış biçimde delmek için kullanılan 8 delikli bant vardır. 1'inci bölgedeki delik, referans delik olarak adlandırılır. 3'üncü ve 4'üncü delikler arasındaki küçük delik, şeridi şerit okuyucuya beslemek için kullanılır (Koshal, 2014). Bileşeni işlemek için gereken bilgi, bir şerit zımbalama cihazı tarafından şerit üzerine delinir. Delikli kâğıtların kodlanarak oluşturulduğu makine Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.5: 25mm genişlikli kâğıt bant

Kaynak: Koshal (2014).



Şekil 2.6: Delikli kâğıt makinesi

NC Kodlama

NC sistemine veriler kodlanmış biçimde girilir. Kodlama 0 ve 1 olmak üzere iki rakama dayalıdır. Sayısal kontrolde 0 “Kapalı” ve 1 “Açık” anlamına gelir. Bu iki rakamı kullanan sayı sistemine ikili sistem (Binary) denir. Kontrol sistemine girilen tüm veri ikili eşdeğerlere dönüştürülür ve bu şekilde üretilen kodlar bant üzerine delik vasıtasıyla işlenmiş olur (Pabla & Adithan, 1994). Ondalık sayıların ikili eşdeğerleri aşağıda Çizelge 2.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Decimal sayı değerinin Binary karşılığı

Decimal Değeri	Binary Değeri
0	0000
1	0001
2	0010
3	0011
4	0100
5	0101
6	0110
7	0111
8	1000
9	1001
10	1010

Sayısal kontrol (NC) makinelerini programlamak için kullanılan tüm karakterlerin eksiksiz bir set bütününün, evrensel olarak en çok kullanılan iki bant kodunda somutlaştırılmıştır: Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) ve Amerikan Standartlar Birliği tarafından kabul edilen Elektronik Endüstrileri Birliği (EIA) kodudur. Tüm modern makine kontrolörleri her iki kodu da okur (Koshal, 2014).

Kart Okuyucu

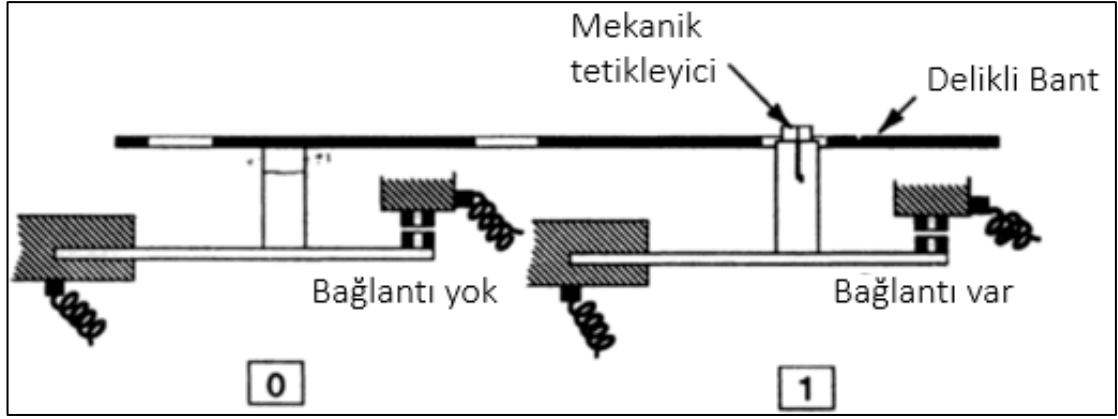
Kart okuyucular, bir karta delinmiş bilgileri okuyan, bir deliğin varlığını veya yokluğunu ikili 0 veya 1'i temsil eden bir elektrik sinyaline dönüştüren cihazlardır. Delikli kartlar bir hazneye yerleştirilir ve okuma komutu verildiğinde, bir kaldıraç, kartı destenin altından iter. Genel olarak kart, 80 okuma fırçası sırası üzerinde uzunlamasına hareket ettirilir. Bu fırçalar, kartın alt satırı boyunca delinmiş bilgileri okur. Belirli bir sırada bir delik açılırsa, bir fırça karttaki delikten elektrik teması yaparak bilgisayar tarafından kullanılan bir sinyal üretir. Sonraki satır okunur ve ardından bir sonraki kart fırçalar üzerindeki konumuna getirilir. Daha hızlı kart okuyucular, bir sütun boyunca 12 zımba pozisyonunun altında fotoelektrik hücreleri ve kartın üzerinde bir aydınlatıcı kaynağı kullanır. Karttaki her sütun 12 fotoelektrik hücre üzerinden geçirildiğinde, belirli bir konumun delinmiş olup olmadığı ilgili fotoselden gelen elektrik sinyalinin varlığı veya yokluğu ile belirlenir. Kart okuyucular, dakikada 12 ila 1000 kart arasında değişen hızlarda çalışır (Pabla & Adithan, 1994).

Delikli Teyp Okuyucu

Delikli bir bant, bir delikli şerit okuyucudan geçirildiğinde, üçünün belirli bir yolda bir delik olup olmadığına bağlı olarak elektrik bağlantıları ya yakın ya da açıktır. Bant üzerindeki kodlanmış talimatlar, çeşitli takım tezgâhı fonksiyonlarını kontrol etmek için kullanılan elektriksel analoglarına dönüştürülür (Chavan, 2019). Yaygın olarak kullanılan delikli şerit okuyucular şunlardır;

Mekanik Bant Okuyucu

Bantta delik yoksa kontaklar açık kalır, ancak bantta delik olduğunda varlığı bir prob tarafından algılanır ve esnek şeridin bükülmesi kontakların kapanmasına neden olur. Bantta deliklerin bulunması anahtarların kapanmasına neden olur. Anahtar, buna göre AÇIK konumda (delik var) veya KAPALI konumdadır (delik yok) (Ali, 2018). Delinmiş şeridi okumak için basit bir mekanik cihazın prensibi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

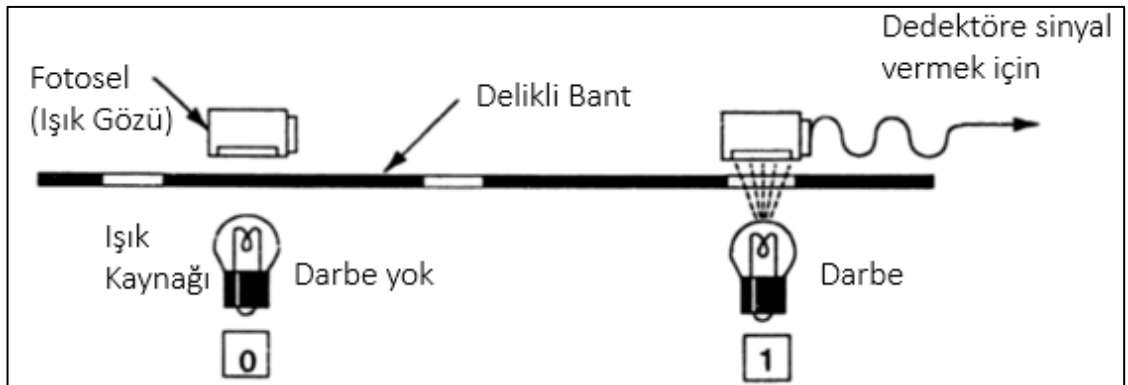


Şekil 2.8: Mekanik kart okuyucu

Kaynak: Thyer (2014).

Optik veya Fotoelektrik Okuyucu

Foto-elektrik okuyucular, mekanik okuyuculardan daha pahalıdır ve saniyede en az 150 sıra delik hızında çalışır. Bir optik fotoelektrik şerit okuyucunun çalışması, bir fotoelektrik hücrenin üzerine bir ışık huzmesi düştüğünde, hücrenin bir elektrik sinyali üretmesi prensibine dayanır. Bir fotoelektrik şerit okuyucunun şematik diyagramı Şekil 2.9.'da gösterilmiştir. Delikli bant, bir ışık kaynağı ile bir dizi fotosel arasında beslenir. Bantta bir delik bulunduğunda, ışık kaynağından gelen ışık delikten geçer ve ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren karşılık gelen fotocele enerji vererek bir darbe, yani AÇIK konumu üretir. Darbe yükseltilir ve kontrol devresine uygun bir biçime işlenir. Delik yokken ışık kaynağından gelen ışık fotocele ulaşmaz bu nedenle sinyal üretilmez ve konum OFF olarak kaydedilir (Thyer, 2014).

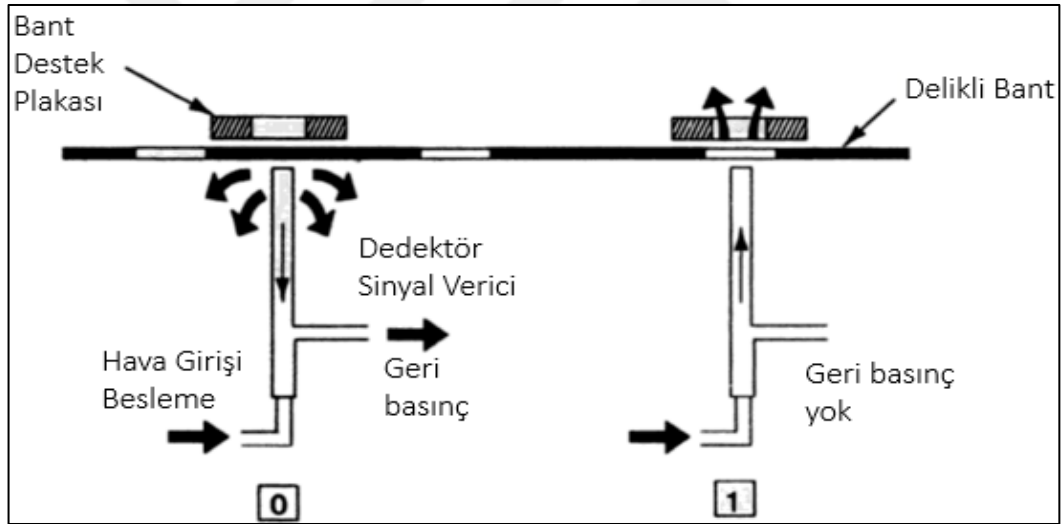


Şekil 2.9: Optik kart okuyucu

Kaynak: Thyer (2014).

Pnömatik Bant Okuyucu

Bant, bant ve bant destek plakası üzerindeki bir blok bilgisinde delinmesi mümkün olan deliklerin tüm modelini kaplayan bir dizi hava jeti (8 no.) arasından beslenir. Basıncı hava jetleri, iki açıklığı olan özel olarak tasarlanmış borulardan yönlendirilir. Ana çıkış adı verilen ilk açıklık teybe yakındır ve ikinci açıklık bir sinyal detektörüne bağlıdır. Bantta delik yoksa bant ana çıkışı kapatır ve serbest hava çıkışı kısıtlanır ve sinyal dedektörü tarafından bir karşı basınç algılanır ve konum "0" olarak kaydedilir, yani KAPALI, ancak bantta bir delik varsa ana çıkışın önüne geldiğinde, havanın serbestçe kaçmasına izin verilir ve besleme borusunda geri basınç oluşmaz. Bu karşı basınç kaybı, sinyal detektörü tarafından algılanır ve konum "1", yani AÇIK olarak kaydedilir. Destek plakası bandın ana çıkıştan gelen basınçlı hava ile uçup gitmesini engeller. Bir pnömatik şerit okuyucu Şekil 2.10'da gösterilmektedir (Thyer, 2014)



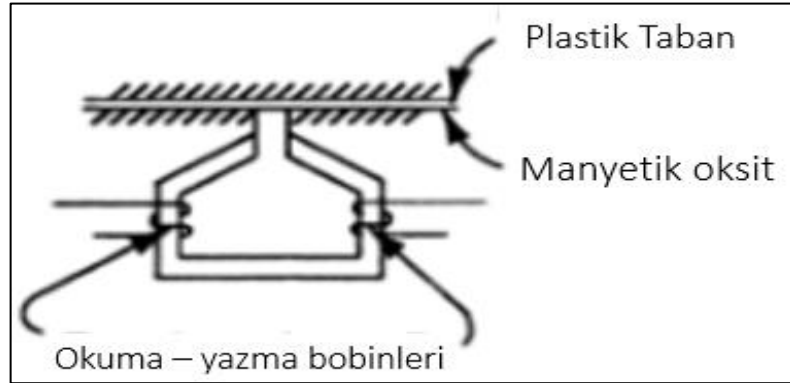
Şekil 2.10: Pnömatik kart okuyucu

Kaynak: Thyer (2014).

Manyetik Bant Okuyucu

Manyetik kafa, bandı hem kodlamaya hem de okumaya hizmet eder. Manyetik kafa bir elektromıknatıstır ve küçük bir hava boşluğuna sahip bir halka şeklinde yüksek geçirgenliğe sahip bir çekirdekten oluşur ve bir bobin sargısıyla enerjilenir. Manyetik bant çekirdekteki açıklık boyunca hareket ettirilir. Bandın mıknatıslanmış bir kısmı okuma konumunda (yani açıklıkta) görüldüğünde, sargıda bir EMF indüklenir.

Bu EMF güçlendirilir ve takım tezgâhının servo sisteminin kontrolünde kullanılır (Ali, 2018). Şekil 2.11'de manyetik bant için bir program okuyucu gösterilmektedir.



Şekil 2.11: Manyetik bant okuyucu

Kaynak: Thyer (2014).

2.3.3 Takım tezgâhı

Bir nümerik kontrol sisteminin üçüncü temel bileşeni takım tezgâhının kendisidir. NC makinelerinde mikrobilgisayar, makineyi biz dizi talimat veya programa göre çalıştırır. Sayısal olarak kontrol edilen bir makinede takım ve makine tablasının tüm hareketleri elektrik motorları yardımıyla otomatik olarak yapılmaktadır (Üretim makinaları, 2020). Ayrıca makine açma/kapama, soğutma sıvısı açma/kapama vb. gibi diğer fonksiyonlar da parça programı aracılığıyla kontrol edilir. Hız ilerlemesini ve kesme derinliğini kontrol etmek için kullanılan motor, kullanıcının istenen hızları ve ilerlemeleri seçmesini sağlayan servo motorlar veya kademeli motorlardır.

Sağ El Kuralı

Kartezyen Koordinat sistemi; uzayda aralarında 90° açı bulunan üç düzlemin birleşmesi sonucu meydana gelen bir sistemdir. NC/CNC makineler Kartezyen koordinat sistemine göre çalışmaktadır.

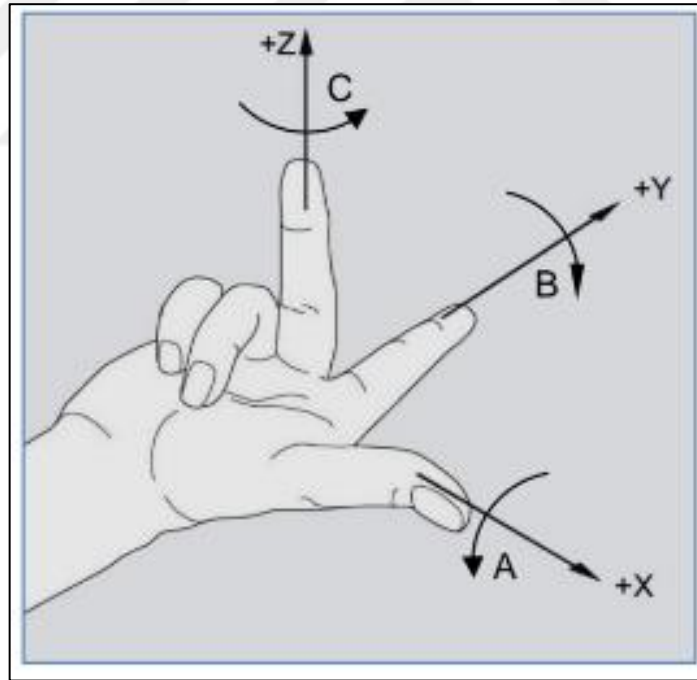
Sağ el kuralı, CNC makinelerinde kullanılan koordinat sisteminde hareket etmek için kullanılan bir prensiptir. Kural, koordinat sisteminin temel bileşenlerinin, eksenlerin ve pozisyonlarının daha iyi anlaşılmasını sağlamak için geliştirilmiştir. Kural, koordinat sisteminin işaretlenmesinden başlayarak ortaya çıktı. Ortaya çıkışı, koordinat sisteminin temel bileşenlerinin sağ tarafının pozitif, sol tarafının negatif olması ve bunun kullanıcıya bir referans olarak verilmesi olarak gösterilir. Kural, bir

CNC makinenin hareket etmesini sağlamak ve operatörün kontrol etmesini kolaylaştırmak için kullanılır (Waters, 1996).

Kesici takımın veya iş parçasının etrafında döndüğü eksen olup olmadığına bakılmaksızın, makinenin ana iş milinin ekseni her zaman z ekseni olarak belirlenir.

Z eksenindeki hareket, iş parçasını kesici takımdan uzaklaştıran yönde her zaman pozitif kabul edilir. Bunun nedeni, program yazma işlemi esnasında yanlışlıkla bir koordinatın önüne bir eksi işaretinin konulması unutulması sonucu matematiksel olarak bir işaretin olmaması artı olarak alındığından, kesici takım ve iş parçası birbirine yaklaşmak yerine uzaklaşır. Bu önemli bir çarpma önleyici güvenlik özelliğidir.

