

CNC MAKİNELERİ TEMEL ÖĞELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Selim BACAK



İKSAD
Publishing House

CNC MAKİNELERİ TEMEL ÖĞELERİ

Dr. Öğr. Üyesi Selim BACAK¹

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.16412155>



¹ Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu
Makine Programı, ORCID: 0000-0002-9640-2893

Copyright © 2025 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2025©

ISBN: 978-625-378-281-8

Cover Design: İbrahim KAYA

July / 2025

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

ÖNSÖZ

Sanayileşmenin hız kazandığı günümüzde, üretim teknolojilerinin gelişimiyle birlikte bilgisayar destekli üretim sistemleri de vazgeçilmez bir hâl almıştır. Bu sistemlerin başında gelen CNC (Computer Numerical Control) makineleri, yüksek hassasiyet, verimlilik ve tekrar edilebilirlik özellikleriyle çağdaş imalatın temel yapı taşlarından biri olmuştur. Gerek eğitim kurumlarında gerekse endüstriyel sahalarda CNC teknolojisinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu kitap, CNC makinelerinin temel öğelerini sade, anlaşılır ve sistematik bir biçimde sunmayı amaçlayan kısa bir başvuru kaynağı olarak hazırlanmıştır. Öğrenciler, teknikerler ve konuyla yeni tanışan mühendis adayları için bir başlangıç noktası olmayı hedeflemektedir. İçerğinde CNC makinelerinin yapısal bileşenleri, çalışma prensipleri, temel kavramlar ve uygulamalı örnekler yer almaktadır

Bu eserin ortaya çıkmasında katkı sağlayan tüm meslektaşlarıma, öğrencilerime ve aileme teşekkür ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Selim BACAK

Temmuz 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	iii
1. CNC MAKİNELERİNE GİRİŞ	1
1.1 CNC Nedir?.....	1
1.2 CNC Sistemlerinin Temel Parçaları	1
1.3 CNC Programlamanın Mantığı.....	1
1.4 Geleneksel Tezgâhlar ile Farklılıklar	2
1.5 Programlama Aşamaları	2
1.6 Programlama Dilleri	2
2. CNC PROGRAMLAMANIN TEMEL İLKELERİ	2
3. CNC PROGRAMLAMADA İLERİ TEKNİKLER.....	4
3.1 Yüksek Hız ve 5 Eksenli CNC Programlama	4
3.2 Takım Yolu Seçimi ve Simülasyonu	5
3.3 Kesici Takım Kullanımı ve Takım Değiştirme	5
3.4 Gelişmiş Programlama Komutları	6
3.5 Programlamada Hata Analizi ve Düzeltme	6
4. CNC MAKİNE KALİBRASYONU VE BAKIMI.....	7
4.1 CNC Makine Bakımının Önemi ve Türleri	7
4.2 Kalibrasyonu ve Performans İzleme	7
4.3 Genel Sistemlerin Bakımı.....	8
4.4 Arıza Tespiti ve Onarım	8
5. CNC MAKİNE GÜVENLİĞİ VE İŞÇİ KORUMASI.....	9
5.1 CNC Makine Güvenliği Önlemleri.....	9
5.2 CNC Operatörün Güvenliği ve Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE).....	9
5.3 Yangın, Elektriksel Güvenlik ve Eğitim	9
6. CNC TEKNOLOJİLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0	10
6.1 Endüstri 4.0 ile CNC Makinelerinin Entegrasyonu ve Akıllı Sistemler	10
6.2 CNC Makinelerinde Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi Uygulamaları	11

7. YÖNETİCİ PROGRAMLARININ HAZIRLIK AŞAMALARI.....	11
7.1. Teknolojik Sürecin Yapısı	11
7.2. Programlama Yapılırken Kullanılan Koordinat Sistemleri	13
7.3 Parça Koordinat Sistemi	15
7.4 Kesicinin Koordinat Sistemi.....	16
7.5 Yönetim Programı Yapısı ve Formatı.....	20
7.6 Sabit Uzunluktaki Blok Kaydı.....	21
7.7 Değişken Uzunluktaki Blok Kaydı	22
7.8 ISO-7BIT Kodu.....	22
8. CNC EKİPMANI KOMUT SİSTEMİ.....	23
8.1 Hazırlık komutları (G adresli komutlar)	25
8.2 Yönetim Programında Blok Numaralandırması ve Alt Programlar	25
8.3 İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi	27
8.4 Kesici Takım Fonksiyonu.....	28
9. HAZIRLIK KOMUTLARI	28
9.1 İnterpolasyon Türleri.....	28
9.2 G Adresli Komutların Özellikleri	29
9.3 Doğrusal İnterpolasyon (G01)	30
9.3 Dairesel İnterpolasyon (G02, G03).....	31
9.4 Genel olarak kullanılan G kodları.....	33
9.5 Kesici Telafisi Kullanımı	34
9.5.1 Kesici Telafisi Komutları	35
9.5.2 Kesici Telafisi ve Takım Çapı	35
9.6 Sürekli Döngüler (G73–G89).....	36
10. KOORDİNATLARIN TANIMLANMASI YÖNTEMLERİ.....	36
11. YARDIMCI KOMUTLAR.....	38
12. CNC FREZE TEZGAHI ÖRNEK PROGRAMLARI.....	40
13. CNC TORNA TEZGAHI ÖRNEK PROGRAMLARI.....	44
KAYNAKÇA	48

1. CNC MAKİNELERİNE GİRİŞ

1.1 CNC Nedir?

Bilgisayar Sayısal Kontrol (Computer Numerical Control - CNC), takım tezgâhlarının bilgisayar yardımıyla otomatik olarak kontrol edilmesini sağlayan bir sistemdir. CNC sistemleri, iş parçalarının yüksek hız, hassasiyetle ve tekrarlanabilir şekilde işlenmesine olanak tanır. Modern üretim sistemlerinde torna, freze, lazer kesim ve plazma kesim gibi birçok işlem CNC makineleriyle yapılmaktadır. Kontrolün bilgisayarla yapılabildiği her tezgâha CNC tezgâhı denilmesi mümkündür.

1.2 CNC Sistemlerinin Temel Parçaları

CNC makinelerinin temel bileşenleri; Kontrol Ünitesi (CNC kontrolörü), programları işleyen ve motorları kontrol eden sistemdir. Takım tezgâhı, fiziksel olarak işleme yapan makinedir. Servo motorlar ve sürücüler, hareket kontrolünü sağlar (Agnihotri, 2024). CNC tezgahlarda servo motor kullanılmasının sebebi ani başlangıç ve ani durdurulma imkanının olması en önemli sebeplerinden biridir. Geri bildirim sistemleri, pozisyon doğruluğunu kontrol eder ve İnsan-Makine Arayüzü (HMI), operatörün (CNC tezgahlarını kullanabilen) CNC sistemiyle etkileşim kurduğu paneldir (Šthing, 2021).

1.3 CNC Programlamanın Mantığı

CNC programlama, takımın iş parçası üzerindeki hareketlerini tarif eden komutlar bütünüdür. Bu komutlar G kodları, M kodları gibi sembolik adreslerle yazılır. G kodları fonksiyonel kodlar olarak adlandırılırken M kodları yardımcı fonksiyon kodlarıdır. Hareket, hız, takım değiştirme, soğutma gibi işlemler bu kodlar ile tanımlanır.

1.4 Geleneksel Tezgâhlar ile Farklılıklar

Geleneksel tezgâhlar manuel olarak çalışırken, CNC tezgâhları bilgisayar kontrolünde çalışır. Geleneksel makinelerde hassasiyet makineyi kullanan operatörün becerisine bağlıyken, CNC makineleri programla sabittir. CNC makineleri, kontrol edilebilirliği sayesinde üretim hızında büyük bir artış sağlar ve yüksek tekrarlanabilirlik sunar. Geleneksel makinelerde yüksek hızın ve seri üretim mümkünatını sağlamak zordur.

1.5 Programlama Aşamaları

CNC programlama, birkaç aşamadan oluşan bir süreçtir. Öncelikle, iş parçasının malzemesi ve teknik çizimi analiz edilir. Ardından, iş parçasını oluşturacak takım yolu planlaması yapılır ve uygun kesici takımlar seçilir. İşleme sırası belirlendikten sonra, G ve M kodlarıyla iş parçasının üretimini oluşturacak program yazılır. Program daha sonra tezgâh bünyesindeki veya çeşitli CAM (Bilgisayar Destekli Üretim-Computer Aided Manufacturing) programları ile simülasyon testi yapılır ve son olarak CNC makinesine yüklenerek işleme yapılır (Zhang, 2024).

1.6 Programlama Dilleri

CNC makinelerinde kullanılan başlıca programlama dili G kodlarıdır ve bu dil ISO 6983 standardına dayanmaktadır. Bunun haricinde Heidenhain, Siemens ve FANUC gibi markalara özgü diller de bulunmaktadır (Olam, 2022). Bu sistemler, genellikle menü temelli veya diyalog tipi programlama dilleri kullanır.

2. CNC PROGRAMLAMANIN TEMEL İLKELERİ

CNC programlamanın temel amacı, makinelerin iş parçasını doğru ve verimli bir şekilde işleyebilmesi için gerekli komutları vermektir. Bu

komutlar, makinelerin hareketlerini, takım değişimlerini, hız ve ilerleme ayarlarını kontrol etmek için kullanılır. CNC programları, genellikle G ve M kodlarından oluşur ve her biri kodun bir işlevi yerine getirecek görevi vardır. Bu programların doğru şekilde yazılması, iş parçasının düzgün ve hassas bir şekilde işlenmesini sağlar. CNC makinelerinde kullanılan dil genellikle G kodları ve M kodlarından oluşur. G kodları, makinelerin hareketini ve işleme sürecini gibi fonksiyonel görevleri tanımlar (Gavril, 2016). Örneğin, G01 komutu doğrusal hareketi, G02 komutu ise saat yönünde dairesel hareketi ifade eder. Bu kodlar iş parçasından talaş kaldırmak amaçlı kullanılan kodlardır. M kodları ise makinelerin yardımcı işlevlerini kontrol eder, örneğin M03 komutu ana milin dönmesini başlatırken, M05 komutu milin durmasını sağlar. Bu kodlar sayesinde makine üzerindeki çeşitli fonksiyonlar aktif hale getirilebilir. Talaş kaldırmak için kullanılmazlar.

CNC programlarında kullanılan her bir kod, belirli bir işlemi tanımlar ve doğru bir şekilde kullanılması gereklidir. Bu kodlar, programın anlaşılabilirliğini artırır ve makinelerin doğru hareket etmesini sağlar. CNC programlama süreci genellikle iş parçasının hazırlanması ve incelenmesi, takım yolunun planlanması, G ve M kodlarının seçilmesi, program yazımı, simülasyon ve test aşamalarını içerir. Program yazıldıktan sonra, simülasyon ile programın doğruluğu test edilir ve herhangi bir hata veya sorun tespit edilirse program üzerinde bu hatalar düzeltilir. Son aşamada, program CNC makinesine yüklenir ve iş parçası işlenmeye başlar. CNC makineleri farklı türlerde olabilir. En yaygın kullanılan CNC makineleri şunlardır: CNC Torna Tezgâhları, genellikle silindirik şekillerin işlenmesinde tercih edilir; CNC Freze Tezgâhları, düz

yüzeylerin, deliklerin ve kanal şekillerinin işlenmesi için kullanılır; CNC Lazer Kesim Makineleri, yüksek hassasiyetle kesim yapmak için lazer ışını kullanır; CNC Plazma Kesim Makineleri ise özellikle kalın metal levhaların kesilmesinde kullanılır.

Her CNC makinesinin kendine özgü özellikleri ve avantajları ve dezavantajları bulunur bu sebeple doğru makinenin seçilmesi, üretim sürecinin verimliliğini doğrudan etkiler. Farklı CNC makineleri, farklı programlama dillerini kullanabilir. FANUC, Siemens ve Heidenhain gibi farklı markaların kullandığı diller birbirinden farklı olabilir. Bu diller, benzer işlevleri yerine getiriyor olsada, kullanılan komutlar ve sözdizimi farklılık gösterebilir. CNC programlarının doğruluğu, iş parçasının kalitesini ve üretim hızını doğrudan etkiler. Program yazılırken yapılan küçük hatalar bile, iş parçasının düzgün işlenmemesine veya istenilen ölçülerde olmamasına yol açabilir. Bu nedenle, programların dikkatlice yazılması ve simülasyonla test edilmesi önemlidir. CNC programlama, yüksek hassasiyet gerektiren bir alandır Program yazma sürecinde her adım dikkatlice düşünülmeli, makinelerin doğru hareket etmesi için gerekli tüm komutlar verilmelidir (Zhao,2020). Ayrıca, programların doğruluğu test edilmeli ve üretim süreci başlatılmadan önce simülasyonlar yapılmalıdır.

3. CNC PROGRAMLAMADA İLERİ TEKNİKLER

3.1 Yüksek Hız ve 5 Eksenli CNC Programlama

Yüksek hızda işleme, CNC makinelerinin takımları çok daha yüksek hızlarda hareket ettirerek üretim hızını artıran bir tekniktir. Bu işlem, genellikle daha kısa sürede daha fazla parça üretmek için kullanılır. Yüksek hızda işleme sırasında kesme işlemi daha hızlı yapılır, daha az kesme

gücü gerektirir ve takım ömrünü uzatır. Yüksek hız aynı zamanda yüksek ısı demektir. Buna dayanabilecek özelliklerde kesici takım teknoloji ve soğutma sıvısı çeşitleri CNC tezgahların geliştirdiği bir sektör olmuştur. Doğru ilerleme hızlarının ve kesme parametrelerinin seçilmesi önemlidir. 5 eksenli CNC makineleri, iş parçasının 5 farklı yönü boyunca hareket edebilme yeteneği sunar ve bu, karmaşık geometrilerde yüksek hassasiyet gerektiren parçaların işlenmesine olanak tanır. 5 eksenli işleme, özellikle havacılık ve otomotiv sektörlerinde karmaşık parçaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür makinelerde programlama biraz daha karmaşık olup, takımın hareketini ve iş parçasının pozisyonunu sürekli olarak hesaplamak gerekmektedir.

3.2 Takım Yolu Seçimi ve Simülasyonu

Takım yolu planlaması, CNC programlamanın en kritik adımlarından biridir. Takımın iş parçası üzerinde izleyeceği yolun planlanması ve doğru üretim süreci verimlilik ve iş parçasının kalitesini doğrudan etkiler. Takım yolu doğru şekilde belirlenmeli, iş parçasına çarpma riski veya yanlış hareketler engellenmelidir. Bu tür hareketler hem iş parçasının bozulmasına hem de kesici takımın zarar görmesine sebep olabilir (Gökçe, 2016). Bu süreçte, simülasyon yazılımları kullanılarak programın doğruluğu test edilir. Simülasyon, takım yolunun iş parçasına zarar verip vermediğini ve ilerleme hızlarının uygun olup olmadığını kontrol etmek için kullanılır. Bu işlem, üretime geçmeden önce potansiyel hataların tespit edilmesini sağlar.

3.3 Kesici Takım Kullanımı ve Takım Değiştirme

Çoklu takım kullanımı, CNC makinelerinde farklı işlemleri daha hızlı ve verimli bir şekilde yapmak için kullanılır. Genellikle takım

magazini denilen aparata yerleştirin takımlar, makine sistemine kaydedilir. Bu kaydetme işleminde takım boy telafileri işlem üzerinde hataya olanak vermeme için büyük önem taşır. Birden fazla takım, aynı iş parçasında farklı işlemler yapacak şekilde yerleştirilebilir ve bu da işlem sürelerini kısaltır. Takım değiştirme işlemi, programda doğru bir şekilde planlanmalı ve genellikle otomatik takım değiştiricilerle yapılmalıdır. Bu değiştirme işlemi için CNC programında T (Tool) simgesi kullanılır. Otomatik takım değişim sistemleri, programın her adımında doğru takımın hızlı bir şekilde değiştirilmesini sağlar. Bu yaklaşım, yüksek verimlilik sağlar.

3.4 Gelişmiş Programlama Komutları

CNC makinelerinde kullanılan gelişmiş komutlar, daha karmaşık ve hassas işlemleri gerçekleştirmek için gereklidir. G ve M kodları dışında, özellikle doğrusal olmayan hareketler ve özel açı hareketleri için daha ileri düzey komutlar kullanılır. Bunlardan biri olan G05 komutu yüksek hızda işleme için kullanılırken, G64 komutu sürekli kesme modunda takım yolu planlamasını sağlar (Jianbin, 2024). C ve D komutları, özel açı hareketlerini ve doğrusal olmayan hareketleri tanımlamak için kullanılır. Bu komutlar, işlemi daha hassas ve esnek hale getirmek için kritik rol oynar.

3.5 Programlamada Hata Analizi ve Düzeltme

CNC makinelerinde hata analizi, programın doğruluğunu sağlamak için yapılması gereken önemli bir adımdır. Küçük program hataları bile iş parçasının düzgün işlenmemesine veya ölçü hatalarına yol açabilir. Bu nedenle, program yazıldıktan sonra simülasyonla test edilmesi gerekir. Ayrıca, her işleme adımında yapılan doğruluk ölçümleri,

programdaki olası hataları tespit etmek için kullanılır. Eğer bir hata tespit edilirse, gerekli düzeltmeler yapılmalı ve yeniden test edilmelidir. CNC makineleri sürekli olarak geri bildirim alarak, iş parçası üzerinde yapılan işlemleri optimize etmek için hata analizi yapar (Chen, 2024). Bu işlem, hataların en aza indirilmesini sağlar ve üretim verimliliğini artırır.

4. CNC MAKİNE KALİBRASYONU VE BAKIMI

4.1 CNC Makine Bakımının Önemi ve Türleri

CNC makinelerinin düzenli bakımı, üretim süreçlerinin verimli ve kesintisiz bir şekilde devam etmesini sağlamak için kritik öneme sahiptir. Düzenli bakım yapılmadığında, makinelerde performans kaybı, aşınma ve arızalar meydana gelebilir. CNC makinelerinin bakımını üç ana kategoriye ayırabiliriz; Günlük bakım, haftalık ve aylık bakım. Günlük bakımda makinelerin temizliği, soğutma sıvılarının kontrolü ve ekipmanların görsel muayenesi yapılır. Haftalık ve aylık bakımda, kesici takım tutucuları, mil yatakları ve yağlama sistemleri gibi bileşenler detaylı bir şekilde kontrol edilir (He, 2024). Ekstradan yılda bir defada yıllık bakım yapılması önerilir. Makinelerin motorları ve hareketli parçaları daha ayrıntılı şekilde gözden geçirilir ayrıca kalibrasyon ihtiyacı varsa diye kontrolleri yapıp düzeltmeler yapılır.

4.2 Kalibrasyonu ve Performans İzleme

Kalibrasyon, CNC makinelerinin doğruluğunu ve hassasiyetini sağlamak için yapılan düzenli ayarlamalardır. Kalibrasyon sırasında, öncelikli olarak makine eksenlerinin doğruluğu kontrol edilir ve gerek görülen düzenlemeler yapılır. Kalibrasyonun doğru olması özellikle iş parçasının doğru işlenmesini sağlamak için önemlidir. Performans izleme ise makinenin verimliliklerinin artırılması amacıyla yapılan bir

yöntemdir. Bu süreçte, üretim hızları, takım ömrü ve diğer parametreler incelenip gözlemlenir.

4.3 Genel Sistemlerin Bakımı

CNC makinelerinin doğru çalışabilmesi için yağlama ve soğutma sistemlerinin bulunduğu kısımlar düzenli olarak kontrol edilmesi gerekir. Yağlama, hareket eden parçalar üzerinde oluşacak sürtünmeleri azaltarak aşınmayı engeller ve makinelerin ömrünü uzatır. Soğutma sıvıları ise kesme yani talaş kaldırma işlemi sırasında ortaya çıkan aşırı ısınmayı engelleyerek takım ömrünü, yüzey pürüzlülüğünü artırır. Yağlama ve soğutma sistemlerinde sorun oluşması, işleme hatalarına ve makinelerin verimsiz çalışmasına yol açabilir. Makinelerin temizlik işlemleri de düzenli olarak yapılmalıdır (Xiaong, 2024). Temizlik, makinelerin dış yüzeylerini ve iç parçalarına yapılır. Filtrelerin temizlenmesi, soğutma sistemlerinin bakımının yapılması ve toz birikintilerinin temizlenmesi bu bakım işlemlerinin içinde yer alır.

4.4 Arıza Tespiti ve Onarım

CNC makinelerinde meydana gelen arızalar, üretimin aksamasına yol açar. Bu yüzden arızayı tespit etmek, bakım süreçlerinin önemli bir parçasıdır. CNC makinelerinin birçoğu, hata kodları ve uyarılar vererek sorunun ne olduğunu gösterir. Arıza tespitlerinde titreşim durumu, sıcaklık izleme ve sesli alarm sistemleri gibi yöntemler kullanılır. Tespit edilen hatalar hızlıca düzeltilmelidir. Bu işlem, üretimin sürekliliğini sağlamak ve makinelerin verimli çalışmasını sağlar.

5. CNC MAKİNE GÜVENLİĞİ VE İŞÇİ KORUMASI

5.1 CNC Makine Güvenliği Önlemleri

CNC makineleri, yüksek hızda çalıştığından güvenlik önlemleri büyük önem taşır. Makinelerin doğru çalışmasını sağlamak ve kazaları önlemek için uygun güvenlik sistemlerinin kurulması gereklidir. Her CNC makinesinin üzerinde acil durdurma butonları, güvenlik anahtarları ve makine etrafında güvenlik bariyerleri bulunmalıdır. Makinelerin düzenli olarak bu güvenlik sistemlerinin test edilmesi ve bakımının yapılması gerekmektedir. Acil durumlarda, operatörlerin makineleri hızla durdurabilmesi için bu sistemlerin doğru çalıştığından emin olunmalıdır.