Başparmak X eksenini, işaret parmağı Y eksenini ve orta parmak Z eksenini temsil eder. Aynı standart ayrıca dönen eksenlerin adlarını da tanımlar. X'in etrafında dönen eksene A, Y'nin etrafında dönen eksene B ve Z'nin etrafında dönen eksene C denir (Rausa, 2021).



Şekil 2.12: Sağ el kuralının gösterimi

2.4 Bilgisayarlı Nümerik Kontrollü Makineler (CNC)

Bilgisayarlı Nümerik Kontrol anlamına gelen CNC makineler, II. Dünya savaşı sonrası NC makinelerin tam olarak oluşan ihtiyaçları karşılayamaması sonucu hızlı bir şekilde gelişim sağlamıştır. CNC makineler; birtakım sayı, harf ve sembolün

belirli bir mantık çerçevesinde kodlanarak oluşturulan satırlar aracılığı ile çalışır. Bu makinelerde devir, ilerleme, durdurma-devam ettirme gibi operasyonlar otomatik bir şekilde yapılabilir. CNC makinelerin NC makinelere göre en belirgin farkı buradan gelmektedir.

Avantajları;

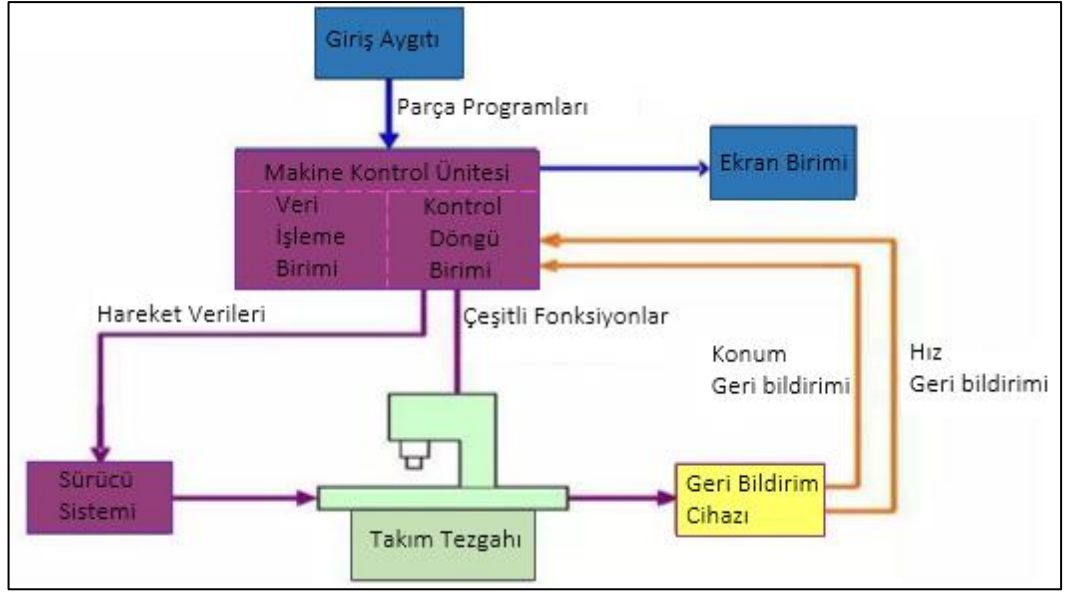
- Ayarlama, ölçü, kontrolü, manuel hareket, vb. gibi zaman harcayan işlemler olmadığından çok seridir.
- Hassas işlem yapar.
- Kalifiyeli insan gerek duymaz.
- Çalışma temposu her zaman yüksek ve aynıdır.
- Her türlü sarfiyat minimuma indirilmiştir.
- Operatörden kaynaklanacak kişisel hatalar minimuma indirilmiştir.

Dezavantajları;

- Detaylı bir imalat planı gerektirir.
- Pahalı bir yatırım gerektirir.
- Saat başına harcadığı enerji yüksektir.
- Titiz kullanım ve bakım ister.
- Yüksek kesme hızlarına dayanabilecek, kaliteli kesicilerin kullanılması gerekir.
- Periyodik bakımları uzman ve yetkili kişice, düzenli olarak yapılmalıdır.

2.4.1 Cnc bileşenleri

Bir Bilgisayar Sayısal Kontrol (CNC) sistemi, kodlanmış bir alfa sayısal sistem aracılığıyla kontrol edilen ve yönetilen gelişmiş birleştirme yanlısı beceri ve teknoloji sunar. Temelinde bir CNC sistemi, senkron bir sistemde harmanlanmış işlevselliğe sahip beş bileşenden oluşur. Bilgisayar programlı veriler daha sonra bir CNC sisteminin operasyonlarını kontrol etmek ve çalıştırmak için kullanılır (Safavi, 2009).



Şekil 2.13: Cnc blok şeması

CNC makineleri, birbiri ile uyumlu çalışan komponentlerin birleşmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu komponentler CNC makinesi ile daha hızlı ve daha doğru sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. CNC tezgâhlar aşağıdaki bileşenlerden oluşmaktadır;

- Giriş Aygıtı (İnput Device)
- Makine Kontrol Ünitesi (Machine Control Unit)
- İşleme tezgâhı (Machine Tool)
- Sürücü Sistemi (Driving System)
- Geri Bildirim Sistemi (Feedback Device)
- Ekran (Display Unit)

Giriş Aygıtı

CNC makinesinde parça programını girmek için kullanılan cihazlardır. Yaygın olarak kullanılan üç giriş cihazı vardır ve bunlar Disket Sürücü, USB Sürücü ve Seri İletişim Portları (RS-232-C) iletimi yoluyla bilgisayardır.

Disket sürücü; Disket, CNC veri girişi için küçük bir manyetik depolama aygıtıdır. Veri aktarım hızı açısından 1970'lere kadar en yaygın depolama ortamı, güvenilirlik, depolama boyutu, veri işleme ve okuma ve yazma yeteneği sunmuştur. Manyetik

alanlara ve ayrıca toza karşı hassastırlar. Bu nedenle, Disketlerin bozulma eğilimi olduğundan uzun vadede kullanışlı olmamışlardır. Şekil 2.14’de gösterilmiştir.



Şekil 2.14: Bir CNC makinesinde disket sürücü

USB flash sürücü; Bir USB flash sürücü, kompakt boyutu ve bir disketten daha büyük depolama boyutu olan çıkarılabilir ve yeniden yazılabilir bir taşınabilir sabit sürücüdür. Flash sürücünün içinde depolanan veriler, flash sürücülerin verileri bir yerden bir yere aktarmasına olanak tanıyan toz ve çiziklere karşı dayanıklıdır. Son yıllarda, tüm bilgisayarlar okumak ve okumak için USB flash sürücüleri desteklemektedir. Şekil 2.15’de gösterilmiştir.



Şekil 2.15: Bir CNC makinesinde USB flash sürücü

Seri iletişim; Bir bilgisayar ile bir CNC takım tezgâhı arasındaki veri aktarımı genellikle bir seri iletişim portu aracılığıyla gerçekleştirilir. Seri iletişim için uluslararası standartlar oluşturulmuştur, böylece bilgi değiş tokuşu yapılabilir. Bilgisayarlar ve CNC takım tezgâhları arasındaki en yaygın arabirim, EIA Standardı RS-232 olarak adlandırılır. Kişisel bilgisayarların ve CNC takım tezgâhlarının çoğu

dâhili RS-232 bağlantı noktasına sahiptir ve standart bir RS-232 kablosu kullanılır. Veri aktarımını güvenilir bir şekilde sağlayan bir CNC makinesini bir bilgisayara bağlamak. Parça programları bir takım tezgâhının belleğine indirilebilir veya bilgisayarda bir iletişim programı çalıştırılarak ve makine kontrolünün iletişim yazılımıyla etkileşime girmesi için ayarlanarak geçici depolama için bilgisayara yüklenebilir.



Şekil 2.16: Bir ucu USB girişli, bir ucu RS-232 girişi olan kablo

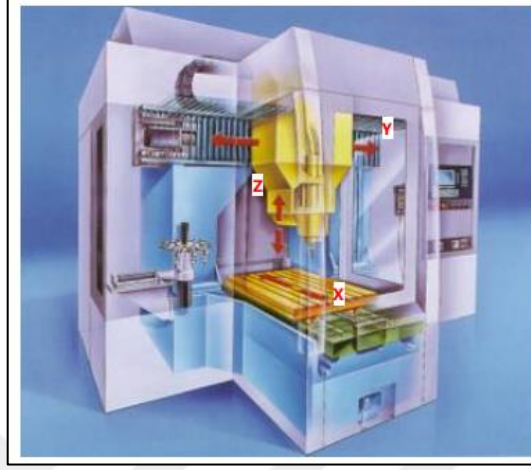
Makine Kontrol Ünitesi

CNC makinesinin en önemli bileşenidir. CNC makinesinin tüm kontrol eylemlerini gerçekleştirir, Makine kontrol ünitesi tarafından gerçekleştirilen çeşitli işlevler şunlardır:

- İçine beslenen kodlanmış talimatları okur.
- Kodlanmış talimatın kodunu çözer.
- Eksen hareket komutları oluşturmak için enterpolasyon (doğrusal, dairesel ve sarmal) uygular.
- Eksen mekanizmalarını çalıştırmak için eksen hareket komutlarını amplifikatör devrelerine besler.
- Her tahrik eksenini için konum ve hız geri bildirim sinyallerini alır.
- Soğutma sıvısı veya iş mili açma/kapama ve takım değiştirme gibi yardımcı kontrol fonksiyonlarını uygular.

İşleme Tezgâhı

CNC takım tezgâhında, konumu ve hızı kontrol etmek için her zaman bir kayan tabla ve bir iş mili bulunur. Makine tablası X ve Y eksenini yönünde kontrol edilir ve iş mili Z eksenini yönünde kontrol edilir.



Şekil 2.17: Eksenlerin CNC makine üzerinde gösterilmesi

Sürücü Sistemi

Bir CNC makinesinin tahrik sistemi, amplifikatör devreleri, tahrik motorları ve vidalı milden oluşur. MCU, her eksenin sinyallerini (yani konum ve hız) amplifikatör devrelerine besler. Kontrol sinyalleri, tahrik motorlarını harekete geçirmek için artırılır. Çalıştırılan tahrik motorları, makine tablasını konumlandırmak için vidalı mili döndürür.



Şekil 2.18: Bir CNC makinesinde vidalı mil

Geri Bildirim Sistemi

Bu sistem, sensör görevi gören transdüserlerden oluşur. Aynı zamanda bir ölçüm sistemi olarak da adlandırılır. Herhangi bir anda bulunan kesici takımın konumunu

ve hızını sürekli olarak izleyen konum ve hız transdüserleri içerir. MCU, bu transdüserlerden gelen sinyalleri alır ve konum ve hız hatalarını düzeltmek için kontrol sinyalleri üretmek üzere referans sinyalleri ile geri besleme sinyalleri arasındaki farkı kullanır.

Ekran

Ekran Birimi, makine ile operatör arasında etkileşimli bir cihaz görevi görür. Makine çalışırken, Görüntüleme Birimi, makine kızağının konumu, iş mili devri, ilerleme hızı, parça programları vb. gibi mevcut durumu görüntüler.

Gelişmiş bir CNC makinesinde Görüntüleme Birimi, parça programlarının gerçek işlemeden önce doğrulanabilmesi için takım yolunun grafik simülasyonunu gösterebilir. Bakım ve kurulum çalışmaları için makine parametreleri, programlayıcı kontrolörünün mantık şeması, hata mesajları ve teşhis verileri gibi CNC sistemiyle ilgili diğer birçok önemli bilgi de görüntülenebilir.



Şekil 2.19: CNC kontrol üniteleri

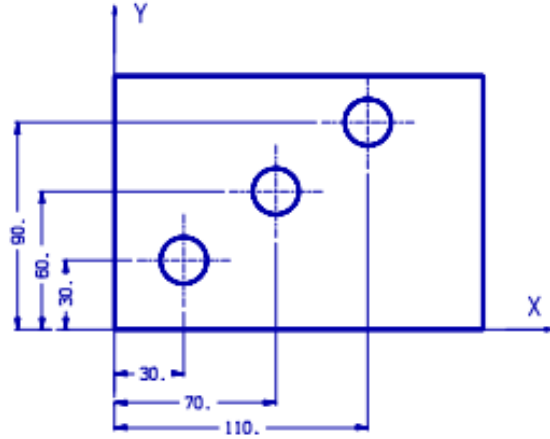
2.4.2 Programlama sistemleri

CNC makineler için Artımsal ve Mutlak olmak üzere 2 tür programlama modları mevcuttur. Takım tezgâhları üzerindeki kontroller, hem artımlı hem de mutlak programlamayı kullanma yeteneğine sahiptir.

Mutlak Programlama

Mutlak programlama, eksen hareketleri için gerekli olan koordinatların bitiş noktaları program sıfır noktası üzerinden dağıtılır. Programlamaya yeni başlayanlar için, hareket komutlarının verilmesi esnasında, bitiş noktası koordinatlarının bu program

ile verilmesi en kolay ve pratik olan bir yoldur. Şekil 2.20’de gösterilmiştir (Yılmaz M. 2007).

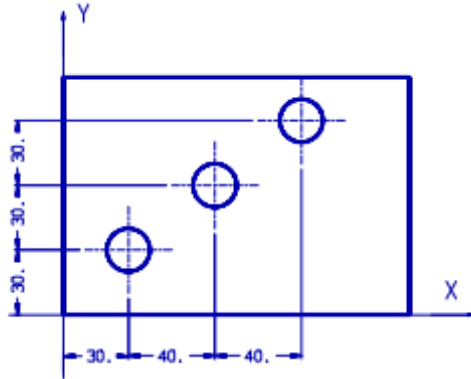


Şekil 2.20: Mutlak programlama gösterimi

Kaynak: Yılmaz M. (2007).

Artımsal Programlama

Artımsal programlama, hareket için gerekli olan bitiş noktaları takımın mevcut konumunun referans alınması ile belirtilir. Burada program sıfır noktası temel olarak alınmamaktadır. Bunun yerine takımın bulunduğu konum referans alınmaktadır. Şekil 2.21’de gösterilmiştir (Yılmaz M. 2007).



Şekil 2.21: Artımsal programlama gösterimi

Kaynak: Yılmaz M. (2007).

2.4.3 Cnc Kontrol döngü sistemleri

CNC kontrol döngü sistemleri, motorlar, sensörler, sürücüler, dijital kontrol cihazları ve diğer elektronik parçaların bir araya gelerek oluşturduğu döngülerdir. Bunlar, NC/CNC makinalarının özel komutlarını almasını ve bunları motorlar, sensörler ve diğer parçalar aracılığıyla uygulamasını sağlayan sistemlerdir. CNC kontrol döngü

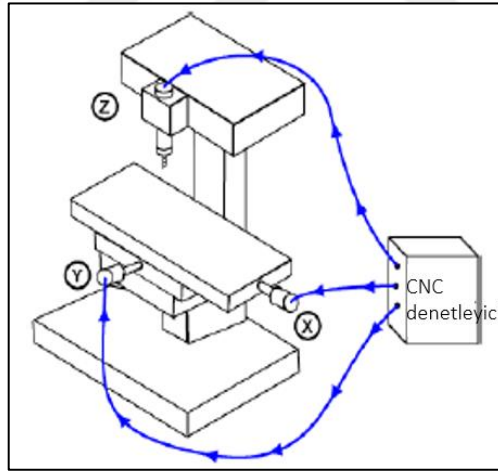
sistemleri, hareketli parçaların pozisyonunu veya hızını kontrol etmeye olanak sağlar (Huda, 2020).

Bu sistemler, makinaların tasarım ve üretim süreçlerini hızlandırmak için çok önemlidir. Açık döngü sistemi ve kapalı döngü sistemi olmak üzere 2'ye ayrılır;

Açık Döngü Sistemi

Açık döngü kontrol sistemi, geri besleme mekanizması olmayan kontrol sistemidir, yani açık döngü kontrollü CNC sistemi, çalışma tezgâhının istenen konumuna ulaşıldığını doğrulayan çıktı olmadan çalışır. Açık çevrim kontrol sistemi, özellikle basit ve ekonomik CNC takım tezgâhları olmak üzere, yalnızca düşük işleme hassasiyeti gereksinimleri olan küçük ve orta ölçekli CNC takım tezgâhları için uygundur.

Açık döngü sisteminin en önemli dezavantajı, program konumu ve hızına ulaşıp ulaşılmadığını kontrol edecek bir geri besleme sisteminin olmamasıdır. Sistem performansı yük, sıcaklık, nem veya yağlamadan etkilenirse, gerçek çıkış istenen çıkıştan sapabilir (Zhang, 2010).



Şekil 2.22: Açık döngü sistemi

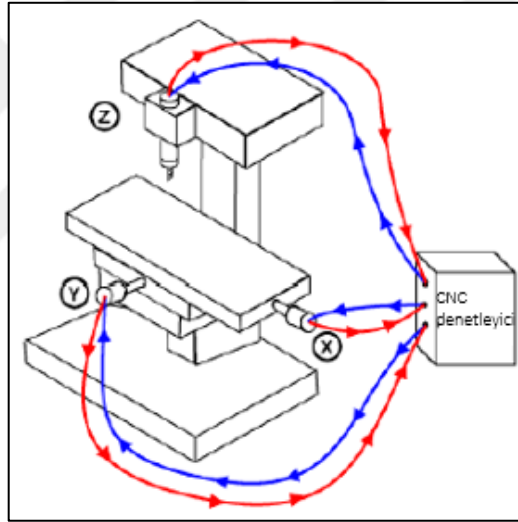
Kaynak: Zhang (2010).

Kapalı Döngü Sistemi

Kapalı döngü CNC sistemi, gerçek çıktıyı izlemek ve programlanan girdiden herhangi bir tutarsızlığı düzeltmek için bir geri bildirim alt sistemine sahiptir. Bu analog veya dijital olabilir. Analog sistemler, konum ve hız gibi fiziksel değişkenlerin değişimini voltaj olarak ölçer. Dijital sistemler, elektrik darbeleri

aracılığıyla çıkış değişikliklerini izler. Kapalı çevrim sistemler çok güçlü ve hassastır çünkü çalışma koşullarını geri bildirim alt sistemleri aracılığıyla izleyebilirler ve herhangi bir değişikliği gerçek zamanlı olarak otomatik olarak telafi edebilirler. Çoğu modern kapalı döngü CNC sistemi, 0,0001 inçlik çok yakın çözünürlük sağlayabilir. Kapalı döngülü sistemler hem konum hem de hız kontrolünü uygulamak için doğal olarak daha fazla kontrol cihazı ve devre gerektirir. Bu, onları açık döngü sistemlerden daha karmaşık ve daha pahalı hale getirir.

Kapalı döngü sistemi, gerçek çıktıyı izlemek ve programlanan girdiden herhangi bir tutarsızlığı düzeltmek için bir geri besleme alt sistemine sahiptir. Geri bildirim sistemi analog veya dijital olabilir. Analog sistemler, konum gibi fiziksel değişkenlerin değişimini ölçer. Dijital sistemler, elektrik darbeleri aracılığıyla çıktı değişikliklerini izler (Zhang, 2010).



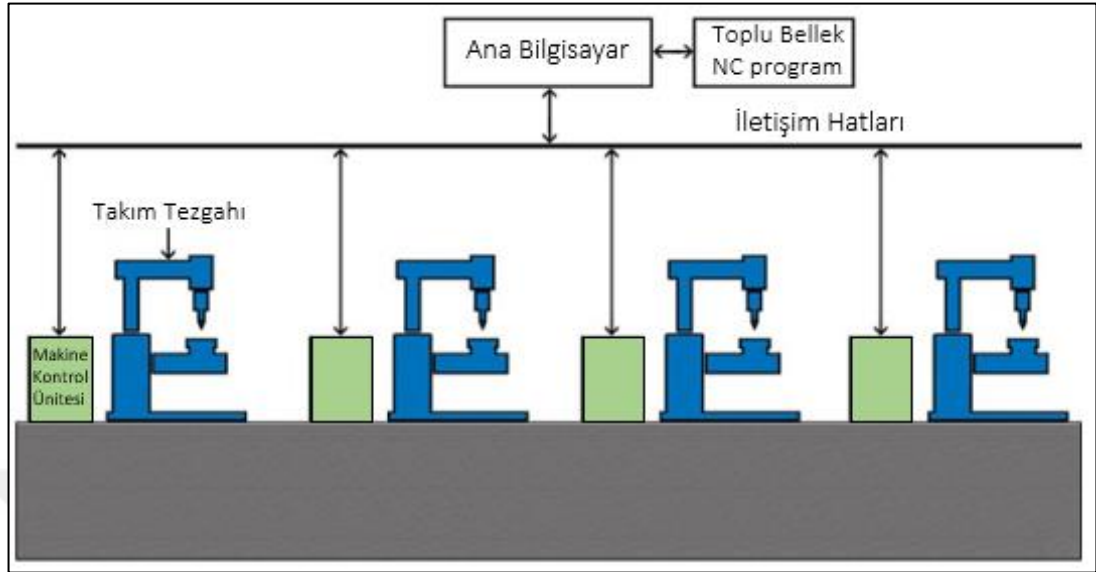
Şekil 2.23: Kapalı döngü sistemi

Kaynak: Zhang (2010).

2.5 Doğrudan Nümerik Kontrollü Makineler (DNC)

Doğrudan sayısal kontrol, çok sayıda makinenin doğrudan bağlantılar yoluyla bir bilgisayar tarafından kontrol edildiği bir üretim sistemidir. Tüm makineler, gerektiğinde bireysel makinelere bilgi gönderen bir ana çerçeve bilgisayarına bağlıdır (Şekil 2.24). DNC sistemi şerit okuyucu ile donatılmadığından işleme sisteminin güvenilirliğini artırır. Hazırlanan parça programı bilgisayar belleğinden direkt olarak takım tezgâhına iletilir. Böylelikle birçok makine aynı anda tek bir büyük bilgisayar

sistemi tarafından kontrol edilebilir. DNC sistemleri ayrıca takım tezgâhlarından gerekli verileri geri toplayacak şekilde donatılmıştır (Pabla & Adithan, 1994).



Şekil 2.24: DNC kurulumu

Kaynak: Pabla & Adithan. (1994).

Nümerik kontrollü makinelerin imalat sistemlerine bilgisayar tabanlı entegrasyonunun kökenleri 1960'lı yıllara dayanmaktadır. O dönemdeki makine kontrollerinin dahili belleği olmaması, kağıt delikli bantların atölye şartlarında kullanımını ve depolanması sorunlara neden olmaktaydı. DNC bilgisayarı, delikli bant bilgilerinin eş değerini bir disk veya manyetik teyp veri depolama biriminde doğrudan depolanmasını sağlar (Rajput, 2007).

Avantajları;

- NC parça programları bilgisayar dosyalarında rahatlıkla saklanabilir.
- Güvenilir olmayan bant okuyucu ve kırılabilir kâğıt bantın ortadan kaldırılması.
- DNC bilgisayarına gözden geçirme ve düzenleme için veya programcı ile makine aleti arasında hızlı ve kolay etkileşim için çok daha erişilebilir.
- DNC konsepti, bilgisayar sistemi tarafından yönetilecek olan üretim tesislerinin geliştirilmesinde ilk adımı temsil eder.
- Büyük DNC bilgisayarı, hesaplama ve veri işleme işlevlerini geleneksel NC'den daha etkili bir şekilde gerçekleştirir.

Dezavantajları;

- DNC pahalıdır ve kullanımını yüksek otomasyon gerektiren alanlarda pratiktir.
- Tüm üretimin merkezi bir bilgisayara bağlı olması arıza durumunda tüm faaliyetlerin durmasına neden olabilir.

2.5.1 DNC bileşenleri

Delikli bant ve disketlerin yerini gelişen teknoloji ile birlikte ağ teknolojisi almıştır. Bu sistemlerin çalışma mantığı Client-Server sistemine dayanmaktadır (DNC ne anlama geliyor, 2021). DNC sistemlerinin etkin çalışması için çift yönlü bilgi akışının merkezi bilgisayar tarafından uygun şekilde senkronize edilmesi gerekmektedir. Çok sayıda bilgisayara gerçek zamanlı olarak hizmet verebilmesi, DNC sisteminin öne çıkan özelliklerinden biridir (DNC Nedir, 2022). DNC sistemi genel olarak aşağıdaki 4 temel bileşenden oluşmaktadır;

- Merkezi Bilgisayar
- NC Programlarını Depolayan Toplu Bellek
- Telekomünikasyon Hatları
- Tezgâh

Merkezi Bilgisayar

Toplu depolamadan parça program talimatlarını çağırır ve gerektiğinde bunları her bir takım tezgâhına gönderir. Ayrıca makinelerden veri alır. Bu veriler geri besleme verileri olarak adlandırılır. Bu iki yönlü bilgi dönüşümü neredeyse anında gerçekleşir. Benzer şekilde bilgisayar, takım tezgâhından alınan geri bildirim dayalı olarak anında yanıt verebilmelidir (Elanchezhian & Sunder & Shanmuga, 2005).

Toplu Bellek

Merkezi bilgisayardan alınan bir grup parça program talimatı, toplu bellek olarak bilinen arabelleklerde saklanır. Saklanan bu talimatlar, gerektiğinde her takım tezgâhına verilir. Takım tezgâhından gelen geri bildirim verileri de merkezi bilgisayara gönderilirken bu tamponlarda saklanır (Elanchezhian & Sunder & Shanmuga, 2005).

Telekomünikasyon Hatları

Bunlar DNC sisteminde bilgileri bir istasyondan diğerine iletmek için kullanılır. Veri iletimi, merkezi bilgisayardan takım tezgâhına veya tam tersi olabilir (Elanchezhian & Sunder & Shanmuga, 2005).

Tezgâh

Freze, torna gibi tezgâhlara veri akışı ve kontrolü yapılabilir. Merkezi bilgisayardan aldığı emirleri (program) uygulayan yapılardır (Elanchezhian & Sunder & Shanmuga, 2005).

2.6 DNC Çeşitleri

Kontrol bilgisayarı ile takım tezgâhı arasında iletişim bağlantısının kurulduğu 2 tip sistem vardır.

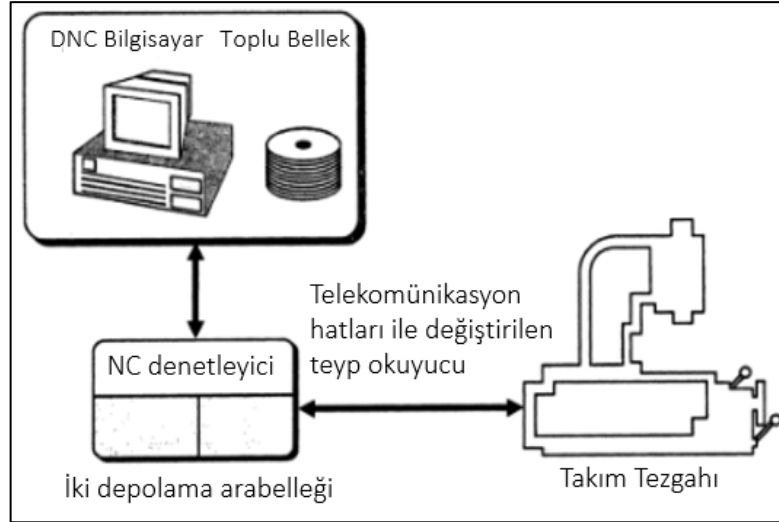
- Manyetik Bant Okuyucu (BTR) Sisteminin Arkasında
- Özel Makine Kontrol Ünitesi (SMCU) Sistemi

Manyetik Bant Okuyucu Sisteminin Arkasında

Bu, bilgisayarın doğrudan normal NC kontrol ünitesine bağlı olduğu en kolay ve en sık kullanılan ara yüzlerden biridir. Bant okuyucunun telekomünikasyon hatları tarafından DNC denetleyiciye değiştirilmesi BTR'ye adını verir. Bilgisayarla bağlantı, teyp okuyucu ile kontrol birimi arasında, yani teyp okuyucunun arkasında yapılır.

Makine denetleyicisinin iki birim geçici belleği vardır. Bir birim merkezi bilgisayardan komutlar alır ve bunları makine eylemlerine dönüştürür. BTR'nin en büyük avantajı, takım tezgâhının bağımsız olarak da çalışmasına izin vermesidir. Bu sistemin maliyeti de düşüktür ve geleneksel NC makinesini DNC'ye dönüştürmek için küçük değişikliklere ihtiyaç vardır, BTR'nin bir blok diyagramı Şekil 2.25'de gösterildiği gibidir.

BTR ara yüzü esas olarak sinyallerin kodunu çözer, yorumlar, birleştirir ve eşleştirir. Eski sürümlerde bu, kablolu devreler aracılığıyla yapılıyordu. Bununla birlikte, modern BTR ara yüzleri her zaman yazılım kontrolü ile yazılım bağlantılıdır (Haideri, 2008).

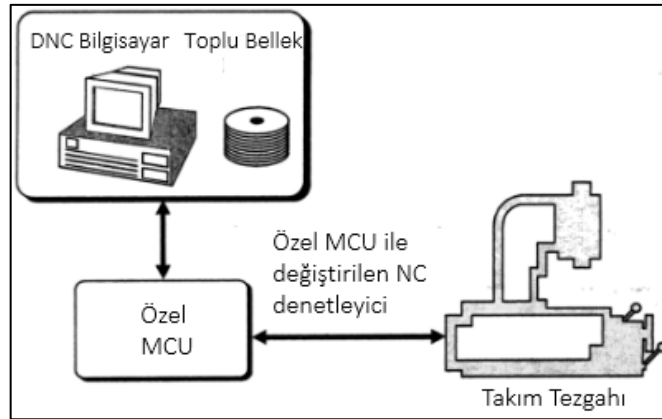


Şekil 2.25: BTR konfigürasyonlu DNC sistemi

Kaynak: Haideri (2008).

Özel Makine Kontrol Ünitesi (SMCU) Sistemi

DNC'nin başka bir türü, DNC için özel bir MCU'nun oluşturulduğu türdür. Bu özel MCU, takım tezgahı ile bilgisayar arasındaki iletişimi kolaylaştırmak için özel olarak tasarlanmış bir cihazdır. Bu durumda normal NC denetleyicisi tamamen ortadan kaldırılır ve tüm kontrol işlevleri özel MCU tarafından yapılır. Özel MCU konfigürasyonu, Şekil 2.26'da gösterildiği gibidir (Haideri, 2008).



Şekil 2.26: Özel MCU konfigürasyonlu DNC sistemi

Kaynak: Haideri (2008).

3. PARAMETRİK PROGRAMLAMA

Parametrik programlama, CNC makinelerin programlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, kodların kullanıcının gereksinimlerine göre parametreler aracılığıyla özelleştirilmesini sağlar. Dolayısıyla, işlemlerin çoklu varyasyonlarının hızla ve kolaylıkla oluşturulmasını sağlar. Parametrik programlama, çeşitli işlemleri kodlamak için kullanılan komutların ve parametrelerin karışımını kullanır. Bu, daha hızlı programlama çalışmalarının yanı sıra, programlamanın kolay anlaşılması, işlemlerin değiştirilmesi ve yönetilmesi açısından da önemlidir.

Birinci seviye CNC kontrol ünitelerinde kullanılan parametrik programlama yöntemine “Custom Macro A” denilmekteydi. Macro A programında kullanılan özellikler daha kısıtlıydı. Özelliklerin geliştirilmesi oluşturulan yeni yönteme “Custom Macro B” adı verilmiştir. Bu nedenle parametrik programlama yaygın olarak Makro programlama ismi ile de bilinmektedir (Seçgin, 2013).

Dünya çapında birçok CNC kontrol ünitesi üreticisi bulunmaktadır. Bu firmalardan Fanuc, Mazak, Mitsubishi modellerinin ürettikleri üniteler Makro B’ye uyumludur. Siemens, Heidenhain gibi firmaların ürettikleri üniteler mantık olarak aynı şekilde çalışıyor olsa da yazım biçimi olarak farklılıklar mevcuttur.

Avantajları;

- Parametrik programlamayla, çok sayıda ürünün üretimi için standart bir program oluşturulabilir.
- Matematiksel ve mantıksal bütün işlemler yaptırılabilir.
- Program içerisinde akış bozularak başka bir satıra dallanma/atlama yapılabilmektedir.
- Değişkenlerde veri saklanabilmektedir.

3.1 Makro Değişkenleri

Değişkenler, makro programların en önemli ögesidir. Program içerisinde değerler atanabilir, bu değerler daha sonra kullanılmak üzere program içerisinde saklanabilir. Fanuc tezgâhlarda makrolar diyez (#) işareti ile gösterilmektedir.

3.2 Değişken Tipleri

Değişkenler, değişken tiplerine göre dört gruba ayrılmaktadır.

Çizelge 3.1: Değişken tipleri

Değişken Numarası	Değişken Tipi	Fonksiyon
#0	Her zaman sıfırdır.	Bu değişken her zaman sıfırdır. Bu değişkene değer atanamaz.
#1 - #33	Yerel Değişkenler	Yerel değişkenler, işlem sonuçları gibi verileri saklamak üzere yalnızca bir makro içinde kullanılabilirler. Güç kapatıldığında, yerel değişkenler sıfır olarak başlatılırlar. Bir makro çağrıldığında bağımsız değişkenler yerel değişkenlere atanır.
#100 - #199 #500 - #999	Ortak Değişkenler	Ortak değişkenler, farklı makro programları içerisinde paylaşılabilir. Güç kapatıldığında, #100 - #149 arası değişkenler sıfır olarak başlatılırlar. #500 -- #531 arası değişkenler, güç kapatıldığında bile verileri saklarlar. Bir seçenek olarak, #150 ile #199 arasında ve #532 ile #999 arasında değişkenler de mevcuttur.
#1000 -	Sistem Değişkenleri	Sistem değişkenleri, geçerli konum ve takım kompanzasyon değerleri gibi NC veri öğeleri çeşitlerini okumakta ve yazmakta kullanılırlar.

Kaynak: Fanuc Serisi 21i-TB (2006).

3.3 Bağımsız Değişken Tanımlama

Bir makro çağrısında, çağrılan makronun yerel değişkenlerine istenen başlangıç değerlerinin iletilmesi için belirli harf adresleri kullanılabilir. Buna bağımsız değişken tanımlama denir. Değişken tanımlamanın iki yöntemi mevcuttur (Sinha, 2010).

3.3.1 Bağımsız değişken tanımlama 1

Makro uygulamalarının büyük çoğunluğu, bu değişkenleri kullanmaktadır. Bu değişkende 21 bağımsız değişken yerel değişken olarak atanmaktadır. G65 makro çağırma parametresi ile tanımlanıp iletilirler.