5.2 CNC Operatörün Güvenliği ve Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE)

CNC makinelerinde çalışan operatörlerin güvenliği için kişisel koruyucu ekipman (KKE) kullanımı zorunludur. KKE'ler, operatörleri makineyle temastan kaynaklanabilecek yaralanmalara karşı koruma amaçlılardır. Bu ekipmanlar, koruyucu gözlükler, kulak tıkaçları, eldivenler, bacak ve ayak koruyucuları yer alır. Operatörlerin makineleri kullanmadan önce her zaman güvenlik prosedürlerine uyması ve makinelerin güvenlik özelliklerini kontrol etmesi önemlidir (Liu, 2022). Operatörlere muhakkak koruyucu ekipman, iş güvenliği ve tezgâhın tanıtımı gibi eğitimler düzenli olarak verilmelidir.

5.3 Yangın, Elektriksel Güvenlik ve Eğitim

CNC makinelerinin yüksek enerji tüketimi ve karmaşıklığı, yangın ve elektriksel güvenlik önlemlerinin alınmasını zorunlu kılar. Makinelerin elektrik panelleri, kablolama sistemleri ve ekipmanları düzenli olarak kontrol edilmelidir. Yangın güvenliği için makinelerde duman

dedektörleri ve yangın söndürücüler bulunmalıdır. Makinelerin kullanım alanlarında yangın tatbikatlarının yapılması, acil durumda nasıl hareket edileceğini öğretir. Elektriksel güvenlik için, operatörlerin makinelerde çalışmadan önce elektrik güvenliği hakkında eğitim almaları ve makineleri doğru şekilde kullanmaları gerekir. CNC makinelerinde ayrıca operatör eğitimleri ve sertifikaları büyük öneme sahiptir

6. CNC TEKNOLOJİLERİ VE ENDÜSTRİ 4.0

6.1 Endüstri 4.0 ile CNC Makinelerinin Entegrasyonu ve Akıllı Sistemler

Endüstri 4.0, üretim süreçlerinde dijitalleşme ve otomasyonu içeren devrim niteliğinde bir değişimdir. Bu devrimle birlikte CNC makineleri, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve akıllı sistemlerle entegre edilerek daha verimli, esnek ve akıllı hale gelmiştir. CNC makineleri, üretim verilerini gerçek zamanlı olarak toplar ve analiz eder. Bu veriler, makinelerin durumunu izlemek, bakım ihtiyaçlarını tahmin etmek ve üretim süreçlerini optimize etmek için kullanılır. Ayrıca, CNC makinelerinde akıllı sistemler sayesinde makineler, kendi kendine öğrenerek ve kararlar alarak daha verimli çalışır. Örneğin, bazı CNC makineleri, takım ömrünü izleyebilir ve gerektiğinde takım değiştirilmesi önerisinde bulunabilir. Otomasyon sistemleri de makineler arasındaki koordinasyonu sağlar ve üretim hatlarında süreçlerin birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalışmasını sağlar (Soori, 2024). Bu tür entegrasyonlar, üretim verimliliğini artırırken iş güvenliği ve kaliteyi de iyileştirir.

6.2 CNC Makinelerinde Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi Uygulamaları

Yapay zekâ (AI) ve makine öğrenimi (ML) teknolojileri, CNC makinelerinin verimliliğini artırmak için kullanılmaktadır. AI, makinelerin iş parçası üzerinde en verimli şekilde işlem yapabilmesi için daha akıllı kararlar almasına olanak tanır. Makine öğrenimi ise, makinelerin geçmişteki üretim verilerini analiz ederek, gelecekteki işleme süreçlerini optimize etmelerine yardımcı olur.

Örneğin, AI algoritmaları, iş parçasının yüzeyindeki mikroskobik hataları tespit edebilir ve buna göre işleme parametrelerini ayarlayabilir. Bu teknolojiler, üretim hatalarını azaltır, daha hızlı üretim sağlar ve takım ömrünü uzatır. Ayrıca, 3D yazıcılar ve CNC makinelerinin entegrasyonu da Endüstri 4.0'ın getirdiği yenilikler arasında yer alır. 3D yazıcılar, prototip üretimi ve karmaşık geometrilerin hızlı bir şekilde üretilmesi için kullanılırken, CNC makineleri son işlemleri ve hassas işleme adımlarını gerçekleştirmek için kullanılır. Bu birleşim, üretim süreçlerini daha hızlı, esnek ve ekonomik hale getirir. Sonuç olarak, CNC makinelerinin Endüstri 4.0 ile entegrasyonu, üretim verimliliğini ve kaliteyi artırırken, maliyetleri de düşürür(M.Zheng,2017).

7. YÖNETİCİ PROGRAMLARININ HAZIRLIK AŞAMALARI

7.1. Teknolojik Sürecin Yapısı

CNC makinelerinde işleme teknolojik süreci (TP), geleneksel teknolojik süreçlerden farklı olarak, teknolojik görevlerin çözülmesinde daha fazla detaylandırma ve bilgilerin özel sunum şekillerinin dikkate alınmasını gerektirir. Yapısal olarak, teknolojik süreç, işlemlerle bölünür

ve bunların unsurları, kurulumlar, pozisyonlar, teknolojik ve yardımcı geçişler, iş ve yardımcı hareketler gibi öğelerden oluşur.

CNC makineleri için teknolojik sürecin detaylandırılması, hareketlerin adımlara bölünmesini gerektirir. Her bir adım, takımın belirli bir geometrik unsur boyunca, üzerinde çalışma koşulları değişmeyen bir yol boyunca hareketini temsil eder. Örneğin, adımlar, sabit hızda doğrusal veya dairesel bir yol boyunca takımın hareketi, ayrıca hareketin başında ve sonunda hızlanma ve yavaşlama işlemlerini içerir.

İşleme sürecinin en temel bileşenleri, CNC cihazları tarafından işlenen eleman hareketleri ve teknolojik komutlardır. Eleman hareketleri, CNC cihazlarının sınırlamaları göz önünde bulundurularak oluşturulur. Bu sınırlamalar, örneğin, bir çeyrek çembere yerleştirilen bir yay kavisi- nin yerleştirilmesi ya da doğrusal bir segmentin, bellek kaydının kapasitesini aşmayan bir sayı ile belirlenmesi gerektiğini içerir. Teknolojik komutlar, makinenin yürütme mekanizmaları tarafından gerçekleştirilir ve eleman hareketlerinin gerekli koşullarını sağlar. Eleman hareketleri ve teknolojik komutların sıralaması, kontrol programının içeriğini belirler.

CNC makineleri için teknolojik süreçlerin ve kontrol programlarının hazırlanması, üretim teknolojisinin hazırlanması (TPP) aşamasının bir parçasıdır ve genellikle üretim hazırlığı sisteminin bir parçası olarak gerçekleştirilir. Genel olarak CNC makineleri için teknolojik süreç tasarımını üç aşamaya bölebiliriz: iş parçasının işleme yolunun geliştirilmesi, teknolojik sürecin geliştirilmesi ve kontrol programlarının hazırlanması. Her aşama, birkaç tasarım aşaması içerir. CNC makineleri için

kontrol programının hazırlanması, otomatikleştirilmiş üretim sistemlerinde tüm sistemin en önemli görevlerinden biridir (Tomczak , 2021).

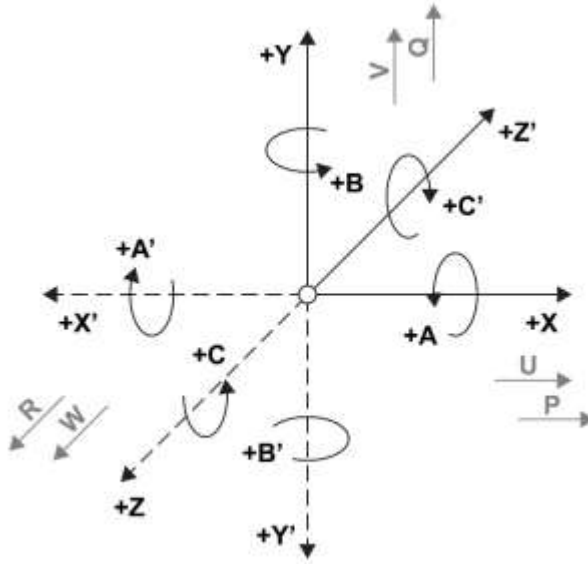
7.2. Programlama Yapılırken Kullanılan Koordinat Sistemleri

CNC makinelerinin çalışması, koordinat sistemleri ile yakından ilişkilidir. Makineler, iş parçası, aparat ve takımların koordinat sistemleri arasında farklılıklar vardır. Makine Koordinat Sistemi; CNC makinelelerinde koordinat eksenleri genellikle makinenin kılavuzlarına paralel olarak yerleştirilir ve bu sayede işleme programı sırasında iş organlarının yönlerini ve hareket büyüklüklerini belirtmek mümkün olur.

CNC makinelerinin tümü için, standart bir dikdörtgen (sağ) koordinat sistemi kabul edilmiştir. Bu sistemde X, Y, Z eksenleri (Şekil 1.1), makinelerin hareketli parçalarına göre pozitif hareketleri belirtir. İş parçasının sabit kısımlarına göre pozitif hareket yönleri ise X', Y', Z' eksenleriyle gösterilir, yani X, Y, Z eksenlerinin zıt yönlerinde hareket eder. Böylece her zaman pozitif hareketler, takım ve iş parçasının birbirinden uzaklaştığı hareketlerdir.

Takımın dairesel hareketleri (örneğin, freze makinesinin milinin açılı hareketi) A (X eksenini etrafında), B (Y eksenini etrafında), C (Z eksenini etrafında) harfleriyle gösterilirken, iş parçasının dairesel hareketleri (örneğin, programla masa dönüşü) ise sırasıyla A', B', C' harfleriyle gösterilir. "Dairesel hareketler" kavramı, takımı taşıyan milin veya torna makinesinin milinin dönmesini kapsamaz. Özel eksenler etrafındaki ikinci dereceden açısal hareketler ise D ve E harfleriyle gösterilir(Kurniawan,2020).

İki iş organının aynı doğrultuda hareket yönlerini göstermek için ikincil eksenler kullanılır: U (X eksenine paralel), V (Y eksenine paralel), W (Z eksenine paralel). Aynı doğrultuda üç hareket olduğunda ise üçüncül eksenler kullanılır; P, Q, R (Şekil 1.1).