Çizelge 3.2: Bağımsız değişkenlerin 1. yöntemle kullanımı

Değişken Adı	Değişken No.	Değişken Adı	Değişken No.	Değişken Adı	Değişken No.
A	#1	I	#4	T	#20
B	#2	J	#5	U	#21
C	#3	K	#6	V	#22
D	#7	M	#13	W	#23
E	#8	Q	#17	X	#24
F	#9	R	#18	Y	#25
H	#11	S	#19	Z	#26

Kaynak: Seçgin, Ö (2013).

1. yöntemle #10, #12, #14, #15, #16, #27, #28, #29, #30, #31, #32, #33 değişkenlerine harfler kullanarak değer atamak mümkün değildir. Bu değişkenlere diğer yöntemler aracılığı ile işlemler yaptırılabilir.

3.3.2 Bağımsız değişken tanımlama 2

1.bağımsız değişkendeki 21 yerel değişkenden daha fazla değişkene ihtiyaç olması halinde 2. Değişken tanımlama kullanılır. 2.yöntemle A, B, C harfleri 1 kere I,J,K harfleri 10 kere kullanılabilir, böylelikle değişken sayısı 33'e çıkmış olmaktadır. (Smid, 2005)

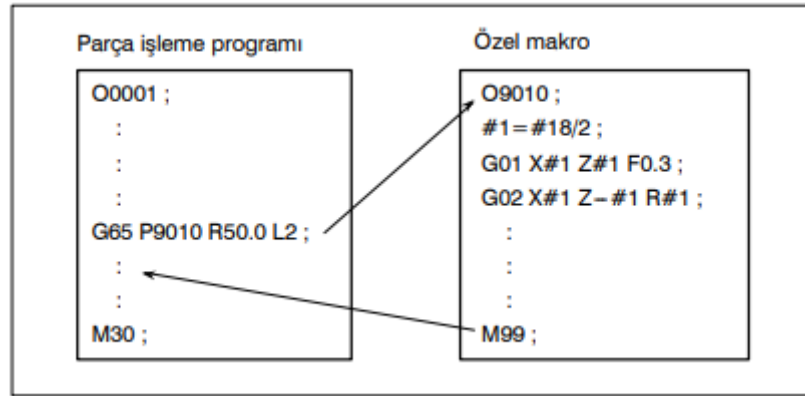
Çizelge 3.3: Bağımsız değişkenlerin 2. yöntemle kullanımı

Değişken Adı	Değişken No.	Değişken Adı	Değişken No.	Değişken Adı	Değişken No.
A	#1	K ₃	#12	J ₇	#23
B	#2	l ₄	#13	K ₇	#24
C	#3	J ₄	#14	l ₈	#25
l ₁	#4	K ₄	#15	J ₈	#26
J ₁	#5	l ₅	#16	K ₈	#27
K ₁	#6	J ₅	#17	l ₉	#28
l ₂	#7	K ₅	#18	J ₉	#29
J ₂	#8	l ₆	#19	K ₉	#30
K ₂	#9	J ₆	#20	l ₁₀	#31
l ₃	#10	K ₆	#21	J ₁₀	#32
J ₃	#11	l ₇	#22	K ₁₀	#33

Kaynak: Seçgin, Ö (2013).

3.4 Alt Program

Bir alt program, belirli bir program numarasına sahip diğer herhangi bir program gibi CNC'nin belleğinde saklanan bir programın parçasıdır. Tam bir program değildir ve bir ana program, başka bir alt program veya bir makro olabilen başka bir program tarafından çağrılmak üzere tasarlanmıştır. Bir alt program, başka bir program içinde kullanılmadıkça, kendi başına genellikle anlamsız olacaktır (Fanuc Serisi 21i-TB, 2006).



Şekil 3.1: Program içerisinde alt programın çağırılması

Kaynak: Fanuc Serisi 21i-TB (2006).

3.5 Yönlendirme Komutları

Program esnasında döngü oluşturmak veya belirli bir koşula bağlı olarak programın devamını sağlamak mümkündür. Bunun için aşağıdaki komutlar kullanılır (Fanuc Serisi 21i-TB, 2006).

3.5.1 Koşulsuz dallanma komutu (GOTO yönergesi)

GOTO komutu ile komut sonrasında tanımlanan ifadenin gerçekleştirilmesi sağlanır. Ayrıca GOTO komutu ile satır atlama veya bir koşula bağlı olarak da komut yazılıp işlem yaptırılabilir.

Örnek:

GOTO 10; (10 numaralı satıra git)

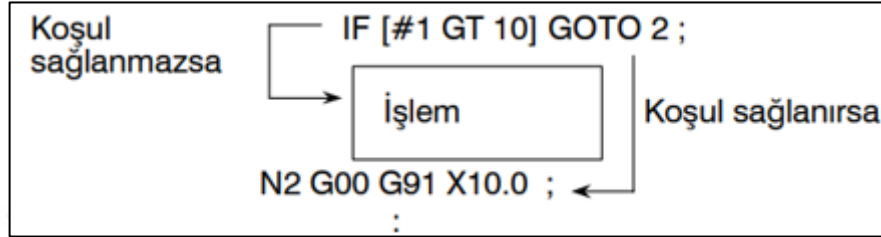
GOTO 12; (12 numaralı satıra git)

3.5.2 Koşullu dallanma komutu (IF yönergesi)

IF komutu ile program içerisinde karşılaştırma yapılabilir böylelikle bunun sonucuna göre programın devamlılığı sağlanabilir.

Örnek:

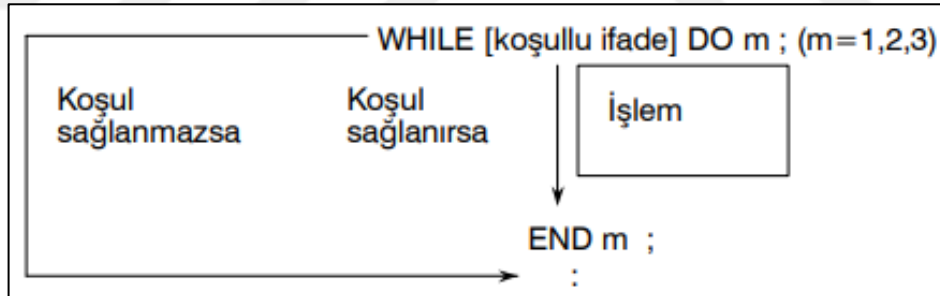
Değişken #1'in değeri 10'dan büyükse, sıra numarası N2'ye kadar bir genişleme oluşur.



Şekil 3.2: IF komutu kullanımı

3.5.3 Tekrarlı dallanma komutu (WHILE yönergesi)

While'dan bir koşullu ifade belirtilir, koşul kendi içerisinde sorgulanarak tamamlanıp tamamlanmadığı kontrol edilir. Döngü tamamlanana kadar yürütülmeye devam edilir.



Şekil 3.3: WHILE komutu kullanımı

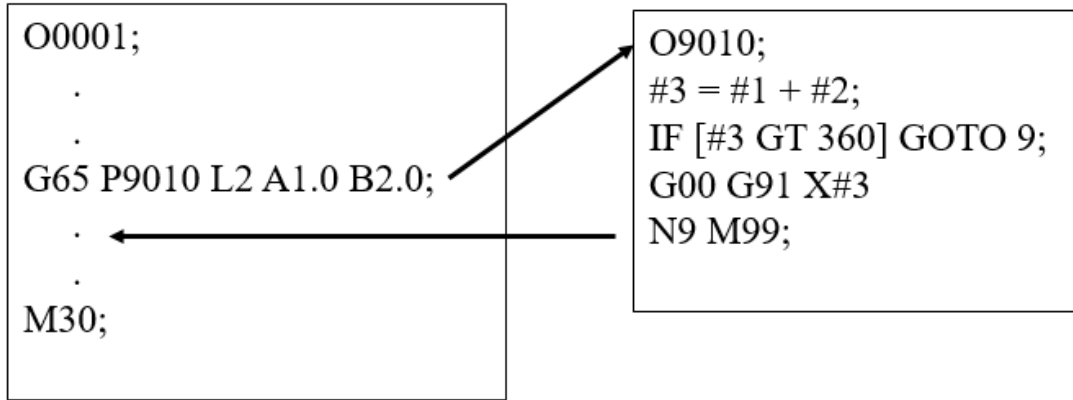
3.6 Makroların Alt Program Olarak Çağırılması

Makro programlar, program içerisinde 2 farklı şekilde çağırılarak alt program olarak kullanılabilir;

3.6.1 G65 komutu ile çağırma (Basit çağırma)

Program içerisinde G65 komutundan sonra P _ _ _ _ komutu ile çağırılmak istenen makro alt programı belirtilir. Bu komut için genellikle 8000 veya 9000 seri numaraları kullanılır. Alt programdan ana programa dönmek için, alt program içine

M99 komutu eklenerek ana programa dönülüp bir sonraki satırdan komutlar okunmaya devam edilir (Sinha, 2010).



Şekil 3.4: G65 komutu kullanımı

3.6.2 G66 komutu ile çağırma (Modal çağırma)

Program içerisinde bir makro birkaç kez kullanılacak ise G66 komutu ile çağırılır. Kullanım şekli G65 komutu ile aynıdır. Komutun iptali için G67 komutu kullanılır

Aynı işlem birden fazla yapılması istendiğinde G65 komutu tekrar tekrar çağırılması gerekir. Bu durum, bir değişiklik yapılması gerektiğinde iş yükü oluşturmaktadır. Bu nedenle G66 Modal çağrı komutu ile kullanılır.

G66 komut kullanımı G65 ile aynıdır. Buradaki önemli fark G66 içerisinde makronun Modal veri olarak saklanabilmesidir. G66 bloğunda belirtilen değerler makroya yalnızca ilk çağrısında iletilir. G67 ile karşılaşılmaya veya başka bir G66 komutu verilene kadar tüm diğer çağrılar, önceki yürütmeden elde edilen yerel değişkenler için güncellenmiş değerleri kullanır. (Sinha, 2010).

4. LİTERATÜR TARAMASI

Parametrik programlama, benzer tasarıma sahip parçalar için tek bir CNC programı oluşturma, özel tasarım özelliklerini işlemek için makrolar icat etme ve tasarım açısından benzer olmayan ancak benzer işleme operasyonları gerektiren bir grup parça için alt programlar geliştirmede CNC operasyonlarına uygulanır. Parametrik programlama, parça programlama süresini önemli ölçüde azaltabilir ve bu uygulamalar özellikle benzer parçaların gruplandırıldığı ve daha sonra takım tezgâhı veya işleme merkezi tarafından işlendiği grup teknolojisi üretimine uygundur. (Razak ve diğerleri, 2013)

Al'Hapis ve diğerleri (2012), Makro program kullanarak "Unsur tabanlı işleme" (FBMM) çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada diyagram üzerinden ön hazırlık yapılmaktadır. Ön hazırlıktaki amaç, üretim esnasında olası hataları önleme amaçlı kontrol mekanizması sağlamaktadır. Böylelikle hata alınan bölgeye daha hızlı müdahale edilebilmektedir. Yapılan çalışmada alüminyum, paslanmaz çelik ve yumuşak çelik materyalleri programlanmıştır. Diyagramda herhangi bir yanlış parametre uygulandığında, CNC'de bir uyarı mesajı görüntülenecektir. Parametredeki hata düzeltildikten sonra, malzeme tipine uygun bir makro programı seçilecektir. Bu makro program ile işlem yapılacak uygulamanın konumu, iş mili hızı, kesme ilerleme hızı, talaş derinliği, toplam derinlik, takım numarası ve işlenecek malzeme türü otomatik şekilde gelmektedir.

Joshi ve arkadaşları (2016), yaptıkları çalışmada, imalat dünyasında gelişen teknoloji ile eğri şekillerin işlenmesinin gerekliliği konusuna değinmişlerdir. Arşimet spiralini ele alarak yaptıkları deneyde, CAD programına ihtiyaç duymadan makro ile Arşimet spiralinin üretilebilirliğini ispatlamışlardır (Joshi & Desai & Raval, 2016).

Bu deneyde ayrıca, makro programlamanın yüzey pürüzlülüğü açısından da olumlu etkisine değinilmiştir. Joshi vd. Arşimet spiralini konvansiyonel yöntem ve makro program ile yaparak sonuçları karşılaştırmışlardır. Karşılaştırma da program boyutu, satır uzunluğu ve süre üzerinde durulmuştur. Ayrıca yaptıkları inceleme de makro

program ile yapılan deneyin yüzey pürüzlülük açısından da daha iyi sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Çizelge 4.1’de makro ve konvansiyonel yöntem ile yapılmış parçaların yüzey pürüzlülük karşılaştırılması gösterilmiştir. Geleneksel yöntem ile pürüzlülük 3,884 mikron, makro yöntemi ile 3,009 mikron olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1: Yüzey pürüzlülük sonucu

Surface Roughness (μ)			
Sr	Conventional programming	MACRO programming	Difference
1	3.951	2.894	1.057
2	3.892	2.977	0.915
3	3.967	2.841	1.126
4	3.882	3.184	0.698
5	3.853	3.014	0.839
6	3.858	3.146	0.712
7	3.831	3.259	0.572
8	3.785	2.873	0.912
9	3.783	2.881	0.902
10	3.842	3.112	0.730
11	3.549	2.951	0.598
12	3.814	2.971	0.843
Avg	3.834	3.009	
Std dev	0.106	0.136	

Kaynak: Joshi & Desai & Raval, (2016).

Gaga ve Dilibal (2020), CNC tezgahlarda parça işleme üzerine yapmış oldukları çalışmada, havacılık sektöründe sıkça kullanılan kompozit malzemelerin işlenmesi konusunda çalışmalar gerçekleştirmiştir. 3 farklı tipteki kesici takım ve farklı parametrelerde gerçekleştirdikleri deneyde, devir ve ilerlemenin yüzey pürüzlülüğü sonucu oluşan deformasyonlar hakkında bilgiler aktarmışlardır. Deney sonucunda gerçekleştirilen çalışmalarda ilerlemenin artması ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı, ağız sayısının artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı ve dönme devrinin artması ile yüzey pürüzlülüğünün azaldığı tespit edilmiştir.

Rajput & Sarathe (2016), farklı sürücü sistemlere sahip 3 adet CNC tezgâhın karşılaştırılmasını gerçekleştirmiştir. Heidenhain 426 TNC, Sinumerik 840D ve Fanuc 21M sürücü sistemli tezgâhlarda, aynı geometrik şekle sahip parçalar farklı devir ve ilerlemeler ile işlenerek birbiri arasındaki farkları karşılaştırmışlardır. İşleme süresi açısından yapılan inceleme de Çizelge 4.2’de belirtildiği üzere Heidenhain kontrol sistemli tezgâhta sürenin daha iyi çıktığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.2: İşleme süresi karşılaştırılması

S.NO.	Makine Parametreleri	Geometri	HEIDENHAIN 426 TNC	SINUMERIK 840D	FANUC 21 M
1	F=450 SS=1500 DOC=5	RS	5:47:55	5:47:79	5:49:77
		CR 1	2:06:37	2:07:19	2:08:17
		CR2	2:55:05	2:55:58	2:58:15
2	F=500 SS=1650 DOC=5	RS	5:15:77	5:16:85	5:18:07
		CR 1	1:58:10	1:59:07	2:00:84
		CR2	2:42:26	2:42:93	2:44:48
3	F=550 SS=1800 DOC=5	RS	4:53:25	4:54:99	4:56:02
		CR 1	1:50:53	1:50:59	1:52:53
		CR2	2:31:76	2:31:92	2:32:50
4	F=600 SS=2000 DOC=5	RS	4:28:01	4:29:27	4:30:41
		CR 1	1:44:30	1:45:98	1:46:54
		CR2	2:19:68	2:20:03	2:21:84

Kaynak: Rajput & Sarathe, (2016)

H.N Fitter ve arkadaşları (2014), “Comparison of Parametrically Programmed Machining with CAM System Machining for C^0 Continuity Bezier Curves Based on Various Parameters” isimli çalışmalarında Bezier eğrisinin CAM program ve Parametrik program ile üretilebilirliği ve yüzey pürüzlülüklerine etkilerini araştırmışlardır.



Şekil 4.1: CAM ve parametrik program ile üretilmiş bezier eğrisi

Kaynak: H.N Fitter ve arkadaşları, (2014)

CAM programı olarak Mastercam programını kullanan Fitter ve arkadaşları, Parametrik programlama ile üretilen figürün CAM program ile üretilen figür

yüzeyindeki kesici takım izlerinden daha az görüldüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca CAM programın bellekte daha fazla yer kapladığını bu durumun veri işleme hızını etkilediğini belirlemişlerdir. Veri işleme hızı parça işleme süresinde de farklılık olmasına neden olmaktadır.