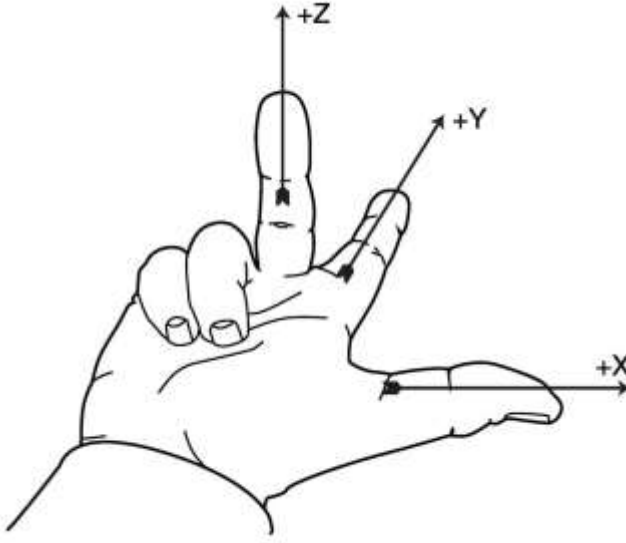


Şekil 1.1 CNC makinelerinin standart iş koordinat sistemi

Farklı tip ve modeldeki makinelerde, koordinat sistemleri farklı şekilde yerleştirilir bu da eksenlerin pozitif yönlerini ve koordinat sıfırının (makine sıfırı M) yerleşimini tanımlar. Makinelerin koordinat sistemi, iş parçasının taşınması ve yer değiştirilmesi sırasında en önemli hesaplama sistemi olup, iş organlarının başlangıç ve mevcut pozisyonları belirlenir. Bu pozisyonlar, makinenin tasarım özelliklerine göre seçilen referans noktalarından tanımlanır. Örneğin, ana milin kesme ucunun dönme eksenine kesiştiği nokta, makinenin referans noktası, tornalama

makinelerinde takım tutucusunun dönme merkezi de başka bir temel noktadır.

Şekil 1.2'de gösterilen sağ el kuralına göre, CNC makinelerinde koordinat sistemlerinin pozitif yönleri belirlenir. Bu kurala göre, baş parmak X ekseninin pozitif yönünü, işaret parmağı Y eksenini, orta parmak ise Z ekseninin pozitif yönünü gösterir (Jayachandraiah,2014). Bu kurala göre, eksen etrafındaki pozitif dönüş yönleri başka bir sağ el kuralıyla belirlenir. Bu kurala göre, baş parmak eksene paralel şekilde yerleştirilirse, diğer parmaklar pozitif dönüş yönünü gösterir.



Şekil 1.2 Sağ el kuralı

7.3 Parça Koordinat Sistemi

Parça koordinat sistemi, işleme programı için temel bir sistemdir. Bu sistem, iş parçasının tüm boyutlarını ve çevresindeki referans

noktalarının koordinatlarını tanımlar. Parça koordinat sistemi, işleme programında tüm noktaların koordinatlarının ve işleme için gerekli olan yardımcı yolların yerlerinin tanımlandığı bir sistem haline gelir. Genellikle, parça koordinat sistemi ve program koordinat sistemi birleştirilerek ortak bir sistem olarak kabul edilir. Bu sistem, programın yazıldığı ve parça işleme işlemlerinin gerçekleştirildiği tek sistemdir. Parça koordinat sistemi, teknoloji uzmanı tarafından seçilen makine koordinat sistemine göre atanır.

Bu sistem, iş parçasının yerleştirildiği aparatı, aparatdaki referans elemanlarının yerleşimini, takımın hareket yollarını vb. tanımlar. Ayrıca, burada işleme başlangıç noktası olarak bilinen nokta (O) belirtilir. O noktası, program üzerinde iş parçasına yapılan işlemin ilk noktasıdır ve genellikle "program sıfırı" olarak adlandırılır. İşlemeye başlamadan önce, kesicinin merkezi P'nin bu nokta ile örtüşmesi gerekir. Teknoloji programcıları, programı hazırlamadan önce, boyutları ölçmek ve kesici ile iş parçasının yerleşimini kolaylaştırmak amacıyla bu noktayı seçerler. Bu işlem, gereksiz boş geçişlerden kaçınarak kesicileri iş parçasına daha yakın yerleştirmeyi amaçlar. Çoklu kesici kullanımıyla yapılan işleme sırasında, her bir kesici için bir başlangıç noktası belirlenebilir, çünkü her bir kesicinin hareket yolu ayrı ayrı tanımlanır.

7.4 Kesicinin Koordinat Sistemi

Kesicinin koordinat sistemi, kesicinin kesici kısmının tutucuya göre konumunu belirlemek için kullanılır. Tutucu ile birlikte çalışma pozisyonunda tanımlanır. CNC makineleri için kesicilerin çeşitliliğini tanımlarken, kesicinin koordinat sisteminin tek bir referans sisteminde tanımlanması daha uygundur. Bu sistemin eksenleri, makinenin standart

koordinat sistemi ile paralel olup aynı yönde yönlendirilir. Kesici koordinat sisteminin başlangıcı, kesici bloğunun temel noktası T olarak yerleştirilir ve bu nokta, kesicinin makinadaki montajına uygun olarak seçilir. Kesici bloğu makineye yerleştirilirken, T noktası genellikle makinedeki kesici taşıyan elemanın temel noktasıyla örtüşür,

Takımın kesici kısmı, uç noktasının ve kesici kenarlarının konumu ile tanımlanır. Takımın ucu, yuvarlatma yarıçapı g ve ayar noktası P'nin koordinatları ile tanımlanır, bu noktaların takım koordinat sistemi başlangıcı ile olan konumu, takım bloğunun makine dışında, özel bir aparatla yapılan ayar işlemiyle sağlanır.

Kesici takımın kesici kenarının konumu, takımın çalışma açılarıyla belirlenir. Takımın ana açısı ve yardımcı açıları, takımın konumunu tanımlamak için kullanılır. Dönen aletler, özellikle matkaplar, uç noktasındaki açılar ve çapı ile konumlandırılır. Dönerek çalışan takımın ucu, dönüş ekseninin etrafında hareket ettiği için, bu noktanın konumunu belirlemek için sadece belirli bir referans noktasına (takımın ayar noktası) ihtiyaç vardır (Altıntaş, 2012).

Takımın ayar noktası, genellikle takımın hareket yolunun hesaplanmasında temel referans noktası olarak kullanılır. Bu hareket yolları genellikle koordinat eksenlerine paralel düz çizgilerle tanımlanır. Eğrisel hareket yollarının hesaplanmasında ise, takımın ucundaki yuvarlaklık merkezine başvurulur. Bu, takımın hareketini doğru bir şekilde tanımlamak için gereklidir.

CNC makinelerinde programlama sırasında karşılaşılan önemli zorluklardan biri, kullanılan farklı koordinat sistemlerinin nasıl

ilişkilendirileceğidir. Torna makinelerinde üç farklı koordinat sistemi kullanılır; Makine koordinat sistemi, iş parçası koordinat sistemi ve takımın koordinat sistemi. Makine koordinat sisteminin sıfır noktası, makineye sabitlenmiş bir referans noktasıdır ve makinelerin üzerindeki parçaların konumlarını belirtir. İş parçası koordinat sistemi ise, iş parçasının işleme sırasında referans noktası olarak kabul edilen bir sistemdir(Altuntaş, 2012). Takımın koordinat sistemi ise, takımın kesici kısmının makineye göre olan konumunu belirler.

Bu üç koordinat sistemi, makineleri ve iş parçasını programlamak için gereklidir. Bu sistemlerin doğru bir şekilde birbirine entegre edilmesi, işleme sırasında doğru hareket yollarının belirlenmesine ve hassasiyetin sağlanmasına yardımcı olur. CNC makinelerinde kullanılan bu koordinat sistemleri birbirine dönüştürülebilir. İş parçasının yer aldığı koordinat sisteminden, takımın hareketini tanımlayan koordinat sistemine geçiş yapılabilir. Başlangıç noktası olarak belirlenen sıfır noktası, iş parçasının koordinat sisteminden makineye ait koordinat sistemine dönüştürülür.

Bu koordinat sistemlerinin birbirine entegre edilmesi, iş parçasının yer değiştirilmesi sırasında hassasiyetin korunmasını sağlar ve takımın hareket yolunun doğru bir şekilde hesaplanmasına olanak tanır. Programlama aşamasında, makinenin sıfır noktası genellikle standart koordinat sisteminin başlangıcına yerleştirilir. Bu durumda, iş parçasının temel noktaları makineye sabitlenir ve takımın hareket yolu, makine koordinat sistemindeki iş organının temel noktalarına göre tanımlanır.

Bazı durumlarda, takımın hareket yolu iş parçasının koordinat sistemine göre tanımlanır. Bu durumda "yüzen sıfır" denilen bir yöntem kullanılır. Bu yöntemle, makinenin sıfır noktası programın sıfır noktasıyla örtüşür ve tüm hareketler bu sisteme göre ayarlanır.

Programlama aşamasında, iş parçasının koordinat sisteminin başlangıç noktası genellikle belirli bir referans noktasına, yani iş parçasının temel noktasıyla ilişkilendirilir. Bu şekilde, iş parçasının aparatındaki temel noktalarının yerleşimi belirlenir ve takımın hareket yolu bu verilere dayanarak hesaplanır.

Torna işlemlerinde, programın başlangıç noktası genellikle iş parçasının temel noktasının yer aldığı yüzeydir. Bu noktada, makine sıfır noktası kolayca ayarlanabilir çünkü bu mesafe sabittir ve program boyunca değişmeden kalır.

Başlangıç noktası, iş parçasının koordinat sistemine göre belirli bir konumda tanımlanır. Bu konum, kullanılan takımın türüne, takım tutucusunun yapısına ve takımın uç noktasının koordinatlarına bağlı olarak değişir. CNC makinelerinde genellikle üç ana koordinat sistemi kullanılır ve bu sistemler, iş parçasının ve takımın doğru bir şekilde programlanabilmesi için birbirine bağlıdır.

Özellikle torna makinelerinde, makine sıfır noktası olarak belirlenen bir referans noktasından hareket edilir. Bu sıfır noktası, genellikle ana milin ucunda yer alır ve makinenin Z ve X eksenlerini belirler. Makine çalışırken, hareketlerin takip edilmesi için örneğin takım tutucusunun koordinatları belirlenir ve bu değerler dijital ekranda görüntülenir.

Bu koordinat sistemlerinin doğru bir şekilde entegrasyonu, iş parçası üzerinde hassas işlemler yapılmasını sağlar. Başlangıç noktası ve diğer referans noktaları arasındaki ilişki, iş parçası ve takımın koordinat sistemleri arasındaki uyumu sağlar ve doğru işlem yapılmasını garanti-ler.