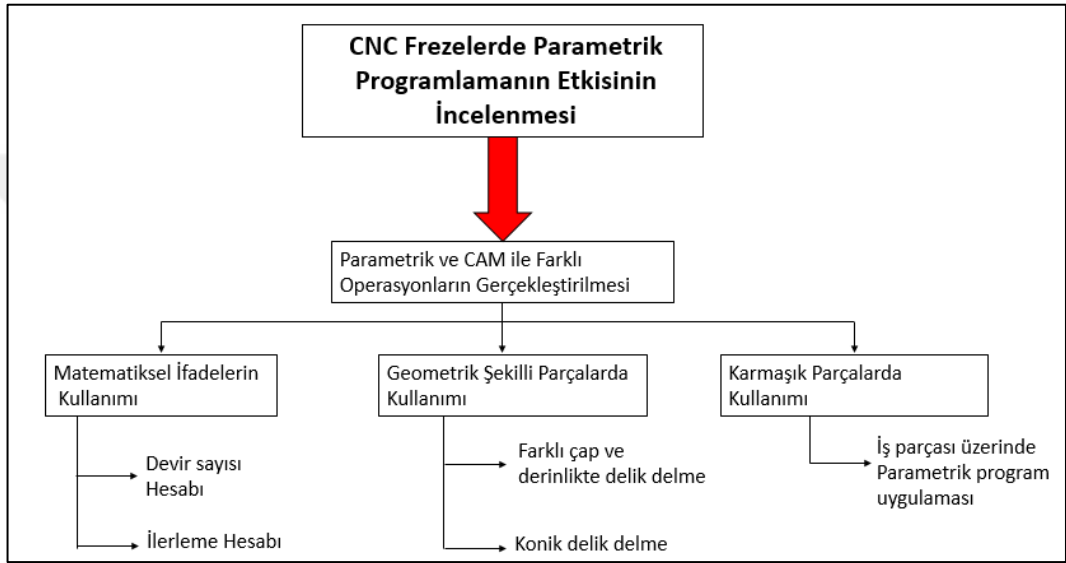
Varlık F. (1994). Ülkemizde Parametrik programlama hakkında bilimsel olarak ilk çalışma 1994 yılında Fatih Varlık tarafından gerçekleştirilmiştir. Varlık, çalışmasında dönemin CNC tezgâhları, programlamanın gelişimi, G ve M fonksiyonları hakkında bilgiler vermiştir. Program oluşturma esnasında ihtiyaç duyulan genel makro kodları hakkında örnekler aracılığı ile bahsetmesinin ardından, CNC torna ve CNC dik işleme tezgâhları için birer örnek makro program gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu örneklerde özellikle alt program gerektiren işlemlerde programı kısaltması sebebi ile makro programın avantaj sağladığını göstermiştir.

Savaş & Özay (2005), “CNC Tezgâhlarında Kamın Makro Programlanması ve İmalatı” isimli çalışmalarında, matematiksel denklemlerle tanımlanan şekillerin makro program ile imal edilebilirliğini göstermek için bir kam modeli oluşturmuşlardır. 2, 4, ve 6° olmak üzere 3 farklı kam modeli geliştirip, CNC’de imal ederek bunları yüzey pürüzlülük, ilerleme hızı ve döngü açılarının etkilerini incelemişlerdir. Yaptıkları inceleme de döngü açısının büyümesinin ilerleme hızını artırdığını, fakat bu durumun yüzey pürüzlülük değerini de artırdığını gözlemlemişlerdir.

Yapılan literatür çalışmalarında makro programın endüstrideki kullanımı ile ilgili fazla bir çalışma yapılmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada makro programlamada matematiksel ifadeler ile devir-ilerleme hesabı, geometrik şekillerin makro ile tasarlanması ve iş parçası üzerinde seçilen operasyonlarda iyileştirmeler araştırılmıştır. Ayrıca program boyutu, yüzey pürüzlülüğü ve zaman iyileştirmesi açısından incelemeler yapılmıştır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, parametrik program ile CAM yazılımları arasındaki farklılıkları, üstünlükleri farklı operasyonlarda inceleyerek incelemeler gerçekleştirilecektir. Şekil 5.1’de görüldüğü üzere çalışma 3 farklı adım da incelenecektir;



Şekil 5.1: Parametrik programlama ile uygulanacak konuların diyagramı

Birinci adımda; CNC tezgâhlarda sıkça değiştirilen ve yanlış girilmesi durumunda olası hasarlara sebep olacak olan devir hesabı ve ilerleme hesabının makro ile yazılarak matematiksel olarak hesaplanma yöntemi anlatılmıştır.

İkinci adımda; farklı çaplardaki üç adet delik ve konik deliklerin program satırı ve müdahale edebilme açısından, alüminyum malzeme üzerinde denemeler gerçekleştirilerek CAM ve makronun farklılıkları karşılaştırılmıştır. CAM ve makro program satır uzunluğu açısından karşılaştırma yapılmıştır.

Üçüncü adımda; CAM program ile endüstride üretilen Magnezyum döküm parçanın işlenmesi parça üzerinde belirlenen uygun bölgelerde makro program aracılığı ile oluşturularak denemeler gerçekleştirilmiştir. Bu parça üzerinden CAM ve makro programın işleme süresi, yüzey kalitesine etkisi ve kesici ucun aşınmasına yönelik araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

5.1. Matematiksel İfadelerin Kullanımı

Bir iş parçası üzerinde talaş kaldırma işlemi yapılması için tüm adımlarında bir hesaplama yapılması gerekmektedir. Parçanın mengene aracılığı ile ne kadar sıkılacağı, takımın kesme hızı, ilerleme hızı vb. bütün adımlarda doğru hesaplama yapılması önem arz etmektedir.

CNC makinelerde devir ve ilerleme hesabı belli değerlere göre hesaplanmaktadır. Bu değerlerin yanlış hesaplanması kesici takım, iş parçası veya CNC tezgâhlarda büyük hasarlara yol açabilmektedir. Parametrik programlama ile bu hesaplamalar tezgâhta yaptırabilir, bulunan değerler değişken olarak program içerisinde kullanılabilir.

Kesici uçların kutu ve kataloglarında işlenecek malzemeye göre uygun kesme hızları yazılıdır. Ayrıca bu kutu ve kataloglarda takımların hangi malzemeler için uygun olduklarını belirten harfler farklı renklerle kodlanmıştır. Şekil 5.2’de kesici uç kutusu üzerinde harfler ve renkleri belirtilmiştir.



Şekil 5.2: Kesici uç kutusu üzerindeki bilgiler

5.1.1 Devir sayısı hesaplama

Kesme hızı V_c ile ifade edilir. Kesme hızı değeri denklemi Eş. (5.1)’de tanımlanmıştır. Birimi metre / dakika’dır. Kesme hızı, kesme ucunun 1 dakika içerisinde gitmesi gereken mesafedir. Bu değer gereğinden fazla gerçekleştiğinde

titreşime, uç aşınmasına az olduğunda ise kötü yüzeye, talaş yığılmasına ve uç üzerinde küçük çatlaklara yol açmaktadır (Kesme Hızı Hesapları). π sayısı 3,14 olarak kabul edilmiştir. Kullanılacak olan çap formülde D (diameter) ile gösterilmiştir. İş mili devri N ile gösterilmiştir.

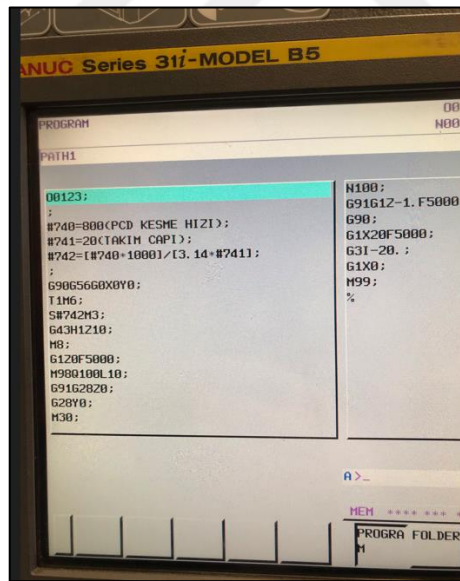
$$V_c = \frac{\pi \times D \times n}{1000} \quad (5.1)$$

V_c değeri kesici uç kutusu veya katalog üzerinde belirtilir. Şekil 5.2'de kesici uç kutusu üzerinde V_c değeri kırmızı dikdörtgen içerisinde belirtilmiştir.

Devir sayısı denklemi Eş. (5.2);

$$n = \frac{V_c \times 1000}{\pi \times D} \quad (5.2)$$

Parametrik programlama sayesinde bu hesabı makineye yazabilir, değişken olarak atadığımız değerleri kullanarak hesaplama yapabiliriz. Şekil 5.3'de CNC kontrol ekranında yazılmış kod görülmektedir.



Şekil 5.3: CNC kontrol ekranında kesme hızı hesabı

Şekil 5.4'de gösterilen kesici uç kutusu üzerinde yazan V_c değeri aralığından uygun değer seçilerek #740 numaralı değişkene atanmıştır. #741 numaralı değişkene kesici takım çapı girilmiştir. #742 numaralı değişkende devir sayısı hesabı yapılır.

Bu değişkenlerin kaydedildiği sayfada #742 numaralı değişken matematiksel ifade hesaplanmış şekilde aktarılır. Şekil 5.4’de değişken sayfasında kaydedilmiş hali bulunmaktadır.

NO.	DATA	NO.
00740	800.0000	00752
00741	20.0000	00753
00742	12738.854	00754
00743	0.0000	00755
00744	0.0000	00756
00745	0.0000	00757
00746	0.0000	00758
00747	0.0000	00759
00748	0.0000	00760
00749	0.0000	00761
00750	1.0000	00762
00751	0.0000	00763

Şekil 5.4: Kesme hızı değerlerinin makro ekranına aktarılması

Bu değişkenler program içerisinde kullanılabilir, ayrıca bu yöntem ile sadece kesme hızı ve takım çapı değiştirilerek başka programlar içinde kullanılabilir. Bu yöntem uzun bir programda her defasında parametrelerin değiştirilmesi, unutulması gibi sorunları ortadan kaldırmaktadır.

5.1.2. İlerleme hesabı

İlerleme hızı V_f ile ifade edilir. İlerleme hızı değeri denklemi Eş. (5.3)’de tanımlanmıştır. Kesici takımın iş parçasında, bir dakikada mm cinsinden aldığı yol olup, birimi mm/dakika’dır. İş mili devri N ile gösterilmiştir. Ağız başına ilerleme F_z ile tanımlanmıştır. Kesici ağız sayısı z ile gösterilmiştir.

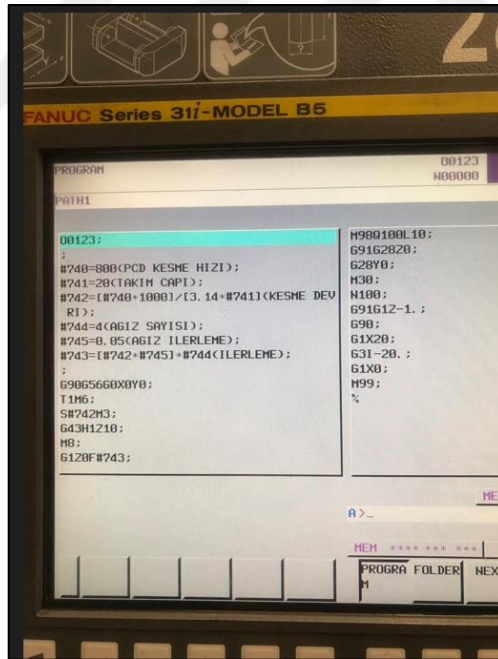
İlerleme hesabı denklemi Eş. (5.3);

$$V_f = N \times F_z \times z \quad (5.3)$$

Kesici takımın iş parçası üzerinde doğrusal olarak bir dakikada/devirde mm cinsinden aldığı yolun uzunluğudur. İlerlemeyi hesaplarken dikkate alınacak hususlar şunlardır:

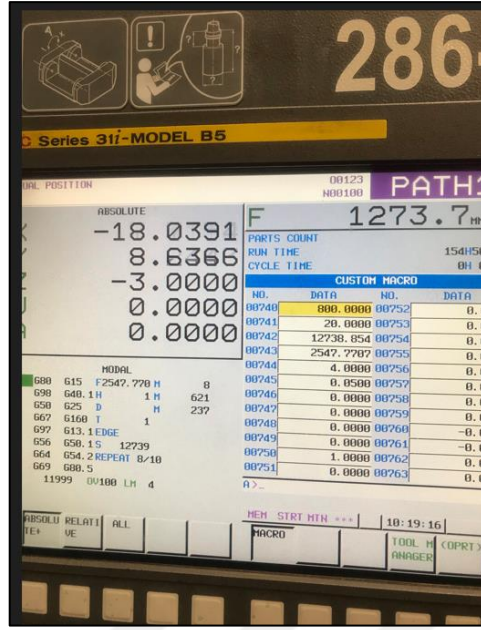
- Kesilecek talaş derinliği
- Talaş kaldırma yöntemi
- İstenilen yüzey kalitesi
- Kullanılacak kesme sıvıları

'Devir Sayısı Hesaplama' adlı konu başlığı altında yer alan örneğin devamı olarak ilerleme hızı CNC kontrol ekranına yazılır. Şekil 5.5'de görüldüğü üzere #744 numaralı değişkene ağız sayısı bilgisi, #745 numaralı değişkene ağız başı ilerleme bilgisi girilir. #743 numaralı değişkene ilerleme hızı formülü girilerek işlem yaptırılır. (CNC Tezgâhlarında Devir ve İlerleme Hesabı, 2022)



Şekil 5.5: CNC kontrol ekranında ilerleme hızı hesabı

Şekil 5.6'da girilen değişkenler ve yapılan matematiksel işlemlerin sonucu değişkenlerin kaydedildiği sayfada görülebilmektedir.



Şekil 5.6: İlerleme hızı değerlerinin makro ekranına aktarılması

5.2. Geometrik Şekillerin Üzerinde Kullanımı

Parametrik programlamanın en yaygın kullanım şekli, boyutsal olarak farklı şekil olarak aynı olan üretimlerde daha hızlı bir şekilde değişiklik yapılmasına imkân tanınmasıdır. Bu deneyde farklı geometrilere sahip şekiller parametrik programlama ile üretilerek avantajları incelenmiştir. Denemeler, Şekil ...'da görünen AL 5083 alaşımlı alüminyum malzeme üzerinde gerçekleştirilmiştir. Alüminyum tercih edilmesinin sebebi işleme açısından yumuşak bir malzeme olmasından kaynaklıdır. Kullanılan Alüminyum malzemenin kimyasal özellikleri aşağıdaki Çizelge 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1: Alüminyum 5083 kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Bileşimi

Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
0,40	0,40	0,10	0,40 -1,0	4,0 -4,9	0,25	0,05 - 0,25	0,15	0,15

Mekanik Özellikler

Temper	Akma Mukavemeti (Mpa)	Çekme mukavemeti (Mpa)	Uzama (%50)	Sertlik (Brinell)
-	min-max	min - max	min - max	min - max
0/ H111	125 - 145	275 - 300	22	70 - 75

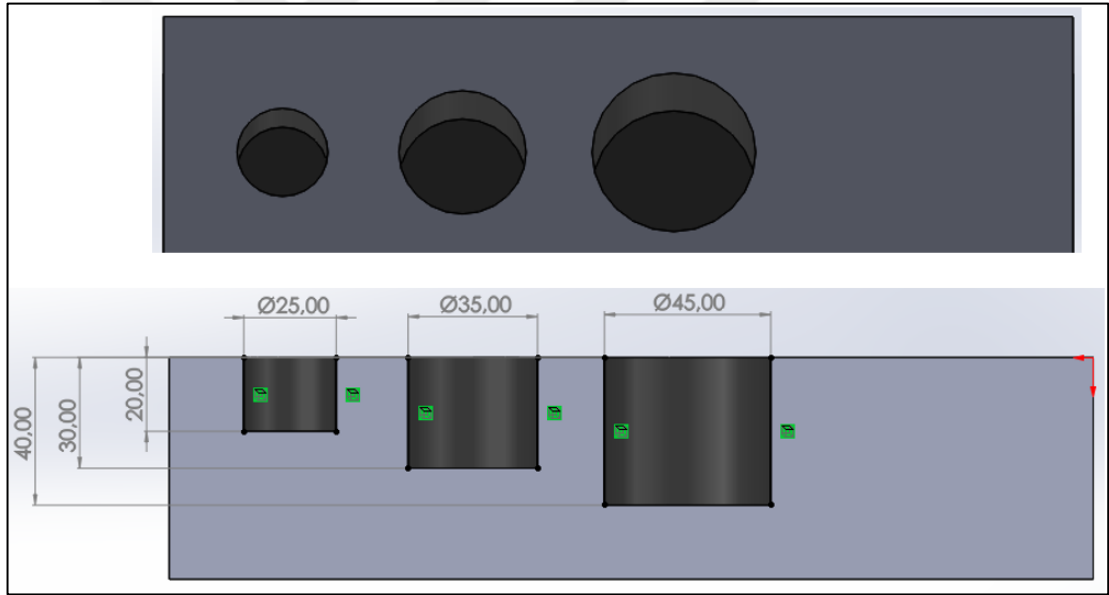
Kaynak: (<https://seykoc.com.tr/icerik/5083?dil=tr>)

5.2.1. CAM ile geometrik şekillerin üretimi

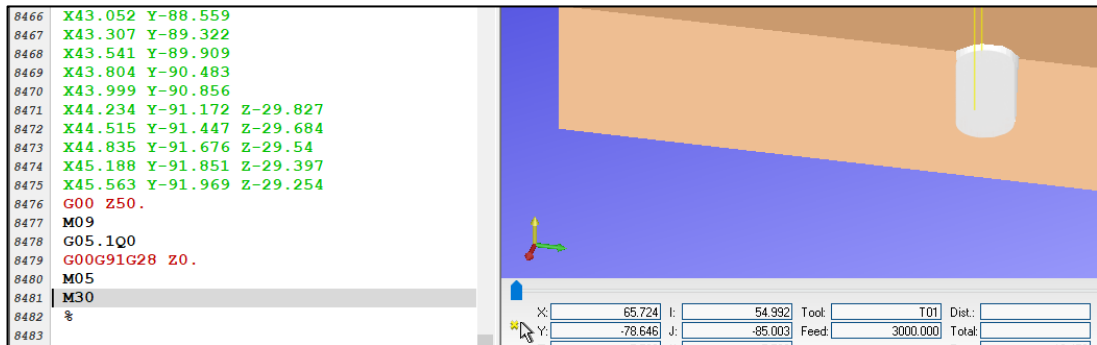
Bu çalışmada delik delme ve konik delik işleme operasyonları CAM programı açısından incelenecektir.