Bir iş parçasının işlenmesi sırasında, iş parçasının belirli referans noktalarıyla olan mesafelerin doğru bir şekilde bilinmesi gerekmektedir. Program koordinat sisteminde, başlangıç noktası program sıfırı olarak belirlenir ve bu noktalar iş parçasının yerleştirileceği temel referans noktasına göre tanımlanır. Ayrıca, iş parçasının başlangıç noktası olarak kabul edilen noktalar da tanımlanarak yerleştirilir. Bu hesaplamalar, iş parçasının her iki yerleştirilmesinde de koordinat sistemlerinin uyumlu bir şekilde birbirine bağlanmasını sağlar(Altintas, 2012).

7.5 Yönetim Programı Yapısı ve Formatı

İş parçasının işlenmesi için hazırlanan başlangıç bilgileri, yani yönetim programı, belirli bir formata göre bir program taşıyıcısına (CNC kontrol bilgisayarının sabit diski vb.) kaydedilir. Bu format, iş parçasının işlenmesi için gerekli bilgilerin belirli bir düzen içinde saklanmasını sağlar. Yönetim programı, genellikle bir dizi bloktan oluşur. Bir programın disket ya da sabit diske kaydedilmesi, aynı zamanda bu programın yazıcıya basılması veya CNC makinesine belirli bir formatta aktarılmasını da sağlar.

Her bir blok, bir iş parçası üzerindeki temel işlem adımını tanımlayan geometrik ve teknolojik verileri içerir. Bu veriler, genellikle iki ardışık referans noktası arasındaki işlemi belirtir. Blok, her bir işleme

adımını tanımlayan bilgilerden oluşan kelimelerden oluşur. Bu kelimeler, çeşitli işlem organlarının hareketini belirler: X, Y, Z koordinatlarında hareket, ilerleme hızı, ana milin dönüş hızı, takım değişim mekanizmalarının çalışması ve diğer gerekli bilgiler. Eğer program perforasyon bandına kaydediliyorsa, her bir kelime genellikle birkaç yatay satıra kaydedilir ve belirli bir kodlama kullanılır (Hannam,2020).

Bilgi Kaydı Yöntemleri; Yönetim bilgisi kaydederken iki farklı yöntem vardır: sabit uzunlukta ve değişken uzunluktaki blok ile kayıt. Bu yöntemler, bilginin düzenlenmesi ve işlenmesi açısından farklı avantajlar sunar.

7.6 Sabit Uzunluktaki Blok Kaydı

Sabit uzunluktaki blokta, her bir blok sabit bir boyutta kalır ve program boyunca her blok belirli bir sayıda öge içerir. Sabit uzunluktaki blokta, komutların (kelimelerin) tekrarı veya sayısal değerlerinin ne olursa olsun, her komut için belirli bir alan ayrılır. Her blok, içeriği belirli bir sırayla düzenlenmiş satırlara ayrılır. Eğer bir blokta herhangi bir bilgi eksikse, eksik bilgiye ait satırlar sıfır değeriyle doldurulur ve blokta yer alır.

Sabit uzunluktaki bloklarla program kaydederken, verilerin okunması daha basittir çünkü her blokta hangi bilginin nerede yer alacağı önceden belirlenmiştir. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları vardır. Bunlar arasında, program taşıyıcısının fazla kullanılması ve programlama sürecinin daha fazla emek gerektirmesi sayılabilir.

7.7 Değişken Uzunluktaki Blok Kaydı

Günümüzde, CNC sistemlerinde en yaygın kullanılan yöntem, daha uygun ve kısa olması nedeniyle değişken uzunluktaki blok kayıdır. Bu kayıt türü, alfabetik ve sayısal kodlar kullanılarak yapılır; özellikle ISO-7 bit kodu, bu tür kayıtlarda yaygın olarak kullanılır. Bu kod, tüm yerli CNC makinelerinde ana kod olarak kullanılmaktadır. Aynı kod (veya onun türevleri), çoğu yabancı CNC makinesinde de çalışmaktadır. Bu yöntemde, her bir komut (blok) gerektiği kadar yer kaplar ve uzunluğu değişebilir. Bu sayede, her bir komut sadece gerekli olan bilgileri içerir ve daha verimli bir şekilde yer kullanılır.

Ancak, burada dikkate alınması gereken bir nokta, CNC kontrol sistemlerinin sürekli olarak gelişmesi ve teknolojiye bağlı olarak bu sistemlerin daha karmaşık hale gelmesidir. Bu durum, CNC makineleri için yazılım sistemlerini dinamik bir şekilde geliştiren bir etmen olmuştur. Bu nedenle, komut seti sınırlı olsada, her bir komutun işlevselliği, farklı sayısal kontrol sistemleriyle birlikte kullanıldığında önemli ölçüde değişebilir (Qiao, 2006).

7.8 ISO-7BIT Kodu

ISO-7BIT, yedi bitlik bir alfabetik ve sayısal kod sistemidir ve ikili-onluk sayma sistemine dayalıdır. Bu kod, Latin alfabesindeki harfleri ve çeşitli sembolleri içerir. CNC sistemlerinde bu kodun harfler ve semboller için anlamları, DIN66025 (ISO6983) standardına dayanır. Bu kod, başlangıçta sekiz yollu perforasyon bandına bilgi kaydetmek için tasarlanmış olsa da, şu an bu kod kullanılarak tüm yönetim programları kaydedilmektedir. Bu, kullanılan program taşıyıcısından bağımsız olarak

uygulanır ve hangi program taşıyıcısının kullanıldığına bakılmaksızın, tüm CNC sistemleri için geçerlidir (ANSI, 1968).

8. CNC EKİPMANI KOMUT SİSTEMİ

Mikroişlemcili kontrol sistemleri, teknoloji uzmanı tarafından geliştirilen yönetim programına (UP) göre çalışır. Bu program, iş parçasının işlenmesi için gerekli olan takım hareketlerinin sırasını, hazırlık, teknoloji ve yardımcı işlemleri içerir. Bu işlemler, CNC makinesinde iş parçası işlemenin sağlanmasına olanak tanır. Yönetim programlarını yazmak için farklı seviyelerde diller kullanılabilir. Dil seviyesi arttıkça, yönetim sisteminin daha fazla hareketi tek bir komutla kodlaması sağlanır.

CNC yönetim programlarında kullanılan simgesel adreslerin her birinin işlevlerini ve anlamlarını tanımlar. CNC sistemlerinde simgesel adresler, belirli parametreleri veya komutları temsil eden sembollerdir. Bu semboller, iş parçasının işlenmesi sırasında belirli bir hareketin, fonksiyonun veya işlemin gerçekleştirilmesini sağlar.

Simgesel adresler genellikle harfler ve sayılarla belirtilir ve her biri, CNC makinesine ait bir kontrol komutunu veya parametreyi temsil eder. Bu adresler, X, Y, Z gibi koordinat sistemleri veya işleme parametrelerini ifade edebilir. Bu semboller, yönetim programında birbirleriyle etkileşime girerek, makinenin doğru hareket etmesini ve iş parçasını istenilen şekilde işlemesini sağlar. Simgesel adreslerin anlamları şu şekildedir;

- **N:** Blokunun sırasal numarası.

- **G:** İşlem modunu belirlemek için hazırlık komutları (örneğin, doğrusal veya dairesel işleme).
- **X, Y, Z:** Ana koordinat eksenlerinde hareket (X, Y, Z).
- **U, V, W:** Ekstra koordinat eksenlerinde hareket (U, V, W).
- **A:** X eksenini etrafında döndürme komutu.
- **B:** Y eksenini etrafında döndürme komutu.
- **C:** Z eksenini etrafında döndürme komutu.
- **I, J, K:** Yay merkezinin koordinatları veya takımın çap düzeltmesi için bileşenler.
- **F:** İlerleme hızı.
- **S:** Ana milin dönüş hızı.
- **T:** Takım numarası.
- **M:** Yardımcı komut.
- **D:** Takım çapı düzeltmesi.
- **N:** Takım uzunluğu düzeltmesi.
- **L:** Alt programın veya sabit döngünün tekrar sayısı.
- **P:** Duraklama süresi veya program numarası.
- **Q:** Sabit döngüde adım büyüklüğü.
- **R:** Sabit döngülerde ayrılma düzleminin koordinatı.

- **X:** Duraklama süresinin belirlenmesi.

Bu simgesel adresler, CNC makinelerindeki her bir işlem için belirli bir komut veya parametreyi temsil eder. Programlama sırasında, bu simgeler iş parçasının işlenmesi için gereken hareketleri ve ayarları yapmak üzere kullanılır (Chen, 2004).

Çoğu CNC yönetim programı komutu modal özellik taşır, yani bir komut, değeri değiştirilene kadar veya ilgili fonksiyon yerine getirilene kadar birden fazla blok boyunca geçerli olur.

8.1 Hazırlık komutları (G adresli komutlar)

İş parçası ve takım arasındaki hareket ilişkisinin türünü belirler. Bu komutlar, takım ve iş parçasının birbirine göre nasıl hareket edeceğini tanımlar. Geometrik parametreler ise, hareketlerin yapılacağı koordinat eksenlerini belirtir. Bu parametreler için X, Y, Z, A, B, C, I, J, K gibi adresler kullanılır. Bu eksenler, takımın iş parçası üzerindeki hareketini belirler. Teknolojik parametreler, ilerleme hızı, ana milin dönüş hızı ve takımın tipi ile özelliklerinin belirlenmesi gibi işlem parametrelerini içerir. Bu parametreler için F, S, T, D, H gibi adresler kullanılır. Yardımcı komutlar (M adresli komutlar), makinenin elektro-mekanik sistemlerini kontrol etmek için kullanılır ve makinenin çeşitli yardımcı fonksiyonlarını çalıştırır (Chen, 2004).

8.2 Yönetim Programında Blok Numaralandırması ve Alt Programlar

Her bir blok, soldan sağa doğru açıldığında başta yer alan bir adıma sahiptir. Bu ad, bloğun numarasını belirtir ve N adresi ile numara birleşerek bloğun kimliğini oluşturur. Blokların numaralanması, programın

okunmasını kolaylaştırır. Bloklar, genellikle sırasıyla numaralanır ve her bir blok numarası, bir öncekinin 10 birim sonrasına eklenerek ilerler. Bu sistem, programın düzenlenmesinde ek blokların kolayca eklenmesini sağlar.

Blokların numaraları, özellikle dallanma ve geçiş komutları kullanıldığında etiketler olarak görev yapar. Eğer akış kontrol komutları (örneğin, dallanma veya alt program çağrısı) yoksa, bloklar birbirini takip ederek sırayla çalıştırılır.