Delik Operasyonları

CAM (Computer-Aided Manufacturing) programları, makine endüstrisinde büyük kolaylıklar sağlasa da CAM programlarına müdahale edebilme kısmında bazı eksiklikler vardır. Boyutsal farklılık bulunan şekiller için tekrar CAM yapılması gerekmektedir. Bu durum zaman ve iş kaybı olarak geri dönmektedir. Şekil 5.7’de farklı çap ve derinliklere sahip delik operasyonu için detaylar görülmektedir. Şekildeki deliklerin işlenmesi için gerekli CAM programı hazırlanmıştır. CAM programı şekil 5.8’de CIMCO isimli simülasyon programında incelenmiştir.



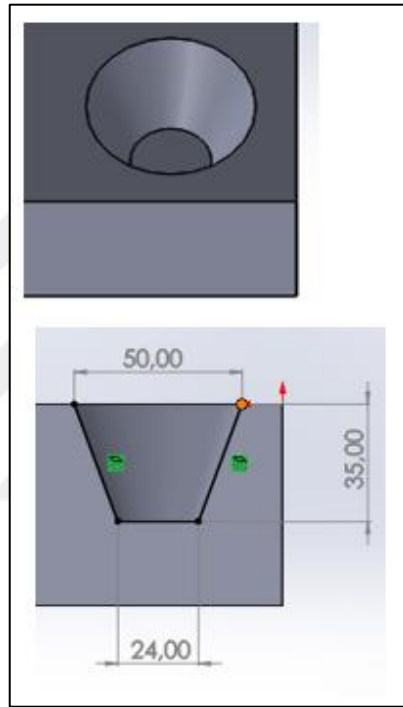
Şekil 5.7: Farklı çap ve derinliklerde delik ölçüleri



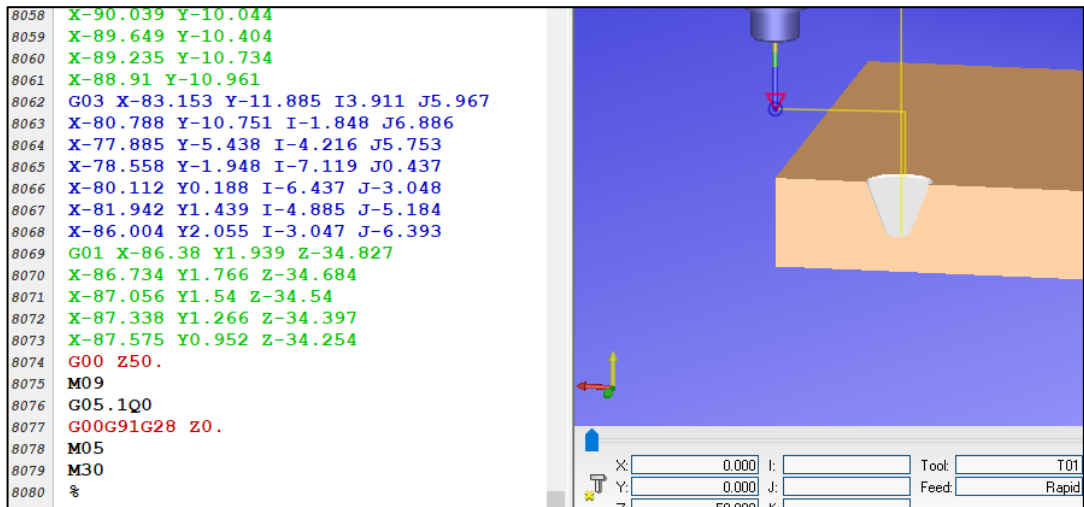
Şekil 5.8: CAM ile yapılmış programa ait simülasyon

Konik Delik Operasyonları

Manuel olarak yazılamayacak tüm proseslerdeki işlemler için CAM ile program hazırlanabilir. Bunlardan bir tanesi de konik işlemlerdir. Konik deliklerin manuel olarak programını yazmak mümkün değildir. Bu nedenle CAM ile hızlı ve pratik şekilde istenilen işlem hazırlanabilir. Şekil 5.9’da konik delik çizimi ve şekil 5.10’da simülasyon çalışması görülmektedir.



Şekil 5.9: Konik delik çizimi



Şekil 5.10: CAM ile yapılmış programa ait konik delik simülasyonu

5.2.2. Parametrik program ile geometrik şekillerin üretimi

Delik Operasyonları

Makrolar, CNC tezgah üreticileri tarafından tezgaha yüklenen özelliklerdir. Bu özelliklerin bazıları kapalı konumda gelmektedir. İhtiyaç halinde yetkili servislerden makrolar aktif hale getirilebilir.

Kolay kullanımı ve yaygınlığı sebebiyle dünyada en çok kullanılan CNC tezgah markası ve kontrol ünitesi Fanuc markasına aittir. Fanuc Robodrill α -D21MiB5 modeline ait bazı teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 5.2’de görünmektedir.

Çizelge 5.2: Fanuc Robodrill α -D21MiB5 teknik özellikleri

Tutucu Tipi	BBT - 30
Max. Takım bağlama Çapı	Ø80
Max. Takım Boyu	250mm
Max. Takım Ağırlığı	3
Devir	24000 rpm
X -Y - Z Ölçüleri	500 / 400 / 330 mm

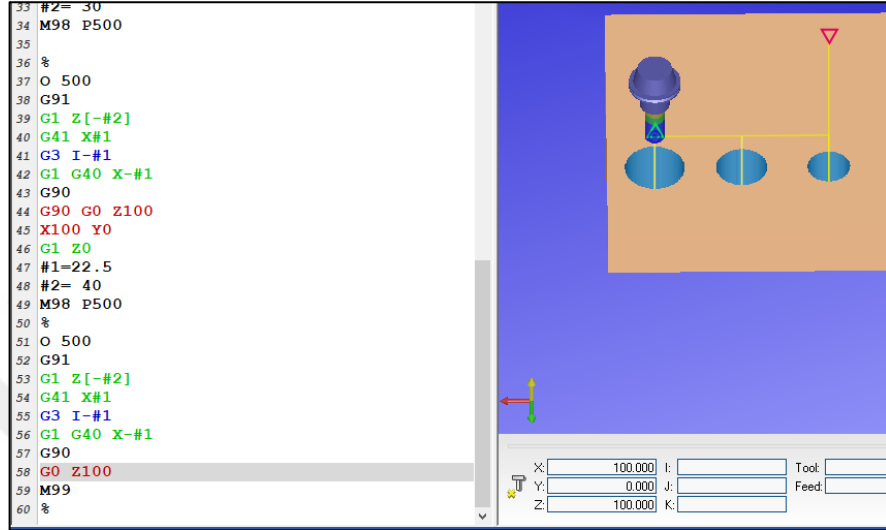
Kaynak: (<https://www.fanuc.eu/tr/tr/robodrill-ib/robodrill-modelleri>)

Bu bölümdeki delik operasyonlarının makro program denemeleri Şekil 5.11’de görülen CNC tezgâhta yapılmıştır.



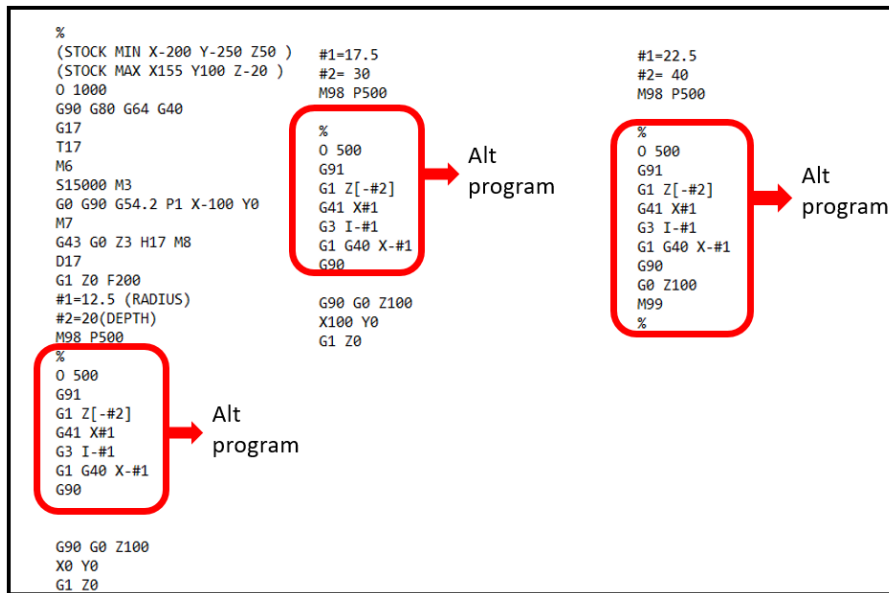
Şekil 5.11: Fanuc CNC işleme tezgâhı

Bu aşamada bir önceki bölümde incelenen operasyonlar, parametrik program ile incelenecektir. Şekil 5.12’de farklı çap ve derinlikteki 3 delik makro program ile daha kısa ve hızlı bir şekilde hazırlanabilir. Ayrıca çap ve derinlikte değişiklik yapılmak istendiğinde belirtilen değişkenlerdeki değerler değiştirilerek üretilmesi mümkündür.



Şekil 5.12: Makro program yapılmış delik delme Simülasyonu

Şekil 5.13’de burada çap ve derinlik bilgileri değişkenlere atanır, ardından alt programda delik delme için hazırlanan program çağırılarak (P500 ile) interpolasyon yöntemi ile delik delme işlemi gerçekleştirilir.



Şekil 5.13: Makroda yapılmış delik delme programının alt program ile gösterimi

Çizelge 5.3: Mg AZ91D alaşımına ait kimyasal ve mekanik özellikler

Kimyasal Bileşimi

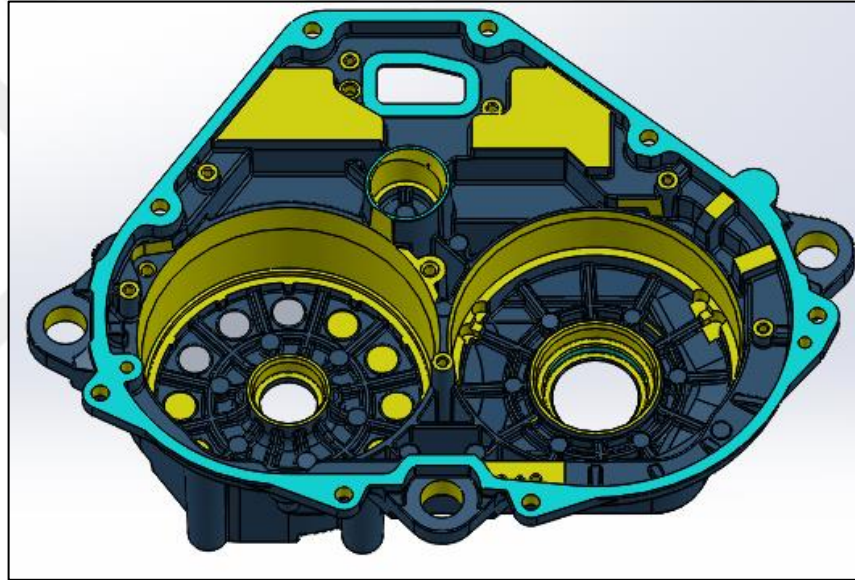
Malzeme	Al	Mn	Zn	Si	Cu	Fe	Ni	Mg	Diğer
Oran (%)	8.3 - 9.7	0.15 - 0.40	0.35 - 1	0.1	0.03	0.005	0.002	Kalan	0.02

Mekanik Özellikler

Elastik Modülü (Gpa)	Akma Mukavemeti (Mpa) min-max	Çekme mukavemeti (Mpa) min - max	Uzama % min - max	Sertlik (Brinell)
45	160	240 - 250	3 - 7	63

Kaynak: (<https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=9219>).

Türkiye’de ilk ve tek Mg basınçlı döküm yapan Torun Metal A.Ş. Şekil 5.15’de gösterilen elektrikli bisikletin güç aktarma ünitesine ait gövde parçası üretmektedir.



Şekil 5.15: Gövde parçası 3D gösterimi

5.3.2. CNC işleme

Magnezyum malzeme, yanıcı özelliğinden dolayı CNC’de işleme esnasında da özen gösterilmesi gereken bir malzemedir. Şekil 5.16’da görünen Chiron marka CNC tezgâhta işlenen gövde parçası, birçok koruyucu sistem ile birlikte çalışmaktadır. Ayrıca kıvılcım oluşturma ihtimaline karşılık soğutma sıvısı olarak ‘kesme yağı’ adı verilen bir yağ çeşidi kullanılmaktadır.



Şekil 5.16: Chiron FZ 15W tezgâhı

Chiron FZ 15W çift tablalı tezgâha ait önemli bazı teknik bilgiler şöyledir;

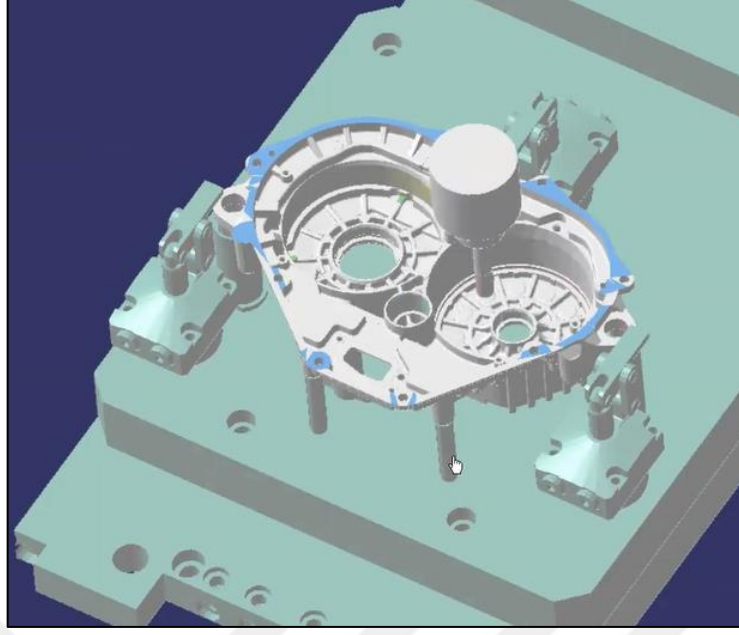
Çizelge 5.4: Chiron FZ 15W çift tablalı tezgâha ait teknik bilgiler

Tutucu Tipi	HSK -A 63
Max Takım bağlama Çapı	Ø78
Max. Takım Boyu	300 mm
Max. Takım Ağırlığı	10 Kg.
Devir	12000 rpm
X - Y - Z Ölçüleri	730 / 400 / 360 mm

Kaynak: (http://pcg-hungary.hu/pdf/chiron/Baureihe15_EN.pdf).

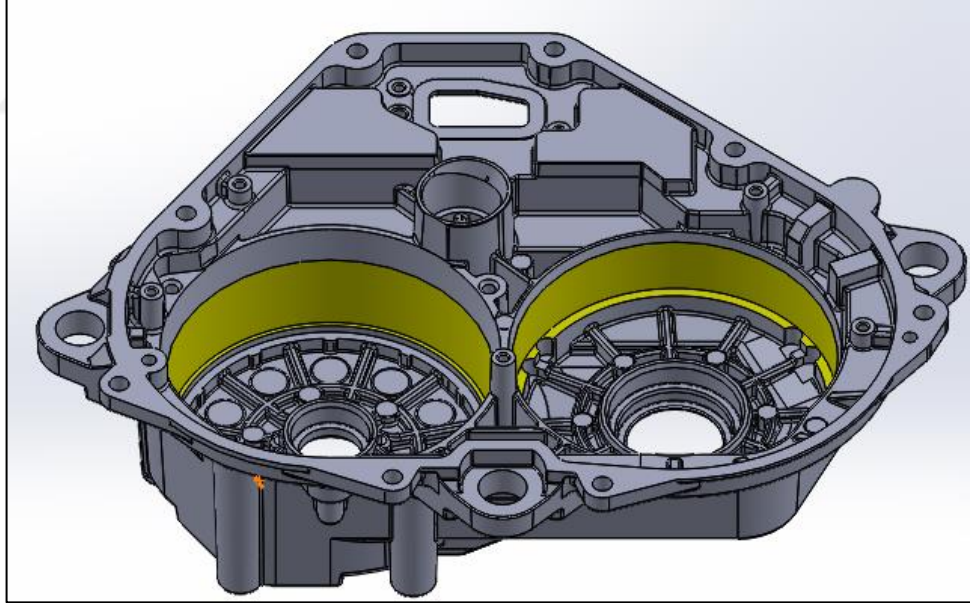
5.3.3. CAM ve makro program uygulaması

İş parçası programı, CATIA programına ait CAM’de hazırlanıp simülasyon çalışması yapılmıştır. Şekil 5.17’de simülasyon çalışmasına ait görüntü mevcuttur.