Teknolojik sürecin tekrarlanan bölümleri, bazı CNC makinelerinde alt program olarak düzenlenebilir ve ihtiyaç duyuldukça çağrılabilir. Alt programlar, belirli bir işlem sırasını tekrar tekrar kullanmak için idealdir. Alt programları çağırmanın üç farklı yöntemi vardır. Alt Program Çağırma Yöntemleri;

1. Birinci Yöntem: Alt programa P- adresi ile başvurulurken kullanılan komut şu şekildedir:

P<alt program adı>DIN

Burada DIN ifadesi, alt programın DIN66025 (ISO6963) kodunda yazıldığını belirtir. Aynı blokta belirtilen tüm hareketler, alt program çağrılmadan önce gerçekleştirilir. Alt program, kendi iç yapılarını (iç içe geçmiş komutlar) içerebilir, bu da daha karmaşık işleme süreçlerinin yapılmasına olanak tanır. Bu, alt programların daha modüler bir şekilde yönetilmesini sağlar.

2. İkinci Yöntem: Bu yöntemde, alt programa başvuru yapılırken P-adresi kullanılmaz. Sadece alt program adı ile çağrı yapılır.

Bu, daha basit ve hızlı bir çağrı yöntemidir, ancak bazen karmaşık işlemler için yeterli olmayabilir.

3. Üçüncü Yöntem: Alt programlar, G- ve M- komutları kullanılarak çağrılabilir. Genellikle 16 G komutu alt program çağrıları ve koşulsuz geçişler için ayrılmıştır. Bu yöntem, farklı işlem türlerine hızlı geçişler yapmayı sağlar (Zoya, 2021).

8.3 İşleme Parametrelerinin Belirlenmesi

"İlerleme Fonksiyonu" kelimesi, hem sonuçta elde edilen ilerleme hızını hem de bu hızın koordinat eksenlerine göre bileşenlerini belirleyebilir. Bir blokta, toplam ilerleme hızı F adresi altında, "Koordinat hareketi" kelimelerinden sonra kaydedilir. Eğer ilerleme hızı belirli bir ekse aitse, bu durumda "Koordinat hareketi" kelimesinin ardından bu eksen için ilerleme fonksiyonu belirtilir.

İlerleme hızının boyutu, hazırlık fonksiyonu G94 veya G95 ile kodlanır. G94 kullanıldığında, ilerleme hızı mm/dakika olarak belirtilir. G95 fonksiyonu kullanıldığında ise ilerleme hızı mm/devir olarak verilir.

"Ana Hareket Hızı" kelimesi, S adresi ile kaydedilir ve takımın iş parçası ile temas ettiği noktanın lineer hızını mm/dakika cinsinden belirler (bu, G96 fonksiyonu ile tanımlanır). Alternatif olarak, bu kelime, milin (veya masanın) dönüş hızını devir/dakika (d/dak.) olarak da belirtir (G97 fonksiyonu ile) (Chen, 2004).

8.4 Kesici Takım Fonksiyonu

Kesici takım fonksiyonu kelimesi, kullanılan kesici takımını ve düzelticisini belirtmek için kullanılır. Bu komutta, T adresi ile bir kod numarası bir veya iki rakamlı gruplarla yazılır.

1. Tek gruptaki sayılar sadece kesici takımın numarasını veya konumunu belirlerken, kesici takımın düzelticisi başka bir komutla D adresi ile belirtilir. İki gruptaki sayılarda, ilk grup kesici takım numarasını veya konumunu, ikinci grup ise kesici takımın uzunluk, pozisyon veya çap düzelticisinin numarasını belirtir.

Örneğin, T1218 komutu T adresini, kesici takımın numarasını (12) ve düzeltici numarasını (18) belirtir. Buradaki 18, takımın uzunluğunun veya çapının düzeltilmesi için kullanılan düzeltici numarasıdır. Eğer sadece kesici takım numarası programlanıyorsa, ikinci grup sıfırlarla (T1200) yazılır; eğer kesici takım düzelticisi programlanıyorsa, ilk grup sıfırlarla (T0018) yazılır (Zoya, 2021).

9. HAZIRLIK KOMUTLARI

9.1 İnterpolasyon Türleri

Doğrusal İnterpolasyon; Bu tür interpolasyon, üç boyutlu uzayda düz bir çizgi boyunca hareketi ifade eder. İnterpolasyon hesaplamalarına başlamadan önce, CNC sistemi, programlanan koordinatlara dayalı olarak yol uzunluğunu belirler. Hareket sırasında, kontur ilerlemesi kontrol edilir ve hızın izin verilen maksimum değeri aşmaması sağlanır. Tüm koordinatlar aynı anda tamamlanmalıdır.

Dairesel İnterpolasyon; Bu tür interpolasyon, belirtilen işleme düzleminde bir daire boyunca hareket etmeyi ifade eder. Dairenin parametreleri (örneğin, son nokta koordinatları ve merkez noktası) hareket başlamadan önce programlanan koordinatlara göre belirlenir. Hareket sırasında, kontur ilerlemesi kontrol edilir ve hızın izin verilen maksimum değeri aşmaması sağlanır. Tüm koordinatlar aynı anda tamamlanmalıdır.

1. Vidalı İnterpolasyon; Bu tür interpolasyon, doğrusal ve dairesele interpolasyonun bir kombinasyonudur. İnterpolasyona, X, Y ve Z gibi senkronize koordinat eksenleri dahil edilir. Yardımcı (asenkronize) koordinat eksenleri, interpolasyon sürecine dahil edilmez. Asenkron bir eksenle hareket örneği olarak, takım değiştirici pozisyonunun ayarlanması gösterilebilir (Zoya, 2021).

9.2 G Adresli Komutların Özellikleri

Hazırlık komutları, CNC sisteminin çalışma modunu belirler. Hazırlık komutlarının kelimesi, G adres harfiyle başlar ve ardından iki haneli bir kod numarası gelir. Son yıllarda üretilen CNC cihazlarında, üç haneli kod numaraları kullanılır. Hazırlık komutları, farklı gruplara ayrılır (Tablo 1). Eğer bir blokta aynı gruptan birden fazla hazırlık komutu varsa, son yazılan komut çalıştırılır.

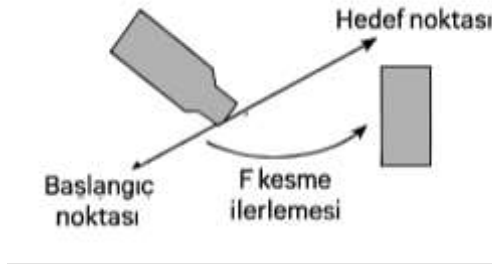
Pozisyonlama (G00); Bu komut, başlangıç noktasından (NT) çalışma noktasına (RT) hızlı bir şekilde hareket etmeyi sağlar. Hareketler, dört koordinat ekseninde bağımsız olarak yapılır. Noktanın koordinatları, bloğun geometrik parametrelerine bağlıdır ve X, Y, Z, U, V, Q, W, A, B, C gibi adreslerle belirtilir. CNC sistemi, aynı anda dört adresi (X, Z, Y ve U/V/W/A/B/C grubundan birini) alabilir. Bu şekilde, X_Y_Z_

koordinatları yerine RT ifadesi kullanılabilir. Bu, daha kısa yazılmasını sağlar. Hız ve ivme, en az bir eksende maksimum seviyeye çıkar. Diğer eksenlerdeki ilerleme hızları ise CNC cihazının türüne bağlı olarak belirlenir. Eski modellerde, belirtilen her eksende maksimum ilerleme hızı ayarlanır. Ancak modern cihazlarda, hareketin her eksende aynı anda tamamlanmasını sağlamak amacıyla hız kontrol edilir. İlerleme hızı, programda belirtilmez; bunun yerine, cihazın "makine" parametreleri tarafından belirlenir. Komut çalıştırıldığında, hareket her blokta sıfıra yavaşlatılır. G00 komutu modaldir, yani bu komut bir blokta yer aldığı anda, aynı grup içindeki G01–G03 komutlarını devre dışı bırakır (Rishi, 2015).

9.3 Doğrusal İnterpolasyon (G01)

G01 komutu, takımın belirli bir çalışma noktasına RT doğru düz bir çizgi boyunca hareket etmesini sağlamak için kullanılır. Bu komut, belirli bir ilerleme hızı (F adresli kelime ile belirlenen), iş parçasının konturuna uygun bir hızda hareket edilmesini sağlar (Şekil 9.1).

İlerleme, belirli bir kontur hızı ile yapılır, bu hız teknolojik parametre ile belirlenir ve F adresi ile kaydedilir. Bu belirlenen ilerleme hızı, programda başka bir hız değeri verilene kadar aktif kalır ve geçerli olur.



Şekil 9.1 Doğrusal interpolasyon

9.3 Dairesel İnterpolasyon (G02, G03)

G02 ve G03 komutları, kesici takımını bir çember veya çeyrek çember boyunca hareket ettirmek için kullanılır. Bu hareket, F ilerleme hızı ile belirli bir düzlemde (XY, XZ, YZ düzlemleri) gerçekleştirilir ve her iki koordinat ekseninde yapılan hareketler aynı anda tamamlanır. Bu, bir eksenin dairesel interpolasyon düzlemine dahil olmasa bile geçerlidir.

G02 komutu, saat yönünde dairesel interpolasyonu gerçekleştirir.

G02 X... Z... R(I,J)... F...

X:Ulaşılmak istenen X koordinatı (hedeflenen çap)

Z:Ulaşılmak istenen Z koordinatı (hedeflenen boy)

R:Yayın ölçüsü

F:Kesici ilerlemesi

Tezgâh farklı ise

G02 X... Z... I... K... F...

X:Ulaşılmak istenen X koordinatı (hedeflenen çap)

Z:Ulaşılmak istenen Z koordinatı (hedeflenen boy)

I:Yay başlangıcından yay merkezine X ekseninde artışı (eklemeli) uzaklık

K:Yay başlangıcından yay merkezine Z ekseninde artışı (eklemeli) uzaklık

F:Kesici ilerlemesi

G03 komutu ise saat yönünün tersine dairesel interpolasyonu gerçekleştirir.

G03 X... Z... R(I, J)... F...

X:Ulaşılmak istenen X koordinatı (hedeflenen çap)

Z:Ulaşılmak istenen Z koordinatı (hedeflenen boy)

R:Yayınölçüsü

F:Kesici ilerlemesi

Tezgâh farklı ise

G03 X... Z... I... K... F...

X:Ulaşılmak istenen X koordinatı (hedeflenen çap)

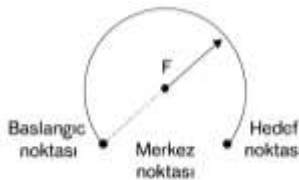
Z:Ulaşılmak istenen Z koordinatı (hedeflenen boy)

I:Yay başlangıcından yay merkezine X ekseninde artışı (eklemeli) uzaklık

K:Yay başlangıcından yay merkezine Z ekseninde artışı (eklemeli) uzaklık

F:Kesici ilerlemesi

Dairesel interpolasyon düzlemi, G17, G18, G19 komutlarıyla belirlenerek, iki senkronize koordinat eksenini serbestçe seçilebilir. Bu sayede daireysel interpolasyon yapılacak düzlem belirlenmiş olur.