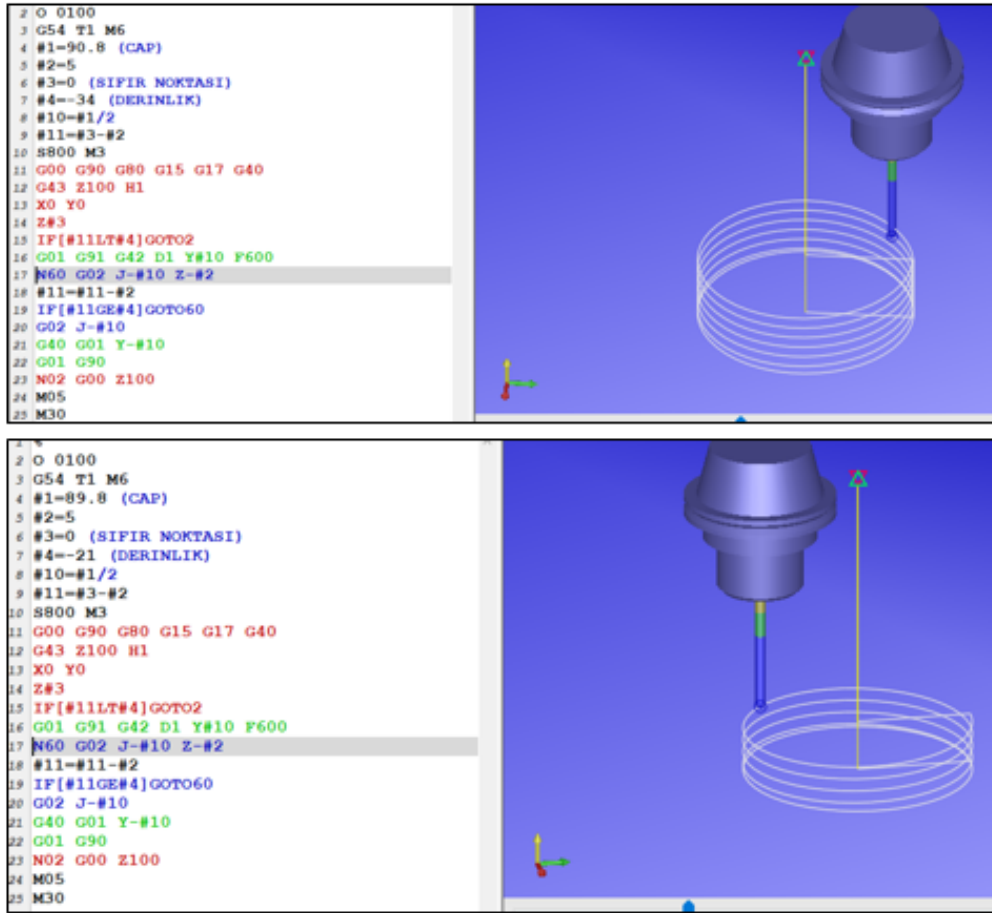
Şekil 5.17: CAM simülasyon çalışması

Şekil 5.18’de sarı renkle belirtilen iki bölge seçilerek burada makro program uygulanmıştır.



Şekil 5.18: Gövde parçasının makro program ile işlenen bölgelerinin gösterimi

Seçili çaplara ait makro program simülasyonu Şekil 5.19’da görülmektedir. Burada seçilen çaplar, değişken olarak atanarak, interpolasyon ile çevrimler gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.19: Makro ile çap simülasyonları

5.4 Yüzey Pürüzlülüğü Değerlendirilmesi

Parça yüzeyinde üretim esnasında meydana gelen, kesici takım izleri veya boyama sırasındaki hatalar ve dalgalılar sonucuna yüzey pürüzlülüğü denir (Yüzey Pürüzlülüğü, 2021).

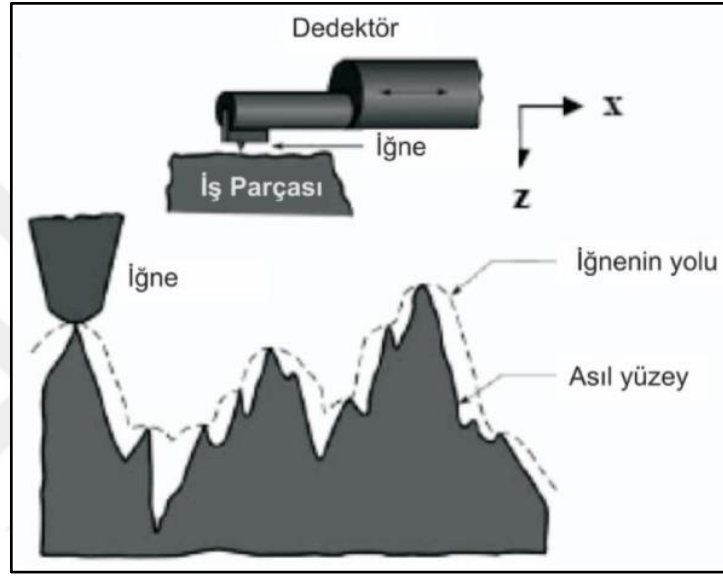
Parçaların, işlevini gerçekleştirecek mekanizma içerisindeki görevine göre tolerans ve yüzey pürüzlülüğü belirlenir. Gelişen teknoloji ile mikron seviyesindeki tolerans aralıklarında üretim yapılabilir. Bu durum yüzey pürüzlülüğüne de doğru orantıda etki etmektedir.

5.4.1 Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

Yüzey pürüzlülükleri birçok yöntemle belirlenebilir. En yaygın şekilde kullanılan ölçüm sistemleri temas uçlu (iğneli) ve 3D ışık-optik ölçüm sistemleri mühendislik alanında en yaygın kullanılan sistemlerdir. (Durakbasa & Osanna & Aksoy, 2007). Bu deneyde işlenen iş parçası temas uçlu ölçüm sistemi ile ölçülmüştür.

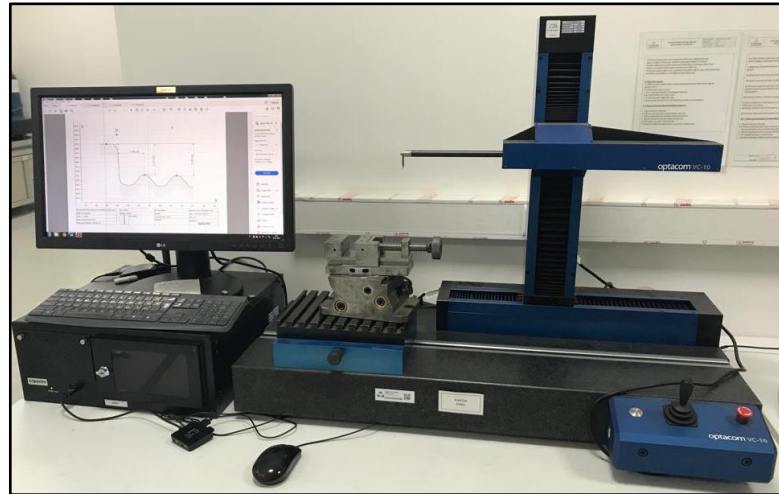
Temas Uçlu (İğneli) Ölçüm Sistemi

Şekil 5.20’de bir motor aracılığı ile sürücü ünitesine bağlı olan dedektör, iş parçası üzerinde ileri- geri hareket etmektedir. Dedektöre dik şekilde bağlı olan elmas uçlu iğne, dedektörün yatay hareketi esnasında parça yüzeyine dokundurularak, dikey hareket sonucu oluşan mekanik sapmaları sürücü ünitesi vasıtasıyla elektrik sinyaline çevirir. Bu elektrik sinyalleri yüzey pürüzlülük değeri olarak ekranda gösterilir (Demircioğlu, P. 2011).



Şekil 5.20: Temas uçlu (iğneli) ölçme sistemi çalışma prensibi

Şekil 5.18’de parçanın sol tarafında görülen $\varnothing 90,8$ ölçüsü makro ve CAM ile işlenen parçaların yüzey pürüzlülükleri Şekil 5.21’deki cihazda incelenmiştir.

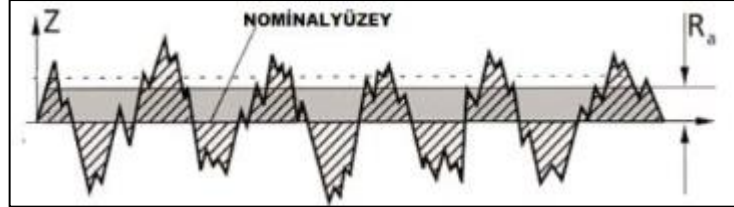


Şekil 5.21: Yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı

5.4.2 Yüzey ölçüm parametreleri

Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a)

R_z değeri, malzemenin merkezinden yukarı veya aşağı doğru gerçekleşen ölçülerin mutlak aritmetik ortalamasıdır (Yeşilay C, 2017).

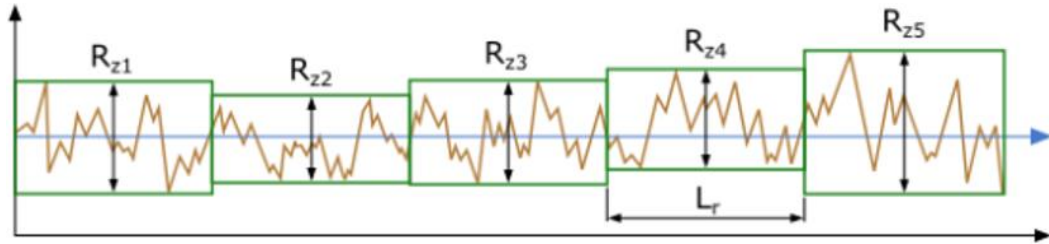


Şekil 5.22: Ortalama yüzey pürüzlülüğü gösterimi

Kaynak: <https://www.muhendislikbilgileri.com>, (2017)

Ortalama Pürüzlülük Derinliği (R_z)

Ölçüm mesafesi l_n içindeki beş ayrı ölçüm mesafesinden beş R_z değerinin ortalama değeri ile tanımlanır (Yüzey Ölçümü, 2018).



Şekil 5.23: Ortalama pürüzlülük derinliği gösterimi

Kaynak: <https://www.technisches-zeichnen.net/technisches-zeichnen/diverses/rauheitswerte.php>, (2008)

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında CNC’de üretilen bir iş parçası için, manuel olarak oluşturulan NC programlama ile doğabilecek hataları önlemek adına parametrik programlamanın avantajları ele alınmıştır. Program içerisinde birkaç yerde tekrar eden önemli parametreleri (devir, ilerleme vb.) makro ile değişken atayarak, olası hesap hataları matematiksel ifadeler ile en aza indirgenmiştir.

Birbirine benzer ama ölçüleri farklı olan üç adet delik delme işlemi için, atanan değişkenlerde değişiklik yapılarak aynı program ile delik delme işlemi tanımlanmıştır. Bu işlemi CAM ile yapıldığında, her delik delme ölçüsü için ayrı CAM programı hazırlanması gerekmektedir. Bu durum ekstra iş yükü oluşturmakta ve makine hafızasında fazladan yer kaplamaktadır. Şekil 5.12’de simülasyonu görülen programın uygulaması sonucu Şekil 6.1’de görülmektedir.



Şekil 6.1: Delik delme makro program uygulaması sonucu

Delik delme işleminde, üretilen bir delik için hazırlanan program satır sayısı sonuçları Çizelge 6.1’de görüldüğü üzere parametrik programlamada programın daha az satır sayısı ile hazırlanabildiği görülmüştür.

Çizelge 6.1: Delik satır sayısı karşılaştırması

Program Yöntemi	Satır Sayısı
CAM	8481 satır
Makro	23 satır

Yapılan diğer uygulamada ise manuel NC programlama ile üretilmesi mümkün olmayan ve yine bir önceki örnekte olduğu gibi CAM ile üretildiğinde, değişiklik yapılmasına imkân tanımayan konik delme işlemleri matematiksel ifadeler ile parametrik programlama sayesinde üretimi sağlanmıştır. Şekil 5.14’de simülasyonu görülen programın uygulaması sonucu Şekil 6.2’de görülmektedir.



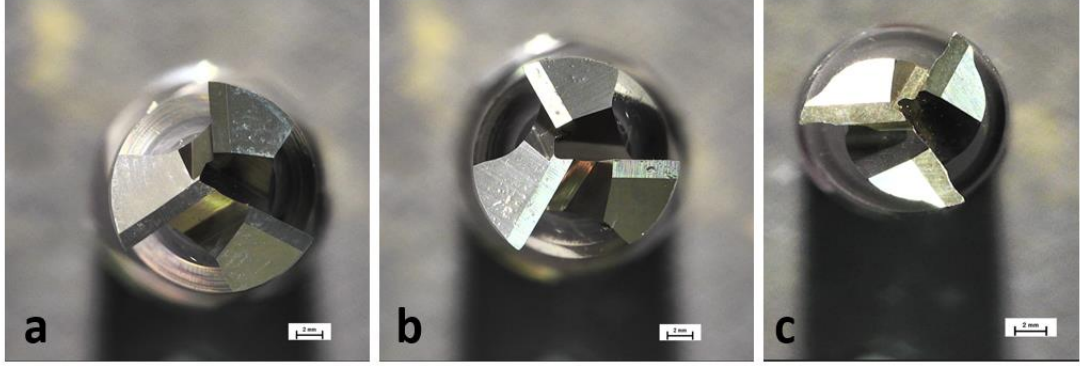
Şekil 6.2: Konik delik delme makro program uygulaması sonucu

Konik delik delme işleminde, üretilen bir delik için hazırlanan program satır sayısı sonuçları Çizelge 6.2’de görülmektedir.

Çizelge 6.2: Konik delik satır sayısı karşılaştırması

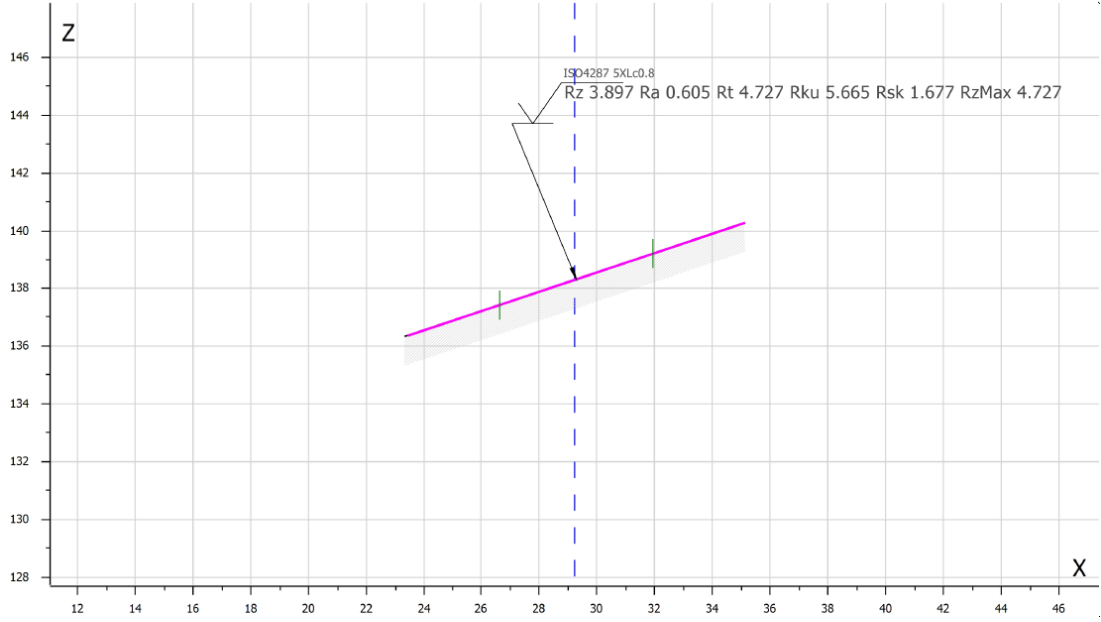
Program Yöntemi	Satır Sayısı
CAM	8079 satır
Makro	23 satır

İş parçası üzerinde yapılan çalışmalarda takım aşınması konusu da değerlendirilmiştir. Üretilen parçaların CAM ve parametrik programlamada karşılaştırmasını yapmak için seçilen deliklerden bir tanesi belirlenerek, iki yöntem için yüz adet parça üzerinde denemeler gerçekleştirilmiştir. Takım aşınmasına ait görsel Şekil 6.3’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü üzere aşınma değerleri birbirine yakın gözlemlenmiştir.