Sekil 9.2 Dairesel İnterpolasyon

Bir çember, merkezi koordinatlar kullanılarak programlanırken, takımın mevcut konumu başlangıç noktası olarak kabul edilir. Merkezi koordinatlarla tanımlanan bir çember, başlangıç ve bitiş noktalarından geçer. İnterpolasyon sürecine dahil olan koordinat eksenleri X, Y, Z'dir ve bu eksenlere I, J, K adresleri atanır. Bu parametreler, başlangıç noktası ile çemberin merkezi M arasındaki mesafeyi, temel eksenlere paralel olarak belirler (Şekil 9.2' de gösterildiği gibi).

X, Y, Z adresleri, çemberin son noktasının koordinatlarını belirtir-
ken,

I, J, K adresleri, çember yayının başlangıç noktasından merkezine kadar olan mesafeyi tanımlar.

Buna ek olarak, CNC türüne bağlı olarak I, J, K adreslerinin değerleri genellikle yalnızca pozitif olabilir. Ayrıca, çember yayının 90 dereceyi geçmeyen bir kısmı işlenebilir (Rishi, 2015).

9.4 Genel olarak kullanılan G kodları

G28 – makine referans noktasına dönüş, G28 komutu ile, programda belirtilen X, Y, Z koordinatları, geçici bir X, Y, Z noktası olarak kaydedilir ve bu nokta, komut çalıştırıldığında makineye iletilir.

G29 - geçici noktaya dönüş, G29 komutu, G28 komutu ile kaydedilen geçici noktaya (PT) hızlı bir şekilde hareket eder ve ardından programda belirtilen X, Y, Z noktasına doğru hareket eder. Bu işlem, G00 komutunun pozisyonlama işlevine eşdeğer olup, önce geçici noktaya, sonra da hedef noktaya doğru hızla hareket eder.

G53 - G59 - koordinat sistemini seçme, Bu komutlar, belirli bir koordinat sisteminde iş parçası veya takımın yerini belirler ve arzu edilen noktaya hareket eder.

G53, takımın koordinat sistemindeki konumunu belirler ve takımı bu noktaya hareket ettirir.

G54–G59, altı farklı iş parçası koordinat sistemine (KSS) yerleşimi tanımlar ve her bir komut, iş parçasının merkezine göre koordinatları belirler.

Bu komutlar, makineye iş parçası koordinatlarıyla ilgili bilgileri verir ve G53 komutundan farklı olarak, programda belirtilen koordinat sistemi için geçerli olacak şekilde koordinat değerlerini işler. G53 komutu yalnızca o blok içinde geçerlidir.

G54–G59 parça koordinat sistemleri, Her biri, makinenin 6 farklı iş parçası koordinat sistemini tanımlar. Bu sistemlerin tüm eksen yönleri aynıdır, ancak merkez konumları farklıdır. CNC sisteminde, iş parçası koordinat sisteminin merkezinin, makinenin koordinat sistemine göre kayması, operatör tarafından program başlamadan önce belirlenir.

G92- koordinat sistemi tanımlama, G92 yeni bir iş parçası koordinat sistemi tanımlar ve iş parçasının belirli bir noktasının koordinatlarını yerleştirir (Rishi, 2015).

9.5 Kesici Telafisi Kullanımı

Kesici telafisi, özellikle elle programlanmış CNC makinelerinde etkili bir şekilde kullanılabilen ve aşırı takım değişiklikleri ile diğer ayarlamalara gerek kalmadan parça doğruluğunu sağlamada önemli bir

yöntemdir. Bunun yanı sıra, otomatik CNC makineleri de kesici telafisini kullanarak hassasiyet elde edebilirler. G kodları aracılığıyla kesici telafisi, üretim süresini kısaltabilir, hata oranlarını düzeltebilir ve manuel frezeleme ihtiyacını azaltabilir.

CNC makineleri, kesici takımın iş parçası üzerinde nasıl konumlandırılacağını ve yarıçapını, belirtilen takım çapı verilerine dayalı olarak G kodu komutları aracılığıyla okur. Bu yöntemle, operatörlerin kesici yarıçap telafisini manuel olarak hesaplamaları yerine, takım çapını doğrudan girerek işlem yapılabilir. Böylece, insan hataları minimize edilir ve zaman tasarrufu sağlanır.

9.5.1 Kesici Telafisi Komutları

G41 Komutu: Bu komut, takım yolunun sol tarafında sol telafi yapılmasını sağlar.

G42 Komutu: Bu komut, takım yolunun sağ tarafında sağ telafiyi gerçekleştirir.

Bu komutlar, G kodunu takip eden bir D numaralı kodla ilişkilendirildiğinde, ofset çapını kullanır. D numarası, kullanılan takımın çapını belirler ve CNC kontrol sistemi, bu çap bilgisine dayanarak telafi hesaplamalarını yapar.

9.5.2 Kesici Telafisi ve Takım Çapı

Eğer D kodu belirtilmezse, programlama sırasında takımın çapı kullanılarak telafi yapılır. Bu ayrım, kesici yarıçap telafisinin ve ofsetin CNC makinesi tarafından matematiksel olarak hesaplanabilmesi sayesinde, daha büyük bir takımın kesim için kullanılmasına olanak tanır. Bu

durum, işlem sırasında daha büyük bir takım kullanılmasının önünü açar ve işleme verimliliğini artırır.

9.6 Sürekli Döngüler (G73–G89)

Sürekli döngüler, genellikle üç ile altı işlemden oluşan bir dizi operasyonu kapsar:

- X, Z eksenlerinde konumlandırma;
- Hızlı hareketle R noktasına gitme;
- Delme işlemi;
- Delik tabanı operasyonu;
- R noktasına geri dönüş;
- Başlangıç noktasına geri dönüş

Başlangıç noktasının seviyesi, sürekli döngü işlemi başlatılmadan önce Z eksenindeki takım pozisyonunu ifade eder. Bu tür döngülerde, konumlandırma her zaman XY düzleminde yapılırken, delme işlemi Z ekseninde gerçekleşir. Sürekli döngünün yürütülme şekli, üç parametre ile belirlenir:

10. KOORDİNATLARIN TANIMLANMASI YÖNTEMLERİ

Bu sistemde iki şekilde koordinat tanımlaması yapılabilir. G90 komutunda, mevcut koordinat sistemine göre son noktanın pozisyonu programlanabilir. G91 komutunda ise, son noktanın koordinatları, bir önceki noktaya göre programlanır. İçerideki koordinatlar yalnızca bir yöntemle tanımlanabilir. Örneğin, başlangıç noktası (100, 50) ve bitiş noktası (200, 70) olduğunda:

G90 komutunda, koordinatlar X200Y70 olarak tanımlanır.

G91 komutunda, koordinatlar X100Y20 olarak tanımlanır.

G98 ve G99 Komutları

G98 ve G99 komutları, takımın, delik tabanına ulaştıktan sonra geri dönüşünü kontrol eder. G98 komutunda, takım başlangıç noktasına döner, G99 komutunda ise takım R noktasına geri döner.

Sürekli döngü, delik işleme modunu belirler ve genellikle aşağıdaki formatta kullanılır:

X, Y – Delik koordinatları; Z – Z koordinatının mutlak değeri, G90 komutunda delik tabanının koordinatını veya G91 komutunda R noktasından delik tabanına kadar olan mesafeyi belirtir; R – G91 komutunda başlangıç noktasından R noktasına kadar olan mesafe, G90 komutunda ise R noktasının Z koordinatını belirler; Q – G73, G83 komutlarıyla işlem sırasında her adımda yapılan hareketin büyüklüğünü,

G76, G87 komutlarıyla ise Y eksenindeki kaymayı belirtir; P – Delik tabanında takımın bekleme süresini tanımlayan parametre; F – Takımın ilerleme hızını belirleyen parametre; L – Sürekli döngüde tekrar sayısını belirleyen parametre. Bu parametre belirtilmediği takdirde, tekrar sayısı bir olarak kabul edilir.

Sürekli döngü içinde, X, Y koordinatları, P ilerleme parametresi ve döngü tekrar sayısı L değiştirilebilir. Eğer döngü birden fazla kez tekrar edilmesi gerekiyorsa, tekrar sayısı L parametresiyle belirtilir. Bu durumda, G90 komutunda bir delik işleme işlemi L kez, X, Y koordinatlarıyla belirtilen noktada tekrarlanır. G91 komutunda ise L adet delik

açılır; burada X, Y koordinatları, bir deliğin diğerine göre X ve Y eksenlerindeki kaymasını belirtir.

Eğer programda tekrarlayan kısımlar veya başka programlarda kullanılan komut dizileri varsa, bunlar programdan çıkarılarak alt program olarak düzenlenebilir.

Alt program çağırısı, şu komutla yapılır:

P adresli kelime: Alt programın numarasını içerir.

L adresli kelime: Alt programın kaç kez tekrarlanacağını belirtir.

Eğer L adresli kelime komutta yer almazsa, alt program yalnızca bir kez çalıştırılır.

Alt programdan dönüş, şu komutla gerçekleştirilir:

N adresli kelime: Alt programdan dönerken, çağıran programın hangi bloktan devam edileceğini belirtir.

Eğer N adresli kelime G70 komutunda yer almazsa, çağıran program, alt program çağırısının hemen sonrasındaki bloktan devam eder (G71 komutu ile) (Altıntaş, 2012).

11. YARDIMCI KOMUTLAR

Yardımcı komutlar, makine veya CNC cihazının işleyici elemanları tarafından gerçekleştirilen işlemleri tanımlar. Bu komutlar, makine-lerin veya CNC sistemlerinin belirli işlevlerini çalıştırmak için kullanılır (Tablo 11.1).

Tablo 11.1 Yardımcı komutlar

Fonksiyon Kodu	Fonksiyon Et-kinleşmesi	Fonksiyonun Uygulama Süresi	Fonksiyon Adı
M08	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Soğutma Açma
M09	-	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Soğutma Kapama
M10	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Tutma
M11	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Serbest bırakma
M12-M18	-	-	Belirtilmemiş
M19	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Milin belirtilen po- zisyonda durması
M20-M29	-	-	Sürekli olarak belirli değil
M30	-	-	Bilgilerin sonu
M31-M47	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	Belirtilmemiş
M48	Hareket başla- madan önce	Hareket tamamlan- dıktan sonra	M49 İptali
M49	Hareket başla- madan önce	-	Manuel düzeltme ip- tali
M50-M57	-	-	Belirtilmemiş
M90-M99	-	-	Sürekli olarak belirli değil

12. CNC FREZE TEZGAHI ÖRNEK PROGRAMLARI

- Silindirik Parçada Delik Delme (Z Ekseninde İşleme)

%

O1010 (Delik Delme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T3 (Takım değişimi: Takım 3 - Matkap takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)

G1 Z-8 F100 (Kesici takımı Z eksenine -8 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 100 mm/dakika)

G81 X0 Y0 Z-15 R5 F50 (Delme komutu, 15 mm derinliğinde, 10 mm çapında delik, geri dönüş yüksekliği R5, ilerleme hızı 50 mm/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Yüzey Frezeleme (Düzlemde Frezeleme)

%

O1020 (Yüzey Frezeleme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T2 (Takım değişimi: Takım 2 - Freze takımı)

M3 S900 (Ana mil dönüşü, 900 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)

G1 Z-4 F150 (Kesici takımı Z eksenine -4 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 150 mm/dakika)

G1 X50 F300 (Kesici takımı X ekseninde 50 mm boyunca ilerler, ilerleme hızı 300 mm/dakika)

G1 Y50 (Kesici takımı Y ekseninde 50 mm ilerler)

G1 X0 (Kesici takımı X ekseninde sıfıra geri döner)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Konik Yüzey Frezeleme

%

O1030 (Konik Yüzey Frezeleme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T4 (Takım değişimi: Takım 4 - Konik freze takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı

hareket)

G1 Z-5 F200 (Kesici takımı Z eksenine -5 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 200 mm/dakika)

G2 X30 Y0 I15 J0 F200 (Konik yüzey frezeleniyor, X ekseninde 30 mm hareket, 15 mm yarıçapında dairesel hareket)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Yüksek Hızda Frezeleme (Yüksek Hızda Kesme)

%

O1040 (Yüksek Hızda Frezeleme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T6 (Takım değişimi: Takım 6 - Yüksek hızda freze takımı)

M3 S1500 (Ana mil dönüşü, 1500 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)

G1 Z-10 F400 (Kesici takımı Z eksenine -10 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 400 mm/dakika)

G1 X50 Y50 F1000 (Kesici takımı X50 ve Y50 koordinatlarına doğru ilerler, yüksek hızda işleme)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Yüksek Hassasiyetli Delik Delme (Çoklu Delik Delme)

%

O1050 (Çoklu Delik Delme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T5 (Takım değişimi: Takım 6 - Matkap takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X10 Y10 (İlk delik merkezi koordinatına hızlı hareket)

G81 Z-10 R5 F80 (İlk delik delme işlemi, 10 mm derinlik, geri dönüş yüksekliği 5 mm)

G0 X30 Y10 (İkinci delik merkezi koordinatına hızlı hareket)

G81 Z-10 R5 F80 (İkinci delik delme işlemi)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

13. CNC TORNA TEZGAHI ÖRNEK PROGRAMLARI

- Silindirik Parçada Delik Delme (Z Ekseninde İşleme)
%
O1010 (Delik Delme Programı)
G21 (mm cinsinden)
G17 (XY düzleminde işleme)
G90 (Mutlak koordinat sistemi)
M6 T1 (Takım değişimi: Takım 1 - Matkap takımı)
M3 S900 (Ana mil dönüşü, 900 devir/dakika)
G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)
G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)
G1 Z-10 F200 (Kesici takımı Z eksenine -10 mm derinliğe ilerleme hızı 200 mm/dakika)
G81 X0 Y0 Z-15 R5 F50 (Delme komutu, 15 mm derinliğinde, 10 mm çapında delik, geri dönüş yüksekliği R5, ilerleme hızı 50 mm/dakika)
G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)
M05 (Ana mil durur)
M30 (Program sonu)
%
- 2. Yüzey Frezeleme (Düzlemde Frezeleme)
%
O1020 (Yüzey Frezeleme Programı)
G21 (mm cinsinden)
G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T3 (Takım değişimi: Takım 3 - Freze takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)

G1 Z-5 F250 (Kesici takımı Z eksenine -5 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 250 mm/dakika)

G1 X50 F300 (Kesici takımı X ekseninde 50 mm boyunca ilerler, ilerleme hızı 300 mm/dakika)

G1 Y50 (Kesici takımı Y ekseninde 50 mm ilerler)

G1 X0 (Kesici takımı X ekseninde sıfıra geri döner)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Konik Yüzey Frezeleme

%

O1030 (Konik Yüzey Frezeleme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T4 (Takım değişimi: Takım 4 - Konik freze takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı

hareket)

G1 Z-5 F200 (Kesici takımı Z eksenine -5 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 200 mm/dakika)

G2 X30 Y0 I15 J0 F200 (Konik yüzey frezeleniyor, X ekseninde 30 mm hareket, 15 mm yarıçapında dairesel hareket)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Yüksek Hızda Frezeleme (Yüksek Hızda Kesme)

%

O1040 (Yüksek Hızda Frezeleme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T5 (Takım değişimi: Takım 5 - Yüksek hızda freze takımı)

M3 S1500 (Ana mil dönüşü, 1500 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X0 Y0 (Başlangıç noktası, iş parçası merkezine hızlı hareket)

G1 Z-10 F500 (Kesici takımı Z eksenine -10 mm derinliğe iner, ilerleme hızı 500 mm/dakika)

G1 X50 Y50 F1000 (Kesici takımı X50 ve Y50 koordinatlarına doğru ilerler, yüksek hızda işleme)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

- Yüksek Hassasiyetli Delik Delme (Çoklu Delik Delme)

%

O1050 (Çoklu Delik Delme Programı)

G21 (mm cinsinden)

G17 (XY düzleminde işleme)

G90 (Mutlak koordinat sistemi)

M6 T6 (Takım değişimi: Takım 6 - Matkap takımı)

M3 S1000 (Ana mil dönüşü, 1000 devir/dakika)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine çekilir)

G0 X10 Y10 (İlk delik merkezi koordinatına hızlı hareket)

G81 Z-10 R5 F100 (İlk delik delme işlemi, 10 mm derinlik, geri dönüş yüksekliği 5 mm)

G0 X40 Y10 (İkinci delik merkezi koordinatına hızlı hareket)

G81 Z-10 R5 F100 (İkinci delik delme işlemi)

G0 Z50 (Kesici takımı hızlı şekilde Z eksenine geri çekilir)

M05 (Ana mil durur)

M30 (Program sonu)

%

KAYNAKÇA

- Agnihotri, S. P., & Joshi, M. P. (2024). Alternating current servo motor and programmable logic controller coupled with a pipe cutting machine based on human-machine interface using dandelion optimizer algorithm—attention pyramid convolution neural network. *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, 8(1), 1–27. <https://doi.org/10.3934/electreng.2024001>
- Altintas, Y. (2012). *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*. Cambridge University Press.
- American National Standards Institute (ANSI). (1968). *American Standard Code for Information Interchange (ASCII)*. ANSI X3.4-1968.
- B. Jayachandraiah, O. V. Krishna, P. A. Khan, and R. A. Reddy, “Fabrication of low cost 3-Axis CNC router,” *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol. 3, no. 6, pp. 1–10, 2014.
- Chen, L., Xu, H., Huang, Q., & Wang, P. (2024). An integrated method for compensating and correcting nonlinear error in five-axis machining utilizing cutter contacting point data. *Scientific Reports*, 14, 8763. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-59458-w>
- Chen-Han Lee, Lingyun Lu, Jon Dym and Guangyan Yin (2004): “Shape Preserving Global Parameterization for CAD/CAM/CAE”, *International Mechanical Engineering Congress and Exposition*

Manufacturing Engineering and Materials Handling Engineering
Anaheim, California, 237- 249.

E. Kurniawan, S. Syaifurrahman, and B. Jekky, “Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 4, no. 2, pp. 83–90, 2020.

Gavril, M.; Andrei, M.; Lucian, T. , (2016) Increase Productivity and Cost Optimization in CNC Manufacturing; IOP Publishing: Bristol, UK; pp. 1–6.

Gökçe, H., & Gökçe, H. (2016). Object modeling based polygon for 3D CNC lathe simulation softwares. *Politeknik Dergisi*, 19(2), 155–161.

Hannam, R. G. and Talavage, J.(2020). Flexible manufacturing systems in practice design, analysis and simulation, p.15-28, CRC Press, 377 p.

He, W., Zhang, L., Hu, Y., Zhou, Z., Qiao, Y., & Yu, D. (2024). A hybrid-model-based CNC machining trajectory error prediction and compensation method. *Electronics*, 13(6), 1143. <https://doi.org/10.3390/electronics13061143>

J. Tomczak et al., “Design and technological capabilities of a CNC skew rolling mill,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, 2021, doi: 10.1007/s43452-021-00205-7.

- Jianbin, L., & Zeng, H. (2024). Data model based toolpath generation techniques for CNC milling machines. *Frontiers in Mechanical Engineering*. <https://doi.org/10.3389/fmech.2024.1358061>
- Liu, W. et al. Five-axis iso-error numerical control tool path generation for flat-end tool machining sculptured surface. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 119(11–12), 7503–7516 (2022).
- M.Zheng, W.Liang, H.Yu, and Y.Xiao, “Performance analysis of the industrial wireless networks standard: Wia-pa,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 22, pp. 139–150, 2017.
- Olam, M., & Tosun, N. (2022). CNC freze tezgâhları için bir program arayüzünün tasarlanması. *N Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 184–191. <https://doi.org/10.28948/ngu-muh.952757>
- Pajaziti, A., Tafilaj, O., Gjellaj, A., & Berisha, B. (2025). Optimization of toolpath planning and CNC machine performance in time efficient machining. *Machines*, 13(1), 65. <https://doi.org/10.3390/machines13010065>
- Qiao, G., Robert Lu, R. And Mclean, C. (2006). Flexible manufacturing system for mass customization manufacturing”, *International Journal of Mass Customisation*, 1(2/3), 374 - 393.
- Rishi Kumar Shukla, Dinesh, B. Deshmukh (2015) “A Review on Role of CAD/CAM in Designing for Skill Development”, ITMVU, at Vadodara, with 1,827 Reads

- Soori, M., Arezoo, B., & Dastres, R. (2023). Internet of Things for Smart Factories in Industry 4.0: A Review. *Internet of Things and Cyber-Physical Systems*, 3(2), 192–204.
- Šthing, A. (2021). Research on servo motor motion control system based on Beckhoff PLC. *Journal of Physics: Conference Series*, 1852, 022002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1852/2/022002>
- Xiong, D., Zheng, D., & Liu, P. (2024). Simulation and error analysis of CNC milling of a face-gear tooth with given tool paths. *Applied Mechanics and Materials*, 942–945, 681–684. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.494-495.681>
- Zhang, S., & Bai, J. (2024). Research on CNC programming and machining process based on CAD/CAM technology. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 9(1), 1–18. <https://doi.org/10.2478/amns-2024-0516>
- Zhao, G.; Zhao, Y.; Meng, F.; Guo, Q.; Zheng, G. Prediction model of machine tool energy consumption in hard-to-process materials turning. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 2020, 106, 4499–4508.
- Zoya Rizvi, Adeel Khan, Parshva khatadia, Devang Jadhav, Daksh Bafna, A study of Computer Numerical Control (CNC) toolpath and profile milling on CAM software, *IJCRT | Volume 9, Issue 2* February 2021



ISBN: 978-625-378-281-8