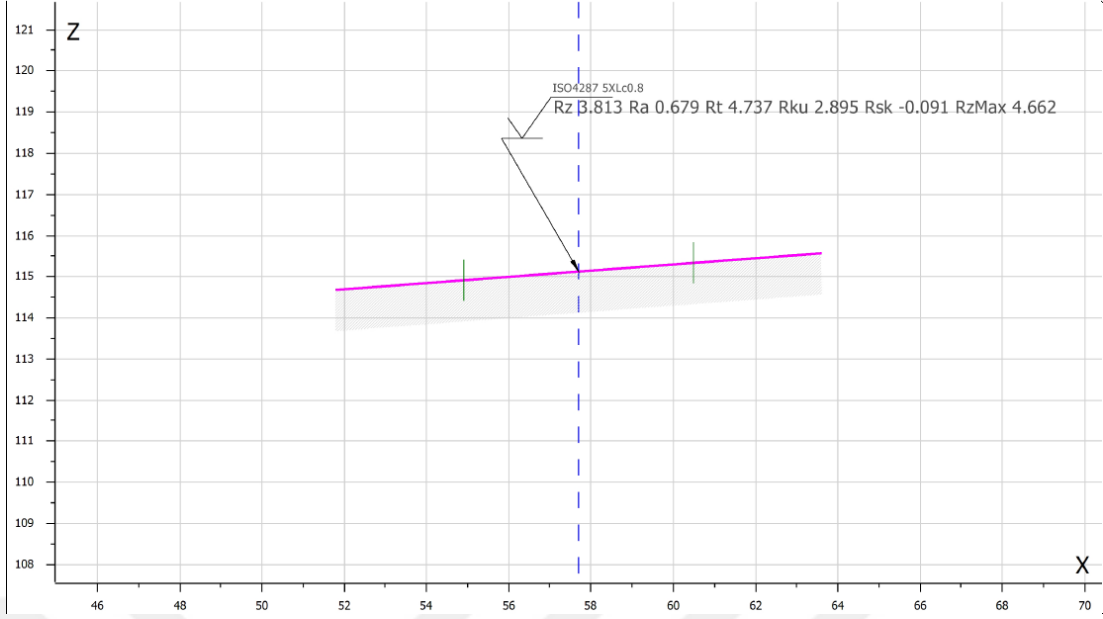


Şekil 6.3: (a) Yeni Takım, (b) Makro ile, (c) CAM ile yapılan deneme

Ø90,8 ölçüsü için, yüzey pürüzlülüğü açısından yapılan inceleme Şekil 6.4’de ve Şekil 6.5’de gösterilmektedir. Yapılan inceleme sonucunda parametrik programlamanın %2’lik farkla daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

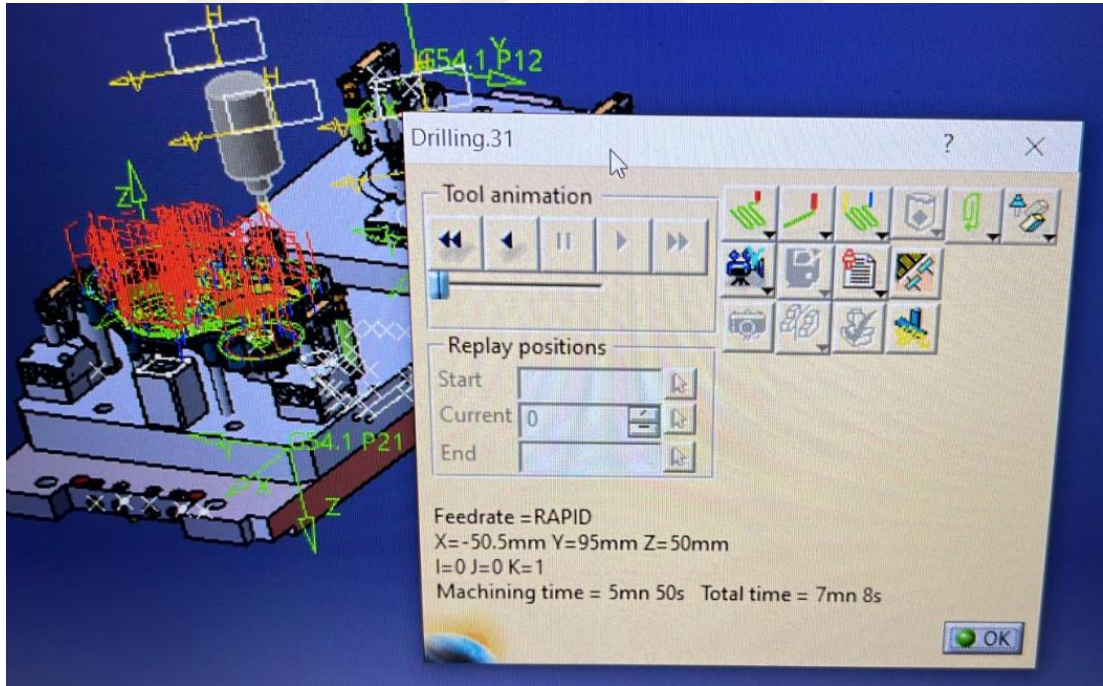


Şekil 6.4: CAM programı yüzey pürüzlülüğü değeri



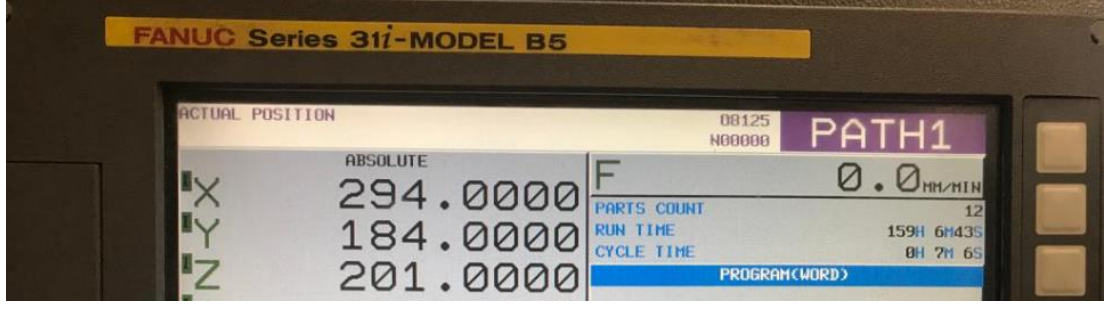
Şekil 6.5: Parametrik programlama yüzey pürüzlülüğü değeri

Şekil 6.6'da gösterilen simülasyon programında, işleme süresi 7 dakika 8 saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.6: CAM ile yapılan işleme simülasyonu

Şekil 6.7'de parametrik programlama ile yapılan işleme süresi 7 dakika 6 saniye olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.7: Parametrik programlama ile yapılan işleme süresi

Deney çalışmalarının yapıldığı tezgâh, Fanuc 31i-MB5 model kontrol paneline sahiptir. Bu model 1 MB NC bellek ve 4 ms blok işleme süresine sahiptir (Yöntemler: Takım Tezgâhlarının 5 Eksenli Köprü Tipi İşleme Merkezi, 2023). Parametrik programlama ile denemeler sonucu, iş parçası üzerinde toplamda iki saniyelik bir avantaj tespit edilmiştir. Parça yıllık üretim âdeti 250.000 adettir. Üç vardiyalı çalışma düzeninde, bir vardiyadaki üretim süresi 25.200 saniye (7 saat)'dir. Buna göre;

$$(250.000 \times 2) / 3600 = 138,8 \text{ saat}$$

Zamandan tasarruf sağlanacaktır. Yaklaşık olarak 6,5 iş günü kar edilmiş olur. İş parçası üzerinde, parametrik program uygulanabilecek daha çok geometriye sahip olması halinde, birim süre daha da düşürülerek daha fazla enerji tasarrufu gerçekleştirilebilir. Ayrıca seri imalat yapan firmalarda zaman/tasarruf kavramının önemliliği göz önünde bulundurulduğunda, tezgâh kapasitesi açısından büyük avantaj sağlanır. Bu süre içerisinde başka bir iş parçası üretimi yapılabilir.

İş parçasının üretimi yapılan Chiron CNC tezgâhı, teknik özelliklerine bakıldığında makine tam yük altında 15 kW ile çalışmaktadır. Günümüzde sanayide kullanılan birim elektrik fiyatı 4,63 TL'dir (EPDK). Buna göre elde edilebilecek karlılık Çizelge 6.3'te görünmektedir.

Çizelge 6.3: Zaman/tasarruf hesaplama tablosu

Kazanılan Süre	138,8 Saat
Makine Çalışma Esnasındaki Enerji Tüketimi (kW)	15 kw
Kazanılan Tüketim (kWh)	$138,8 \times 15 = 2082 \text{ kWh}$
Elektrik Birim Fiyatı (TL)	4,63 TL
Toplam Kazanç (TL)	$4,63 \times 2082 = 9639,66 \text{ TL}$

Öneriler

- Yapılan deneylerin benzerleri CNC torna tezgâhına da uyarlanarak torna içinde yapılabilirliği araştırılabilir.
- Parametrik program ile üretim esnasında oluşabilecek aksiliklere karşı tezgâha uyarı verdirerek geri dönüş alınabilmesi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- Koçlu, N.** (2002). *İşletmelerde Hizmet İçi Eğitim Etkinliğinin Değerlendirilmesi-Hipokrat A.Ş. CNC Birimi Uygulaması*. Çalışma Ekonomisi A.B.D. İnsan Kaynakları Programı Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Pabla & Adithan** (1994). Pabla B. S. & Adithan M. *CNC Machines*, New Delhi: New Age International (P) Limited, Publishers.
- 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.
- Cnc tezgâhların tarihçesi** 2021, Alındığı Tarih 07 Ocak 2023, <<https://www.alzotech.com/blog-post/cnc-tezgahların-tarihçesi-ve-tanıtımı/>> .
- Nc ve Cnc Tarihçesi** 2020, Alındığı Tarih 10 Ocak 2023, <<https://blog.parkurda.com/nc-ve-cnc-tarihçesi/>>.
- Sayısal Kontrol** 2022, Alındığı Tarih 17 Ocak 2023, <https://tr.wikipedia.org/wiki/Sayısal_kontrol#:~:text=Sayısal%20kontrol%20sistemlerinde%20tak%20B1m%20B1n%20konusunda%20gerçekleştirilen%20kontrol%20motoru.>.
- ITL ESL** (2004). *Introduction to Computer Science*, New Delhi: Pearson Education.
- Thyer, G. E.** (2014). *Computer Numerical Control of Machine Tools*, Oxford: Elsevier Science.
- El Wakil, Sherif D.** (2019). *Processes and Design for Manufacturing*, Third Edition, New York: CRC Press.
- Koshal, D.** (2014). *Manufacturing Engineer's Reference Book*, Oxford: Elsevier Science.
- Sarcar, M.M.M.** (2008). *Computer Aided Design and Manufacturing*, New Delhi: PHI Learning.
- Chavan, D.K.** (2019). *Basic Mechanical Engineering*, New Delhi: Amit Publisher and Distributors.
- Ali M,** (2018). *Numeric Control of Machine Tools*, Unit 1, Aligarh Muslim University, Uttar Pradesh.
- Waters, T.F.** (1996). *Fundamentals of Manufacturing for Engineers*, İngiltere: Taylor & Francis Group.
- Rausa, L.** (2021). *Cnc Basic Programming Course; For Lathes and Milling Machines*. New York: CNC Web School.
- Yılmaz, M.** (2007). *Cnc Programlama*. Ankara: Fersa Ofset.

- Huda, Z.** (2020). *Machining Processes and Machines: Fundamentals, Analysis and Calculations*. Amerika: CRC Press.
- Zhang, P.** (2010). *Advanced Industrial Control Technology*. Burlington, Amerika: Elsevier Science.
- Safavi, M.** (2009). *Computer Numerical Control (CNC)*. Alındığı tarih: 12.02.2023 <https://mosafavi.iut.ac.ir/sites/mosafavi.iut.ac.ir/files/files_course/cnc_1_0.pdf>.
- Rajput R.K.** (2007). *A Textbook of Manufacturing Technology: Manufacturing Processes*, New Delhi: Laxmi Publications.
- Haideri, F.** (2008). *Cad/Cam and Automation*, Maharashtra: Nirali Prakashan.
- Dnc ne anlama geliyor,** 2021, Alındığı Tarih 17 Mart 2023, <<https://forcam.com/en/what-does-distributed-numerical-control-dnc-mean/>>.
- Dnc nedir,** 2022, Alındığı tarih 20 Mart 2023, <https://engineeringhulk.com/what-is-direct-numerical-control-dnc/#:~:text=There%20are%20four%20basic%20components,are%20connected%20by%20telecommunication%20lines>.
- Elanchezian, C. & Sunder Selwyn T. & Shanmuga Sundar, G.** 2005, *Computer Aided Manufacturing*, New Delhi: Laxmi Publications.
- Seçgin, Ö.** (2013). *Cnc Macro Programlama*, İstanbul: T.C. Piri Reis Üniversitesi Yayınları.
- Sinha, S.K.** (2010). *Cnc Programming Using Fanuc Custom Macro B*, New Delhi: The McGraw Hill L.L.C.
- Smid, P.** (2005). *Fanuc Cnc Custom Macros*, New York: Industrial Press Inc.
- FANUC Serisi 21i-TB FANUC Serisi 210i-TB,** 2006, Alındığı tarih 12.04.2023, https://www.tezmaksan.com.tr/kullanma_talimatlar/fanuc/21i-tb-operator-kitabi-dokuman.pdf.
- Razak, M.A. & Ibrahim M.R. & Sulaiman S. & Jusoh A. & Zakaria A.** (2013), *Parametric Programming in Feature-Based Machining*, International Journal of Engineering & Technology Sciences (IJETS) 1(4), pp. 218-225.
- Al'Hapis M. & Razak A. & Zakaria A,** (2012), *A Framework for a Feature Based Machining Using Macro*, Applied Mechanics and Materials Vols 110-116 (2012) pp 1711-1715, doi:10.4028/www.scientific.net/ AMM.110-116.1711.
- Joshi V. & Desai K. & Raval H,** (2016), *Machining of Archimedean Spiral By Parametric Programming*, International Journal of Modern Manufacturing Technologies, ISSN 2067-3604, Vol. VIII, No. 2 / 2016.
- Gaga L. A., Dilibal S.,** "Havacılık Endüstrisinde Kullanılan Karbon Prepreg Kompozit Malzemelerin Talaşlı İmalat Proses Özelliklerini Etkileyen Parametrelerin İncelenmesi" Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind., 4(3): 225-238, (2020).

- Rajput R. & Sarathe A.K.** (2016), *Comparative Study of CNC Controllers used in CNC Milling Machine*, American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-5, Issue-4, pp-54-62.
- Fitter H. N. & Pandey A.B. & Mistry J.M. & Patel D.D.** (2014), Comparison of Parametrically Programmed Machining with CAM System Machining for C0 Continuity Bezier Curves Based on Various Parameters, 12th Global Congress On Manufacturing And Management, GCOMM 2014, doi: 10.1016/j.proeng.2014.12.395.
- Varlık, F.** (1994). *Cnc Tezgâhlarda Parametrik Programlama*. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Savaş V. & Özay Ç.** (2005), *CNC Tezgâhlarında Kamın Makro Programlaması ve İmalatı*, Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, ISSN:1304-4141, pp 63-68.
- Kesme Hızı Hesapları**, www.mmo.org.tr, Alındığı tarih 19.05.2023, *Kesme Hızı Hesapları*, cilt 47, sayı 554.
- Cnc Tezgâhlarında Devir ve İlerleme Hesabı**, 2022, Alındığı tarih 19.05.2023, *Cnc Tezgâhlarında Devir ve İlerleme Hesabı*, <https://www.metropolsoft.com/devir-ve-ilerleme-hesabi/>.
- Yüzey Pürüzlülüğü**, 2021, Alındığı tarih 21.05.2023, *Yüzey Pürüzlülüğü*, https://tr.wikipedia.org/wiki/Y%C3%BCzey_p%C3%BCr%C3%BCzl%C3%BCl%C4%9F%C3%BC
- Durakbasa, M.N. & Osanna P.H. & Aksoy P.** (2007), *Characterization and Analysis of High-Precise Surface Structures by Contact and Non-contact Methods*, The First Conference ERIN, Faculty of Mechanical Engineering in Bratislava, Slovakia, April 25-26, p 61.
- Demircioğlu, P.** (2011), Talaşlı İmalat Yöntemleriyle İmal Edilen İş Parçalarında Yüzey Pürüzlülüğünün Yüksek Hassasiyette İğne Uçlu ve 3D Optik Ölçüm Sistemleriyle Değerlendirilmesi, cilt 52, sayı 613, sayfa 81-91, Alındığı tarih 21.05.2023, www.mmo.org.tr
- Yeşilay Ç.** (2017), *Yüzey Pürüzlülük Ölçümü*, Alındığı tarih 21.05.2023, <https://www.kuark.org/2017/10/yuzey-puruzluluk-olcumu/>.
- Yüzey Ölçümü**, (2018), *Yüzey Ölçümü*, Alındığı tarih 21.05.2023, <https://www.accretech.eu/tr/yuzey-olcumu/>
- Yöntemler: Takım Tezgâhlarının 5 Eksenli Köprü Tipi İşleme Merkezi**, (2023), *Yöntemler: Takım Tezgâhlarının 5 Eksenli Köprü Tipi İşleme Merkezi*, Alındığı tarih 13.07.2023, <https://www.todaysmedicaldevelopments.com>.

ÖZGEÇMİŞ

Murat ADEMOĞLU. İlk ve orta öğretimini Kılıçarslan İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 2011 yılında Haydarpaşa Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. 2011 yılında Kocaeli Üniversitesi Mekatronik Bölümü'nde önlisans programına başlayıp 2013 yılında tamamladı. 2014 yılında Gedik Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Lisans Programı Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2018 yılında Onuk-BG Savunma Sanayii'de AR-GE Mühendisi olarak görev aldı. 2020 yılında Adöksan Döküm Sanayii AŞ'de Proje Mühendisi olarak görev aldı. 2022 yılında İstanbul Gedik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. Torun Metal A.Ş.'de Talaşlı İmalat Mühendisi olarak görev almaktadır.